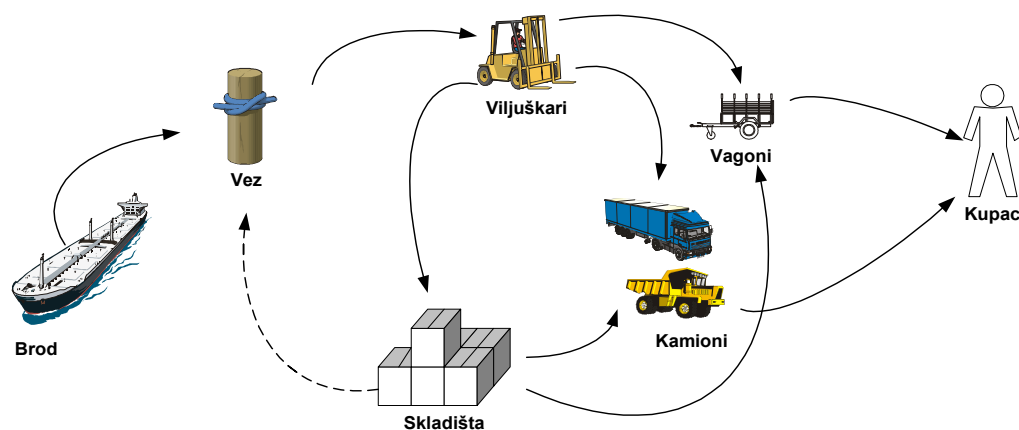


KOMPJUTORSKA SIMULACIJA I HEURISTIČKA OPTIMIZACIJA PRETOVARNOG PROCESA U LUCI

*System Dynamics Computing Simulation
Modelling and Heuristic Optimization of
the Port-Transshipment System*

UDK 519.876.5
Izvorni znanstveni članak
Original scientific paper



Strukturalni model materijalnih tokova tereta
Structural model of material flow of the cargo

Sažetak

Sustavnodinamičko simulacijsko modeliranje je jedna od najprimjerenijih i najuspješnijih znanstvenih načina modeliranja dinamike složenih, nelinearnih, prirodnih, tehničkih i organizacijskih sustava. Sustavnodinamički modeli su u suštini kontinuirani modeli, jer se realiteti predstavljaju skupom nelinearnih diferencijalnih jednačbi, tj. "jednačbi stanja". Međutim, oni su istodobno i diskretni, jer im se osnovni vremenski korak računanja, tj. diskretizacije (uzorkovanja) "DT" određuje u potpunom skladu s "Teoremom o uzorkovanju" (Sampling Teorem) Shannona, Nyquista i Kotelnikova. Ovakav odabir osnovnog vremenskog koraka DT omogućuje kompjutorsko modeliranje kontinuiranih simulacijskih modela na digitalnom računalu, što je veoma primjereno za edukaciju studenata pomorstva, strojarstva i elektrotehnike, te za teoretsko i praktično trenaziranje inženjera brodskih procesa, jer im omogućuje, primjenom sustavnodinamičkog pristupa, stjecanje novih znanja i vještina o složenoj dinamici ponašanja pomorskih

sustava i procesa. Luka je kao čvorište sjecište raznih vrsta tereta te ima značajnu ulogu u procesu transporta, povezujući razne grane prometa u jedan jedinstveni sustav i formirajući na taj način transportni lanac koji je po tipu prekinut. Svrha ovog rada jest: pokazati uspješnost primjene sustavnodinamičkog simulacijskog modeliranja pri istraživanju dinamike ponašanja pretovarnog procesa u luci te pronalaženja optimalnog rješenja pretovara s obzirom na vrstu i opseg prometa tereta, pravce kretanja i dinamiku pristizanja i otpreme tereta.

Ključne riječi: Sustavna dinamika, modeliranje, pretovarni proces, heuristička optimizacija, kontinuirana i diskretna simulacija, ekspertno-logičke sklopke.

Abstract

The System Dynamics Simulation Modelling and Optimisation Methodology is one of the most suitable and effective ways of dynamics modelling of complex non-linear, natural, technical and organisation systems. The System Dynamics Models are, in essence, continuous models because the realities are presented by the set of

*Prof. dr. sc. Ante Munitić, redoviti profesor, Visoka pomorska škola Split, Zrinsko-Frankopanska 38, 21000 Split

**mr. sc. Mirko Bilić, predavač, Visoka pomorska škola Split, Zrinsko-Frankopanska 38, 21000 Split

***Joško Dvornik, znanstveni novak, Visoka pomorska škola Split, Zrinsko-Frankopanska 38, 21000 Split

non-linear differential equations, i.e. "equations of state". They are at the same time discrete models, because they used basic time step for counting i.e. discrete sampling DT , which value is determined in total accordance with "SAMPLING THEOREM" Shannon, Nyquist and Kotelnikov. With the choice of basic time step DT it is possible to do computer modelling of continuous simulation models on digital computer, which is very suitable for education of the marine students and engineers, because they can study complex dynamics behaviour of marine systems and process. Port is a place of interlace of different kinds of cargo, and it plays an important role in shipping process, connecting different types of traffic in one united system, and forms an interrupted traffic chain. The aim of this paper is: to show the efficiency of System Dynamics Simulation Modelling during the study of the dynamics behaviour of the port-transshipment system, and to find optimal solution for transshipment with regard to the type of the cargo and the size of the traffic of the cargo, direction and dynamics of arriving and shipping of the cargo.

Key Words: system dynamics, modelling, transshipment process, heuristic optimization, continuous and discrete simulation, expert-logic models

1. Uvod

Introduction

Sustavnodinamičko modeliranje je u biti zaseban, tj. "holistički" pristup simulaciji dinamike ponašanja prirodnih, tehničkih i organizacijskih sustava, te sadržava kvalitativno i kvantitativno simulacijsko modeliranje realiteta različite prirode. Pojam optimizacije u sustavnoj dinamici je temeljen na vjerovanju da "ručna i iterativna" procedura, tj. optimizacija metodom "pokušaja i pogrešaka" (*retry and error*) može biti uspješna korištenjem algoritma tzv. "heurističke optimizacije", uz pomoć brzog digitalnog računala, te u potpunom skladu sa sustavnodinamičkom simulacijskom metodologijom. Ovaj simulacijski model pretovarnog procesa u luci jedan je maleni dio znanstvenog makroprojekta zvanog: "INTELIGENTNA KOMPJUTORSKA SIMULACIJA MODELA POMORSKIH SUSTAVA I PROCESA".

1.1. Sustavnodinamičko modeliranje pretovarnog procesa u luci

System dynamics modelling of the port-transshipment system

1.1.1. Kvalitativno modeliranje pretovarnog procesa u luci

Qualitative modelling of the port-transshipment system

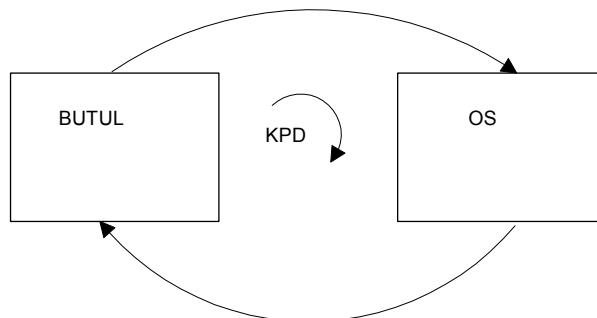
a) Mentalno-verbalni model pretovarnog procesa u luci

Načelno se iskrcaj bez obzira na vrstu tereta može podijeliti na:

- dovođenje broda na vez,
- iskrcaj tereta s broda na obalu,
- prijenos tereta s obale u vagone, kamione i skladišta.

Iskrcaj/ukrcaj tereta u luci složen je dinamički proces koji ima dva podsustava:

1. Iskrcaj/ukrcaj tereta u luci (BUTUL),
2. Okolina promatranog sustava (OS).



Slika 1. Rudimentarni strukturni model pretovarnog procesa u luci

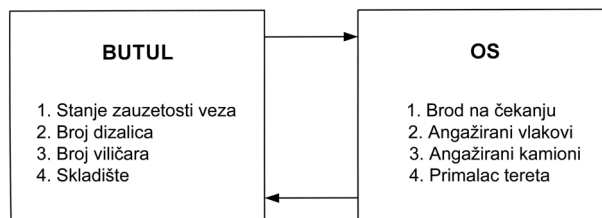
Figure 1. Rudimentary structural model of the Port-Transshipment System

BUTUL, podsustav ima najmanje četiri sektora odnosno podsektora:

1. Stanje zauzetosti veza,
2. Broj dizalica (brodske i obalne), koje su objektivno raspoložive,
3. Broj viličara koji su objektivno raspoloživi,
4. Skladišta (broj i raspoloživa površina).

OS, podsustav ima najmanje četiri sektora odnosno podsektora:

1. Brod u čekanju (sidrenju ili dolasku),
2. Angažirani vagonski kapaciteti,
3. Angažirani kamionski kapaciteti,
4. Primalac tereta.



