

ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ZBUDOWANEGO SYSTEMU WSPOMAGANIA DECYZJI DOTYCZĄCYCH STEROWANIA ZAPASAMI W WIELOSZCZEBŁOWYM SYSTEMIE DYSTRYBUCJI

KRZYSZTOF JURCZYK

Streszczenie

Jednym z pięciu podsystemów logistycznych jest gospodarka magazynowa i bezpośrednio z nią związane zarządzanie zapasami. Decyzje menedżerskie dotyczące tego obszaru dotyczą przemieszczania towarów z miejsc ich nadania do miejsc odbioru. Złożoność problemu wymaga wykorzystania nowoczesnych narzędzi mogących go wspomóc. Celem niniejszej pracy było wykazanie możliwości wykorzystania zbudowanego systemu wspomaganie decyzji dotyczących sterowania zapasami w strukturze wieloszczelowej. Obiektem badań były prognozy sprzedaży jednego z produktów oferowanych przez wybrane przedsiębiorstwo. W pracy skupiono uwagę na testach utworzonego oprogramowania.

Słowa kluczowe: poziom obsługi klienta, sterowanie zapasami, system wspomaganie decyzji

Wprowadzenie

Decyzje planistyczne dotyczące sfery zaopatrzenia dotyczą w głównej mierze umiejętnego zarządzania zapasami, tzn. takiego, dzięki któremu można uniknąć nadmiernych stanów magazynowych, a jednocześnie zapewnić odpowiednio wysoki poziom obsługi klienta. Dobór odpowiedniej strategii sterowania zapasami jest ściśle związany z rozkładem popytu jaki na te zapasy zgłasza rynek. Koniecznym staje się kompleksowa analiza wybranego procesu. Korzystnym narzędziem umożliwiającym implementację wybranych metod sterowania zapasami są specjalistyczne pakiety obliczeniowe, których przykładem może być Matlab. W niniejszej pracy przedstawiono analizę możliwości wcześniej zbudowanego systemu wspomaganie decyzji dotyczących sterowania zapasami [20].

1. Przegląd literatury

Tematyka związana ze sterowaniem zapasami jest bardzo popularna zarówno w literaturze polskiej, jak i zagranicznej. Jako pierwsze zostaną przedstawione te prace, w których do optymalizacji poziomu zapasów i/lub poziomu obsługi klienta autorzy wykorzystywali narzędzie jakim jest symulacja.

N. Szozda i M. Jakubiak zaprezentowali przykład wykorzystania pakietu symulacyjnego ARENA do budowy modelu symulacyjnego procesu kontroli poziomu zapasów [37]. Autorzy zaprezentowali model umożliwiający skrócenie czasu realizacji zamówień oraz zaspokojenie potrzeb każdego klienta. Wcześniej B. Rodawski zauważył, że symulacja komputerowa może okazać się efektywnym i stosunkowo prostym w implementacji narzędziem mogącym służyć podejmowaniu decyzji dotyczących sterowania zapasami [29]. Autor zaprezentował przykład wykorzystania aplikacji Crystal Ball do ustalenia wielkości dostaw w taki sposób, aby zminimalizować całkowite koszty zapasów. W innej pracy, pokazano w jaki sposób kształtowanie funkcji poprawy płynności

sprzedaży wpływa na efektywność, a także jaka jest wrażliwość systemu na funkcje poprawy płynności przesyłu [42]. W swoich badaniach autorzy wykorzystali pakiet Simulink. Podobną pracę, w której zaprezentowano model symulacyjny oparty na paradygmacie agentowym przedstawili M. Xie i J. Chen [44].

Wykorzystanie symulacji do ustalenia odpowiedniej polityki uzupełniania zapasów było tematem kolejnej anglojęzycznej pracy [28]. Autorzy zwracają uwagę na fakt, iż w przypadku złożonych problemów decyzyjnych jakich przykładem jest problem wyboru odpowiedniej strategii sterowania zapasami konieczne jest stosowanie szybkich i jednocześnie skutecznych metod i narzędzi, a takim jest symulacja zdarzeń dyskretnych. Zbudowany model symulacyjny pozwalał na dynamiczne wprowadzanie zmian w wielkościach popytu dla poszczególnych produktów. Badania symulacyjne przeprowadzone dla kilku strategii zamawiania pozwoliły na wybór odpowiedniej polityki zaopatrzeniowej. Podobne wnioski można znaleźć w pracach wielu innych autorów [4, 11, 22, 30].

