

# SPREADSHEETS IN DESIGNING CUSTOMER ORIENTED SUPPLY CHAINS

## PRORAČUNSKE TABLICE U OBLIKOVANJU KUPCIMA ORIJENTIRANIH OPSKRBNIH LANACA

PUPAVAC, Drago; LOVRIC, Ivana & DRASKOVIC, Mimo

**Abstract:** *The fundamental task of this scientific research is to analyze the meaning, functioning and effects of computer applications in forming complex quantitative business models and develop methodological framework in order to use spreadsheets in designing dynamic supply chain models. The observed model is the result of a new paradigm, the task of which is to redirect the application of calculation tables from standard mathematical and statistical calculations towards modeling and solving of complicated problems in quantitative analysis.*

**Key words:** *spreadsheets, supply chains, models, dynamic programming*

**Sažetak:** *Temeljni cilj ove znanstvene rasprave jest analizirati značenje, funkcioniranje i učinke računalnih aplikacija u oblikovanju složenih kvantitativnih poslovnih modela i razviti metodološki okvir uporabe proračunskih tablica u oblikovanju dinamičkih modela opskrbnih lanaca. Razmatrani model je rezultat nove paradigme koji preusmjerava uporabu proračunskih tablica od standardnih matematičkih i statističkih kalkulacija prema modeliranju i rješavanju složenih problema kvantitativne analize.*

**Ključne riječi:** *proračunske tablice, opskrbni lanci, modeli, dinamičko programiranje*



**Authors' data:** Drago **Pupavac**, prof. dr.sc., Veleučilište u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka, drago.pupavac@veleri.hr; Ivana **Lovrić**, dr.sc., Pomorski fakultet u Splitu, Ruđera Boškovića 37, Split; Mimo **Drašković**, prof. dr.sc., Pomorski fakultet Kotor, mimo@ucg.ac.me

## 1. Uvod

Upravljanje opskrbnim lancima kao novo i po mnogo čemu posebno područje poslovnoga upravljanja otvara mnogobrojne mogućnosti za poboljšanje konkurentske pozicije poslovnih sustava. Upravljanju opskrbnim lancima sve češće se pridaje značenje ključnoga ofenzivnoga čimbenika povećanja efikasnosti i efektivnosti gospodarskih sustava. Posljednja relevantna domaća i inozemna istraživanja pokazuju da se malim unapređenjima u okviru bilo kojega segmenta odlučivanja unutar opskrbnoga lanca mogu napraviti relativno velike racionalizacije u poslovanju i/ili se može ostvariti nova konkurentska prednost na tržištu. Opskrbni lanci tako postaju osnovom gospodarskoga širenja, a informacijske tehnologije temeljnim čimbenikom intelektualizacije sustava opskrbnih lanaca te jednim od respektabilnijih čimbenika za na znanju utemeljeni gospodarski rast. Kao i svako drugo upravljačko područje, upravljanje opskrbnim lancima zahtijeva informatičku podršku koja se u osnovi može interpretirati kao informacijska logistika menadžmenta opskrbnoga lanca. U skladu s tim postavljena je sljedeća radna hipoteza: Proračunska tablica predstavlja reprezentativni softverski paket za modeliranje kupcima orijentiranih opskrbnih lanaca i kao takav omogućava njihovu dinamičku optimalizaciju. Primijenjena znanstvena istraživanja pri dokazivanju hipoteze temelje se na metodi dinamičkog programiranja i metodi informatičkog modeliranja. Pretpostavka u radu je da se problemi oblikovanja kupcima orijentiranih opskrbnih lanaca zbog svoje višestapnosti najprimjerenije mogu rješavati primjenom raznih metoda i modela dinamičkog programiranja, odnosno da se jednom izgrađeni model za određeni problem može koristiti i za druge složenije ili različite probleme dinamičke optimalizacije opskrbnih lanaca.

