

UDK 330.105
Pregledni članak
Primljeno 17. 03. 1989.

Dr. BRANKO NOVAK,
Ekonomski fakultet Osijek

MODELIRANJE MULTIPLIKATORA I AKCELERATORA NA PRINCIPIMA SISTEMSKE DINAMIKE *

SAŽETAK:

U članku se polazi od Low verzije Samuelson — Hicks modela multiplikatora i akceleratora. Low verzija modela temelji se, na kritici Samuelson — Hicks modela polazeći od ideja sistemske dinamike. Tako postavljen model generira ponašanja koja se razlikuju od onih koja se pripisuju Samuelson — Hicks modelu. Kako i ova nova verzija modela (nazovimo je SHL modelom) ima određenih nedostataka to je izvršeno njeno daljnje proširenje. U proširenom SHL modelu uvedena je kontrola zaliha koja osigurava njihovo realistično ponašanje. Da bi to bilo moguće model je proširen stokom narudžbi te s nekoliko novih stokova informacija. Nadalje, u model je uvedena kontrola proizvodnje te dilacije u narudžbama, izvršenju narudžbi i proizvodnji. Sve dilacije definirane su kao eksponencijalne dilacije prvog reda, a simulacije su vršene s raznim srednjim vremenima dilacija kako bi se utvrdila osjetljivost ponašanja modela na izmjenjene srednje vrijednosti. Konačno, u SHL modelu izvršena je još i izmjena u definiranju željenog kapitala koji je vezan za željenu proizvodnju. U model je zatim uveden otpis i redefiniran dohodak uvođenjem promjene zalihe.

* Rad predstavlja dio istraživačkih rezultata potprojekta »Zakon vrijednosti u funkciji upravljanja razvojem« kojeg kao dio projekta »Fundamentalna istraživanja u ekonomiji« financira SIZ znanosti SR Hrvatske u razdoblju 1987—1990. godine.

1. SAMUELSON — HICKS — LOW MODEL MULTIPLIKATORA I AKCELERATORA

1.1. Samuelson — Hicks model

Samuelsonov članak¹ iz 1939. godine o interakciji između multiplikatora i akceleratora predstavljao je jedan od ranih pokušaja endogenog objašnjenja poslovnih ciklusa. Hicksova verzija ovog modela² iz 1950. godine postala je još poznatija od originala. Ovaj model sastoji se iz slijedećih jednadžbi:

$$(1) \quad Y_t = C_t + I_t + G_t$$

$$(2) \quad C_t = cY_{t-1}$$

$$(3) \quad I_t = v(Y_{t-1} - Y_{t-2})$$

gdje je:

Y — dohodak,

I — investicije,

G — državni izdaci (egzogeni varijabla),

c — granična sklonost potrošnji,

v — kapitalni koeficijent.

U modelu je vrijeme razdijeljeno u periode konačne dužine, ali nedefiniranog trajanja. Investicije u trećoj jednadžbi proizlaze iz pretpostavke da poduzeća podižu kapital na nivo koji smatraju odgovarajućim u odnosu na ukupni dohodak. S obzirom da je potrebno vrijeme da se kapital dovede na neki nivo, neto investicije tijekom razdoblja, t se određuju na temelju razlike između željenog i stvarnog kapitala na početku tog perioda. Željeni kapital ovisi o dohotku iz prethodnog perioda, koji je poznat kada se donose odluke, a ne o dohotku u toku perioda t koji nije poznat. Zato je željeni kapital X_t proporcionalan s Y_{t-1} a faktor proporcionalnosti je v. Time dobijemo

$$I_t = X_t - K_t = vY_{t-1} - K_t$$

Ovakav izraz može se napisati i za I_{t-1} pa se uvrštavanjem može dobiti (3). Velik broj ekonomskih teoretičara nastojao je re-

1) Samuelson, P. A.: Interactions between the Multiplier Analysis and the Principle of Acceleration. Review of Economic Statistics, vol. 21 (May), pp. 75—79, 1939.

2) Hicks, J. R.: A Contribution to the Theory of the Trade Cycles, London, Clarendon Press, 1950.

vidirati Samuelson — Hicks model da bi se proizvelo njegovo realistično ponašanje. Gilbert Low pristupio je kritici njihovog modela sa stanovišta sistemske dinamike.³

1.2. Kritika Samuelson — Hicks modela na principima sistemske dinamike

Low je ukazao da multiplikator-akcelerator model implicitno sadrži značajne akumulacije informacija i fizičkih tokova, ali eh eksplicitno ne prikazuje. Zato u model uvodi ove akumulacije. Naime odluke o potrošnji i investicijama temelje se na akumuliranom znanju, ili memoriji prošlog iskustva koje je sadržano u lagiranim (predeterminiranim) vrijednostima dohotka. Ako se u odluku o investicijama eksplicitno uvede informacijski nivo, uočava se izvjesna konfuzija u jednadžbi investicija u originalnom modelu. Naime, investicije I su proporcionalne razlici lagiranih (predeterminiranih) dohodaka Y_{t-1} i Y_{t-2} . Faktor proporcionalnosti je kapitalni koeficijent v . Dimenzije u jednadžbi investicija se ne slažu: investicije su tok kapitalnih jedinica u vremenu, dok je desna strana jednadžbe izražena u kapitalnim jedinicama. Ovo odražava pretpostavljenu sposobnost poduzeća da izvrše korekcije stokova kapitala na željeni nivo u jednom periodu. Ovakav period impliciran je, a ne eksplicitno prikazan u originalnom izrazu za investicije. U stvarnosti poduzeća ne mogu uvijek korigirati kapitalne stokove kada i kako žele. Za to je potrebno manje ili više vremena. No stvarne odluke o investicijama i potrošnji nisu samo pod utjecajem akumuliranih informacija, koje se pojavljuju u modelu, već također i fizičkih akumulacija koje predstavljaju raspoloživa dobra i proizvodni kapaciteti. Ignorirajući ove fizičke akumulacije Samuelson — Hicks model ignorira pojavu neravnoteže u nekim važnim ekonomskim varijablama. Na ovoj osnovi G. Low je izvršio izmjene u Samuelson — Hicks modelu.