Koniecznym jest zwrócenie uwagi na fakt, że klasyczne metody sterowania zapasami są podstawą do tworzenia nowych, lepszych metod. C. E. Larson i in. proponują model sterowania zapasami w sytuacji, gdy profil popytu nie podlega rozkładowi normalnemu [24]. W innej pracy można z kolei znaleźć heurystykę do kontroli poziomu zapasów zbudowaną na bazie metody (s, S) [14]. R. M. Hill w swojej pracy rozważa system ciągłej kontroli zapasów w sytuacji, gdy profil popytu podlega rozkładowi Poissona [16]. W innej pracy, możemy znaleźć strategię (s, Q) zmodyfikowaną w taki sposób, że uwzględniane są w niej zaległe zamówienia [8]. Podobne prace, w których uwzględniono częściową realizację zleceń klientów przedstawili m. in. S.-P. Wang [40] oraz H. E. Scarf [33]. Ponadto duża liczba prac została poświęcona dynamicznym modelom sterowania zapasami [5, 7, 13, 46, 48].

Spośród polskich autorów tematyka sterowania zapasami stanowiła domenę nieżyjącego już dr Z. Sarjusza-Wolskiego [31]. Autor w jednej ze swoich prac zwrócił uwagę na możliwość wykorzystania metod programowania dynamicznego w sterowaniu produkcją i zapasami [32]. Matematyczną formalizację wielowymiarowych modeli sterowania zapasami przedstawiono z kolei w innej pracy [41]. Analiza porównawcza klasycznych modeli sterowania zapasami była z kolei tematem pracy A. Jodejko [18]. Badaniem efektywności systemów ekspertowych do sterowania zapasami wyrobów gotowych zajmowali się z kolei M. Dudek i D. Sala [12].

Kolejną grupę publikacji stanowi literatura dotycząca sterowania zapasami w strukturach wieloszczeblowych. Jedną z pierwszych, obszernych prac zawierających przegląd literatury dotyczący analizy wieloszczeblowych systemów dystrybucji została przygotowana przez A. J. Clarka [10]. N. McCollom oraz L. Blank [25] prezentują model symulacyjny czteroszczeblowego systemu dystrybucji dziesięciu produktów, w którym zjawiska losowe generowane są na podstawie klasycznych rozkładów prawdopodobieństwa lub danych empirycznych wprowadzonych przez użytkownika. E. P. Chew oraz L. A. Johnson [9] proponują model wyznaczania poziomu obsługi klienta w wieloszczeblowych systemach dystrybucji. A. J. Stenger [36] przedstawia sposób zmniejszenia poziomu zapasów w wieloszczeblowych systemach dystrybucji. Podobne prace zaprezentowali później m. in. M. C. van der Heijden, E. B. Diks i A. G. de Kok [39], S. Yanagi, K. Hasegawa i T. Yuge [43], B. R. Jung, B. G. Sun, J. S. Kim i S. E. Ahn [19] oraz L. Song, X. Li i A. Garcia-Diaz [35]. Symulacyjne modele transportu towarów w wieloszczeblowych systemach dystrybucji przedstawili z kolei m. in. J. B. McGee, M. D. Rossetti i S. J. Mason [26]. Spośród polskich autorów wieloszczeblowe systemy dystrybucji są obiektem badań m. in. T. Ambroziaka, M. Jacyny oraz R. Jachimowskiego [1, 2, 3, 17]. Autorzy ci przedstawiają modele optymalizacyjne wyznaczania terminowych dostaw w wieloszczeblowych systemach dystrybucji. Zastosowanie metod sztucznej

inteligencji w modelowaniu wieloszczeblowych systemów dystrybucji było przedmiotem badań wielu innych prac [15, 27, 38, 45, 47]. W pracach tych wykorzystano logikę rozmytą do reprezentacji danych wejściowych. Niepewność informacji i jej prezentacja przy użyciu zbiorów rozmytych to z kolei temat innego zestawu publikacji [6, 21, 23, 34]. Wśród prac dotyczących tego obszaru brakuje jednak modeli kompleksowo uwzględniających niepewność w wieloszczeblowych systemach dystrybucji, pojawiającą się po stronie dostawców, po stronie odbiorców oraz ze strony przewoźnika towarów.

