

MODEL ZA OPTIMIZACIJU REPROIZVODNOG PROCESA SA ASPEKTA NABAVKE DELOVA

Nebojša Vasić, mast. inž. saobraćaja, email: v_nebojsaobracajni@yahoo.com
Visoka tehnička škola strukovnih studija iz Uroševca, 24. novembar bb, 38218 Leposavić
Dr Predrag Ralević, email: ralevicpredrag@gmail.com
naučni saradnik i profesor strukovnih studija, Visoka tehnička škola strukovnih studija iz
Uroševca, 24. novembar bb, 38218 Leposavić

Sažetak: Iako za uspešne kompanije, dizajniranje povratne logističke mreže nije obavezujuća opcija, ona joj može omogućiti niz ekonomskih i strateških prednosti kroz reciklažu i ponovno korišćenje proizvoda i osigurati analizu celog produktivnog procesa određenog proizvoda. Integracija povratnih i tradicionalnih kanala distribucije predstavlja usaglašavanje strategije obnavljanja proizvoda sa strategijom nabavke novih proizvoda. Ovo je slučaj kada kompanije koriste vraćene proizvode kao izvor rezervnih delova. Proizvodnja realizovana na ovaj način čini poseban oblik proizvodnje, poznate kao reproizvodnja. Kako modeli nabavke i organizacijski oblici nabavne službe direktno utiču na efikasnost nabavke, njihov adekvatan izbor je od presudnog značaja za poslovni uspeh kompanije. U ovom radu predstavljen je model za optimizaciju reproizvodnog procesa sa aspekta nabavke delova, koji maksimizira ukupnu zaradu od prodaje reproizvedenih proizvoda i proizvoda sastavljenih od novih nabavljenih delova.

Ključne reči: model, povratna logistika, reproizvodnja, logistika nabavke

A MODEL FOR OPTIMIZATION OF THE REMANUFACTURING PROCESS FROM THE ASPECT OF PROCUREMENT OF PARTS

Abstract: Although for successful companies, designing a reverse logistics network is not a binding option, it can provide a range of economic and strategic advantages through recycling and reuse of products and provide an analysis of the entire productive process of a particular product. The integration of reverse and forward logistics represents a harmonization of product recovery strategy to the strategy of procurement of new products. This is the case when companies use the returned products as a source of spare parts. The production realized in this way makes it a special form of production, known as reproducing. As procurement models and organizational forms of the purchasing department directly affect the procurement efficiency, their adequate choice is crucial for the business success of the company. In this paper we presented the model for optimization of the remanufacturing process from the aspect of procurement of parts, that maximizes total profit from sale of remanufactured products and products made up of new procurement parts.

Keywords: model, reverse logistics, remanufacturing, procurement logistics

1. Uvod

Sa aspekta zaštite životne sredine prema Narasimhan-u i Carter-u (1998), upravljanje lancem snabdevanja je funkcija nabavke zasnovana na operacijama dopremanja, recikliranja, zamene materijala i ponovne upotrebe. Ova definicija predstavlja polaznu tačku za razumevanje ekoloških aktivnosti u lancu snabdevanja. Nabavka je ključna funkcija u lancu snabdevanja, koja povezuje kompanije sa dobavljačima obezbeđujući na taj način dopremu određenih roba i usluga. Za pojedinačnu kompaniju, sa ekološkog aspekta, nabavka je skup održive politike nabavke, preduzetih akcija i odnosa formiranih kao odgovor na probleme u vezi sa zaštitom okoline, koji se tiču: nabavke sirovina i izbora dobavljača, evaluacije i razvoja, distribucije, pakovanja, reciklaže, ponovne upotrebe, redukcije resursa i konačnog odlaganja proizvoda.

Prema Carter-u i Ellram-u (1998) tri ključne aktivnosti nabavke, usmerene na probleme zaštite životne sredine su: redukcija resursa, reproizvodnja i recikliranje. Redukcija resursa je minimiziranje otpada usled efikasnije tradicionalne i povratne logistike. Reproizvodnja je korišćenje proizvoda ili komponente u istom obliku i za istu namenu, bez ponovne proizvodnje. Recikliranje je proces pri kom se materijali inače namenjeni za odlaganje prikupljaju i prerađuju i od njih proizvode novi proizvodi.

Ako vraćeni proizvod treba da se popravi, obnovi ili preradi, neophodno je neispravni ili oštećeni deo ili modul zameniti ispravnim, u nameri da korišćeni proizvod ostvari određeni standard kvaliteta. Sa strane snabdevanja, ove aktivnosti povraćaja proizvoda predstavljaju novi izvor - internu potražnju koja treba da bude zadovoljena, kao dodatak tradicionalnoj - eksternoj potražnji novih proizvoda. Odeljenje nabavke mora biti upoznato s tim novim izvorom - internom potražnjom, jer će kasnije, na osnovu vraćenih jedinica proizvoda koje će biti rastavljene kako bi se njihovi delovi ugrađivali u druge slične ili iste jedinice proizvoda, izvršiti redukciju količine naručenih novih delova od dobavljača. Reciklaža jedinice proizvoda stvara sličnu situaciju, mada u toj situaciji, količina dobijenih sirovina će uticati na potražnju novih. U oba slučaja kompanije dobijaju novi izvor snabdevanja komponenti ili materijala bez potrebe da ih nabavljaju preko tradicionalnih kanala snabdevanja.

