Kamila Kluska, Paweł Pawlewski
Politechniki Poznańskiej, Wydział Inżynierii Zarządzania

Optymalizacja liczby opakowań wielokrotnego użytku w przedsiębiorstwie branży farmaceutycznej

Optimization of the number of reusable packaging in an enterprise of pharmaceutical branch

Artykuł przedstawia przebieg badań i wyniki projektu realizowanego we współpracy z jednym z przedsiębiorstw działających w branży farmaceutycznej w Polsce. Celem projektu jest wyznaczenie optymalnej liczby opakowań wielokrotnego użycia. Badania prowadzone są na terenie dwupiętrowej hali, gdzie produkowane są różnego rodzaju tabletki. W badanym obszarze przedsiębiorstwa do przechowywania i transportu surowców wykorzystywana jest beczka. Gabaryty beczek, ich wysoka cena, a przede wszystkim konieczność spełnienia wymagań branżowych dotyczących bezpieczeństwa przechowywanego i przemieszczanego surowca powodują szereg problemów zarówno dla pracowników kierujących tym obszarem firmy, jak i dla pracowników operacyjnych. Dotychczasowe problemy, a także planowane zwiększenie produkcji generują potrzebę zbudowania narzędzia, które pozwoli na wyznaczenie optymalnej, dla prawidłowego przebiegu procesu, liczby beczek. Narzędziem opisanym w niniejszym artykule jest model symulacyjny zbudowany z wykorzystaniem oprogramowania symulacyjnego FlexSim.

Słowa kluczowe:
opakowania, transport wewnętrzny, symulacja komputerowa.

The article presents the course of research and the results of the project carried out in cooperation with one of the companies operating in the pharmaceutical industry in Poland. The goal of the project is to determine the optimal number of reusable packaging. The research is conducted on the wall of a two-storey hall, where various types of tablets are produced. In the studied area of the enterprise, a barrel is used to store and transport raw materials. The dimensions of barrels, their high price, and above all the need to meet industry requirements regarding the security of stored and transported raw material cause a number of problems for both employees managing this area of the company, as well as for operational employees. The problems to date and the planned increase in production generate the need to build a tool that will allow to determine the optimal number of barrels for the correct course of the process. The tool described in this article is a simulation model built using FlexSim simulation software.

Key words:
packaging, internal transport, computer simulation.

Wstęp

Badania prowadzone były w jednej z hal produkcyjnych przedsiębiorstwa działającego w branży farmaceutycznej. W obszarze analizowanej, dwupiętrowej hali produkowane są różnego rodzaju tabletki. W związku z planami zwiększenia ilości i różnorodności produkowanych leków, dotychczasowe problemy przedsiębiorstwa związane z danym obszarem działalności muszą zostać roztrzygnięte. W przeciwnym wypadku proces produkcji nie będzie spełniał stawianych przed nim wymagań. Głównym problemem, który uniemożliwia sprawną realizację procesu produkcji, jest zbyt mała powierzchnia magazynowa.

Ze względu na obecną wielkość hali, a także ograniczone możliwości rozbudowy, bądź też przeorganizowania powierzchni produkcyjnej, możliwości rozwiązania tego problemu są niewielkie. Pojawił się pomysł wyznaczenia optymalnej liczby opakowań transportowych, wykorzystywanych przez pracowników przedsiębiorstwa na drodze produkcji gotowych leków. Opakowania te to dwustulitrowe, metalowe beczki. Duże gabaryty, wysokie koszty związane z zakupem i konserwacją, konieczność przestrzegania procedur związanych z manipulacją oraz przechowywaniem powodują, że wszystkie projekty zmian związanych z tego typu opakowaniami muszą zostać poddane wnikliwej analizie. W związku z powyższym pomysł wyznaczenia ich optymalnej liczby uznano za zasadny.

Głównym celem, jaki przedsiębiorstwo zamierza osiągnąć, jest wyznaczenie najmniejszej liczby dwustulitrowych, metalowych beczek, które pozwolą na prawidłowe zrealizowanie procesu produkcji. Celem pobocznym jest opracowanie wizualizacji realizowanego procesu produkcji, który umożliwi pracownikom przedsiębiorstwa zrozumienie zasad i zależności w nim występujących. Dla osiągnięcia tych celów zbudowano model symulacyjny. Zakres realizowanego projektu obejmował:

- dokładną analizę obiegu beczek na terenie hali produkcyjnej;
- zbudowanie modelu symulacyjnego odzwierciedlającego liczbę i lokalizację obiektów w badanej przestrzeni przedsiębiorstwa z uwzględnieniem pomieszczeń, dróg transportowych, myjni oraz przestrzeni magazynowej;
- odzwierciedlenie przebiegu procesu produkcji z uwzględnieniem specyfiki maszyn dedykowanych do realizacji określonego typu operacji, na określonych typach substancji, w dokładnie określonym czasie;
- analizę i uwzględnienie procesów czyszczenia oraz konserwacji maszyn, a także opakowań transportowych;
- przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych i wyznaczenie optymalnej liczby beczek na podstawie udostępnionego przez przedsiębiorstwo harmonogramu produkcji.

Głównym celem było zbudowanie narzędzia, które pozwala na wyznaczenie optymalnej liczby opakowań transportowych dla dowolnego, założonego przez przedsiębiorstwo harmonogramu produkcji. Dzięki temu będzie ono mogło zostać wykorzystane w przyszłości, gdy przedsiębiorstwo zdecyduje się na zwiększenie ilości produkowanych leków lub zakup dodatkowych maszyn.