2. System wspomagania decyzji dotyczących sterowania zapasami

W pracy [20] przedstawiono koncepcję systemu wspomagania decyzji dotyczących sterowania zapasami zbudowaną w środowisku Matlab. Utworzone zostały pliki funkcyjne, które umożliwiły określenie okresów i wielkości zamówień uzupełniających oraz oszacowanie poziomu obsługi klienta i wielkości potencjalnych niedoborów. Kody programów zamieszczono w tabelach 1–2.

Tabela 1. Plik funkcyjny do sterowania zapasami wg metody (s, Q)

Nr linii	Kod programu
01	function [ZAM, O_STRAT, W_STRAT, ST_REAL] = ...
02	metoda_sQ(Popyt, T, Poziom_obsługi, Partia_dostawy, zapas_początkowy, zapas_w_drodze)
03	
04	if nargin == 6 && isvector(Popyt) == 1 && T > 0 && Poziom_obsługi <= 1 && ...
05	Poziom_obsługi > 0 && Partia_dostawy > 0 && zapas_początkowy >= 0 && zapas_w_drodze >= 0
06	
07	% Obliczenie wartości średniej popytu
08	P = mean(Popyt);
09	
10	% Współczynnik bezpieczeństwa dla zadanego poziomu obsługi klienta
11	Omega = norminv(Poziom_obsługi,0,1);
12	
13	% Zapas informacyjny
14	Zapas_inf = P * T + Omega * P * sqrt(T);
15	
16	% Wymiary modelu
17	n = length(Popyt);
18	
19	% Przestrzeń na zmienne (żeby program działał szybciej):
20	Zapas_początkowy = zeros(n+1,1);
21	Zapas_koncowy = zeros(n,1);
22	Braki = zeros(n,1);
23	Zapas_w_drodze = zeros(n,1);
24	Zamowienie = zeros(n,1);
25	
26	% Początkowe wartości zapasu początkowego i zapasu w drodze
27	Zapas_początkowy(1) = zapas_początkowy;
28	Zapas_w_drodze(1) = zapas_w_drodze;
29	
30	% Dostawy w pierwszych T okresach nie występują
31	Dostawa = zeros(T,1);
32	
33	for i = 1:n
34	if Zapas_początkowy(i) > Popyt(i)
35	Zapas_koncowy(i) = Zapas_początkowy(i) - Popyt(i);
36	Braki(i) = 0;
37	else
38	Zapas_koncowy(i) = 0;
39	Braki(i) = Popyt(i) - Zapas_początkowy(i);
40	end
41	if Zapas_koncowy(i) + Zapas_w_drodze(i) <= Zapas_inf
42	Zamowienie(i) = Partia_dostawy;

Krzysztof Jurczyk
Analiza możliwości wykorzystania zbudowanego systemu wspomagania decyzji
dotyczących sterowania zapasami w wieloszczeblowym systemie dystrybucji

```
43     else
44         Zamowienie(i) = 0;
45     end
46     Dostawa(i+T) = Zamowienie(i);
47     Zapas_poczkowy(i+1) = Zapas_koncowy(i) + Dostawa(i+1);
48     Zapas_w_drodze(i+1) = Zapas_w_drodze(i) + Zamowienie(i) - Dostawa(i+1);
49 end
50
51 % Informacja kiedy realizowane są zamówienia
52 ZAM = find(Zamowienie==Partia_dostawy);
53
54 % Informacja kiedy pojawiają się braki
55 O_STRAT = find(Braki~=0);
56
57 % Informacja o wielkościach braków
58 m = length(O_STRAT);
59 k = 0;
60 for i = 1:n
61     for j = 1:m
62         if O_STRAT(j) == i
63             k = k + 1;
64             W_STRAT(k) = Braki(i);
65         end
66     end
67 end
68
69 % Stopień ilościowej realizacji popytu
70 ST_REAL = 1 - sum(Braki)/sum(Popyt);
71 else
72     error('Wprowadź poprawnie argumenty funkcji');
73 end
```

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Plik funkcyjny do sterowania zapasami wg metody (s, S)

