
Ocena wybranych hal magazynowych pod kątem optymalnego projektowania powierzchni użytkowych

Barbara Piesiak

Politechnika Wrocławska

e-mail: basiapiesiak@gmail.com

Sylvia Werbińska-Wojciechowska

Politechnika Wrocławska

e-mail: sylvia.werbinska@pwr.edu.pl

ORCID: [0000-0002-9228-982X](https://orcid.org/0000-0002-9228-982X)

© 2025 Barbara Piesiak, Sylvia Werbińska-Wojciechowska

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe (CC BY 4.0).

Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cytuj jako: Piesiak, B., Werbińska-Wojciechowska, S. (2025). Ocena wybranych hal magazynowych pod kątem optymalnego projektowania powierzchni użytkowych. W: B. Detyna (red.). *Młodzi logiści w nauce. Studenckie Zeszyty Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa nr 7/2025* (s. 40–59). Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

DOI: [10.71433/2025.96.3.04](https://doi.org/10.71433/2025.96.3.04)

JEL Classification: L91, M11, D24, Q22

■ **Streszczenie:** Artykuł przedstawia optymalny projekt hal magazynowych na wybranym gruncie. Na podstawie analizy publikacji naukowych przedstawiono charakterystykę współczesnych typów hal magazynowych. Następnie za pomocą wybranych parametrów logistycznych dokonano ich oceny, co pozwoliło na wyłonienie trzech najlepszych koncepcji, które zostały zaprezentowane w programie AutoCAD. Poprzez analizę wskaźnikową, kosztową oraz energooszczędnościową opracowano rozwiązanie optymalne. Artykuł kończy prezentacja wniosków z wykonanych badań.

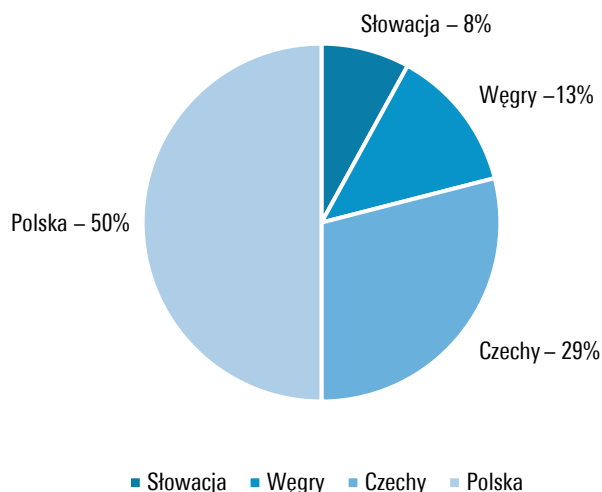
■ **Słowa kluczowe:** magazyn, wskaźniki logistyczne, energooszczędność, inwestycja

1. Wstęp

Współczesny świat, napędzany konsumpcjonizmem, dynamicznie przekształca gospodarkę. Rosnący dostęp do technologii ułatwia szybkie nabywanie produktów, co przekłada się na wzrost znaczenia logistyki dystrybucji i magazynowania. Wytwarzanie stało się punktem wyjściowym dla procesów dystrybucji, w których kluczową rolę odgrywa dostarczanie dóbr zgodnie z oczekiwaniami klienta (Bartol i Tylicki, 2018). Rozwój handlu internetowego zastąpił tradycyjne zakupy, zwiększając liczbę transakcji i zapotrzebowanie na powierzchnie magazynowe.

Polska, dzięki strategicznemu położeniu w Europie, po dołączeniu do Unii Europejskiej, jest nazywana magazynem centralnej Europy. Udział kraju w ogólnej powierzchni magazynowej re-

gionu wynosi aż 50%, co znacząco przewyższa wyniki innych państw (rys. 1) (Allekurier.pl, b.d.). Rosnące zainteresowanie inwestorów nabywaniem gruntów pod budowę magazynów wymaga jednak szczegółowych analiz aktualnych trendów oraz wyboru optymalnych rozwiązań projektowych spośród opcji dostępnych hal.



Rys. 1. Udział krajów Europy w ogólnej powierzchni magazynowej

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Allekurier.pl, b.d.).

Celem artykułu jest przedstawienie przykładu analizy wyboru magazynu na podstawie określonych wskaźników logistycznych. Uwzględniono przy tym zarówno aspekty techniczno-organizacyjne, jak i efektywność ekonomiczną oraz środowiskową, co pozwala na kompleksową ocenę dostępnych rozwiązań w kontekście współczesnych wymagań branży logistycznej.

W związku z tym w kolejnym punkcie przedstawiono charakterystykę badanego problemu, następnie skupiono się na analizie porównawczej hal magazynowych. Skoncentrowano się na trzech typach magazynu – *big box*, *cross dock* i SBU. W punkcie 4. przedstawiono wyniki przeprowadzonej analizy wskaźnikowej. Pracę kończy podsumowanie prezentujące najważniejsze wnioski z analiz.

2. Charakterystyka problemu

Podstawowym zadaniem logistyki magazynowej jest przechowywanie różnorodnych materiałów. Realizacja tej funkcji wymaga budowy odpowiednich obiektów infrastrukturalnych, takich jak hale magazynowe (DL Invest Group, 2022). Dla młodego przedsiębiorcy dążącego do rozwoju w branży magazynowej kluczowe pytania przedstawione na rysunku (rys. 2) mogą stanowić cenne wskazówki.



Czy warto inwestować w magazyny?



W jaki rodzaj magazynu najlepiej zainwestować?

Rys. 2. Kluczowe pytania w branży magazynowej

Źródło: opracowanie własne.

Odpowiedź na pierwsze pytanie wymaga szczegółowej analizy polskiego rynku magazynowo-przemysłowego. Dane historyczne wskazują na dynamiczny rozwój tej branży. W latach 2010–2022 wielkość zasobów magazynowych wzrosła z 6,3 mln m² do ponad 28 mln m², co stanowi ponad czterokrotny wzrost powierzchni przeznaczonej na magazyny. Pod koniec roku 2022 całkowita powierzchnia magazynowa wyniosła 28 305 750 m² (Obwieszczenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r.; Dudziński i Kizyn, 2002). Szczególną rolę w tym rozwoju odegrał wzrost handlu internetowego, który znacząco wpłynął na zapotrzebowanie na powierzchnie magazynowe. Okres pandemii COVID-19, mimo ogólnego kryzysu gospodarczego, przyczynił się do stabilizacji i dynamicznego rozwoju rynku magazynowego w Polsce. Wprowadzone obostrzenia zmusiły konsumentów do korzystania z zakupów online, co zwiększyło popyt na logistykę magazynową.

W efekcie w 2020 roku wartość inwestycji w sektorze logistycznym była o 81% wyższa niż w roku 2019 (Dudziński i Kizyn, 2002). Po zakończeniu pandemii tempo rozwoju branży magazynowej nieco spowolniło. Niemniej jednak, mimo trudnych warunków gospodarczych, takich jak wojna w Ukrainie i globalna niepewność gospodarcza, sektor logistyki w Polsce nadal się rozwija (Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r.). Z powyższych analiz wynika, że inwestowanie w magazyny stanowi dziś obiecującą i przyszłościową formę lokowania kapitału.