2. Pregled literature

Pregledom literature u *Thomson Reuters Web of Science* za vremenski period 1996-2018, utvrđeno je da postoji veliki broj radova u kojima je razmatrana povratna logistička mreža, odnosno u kojima su predstavljeni brojni kvantitativni modeli za dizajniranje povratne logističke mreže. U ovoj sekciji rada, predstavljen je kraći pregled literature koja se upravo bavi problemom modeliranja povratne logističke mreže.

Prema Fleischmann-u i sar. (1997), kvantitativni modeli u povratnoj logistici obuhvataju planiranje distribucije, upravljanje zalihama i planiranje proizvodnje. Ove tri logističke aktivnosti se nadovezuju jedna na drugu i međusobno su zavisne. Transport korišćenih proizvoda nazad do proizvođača predstavlja planiranje distribucije ovih proizvoda. Nakon pristizanja korišćenih proizvoda, oni se skladište i obrađuju u cilju dobijanja upotrebljivih proizvoda.

Krumwiede i Sheu (2002) su predstavili model odlučivanja zasnovan na procesu procene izvodljivosti povratne logistike. Hu, Sheu i Huang (2002) su prikazali sistem povratne logistike sa višestrukim vremenskim intervalima i različitim tipovima opasnog otpada, u cilju minimiziranja ukupnih operativnih troškova. Kleber, Minner i Kiesmüller (2002) su opisali problem obnavljanja proizvoda u neprekidnom vremenu i dinamičkom okruženju. Horvath, Autry i Wilcox (2005) su predstavili Markov lanac za modeliranje rizika, očekivanja i potencijalnih šokova u vezi sa tokovima novca maloprodaje u aktivnostima povratne logistike. Listeş i Dekker (2005) su predstavili pristup zasnovan na stohastičkom programiranju gde deterministički lokacijski model namenjen projektovanju mreže za obnavljanje proizvoda može biti produžen na račun neizvesnosti. Ravi, Shankar i Tiwari (2005) su predložili model povratne logistike zasnovan na analitičkom mrežnom procesu (ANP) (engl. *Analytic Network Process*). Min, Ko i Ko (2006) su prikazali model nelinearnog mešovitog celobrojnog programiranja za probleme u povratnoj logistici i predložili su genetski algoritam za rešavanje problema. Ovaj model eksplicitno uzima u obzir kompromise između uštede u držanju zaliha i smanjenju cene transporta usled konsolidacije i pretovara. Schultmann, Zumkeller i Rentz (2006) su opisali način rešavanja problema u povratnoj

