

Mieczysław J. KRÓL*, Mirosław LIANA**

DEFICYT I PRZEPEŁNIENIE W SYSTEMIE TYPU „TRANSPORT–ZAPASY” Z WIELOCZĘŚCIOWYM NIEJEDNORODNYM UKŁADEM TRANSPORTOWYM

Rozważany jest system N–T–O (Nadawca–Transport–Odbiorca) z wieloczęściowym ciągłym układem transportowym. Poszczególne części układu transportowego, charakteryzujące się różną awaryjnością, połączone są szeregowo w tzw. punktach rewersji. W jednym z nich umieszczony jest magazyn-zbiornik. Analizowany jest wpływ konfiguracji systemu (miejsce lokalizacji magazynu, ustawienie nitek transportowych) na straty, spowodowane niedoborem lub nadmiarem zasobu w magazynie.

Słowa kluczowe: *gospodarowanie zasobami, transport, zbiornik, procesy stochastyczne*

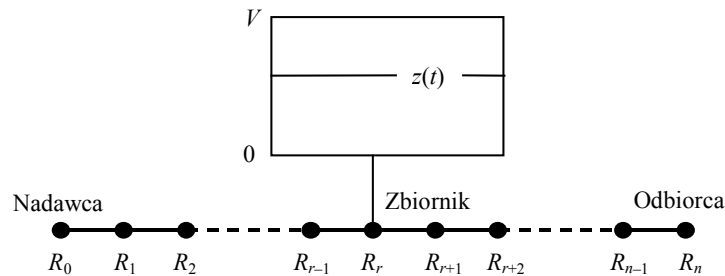
1. Wprowadzenie. Opis modelu

W realnie funkcjonującej gospodarce mamy do czynienia z ciągłym obrotem surowcami, półfabrykatami i gotowymi wyrobami, wspólnie zwanymi zasobami. Możemy więc wyróżnić dostawców, odbiorców oraz układy transportowe, przez które następuje przesyłanie zasobów. Różnorodne systemy tego typu są przedmiotem badań i analiz od ponad 50 lat, a o tym, że tematyka jest wciąż interesująca, świadczą liczne publikacje krajowe (np. [3, 10, 12]) i zagraniczne (np. [1, 2, 11]). Niejednokrotnie analizowano systemy (np. [5, 10, 11]), w których układy transportowe współpracują z magazynem-zbiornikiem.

* Zakład Metod Ilościowych, Wydział Ekonomii, Uniwersytet Rzeszowski, al. Rejtana 16c, 35-959 Rzeszów, e-mail: krolmeav@city.net.pl

** Zakład Metod Ilościowych w Ekonomii, Wydział Zarządzania i Marketingu, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, ul. Wincentego Pola 2, 35-965 Rzeszów, e-mail: mliana@man.rzeszow.pl

Rozpatrywany w pracy system jest złożony z nadawcy N, odbiorcy O, łączącego ich wieloczęściowego układu transportowego oraz magazynu-zbiornika (zob. [8]).



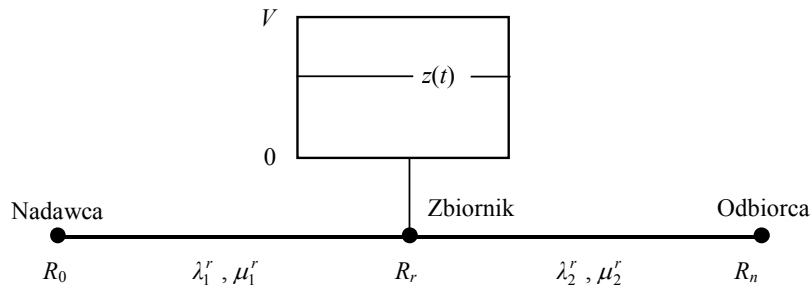
Rys. 1. Schemat systemu z szeregowo złożonym układem transportowym

Układ transportowy składa się z n ($n \geq 2$) połączonych szeregowo podukładów (rys. 1). Kolejne nitki układu transportowego łączą się w tzw. punktach rewersji R_i ($i = 1, 2, \dots, n - 1$). W jednym z tych punktów umieszczony jest magazyn o skończonej pojemności V ($0 < V < \infty$). Miejsce lokalizacji magazynu R_r ($r = 1, 2, \dots, n - 1$) dzieli naturalnie cały układ transportowy na dwie części: od nadawcy do magazynu (zwaną częścią wejściową) oraz od magazynu do odbiorcy (zwaną częścią wyjściową).