Podczas prowadzenia badań oraz budowania modelu symulacyjnego napotkano szereg trudności, które są związane z koniecznością dokładnego przeanalizowania i zrozumienia przebiegu złożonego procesu produkcji. Proces pozyskania danych był bardzo czasochłonny, ponieważ dostęp do informacji i miejsc realizacji procesów produkcyjnych w fabrykach branży farmaceutycznej jest ograniczony. Kolejnym problemem był proces selekcji i dostosowania dużej ilości danych do potrzeb zbudowanego modelu symulacyjnego. Dużą trudnością było odwzorowanie w wirtualnej przestrzeni modelu lokalizacji wszystkich obiektów i pomieszczeń obecnych na terenie dwupiętrowej hali produkcyjnej. W dodatku modelowanie logiki procesu produkcji realizowanego przez przedsiębiorstwo wymagało uwzględnienia dedykacji każdej maszyny do przetworzenia określonych rodzajów substancji oraz zbudowania osobnych harmonogramów pracy dla każdej z nich. Harmonogramy te musiały uwzględniać różne czasy realizacji konkretnych operacji, zależne od rodzaju produkowanych tabletek.

Celem artykułu jest przedstawienie modelu symulacyjnego, który pozwala na wyznaczenie optymalnej liczby beczek w określonych warunkach funkcjonowania przedsiębiorstwa. Do zbudowania tego modelu wykorzystano oprogramowanie symulacyjne FlexSim. Oprogramowanie FlexSim pozwala na skupienie działań na istocie problemu z jednoczesnym uwzględnieniem całej złożoności opisanego w niniejszym artykule procesu produkcji. Główną zaletą tego oprogramowania jest szeroki zakres możliwości przy jednoczesnej przystępności dla potencjalnego użytkownika modelu.

Artykuł zbudowany jest z pięciu części. W pierwszej zdefiniowano cel oraz zakres artykułu. W następnej, na podstawie analizy literatury, scharakteryzowano problematykę logistyki wewnętrznej opakowań w przedsiębiorstwie produkcyjnym, ze szczególnym uwzględnieniem opakowań przeznaczonych do wielokrotnego użycia. W trzecim przeprowadzono analizę stanu istniejącego obszaru przedsiębiorstwa, będącego przedmiotem badań i sformułowano problem badawczy. Opisano etapy realizacji procesu produkcji badanej grupy wyrobów farmaceutycznych i scharakteryzowano krytyczne punkty procesu w odniesieniu do obiektu badań, czyli beczek. Czwarta część zawiera koncepcję rozwiązania postawionego problemu. Scharakteryzowano w nim założenia, etapy budowy i opis modelu symulacyjnego oraz przedstawiono przeprowadzone eksperymenty symulacyjne i ich wyniki. Podsumowanie i kierunki dalszych badań przedstawiono w rozdziale piątym.

System transportu wewnętrznego oraz opakowania w przemyśle farmaceutycznym

System transportu jest jednym z głównych elementów każdego systemu logistycznego, dlatego zarządzanie nim wymaga realizacji szeregu złożonych zadań zarówno w jego obszarze zewnętrznym, jak i wewnętrznym. Zadania te obejmują czynności związane

z projektowaniem, planowaniem, organizowaniem i kontrolą. Transport jako system jest niezbędny dla zapewnienia wymiany dóbr i informacji pomiędzy poszczególnymi podsystemami i obszarami przedsiębiorstwa. Jest to łącznik, którego sprawne funkcjonowanie jest niezwykle ważne, ponieważ warunkuje skuteczną realizację procesów zaopatrzenia, magazynowania, produkcji i realizacji zamówień przez przedsiębiorstwo.

Aby utrzymać pozycję na stale rozwijającym się rynku i podnosić jakość oferowanych usług, przedsiębiorstwa usprawniają posiadane systemy produkcyjne. Działania te dotyczą nie tylko ulepszania stosowanych technologii, modernizowania przestrzeni produkcyjnej, podnoszenia umiejętności pracowników oraz poprawiania warunków ich pracy, lecz również zapewnienia skutecznego transportu wewnętrznego. Poprawnie zorganizowany system transportu wewnętrznego pozwala na terminowe dostarczenie określonych ilości surowców, materiałów, półwyrobów i wyrobów gotowych w odpowiednie miejsca systemu produkcji. Jego niewłaściwa organizacja przekłada się na niepełne wykorzystanie czasu pracy pracowników przedsiębiorstwa, stanowisk i maszyn, które są przez nich obsługiwane, wzrost poziomu zapasów, wydłużenie czasu realizacji zamówień, a to powoduje wzrost kosztów oraz niewłaściwe wykorzystanie potencjału produkcyjnego przedsiębiorstwa. Z uwagi na zagrożenia wynikające z niewłaściwej organizacji transportu wewnątrzzakładowego oraz niepodważalne korzyści wynikające z jego usprawniania, jest to niezwykle istotne zagadnienie z punktu widzenia każdego przedsiębiorstwa.

Ze względu na wielkość zakładu i rodzaj prowadzonej działalności można wyróżnić różne modele organizacyjne systemu transportu bliskiego. Mogą to być środki transportu, które są wykorzystywane do wykonywania ściśle określonych zadań przez określone jednostki przedsiębiorstwa lub wyodrębniony wydział transportu, którego zadaniem jest realizacja całokształtu zadań transportowych w przedsiębiorstwie. Ze względu na wykonywane w przedsiębiorstwach produkcyjnych i usługowych zadania, system transportu wewnętrznego można podzielić na:

- transport składowo-magazynowy, którego funkcjonowanie opiera się na operacjach przyjęcia, składowania w magazynach przedsiębiorstwa oraz wysyłki materiałów;
- transport produkcyjny, dotyczący wyrobu i przenoszenia dóbr w ramach realizacji procesu produkcyjnego, którego elementami są:
  - transport międzywydziałowy, który jest realizowany pomiędzy określonymi wydziałami produkcyjnymi;
  - transport wewnątrzwydziałowy zachodzący w obszarze poszczególnych hal produkcyjnych;
  - transport międzystanowiskowy realizowany pomiędzy stanowiskami roboczymi;
  - transport stanowiskowy, którego realizacja odbywa się w obszarze stanowiska roboczego (Zbichorski, 1972).