W celu znalezienia odpowiedzi na drugie pytanie (rys. 2) dokonano szczegółowej oceny trendów hal magazynowych pod kątem rozwoju wspomnianego działu logistycznego w Polsce. W projekcie wybrano działkę rzeczywistą ze względu na wiarygodność późniejszych analiz. Do oceny hal magazynowych wykorzystano trzy kluczowe parametry (tab. 1). Pierwszym jest rodzaj składowania materiałów w magazynie. Dobrano go na podstawie analizy wykresu z raportu rynkowego „Logistics Avenue”, w którym widoczny jest duży wzrost popytu na sieci handlowe i operatorów logistycznych na przestrzeni lat. W tego typu magazynach przechowywane są materiały standardowe, niewymagające wyjątkowych warunków podczas ich składowania. Drugą specyfikacją, na której są oparte dalsze badania, jest całkowita powierzchnia użytkowa magazynu, która jest odgórnie narzucona przez wybraną działkę i wynosi 11 875 m². W związku z tym wszystkie propozycje hal o większej powierzchni należy odrzucić, ponieważ nie będą spełniały wspomnianego warunku. Ostatnim parametrem służącym do wyboru magazynu jest jego wysokość składowania. W tym przypadku górna granica parametru jest również ustalona przez standardy działki i wynosi do 10 m. Z tego powodu rodzaje hal z minimalną wysokością wyższą niż podana należy wyeliminować.

Tabela 1. Parametry logistyczne

Parametry logistyczne	
Rodzaj składowania	Sieci handlowe, operatorzy logistyczni
Powierzchnia użytkowa [m ²]	11 875
Wysokość składowania [m ²]	10

Źródło: opracowanie własne.

Podstawowym oraz najbardziej rozpoznawalnym podziałem hal magazynowych jest klasyfikacja ze względu na rodzaj budowli (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r.) wyróżniająca:

- **magazyny otwarte** – umożliwiające składowanie towarów odpornych na warunki pogodowe (place),
- **magazyny półotwarte** – dające częściową ochronę przed warunkami atmosferycznymi (wiaty),
- **magazyny zamknięte** – gwarantujące całkowitą osłonę obiektów wymagających kontrolowanych warunków, takich jak temperatura, wilgotność czy zabezpieczenia przed substancjami chemicznymi; ze względu na trendy panujące na rynku światowym w dalszej części charakterystyki przeanalizowano najbardziej popularne ich rodzaje pod kątem wybranych parametrów logistycznych (tab. 2).

Tabela 2. Ogólna charakterystyka hal magazynowych zamkniętych pod kątem wybranych parametrów

Rodzaje magazynów zamkniętych	Charakterystyka
<i>High bay</i>	▪ Powierzchnia dowolna ▪ Wysokość od 12 m ▪ Materiały wszelkiego rodzaju
<i>Big box</i>	▪ Moduł magazynowy 2000 m² i więcej (Giermakowska i Kurek, 2022) ▪ Wysokość – 10 m (DL Invest Group, 2022) ▪ Materiały wszelkiego rodzaju
Chłodnie i mroźnie	▪ Powierzchnia ok. 3000 m² (Konspekt.eu, b.d.) ▪ Wysokość 12 m (Kisiel i Zwolińska, 2011) ▪ Produkty spożywcze
<i>Cross dock</i>	▪ Moduły 12 x 24 m (Giermakowska i Kurek, 2022), a głębokość min. 48 m ▪ Wysokość 6m oraz głębokość 48 m (Korzeniowska, b.d.) ▪ Materiały standardowe dla sieci handlowych, firm kurierskich i operatorów logistycznych (Logistics Avenue, 2021)
<i>Data center</i>	▪ Powierzchnia dowolna ▪ Wysokość dowolna ▪ Materiały IT

SBU	▪ Moduł magazynowy od 500 m² (Giermakowska i Kurek, 2022) ▪ Wysokość 10 m (Mecelux.pl, b.d.) ▪ Materiały wszelkiego rodzaju
<i>Dark storage</i>	▪ Powierzchnia dowolna ▪ Wysokość 10 m ▪ Materiały o krótkim terminie ważności, konieczna szybka dostawa do klienta
<i>Self storage</i>	▪ Powierzchnia modułu od 1 m² ▪ Wysokość do ok. 2,5 m ▪ Materiały wszelkiego rodzaju

Źródło: opracowanie własne.

W następnym kroku dokonano oceny wszystkich wyróżnionych wcześniej hal magazynowych dostępnych na rynku. Wartości parametru dla wybranego magazynu, które mieszczą się w granicach ustalonych wcześniej parametrów logistycznych, oznaczono symbolem „1”, a wszelkie inne propozycje rozwiązań, które nie odpowiadają założonym wymaganiom – symbolem „0”. W tabeli 3 przedstawiono wyniki przeprowadzonej oceny.

Tabela 3. Ocena hal magazynowych

Nr	Podstawowy podział	Nazwa rodzaju	Parametry logistyczne			Suma
			powierzchnia całkowita magazynu	wysokość magazynu	rodzaj składowania	
1	otwarte	plac magazynowy	1	1	0	2
2	półotwarte	namiotowe	1	1	0	2
3	zamknięte	<i>high bay</i>	1	0	1	2
4		<i>big box</i>	1	1	1	3
5		chłodnie i mroźnie	1	0	0	1
6		<i>cross dock</i>	1	1	1	3
7		<i>data center</i>	1	1	0	2
8		SBU	1	1	1	3
9		<i>dark storage</i>	1	1	0	2
10		<i>self storage</i>	1	0	1	2

Źródło: opracowanie własne.

Z analizy wynika, że do składowania uniwersalnych materiałów na wybranym gruncie najlepszym rozwiązaniem są magazyny zamknięte. Najlepiej oceniono magazyny typu *big box*, *cross dock* oraz SBU. W dalszej części pracy zostaną one poddane szczegółowej charakterystyce pod kątem dobrej działalności.

3. Analiza porównawcza hal magazynowych

W celu wyboru optymalnego rozwiązania kolejnym krokiem jest wizualizacja koncepcji każdego z trzech rodzajów magazynów wybranych jako najlepsze podczas oceny dostępnych hal. W projekcie skupiono się na maksymalizacji zagospodarowania dostępnej przestrzeni. Niewykorzystana powierzchnia magazynowa jest powodem marnotrawstw, takich jak oczekiwanie, zbędny transport oraz zbędny ruch. Dodatkowo największym minusem niezagospodarowania dostępnej powierzchni są koszty, które należy płacić za grunt nieprzynoszący zysku. W związku z tym w dalszej części artykułu skupiono się na koncepcji projektowej magazynu, która wykorzysta najwięcej dostępnej powierzchni.

