

SUSTAVNO DINAMIČKO MODELIRANJE OBNOVLJIVIH MORSKIH RESURSA

System Dynamics Modelling of Renewable Sea Resources

UDK 519.876.5:639.2

Pregledni članak

Review

Sažetak

Kompjutorska simulacija ima sve veću primjenu u proučavanju bioloških i ekoloških sustava. Zsigurno, postoji mnogo različitih tipova simulacijskih tehnika, a mi ćemo u ovom radu predstaviti metodu koja je originalno poznata kao „industrijska dinamika“ (Forrester, 1961.). Ova je metoda polako prerasla u teoriju što povezuje strukturu sustava s njegovim dinamičkim ponašanjem (Forrester, 1968.) i prihvaćen je novi naziv: „sustavna dinamika“ (Forrester, 1971.). Prema prof. dr. J. Forrester - MIT sustavna dinamika je filozofija o sustavu, u osnovi kvalitativnoga karaktera. Zatim, to je prepoznavanje dominacije krugova povratne veze na osnovi dinamičkoga ponašanja sustava, a koji su ujedno i pod utjecajem funkcioniranja samog sustava. Osnova sustavne dinamike je prepoznavanje unutarnje strukture sustava, tj. razumijevanje dinamike ponašanja koja može proizaći iz samog sustava (Roberts i sur., 1983.). Ova teorija, koja je danas potpuno opravdano prerasla u novu znanstvenu disciplinu, povezuje strukturu sustava s njegovom vlastitom dinamikom ponašanja, ali i s uzajamnim djelovanjem relevantne okoline promatranog sustava! Kod bioloških sustava interakcije mnogih njegovih elemenata tvore odgovor sustava ili njegovo ponašanje (Moxnes, 2002.). U ovom radu prikazat će se primjena sustavne dinamike u modeliranju obnovljivih morskih resursa, tj. izložiti će se konkretna primjena na ribljoj populaciji.

Ključne riječi: sustavna dinamika, obnovljivi morski resursi, sustavni dinamički modeli, riblja populacija.

Summary

Recent computer simulation has been increasingly used for investigating biological and ecological systems. Naturally, there are many different types of simulation approaches, but in this paper we will present a method which is originally known as „Industrial dynamics“ (Forrester, 1961). From its beginnings this method slowly became a theory which connects the structure of the system with dynamics behaviour of system (Forrester, 1968) and it is known by a new name „System dynamics“ (Forrester, 1971). According to Prof. Dr. J. Forrester from MIT System dynamics, in general, is philosophy about the system, which in basis has qualitative character and identification of dominative feedback loops in dynamics behaviour of the system, which are not isolated but under the influence of operating of the system itself. The fundamental of System dynamics is recognition of internal structure of the system, i.e. understanding the dynamics of behaviour which can result from the system alone (Roberts et al., 1983). This theory, nowadays recognized as a new scientific discipline known by the name System dynamics connects the structure of the system with its own dynamics of behaviour and with mutual interaction with surrounding environment of the observed system. In biological systems interaction of many elements of the system produces the answer of the system or its dynamics of behaviour (Moxnes, 2002). In this paper we will present application of System dynamics in modelling the renewable sea resources, i.e. we will present concrete application on indefinite fish population.

Key words: System dynamics, renewable sea resources, system dynamics models, fish population.

* mr. sc. Merica Slišković, dipl. ing., Pomorski fakultet Split, Zrinjsko frankopanska 38, 21000 Split

** mr. sc. Gorana Jelić, dipl. ing., Pomorski fakultet Split, Zrinjsko frankopanska 38, 21000 Split

*** mr. sc. Marko Hell, prof., Pomorski fakultet Split, Zrinjsko frankopanska 38, 21000 Split

Uvod

Introduction

Populacija je skupina organizama iste vrste koji žive na jednom području i međusobno djeluju jedan na drugoga. Populacijska biologija proučava biološke populacije, a glavni joj je cilj razumijevanje i predviđanje dinamike ponašanja pojedine promatrane populacije (Hastings, 1997.). Simulacijsko modeliranje, uz pomoć sustavne dinamike i intenzivnog korištenja suvremenim digitalnim računalima, što podrazumijeva i masovnu primjenu danas veoma jeftinih, a istodobno moćnih personalnih računala (PC-a), jedan je od najprimjerenijih i najuspješnijih znanstvenih načina u istraživanju dinamike ponašanja nelinearnih i veoma složenih: prirodnih, tehničkih i organizacijskih sustava. Usto, korisnici ove metodologije simuliranja kontinuiranih modela na digitalnom računalu, otvaraju sebi mogućnost da stječu najnovija znanja o ponašanju dinamičkih sustava. Metodologija je značajna i po tome što ne obuhvaća samo kompjutorski tip modeliranja već jasno determinira i mentalno, strukturno, matematičko i kompjutorsko modeliranje istih realiteta sustava.

