

EKONOMETRIČNO OCENJEVANJE PARAMETROV VZDRŽEVANJA POKVARLJIVEGA BLAGA V HLAJENIH LOGISTIČNIH VERIGAH

Econometric Estimation of Parameters of Preservation of Perishable Goods in Cold Logistic Chains

1 Uvod

Proizvodne in logistične zmogljivosti so v proizvodni verigi pokvarljivega blaga locirane med izvorom in ponudbenim trgom. Vsaka časovna sprememba pri dani razdalji ter vsaka temperaturna sprememba v verigi poveča stroške oziroma zmanjša neto sedanjo vrednost aktivnosti. Povzroča torej motnje oziroma perturbacije v ponudbeni verigi, ki so v realnosti lahko robustne (Bogataj, 1998; Bogataj in Bogataj, 2004). Da bi lahko tovrstne motnje v sistemu obvladovali, moramo biti sposobni ovrednotiti njihove učinke na stabilnost pokvarljivega blaga v ponudbenih verigah in izvesti ustrezne ukrepe za zagotovitev zahtevane ravni kakovosti in količine tega blaga. Zagotovitev stabilnosti v hlajenih verigah oziroma določitev pogojev, ki morajo biti izpolnjeni, da bo obnašanje logistične verige tudi po robustni perturbaciji parametrov ter časovnih odlogih znotraj predpisanih meja, pa je glavna naloga t. i. upravljanja hlajenih logističnih verig (Bogataj *et al.*, 2004, 1).

Smoter našega raziskovanja je preučiti parametre vzdrževanja pokvarljivega blaga v hlajenih logističnih verigah. Gre predvsem za intenzivnost kvarjenja blaga na dani stopnji proizvodnje oziroma distribucije v ponudbeni verigi ter konzervacijski učinek, ki je odvisen od stanja blaga v sistemu in se aktivira s časovnim odlogom. Zanimajo nas vrednosti tovrstnih parametrov in njihova stabilnost, zato se bomo v pričujočem prispevku ukvarjali predvsem s problematiko ekonometričnega ocenjevanja navedenih parametrov na različnih stopnjah proizvodnje oziroma distribucije v ponudbeni verigi. V ta namen v drugem razdelku na kratko predstavljamo problematiko globalnega upravljanja hlajenih logističnih verig in prispevke vodilnih raziskovalcev s tega področja v zadnjih nekaj desetletjih, tj. R. W. Grubbströma s sodelavci s Tehnološkega inštituta v Linköpingu ter L. Bogataja in M. Bogataja s sodelavci s Univerze v Ljubljani. V tretjem razdelku si bomo nato pogledali vzdrževanje pokvarljivega blaga v hlajenih logističnih verigah, v četrtem razdelku pa bomo skušali podati temelje za ekonometrično ocenjevanje že omenjenih parametrov vzdrževanja pokvarljivega blaga, kar bomo v petem poglavju tudi ponazorili s konkretnim primerom. V šestem delu predstavimo ključne ugotovitve iz našega dela.

2 Globalno upravljanje hlajenih logističnih verig

Upravljanje hlajenih logističnih verig (angl. *Cold Chains Management – CCM*) lahko pojmuje kot proces načrtovanja, izvajanja ter nadziranja učinkovitega skladiščenja in tokov pokvarljivega blaga ter s tem povezanih informacij in storitev iz enega ali več izvorov k mestom proizvodnje, distribucije in potrošnje z namenom zadovoljiti potrebe in želje kupcev v svetovnem merilu (Bogataj *et al.*, 2004, 1-2). Gre torej za proces združevanja obstoječih poslovnih aktivnosti s posebnimi aktivnostmi za vzdrževanje pokvarljivega blaga v vrednostnih verigah, v katerih se pojavlja več dobaviteljev določenega repromateriala oziroma proizvodnih celic določenih polproizvodov, da bi ustvarili vrednosti za končnega kupca.

Miroslav Verbič
Inštitut za ekonomska
raziskovanja, Ljubljana

Povzetek

UDK: 330.43/44:658.788

Članek proučuje parametre vzdrževanja pokvarljivega blaga v hlajenih logističnih verigah. Njihove vrednosti nam povedo, koliko danega proizvoda se v ponudbeni verigi pokvari in v kolikšni meri lahko postopki vzdrževanja kvarjenje ublažijo. Ekonometrični pristop nam daje količinske učinke uvajanja postopkov vzdrževanja, ki jih je mogoče s pomočjo cenovnih kategorij prevesti na vrednostne učinke. Tako lahko ugotovimo, ali je uvedba postopkov vzdrževanja ekonomsko racionalnejša od nakupa dosegljive zavarovalne police.

Ključne besede: ekonometrično ocenjevanje, hlajene logistične verige, input – output analiza, Laplaceove transformacije, MRP, upravljanje hlajenih verig.

Abstract

UDC: 330.43/44:658.788

The article discusses the parameters of preservation of perishable goods in cold logistic chains. The values of these parameters represent deterioration of the product in the logistic chain, and the extent to which the deterioration can be alleviated. Econometric estimation presents us with the quantity effects of preservation procedures, whereas the financial effects can be derived using the proper price categories. In this way it can be determined whether the implementation of preservation procedures is more rational than the purchase of an attainable insurance policy.

Key words: econometric estimation, cold logistic chain, Input – Output analysis, Laplace transforms, MRP, Cold Chains management.

Upravljanje hlajenih verig sodi v sklop upravljanja ponudbenih omrežij (angl. *Supply Networks Management*), ki se ukvarja s sledenjem tokovom v takšnih omrežjih ter s konstrukcijo in preučevanjem orodij, potrebnih za obvladovanje logistike ponudbenih omrežij. Treba je namreč priskrbeti pravo blago ob pravem času na pravo mesto in to v globalnem merilu (cf. Baldiwala, 2001). Ni torej dovolj delati stvari prav, kar je bistvo učinkovitosti, temveč je treba delati prave stvari, kar pa je bistvo uspešnosti. Sledenje posameznim tokovom in njihova vidljivost znotraj omrežij sta še posebej pomembni pri verigah pokvarljivega blaga, katerih pomembna sestavina so hlajene verige. Problem ohranjanja potrebne količine in kakovosti blaga do konca ponudbene verige v takšnih primerih večinoma rešujemo s hlajenjem in dodajanjem sredstev za konzerviranje že v procesu proizvodnje, predvsem pa v procesih distribucije.

To je še posebej pomembno v procesih globalizacije in integracije, ki z zmanjševanjem carin, povečevanjem transportne učinkovitosti ter z razvojem komunikacij in informacijske tehnologije omogočajo zelo hitro povečevanje velikosti razpoložljivih trgov pokvarljivega blaga. Vendar tovrstni procesi hkrati narekujejo tudi regulacijo kakovosti blaga na teh trgih (Bogataj *et al.*, 2004, 2-3). Kvaliteta tovrstnega blaga pa je zaradi časovnih odlogov ter temperaturnih odklonov pod vplivom motenj. Vzajemno delovanje obeh dejavnikov lahko zelo hitro zmanjša kakovost pokvarljivega blaga do take mere, da je lahko ogroženo zdravje potrošnika. Zaradi tega direktive Evropske komisije predpisujejo postopke nadzora temperature (angl. *cold traceability*) in drugih lastnosti pokvarljivega blaga v procesih proizvodnje ter v celotnem procesu distribucije takšnega blaga.

