

**KSZTAŁTOWANIE FUNKCJONALNO-PRZESTRZENNE MAGAZYNÓW
Z UWZGLĘDNIENIEM ASPEKTÓW ARCHITEKTONICZNYCH
I LOGISTYCZNYCH**

**SHAPING OF FUNCTIONAL AND SPATIAL WAREHOUSES, INCLUDING
ARCHITECTURAL AND LOGISTIC ASPECTS**

Tomasz CHOJNACKI
t.chojnacki@esperto.eu.com

Politechnika Warszawska
Wydział Transportu

***Streszczenie:** Niniejszy artykuł, oparty o rzeczywisty przypadek projektowy wyjaśnia istotę oceny kompleksowej wielu aspektów projektowania. Celem artykułu jest pokazanie, że częściowa ocena rozwiązania projektowego, oparta o wybrany element bez uwzględnienia wszystkich pozostałych, może doprowadzić do niewłaściwych wyborów przy końcowym wyborze najwłaściwszego wariantu projektowego.*

***Abstract:** This article, based on a real project case, explains the essence of the assessment of comprehensive assessment of many aspects of design. The purpose of the article is to show that a partial assessment of a design solution based on the selected element without considering all the others may lead to the wrong choices when the final selection of the most appropriate design variant is made.*

***Słowa kluczowe:** system składowania, nakłady łączne na halę, koszt przejścia jednostki ładunkowej przez system logistyczny.*

***Keywords:** storage system, total outlay per hall, the cost of moving the unit load through the logistics system.*

WSTĘP

Projektowanie magazynów obejmuje kilka obszarów, które w głównym stopniu decydują o łącznych nakładach początkowych inwestycji oraz późniejszej jego eksploatacji (Chorafas, 1974). W zakresie architektury nakłady dotyczą w głównym stopniu wydatków związanych z budową hali, a koszty z jej utrzymaniem. W zakresie logistyki nakłady i koszty dotyczą technologii magazynowej wykorzystywanej do realizacji procesów magazynowych.

Współzależność wielu elementów w obu ww. obszarach sprawia, że zastosowanie jednych rozwiązań jest korzystne ze względu na określone kryterium (kryteria) i jednocześnie jest niekorzystne ze względu na inne kryterium (kryteria) (Phillips, Lee, 1985; Design, Concept&Planning Group PMI Engineering S.A., 2005).

W artykule przedstawiono analizę i zestawienie wyników końcowych dla przypadku projektowania magazynu o pojemności ok. 20 000 miejsc paletowych oraz przy zachowaniu określonej jego funkcjonalności. Dla łącznych nakładów końcowych oraz kosztów eksploatacyjnych

w zadanym zakresie obliczono końcową wartość parametru: kosztu przejścia jednostki ładunkowej przez system logistyczny, będącej końcowym kryterium oceny rozwiązania projektowego.

1. OPIS PROBLEMU

W projektowaniu magazynów uwzględnia się setki elementów o charakterze technicznym, organizacyjnym i projektowym. Ich parametry i postać determinują ostateczną funkcjonalność oraz kształtują początkowe (nakłady) oraz późniejsze (koszty) wydatki. Niemal wszystkie z tych elementów są wzajemnie powiązane, oddziałując tym samym na siebie na zasadzie sprzężenia zwrotnego (Fijałkowski, 1983; Taylor, 2008). Jako przykłady można tu podać:

- zmianę w wysokości składowanych jednostek ładunkowych przekładającą się na liczbę poziomów składowania, a następnie na wysokość hali, powierzchnię potrzebną na system składowania o określonej pojemności, powierzchnię składowania i końcową powierzchnię oraz przestrzeń wewnętrzną hali magazynowej (Bartholdi, Hackman, 2008);
- różne wartości szerokości korytarza roboczego dla wózków (nawet tego samego typu, ale od różnych producentów) wpływające na tzw. moduł magazynowy, który następnie przekłada się na jakość zagospodarowania powierzchni pomiędzy słupami nośnymi hali oraz końcowy wskaźnik wykorzystania powierzchni magazynowej (Phillips, Lee, 1985);
- wybór technologii w zakresie transportu wewnętrznego determinującej końcową przestrzeń magazynu (np. w temperaturze $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$), a tym samym rzutującą na istotne koszty chłodzenia powietrza w hali;
- parametry związane z ochroną pożarową (ilość i masa składowanych ładunków oraz opakowań, palność składowanych materiałów, powierzchnia magazynu lub, itp.) determinujące maksymalne powierzchnie stref magazynowych oraz wynikającą z tego obecność dodatkowych ścian wydzielających poszczególne strefy i stanowiących jednocześnie dodatkowy nakład finansowy (Fijałkowski, 1983);
- masę składowanych ładunków oraz rozkład obciążeń na słupach regałowych stanowiących obciążenie statyczne, a także obciążenia dynamiczne pochodzące od konkretnych rodzajów wózków, które razem warunkują minimalne nośności posadzki, które następnie wpływają na koszty jej wykonania itp. (Wasiukiewicz, Wolski, 1976).

