

Józef BENDKOWSKI
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Zarządzania i Administracji

STOCHASTYCZNE PROBLEMY MAGAZYNOWANIA. WYBRANE ZAGADNIENIA

Streszczenie. Artykuł prezentuje wybrane zagadnienia dotyczące systemów magazynowania związane z logistyką produkcji. Zostały tu przedyskutowane problemy związane z losowością, złożonością i prognozowaniem zachowania się systemów magazynowania. Główną tezę stanowi twierdzenie, że nie istnieje jedna ogólna definicja złożoności, co wynika z konieczności uwzględnienia kontekstu każdej refleksji na jej temat w badaniach. Zaprezentowano dwa przykłady zawierające problemy stochastyczne w szacowaniu popytu w powiązaniu z systemem magazynowania. Artykuł zakończono wnioskami.

STOCHASTIC STORAGE PROBLEMS. SELECTED ISSUES

Summary. The article presents some considerations for storage systems related to the logistics of production. In the article have been discussed problems with randomness, complexity and forecasting behavior of the storage systems. The main thesis is the assertion that there is one general definition of complexity, which arises from the need to take into account the context of each reflection on it in research. Shows two examples containing stochastic problems in estimating demand in connection with the storage system. Article finished proposals.

1. Wprowadzenie

Analiza oraz projektowanie efektywnych i elastycznych systemów produkcyjnych wymaga zastosowania zaawansowanych procedur obliczeniowych. Owe procedury obliczeniowe na ogół pochodzą z obszaru badań operacyjnych, cechują się dużą produktywnością, skutecznością. Odwołują się do dających się potwierdzić podstawowych

rezultatów logistyki produkcji. Do ich skutecznego wykorzystania niezbędne są zrozumienie możliwości, granic ich zastosowania oraz znajomość silnych i słabych stron tych procedur.

Naczelnym kryterium funkcjonowania logistyki produkcji jest zagwarantowanie ciągłości i odpowiedniej intensywności produkcji pod względem przepływów materiałowych według wymagań obowiązującej technologii. Operacyjnym kryterium logistyki produkcji jest minimalizacja zapasów produkcji w toku, którego realizacja oznacza minimalizację kosztów zamrożonego kapitału i redukcję kosztów utrzymywania tych zapasów.

Zasady zaopatrzenia materiałowego są związane przede wszystkim z wyborem pomiędzy zamówieniami na podstawie zapotrzebowania (określonego na podstawie planu produkcji) na podstawie zużycia (zapewniającego dostawę w momencie osiągnięcia stanu minimalnego zapasu – tzw. zapasu bezpieczeństwa). Podejmowane decyzje powinny uwzględniać dostępność odpowiednich rozwiązań logistycznych dotyczących zakresów zadań umożliwiających realizację przepływów dóbr i informacji w obszarze produkcji.

Do podstawowych kryteriów należą charakterystyki procesu produkcyjnego, które można również potraktować jako zasadnicze kwestie wymagające rozstrzygnięcia podczas organizowania działalności w obszarze logistyki zaopatrzenia materiałowego do produkcji.

W każdym systemie magazynowania centralnym problemem są zagadnienia dotyczące szacowania wielkości popytu. Trudności w określeniu popytu potęgują się dla układów szczególnie złożonych, charakteryzujących się losowością oraz małą możliwością prognozowania ich zachowania się. Do takich systemów, układów należą problemy rozważane w obszarze logistyki produkcji, dotyczące magazynowania.

W przedmiotowym artykule podjęto próbę zinterpretowania procesów magazynowania wspomagających procesy produkcyjne w kategoriach stochastycznych problemów. Stochastyczny charakter tych systemów magazynowania wynika z występowania niepewności, w jakich podejmowane są decyzje organizacyjne, które są następstwem losowości, złożoności oraz małej możliwości prognozowania zachowania się analizowanych systemów logistycznych.

2. Proces podejmowania decyzji a proces rozwiązywania problemów

W literaturze przedmiotu proces podejmowania decyzji oraz proces rozwiązywania problemów są najczęściej utożsamiane; za Newellem i Simonem: „Podstawą decyzji jest czynność intelektualna zwana rozwiązywaniem problemów”¹. Przez decydowanie zwykle

¹ Liu L., Liu X., Yao D.D.: Analysis and optimization of a multistage inventory – queue system. “Management Science”, No. 50, 2004, p. 365-380.

rozumieją dokonywanie świadomego, nielosowego wyboru jednego z wielu (co najmniej dwóch) możliwych sposobów postępowania jako sposobu rozstrzygnięcia określonego problemu. Wynikiem procesu decydowania jest decyzja, czyli postanowienie o wyborze jednego z wielu wariantów rozwiązania.

Zasady teorii podejmowania decyzji wskazują, że wybieranie należy odróżnić od decydowania, a podejmowanie decyzji od rozwiązywania problemów. Warto zauważyć, że nie każdy wybór jest decyzją i nie każde wybieranie jest podejmowaniem decyzji (decydowaniem). Aby wybieranie było decydowaniem, to musi być ono świadome i nielosowe. Zatem w określeniu „podejmowanie decyzji” niejako ukryty jest podproces oceny możliwych wariantów rozwiązania danego problemu z punktu widzenia określonego kryterium.

