

Rezime:

U ovom radu razmatran je problem upravljanja zalihama rezervnih delova u dvonivojskom skladištu u uslovima neizvesnosti. Dvonivojski sistem sastoji se od jednog centralnog skladišta i N regionalnih skladišta. Potražnja za svakom vrstom razmatranih rezervnih delova koja se javlja na skladištu je neizvesna veličina koja je modelirana fazi brojevima. Razvijen je nov postupak klasifikacije pomoću fazi ABC metode. Za rezervne delove od najvećeg značaja određuje se upravljanje. U radu je prikazan fazi model pomoću kojeg se određuju optimalne količine naručivanja za centralno skladište i regionalna skladišta. Vrednosti jedinične cene i jediničnih troškova usled postojanja i nedostatka zaliha su determinističke. Razvijen postupak klasifikacije i algoritam za određivanje optimalnih količina naručivanja ilustrovan je primerom.

Ključne reči: hijerarhijski dvonivojski sistem zaliha, ABC metod, neizvesnost, fazi broj.

INVENTORY CONTROL OF SPARE PARTS IN UNCERTAIN ENVIRONMENT

Summary:

The problem of inventory control of spare parts in a hierarchical two-level system in uncertain environment is considered. The hierarchical two-level system consists of one central depot and N branch warehouses. A demand of each kind of treated spare parts is uncertain and modelled by fuzzy numbers. A new procedure of classification according to the fuzzy ABC method is developed. The control models are determined for spare parts of great importance. A new fuzzy mathematical model for determining the optimum order quantities of the central depot and branch warehouses is presented. The values of unit procurement price, unit holding costs and unit shortage costs are deterministic. The developed procedure for the classification and the algorithm for determining the optimum order quantities is illustrated by an example.

Key words: hierarchical two-level inventory system, ABC method, uncertainty, fuzzy number, optimization.

Uvod

U velikom broju radova razmatran je problem organizovanja i upravljanja višenivojskim skladištima [1, 13]. Prema razmatranjima Bergma i Zijma (1996)

problem upravljanja skladištima obuhvata sledeće potprobleme: upravljanje zalihama, raspoređivanje delova u skladištu, određivanje lokacija skladišta i skeduliranje i kontrolu skladišnih operacija. Poslednjih godina raste interesovanje za

upravljanje zalihama rezervnih delova (RD) u gotovo svim organizacionim sistemima, a posebno u Vojsci Jugoslavije koja ima velike količine uskladištenih RD. Za to postoje dva glavna razloga:

- složena situacija u našoj zemlji i okruženju koja zahteva visoku raspoloživost i pouzdanost opreme VJ;
- investicije u RD sistema koji se održavaju su vrlo velike.

Upravljanje zalihama RD obuhvata određivanje asortimana i količine naručivanja i određivanje investicije u RD.

Najvažnija prednost postojanja zaliha RD je ublažavanje i/ili otklanjanje vremenskih i prostornih nepodudarnosti koje nastaju u procesima snabdevanja, održavanja i transporta opreme VJ. Međutim, postojanje zaliha ima izvesne nedostatke. One angažuju kapital, zauzimaju prostor, zastarevaju i opada im kvalitet.

Upravljanje zalihama RD predstavlja gotovo najvažniji problem upravljanja u višenivojskom skladištu. Pre nego što se odredi model upravljanja, neophodno je da se izvrši klasifikacija RD. U ovom radu, ona je obavljena pomoću ABC metode koja je zasnovana na Pareto analizi. Klasifikacija se obavlja u smislu jednog kriterijuma optimalnosti, npr. troškova zaliha. Vrednosti upravljačkih veličina su determinističke, a ukoliko se želi da se načini realnija klasifikacija, vrednosti upravljačkih veličina treba opisati npr. slučajnim promenljivima i funkcijama, fazi skupovima i brojevima, neizvesnim skupovima i grubim skupovima. U ovom radu modeliranje neizvesnih veličina zasnovano je na teoriji fazi skupova [12]. Vrednost neizvesnih veličina ne može da se opiše pomoću teorije verovatnoće već se opisuje lingvističkim is-

kazima, npr. *oko d, ne veće od d, ne manje od d* i dr., gde je d realan broj.

