

# Optimalizacija proizvodnje unutar logističkoga lanca za 21. stoljeće\*

Drago Pupavac<sup>1</sup>

## Sažetak

U današnjem svijetu egzistiraju brojni logistički lanci natječući se u sličnim poslovima na različitim tržištima diljem svijeta. Umrežavajući ponudu i potražnju, odnosno proizvodnju i potrošnju, logistički lanci formiraju nacionalnu, regionalnu i globalnu logističku mrežu čija je temeljna zadaća maksimalizirati ukupnu generiranu vrijednost. Generirana vrijednost se definira kao razlika između cijene gotovog proizvoda ili usluge i napora koje treba uložiti u lancu da bi se ti proizvodi ostvarili. Profitabilnost lanca predstavlja se razlikom između prihoda ostvarenih prodajom proizvoda ili usluga, i ukupnih troškova u lancu. U skladu s tim u ovoj se znanstvenoj raspravi istražuje mogućnost optimalizacije proizvodnje unutar logističkoga lanca primjenom metode dinamičkog programiranja s osloncem na informacijske tehnologije.

**Ključne riječi:** logistički lanci, optimalizacija, dinamičko programiranje, informacijske tehnologije

**JEL klasifikacija:** M19

## 1. Uvod

Logistički lanac označava skup međusobno interesno povezanih logističkih i nelogističkih subjekata udruženih s ciljem ostvarivanja zajedničkoga poslovnoga pothvata. Aktivnosti logističkoga lanca započinju narudžbom kupca, a završavaju kada zadovoljni kupac plati za isporučenu mu robu ispostavljeni račun. Upravljanje logističkim lancima predstavlja jedan od najvećih izazova suvremenim praktičarima i teoretičarima menadžmenta. To je područje kojim se bave operacijska istraživanja favorizirajući koncept optimalnog upravljanja.

\* Primitljeno: 25.04.2006; prihvaćeno: 21.11.2006.

<sup>1</sup> Viši predavač, Veleučilište u Rijeci, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, Hrvatska. Znanstveni interes: Poslovna logistika, Ekonomika prometa. Tel.: + 385 51 353 757, email: drago.pupavac@veleri.hr

Optimalizacija proizvodnje unutar globalnoga logističkoga lanca u 21. stoljeću svodi se na problem određivanja optimalne količine proizvodnje u vremenu, uz uvjet da troškovi nabave, troškovi proizvodnje, troškovi skladištenja gotovih proizvoda, transportni troškovi i troškovi nezadovoljene potražnje budu minimalni, s tim da budu zadovoljena sva ograničenja relevantna za proces proizvodnje unutar globalnog logističkog lanca. U skladu s tim postavljena je sljedeća radna hipoteza: Optimalizacijom proizvodnje unutar globalnoga logističkog lanca moguće je ostvariti značajne uštede troškova u gotovo svim fazama proizvodnje unutar logističkoga lanca, a najviše u zalihama.

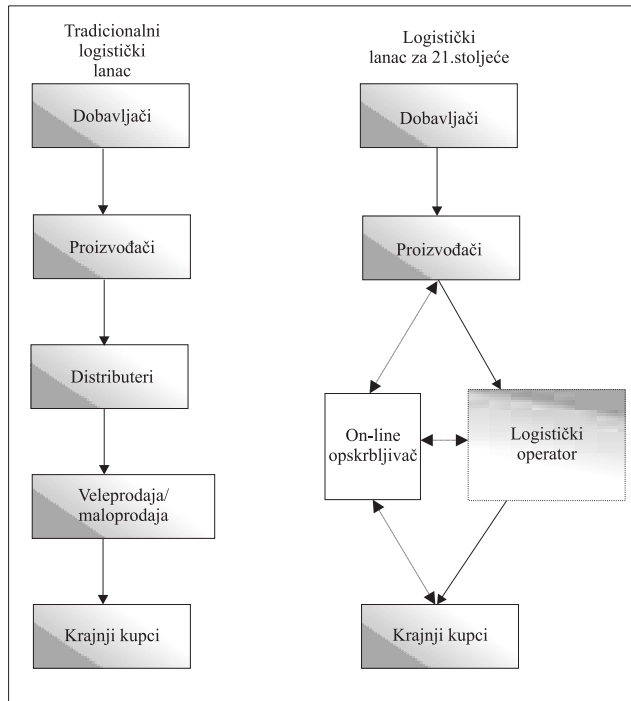
## **2. Suvremeni vs. tradicionalnog logističkog lanca**