Każdy z podukładów, niezależnie od pozostałych, może w sposób losowy ulegać awariom. Funkcjonowanie i -tego podukładu opisane jest dwustanowym procesem stochastycznym $\{X_i(t), t \geq 0\}$ ($i = 1, \dots, n$), o którym zakłada się, że jest stacjonarnym, jednorodnym procesem Markowa (zob. [4]). Przez λ_i ($\lambda_i > 0$) oznacza się intensywność powstawania awarii, natomiast przez μ_i ($\mu_i > 0$) – intensywność likwidowania awarii w i -tej nitce ($i = 1, \dots, n$) (zob. [9]).

Gdy wszystkie nitki układu transportowego są sprawne, nadawca przesyła zasób bezpośrednio do odbiorcy ze średnią prędkością c ($c > 0$). Awaria jednej z nitek części wejściowej unieruchamia tylko tę część. Wtedy odbiorca może nadal otrzymywać zasób przesyłany z magazynu ze średnią prędkością c_2 ($0 < c_2 \leq c$). Podobnie, jeśli awarii uległa jedna z nitek części wyjściowej, to nadawca może przysyłać zasób do magazynu ze średnią prędkością c_1 ($0 < c_1 \leq c$).

Na rysunku 2 przedstawiono uproszczony schemat systemu. Nie rozróżnia się już w nim poszczególnych nitek układu transportowego, lecz jedynie część wejściową i wyjściową. Przez λ_1^r (μ_1^r) oznacza się intensywność powstawania (likwidowania) awarii w części wejściowej, a przez λ_2^r (μ_2^r) – intensywność powstawania (likwidowania) awarii w części wyjściowej układu transportowego.



Rys. 2. Schemat systemu z dwuczęściowym układem transportowym

Pomiędzy parametrami niezawodnościowymi układów transportowych, przedstawionych na rysunkach 1 i 2 zachodzą związki (zob. [9]):

$$\begin{aligned} \lambda_1^r &= \sum_{i=1}^r \lambda_i, & \lambda_2^r &= \sum_{i=r+1}^n \lambda_i, \\ \mu_1^r &= \frac{\lambda_1^r}{\sum_{i=1}^r \frac{\lambda_i}{\mu_i}}, & \mu_2^r &= \frac{\lambda_2^r}{\sum_{i=r+1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}. \end{aligned} \quad (1)$$

Zależności (1) zapewniają równowagę tych układów pod względem średnich czasów pracy i częstości awarii.

2. Określenie wybranych wskaźników

W systemie funkcjonującym zgodnie z powyższym opisem mogą wystąpić zjawiska niekorzystne, wymuszające niepotrzebne przestoje, a przez to generujące dodatkowe straty. Takimi zjawiskami są np. niedobór lub nadmiar zasobu w magazynie.

Niedobór zasobu w magazynie (zwany krótko deficytem) występuje wtedy, gdy sprawna jest tylko część wyjściowa układu transportowego oraz zbiornik jest pusty. Z kolei nadmiar zasobu (zwany krótko przepelnieniem) pojawia się, gdy sprawna jest tylko część wejściowa układu transportowego oraz zbiornik jest pełny. Wskaźnikami strat spowodowanych tymi niekorzystnymi zjawiskami są prawdopodobieństwa wystąpienia deficytu (P_d) oraz przepelnienia (P_p) (zob. [5, 6, 7]). W rozpatrywanym systemie z wieloczęściowym układem transportowym wskaźniki P_d i P_p są określone następująco:

$$P_d = \begin{cases} P_2 \cdot \frac{k-1}{ke^{xV} - 1}, & \text{dla } k \neq 1, \\ P_2 \cdot \frac{1}{1 + \lambda_1^r \mu_2^r \frac{\lambda^r + \mu^r V}{\lambda^r \mu^r c_1}}, & \text{dla } k = 1, \end{cases} \quad (2)$$

$$P_p = \begin{cases} P_3 \cdot \frac{(k-1)e^{xV}}{ke^{xV} - 1}, & \text{dla } k \neq 1, \\ P_3 \cdot \frac{1}{1 + \lambda_1^r \mu_2^r \frac{\lambda^r + \mu^r V}{\lambda^r \mu^r c_1}}, & \text{dla } k = 1, \end{cases} \quad (3)$$

gdzie:

$$P_2 = P(x(t) = 2) = \frac{\lambda_1^r}{\lambda_1^r + \mu_1^r} \cdot \frac{\mu_2^r}{\lambda_2^r + \mu_2^r}, \quad P_3 = P(x(t) = 3) = \frac{\mu_1^r}{\lambda_1^r + \mu_1^r} \cdot \frac{\lambda_2^r}{\lambda_2^r + \mu_2^r},$$

$$\lambda^r = \lambda_1^r + \lambda_2^r, \quad \mu^r = \mu_1^r + \mu_2^r, \quad x = \frac{\lambda^r + \mu^r}{\lambda^r \mu^r} \cdot \frac{\lambda_1^r \mu_2^r}{c_1} (k-1), \quad k = \frac{\mu_1^r \lambda_2^r c_1}{\lambda_1^r \mu_2^r c_2}.$$

Na wartości wskaźników P_d i P_p wywierają wpływ parametry technologiczne systemu (V , c_1 , c_2) oraz parametry niezawodnościowe części wejściowej i wyjściowej układu transportowego (λ_1^r , λ_2^r , μ_1^r , μ_2^r), które z kolei w istotny sposób zależą od miejsca lokalizacji magazynu w systemie (r) oraz od położenia poszczególnych nitek w układzie transportowym. Oznacza to, że wskazanie optymalnej (minimalizującej straty spowodowanej deficytem lub przepełnieniem) konfiguracji systemu staje się ważnym problemem decyzyjnym, generującym podczas jego późniejszej pracy znaczne i wymierne ekonomicznie korzyści.

3. Opis algorytmu

W celu wskazania optymalnej konfiguracji systemu można postępować według schematu przedstawionego poniżej.

1. Określić liczbę nitek układu transportowego n oraz punkty rewersji R_r ($r = 1, 2, \dots, n-1$), w których jest możliwa instalacja magazynu.

2. Ustalić wartości parametrów technologicznych systemu (V, c, c_1, c_2) oraz parametrów niezawodnościowych $(\lambda_i, \mu_i, i = 1, 2, \dots, n)$ każdej z nitek układu transportowego.

3. Dla każdego punktu rewersji R_r oraz wszystkich permutacji nitek układu transportowego wyznaczyć wartości parametrów niezawodnościowych części wejściowej i wyjściowej, wykorzystując w tym celu zależności (1).

4. Dla każdego przypadku obliczyć wartość wybranego wskaźnika, korzystając z odpowiednich wzorów (2) lub (3).

5. Zestawienie otrzymanych w poprzednim punkcie wyników w tabelach lub na wykresach pomoże wybrać te konfiguracje systemu (miejsca lokalizacji magazynu i ustawienia poszczególnych podukładów), dla których wartości wybranego wskaźnika są optymalne.

W pracy poddany jest analizie tzw. wariant niejednorodny omawianego systemu gospodarki zasobami. W wariacie tym przynajmniej dwa podukłady charakteryzują się różnymi parametrami niezawodnościowymi.