Analizowanie wzajemnych wpływów wszystkich (setek) elementów występujących w projektowaniu, szczególnie w obliczu częstych sytuacji z elementami nieokreślonymi i/lub trudno mierzalnymi (np. nieprzewidziane wielkości przepływów materiałowych dla procesu komisjonowania, dokładne wielkości temperatury zewnętrznej rzutującej na straty ciepła w magazynie, ceny zakupu regałów zależne od chwilowej ceny stali, zależnej z kolei od czynników

polityczno-ekonomicznych), wymagałoby przygotowania bardzo złożonego i pracochłonnego opracowania, którego końcowa postać w przypadku niewielkiej zmiany niewielu parametrów mogłaby wpływać istotnie na końcową ocenę rozwiązania projektowego. Z tego względu, podejście heurystyczne jest najbardziej racjonalnym podejściem, w którym uzyskane wyniki uzyskują charakter suboptymalny. Podejście to jest stosowane w praktyce (Gudehus, Kotzab, 2012). Zbiór parametrów rzutujących pośrednio i bezpośrednio na końcowe nakłady inwestycji jest przedstawiony w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie najważniejszych elementów generujących nakłady w projektowaniu magazynów oraz koszty w ich eksploatacji

Elementy techniczne	Elementy ekonomiczne, normatywne i prawne	Elementy infrastrukturalne	Elementy organizacyjne
określona funkcjonalność obiektu wynikająca z zastosowanej technologii magazynowej; nakłady na regały magazynowe różnych typów; współczynniki wykorzystania czasu pracy i gotowości urządzeń; przepływy materiałowe; zakup urządzeń dodatkowych; utrzymanie obiektu; energochłonność urządzeń	podatki; ubezpieczenie; koszty przeglądów obiektów; wymogi techniczne dotyczące elementów obiektu (posadzki, hali itp.); wielkość podatków oraz aspekty techniczno-finansowe; wymagania w zakresie ochrony środowiska; minimalne warunki pracy w zakresie organizacji i mikrośrodowiska; cena energii, często zależna od indywidualnych warunków przedsiębiorstwa;	wartości działek inwestycyjnych; nakłady na budowę 1 m ² powierzchni magazynowej oraz osobno biurowo-socjalnej; nakłady na środki transportu różnych typów; ochronę obiektu; koszty eksploatacji oraz serwisowania wszystkich urządzeń; koszty grzania i chłodzenia obiektu; wymiary obiektu i proporcje wymiarów	liczba dni roboczych w roku oraz urlopy i dni wolne; wyposażenie BHP; nakłady na oprogramowanie do sterowania systemami, nakłady na WMS (sprzęt i oprogramowanie, a także licencje); koszty mediów; wywóz nieczystości; koszty zatrudnienia

Źródło: Opracowanie własne.

Część rozwiązań jest oparta o założenia praktyczne (np. ceny rynkowe, wskaźniki funkcjonalne i przestrzenne wynikające z dostępnej technologii), zaś inna część jest trudna do oszacowania i wymaga tym samym dokonania racjonalnych założeń.

Przedstawiony poniżej przypadek stanowi porównanie 6 wariantów projektowych magazynu dystrybucyjnego, dla jednego systemu składowania, dla 2 wariantów głębokości regałów (pojedyncza lub podwójna) oraz dla trzech typów środków transportu: wózki czołowe, wózki z masztem wysuwным, układnice regałowe.

Każdy z przypadków zawiera te same elementy finansowe oraz zakłada konieczność połączenia z obiektem produkcyjnym, z którego dostarczane są jednostki ładunkowe za pomocą systemu przenośników tzw. łańcuchowych. Każdy z wariantów ma wyznaczoną powierzchnię przyjęcia i wydania towarów (strefy czołowe) wynikające z wymiarowania strefy składowania oraz zastosowanej technologii. Planowanie obiektu odbywało się na terenie inwestycyjnym o określonych

wymiarach, co również kolejne ograniczenie projektowe, w tym wypadku geometryczne. Wspomniany teren jest przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Teren inwestycyjny przeznaczony na budowę magazynu i możliwe ukształtowanie proporcji magazynu

Źródło: Opracowanie własne (materiały firmy Esperto).

Celem niniejszej analizy jest udowodnienie, że tylko projektowanie i analiza wszystkich elementów funkcjonowania magazynów może stanowić obiektywny zbiór wskaźników pozwalających na ocenę rozwiązania projektowego. Rozdzielanie analizy na część budowlaną i funkcjonalną (logistykę) czy też uwzględnianie jedynie nakładów początkowych bez późniejszych kosztów funkcjonowania jest błędem prowadzącym do możliwości wyboru rozwiązania projektowego, które ze względu na określone kryterium (finansowe) nie jest najkorzystniejsze (Fijałkowski, 1983).