Każdy problem można traktować jako parę uporządkowaną $\langle T, R \rangle$, gdzie T jest zbiorem elementów tego problemu, a R zbiorem relacji określonych na T . Przez strukturę problemu rozumie się drugi element tej pary, tj. zbiór relacji, jakie zachodzą między elementami problemu. O problemie, dla którego zbiór relacji R jest dobrze (jednoznacznie) określony, mówi się, że jest to problem dobrze ustrukturyzowany.

Gdy dla danego problemu odpowiadający mu zbiór relacji R nie jest dobrze zdefiniowany (niejednoznaczny lub niepełny), to taki problem nazywa się słabo ustrukturyzowanym. Słabe ustrukturyzowanie problemu najczęściej wiąże się z występowaniem czynników (elementów zbioru T), które nie są mierzalne lub trudno podać ich jednoznaczną interpretację – są po prostu rozmyte.

Niepewność jako pojęcie teorii decyzji oznacza sytuację, w której określone decyzje mogą spowodować różne skutki w zależności od tego, który z możliwych stanów rzeczy zajdzie, przy czym nie są znane prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych z nich.

Formalnie decyzjami podejmowanymi w warunkach niepewności nazywa się taką klasę problemów decyzyjnych, w której dla przynajmniej jednej decyzji nie jest znany rozkład prawdopodobieństwa konsekwencji.

W praktyce prawie zawsze w wypadku niepewności określa się prawdopodobieństwo subiektywne zajścia danej konsekwencji.

W głównym nurcie ekonomii niepewność jest rozumiana jako problem decyzyjny, w którym określone decyzje powodują różne skutki w zależności od tego, który z możliwych stanów rzeczy zajdzie. Inaczej jednak niż w przypadku teorii decyzji ekonomiści najczęściej zakładają, że w takiej sytuacji najczęściej decydent zna rozkład prawdopodobieństwa wystąpienia określonych stanów rzeczy. W związku z tym najczęściej przyjmowanym w ekonomii rozwiązaniem problemu działania w warunkach niepewności jest maksymali-

zacja wartości oczekiwanej, czyli wybranie tego działania, którego wartość oczekiwana jest największa.

3. Problemy logistyki produkcji: losowość, złożoność

3.1. Istota losowości systemach złożonych

Losowość jest obecna w zachowaniu się systemów złożonych np. społecznych i ekonomicznych, na skutek różnych skomplikowanych, często nieprzewidywalnych, oddziaływań między ich elementami. Losowość była zawsze z naukowego punktu widzenia interesująca, także trudna do rozpoznania i zrozumienia.

Trudności z losowością wiążą się z uzyskaniem odpowiedzi na podstawowe pytania dotyczące istoty przypadku jako zjawiska losowego:

- Co to jest przypadek?
- Jakie zjawiska rzeczywiste są naprawdę przypadkowe (losowe)?
- Czy można mówić o ich przewidywalności?
- Jaki rodzaj niepewności, nieokreśloności czy rozmytej, niepełnej informacji o zjawisku można uznać za losowość?
- Czy analiza przypadku (losowości) jest konieczna do poznania mechanizmów systemów złożonych?

Mimo istnienia wielości różnych szczególnych zjawisk, których losowość wydaje się intuicyjnie oczywista, ogólna odpowiedź na pytania dotyczące istoty losowości nastrożca poważne trudności. Większość autorów, badaczy przypadku zwykle rezygnuje z prób jego definiowania.

Nalimov² uważa, że istnieją obok siebie dwa sposoby widzenia zjawisk: deterministyczny i probabilistyczny. Teorie są jedynie wyrazem tych dwóch podejść i służą porządkowaniu dopływających do nas wrażeń i faktów. Nalimov mówi nie o dwóch rodzajach zjawisk, ale o „dwóch sposobach widzenia zjawisk”. Dla celów ich teoretycznego (tj. matematycznego) opisywania i analizowania traktuje się je jako deterministyczne lub losowe zależnie od stopnia ich komplikacji czy nieregularności, rodzaju dostępnej informacji itp. Takie uproszczone podejście jest pomocne tym, którzy zajmują się zastosowaniami, tj. matematycznym modelowaniem i analizą zjawisk rzeczywistych.

Prawdopodobieństwem – poszukiwaniem ilościowych miar losowości – interesuje się teoria prawdopodobieństwa jako dziedzina matematyki.

² Nalimov V.: Probabilistyczny model języka. PWN, Warszawa 1976.

Nowoczesna matematyczna teoria prawdopodobieństwa wiąże się z nazwiskiem A.N. Kołmogorowa, który w 1933 r. zaproponował teorię aksjomatyczną opartą na teorii miary³.

Teoria miary to – mówiąc w uproszczeniu – dziedzina matematyki badająca funkcje określone na rodzinie zbiorów, tj. takie, których argumentami są zbiory, a wartościami – liczby rzeczywiste (lub zespolone); zwykle zakłada się, że funkcje te spełniają pewne dodatkowe warunki.