Fazi pristup u razmatranju neizvesnosti ima izvesne prednosti u odnosu na stohastički:

- određivanje raspodele slučajno-promenljive zahteva veliki broj podataka iz evidencije koji u posmatranom periodu ne moraju da budu dovoljno tačni, posebno kada se uslovi stalno menjaju;
- kombinacija neizvesnosti dovodi do složene raspodele verovatnoće, što ima za posledicu vrlo složene matematičke formule.

Fazi pristup treba primeniti u onim slučajevima kada postoje izvori neizvesnosti i nepreciznosti bilo koje vrste.

Rezervni delovi se klasifikuju u različite grupe koje nisu podjednako važne. Samo za one RD koji imaju najveću važnost razvijaju se matematički modeli i ekspertske sistemi. Upravljanje RD koji imaju manju važnost obavlja se pomoću postojećih modela ili jednostavnijih metoda, kao što je npr. rolling metoda. Na ovaj način smanjuju se vreme i troškovi upravljanja zalihama, što predstavlja osnovni cilj klasifikacije.

U literaturi se može naći veliki broj razvijenih nenumeričkih i numeričkih metoda, kao i ekspertske sistema pomoću kojih se analizira i nalazi optimalna politika upravljanja zalihama. U [4] je data kratka retrospekcija tri klase matematičkih modela zaliha: deterministički, stohastički i fazi. Detaljno su izloženi oni modeli koji su najviše citirani u literaturi, npr. kontinualni dinamički model i diskretan stohastički model. Takođe, izložen je složen stohastički model za upravljanje zalihama popravljivih RD, METRIC

(Multi Echelon Technique for Recoverable Item Control). Petrović i dr. (1990) razvili su fazi ekspertske sistem SPARTA II (Spare Parts Adviser) za upravljanje zalihama popravljivih i nepopravljivih RD u smislu više kriterijuma čije su vrednosti opisane fazi skupovima [8].

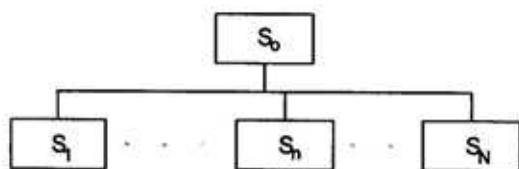
Postavka problema

Diks i dr. (1996) definišu višenivojsko skladište kao hijerarhijski sistem skladišta [3]. Organizaciona struktura ovog sistema poznata je u literaturi kao „struktura drveta“ [2]. Na slici 1 dat je šematski prikaz dvonivojskog sistema koji se najviše koristi u praksi i sastoji se od jednog centralnog skladišta S_0 , koje se nalazi na prvom hijerarhijskom nivou i N regionalnih skladišta $S_n (n = \overline{1, N})$, na drugom hijerarhijskom nivou. Rezervni delovi koji se skladište u centralnom skladištu nabavljaju se od spoljnih dobavljača. Regionalna skladišta popunjavaju se iz centralnog skladišta. Pretpostavlja se da nema redistribucije među regionalnim skladištima.

Optimalne politike zaliha RD za svako skladište u razmatranom dvonivojskom sistemu određuju se pomoću fazi modela.

Pretpostavke koje se uvode u model su sledeće:

1. Razmatra se I različitih RD koji se formalno predstavljaju $a_i (i = \overline{1, I})$,



Sl. 1 – Struktura dvonivojskog sistema

2. Obim tražnje za RD $a_i (i = \overline{1, I})$ koja se javlja na regionalnom skladištu $S_n (n = \overline{1, N})$, d_n^i , ne zavisi od obima tražnje koja se javlja na ostalim regionalnim skladištima. Ova veličina je neizvesna.

3. Obim tražnje koji se javlja na centralnom skladištu, d_0^i , zavisi od obima tražnje koji se javlja na svakom regionalnom skladištu. Kako je pretpostavljeno da je d_n^i neizvesna, sledi da je i d_0^i takođe neizvesna, na osnovu pravila o sabiranju fazi brojeva [12].