Warto zaznaczyć, że każdy zakład produkcyjny posiada określone potrzeby transportowe, do których realizacji niezbędne jest zaangażowanie odpowiednich środków transportowych. Dla sprawnego funkcjonowania systemu transportu w przedsiębiorstwie potrzebne są jednak nie tylko środki transportowe, lecz również jego właściwa organizacja, a także odpowiednie kwalifikacje pracowników (Zabłoński, 1984).

Właściwie funkcjonujący transport wewnętrzny wymaga stałego dążenia do:

- transportowania dóbr z maksymalną szybkością, przy jednoczesnym zachowaniu warunków bezpieczeństwa;
- minimalizacji czasu realizacji procesów załadunku i rozładunku, długości dróg transportowych i liczby procesów przeładunku;
- stosowania odpowiednich środków transportowych.

Spełnienie tych warunków pozwala na minimalizację energochłonności i pracochłonności systemu transportu wewnętrznego (Nowakowski, 2001).

Wiele przedsiębiorstw decyduje się na wykorzystanie zautomatyzowanych rozwiązań dotyczących transportu i magazynowania, które pozwalają na zwiększenie elastyczności systemów logistycznych oraz przepływu materiałów w poszczególnych obszarach przedsiębiorstwa. Są to jednak rozwiązania kosztowne, wymagające posiadania przez przedsiębiorstwo określonej infrastruktury.

W przedsiębiorstwach branży farmaceutycznej istnieje szereg ograniczeń, które często uniemożliwiają wdrożenie zautomatyzowanych systemów transportowych w obszarze produkcji. W dodatku czynności związane z transportem dóbr odgrywają niezwykle istotną rolę, przez co ich sprawna organizacja i usprawnianie przekłada się na redukcję kosztów operacyjnych, które są związane przede wszystkim z personelem obsługującym środki transportu wewnętrznego, doborem rodzaju oraz środków transportu, układem dróg transportowych, liczbą oraz rodzajem wykorzystywanych opakowań.

Decyzja o wykorzystaniu opakowań wielokrotnego bądź jednorazowego użytku jest w przemyśle farmaceutycznym niezwykle istotna i powinna być poprzedzona analizą ekonomiczną (Mollenkopf, Closs, Twede, Lee, Burgess, 2005). Don McKerrow wyróżnia szereg korzyści wynikających z wykorzystania znormalizowanych opakowań wielokrotnego użytku w przemyśle, takich jak:

- redukcja kosztów zakupu i utylizacji opakowań jednorazowego użytku,
- lepsze standardy ochrony produktów przed uszkodzeniem,
- łatwość obsługi, układania, identyfikacji i lokalizacji ładunków w przestrzeni przedsiębiorstwa,

- standaryzacja przestrzeni magazynowej,
- zwiększenie wykorzystania środków transportu wewnętrznego w przedsiębiorstwie (szczególnie w przypadku transportu ładunków mieszanych; McKerrow, 1996, s. 39–42).

Dodatkową zaletą jest zmniejszenie wpływu na środowisko naturalne, redukcja kosztów logistycznych i zwiększenie wydajności systemu transportu (Mollenkopf, Closs, Twede, Lee, Burgess, 2005).

Podczas doboru opakowań wielokrotnego użytku należy wziąć pod uwagę, że ich podstawową funkcją jest ochrona jakości transportowanych dóbr przed oddziaływaniem czynników zewnętrznych. Są to czynniki: fizykochemiczne (wilgotność, energia cieplna, energia świetlna, promieniowanie), mechaniczne (wstrząsy, uderzenia, naprężenia) oraz biologiczne (mikroorganizmy, szkodniki). Ponadto opakowanie oraz jego oznaczenia powinny umożliwiać prawidłową i sprawną identyfikację jego zawartości. Istnieje szereg konkretnych wymagań dotyczących jakości opakowań wykorzystywanych w przemyśle farmaceutycznym. Wymagania te są ściśle związane z rodzajem produkowanych wyrobów i warunkami, w których są wykorzystywane. Rodzaj opakowania oraz surowiec, z którego zostało ono wykonane, muszą być tak dobrane, aby nie zachodziły reakcje chemiczne pomiędzy opakowaniem a jego zawartością.

Definicja problemu

Tematem realizowanego projektu jest optymalizacja liczby opakowań wielokrotnego użytku w przedsiębiorstwie branży farmaceutycznej, jednego z największych w Polsce zakładów produkujących tabletki. Przedsięwzięcie to wiąże się z rozwojem przedsiębiorstwa, a co za tym idzie wzrostem potrzeb w stosunku do efektywności procesu produkcji. Sprawna organizacja procesów transportu wewnątrzzakładowego oraz magazynowania jest niezbędna dla prawidłowego przebiegu procesu produkcji, zwłaszcza w przypadku planowanego zwiększenia liczby i różnorodności produkowanych wyrobów. Aby wdrożenie planowanych zmian było możliwe, należy rozwiązać obecne problemy przedsiębiorstwa.