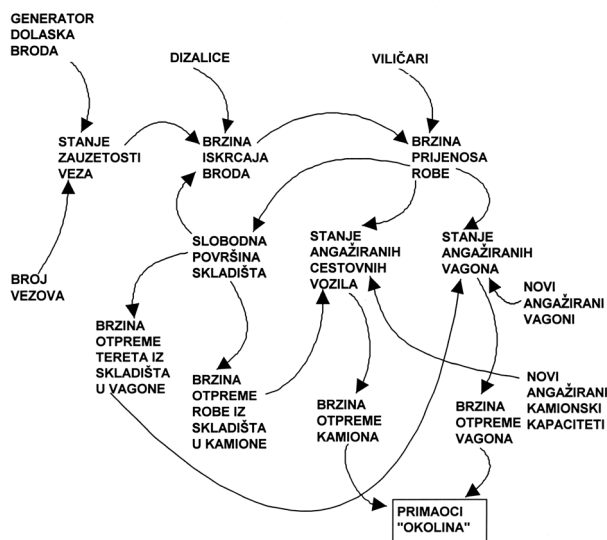
Slika 2. Strukturni dijagram ovisnosti BUTUL i OS modela pretovarnog procesa u luci

Figure 2. Structural diagram of depending BUTUL and OS model of the Port Transshipment System

U ovom primjeru PPL-a se radi o "poluindirektnom sustavu prekrcaja tereta", u kojemu se daje izrazita prednost "održavanja neprekidnog procesa iskrcaja broda", jer je to najpovoljnija financijska opcija za brodar! Naime, ukoliko bi tijekom 24 h/dan došlo do manjka raspoloživih unaprijed rezerviranih iskrcajno-ukrcajnih transportnih kapaciteta (dizalica, viličara, željezničkih vozila, cestovnih vozila te skladišnog prostora), **lučki menadžer** bi morao donijeti odluku o **zaustavljanju iskrcaja broda**, te bi se iskrcaj mogao nadalje nastaviti tek kada stignu rezervirani «novi», tj. «slobodni transportni kapaciteti» (u ovom slučaju: željeznička i cestovna vozila).

b) Strukturni model pretovarnog procesa u luci (PPL):

Da bi se mogao predstaviti potpuni strukturni model PPL potrebno je predstaviti tzv. "rudimentarni strukturni model materijalnih i informacijskih tokova" uz sljedeću dopunu danog mentalno-verbalnog modela (slika 3.).



Slika 3. Strukturni dijagram materijalnih i informacijskih tokova PPL-a

Figure 3. Material and information flows of the PTSS and environment

Generator dolaska brodova jest fiktivni egzogeni izvor broskog tereta (novih brodova), koji je moguće ostvariti samo ako je stanje zauzetosti veza jednako nuli, tj. vez potpuno slobodan. Potrebno je napomenuti, da većina luka ima veći broj vezova, dok je u ovom elementarnom primjeru "broj vezova" = 1. "brzina iskrcaja broda" ovisi o "stanju zauzetosti veza" i broju tj. "kapacitetu dizalica". "Brzina prijenosa robe" od mjesta iskrcaja (Vez1.) pa do rampi za ukrcaj u vagone, kamione, ili u lučko skladište, ovisi od "brzini iskrcaja tereta" (kapacitetu angažiranih dizalica) i o "broju, tj. kapacitetu angažiranih viličara".

Materijalni tok iskrcanog tereta u luci (lokalni lučki transport) ostvaren je na dionici od mjesta iskrcaja, tj. **Vez1.** pa do ukrcajnih platformi rezerviranih vagona ili cestovnih vozila, ili lučkog skladišta, ovisno je li njihov rezervirani kapacitet popunjen.

Iskrcni teret se usmjerava na željezničku platformu, tj. najprije se ukrcava u raspoložive 24 sata unaprijed osigurane željezničke kapacitete.

Ako su unaprijed rezervirani 24-satni željeznički kapaciteti prvog dana iskrcaja i utovara tereta u vagone u **potpunosti ostvare prije isteka prvog dana iskrcaja**, tada lučki menadžer donosi odluku za početak ukrcaja u rezervirana cestovna vozila.

Ukoliko se u roku jednodnevnog, tj. 24-satnog neprekinutog iskrcaja broskog tereta iskoriste sva raspoloživa cestovna vozila (dnevni rezervirani kontingent) i ne ostvari sinkroni novi željeznički vagoni kontingent, tada lučki menadžer donosi odluku početka privremenog uskladištavanja iskrcanog broskog tereta, koje traje sve dok ima slobodnog skladišnog prostora.

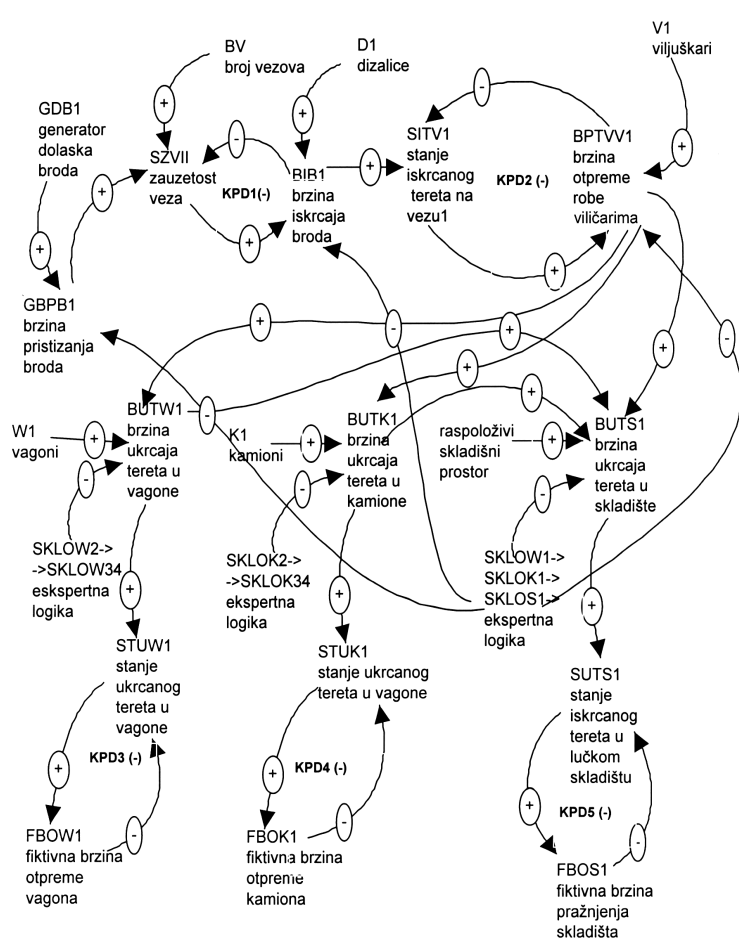
Ako se dogodi da ne raspolažemo planiranim (dnevno rezerviranim unaprijed) ukrcajnim, tj. željezničkim, cestovnim i skladišnim kapacitetima, lučki menadžer mora donijeti "najsкупlju" odluku, tj. mora zaustaviti iskrcaj broskog tereta, sve dok ne stigne novi dnevni unaprijed rezervirani željeznički ili cestovni transportni kontingent.

Ukoliko na vrijeme pristignu novi raspoloživi transportni kapaciteti (vagoni + kamioni) moguće je nastaviti proces iskrcaja broda i ukrcaja u rezervirana transportna sredstva u skladu s opisanim ekspertnim logičkim odlučivanjem lučkog menadžera!

Na osnovi prije opisanog kvalitativnog mentalno-verbalnog sustavnodinamičkog modela moguće je determiniranje "sustavnog dinamičkog strukturnog modela" PPL-a (slika 3.).

Materijalni tok iskrcanog tereta "ekspertno-logički" se dijeli na tri raspoloživa moguća ukrcaja, tj. smještaja viličarima dovedenog tereta u: 1. svakodnevno rezervirane **željezničke vagonne kapacitete**, te ako nisu dovoljni da ukrcaju već iskrcni brodski teret na vezu 1 (24-satni radni dan); tada u: 2. unaprijed rezervirane dnevne **kamionske kapacitete**, te ako su i oni nedostadni za smještaj broskog tereta i uvjetuju prekidanje kontinuiranog procesa istovara i otpreme robe, tj. najskuplje rješenje koje trebamo izbjeći, tada u: 3. privremeni slobodni **skladišni prostor!**

U skladu sa sustavnom dinamikom, između navedenih triju mogućih tokova iskrcaje robe postoji visok stupanj analogije, te se može determinirati strukturni simulacijski model ukrcaja robe u željezničke vagone (slika 4.)



Slika 4. Sustavnodinamički strukturalni simulacijski model PPL-a
 Figure 4. System Dynamics structural simulation model of the PPL-a

Sustavnodinamičkim strukturalnim simulacijskim modelom PPL-a dominira pet krugova povratnog djelovanja (KPD-a): KPD1(-); KPD2(-); KPD3(-); KPD4(-) and KPD5(-):

KPD1(-): SZV11(zauzetost veza) (+)→(+)
 BIB1 (brzina iskrcaja broda) (+)→(-)
 ZV11 (zauzetost veza).

KPD2(-): SITV1 (stanje iskrcanog tereta na vezu) (+)→(+)
 BPTVV1 (brzina otpreme robe viličarima) (+)→(-)
 SITV1 (stanje iskrcanog tereta na vezu 1).

KPD3(-): STUW1 (stanje ukrcanog tereta u vagone) (+)→(+)
 FBOW1 (fiktivna brzina otpreme vagona) (+)→(-)
 STUW1(stanje ukrcanog tereta u vagone).