Modeliranje neizvesne tražnje

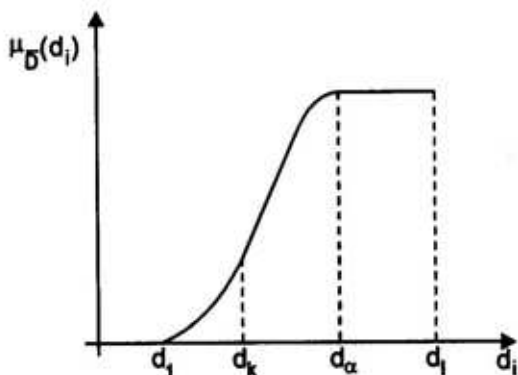
Termin neizvesna tražnja znači da obim tražnje nije deterministički. Ova vrednost realno se opisuje lingvističkim iskazima, čije je modeliranje u ovom radu zasnovano na teoriji fazi skupova. U ovom odeljku prikazan je postupak modeliranja obima tražnje koja se javlja na regionalnim skladištima.

Obim tražnje RD $a_i (i = \overline{1, I})$ koja se javlja na skladištu $S_n (n = \overline{1, N})$ opisuje se fazi brojem:

$$\bar{d}_n^i = \{d_{nk}^i, \mu_{\bar{d}_n^i}(d_{nk}^i)\} \quad (1)$$

gde je d_{nk}^i diskretna vrednost u domenu fazi broja \bar{d}_n^i . Ukupan broj vrednosti u domenu označen je sa K i zavisi od koraka diskretizacije domena. Domen je definisan na skupu prirodnih brojeva.

U stohastičkom pristupu, vrednost razmatrane veličine gotovo se uvek opisuje slučajnom promenljivom sa Poasonom raspodelom verovatnoće. Zbog toga se smatra da je realna pretpostavka



Sl. 2 – Funkcija pripadnosti oblika logističke krive

da funkcija pripadnosti fazi broja \bar{d}_n^i ima oblik logističke krive [5]. Logistička kriva ima sledeća svojstva: za vrednost d_{n1}^i ima nultu vrednost, zatim postoji deo domena (d_{n1}^i, d_{nk}^i) u kojem je prvi izvod veći od nule, tj. funkcija pripadnosti raste, u delu domena ($d_{nk}^i, d_{n\alpha}^i$) prvi izvod je jednak nuli, tj. funkcija pripadnosti je linearna, a iza njega sledi deo domena ($d_{n\alpha}^i, d_{nl}^i$) u kojem se javlja fenomen zasićenja (bez obzira na to koliko se povećava vrednost u domenu, vrednost funkcije pripadnosti ostaje konstantna). Vrednost funkcije pripadnosti izračunava se prema izrazu (2) i prikazana je na slici 2.

$$\mu_{\bar{d}_n^i}(d_{nk}^i) = 1 - \left(1 - e^{\frac{-f_i}{d_{nk}^i - b_i}} \right)^{d_{nk}^i - b_i} \quad (2)$$

Za izračunavanje vrednosti parametara f_i i b_i potrebno je da se definiše mera usaglašavanja, npr. srednje kvadratno odstupanje između analitičkih i empirijskih vrednosti funkcije pripadnosti koje treba minimizirati.

Obim tražnje koja se javlja na centralnom skladištu je:

$$\bar{d}_0^i = \sum_{n=1}^N \bar{d}_n^i \quad (3)$$

i takođe je diskretan fazi broj na osnovu pravila o sabiranju fazi brojeva [12].

ABC metoda sa neizvesnim podacima

Prema podacima iz literature [9] važnost svakog razmatranog RD zavisi od dve veličine: tražnje i jedinične cene. Obim tražnje u ovom radu opisan je fazi brojem, a vrednost jedinične cene (jedinični troškovi nabavke) za svaki razmatrani RD je deterministička. Vrednost kriterijuma optimalnosti na osnovu kojeg se vrši klasifikacija računa se prema izrazu:

$$(\overline{GV})_i = \bar{d}_0^i \cdot c_i \quad (4)$$

gde je $(\overline{GV})_i$ važnost RD a_i ($i = \overline{1, I}$) koja je opisana fazi brojem na osnovu pravila fazi algebre [12].