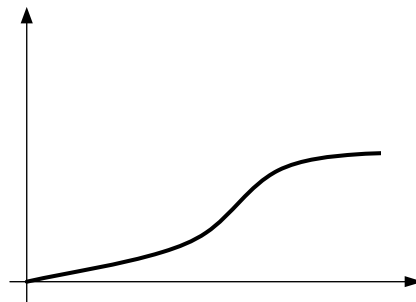
Sustavni dinamički modeli služe za razumijevanje, pojašnjavanje i predviđanje dinamike ponašanja biološke populacije. Simulacijski su modeli modeli stanja promatranog sustava, tj. realiteta kojega apstrakciju predstavljaju; oni su matematički obrasci za simulaciju, to jest računalno predviđanje sukcesivnih budućih stanja promatranog sustava, a na bazi zadanih pretpostavka koje su uzete iz strukture sadašnjeg stanja sustava, i to u vremenskom razdoblju DT proizvoljno odabranom (Munitić, 1989.). Pojednostavljeno, simulacijskim se modelima simulira dinamika ponašanja promatranog sustava ili populacije na osnovi dosadašnjih spoznaja o sustavu, radi proučavanja ili postizanja željenog stanja sustava. Sustavna dinamika promatra sustav kao skup elemenata kojih odnosi počivaju na određenim zakonitostima ili načelima. Kao znanstvena disciplina, *sustavna dinamika* metodologija je istraživanja, modeliranja, simuliranja i optimiziranja složenih dinamičkih sustava. Usto, ona je i konkretna primjena sustavnog mišljenja na probleme upravljanja složenim dinamičkim sustavima ili, u našem primjeru, obnovljivim morskim populacijama (Meadows, 2002; Whelan i sur.).

Još u 18. stoljeću Thomas Malthus (1798.), u svojem eseju o populaciji, došao je prilično blizu uviđanju dinamike ponašanja populacije s povratnim vezama (Richardson, 1991.). Malthus je ispravno istaknuo da potencijal za eksponencijalni rast sadržava ono što danas znamo kao pozitivni krug povratnog djelovanja. Zatim, točno je identificirao nekoliko valjanih negativnih krugova povratnog djelovanja koji kontroliraju taj potencijalno aktivni krug.

Ludwig von Bertalanffy (1930.) smatra se pionirima sustavnog razmišljanja jer je proučavao biološke organizme kao sustave, što znači da je načela sustavne strukture primijenio pri proučavanju bioloških sustava i njihova funkcioniranja (Richardson, 1991.). Von Bertalanffy prvi je predstavio svoje ideje o Generalnoj

teoriji sustava (*General System Theory*) još 1937. Prilikom stvaranja Generalne teorije sustava implicitno je prezentiran koncept povratne veze (*feedback*), koji je ubrzo eksplicitno prepoznat kao jedan od osnovnih dijelova u izradbi modela.

U populacijskoj biologiji poznat je analogan proces populacijskog rasta i njegova stabilizirajućeg trenda za različite biološke organizme. Za neke populacije vrijedi sljedeća grafički prikazana zakonitost:



Slika 1. „S“-krivulja dinamike rasta bioloških populacija (Munitić, 1989.)

Fig. 1. „S“- curve of dynamics growth of biological population

Prikazana krivulja naziva se „S“-krivulja dinamike rasta bioloških populacija, i karakteristična je za više biljnih i životinjskih populacija. Iz ove krivulje je očito da je stopa rasta u početku sporija, poslije se ubrzava i u završnoj se fazi ponovno usporava, jer nastaje zasićenje. Nameće se zaključak da se biološke populacije same stabiliziraju ovisno o uvjetima svoje okoline. Također, da su biološki čimbenici, tj. uzročno-posljedične ovisnosti među elementima bioloških sustava i među vrstama bioloških populacijskih sustava, uz nebiološke činitelje - regulatori populacijskog rasta i njegova stabiliziranja.