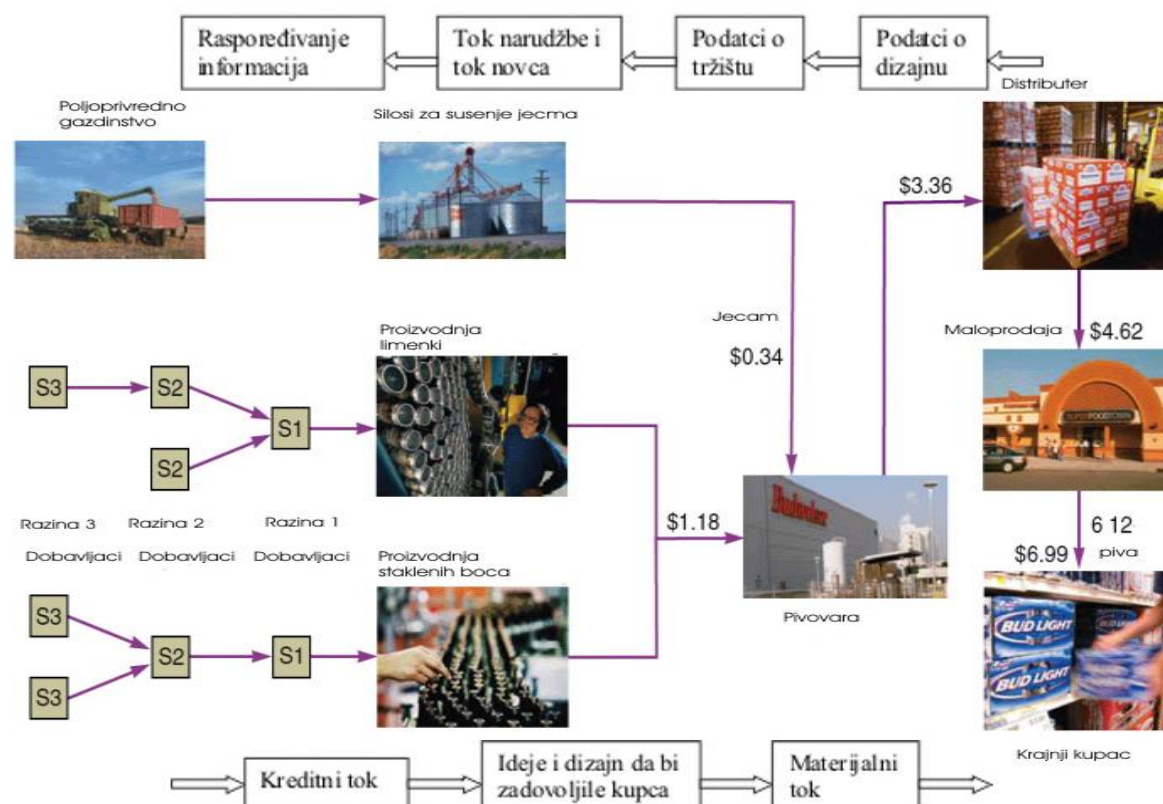
## 2. Relevantna obilježja proračunskih tablica

Tradicionalna proračunska tablica može se definirati kao računalni programski paket za manipuliranje objektima raspoređenim u segmente tablice. Ti objekti uključuju tekst, brojeve i formule. Formule se koriste u izračunavanju vrijednosti za adrese zadanih izlaznih varijabli na temelju podataka spremljenih u adresama ulaznih varijabli. Klasična formula čita i uvrštava vrijednost ulazne varijable bez mogućnosti mijenjanja i kalkuliranja njihovih vrijednosti. Rezultat i izračun se pojavljuju samo u adresi izlazne varijable. Definicija proračunske tablice u uvjetima nove tehnološke paradigme se preusmjerava na funkcionalnu prirodu proračunskih tablica s motrišta aplikativnih stanja tranzicije sustava. U toj paradigmi proračunska tablica se razmatra kao cjelina koja se sastoji od četiri temeljne komponente: formula, spremljenih konstantni, teksta (komentara i oznaka) i oznaka veza ovih triju komponenata spremljenih u adresnim nizovima redaka, stupaca i matrica. Takvo razmatranje usmjereno je na proračunsku tablicu u funkciji sustava za računalno podržane složene matematičke operacije u sprezi s matično-mrežnim modeliranjem [2]. Temeljem takve koncepcije dolazi se do nove definicije proračunske tablice: Proračunska tablica je skup funkcija i formula koje su u međusobnoj povezanosti sposobne podržavati logiku tokova podataka i omogućiti razvoj složenih računalno podržanih