Optimalna organizacija i funkcioniranje nacionalnoga, regionalnoga i/ili globalnoga logističkoga i gospodarskoga sustava bila bi nezamisliva bez njegove prostorne uključenosti u regionalnu i/ili globalnu logističku mrežu. Uključenost u logističku mrežu osigurava se uspostavom efikasnih logističkih lanaca. U svijetu koji je konkurentski orijentiran, tvrtke sve više surađuju, dijeleći odgovornost i rizik poslovanja. Tražeći načine za povećanje profita, tvrtke uviđaju da je upravljanje logističkim lancima siguran način za povećanje prodaje, za uštedu u logističkim troškovima. Premda se nastanak logističkih lanaca vezuje uz globalnu ekonomiju i velike korporacije, ne smije se smetnuti s uma činjenica da prerastanje špeditera i velikih prijevoznika (posebice pomorskih prijevoznika) u logističke operatore dodatno pridonosi uspostavi i međusobnom konkuriranju logističkih lanaca na svjetskom tržištu.

Jedno od najznačajnijih pitanja svakoga logističkoga lanca jest dizajniranje optimalnog oblika i strukture logističkog lanca. Logistički lanci obuhvaćaju sve sudionike i procese koji su izravno ili neizravno uključeni u ispunjavanje zahtjeva kupaca. Osim proizvođača i dobavljača logistički lanac uključuje i transport, skladištenje, veleprodavatelje, maloprodavatelje i same kupce [2,3]. Svi oni predstavljaju integralni dio logističkoga lanca. Logistički lanci obavljaju dvije temeljne funkcije: 1) fizičku funkciju i 2) tržišnu posredničku funkciju. Fizička funkcija logističkog lanca odnosi se na materijalne tokove unutar logističkoga lanca, odnosno transportiranje, sirovina i materijala, dijelova, poluproizvoda i proizvoda na pravo mjesto. Posrednička funkcija globalnog logističkog lanca osigurava da različiti proizvodi stignu na tržište sukladno platežno sposobnoj potražnji.

Dvije su temeljne vrste (cf. shemu 1) logističkih lanaca: tradicionalni logistički lanac i logistički lanac za 21. stoljeće.

Shema 1: Struktura tradicionalnoga logističkoga lanca i logističkoga lanca za 21. stoljeće



Izvor: Autor

Tehnološki pomaci, a koji čine novu tehnološku paradigmu nude mogućnost razgradnje tradicionalne strukture logističkih lanaca i izgradnju nove strukture koju u osnovi čine: dobavljači, proizvođači, (*on-line* opskrbljivač), logistički operator i kupac. Tako se razaraju tradicionalni oblici logističkih lanaca i na njima utemeljenih logističkih mreža. Sukladno tome, sve više se govori o virtualnoj logističkoj mreži (*business web*), ili *b-web*. Pored Interneta koji služi kao infrastruktura virtualne logističke mreže [7], sastavnim dijelom infrastrukture virtualne logističke mreže treba promatrati i logističke operatore bez kojih uspostavljanje takvih mreža niti ne bi imalo smisla, niti bi one mogle funkcionirati na primjeren način. Logistički operatori prinuđeni su u vlastiti poslovni portfelj uključivati sve veći broj usluga, a posebice sve vrste logističkih usluga, upravljati opskrbnim lancima, računalno se povezati sa svim sudionicima opskrbnoga lanca, osigurati potpunu vidljivost pošiljke unutar logističkog lanca sve do trenutka njezine isporuke (...). Logistički posrednici u Republici Hrvatskoj, ali i drugim državama svjetskoga predgrađa, posebice svjetske periferije ograničenog su djelovanja, jer se uglavnom oslanjaju na organizaciju transportnih i/ili špediterskih aktivnosti, dok se ostale logističke usluge ne nude u dovoljnoj mjeri ili se ne nude u opće.