Nr linii	Kod programu
01	function [ZAM, W_ZAM, O_STRAT, W_STRAT, ST_REAL] = ...
02	metoda_s(Popyt,T,Poziom_obsługi,zapas_początkowy,zapas_w_drodze)
03	
04	if nargin == 5 && isvector(Popyt) == 1 && T > 0 && Poziom_obsługi <= 1 && ...
05	Poziom_obsługi > 0 && zapas_początkowy >=0 && zapas_w_drodze >=0
06	
07	% Obliczenie wartości średniej popytu
08	P = mean(Popyt);
09	
10	% Czas przeglądu
11	T_0 = 1;
12	
13	% Współczynnik bezpieczeństwa dla zadanego poziomu obsługi klienta
14	Omega = norminv(Poziom_obsługi,0,1);
15	
16	% Zapas informacyjny i zapas maksymalny
17	Zapas_inf = P * T + Omega * P * sqrt(T);
18	Zapas_max = P * (T + T_0) + Omega * P * sqrt(T + T_0);
19	
20	% Wymiary modelu
21	n = length(Popyt);
22	
23	% Przestrzeń na zmienne (żeby program działał szybciej):
24	Zapas_początkowy = zeros(n+1,1);
25	Zapas_koncowy = zeros(n,1);
26	Braki = zeros(n,1);
27	Zapas_w_drodze = zeros(n,1);
28	Zamowienie = zeros(n,1);
29	
30	% początkowe wartości zapasu początkowego i zapasu w drodze
31	Zapas_początkowy(1) = zapas_początkowy;
32	Zapas_w_drodze(1) = zapas_w_drodze;
33	
34	% Dostawy w pierwszych T okresach nie występują
35	Dostawa = zeros(T,1);
36	
37	for i = 1:n
38	if Zapas_początkowy(i) > Popyt(i)
39	Zapas_koncowy(i) = Zapas_początkowy(i) - Popyt(i);
40	Braki(i) = 0;
41	else
42	Zapas_koncowy(i) = 0;
43	Braki(i) = Popyt(i) - Zapas_początkowy(i);
44	end
45	if Zapas_koncowy(i) + Zapas_w_drodze(i) <= Zapas_inf
46	Zamowienie(i) = Zapas_max - Zapas_koncowy(i) - Zapas_w_drodze(i);
47	else
48	Zamowienie(i) = 0;
49	end
50	Dostawa(i+T) = Zamowienie(i);
51	Zapas_początkowy(i+1) = Zapas_koncowy(i) + Dostawa(i+1);
52	Zapas_w_drodze(i+1) = Zapas_w_drodze(i) + Zamowienie(i) - Dostawa(i+1);
53	end
54	
55	% Informacja kiedy realizowane są zamówienia
56	ZAM = find(Zamowienie~=0);
57	
58	% Informacja o wielkościach zamówień
59	p = length(ZAM);
60	q = 0;
61	for i = 1:n
62	for h = 1:p
63	if ZAM(h) == i
64	q = q + 1;

```
65         W_ZAM(q) = Zamowienie(i);
66     end
67 end
68 end
69
70 % Informacja kiedy pojawiają się braki
71 O_STRAT = find(Braki~=0);
72
73 % Informacja o wielkościach braków
74 m = length(O_STRAT);
75 k = 0;
76 for i = 1:n
77     for j = 1:m
78         if O_STRAT(j) == i
79             k = k + 1;
80             W_STRAT(k) = Braki(i);
81         end
82     end
83 end
84
85 % Stopień ilościowej realizacji popytu
86 ST_REAL = 1 - sum(Braki)/sum(Popyt);
87 else
88     error('Wprowadź poprawnie argumenty funkcji');
89 end
```

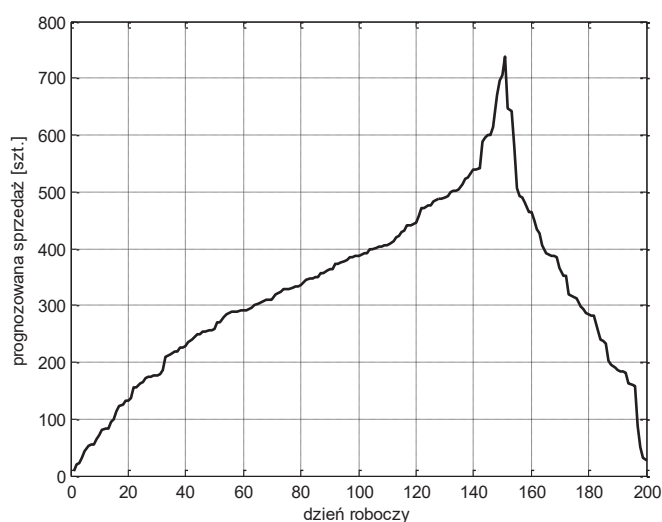
Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione powyżej programy zostały szczegółowo omówione w pracy [20]. W niniejszym opracowaniu zdecydowano się przeprowadzić analizę możliwości wykorzystania utworzonego na ich bazie systemu wspomagania decyzji.