matematičkih algoritama za potporu kvantitativnom modeliranju cjelokupnih i složenih problema. Moguće je spremati multiple objekte u jednoj adresi tablice, umjesto jedne vrijednosti. Moguće je pohraniti listu objekata u jednoj implementaciji, pri čemu se istodobno mogu koristiti različite strukture podataka. Dalje, mogu se upotrebljavati inačice funkcionalnih programa i dodavati relevantni računalni alati umjesto specijaliziranih formula i računalnih programa koji su ograničeni na usko područje. Sučelje proračunske tablice Excel unutar kojeg su implementirane sofisticirane funkcije i makro naredbe omogućava modularno povezivanje više funkcija u kompleksne formule [5]. Izvođenje metoda optimalizacije proračunskim tablicama ima prednost u mogućnosti fizičkog integriranja programiranih rutina u samostalno generirane aplikacije. Računalno podržane metode optimalizacije koncipirane su tako da ih je moguće paralelno koristiti u drugim relevantnim aplikacijama, pa i fizički inkorporirati u njih. Takve metode svrstavaju se u kategoriju kompjutorski integriranih alata primijenjene matematike [4]. Nakon izvedbe programa podaci ostaju trajno kompjutorski pohranjeni u formu predloška (*template*) koji je temelj razvoja baze modela u optimalizaciji projektnih mreža.

### 3. Važnije karakteristike kupcima orijentiranih opskrbnih lanaca

Opskrbni lanac obuhvaća sve sudionike i procese koji su izravno ili neizravno uključeni u ispunjavanje zahtjeva kupaca (cf. sliku 1).



Slika 1. Opskrbni lanac za pivo [3]

Osim proizvođača i dobavljača opskrbni lanac uključuje i transport, skladištenje, veleprodavatelje, maloprodavatelje i same kupce [6]. Kupci predstavljaju integralni dio opskrbnoga lanca. Aktivnosti opskrbnoga lanca započinju narudžbom kupca, a završavaju kada zadovoljni kupac plati za isporučenu mu robu ispostavljeni račun. Određivanjem kupca kao početne točke opskrbnoga lanca nameće se sasvim novi pristup upravljanja opskrbnim lancima koji bi se mogao nazvati i lancem potražnje [7].

#### 4. Oblikovanje modela dinamičke optimizacije opskrbnih lanaca

Opskrbni lanac kao složeni, dinamični i stohastički sustav obuhvaća sve sudionike i procese, od proizvođača do krajnjeg potrošača. Analitički sustav opskrbnog lanca se može definirati kao vektor stanja [8]:

$$r(t) = [r_1(t), r_2(t), \dots, r_N(t)].$$

Sastavnice vektora  $r(t)$  određuju osobine opskrbnoga lanca kao sustava, a broj  $N$  se naziva dimenzijom sustava.

Veličina  $r(t)$  može biti zadana na više načina:

$$r(t) = W(r(t-1))$$

$$\frac{dr(t)}{dt} = W(r(t)), \text{ itd.}$$

Temeljem definicije opskrbnoga lanca kao sustava može se matematički definirati i pojam procesa unutar opskrbnog lanca. Proces opisuje ponašanje opskrbnoga lanca kao sustava u vremenu. Označimo vektor  $r(t)$  slovom  $p$ , smatrajući da je točka  $p$  točka koja pripada  $N$ -dimenzionalnom prostoru  $R$ . Neka  $p$  označava početno stanje sustava, a  $p_1, p_2, \dots, p_n$  stanje sustava u uzastopnim vremenskim intervalima. Ako postoji relacija:

$$p_0 = p, p_{n+1} = W(p_n), n = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

Koja predstavlja skup vektora:

$$(p_0, p_1, p_2, \dots) \quad (2)$$

kao reprezent ponašanja sustava u diskretnim intervalima vremena  $n = 0, 1, 2, \dots$ ) tada skup vektora (2) definira proces, tj. jednu specijalnu vrstu procesa, koji se naziva višestepni proces i koji najbolje predočava odvijanje procesa unutar opskrbnoga lanca.