Do problemów tych można zaliczyć niewystarczająco dużą powierzchnię magazynową znajdującą się w obszarze hali produkcyjnej, na której realizowany jest proces produkcji tabletek. Nie pozwala ona na przechowywanie w prawidłowy sposób wszystkich wykorzystywanych do procesu produkcji opakowań wielokrotnego użytku. Bardzo często ze względu na brak miejsca w magazynach beczki wraz z przechowywaną w nich zawartością są składowane na korytarzu. Skutkuje to utrudnieniami w przemieszczaniu się pracowników przedsiębiorstwa pomiędzy poszczególnymi stanowiskami znajdującymi się na hali produkcyjnej, a także w transporcie beczek do myjni i maszyn produkcyjnych. Powstaje wysokie ryzyko uszkodzenia beczek i ich zawartości. To przekłada się na ryzyko poniesienia ogromnych kosztów finansowych związanych z koniecznością ponownego zakupu bardzo drogich surowców, a także utratą kosztownej beczki, dostosowanej do potrzeb przemysłu farmaceutycznego i produkowanej na specjalne zamówienie. Opisane problemy coraz bardziej doskwierają pracownikom przedsiębiorstwa. Brak możliwości rozbudowania, bądź zmodernizowania przestrzeni produkcyjnej spowodował, że kierownictwo podjęło decyzję o wyznaczeniu optymalnej liczby beczek. Wyznaczenie jej pozwoli na określenie czy możliwe jest zmniejszenie posiadanej liczby beczek, a co za tym idzie zmniejszenie obciążenia powierzchni magazynowej. Przez optymalną jest rozumiana ich najmniejsza liczba, która pozwala na sprawne zrealizowanie założonego przez przedsiębiorstwo programu produkcji obejmującego 31 dni roboczych. Obecnie w opisywanym obszarze przedsiębiorstwa jest wykorzystywanych 305 sztuk dwustulitrowych beczek.

Analizowany proces produkcji jest bardzo złożony. Rozpoczyna się od procesu naważania, który polega na wypełnieniu beczek surowcami w odpowiednich proporcjach wagowych. Dla każdego wyrobu zdefiniowane są odpowiednie ilości i proporcje konkretnych substancji, które muszą zostać umieszczone w beczce z uwzględnieniem przez pracowników produkcyjnych konieczności przestrzegania odpowiednich procedur dotyczących bezpieczeństwa i kolejności wykonywania poszczególnych operacji. Czas realizacji tego procesu jest różny i zależy od rodzaju produkowanych tabletek. Proces naważania jest realizowany w czterech pomieszczeniach zlokalizowanych na pierwszym piętrze hali produkcyjnej. W przedsiębiorstwie pomieszczenia te są nazywane naważalniami. Każda naważalnia jest obsługiwana przez dwóch pracowników. Po wypełnieniu surowcami beczki są transportowane do magazynu serii naważonych. Gdy pojawi się zapotrzebowanie na konkretne surowce, beczki z magazynu serii naważonych zostaną przetransportowane przez pracownika obsługującego transport międzystanowiskowy na miejsce serii odkładcze przed windą. Następnie zostaną przewiezione windą do magazynu serii skompletowanych, znajdującym się na drugim piętrze hali produkcyjnej.

Kolejnym etapem produkcji tabletek jest proces realizowany w ośmiu pomieszczeniach nazywanych wsadowniami. We wsadowniach zawartość beczek jest przesypywana do maszyn i przetwarzana przez kilka godzin. Brudne beczki są transportowane przez pracownika obsługującego transport międzystanowiskowy do magazynu beczek brudnych, gdzie oczekują na przyjęcie do myjni. W myjni obsługiwanej przez dwóch pracowników beczki są czyszczone, a następnie trafiają do magazynów beczek czystych. Po za-

kończeniu procesu mieszania surowców we wsadowniach z magazynu beczek czystych pobierane są czyste beczki, które są następnie wypełniane odpowiednią ilością półproduktów. Wypełnione beczki są następnie transportowane do jednego z pięciu magazynów.

Gdy pracownicy tabletkarni zgłoszą zapotrzebowanie na półprodukty, beczki z zamówioną zawartością zostaną pobrane z magazynów i przetransportowane do jednego z dziesięciu pomieszczeń. Tam zawartość beczek zostanie przesypana do tabletkarek, a beczki zostaną przewiezione do magazynu beczek brudnych, gdzie będą oczekiwać na proces czyszczenia. W tabletkarniach realizowany jest proces formowania tabletek, które następnie umieszczane są w innym typie opakowań wielokrotnego użytku i transportowane do innej części hali, w celu powlekania i pakowania. Opisany projekt obejmuje swoim zakresem tylko procesy, które są realizowane z użyciem konkretnego typu beczek, w związku z czym odwzorowanie procesu produkcji zostało ograniczone do etapu tabletkowania.

Bardzo ważne jest uwzględnienie, że w każdej wsadowni i tabletkarni znajduje się inna maszyna, pracująca zgodnie z określonym harmonogramem, obsługiwana przez jednego pracownika i dedykowana do obsługi konkretnego zbioru substancji. Założono, że analizowany w projekcie obszar jest obsługiwany przez 29 pracowników:

- 4 zajmujących są obsługą transportu międzystanowiskowego,
- 8 zajmujących sią obsługą naważalni,
- 6 zajmujących się obsługą wsadowni,
- 9 zajmujących się obsługą tabletkarni,
- 2 obsługujących myjnie.

Na terenie dwupiętrowej hali produkcyjnej znajduje się 36 pomieszczeń (4 naważalnie, 8 wsadowni, 10 tabletkarni, 12 magazynów i 2 myjnie).

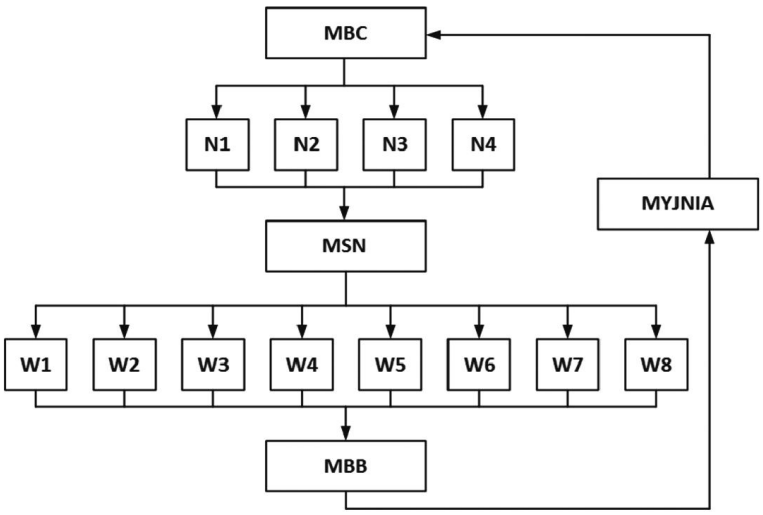
Na terenie hali znajdują się myjnie, które również pracują zgodnie z założonym harmonogramem. Pracują one przez trzy zmiany robocze, siedem dni w tygodniu. W ciągu jednej zmiany roboczej myjnie przyjmują po 9 partii beczek o wielkości 4 sztuk. Realizacja procesu czyszczenia jednej partii beczek trwa 20 minut.

