

Mariusz Kostrzewski
Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

SYMULACYJNE BADANIA GEOMETRII MAGAZYNU

Streszczenie: W artykule przedstawiono podsumowanie badań nad wpływem geometrii wariantowo projektowanego obiektu logistycznego na ilościowe wskaźniki oceny obiektu. Badania, oparte o koncepcję symulacji, zostały wykonane przy wykorzystaniu pakietu komputerowego *OL09* zaprogramowanego przez autora artykułu.

Słowa kluczowe: obiekt logistyczny, symulacja, proces magazynowy.

1. WSTĘP

Artykuł stanowi podsumowanie badań dotyczących wpływu geometrii obiektu logistycznego (magazynu), wyrażonej poprzez podstawowe jego wymiary, na wskaźniki oceny projektowanego obiektu. Poprzez wymiary obiektu logistycznego rozumie się jego szerokość, długość i wysokość. Postać bryły obiektu badań została ograniczona do prostopadłościanu (w skrajnych przypadkach sześciianu).

Badania zostały zrealizowane przy wykorzystaniu pakietu komputerowego *OL09*, stanowiącego wspomaganie dla technologicznego projektowania magazynów.

Badania w założeniu miały charakter symulacyjny. Założono, że badania będą przeprowadzone dla magazynu, w którym sposobem składowania w strefie składowania jest składowanie rzędowe regałowe przy użyciu wózków podnośnikowych widłowych czołowo-bocznych i bocznych. Za sposób składowania w strefie komisjonowania przyjęto składowanie rzędowe bezregałowe. Pakiet *OL09* dla takiej kombinacji organizacji przestrzeni może rozpatryć ponad 56.000 wariantów. Z uwagi na ograniczenia wynikające z założeń projektowych (powierzchnia działki przeznaczona pod budynek – za powierzchnie działki przyjęto obszar prostokątny; wysokość budynku), a także inne ograniczenia szczegółowo przedstawione w treści artykułu (m.in. fakt, że z uwagi na charakter rozpatrywanego procesu magazynowego w strefie komisjonowania proces komisjonowania będzie zachodził na poziomie zerowym – na posadzce) w ostatecznym rozrachunku pod uwagę zostało wziętych 111 wariantów pełnych projektów technologicznych.

2. NARZĘDZIE PRACY

Badania zostały zrealizowane przy wykorzystaniu pakietu komputerowego *OL09*, który stanowi wsparcie dla technologicznego projektowania fragmentu systemu logistycznego: magazynu.

Pakiet przygotowano w oparciu o schemat projektowania technologicznego magazynu wg interpretacji, i późniejszej implementacji, 21 kroków projektowych opracowanych przez J. Fijałkowskiego, [1, 2, 3].

Z uwagi na konieczność przeprowadzenia badań na dużej liczbie wariantów dokonano modyfikacji pakietu *OL09*, celem umożliwienia wykorzystania idei symulacji komputerowej w badaniach. Symulacja komputerowa jest symulacją z wykorzystaniem modelu matematycznego, zaimplementowanego w postaci programu komputerowego. Techniki symulacyjne są szczególnie przydatne tam, gdzie analityczne wyznaczenie rozwiązania byłoby zbyt pracochłonne, a niekiedy nawet niemożliwe - co często ma miejsce w systemach złożonych, [5]. Idea oraz teoria dotycząca symulacji przedstawiona została w osobnym artykule, [6].

3. SCHEMAT POSTĘPOWANIA W BADANIACH

Schemat postępowania w badaniach nad wpływem geometrii magazynu na jego wskaźniki oceny został przedstawiony na rys. 1.

Fragment schematu obrysowany linią przerywaną odzwierciedla symulację pojedynczego wariantu projektowego. Zasympulowanych zostało ponad 56.000 wariantów projektowych. Warunek o dopuszczalnej powierzchni i wysokości magazynu spełniło 111 wariantów, które stanowią rozwiązania dopuszczalne dla dalszych prac badawczych. Zatem 111 wariantów zostaje dopuszczonych do modułu *Rozwiązanie projektowe* i kolejnych kroków schematu przedstawionego na rys 1. Rozwiązanie pojedynczego wariantu projektowego jest efektem przeliczeń w pakiecie *OL09* dla danych wejściowych aktualizowanych wraz z kolejnym numerem porządkowym N (numerem wariantu, tabela 1.).