3.2. Rozumienie problemów złożoności

Zjawiska związane z losowością czy deterministycznym chaosem są pewnym szczególnym zagadnieniem czegoś bardziej ogólnego, obejmowanego słowem: złożoność (ang. *complexity*). Pojęcie to – trudne do ścisłego sprecyzowania – oznacza wszystko, co jest bardzo skomplikowane i trudne do zrozumienia.

Złożoność tkwi w zjawiskach przyrodniczych, społecznych i w układach technicznych, występuje na poziomie mikro i w skalach bardzo dużych. Ze złożonością zjawisk i układów można spotykać się niemal codziennie w zachowaniu się instytucji społecznych i układów ekonomicznych, logistycznych itp. Układy złożone nie są ani całkowicie deterministyczne, ani całkowicie losowe, ale najczęściej wykazują obie te cechy. Zwykle wewnętrzna struktura układów złożonych i ich wzajemne oddziaływanie są bardzo skomplikowane i mogą zmieniać się czasie.

Fizyka jako nauka ścisła rozróżnia trzy podstawowe rodzaje układów:

- izolowane (bez oddziaływania z otoczeniem),
- zamknięte (niepozwalające na wymianę materii, ale mogące wymieniać energię i informację),
- otwarte (mogą wymieniać z otoczeniem materię, energię i informację).

Układy złożone są w ogólności układami otwartymi, w których mogą zachodzić procesy nieodwracalne. W większości sytuacji układy złożone są układami dynamicznymi (ich stany zmieniają się w czasie), przy czym ich dynamika może być bardzo skomplikowana i trudna do scharakteryzowania.

Złożoność może przybierać bardzo różnorakie postaci i dlatego trudno jest dać jej zadowalającą – uniwersalną, ogólną i obiektywną definicję. Wydaje się, że podana przez K. Sobczyka⁴ propozycja może być następująca:

³ Sobczyk K.: Losowość, złożoność, prognozowalność: próby zrozumienia. „Nauka”, nr 2, 2006.

⁴ Ibidem.

układy złożone – to otwarte układy naturalne lub wytworzone przez człowieka, których forma (struktura, morfologia) lub zachowanie wykazują szczególnie wysoką komplikację połączoną z takimi zjawiskami, jak: przepływ informacji, zmiana struktury, samoorganizacja itp.

Zatem złożoność to nade wszystko ilość różnych możliwych wewnętrznych struktur i zachowań. Złożoność może także być spostrzegana jako właściwość nie wyłącznie związana z badanym zjawiskiem czy układem, ale jako subiektywna cecha odzwierciedlająca relacje między obserwatorem/badaczem a układem. Traktowana jest jako miara trudności badacza związanych z rozpoznaniem systemów złożonych. Jeśli fizyczna entropia charakteryzuje ilość pracy, jaką układ fizyczny jest zdolny wykonać, to wielkością, która w przypadku układu złożonego może pełnić analogiczną funkcję, wydaje się entropia informacyjna. Określa ona ilość informacji „utkwionej” w układzie, którą trzeba wydobyć (np. przez pomiary, obserwacje), aby rozpoznać jego możliwe stany. Stąd nasuwa się logiczne pytanie: jak zrozumieć funkcjonowanie złożonych układów istniejących w otaczającym nas świecie; np. złożonych układów, systemów logistycznych, struktur społecznych?

Wymagają one (dla swego istnienia) ciągłego dopływu energii, a także dopływu informacji. Mogą one natychmiastowo zmieniać swą strukturę, jeśli zmieniają się ich pewne ważne parametry.

Najczęściej struktury społeczne potrzebują dobrej sieci komunikacji, zapewniającej przepływ informacji między elementami składowymi. W obliczu tych wszystkich właściwości układów złożonych, wskazanych wyżej, wyłania się naturalne pytanie: jakie powinno być najwłaściwsze podejście do naukowej analizy układów/systemów złożonych? W szczególności jaki powinien być język matematyczny, w którym charakteryzowanie złożoności byłoby najbardziej efektywne? Trudno oczekiwać, że w nauce o złożoności (w języku angielskim coraz częściej używana jest nazwa: *complexity science*) możliwe będzie sformułowanie jakichś ogólnych i uniwersalnych modeli.

Każdy układ złożony jest inny i ma swoistą komplikację.

3.3. Prognozowanie zachowań systemów złożonych

Racjonalne prognozowanie zjawiska powinno się opierać na zrozumieniu jego mechanizmów funkcjonowania, na takiej znajomości przyczyn przebiegu procesu, aby można rozszerzyć ją na stany przyszłe.