Za obvladovanje verižnih tokov in optimalno kontrolo razvija R. W. Grubbström s sodelavci že nekako od šestdesetih let 20. stoletja specifičen pristop, ki s pomočjo Laplaceove transformacije kombinira podjetniške input-output tabele z načrtovanjem materialnih potreb (angl. *Material Requirements Planning – MRP*) v časovni domeni in je v glavnem omejen na proizvodnjo in zaloge (cf. Grubbström, 1967; Grubbström in Molinder, 1994; Grubbström, 1996; 1998; Grubbström in Tang, B.I.). M. Bogataj in L. Bogataj s sodelavci sta v zadnjem desetletju ta pristop razširila na celotno področje distribucije (cf. Bogataj, 1994; 1996; 1998; Bogataj in Bogataj, 2004) ter v zadnjem času tudi reciklaže, in sicer v časovni domeni ter v frekvenčnem prostoru. Kot sta ugotovila (Bogataj in Bogataj, 2001; 2004), je namreč le analiza v prostoru Lebesgueovih merljivih funkcij z integrabilnim kvadratom matematično korektna. Predmet našega preučevanja v tem prispevku pa so (ožje pojmovane) hlajene logistične verige z dodatnim vrednotenjem parametrov vzdrževanja pokvarljivega blaga v funkcijah razdalje (cf. Bogataj in Bogataj, 2001; Bogataj *et al.*, 2004), pri čemer se lotevamo predvsem problematike ekonometričnega ocenjevanja teh parametrov.

3 Vzdrževanje pokvarljivega blaga v hlajenih logističnih verigah

Učinke transportnih in proizvodnih parametrov ter njihovih motenj na delovanje logistične verige, predvsem na neto sedanjo vrednost ali tok anuitet njihovih operacij, najlažje ocenjujemo z načrtovanjem materialnih potreb, dopolnjenim z input-output analizo v proizvodnji, distribuciji in lahko tudi reciklaži ponudbene verige. Vpeljava reciklaže, ki je v bistvu obraten logistični proces, je zaenkrat še opcija. Pri tem mora v vsaki časovni enoti veljati (Bogataj *et al.*, 2004, 3-4):

$$S = (I - H) \cdot P - F, \quad (1)$$

kjer je S vektor zalog na časovno enoto, I enotska matrika, H input-output matrika, P vektor bruto proizvodnje na časovno enoto, F vektor dobav na časovno enoto, $H \cdot P$ predstavlja interno povpraševanje na časovno enoto, $(I - H) \cdot P$ pa neto proizvodnjo na časovno enoto. Gre torej za prikaz tokov, kjer je dimenzija prostora za opis proizvodnje in distribucije enaka številu celic aktivnosti (faz) v verigi. Pri tem mora biti povpraševanju¹ D zadoščeno z dobavami F pri danem koeficientu dobavne storitvene ravni β oziroma z dano verjetnostjo nezaloženosti z blagom, ki je enaka $p = 1 - \beta$.

V globalno integriranem ponudbenem omrežju položaj celice aktivnosti ključno vpliva na stroške skladiščenja in distribucije, predvsem pa na odzivne čase in potrebne kontrolne aktivnosti (cf. Bogataj in Bogataj, 2001). Povpraševanje je pri tem stohastične narave, kar pomeni, da se motnje lahko pojavljajo v nepričakovanem času, na nepričakovani lokaciji ter z nepričakovano jakostjo. Vrednotenje prostorskih interakcij in učinkov lokacije na negotovost proizvodnje dveh sekvenčnih celic aktivnosti je bilo obravnavano v okviru pristopa klasične lokacijske teorije v delih Bogataja in Horvata (1996) ter Bogataja (1996; 1998; 1999). Analiza časovnih perturbacij v proizvodnji in zalogah je bila zasnovana v delih Grubbströma (1967; 1996; 1998) in razširjena s pomočjo koncepta negotovosti ponudbe na celotno logistično verigo (Bogataj, 1996; 1998; 1999; Bogataj in Bogataj, 2001). Tovrstne motnje postajajo vse pomembnejše v procesih globalizacije, ko se povečujejo razdalje med celicami aktivnosti v ponudbenih omrežjih pokvarljivega blaga. V takšnih razmerah ekonomsko racionalni posameznik, *homo oeconomicus*, tehta prednosti in slabosti med optimizacijo danega procesa aktivnosti (proizvodnje, distribucije oziroma reciklaže) in nakupom dosegljive zavarovalne police za primer nepričakovanih perturbacij.

Če se odloči za proces optimizacije, potem ima v primeru pokvarljivega blaga v vsaki od n faz razvoja stanja logističnega sistema $x_k(t)$ opraviti z linearno diferencialno-diferenčno enačbo prvega reda² v naslednji obliki (Bogataj *et al.*, 2004, 4):

$$\frac{dx_k(t)}{dt} = A_k x_k(t) + B_k(t) x_k(t - \tau_k), \quad k = 1, \dots, n, \quad (2)$$

¹ Končno povpraševanje je v našem modelu logistične verige pokvarljivega blaga eksogeno določeno.

pri danem začetnem pogoju v obliki trajektorije, ki se glasi: $\bar{x}_k(\theta) = \bar{\varphi}(\theta)$, ter pri pogoju enakosti med začetno vrednostjo stanja v fazi k , tj. $\bar{x}_k(0) = \bar{x}_{k,0}$ in končno vrednostjo stanja v fazi $k-1$, tj. $\bar{x}_{k-1}(f) = \bar{x}_{k-1,f}$, ki se glasi: $\bar{x}_{k,0}(\theta) = \bar{x}_{k-1,f}(\theta)$. Vektor stanja sistema $\bar{x}_k$ ima naslednji dve komponenti: $\bar{x}_k(t) = \begin{bmatrix} x_{1,k}(t) \\ x_{2,k}(t) \end{bmatrix}$, kjer je $x_{1,k}(t)$ količina dobrega blaga v fazi k in v času t ter $x_{2,k}(t)$ količina pokvarjenega blaga v fazi k in v času t . V izrazu nastopa troje parametrov vzdrževanja pokvarljivega blaga, ki je ključnega pomena v hlajenih logističnih verigah. Časovni odlog τ_k predstavlja čas, ki preteče v fazi aktivnosti k , preden se aktivira konzervacijski učinek. Matrika A_k vsebuje koeficiente intenzivnosti kvarjenja blaga v fazi aktivnosti k v ponudbeni verigi. Matrika $B_k(t)$ pa predstavlja konzervacijske učinke, ki so odvisni od stanja blaga v sistemu in se aktivirajo s časovnim odlogom τ_k .

Če kombiniramo input-output enačbo (1) z diferencialno-diferenčno enačbo (2) za n faz v logistični verigi, dobimo naslednjo obliko diferencialno-diferenčne enačbe (cf. Bogataj *et al.*, 2004, 5-6):

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_p(t) \\ \bar{x}_1(t) \\ \bar{x}_2(t) \\ \vdots \\ \bar{x}_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & A_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & A_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & A_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_p(t) \\ \bar{x}_1(t) \\ \bar{x}_2(t) \\ \vdots \\ \bar{x}_n(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I-H & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P(t) \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} F(t) \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & B_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & B_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & B_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{x}_1(t-\tau_1) \\ \bar{x}_2(t-\tau_2) \\ \vdots \\ \bar{x}_n(t-\tau_n) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

pri čemer je dimenzija bilančnega vektorja $\bar{x}_p(t)$ enaka številu faz aktivnosti, celotna količina blaga v vsaki fazi k pa mora biti enaka vsoti dobrega in pokvarjenega blaga:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & -1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 & 1 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & -1 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & -1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_p(t) \\ \bar{x}_{1,1}(t) \\ \bar{x}_{1,2}(t) \\ \vdots \\ \bar{x}_{n,2}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{x}_p(t) \\ \bar{x}_{1,1}(t) \\ \bar{x}_{1,2}(t) \\ \vdots \\ \bar{x}_{n,2}(t) \end{bmatrix}.$$

² Gre za diferencialno-diferenčno enačbo prvega reda, ki spada v prostor zveznih funkcij (cf. Hale, 1977).