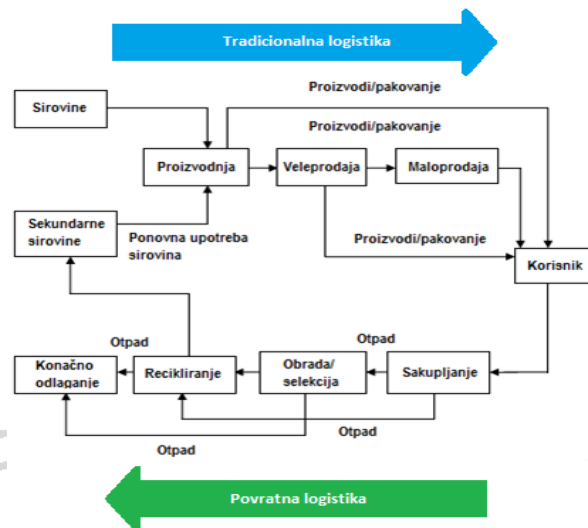
logistici unutar lanca snabdevanja sa zatvorenim petljom korišćenjem algoritma tabu pretrage (engl. *Taboo Search*). Min i Ko (2008) su predložili model mešovitog celobrojnog programiranja za probleme u povratnoj logistici koji uzima u obzir položaj i dodeljivanje objekata za oporavak proizvoda 3PL provajdera. Ovde je predložen genetski algoritam za rešavanje ovog problema. Sheu (2007) je predstavio koordinisani sistem upravljanja povratnom logistikom (engl. *Coordinated Reverse Logistics*) za rukovanje opasnim otpadom u datom regionu, tj. linearni višeciljni analitički model za istovremeno minimiziranje odgovarajućih rizika i ukupnih troškova u povratnoj logistici. Model za određivanje lokacija objekata, ruta i tokova u cilju recikliranja otpadnog papira može se pronaći u radu Pati-a, Vrat-a i Kumar-a (2008). Dualni model mešovitog celobrojnog programiranja za probleme dizajniranja mreže u povratnoj logistici čiji je cilj da minimizira ukupne troškove i maksimizira zadovoljstvo korisnika predstavljen je u radu Du-a i Evans-a (2008). Ovi autori za rešavanje problema koristili su kombinaciju tri algoritma: pretragu rasturanja (engl. *Scatter Search*), metodu ograničenja (engl. *Constraint Method*) i dualnu simplex metodu (engl. *Dual Simplex Method*). Sheu (2008) je predložio model linearne višekriterijumske optimizacije u cilju optimizacije operacija u vezi sa stvaranjem nuklearne energije i odgovarajućeg indukovano otpada. Model za izbor 3PL provajdera u uslovima dualne uloge faktora može se pronaći u radu Saen-a (2010). Fonseca, García-Sánchez, Ortega-Mier i Saldanha-da-Gama (2010) su razvili sveobuhvatni model za planiranje u povratnoj logistici koji uzima u razmatranje mnoge realne činjenice, kao što su: postojanje nekoliko postrojenja, raznovrsnost robe, izbor tehnologije i stohastičku prirodu procesa u vezi sa nastajanjem transportnih troškova i otpada. Osim toga, autori su predstavili dvofaznu stohastičku dualnu formulaciju mešovitog celobrojnog programiranja u kojoj se strateške odluke razmatraju u prvoj fazi, a taktičke i operativne odluke u drugoj fazi. Pishvae, Kianfar i Karimi (2010) su predložili model mešovitog celobrojnog programiranja za višefazno dizajniranje mreža povratne logistike korišćenjem algoritma simuliranog kaljenja (engl. *Simulated Annealing*). Sasikumar, Kannan i Haq (2010) su razmatrali dizajniranje višepostrojenjske mreže povratne logistike za oporavak proizvoda u cilju maksimiziranja dobiti usled reproizvodnih operacija. Ovaj model je potvrđen kroz primer protektiranja guma na sekundarnom tržištu. Model koji se može koristiti za precizno predviđanje povraćaja proizvoda za potrebe reproizvodnje u bilo kom period razvijen je u radu Clottey-a, Benton-a i Srivastava-a (2012). Krapp, Nebel i Sahamie (2013) su prikazali generični pristup predviđanja povraćaja proizvoda zasnovan na Bajesovoj tehnici procene (engl. *Bayesian Estimation Techniques*). Agrawal, Singh i Murtaza (2014) su razvili model za predviđanje povraćaja proizvoda korišćenjem tehnike grafičke evaluacije i pregleda (engl. *Graphical Evaluation and Review Technique*) na primeru indijskog mobilnog operatera. Tekin Temur, Balcilar i Bolat (2014) su koristili fazi ekspertski sistem (engl. *Fuzzy Expert System*) za predviđanje količine povraćaja proizvoda u cilju eliminisanja neizvesnosti u povratnoj logistici.

3. Funkcija nabavke u reproizvodnji

Funkcija logistike nabavke uključuje: identifikaciju i predviđanje potrebne količine robe, ocenu dobavljača, izbor dobavljača, realizaciju zahteva nabavke i upravljanje performansama dobavljača.

Dizajniranje logističke mreže je jedna od najvažnijih strateških odluka u upravljanju lancem snabdevanja (Pishvae, Kianfar i Karimi, 2010). Generalno, donošenje odluka po pitanju dizajniranja logističke mreže uključuje određivanje broja, lokacija i kapaciteta objekata i količine protoka između njih. Od otvaranja do zatvaranja objekta prođe dosta vremena i sam proces je skup, tako da se odluke o promeni lokacije ne mogu realizovati u kratkom roku.

Investicije na strateškom nivou odluka kao što je dizajniranje logističke mreže, imaju veći značaj u poređenju sa taktičkim i operativnim nivoima. S obzirom na to da se strateške odluke donose pre taktičkih i operativnih odluka, konfigurisanje logističke mreže će predstavljati ograničenje za donošenje taktičkih i operativnih odluka. Na osnovu rada Sheu-a, Chou-a i Hu-a (2005) na slici 1 predstavljen je okvir za kreiranje održive logističke mreže.



Slika 1: Kreiranje održive logističke mreže (Sheu, Chou i Hu, 2005)

Na početku 21. veka, mnoge kompanije, kao što su na primer *Dell*, *General Motors*, *Kodak* i *Xerox*, ostvarile su značajne uspehe na osnovu povraćaja proizvoda. Prema Meade-u, Sarkis-u i Presley-u (2007) postoje dve grupe faktora koje dovode do povećanja interesovanja i investicija u povratnoj logistici: ekološki i poslovni. Ekološki faktori se odnose na uticaj korišćenih proizvoda na životnu sredinu, ekološke norme i porast ekološke svesti korisnika. Poslovni faktori uzimaju u obzir ekonomske koristi od ponovnog korišćenja vraćenih proizvoda i liberalnu politiku povraćaja korišćenih proizvoda u cilju sticanja zadovoljnih kupaca. Zapravo, kompanije mogu da ostvare direktne ekonomske koristi kroz reproizvodnju, kao i veći profit indirektno kroz liberalnu politiku povraćaja korišćenih proizvoda. U nekim slučajevima, reproizvodnja nudi mogućnost korisnicima da po nižoj ceni kupuju i koriste proizvode koji zadovoljavaju standarde originalnih proizvoda.

