

Izabela KUDELSKA*, Agata PEPLIŃSKA**, Anna PLUSKOTA***

ZARZĄDZANIE POWIERZCHNIĄ MAGAZYNOWĄ – STUDIUM PRZYPADKU¹

DOI: 10.21008/j.0239-9415.2022.085.09

Coraz większa konkurencja na rynku wymaga od przedsiębiorstwa poprawy efektywności procesu logistycznego. Jednym z ważniejszych elementów tego procesu jest magazyn. Dobra efektywność pracy magazynu poprawi jakość i czas dostawy. Parametry te mają również wpływ na satysfakcję klienta i obniżenie kosztów operacyjnych przedsiębiorstwa. Niniejszy artykuł poświęcono analizie wpływu ukształtowania magazynu i jego wyposażenia na koszty. Główny cel pracy to wskazanie korzyści, jakie występują po zmianie typu regału i rozmieszczenia zasobów. W artykule, wykorzystując studium przypadku, porównano parametry dotyczące zastosowania dwóch typów regałów i przedstawiono wyniki badań symulacji tras pokonywanych przez wózek widłowy pomiędzy poszczególnymi strefami. Kluczowym elementem jest wskazanie korzyści z wykorzystania regałów dynamicznych. Badania ukazały, że decyzja o odpowiednim ukształtowaniu magazynu i jego wyposażeniu jest bardzo ważna, ponieważ wpływa m.in. na wydajność magazynu, koszt transport, czas obsługi i pojemność magazynową. Korzyści, które wynikły z analizy, podzielono na trzy grupy: finansowe, środowiskowe i organizacyjne. Wyniki tego badania dostarczają cennych informacji również dla praktyków, ponieważ ukazują holistyczne podejście do reorganizacji układu przestrzennego magazynu.

Słowa kluczowe: magazynowanie, magazyn, regał, powierzchnia magazynowa

1. WPROWADZENIE

Integracja łańcucha dostaw wymaga współpracy pod względem informacji i organizacji procesów oraz przepływu materiałów (Koliński, Werner-Lewandowska, 2021). Zarządzanie łańcuchem dostaw w wymiarze globalnym jest ważnym zagadnieniem dla wielu przedsiębiorstw, a magazynowanie stanowi podstawowe ogniwo

* Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania, Instytut Logistyki, Zakład Zarządzania Produkcją i Logistyki. ORCID: 0000-0002-8717-4315.

** Studentka II stopnia logistyki łańcuchów dostaw, Politechnika Poznańska.

*** Studentka II stopnia Logistics systems, Politechnika Poznańska.

¹ Badania zostały sfinansowane z grantu Politechniki Poznańskiej nr 0812/SBAD/4187.

łączące producentów i klientów w łańcuchu dostaw (Kudelska, Niedbał, 2020). Rosnąca globalizacja i oczekiwania klientów powodują konieczność posiadania wydajnych systemów magazynowych. Jednym z ważniejszych sposobów osiągnięcia wymaganej efektywności magazynów jest ich odpowiednie ukształtowanie. Odpowiedni dobór technologii może doprowadzić do lepszego wykorzystania powierzchni, jak i znacznego przyspieszenia realizowanych w budynku faz procesu magazynowego.

W związku z powyższym prowadzone są szerokie prace, które koncentrują się na projektowaniu magazynu, ulepszaniu procesu magazynowego, jego automatyzowaniu, a przede wszystkim w zakresie optymalizacji tras kompletacji i metod rozmieszczenia towaru w magazynie (de Koster et al., 2007; Gu et al., 2010; Gong, De Koster, 2011; Bartholdi, Hackman, 2016; Azadeh et al., 2019; Kudelska, Pawłowski, 2020).

Dzisiejsze magazyny powinny charakteryzować się szybką realizacją procesu magazynowego, a w szczególności fazy kompletacji i wydania (Kudelska, Niedbał, 2020). Przedsiębiorstwa inwestują w nowe technologie i cyfryzację. Wdrażane są roboty współpracujące, które wspierają realizowane czynności. Niewłaściwie zaprojektowana powierzchnia magazynu lub realizowany proces magazynowania mogą powodować nieefektywne wykorzystanie zasobów przedsiębiorstwa, a to może generować opóźnienia w dostawach do odbiorcy.

Dobrze zaprojektowana powierzchnia magazynu ma ogromny wpływ m.in. na fazę kompletacji i odgrywa kluczową rolę w określeniu kosztów operacyjnych i czasu realizacji zamówienia. Strefa składowania wpływa też na wykorzystaną przestrzeń i koszty.

Niniejsze badanie przyczynia się do wypełnienia luki między badaniami a praktyką poprzez identyfikację i analizę praktycznych korzyści, które wynikają ze zmiany typu regałów i rozmieszczenia wyposażenia, a które są niewystarczająco uwzględnione w akademickich badaniach. Główny cel artykułu to wskazanie korzyści, jakie występują po zmianie typu regału i rozmieszczenia ich w magazynie.