Gromadzony materiał obserwacyjny pozwala często na pewne nieśmiałe i przybliżone hipotezy dotyczące przyszłości. Jednak metodologicznie zadowalająca prognoza musi się opierać na matematycznym modelu zjawiska. Pomiary i opisy jakościowe były i są potrzebne, ale dopiero właściwa teoria pozwala je metodycznie wykorzystać. Nie oznacza to, że istnienie

modelu zjawiska/procesu zapewnia sukces prognozowania. Jak wynika z wcześniejszych rozważań, na przeszkodzie stoją losowość, chaos i złożoność. Tylko w sytuacjach, kiedy model prognozowanego procesu jest liniowy i deterministyczny, można mówić, iż prognozowanie jest możliwe; ale i tu trzeba mieć na uwadze trudności w idealnie dokładnym scharakteryzowaniu stanu procesu w chwili początkowej oraz błędy obliczeń numerycznych. Toteż prognoza tego procesu może być przeprowadzana tylko w drodze analizy probabilistycznej.

Przyczyny trudności można sobie wyobrazić, nawet nie będąc specjalistą w dziedzinie logistyki, ekonomii. Rozwiązania logistyczne są wysoce złożone; komplikacje są związane m.in. z antycypacją ludzkich zachowań, które zależą od wielu różnorodnych czynników społecznych, politycznych, psychologicznych czy biologicznych. Poza tym w sferze ekonomii, w odróżnieniu od zjawisk fizyki, bardzo trudno o niezawodne prawa natury, raz i na zawsze wiążące ważne zmienne dynamiczne.

Poszukiwanie równowagi leży u podstaw funkcjonowania różnych modeli ekonomii. Trzeba zaznaczyć, iż pojęcie równowagi w systemie ekonomicznym nie ma jednoznacznej definicji, a nawet jest przedmiotem kontrowersji i spornych poglądów co do jego użycia do celów prognozowania.

Ze względu na wskazaną wyżej specyfikę logistycznych procesów ekonomicznych brak jest konsensusu co do podstawowych zasad ich modelowania, a także ich prognozy.

Istnieje wiele modeli konkurencyjnych, z których każdy ma swoje zalety; rozpoznawanie podstawowych mechanizmów ekonomicznych w logistyce jest ciągle w stanie rozwoju. W każdym przypadku modele matematyczne systemów logistycznych powinny jednak odzwierciedlać zmienność ich struktury, nieliniowy charakter oddziaływań wewnętrznych oraz nieuniknione losowe fluktuacje.

Ważne jest też, aby podstawowa informacja empiryczna o procesach rzeczywistych, logistycznych została jak najlepiej zakodowana w modelu. Nie ulega wątpliwości, że są to ważne wyzwania dla przyszłych badań.

4. Procesy logistyki produkcji

Analizując i diagnozując dany system logistyczny, można w nim wyróżnić trzy struktury, mianowicie:

1. *przestrzenną* – wyrażającą połączenie elementów systemu, przepływ strumieni towarów,

2. *organizacyjną* – wskazującą na zorganizowanie elementów systemu,
3. *informacyjną* – przejawiającą się w postaci przepływu systemów finansowych i informacji.

Wyróżnione struktury systemu logistycznego są ze sobą silnie powiązane i tworzą spójną całość opisującą wielowymiarowość systemu logistycznego. Dotyczy to w szczególności poszczególnych systemów logistycznych przedsiębiorstwa.

Przedmiotem logistyki produkcji są planowanie, organizowanie, kontrolowanie przepływu surowców, materiałów, części, półproduktów podczas procesu produkcyjnego – *począwszy* od magazynów zaopatrzeniowych, pośrednich magazynów: gniazdowych, stanowiskowych, wydziałowych, a *skończywszy* na magazynie wyrobów gotowych.

Zatem w logistyce produkcji występują procesy przepływu i magazynowania oraz strumienie informacyjne sterujące tymi przepływami.

Logistyka produkcji obejmuje następujące obszary działalności przedsiębiorstwa:

- zapasy materiałów, surowców, półproduktów, wyrobów gotowych,
- transport wewnątrzzakładowy,
- utylizację odpadów przemysłowych,
- ewidencja materiałów dla celów produkcyjnych.

Należy zaznaczyć, że te same standardy obowiązują zarówno dla zarządzania produkcją, jak i dla logistyki produkcji.

5. Losowość i złożoność w systemach magazynowania logistyki produkcji

Przepływy fizyczne w sferze logistyki produkcji obejmują:

- transport wewnętrzny surowców, materiałów, półfabrykatów, części zamiennych, wyrobów gotowych,
- towarzyszące produkcji technologiczne czynności manipulacyjne,
- tworzenie i utrzymywanie różnorodnych zapasów technologicznych oraz zapasów produkcji w toku.

W zbiorze procesów informacyjnych występują wszystkie elementy cyklu kierowania obejmujące planowanie, organizowanie i sterowanie oraz kontrolowanie przepływów fizycznych na poszczególnych etapach procesu technologicznego.

W dynamicznych procedurach szacowania wielkości partii produkcyjnej, tj. wyrobów wykonywanych w jednej operacji produkcyjnej, występują produkcja na magazyn dla produktów gotowych (końcowych) i półproduktów.