Informatizacija logističkih lanaca [8] dovest će u 21. stoljeću do razvijanja veće partnerske suradnje, ali i do smanjivanja broja aktivnih sudionika u logističkim lancima. U prilog izrečene tvrdnje ide i poznati primjer integracije između poduzeća Amazon.com i globalnoga logističkoga operatora FedEx u svrhu distribucije knjige *Harry Potter and the Goblet of Fire* (Harry Potter i plameni pehar), jedne od najpopularnijih knjiga u povijesti izdavaštva [4,306]. Naime, prije negoli je knjiga uopće izašla iz tiska Amazon.com je imao predbilježbe za 350 020 kopija. Takva predbilježba nije nikada prije zabilježena u povijesti. Izazov je bio dostaviti sve te knjige čitateljima u jednom danu. Da bi se to i ostvarilo FedEx Home Delivery je s Amazonom integrirao računalne sustave, pripremio naljepnice i podatke potrebne za isporuku i u samo jednom danu isporučio 250 000 kopija. Suvremeni logistički lanci predstavljaju dinamične, fleksibilne i responzivne mreže, koje rade po načelu «predvidi i odradi» nasuprot tradicionalnom pristupu «proizvedi pa prodaj». Brzi odgovor na promjene potražnje zahtijeva učinkovita rješenja u svim fazama logističkoga lanca: proizvodnji, nabavi, skladištenju, transportu i distribuciji [3,19].

### 3. Definiranje problema optimalizacije proizvodnje unutar logističkoga lanca za 21. stoljeće

Neka su troškovi nabave po jedinici proizvoda  $n_t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ , (obuhvaćaju troškove sirovina i materijala fco tvornica), i troškovi proizvodnje  $c_t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$  (troškovi sredstava za rad, troškovi radne snage, troškovi energije i sl.), poznati, za svako vremensko razdoblje.

Troškovi zaliha unutar globalnoga logističkoga lanca pojavit će se u slučaju da je proizvodnja veća od potražnje, odnosno kada je

$$x_t > d_t, t = 1, 2, \dots, T,$$

gdje je  $s x_t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ , označena veličina proizvodnje globalnoga logističkoga lanca u  $t$ -tom vremenskom razdoblju koju treba odrediti, a  $s d_t$  od globalnog logističkoga operatora prepoznata potražnja. Troškovi držanja zaliha mogu se predočiti sljedećim analitičkim izrazom

$$F(x_t - d_t), t = 1, 2, \dots, T$$

uz pretpostavku da su poznati u svakom razdoblju.

Transportni troškovi  $t_t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$  obuhvaćaju troškove prijevoza i usputnih manipulacija i kako je globalni logistički operator u mogućnosti da radi u forfaitnom sustavu također su poznati za svako razdoblje.

Uvođenjem troškova nezadovoljene potražnje u razmatranje znači da se globalni logistički lanac može naći u takvom stanju da su troškovi neispunjenja zahtjeva s tržišta, manji od troškova proizvodnje. Naime, tada će optimalna politika globalnoga logističkoga lanca biti ne proizvoditi, već platiti troškove nezadovoljene, a od globalnog logističkog operatora prepoznate potražnje.

Troškovi nezadovoljene potražnje pojavljuju se kada je potražnja veća od proizvodnje, to jest kada je

$$d_t > x_t, t = 1, 2, \dots, T$$

pa se ti troškovi analitički mogu predstaviti funkcijom

$$F_t(d_t - x_t), t = 1, 2, \dots, T.$$

Što se ograničenja tiče, polazi se od pretpostavke da postoje ograničenja u vezi maksimalno moguće proizvodnje i minimalne, obvezne proizvodnje, u svakom razdoblju. Maksimalno moguća proizvodnja predočava se kao  $Q_t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ , a obvezna proizvodnja  $q_t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ .

U skladu s tim postavljaju se sljedeća ograničenja

$$q_t \leq x_t \leq Q_t \quad t = 1, 2, \dots, T,$$

ili

$$x_t \geq q_t \text{ i } x_t \geq Q_t, \quad t = 1, 2, \dots, T.$$

Tako postavljeni problem rješava se metodama dinamičkog programiranja, odnosno primjenom odgovarajućih rekurzivnih relacija, pomoću kojih se etapno minimaliziraju troškovi logističkoga lanca. Karakteristične osobine dinamičkog programiranja su: 1) viševarijantnost rješenja (nejednoznačnost), 2) mogućnost podjele procesa računanja na etape (etapnost rješenja) i 3) aditivnost kriterija (opći kriterij ravan je sumi kriterija na etapama). Dinamičko programiranje dopušta da se znatno smanji broj varijanti koje se sagledavaju, a da se pri tom ne naruši točnost rješenja.