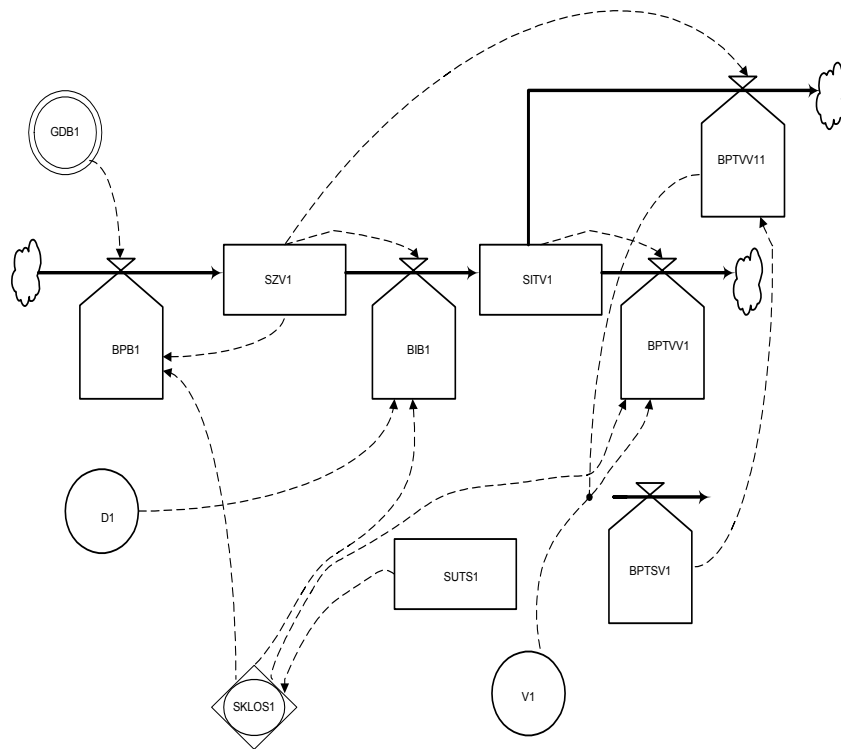
KPD4(-): STUK1 (stanje ukrcanog tereta u kamione) (+)→(+)
 FBOK1 (fiktivna brzina otpreme kamiona) (+)→(-)
 STUK1(stanje ukrcanog tereta u kamione).

KPD5(-): SUTS1(stanje privremeno iskrcanog tereta u skladištu) (+)→(+)
 FBOS1(fiktivna brzina pražnjenja skladišta) (+)→(-)
 SUTS1 (stanje privremeno iskrcanog tereta u skladištu).

c) Strukturni dijagram tokova PPL-a u Dynamo simbolici

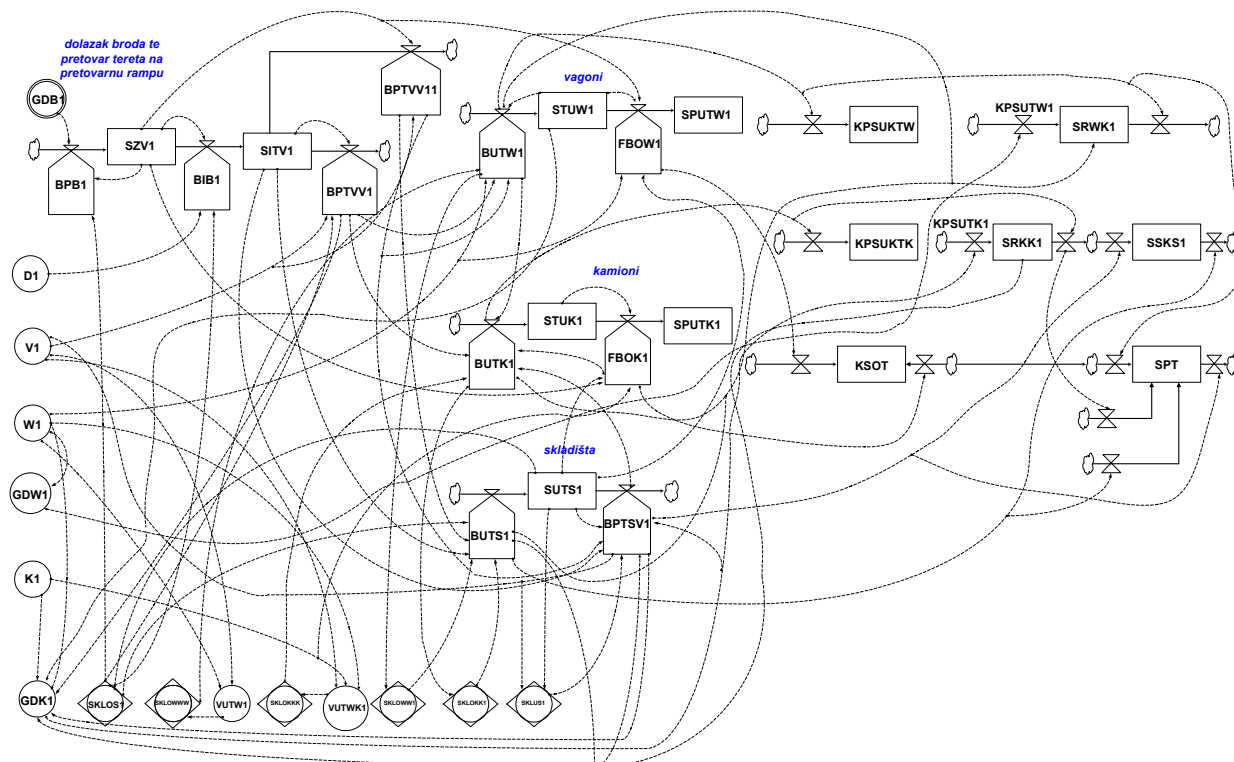
Na osnovi determiniranog mentalno-verbalnog i strukturnog modela PPL-a, te u skladu s DYNAMO programskom grafičkom simbolikom, moguće je determinirati sustavnodinamički model, tj. dijagram tokova PPL-a, tj. njegovih podustava koji su interakcijski međusobno povezani u jednu cjelinu.

Na sljedećoj slici prikazali samo potpuni dijagram toka sektora pristajanja i iskrcaja broda na vezu 1 (slika 5.).



Slika 5. Dijagram toka sektora pristajanja i iskrcaja broda na vezu 1
 Figure 5. Flow diagram of Sector of putting to shore and unloading ship on the berth 1

Na sljedećoj slici prikazan je cijeli SD strukturni dijagram tokova modela PPL-a.



Slika 6. Globalni sustavnodinamički kompjutorsko simulacijski dijagram toka modela PPL-a
Figure 6. Global systematic computer simulation diagram of the flow of the model PPL

Gdje je:

GDB1=generator dolaska broda,

BPB1=brzina pristajanja broda,

SZV1=stanje zauzetosti veza,

BIB1=brzina iskrcaja broda,

D1=broj dizalica,

SITV1=stanje iskrcanog tereta na vez 1,

BPTV1=brzina otpreme tereta viličarom s veza pa do platformi za ukrcaj u vagoni, kamione ili skladište

BPTV11= brzina otpreme robe viličarom s veza 1 u slučaju da je SITV1 višekratnik broja viličara,

V1=broj viličara,

SKLOS1=uvjetna logička funkcija limitiranja punog skladišta,

SUTS1=stanje ukrcanog tereta u skladištu,

BPTS1=brzina pretovara tereta u skladište,

BUTW1= brzina ukrcaja tereta u vagoni,

SKLOWWW= uvjetna kompleksna logička funkcija,

VUTW1= potrebno vrijeme za ukrcaj tereta u vagoni,

GDW1= generator dolaska vagona u 24 sata,

STUW1= stanje ukrcanog tereta u vagoni u 24 sata,

FBOW1= fiktivna brzina otpreme vagona u 24 sata,

W1= broj vagona,

SPUTW1= sumarni prikaz ukrcanog tereta u vagoni,

KPSUTW1= brzina popunjavanja raspoloživih vagonskih kapaciteta,

KPSUKTW= kumulativni prikaz stanja ukrcanog tereta u vagoni,

SRWK1= stanje raspoloživih vagonskih kapaciteta,

BUTK1= brzina ukrcaja tereta u kamione,

SKLOKKK= uvjetna kompleksna logička funkcija,

VUTWK1= potrebno vrijeme za ukrcaj tereta u vagoni i kamione,

GDK1= generator dolaska kamiona u 24 sata,

STUK1= stanje ukrcanog tereta u kamione u 24 sata,

FBOK1= fiktivna brzina otpreme kamiona u 24 sata,

K1= broj kamiona (komada),

SPUTK1= sumarni prikaz ukrcanog tereta u kamione,

KPSUTK1= brzina popunjavanja raspoloživih kamionskih kapaciteta,

KPSUKTK= kumulativni prikaz stanja ukrcanog tereta u kamione,

SRKK1= stanje raspoloživih kamionskih kapaciteta,

BUTS1= brzina ukrcaja tereta u skladišta,

SKLOWW1= logički ograničavač varijable BUTW1,

SKLOKK1= uvjetna logička funkcija

SKLOS1= uvjetna logička funkcija limitiranja punog skladišta,

SUTS1= stanje ukrcanog tereta u skladišta,

BPTS1= brzina pretovara tereta iz skladišta,

SKLUS1= logička funkcija koja limitira prekrcaj iz skladišta,

SSKS1= stanje raspoloživog skladišnog kapaciteta,

SPT=sumarno tekuće stanje tereta,

KSOT= kumulativno knjigovodstveno stanje otpremljenog tereta.