S druge strane, dizajniranje povratne logističke mreže uključuje određivanje broja, lokacija i kapaciteta centara za prikupljanje, obnavljanje i odlaganje proizvoda, kao i količinu protoka između njih. Povratne logističke mreže imaju posebne karakteristike različite od tradicionalnih logističkih mreža. Na primer, jedna od tih karakteristika odnosi se na važnost uloge centara za prikupljanje - inspeksijskih centara. S obzirom na to da je kvalitet vraćenih proizvoda različit, različite su i mogućnosti za njihovo obnavljanje. Nakon ispitivanja u centrima za prikupljanje, korišćeni proizvodi se dele na proizvode za obnavljanje i proizvode koji se odbacuju da bi se sprečio prekomeran prevoz i omogućila isporuka korišćenih proizvoda direktno do odgovarajućih objekata. Nakon toga, broj i lokacija ovih objekata imaju fundamentalni uticaj na transportne troškove. U mnogim slučajevima, logističke mreže su dizajnirane tako da ne uključuju povratne tokove korišćenih proizvoda. Razlog tome može biti i nedostatak znanja o koristima povratne logistike.

Kompanije stalno teže za razvojem održive poslovne prakse. Rešenje koje se pokazalo kao dobro u praksi je reproizvodnja korišćenih proizvoda. Tržište reproizvedenih proizvoda je oko 100 milijarde dolara godišnje, a potrošačko tržište ovih proizvoda je između 5% i 10%

navedene prodaje (Giuntini, 2012). Reproizvedeni proizvodi se sreću još i pod nazivima kao što su obnovljeni, popravljeni, remontovani proizvodi. U poređenju sa novim proizvodima, reproizvedeni proizvodi imaju niže troškove proizvodnje, zahtevaju manji broj proizvodnih ciklusa, kraće vreme proizvodnje i imaju manju štetnost na životnu sredinu. Na primeru milion reproizvedenih automobilskih motora uočavaju se bitne prednosti reproizvodnje u odnosu na proizvodnju. Tako su, prema Xie-u, Chung-u, Fan-u i Yao-u (2004) troškovi proizvodnje smanjeni za 61%, dok je proizvodni ciklus činio 46% vremena proizvodnog ciklusa novog proizvoda.

Reproizvodni proces karakteriše potpuna koordinacija dva sistema nabavke delova. Novi delovi se nabavljaju od strane eksternih dobavljača, a ostali potiču iz internog skladišta i od obnavljanja rastavljenih delova vraćenih proizvoda. Bez obzira na to da li je proizvod industrijski ili potrošački orijentisan, osnova reproizvodnog procesa je slična. Delovi vraćenih proizvoda se najpre rastavljaju i čiste, zatim se zamenjuju oni delovi koji nedostaju, koji su oštećeni ili slomljeni, i na kraju se vrši testiranje reproizvedenog proizvoda. Prethodno navedene aktivnosti sastavne su aktivnosti strategije lanca snabdevanja sa zatvorenim petljom.

Lanac snabdevanja sa zatvorenim petljom se razlikuje od tradicionalnog lanca snabdevanja. To je lanac snabdevanja u okviru kog koegzistiraju i proizvodnja i reproizvodnja. On zapravo predstavlja jedan dizajnirani, kontrolni i operativni sistem koji ima za cilj da maksimizira vrednosti proizvoda tokom čitavog njihovog životnog ciklusa, obnavljajući istovremno te vrednosti kroz tokove povraćaja (Guide Jr i Van Wassenhove, 2009). Takav lanac može biti i ekološki, i što je još važnije, ekonomski koristan za kompanije. Prema Guide Jr-u i Van Wassenhove-u (2009), lanac snabdevanja sa zatvorenim petljom se sastoji od tri međusobno povezane operacije, i to: prikupljanja vraćenih proizvoda, reproizvodnje i vraćanja reproizvedenih proizvoda na tržište. Postoje mnoge rasprave o konceptu reproizvodnje u okviru ovog lanca snabdevanja. Primarni koncept podrazumeva da se proizvodi namenjeni odlaganju, kroz procese rastavljanja, testiranja i zamene delova ponovo vraćaju u stanje ponovnog korišćenja i prodaje. Takvi proizvodi mogu imati karakteristike kao novi proizvedeni proizvodi, ponekad i bolje. U mnogim slučajevima, reproizvedeni proizvod nosi istu garanciju kao i novi proizvod. Reproizvodnja se trenutno koristi u industriji automobila, kompjutera, štampača, fotokopir mašina, mobilnih telefona, televizora, frižidera, klima uređaja, veš mašina, guma itd.

