

## SISTEM DINAMIČKI MODEL PONAŠANJA OTPADA IZ MARIKULTURE

I. Đula, M. Slišković\*, G. Jelić Mrčelić<sup>1</sup>

### *Sažetak*

Cilj ovoga rada je predočiti sistem dinamički model ponašanja otpada nastalog uzgojem riba u morskom okolišu. Pomoću modela može se odrediti održivost uzgoja na promatranom području. Sam model podijeljen je u četiri podsustava (podsustav organske tvari, podsustav otopljenog kisika, podsustav otopljenog dušika, te podsustav algi i fitoplanktona). U modelu je definirano šest osnovnih varijabli, međusobno povezanih uzročno - posljedičnim vezama. Svaka od tih varijabli definira se pomoću jedne ili više funkcija stanja. Osnovni ulaz u sustav je količina otpada koja dolazi u promatrani okoliš iz uzgajališta. Prezentirani sistem dinamički model može se iskoristiti u procjeni održivosti uzgajališta u marikulturi.

**Ključne riječi:** sistem dinamički model, marikultura, otpad, morski okoliš

### *UVOD*

Kaveznim uzgojem neizbježno se mijenja kvaliteta morskog okoliša. Smanjenje kvalitete vode u uzgajanom području može dovesti do slabog rasta i povećane smrtnosti uzgajanih organizama (Losordo i sur., 1999).

Uzgajani organizmi troše kisik iz vodenog stupca. Nepojedena hrana, fekalije i lijekovi dodatno pogoršavaju kvalitetu vode oko kaveza. Ribe kao produkt metabolizma izlučuju otopljeni i kruti otpad (Miller i Seemanns, 2002). Kruti otpad potječe od nepojedene i/ili prosute hrane i od fecesa riba (Amirkolaie, 2011). Otopljeni otpad može doći iz dva izvora. Prvi izvor otopljenog otpada su uzgajani organizmi (metaboličke izlučevine riba preko škrge i urina: amonijak, fosfor, kemijska potrošnja kisika) (Amirkolaie, 2011).

Drugi dio otopljenog otpada potječe od razlaganja i otapanja hranjiva iz krutog otpada. U određivanju količine otpada iz akvakulture kao važan faktor treba uzeti količinu hrane koja se koristi, jer se hrana smatra glavnim izvorom otpada (Roque d'Orbecastel i sur., 2009). Pretpostavka je, da čak i kod dobro upravljanih sustava, 30% hrane postaje kruti otpad (Miller i Seemanns, 2002). Problem otpada iz uzgajališta proučavan je

---

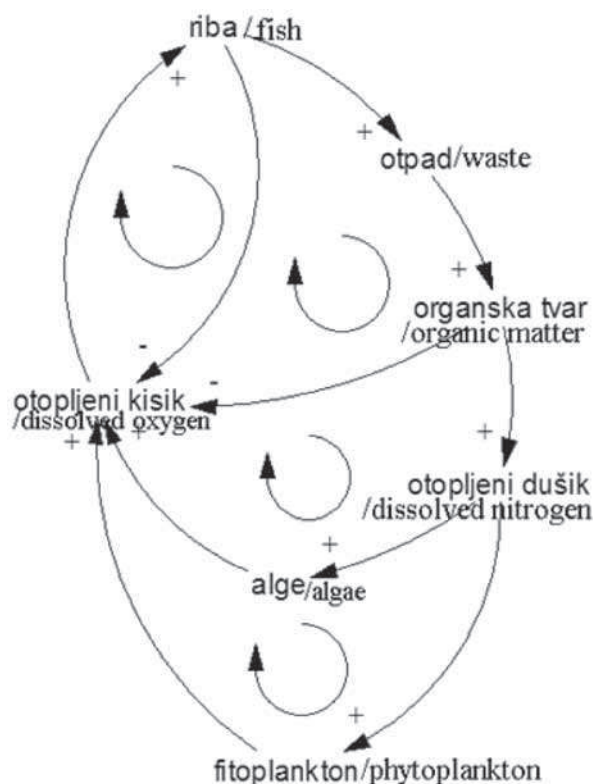
<sup>1</sup> Ivan Đula, doc. dr. sc. Merica Slišković\* (corresponding author, e-mail: merica@pfst.hr), doc. dr. sc. Gorana Jelić Mrčelić, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet Split, Zrinsko-Frankopanska 38, 21000 Split

uzimajući u obzir povećano prihranjivanje (Strain i sur., 1995; Jiang i sur., 2009) i izlučivanje toksičnih tvari (Chou i sur., 2004). Korišteni dinamički modeli (Johnston i sur., 2000; Jamu i Piedrahita, 2002) pokazali su se korisni čak i u slučaju nedostatka podataka (Teegavarapu i sur., 2005).

Cilj rada je opisati sve ključne varijable u modelu otpada nastalog uzgojem riba u morskom okolišu, te odrediti njihove međuovisnosti tj. uzročno - posljedične veze i krugove povratnog djelovanja koje postoje unutar ovog modela. Poznavanjem strukture modela otpada nastalog uzgojem riba može se odrediti dinamika ponašanja promatranog modela.