U svakom, pa i T-tom razdoblju, proizvodnoga procesa unutar logističkoga lanca, postoje dvije različite mogućnosti za organizaciju proizvodnje i to:

- 1) Poznata potražnja  $d_T$  bit će zadovoljena, te se tada mogu pojaviti troškovi nabave, troškovi proizvodnje, troškovi skladištenja i transportni troškovi, koje valja minimalizirati, što se može matematički predočiti na sljedeći način:

$$\min \{F(S - d_t + x_t) + n_{T,c_T,t_T}x_T\},$$

uz ograničenja

$$x_T \geq d_T - S,$$

$$q_T \leq x_T \leq Q_T,$$

gdje je sa S označena količina proizvoda proizvedena u prethodnim razdobljima, a isporučena u T-tom razdoblju.

- 2) Potražnja prepoznata od globalnoga logističkoga operatora ne mora biti zadovoljena, te će tada postojati troškovi neispunjene potražnje (troškovi izgubljene prodaje), troškovi nabave, troškovi proizvodnje i transportni troškovi, a to se matematički može predočiti na sljedeći način:

$$\min \{F_1(d_t - S - x_t) + n_T c_T t_T x_T\},$$

uz ograničenja

$$\begin{aligned} x_T &\leq d_T - S, \\ q_T &\leq x_T \leq Q_T. \end{aligned}$$

Podrazumijeva se da od ove dvije mogućnosti treba odabrati onu koja će dati manje ukupne troškove logističkoga lanca, što znači da se rekurzivni obrazac  $f_T(S)$ , pomoću kojega se minimaliziraju ukupni troškovi logističkoga lanca u T-tom razdoblju, može napisati kao

$$f_T(S) = \min \left\{ \begin{array}{l} \min \{F(S, d_t + x_t) + n_T c_T t_T x_T\} \\ x_T \geq d_T - S \\ \min \{F_1(d_t - S - x_t) + n_T c_T t_T x_T\} \\ x_T \leq d_T - S \end{array} \right\}$$

uz ograničenje

$$q_T \leq x_T \leq Q_T.$$

Optimalizacija proizvodnje unutar logističkoga lanca za 21. stoljeće svodi se na problem određivanja optimalne količine proizvodnje u vremenu, uz uvjet da troškovi nabave, troškovi proizvodnje, troškovi skladištenja gotovih proizvoda, transportni troškovi i troškovi nezadovoljene potražnje budu minimalni, a da pri tom budu zadovoljena sva ograničenja relevantna za proces proizvodnje unutar logističkog lanca. Optimalizaciju uporabe raspoloživih resursa unutar logističkog lanca moguće je ostvariti odgovarajućim planiranjem, upravljanjem i donošenjem efikasnih odluka. Prema tradicionalnom pristupu, logistički lanci su linearni sustavi kojima je sirovina – ulaz, a gotov proizvod u rukama kupca – izlaz. Sudionici lanca se ponašaju kao zatvoreni, neovisni subjekti, s vrlo malo ili bez ikakvih izravnih informacija od drugih sudionika. Takav pristup predstavlja veliki rizik s potencijalno vrlo nepovoljnim posljedicama, te se redefinira i to ponajprije zbog djelovanja slijedećih čimbenika:

- 1) pritisak potrošača i industrijskih kupaca da se proizvodi prilagode njihovim

pojedinačnim specifikacijama, 2) sve kraći životni ciklus proizvoda, 3) smanjenje vremena pristupa proizvoda tržištu i 4) zahtjev za poboljšanjem usluga i podrške kupcima.