W wariacie niejednorodnym systemu pojawia się problem decyzyjny, nie występujący w wariacie jednorodnym (zob. [8]). Mianowicie, oprócz wskazania optymalnego miejsca lokalizacji magazynu w systemie, ważne staje się również optymalne ustawienie poszczególnych podukładów. Warto w tym miejscu zauważyć, że istotne jest jedynie, z których podukładów złożona jest część wejściowa bądź wyjściowa, a nie jest istotna ich kolejność. Wynika to wprost ze wzorów (1) i z przemienności dodawania.

Wniosek 1. Zmiana kolejności podukładów w części wejściowej lub wyjściowej złożonego szeregowo układu transportowego nie ma wpływu na jego funkcjonowanie, ponieważ nie zmienia jego parametrów niezawodnościowych $\lambda_1^r, \mu_1^r, \lambda_2^r, \mu_2^r$.

Z wniosku wynika, że znacznie zmniejsza się liczba przypadków, które należy rozpatrzyć w celu znalezienia optymalnej konfiguracji systemu.

4. Przykład liczbowy

Zaprezentowane wyniki są poparte analizą liczbową przykładowego systemu. Układ transportowy wybranego systemu składa się z 10 podukładów (nitek). Ze względu na parametry niezawodnościowe rozróżnia się 5 podukładów typu A i 5 typu B. Wartości parametrów niezawodnościowych są następujące:

- dla podukładów typu A: $\lambda = 1, \mu = 2$,
- dla podukładów typu B: $\lambda = 0,5, \mu = 2$.

Podukłady typu B są zatem mniej awaryjne. Magazyn-zbiornik może być ulokowany w jednym z dziewięciu punktów rewersji R_i ($i = 1, 2, \dots, 9$). W analizie

uwzględnia się różne pojemności magazynu V (1000, 2000, 4000 np. m^3) oraz różne prędkości zapełniania c_1 i wybierania c_2 (600 lub 1000 np. m^3/h).

Tabela 1

Wartości wskaźnika deficytu P_d dla $V = 1000$, $c_1 = 1000$, $c_2 = 1000$

s	Miejsce lokalizacji magazynu								
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9
0	0,001	0,006	0,025	0,075	0,171				
	6,500	2,750	1,500	0,875	0,500				
1	0,000	0,003	0,013	0,045	0,117	0,239			
	14,000	4,000	2,000	1,143	0,667	0,364			
2		0,001	0,006	0,025	0,075	0,171	0,324		
		6,500	2,750	1,500	0,875	0,500	0,250		
3			0,003	0,013	0,045	0,117	0,239	0,432	
			4,000	2,000	1,143	0,667	0,364	0,154	
4				0,006	0,025	0,075	0,171	0,324	0,578
				2,750	1,500	0,875	0,500	0,250	0,071
5					0,013	0,045	0,117	0,239	0,432
					2,000	1,143	0,667	0,364	0,154

Źródło: opracowanie własne.

W białych polach tabeli 1 przedstawiono wartości wskaźnika deficytu, odpowiadające wszystkim możliwym konfiguracjom przykładowego systemu dla $V = 1000$, $c_1 = 1000$, $c_2 = 1000$. W leżących poniżej polach szarych umieszczone są odpowiadające im wartości wskaźnika charakterystycznego systemu k . Zmienna s w tabeli 1 określa liczbę nitek typu B w części wejściowej układu transportowego. Spełnia ona warunek $\max\{0, r-5\} \leq s \leq \min\{5, r\}$.

Nietrudno zauważyć, że wskaźnik deficytu przyjmuje najmniejszą (najlepszą) wartość, gdy parametr charakterystyczny systemu k jest największy. Magazyn znajduje się wtedy w punkcie R_1 , czyli możliwie najbliżej nadawcy. Oprócz tego, w przypadku lokalizacji magazynu w dowolnym punkcie R_r ($r = 1, 2, \dots, 9$), wzrost parametru k (spowodowany zmianą konfiguracji układu transportowego) zawsze powoduje spadek wartości wskaźnika P_d . Można też zauważyć identyczne wartości wskaźnika P_d mimo lokalizacji magazynu w różnych punktach rewersji. Zawsze wtedy również są jednakowe wartości wskaźnika k .