Kad se biološki sustavi nalaze u kritičnim okolnostima, tj. u vrijeme borbe za egzistenciju, različiti fizički faktori, kao što su hrana, svjetlost ili temperatura, mogu imati presudni utjecaj na rast biološkoga populacijskog sustava.

Sustavno dinamičko modeliranje riblje populacije

System dynamics modelling of fish population

Primjena sustavne dinamike u ovom radu prikazat će se na jednostavnom primjeru riblje populacije kad je jedini ograničavajući čimbenik nosivi kapacitet (*carrying capacity*), tj. maksimalna gustoća naseljenosti. Zanimareni su bilo koji drugi čimbenici koji bi mogli utjecati na stanje riblje populacije, poput predatora, ribarenja, nepovoljnih uvjeta okoline, onečišćivača i slično. Iz svega prije spomenutoga proizlazi da kao prvi korak pri modeliranju riblje populacije treba utvrditi

međusobne odnose bitnih elemenata sustava, kao što su: stanje riblje populacije, utjecaj nataliteta i mortaliteta na samu populaciju te djelovanje jedinoga ograničavajućeg čimbenika – nosivoga kapaciteta područja.

Sustavni dinamički mentalno-verbalni model za riblju populaciju

System dynamics mental-verbal model of fish population

Utjecaj stope nataliteta na riblju populaciju očituje se time što će njezin porast izazivati sve veću brojnost riblje populacije a to je (+) pozitivna uzročno-posljedična veza jer povećanje (uzrok) jedne varijable izaziva (posljedica) povećanje druge varijable. Nadalje, i veći broj jedinka riblje populacije izazivat će višu stopu nataliteta, čime je i ova uzročno-posljedična veza (+) pozitivna. Ove dvije varijable tvore (+) pozitivan krug povratnog djelovanja (KPD1(+)), čime se upućuje na njegov eksponencijalni funkcionalni karakter.

Utjecaj mortaliteta na riblju populaciju može se opisati sljedećim uzročno-posljedičnim vezama: viša stopa mortaliteta riba izazivat će smanjenje riblje populacije, što znači negativan predznak (-) uzročno-posljedične veze jer porast uzroka izaziva smanjenje posljedice. Veća brojnost jedinka riblje populacije rezultirat će višom stopom mortaliteta, što opet predstavlja (+) pozitivnu uzročno-posljedičnu vezu. U skladu sa sustavnim dinamičkim pravilom (ako je suma (-) negativnih uzročno-posljedičnih veza neparan broj, karakter promatranog KPD je negativan), drugi krug povratnog djelovanja je (-) negativan (KPD2(-)), što znači da ima samoregulatorni karakter.

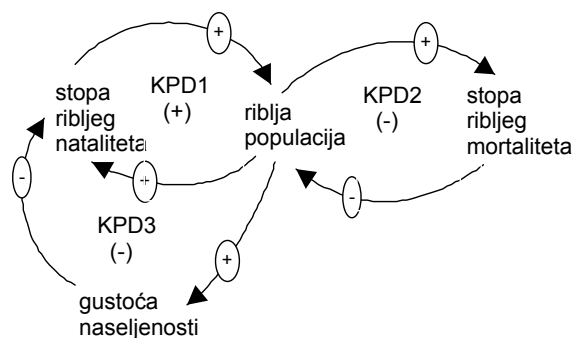
Kao jedini ograničavajući faktor, nosivi kapacitet područja ili gustoća naseljenosti pokazuje sljedeće odnose prema stanju riblje populacije: veća riblja populacija uzrokovat će porast gustoće naseljenosti, čime je uzročno-posljedična veza (+) pozitivna. Ako gustoća naseljenosti raste, smanjuje se stopa nataliteta (brzina), što znači (-) negativnu uzročno-posljedičnu vezu. B. F. Calhoun je utvrdio biološku činjenicu da rast populacije na ograničenom prostoru izaziva pojavu stresova, što se negativno reflektira na agregatno smanjivanje stope nataliteta (Goodman, 1983.). Ponovno viša stopa nataliteta izazivat će sve veći porast riblje populacije, pa zato i (+) pozitivnu uzročno-posljedičnu vezu. Treći promatrani krug povratnog djelovanja također je (-) negativnog predznaka (KPD3(-)).