2. Osnovna struktura i logika implementarnog (ugrađenog) expert-inteligentnog kompleksa

Elementary structure and logic of implemented expert-intelligent complex

U DYNAMO programskom paketu, između ostalih MACRO funkcija, koristi se kompleksna logička MACRO funkcija: CLIP; koja se u ovom slučaju ponaša binarno (1 ili 0), prema logici:

CLIP (P,Q,R,S)=P ako je $R>S$, i $Q=0$ tada
CLIP(1,0,R,S)=1(1a)

CLIP (P,Q,R,S)=Q ako je $R<S$, ako je $P=1$, i $Q=0$ tada
CLIP(1,0,R,S)=0(1b)

U ovom obliku CLIP MACRO funkcija se često primjenjuje, dok se kompleksniji oblici moraju posebno dizajnirati, tj. odrediti, kao na pr. kompleksna logička varijabla (kompleks): **SKLOWWW**, koja je dio podsektora logičkog upravljanja ukrcaja tereta u vagonu:

VUTW1K.K=(25*W1.K)/(50*V1.K).....(2)

gdje je VUTW1= vrijeme potrebno za ukrcaj tereta u vagonu,

W1= dnevni broj vagona,

V1= dnevni broj dizalica,

SKLOW1.K=CLIP(1,0,3+VUTW1.K,TIME.K).....(3)

gdje je SKLOW1= kondicionalna logička funkcija koja određuje stanje dnevnog kontingenta raspoloživih vagona.

SKLOWWWW.K=SKLOW2.K*SKLOW4.K*SKLOW6.K*SKLOW8.K*SKLOW10.K*

SKLOW12.K*SKLOW14.K*SKLOW16.K*SKLOW18.K*SKLOW20.K*SKLOW22.K*

SKLOW24.K*SKLOW26.K*SKLOW28.K*SKLOW30.K*SKLOW32.K*SKLOW34.K(4)

Potrebno je istaknuti da je svaka iskorištena logička funkcija za SKLOWWWW-logičku funkciju, tj. od SKLOW2 do SKLOW34, barem jednako kompleksna logička funkcija, te modularna, kako slijedi:

SKLOW2.K=CLIP(1,SKLOW1.K,TIME.K,24) (5)
SKLOW3.K=CLIP(1,SKLOW1.K,24+VUTW1.K,TIME.K) (6)
SKLOW4.K=CLIP(1,SKLOW3.K,TIME.K,48) (7)
SKLOW5.K=CLIP(1,SKLOW1.K,48+VUTW1.K,TIME.K) (8)
SKLOW6.K=CLIP(1,SKLOW5.K,TIME.K,72) (9)
SKLOW7.K=CLIP(1,SKLOW1.K,72+VUTW1.K,TIME.K) (10)
SKLOW8.K=CLIP(1,SKLOW7.K,TIME.K,96) (11)
SKLOW9.K=CLIP(1,SKLOW1.K,96+VUTW1.K,TIME.K) (12)
SKLOW10.K=CLIP(1,SKLOW9.K,TIME.K,120) (13)
SKLOW11.K=CLIP(1,SKLOW1.K,120+VUTW1.K,TIME.K) (14)
SKLOW12.K=CLIP(1,SKLOW11.K,TIME.K,144) (15)
SKLOW13.K=CLIP(1,SKLOW1.K,144+VUTW1.K,TIME.K) (16)
SKLOW14.K=CLIP(1,SKLOW13.K,TIME.K,168) (17)
SKLOW15.K=CLIP(1,SKLOW1.K,168+VUTW1.K,TIME.K) (18)
SKLOW16.K=CLIP(1,SKLOW15.K,TIME.K,192) (19)
SKLOW17.K=CLIP(1,SKLOW1.K,192+VUTW1.K,TIME.K) (20)

SKLOW18.K=CLIP(1,SKLOW17.K,TIME.K,216) (21)
SKLOW19.K=CLIP(1,SKLOW1.K,216+VUTW1.K,TIME.K) (22)
SKLOW20.K=CLIP(1,SKLOW19.K,TIME.K,240) (23)
SKLOW21.K=CLIP(1,SKLOW1.K,240+VUTW1.K,TIME.K) (24)
SKLOW22.K=CLIP(1,SKLOW21.K,TIME.K,264) (25)
SKLOW23.K=CLIP(1,SKLOW1.K,264+VUTW1.K,TIME.K) (26)
SKLOW24.K=CLIP(1,SKLOW22.K,TIME.K,288) (27)
SKLOW25.K=CLIP(1,SKLOW1.K,288+VUTW1.K,TIME.K) (28)
SKLOW26.K=CLIP(1,SKLOW25.K,TIME.K,312) (29)
SKLOW27.K=CLIP(1,SKLOW1.K,312+VUTW1.K,TIME.K) (30)
SKLOW28.K=CLIP(1,SKLOW27.K,TIME.K,336) (31)
SKLOW29.K=CLIP(1,SKLOW1.K,336+VUTW1.K,TIME.K) (32)
SKLOW30.K=CLIP(1,SKLOW29.K,TIME.K,360) (33)
SKLOW31.K=CLIP(1,SKLOW1.K,360+VUTW1.K,TIME.K) (34)
SKLOW32.K=CLIP(1,SKLOW31.K,TIME.K,384) (35)
SKLOW33.K=CLIP(1,SKLOW1.K,384+VUTW1.K,TIME.K) (36)
SKLOW34.K=CLIP(1,SKLOW33.K,TIME.K,408) (37)

U ovom globalnom modelu PPL-A korištene su kompleksnije logičke funkcije, npr. **SKLOKKK**, **SKLOS**, koje imaju analognu strukturu i operacijsku logiku. Ovo je predstavljeno u sektoru logičkog upravljanja tijekom ukrcaja tereta u kamione, tj. sektoru ukrcaja tereta u skladišta.

Sektor materijalnog tijeka ukrcaja tereta u kamione:

SKLOKKK.K=SKLOK2.K*SKLOK4.K*SKLOK6.K*SKLOK8.K*SKLOK10.K*SKLOK12.K*

SKLOK14.K*SKLOK16.K*SKLOK18.K*SKLOK20.K*SKLOK22.K*SKLOK24.K*SKLOK26.K*

SKLOK28.K*SKLOK30.K*SKLOK32.K*SKLOK34.K (38)

gdje je SKLOKKK= kompleksna kondicionalna logička funkcija koja određuje dnevno rezervirane kapacitete kamiona.

UTWK1.K=(25*W1.K+20*K1)/(50*V1.K) (39)

Vrijeme potrebno za ukrcaj tereta u vagonu i kamione:

SKLOK2.K=CLIP(1,SKLOK1.K,TIME.K,24) (40)
SKLOK3.K=CLIP(1,SKLOK1.K,24+VUTWK1.K,TIME.K) (41)
SKLOK4.K=CLIP(1,SKLOK3.K,TIME.K,48) (42)
SKLOK5.K=CLIP(1,SKLOK1.K,48+VUTWK1.K,TIME.K) (43)
SKLOK6.K=CLIP(1,SKLOK5.K,TIME.K,72) (44)
SKLOK7.K=CLIP(1,SKLOK1.K,72+VUTWK1.K,TIME.K) (45)
SKLOK8.K=CLIP(1,SKLOK7.K,TIME.K,96) (46)
SKLOK9.K=CLIP(1,SKLOK1.K,96+VUTWK1.K,TIME.K) (47)
SKLOK10.K=CLIP(1,SKLOK9.K,TIME.K,120) (48)
SKLOK11.K=CLIP(1,SKLOK1.K,120+VUTWK1.K,TIME.K) (49)
SKLOK12.K=CLIP(1,SKLOK11.K,TIME.K,144) (50)
SKLOK13.K=CLIP(1,SKLOK1.K,144+VUTWK1.K,TIME.K) (51)
SKLOK14.K=CLIP(1,SKLOK13.K,TIME.K,168) (52)
SKLOK15.K=CLIP(1,SKLOK1.K,168+VUTWK1.K,TIME.K) (53)
SKLOK16.K=CLIP(1,SKLOK15.K,TIME.K,192) (54)
SKLOK17.K=CLIP(1,SKLOK1.K,192+VUTWK1.K,TIME.K) (55)
SKLOK18.K=CLIP(1,SKLOK17.K,TIME.K,216) (56)
SKLOK19.K=CLIP(1,SKLOK1.K,216+VUTWK1.K,TIME.K) (57)
SKLOK20.K=CLIP(1,SKLOK19.K,TIME.K,240) (58)
SKLOK21.K=CLIP(1,SKLOK1.K,240+VUTWK1.K,TIME.K) (59)
SKLOK22.K=CLIP(1,SKLOK21.K,TIME.K,264) (60)
SKLOK23.K=CLIP(1,SKLOK1.K,264+VUTWK1.K,TIME.K) (61)
SKLOK24.K=CLIP(1,SKLOK23.K,TIME.K,288) (62)
SKLOK25.K=CLIP(1,SKLOK1.K,288+VUTWK1.K,TIME.K) (63)
SKLOK26.K=CLIP(1,SKLOK25.K,TIME.K,312) (64)
SKLOK27.K=CLIP(1,SKLOK1.K,312+VUTWK1.K,TIME.K) (65)
SKLOK28.K=CLIP(1,SKLOK27.K,TIME.K,336) (66)
SKLOK29.K=CLIP(1,SKLOK1.K,336+VUTWK1.K,TIME.K) (67)
SKLOK30.K=CLIP(1,SKLOK29.K,TIME.K,360) (68)
SKLOK31.K=CLIP(1,SKLOK1.K,360+VUTWK1.K,TIME.K) (69)
SKLOK32.K=CLIP(1,SKLOK31.K,TIME.K,384) (70)
SKLOK33.K=CLIP(1,SKLOK1.K,384+VUTWK1.K,TIME.K) (71)
SKLOK34.K=CLIP(1,SKLOK33.K,TIME.K,408) (72)

U zadnjoj jednadžbi, koja je primijenjena DYNAMO MACRO CLIP funkcija kao logički limit, upravitelj ima različite operacijske logike: «zaustavljanje ukrcaja tereta u skladišta jer su potpuno zauzeta i još ima slobodnih kapaciteta u vagonima i kamionima za ukrcaj!» U ovom slučaju CLIP funkcija ima analognu pojavu kako slijedi:

CLIP(0,1,R,S)=0 ako je R>=S

CLIP(0,1,R,S)=1 ako je R<S

U modelu postoji nekoliko logičkih varijabli takve primjene CLIP funkcije, npr:

SKLOWW1, koji isključuje daljnju dopremu tereta u vagone, jer ih nema više na raspolaganju;

SKLOKK, koji koristi analogni logički model za isključivanje daljnjeg utovara u kamione jer ih nema više slobodnih;

SKLOS1, koji limitira daljnju dopremu u lučka skladišta jer su potpuno zauzeta.