2. ANALIZA PRZYPADKU

Wszystkie z zaprojektowanych wariantów magazynów charakteryzować się musiały określonymi parametrami technicznymi oraz funkcjonalnością, z których część pozostała ta sama (wymagania projektowe), zaś część była różna (rozwiązania technologiczne). Zestawienie tych elementów przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Zestawienie najważniejszych elementów generujących nakłady w projektowaniu magazynów oraz koszty w ich eksploatacji

Wymagania projektowe -założenia projektowe (elementy podobne)	Rozwiązania technologiczne (elementy różne)
<p>Pojemność magazynu (min. 20 000 miejsc paletowych i ok. 31 000 m³ ładunków); jednostkowe wskaźniki cenowe; rodzaj systemu składowania (system rządowy); wymiary głównym elementów regałów (głębokości ram, wysokości belek nośnych); proporcje długości i szerokości 2:1 (w jednym wypadku 3:1); wielkości przepływów materiałowych.</p>	<p>Głębokość składowania w systemie rządowym (pojedyncza lub podwójna); środki transportu (wózki czołowe, wózki z masztem wysuwającym, układnice regałowe); osprzęt do wózków zależny od głębokości składowania (brak lub pantograf).</p>

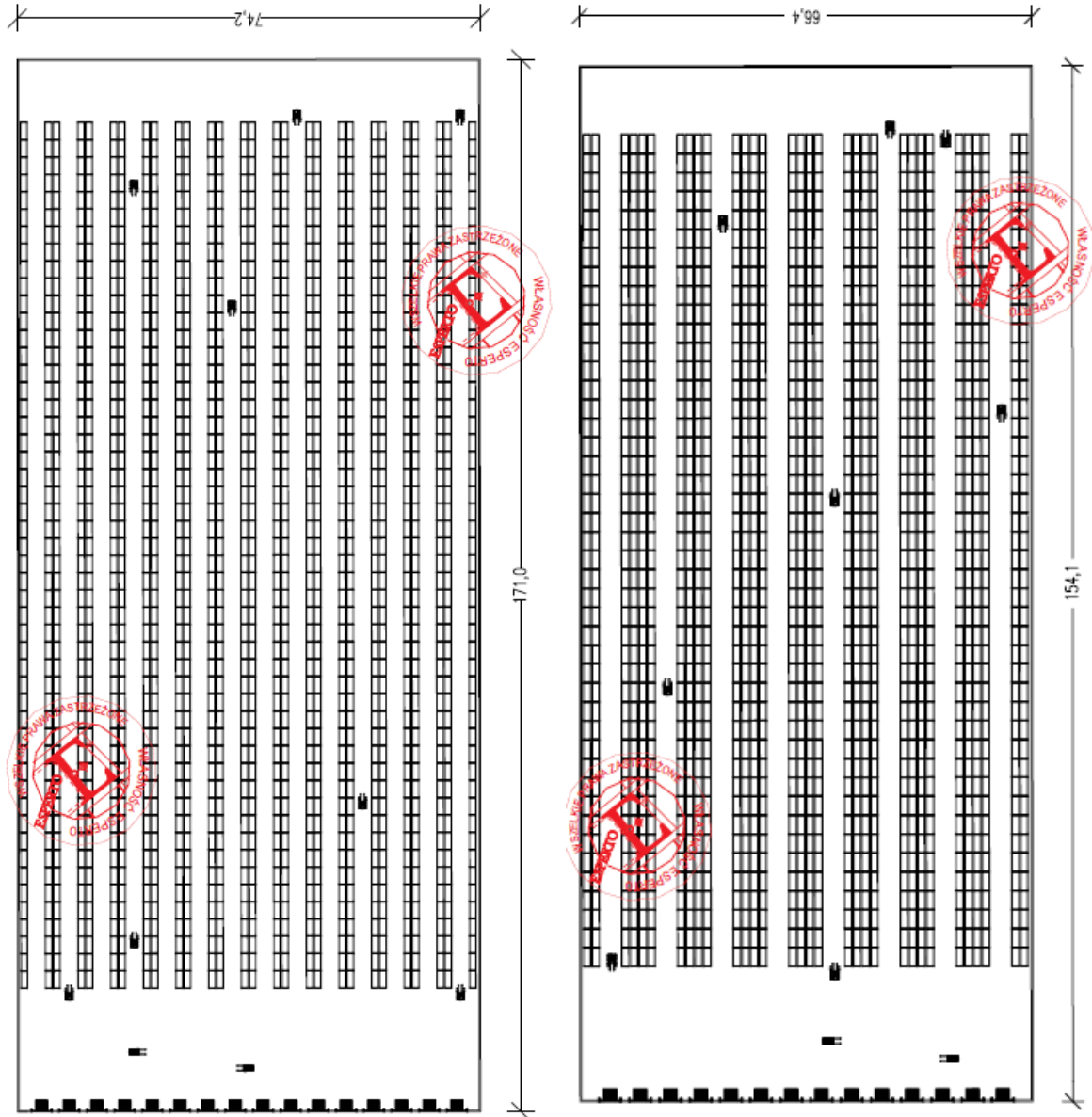
Źródło: Opracowanie własne.