Kao i u originalnom modelu dohodak INC^4 je u Low verziji modela suma potrošnje C , investicija I , i egzogenih državnih izdataka G . Potrošnja C proporcionalna je

3) Low, W. G.: The Multiplier-Accelerator Model of Business Cycles Interpreted from a Systems Dynamics Perspective, U Elements of the Systems Dynamics Method (editor Jorgen Randers), The MIT Press Cambridge, Massachusetts 1980, str. 74—94.

O idejama sistemske dinamike vidjeti više u Forrester, J. W.: Industrial Dynamics, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1969.

4) U tekstu su varijable obilježene kao i u navedenom radu G. Lova.

lagiranom dohotku, dok je lag dohotka predstavljen eksponencijalno izgladenim dohotkom $SINC$, a ne lagom od jednog perioda. Zato je jednadžba potrošnje

$$C = PC \cdot SINC;$$

gdje je PC sklonost potrošnji. Dohodak $SINC$ je eksponencijalno izgladena vrijednost tekućeg dohotka, pa potrošnja ovisi o vaganom dohotku svih prošlih razdoblja, a ne o dohotku prethodnog nedefiniranog razdoblja. Uz vrijeme izgladivanja dohotka TSI od 2 godine, približno 37 posto nivoa dohotka iz razdoblja prije više od dvije godine uključeno je u tekući »permanentni« dohodak. Potrošnja zajedno s izgladenim dohotkom čini dio petlje multiplikatora. Pravac kauzalnosti pozitivan je, što daje samoodržavajuće ponašanje. Međutim petlja teži određenom cilju jer je prirast unutar petlje (jednak je sklonosti potrošnji) manji od 1.

Neto investicije u Low modelu vrše korekciju stoka kapitala K na željeni nivo DK u toku normalnog vremena da se izvrši korekcija kapitala $NTAK$. Ovo vrijeme odražava period promatranja proteklih aktivnosti te period planiranja i organiziranja koje je potrebno da se izvrši promjena proizvodnih kapaciteta. Željeni kapital je proporcionalan izgladenom dohotku $SINC$, a faktor proporcionalnosti je kapitalni koeficijent KOR . Zato je jednadžba investicija

$$I = (DK - K) / NTAK, \text{ a željenog kapitala } DK = KOR \cdot SINC$$

Ovdje se izgladivanje informacija odnosi na prošle aktivnosti, koje su time obuhvaćene u izgladenom dohotku $SINC$. Ideja je kao i u originalnom modelu da se korekcija kapitala izvrši do nivoa koji ovisi o dohotku u proteklom razdoblju. Međutim, sada se koriste eksponencijalno opadajući ponderi za prošle informacije umjesto cijelog pondera na prethodni period. Uz eksponencijalno izgladivanje, te razumne vrijednosti za KOR i $NTAK$, jednadžba investicija više nije ekvivalentna ranijem akceleratoru.

U modelima koji se temelje na idejama sistemske dinamike period rješavanja modela DT nije u direktnnoj vezi s vremenskim dilacijama koje su ugrađene u različite odluke u modelu, već je njegova svrha samo u tome da se modelom izvrši simulacija u vremenu. Ako se DT približi nuli dobijemo linearne diferencijalne jednadžbe. Tako je Low odredio da je $DT = 0.0625$ godina. Ipak u modelima industrijske dinamike vrijeme rješavanja mora biti odabrano vodeći računa o dužini najkraće dilacije.⁵

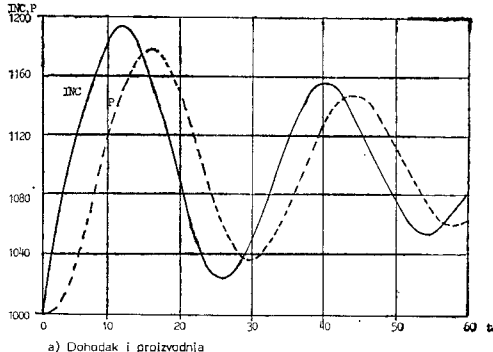
5) O tome više vidjeti u Forrester, J. W. idem, str. 403—406.

Ako se DT jako skрати produžava se vrijeme simulacije, a ako se previše poveća model može pokazati nestabilno ponašanje koje se ogleda u rastućim oscilacijama. Tako u Low verziji Samuelson — Hicks modela uz $DT=1$ sve varijable pokazuju nestabilno ponašanje te se dobiju oscilacije koje se s protokom vremena povećavaju na gore i dolje.

1.3. Rezultati simulacije sa Samuelson — Hicks — Low (SHL) modelom

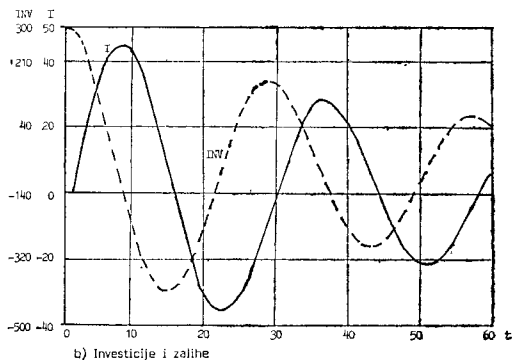
Da bi se pomoću SHL modela izvršila simulacija potrebno je model izbaciti iz ravnotežnog stanja.⁶ To se može učiniti promjenom vrijednosti neke egzogene varijable, naprimjer, državnih izdataka za određeni iznos. Low je simulaciju izvršio povećavajući državne izdatke za 10 posto odnosno 20 jedinica. Zbog ovog porasta raste dohodak, a izgladeni dohodak raste s pomakom od dvije godine. Viši izgladeni dohodak direktno utječe na potrošnju i investicije. Potrošnja raste u proporciji s vrijednošću izgladenog dohotka i dostiže svoj vrh dvije godine nakon dohotka. Investicije također rastu, ali dostižu svoj vrh dvije godine prije dohotka, budući da stok kapitala akumulira neto investicije i djeluje kroz taj stok tako da sprječava kontinuirani rast investicija. Pad investicija eventualno će utjecati na pad dohotka, čak i u vrijeme kada potrošnja još uvijek raste. Nastavak rasta potrošnje, koji odražava djelovanje multiplikatora, dodatno povećava dohodak i investicije čime daje dodatnu nestabilnost sistemu. Neto investicije padaju ispod nule kad stokovi kapitala premaše željeni nivo. Oscilacije ovih varijabli grafički su predstavljene slikom 1. Slika pokazuje za osnovne varijable opadajuće oscilacije s periodom od 28 godina.