3. Testy numeryczne

Utworzony system wspomagania decyzji został przetestowany na danych rzeczywistych pochodzących z wybranego przedsiębiorstwa. Na rysunku 1 zaprezentowano 200-dniową prognozę na wybrany produkt oferowany przez analizowane przedsiębiorstwo.

Jak można łatwo zauważyć, spodziewany jest stały wzrost sprzedaży analizowanego produktu przez okres kolejnych 150 dni. Po tym okresie spodziewane jest odwrócenie trendu i spadek sprzedaży. Zestawione numerycznie wartości prognoz wraz z pozostałymi parametrami wejściowymi (tabela 3) posłużyły testom zaproponowanego rozwiązania.



Rysunek 1. Dzienna prognoza sprzedaży analizowanego produktu

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych analizowanego przedsiębiorstwa.

Tabela 3. Dane wejściowe

Nazwa zmiennej	Symbol w kodzie programu	Wartość
Popyt	Popyt	patrz Rys. 6.
Czas realizacji zamówienia	T	10 [dni]
Poziom obsługi klienta	Poziom_obsługi	0,95
Wielkość dostawy	Partia_dostawy	3 000 [sztuk]
Zapasy początkowy	zapas_początkowy	1 000 [sztuk]
Zapasy w drodze	zapas_w_drodze	0 [sztuk]

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych analizowanego przedsiębiorstwa.

Efektom uruchomienia programów dla zadanego zestawu zmiennych były zmienne wynikowe zaprezentowane w tabelach 4 i 5.

Krzysztof Jurczyk
Analiza możliwości wykorzystania zbudowanego systemu wspomagania decyzji
dotyczących sterowania zapasami w wieloszczeblowym systemie dystrybucji

Tabela 4. Dane wyjściowe pliku funkcyjnego metoda_sQ.m

Nazwa zmiennej	Symbol w kodzie programu	Wartość
Okresy zamówień	ZAM	[1, 2, 24, 40, 52, 62, 72, 81, 90, 98, 105, 113, 120, 126, 132, 138, 143, 149, 154, 161, 168, 177, 189]
Okresy wystąpienia braków	O_STRAT	[147, 152, 158]
Wielkości braków	W_STRAT	[496, 455, 192]
Stopień ilościowej realizacji popytu	ST_REAL	0,9823

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Dane wyjściowe pliku funkcyjnego metoda_sS.m

Nazwa zmiennej	Symbol w kodzie programu	Wartość
Okresy zamówień	ZAM	[1, 10, 15, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 76, 78, 80, 82, 84, 86, 88, 90, 92, 94, 96, 98, 100, 102, 104, 106, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 165, 167, 169, 171, 173, 175, 177, 179, 181, 183, 185, 187, 190, 193, 196]
Wielkości zamówień	W_ZAM	[4336, 419, 441, 491, 427, 482, 522, 530, 608, 433, 443, 453, 475, 494, 502, 508, 516, 541, 565, 575, 578, 582, 586, 596, 610, 616, 620, 641, 652, 657, 663, 669, 684, 695, 700, 712, 725, 736, 749, 756, 769, 776, 782, 791, 802, 808, 407, 407, 408, 412, 419, 423, 430, 432, 441, 442, 444, 446, 458, 471, 471, 476, 477, 483, 485, 487, 488, 489, 492, 500, 501, 501, 503, 514, 523, 524, 532, 539, 540, 542, 588, 522, 503, 514, 523, 524, 532, 539, 540, 542, 588, 522, 503, 493, 490, 480, 465, 464, 450, 435, 427, 797, 776, 772, 717, 670, 632, 611, 580, 566, 536, 478, 436, 573, 548, 480]
Okresy wystąpienia braków	O_STRAT	[144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155]
Wielkości braków	W_STRAT	[74, 98, 87, 91, 147, 164, 166, 197, 104, 55, 58, 3]
Stopień ilościowej realizacji popytu	ST_REAL	0,9808