W zależności od przyjętych założeń, a przede wszystkim konkretnych rozwiązań technicznych, uzyskano warianty projektowe różniące się wymiarami obiektu (wymiarów wszystkich ścian obiektu, a tym samym powierzchnia i przestrzeń) i wynikającymi z tego parametrami technicznymi oraz finansowymi. Rozwiązania techniczne dla omawianych wariantów projektowych w zakresie typów środków transportu oraz składowania są przedstawione na rys. 2.



Rys. 2. Zobrazowanie zastosowanych rozwiązań technologicznych w wariantach projektowych
Źródło: Opracowanie własne.

Zastosowane 3 rodzaje środków transportu oraz 2 głębokości systemu regałów rzędowych zwróciły 6 wariantów projektowych. Warianty te przedstawione są na poniższych rysunkach (rysunki 3, 4, 5, 6) i zgrupowane wg zastosowanego środka transportu. Parametry podstawowe omawianych magazynów znajdują się w tabelach 3, 4 i 5.

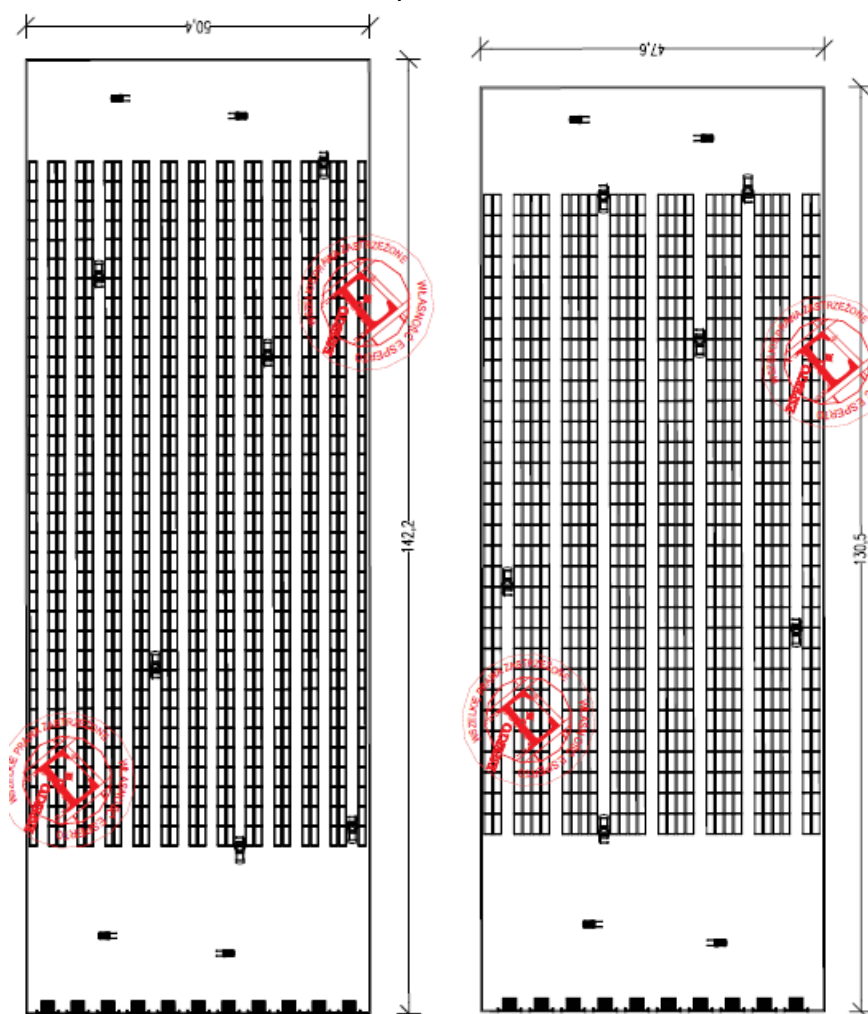


Rys. 3. Szkice 2 wariantów magazynu z zastosowaniem wózków z masztem wysuwным
Źródło: Opracowanie własne (materiały firmy Esperto).

Tabela 3. Opis techniczny oraz parametry finansowe dla przedstawionych wariantów

Charakterystyka systemu	Szerokość korytarza roboczego	Wysokość podnoszenia
reach-truck, regały standard	2450 – 2900 mm	do 12 m
	pojedyncza głębokość	podwójna głębokość
Wymiary magazynu	74,2 x 171,0 m	66,4 x 154,1 m
Powierzchnia składowania	10 462,2 m ²	8 238,9 m ²
Powierzchnia łączna	12 688,2 m ²	10 230,9 m ²
Liczba środków transportu	6+2	6+2
Liczba pracowników	22	22
Nakłady łączne	25 715 570 zł	22 035 000 zł
Koszty roczne łączne	1 473 620 zł	1 471 620 zł

Źródło: Opracowanie własne.