Slika 1. Rezultati simulacije sa SHL modelom



a) Dohodak i proizvodnja

6) Početne vrijednosti varijabli i parametri u modelu su : $PC=0.8$; $SINC=1000$; $TSI=2$; $NTAK=2$; $KOR=2.25$; $G=400$; $INV=300$; $K=2250$; $TIME=0$; $DT=0.0625$



b) Investicije i zalihe

Ispitivanja na ovakvom modelu pokazuju da za razumne vrijednosti parametara, sistem pokazuje oscilacije, koje su znatno duže od oscilacija dužine tri do sedam godina, koje karakteriziraju kratkoročne poslovne cikluse. Prema tome, uz razumne vrijednosti parametara, interakcije multiplikatora i akceleratora, u strukturi koja eksplicitno izražava dva stoka koja su implicirana originalnim modelom, ne mogu dati kratkoročne fluktuacije koje proizvodi originalni model. Odnosno, period oscilacija od 28 godina dobiven SHL modelom dovodi u pitanje mišljenje da kapitalne investicije preko akceleratora, kombiniranog s efektima multiplikacije, podrazumijevaju kratkoročne poslovne cikluse. Ovako dug period više je karakteristika Kuznjecovih 15—25 godina dugih ciklusa u rastu kapitala i proizvodnje.

1.4. Analiza osjetljivosti SHL modela

U modelima koji se temelje na idejama sistemske dinamike veliku važnost za ponašanje modela imaju vrijednosti parametara. U SHL modelu značajnu ulogu igraju parametri TSI-vrijeme izgladivanja dohotka i NTAK-vrijeme potrebno da se izvrši korekcija kapitala. Da bi se ispitalo utjecaj vrijednosti ovih parametara na ponašanje modela, izvršene su simulacije u kojima je varirana njihova vrijednost.

Povećanjem TSI na 3 uz $NTAK=2$ i $PC=0.8$ modelom dobije se znatno blaže oscilatorno ponašanje svih varijabli. Ovom promjenom dobije se rast koji se nakon 30-tog perioda stabilizira na ravnotežnoj razini. Ako se TSI poveća na 5 uz iste ostale uvjete osnovne varijable modela pokazuju rast po logističkoj krivulji prema ravnotežnoj razini, koja je ustvari gornja asimptota ovih krivulja. Smanji li se TSI na 1, onda u simulaciji do 30-tog perioda imamo relativno male promjene varijabli, a da bi na

kon toga promjene postale eksplozivno ve like, pokazujući time veliku nestabilnost po našanja sistema.

Ako parametar NTAK povećamo na 3 uz $TSI = 2$ i $PC = 0,8$, u ponašanju modela se i datlje uočavaju oscilacije varijabli, ali uz nižu amplitudu i veći period. Ako se NTAK smanji na 1, varijable modela pokazuju rastuće oscilacije koje se neprekidno povećavaju. Daljnje smanjenje NTAK ispod 1 unosi dodatnu nestabilnost u ponašanje modela koji, nakon izbacivanja modela iz stabilnog stanja, pokazuje oscilatorno kretanje varijabli oko stabilnog stanja da bi nakon 30-tog perioda došlo do eksplozivnih oscilacija.

U svojim simulacijama Low je pretpostavio graničnu sklonost potrošnji $PC = 0,8$. Ako u modelu izvršimo izmjenu⁷ i uvedemo $PC = 0,6$ te povećamo državne izdatke da bi uz ostale iste uvjete na početku simulacije imali ravnotežu, ponašanje svih varijabli pokazuje slične oscilacije, ali su amplitude i period znatno kraći. Period kod stokova kapitala, naprimjer, iznosi oko 20 godina. Karakteristično je da se sve oscilacije sada daleko brže prigušuju. Dohodak postiže ravnotežnu razinu kod 1050 (početna vrijednost dohotka je 1000). Povećanje dohotka jednako je umnošku porasta državnih izdataka od 20 i multiplikatora uz sklonost potrošnji 0,6. U ovako izmijenjenom modelu zalihe padaju blizu nule te se stabiliziraju na pozitivnoj razini. No da bi se izbjeglo da zalihe padnu ispod nule, nije dobro ići na traženje pogodnih vrijednosti parametara kojima se to osigurava, već treba izvršiti izmjene u strukturi modela uvođenjem kontrole zaliha.

2. AKUMULIRANJE ZALIHA U SHL MODELU

U Low verziji Samuelson — Hicks modela zalihe se tretiraju kao akumulacije razlike između proizvodnje i tri komponente dohotka koje se, prema tome, tretiraju kao tokovi kupovina. Ovako postavljen model uključuje dakle pasivno akumuliranje zaliha, jer je proizvodnja eksplicitno definirana kao umnožak proizvodnog kapaciteta u obliku akumuliranih stokova kapitala i inverzne vrijednosti kapitalnog koeficijenta. U ovoj verziji modela zalihe zato mogu pasti ispod nule što se i događa ako je $PC = 0,8$.