Do przeprowadzenia analizy i osiągnięcia celu wykorzystano rzeczywiste dane z przedsiębiorstwa. Artykuł składa się z: rozdziału 1 będącego wprowadzeniem, rozdziału 2 zawierającego analizę literatury pod kątem badań w obszarze magazynu, rozdziału 3 obejmującego metodykę badań, rozdziału 4 zawierającego informacje na temat przedmiotu badań, rozdziału 5, w którym przedstawiono nowy projekt magazynu i zawarto dyskusję dotyczącą korzyści wprowadzenia nowego typu regałów, rozdziału 6 stanowiącego podsumowanie i zawierającego sugestie dotyczące prowadzenia dalszych prac badawczych.

2. ANALIZA LITERATURY

W literaturze temat dotyczący magazynowania i samego magazynu podejmowany był już w latach 60. ubiegłego wieku. Badacze zastanawiali się wówczas nad wymaganiami dotyczącymi układu magazynu, w którym badano rozmieszczenie towaru i wprowadzano równania do jego zwymiarowania (Berry, 1968). Aby określić

optymalne parametry projektowe magazynu, porównywano dwa warianty ukształtowania przestrzennego magazynu, uwzględniając koszty obsługi i koszty związane z powierzchnią (Bassan, Roll, Rosenblatt, 1980).

Bardzo szerokie badania obejmujące parametry różnego typu składowania (regalowe i bezregalowe) przeprowadzili Matson i White (1982). Tematy dotyczące kształtowania przestrzennego magazynu wysokoregalowego podjęli Ashayeri, Gelders i Wassenhove (1985). Należy jednak pamiętać, że tego typu rozwiązania były i są bardzo kosztownymi inwestycjami i jednocześnie trudnymi do modyfikacji, dlatego istotnym aspektem podejmowanym przez badaczy było opisanie modelu, który pozwoli określić główne cechy projektowe magazynu (Lerher, 2006). Naukowcy porównywali ze sobą różnego typu systemy, a kryteriami branymi pod uwagę były minimalizacja czasu transportu i zwiększenie przepustowości oraz kryteria środowiskowe (Lin, Sharp, 1999; Lee, Lee, Hur, 2005).

Wybór wyposażenia, zasad przechowywania i kompletacji jest istotny także z punktu widzenia finansowego. Park i Webster (1989) założyli, że koszt inwestycji oraz roczny koszt operacyjny można oszacować za pomocą prostych równań analitycznych. Gray i in. (1992) zajęli się podobnym problemem i zaproponowali wieloetapowe podejście do oceny zmniejszenia przestrzeni, wskazali alternatywne rozwiązania.

Projektowanie przestrzenne magazynu to również badania nad rozplanowaniem obiektów w samym magazynie. Roodberen i Vis (2006) zaprezentowali podejście optymalizacyjne do wyboru liczby i długości korytarzy, tak aby zminimalizować długość trasy kompletacji. Układy poszczególnych stref to konfiguracja korytarzy nie tylko w strefie składowania, w systemie pobierania, lecz także konfiguracja systemów zautomatyzowanego magazynowania i pobierania (ang. *automated storage & retrieval system* – AS/RS). Decyzje dotyczące wyboru sprzętu określają odpowiedni poziom automatyzacji magazynu. Wybór strategii działania determinuje sposób funkcjonowania magazynu, np. w zakresie kompletacji (Gu, Goetschalckx, McGinnis, 2010). Takie decyzje mają charakter strategiczny, ponieważ wpływają na wszystkie inne decyzje i późniejszą wydajność magazynu.

Decyzje projektowe obejmujące obszary projektowe magazynu są silnie sprzężone z fazą kompletacji, dlatego analiza literatury dotyczącej tego typu problemów nie powinna być traktowana osobno. Faza składowania jest mocno powiązana z fazą kompletacji i wpływa na wydajność magazynu pod względem wykorzystania przestrzeni, kosztów, przepustowości i poziomu obsługi klienta. Reasumując, strefa składowania, jak i sama faza są bardzo mocno powiązane z dalszymi etapami procesu magazynowego i wpływają na zarządzanie kompletacją. W literaturze identyfikowane są trzy problemy tego typu: konfiguracja regałów magazynowych, dobór wyposażenia technicznego oraz lokalizacja (Vanheusden, 2020). Konfiguracja regałów to przede wszystkim szerokość i wysokość regałów magazynowych, długość i szerokość korytarzy i stref kompletacji (Thomas, Meller, 2015). Badano systemy kompletacji uwzględniające układy równoległych korytarzy kompletacyjnych na niskim poziomie, minimalizując odległość przejazdu osoby kompletującej (Petersen, Aase,

2004; Theys et al., 2010; van Gils et al., 2018; Vanheusden et al., 2020), natomiast problemy związane z wyposażeniem technicznym obejmują m.in. wykorzystane narzędzia technologiczne, np. sprzęt do transportu towaru, kompletację głosową, w celu ułatwienia kompletacji (Baker, Halim, 2007; Vujica et al., 2018). Trzecia grupa problemów jest związana z lokalizacją punktu odbioru i dostawy oraz z trasowaniem (Cortes et al., 2017; Diefenbach, Glock, 2019). Badania Masae i in. (2020) zawierają przegląd zasad poruszania osób kompletujących zamówienia. Zagadnienie to jest w silnej relacji z metodą rozmieszczenia towarów w strefie składowania (Petersen, Siu, Heiser, 2005; Gu, Goetschalckx, McGinnis, 2010).