Relacija (1) može se na drugi način napisati kao:

$$p_n = W^n(p), \quad (3)$$

što označava da je  $n$  puta primijenjen operator  $W$ . Razvidno je da je takva vrsta procesa definirana početnim stanjem sustava  $p$  i transformiranjem  $W(p)$ , što se simbolično može predstaviti kao

$$[p, W(p)].$$

U vezi s procesom mogu se promatrati neke skalarne funkcije koje ovise od procesa. U općem obliku to može biti funkcija:

$$G(p_0, p_1, p_2, \dots, p_n).$$

Najčešće se u izračunavanju višestapnih procesa razmatraju funkcije tipa:

$$\sum_{i=0}^N G(p_i), \quad (4)$$

$$\prod_{i=1}^N G(p_i, p_{i+1}), \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N G(p_i, p_{i+1}). \quad (6)$$

Za funkcije tipa (4), (5) i (6) mogu se izvesti rekursivne relacije. Tako je primjerice za funkciju tipa (4) moguće napisati funkcionalnu jednadžbu, odnosno rekursivnu relaciju:

$$\begin{aligned} f_N(p) &= G(p) + f_{N-1}(W(p)), \quad N \geq 1, \\ f_0(p) &= G(p). \end{aligned} \quad (7)$$

To je temeljna relacija u izučavanju višestapnih procesa.

U nastavku ovog rada višestapni proces koji je bio definiran nizom vektora (2), proširit će se tako da se u transformaciju  $W$  uvede još jedan parametar ( $q_i$ ), koji, također, ovisi o vremenu i čijim se izborom može utjecati na proces. Tada je proces definiran nizom vektora

$$p_{n+1} = W(p_n, g_n), \quad n = 0, 1, 2, \dots, N.$$

Parametar ( $q_i$ ) najčešće se bira s određenim ciljem, primjerice da se maksimalizira funkcija koja je povezana s procesom i ovisi o stanju sustava i rješenja. Najčešći oblik takve funkcije je:

$$F(p, p_1, p_2, \dots, q_0, q_1, \dots),$$

i ona se zove funkcija cilja ili kriterija.

N-etapni proces dobivanja rješenja opisuje se nizom vektora

$$[p, p_1, p_2, \dots, p_{n+1}, q_0, q_1, \dots, q_N],$$

gdje je

$$p_{n+1} = W(p_n, g_n), 0 \leq n \leq N.$$

Skup dopustivih rješenja  $[q_0, q_1, \dots, q_N]$  takvih da je:

$$q_n = q_n(p, p_1, p_2, \dots, p_n, q_0, q_1, \dots, q_{n-1}), \quad (8)$$

naziva se strategijom. Radi se o općem obliku strategije. Jednostavnija je strategija oblika:

$$q_k = q_k(p_k),$$

koja je funkcija tekućeg stanja  $p_k$  i koraka procesa kojih ima  $N$ ,  $0 \leq k \leq N$ .

Strategija koja maksimalizira funkciju cilja  $F$  naziva se optimalnom strategijom.

## 5. Proračunska tablica u dinamičkoj optimizaciji opskrbnih lanaca

Da bi se zorno predočila uloga proračunskih tablica u dinamičkoj optimizaciji suvremenih opskrbnih lanaca čini se primjerenim razmotriti problem određivanja optimalne količine proizvodnje u vremenu, pod uvjetom da troškovi proizvodnje, troškovi skladištenja gotovih proizvoda i troškovi nezadovoljene potražnje budu minimalni, a da pri tome budu zadovoljena ograničenja relevantna za promatrani proces proizvodnje. Pretpostavka je [1] da potražnja  $d_t$ , za određenim proizvodom tijekom šestomjesečnoga razdoblja  $t = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  iznosi 8, 8, 5, 6, 4, 7 jedinica proizvoda, a troškovi proizvodnje po jedinici proizvoda  $c_t$ ,  $t = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  po razdobljima su: 3, 5, 4, 7, 8, 5 novčanih jedinica. Troškovi zaliha ( $F$ ) dani su izrazom  $F = 2(xt - dt)$ , a troškovi izgubljene prodaje ( $F_1$ ) izrazom  $F_1 = (dt - xt)^2$ .