4. DANE WEJŚCIOWE

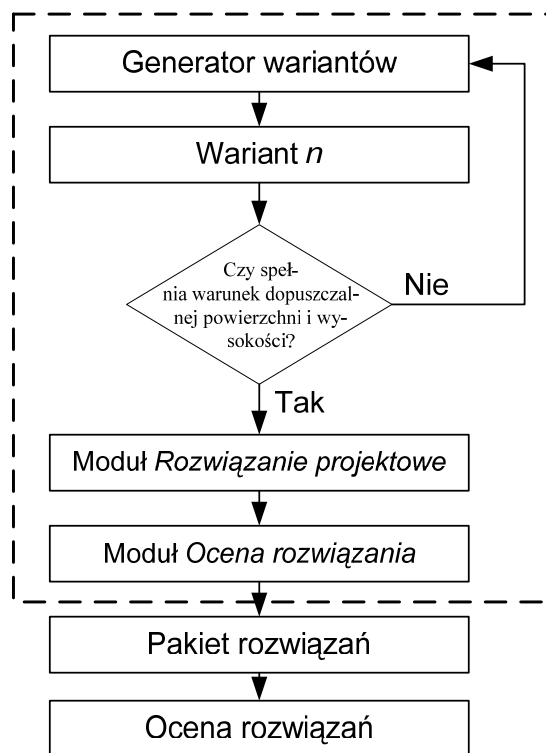
Dane technologiczne, nie związane w sposób bezpośredni z geometrią magazynu, są takie same dla wszystkich 111 dopuszczalnych wariantów projektowych i zostały wymienione w tabeli 2. Dane te, celem ukazania różnic w ujęciu geometrycznym magazynu, są identyczne dla wszystkich 111 dopuszczalnych wariantów projektowych. Zmianie podlegają liczby:

- poziomów w regale paletowym w strefie składowania (tabela 1., kolumna 1),
- korytarzy roboczych w strefie składowania (tabela 1., kolumna 2),

- korytarzy poprzecznych w strefie składowania (tabela 1., kolumna 3),
- poziomów w regale paletowym w strefie składowania (tabela 1., kolumna 4),
- korytarzy roboczych w strefie komisjonowania (tabela 1., kolumna 5),
- korytarzy poprzecznych w strefie komisjonowania (tabela 1., kolumna 6).

W badaniach, przy doborze danych wejściowych, przyjęto następujące ograniczenia:

- dopuszczalna powierzchnia działki przeznaczonej pod budynek (dodatkowe ograniczenie stanowi fakt, że powierzchnię działki przyjęto obszar prostokątny),
- dopuszczalna wysokość budynku – magazynu,
- składowanie w regałach paletowych w strefie składowania odbywa się od 7 poziomu ponieważ poniżej tego poziomu można by stosować tańsze wózki podnośnikowe czołowe,
- składowanie w regałach paletowych w strefie składowania odbywa się do 9 poziomu,
- w pakiecie *OL09* dla strefy składowania przewidziane zostało od 1 do 10 korytarzy roboczych,
- w strefie komisjonowania występuje 1 lub 2 korytarze robocze,
- w pakiecie *OL09* dla strefy składowania, jak i dla strefy komisjonowania, przewidziane zostało od 1 do 5 korytarzy poprzecznych,
- liczba palet w gnieździe regałowym wynosi 3,
- palety w strefie komisjonowania są ustawione dłuższym bokiem w głąb rzędu,
- w strefie komisjonowania proces komisjonowania zachodzi na poziomie zerowym – na posadzce.



Rys. 1. Schemat postępowania w badaniach nad wpływem geometrii magazynu na jego wskaźniki oceny
Źródło: opracowanie własne

Tablica 1.