Problem optimalizacija svodi se na iznalaženje optimalne strategije, koja po definiciji daje maksimum funkciji cilja. Dinamičko programiranje [1] ima za cilj da se za određene procese za koje je zadana funkcija cilja  $F$  odredi optimalna strategija. Metoda dinamičkog programiranja sastoji se u primjeni principa optimalnosti (Belmanov princip), koji se, matematički izražen, svodi na uspostavljanje funkcionalne jednadžbe. Za proces dobivanja rješenje u kojima strategija ovisi samo od tekućeg stanja, optimalna strategija ima takvu osobinu da, neovisno o tome kakvo je početno stanje sustava i prvotno rješenje, sljedeće rješenje određuje optimalnu strategiju u odnosu na stanje dobiveno kao rezultata prvotnoga rješenja. Taj intuitivni princip može se ilustrirati na jednom  $N$ -etapnom procesu dobivanja rješenja [5], koji ima potrebnu osobinu razdvajanja prošloga od sadašnjega, sadašnjega od budućega, itd. Neka proces počinje od stanja  $p$ , i neka je optimalna strategija  $q_0, q_1, \dots, q_{N-1}$ , tako da je  $p_k = W(p_{k-1}, q_{k-1})$ . Tada skup rješenja  $q_0, q_1, \dots, q_{N-1}$  mora biti optimalan za  $(N-1)$  – etapni proces, koji počinje od stanja  $p_1$ .

Temeljna značajka metoda dinamičkog programiranja ogleda se u činjenici da za primjenu dinamičkog programiranja, ne postoje univerzalne metode i njima odgovarajući algoritmi. Naime, rješavanje skoro svakog praktičnog problema, primjenom metode dinamičkog programiranja, zahtijeva poseban i specifičan pristup. Jednako tako rješavanje bilo kojeg logističkog pothvata zahtijeva poseban i specifičan pristup. Na osnovi dinamičkog programiranja, pored ostalih, rješavaju se sljedeći zadaci: 1) optimizacija razvoja proizvodnih procesa u konačnom vremenu, 2) iznalaženje optimalnih putanja kretanja prometnih sredstava, 3) problemi zamjene opreme, 4) optimalna raspodjela resursa, 5) problem utovara broda – kargo – problem, 6) problem pouzdanosti sustava s više komponenata, 7) problemi upravljanja zalihama, 8) nalaženje kritičnog puta u mrežnom planiranju i dr.

#### **4. Optimalizacija logističkoga lanca za 21. stoljeće s osloncem na informacijske tehnologije**

Nedostatak prethodno postavljenoga modela kao i glavnine modela dinamičkog programiranja ogleda se u činjenici da zahtijeva veliki broj izračuna, te se zbog toga može primijeniti samo na jednostavnijim problemima. Da bi se taj nedostatak otklonio u nastavku ove znanstvene rasprave problem koji proizlazi iz tako postavljenoga modela rješava se pomoću proračunske tablice Excel, odnosno njezinog dodatka Solver (Rješavač).

Prezentirani model zorno se predočava na sljedećem praktičnom primjeru. Globalni logistički operator je na tržištu Zapadne Europe prepoznao potražnju za stolicama. Tržišna cijena jedne stolice na zapadno europskom tržištu iznosi 150 HRK. Potražnja za stolicama tijekom šest narednih mjeseci dana je u tablici 1:

Tablica 1: Potražnja za stolicama na tržištu Zapadne Europe

- u 000 komada -

Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj
68	46	44	69	58	66

Globalnom logističkom operatoru i svim sudionicima globalnoga logističkoga lanca poznati su svi troškovi unutar logističkoga lanca (cf. tablicu 2):

Tablica 2: Poznati troškovi proizvodnje stolica u globalnom logističkom lancu

- u HRK -

Jedinični troškovi	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj
Nabave	15	15	14	14	14	14
Proizvodnje	62	62	60	58	55	55
Zaliha	9	9	8	7,5	7,5	7,5
Transporta	30	29,5	28	28	29	30
Izgubljene prodaje	6	6	12	8	15	17

Unutar uspostavljenoga globalnog logističkog lanca postoje ograničenja u vezi maksimalno moguće i obavezne proizvodnje za svaki mjesec (cf. tablicu 3):