W ramach projektowania wybranych koncepcji hal magazynowych stworzono wizualizację w programie AutoCAD na mapie zasadniczej (skala 1:1500) wybranego gruntu, dokonując pełnego zwymiarowania jego obrysu. Layout zaprojektowano zgodnie z wymaganiami prawa budowlanego, w tym minimalnymi odległościami od granicy działki – 4 m dla ścian z oknami lub drzwiami; 3 m dla ścian bez otworów (Miszewski, 2019). Ze względu na istniejącą drogę dojazdową równoległą do ulicy obiekty zaprojektowano z frontem skierowanym ku tej drodze. Na pozostałych stronach działki, gdzie nie ma planowanych dróg dojazdowych, uwzględniono jedynie wymagane odległości obrysowe, bez projektowania okien lub drzwi.

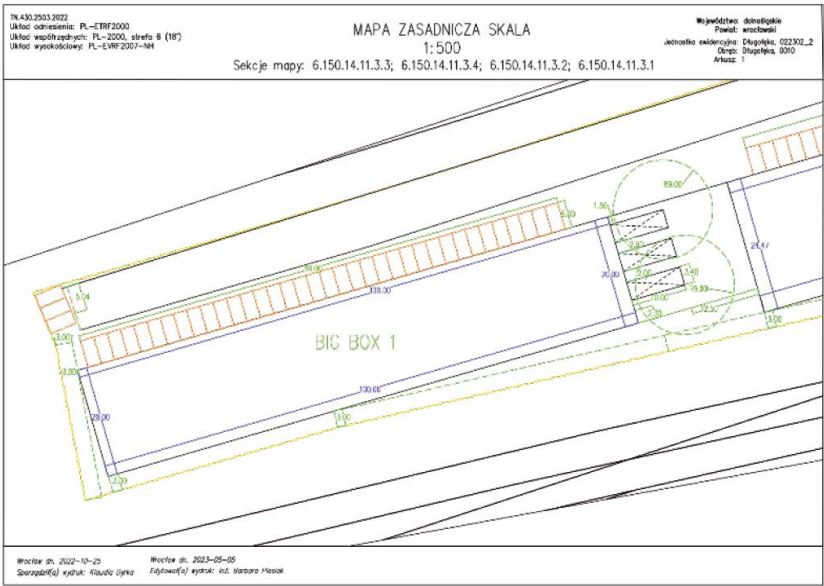
Pierwszym projektowanym rodzajem magazynu na działce według oceny hal magazynowych jest *big box*. Moduły tego rodzaju magazynu mają od 2000 m². Na wybranym gruncie udało się zmieścić 2 obiekty tego typu, o powierzchni odpowiednio 2000 m² oraz 3859,16 m². Zaprojektowano również doki przeładunkowe do każdej hali magazynowej. Według Macieja Szczepińskiego standardowo 1 dok oferuje się na około 300 m² powierzchni magazynu (Korzeniowska, b.d.). W kolejnym kroku wykonano odpowiednie obliczenia ustalające liczbę doków dla każdego magazynu typu *big box*. Za pomocą symbolu L oznaczono maksymalną liczbę doków, a ich numeracja odpowiada numerowi wybranego obiektu magazynowego:

$$L1 = 2000 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 6,67 \Rightarrow \text{po uwzględnieniu kształtu działki} - 3 \text{ doki},$$

$$L2 = 3859,16 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 12,86 \Rightarrow \text{po uwzględnieniu kształtu działki} - 13 \text{ doków}.$$

Następnie zaplanowano drogi dojazdowe. Założono, że szerokość takiej jezdni może być nie mniejsza niż 8 m ze względu na dwa kierunki jazdy oraz konieczność wykonywania manewrów przez samochody ciężarowe. W celu stworzenia możliwości zawracania przy dokach przeładunkowych uwzględniono normę, która mówi, że „dla samochodów ciężarowych plac manewrowy powinien mieć promień nie mniejszy niż 9,0 m lub kształt kwadratu o wymiarach nie mniejszych niż 12,5 m x 12,5 m” (Nowakowska-Grunt i Starostka-Patyk, 2017). W ostatnim kroku zagospodarowania przestrzeni zaprojektowano miejsca parkingowe dla pracowników z uwagi na normę dotyczącą stanowisk postojowych dla wybranych pojazdów (SEGRO, 2021). W celu maksymalnego wykorzystania dostępnej powierzchni na działce umieszczono 94 miejsca parkingowe dla samochodów osobowych – o wymiarach 2,5 m x 5 m – oraz 2 miejsca parkingowe dla samochodów ciężarowych – o wymiarach 3 m x 15 m. W dalszej części tekstu załączono zdjęcie fragmentu layoutu magazynów typu *big box* (rys. 3) z uwzględnieniem wszystkich omawianych etapów. Kolorem zielonym zaznaczono wszystkie linie pomocnicze opierające się na prawie budowlanym

(okręgi o promieniu 9 m w skrajnych punktach wyjazdów z doków przeładunkowych, odległości 3 m od granicy działki i wszelkie wymiary poza powierzchnią magazynu), kolorem pomarańczowym – miejsca parkingowe, a niebieskim – zwymiarowane magazyny *typu big box*. Kolor żółty to obrys działki.



Rys. 3. Fragment layoutu *big box*

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Tabela zbiorcza powierzchni dla rozwiązania nr 1 – *big box*

Powierzchnia magazynowa			
<i>Big box</i>	1	2	suma [m2]
Głębokość [m]	100,00	24,47	
Szerokość [m]	20	157,71	
Powierzchnia [m ²]	2000,00	3859,16	5859,16
Powierzchnia przeładunkowa			
Liczba doków przeładunkowych [j.]	3	13	suma [m ²]
Powierzchnia doku przeładunkowego [m ²]	34		
Łączna powierzchnia [m ²]	102,00	442,00	544,00
Powierzchnia placu manewrowego			
Nr	1	2	suma [m2]
Długość boku a [m]	22,50	18,24	
Długość boku b [m]	27,48	20,00	
Powierzchnia [m ²]	618,30	364,70	983,00

Powierzchnia parkingowa			
Liczba miejsc parkingowych [j.]	39	55	suma [m ²]
Powierzchnia miejsca parkingowego [m ²]	12,50		
Łączna powierzchnia [m ²]	487,50	687,50	
Liczba miejsc parkingowych dla ciężarówek [j.]	2		
Powierzchnia miejsca parkingowego ciężarówki [m ²]	45,00		1265,00
Całkowita zajęta powierzchnia [m ²]			8651,17

Źródło: opracowanie własne.

W celu podsumowania w tab. 4 zebrano wszystkie dane dotyczące powierzchni magazynowej, parkingowej, manewrowej oraz przeładunkowej. Reasumując, należy stwierdzić, że powierzchnia całkowita zajęta dla rozwiązania 1 wynosi 8651,17 m², w tym 5859,16 m² zajmują magazyny typu *big box*, 544,00 m² – doki przeładunkowe, 983,00 m² – place manewrowe, a 1265,00 m² – miejsca postojowe dla samochodów osobowych oraz ciężarowych.