Diferencialno-diferenčno enačbo (3) pa lahko zaradi nazornosti prikaza zapišemo tudi v naslednji kompaktni obliki:

$$X(t) = AX(t) + (I-H)P(t) + B(t)X(t, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) - F(t), \quad (4)$$

pri začetnem pogoju: $X_0(\theta) = \Phi(\theta)$ in sekvenčnih pogojih: $\bar{x}_{k,0}(\theta) = \bar{x}_{k-1,f}(\theta)$; veljati pa mora tudi že navedeni

zakon o ohranitvi mase: $GX(t) = 0$; $t \in [0, t_f]$, kjer je G matrika ohranitve celotne količine v kompaktni obliki.

Zgornji zapis sistema je korekten, vse dokler v njem ne pride do motenj v temperaturi oziroma do časovnih odlogov, ki se lahko pojavijo v katerikoli fazi k in vplivajo na matriko intenzivnost kvarjenja blaga A_k z učinkom ΔA_k . Ponudbena veriga mora biti v takem primeru dodatno hlajena oziroma mora biti blago dodatno vzdrževano, kar se z dodatnim odlogom $\Delta \tau_k$ kaže v spremembi matrike konzervacijskih učinkov $B_k(t)$, $\Delta B_k(t)$. Dobimo novo linearno diferencialno-diferenčno enačbo (cf. Bogataj *et al.*, 2004, 6-8):

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_p(t) \\ \bar{x}_1(t) \\ \bar{x}_2(t) \\ \vdots \\ \bar{x}_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & A_1 + \Delta A_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & A_2 + \Delta A_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & A_n + \Delta A_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_p(t) \\ \bar{x}_1(t) \\ \bar{x}_2(t) \\ \vdots \\ \bar{x}_n(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I-H & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P(t) \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} F(t) \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & B_1 + \Delta B_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & B_2 + \Delta B_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & B_n + \Delta B_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{x}_1(t-\tau_1-\Delta\tau_1) \\ \bar{x}_2(t-\tau_2-\Delta\tau_2) \\ \vdots \\ \bar{x}_n(t-\tau_n-\Delta\tau_n) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

ki pa jo lahko zaradi nazornosti prikaza zapišemo tudi v naslednji strnjeni obliki:

$$X(t) = (A + \Delta A)X(t) + (I-H)P(t) + B(t) + \Delta B(t)X(t, \tau_1 + \Delta\tau_1, \tau_2 + \Delta\tau_2, \dots, \tau_n + \Delta\tau_n) - F(t), \quad (6)$$

pri zakonu ohranitve mase, pri začetnem pogoju in pri sekvenčnih pogojih, ki so ekvivalentni tistim, ki jih navajamo pri zapisu diferencialno-diferenčne enačbe. Analizo perturbacij v takšni ponudbeni verigi lahko seveda izvedemo ločeno za posamezne parametre, nato pa analiziramo še vzajemno delovanje motenj v obravnavanih treh parametrih oziroma njihovo poljubno kombinacijo.

Naš problem optimizacije lahko na tej stopnji razvoja sistema razvijemo na različne načine, pri čemer dobimo

različne kriterialne funkcije. V splošnem lahko minimaliziramo stroške, ki vključujejo stroške hlajenja oziroma dodatnega vzdrževanja, ali pa maksimiramo neto sedanjo vrednost oziroma tok anuitet toka pokvarljivega blaga, ki je ustrezno zmanjšan za stroške hlajenja oziroma dodatnega vzdrževanja. Oba pristopa sta rešena na abstraktni teoretični ravni v delu Bogataja *et al.* (2004), zato ju mi na tem mestu ne navajamo. Dodajmo pa, da je drugi pristop seveda ustrežnejši, saj je pristop minimalizacije stroškov statičen in ni sposoben zajeti dinamike, ki jo predstavljajo tokovi v hlajenih logističnih verigah. Velja tudi poudariti, da je v okviru drugega pristopa analiza v frekvenčnem prostoru oziroma v prostoru Lebesgueovih merljivih funkcij z integrabilnim kvadratom (L_2) matematično korektnjša od obravnave v časovni domeni, kar sta pokazala Bogataj in Bogataj (2004).

4 Osnove ekonometričnega ocenjevanja parametrov vzdrževanja pokvarljivega blaga v hlajenih logističnih verigah

V prejšnjem poglavju smo spoznali koncepcijo hlajene globalne logistične verige v svoji osnovni in perturbirani obliki. Ugotovili smo, da so za vzdrževanje pokvarljivega blaga v ponudbenih verigah ključne tri vrste parametrov: (1) časovni odlog τ_k , ki predstavlja čas, ki preteče v fazi aktivnosti k , preden se aktivira konzervacijski učinek; (2) koeficienti intenzivnosti kvarjenja blaga A_k v fazi aktivnosti k , ki v ponudbeni verigi predstavljajo prehod od dobrega k pokvarjenemu blagu ter (3) konzervacijski učinki $B_k(t)$, ki so odvisni od stanja blaga v sistemu in se aktivirajo z že omenjenim časovnim odlogom τ_k . Ker so konzervacijski učinki odvisni od časa ($t - \tau_k$), bi lahko analiza časovnega odloga τ_k precej zapletla našo obravnavo, zato vrednosti odloga aktiviranja konzervacijskega učinka v našem primeru zaradi nazornosti ne bomo posebej ocenjevali, temveč bomo upoštevali njegovo konstantno vrednost. Poglejmo si sedaj podrobneje preostala parametra vzdrževanja pokvarljivega blaga v hlajenih logističnih verigah, pri čemer izhajamo iz naše začetne linearne diferencialno-diferenčne enačbe (2) in upoštevamo realni Banachov prostor vseh zveznih linearnih map $\Lambda: \mathcal{R}^m \rightarrow \mathcal{R}^m$ (cf. Itô, 1993, 163-167), ki ga označujemo z $L(\mathcal{R}^m, \mathcal{R}^m)$.

Matrika koeficientov intenzivnosti kvarjenja blaga v fazi aktivnosti k v ponudbeni verigi, $A_k \in L(\mathcal{R}^m, \mathcal{R}^m)$, ima načeloma štiri elemente, ki predstavljajo stopnje prehoda med dobrim in pokvarjenim blagom brez hlajenja in/ali z uporabo sredstev konzerviranja. Zapišimo izraz $A_k \bar{x}_k(t)$ iz naše diferencialno-diferenčne enačbe (2) v svoji osnovni matrični obliki, ki velja za vsako fazo aktivnosti k :

$$A_k \bar{x}_k(t) = \begin{bmatrix} a_{11,k} & a_{12,k} \\ a_{21,k} & a_{22,k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1,k}(t) \\ x_{2,k}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11,k} x_{1,k}(t) + a_{12,k} x_{2,k}(t) \\ a_{21,k} x_{1,k}(t) + a_{22,k} x_{2,k}(t) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

kjer koeficienti $a_{ij,k}$ predstavljajo stopnjo prehoda ene vrste blaga v drugo in je i indeks dobrega blaga, j pa indeks pokvarjenega blaga. Ker se pokvarjeno blago ne spreminja

v dobro blago, mora biti $a_{12,k} = 0$, in ker slabo blago takšno tudi ostane, ne pride do prehoda iz ene vrste blaga v drugo, zato mora biti tudi $a_{22,k} = 0$. Ob koncu k -te faze razvoja logistične verige torej ostane $(1 + a_{11,k})x_{1,k}(t)$ dobrega blaga in $(1 + a_{21,k})x_{1,k}(t)$ pokvarjenega blaga, kjer je $a_{11,k} \leq 0$ in $a_{21,k} \geq 0$. Če s q_k označimo stopnjo intenzivnosti kvarjenja blaga v fazi aktivnosti k in upoštevamo zakon o ohranitvi mase v vsaki fazi aktivnosti, potem lahko zapišemo:

$$A_k \bar{x}_k(t) = \begin{bmatrix} -q_k & 0 \\ q_k & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1,k}(t) \\ x_{2,k}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -q_k x_{1,k}(t) \\ q_k x_{1,k}(t) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Koeficienti intenzivnosti kvarjenja blaga v fazi aktivnosti k v ponudbeni verigi, $a_{ij,k}$, se torej zreducirajo na stopnjo intenzivnosti kvarjenja blaga v fazi aktivnosti k , q_k , ki je lahko predmet neposrednega ekonometričnega ocenjevanja.