⁷ Low je za simulaciju koristio simulacijski program DYNAMO. S obzirom da na raspolaganju nije stajao ovaj program model je programiran u BASICU uz poznate nedostatke takvog postupka. No jednostavnost modela omogućila je da se ovaj posao lako i sigurno obavi. Kako sistemska dinamika podrazumijeva duge simulacije uobičajeno je rezultate simulacije grafički prikazati. Da bi se dobili kvalitetni grafički prikazi korišten je program LOTUS 1—2—3. Dužina simulacije bila je ista kao i u radu G. Lova — 60 godina.

Ove slabosti bio je svjestan i Low, ali model nije dalje proširivao. Naime, ako se u ovaj model uključi razina — stok zaliha onda to, kao i uključivanje drugih stokova, podrazumijeva u sistemske dinamici realističnu kontrolu tog stoka. Kontrola zaliha bi u ovom slučaju zahtijevala određivanje željene razine zalihe te kontrolu ulaznog toka (proizvodnje) i izlaznog toka sa zalihe. Ovim se postupno udaljavamo od početnog koncepta multiplikatora — akceleratora. Kada su u pitanju motivi držanja robe na zalihama mogu se prema Madžaru identificirati slijedeći:⁸

- Transakcioni motiv
- Špekulativni motiv
- Amortizacioni motiv
- Proizvodni motiv
- Motiv akumulirane tražnje.

Upravo u ovom pravcu pokušat će se u daljnjem radu izvršiti izmjene u SHL modelu kako bi se barem elementi ovih motiva ugradili u model.

2.1. Akumuliranje narudžbi u modelu

Ako se u model uvede kontrola zaliha i proizvodnje, mora se uvesti i stok narudžbi te neki novi stokovi informacija. Tokove narudžbi formiraju dijelovi dohotka koji pripadaju potrošačima, državi i investitorima. Međutim, oni ne nastaju odmah po primitku tih dijelova dohotka, već s izvjesnim kašnjenjem — dilacijom.⁹ Dilacije, naravno, mogu imati razne forme, no jedna moguća je eksponencijalna dilacija prvoga reda. Karakteristika eksponencijalne dilacije prvog reda je da ona ima trenutni izlaz, koji je na odgovarajući način disperziran. Ako bismo uzeli dilaciju trećeg ili višeg reda dobili bismo izlaz koji je donekle odložen, ali je zato koncentriraniji, što nije dovoljno dobar opis za ovu situaciju. Izbor pravog oblika te srednjeg vremena dilacije zahtijeva dodatnu analizu, no sam model može pokazati koliko je osjetljiv na promjene u obliku i srednjoj vrijednosti dilacija. U modelu koji je proširen stokom narudžbi NAR, ulaz u stok narudžbi je izlaz — tok SNAR iz eksponencijalne dilacije prvog reda DNAR čije srednje vrijeme je DN. Ulaz u dilaciju DNAR je tok tri kategorije dohotaka koje zajedno čine dohodak INC.

⁸ Madžar, Lj: Teorija i modeli agregatne tražnje, Informator, Zagreb 1982, str. 230—232.

⁹ engl. delay. O tipovima dilacija vidjeti više u Forrester, J. W. idem, str. 86—93 i 418—421.

2.2. Kontrola zaliha

Kontrola zaliha podrazumijeva definiranje željene razine zaliha. Prirodno je željenu razinu zaliha odrediti u proporciji prosjeka narudžbi — prodaje odnosno prosječnog opsega transakcija u privredi. To znači da se pretpostavlja da privreda ne mijenja razinu zaliha zbog kratkotrajnih fluktuacija potražnje, već samo u slučaju kada te fluktuacije imaju trajniji karakter. U proširenom SHL modelu željena razina zaliha je određena kao proporcija dvogodišnjeg izgladenog prosjeka ulaznog toka narudžbi PRNAR. Time je u model uveden dodatni stok informacija. Željena razina zalihe ima utjecaja na dilaciju u izlazu proizvoda sa zalihe DZ. Naime, ako je željena zaliha veća od stvarne zalihe to mora produžiti vrijeme isporuke proizvoda koje se tretira kao dilacija. Za ovu dilaciju možemo pretpostaviti da ima neki minimum i neko prosječno vrijeme koje bi postojalo ako su stvarna i željena zaliha jednake. Ukoliko bi stvarne zalihe bile manje od željenih povećala bi se dilacija u zadovoljenju narudžbi. U modelu se pretpostavlja da bi to povećanje dilacije bilo u omjeru željene (ZZ) i stvarne zalihe (INV).

Izlazom dobara sa zalihe ispunjavaju se narudžbe. Zato se u model mora uvesti odluku o visini izlaza. Očigledno da ova odluka mora ovisiti, između ostalog, i o razini neispunjenih narudžbi NAR. Visina narudžbi daje osnovu za određivanje pokušaja izlaza POKIZL — stope izlaza koja će biti pokušana. Ova varijabla se dobije kao odnos razine neizvršenih narudžbi NAR i dilacije u izvršenju narudžbi DZ. Ukoliko bi zaliha INV u datom trenutku bila manja od POKIZL javile bi se negativne zalihe. Da se to ne bi dogodilo, u modelu treba definirati onu stopu izlaza za zalihe koja sprečava da zaliha padne ispod nule. Ova stopa — NEGIZL je definirana kao odnos stvarne razine zalihe INV i intervala rješavanja modela DT. Odluka o izlazu — isporukama sa zalihe dobije se usporedbom varijabli POKIZL i NEGIZL. Ovaj izlaz automatski znači i smanjenje razine neizvršenih narudžbi NAR.