Analizując literaturę przedmiotu dotyczącą zagadnień procesu magazynowego, badacze skupiają się głównie na opracowywaniu metod minimalizujących czas transportu, odległości pomiędzy poszczególnymi miejscami lokalizacji. Cele obejmujące kształtowanie przestrzeni magazynowej również się pojawiają, jednak skupiają się one tylko na ujęciu problemu w jednym aspekcie. Projektowanie przestrzeni magazynowej, rozmieszczenie obiektów w tej przestrzeni, dobór wyposażenia – zagadnienia te są poruszane fragmentarycznie, dlatego zdając sobie sprawę ze znaczenia procesu magazynowego, autorzy próbują kompleksowo potraktować problemy związane z wyposażeniem i układem magazynu.

3. METODYKA BADAŃ

W badaniu wykorzystano narzędzia ilościowe do pomiaru czasu trwania fazy przyjęcia oraz jakościowe. Za podstawową metodę badawczą w badaniach jakościowych uznano studium przypadku. Metoda ta pozwoliła autorom na lepsze zrozumienie analizowanego zagadnienia. Miała ona na celu rozwinąć istniejącą teorię obejmującą magazynowanie i dostarczyć wyjaśnień implikacji, jakie niesie zmiana typu regałów. Badania przeprowadzono w centrum logistycznym, które działa na terenie Polski. Kolejne kroki procedury badawczej wraz z iteracją przedstawiono na rysunku 1.

W badaniu wykorzystano metodę obserwacji, która miała charakter ciągły i trwała od 1 lipca do 1 sierpnia 2021 r. Miała ona na celu wprowadzenie autorów w krąg przyszłych rozmówców – przeprowadzić wywiad z pracownikami przedsiębiorstwa. Wywiad z nimi również nastąpił we wspomnianym wcześniej okresie. Przeprowadzono go z pracownikami operacyjnymi, którzy wykonują czynności procesu magazynowego i z pracownikami średniego szczebla. Byli to głównie pracownicy z sekcji logistyki i podlegający kierownikowi magazynu (specjalista ds. magazynowych, brygadzysta, magazynier), a także konserwator odpowiadający za naprawy wyposażenia magazynu. Metoda badania ustnych opinii pracowników pozwoliła na swobodne wyjaśnienie różnych wątpliwości. Miała charakter jawny i indywidualny. Przeprowadzono wywiad prosty niestandardyzowany, ponieważ w ten sposób autorzy mieli dużą swobodę w zadawaniu dodatkowych pytań, które odnosiły się do wykonywanych czynności podczas realizowanego procesu magazynowego.



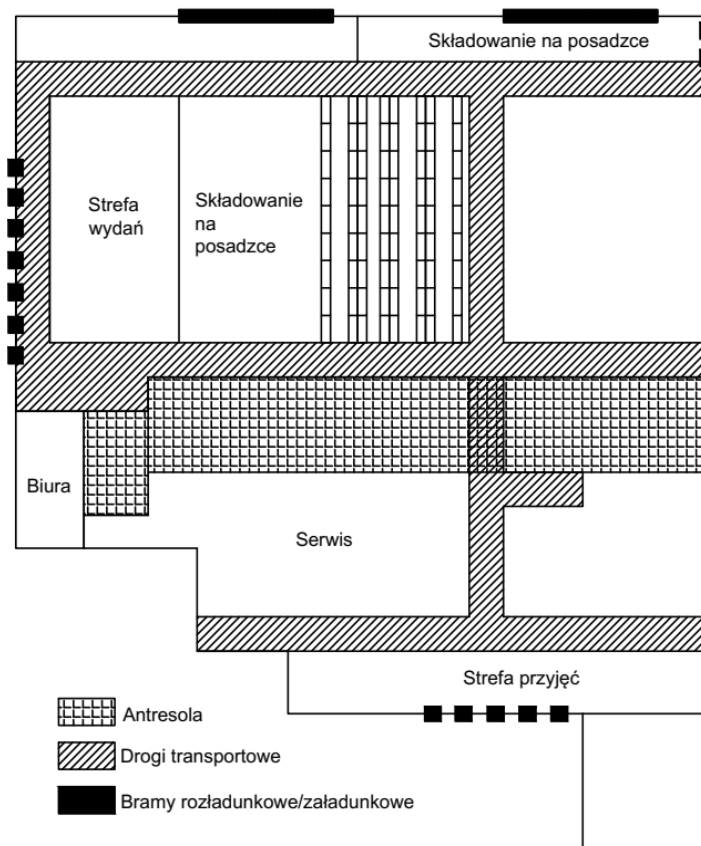
Rys. 1. Procedura badawcza (opracowanie własne)