Tudi matrika konzervacijskih učinkov, ki so odvisni od stanja blaga v sistemu in se aktivirajo s časovnim odlogom τ_k , označena z $B_k(t) \in L(\mathcal{R}^m, \mathcal{R}^m)$, ima načeloma štiri elemente, ki predstavljajo ublažitev stopnje prehoda od ene vrste blaga v drugo s pomočjo hlajenja in/ali z uporabo sredstev konzerviranja. Zapišimo še izraz $B_k(t) \bar{x}_k(t)$ iz naše diferencialno-diferenčne enačbe (2) v svoji osnovni matrični obliki, ki velja za vsako fazo aktivnosti k :

$$B_k(t) \bar{x}_k(t) = \begin{bmatrix} b_{11,k}(t) & b_{12,k}(t) \\ b_{21,k}(t) & b_{22,k}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1,k}(t) \\ x_{2,k}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11,k}(t)x_{1,k}(t) + b_{12,k}(t)x_{2,k}(t) \\ b_{21,k}(t)x_{1,k}(t) + b_{22,k}(t)x_{2,k}(t) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

kjer so $b_{ij,k}$ spremembe deležev prehoda ene vrste blaga v drugo in je tudi tokrat i indeks dobrega blaga, j pa indeks pokvarjenega blaga. Ker se pokvarjeno blago ne spreminja v dobro blago, tudi ne more priti do sprememb v tem prehodu, zato mora biti $b_{12,k} = 0$. Ker slabo blago takšno tudi ostane, mora biti podobno tudi izraz $b_{22,k} = 0$. Ob koncu k -te faze razvoja logistične verige torej zaradi hlajenja oziroma uporabe sredstev konzerviranja ostane $b_{11,k}(t)x_{1,k}(t - \tau_k)$ več dobrega blaga in $b_{21,k}(t)x_{1,k}(t - \tau_k)$ manj pokvarjenega blaga, kot bi ga bilo brez postopkov vzdrževanja pokvarljivega blaga, pri čemer je $b_{11,k} \geq 0$ in $b_{21,k} \leq 0$. Če s r_k označimo stopnjo konzervacije v fazi aktivnosti k , ki vsebuje združene učinke hlajenja in uporabe sredstev konzerviranja, in upoštevamo zakon o ohranitvi mase v vsaki fazi aktivnosti, potem lahko ob upoštevanju konstantnega časovnega odloga τ_k v našem primeru zapišemo:

$$B_k(t) \bar{x}_k(t - \tau_k) = \begin{bmatrix} r_k & 0 \\ -r_k & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1,k}(t - \tau_k) \\ x_{2,k}(t - \tau_k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_k x_{1,k}(t - \tau_k) \\ -r_k x_{1,k}(t - \tau_k) \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Konzervacijski učinki, ki so odvisni od stanja blaga v sistemu in se aktivirajo s časovnim odlogom τ_k , $b_{ij,k}$ se

³ Odlog aktiviranja konzervacijskega učinka τ_k lahko razumemo tudi kot instrumentalno spremenljivko, s katero spreminjamo vrednosti ostalih dveh parametrov, tj. stopnjo intenzivnosti kvarjenja blaga q_k in stopnjo konzervacije pokvarljivega blaga r_k v fazi aktivnosti k .

torej zreducirajo na stopnjo konzervacije v fazi aktivnosti k , r_k , ki vsebuje združene učinke hlajenja ter uporabe sredstev konzerviranja in je lahko predmet posrednega ekonometričnega ocenjevanja.

Vsota (nepozitivnega) učinka intenzivnosti kvarjenja blaga $A_k \bar{x}_k(t)$ v fazi aktivnosti k in (nenegativnega) konzervacijskega učinka $B_k \bar{x}_k(t)$ v fazi aktivnosti k predstavlja (nepozitiven) skupni učinek vzdrževanja pokvarljivega blaga v fazi aktivnosti k v hlajenih logističnih verigah, ki je v diferencialno-diferenčni enačbi (2) izražen

kot tok pokvarljivega blaga $\bar{x} = \frac{d\bar{x}_k(t)}{dt}$. Pri tem je ob upoštevanju zakona o ohranitvi mase (nepozitiven) tok pokvarjenega blaga le zrcalna slika (nenegativnega) toka dobrega blaga, zato bomo v nadaljevanju za potrebe ekonometričnega ocenjevanja parametrov vzdrževanja pokvarljivega blaga v hladnih logističnih verigah analizirali le različico obravnavane diferencialno-diferenčne enačbe za dobro blago. Ob upoštevanju $A_k = q_k \leq 0$ in $B_k = r_k \geq 0$ dobimo tako:

$$\frac{dx_k(t)}{dt} = q_k x_k(t) + r_k x_k(t - \tau_k), \quad k = 1, \dots, n. \quad (11)$$

Ker je sistem ponudbene verige po fazah aktivnosti k že diskretiziran, bomo izvedli le še formalno diskretizacijo izraza (11) po času t , ki daje naslednjo diferenčno enačbo (cf. Sage in White, 1977, 96-98; Winston, 1994, 606-612):

$$t \rightarrow T \in \{T_1, T_2, \dots, T_E\} \quad \frac{\Delta x_{k,T}}{\Delta T} = x_{k,T+1} - x_{k,T}; \quad \Delta T = 1 \quad (12)$$

$$\Delta x_{k,T} = q_k x_{k,T} + r_k x_{k,T}(T - \Psi_k), \quad k = 1, \dots, n,$$

kjer predpostavljamo, da je diskretiziran časovni odlog Ψ_k v vsaki fazi aktivnosti k enak skozi vsa opazovanja T oziroma skozi celoten časovni horizont $T_1, \dots, T_E$.