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku modułu wykorzystującego metodę (s, Q) program sugeruje uruchomienie zamówienia uzupełniającego w 23 okresach. Wielkość każdego zamówienia jest stała i wynosi 3 000

sztuk. Ponadto planista otrzymuje informację, że w okresach 147, 152 oraz 158 mogą pojawić się braki w zapasie analizowanego produktu. Szacowany stopień ilościowej realizacji popytu dla zadanego zestawu danych wg tej metody wynosi 98,23 %.

W przypadku wykorzystania metody (s, S) program sugeruje uruchomienie zamówień w 116 okresach. Wielkości kolejnych zamówień są jednak niewielkie – pojedyncze zamówienie jest w stanie pokryć maksymalnie trzydniowy popyt. Zwiększeniu uległa również liczba okresów, w których przewidywane są braki w zapasie – okresy te przypadają na dni od 144 do 155. Sumaryczna liczba braków jest jednak podobna jak w przypadku sterowania zapasami wg metody (s, Q) o czym świadczą szacowany stopień ilościowej realizacji popytu na poziomie 98,08 %.

4. Podsumowanie

Korzystając z dwóch omówionych w [20] metod sterowania zapasami ustalono harmonogram składania zamówień uzupełniających na wybrany produkt w pewnym przedsiębiorstwie. Cel pracy – jaki było wykazanie możliwości zastosowania zbudowanego systemu wspomaganie decyzji dotyczących sterowania zapasami w analizowanym przedsiębiorstwie – został osiągnięty. Przy użyciu tego utworzonego oprogramowania możliwe jest ustalenie harmonogramów zleceń. Programy zostały przetestowane na danych rzeczywistych pochodzących z wybranego przedsiębiorstwa. Ponadto wykazano, że napisane programy są na tyle stabilne i szybkie w działaniu, że nadają się do praktycznego zastosowania w analizowanym przedsiębiorstwie. Wybór konkretnego programu, a co jest z tym ściśle związane wybór konkretnej metody sterowania zapasami pozostaje w rękach kierownictwa firmy.

Bibliografia

- [1] Ambroziak T., Jachimowski R.: *Zadania optymalizacyjne wyznaczania terminowych dostaw w systemach dystrybucji*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, 2009, z. 69, s. 5–14.
- [2] Ambroziak T., Jachimowski R.: *Model wieloszczeblowego systemu dystrybucji dla realizacji terminowych dostaw*. Logistyka, 2/2011, s. 23–34.
- [3] Ambroziak T., Jacyna I.: *Projektowanie regularnych hierarchicznych sieci logistycznych*. Logistyka, 4/2010, dysk CD-Rom, s. 1–10.
- [4] Akcay A., Biller B., Tayur S.: *A Simulation-Based Approach To Capturing Autocorrelated Demand Parameter Uncertainty In Inventory Management*, Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference, Berlin 2012, s. 3213–3224.
- [5] Arasteh A., Aliahmadi A., Norang A.: *Inventory policies and dynamic pricing under possibility and rivals*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume: 72, Issue: 5–8, 2014, s. 627–642.
- [6] Celikyilmaz A., Burhan Türksen I.: *Modeling Uncertainty with Fuzzy Logic*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2009.
- [7] Chao X., Yang B., Xu Y.: *Dynamic inventory and pricing policy in a capacitated stochastic inventory system with fixed ordering cost*. Operations Research Letters, Volume: 40, Issue: 2, 2012, s. 99–107.
- [8] Chen F.: *Worst-case analysis of (R,Q) policies in a two-stage serial inventory system with deterministic demand and backlogging*. Operations Research Letters, Volume: 25, Issue: 2, 1999, s. 51–58.