W trakcie wywiadu skupiono uwagę głównie na dokładnym rozpoznaniu przebiegającego procesu magazynowego. Poza tym wykonano analizę dokumentów przedsiębiorstwa. Zawężała się ona głównie do dokumentów wykorzystywanych w magazynie. W formie papierowej dotyczyły one przede wszystkim funkcjonowania podmiotu badań, natomiast dokumenty dotyczące obrotu magazynowego były ujęte w formie elektronicznej i pobierane z systemu WMS. Ta triangulacja dała autorom możliwość spojrzenia na problem z różnych perspektyw.

4. PRZEDMIOT BADAŃ

Przedmiotem badań jest magazyn centrum logistycznego firmy zajmującej się dystrybucją wyposażenia magazynowego zlokalizowanego na terenie Polski. Przedsiębiorstwo działa głównie na rynku krajowym, natomiast większość asortymentu sprowadzana jest z zagranicy. Magazyn firmy składa się z trzech hal, ale tylko jedną poddano analizie. Jest on budynkiem parterowym o wysokości całkowitej 11 m.

Asortyment w tej hali składowany jest na paletach w regałach uniwersalnych oraz na posadzce bez żadnych dodatkowych nośników. Ze względu na składowane wyroby z tworzyw sztucznych i metalowych magazyn wymaga określonych warunków przechowywania. Wyroby te muszą znajdować się w suchych i niezapyłonych miejscach bez bezpośredniego oddziaływania opadów atmosferycznych i promieni słonecznych. Transport wewnętrzny realizowany jest przy użyciu elektrycznych wózków widłowych, które mają baterię o napięciu 48 V oraz pojemność 420 Ah. Ogólny układ hali magazynowej został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Ogólny układ analizowanej hali magazynowej (opracowanie własne)

W dolnej części rysunku znajduje się strefa przyjęć z pięcioma bramami do rozładunku tyłem. Elementy z tej części transportowane są do strefy składowania na regałach w centralnej części magazynu. Po wpływieniu zamówienia towary są kompletowane i transportowane do strefy wydań znajdującej się po lewej stronie. Następnie wydanie gotowych przesyłek odbywa się przez bramy znajdujące się obok, po lewej stronie. Ze względu na małą ilość miejsca do składowania towaru na posadzce przeznaczono do tego również strefę zaznaczoną w górnej części rysunku 2 jako „składowanie na posadzce”. Ustawiony tam towar uniemożliwia dostęp do jednej bramy do rozładunku bokiem i dwóch bram do rozładunku tyłem.

5. BADANIA I DYSKUSJA

Przeprowadzenie badań, w których wykorzystano m.in. wywiad i obserwację, pozwoliło na zlokalizowanie głównych problemów związanych z układem magazynu. Obecnie regały zajmują powierzchnię 740 m². Pozwalają na składowanie 1215 paletowych jednostek ładunkowych. Wykonanie analizy dokumentów z systemu WMS ukazało ewidencję realizowanych przepływów materiałowych. Średnia liczba paletowych jednostek ładunkowych, jaka jest przyjmowana, to 672 sztuki. Po przeprowadzeniu analizy wskaźnik wykorzystania miejsc paletowych wynosi ok. 55,31%. Jest to bardzo niska wartość, która wskazuje na znaczne niewykorzystanie dostępnych miejsc. Ważnym problemem, który ujawnił się podczas analizy, jest również zbyt mała liczba dostępnych bram, z których mogą być realizowane załadunki i rozładunki towarów. Jest to spowodowane składowaniem dużej części towaru na posadzce. Taki układ magazynu dodatkowo wpływa na mały wybór dostępnej powierzchni do zagospodarowania. Ze względu na aktualne rozmieszczenie towaru odległość regałów paletowych od strefy przyjęć jest dość duża, co powoduje, że wózki widłowe muszą pokonywać znaczne odległości. Z tego też powodu zużycie energii potrzebnej na zasilanie jednego wózka jest wysokie, co ze względu na stale wzrastające ceny prądu generuje coraz wyższe koszty jego utrzymania.