Ob upoštevanju takšnega konstantnega časovnega odloga aktiviranja konzervacijskega učinka pa si lahko privoščimo še nadaljnjo poenostavitev in ponazorimo skupne učinke vzdrževanja pokvarljivega blaga v hlajenih logističnih verigah s stopnjo vzdrževanja tega blaga v fazi aktivnosti k , ki je enaka $s_k = q_k + r_k$; $s_k \leq 0$. Dobimo poenostavljeno diferencialno-diferenčno enačbo:

$$\frac{dx_k(t)}{dt} = s_k x_k(t, \tau_k), \quad k = 1, \dots, n, \quad (13)$$

ki jo analogno prejšnjemu primeru diskretiziramo v obliki diferenčne enačbe:

$$t \rightarrow T \in \{T_1, T_2, \dots, T_E\} \quad \frac{\Delta x_{k,T}}{\Delta T} = x_{k,T+1} - x_{k,T}; \quad \Delta T = 1 \quad (14)$$

$$\Delta x_{k,T} = s_k x_k(t, \Psi_k), \quad k = 1, \dots, n.$$

Seveda je razumljivo, da se stopnja vzdrževanja pokvarljivega blaga v fazi aktivnosti k , s_k , ob odsotnosti hlajenja in/ali uporabe sredstev konzerviranja zreducira na stopnjo intenzivnosti kvarjenja blaga v fazi aktivnosti k , q_k . V tem smislu lahko razumemo tudi (ne)posrednost ocenjevanja posameznega parametra vzdrževanja pokvarljivega blaga v hlajenih logističnih verigah. Stopnjo

intenzivnosti kvarjenja blaga v fazi aktivnosti k lahko neposredno ocenjujemo v obdobju pred uvedbo hlajenja oziroma pred uporabo sredstev konzerviranja, v obdobju po uvedbi ustreznih postopkov pa lahko neposredno ocenjujemo stopnjo vzdrževanja pokvarljivega blaga v fazi aktivnosti k . Pod predpostavko *ceteris paribus*, torej pri nespremenjenem odlogu aktiviranja konzervacijskega učinka, lahko potem kot razliko med stopnjo vzdrževanja pokvarljivega blaga in stopnjo intenzivnosti kvarjenja blaga izračunamo stopnjo konzervacije pokvarljivega blaga v fazi aktivnosti k .

5 Uvedba postopkov vzdrževanja pokvarljivega blaga v podjetju

Ekonometrično ocenjevanje parametrov vzdrževanja pokvarljivega blaga v hlajenih logističnih verigah bomo ponazorili na številskem primeru živilskopredelovalnega podjetja „X“, ki proizvaja in distribuira pokvarljiv prehranski proizvod „PP“ od izvora do ponudbenega trga v trifazni ponudbeni verigi⁴. Naše podjetje zanima, v kolikšni meri bo uvedba vzdrževanja pokvarljivega blaga v povprečju znižala njegovo stopnjo intenzivnosti kvarjenja oziroma koliko v povprečju znaša stopnja konzervacije pokvarljivega blaga v vsaki od celic aktivnosti v ponudbeni verigi. V ta namen bomo najprej podrobneje opisali našo logistično verigo in bazo podatkov, ki jo potrebujemo za ekonometrično ocenjevanje parametrov vzdrževanja, nato pa bomo ocenjevanje parametrov tudi dejansko izvedli in dobljene rezultate tudi interpretirali.

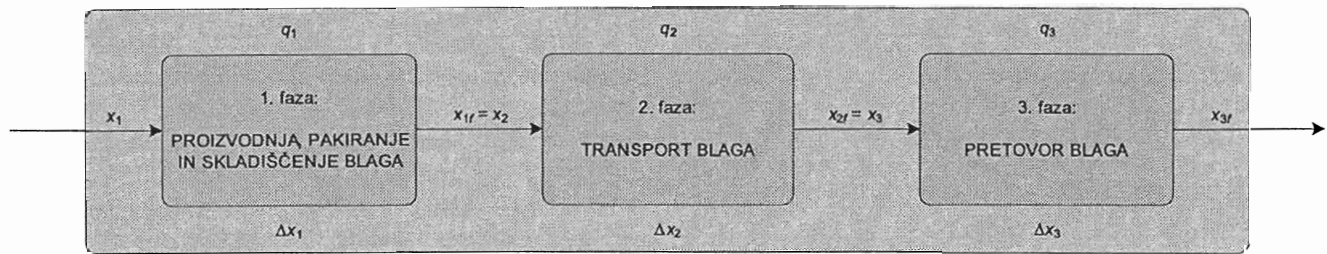
5.1 Opis hlajene logistične verige

Proizvod je v začetnem stanju T_0 že distribuiran v vse tri celice aktivnosti v skatlah po deset kosov, kot to prikazuje vektor $X(0)$, kar pomeni, da imamo $x_{1,T}$ škatel proizvoda v prvi celici aktivnosti. Ta predstavlja proizvodnjo, pakiranje in skladiščenje blaga v skladišču podjetja. $x_{2,T}$ škatel v drugi celici aktivnosti predstavlja transport blaga v tovornih kontejnerjih po cesti, $x_{3,T}$ škatel v tretji celici aktivnosti pa predstavlja pretovor na palete v skladišču glavnega kupca blaga. Ta je grosist in skrbi za nadaljnjo distribucijo. V časovnem horizontu $(-\Psi, 0)$ ni kvarjenja začetnega blaga. Takšno logistično verigo brez postopkov vzdrževanja prikazuje slika 1.

Ker gre za nujen prehranski proizvod, se opisana logistična veriga izvaja kontinuirano ves dan in skozi vse leto, mi pa tok blaga za potrebe ekonometričnega ocenjevanja parametrov vzdrževanja pokvarljivega blaga opazujemo diskretno v enournih časovnih intervalih ΔT_k . V vsaki časovni enoti opazovanja, torej v vsaki uri, vstopa v ponudbeno verigo različno število škatel $x_{1,T}$ našega prehranbenega proizvoda „PP“, kar je odvisno od velikosti naročil, ki dospevajo sproti in so računalniško upravljana. V vsaki fazi k ; $k = 1, 2, 3$ logistične verige se število škatel dobrih

⁴ V danem številskem primeru smo zaradi poenostavitve združili nekatere faze aktivnosti v ponudbeni verigi. Tako smo dobili tri faze aktivnosti, saj menimo, da zadostujejo to za ponazoritev ekonometričnega ocenjevanja parametrov vzdrževanja pokvarljivega blaga v hlajenih logističnih verigah.

Slika 1: Klasična logistična veriga od izvora do ponudbenega trga



proizvodov⁵ zmanjša zaradi kvarjenja pokvarljivega proizvoda s stopnjo intenzivnosti kvarjenja blaga q_k , oziroma ostane kvečjemu enako, če je $q_k = 0$. Ob koncu tretje faze naše logistične verige, v tretji celici aktivnosti (grosistovem skladišču), ostane $x_{3f,T} = x_{3,T} + \Delta x_{3,T}$; $\Delta x_{3,T} \leq 0$ škatel dobrih proizvodov, ki jih dobi podjetje „X“ in jih plača po fakturi. Zaradi zakona o ohranitvi mase je tudi jasno, da imamo v vsaki fazi toliko škatel s pokvarjenim blagom, kolikor jih preostane do začetnega stanja sistema v tej fazi, kar predstavlja nepozitiven tok pokvarljivega blaga. Formalna kontrola kakovosti blaga se nahaja ob koncu tretje faze ponudbene verige, podjetje „X“ pa količino proizvoda „PP“ tudi interno preverja ob koncu vsake faze aktivnosti k .