Iako je reproizvodni proces predmet istraživanja već mnogo godina, istraživanja potrošački orijentisanih tržišta reproizvedenih proizvoda su oskudna. Većina relevantne literature daje pretpostavke i tvrdnje u vezi s tim kako potrošači treba da posmatraju reproizvedene proizvode. Takav pristup je, na primer, dat u radu Atasu-a, Sarvary-a i Van Wassenhove-a (2008). Dalje, drugi radovi se oslanjaju na koncept da će svaki potrošač na kraju kupiti reproizvedeni proizvod usled umanjenja njegove cene (Debo, Toktay i Van Wassenhove, 2005). Mnoge od ovih pretpostavki, kao i budući pravci istraživanja po ovom pitanju, sumirani su u radu Ferguson-a i Souza-a (2016). Kako reproizvedeni proizvodi nastaju od korišćenih proizvoda (za razliku od novih ili recikliranih proizvoda), negativni uticaji na životnu sredinu usled njihove proizvodnje (reproizvodnje) su generalno smanjeni. Ovo smanjenje negativnog uticaja na životnu sredinu čini poslovnu praksu kompanija održivom.

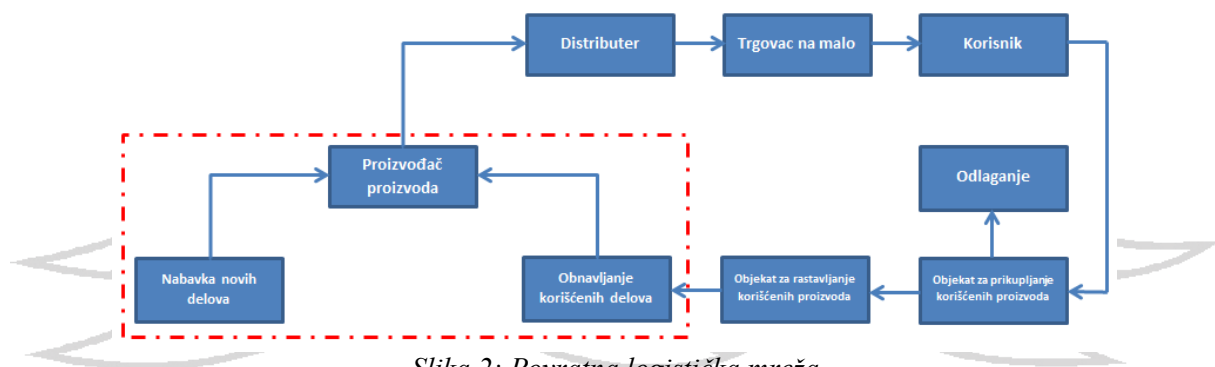
Sastavni deo i glavnu karakteristiku povraćaja proizvoda čini neizvesnost. Neizvesnost je dvostruka. Prvo, menadžeri logistike treba da se izbore sa nedostatkom informacija u vezi sa količinom vraćenih proizvoda, njihovom raznovrsnošću, stanjem habanja i vremenom kada će

oni biti popravljani. Drugo, u većini slučajeva vraćeni proizvodi treba da se rastave, pa se dostupnost pojedinih delova ili modula može utvrditi tek nakon obavljanja te operacije. Informacija je važna u pogledu uvida u stanje zaliha, tj. kreiranja narudžbenica za dobavljače. Samo pod određenim okolnostima nivo neizvesnosti može biti smanjen. Na primer, kompanije čije su primarne delatnosti lizing i rentiranje, mogu biti u stanju da preciznije prognoziraju vreme i količinu proizvoda koji će biti vraćeni. Druga situacija u kojoj se neizvesnost može smanjiti je slučaj kada je povraćaj proizvoda u skladu sa odredbama o ovlašćenom povratku materijala (engl. *Return Material Authorization*) koje definiše originalni proizvođač opreme.

4. Predloženi model

U ovoj sekciji rada, predstavljen je model za optimizaciju reproizvodnog procesa sa aspekta nabavke delova. Razvoj ovog modela baziran je na osnovu elemenata koji su prikazani u uokvirenom delu slike 2 i njihovoj međuzavisnosti. Cilj predloženog modela je da se maksimizira ukupna zarada od prodaje reproizvedenih proizvoda i proizvoda sastavljenih od novih nabavljenih delova. Model se odnosi na jedan određeni vremenski period. Kod razvijanja modela, razmatrana je zarada od prodaje reproizvedenih proizvoda i proizvoda sastavljenih od novih nabavljenih delova. Model je zasnovan na pretpostavci da je iznos zarade od prodaje reproizvedenog proizvoda veći u poređenju sa iznosom zarade od prodaje proizvoda sastavljenog od novih nabavljenih delova (u ovom slučaju je uvođenje procesa reproizvodnje opravdano).