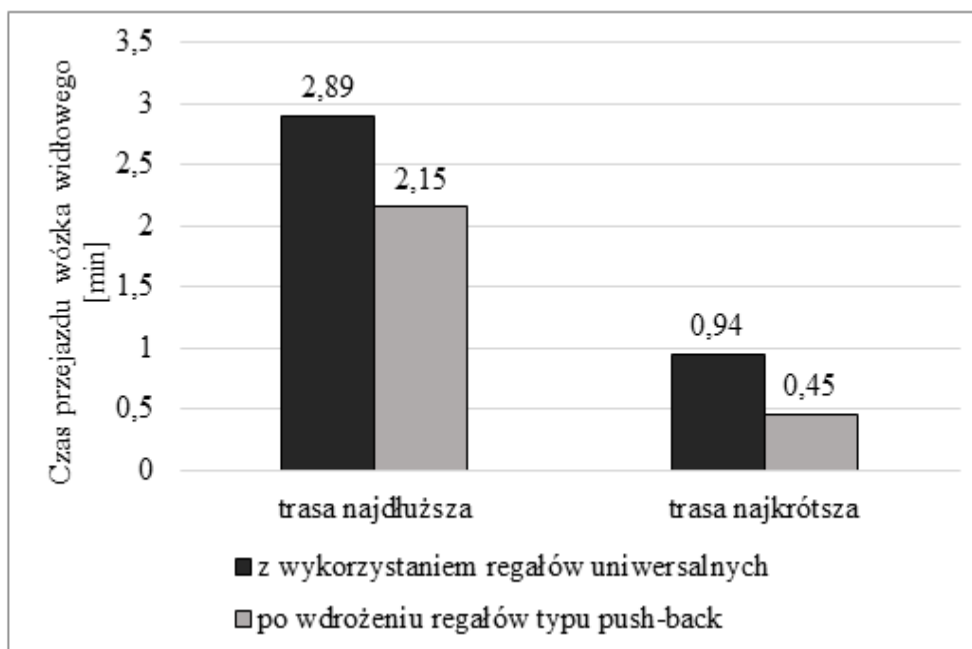
Pierwszym elementem proponowanego rozwiązania jest zrezygnowanie z obecnych regałów paletowych statycznych. Wprowadzenie regałów push-back pozwoli na osiągnięcie wielkości paletowych jednostek ładunkowych do 840, a to z kolei zapełni regały w 80%. Taki stopień wypełnienia pozostawia możliwość umieszczenia na regale dodatkowych palet w przypadku nagłego zwiększenia dostaw. Zaproponowane regały są krótsze, co pozwala na dostawienie kolumn w razie dalszego rozwoju przedsiębiorstwa.

Istotnym parametrem, na który ma wpływ zaproponowana zmiana, jest uzyskanie większej powierzchni, ok. 457 m², gdzie mogą zostać przeniesione palety i skryniepalety składowane na posadzce.

Zmiana ta odblokuje dwie bramy, które pozwolą na rozładunek i załadunek tyłem środków zewnętrznych, i jedną bramę, która pozwoli na rozładunek bokiem środków wewnętrznych, a to z kolei znacznie skróci trasę wózków podnośnikowych.

Porównując parametry obejmujące czas i długość pokonywanej trasy, dostrzec można także pozytywne aspekty. W rozwiązaniu z regałami paletowymi statycznymi długość drogi od strefy przyjęcia do najdalszego miejsca lokalizacji w regale wynosi 107 m, natomiast wykorzystując regały push-back, będzie ona wynosić do 54,75 m. Parametr związany z czasem również uległ polepszeniu, ponieważ z 2 min i 54 s zmniejszy się do 2 min i 9 s. Analizując długość drogi od strefy przyjęcia do najbliższego miejsca lokalizacji na regale, należy zauważyć, że zmniejszyła się ona o 68,61% i wynosić będzie 13,25 m.

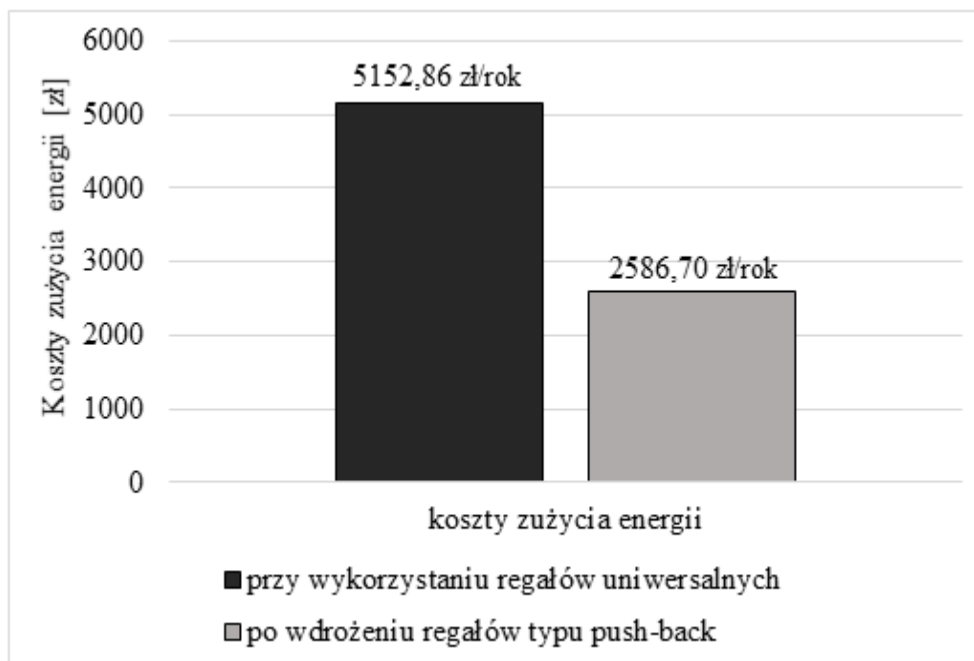
Przyjmując, że średni zaoszczędzony czas przejazdu ze strefy przyjęć do regałów to 78,5 s, a do magazynu są przyjmowane 672 paletowe jednostki ładunkowe miesięcznie, to w skali miesiąca będzie to ponad 14 h.