Postupak klasifikacije razmatranih RD pomoću ABC metode sa neizvesnim podacima realizuje se u tri koraka kao i kod klasične ABC metode.

Korak 1. Za svaki razmatrani RD a_i ($i = \overline{1, I}$) računa se $(\overline{GV})_i$. Reprezentativni skalar fazi broja $(\overline{GV})_i$ određuje se metodom momenta [7] i označen je $(GV)_i$. Zatim se određuje relativna važnost, g_i ($i = \overline{1, I}$) prema izrazu (5):

$$g_i = \frac{(GV)_i}{\sum_{i=1}^I (GV)_i} \quad (5)$$

Korak 2. Prema vrednostima g_i ($i = \overline{1, I}$) rangiraju se razmatrani RD, ta-

ko da se na prvom mestu nalazi RD kome je pridružena vrednost $G_I = \max_{i=1, I} g_i$, a

na poslednjem mestu RD kome se pridružuje vrednost $G_J = \min_{i=1, I} g_i$. Indeks j

($j = \overline{1, J}$) uvodi se kao brojač za rangiranje razmatranih RD i $I = J$.

Korak 3. Izračunava se kumulativna vrednost $G(r)$ tako da je:

$$G(r) = \sum_{j=1}^R G(r) \quad (6)$$

Vrednost $G(r)$ nalazi se u intervalu $[0, 1]$.

Iz uslova da je $G(r) = 0,8$ određuju se RD koji imaju najveću važnost i pripadaju grupi A. Pretpostavlja se da I' RD pripadaju grupi A, tako da $I' \leq I$. Narednih 15% korespondira RD koji imaju manju važnost i pripadaju grupi B. Ostalih 5% $G(r)$ korespondira RD koji imaju tzv. „skladišnu vrednost“ i pripadaju grupi C.

Fazi model dvonivojskog sistema zaliha

Optimalne količine naručivanja RD, koji pripadaju grupi A, za svako skladište u dvonivojskom sistemu određuju se pomoću fazi matematičkog modela koji je opisan [6].

Pored već prethodno uvedenih pretpostavki, u model se uvode i sledeće:

1. Razmatra se samo jedna vrsta RD grupe A, a_m ($m = \overline{1, I}$). Brojač m ($m = \overline{1, I}$) se uvodi za rezervne delove grupe A.

2. Period u kojem se upravlja zalihama je konačan i u ovom radu iznosi jednu godinu.

3. Razmatraju se troškovi nabavke, troškovi držanja zaliha i troškovi usled nedostatka zaliha.

4. Jedinični troškovi držanja zaliha definišu se kao rezidualna vrednost direktnih troškova držanja zaliha [11].

5. Jedinični troškovi držanja zaliha i nedostatka zaliha koji se javljaju na kraju posmatranog perioda u kojem se vrši upravljanje, na svakom skladištu označeni su sa h_n^m , h_0^m , p_n^m , p_0^m , respektivno. Njihove vrednosti su determinističke. Vrednost jedinične cene nabavke, c_0^m može, takođe, precizno da se odredi.

6. Početni nivo zaliha na svakom skladištu razmatranog sistema jednak je nuli.

7. Kriterijum optimalnosti definisan je kao ukupni mogući troškovi. Na osnovu ranije uvedenih pretpostavki sledi da je njihova vrednost opisana fazi brojem:

$$\bar{L}^m = \bar{L}_1^m + \bar{L}_2^m, \quad (7)$$

gde je:

a) $\bar{L}_2^m = \bar{L}_{2h}^m + \bar{L}_{2p}^m$ – vrednost ukupnih troškova koji se javljaju na regionalnim skladištima, a gde je:

$$\bar{L}_{2h}^m = \sum_{n=1}^N h_n^m \cdot \max(Q_n^m - d_n^m, 0) - \text{vrednost}$$