Dane podlegające zmianom; dane dla 111 wariantów projektowych – wybrane przykłady

N	1	2	3	4	5	6	N	1	2	3	4	5	6	N	1	2	3	4	5	6	N	1	2	3	4	5	6
1	7	2	0	1	1	1	29	8	2	0	1	1	1	57	8	6	0	1	2	1	85	9	3	4	1	2	1
...												
11	7	5	0	1	2	1	39	8	3	2	1	1	1	67	8	7	4	1	2	1	95	9	5	1	1	2	1
...												
14	7	5	3	1	2	1	42	8	3	3	1	2	1	70	9	2	0	1	2	1	98	9	5	4	1	2	1
...												
27	7	7	4	1	2	1	55	8	5	4	1	2	1	83	9	3	3	1	2	1	11	9	7	5	1	2	1

Źródło: opracowanie własne na podstawie OL09

Tablica 2.

Dane technologiczne dla projektowanego magazynu

Parametr	Symbol, wartość, jednostka	Parametr	Symbol, wartość, jednostka
przeładunek roczny na wejściu	$P_{WE}^R = 129000 [jlp]$	współczynnik spiętrzeń dobowych na wyjściu	$\varphi_{WY} = 1,54$
normatyw zapasu	$N = 20$	stopień wypełn. jłpk	$\rho = 0,54$
liczba dni rob. w roku	$d_r = 285 [dni]$	stopień komisjonow.	$\tau = 0,67$
rotacja zapasu	$S_o = 15$	średnia struktura jłpk	$w \times p = 10 \times 4$
współczynnik spiętrzeń dobowych na wejściu	$\varphi_{WE} = 1,24$	wsp. wykorzystania czasu pracy	$\varphi_t = 0,80$
asortyment magazynowy	$A = 468$	powierzchnia	$F = 8000 [m^2]$
pojemność strefy skład.	$Z_p = 8600 [m.p.]$	wysokość	$H = 12 [m]$

Źródło: opracowanie własne

5. WYBRANE WYNIKI BADAŃ

Dla każdego ze wskaźników oceny projektu policzonych w trybie symulacyjnym wybrano wartości minimalne i maksymalne. Zestawienie tych wartości znajduje się poniżej.

Powierzchnia magazynu:

- wartość minimalna dla wariantów nr 11, 51-53, 88, 94-98: 6.048 [m²],
- wartość maksymalna dla wariantu nr 42: 7.992 [m²].

Wysokość magazynu:

- warianty nr 1-28: 10 [m], warianty nr 29-69: 11 [m], warianty nr 70-111: 12 [m].

Liczba miejsc paletowych:

- wartość minimalna dla wariantu nr 1: 8.652,
- wartość maksymalna dla wariantów nr 63-68, 100-111: 9.072.

Nakłady na magazyn:

- wartość minimalna dla **wariantu nr 11**: 107.023.280 [zł],
- wartość maksymalna dla **wariantu nr 70**: 165.437.680 [zł].

Koszty eksploatacyjne:

- wartość minimalna dla **wariantu nr 11**: 13.824.039 [zł],
- wartość maksymalna dla **wariantu nr 70**: 19.753.160 [zł].

Wskaźnik nakładów:

- wartość minimalna dla **wariantu nr 11**: 12444,57 [zł],
- wartość maksymalna dla **wariantu nr 70**: 19236,94 [zł].

Wskaźnik kosztowy:

- oscyluje wokół wartości: 0,59-0,63, zatem może zostać pominięty jako niemiarodajny w ocenie wariantów.

Wskaźnik kosztu przejścia:

- wartość minimalna dla **wariantu o nr 11**: 107,16 [zł],
- wartość maksymalna dla **wariantu o nr 70**: 153,13 [zł].

Sprowadzona pracochłonność środków transportowych i urządzeń:

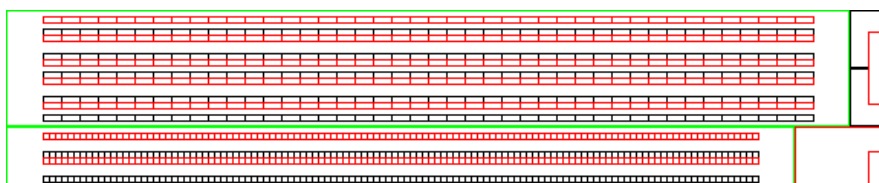
- wartość minimalna dla **wariantu nr 11**: 841,07 [urządzeniogodzin],
- wartość maksymalna dla **wariantu nr 76**: 1.227,1 [urządzeniogodzin].