Do ich składowania są niezbędne magazyny przewidziane w ramach procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie także w ramach łańcuchów dostaw pomiędzy dostawcami a odbiorcami – klientami. Jednopoziomowy problem wielkości partii wyrobów zawiera procedurę rozwiązania konfliktu celów pomiędzy kosztami zamówienia a kosztami magazynowania. Formułowane modele deterministyczne zakładają, że zapotrzebowanie jest znane i stałe dla nieskończonego długiego horyzontu planowania lub w skończonym horyzoncie planowania jest zmienne, zmiany zaś w prognozie popytu nie są uwzględniane. Ich wystąpienie opisano na podstawie analizy magazynowania części zamiennych.

5.1. Analiza magazynowania części zamiennych

Użytkownik magazynu części zamiennych podejmuje się optymalizowania stanów zapasów określonej części zamiennej. Analizowana część to element komputerowo sterowanej piły tarczowej. Piła tarczowa jako wyrób danego typu nie będzie w przyszłości produkowana, stąd użytkownik magazynu postanawia zamówić daną część zamienną, zanim produkcja wyrobu będzie zaniechana. Utrudnieniem w podjęciu właściwej decyzji dotyczącej złożenia zamówienia jest fakt, że wytwórca zobowiązał się do jej dostarczenia w nadchodzącym roku. Popyt na daną część zamienną w ostatnich latach z określonym prawdopodobieństwem przedstawiono na poniższym zestawieniu.

Roczne zapotrzebowanie	Prawdopodobieństwo
0	0,02
1	0,07
2	0,15
3	0,20
4	0,20
5	0,15
6	0,11
7	0,10

Cena jednej sztuki części zamiennej wynosi 100 \$. Po skończonym zgodnie z umową obowiązku wyrażającym gotowość dostawy części (na koniec roku następnego) roczne koszty magazynowania każdej magazynowanej części wynoszą 20 \$. Jeżeli wszystkie części zamienne zostaną sprzedane, a wystąpi dodatkowy popyt, wówczas możliwe jest wykorzystanie części zamiennej z innego typu piły tarczowej. Taka część zamienna wymaga przeróbki, która generuje dodatkowe koszty w wysokości 150 \$. Występujące braki części powodują powstanie dodatkowych kosztów jako kary za niewystarczające pokrycie zapotrzebowania na części. Sama realizacja zamówienia generuje jednorazowy koszt w wysokości 25 \$.

Do opisanego problemu można sformułować następujące zadanie.

Szukana jest **optymalna wielkość zamówienia**, która minimalizuje koszt całkowity przy ograniczeniach dla:

- kosztów realizacji zamówienia,
- kosztów magazynowania,
- kosztów niesprzedanych części zamiennych,
- możliwych kosztów spowodowanych zaniżonym zamówieniem części zamiennych.

Powyższe zadanie z zakresu zarządzania częściami zamiennymi pokazuje, że przyjęcie stałego zapotrzebowania jest zawodne. W celu oszacowania zapotrzebowania możliwe jest zastosowanie zmiennej losowej, dla której funkcja rozkładu jest znana, na podstawie posiadanych informacji oraz znanych rozkładów prawdopodobieństwa.

W przedstawionym przykładzie chodzi o sformułowanie modelu jednookresowego w zarządzaniu częściami zamiennymi. Takie modele zwykle dobrze opisują magazynowanie dóbr, które szybko się starzeją (np. czasopisma), modne towary (np. stroje kąpielowe), szybko psujące się owoce, warzywa, jednorazowego magazynowania (np. analizowane części zamienne dla wycofywanej serii produkcyjnej lub której przyszłość jest nieznana w planowanym okresie).

Powyższe problemy w literaturze przedmiotu występują pod nazwą *Newsvendor Problem*, tj. problem właściciela stoisku z gazetami. Dla wszystkich innych produktów podejmujący decyzje (decydent) może w dowolnym czasie ponowić zamówienie, przykładowo sprzedawca stołów. Dla tych produktów występuje w miarę poprawne zaspokojenie popytu, fabryki mebli w ciągu całego roku mogą realizować dostawy. Naturalnie producent nie może natychmiast spełnić życzenia zamawiającego po otrzymaniu zamówienia od sprzedawcy. Jednak przy uwzględnieniu stałego wymaganego produkcją czasu dostawy producent po otrzymaniu zamówienia może je zrealizować. Za konkretny przykład niech służy dostawa śrub mocujących do produkcji stołów w fabryce mebli, która jest rozpatrywana w kategoriach wielopoziomowego problemu wielkości partii produkcji.

5.2. Model wielookresowy: magazynowanie części zamiennych w logistyce produkcji

Popyt na śruby mocujące do produkcji specjalistycznego stołu, określony rozkładem normalnym dla wartości oczekiwanej, wynosi 184 000 śrub rocznie przy standardowym odchyleniu 3400 śrub rocznie. Wielkość popytu pomiędzy dniami jest niezależna, produkcja odbywa się 230 dni w roku kalendarzowym. Stałe koszty zamówienia wynoszą 50 \$ na zamówienie, zmienne koszty zakupu śruby mocującej to 1,2 \$, a koszty magazynowania jednej śruby mocującej rocznie – 0,3 \$. Przy braku śrub mocujących występują zakłócenia w produkcji stołów. Elementy stołów są lakierowane, następnie częściowo montowane.