Kod kreiranja modela, nisu razmatrane aktivnosti prikupljanja, rastavljanja i odlaganja korišćenih proizvoda. Dalje, troškovi rastavljanja korišćenih proizvoda, obnavljanja delova i ponovnog sastavljanja proizvoda, kao i troškovi nabavke novih delova i sastavljanja proizvoda od novih nabavljenih delova, nisu uzeti u obzir. Pored toga, nisu razmatrani mešoviti proizvodi kao proizvodi sastavljeni od obnovljenih i novih nabavljenih delova.



Slika 2: Povratna logistička mreža

Predloženi model je predstavljen kao M1 model. Za ovaj model, upotrebljena je funkcija cilja i tri ograničenja.

M1 model

$$\max \sum_i r_i X_i + \sum_j n_j Y_j$$

Uz uslove:

$$\begin{aligned} \sum_i X_i d_{ni} &\leq T_n \quad \forall n \\ \sum_j Y_j e_{nj} &\leq N_n \quad \forall n \\ X_i, Y_j &\geq 0 \quad \forall i, j \end{aligned}$$

Funkcija cilja u M1 modelu maksimizira ukupnu zaradu nastalu prodajom reproizvedenih proizvoda i proizvoda sastavljenih od novih nabavljenih delova. Prvo i drugo ograničenje u M1 modelu obezbeđuju da broj obnovljenih delova i novih nabavljenih delova ne prekorači maksimalni kapacitet skladišta za ove vrste delova, respektivno. Konačno, treće ograničenje u predloženom modelu obezbeđuje da promenljive moraju imati pozitivne vrednosti.

Indeksi, promenljive odlučivanja i parametri u predloženom M1 modelu predstavljeni su na sledeći način. Indeksi i, j su indeksi proizvoda, gde je indeks $i = \{1, \dots, I\}$, i $j = \{1, \dots, J\}$. Promenljive odlučivanja u M1 modelu su X_i i Y_j . Promenljiva X_i se odnosi na proizvode sastavljene od obnovljenih delova (P^o) pri čemu je $P^o = \{1, 2, 3, \dots | P^o|\}$, dok promenljiva Y_j označava proizvode sastavljene od novih nabavljenih delova (P^n) za koje važi $P^n = \{1, 2, 3, \dots | P^n|\}$. Parametar r_i u M1 modelu predstavlja zaradu od prodaje proizvoda i sastavljenog od obnovljenih delova, dok se parametar n_j odnosi na zaradu od prodaje proizvoda j sastavljenog od novih nabavljenih delova. Dalje, parametar d_{ni} označava broj obnovljenih delova n -tog tipa koji ulaze u sastav proizvoda X_i , dok parametar e_{nj} predstavlja broj novih nabavljenih delova n -tog tipa koji ulaze u sastav proizvoda Y_j . Sa T_n i N_n u M1 modelu dat je maksimalni kapacitet skladišta za obnovljene i nove nabavljene delove n -tog tipa, respektivno.

5. Rezultati i diskusija

Predloženi M1 model je testiran korišćenjem podataka koji su predstavljeni u tabeli 1. Neka se posmatraju tri vrste reproizvedenih proizvoda (X_1, X_2 i X_3) i tri vrste proizvoda sastavljenih od novih nabavljenih delova (Y_1, Y_2 i Y_3). U sastav reproizvedenih proizvoda i proizvoda sastavljenih od novih nabavljenih delova ulazi isti broj obnovljenih i novih nabavljenih delova. Razmatrani su slučajevi kada su proizvodi sastavljeni od 3, 4 i 5 delova. Za posmatrani numerički primer, M1 model je rešen korišćenjem *LPSolve IDE softvera*. Analitički rezultati su predstavljeni u tabeli 2.

Tabela 1: Podaci za testiranje M1 modela

Obnovljeni delovi	Reproizvodnja				Novi delovi	Nabavka			
	X_1	X_2	X_3	T		Y_1	Y_2	Y_3	N
d_1	2	3	4	200	e_1	2	3	4	100
d_2	3	2	2	250	e_2	3	2	2	70
d_3	2	4	2	400	e_3	2	4	2	60
d_4	3	2	3	350	e_4	3	2	3	80
d_5	5	1	2	100	e_5	5	1	2	50
Zarada po proizvodu (n.j.)	45	60	55			20	30	35	

Tabela 2: Rezultati dobijeni primenom softvera LPSolve ID

Tri dela		Četiri dela		Pet delova	
Ukupna zarada	5250 n.j.	Ukupna zarada	5240 n.j.	Ukupna zarada	4925 n.j.
X_1	70	X_1	70	X_1	7
X_2	20	X_2	20	X_2	62
X_3	0	X_3	0	X_3	0
Y_1	10	Y_1	3	Y_1	0
Y_2	0	Y_2	2	Y_2	4
Y_3	20	Y_3	22	Y_3	22