Przy innych wartościach parametrów V , c_1 i c_2 występują analogiczne zależności, co pozwala zaprezentować zwięźle wyniki analizy liczbowej wskaźnika deficytu w tabeli 2.

Tabela 2

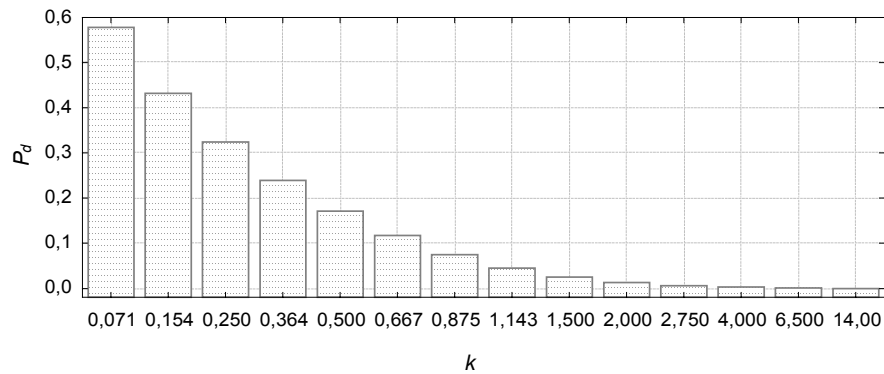
Wartości wskaźnika deficytu P_d

k	$c_1 = 600, c_2 = 1000$			k	$c_1 = 1000, c_2 = 1000$			k	$c_1 = 1000, c_2 = 600$		
	$V=1000$	$V=2000$	$V=4000$		$V=1000$	$V=2000$	$V=4000$		$V=1000$	$V=2000$	$V=4000$
0,043	0,596	0,596	0,596	0,071	0,578	0,578	0,578	0,119	0,549	0,548	0,548
0,092	0,463	0,463	0,463	0,154	0,432	0,431	0,431	0,256	0,381	0,379	0,379
0,150	0,364	0,364	0,364	0,250	0,324	0,322	0,321	0,417	0,257	0,250	0,250
0,218	0,287	0,287	0,287	0,364	0,239	0,234	0,233	0,606	0,163	0,148	0,145
0,300	0,223	0,222	0,222	0,500	0,171	0,160	0,159	0,833	0,094	0,069	0,057
0,400	0,168	0,166	0,166	0,667	0,117	0,099	0,093	1,114	0,049	0,022	0,007
0,525	0,121	0,116	0,115	0,875	0,075	0,051	0,037	1,458	0,022	0,005	0
0,686	0,080	0,070	0,067	1,143	0,045	0,021	0,007	1,905	0,009	0,001	0
0,900	0,048	0,032	0,023	1,500	0,025	0,007	0,001	2,500	0,004	0	0
1,200	0,025	0,010	0,002	2,000	0,013	0,002	0	3,333	0,001	0	0
1,650	0,011	0,002	0	2,750	0,006	0	0	4,583	0	0	0
2,400	0,004	0	0	4,000	0,003	0	0	6,667	0	0	0
3,900	0,001	0	0	6,500	0,001	0	0	10,833	0	0	0
8,400	0	0	0	14,000	0	0	0	23,333	0	0	0

Źródło: opracowanie własne.

Analiza wyników przedstawionych w obu tabelach prowadzi do następujących wniosków.

Wniosek 2. Straty spowodowane deficytem są tym mniejsze, im większą wartość przyjmuje wskaźnik charakterystyczny systemu k (por. rys. 3). W celu maksymalizacji wskaźnika k należy magazyn zlokalizować możliwie blisko nadawcy oraz część wejściową układu transportowego złożyć z najmniej awaryjnych podukładów.