3. Kompjutorsko simulacijski model

PPL-a

Computer simulation model of the PPL-a

U skladu s determiniranim kvalitativnim modelima PPL-a, te PROFESSIONAL DYNAMO 4.0 programskim paketom, moguće je determinirati matematički odnosno globalni SD kompjutorski simulacijski model PPL-a:

```
*****
* SEKTOR PRISTAJANJA I ISKRCAJA BRODA NA VEZU 1. :
* *****
A GDB1.K=PULSE(19111,1,1,1000)
*
*       GDB1= GENERATOR DOLASKA BRODA NA VEZ 1.
*           (TONA/SAT)
*       PULSE= IMPULSNA MACRO FUNKCIJA U DYNAMO
*
R BPB1.KL=CLIP(GDB1.K,0,0,SZV1.K)*SKLOS1.K
*
*       BPB1= BRZINA PRISTAJANJA BRODOVA NA VEZ 1.
*           (TONA/SAT)
*       CLIP= FUNKCIJA LIMITIRANJA
*       GDB1= GENERATOR DOLASKA BRODA NA VEZ 1.
*           (TONA/SAT)
*SZV1= STANJE ZAUZETOŠTI VEZA1.(TONA)
*SKLOS1= UVJETNA LOGIČKA FUNKCIJA
*
L SZV1.K=SZV1.J+DT*(BPB1.JK-BIB1.JK)
*
N SZV1=0
*
*SZV1= STVARNO STANJE ZAUZETOSTI VEZA 1.(TONA)
*SZV1= FIKTIVNO STANJE ZAUZETOSTI VEZA 1.
*(TONA)
*SZV1= 0 =INICIJALNO STANJE VEZA 1.(TONA)
*DT= OSNOVNI VREMENSKI KORAK RAČUNANJA
*ITERACIJE (SAT)
*BPB1= BRZINA PRISTAJANJA BRODOVA (TONA/SAT)
*BIB1= BRZINA ISKRCAJA BRODA NA VEZU 1.
*(TONA/SAT)
*
R BIB1.KL=CLIP(50*D1.K,0,SZV1.K,D1.K*50)*
*SKLOS1.K+CLIP(0,SZV1.K,SZV1.K, D1.K*50)
*
*BIB1= BRZINA ISKRCAJA BRODA (TONA/SAT)
*D1= BROJ DIZALICA (KOMADA)
*(TONA)
*
A D1.K=4
*
```

```
* D1=BROJ DIZALICA NA VEZU 1. (BROJ DIZALICA)
*
*
L SITV1.K=SITV1.J+DT*(BIB1.JK-BPTVV1.JK-BPTVV11.JK)
*
N SITV1=0
*
*SITV1= STANJE ISKRCAJNOG TERETA NA VEZ1 (TONA)
*BIB1= BRZINA ISKRCAJA TERETA IZ BRODA NA VEZ1
*(TONA/SAT)
*BPTVV1= BRZINA OTPREME ROBE VILIČAROM S
*VEZA1 (TONA/SAT)
*
R BPTVV1.KL=CLIP(50*V1.K,0,SITV1.K,1E-30)*SKLOS1.K
*
R BPTVV11.KL=CLIP(0,SZV1.K,SZV1.K,V1.K*50)*CLIP
(0,1,BPTSV1.KL,1E-30)
*
*BPTVV1= BRZINA OTPREME ROBE VILIČAROM S
*VEZA1 (TONA/SAT)
*V1= BROJ VILJUSKARA (KOMADA)
*SITV1= STANJE ISKRCAJNOG TERETA NA VEZ1.(TONA)
*SKLOS1= UVJETNA LOGIČKA FUNKCIJA
A V1.K=4
*
*V1=BROJ VILIČARA (KOMADA)
* *****
SAVE GDB1,BPB1,SZV1,D1,BIB1,SITV1
SAVE BPTVV1,V1,SITV1,BPTVV11
* *****
* SEKTOR MATERIJALNIH TIJEKOVA UKRCAJA TERETA
U VAGONE :
* *****
R BUTW1.KL=CLIP
*(0,BPTVV1.KL+BPTSV1.KL,STUW1.K,25*W1.K)*SKLOWWW.K+^
*CLIP(BPTVV1.KL+BPTSV1.KL,0,STUW1.K,25*W1.K)*
*CLIP(1,0,SRWK1.K,1E-30)
*
*BTW1= BRZINA UKRCAJA TERETA U VAGONE SA
*VEZA 1.(TONA/SAT)
*BPTVV1= BRZINA OTPREME TERETA VILIČAROM
*SA VEZA 1.(TONA/SAT)
*STUW1= STANJE UKRCAJNOG TERETA U VAGONE U
*24H(TONA)
*SKLOWWW= UVJETNA KOMPLESNA LOGIČKA FUNKCIJA
* W1= BROJ VAGONA(KOMADA)
*
A SKLOWWW.K= SKLOW2.K*SKLOW4.K*SKLOW6.K*SKLOW8.K*
*SKLOW10.K*SKLOW12.K*SKLOW14.K*SKLOW16.K*
*SKLOW18.K*SKLOW20.K*SKLOW22.K*SKLOW24.K*^
*SKLOW26.K*SKLOW28.K*SKLOW30.K*SKLOW32.K*
*SKLOW34.K
*
*SKLOWWW= UVJETNA KOMPLESNA LOGIČKA FUNKCIJA
*SKLOW1 SKLOW34= UVJETNE LOGIČKE FUNKCIJE
*
*
* PODSEKTOR LOGIČKOG UPRAVLJANJA UKRCAJA TERETA U
VAGONE
*
*
A VUTW1.K=((25*W1.K)/(50*V1.K))
*
*VUTW1= POTREBNO VRIJEME ZA UKRCAJ TERETA
*U VAGONE
*W1= BROJ VAGONA (KOMADA)
V1= BROJ VILIČARA (KOMADA)
*
A SKLOW1.K=CLIP(1,0,3+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW2.K=CLIP(1,SKLOW1.K,TIME.K,24)
*
A SKLOW3.K=CLIP(1,SKLOW1.K,24+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW4.K=CLIP(1,SKLOW3.K,TIME.K,48)
*
A SKLOW5.K=CLIP(1,SKLOW1.K,48+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW6.K=CLIP(1,SKLOW5.K,TIME.K,72)
*
A SKLOW7.K=CLIP(1,SKLOW1.K,72+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW8.K=CLIP(1,SKLOW7.K,TIME.K,96)
*
A SKLOW9.K=CLIP(1,SKLOW1.K,96+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW10.K=CLIP(1,SKLOW9.K,TIME.K,120)
*
A SKLOW11.K=CLIP(1,SKLOW1.K,120+VUTW1.K,TIME.K)
```

```

*
A SKLOW12.K=CLIP(1,SKLOW11.K,TIME.K,144)
*
A SKLOW13.K=CLIP(1,SKLOW1.K,144+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW14.K=CLIP(1,SKLOW13.K,TIME.K,168)
*
A SKLOW15.K=CLIP(1,SKLOW1.K,168+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW16.K=CLIP(1,SKLOW15.K,TIME.K,192)
*
A SKLOW17.K=CLIP(1,SKLOW1.K,192+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW18.K=CLIP(1,SKLOW17.K,TIME.K,216)
*
A SKLOW19.K=CLIP(1,SKLOW1.K,216+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW20.K=CLIP(1,SKLOW19.K,TIME.K,240)
*
A SKLOW21.K=CLIP(1,SKLOW1.K,240+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW22.K=CLIP(1,SKLOW21.K,TIME.K,264)
*
A SKLOW23.K=CLIP(1,SKLOW1.K,264+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW24.K=CLIP(1,SKLOW22.K,TIME.K,288)
*
A SKLOW25.K=CLIP(1,SKLOW1.K,288+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW26.K=CLIP(1,SKLOW25.K,TIME.K,312)
*
A SKLOW27.K=CLIP(1,SKLOW1.K,312+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW28.K=CLIP(1,SKLOW27.K,TIME.K,336)
*
A SKLOW29.K=CLIP(1,SKLOW1.K,336+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW30.K=CLIP(1,SKLOW29.K,TIME.K,360)
*
A SKLOW31.K=CLIP(1,SKLOW1.K,360+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW32.K=CLIP(1,SKLOW31.K,TIME.K,384)
*
A SKLOW33.K=CLIP(1,SKLOW1.K,384+VUTW1.K,TIME.K)
*
A SKLOW34.K=CLIP(1,SKLOW33.K,TIME.K,408)
*
*
A GDW1.K=PULSE(25*W1.K,1,0,2400)+(PULSE(25*W1.K,1,23,2400)+^
*PULSE(25*W1.K,1,47,2400)+PULSE(25*W1.K,1,71,2400)+^
*PULSE(25*W1.K,1,95,2400)+PULSE(25*W1.K,1,119,2400)+^
*PULSE(25*W1.K,1,143,2400)+PULSE(25*W1.K,1,167,2400)+^
*PULSE(25*W1.K,1,191,2400)+PULSE(25*W1.K,1,215,2400)+^
*PULSE(25*W1.K,1,239,2400)+PULSE(25*W1.K,1,263,2400)+^
*PULSE(25*W1.K,1,287,2400)+PULSE(25*W1.K,1,311,2400)+^
*PULSE(25*W1.K,1,383,2400)+PULSE(25*W1.K,1,407,2400))*
*CLIP(1,0,SZV1.K+SUTS1.K,1E-30)
*GDW1= GENERATOR DOLASKA VAGONA U 24H(TONA)
*W1= BROJ VAGONA (KOMADA)
*
*
L STUW1.K=STUW1.J+DT*(BUTW1.JK-FBOW1.JK)
N STUW1=0
*
*STUW1= STANJE UKRCANOG TERETA U VAGONE U 24H
*(TONA)
*BTW1= BRZINA UKRCAJA TERETA U VAGONE VEZA1.
*(TONA/SAT)
*FBOW1= FIKTIVNA BRZINA OTPREME VAGONA U 24H
*(TONA/SAT)
*STUW1= 0= INICIJALNO STANJE UKRCANOG TERETA
*U VAGONE(TONA)
*
R FBOW1.KL=CLIP(STUW1.K,0,STUW1.K,25*W1.K)+
*CLIP(0,STUW1.K,SZV1.K+SUTS1.K,1E-30)
*
*
*FBOW1= FIKTIVNA BRZINA OTPREME VAGONA U 24H
*(TONA)
*STUW1= STANJE UKRCANOG TERETA U VAGONE U 24H
*(TONA)
*W1= BROJ VAGONA(KOMADA)
*
A W1.K=64
*
*W1= BROJ VAGONA(KOMADA)
*
L SPUTW1.K=SPUTW1.J+DT*FBOW1.JK
*
N SPUTW1=0
*
*SPUTW1= SUMARNI PRIKAZ UKRCANOG TERETA U
*VAGONE(TONA)
*FBOW1= FIKTIVNA BRZINA OTPREME VAGONA U 24H
*(TONA)
*SPUTW1= 0= INICIJALNO STANJE UKRCANOG TERETA
*U VAGONE(TONA)
*
R KPSUTW1.KL=GDW1.K
*
L KPSUKTW.K=KPSUKTW.J+DT*BUTW1.JK
*
N KPSUKTW=0
*
L SRWK1.K=SRWK1.J+DT*(KPSUTW1.JK-BUTW1.JK)
*
N SRWK1=0
*
*
=====
SAVE BUTW1,GDW1,STUW1,FBOW1,W1,SPUTW1
*
SAVE KPSUKTW,SRWK1,KPSUTW1
*
*****
*
*SEKTOR MATERIJALNIH TIJEKOVA UKRCAJA TERETA U
KAMIONE:
*
*****
*
R BUTK1.KL=CLIP(0,BPTVV1.KL+BPTSV1.KL,BUTW1.KL,1E-
30)*SKLOKK.K^A
*CLIP(0,1,FBOK1.KL,1E-30)*CLIP(0,1,SRWK1.K,1E-30)
*
*BTWK1= BRZINA UKRCAJA TERETA U KAMIONE SA
*VEZA 1.(TONA/SAT)
*BPT= BRZINA OTPREME TERETA VILIČAROM
*SA VEZA 1.(TONA/SAT)
*BTW1= BRZINA UKRCAJA TERETA U VAGONE
*SA VEZA 1.(TONA/SAT)
*SKLOKK= UVJETNA KOMPLESNA LOGIČKA FUNKCIJA
*
A SKLOKK.K=SKLOK2.K*SKLOK4.K*SKLOK6.K*SKLOK8.K*
SKLOK10.K*SKLOK12.K^A
*SKLOK14.K*SKLOK16.K*SKLOK18.K*SKLOK20.K*SKLOK22.K*SKL
OK24.K^A
*SKLOK26.K*SKLOK28.K*SKLOK30.K*SKLOK32.K*SKLOK34.K
*
*SKLOKK= UVJETNA KOMPLESNA LOGIČKA FUNKCIJA
*SKLOK1 ....SKLOK34= UVJETNE LOGIČKE FUNKCIJE
*
*
=====
*
*PODSEKTOR LOGIČKOG UPRAVLJANJA UKRCAJA TERETA U
KAMIONE
*
=====
*
A VUTWK1.K=(25*W1.K+20*K1.K)/(50*V1.K)
*
*VUTWK1= POTREBNO VRIJEME ZA UKRCAJ TERETA
*U VAGONE I KAMIONE
*W1= BROJ VAGONA (KOMADA)
*K1= BROJ KAMIONA (KOMADA)
*V1= BROJ VILIČARA (KOMADA)
*
*
A SKLOK1.K=CLIP(1,0,3+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK2.K=CLIP(1,SKLOK1.K,TIME.K,24)
*
A SKLOK3.K=CLIP(1,SKLOK1.K,24+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK4.K=CLIP(1,SKLOK3.K,TIME.K,48)
*
A SKLOK5.K=CLIP(1,SKLOK1.K,48+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK6.K=CLIP(1,SKLOK5.K,TIME.K,72)
*
A SKLOK7.K=CLIP(1,SKLOK1.K,72+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK8.K=CLIP(1,SKLOK7.K,TIME.K,96)
*
A SKLOK9.K=CLIP(1,SKLOK1.K,96+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK10.K=CLIP(1,SKLOK9.K,TIME.K,120)
*
A SKLOK11.K=CLIP(1,SKLOK1.K,120+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK12.K=CLIP(1,SKLOK11.K,TIME.K,144)
*