Sprowadzona liczba środków transportowych i urządzeń:

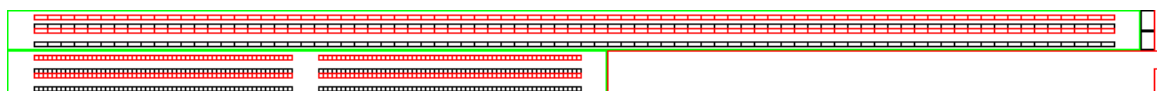
- wartość minimalna dla **wariantu nr 106**: 164,
- wartość maksymalna dla **wariantu nr 1**: 252.

Sprowadzona liczba pracowników:

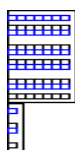
- wartość minimalna dla **wariantu nr 100**: 102,
- wartość maksymalna dla **wariantu nr 1**: 138.

Wskaźnik wykorzystania wydajności rzeczowy: 0,79.**Wskaźnik wykorzystania wydajności kosztowy: 0,83.**

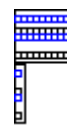
Rys. 2. Widok z góry dla wariantu nr 11
Źródło: opracowanie własne, OL09



Rys. 3. Widok z góry dla wariantu nr 70
Źródło: opracowanie własne, OL09



Rys. 4. Przekrój poprzeczny dla wariantu nr 11
Źródło: opracowanie własne, OL09



Rys. 5. Przekrój poprzeczny dla wariantu nr 70
Źródło: opracowanie własne, OL09

6. WNIOSKI

W grupie obliczonych wskaźników oceny projektu minimalne wartości poszczególnych wskaźników były najczęściej osiągnięte w przypadku wariantu nr 11. Wśród nich znalazły się: powierzchnia magazynu, wysokość magazynu, nakłady na magazyn, koszty eksploatacyjne, wskaźniki nakładów, wskaźnik kosztów przejścia, sprowadzona pracochłonność środków transportowych i urządzeń. Z kolei najwyższe wartości poszczególnych wskaźników występowały najczęściej w przypadku wariantu nr 70. Wśród nich znalazły się: wysokość magazynu, nakłady na magazyn, koszty eksploatacyjne, wskaźniki nakładów, wskaźnik kosztów przejścia.

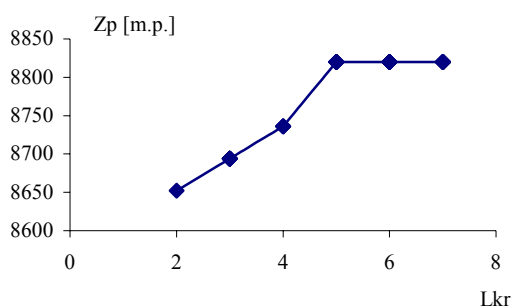
Można przyjąć, że liczba miejsc paletowych wzrasta wraz z liczbą korytarzy roboczych przy takiej samej liczbie poziomów składowania w regałach (rys. 6-8).

W przypadku zależności pomiędzy powierzchnią a liczbą korytarzy roboczych (przy takiej samej liczbie poziomów składowania w regałach) nie zauważa się jednoznacznej tendencji wzrostowej ani malejącej (rys. 9).

W przypadku zależności pomiędzy nakładami na magazyn a liczbą korytarzy roboczych (przy takiej samej liczbie poziomów składowania w regałach) nie zauważa się jednoznacznej tendencji wzrostowej ani malejącej (rys. 10).

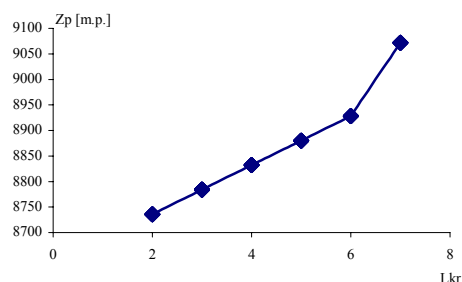
Analogicznych wniosków można spodziewać się wobec kosztów eksploatacyjnych. I faktycznie, badania wykazują, że w przypadku zależności pomiędzy kosztami eksploatacyjnymi a liczbą korytarzy roboczych (przy takiej samej liczbie poziomów składowania w regałach) nie zauważa się jednoznacznej tendencji wzrostowej ani malejącej (rys. 11).