Rys. 3. Wartości wskaźnika deficytu (por. tab.2) odpowiadające różnym konfiguracjom przykładowego systemu niejednorodnego ($V = c_1 = c_2 = 1000$)

Wniosek 3. Zmiana pojemności magazynu nie powoduje zmiany optymalnego (minimalizującego P_d) punktu lokalizacji magazynu w systemie. Jednak im magazyn jest większy, tym mniejsze są różnice w wartościach wskaźnika P_d między punktem R_1 a punktami sąsiednimi (np. R_2, R_3). Ulokowanie magazynu o odpowiednio dużej pojemności w punkcie np. R_3 zamiast w R_1 nie musi zatem powodować istotnego wzrostu strat, spowodowanych deficytem.

Wniosek 4. Zmiana wartości ilorazu prędkości zapełniania i wybierania c_1/c_2 nie powoduje zmiany optymalnego (minimalizującego P_d) punktu lokalizacji magazynu w systemie. Jednak im ten iloraz jest większy, tym mniejsze są różnice w wartościach wskaźnika P_d między punktem R_1 a punktami sąsiednimi (np. R_2, R_3). Ulokowanie magazynu w punkcie np. R_3 zamiast w R_1 nie musi zatem powodować istotnego wzrostu strat spowodowanych deficytem, jeśli iloraz c_1/c_2 będzie odpowiednio duży.

Wyniki analizy liczbowej wskaźnika przepełnienia P_p znajdują się w tabeli 3. Odwrotnie niż wskaźnik deficytu, wskaźnik przepełnienia we wszystkich przypadkach przyjmuje najmniejsze wartości, gdy parametr charakterystyczny systemu k jest najmniejszy. Magazyn znajduje się wtedy w punkcie R_9 , czyli możliwie najbliżej odbiorcy. Oprócz tego, przy lokalizacji magazynu w dowolnym punkcie R_r ($r = 1, 2, \dots, 9$), spadek parametru k (spowodowany zmianą konfiguracji układu transportowego) zawsze powoduje spadek wartości wskaźnika P_p . Można również zauważyć identyczne wartości wskaźnika P_p mimo lokalizacji magazynu w różnych punktach rewersji, co jest spowodowane tą samą wartością parametru k .