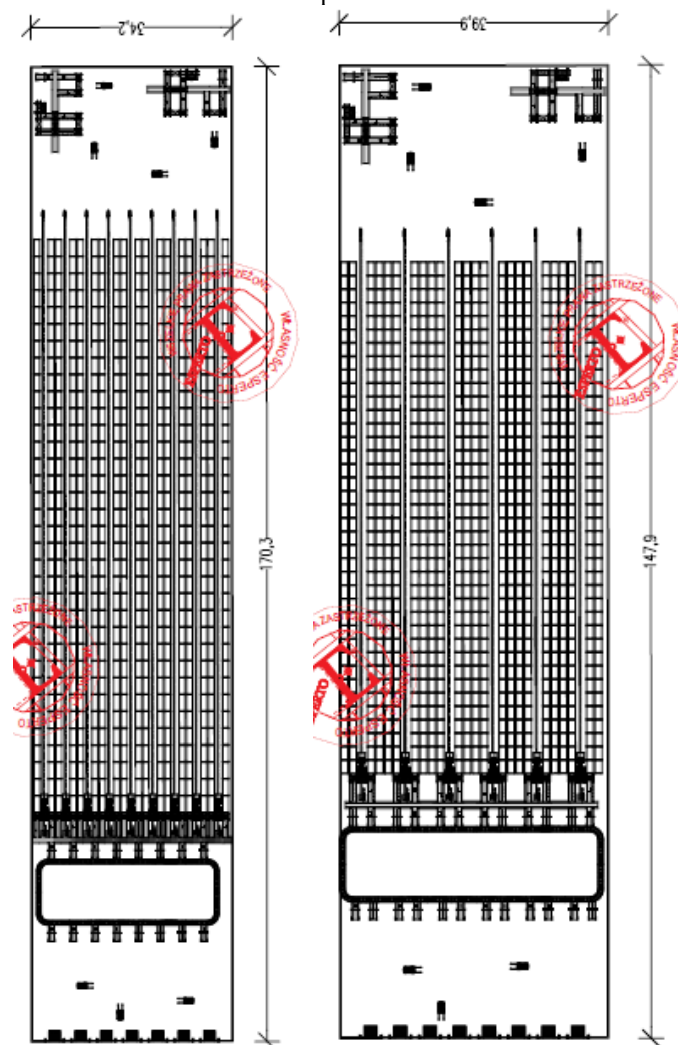
Rys. 4. Szkice 2 wariantów magazynu z zastosowaniem wózków wąskokanałowych

Źródło: Opracowanie własne (materiały firmy Esperto).

Tabela 4. Opis techniczny oraz parametry finansowe dla przedstawionych wariantów

Charakterystyka systemu	Szerokość korytarza roboczego	Wysokość podnoszenia
VNA, regały standard	1600 – 1800 mm	do 17 m
	pojedyncza głębokość	podwójna głębokość
Wymiary magazynu	50,4 x 142,2 m	47,6 x 130,5 m
Powierzchnia składowania	5 150,9 m ²	4 308,8 m ²
Powierzchnia łączna	7166,9 m ²	6212,8 m ²
Liczba środków transportu	6+5	6+5
Liczba pracowników	28	28
Nakłady łączne	19 542 460 zł	18 355 730 zł
Koszty roczne łączne	1 846 662 zł	1 853 162 zł

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 5. Szkice 2 wariantów magazynu z zastosowaniem układnic regałowych

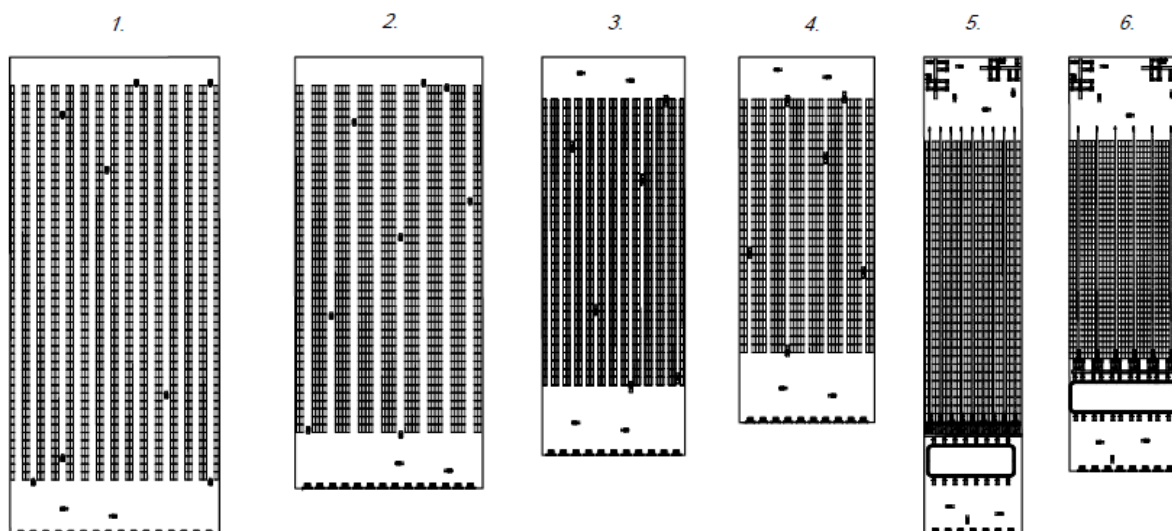
Źródło: Opracowanie własne (materiały firmy Esperto).