ukupnih troškova koji se javljaju usled postojanja zaliha na regionalnim skladištima na kraju posmatranog perioda;

$$\bar{L}_{2p}^m = \sum_{n=1}^N p_n^m \cdot \max(d_n^m - Q_n^m, 0)$$

– vrednost ukupnih troškova koji se javljaju usled nedostatka zaliha na svim re-

gionalnim skladištima na kraju posmatranog perioda,

Q_n^m – količina naručivanja za n -to ($n = \overline{1, N}$) regionalno skladište. Pretpostavlja se da je ova vrednost poznata na početku perioda u kojem se određuje upravljanje.

$$b) \bar{L}_1^m = c_0^m \cdot Q_0^m + h_0^m \max(Q_0^m - d_0^m, 0) + p_0^m \max(d_0^m - Q_0^m, 0)$$

– vrednost ukupnih troškova koji se javljaju na centralnom skladištu, gde je:

$c_0^m \cdot Q_0^m$ – vrednost ukupnih troškova nabavke;

$h_0^m \max(Q_0^m - d_0^m, 0)$ – vrednost ukupnih troškova koji se javljaju usled postojanja zaliha na centralnom skladištu;

$p_0^m \max(d_0^m - Q_0^m, 0)$ – vrednost ukupnih troškova koji se javljaju usled nedostatka zaliha na centralnom skladištu;

Q_0^m – količina naručivanja za centralno skladište.

Razmatrani problem rešava se parcijalno, u dva koraka.

Korak 1. Vrednost ukupnih troškova koji se javljaju na skladištu S_n ($n = \overline{1, N}$) opisana je fazi brojem \bar{L}_{2n}^m , tako da:

$$\bar{L}_{2n}^m = \{L_{2s}, \mu_{\bar{L}_{2s}}(L_{2s})\}, \quad (8)$$

gde je:

L_{2s} – vrednost u domenu fazi broja \bar{L}_{2n}^m (ukupan broj vrednosti u domenu je S);

$\mu_{\bar{L}_{2s}}(L_{2s})$ – vrednost funkcije raspodele mogućnosti fazi broja \bar{L}_{2n}^m koja se računa na osnovu principa proširenja [12].

Optimalna količina naručivanja za regionalno skladište S_n ($n = \overline{1, N}$), $(Q_n^m)^*$ određuje se iz uslova minimuma ukupnih troškova za razmatrano regionalno skladište \bar{L}_{2n}^m . Defazifikacija fazi broja \bar{L}_{2n}^m u ovom radu se obavlja metodom momenta [7]:

$$\text{defuzz } \bar{L}_{2n}^m = \frac{\sum_{s=1}^S L_{2p} \cdot \mu_{\bar{L}_{2n}^m}(L_{2p})}{\sum_{s=1}^S \mu_{\bar{L}_{2n}^m}(L_{2p})} \quad (9)$$

Korak 2. U drugom koraku izračunava se optimalna količina naručivanja razmatrane vrste rezervnih delova za centralno skladište. Vrednost ukupnih mogućih troškova koji se javljaju na centralnom skladištu izračunava se po izrazu:

$$\bar{L}_1^m = c_0^m \cdot Q_0^m + \text{defuzz}(\bar{L}_{1hp}^m) \quad (10)$$

gde je:

$\text{defuzz } \bar{L}_{1hp}^m$ reprezentativni skalar fazi broja \bar{L}_{1hp}^m koji se izračunava metodom momenta [7].

Optimalna količina naručivanja, $(Q_0^m)^*$, dobija se iz uslova minimuma ukupnih mogućih troškova (10). Određivanje minimuma funkcije (10) obavlja se jednodimenzionalnim pretraživanjem.