W analizowanym procesie produkowanych jest 45 rodzajów tabletek, wymagających określonego sposobu obsługi, z wykorzystaniem określonych maszyn, pracujących przez zdefiniowany czas. Czas ten wynosi od 2 do nawet 34 godzin. Dodatkową cechą systemu produkcji jest konieczność czyszczenia maszyn po zakończeniu procesu przetwarzania każdej serii konkretnych substancji. Czas ten wynosi od 4 do 16 godzin.

Duża złożoność procesu produkcji, który jest realizowany na dwupoziomowej hali produkcyjnej powoduje, że wyznaczenie optymalnej liczby opakowań wielokrotnego użytku staje się bardzo dużym wyzwaniem. Na potrzeby projektu na podstawie opisanego procesu produkcji zbudowano schematy, które pokazują obieg beczek w obrębie analizowanej hali produkcyjnej. Schematy te pozwoliły na uporządkowanie wiedzy na temat kolejności realizacji poszczególnych procesów. Proces budowy schematów został zrealizowany we współpracy z pracownikami przedsiębiorstwa. Ze względu na przebieg procesu produkcji obieg ten można podzielić na dwie części. Schemat odzwierciedlający pierwszą część obiegu beczek na terenie obszaru przedsiębiorstwa objętego projektem przedstawiono na rysunku 1.

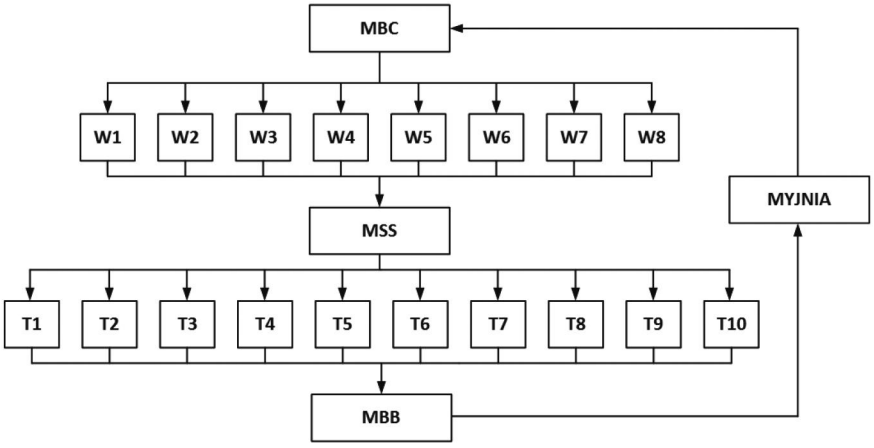
Obieg beczek rozpoczyna się od magazynu beczek czystych (MBC), skąd beczki są transportowane do czterech naważalni (N1, N2, N3, N4). Po umieszcze-

Rysunek 1
Część pierwsza obiegu beczek na terenie hali produkcyjnej przedsiębiorstwa



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 2
Część druga obiegu beczek na terenie hali produkcyjnej przedsiębiorstwa



Źródło: opracowanie własne.

niu w nich odpowiednich surowców i oznaczeniu ich etykietami beczki są transportowane do magazynu serii naważonych, gdzie oczekują na zlecenie ze wsadowni. Po nadejściu zlecenia beczki są transportowane do ośmiu wsadowni (W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8), gdzie są opróżniane, a następnie przewożone do magazynu beczek brudnych (MBB). W magazynie tym beczki oczekują na pobranie, przetransportowanie do jednej z dwóch myjni, po czym powrócą do magazynu beczek czystych (MBC). Magazyn ten rozpoczyna również drugą część obiegu beczek, która została przedstawiona na rysunku 2.

Z magazynu beczek czystych (MBC) beczki są transportowane do ośmiu wsadowni (W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8), gdzie po zakończeniu procesu mieszania surowców są one nimi napełniane i transportowane do pięciu magazynów serii skompletowanych (MSS). Po nadejściu zlecenia beczki są transportowane do dziesięciu tabletkarni, gdzie są opróżniane w celu przetworzenia ich zawartości, a następnie trafiają do magazynu beczek brudnych (MBB), gdzie czekają na proces czyszczenia w jednej z dwóch myjni, skąd zostaną przetransportowane do magazynu beczek czystych (MBC).

Specyfika procesu produkcji, a także niedostateczne możliwości ogólnodostępnych narzędzi analitycznych przełożyły się na konieczność wykorzystania technologii symulacyjnej.

Szeroki zakres możliwości oferowanych przez oprogramowanie symulacyjne pozwala na osiągnięcie celu projektu, a także pozyskanie dodatkowych informacji na temat wykorzystania maszyn produkcyjnych, lokalizacji wąskich gardeł w procesie i opracowanie wizualizacji. Wizualizacja procesu produkcji pozwala na uzyskanie całościowego poglądu na realizowany proces produkcji i zwiększenie świadomości dotyczącej codziennego funkcjonowania przedsiębiorstwa, co bezpośrednio przekłada się na usprawnienie procesów decyzyjnych realizowanych przez pracowników przedsiębiorstwa w codziennej pracy, a także usprawnienie procesu projektowania usprawnień dotyczących obecnej organizacji pracy pracowników przedsiębiorstwa.