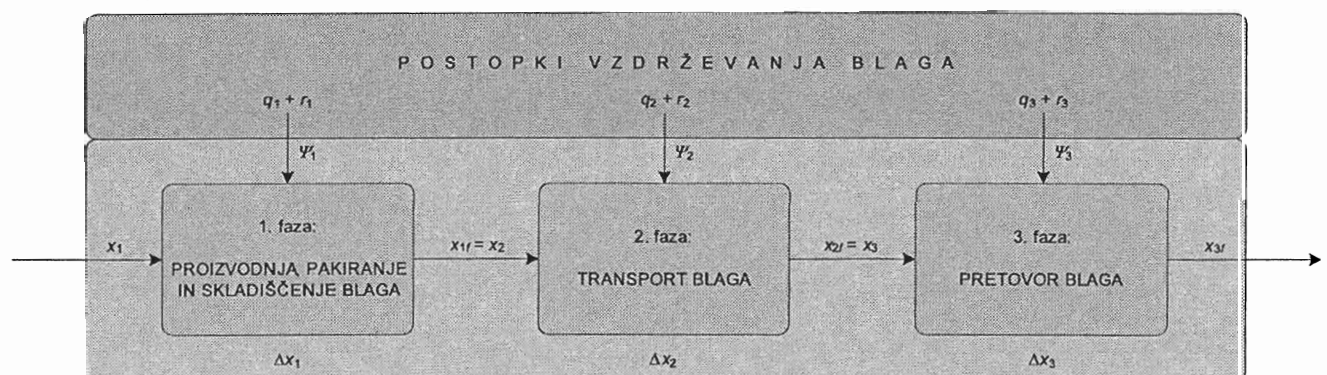
Ker je podjetje „X“ iz dobavnic in transportnih dokumentov ugotovilo, da se v posameznih fazah logistične verige kvari relativno velik del proizvoda „PP“ v primerjavi z ostalimi primerljivimi podjetji na trgu, v komunikaciji z grosistom in ostalimi kupci pa tudi, da utegne to škoditi njegovemu slovesu (angl. *goodwill*), se je odločilo v ponudbeno verigo v času T_k uvesti postopke vzdrževanja pokvarljivega blaga. V ta namen bo proizvodu v prvi fazi aktivnosti dodajalo konzervans ter v fazi transporta in v grosistovem skladišču poskrbelo za dodatno hlajenje, s čimer dobimo hlajeno logistično verigo, ki smo jo matematično predstavili v prejšnjih razdelkih. Takšna veriga je prikazana tudi na sliki 2. Dodatno vzdrževanje nastopi sekvenčno s časovnim odlogom Ψ_k v vsaki od celic aktivnosti k ; pri čemer se Ψ_k v času $[T_1, \dots, T_k, \dots, T_E]$ ne spreminja. Ponudbeno

verigo nehamo opazovati v končnem stanju T_E , ki je prav tako kot začetno stanje T_1 le eden od časovnih presekov sistema, v katerem je proizvod „PP“ distribuiran v vse tri celice aktivnosti.

5.2 Opis baze podatkov

Opisano ponudbeno verigo opazujemo dva zaporedna meseca v enournih časovnih intervalih. Kot že rečeno, je dano začetno stanje $X(0)$. Vsak interval potem predstavlja eno opazovanje, za katerega pridobimo podatke o: (1) številu škatel dobrega proizvoda $x_{1,k,T}$, (2) spremembi v količini dobrega proizvoda $\Delta x_{1,k,T}$, (3) številu škatel pokvarjenega proizvoda $x_{2,k,T}$, (4) spremembi v količini pokvarjenega proizvoda $\Delta x_{2,k,T}$, (5) stanju postopkov vzdrževanja pokvarljivega blaga $D_{k,T}$, ki zavzame vrednost 1, če je postopek vzdrževanja v dani fazi že stekel, in 0 v nasprotnem primeru ter (6) časovnem odlogu Ψ_k , ki predstavlja pretečeni čas v fazi, preden se aktivira konzervacijski učinek. Glede na poenostavitve, ki smo jih izvedli v tem prispevku, bomo za naše potrebe tokrat potrebovali le podatke o številu škatel dobrega proizvoda $x_{1,k,T} \rightarrow x_{k,T}$ in stanju postopkov vzdrževanja pokvarljivega blaga $D_{k,T} \rightarrow D_T$. Podatek o spremembi v količini dobrega proizvoda $\Delta x_{1,k,T} \rightarrow \Delta x_{k,T}$ pa v danem opazovanju dobimo enostavno kot razliko med stanjem ob koncu tekočega opazovanja in stanjem ob koncu prejšnjega opazovanja, $\Delta x_{k,T} = x_{k,T} - x_{k,T-1}$. Postopke vzdrževanja pokvarljivega blaga apliciramo v naši logistični verigi ob začetku drugega opazovanega meseca.

Slika 2: Hlajena logistična veriga od izvora do ponudbenega trga



⁵ Pokvarjen proizvod samodejno pomeni, da je škatla s tem proizvodom neuporabna ne glede na število preostalih dobrih proizvodov v škatli, zato se takšna škatla izloči in zavrže na stroške podjetja „X“.

Podatke za ta prispevka smo generirali s pomočjo različne metode Monte Carlo, ki temelji na splošnem algoritmu, opisanem pri Rubinsteinu (1981). Pri tem smo izhajali iz zahteve, da morajo biti generirani podatki normalno porazdeljeni in da zanje velja konkretna, vnaprej določena korelacijska matrika. Če uporabljeno metodo zgolj na kratko opišemo, potem najprej povejmo, da je treba s faktorsko proceduro generirati nabor spremenljivk, ki so ortogonalne in multivariatno normalno porazdeljene z aritmetično sredino, ki je enaka 0, in varianco, ki je enaka 1. Nato določimo ciljno, tj. korelacijsko matriko, in zanjo izračunamo Choleskyjevo faktorsko matriko. Le-ta je zgornja triangularna matrika, ki se obnaša kot kvadratni koren ciljne matrike. Ko generirani nabor spremenljivk pomnožimo s Choleskyjevo matriko, dobimo novo matriko podatkov. Standarden odklon, različen od 1, dobimo z množenjem te matrike z želeno vrednostno standardnega odklona; aritmetično sredino, različno od 0, pa dobimo s prištevanjem želene aritmetične sredine k tej matriki, potem ko smo že določili želeno vrednost standardnega odklona. S tem smo dobili potrebne spremenljivke za nadaljnjo analizo.

5.3 Ocenjevanje parametrov vzdrževanja pokvarljivega blaga

Kot že rečeno, nas zanima, v kolikšni meri je uvedba vzdrževanja pokvarljivega blaga v povprečju znižala stopnjo intenzivnosti kvarjenja blaga q_k oziroma koliko v povprečju znaša stopnja konzervacije pokvarljivega blaga r_k v vsaki od celic aktivnosti k proizvoda „PP“. V ta namen bomo parametre vzdrževanja pokvarljivega blaga v vsaki od faz ponudbene verige ekonometrično ocenili s pomočjo izrazov, razvitih v razdelku 4. V obdobju $[T_1, \dots, T_{s-1}]$ lahko opazujemo le stopnjo intenzivnosti kvarjenja blaga q_k , ki je enaka stopnji vzdrževanja pokvarljivega blaga s_k . V obdobju $[T_s, \dots, T_E]$ pa lahko opazujemo le stopnjo vzdrževanja pokvarljivega blaga s_k , ki ni več enaka stopnji intenzivnosti kvarjenja blaga q_k , saj učinkujejo dodatni postopki vzdrževanja pokvarljivega blaga (dodajanje konzervansa in hlajenje) preko stopnje konzervacije pokvarljivega blaga r_k , ki je na takšen način ne moremo neposredno opazovati oziroma je „ekonometrično neopazovana“.