U pojedinim razdobljima mora se proizvoditi najmanje 0, 3, 4, 3, 5, 3 jedinice proizvoda respektivno, a maksimalno moguća proizvodnja za svako razdoblje je šest jedinica proizvoda. Potrebno je odrediti koliko jedinica proizvoda je potrebno proizvoditi tijekom svakoga mjeseca, pa da ukupni troškovi, koji se sastoje od troškova proizvodnje, troškova skladištenja i troškova nezadovoljene potražnje budu minimalni, te da pri tome budu zadovoljena dana ograničenja u pogledu obujma proizvodnje.

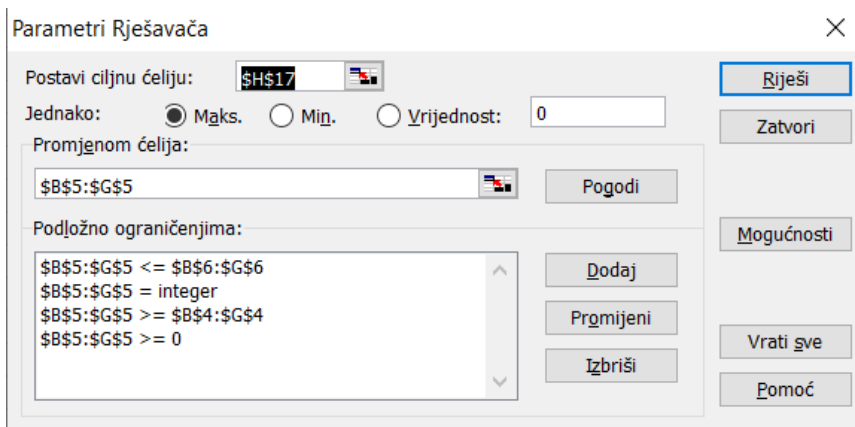
U proračunskoj tablici (cf. tablicu 1), postavljen je model rješavanja navedenoga problema.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Jedinični troškovi	Siečanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	
2	Proizvodnje	3,00 kn	5,00 kn	4,00 kn	7,00 kn	8	5,00 kn	
3	Skladištenja	2,00 kn	2,00 kn	2,00 kn	2,00 kn	2	2,00 kn	
4	Obavezna proizvodnja	0	3	4	3	5	3	
5	Opt.mjes.proizvodnja	0	0	0	0	0	0	
6	Max moguća proiz.	6	6	6	6	6	6	
7	Početne zalihe	0	-	-	-	-	-	
8	Mjesečna potražnja	8	8	5	6	4	7	
9	Završne zalihe	(8)	(8)	(5)	(6)	(4)	(7)	
10		0	0	0	0	0	0	
11		- 8,00 kn	- 8,00 kn	- 5,00 kn	- 6,00 kn	- 4,00 kn	- 7,00 kn	
12		- 8,00 kn	- 8,00 kn	- 5,00 kn	- 6,00 kn	- 4,00 kn	- 7,00 kn	
13								
14	Tš.proizvodnje	- kn	- kn	- kn	- kn	- kn	- kn	- kn
15	Troškovi zaliha	- kn	- kn	- kn	- kn	- kn	- kn	- kn
16	Tš.izgubljene prodaje	- kn	- kn	- kn	- kn	- kn	- kn	- kn
17	Ukupni troškovi	- kn	- kn	- kn	- kn	- kn	- kn	- kn