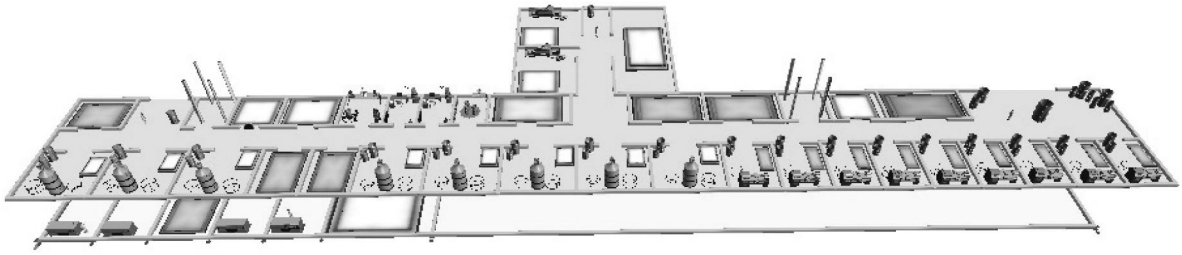
Model symulacyjny i eksperymenty symulacyjne

Proces budowy modelu symulacyjnego na potrzeby projektu wyznaczenia optymalnej liczby opakowań wielokrotnego użytku uwzględniał kilka podstawowych etapów. Pierwszym z nich było gromadzenie i przygotowanie danych. Są one zgromadzone w formie tabel zbudowanych w arkuszach kalkulacyjnych programu MS Excel. Tabele te zawierają dokładne informacje na temat zasad i ograniczeń istniejących w modelowanym systemie produkcji, dane dotyczące wielkości partii produkowanych leków i czasu przetwarzania poszczególnych substancji na określonych rodzajach maszyn, założony harmonogram produkcji obejmujący 31 dni roboczych oraz harmonogram pracy każdej maszyny obecnej w analizowanej przestrzeni przedsiębiorstwa.

Kolejnym etapem budowy modelu symulacyjnego było odzwierciedlenie lokalizacji wszystkich obiektów w wirtualnej przestrzeni zgodnie z układem rzeczywistym. Autorzy modelu symulacyjnego odzwierciedlili w wirtualnej przestrzeni modelu lokalizację maszyn, miejsc odkładczych i magazynów, a także układ ścian i pomieszczeń socjalnych w celu zwiększenia atrakcyjności wizualnej modelu i ułatwienia jego przyszłemu użytkownikowi odnalezienia się w przestrzeni objętej analizą.

Następnie uwzględniono zasoby mobilne, takie jak operatorzy i windy. Przydzielono pracowników do poszczególnych maszyn oraz do obsługi transportu między-

Rysunek 3
Wygląd modelu symulacyjnego analizowanego procesu produkcji tabletek w programie FlexSim



Źródło: opracowanie własne.

stanowiskowego. W kolejnych obiektach wprowadzono konkretne ustawienia w celu odwzorowania złożoności analizowanego procesu produkcji, odzwierciedlenia pojemności poszczególnych magazynów, wydajności maszyn i obiegu beczek w danym obszarze (rys. 3).

Po zatwierdzeniu przez przedsiębiorstwo poprawności przebiegu procesu produkcji w modelu symulacyjnym zaprojektowano eksperymenty symulacyjne w narzędziu programu FlexSim o nazwie „Eksperymentator". Praca z Eksperymentatorem polega na ustaleniu zmiennej decyzyjnej i jej konkretnych wartości, na podstawie których przeprowadzone zostają w sposób automatyczny serie eksperymentów symulacyjnych. Następnie wyświetlone zostają uzyskane wyniki dla przyjętego miernika wydajności systemu. W opisanym modelu symulacyjnym zmienną decyzyjną, która bezpośrednio przekłada się na wydajność systemu produkcji, jest liczba beczek wykorzystywanych w tym procesie. Miernik wydajności systemu to ilość wyrobów wyprodukowanych w procesie produkcji dla założonego harmonogramu produkcji, z wykorzystaniem założonej w poszczególnych scenariuszach liczby beczek. Harmonogram produkcji wprowadzony do modelu uwzględnia produkcję 467 jednostek wyrobów. Przeprowadzono kilkadziesiąt eksperymentów w celu wyznaczenia liczby opakowań wielokrotnego użytku, która pozwoli na wyprodukowanie założonej liczby jednostek wyrobów. Przedstawione w artykule wartości przyjęte w poszczególnych scenariuszach są danymi reprezentatywnymi, które mają pokazać jak zmienia się wydajność systemu produkcji tabletek w zależności od dostępnej liczby beczek. Przyjęte wartości przedstawiono w tabeli 1.

Dla wartości przyjętych w poszczególnych scenariuszach przeprowadzono po cztery eksperymenty symulacyjne, których wynikiem jest ilość produktów wyprodukowanych w symulowanym procesie produkcji leków. Wyniki eksperymentów symulacyjnych przedstawiono na rysunku 4.

Na podstawie uzyskanych wyników użytkownik modelu otrzymał konkretne informacje na temat zależności wydajności modelowanego systemu produkcji od liczby beczek do niego wykorzystywanych. Przy dostępności 250 beczek system jest w stanie wyprodukować jedynie 451 wyrobów, 261 beczek pozwala na wyprodukowanie 464 wyrobów, natomiast zarówno 262 beczki, jak i posiadane 305 beczek pozwalają na wyprodukowanie 467 wyrobów, czyli na zrealizowanie założonego harmonogramu produkcji. W związku z tym liczba opakowań wielokrotnego użytku wynosząca 262 sztuki jest traktowana jako optymalna. Trzeba jednak wziąć pod uwagę, że wprowadzenie harmonogramu produkcji o większym horyzoncie czasowym pozwoliłoby na uzyskanie bardziej wiarygodnych danych z punktu widzenia przedsiębiorstwa.