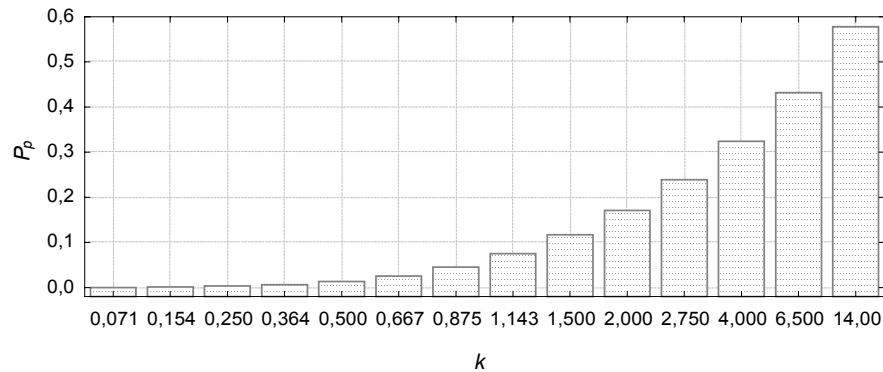
Tabela 3

Wartości wskaźnika przepełnienia P_p

k	$c_1 = 600, c_2 = 1000$			k	$c_1 = 1000, c_2 = 1000$			k	$c_1 = 1000, c_2 = 600$		
	$V = 1000$	$V = 2000$	$V = 4000$		$V = 1000$	$V = 2000$	$V = 4000$		$V = 1000$	$V = 2000$	$V = 4000$
0,043	0	0	0	0,071	0	0	0	0,119	0	0	0
0,092	0	0	0	0,154	0,001	0	0	0,256	0,001	0	0
0,150	0	0	0	0,250	0,003	0	0	0,417	0,004	0	0
0,218	0	0	0	0,364	0,006	0	0	0,606	0,011	0,002	0
0,300	0,001	0	0	0,500	0,013	0,002	0	0,833	0,025	0,010	0,002
0,400	0,004	0	0	0,667	0,025	0,007	0,001	1,114	0,048	0,032	0,023
0,525	0,009	0,001	0	0,875	0,045	0,021	0,007	1,458	0,080	0,070	0,067
0,686	0,022	0,005	0	1,143	0,075	0,051	0,037	1,905	0,121	0,116	0,115
0,900	0,049	0,022	0,007	1,500	0,117	0,099	0,093	2,500	0,168	0,166	0,166
1,200	0,094	0,069	0,057	2,000	0,171	0,160	0,159	3,333	0,223	0,222	0,222
1,650	0,163	0,148	0,145	2,750	0,239	0,234	0,233	4,583	0,287	0,287	0,287
2,400	0,257	0,250	0,250	4,000	0,324	0,322	0,321	6,667	0,364	0,364	0,364
3,900	0,381	0,379	0,379	6,500	0,432	0,431	0,431	10,833	0,463	0,463	0,463
8,400	0,549	0,548	0,548	14,000	0,578	0,578	0,578	23,333	0,596	0,596	0,596

Źródło: opracowanie własne.

Wniosek 5. Straty spowodowane przepełnieniem są tym mniejsze, im mniejszą wartość przyjmuje wskaźnik charakterystyczny systemu k (por. rys. 4). W celu minimalizacji wskaźnika k należy magazyn zlokalizować możliwie blisko odbiorcy oraz część wyjściową układu transportowego złożyć z najmniej awaryjnych podukładów.



Rys. 4. Wartości wskaźnika przepełnienia (por. tab. 3) odpowiadające różnym konfiguracjom przykładowego systemu niejednorodnego ($V = c_1 = c_2 = 1000$)

Wniosek 6. Zmiana pojemności magazynu nie powoduje zmiany optymalnego (minimalizującego P_p) punktu lokalizacji magazynu w systemie. Jednak im magazyn jest większy, tym mniejsze są różnice w wartościach wskaźnika P_p między punktem R_{n-1} a punktami sąsiednimi (np. R_{n-2} , R_{n-3}). Ulokowanie magazynu o odpowiednio dużej pojemności w punkcie np. R_{n-3} zamiast w R_{n-1} nie musi zatem powodować istotnego wzrostu strat, spowodowanych przepełnieniem.

Wniosek 7. Zmiana wartości ilorazu prędkości zapełniania i wybierania c_1/c_2 nie powoduje zmiany optymalnego (minimalizującego P_p) punktu lokalizacji magazynu w systemie. Jednak im ten iloraz jest mniejszy, tym mniejsze są różnice w wartościach wskaźnika P_p między punktem R_{n-1} a punktami sąsiednimi (np. R_{n-2} , R_{n-3}). Ulokowanie magazynu w punkcie np. R_{n-3} zamiast w R_{n-1} nie musi zatem powodować istotnego wzrostu strat spowodowanych przepełnieniem, jeśli iloraz c_1/c_2 będzie odpowiednio mały.

5. Uwagi końcowe

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, jak istotne znaczenie dla efektywnego funkcjonowania rozważanego systemu ma jego właściwa konfiguracja (miejsce instalacji magazynu oraz ustawienie poszczególnych nitek transportowych). Uzyskaną wiedzę można wykorzystać do optymalnego sterowania już istniejącymi systemami lub w projektowaniu nowych systemów.

Dalsze prace badawcze, prowadzone nad systemami gospodarki zasobami ze złożonymi układami transportowymi, dotyczą m.in. analizy rozpatrywanego w pracy systemu ze względu na inne wskaźniki oraz analizy systemów o innej konfiguracji układu transportowego.