Drugim projektowanym rodzajem magazynu na działce według oceny hal magazynowych jest *cross dock*. Moduły tego rodzaju magazynu mają wymiar 12 m x 24 m, a ich standardowa głębokość magazynu to 48 m. Po analizie gruntu udało się zmieścić 3 obiekty omawianego typu o powierzchni odpowiednio: 576 m², 1152 m² oraz 1152 m². Zaprojektowano również doki przeładunkowe do każdej hali magazynowej. Wyjątkiem od standardu jest wspomniany rodzaj magazynu, ponieważ dla tego typu współczynnik się zwiększa do około 110 m² na jeden dok (Korzeniowska, b.d.). W kolejnym kroku wykonano odpowiednie obliczenia ustalające maksymalną liczbę doków dla każdego magazynu typu *cross dock*:

$L1 = 576 \text{ m}^2 / 110 \text{ m}^2 \approx 5,24 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 4 doki,

$L2 = 1152 \text{ m}^2 / 110 \text{ m}^2 \approx 10,47 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 10 doków,

$L3 = 1152 \text{ m}^2 / 110 \text{ m}^2 \approx 10,47 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 10 doków.

Następnie zaprojektowano drogi dojazdowe, place manewrowe oraz miejsca parkingowe w oparciu o wcześniej omówione normy. W dalszej części tekstu załączono zdjęcie fragmentu layoutu rozwiązania typu *cross dock* na wybranym gruncie (rys. 4).

Tabela 5. Tabela zbiorcza powierzchni dla rozwiązania nr 2 – *cross dock*

Powierzchnia magazynowa				
<i>Cross dock</i>	1	2	3	suma [m ²]
Głębokość [m]	48,00	48,00	48,00	
Szerokość [m]	12	24	24	
Powierzchnia [m ²]	576,00	1152,00	1152,00	
2880,00				
Powierzchnia parkingowa				
Liczba miejsc parkingowych [j.]	17	42	17	suma [m ²]
Powierzchnia miejsca parkingowego [m ²]	12,50			
Łączna powierzchnia [m ²]	212,50	525,00	212,50	950,00

Powierzchnia przeładunkowa					
Liczba doków przeładunkowych [j.]	4	10	10	suma [m ²]	
Powierzchnia doku przeładunkowego [m ²]	34				
Łączna powierzchnia [m ²]	136,00	340,00	340,00	816,00	
Powierzchnia placu manewrowego					
Nr	1,00	2	3	4	suma [m ²]
Długość boku a [m]	29,71	34,07	41,03	42,57	
Długość boku b [m]	29,98	34,83	42,53	42,57	
Wysokość h [m]	12,50	12,50	12,50	12,50	
Powierzchnia [m ²]	373,06	430,63	522,25	532,13	1858,06
Całkowita zajęta powierzchnia [m ²]					6504,06

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 5 jest podsumowaniem wykonanych analiz dla magazynów typu *cross dock* na wybranym gruncie. Powierzchnia całkowita zajęta dla rozwiązania 2 wynosi 6504,06 m², w tym: 2880,00 m² zajmują hale, 816,00 m² – doki przeładunkowe, 1858,06 m² – place manewrowe, a 950,00 m² – parkingi dla pracowników.

Ostatnim wybranym rodzajem hal wybranym podczas oceny jest SBU. Magazyny tego typu mają powierzchnię minimalną 500 m², a ich maksymalna głębokość mieści się w granicach 30-40 m. Ze względu na wspomniane wytyczne zaprojektowano 8 magazynów SBU o powierzchniach 500 m², 500 m², 534,38 m², 588,75 m², 643,44 m², 698,13 m², 1087,14 m² oraz 1844,37 m². Następnie obliczono liczbę doków przeładunkowych według reguły 1 dok – 300 m² powierzchni:

$L1 = 500 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 1,67 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 2 doki,

$L2 = 500 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 1,67 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 2 doki,

$L3 = 534,38 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 1,78 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 2 doki,

$L4 = 588,75 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 1,96 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 2 doki,

$L5 = 643,44 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 2,15 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 2 doki,

$L6 = 698,13 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 2,33 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 2 doki,

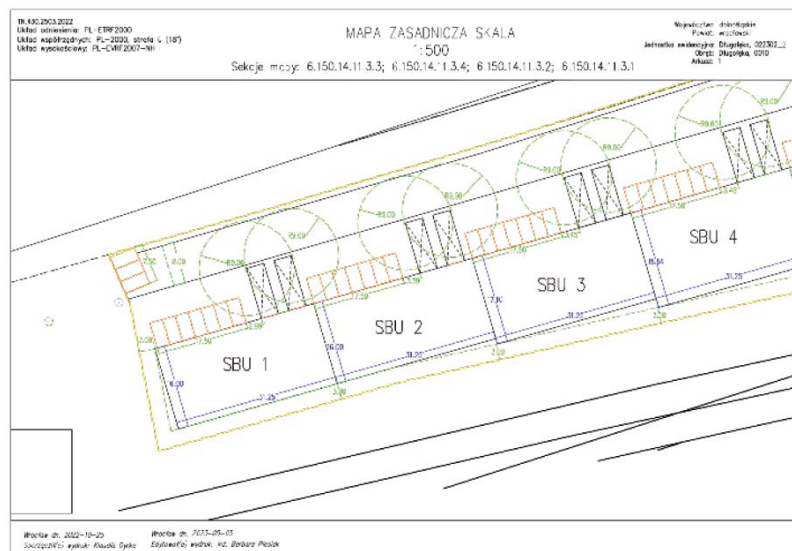
$L7 = 1087,14 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 3,62 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 3 doki,

$L8 = 1844,37 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2 \approx 6,15 \Rightarrow$ po uwzględnieniu kształtu działki – 3 doki.

Następnie zaprojektowano drogi dojazdowe o szerokości minimalnej 8 m. Placów manewrowych nie zaprojektowano ze względu na prawidłowe odległości do manewru samochodów ciężarowych. Na rysunku 5 znajduje się zdjęcie fragmentu layoutu hal SBU.

Wynikiem przeprowadzonych analiz i potrzebnych obliczeń projektu obiektów SBU jest zbiorcza tabela 6. Podsumowując wizualizację koncepcji nr 3 – SBU, należy stwierdzić, że powierzchnia całkowita zajęta wynosi 7833,20 m², w tym: 6396,20 m² zajmują obiekty magazynowe, 612,00 m² – doki przeładunkowe, a 825,00 m² – miejsca parkingowe.

Źródło: opracowanie własne.



Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6. Tabela zbiorcza powierzchni dla rozwiązania nr 3 – SBU

Powierzchnia magazynowa									
SBU	1	2	3	4	5	6	7	8	suma [m ²]
Głębokość [m]	16,00	16,00	17,10	18,84	20,59	22,34	25,61	33,34	
Szerokość [m]	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	42,45	55,32	
Powierzchnia [m ²]	500,00	500,00	534,38	588,75	643,44	698,13	1087,14	1844,37	6396,20
Powierzchnia parkingowa									
Liczba miejsc parkingowych [j.]	10	7	7	7	7	7	9	12	suma [m ²]
Powierzchnia miejsca parkingowego [m ²]	12,50								
Łączna powierzchnia [m ²]	125,00	87,50	87,50	87,50	87,50	87,50	112,50	150,00	825,00
Powierzchnia przeładunkowa									
Liczba doków przeładunkowych [j.]	2	2	2	2	2	2	3	3	suma [m ²]
Powierzchnia doku przeładunkowego [m ²]	34								
Łączna powierzchnia [m ²]	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	68,00	102,00	102,00	612,00
Całkowita zajęta powierzchnia [m ²]									7833,20

Źródło: opracowanie własne.

4. Analiza porównawcza rozwiązań

Po wykonaniu szczegółowej charakterystyki w kolejnym kroku przeprowadzono analizę porównawczą rozwiązania nr 1 – *big box*, rozwiązania nr 2 – *cross dock*, rozwiązania nr 3 – SBU. Przeprowadzono badania pod kątem wybranych wskaźników logistycznych oraz potencjalnych kosztów, które dany przykład generuje.

4.1. Analiza wskaźnikowa

W celu dokonania analizy na początku określono wybrane wskaźniki logistyczne, na podstawie których dokonano porównania rozwiązań. Bazowano na wzorach przedstawionych przez Tylickiego oraz Bartol, które przekształcono pod warunki projektu (Soboń, 2019):

$$W1 = \text{wskaźnik wykorzystania pow. mag.} = \frac{\text{Powierzchnia magazynowa}}{\text{Maksymalna powierzchnia działki}} * 100\% \quad (1)$$

$$W2 = \text{wskaźnik wykorzystania pow. pozostałej} = \frac{\text{Powierzchnia magazynowa}}{\text{Maksymalna powierzchnia działki}} * 100\% \quad (2)$$

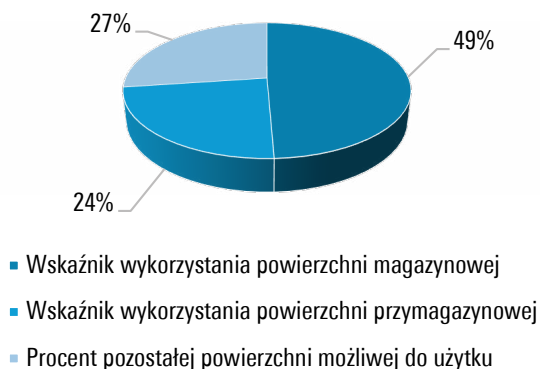
$$W3 = \text{wskaźnik wykorzystania pow. całkowitej} = \frac{\text{Całkowita powierzchnia zajęta}}{\text{Maksymalna powierzchnia działki}} * 100\% \quad (1)$$

W dalszej części rozważań dokonano analizy wskaźnikowej rozwiązania 1 – *big box*, wiedząc, że wybrany grunt ma powierzchnię 11 875 m². Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 7 oraz na wykresie kołowym (rys. 6).

Tabela 7. Analiza wskaźnikowa rozwiązania nr 1 – *big box*

Big box		Jednostka
Wskaźnik wykorzystania powierzchni		
Dostępna powierzchnia [m ²]	11 875	m ²
Powierzchnia magazynowa	5859,16	m ²
Powierzchnia wykorzystana na parkingi oraz place	2792,00	m ²
Łączna zagospodarowana powierzchnia	8651,17	m ²
Wskaźnik wykorzystania powierzchni magazynowej	49,34	%
Wskaźnik wykorzystania powierzchni przymagazynowej	23,51	%
Wskaźnik wykorzystania powierzchni zagospodarowanej	72,85	%
Procent pozostałej powierzchni możliwej do użytku	27,15	%

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Wykres kołowy analizy wskaźnikowej rozwiązania nr 1 – *big box*

Źródło: opracowanie własne.

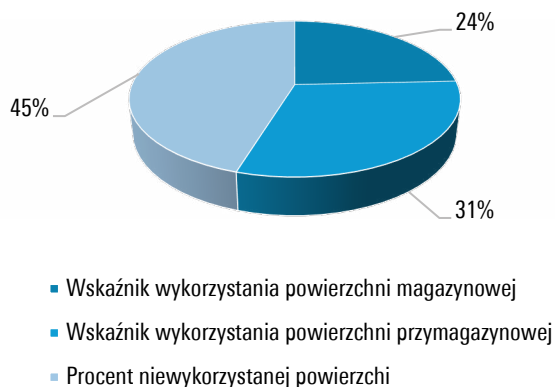
Analizując wykres na rys. 6, zauważa się, że rozwiązanie nr 1 pozostawia 24% niewykorzystanej powierzchni działki. Wskaźnik wykorzystania powierzchni magazynowej – 49% – jest większy prawie dwukrotnie od wskaźnika powierzchni potrzebnej na parkingi, doki przeładunkowe i place manewrowe.

Drugim analizowanym rozwiązaniem jest projekt magazynów typu *cross dock*. W tabeli 8 przedstawiono wyniki obliczeń poszczególnych wskaźników logistycznych zaprezentowanych na wykresie kołowym na rys. 7.

Tabela 8. Analiza wskaźnikowa rozwiązania nr 2 – *cross dock*

<i>Cross dock</i>		Jednostka
Wskaźnik wykorzystania powierzchni		
Dostępna powierzchnia [m ²]	11 875	m ²
Powierzchnia magazynowa	2880,00	m ²
Powierzchnia wykorzystana na parkingi oraz place	3624,06	m ²
Łączna zagospodarowana powierzchnia	6504,06	m ²
Wskaźnik wykorzystania powierzchni magazynowej	24,25	%
Wskaźnik wykorzystania powierzchni przymagazynowej	30,52	%
Wskaźnik wykorzystania powierzchni zagospodarowanej	54,77	%
Procent niewykorzystanej powierzchni	45,23	%

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 7. Wykres kołowy analizy wskaźnikowej rozwiązania nr 2 – *cross dock*

Źródło: opracowanie własne.

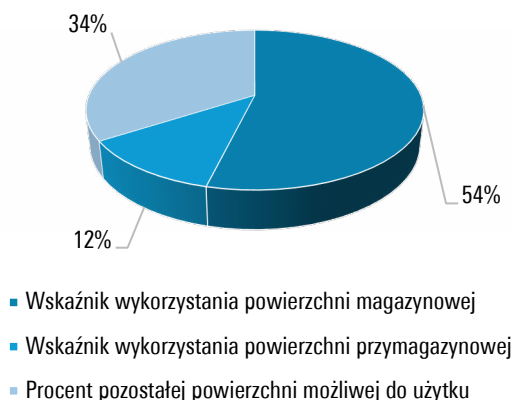
Podsumowując analizę wskaźnikową rozwiązania nr 2, należy stwierdzić, że projekt pozostawia aż 45% powierzchni niewykorzystanej. Magazyny typu *cross dock* zajmują 24%, czyli mniej niż parkingi, doki przeładunkowe i place – 31%. Wynika to z trapezowej powierzchni działki oraz głębokości nadanej odgórnie, która wynosi 48 m.