Tabela 5. Opis techniczny oraz parametry finansowe dla przedstawionych wariantów

Charakterystyka systemu układnica, regały samonośne	Szerokość korytarza roboczego 1300 – 1600 mm	Wysokość podnoszenia powyżej 40 m
	pojedyncza głębokość	podwójna głębokość
Wymiary magazynu	34,2 x 170,3 m	39,9 x 147,9 m
Powierzchnia składowania	3 430,3 m ²	3 108,2 m ²
Powierzchnia łączna	5 824,3 m ²	5 901,2 m ²
Liczba środków transportu	9+2	6+2
Liczba pracowników	4	4
Nakłady łączne	18 912 500 zł	17 807 830 zł
Koszty roczne łączne	1 142 340 zł	1 142 340 zł

Źródło: Opracowanie własne.

W celu lepszego zobrazowania wielkości i powierzchni projektowanych obiektów, przedstawiono szkice w jednej skali rysunkowej. Rysunek 6 zestawia wszystkie omawiane magazyny.



Rys. 6. Zestawienie graficzne zwymiarowanych magazynów

Źródło: Opracowanie własne (materiały firmy Esperto).

Dla przedstawionych powyżej wariantów projektowych przedstawia się parametry geometryczne obiektów (tabela 6).

Tabela 6. Zestawienie parametrów geometrycznych rozwiązań

Lp.	Wariant projektowy	Wymiary [m]	Powierzchnia [m ²]	Objętość [m ³]	Wsk. wykorzystania powierzchni [m ² /jlp]	Wsk. wykorzystania przestrzeni [m ³ /jlp]
1	RT1	171,0 x 74,2	12 688	177 635	0,60	8,46
2	RT2	154,1 x 66,4	10 231	143 233	0,48	6,78
3	VNA1	142,2 x 50,4	7 167	113 995	0,36	5,65
4	VNA2	130,5 x 47,6	6 213	97 098	0,30	4,66
5	AS1	170,3 x 34,2	5 824	104 909	0,29	5,19
6	AS2	147,9 x 39,9	5 901	100 049	0,29	4,99

Źródło: Opracowanie własne.

Dla przedstawionych rozwiązań dokonano obliczeń nakładów łącznych finansowych na budowę obiektów, a także kosztów eksploatacyjnych w okresie 1 roku (tabela 7).

Tabela 7. Zestawienie nakładów finansowych oraz kosztów rocznych na funkcjonowanie obiektów

PARAMETR FINANSOWY	Wariant RT1	Wariant RT2	Wariant VNA1	Wariant VNA2	Wariant AS1	Wariant AS2
Nakłady na budynek	16 111 960 zł	13 012 480 zł	10 330 170 zł	8 955 590 zł	5 200 480 zł	4 966 510 zł
Nakłady na regały	1 670 550 zł	1 676 600 zł	1 699 200 zł	1 750 980 zł	1 722 240 zł	1 854 600 zł
Nakłady na środki transportu	1 778 000 zł	1 778 000 zł	2 608 750 zł	2 982 500 zł	6 916 500 zł	5 896 500 zł
Nakłady na sterowanie	675 000 zł	675 000 zł	675 000 zł	675 000 zł	1 195 000 zł	1 195 000 zł
Nakłady na pozostałe wyposażenie	3 198 060 zł	2 610 920 zł	1 947 340 zł	1 709 660 zł	1 596 280 zł	1 613 220 zł
Nakłady na przenośnik zewnętrzny	2 282 000 zł	2 282 000 zł	2 282 000 zł	2 282 000 zł	2 282 000 zł	2 282 000 zł
Łączne nakłady finansowe	25 715 570 zł	22 035 000 zł	19 542 460 zł	18 355 730 zł	18 912 500 zł	17 807 830 zł
Koszty roczne pracy urzędzeń	216 980 zł	214 980 zł	287 302 zł	293 802 zł	913 860 zł	913 860 zł
Koszty roczne pracy ludzkiej	1 256 640 zł	1 256 640 zł	1 559 360 zł	1 559 360 zł	228 480 zł	228 480 zł
Koszty roczne łączne	1 473 620 zł	1 471 620 zł	1 846 662 zł	1 853 162 zł	1 142 340 zł	1 142 340 zł

Źródło: opracowanie własne.