2.3. Kontrola proizvodnje

Stok zaliha prazni se ispunjenjem narudžbi, a puni ulazom proizvedenih proizvoda. Ako je kapacitet proizvodnje potpuno iskorišten, onda se proizvodnja obavlja po stopi $P=(1 - KOR) \times K$, kao i u Low verziji modela. No kapacitet ne mora biti potpuno iskorišten. To će ovisiti o željenoj proizvodnji ZPR. Željena proizvodnja prvenstveno će ovisiti o ulaznom toku narudžbi, a ovdje je to izgladeni prosjek ulaznog toka narudžbi PRNAR. No na željenu proizvodnju utjecat će i razlika između stvar-

nog i željenog nivoa zaliha utjecat će na povećanje željene proizvodnje. U modelu se uzima da je taj dodatak na željenu proizvodnju jednak razlici između izgladenog prosjeka željenih zaliha SZZ i izgladenog prosjeka stvarnih zaliha PINV. Postojanje odgovarajućeg stoka narudžbi također je faktor koji utječe na željenu proizvodnju. Zato na željenu proizvodnju utječe razlika između izgladenog prosjeka narudžbi PNAR i normalne razine narudžbi NNR. Time u model uvodimo još dva stoka informacija — PINV i PNAR. Ovako definirana željena proizvodnja korigira se dilacijom potrebnom da se izvrši prilagođavanje stvarne razine zaliha i narudžbi željenim razinama.

Proizvodnja se sada tretira kao tok koji se kontrolira odlukom o brzini toka. Ova odluka zahtijeva usporedbu željene proizvodnje i proizvodnog kapaciteta. Ako je proizvodni kapacitet veći od željene proizvodnje, onda će proizvodnja biti na razini željene proizvodnje, u protivnom bit će na razini kapaciteta. Ustvari, ovom odlukom je definiran ulazni tok naloga proizvodnji. S obzirom na ciklus trajanja proizvodnje, proizvodnja je predstavljena kao dilacija, i to eksponencijalna dilacija prvog reda. Izlaz iz ove dilacije je stopa proizvodnje PROIZ kojom se popunjava stok zaliha INV.

2.4. Određivanje željene razine kapitala

S obzirom da su u model uvedene ove dopune moguće je sada model dodatno izmijeniti i u dijelu kojega je konstruirao Low. U njegovoj verziji željeni kapital DK ovisi o SINC — izgladenom prosjeku dohotka. No proizvođači u odlučivanju o investicijama željeni kapital vezuju za željenu proizvodnju. Dopunama modela ova proizvodnja se definira, pa se na toj osnovi može izvršiti izmjena u modelu. Kako se željena proizvodnja mijenja iz razdoblja u razdoblje potrebno je kod dugoročnih odluka, kakva je odluka o investicijama, željeni kapital vezati za prosjek željene proizvodnje u nekom proteklom razdoblju. Taj prosjek je izgladeni prosjek željene proizvodnje SZPR. Ako ovu varijablu pomnožimo s kapitalnim koeficijentom dobijemo visinu stoka kapitala SZPRK koji je potreban da bi se proizvela izgladena željena razina proizvodnje. Ukoliko je ova varijabla veća od raspoloživog stoka kapitala željeni kapital bit će jednak ovoj varijabli. U protivnom stok kapitala neće se povećavati.

Prema tome, proširenje SHL modela dodatnim stokovima (informacijskim, narudžbi, zaliha) te dodavanjem odgovarajućih mehanizama kontrole fizičkih tokova došli smo u poziciju da možemo izvršiti dodatne promjene u SHL modelu. Sama kontrola fizičkih tokova podrazumijeva odlučiva-

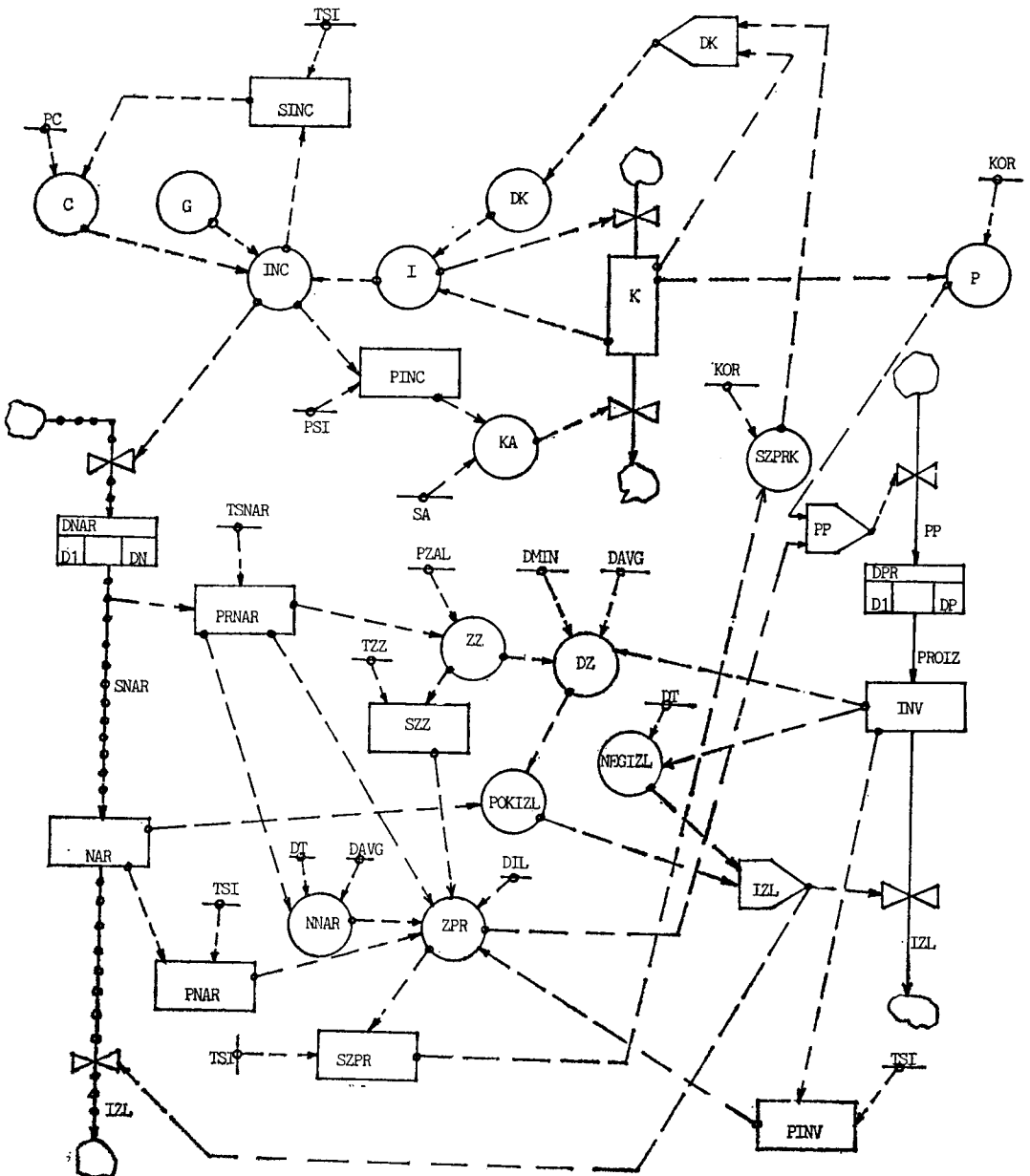
nje koje se temelji na uvažavanju stanja sistema u bližoj ili daljoj prošlosti. Ova stanja odražavaju se u informacijama (stokovima informacija) kojima donosioci odluka raspolažu. Stanja u informacijama podložna su neprekidnim promjenama na taj način što se neprekidno dobivaju nove informacije, a iz razmatranja izbacuju starije.¹⁰ To se odražava u izglađenim prosjecima određenih varijabli. Prema tome, mo-