W tabeli 9 przedstawiono zbiorczo parametry dla rozwiązania nr 3. Wyliczone wskaźniki zaprezentowano na wykresie kołowym na rys. 8.

Tabela 9. Analiza wskaźnikowa rozwiązania nr 3 – SBU

SBU		Jednostka
Wskaźnik wykorzystania powierzchni		
Dostępna powierzchnia [m ²]	11 875	m ²
Powierzchnia magazynowa	6396,20	m ²
Powierzchnia wykorzystana na parkingi oraz place	1437,00	m ²
Łączna zagospodarowana powierzchnia	7833,20	m ²
Wskaźnik wykorzystania powierzchni magazynowej	53,86	%
Wskaźnik wykorzystania powierzchni przymagazynowej	12,10	%
Wskaźnik wykorzystania powierzchni zagospodarowanej	65,96	%
Procent pozostałej powierzchni możliwej do użytku	34,04	%

Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 8.** Wykres kołowy analizy wskaźnikowej rozwiązania nr 3 – SBU

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowując, stwierdza się, że magazyny typu SBU zajmują 54% dostępnej powierzchni, a tylko 12% należy do miejsc postojowych. Ze względu na niesymetryczną powierzchnię działki procent powierzchni niewykorzystanej wynosi aż 34.

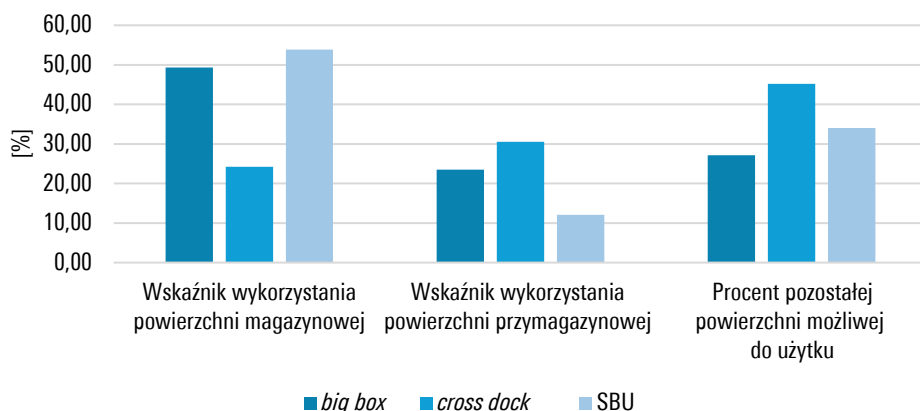
W tabeli 10 przedstawiono analizę porównawczą wszystkich rozwiązań pod kątem wybranych wskaźników logistycznych. Wyniki zaprezentowano na słupkowym wykresie zbiorczym (rys. 9).

Analizując wykres na rys. 9, zauważa się, że trzecie miejsce w analizie porównawczej pod kątem wybranych wskaźników logistycznych zajmuje rozwiązanie nr 2 – *cross dock*. Ma ono największy procent niewykorzystanej powierzchni – 45,23 – oraz najmniejszy wskaźnik decydujący, czyli wykorzystania powierzchni magazynowej – 24,25%. Rozwiązanie nr 1 – *big box* – mimo dużej wartości wskaźnika zagospodarowanej powierzchni ma duży wskaźnik wykorzystania

Tabela 10. Analiza porównawcza rozwiązań pod kątem wybranych wskaźników

Nr	Nazwa	<i>Big box</i>	<i>Cross dock</i>	SBU
W1	Wskaźnik wykorzystania powierzchni magazynowej [%]	49,34	24,25	53,86
W2	Wskaźnik wykorzystania powierzchni przymagazynowej [%]	23,51	30,52	12,10
W3	Procent pozostałej powierzchni możliwej do użytku [%]	27,15	45,23	34,04

Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 9.** Wykres słupkowy analizy porównawczej rozwiązań pod kątem wybranych wskaźników

Źródło: opracowanie własne.

powierzchni przymagazynowej, który nie przynosi zysku. Najlepszym rozwiązaniem w przeprowadzonych badaniach na podstawie wskaźników logistycznych jest rozwiązanie nr 1 – SBU, ze względu na największy wskaźnik wykorzystania powierzchni magazynowej wynoszący 53,86%, co wynika z małych modułów obiektów, które można najlepiej dopasować na skomplikowanym gruncie.

4.2. Analiza kosztowa

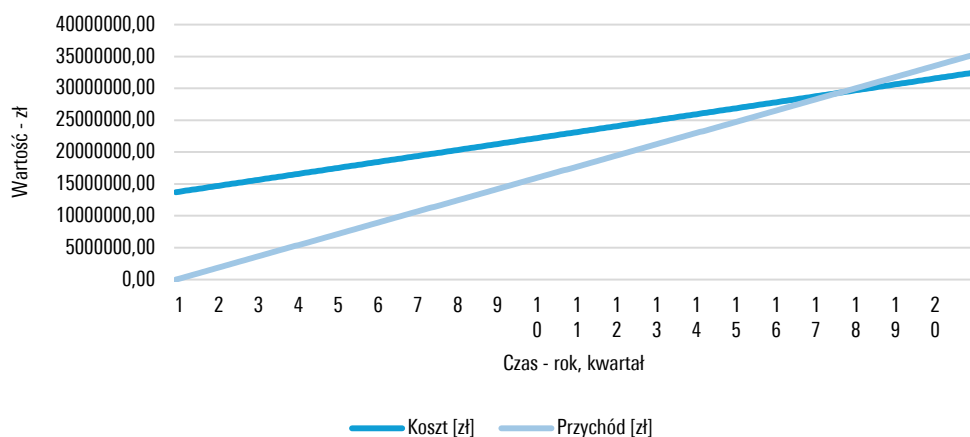
W celu wybrania koncepcji optymalnej przeprowadzono dodatkową analizę kosztową, która przedstawia, po jakim czasie zwróci się dana inwestycja od momentu wynajmu. W tym celu zebrano informacje dotyczące kosztu jednorazowego, stałego oraz przychodu comiesięcznego dla wybranej koncepcji. Cena gruntu jest stała i zdefiniowano ją jako iloczyn wartości 187 zł/m² wystawionej przed właściciela działki oraz jej powierzchni całkowitej, czyli 11875 m². Wartości powierzchni magazynowych zaczerpnięto z obliczeń w analizie wskaźnikowej. W celu wyznaczenia średniej ceny za m² budowy magazynu przeanalizowano dane rynkowe, które wahają się między 1500 a 2100 zł/m². Następnie określono średni koszt w Polsce o wartości 1800 zł (Szczepański, 2017). Wymnażając pole powierzchni wybranego magazynu ze średnim kosztem, uzyskano cał-

kowitą cenę budowy takiej hali. Poszczególne wartości czynszu pobrano z aktualnych danych z raportu (Dudziński i Kizyn, 2002). W końcowym etapie w celu uzyskania danych dotyczących wynajmu magazynów przeprowadzono badanie aktualnego rynku pod kątem wynajęcia magazynów typu *big box*, *cross dock* oraz SBU na dostępnej stronie internetowej otodom.pl. Na tej podstawie określono dla rozwiązania nr 1 cenę zysku comiesięcznego – 25 zł, dla rozwiązania nr 2 – 35 zł, a dla rozwiązania nr 3 – 45 zł. Wyniki obliczeń przedstawiono w zbiorczej tabeli 11.