Tablica 1: Model dinamičke optimalizacije opskrbnog lanca

U tablicu 1 najprije se unose jedinični troškovi proizvodnje i skladištenja, adresna područja B2:G2 i B3:G3. Potom se u adresno područje B4:G4 unose podaci o obaveznoj proizvodnji. Adresno područje B5:G5 sadrži varijable odlučivanja, a adresno područje B6:G6 podatke o maksimalno mogućoj proizvodnji za svako razdoblje. Početne zalihe za prvi mjesec poznate su i dane su adresnom polju B7, dok su zalihe koncem mjeseca određene formulom  $=B7+B5-B8$ . Navedena formula se kopira u adresno područje B9:G9. U adresnom polju B11 nalazi se formula B5-B8, koja je kopirana u cijelo adresno područje B11:G11. Tom formulom se određuje razlika između proizvodnje i potražnje kako bi se mogao izračunati trošak izgubljene prodaje za svako razdoblje. Sukladno tome adresno polje B12 sadrži formulu  $=IF(B11<0;B11;0)$ , koja je također kopirana i zalijepljena u cijelom adresnom području. U adresnim područjima B14:G14, B15:G15, B16:G16, B17:G17 izračunavaju se po mjesecima troškovi proizvodnje, troškovi zaliha, troškovi izgubljene prodaje i ukupni troškovi, respektivno. Ukupni troškovi proizvodnje za svih šest razdoblja sadržani su u polju H14 ( $=SUM(B14:G14)$ ), ukupni troškovi zaliha u polju H15 ( $=SUM(B15:G15)$ ), ukupni troškovi izgubljene prodaje u polju H16 ( $=SUM(B16:G16)$ ) i sveukupni optimalni troškovi za svih šest razdoblja u polju H17 ( $=SUM(B17:G17)$ ).

Nakon što je tako formuliran model dinamičke optimalizacije u izborniku Tools proračunske tablice poziva se program Solver (Rješavač) te pristupa unosu podataka u kartici Parametri Rješavača, kako je prikazano na slici 2.



Slika 2: Solver u rješavanju problema dinamičke optimalizacije

Kada su uneseni svi parametri klikne se na gumb Riješi obrasca Parametri Rješavača čime se aktivira program Rješavač koji izračunava vrijednost varijabli odlučivanja u adresnom nizu B5:G5. Varijable odlučivanja koje se izračunavaju u adresnom nizu B5:G5 definiraju optimalno rješenje. U tablici 2 prikazano je optimalno rješenje problema uporabom proračunske tablice MS Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Jedinični troškovi	Siečanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	
2	Proizvodnje	3,00 kn	5,00 kn	4,00 kn	7,00 kn	8	5,00 kn	
3	Skladištenja	2,00 kn	2,00 kn	2,00 kn	2,00 kn	2	2,00 kn	
4	Obavezna proizvodnja	0	3	4	3	5	3	
5	Opt.mjes.proizvodnja	6	6	4	3	5	4	
6	Max moguća proiz.	6	6	6	6	6	6	
7	Početne zalihe	0	-	-	-	-	0	
8	Mjesečna potražnja	8	8	5	6	4	7	
9	Završne zalihe	(2)	(2)	(1)	(3)	1	(3)	
10		0	0	0	0	1	0	
11		- 2,00 kn	- 2,00 kn	- 1,00 kn	- 3,00 kn	1,00 kn	- 3,00 kn	
12		- 2,00 kn	- 2,00 kn	- 1,00 kn	- 3,00 kn	- kn	- 3,00 kn	
13								
14	Tš.proizvodnje	18,00 kn	30,00 kn	16,00 kn	21,00 kn	40,00 kn	20,00 kn	145,00 kn
15	Troškovi zaliha	- kn	- kn	- kn	- kn	2,00 kn	- kn	2,00 kn
16	Tš. izgubljene prodaje	4,00 kn	4,00 kn	1,00 kn	9,00 kn	- kn	9,00 kn	27,00 kn
17	Ukupni troškovi	22,00 kn	34,00 kn	17,00 kn	30,00 kn	42,00 kn	29,00 kn	<b>174,00 kn</b>

Tablica 2: Optimalno rješenje problema dinamičke optimalizacije opskrbnog lanca

Temeljem podataka iz tablice 2 razvidno je da minimalni troškovi za svih šest mjeseci iznose 174 novčane jedinice, te da su zorno predočeni podaci o optimalnom rasporedu proizvodnje, troškovima proizvodnje, troškovima držanja zaliha i troškovima neispunjene potražnje po mjesecima i ukupno. Dobiveno rješenje povoljnije je za 43,10% od iskustveno najpovoljnijeg rješenja koje se dobiva kada se funkcija riješi po maksimumu ( $F_{\max}=249$ ).