Sustavni dinamički strukturni model riblje populacije

System dynamics structural model of fish population

Na osnovi prije opisanih uzročno-posljedičnih veza i krugova povratnih djelovanja koje one tvore, može se predstaviti i strukturni model riblje populacije. Slika 2. prikazuje općeniti model riblje populacije, s naznačenim krugovima povratnog djelovanja (KPD) i međusobnim

uzročno-posljedičnim vezama između pojedinih elemenata sustava.



Slika 2. Strukturni model riblje populacije

Fig. 2. Structural model of fish population

Iz strukturnog dijagrama, bez poznavanja kvantitativnih podataka, može se uočiti koji će krugovi povratnog djelovanja biti presudni za opstanak riblje populacije. Zatim, vidljivo je koji elementi potiču rast populacije (u našem slučaju KPD1(+)), a koji djeluju kao regulatori porasta populacije (u našem slučaju KPD2(-) i KPD3(-), jer negativna povratna veza ima zadatak da održava sustav u ravnoteži).

Zaključak

Conclusion

Ciljevi populacijske biologije su razumjeti i predvidjeti dinamiku populacija. Sustavni dinamički modeli služe da bi se razumjela, pojasnila i predvidjela dinamika ponašanja biološke populacije. Poradi toga što smo svakodnevno svjedoci neodgovarajućeg, prekomjernog iskorištavanja prirodnih obnovljivih resursa, potrebno je uspostaviti primjeren način upravljanja ovim resursima. Ponekad i vrhunski stručnjaci mogu pogrešno procijeniti strukturu i dinamiku ponašanja obnovljivih resursa, pa se u ovom radu željela prikazati primjena sustavne dinamike u razumijevanju unutarnje strukture i dinamike ponašanja obnovljivog resursa kao cjeline (u ovom primjeru - riblje populacije). Usto su istaknuti bitni elementi pojednostavljenog modela riblje populacije i prikazani su njihovi međusobni odnosi (uzročno-posljedične veze) kako bi se lakše uvidjela unutarnja struktura sustava. Kvalitativno modeliranje prikazano u radu, tj. mentalno-verbalni model, pruža mogućnost da se uočava svaki pojedini element sustava i njegove uzročno-posljedične veze s drugim elementima sustava. Drugim riječima, moguće je jasno utvrditi koja je varijabla uzrok, a koja posljedica. Sama mogućnost da se prati dinamika ponašanja pojedinih varijabla pogodna je za proučavanje dinamike ponašanja riblje populacije, a time i odgovarajućeg modela upravljanja tim važnim prirodnim resursom.


Literatura

References

1. Forrester, J. W. (1961): *Industrial Dynamics*. MIT Press: Cambridge, MA

2. Forrester, J. W. (1968): *Principles of Systems*. Wright-Allen Press: Cambridge, MA
3. Forrester, J. W. (1971): *World Dynamics*. Wright-Allen Press: Cambridge, MA
4. Goodman, M. R. (1974): *Study notes in System Dynamics*, The MIT Press Cambridge, Massachusetts and London, England, Third printing 1983 by The MIT Press. 1983, Copyright 1974 Wright-Allen Press, Inc.
5. Hastings, A. (1997): *Population biology, Concepts and Models*. Springer-Verlag, New York, Inc.
6. Meadows, D. L. (2002): *Fish bank website*. Available [online] 22.8.2002. <http://www.unh.edu/ipssr/Lab/FishBank.html>
7. Moxnes, E. (2000): Not only the tragedy of the commons: misperceptions of feedbacks and policies for sustainable development. *System Dynamic Review*, Vol. 16, No.4, pp 325-348.
8. Munitić, A. (1989): *Computer simulation with the help of System Dynamics, in Croatian*, Brodosplit, Split, Croatia (299 pages)
9. Roberts, N., D. Andersen, R. Deal, M. Garet, W. Shaffer, (1983): *Introduction to computer simulation: The System Dynamics approach*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., MA
10. Richardson, G. P. (1991): *Feedback Thought in Social Science and System Theory*. University of Pennsylvania Press.
11. Whelan, J., M. Halbower (2001): *Building the Fish Banks Model & Renewable Resources Depletion (D-4543)*. Available [online] 2001 from Roadmaps, <http://sysdyn.mit.edu/road-maps/rm-toc.html>

Rukopis primljen: 14.10.2004.



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**