Rys. 3. Czas przejazdu przy dwóch różnych typach regałów (opracowanie własne)

Rysunek 3 przedstawia skrócenie czasu przejazdu o ponad 50%, natomiast co do dłuższej trasy, choć wielkości nie są tak różne, jak w przypadku krótszej, to jednak również pozwoli ona na zaoszczędzenie ponad 25% czasu. Dzięki temu pracownicy zajmujący się transportem towaru z nowej strefy przyjęć do regałów mogliby przynajmniej $\frac{1}{4}$ swojego czasu pracy wykorzystać na inne zadania, których wcześniej nie mieli możliwości wykonać. Przykładami takich prac są m.in. wcześniejsze rozpoczęcie kompletacji zamówień, pomoc przy wydaniu i załadunku towaru do samochodu czy szkolenia dotyczące asortymentu i przeprowadzania podstawowej kontroli jakości w trakcie rozładunku.

Ważnym parametrem, który także uległ poprawie, jest koszt zużycia energii. Porównując dane dla takiej samej liczby przejazdów, częstotliwość ładowania z 251 ładowań w roku spadnie o ok. 50% i wyniesie 126. Oznacza to, że poziom zużycia energii na jeden wózek elektryczny podnośnikowy wyniesie po wprowadzeniu zmiany 3048,192 kWh/rok, a jego koszt spadnie do 2586,70 zł rocznie (styczeń 2022 r.).



Rys. 4. Koszt zużycia energii (opracowanie własne)

Wartości ukazane na rysunku 4 pokazują spadek ładowań wózka widłowego o połowę w skali roku, koszt zużycia energii w tym celu również zmalałby o 50%. Reasumując, firma uzyskuje oszczędności, które może zainwestować w dalszy rozwój swojego przedsiębiorstwa. Dzięki temu środek transportu jest w stanie działać jeszcze dłużej, wykorzystując swój potencjał.

Istotnym parametrem w magazynowaniu jest też przestrzeń składowania. Wymiana regałów na typ regałów push-back pozwoli na efektywniejsze zagospodarowanie przestrzeni. Po utrzymaniu takiej samej wielkości zapasu wskaźnik wykorzystania regałów wzrośnie z 55,31% do 80%. Tak duże zwolnienie powierzchni pozwoli na lepsze jej zagospodarowanie.

Wymienione korzyści można przydzielić do korzyści finansowych, organizacyjnych i środowiskowych. Pierwsza grupa korzyści jest związana z kosztami operacyjnymi. Zbyt długa droga transportowa do danej lokalizacji podnosi koszty związane z eksploatacją środków transportowych. Nieprawidłowe wykorzystanie powierzchni magazynu może doprowadzić do sytuacji, że przedsiębiorstwo będzie ponosić koszty za miejsca składowania, z których nie korzysta. Wykorzystanie środków transportowych związane jest również z korzyściami środowiskowymi, co jest ważne z punktu widzenia realizacji celu 12 Zrównoważonego Rozwoju „Zapewnić

wzorce zrównoważonej konsumpcji i produkcji” (Golińska-Dawson, Werner-Lewandowska, Kosacka-Olejnik, 2021). Zmiana ta umożliwi obniżenie poboru prądu oraz emisji CO₂. W tym kontekście odpowiedzialne gospodarowanie zasobami w magazynie podyktowane będzie też wdrożeniem praktyk, które skoncentrują się na zwiększeniu efektywności gospodarowania zasobami i jednocześnie pozwolą na zmniejszenie ich wpływu na środowisko. Poza tym nieprawidłowy układ przestrzenny magazynu może powodować skutki w realizacji fazy kompletacji i wydania, jak miało to miejsce do tej chwili. Fazy te mogą się wydłużać, co skutkuje również dłuższym oczekiwaniem odbiorcy na towar.

6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza pozwoliła dostrzec kilka korzyści wynikających ze zmiany regałów uniwersalnych na regały typu push-back. Zmiana typu regału pozwoliłaby na poprawienie wydajności magazynu i zminimalizowanie ewentualnych opóźnień w dostawach i późniejszej realizacji wydań towaru z magazynu. Analizowane dane wyraźnie wskazują na skrócenie czasu pracy magazynierów przyjmujących towar, dzięki czemu zaoszczędzony czas będą mogli przeznaczyć na inne obowiązki, np. kompletowanie przesyłek do wydania. Ponadto zmiana zajmujących dużo miejsca regałów uniwersalnych na regały typu push-back pozwoliłaby znacząco powiększyć dostępną powierzchnię składowania.