W zależności od kryterium oceny rozwiązania projektowego, kolejność atrakcyjności rozwiązań może być różna (Fijałkowski, 1983). Ze względu na zakup środków transportu, rozwiązanie AS1 oraz AS2 wypada znacznie gorzej od pozostałych rozwiązań. Podobnie wygląda element łącznych kosztów pracy środków transportu.

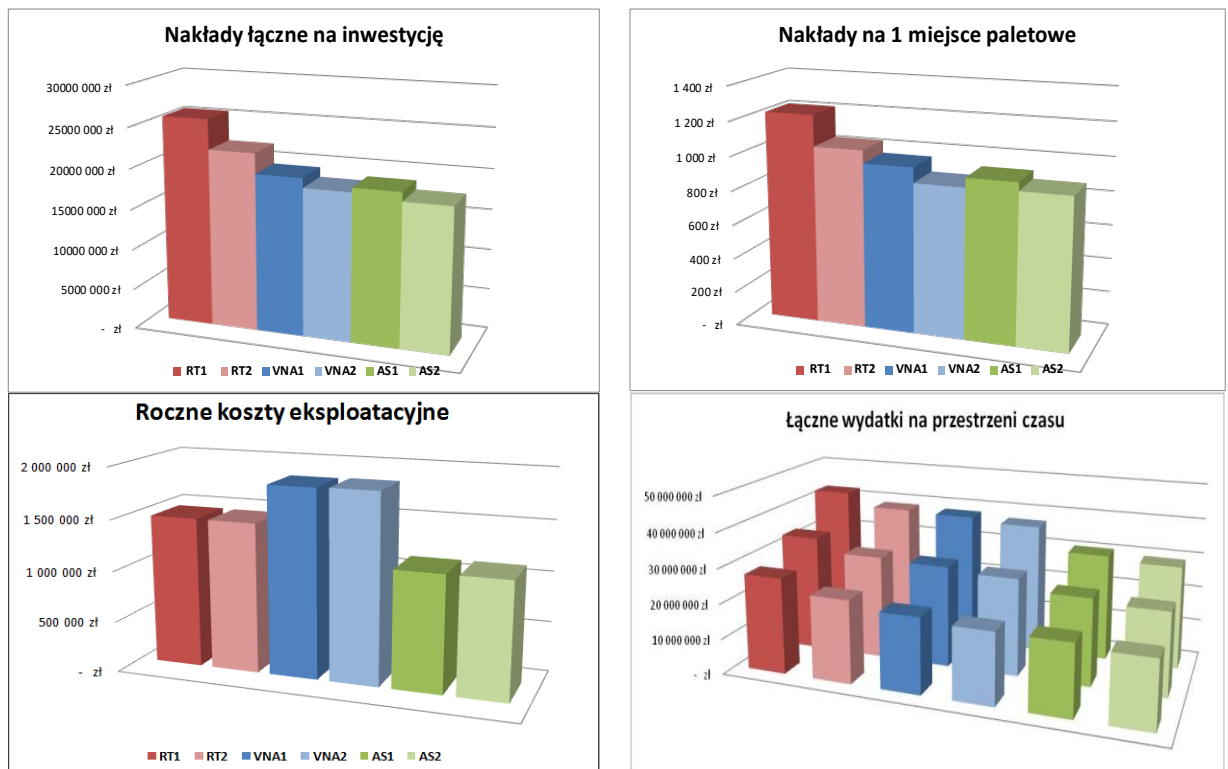
Gdyby jako kryterium końcowe uwzględnić nakład na 1 miejsce paletowe, najlepszym rozwiązaniem byłby wariant VNA2 (wartości przedstawione są w tabeli 8).

Tabela 8. Łączne i jednostkowe nakłady na budowę

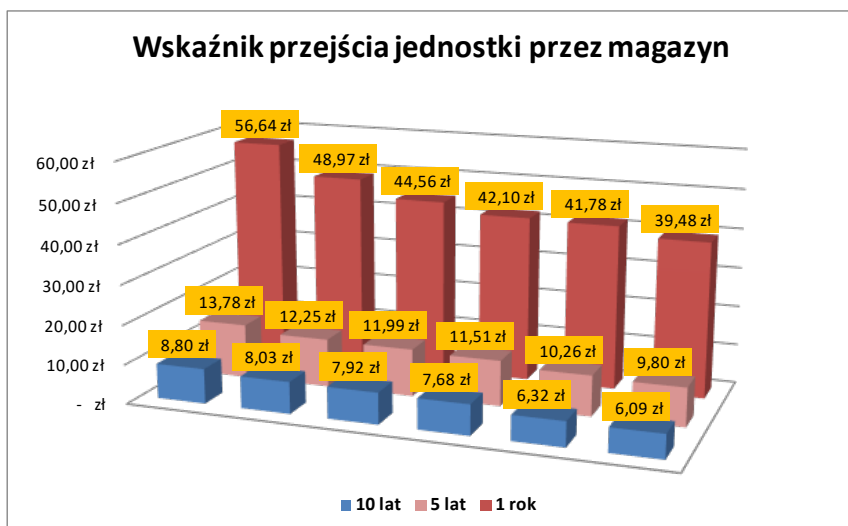
	RT1	RT2	VNA1	VNA2	AS1	AS2
Nakłady łączne	25 715 570 zł	22 035 000 zł	19 542 460 zł	18 355 730 zł	18 912 500 zł	17 807 830 zł
Nakład na 1 msc. pal.	1 225 zł	1 043 zł	969 zł	881 zł	936 zł	888 zł