Tabela 1
Scenariusze zakładające określoną liczbę opakowań wielokrotnego użytku w modelowanym systemie produkcyjnym

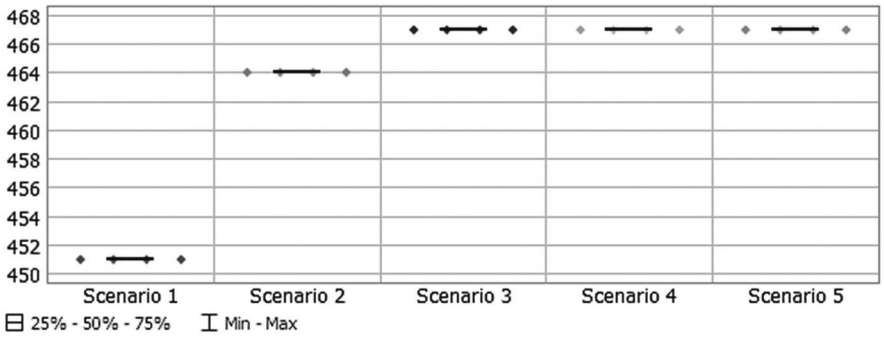
Nazwa scenariusza	Liczba beczek w systemie
Scenario 1	250
Scenario 2	261
Scenario 3	262
Scenario 4	300
Scenario 5	305

Źródło: opracowanie własne.

Warto zaznaczyć, że zbudowany model symulacyjny nie jest przeznaczony jedynie do jednorazowego użytku. Na danym etapie działalności przedsiębiorstwa dostarcza on konkretnych informacji na temat potrzebnej liczby beczek, która jest o 43 sztuki mniejsza, niż obecnie posiadana przez przedsiębiorstwo. Są to bardzo istotne informacje, ponieważ zmniejszenie liczby beczek i przetransportowanie ich w inne obszary przedsiębiorstwa pozwoli na odciążenie posiadanej powierzchni magazynowej oraz usprawnienie transportu międzystanowiskowego na hali produkcyjnej. Zbudowany model może zostać użyty w przyszłości, gdy przedsiębiorstwo zdecyduje się na zwiększenie liczby i różnorodności produkowanych leków.

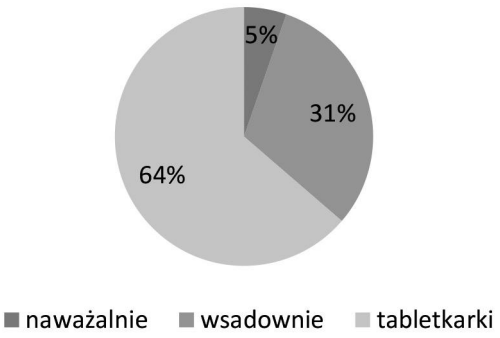
Modele symulacyjne pozwalają na uzyskanie konkretnych statystyk na temat obecnych w nich obiektów. Ważnym zadaniem było wyznaczenie wąskich

Rysunek 4
Wyniki eksperymentów symulacyjnych



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 5
Udział czasu produkcji wyrobów na danym typie maszyn w całkowitym czasie produkcji wyrobów



Źródło: opracowanie własne.

gardeł w analizowanym procesie produkcji. Wykres pokazujący statystyki dotyczące wykorzystania określonych typów maszyn w tym procesie został przedstawiony na rysunku 5.

Na podstawie otrzymanych danych za wąskie gardło można uznać tabletkarki, które są najbardziej obciążone. Wynika to z faktu, że czas realizacji procesu tabletkowania jest znacznie dłuższy niż poprzedzające go procesy naważania i wsadowania. Aby odciążyć posiadane zasoby, przedsiębiorstwo powinno zainwestować w kupno nowych tabletkarek, które będą dostosowane do obsługi dużej ilości substancji i będą pracować z większą wydajnością, dzięki czemu podczas realizacji procesu produkcji zminimalizowana zostanie liczba nieczynnych tabletkarek, a proces tabletkowania będzie realizowany w krótszym czasie, co przełoży się na wydajność całego systemu produkcji.

Wnioski i dalsze prace

Celem projektu realizowanego w przedsiębiorstwie produkującym wyroby farmaceutyczne przeanalizowanego w artykule jest wyznaczenie optymalnej liczby opakowań wielokrotnego użytku. Przedsiębiorstwo to planuje zwiększenie ilości i różnorodności produkowanych wyrobów, w związku z czym wymagania dotyczące efektywności analizowanego systemu produkcji znacząco wzrosną. Aby te wymagania spełnić, konieczne jest rozwiązanie obecnych problemów przedsiębiorstwa.

Problemy te dotyczą między innymi znajdującej się w obszarze dwupiętrowej hali produkcyjnej powierzchni magazynowej, która nie pozwala na przechowywanie w prawidłowy sposób wszystkich wykorzystywanych do procesu produkcji opakowań wielokrotnego użytku. Skutkuje to przechowywaniem beczek wraz z zawartością na korytarzu, co zakłóca procesy transportu międzystanowiskowego. W dodatku istnieje wysokie ryzyko uszkodzenia beczek i ich zawartości, co spowodowałoby poniesienie przez przedsiębiorstwo poważnych strat finansowych związanych z opóźnieniami w produkcji, koniecznością dokonania zakupu nowych beczek oraz substancji, które były w nich przechowywane. Brak możliwości rozbudowania bądź zmodernizowania przestrzeni produkcyjnej generuje potrzebę wyznaczenia optymalnej liczby beczek z wykorzystaniem symulacji komputerowej. Przez optymalną jest rozumiana ich najmniejsza liczba, która pozwala na sprawne zrealizowanie założonego przez przedsiębiorstwo programu produkcji obejmującego 31 dni roboczych. Obecnie w opisywanym obszarze przedsiębiorstwa jest wykorzystywanych 305 sztuk dwustulitrowych, metalowych beczek. Dzięki zbudowaniu modelu symulacyjnego, zaprojektowaniu i przeprowadzeniu eksperymentów symulacyjnych wyznaczono optymalną liczbę opakowań wielokrotnego użytku, która wynosi 262 sztuki. Oznacza to, że wykorzystywaną w danym obszarze przedsiębiorstwa liczbę beczek można zmniejszyć o 43 sztuki bez zmniejszenia wydajności procesu produkcji. Przełoży się to na odciążenie powierzchni magazynowej oraz usprawnienie procesów transportowych.