```



```

A SKLOK13.K=CLIP(1,SKLOK1.K,144+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK14.K=CLIP(1,SKLOK13.K,TIME.K,168)
*
A SKLOK15.K=CLIP(1,SKLOK1.K,168+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK16.K=CLIP(1,SKLOK15.K,TIME.K,192)
*
A SKLOK17.K=CLIP(1,SKLOK1.K,192+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK18.K=CLIP(1,SKLOK17.K,TIME.K,216)
*
A SKLOK19.K=CLIP(1,SKLOK1.K,216+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK20.K=CLIP(1,SKLOK19.K,TIME.K,240)
*
A SKLOK21.K=CLIP(1,SKLOK1.K,240+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK22.K=CLIP(1,SKLOK21.K,TIME.K,264)
*
A SKLOK23.K=CLIP(1,SKLOK1.K,264+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK24.K=CLIP(1,SKLOK23.K,TIME.K,288)
*
A SKLOK25.K=CLIP(1,SKLOK1.K,288+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK26.K=CLIP(1,SKLOK25.K,TIME.K,312)
*
A SKLOK27.K=CLIP(1,SKLOK1.K,312+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK28.K=CLIP(1,SKLOK27.K,TIME.K,336)
*
A SKLOK29.K=CLIP(1,SKLOK1.K,336+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK30.K=CLIP(1,SKLOK29.K,TIME.K,360)
*
A SKLOK31.K=CLIP(1,SKLOK1.K,360+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK32.K=CLIP(1,SKLOK31.K,TIME.K,384)
*
A SKLOK33.K=CLIP(1,SKLOK1.K,384+VUTWK1.K,TIME.K)
*
A SKLOK34.K=CLIP(1,SKLOK33.K,TIME.K,408)
*
*
A GDK1.K=CLIP(20*K1.K,0,STUW1.K,(25*W1.K-BPTVV1.KL-
BPTSV1.KL))^A
CLIP(0,1,STUW1.K,25*W1.K)*CLIP(0,1,SRWK1.K-BPTVV1.KL-
BPTSV1.KL,1E-30)
*
*GDK1= GENERATOR DOLASKA KAMIONA U 24H (TONA)
*K1= BROJ KAMIONA (KOMADA)
*
L STUK1.K=STUK1.J+DT*(BUTK1.JK-FBOK1.JK)
*
N STUK1=0
*
*STUK1= STANJE UKRCANOG TERETA U KAMIONE U 24H
*(TONA)
*BTUK1= BRZINA UKRCAJA TERETA U KAMIONE(TONA/SAT)
*FBOK1= FIKTIVNA BRZINA OTPREME KAMIONA U 24H
*(TONA)
*STUK1= 0= INICIJALNO STANJE UKRCANOG TERETA U
*KAMIONE(TONA)
*
R FBOK1.KL=CLIP(STUK1.K,0,STUK1.K,20*K1.K)+
*CLIP(0,STUK1.K,SZV1.K+SUTS1.K, 1E-30)
*
*
*FBOK1=FIKTIVNA BRZINA OTPREME KAMIONA U 24H
*(TONA)
*STUK1= STANJE UKRCANOG TERETA U KAMIONE U 24H
*(TONA)
*K1= BROJ KAMIONA(KOMADA)
*
A K1.K=20
*
*K1= BROJ KAMIONA(KOMADA)
*
L SPUTK1.K=SPUTK1.J+DT*FBOK1.JK
*
N SPUTK1=0
*
*SPUTK1= SUMARNI PRIKAZ UKRCANOG TERETA U
*KAMIONE(TONA)
*FBOK1= FIKTIVNA BRZINA OTPREME KAMIONA U 24H
*(TONA)
*SPUTK1= 0= INICIJALNO STANJE UKRCANOG TERETA U
*KAMIONE(TONA)
*
*
R KPSUTK1.KL=GDK1.K
*
L KPSUKTK.K=KPSUKTK.J+DT*BUTK1.JK
*
N KPSUKTK=0
*
L SRKK1.K=SRKK1.J+DT*(KPSUTK1.JK-BUTK1.JK)
*
N SRKK1=0
*
*=====
*
SAVE BUTK1,GDK1,STUK1,FBOK1,K1,SPUTK1
*
SAVE KPSUTK1,KPSUKTK,SRKK1
*
* *****
* SEKTOR MATERIJALNIH TIJEKOVA PREKRCAJA TERETA U
SKLADIŠTE:
*
*
R BUTS1.KL=(BPTVV1.KL+BPTSV1.KL)*SKLOWW1.K*SKLOKK1.K*
*SKLOS1.K*CLIP(0,1, SRWK1.K,1E-30)*CLIP(0,1,SRKK1.K,1E-30)*
*CLIP(1,0,SITV1.K,1E-30)+BPTVV11.KL
*
*BTUS1= BRZINA UKRCAJA TERETA U SKLADIŠTE (TONA/ SAT)
*BPTVV1= BRZINA PRETOVARA TERETA VILIČAROM VEZA1.
*(TONA/SAT)
*SKLOWW1= UVJETNA LOGIČKA FUNKCIJA
*SKLOKK1= UVJETNA LOGIČKA FUNKCIJA
*SKLOS1= UVJETNA LOGIČKA FUNKCIJA
*
A SKLOWW1.K=CLIP(0,1,BUTW1.KL,1E-30)
*
*SKLOWW1= OGRANIČIVAČ VARIJABLE BUTW1 (B.D.)
*BTW1= BRZINA UKRCAJA TERETA U VAGONE VEZA1.
*(TONA/SAT)
*SKLOWW1= UVJETNA LOGIČKA FUNKCIJA
*
A SKLOKK1.K=CLIP(0,1,BUTK1.KL,1E-30)
*
*SKLOKK1= UVJETNA LOGIČKA FUNKCIJA
*BTUK1= BRZINA UKRCAJA TERETA U KAMIONE (TONA/SAT)
*
A SKLOS1.K=CLIP(0,1,SUTS1.K,54000)
*
*SKLOS1= UVJETNA LOGIČKA FUNKCIJA
*SUTS1= STANJE UKRCANOG TERETA U SKLADIŠTE (TONA)
*54000= KAPACITET SKLADIŠTA
*
L SUTS1.K=SUTS1.J+DT*(BUTS1.JK-BPTSV1.JK)
*
N SUTS1=0
*
*SUTS1= STANJE UKRCANOG TERETA U SKLADIŠTE (TONA)
*BTUS1= BRZINA UKRCAJA TERETA U SKLADIŠTE (TONA/SAT)
*SUTS1= 0= INICIJALNO STANJE UKRCANOG TERETA U
*SKLADIŠTA(TONA)
*
R BPTSV1.KL=CLIP(0,50*V1.K,SITV1.K,1E-30)*SKLUS1.K*
*CLIP(1,0,SRWK1.K+SRKK1.K,
*1E-30)+CLIP(0,SUTS1.K,SUTS1.K,50*V1.K)*
*CLIP(1,0,SRWK1.K+SRKK1.K,1E-30)
*
A SKLUS1.K=CLIP(1,0,SUTS1.K,50*V1.K)
*
L SKPUTS1.K=SKPUTS1.J+DT*(BUTS1.JK-BPTSV1.JK)
*
N SKPUTS1=0
*
L SSKS1.K=SSKS1.J+DT*(BPTSV1.JK-BUTS1.JK)
*
N SSKS1=54000
*
*
* .....
* SPT=TEKUĆE STANJE ISKRCANOG TERETA :
*
L SPT.K=SPT.J+DT*(BUTW1.JK+BUTK1.JK+BUTS1.JK-BPTSV1.JK)
*
N SPT=0
*
* .....
* KSUTWK= STANJE OTPREMLJENOG TERETA U VAGONE I
KAMIONE :
*
L KSOT.K=KSOT.J+DT*(FBOW1.JK+FBOK1.JK)
*