- [9] Chew E. P., Johnson L. A.: *Service level approximations for multiechelon Inventory systems*. European Journal of Operational Research 91, 1996, s. 440–455.
- [10] Clark A. J.: *An Informal survey of Multi-Echelon Inventory Theory*. Naval Research Logistics Quarterly, vol. 19, no. 4, December 1960, s. 621–650.
- [11] Clay G. R., Grange F.: *Evaluating Forecasting Algorithms and Stocking Level Strategies Using Discrete-Event Simulation*, Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, Atlanta 1997, s. 817–824.
- [12] Dudek M., Sala D.: *Badanie efektywności systemów ekspertowych do sterowania zapasami wyrobów gotowych*. Mechanika, T. 17, z. 4, 1998, s. 503–510.
- [13] Fadiloglu M. M., Bulut Ö.: *A dynamic rationing policy for continuous-review inventory systems*. European Journal of Operational Research, Vol. 202, Issue: 3, 2010, s. 675–685.
- [14] Gavirneni S.: *An efficient heuristic for inventory control when the customer is using a (s,S) policy*. Operations Research Letters, Volume: 28, Issue: 4, 2001, s. 187–192.
- [15] Gumus A. T., Guneri A. F.: *A multi-echelon inventory management framework for stochastic and fuzzy supply chains*. Expert Systems with Applications 36, 2009, s. 5565–5575.
- [16] Hill, R. M.: *On the suboptimality of (S-I, S) lost sales inventory policies*. International Journal of Production Economics, Volume: 59, Issue: 1–3, 1999, s. 387–393.
- [17] Jacyna M., Kaniowski G., Kaniowski R.: *Optymalizacja obsługi logistycznej w trójszczeblowym systemie dystrybucji*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [18] Jodejko A.: *The comparative analysis of classic inventory control models*. Systems: journal of transdisciplinary systems science, Vol. 12, nr 2, 2007, s. 79–89.
- [19] Jung B. R., Sun B. G., Kim J. S., Ahn S. E.: *Modeling lateral transshipments in multiechelon repairable-item inventory systems with finite repair channels*. Computers & Operations Research 30, 2003, s. 1401–1417.
- [20] Jurczyk K., Krawczyk K., Woźniak W.: *Implementacja strategii uzupełniania poziomu zapasów w systemie przeglądu ciągłego w środowisku Matlab*. Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej, Tom 4 pod redakcją Jerzego Fleksa, Wydawnictwa AGH, Kraków 2016, s. 358–376.
- [21] Kahraman C., Yavuz M., Kaya I.: *Fuzzy and Grey Forecasting Techniques and Their Applications in Production Systems*. W: Production Engineering and Management under Fuzziness. Springer – Verlag, Berlin Heidelberg 2010, s. 1–24.
- [22] Khromenko A. A.: *Boundary Analysis and Simulation in Distributed Inventory Management*, Russian Engineering Research, Vol. 30, No. 11, 2010, s. 1182–1187.
- [23] Kim H., Lu J. Ch., Kvam P. H., Tsao Y. Ch.: *Ordering Quantity Decisions Considering Uncertainty in Supply-Chain Logistics Operations*. International Journal of Production Economics 134, 2011, s. 16–27.
- [24] Larson C. E., Olson L. J., Sharma S.: *Optimal Inventory Policies when the Demand Distribution Is Not Known*. Journal of Economic Theory, Vol: 101, Issue: 1, 2001, s. 281–300.
- [25] McCollom N., Blank L.: *Simulation Model for Multi-Level Distribution System Planning*. W: Proceedings of the 1982 Winter Simulation Conference, 1982, s. 491–499.
- [26] McGee J. B., Rosetti M. D., Mason S. J.: *Simulating Transportation Practices in Multi-Indenture Multi-echelon (MIME) Systems*. W: Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, 2004, s. 974–981.
- [27] Miller S., John R.: *An Interval Type-2 Fuzzy multiple echelon supply chain model*. Knowledge-Based Systems 23, 2010, s. 363–368.