Model został zbudowany z wykorzystaniem oprogramowania FlexSim i pozwala na dokładne przeanalizowanie złożonego procesu produkcji oraz zgromadzenie konkretnych danych na jego temat, dzięki czemu możliwe jest zaprojektowanie, weryfikacja i wdrożenie zmian, prowadzących do usprawnienia realizowanych procesów oraz rozwiązania bieżących problemów przedsiębiorstwa. Model ten umożliwia szybkie przeanalizowanie przebiegu procesu produkcji, jego wydajności oraz stopnia wykorzystania czasu pracy maszyn i pracowników na podstawie dowolnego programu produkcji oraz założonej liczby opakowań wielokrotnego użytku. Jest to narzędzie wielokrotnego użytku, które może zostać wykorzystane przez przedsiębiorstwo w przyszłości w przypadku modernizacji przestrzeni produkcyjnej oraz zwiększenia ilości i różnorodności produkowanych leków.

Dzięki zastosowaniu technologii symulacyjnych możliwe było również przeprowadzenie wizualizacji procesów zachodzących na zaprojektowanej hali produkcyjnej w warunkach bliskich rzeczywistości. Technologie te pozwalają zweryfikować jakość zbudowanego projektu bez ryzyka zaistnienia w rzeczywistości skutków niedopatrzeń i błędów popełnionych przez pracowników podczas analiz.

Proces tworzenia opisanego w artykule modelu był realizowany w ciągłej współpracy z zainteresowanymi pracownikami przedsiębiorstwa, dzięki czemu odpowiada on rzeczywistym potrzebom jego przyszłych użytkowników.

Bibliografia

McKerrow, D. (1996). What makes reusable packaging systems work. *Logistics Information Management*, *9* (4), s. 39–42.

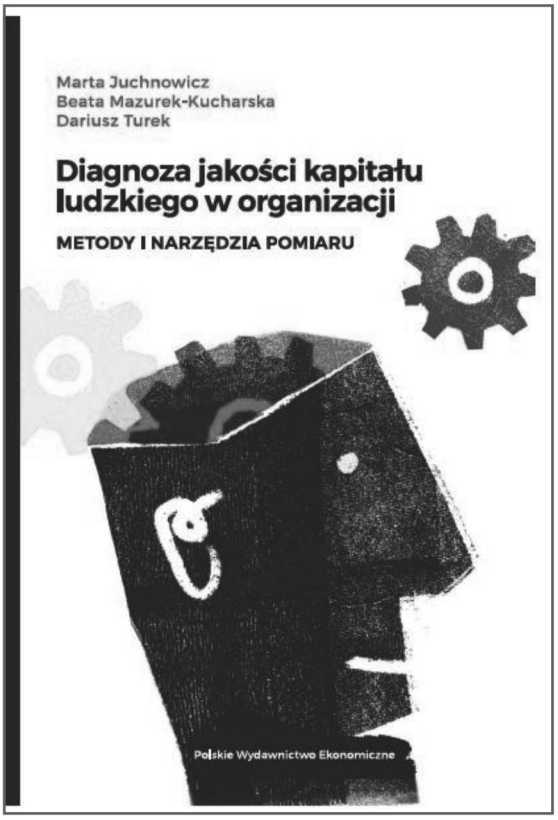
Mollenkopf, D., Closs, D., Twede, D., Lee, S., Burgess, G. (2005). Assessing the viability of reusable packaging: a relative cost approach. *Journal of Business Logistics*, *26* (1).

Nowakowski, T. (2011). W: *Systemy logistyczne* (część I). Warszawa: Difin.

Zabłoński, Z. (1984). *Organizacja bezpiecznej pracy w transporcie wewnętrznym*. Warszawa: Instytut Wydawniczy Związków Zawodowych.

Zbichorski, Z. (1972). *Organizacja transportu wewnętrznego w zakładach przemysłu maszynowego*. Warszawa: Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego „Wema".

PWE poleca



Celem niniejszej publikacji jest przedstawienie metod oraz narzędzi służących do pomiaru jakości kapitału ludzkiego, jakim dysponuje organizacja. Szerokie studia światowej literatury przedmiotu nie dostarczają kompleksowej i uniwersalnej propozycji w tym zakresie. Tymczasem posiadanie zobiektywizowanej wiedzy na temat jakości kapitału ludzkiego stanowi podstawę wielu decyzji zarządczych wewnątrz organizacji. Jest także ważnym elementem diagnozy kapitału ludzkiego organizacji, istotnej w podejmowaniu decyzji o fuzji, kupnie, likwidacji itp. Może być również pomocna w podejmowaniu decyzji z zakresu polityk regionalnych, np. edukacyjnej, mieszkaniowej, infrastrukturalnej, zdrowotnej. Przedstawione w niniejszym opracowaniu analizy i propozycje są efektem zarówno wieloletnich badań naukowych, jak i działań konsultingowych zespołu autorskiego. Mamy nadzieję, że oddana do rąk Czytelnika publikacja będzie interesującym głosem w dyskusji nad zagadnieniem jakości kapitału ludzkiego w procesie zarządzania nowoczesną organizacją.

www.pwe.com.pl