deli koji se temelje na idejama systemske dinamike eksplicitno u svojoj strukturi sadrže odluke kojima se kontroliraju tokovi između odgovarajućih stokova.

Ovako dopunjen model prikazan je grafički na slici 2. U ovom prikazu korišteni

10) Ovo Forrester naziva »psychological smoothing« — psihičko izglađivanje iskustva u Forrester, J. idem. str. 407.

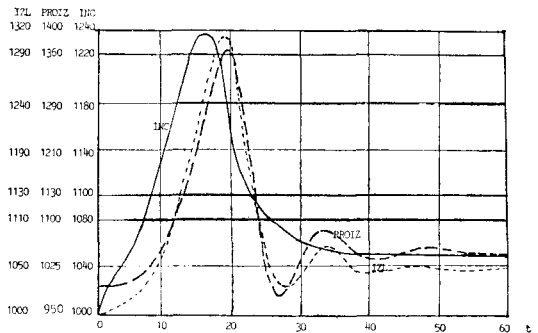
Slika 2. Blok-dijagram proširenog SHL modela



su simboli koji su uobičajeni u modelima koji se temelje na idejama sistemske dinamike. Pravokutnici prikazuju varijable stokova, kružnice pomoćne varijable, pune linije fizičke tokove, a isprekidane linije tokove informacija. Točke odluka o tokovima prikazani su simbolom ventila što je sistemska dinamika preuzela iz regulacione tehnike.

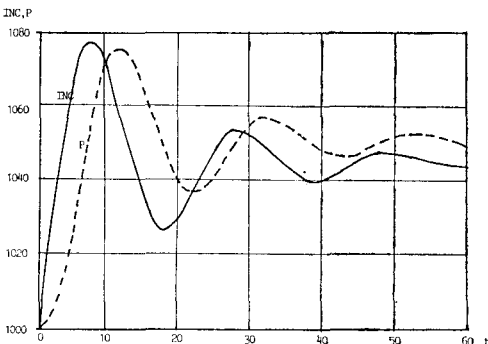
3. REZULTATI SIMULACIJE S PROŠIRENIM SHL MODELOM

Okvako proširen model nakon provođenja u odgovarajući kompjuterski program može se upotrijebiti za simulacije. Plan¹¹ simulacije s modelom podrazumijevao je izbacivanje modela iz ravnoteže povećanjem državnih izdataka za 20 u periodu $T=2$. Ovdje se pod periodom podrazumijeva godina, a ne period rješavanja model DT. Svi parametri modela imali su iste vrijednosti kao i u SHL modelu, s tim da je uzet $PC=0.6$, pa je zbog toga u ravnotežnom stanju $G=400$. Dužina simulacije bila je 60

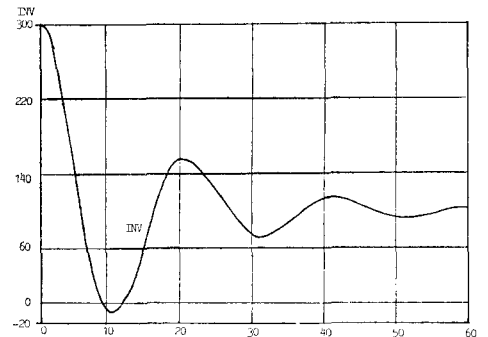


c) Dohodak, proizvodnja i izlaz sa zalihe u simulaciji s proširenim modelom

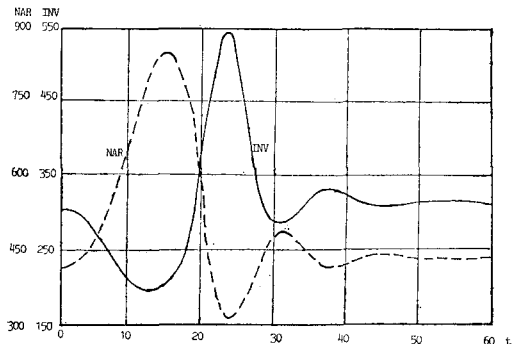
Slika 3. Rezultati simulacije s proširenim SHL modelom



a) Dohodak i proizvodnja u kontrolnoj simulaciji



b) Zalihe u kontrolnoj simulaciji



d) Zalihe i narudžbe u simulaciji s proširenim modelom

godina kao i u SHL modelu. Rezultati simulacije grafički su prikazani za neke osnovne varijable slikom 3. Uvođenjem dodatnih informacijskih i fizičkih stokova u model dobili smo i promjene u ponašanju ovog u odnosu na SHL model. Ako pogledamo varijablu INC-dohodak uočavamo da ona ima višu amplitudu vrijednosti nego u kontrolnoj simulaciji.¹² Period oscilacije sada se povećao na 30 godina, ali nakon tridesete godine varijabla se stabilizirala na ravnotežnoj razini koja je ovisna o umnošku multiplikatora i porasta državnih izdataka. Zalihe u ovom modelu ne mogu pasti ispod 0, i nakon dvije veće oscilacije na gore i dolje se stabiliziraju. Za ovu stabilizaciju potrebno je gotovo 45 godina. Slično se ponaša i stok narudžbi.