Rezultati dobijeni korišćenjem M1 modela, pokazuju da će kompanija ostvariti maksimalnu zaradu od 5250 novčanih jedinica (n.j) pri prodaji 70 jedinica proizvoda X_1 , 20 jedinica proizvoda X_2 , 10 jedinica proizvoda Y_1 i 20 jedinica proizvoda Y_3 , ukoliko u reproizvodnji/proizvodnji koriste 3 dela proizvoda. Ako se u reproizvodnji/proizvodnji koriste 4 dela proizvoda, kompanija će ostvariti maksimalnu zaradu od 5240 n.j. pri prodaji 70 jedinica proizvoda X_1 , 20 jedinica proizvoda X_2 , 3 jedinice proizvoda Y_1 , 2 jedinice proizvoda Y_2 i 22 jedinice proizvoda Y_3 . Maksimalnu zaradu koja iznosi 4925 n.j. pri korišćenju 5 delova proizvoda, kompanija će ostvariti ukoliko proda 7 jedinica proizvoda X_1 , 62 jedinice proizvoda X_2 , 4 jedinice proizvoda Y_2 i 22 jedinice proizvoda Y_3 .

Na osnovu dobijenih rezultata može se uočiti da će kompanija u cilju maksimiziranja svoje zarade u većoj količini koristiti obnovljene delove u reproizvodnji/proizvodnji proizvoda, što je i očekivano ako se zna da je nabavka tih delova jeftinija, pa samim tim i zarada veća. Ono što model M1 omogućava jeste da odeljenje nabavke racionalno može sagledati kada u proizvodnji proizvoda treba da uključi nove nabavljene delove. U slučaju da je skladišni prostor istog kapaciteta za obnovljene i nove nabavljene delove, situacija je jasna u smislu da bi se isključivo koristili obnovljeni delovi, jer donose veću zaradu. Međutim, kada je količina obnovljenih delova ograničena, tada se primenom modela M1 tačno može utvrditi koji se proizvodi sastavljaju od novih nabavljenih delova i u kojoj meri trebaju koristiti u cilju postizanja maksimalne zarade kompanije.

6. Zaključak

U svetu ograničenih resursa i kapaciteta za odlaganje, reproizvodnja korišćenih proizvoda i materijala predstavlja ključ podrške rastuće populacije za njihov sve veći nivo potrošnje. Smanjenje otpada postaje glavna briga industrijski razvijenih zemalja. Štaviše, kupci danas očekuju od kompanija da minimiziraju uticaj njihovih proizvoda i proizvodnih procesa na životnu sredinu. Osim toga, zakonodavstvo povećava odgovornost proizvođača, što postaje važan element javne politike zaštite životne sredine. Nekoliko zemalja, posebno u Evropi, uvelo je zakonske odredbe na osnovu kojih su proizvođači prinuđeni da "prate" svoje proizvode tokom čitavog njihovog životnog ciklusa. Obaveze povraćaja i obnavljanja proizvoda određenih kategorija usvojene su u mnogim zemljama EU i drugim. Takvu odgovornost na primer imaju proizvođači elektronskih komponenti na prostoru EU i Japana, proizvođači automobila u zemljama EU i na Tajvanu i proizvođači ambalaže u Nemačkoj. U isto vreme, takva politika poslovanja nudi mnogim kompanijama šansu za ostvarivanje finansijske koristi, kroz uštede u proizvodnji i pristup novim tržištima.

U povratnoj logistici prisutan je veliki izazov za efikasno dizajniranje mreže povraćaja korišćenih proizvoda, tj. optimalno definisanje lokacija i kapaciteta postrojenja kompanija, kao i protoka proizvoda/delova između njih. Veliki broj aktivnosti i raznovrsnosti u pogledu vrednosti i veličine proizvoda/delova u okviru logističke mreže čini proces dizajniranja ove mreže veoma bitnim.

U ovom radu predstavljen je model za optimizaciju reproizvodnog procesa sa aspekta nabavke delova. Model je razvijen na osnovu maksimiziranja ukupne zarade od prodaje reproizvedenih proizvoda i proizvoda sastavljenih od novih nabavljenih delova. Predstavljani model omogućava menadžerima logistike da donesu ispravnu odluku oko uključivanja delova u proces reproizvodnje/proizvodnje, pri čemu se ostvaruje maksimalna zarada. To se postiže usaglašavanjem interne potražnje koja se odnosi na količinu vraćenih proizvoda i obnavljanje njihovih delova sa eksternom potražnjom koja je zasnovana na nabavci novih delova.