Jak można zauważyć na wykresach na rysunkach 12, 13 zarówno w przypadku porównania nakładów na budowę magazynu z szerokością jak i długością magazynu nie można stwierdzić jednoznacznej tendencji wzrostowej ani malejącej. Jednakże przy porównaniu nakładów na budowę z powierzchnią magazynu zauważyć można trend rosnący (rys. 14). Jest to oczywiście wyczuwalne intuicyjnie z uwagi na fakt ponoszenia kosztów za grunt oraz wybudowanie konstrukcji magazynowej liczonych odpowiednio na m^2 i m^3 .



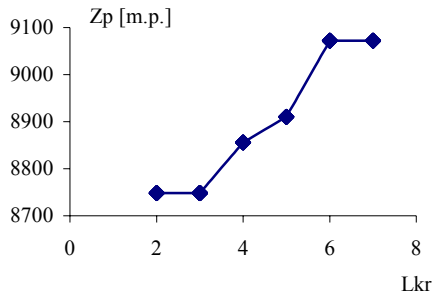
Rys. 6. Zależność pomiędzy liczbą miejsc paletowych (Zp) a liczbą korytarzy roboczych (Lkr) w przypadku 7 poziomów składowania w regałach w strefie składowania

Źródło: opracowanie własne

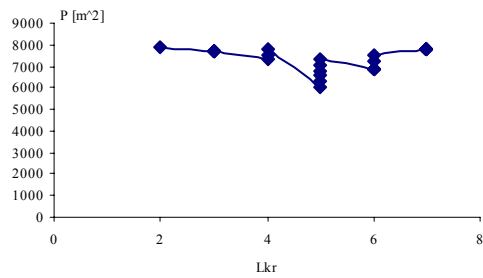


Rys. 7. Zależność pomiędzy liczbą miejsc paletowych (Zp) a liczbą korytarzy roboczych (Lkr) w przypadku 8 poziomów składowania w regałach w strefie składowania

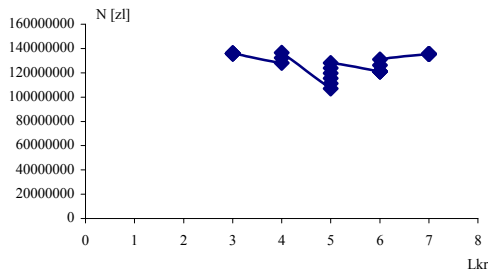
Źródło: opracowanie własne



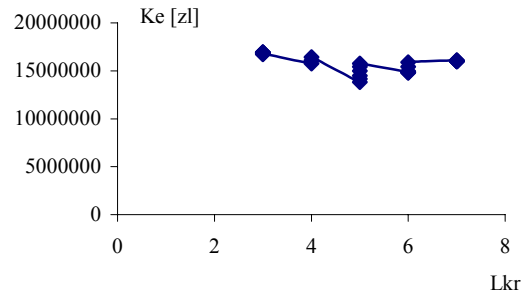
Rys. 8. Zależność pomiędzy liczbą miejsc paletowych (Zp) a liczbą korytarzy roboczych (Lkr) w przypadku 9 poziomów składowania w regałach w strefie składowania
Źródło: opracowanie własne



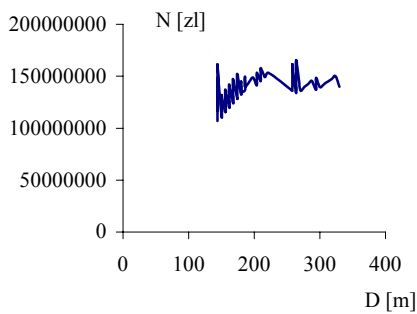
Rys. 9. Zależność pomiędzy powierzchnią magazynu (P) a liczbą korytarzy roboczych (Lkr) w przypadku 7 poziomów składowania w regałach w strefie składowania
Źródło: opracowanie własne