### MENTALNO VERBALNI MODEL OTPADA IZ MARIKULTURE

U modelu otpada iz marikulture, kojeg su izradili Chateau i Chang (2010), definirano je šest osnovnih varijabli: otpad (nastao kao posljedica uzgoja), organska tvar, otopljeni dušik, otopljeni kisik, alge i fitoplankton. Sve varijable međusobno su povezane uzročno - posljedičnim vezama (Slika 1).



Slika 1. Strukturni model otpada iz uzgoja prema Chateau i Chang (2010)

Figure 1. Structural model of aquaculture waste (Chateau and Chang, 2010)

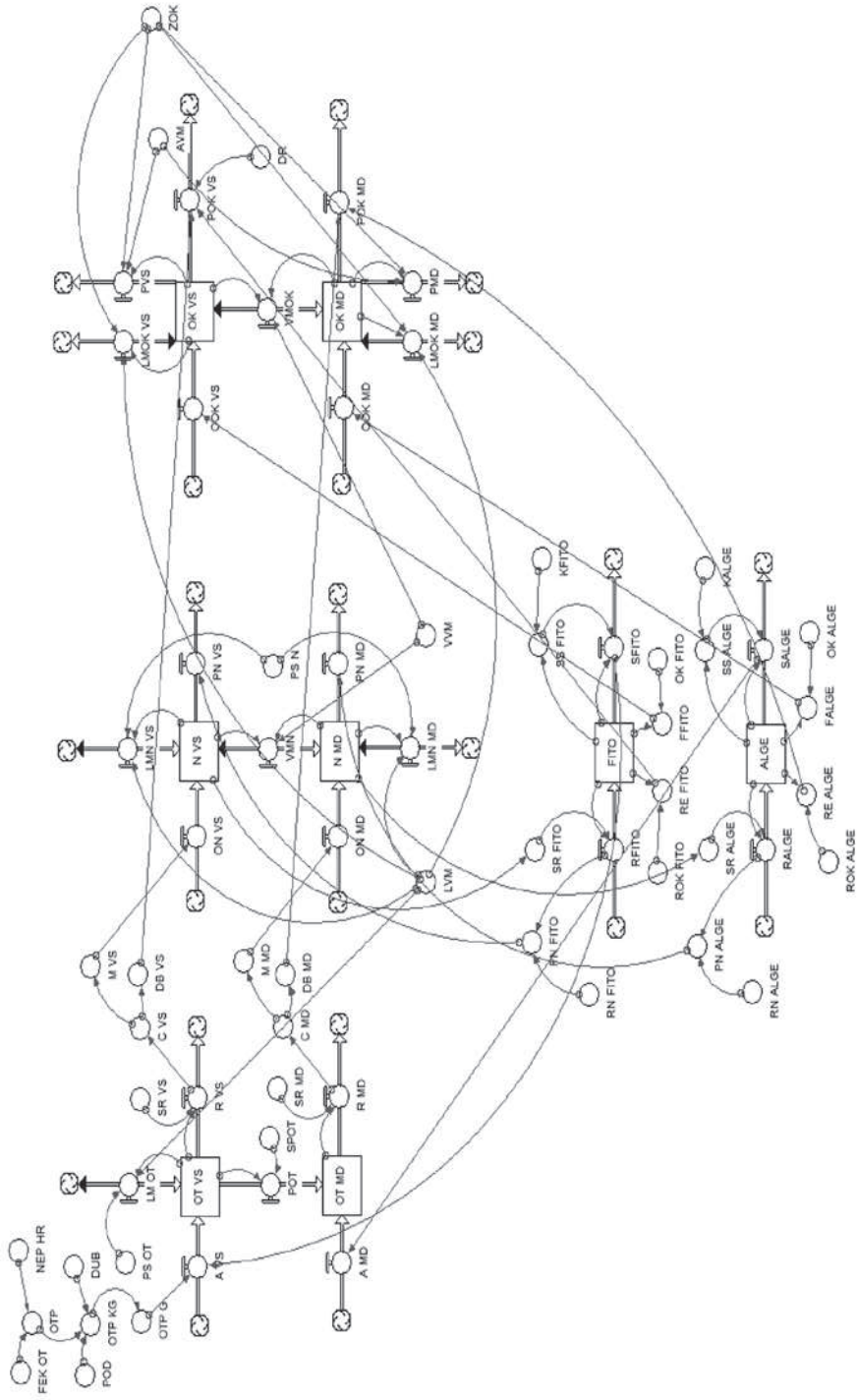
Iz strukturnog modela vidljivo je postojanje dva pozitivna i dva negativna kruga povratnog djelovanja. Dominacija negativnih krugova povratnog djelovanja povećava se približavanjem granicama nosivog kapaciteta okoliša.

Zbog složenosti svaka od ovih varijabli definirana je pomoću jedne ili više funkcija stanja. Sam model je podijeljen na četiri podsustava: podsustav organske tvari, podsustav otopljenog kisika, podsustav otopljenog dušika te podsustav algi i fitoplanktona. Slika 2 prikazuje model otpada iz uzgoja u iThink programskom jeziku, a u tablici 1 je naveden popis korištenih varijabli.