## 6. Zaključak

Uporaba računala i računalnih aplikacija postali su temeljni alat u procesu optimalizacije opskrbnih lanaca. Ovo je posebno važno imati na uma iz razloga što upravljanje opskrbnim lancima predstavlja novi menadžment koncept koji pokušava upravljati resursima duž cijelog opskrbnoga lanca. Da bi opskrbni lanac ostvarivao



svoje zadaće potrebno je njegovo kontinuirano unapređenje, koje se ostvaruje poboljšanjem barem jedne od sljedeće tri dimenzije: uslužnost, brzina i imovina. Informatizacija globalnih logističkih lanaca dovela je početkom 21. stoljeća do razvijanja integriranih opskrbnih lanaca koji isporučuju sve veću vrijednost kupcima, ali istodobno dolazi i do smanjivanja broja aktivnih sudionika unutar opskrbnih lanaca. Takva integracija omogućuje minimiziranje ukupnih troškova od narudžbe do isporuke, snižavajući troškove zaliha, transporta i manipulacije. Da bi se zorno predočila uloga proračunskih tablica u dinamičkoj optimalizaciji suvremenih opskrbnih lanaca u ovoj znanstvenoj raspravi razmotren je problem određivanja optimalne količine proizvodnje u vremenu, pod uvjetom da troškovi proizvodnje, troškovi skladištenja gotovih proizvoda i troškovi nezadovoljene potražnje budu minimalni, a da pri tome budu zadovoljena ograničenja relevantna za promatrani proces proizvodnje. Pri rješavanju ovoga problema dokazana je korisnička orijentiranost proračunskih tablica budući da pri njegovom rješavanju nije potrebno koristiti metode programiranja odnosno pisanje programskih instrukcija. U opisanom postupku korištenja proračunske tablice u rješavanju problema optimalizacije opskrbnih lanaca primjenom metode dinamičkog programiranja razvidno je da su sve aktivnosti automatizirane korištenjem funkcija i formula u priređivanju tablice za rješavanje putem korisničke aplikacije Rješavač. Glavni nedostatak ovoga rada proizlazi iz činjenice da se temelji na samo jednom hipotetičkom primjeru te u budućim istraživanjima treba istražiti aspekte njegove praktične primjene na realnim poslovnim problemima.

## 7. Literatura

- [1] Backović, M., Vuleta, J.: *Ekonomsko matematički metodi i modeli*, drugo izdanje, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2002.
- [2] Balaban, N., et.al.: *Informacioni sistemi u menadžmentu*, Savremena administracija, Beograd, 2002.
- [3] Heizer, J., Reinder, B., *Operations Management*, 11 edition, Pearson education, New York 2013.
- [4] Lee, B.C.: *Demand Chain Optimization: Pitfalls and key Principles*, NONSTOP Solution Inc., White paper, 2002.
- [5] Power, D. J., *A Brief History of Spreadsheets*, DSSResources.COM, World Wide Web, *Dostupno na*: <http://dssresources.com/history/sshistory.html>, version 3.6, Pristup 30-09-2004.
- [6] Pupavac, D., Pašagić Škrinjar, J., Zelenika, R., *Dynamic Optimization in Supply Chains*, *Promet - Traffic&Transportation*, Vol. 19 No. 1, 2007.
- [7] Pupavac, D., Drakulić, D.: *Spreadsheets in Designing Optimal Distribution Network in the Central and Southeast European Countries*, *Annals of DAAAM for 2004 & Proceedings of the 15<sup>th</sup> International DAAAM Symposium*, ISBN 3-901509-42-9, ISSN 1726-9679, pp 379-380, Editor B. Katalinić, Published by DAAAM International, Vienna, Austria 2004.
- [8] Zelenika, R., Pupavac, D., *Menadžment logističkih sustava*, Ekonomski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2008.



Photo 061. Radar / Radar