Problem rešimo z uvedbo neprave spremenljivke D_T , ki zavzame vrednost 1 za opazovanja $T \geq T_s$ in vrednost 0 v preostalih opazovanjih (cf. Pyndick in Rubinfeld, 1998, 125-128). Če takšno nepravo spremenljivko pomnožimo s spremenljivko x_k in opazujemo celoten časovni horizont $[T_1, \dots, T_s, \dots, T_E]$, nam koeficient pri tvorjeni spremenljivki $D_T \cdot x_{k,T}$ izraža stopnjo konzervacije pokvarljivega blaga r_k . Formalno imamo v našem primeru opraviti z naslednjim sistemom populacijskih regresijskih funkcij⁶:

$$\begin{aligned}\Delta x_{1,T} &= \beta_{1,1}x_{1,T} + \beta_{2,1}D_T \cdot x_{1,T} + u_{1,T}, \\ \Delta x_{2,T} &= \beta_{1,2}x_{2,T} + \beta_{2,2}D_T \cdot x_{2,T} + u_{2,T}, \\ \Delta x_{3,T} &= \beta_{1,3}x_{3,T} + \beta_{2,3}D_T \cdot x_{3,T} + u_{3,T},\end{aligned}\quad (15)$$

kjer je $\Delta x_{k,T} \leq 0$ tok dobrih proizvodov pokvarljivega blaga „PP“ v fazi k v opazovanju T v številu škatel, $x_{k,T} \geq 0$ stanje količine blaga „PP“ ob koncu faze k v opazovanju T v

številu škatel, D_T že omenjena neprava spremenljivka ter $u_{k,T}$ normalno porazdeljena slučajna spremenljivka v fazi aktivnosti k in v opazovanju T . Regresijski koeficient $\beta_{1,k}$ torej predstavlja stopnjo intenzivnosti kvarjenja blaga v fazi k naše ponudbene verige, regresijski koeficient $\beta_{2,k}$ pa stopnjo konzervacije pokvarljivega blaga v fazi k ponudbene verige. Pri konstantnem odlogu aktiviranja konzervacijskega učinka Ψ_k nam vsota obeh regresijskih koeficientov predstavlja stopnjo vzdrževanja pokvarljivega blaga v fazi k hlajene logistične verige. Seveda velja tudi pogoj enakosti med začetno vrednostjo stanja v fazi k in končno vrednostjo stanja v fazi $k-1$, ki se tokrat glasi: $x_{k,T} = x_{k-1,T} + \Delta x_{k-1,T}$; $k = 2, 3$.

Kot smo že omenili, opazujemo opisano ponudbeno verigo mesec dni pred uvedbo postopkov vzdrževanja pokvarljivega blaga in mesec dni po uvedbi hlajenja in dodajanja sredstev za konzerviranje pokvarljivemu proizvodu „PP“. Meseca opazovanja sta v našem primeru julij in avgust, interval opazovanja ΔT pa je enak eni uri, zato imamo opravka s 1488 opazovanji⁷. Ob upoštevanju sistema populacijskih regresijskih funkcij (15) so rezultati ocenjevanja pripadajočega sistema vzorčnih regresijskih funkcij naslednji:

$$\begin{aligned}\Delta x_{1,T} &= -0,0082x_{1,T} + 0,0031D_T \cdot x_{1,T} + e_{1,T}, \\ &(-22,13) \quad (7,628) \quad s_e = 0,0515 \\ &R^2 = 0,9988 \\ \Delta x_{2,T} &= -0,0351x_{2,T} + 0,0189D_T \cdot x_{2,T} + e_{2,T}, \\ &(-18,61) \quad (5,418) \quad s_e = 0,0982 \\ &R^2 = 0,9952 \quad (16) \\ \Delta x_{3,T} &= -0,0162x_{3,T} + 0,0067D_T \cdot x_{3,T} + e_{3,T}, \\ &(-25,20) \quad (8,019) \quad s_e = 0,0890 \\ &R^2 = 0,9991\end{aligned}$$

kjer so v oklepajih pod ocenami regresijskih koeficientov $\beta_{j,j} = 1, 2, 3$ vrednosti pripadajočih t -statistik; $e_{k,T}$ predstavlja normalno porazdeljeno slučajno napako v fazi aktivnosti k ; $k = 1, 2, 3$ in v opazovanju T ; s_e predstavlja vrednost standardne napake ocene regresije; R^2 pa je modificirani determinacijski koeficient multiple regresije⁸.

5.4 Interpretacija vrednosti parametrov vzdrževanja pokvarljivega blaga

S pomočjo rezultatov ekonometričnega ocenjevanja, ki jih predstavlja izraz (16), lahko ugotovimo, da znaša stopnja intenzivnosti kvarjenja blaga v fazi proizvodnje, pakiranja

⁶ Regresijske enačbe danega sistema ne vsebujejo konstantnih členov, saj predpostavljamo, da so zajeti vsi dejavniki, ki relevantno vplivajo na odvisne spremenljivke (cf. Theil, 1971, str. 175-178). Takšna specifikacija sledi tudi iz narave diferenčnih enačb (12) in (14).

⁷ Obravnavana poletna meseca imata 31 dni, kar znese pred uvedbo postopkov vzdrževanja pokvarljivega blaga in po uvedbi teh postopkov po 744 ur oziroma ravno toliko opazovanj.

⁸ Pri ocenjenih kvazi enačbah obnašanja brez konstantnega člena za izračun vrednosti multiplega determinacijskega koeficienta R^2 uporabljamo formulo, ki je navedena v Pfajfar (1999, str. 63)

in skladiščenja blaga v skladišču podjetja $-0,0082$, kar pomeni, da se v tej fazi logistične verige v povprečju, *ceteris paribus*, brez postopkov vzdrževanja pokvari $0,82$ odstotka škatel našega pokvarljivega proizvoda. V fazi transporta blaga v tovornih kontejnerjih po cesti znaša stopnja intenzivnosti kvarjenja blaga $-0,0351$, kar pomeni, da se v tej fazi logistične verige v povprečju, *ceteris paribus*, brez postopkov vzdrževanja pokvari $3,51$ odstotka škatel našega pokvarljivega proizvoda. V fazi pretovora na palete v skladišču grosista pa znaša stopnja intenzivnosti kvarjenja blaga $-0,0162$, kar pomeni, da se v tej fazi logistične verige v povprečju, *ceteris paribus*, brez postopkov vzdrževanja pokvari $1,62$ odstotka škatel našega pokvarljivega proizvoda. Vidimo lahko, da nastane največja izguba našega pokvarljivega proizvoda „PP“ v fazi transporta blaga.

Po uvedbi postopkov vzdrževanja pokvarljivega blaga se izguba blaga pričakovano zmanjša, to zmanjšanje pa izraža stopnja konzervacije pokvarljivega blaga. Le-ta znaša v fazi proizvodnje, pakiranja in skladiščenja blaga v skladišču podjetja $0,0031$, kar pomeni, da se v povprečju, *ceteris paribus*, s postopki vzdrževanja zmanjša odstotek škatel v tej fazi logistične verige pokvarjenega proizvoda za $0,31$ odstotne točke. V fazi transporta blaga v tovornih kontejnerjih po cesti znaša stopnja konzervacije pokvarljivega blaga $0,0189$, kar pomeni, da se v povprečju, *ceteris paribus*, s postopki vzdrževanja zmanjša odstotek škatel v tej fazi logistične verige pokvarjenega proizvoda za $1,89$ odstotne točke. V fazi pretovora na palete v skladišču grosista pa znaša stopnja konzervacije pokvarljivega blaga $0,0067$, kar pomeni, da se v povprečju, *ceteris paribus*, s postopki vzdrževanja zmanjša odstotek škatel v tej fazi logistične verige pokvarjenega proizvoda za $0,67$ odstotne točke. Vidimo lahko, da je tudi zmanjšanje izgube našega pokvarljivega proizvoda „PP“ največje ravno v fazi transporta blaga, kar je pričakovano zaradi uvedbe hlajenja v tej fazi.