11) Pod planom se podrazumijeva određena kombinacija kontroliranih faktora u simulacijskom eksperimentu.

12) Pod kontrolnom simulacijom ili kontrolnim planom podrazumijeva se simulacija s modelom u kojem je $PC=0.6$, $G=400$, a svi ostali parametri i početne vrijednosti varijabli su kao i kod SHL modela. To znači da model nije proširen kontrolom zaliha i drugih fizičkih tokova.

3.1. Analiza osjetljivosti modela na dužinu dilacija

U proširenom SHL modelu pretpostavljen je određeni tip i srednje vrijednosti dilacija. Ove pretpostavke, naravno, imaju odgovarajući utjecaj na ponašanje modela u toku simulacije. No modeli koji su izgrađeni na idejama sistemske dinamike imaju manju osjetljivost na vrijednosti parametara i početne vrijednosti varijabli, a daleko veću osjetljivost na promjene u strukturi modela. Takva svojstva pokazuje i prošireni SHL model. Ovo se može pokazati izmjenama u srednjim vrijednostima dilacija u izvršenju narudžbi DZ, dilacije u naručivanju DN i dilacije u vremenu potrebno da se stvarna razina narudžbi i zaliha dovede na željeni nivo DIL.

Ako se dilacija DZ poveća produženjem srednje vrijednosti dilacije DAVG s 0,35 na 0,7 uz povećanje NAR i PNAR na 762.5 radi ravnoteže na $T=0$, sve varijable nakon $T=2$ (nakon izbacivanja modela iz ravnoteže) pokazuju isti tip i period oscilacije kao i u proširenom SHL modelu. Međutim, oscilacije imaju nešto niže amplitude. Smanjenjem srednjeg vremena dilacije DIL u podizanju razine i razine zaliha na željeni nivo, s dvije na jednu godinu, dobiju se oscilacije simuliranih varijabli čiji tip i period je isti kao i u proširenom SHL modelu. Međutim, amplitude oscilacija se povećavaju, a prije dostizanja stabilnog stanja varijable pokazuju oscilacije kraćeg perioda i niže amplitude koje se prigušuju na ravnotežnoj razini. Povećanje srednjeg vremena dilacije u naručivanju DN s 0,75 na 1,5 godina daje u simulaciji oscilacije varijabli s istim periodima i nižim amplitudama. Ove oscilacije brže se prigušuju na ravnotežnom nivou. Prema tome, može se zaključiti da prošireni SHL model ima malu osjetljivost na promjene u specifikaciji srednjih vrijednosti dilacija. Model je, međutim, vrlo osjetljiv na promjene u strukturi veza između odgovarajućih fizičkih i informacijskih tokova i stokova. Dogradnja modela dodavanjem novih stokova, ili dezagregiranjem postojećih dovela bi do odgovarajućih promjena u ponašanju modela.

3.2. Dopuna modela redefiniranjem dohotka i uvođenjem zamjene

Model koji je ovako modificiran može se dalje dopuniti izmjenom u definiciji dohotka te uvođenjem zamjene. Naime, dohodak se može definirati kao zbroj C, I i G te promjene zalihe ΔINV . S obzirom da je u proširenom modelu uvedena kontrola zaliha, koja osigurava da zalihe ne pad-

nu ispod nule, ima mjesta ovakvoj dopuni. Kada se model dopuni na ovaj način simulacijom se dobiju vrlo slični rezultati kao i u modelu koji nema ovu dopunu, ali sve varijable imaju nešto niže amplitude uz identičan period oscilacija.

Složeniji je problem izmjene uvođenjem zamjene. Naime, zamjenu možemo vezati za visinu raspoloživog kapitala K, ili za visinu dohotka. Investicije se sada dobiju dodavanjem zamjene neto investicijama koje se određuju u modelu na već opisani način. Pretpostavimo da je zamjena vezana uz visinu K i da je vrijeme trajanja K 20 godina. Tada je godišnji otpis 5%. Da bi model bio do $T=2$ u stabilnom stanju treba odrediti odgovarajuću vrijednost za $G(G=287.5)$. Nakon $T=2$ model se izbacuje iz ravnoteže povećanjem G za 20. Simulacijom se dobiju simulacije varijabli koje su vrlo slične po obliku i periodičnosti s proširenim SHL modelom. Međutim sve oscilacije imaju značajno veće amplitude, a stabilizacija se događa na višoj razini vrijednosti varijabli. U ovoj verziji modela INC stabilizira se na 1239. Do toga dolazi zato što je zamjena vezana za K, koji se novim investicijama povećava, pa se i zamjena na taj način povećava. Ako se tako povećana zamjeno pomnoži s multiplikatorom, onda se dobije veličina prirasta dohotka iznad ravnotežne razine u modelu bez otpisa.

Druga mogućnost definiranja zamjene je njeno vezivanje u određenoj proporciji za prosječni godišnji dohodak PINC. Time u model uvodimo novi stok informacija. Ako izvršimo simulaciju s ovako dopunjenim modelom, onda dobijemo oscilacije varijabli čiji period je isti kao i u modelu bez otpisa, ali su amplitude znatno više, dok se varijable stabiliziraju na nešto višoj razini.