Ilustrativni primer

Razmatraju se tri različite vrste RD koji se skladište u opisanom dvonivojskom sistemu skladišta. Obim tražnje za svakom razmatranom vrstom RD, a_i ($i = \overline{1, 3}$) koja se javlja na skladištu

($n=1,2$) opisan je diskretnim fazi brojem, tako da:

$$\bar{d}_1^1 = \{(4,0.2), (6,0.4), (8,0.6), (10,0.8), (12,1)\}$$

$$\bar{d}_2^1 = \{(5,0.25), (7,0.5), (9,0.75), (11,1)\}$$

$$\bar{d}_1^2 = \{(8,0.2), (10,0.4), (12,0.6), (14,0.8), (16,1)\}$$

$$\bar{d}_2^2 = \{(6,0.25), (8,0.5), (10,0.75), (12,1)\}$$

$$\bar{d}_1^3 = \{(1,0.2), (2,0.4), (3,0.6), (4,0.8), (5,1)\}$$

$$\bar{d}_2^3 = \{(3,0.25), (5,0.5), (7,0.75), (9,1)\}$$

Vrednost jedinične cene nabavke svake vrste RD je $c_1 = 2$, $c_2 = 1$ i $c_3 = 3$.

$$d_0^1 + d_1^1 + d_2^1 = \{(9,0.2), (11,0.25), (13,0.4), (15,0.5), (17,0.6), (19,0.75), (21,0.8), (23,1)\}$$

$$d_0^2 + d_1^2 + d_2^2 = \{(14,0.2), (16,0.25), (18,0.4), (20,0.5), (22,0.6), (24,0.75), (26,0.8), (28,1)\}$$

$$d_0^3 + d_1^3 + d_2^3 = \{(4,0.2), (5,0.25), (6,0.25), (7,0.4), (8,0.5), (9,0.5), (10,0.6), (11,0.75), (12,0.75), (13,0.8), (14,1)\}$$

Vrednost kriterijuma optimalnosti za svaki RD a_i ($i=1,3$) na osnovu kojeg se vrši klasifikacija je:

$$(\overline{GV})_1 = c_1 \cdot d_0^1 = 2 \cdot d_0^1 = \{(18,0.2), (22,0.25), (26,0.4), (30,0.5), (34,0.6), (38,0.75), (42,0.8), (46,1)\}$$

$$(\overline{GV})_2 = c_2 \cdot d_0^2 = 1 \cdot d_0^2 = \{(14,0.2), (16,0.25), (18,0.4), (20,0.5), (22,0.6), (24,0.75), (26,0.8), (28,1)\}$$

$$(\overline{GV})_3 = c_3 \cdot d_0^3 = 3 \cdot d_0^3 = \{(12,0.2), (15,0.25), (18,0.25), (21,0.4), (24,0.5),$$

$$(27,0.5), (30,0.6), (33,0.75), (36,0.75), (39,0.8), (42,1)\}$$

Postupak klasifikacije razmatranih RD pomoću fazi ABC metode

Korak 1. Reprezentativni skalar fazi broja $(\overline{GV})_i$, $(GV)_i$, $i=1,3$ određuje se metodom momenta. Vrednosti ove veličine u razmatranom primeru su: $(GV)_1=36,22$; $(GV)_2=23,11$; $(GV)_3=31,25$. Relativna važnost svakog RD a_i ($i=1,3$) izračunava se na sledeći način:

$$g_1 = \frac{(GV)_1}{\sum_{i=1}^3 (GV)_i} = \frac{36,22}{90,58} = 0,4;$$

$$g_2 = \frac{(GV)_2}{\sum_{i=1}^3 (GV)_i} = \frac{23,11}{90,58} = 0,25;$$

$$g_3 = \frac{(GV)_3}{\sum_{i=1}^3 (GV)_i} = \frac{31,25}{90,58} = 0,35$$

Korak 2. Rang razmatranih RD – prikazan je u tabeli 1.