Ważnym aspektem wprowadzenia tych zmian jest również dostrzeżenie ich w konfiguracji układu magazynu. Nowy typ regałów to dodatkowa strefa przyjęć, co w konsekwencji powoduje zmiany układu przestrzennego magazynu. Wprowadzenie jej z całą pewnością wpłynie na jego bieżącą działalność, powodując znaczące usprawnienie fazy przyjęcia.

Decyzja związana z odpowiednim ukształtowaniem magazynu i jego wyposażeniem jest bardzo ważna. Wpływa na jego wydajność, koszt transport, czas obsługi i pojemność magazynową, co zostało przedstawione we wcześniejszej części artykułu. Nowy typ regału wraz z nową konfiguracją układu magazynu pozwala na uzyskanie lepszych wartości m.in. przy takich wskaźnikach, jak: stopień wykorzystania magazynu, pojemność magazynu, efektywność wykorzystania powierzchni użytkowej magazynu, wskaźnik kosztu eksploatacji. W ten sposób zmiana układu przestrzeni i typu regału pozwoli na uzyskanie korzyści w aspekcie organizacyjnym, finansowym i środowiskowym.

Zmiany te lepiej wpasowują się w aktualny rozwój sektora gospodarki magazynowej, pozwalając na przechowywanie większej liczby towarów na mniejszej przestrzeni. W dobie wysokiej konsumpcji, ogromnego popytu na dobra wszelakiego rodzaju istotne staje się lepsze gospodarowanie i zarządzanie dostępną przestrzenią. Układ przestrzenny może w dużym stopniu pomóc w realizacji strategii i taktyki przedsiębiorstwa.

W obecnych czasach coraz większe znaczenie ma właściwe rozplanowanie powierzchni magazynowych. Na wprowadzane zmiany wykonywane tylko w obszarze wyposażenia nie można patrzeć fragmentarycznie. Analiza powinna obejmować również zagadnienia związane z układem przestrzeni magazynu, a zagadnienie przestrzeni magazynowej powinno być rozpatrywane łącznie z infrastrukturą magazynową i problemem rozmieszczenia towaru w strefie składowania, dlatego też w kolejnych badaniach autorzy zamierzają rozszerzyć swoje analizy o wspomniane aspekty.

LITERATURA

- Ashayeri, J., Gelders, L.F., Wassenhove, L. (1985). A microcomputer-based optimization model for the design of automated warehouses. *International Journal of Production Research*, 23, 4, 825-839.
- Azadeh, K., de Koster, R.B.M., Roy, D. (2019). Robotized Warehouse Systems: Developments and Research Opportunities. *Transportation Science*, 53(4), 917-945.
- Baker, P., Halim, Z. (2007). An exploration of warehouse automation implementations: cost, service and flexibility issues. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12, 2, 129-138.
- Bartholdi, J.J., Hackman, S.T. (2016). *Warehouse & Distribution Science: Release 0.97*. Atlanta, GA: The Supply Chain and Logistics Institute, Georgia Institute of Technology. Retrieved from: www.warehouse-science.com.
- Bassan, Y., Roll, Y., Rosenblatt, M.J. (1980). Internal Layout Design of Warehouse. *AIIE Transactions*, 12, 4, 317-322.
- Berry, J.R. (1968). Elements of warehouse layout. *International Journal of Production Research*, 7, 2, 105-121.
- Cortes, P., Gomez-Montoya, R.A., Munuzuri, J., Correa-Espinal, A. (2017). A tabu search approach to solving the picking routing problem for large- and medium-size distribution centres considering the availability of inventory and K heterogeneous material handling equipment. *Applied Soft Computing*, 53, 61-73.
- de Koster, R., Le-Duc, T., Roodbergen, K.J. (2007). Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481-501.
- de Vries, J., de Koster, R.B.M., Stam, D. (2016). Exploring the role of picker personality in predicting picking performance with pick by voice, pick to light and RF-terminal picking. *International Journal of Production Research*, 54(8), 2260-2274.
- Diefenbach, H., Glock, C.H. (2019). Ergonomic and economic optimization of layout and item assignment of a U-shaped order picking zone. *Computers & Industrial Engineering*, 138, 1-17.
- Golińska-Dawson, P., Werner-Lewandowska, K., Kosacka-Olejnik, M. (2021). Responsible Resource Management in Remanufacturing-Framework for Qualitative Assessment in Small and Medium-Sized Enterprises. *Resources*, 10(2), 19, 1-17.
- Gong, Y., de Koster, R.B.M. (2011). A review on stochastic models and analysis of warehouse operations. *Logistics Research*, 3, 4, 191-205.