```

```

N KSOT=0
*
*****
SAVE BUTS1,SUTS1,SPT,SKPUTS1,SSKS1
*
SAVE BPTSV1,SKLUS1,KSOT
* .....
*
SPEC DT=1,LENGTH=397,SAVPER=1
*****
    
```

4. Scenariji simulacije PPL-a
Scenario of the simulation of PPL-a

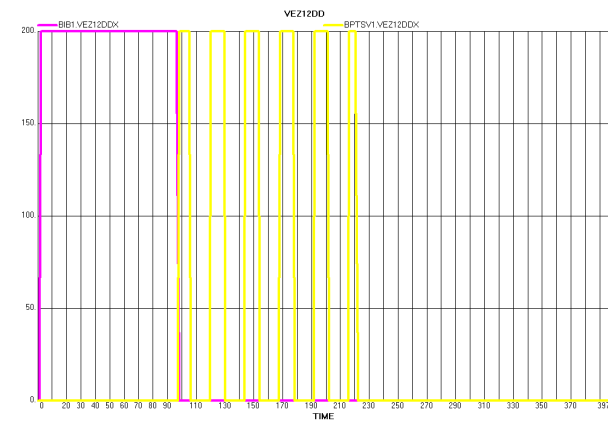
Model obuhvaća pristajanje i iskrcaj broda na vezu, prekrcaj tereta u vagone s ugrađenim podsektorom logičkog upravljanja, prekrcaj tereta u kamione također s podsektorom logičkog upravljanja, te konačno prekrcaj tereta u skladišta.

Zbog ograničenog prostora izlaganja ovako složene materije PPL-a, prikazali smo nulti scenarij s sljedećim početnim uvjetima:

- da je brod na Vezu 1,
- da je iskrcaj započeo u vremenu T=0,
- pretovar tereta dizalicama gdje je broj dizalica D1=4, odnosno njihov kapacitet je 50*D1,
- pretovar tereta na viličare gdje je broj viličara V1=4, odnosno njihov kapacitet je 50*V1,
- transport tereta viličarima s veza do rampe te pretovar u vagone, broj vagona je W1=64 (komada),
- transport tereta u kamione, broj kamiona K1=20 (komada),
- transport tereta u skladišta, a kapacitet skladišta je 54000,

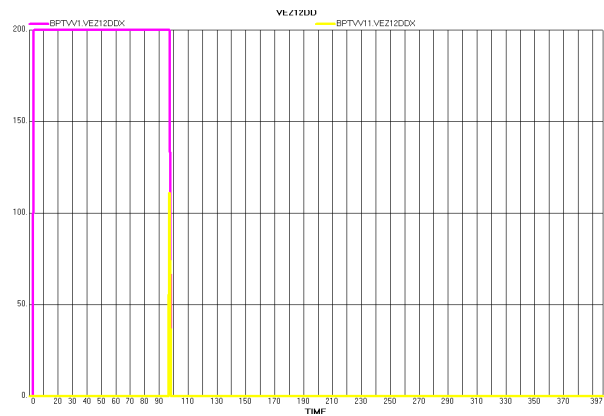
4.1. Rezultati simulacije
System dynamics simulation results

Grafički rezultati simulacije:



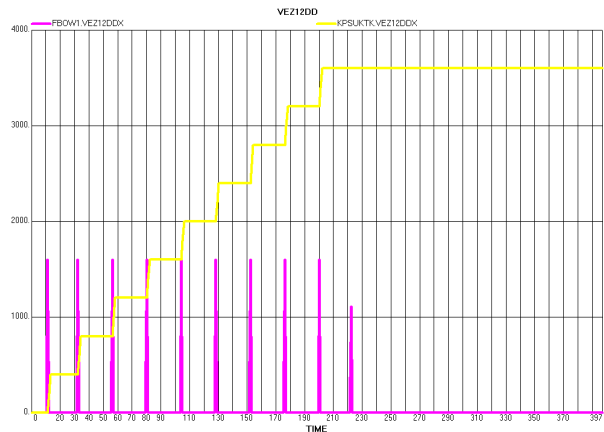
Slika 7./Figure 7: BIB1, BPTSV1

BIB1= brzina iskrcaja broda, BPTSV1= brzina pretovara tereta u skladište
BIB1= speed of unloading the ship, BPTSV1= speed of shipping of the cargo to the warehouse



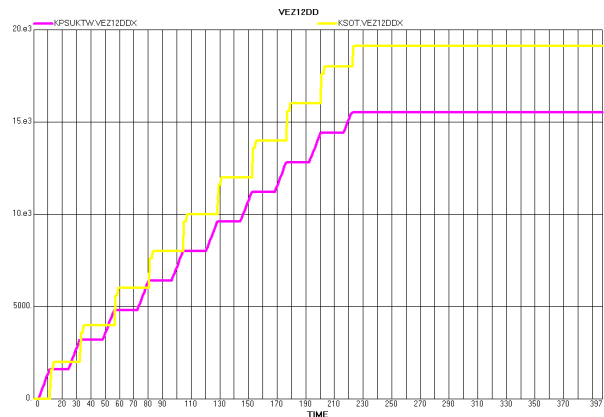
Slika 8./Figure 8: BPTVV1, BPTVV1

BPTVV1= brzina otpreme tereta viličarom s veza1 pa do platformi za ukrcaj u vagone, kamione ili skladište
BPTVV11= brzina otpreme robe viličarom s veza1 u slučaju da je SITV1 višekratnik broja viličara,
BPTVV1= speed of shipping of the cargo with fork-lift from the berth1 to the platforms for loading on the wagons, trucks or warehouse,
BPTVV11= speed of shipping of the cargo with fork-lift from the berth 1 in the case that SITV1 is multiple of the number of the fork-lift