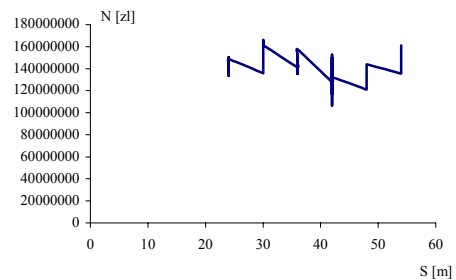
Rys. 10. Zależność pomiędzy nakładami na budowę magazynu (N) a liczbą korytarzy roboczych (Lkr) w przypadku 7 poziomów składowania w regałach w strefie składowania
Źródło: opracowanie własne



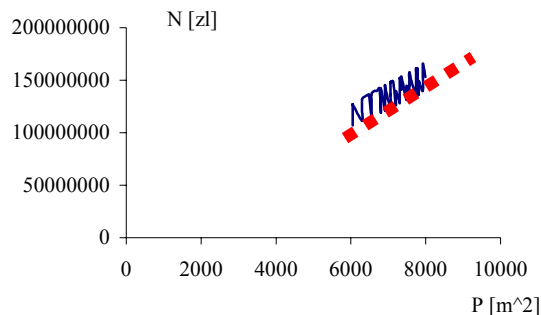
Rys. 11. Zależność pomiędzy kosztami eksploatacyjnymi (Ke) a liczbą korytarzy roboczych (Lkr) w przypadku 7 poziomów składowania w regałach w strefie składowania
Źródło: opracowanie własne



Rys. 12. Zależność pomiędzy nakładami na budowę magazynu (N) a długością magazynu (D)
Źródło: opracowanie własne



Rys. 13. Zależność pomiędzy nakładami na budowę magazynu (N) a szerokością magazynu (S)
Źródło: opracowanie własne



Rys. 14. Zależność pomiędzy nakładami na budowę magazynu (N) a powierzchnią magazynu (P)
Źródło: opracowanie własne

Na rys. 2 - 5 przedstawione zostały szkice przestrzenne dla wybranych wariantów projektowych. Szkice przestrzenne zaprezentowane w artykule wybrano biorąc pod uwagę grupę wskaźników oceny, w której wartości większości wskaźników były minimalne (wariant 11 – rys. 2, 4) oraz grupę wskaźników oceny, w której wartości większości wskaźników były maksymalne (wariant 70 – rys. 3, 5). Nie zdefiniowano najlepszego rozwiązania ze 111 dopuszczalnych wariantów projektowych, ponieważ na wybór jego mają wpływ wielorakie czynniki, w tym również niemierzalne. Ponadto gdyby celem badań byłby wybór najlepszego z rozwiązań, należałoby dokonać dla wszystkich wariantów dodatkowo sparametryzowanej oceny kompleksowej.

Bibliografia

1. Fijałkowski J.: Technologia magazynowania, wybrane zagadnienia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1995
2. Fijałkowski J.: Transport wewnętrzny w systemach logistycznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2002
3. Fijałkowski J.: Przepływy ładunków w systemach logistycznych – pre-script, Politechnika Warszawska, Warszawa, 2003 – 2005
4. Fijałkowski J.: Czynniki kosztów w wymiarowaniu procesów przepływu ładunków w systemach logistycznych, Wybrane Zagadnienia Logistyki Stosowanej, Rocznik nr 5 PAN Komitet Transportu, Oficyna Wydawnicza TEXT, Kraków, 2008
5. Korzeń Z.: Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowani - t. 1,2, Wyd. Instytutu Logistyki i Magazynowania, Poznań 1998
6. Kostrzewski M. Porównanie metod projektowania magazynu – projektowanie wg procedury analitycznej oraz przy użyciu narzędzia symulacyjnego, Prace Naukowe PW seria Transport z. 70: Modelowanie Procesów Transportowych i Logistycznych, cz. II, Warszawa 2009, str. 65-96

WAREHOUSE GEOMETRY SIMULATION STUDIES

Abstract: The article is a summary of research on the impact of the logistics facility geometry on project evaluation quantitative indicators of the facility. Studies are based on the concept of simulation and have been done with using a computer package *OL09*, programmed by the author.

Keywords: building logistics, simulation, warehouse process.