Literatura

- [1] Agrawal, S., K. Singh, R., & Murtaza, Q. (2014). Forecasting product returns for recycling in Indian electronics industry. *Journal of Advances in Management Research*, 11(1), 102-114.
- [2] Atasu, A., Sarvary, M., & Van Wassenhove, L. N. (2008). Remanufacturing as a marketing strategy. *Management science*, 54(10), 1731-1746.
- [3] Carter, C. R., & Ellram, L. M. (1998). Reverse logistics: a review of the literature and framework for future investigation. *Journal of business logistics*, 19(1), 85.
- [4] Clottey, T., Benton, W. C., & Srivastava, R. (2012). Forecasting product returns for remanufacturing operations. *Decision Sciences*, 43(4), 589-614.
- [5] Debo, L. G., Toktay, L. B., & Van Wassenhove, L. N. (2005). Market segmentation and product technology selection for remanufacturable products. *Management science*, 51(8), 1193-1205.
- [6] Du, F., & Evans, G. W. (2008). A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service. *Computers & Operations Research*, 35(8), 2617-2634.

- [7] Ferguson, M. E., & Souza, G. C. (Eds.). (2016). Closed-loop supply chains: new developments to improve the sustainability of business practices. CRC Press.
- [8] Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Van der Laan, E., Van Nunen, J. A., & Van Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European journal of operational research*, 103(1), 1-17.
- [9] Fonseca, M. C., García-Sánchez, Á., Ortega-Mier, M., & Saldanha-da-Gama, F. (2010). A stochastic bi-objective location model for strategic reverse logistics. *Top*, 18(1), 158-184.
- [10] Giuntini, R. (2012). Remanufactured products: A new business model for light-vehicle OEMs (No. 2012-01-0353). SAE Technical Paper.
- [11] Guide Jr, V. D. R., & Van Wassenhove, L. N. (2009). OR FORUM—The evolution of closed-loop supply chain research. *Operations research*, 57(1), 10-18.
- [12] Horvath, P. A., Autry, C. W., & Wilcox, W. E. (2005). Liquidity implications of reverse logistics for retailers: A Markov chain approach. *Journal of retailing*, 81(3), 191-203.
- [13] Hu, T. L., Sheu, J. B., & Huang, K. H. (2002). A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 38(6), 457-473.
- [14] Kleber, R., Minner, S., & Kiesmüller, G. (2002). A continuous time inventory model for a product recovery system with multiple options. *International Journal of Production Economics*, 79(2), 121-141.
- [15] Krapp, M., Nebel, J., & Sahamie, R. (2013). Forecasting product returns in closed-loop supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 43(8), 614-637.
- [16] Krumwiede, D. W., & Sheu, C. (2002). A model for reverse logistics entry by third-party providers. *Omega*, 30(5), 325-333.
- [17] Listeş, O., & Dekker, R. (2005). A stochastic approach to a case study for product recovery network design. *European Journal of Operational Research*, 160(1), 268-287.
- [18] Meade, L., Sarkis, J., & Presley, A. (2007). The theory and practice of reverse logistics. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 3(1), 56-84.
- [19] Min, H., & Ko, H. J. (2008). The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 176-192.
- [20] Min, H., Ko, H. J., & Ko, C. S. (2006). A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns. *Omega*, 34(1), 56-69.
- [21] Narasimhan, R., & Carter, J. R. (1998). Environmental supply chain management. Center for Advanced Purchasing Studies..
- [22] Pati, R. K., Vrat, P., & Kumar, P. (2008). A goal programming model for paper recycling system. *Omega*, 36(3), 405-417.
- [23] Pishvae, M. S., Kianfar, K., & Karimi, B. (2010). Reverse logistics network design using simulated annealing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47(1-4), 269-281.
- [24] Ravi, V., Shankar, R., & Tiwari, M. K. (2005). Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach. *Computers & industrial engineering*, 48(2), 327-356.
- [25] Saen, R. F. (2010). A new model for selecting third-party reverse logistics providers in the presence of multiple dual-role factors. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 46(1-4), 405-410.

- [26] Sasikumar, P., Kannan, G., & Haq, A. N. (2010). A multi-echelon reverse logistics network design for product recovery—a case of truck tire remanufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(9-12), 1223-1234.
- [27] Schultmann, F., Zumkeller, M., & Rentz, O. (2006). Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry. *European journal of operational research*, 171(3), 1033-1050.
- [28] Sheu, J. B. (2007). A coordinated reverse logistics system for regional management of multi-source hazardous wastes. *Computers & Operations Research*, 34(5), 1442-1462.
- [29] Sheu, J. B. (2008). Green supply chain management, reverse logistics and nuclear power generation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(1), 19-46.
- [30] Sheu, J. B., Chou, Y. H., & Hu, C. C. (2005). An integrated logistics operational model for green-supply chain management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(4), 287-313.
- [31] Tekin Temur, G., Balcilar, M., & Bolat, B. (2014). A fuzzy expert system design for forecasting return quantity in reverse logistics network. *Journal of Enterprise Information Management*, 27(3), 316-328.
- [32] WOS (2018). Thomson Reuters Web of Science, dostupno na: <http://apps.webofknowledge.com>.
- [33] Xie, L., Chung, J., Fan, S., & Yao, Y. (2004). The research of remanufacturing logistics supply chain, *Chinese manufacturing informatization*, 10(1), 78-82.