Tabela 11. Analiza kosztowa – dane dla wybranych rozwiązań

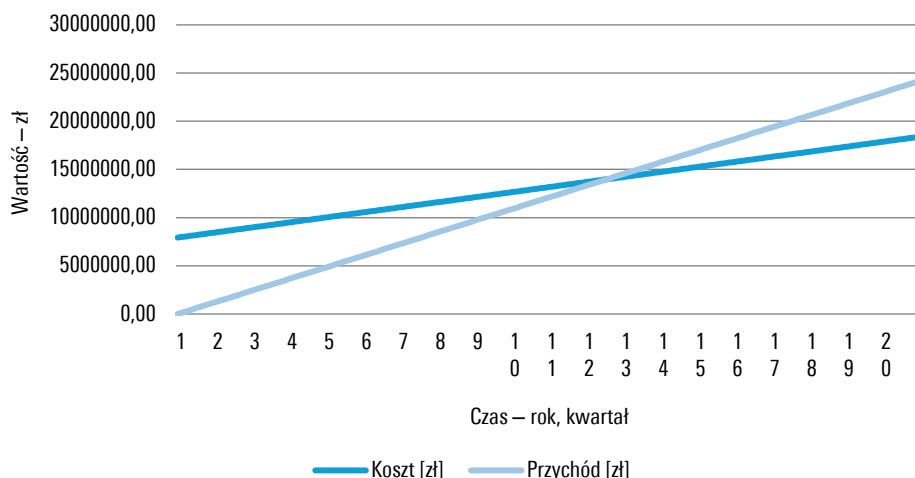
		<i>Big box</i>	<i>Cross dock</i>	SBU
Koszt jednorazowy	Cena gruntu [zł]	2 220 625,00	2 220 625,00	2 220 625,00
	Powierzchnia magazynowa [m ²] – A	5 859,16	2 880,00	6 396,20
	Średnia cena za m2 budowy [zł/ m ²] – B	1 800,00	1 800,00	1 800,00
	Cena budowy magazynu [zł] – A x B	10 546 494,66	5 184 000,00	11 513 161,44
	Suma	12 767 119,66	7 404 625,00	13 733 786,44
Koszt stały	czynsz [zł/m ²] C	13,31	15,15	16,98
	czynsz za powierzchnię magazynową [zł] – A x C	77 991,33	43 623,36	108 626,68
Zysk co miesiąc	Wynajem za m ² [zł/m ²] – D	25,00	35,00	45,00
	Comiesięczny przychód [zł/mies.] – A x D	146 479,09	100 800,00	287 829,04

Źródło: opracowanie własne.



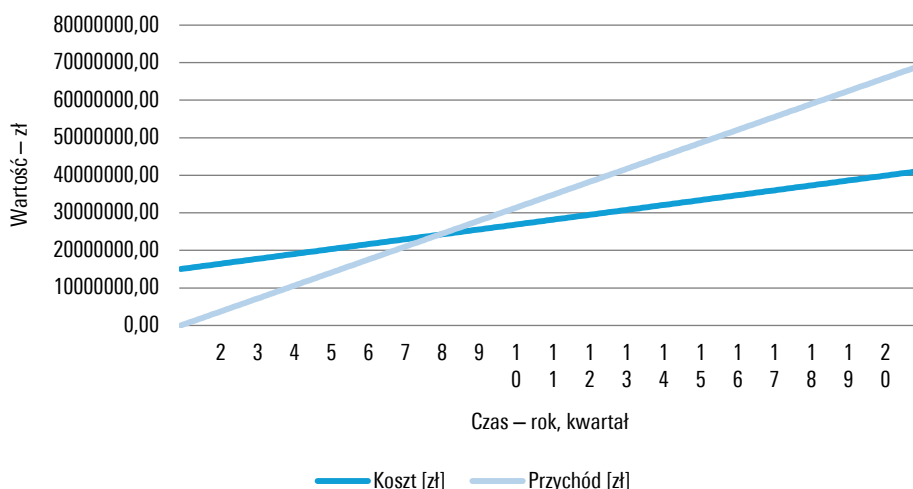
Rys. 10. Próg rentowności *big box*

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 11. Próg rentowności *cross dock*

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 12. Próg rentowności SBU

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowując analizę kosztową, należy stwierdzić, że na miejscu trzecim znajduje się rozwiązanie nr 1 – *big box*, którego czas zwrotu inwestycji jest najdłuższy – trwa 17 lat (rys. 10). Obiekty typu *cross dock* zajmują drugie miejsce w zestawieniu: czas zwrotu inwestycji wynosi 12 lat (rys. 11). Najlepszym rozwiązaniem w przeprowadzonym porównaniu jest rozwiązanie nr

3 – SBU (rys.12), w którym zysk pojawi się najszybciej – już po 7 latach od wynajmu powierzchni magazynowej. Wszystkie wyniki są omawiane bez uwzględnienia rocznego czasu budowy, który jest stały dla każdego rodzaju rozwiązania.

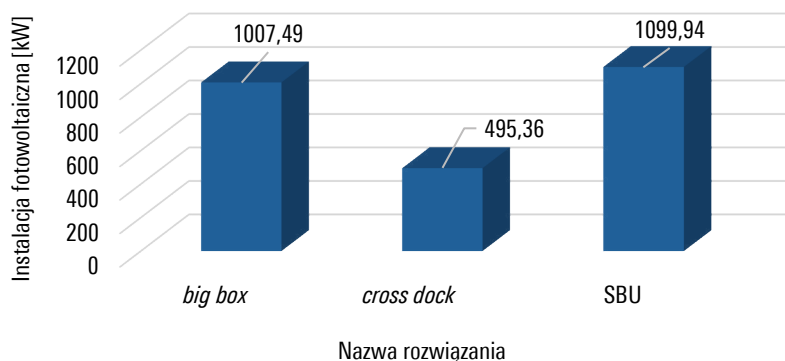
4.3. Analiza energooszczędności rozwiązań

Dopełnieniem analiz jest ocena energooszczędności rozwiązań. Jako źródło energii wybrano panele fotowoltaiczne. W tabeli 13 zaprezentowano wyniki obliczeń dla poszczególnych wariantów; dodatkowo przedstawiono je na rys. 13.