Poglejmo si za konec še stopnjo vzdrževanja pokvarljivega blaga, ki kaže „neto učinke“ kvarjenja in vzdrževanja pokvarljivega proizvoda pri konstantnem odlogu aktiviranja konzervacijskega učinka. Izračunamo lahko, da znaša vrednost tega parametra v fazi proizvodnje, pakiranja in skladiščenja blaga v skladišču podjetja $-0,0051$, v fazi transporta blaga v tovornih kontejnerjih po cesti $-0,0162$ ter v fazi pretovora na palete v skladišču grosista $-0,0095$. To pomeni, da se sedaj v fazi proizvodnje, pakiranja in skladiščenja blaga v skladišču podjetja v povprečju, *ceteris paribus*, pokvari le še $0,51$ odstotka škatel našega pokvarljivega proizvoda, v fazi transporta blaga v tovornih kontejnerjih po cesti $1,62$ odstotka škatel in v fazi pretovora na palete v skladišču grosista $0,95$ odstotka škatel proizvoda. Količinsko izgubo pokvarljivega proizvoda „PP“ smo torej precej zmanjšali; največ v drugi fazi ponudbene verige (kar za več kot 50 odstotkov), v povprečju pa za več kot 40 odstotkov.

Vendar pa količinsko zmanjšanje izgube pokvarljivega proizvoda „PP“ samodejno še ne pomeni izboljšanja poslovanja, čeprav je takšen izid zelo verjeten. V ta namen

bi morali izvesti vsaj klasično analizo stroškov in koristi uvedbe postopkov vzdrževanja v vrednostnem smislu oziroma, kar je še boljše, analizo neto sedanje vrednosti ali toka anuitet. Šele takrat bi lahko formalno ugotovili, ali je optimizacija dane ponudbene verige stroškovno ugodnejša od (na aktuarskem trgu dosegljive) zavarovalne police za primer nepričakovanih perturbacij v dani ponudbeni verigi. To pa seveda presega predstavitveni namen tega prispevka⁹.

6 Sklep

V članku preučujemo parametre vzdrževanja pokvarljivega blaga v hlajenih logističnih verigah, in sicer predvsem z vidika problematike njihovega ekonometričnega ocenjevanja, kar nam pride prav pri izbiri primernih postopkov vzdrževanja pokvarljivega blaga pa tudi pri analizi perturbacij v ponudbeni verigi. Pri tem izhajamo iz pristopa, ki s kombiniranjem input-output analize, Laplaceove transformacije in načrtovanja materialnih potreb prevede problem upravljanja hlajene verige v parametrični problem linearnega programiranja.

Ugotovili smo, da so ključni parametri vzdrževanja trije: odlog aktiviranja konzervacijskega učinka, stopnja intenzivnosti kvarjenja blaga ter stopnja konzervacije pokvarljivega blaga; slednja dva parametra lahko še združimo v stopnjo vzdrževanja pokvarljivega blaga. Vrednosti parametrov nam povedo, koliko danega proizvoda se v ponudbeni verigi v količinskem smislu pokvari in v kolikšni meri lahko postopki vzdrževanja (predvsem gre za hlajenje in dodajanje konzervansov) kvarjenje ublažijo. Ekonometrični pristop nam torej daje količinske učinke uvajanja postopkov vzdrževanja, ki jih je mogoče s pomočjo ustreznih cenovnih kategorij preko analize stroškov in koristi ali pa s pomočjo izračuna neto sedanje vrednosti oziroma toka anuitet prevesti na vrednostne učinke. Tako lahko ugotovimo, ali je uvedba postopkov vzdrževanja ob morebitnih motnjah v ponudbeni verigi ekonomsko racionalnejša od nakupa dosegljive zavarovalne police.

Literatura

1. Baldiwala, Q. (2001). Developing a global supply chain. *Logistics Spectrum* 35 (4): 25-29.
2. Bogataj, M. (1994). Optimal Control of Hereditary Inventory Systems with Short Time Conservation Effects. *International Journal of Production Economics* 35: 241-244.
3. Bogataj, L. in L. Horvat (1996). Stochastic Considerations of the Grubbström-Molinder Model of MRP, Input-Output Analysis and Multi-Echelon Inventory Systems. *International Journal of Production Economics* 45: 329-336.
4. Bogataj, M. (1996). Inventories is Spatial Models. *International Journal of Production Economics* 45: 337-342.

⁹ Postopke optimizacije stroškov in neto sedanje vrednosti pri stabilizaciji procesov kvarjenja v hlajenih logističnih verigah je mogoče najti pri Bogataju *et al.* (2004, str. 8-11).

5. Bogataj, M. (1998). Uncertainty of Delivery Determining the Market Area. V: *Input-Output Analysis and Laplace Transforms in Material Requirements Planning*, ur. R. W. Grubbström in L. Bogataj. Portorož : Faculty of Maritime Studies and Transport.
6. Bogataj, M. (1999). Inventory Allocation and Customer Travelling Problem in Spatial Duopoly. *International Journal of Production Economics* 59: 271-279.
7. Bogataj, L. in M. Bogataj (2001). *Minimization of Distribution Costs and Response Time in Global Supply Chain Defined in the Frequency Space. Annual Proceedings*. Orlando : The International Society of Logistics.
8. Bogataj, M. in L. Bogataj (2004). On the Compact Presentation of the Lead Times Perturbations in Distribution Networks. *International Journal of Production Economics* 88: 145-155.
9. Bogataj, M., L. Bogataj in R. Vodopivec (2004). *Stability of Perishable Goods in Cold Logistic Chains*. Ljubljana : Faculty of Economics.
10. Grubbström, R. W. (1967). On the Application of the Laplace Transform to Certain Economic Problems. *Management Science* 13 (7): 558-567.
11. Grubbström, R. W. in A. Molinder (1994). Further Theoretical Considerations on the Relationship Between MRP, Input-Output Analysis and Multi-Echelon Inventory Systems. *International Journal of Production Economics* 35: 299-311.
12. Grubbström, R. W. (1996). Stochastic Properties of a Production-Inventory Process with Planned Production Using Transform Methodology. *International Journal of Production Economics* 45: 407-419.
13. Grubbström, R. W. (1998). A Net Present Value Approach to Safety Stocks in Planned Production. *International Journal of Production Economics* 56-57: 213-229.
14. Grubbström, R. W. in O. Tang (B.I.). *Early Writings Related to the Topics of MRP and Input-Output Analysis*. Linköping : Linköping Institute of Technology.
15. Hale, J. K. (1977). *Theory of Functional Differential Equations*. New York : Springer-Verlag.
16. Itô, K. (1993). *Encyclopedic Dictionary of Mathematics. Second Edition*. Cambridge, MA: The MIT Press.
17. Pfajfar, L. (1999). *Ekonometrija na prosojnicah*. Ljubljana : Ekonomska fakulteta.
18. Pindyck, R. S. in D. L. Rubinfeld (1998). *Econometric Models and Econometric Forecasts. Fourth Edition*. New York : McGraw-Hill.
19. Rubinstein, R. Y. (1981). *Simulation and the Monte Carlo method*. New York : John Wiley & Sons.
20. Sage, A. P. in C. C. White (1977). *Optimum Systems Control. Second Edition*. Englewood Cliffs, NY : Prentice-Hall.
21. Theil, H. (1971). *Principles of Econometrics*. New York : John Wiley & Sons.
22. Winston, W. L. (1994). *Operations Research: Applications and Algorithms. Third Edition*. Belmont, CA : Duxbury Press.⁴ Obravnavana poletna meseca imata 31 dni, kar znese pred uvedbo postopkov vzdrževanja pokvarljivega blaga in po uvedbi teh postopkov po 744 ur oziroma ravno toliko opazovanj.