Częściowo zmontowane stoły są magazynowane do czasu nadejścia następnej dostawy. Dodatkowe koszty wynikające z przzerwania montażu na śrubę mocującą są szacowne w wysokości 3 \$. Przedmiotowe śruby mocujące są produkowane za granicą, czas dostawy wynosi 5 dni.

Powyższy przykład wskazuje, że szacowany popyt jest niepewny. Możliwe przyczyny tej niepewności to:

- wielkość popytu dla danego okresu jest niepewna,
- u producenta może nie wystąpić stały czas produkcji; wahania oznaczają, że występuje przypadkowy czas dostawy, który wyraża zmienna losowa,
- wielkość dostawy nie odpowiada wielkości zamówieniowej,
- stany zapasów magazynowych nie odpowiadają faktycznym stanom zapasów.

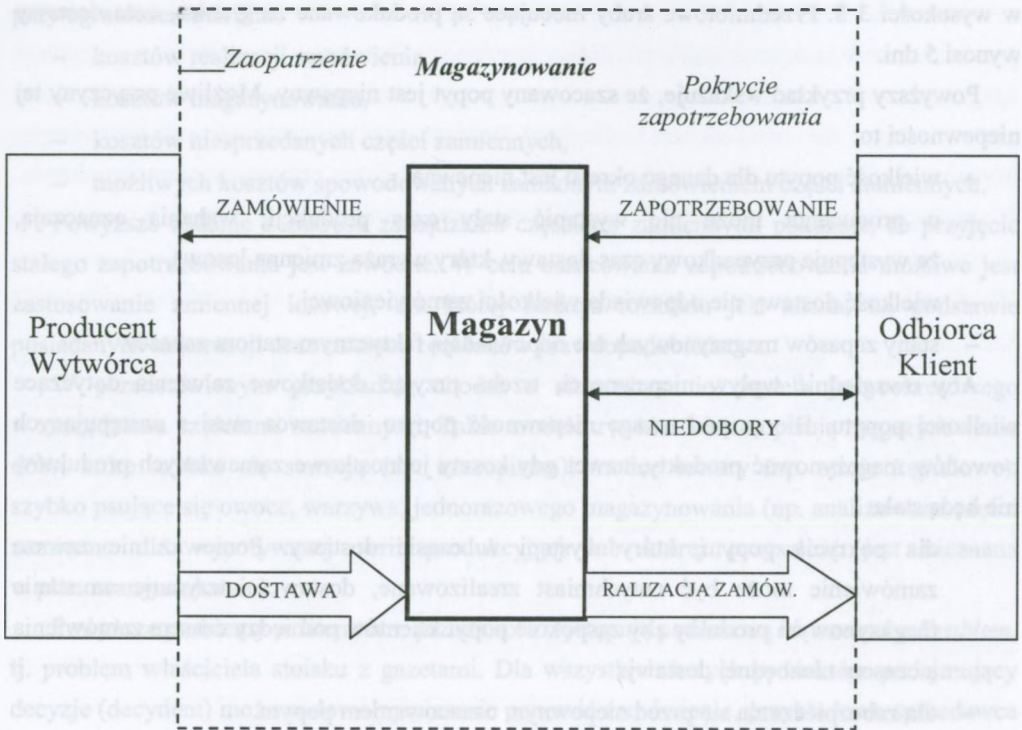
Aby uwzględnić wpływ niepewności, trzeba przyjąć dodatkowe założenia dotyczące wielkości popytu. Biorąc pod uwagę niepewność popytu, dostawca musi z następujących powodów magazynować produkty, nawet gdy koszty jednostkowe zamawianych produktów nie będą stałe:

- dla pokrycia popytu, który wystąpi w czasie dostawy. Ponieważ nie zawsze zamówienie może być natychmiast zrealizowane, dostawca utrzymuje na stanie magazynowym produkty aby zaspokoić popyt klientów pomiędzy czasem zamówienia a czasem niezbędnej dostawy;
- dla zabezpieczenia się przed niepewnym oszacowaniem popytu.

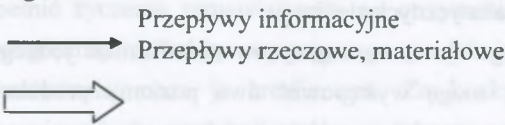
Powyższy problem magazynowania da się opisać modelem wielookresowym, który dostawca powinien sformułować. Efektywne rozwiązanie wymaga podjęcia decyzji dotyczącej: kiedy i ile zamówi odbiorca specjalistycznych stołów.

Na rys. 1 przedstawiono schemat takiego systemu magazynowania. Zamiast jednego magazynu pomiędzy dostawcą a odbiorcą mogą występować dwa poziomy produkcji w danym procesie produkcyjnym.

SYSTEM MAGAZYNOWANIA



Legenda:



Rys. 1. Schemat ideowy systemu magazynowania

Fig. 1. Schematic diagram of the storage system

6. Analiza literatury przedmiotu

Naukowe badania systemów magazynowania rozpoczęły się w latach 1950-1960. Za pionierskie prace w tym obszarze trzeba uznać badania Arrowa, Harrisa oraz Marschaka⁵.