Tablica 3: Maksimalno moguća i obvezna proizvodnja unutar logističkoga lanca

- u 000 komada -

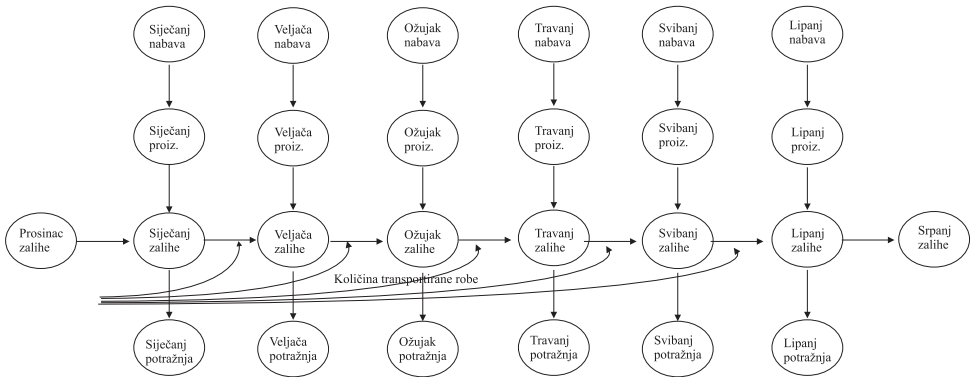
	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj
$Q_t$	70	72	74	76	78	78
$q_t$	30	28	35	28	30	30

Temeljem prethodnih podataka potrebno je odrediti optimalnu količinu proizvodnje tijekom narednih šest mjeseci ( $t = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ), na način da globalni logistički lanac ostvari što veću dobit, te da na kraju promatranoga razdoblja logistički lanac raspolaže sa 7 000 stolica na zalihama.



Navedeni problem može se zorno predočiti pomoću mreže (cf. shemu 2).

Schema 2: Mrežna formulacija problema dinamičke optimalizacije logističkoga lanca



U proračunskoj tablici (cf. tablicu 4), postavljen je model rješavanja navedenoga problema.

Tablica 4: Model dinamičke optimalizacije opskrbnog lanca

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1			Tržišna cijena = 150 HRK							
2		Jedinični troškovi	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj		
3		Nabave	15	15	14	14	14	14		
4		Proizvodnje	62	62	60	58	55	55		
5		Zaliha	9	9	8	7,5	7,5	7,5		
6		Transporta	30	29,5	28	28	29	30		
7		Izgubljene prodaje	6	6	12	8	15	17		
8										
9		Obavezna proizvodnja	30	28	35	28	30	30		
10		Opt.mjes.proizvodnja	0	0	0	0	0	0	0	
11		Max moguća proiz.	70	72	74	76	78	78		
12										
13		Početne zalihe	15	0	0	0	0	0		
14		Mjesečna potražnja	68	46	44	69	58	66	351	
15		Završne zalihe	0	0	0	0	0	0	7	

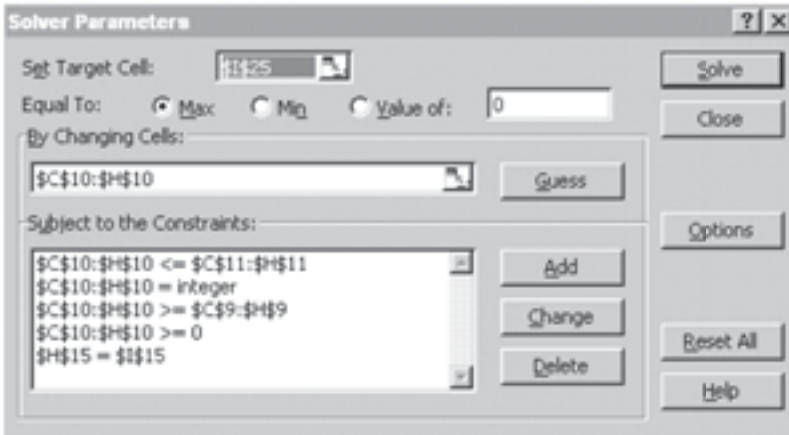
16			0	0	0	0	0	0	
17			0	0	0	0	0	0	
18									
19		Troškovi nabave	0	0	0	0	0	0	0
20		Troškovi proizvodnje	0	0	0	0	0	0	0
21		Troškovi zaliha	0	0	0	0	0	0	0
22		Troškovi transporta	0	0	0	0	0	0	0
23		Tš. izgubljene prodaje	0	0	0	0	0	0	0
24		Ukupni mjesečni troškovi	0	0	0	0	0	0	0
25		UKUPNA DOBIT							0