Bibliografia

- [1] DASKIN M.S., COULLARD C.R., SHEN Z.J. M., *An inventory – location model: formulation, solution algorithm and computational results*, Annals of Operations Research, 110(1/4), 2002, s. 83–106.
- [2] DEMCHENKO S.S., KNOPOV P.S., CHORNEY R.K., *Optimal strategies for a semi – Markovian inventory system*, Cybernetics & Systems Analysis, 38(1), 2002, s. 124–136.
- [3] GALANC T., OSTASIEWICZ W., PISZ Z., *Stan graniczny dolny procesu opisującego wąskie gardło pewnego systemu produkcyjno-zaopatrzeniowego*, Badania Operacyjne i Decyzje, Wrocław 1997, nr 4, s. 31–38.
- [4] GICHMAN I.I., SKOROCHOD A.V., *Wstęp do teorii procesów stochastycznych*, PWN, Warszawa 1968.
- [5] KRÓL M.J., *Стохастический анализ экономико-организационной оценки функционирования системы „непрерывный транспорт – хранение”*, Дисс. докт., Московский Государственный Университет Экономики, Статистики и Информатики, Москва 1990.
- [6] KRÓL M.J., LIANA M., *Analiza zjawiska zwanego przepelnieniem magazynu, występującego w systemie „transport-zapasy”*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 153, Rzeszów 1996, Ekonomia i Nauki Humanistyczne, z. 4, s. 107–114.
- [7] KRÓL M.J., LIANA M., *Ilościowa ocena deficytu u odbiorcy w pewnym systemie gospodarki zasobami*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 152, Rzeszów 1996, Ekonomia i Nauki Humanistyczne, z. 3, s. 107–112.
- [8] KRÓL M.J., LIANA M., *Wpływ miejsca instalacji magazynu-zbiornika w systemie transportowym na straty spowodowane deficytem lub przepelnieniem*, Badania Operacyjne i Decyzje, Wrocław 1997, nr 2, s. 41–48.
- [9] LIANA M., *O redukcji liczby parametrów wieloczęściowych układów transportowych występujących w systemach gospodarki zasobami*, Badania Operacyjne i Decyzje, Wrocław 2003, nr 1, s. 31–44.
- [10] PISULA T., *Ocena efektywności funkcjonowania pewnego systemu cybernetyczno-ekonomicznego typu „transport-zapasy”*, Badania Operacyjne i Decyzje, Wrocław 2003, nr 1, s. 59–77.
- [11] SO K.C., *Optimal buffer allocation strategy for minimizing work-in-process inventory in unpaced production lines*, IIE Transactions 29, 1997, s. 81–88.
- [12] ŚWIĄTEK J., GALANC T., *Process density functions in the problem of the identification of a barrier in the functioning of a certain inventory storage and issue system*, Badania Operacyjne i Decyzje, Wrocław 2004, nr 3–4, s. 83–89.

The deficit and the overfilling in a system of „Transport–Reserves” type with multi-component non-homogenous transportation

An S-T-R system (Sender–Transportation–Receiver) with multi-component continuous transportation is considered. Until now systems of this type were studied in which damage parameters of separate units of transportation were identical (so-called homogenous transportation). In this paper, the units are

characterized by the damage parameters which have different values (so-called non-homogenous transportation). Their functioning is modeled by using stationary and homogenous Markov processes. Moreover, these units are connected in series at so-called reversal points. At one of these points, a reservoir of finite capacity is placed.

The influence of the system configuration (i.e., location of the reservoir and arrangement of the specific transport subsystems) in relation to the volume of losses caused by randomly arising adverse events such as overflow or deficit of resources in the reservoir is analysed. The coefficients of deficit and overfilling of the reservoir, that were described in the authors' earlier papers, are used in simulation studies. A number of conclusions have been drawn, which can be used for the purpose of optimal control of existing systems of this type or in designing new systems.

Keywords: *resources management, transport, a reservoir, stochastic processes*