Źródło: Opracowanie własne.

Mnogość kryteriów oraz bardzo różne przypadki indywidualne występujące w przemyśle powodują, że miarodajna oraz obiektywna ocena porównawcza określonych wariantów projektowych wymaga sformułowania wspólnego kryterium oceny. Ponieważ element finansowy występujący w inwestycjach jest jednym z głównych kryteriów oceny, a same inwestycje planowane są na wiele lat, przyjmuje się, że najbardziej obiektywnym kryterium oceny jest tzw. wskaźnik kosztu przejścia jednostki logistycznej przez system.



Rys. 7. Różne wartości finansowe poszczególnych kryteriów dla poszczególnych wariantów
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 8. Wartości wskaźnika kosztu przejścia jednostki przez magazyn

Źródło: Opracowanie własne.

Dla przedstawionych obliczeń i wg przyjętego kryterium oceny wariantu projektowego jakim jest wskaźnik kosztu przejścia jednostki przez system logistyczny przedsiębiorstwa (magazyn) najbardziej opłacalnym finansowo wariantem jest wariant AS2. Wariant AS2 złożony jest z układnic regałowych pracujących w środowisku regałów rzędowych podwójnej głębokości.

PODSUMOWANIE

Przedstawione w niniejszym artykule przypadki opisują wyniki projektowania dla różnych systemów składowania i transportu. Należy pamiętać, że efekty tych obliczeń zdeterminowane zostały wymaganiami początkowymi, które pochodzą z rzeczywistego przypadku biznesowego. Dla innych wartości tych przypadków (np. magazyn o pojemności 75% mniejszej lub o przepływach materiałowych 2-krotnie większych) wyniki byłyby inne, a tym samym wartości przyjętych wskaźników oceny również zmieniłyby kolejność atrakcyjności rozwiązań.

Należy również pamiętać, że część parametrów finansowych, ze względu na uwarunkowania zewnętrzne oraz czynniki trudno mierzalne (marże dostawców hali i technologii magazynowej, czasy i koszty realizacji inwestycji, koszty produkcji urządzeń itd.) została oparta o wskaźniki pochodzące z rzeczywistych przypadków zrealizowanych w przemyśle. Poziom dokładności obliczeń jest zatem zachowany na racjonalnym poziomie.

Analiza atrakcyjności rozwiązań, uwzględniająca łączne wydatki w okresie 10 lat, pokazuje pewną zależność polegającą na wzroście opłacalności określonych rozwiązań w zależności od zastosowanej technologii oraz upływu czasu, weryfikując tym samym tezę, że tylko pełna ocena finansowa jest uczciwym kryterium oceny projektu. Bez przyjęcia takiego sposobu postępowania,

podjęcie decyzji o wyborze typu inwestycji mogłoby doprowadzić inwestora do istotnych strat finansowych.

LITERATURA

- [1] BARTHOLDI, J. J., & HACKMAN, S. T. (2008). *Warehouse & Distribution Science: Release 0.89* p. 13. Atlanta: Supply Chain and Logistics Institute.
- [2] CHORAFAS, D. (1974). *Warehousing*. The Mcmillan Press LTD.
- [3] DESIGN, CONCEPT&PLANNING GROUP PMI ENGINEERING S.A. (2005) *Guidelines for Material Storage & Handling in the Cigarette Industry*.
- [4] FIJAŁKOWSKI, J. (1983). *Projektowanie magazynów wysokoregalowych*. Wydaw. Arkady.
- [5] GUDEHUS, T., & KOTZAB, H. (2012). *Comprehensive logistics*. Springer Science & Business Media.
- [6] PHILLIPS, E., LEE, Q. (1985). *Warehouse Modernization and Layout Planning*. Department of the Navy Naval Supply Systems Command, NAVSUP Publication 529.
- [7] TAYLOR, G. D. (Ed.). (2007). *Logistics engineering handbook*. CRC press.
- [8] WASIUKIEWICZ, Z., WOLSKI M. (1976). *System Konstrukcyjno-Montażowy Żelbetowych Prefabrykowanych Hal Przemysłowych*. Arkady Warszawa.