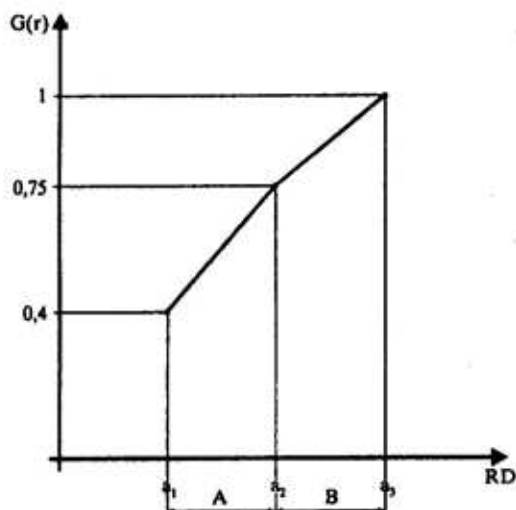
Korak 3. Kumulativ $G(r)$ prikazan je na slici 3.

Na osnovu rezultata fazi ABC klasifikacije sledi da RD koji imaju najveću važnost su a_1 i a_3 . Ovi RD pripadaju grupi A, i za njih se razvijaju modeli upravljanja zalihama. RD tipa a_2 ima

Tabela 1

Rang razmatranih RD

a_i	g_i
a_1	0,4
a_2	0,35
a_3	0,25



Sl. 3 – Fazi ABC klasifikacija rezervnih delova

ju manju važnost i nisu interesantni sa aspekta upravljanja zalihama.

U ovom primeru prikazan je postupak određivanja optimalnih količina naručivanja za RD- a_1 pomoću razvijenog fazi matematičkog modela.

Određivanje optimalnih količina naručivanja za a_1

Pretpostavka je da su vrednosti jediničnih troškova na prvom, odnosno drugom regionalnom skladištu $h_1^1 = 1$, $p_1^1 = 3$, odnosno $h_2^1 = 2$, $p_2^1 = 4$, respektivno. Količina naručivanja za svako regionalno skladište raspoloživa je na početku posmatranog perioda. Količina naručivanja iznosi 6, odnosno 9 za prvo, odnosno drugo regionalno skladište.

Procedura određivanja vrednosti ukupnih mogućih troškova pri unapred određenoj količini naručivanja prikazana je u tabeli 2.

Defazifikacijom fazi broja L_{hp}^1 (L_p^1) dobija se reprezentativni skalar kojim je opisana vrednost ukupnih troškova na prvom regionalnom skladištu. U ovom slučaju defuzz $L_{hp}^1 = 10,53$. Na isti način određuje se vrednost ukupnih troškova na drugom regionalnom skladištu. Ako je $Q_2 = 9$, tada je defuzz $L_{hp}^2 = 4,44$.

Vrednosti ukupnih mogućih troškova, koji se javljaju na oba regionalna skladišta za svaku količinu naručivanja, prikazani su u tabeli 3.

Tabela 2

Vrednost ukupnih mogućih troškova na prvom regionalnom skladištu ako je $Q_1 = 6$

d_{ik}^1	4	6	8	10	12
$\mu_{d_i^1(d_{ik}^1)}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1
L_{2h}^1	2	0	0	0	0
L_{2p}^1	0	0	6	12	18
L_p^1	2	0	6	12	18
$\mu_{L_{hp}^1(L_p^1)}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1

Tabela 3

Vrednost ukupnih troškova oba regionalna skladišta

Regionalno skladište S_1		Regionalno skladište S_2	
Količina naručivanja	Mogući troškovi	Količina naručivanja	Mogući troškovi
4	16	5	16
6	10,53	7	9,2
8	6,13	9	4,44
10	3,14	11	4
12	7,47		

Vrednost ukupnih troškova na centralnom skladištu

d_0^1	Ukupni troškovi na S_0
9	36
11	45
13	54,67
15	64,86
17	75,28
19	85,76
21	96,16
23	106,67

Minimalna vrednost ukupnih mogućih troškova koji se javljaju na prvom, odnosno drugom skladištu iznosi 3, 14 i 4 respektivno. Na osnovu ovih rezultata sledi da je optimalna količina naručivanja za prvo, odnosno drugo skladište $(Q_1)^* = 10$ i $(Q_2)^* = 11$.