- [28] Ramirez Cerda C. B., Espinoza de los Monteros F. A. J.: *Evaluation of a (R,s,Q,c) Multi-Item Inventory Replenishment Policy Through Simulation*, Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, Atlanta 1997, s. 825–831.
- [29] Rodawski B.: *Wspomagana komputerowo symulacja procesu sterowania zapasami*, LogForum, Issue 1(3), 2005, s. 1–11.
- [30] Sang H., Takakuwa S.: *A Simulation-Based Approach For Obtaining Optimal Order Quantities Of Short-Expiration Date Items At A Retail Store*, Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference, Berlin 2012, s. 1466–1477.
- [31] Sarjusz-Wolski Z.: *Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie*. PWE, Warszawa 2000.
- [32] Sarjusz-Wolski Z.: *Programowanie dynamiczne i sterowanie produkcją i zapasami*. Gospodarka Materiałowa i Logistyka, Nr. 7–8, 2000, s. 181–182.
- [33] Scarf H. E.: *Optimal inventory policies when sales are discretionary*. International Journal of Production Economics, Volume: 93–94, 2005, s. 111–119.
- [34] Snyder L. V., Max Shen Z.-J.: *Supply and Demand Uncertainty in Multi-Echelon Supply Chains*. September 2006 [<http://coral.ie.lehigh.edu/~larry/wp-content/pubs/supdem10.pdf> dostęp: 2 lipca 2018].
- [35] Song L., Li X., Garcia-Diaz A.: *Multi-echelon supply chain simulation using metamodel*. W: Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, 2008, s. 2691–2699.
- [36] Stenger A. J.: *Reducing inventories in a Multi-echelon manufacturing firm. A case study*. International Journal of Production Economics 45, 1996, s. 239–249.
- [37] Szozda N, Jakubik M.: *Analysis of the inventory level in the production cell*, LogForum, Issue 6(3), 2010, s. 57–68.
- [38] Torabi S. A., Ebadian M., Tanha R.: *Fuzzy hierarchical production planning (with a case study)*. Fuzzy Sets and Systems 161, 2010, s. 1511–1529.
- [39] van der Heijden M. C., Diks E. B., de Kok A. G.: *Stock allocation in general multi-echelon distribution systems with (R, S) order-up-to-policies*. International Journal of Production Economics 49, 1997, s. 157–174.
- [40] Wang S.-P.: *An inventory replenishment policy for deteriorating items with shortages and partial backlogging*. Computers and Operations Research, Volume: 29, Issue: 14, 2002, s. 2043–2051.
- [41] Wojna A., Kłodzińska A.: *Wielowymiarowe modele sterowania zapasami i ich zastosowanie*. Badania Operacyjne i Decyzje, 2/2005, s. 83–90.
- [42] White A. S., Gill R., Censlive M.: *The Effect of Sales Smoothing on Inventory Performance*, Journal of KONBiN, No. 5(8), 2008, s. 201–210.
- [43] Yanagi S., Hasegawa K., Yuge T.: *An approximation to the steady state probabilities of a multi-echelon repair model for a series system*. Computers and Industrial Engineering, Volume 33, Number 3, December 1997, s. 745–748.
- [44] Xie M., Chen J.: *Studies on horizontal competition among homogenous retailers through agent-based simulation*, Journal of Systems Science and Systems Engineering, Volume: 13, Issue: 4, 2004, s. 490–505.
- [45] Xie Y., Petrovic D., Burnham K.: *A heuristic procedure for the two-level control of serial supply chains under fuzzy customer demand*. International Journal of Production Economics 102, 2006, s. 37–50.

- [46] Xu N.: *Optimal policy for a dynamic, non-stationary, stochastic inventory problem with capacity commitment*. European Journal of Operational Research, Volume: 199, Issue: 2, 2009, s. 400–408.
- [47] Zhou Ch., Zhao R., Tang W.: *Two-echelon supply chain games in a fuzzy environment*. Computers & Industrial Engineering 55, 2008, s. 390–405.
- [48] Zhou L., Naim M. M., Ou T., Towill D. R.: *Dynamic performance of a hybrid inventory system with a Kanban policy in remanufacturing process*. Omega, Volume: 34, Issue: 6, 2006, s. 585–598.

ANALYSIS OF THE USAGE OF DECISION SUPPORT SYSTEM FOR INVENTORY CONTROL IN MULTI-ECHELON DISTRIBUTION SYSTEM

Summary

One of the five subsystems of logistics is warehouse management and inventory management, both directly related to each other. Management decisions in this business area of interest concern the movement of goods from source points to destination points. The complexity of the problem requires the usage of modern tools. The aim of this study is to demonstrate the possibility of using proposed decision support system for inventory management. The object of the study were sales forecasts of one of the products offered by the selected enterprise. The paper is focused on the numerical tests of proposed program.

Keywords: customer service level, inventory control, decision support system

Praca realizowana w ramach grantu dziekańskiego nr 15.11.200.329

Krzysztof Jurczyk
Wydział Zarządzania
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
ul. Gramatyka 10, 30-067 Kraków
e-mail: kjurczyk@zarz.agh.edu.pl