Tabela 13. Tabela energooszczędności poszczególnych rozwiązań

	<i>Big box</i>	<i>Cross dock</i>	SBU
Powierzchnia magazynowa [m ²]	5859,16	2880,00	6396,20
Procent powierzchni dachu [%]	80		
Maksymalna dostępna powierzchnia [m ²]	4687,33	2304,00	5116,96
Moduł fotowoltaiczny [m ²]	2		
Liczba energii na jednostkę [W]	430		
Liczba modułów na wybranej powierzchni	2343	1152	2558
Instalacja fotowoltaiczna [kW]	1007,49	495,36	1099,94

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 13. Wykres kolumnowy analizy porównawczej energooszczędności

Źródło: opracowanie własne.

W ramach tej analizy zbadano opłacalność instalacji fotowoltaicznych w magazynach. Rozwiązanie SBU zostało ocenione jako najbardziej energooszczędne, ponieważ ma największą moc instalacji fotowoltaicznej (110 kW), co zapewnia największy zysk z oszczędności energii. Następne pod względem energooszczędności jest rozwiązanie *big box*, z instalacją o mocy 1008 kW,

oraz *cross dock*, z mocą 495 kW. Zyski z energii elektrycznej zależą od powierzchni magazynu, ponieważ dach budynku jest wykorzystywany do instalacji paneli.

5. Podsumowanie i wnioski

Przedmiot artykułu dotyczył uzupełnienia logistycznych wskaźników oceny hal magazynowych w wybranym obszarze o aktualny stan techniki oraz własną koncepcję rozwiązań techniczno-organizacyjnych. Po dokonaniu charakterystyki dostępnych na rynku hal magazynowych i ich oceny pod kątem wybranych parametrów logistycznych określono 3 najlepsze koncepcje rozwiązań. W tym celu zaprojektowano wybrane hale magazynowe, opierając się na normach budowlanych i logistycznych. Podczas wizualizacji poszczególnych rodzajów magazynów kierowano się strategią wykorzystania maksymalnej powierzchni działki. Na podstawie przeprowadzonych badań pod kątem wybranych wskaźników logistycznych oraz kosztów wykazano, że dla wszystkich wybranych rozwiązań zwrot inwestycji zajmie do 20 lat od wynajmu inwestycji. Dopelnieniem obliczeń była analiza energooszczędności, która wykazała, że wskaźnik kubaturowy magazynu jest ściśle powiązany z energooszczędnością. Rozwiązanie nr 3 wybrano jako koncepcję optymalną ze względu na najlepsze wyniki w analizie porównawczej wybranych koncepcji. Ustalono, że

1. Wskaźnik powierzchni magazynowej generujący najwięcej zysku ma najwyższą wartość – 53,86%.
2. Czas zwrotu inwestycji jest najkrótszy w porównaniu z pozostałymi rozwiązaniami i nastąpi w 12 miesiącu po 7 latach od wynajmu magazynu.
3. Ma największą powierzchnię dachów, na której możliwe jest umieszczenie paneli fotowoltaicznych generujących 1099 kW mocy energii elektrycznej.

Wyniki projektu mają charakter szablonowy. W późniejszym etapie należy na ich podstawie rozpocząć współpracę z firmą magazynowo-budowlaną, która udostępni bardziej szczegółowe zamówienie w celu maksymalizacji dokładności projektu.

Bibliografia

- Allekurier.pl. (b.d.). *Cross docking – co to jest i kto na tym najbardziej skorzysta?*. Pobrano 30 kwietnia 2023 z <https://allekurier.pl/blog/cross-docking-co-to-jest-i-kto-na-tym-korzysta>
- Bartol, M., Tylicki, H. (2017). Wybrane problemy optymalizacji procesów logistycznych przedsiębiorstwa. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, (18), 12, s. 1666–1669.
- DL Invest Group. (2022). *Rynek magazynowy w Polsce – podsumowanie 2022 roku. Raport Rynkowy, Powierzchnie przemysłowe i magazynowe*.
- Dudziński, Z., Kizyn, M. (2002). *Vademecum gospodarki magazynowej*. Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr.
- Giermakowska, A., Kurek, J. (2022). *Rynek magazynowo-przemysłowy w Polsce 1-IV kw. 2022. Powierzchnie przemysłowe i magazynowe*. Newmark Polska.
- Kisiel, P., Zwolińska, B. (2011). Rozwój powierzchni magazynowych w Polsce. *Logistyka*, (3), 1167–1173.
- Konspekt.eu. (b.d.). *Hale magazynowe – ile aktualnie kosztuje budowa hali magazynowej?*. Pobrano 23 kwietnia 2023 z <https://www.konspekt.eu/blog/hale-magazynowe-ile-aktualnie-kosztuje-budowa-hali-magazynowej>

- Korzeniowska, J. (b.d.). *Magazyny z chłodnią. Najwyższa jakość dla wymagających klientów*. Pobrano 23 kwietnia 2023 z <https://magazyny.pl/blog/baza-wiedzy/magazyny-z-chlodnia-najwyzsza-jakosc-dla-wymagajacych-klientow/>
- Logistics Avenue. (2021). *Logistyka miejska w Polsce*. JLL, SEGRO.
- Mecalux.pl. (b.d.). *Magazyn chłodniczy i automatyzacja – wydajność pracy i oszczędność kosztów*. Pobrano 23 kwietnia 2023 z <https://www.mecalux.pl/blog/magazyn-chlodniczy-automatyzacja>
- Miszewski, P. (2029). Rola nowoczesnych rozwiązań technologicznych w optymalizacji pracy współczesnego magazynu. *Journal of Translogistics*, (5), 1, 175–182.
- Nowakowska-Grunt J., Starostka-Patyk M. (2017). *Logistyka dystrybucji*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności sp. z o.o.
- Obwieszczenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, *Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej*, 2019, poz. 1065
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Wymiary stanowisk postojowych dla samochodów, t.j. Dz.U.2022.0.1225
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, t.j. Dz.U.2016.0.124
- SEGRO. (2021). *Small Business Units – małe magazyny z wielkim potencjałem*. Colliers.
- Soboń, D. (2019). *Pomocnik najemcy zbiór pojęć podstawowych*. BNP PARIBAS Real Estate.
- Szczepański, M. (2017). *Magazyny typu „cross-dock”*. Pobrano 24 kwietnia 2023 z <https://log4.pl/magazyny-typu-cross-dock,267,15734.htm>

Evaluation of Selected Warehouse Halls in Terms of Optimal Design of Usable Areas

- **Abstract:** The paper presents an optimal design of warehouse halls on a selected plot of land. Based on the analysis of scientific publications, a characterization of modern types of warehouse halls is provided. Then, using selected logistical parameters, the halls were evaluated, which allowed for the identification of the three best concepts, that were presented in AutoCAD program. In the next step, an optimal solution was developed through the analysis of indicators, costs, and energy efficiency. The paper concludes with findings
- **Keywords:** warehouse, logistic indicators, energy efficiency, investment