⁵ Arrow K., Harris T., Marschak J.: Optimal Inventory Policy. "Econometrica", No. 19, 1951, p. 250-272.

Prace Scarfa, Igleharta⁶ wskazują kierunki dalszych poszukiwań, a publikacje Veinotta i Wagnera⁷, prowadzone w 1960 r., dały podstawy pojedynczym magazynom. Hochstaedter⁸, Klemm i Mikut⁹ w nawiązaniu do tych badań uszczegółowili je o rozważania matematyczne w kategoriach ilościowych. Dalsze badania omawiały koncepcje magazynowania, prace Clarka oraz Scarfa¹⁰ dotyczyły systemów wielopoziomowych. Eppon, Schrage¹¹ oraz Federgruen i Zipkin¹² zajmowali się badaniami naukowymi nad funkcjami rozkładu, Rosling¹³ zaś – analizą systemów montażowych.

Każdą z prac badawczych można uważać za kamień milowy w kompleksowym zrozumieniu systemów stochastycznych i procesów magazynowania w logistyce produkcji. Rozwój przede wszystkim efektywnych algorytmów dla tych problemów następuje od 1990 r. (przykładowo publikacje Porteus¹⁴, Zhenga i Federgruena¹⁵, Lee i Nahmias¹⁶, Chena i Zhenga¹⁷ oraz Zipkina¹⁸).

Obecnie prace badawcze koncentrują się na analizach wielopoziomowych łańcuchów dostaw, składających się z typowych wielopoziomowych systemów produkcji w jednym lub w wielu przedsiębiorstwach, pomiędzy którymi występują magazyny do przechowywania półproduktów oraz produkcji w toku. Poziomy produkcyjne i magazyny nie zawsze mają postać łańcucha, należałoby mówić o sieci dostaw.

⁶ Scarf H.E.: The Optimality of (S,s) Policies in the Dynamic Inventory Problem. *Mathematical Methods in Social Sciences*. Stanford University Press, Stanford 1959.

⁷ Iglehart D.L.: *Dynamic Programming and Stationary Analysis in Inventory Problems*. Stanford University Press, Stanford 1963.

⁸ Stoner J.A.F., Wankel C.: *Kierowanie. PWE*, Warszawa 1992.

⁹ Klemm H., Mikut M.: *Lagerhltungsmodelle*. Die Wirtschaft Verlag, Jena-Dresden 1972.

¹⁰ Clark A.J., Scarf H.E.: Optimal Policies for a Multi – Echelon Inventory Problem. *“Management Science”*, No. 6, 1960, p. 475-490.

¹¹ Eppen G., Schrage L.: *Centralized Ording Policies in a Multi house System with Lead Time and Random Demand*. Multi-level production/Inventory Control Systems. North-Holland Publishing Company, Amsterdam 1981.

¹² Federgruen A., Zipkin P.: Approximation of Dynamic, Multi-Location Production and Inventory problems. *“Management Science”*, No. 30, 1984, p. 69-84.

¹³ Rosling K.: *Optimal lot – sizing for dynamic assembly systems*. Multi – stage production planning and Inventory Control. Berlin 1986.

¹⁴ Clark A.J., Scarf H.E.: Optimal Policies for a Multi – Echelon Inventory Problem. *“Management Science”*, No. 6, 1960, p. 475-490.

¹⁵ Zheng Y.S., Federgruen A.: Finding Optimal of (s,S) Policies is About as Simple as Evaluating a Single policy. *“Operations Research”*, No. 39, 1991.

¹⁶ Lee H.L., Nahmias S.: *Single Product, Single Location Models*. Handbooks in Operations Research and Management Science. North-Holland Publishing Company, Amsterdam 1993.

¹⁷ Chen F., Zheng Y.S.: Lower Bounds for Multi – Echelon Stochastic Inventory Systems. *“Management Science”*, No. 40, 1994.

¹⁸ Nalimov V.: *Probabilistyczny model języka*. PWN, Warszawa 1976.

7. Zakończenie – wnioski

Przeprowadzone analizy i rozważania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Analizowane pojęcie złożoności okazuje się zjawiskiem wieloaspektowym, niepoddającym się jednoznacznej klasyfikacji. Nie istnieje jedna definicja złożoności czy jej miary. Złożoności towarzyszą losowość oraz trudności w prognozowaniu zachowania systemów złożonych.
2. Poszukiwanie istoty złożoności staje się przedsięwzięciem arcytrudnym. Złożoność skłania zatem do pluralizmu metodologicznego w nauce, prowadzi również do przeformułowania wielu zagadnień z pogranicza ontologii i epistemologii, np. logistyki produkcji.
3. Losowość i złożoność odgrywają ważną rolę w badaniach systemów logistycznych w zarządzaniu produkcją, systemów składowania. Decyzje podejmowane w warunkach niepewności stanowią klasę problemów decyzyjnych, w której dla przynajmniej jednej decyzji nie jest znany rozkład prawdopodobieństwa konsekwencji.
4. Badania naukowe dotyczące systemów logistycznych składowania są w literaturze dobrze udokumentowane. Stochastyczny charakter systemów magazynowania wynika z występowania niepewności, w jakich podejmowane są decyzje organizacyjne, które są następstwem losowości, złożoności oraz małej możliwości prognozowania analizowanych systemów logistycznych.