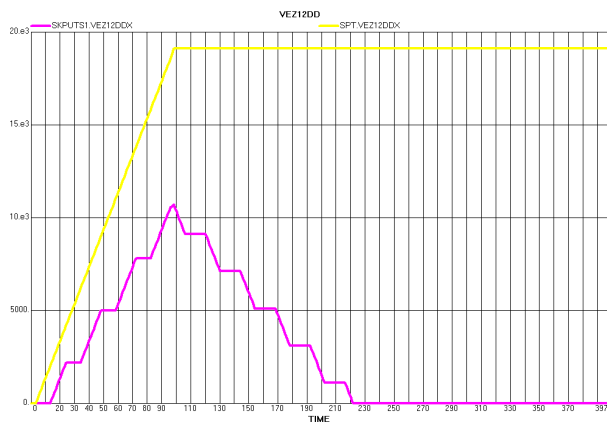
Slika 9./Figure 9: FBOW1, KPSUKTK

FBOW1= fiktivna brzina otpreme vagona u 24 sata
KPSUKTK= kumulativni prikaz stanja ukrcanog tereta u kamione
FBOW1= fictitious speed of forwarding the wagons in 24 H
KPSUKTK= cumulative display of the state of the loaded cargo on the trucks



Slika 10./Figure 10: KPSUKTW, KSOT

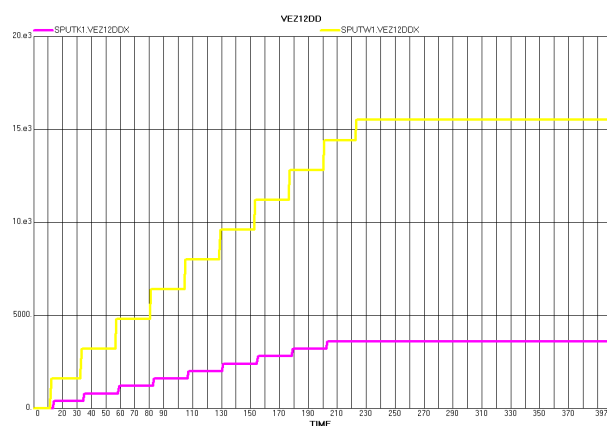
KPSUKTW= kumulativni prikaz stanja ukrcanog tereta u vagone,
KSOT= kumulativno knjigovodstveno stanje otpremljenog tereta
KPSUKTW= cumulative display of the state of the loaded cargo on the wagons
KSOT= cumulative book-keeping state of the shipped cargo



Slika11./Figure 11: SKPUTS1, SPT

SPT= sumarno tekuće stanje tereta,
SKPUTS1= stanje kumulativnog prikaza ukrcanog tereta u skladišta

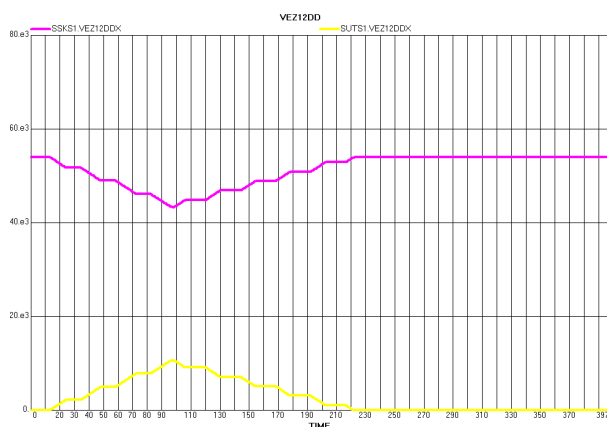
SPT= current state of the cargo
SKPUTS1=state of the cumulative display of the loaded cargo to the warehouses



Slika12./Figure 11: SPUTK1, SPUTW1

SPUTK1= sumarni prikaz ukrcanog tereta u kamione,
SPUTW1= sumarni prikaz ukrcanog tereta u vagone

SPUTK1= summary display of the loaded cargo on the trucks
SPUTW1= summary display of the loaded cargo on the wagons



Slika 13./Figure 13: SSKS1, SUTS1

SSKS1= stanje raspoloživog skladišnog kapaciteta,
SUTS1= stanje ukrcanog tereta u skladišta

SSKS1=state of available warehouse capacities
SUTS1=state of the loaded cargo to the warehouse

Na osnovi izvršene simulacije dinamike ponašanja modela u složenom scenariju moguće je donijeti nekoliko zaključaka:

- koristeći STEP funkciju moguće je simulirati dnevnu brzinu iskrcaja broda i otpremu tereta s obale; također je moguće simulirati dnevne potrebe vagona i kamiona da ne dođe do nepotrebnog čekanja vagonskih i kamionskih kapaciteta ili do zastoja u iskrcaju broda ili u otpremi tereta iz lučkog skladišta;

- također uz pomoć STEP funkcije moguće je pratiti sve relevantne podatke, dnevne i tekuće, tijekom iskrcaja i otpreme tereta, stanje tereta u lučkom skladištu, slobodne kapacitete lučkog skladišta itd.;

- na osnovi dobivenih rezultata može se analizirati stanje sustava u bilo kojem trenutku.

4. Zaključak Conclusion

Zahvaljujući petnaestogodišnjoj praktičnoj primjeni metodologije simulacije sustavne dinamike, koju su koristili pojedinačno studenti pri izradi svojih seminarskih radova ili diplomskog rada na Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Splitu, kao i prilikom ispita kad smo pokušali odrediti stupanj znanja studenata o kompleksima termo-elektro-mehaničko-upravljačko-menadžerskih sustava i procesa, koji su najčešće nelinearni dinamički sustavi i procesi, autori su zapazili da mladi pomorci mogu prepoznati linearne i nelinearne prijelazne dinamičke fenomene pomorskih sustava i procesa mnogo brže (više od deset puta) i mnogo temeljitije, negoli dosada korištenim «black-box» pristupom (klasični simulatori i trenadžeri)!

Sve prije navedeno potvrđuje efikasnost primjene sustav-dinamičkog simulacijskog modeliranja u procesu edukacije pomoraca, kao i činjenica da mladi pomorci pojedinačno «izrađuju» svoj vlastiti SD-model za istraživanje dinamike ponašanja redovio nelinearnih sustava i procesa, čime su u mogućnosti simulirati niz interesantnih scenarija ili situacija bez opasnosti za stvarni sustav, to jest pomorski proces.

Primjena pristupa sustav-dinamičkog simulacijskog modeliranja kompleksnih pomorskih dinamičkih procesa, koji autori zajedno sa svojim studentima izvode na Pomorskom fakultetu u Splitu, kroz sedam godina pokazala je sljedeće:

- pristup sustav-dinamičkog modeliranja je veoma pogodan znanstveni pristup i softverski alat za izobrazbu nautičara, brodstrojara i menadžerskih kadrova, tj. inženjera.

- sustav-dinamički kompjutorsko simulacijski modeli pomorskih sustava i procesa su veoma efektivno i uspješno uvedeni u tečajeve simulacije i vježbe kao dio procesa obuke pomoraca.

Upotreba DYNAMO makrofunkcije CLIP, kao osnovnog strukturnog elementa logike menadžiranja (upravljanja) simulativnog modela PPL-a, istakla je

transparentnost i jednostavnost stvaranja većih, tj. složenijih struktura. CLIP-logičkih funkcija, koja služi kao osnovni modul koji autori koriste da bi imitirali ekspertni-inteligentni algoritam, u ovom slučaju «lučkog menadžera».

Literatura

References

[1] A. Munitic, Application Possibilities of System Dynamics Modelling, System Dynamics, Edited by Susan Spencer and George Richardson, Proceedings of the SCS Western Multiconference, San Diego, California, A Society for Computer Simulation International, San Diego, USA (1989)

[2] Munitic, A. 1989. "Kompjutorska simulacija uz pomoć sistemske dinamike.", BIS, Split, Hrvatska,

[3] A. H. Byrknes, Run-Time User's Guide and Reference Manual, Powersim 2.5, Powersim Corporation, Powersim AS, 12007 Sunrise Valley Drive, Reston Virginia 22091 USA.

[4] R. Zelenika, L. Jakomin, Modern Transport Systems, in Croatian, Economic Faculty-Rijeka, Croatia (1995)

[5] Richardson, George P. and Pugh III Aleksander L. 1981. "Introduction to System Dynamics Modelling with Dynamo.", MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA,

[6] Ante Munitic, Mirko Bilic, Josko Dvornik, System Dynamics Simulation Model of the Port-Transshipments System, MITIP 2002, Savona, Italia, 2002. 171-176.

[7] Ante Munitic, Mirko Bilic, Josko Dvornik, System Dynamics Simulation Model of the Port-Transshipments System, MEET/MARIND'2002, Varna, October, 2002.

[8] Luko Regjo, Sustav dinamički kontinuirani kompjutorsko simulacijski model iskrcaj/ukrcaj tereta, diplomski rad, Pomorski fakultet u Dubrovniku studij u Splitu, 1992.

Rukopis primljen: 18.8.2003.



ATLANTSKA PLOVIDBA d.d.

Dubrovnik, Hrvatska - Croatia

**PREVOZI ROBU U SLOBODNOJ
PLOVIDBI PO SVIM MORIMA SVIJETA.**

**OBAVLJA PRIJEVOZ TEŠKIH I
IZVANGABARITNIH TERETA
SPECIJALIZIRANIM BRODOVIMA.**

**PREVOZI ROBU U MALOJ
OBALNOJ PLOVIDBI.**

**OD SV. MIHAJLA 1
POŠT. PRET. 192**

**TEL: (020) 352 - 333
FAX: (020) 356 - 148
TLX: 27584 ATLANT RH
27684 ATLANT RH**