U tablicu 4 najprije se unose jedinični troškovi nabave, proizvodnje, zaliha, transporta i izgubljene prodaje u adresna područja C3:H3, C4:H4, C5:H5, C6:H6, C7:H7. Potom se u adresno područje C9:H9 unose podaci o obaveznoj proizvodnji. Adresno područje C10:H10 sadrži varijable odlučivanja, a adresno područje C11:H11 podatke o maksimalno mogućoj proizvodnji za svako razdoblje. Početne zalihe za prvi mjesec poznate su i dane su adresnom polju C13, dok su zalihe koncem mjeseca određene formulom  $=C13+C10-C14$ . Navedena formula se kopira u adresno područje C15:H15. Završne zalihe koncem nekoga mjeseca predstavljaju početne zalihe sljedećega mjeseca. U adresnom polju C16 nalazi se formula  $=IF(C15>0;C15;0)$ , koja je kopirana u cijelo adresno područje C16:H16. Tom formulom se određuje veličina zaliha (ako one postoje) kako bi se mogli izračunati pripadajući troškovi. Jednako tako u adresnom polju C17 sadržana je formula  $=IF(C15<0;-C15;0)$ , kako bi se mogao izračunati trošak izgubljene prodaje za svako razdoblje. Ta formula kopirana je u adresno područje C17:H17.

Adresno područje C19:H24 sadržava odgovarajuće formule kako bi se izračunali mjesečni troškovi nabave, proizvodnje, zaliha, transporta i izgubljene prodaje, dok se u adresnom području I19:H24 nalaze formule potrebne za izračun ukupnih šestomjesečnih troškova nabave, proizvodnje, zaliha, transporta i izgubljene prodaje. Adresno područje I25 sadržava formulu  $=F1*SUM(C14:H14)-I24$ , pomoću koje se izračunava ukupna dobit logističkoga lanca i istodobno predstavlja funkciju cilja (potrebno ju je maksimalizirati).

Nakon što je tako formuliran model dinamičke optimalizacije u proračunskoj tablici u izborniku Tools poziva se program Solver (Rješavač) te se pristupa unosu podataka u kartici Solver Parameters, kako je prikazano na shemi 3.

Schema 3: Solver u rješavanju problema dinamike optimalizacije



Kada su uneseni svi parametri klikne se na gumb Solve obrasca Solver Parameters ime se aktivira program Solver 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 5 prikazano je optimalno rješenje problema uporabom proraunske tablice MS Excel.

Tablica 5: Optimalno rješenje problema dinamike optimalizacije opskrbnog lanca

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1			Tržišna cijena = 150 HRK						
2		Jedini ni troškovi	Sije anj	Veljaa	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	
3		Nabave	15	15	14	14	14	14	
4		Proizvodnje	62	62	60	58	55	55	
5		Zaliha	9	9	8	7,5	7,5	7,5	
6		Transporta	30	29,5	28	28	29	30	
7		Izgubljene prodaje	6	6	12	8	15	17	
8									
9		Obavezna proizvodnja	30	28	35	28	30	30	
10		Opt.mjes. proizvodnja	53	30	60	69	58	73	343
11		Max mogu a proiz.	70	72	74	76	78	78	
12									
13		Poetne zalihe	15	0	-16	1E-06	1E-06	1E-06	

14	Mjesečna potražnja	68	46	44	69	58	66	351
15	Završne zalihe	0	-16	1E-06	1E-06	1E-06	7,000001	7
16		0	0	1E-06	1E-06	1E-06	7,000001	
17		0	16	0	0	0	0	
18								
19	Troškovi nabave	795	450	840	966	812	1022	4885
20	Troškovi proizvodnje	3286	1860	3600	4002	3190	4015	19953
21	Troškovi zaliha	0	0	8E-06	7,5E-06	7,5E-06	52,50001	52,50003
22	Troškovi transporta	1590	885	1680	1932	1682	2190	9959
23	Tš. izgubljene prodaje	0	96	0	0	0	0	96
24	Ukupni mjesečni troškovi	5671	3291	6120	6900	5684	7279,5	34945,5
25		UKUPNA DOBIT						17704,5