Ukupni troškovi koji se javljaju na centralnom skladištu jednaki su zbiru troškova nabavke i troškova zbog postojanja zaliha, a javljaju se na kraju posmatranog perioda. Vrednost ukupnih troškova zbog postojanja zaliha opisana je fazi brojem na osnovu uvedenih pretpostavki. Za količinu naručivanja koja je poznata na početku perioda upravljanja, vrednost ukupnih troškova računa se kao $c_0^1 \cdot Q_0^1 + defuzz(h_0^1 \max(Q_0^1 - d_0^1, 0))$. Pretpostavlja se da je vrednost jedinične cene nabavke i vrednost jediničnih troškova postojanja zaliha $c_0^1 = 4$, odnosno $h_0^1 = 3$, respektivno. Vrednost ukupnih mogućih troškova na centralnom skladištu za svaki obim naručivanja prikazana je u tabeli 4.

Prema rezultatima iz tabele 4 sledi da je optimalna količina naručivanja za centralno skladište $(Q_0^1) = 9$.

Zaključak

U ovom radu obrađen je problem upravljanja zalihama rezervnih delova u uslovima neizvesnosti. Klasifikacija rezervnih delova urađena je pomoću fazi ABC metode. Takođe, izložen je fazi matematički model za određivanje poručivanja optimalnih količina u dvonivojskom skladištu.

Pri tome, treba imati u vidu:

- klasifikacija rezervnih delova prema njihovoj važnosti znatno smanjuje vreme i troškove upravljanja zalihama;

- kriterijum u vezi s kojim se određuje važnost razmatranih rezervnih delova realno može da se opiše funkcijom dve promenljive;

- obim tražnje realno se opisuje fazi brojem čija je funkcija raspodele mogućnosti oblika logističke krive;

- fazi klasifikacija pruža mogućnost da se simulacijom dode do odgovora na pitanje – kako se menja rang rezervnih delova u zavisnosti od promene vrednosti promenljivih;

- razvijeni postupak klasifikacije i fazi modela za upravljanje zalihama u dvonivojskom skladištu praktično je primenljiv;

Buduća istraživanja u ovoj oblasti treba da obuhvate: uvođenje fazi pristupa u razmatranju vrednosti jediničnih troškova, uključivanje novih parametara od kojih zavise ukupni troškovi zaliha i analizu osetljivosti dobijenog optimalnog rešenja.

Literatura:

- [1] Bergm, J. P., Zijm, W. H. M.: Models for warehouse management: classification and examples, publication at 10-th Int Symposium of Inventories, Budapest, 1996.

- [2] Clark, J. A., „Multi-echelon inventory theory- A retrospective“, *Int. J. of Production Economics* 35, pp. 271–275, 1994.
- [3] Diks, E. B., and et all. (1996), „Multi-echelon systems: A service measure perspective, *EJOR* 95, pp. 241–263, 1996.
- [4] Galović, D.: *Upravljanje proizvodno distributivnim sistemima*, DOPIS, Beograd, 2001.
- [5] Galović, D.: „Fazi pristup u ABC analizi zaliha u proizvodnom sistemu“, *SYMOPIS'01*, pp. 656–651, 2001.
- [6] Galović, D., Petrović, R.: „Fuzzy Model of a Hierarchical Two-Level Inventory Control System“, 9-th *Int. Symposium of Inventories*, p. 35., Budapest, 1996.
- [7] Graham, I.: *Uncertainty and Expert System*, University Bristol Press, Bristol, 1991.
- [8] Petrović, D., Petrović, R.: „SPARTA II Futher development in an expert system for advising on stocks of spare parts“, *Operational research*, Pergamon Press, pp. 617–628, Athens, 1990.
- [9] Puente, J., et all.: „ABC classification with uncertain data. A fuzzy models vs. a probabilistic model“, accepted for publication in *EJOR*, 2001.
- [10] Silver, E., et all.: *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, Jhon Wiley & Sons, 1998.
- [11] Vujošević, M.: *Operaciona istraživanja – izabrana poglavlja*, Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu, 1999.
- [12] Zimmermann, H. J.: *Fuzzy Set Theory and its applications*, Kluwer Nijhoff Publishing, Boston, 1992.
- [13] Zrnić, Đ. i Petrović, D.: *Stohastički procesi u transportu*, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1994.