4. UMJESTO ZAKLJUČKA

SHL model proširen kontrolom zaliha, proizvodnje, narudžbi i novim informacijskim stokovima pokazuje oscilatorno ponašanje svih varijabli, ali period oscilacija nije dužine tri do sedam godina kakve imamo kod kratkoročnih poslovnih ciklusa. Time su samo potvrđeni osnovni nalozi Low verzije Samuelson — Hicks modela. I ne samo da nisu dobivene kratkoročne oscilacije nego su spomenutim proširenjem modela produžene oscilacije osnovnih varijabli. Međutim, ova proširenja modela utjecala su i na bržu stabilizaciju vrijednosti varijabli nakon prestanka prve oscilacije, koja je, pak uvjetovana izbacivanjem modela iz ravnoteže. Ove početne oscilacije imaju i znatno višu amplitudu nego oscilacije u SHL modelu. Prema tome, model koji sadr-

ži samo realne veličine i pored dodavanja informacijskih tokova ne daje očekivane kratkoročne oscilacije.

Prošireni SHL model koji je ovako definiran morao bi se u daljnjem radu dopuniti tako da se izvrši njegovo postupno dezagregiranje. Time bi se model mogao znatnije približiti realnosti. Osim dezagregiranja u model bi trebalo uvesti i nove sektore. Dezagregiranje sektora proizvodnih i distributivnih aktivnosti išlo bi u pravcu uvođenja proizvodnje potrošnih dobara, proiz-

vodnje kapitalne opreme, poljoprivredne proizvodnje, proizvodnje energije, transporta i građevinskih aktivnosti. U model bi trebalo ugraditi i faktore kao što su željena ekspanzija ili kontrakcija proizvodnih kapaciteta te kratkoročna i dugoročna očekivanja rasta. U model bi trebalo slijedom ovih promjena uvesti sektor zaposlenih, domaćinstava, vanjske trgovine, stanovništva, financija i države. Tek na osnovi ovakvih dopuna modela mogli bi očekivati da model generira uz dugoročne i kratkoročne nestabilnosti.

LITERATURA:

1. *Forrester, J. W.*: Industrial Dynamics, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1969.

2. *Hicks, J. R.*: A Contribution to the Theory of the Trade Cycles, London, Clarendon Press, 1950.

3. *Low, W. G.*: The Multiplier-Accelerator Model of Business Cycles Interpreted from a Systems Dynamics Perspective, u

Elements of the Systems Dynamics Method (editor Jorgen Randers), The MIT Press Cambridge, Massachusetts, 1980, str. 74—94.

4. *Madžar, Lj.*: Teorija i modeli agregatne tražnje, Informator, Zagreb 1982.

5. *Samuelson, P. A.*: Interactions between the Multiplier Analysis and the Principle of Acceleration, Review of Economic Statistics, vol. 21 (May), pp. 75—79, 1939.

DODATAK

Popis varijabli i parametara modela

C	— Osobna potrošnja	NEGIZL	— Visina izlaza kod koje zalihe postaju negativne
DAVG	— Prosječno vrijeme dilacije DZ	NNAR	— Normalna razina narudžbi
D1	— Eksponecijalna dilacija prvog reda	NTAK	— Normalno vrijeme za korekciju kapitala
DIL	— Dilacija u korigiranju stvarne razine zaliha i narudžbi željenim razinama	P	— Proizvodni kapacitet
DK	— Željena razina kapitala	PC	— Sklonost potrošnji
DMIN	— Minimalno vrijeme dilacije DZ	PINC	— Eksponecijalni izgladeni dohodak s periodom izgladivanja od jedne godine
DN	— Prosječno vrijeme dilacije u naručivanju	PINV	— Izgladeni prosjek stvarnih zaliha
DNAR	— Dilacija u naručivanju	PNAR	— Izgladeni prosjek stoka narudžbi
DP	— Prosječno vrijeme dilacije u proizvodnji	POKIZL	— Visina izlaza sa zalihe koja će biti pokušana
DPR	— Dilacija u proizvodnji	PRNAR	— Izgladeni dvogodišnji prosjek toka narudžbi
DT	— Period rješavanja modela	PR	— Ulazni tok naloga proizvodnji
DZ	— Dilacija u ispunjenju narudžbi	PROIZ	— Proizvodnja
G	— Državni izdaci	SA	— Stopa zamjene
I	— Investicije	SINC	— Eksponecijalno izgladeni dohodak
INC	— Dohodak	SNAR	— Izlaz iz dilacije DNAR (ulazni tok narudžbi)
INV	— Stvarne zalihe	SZPR	— Izgladeni prosjek željene proizvodnje
IZL	— Izlaz robe sa zalihe i smanjenje stokova narudžbi	SZPRK	— Visina stoka kapitala potrebna za proizvodnju SZPR
K	— Kapital	TSI	— Vrijeme izgladivanja dohotka
KA	— Zamjena	TSNAR	— Vrijeme izgladivanja narudžbi
KOR	— Kapitalni koeficijent	ZPR	— Željena proizvodnja
NAR	— Stok narudžbi	ZZ	— Željena zaliha

Dr. Branko Novak

Summary

MODELLING MULTIPLICATOR AND ACCELERATOR ON THE PRINCIPLES OF SYSTEMS DYNAMICS

The article starts with Low version of Samuelson — Hicks model of multiplier and accelerator. Low version of model is based on the criticism of Samuelson — Hicks model starting from systems dynamics ideas. Such a model generates behaviour that differ from those attributed to Samuelson — Hicks model. A this new version of the model (let's call it SHL model) has some drawbacks, it has been extended. In this extended SHL model stocks control that provides their realistic behaviour was introduced. To make this possible the model was extended by orders stock as well as with some new information stocks. Besides that production control, order delays execution of orders and production were introduced into the model. All delays are defined as the first order exponential delays and the simulations were made with different average time of delay to find out the responsiveness of the model behaviour to altered average values. Finally, the change was made in SHL model to define the desired capital related to desired production. Depreciation was introduced and income redefined by introducing stock alternation.