- Gray, A.E., Karmarkar, U.S., Seidmann, A. (1992). Design and operation of an order-consolidation warehouse: models and applications. *European Journal of Operational Research*, 58, 14-36.
- Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L.F. (2010). Research on Warehouse Design and Performance Evaluation: A Comprehensive Review. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 539-549.
- Huertas, J.I., Diaz, J., Trigos, F. (2007). Layout evaluation on large capacity warehouses. *Facilities*, 25, 7/8, 259-270.
- Koliński, A., Werner-Lewandowska, K. (2021). Determinants of the Use of Logistic Labels by 3PL and 4PL Operators – Results of Studies in Poland. *European Research Studies Journal*, XXIV, 2B, 871-881.
- Kudelska, I., Niedbał, R. (2020). Technological and organizational innovation in warehousing process – research over workload of Staff and efficiency of picking stations. *Economics and Management*, 23(3), 67-81.
- Kudelska, I., Pawłowski, G. (2020). Influence of assortment allocation management in the warehouse on the human workload. *Central European Journal of Operation Research*, 28, 779-795.
- Lee, H.L., Lee, M.H., Hur, L.S. (2005). Optimal design of rack structure with modular cell in AS/RS. *International Journal of Production Economics*, 98, 2, 172-178.
- Lerher, T. (2006). Design and evaluation of the classbased multi-aisle AS/RS. *International Journal of Simulation Modeling*, 5, 1, 25-36.
- Lin, L.C., Sharp, G.P. (1999). Quantitative and qualitative indices for the plant layout evaluation problem. *European Journal of Operational Research*, 116(1), 100-117.
- Macro, J.G., Salmi, R.E. (2002). A simulation tool to determine warehouse efficiencies and storage allocations. *Winter Simulation Conference Proceedings*, 2, 1274-1281.
- Masae, M., Glock, C.H., Grosse, E.H. (2020). Order picker routing in warehouses: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 224, 107564.
- Matson, J.O., White, J.A. (1982). Operational research and material handling. *European Journal of Operational Research*, 11, 4, 309-318.
- Park, Y.H., Webster, D.B. (1989). Modelling of three-dimensional warehouse systems. *International Journal of Production Research*, 27(6), 985-1003.
- Petersen, C.G., Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92(1), 9-11.
- Petersen, C.G., Siu, C., Heiser, D.R. (2005). Improving order picking performance utilizing slotting and golden zone storage. *International Journal of Operations & Production Management*, 25, 10, 997-1012.
- Roodbergen, K.J., Vis, I.F.A. (2006). A model for warehouse layout. *IIE Transactions*, 38(10), 799-811.
- Theys, C., Bräysy, O., Dullaert, W., Raa, B. (2010). Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses. *European Journal of Operational Research*, 200(3), 755-763.
- Thomas, L.M., Meller, R.D. (2015). Developing design guidelines for a case-picking warehouse. *International Journal of Production Economics*, 170 (Part C), 741-762.
- van Gils, T., Ramaekers, K., Braekers, K., Depaire, B., Caris, A. (2018). Increasing Order Picking Efficiency by Integrating Storage, Batching, Zone Picking, and Routing Policy Decisions. *International Journal of Production Economics*, 197 (Part C), 243-261.

- Vanheusden, S., van Gils, T., Ramaekers, K., Caris, A., Cornelissens, T. (2020). *Increasing the practical applicability of research on order picking planning: state-of-the-art classification and review* (January 6). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3700120> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3700120>.
- Vujanac, R., Miloradovic, N., Vulovic, S. (2016). Dynamic storage systems. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, XIV, 79-82.
- Vujica Herzog, N., Buchmeister, B., Beharic, A., Gajsek, B. (2018). Visual and optometric issues with smart glasses in Industry 4.0 working environment. *Advances in Production Engineering & Management*, 13(4), 417-428.

MANAGEMENT OF WAREHOUSE SPACE – A CASE STUDY

Summary

Increasing competition on the market requires a company to improve the efficiency of its logistics process. The warehouse is one of the most important elements of the logistics process. Good warehouse operation efficiency will improve quality and delivery time. And these parameters also contribute to customer satisfaction and lower operating costs. This article is devoted to the analysis of the impact warehouse structure and its equipment have on cost. The main goal of this article is to identify the benefits of changing the type of rack and the arrangement of resources. Using a case study, the article compares parameters related to the use of two types of racks and presents results of simulation tests of routes covered by a forklift truck between individual zones. A key element of the work is to indicate the benefits of using a dynamic rack. The research has shown that the decision on the appropriate design of the warehouse and its equipment is very important, as it affects, among other things, warehouse efficiency, transport costs, service time and warehouse capacity. The benefits that resulted from the analysis were divided into three groups: financial, environmental and organizational. The results of this study provide valuable information for practitioners as they show a holistic approach to the reorganization of the spatial layout of the warehouse.

Keywords: storage, warehouse, rack, warehouse space