Bibliografia

1. Arrow K., Harris T., Marschak J.: Optimal Inventory Policy. "Econometrica", No. 19, 1951, p. 250-272.
2. Dombrowski M.: Złożona natura złożoności. „Diametros”, nr 36, 2013, s. 47-61.
3. Chen F., Zheng Y.S.: Lower Bounds for Multi – Echelon Stochastic Inventory Systems. "Management Science", No. 40, 1994.
4. Clark A.J., Scarf H.E.: Optimal Policies for a Multi – Echelon Inventory Problem. "Management Science", No. 6, 1960, p. 475-490.
5. Eppen G., Schrage L.: Centralized Ording Policies in a Multi house System with Lead Time and Random Demand. Multi-level production/Inventory Control Systems. North-Holland Publishing Company, Amsterdam 1981.
6. Federgruen A., Zipkin P.: Approximation of Dynamic, Multi-Location Production and Inventory problems. "Management Science", No. 30, 1984, p. 69-84.

7. Hochstaedter D.: Stochastische Lagerhaltungsmodelle. Springer Verlag, Berlin 1969.
8. Heilpern S.: Podejmowanie decyzji w warunkach niepewności. Akademia Ekonomiczna, Wrocław 1992.
9. Iglehart D.L.: Optimality of (s,S) policies in the Infinite Horizon Dynamic Inventory Problem. "Management Sciences", No. 9, 1963, p. 259-267.
10. Iglehart D.L.: Dynamic Programming and Stationary Analysis in Inventory Problems. Stanford University Press, Stanford 1963.
11. Klemm H., Mikut M.: Lagerhaltungsmodelle. Die Wirtschaft Verlag, Jena-Dresden 1972.
12. Lee H.L., Nahmias S.: Single Product, Single Location Models. Nandbooks in Operations Research and Management Science. North-Holland Publishing Company, Amsterdam 1993.
13. Liu L., Liu X., Yao D.D.: Analysis and optimization of a multistage inventory – queue system. "Management Science", No. 50, 2004, p. 365-380.
14. Mikołajczyk Z.: Techniki organizatorskie w rozwiązywaniu problemów zarządzania. PWN, Warszawa 1994.
15. Nalimov V.: Probabilistyczny model języka. PWN, Warszawa 1976.
16. Porteus E.L.: Stochastic Inventory Theory. North-Holland, Amsterdam 1990, p. 605-652.
17. Rosling K.: Optimal lot – sizing for dynamic assembly systems. Multi – stage production planning and Inventory Control. Berlin 1986.
18. Scarf H.E.: The Optimality of (S,s) Policies in the Dynamic Inventory Problem. Mathematical Methods in Social Sciences. Stanford University Press, Stanford 1959.
19. Sobczyk K.: Losowość, złożoność, prognozowalność: próby zrozumienia. „Nauka”, nr 2, 2006.
20. Stoner J.A.F., Wankel C.: Kierowanie. PWE, Warszawa 1992.
21. Veinott A., Wagner H.: Computing Optimal (s,S) Inventory Policies. "Management Sciences", No. 11, 1965, p. 525-552.
22. Zheng Y.S., Federgruen A.: Finding Optimal of (s,S) Policies is About as Simple as Evaluating a Single policy. "Operations Research", No. 39, 1991.

Abstract

The paper presents selected issues in relation to storage systems in context of logistics production. An attempt was made to interpret the storage processes in support of manufacturing processes in terms of stochastic problems. The stochastic nature of storage systems is a result of uncertainty in which organizational decisions are made as a consequence of randomness, complexity and inability to forecast the behaviour of the

analysed logistics systems. The paper discusses issues associated with randomness and complexity. It was assumed that there is not one general definition of complexity because the context of each reflection on it is needed to be taken into account in every situation. The term "complexity" stands for a number of different possible internal structures and behaviours. It may be understood not only as a phenomenon or system attribute but also as a subjective feature reflecting relationship between an observer/researcher and system. Two examples of stochastic problems in estimating demand in relation to storage system were presented.

11. Kozminski H., Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

12. Lu L., Liu X., Yao D.D.: Analysis and optimization of a production system with a stochastic demand. *Journal of Applied Probability*, 2000, 37, 1-12.

13. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

14. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

15. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

16. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

17. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

18. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

19. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

20. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

21. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

22. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

23. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

24. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

25. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

26. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

27. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

28. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

29. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

30. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

31. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

32. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

33. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

34. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

35. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

36. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

37. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

38. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

39. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

40. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

41. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

42. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

43. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

44. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

45. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

46. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

47. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

48. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

49. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.

50. Miron M.: Logistyka w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.