Temeljem podataka iz tablice 5 razvidno je da minimalni troškovi za svih šest mjeseci iznose 34 945 500 HRK, a maksimalna dobit logističkoga lanca u iznosu od 17 704 500 HRK. Istodobno su tablicom 5 zorno predloženi podaci o optimalnim troškovima nabave, troškovima proizvodnje, troškovima držanja zaliha, transportnim troškovima i troškovima neispunjene potražnje po mjesecima i ukupno. Također je zorno predložen i optimalni raspored proizvodnje stolica po mjesecima, temeljem kojega se jamči ostvarivanje maksimalne dobiti. Ponuđeno rješenje osigurava proizvodnju bez zaliha unutar globalnog logističkog lanca uz neznatne troškove (96 HRK) izgubljene prodaje. Naime, nezadovoljena potražnja iznosit će svega 8 tisuća stolica što je za svega jednu tisuću više od zaliha koje je logistički lanac morao osigurati kao završne zalihe za mjesec lipanj. Nadalje, dobiveno rješenje je optimalnije od iskustveno nepovoljnijeg rješenja za 2 402 000 HRK ili 15,7 %.

## 5. Zaključak

Logistički lanci umrežavajući ponudu i potražnju, formiraju nacionalnu, regionalnu i globalnu logističku mrežu, koja sudionicima lanca treba osigurati snižavanje troškova, poboljšanje učinaka svih sudionika logističkoga lanca, kvalitetnije inpute proizvodnje, otvaranje novih i udaljenih tržišta i poboljšanje vlastitih performanci. Da bi se takvi učinci i ostvarili nužno je da tokovima na logističkim lancima i logističkim

mrežama upravljaju logistički operatori. Logistički operatori u mogućnosti su *in continuo* pridonositi poboljšanju performanci logističkih lanaca.

Metodom dinamičkog programiranja s osloncem na informacijsku tehnologiju dokazana je postavljena znanstvena hipoteza da se optimalizacijom proizvodnje unutar logističkoga lanca mogu ostvariti značajne uštede troškova u gotovo svim fazama proizvodnje unutar logističkoga lanca, a najviše u zalihama. Temeljem prezentiranog primjera u ovoj znanstvenoj raspravi razvidno je da bi troškovi zaliha kod iskustveno nepovoljnijega rješenja iznosili čak 2 031 500 HRK, dok kod optimalnoga rješenja iznose svega 52 500 HRK.

## Literatura

- Bertsekas, D. (2001) *Dynamic Programming and Optimal Control*, 2nd edition, Athena Scientific
- Chopra, S., Meindl, P. (2001) *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*, 1st edition Prentice-Hall, Inc., Upper Sadle River, New Jersey, USA
- Coyle, J., et. al.(1996) *The Management of Business Logistics*, sixth edition, West Publishing Company, Minneapolis
- Closs, D., et.al.: «Information technology influences on world class logistics capability», *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 27, No 1., 1997.
- Kalakota, R., Robinson, M. (2002) *e-Poslovanje 2.0*, (pr. Mirko Čubrilo), Mate Pupavac, D., et. al.: «Informacijske tehnologije – temeljni čimbenik intelektualizacije logističkoga sustava», *Informatologia*, Hrvatsko komunikološko društvo, Zagreb, 2003.
- Shapiro, J.(2001) *Modeling the Supply Chain*, Duxbury, Thomson Learning, Pacific Grove, USA
- White, W., et.al.(2004) *Economic Impact of Inadequate Infrastructure for Supply Chain Integration*, National Institute of Standards and Technology, U.S Department of Commerce, May 2004.

## Optimization of production inside logistics chain for 21st century

*Drago Pupavac*<sup>1</sup>

### **Abstract**

*In today's world numerous logistics chains exist, competing for similar jobs in different markets throughout the world. By connecting the supply and demand, i.e. production and consumption, logistics chains create national, regional and global logistics network which task is to maximise total generated value. Generated value is defined as the difference between the price of finished product or service and the input necessary to create such products. The chain profitability is shown by the difference between the income obtained through sale of products or services and total expenditure in that chain. Accordingly, this scientific debate researches the possibility of production optimisation within logistic chain by application of dynamic programming method with emphasis on information technologies.*

**Key words:** *logistics chains, optimization, dynamic programming, information technologies.*

**JEL classification:** *M19*

---

<sup>1</sup> *Senior Lecturer, PhD, Polytechnic of Rijeka, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, Croatia. Scientific affiliation: Business Logistics, Economics of Transport. Phone: + 385 51 353 757, email: drago.pupavac@veleri.hr*