Tablica 1. Popis varijabli na Slici 2.

Table 1. List of variables used in Figure 2

<b>PODSUSTAV KRUŽENJA ORGANSKIH TVARI</b>	<b>ORGANIC MATTER SUBSYSTEM</b>
OT_VS – količina organske tvari u vodenom stupcu	OT_VS – organic matter in the water column
OT_MD – količina organske tvari na morskom dnu	OT_MD – organic matter on the seabed
A_VS – akumulacija organske tvari u vodenom stupcu	A_VS – accumulation in the water column
R_VS – razgradnja organske tvari u vodenom stupcu	R_VS – decomposition in the water column
A_MD – akumulacija organske tvari na morskom dnu	A_MD – accumulation on the seabed
R_MD – razgradnja organske tvari na morskom dnu	R_MD – decomposition on the seabed
LM_OT – lateralno miješanje organske tvari	LM_OT – organic matter lateral mixing
POT – potonuće organske tvari na dno	POT – sinking of the organic matter
OTP – organski otpad u vodenom stupcu u kg	OTP – organic waste in kg
OTP_G – organski otpad u vodenom stupcu u g/m <sup>3</sup>	OTP_G – organic waste in g per m <sup>3</sup>
OTP_KG – organski otpad u vodenom stupcu u kg/m <sup>3</sup>	OTP_KG – organic waste in kg per m <sup>3</sup>
POD – površina područja	POD – area
DUB – dubina područja	DUB – depth
NEP_HR – nepojedena hrana	NEP_HR – uneaten food
FEK_OT – fekalni otpad	FEK_OT – feces production
PS_OT – prosječni sadržaj organske tvari u vodenom stupcu	PS_OT – average organic matter content in the water column
SR_VS – stopa razgradnje organske tvari u vodenom stupcu	SR_VS – decomposition rate of organic matter in the water column
SR_MD – stopa razgradnje organske tvari na morskom dnu	SR_MD – decomposition rate of organic matter on the seabed
C_VS – razina ugljika u vodenom stupcu	C_VS – carbon in the water column
C_MD – razina ugljika na morskom dnu	C_MD – carbon on the seabed
M_VS – mineralizacija u vodenom stupcu	M_VS – mineralization in the water column
M_MD – mineralizacija na morskom dnu	M_MD – mineralization on the seabed
DB_VS – disanje bakterija u vodenom stupcu	DB_VS – respiration of bacteria in the water column
DB_MD – disanje bakterija na morskom dnu	DB_MD – respiration of the bacteria on the seabed
SPOT – stopa potonuća organske tvari na dno	SPOT – sinking rate
<b>PODSUSTAV KRUŽENJA DUŠIKA</b>	<b>NITROGEN SUBSYSTEM</b>
N_VS – količina dušika u vodenom stupcu	N_VS – nitrogen in the water column
N_MD – količina dušika na morskom dnu	N_MD – nitrogen on the seabed
ON_VS – obnova dušika u vodenom stupcu	ON_VS – nitrogen replenishment in the water column
PN_VS – potrošnja dušika u vodenom stupcu	PN_VS – nitrogen consumption in the water column
ON_MD – obnova dušika na morskom dnu	ON_MD – nitrogen replenishment on the seabed



Slika 2. Model otpada iz uzgoja u iThink programskom jeziku  
Figure 2. Aquaculture waste model using iThink software

PN_MD – potrošnja dušika na morskom dnu	PN_MD – nitrogen consumption on the seabed
LMN_VS – lateralno miješanje dušika u vodenom stupcu	LMN_VS – nitrogen lateral mixing in the water column
LMN_MD – lateralno miješanje dušika na morskom dnu	LMN_MD – nitrogen lateral mixing on the seabed
VMN – vertikalno miješanje dušika	VMN – nitrogen vertical mixing
PS_N – prosječni sadržaj dušika	PS_N – average nitrogen concentration
<b>PODSUSTAV KRUŽENJA OTOPLJENOG KISIKA</b>	<b>DISSOLVED OXYGEN SUBSYSTEM</b>
OK_VS – količina otopljenog kisika u vodenom stupcu	OK_VS – dissolved oxygen in the water column
OK_MD – količina otopljenog kisika na morskom dnu	OK_MD – dissolved oxygen on the seabed
OOK_VS – obnova otopljenog kisika u vodenom stupcu	OOK_VS – dissolved oxygen replenishment in the water column
OOK_MD – obnova otopljenog kisika na morskom dnu	POK_VS – dissolved oxygen consumption in the water column
POK_VS – potrošnja otopljenog kisika u vodenom stupcu	OOK_MD – dissolved oxygen replenishment on the seabed
POK_MD – potrošnja otopljenog kisika na morskom dnu	POK_MD – dissolved oxygen consumption on the seabed
PVS – prezasićenost kisikom u vodenom stupcu	PVS – supersaturation in the water column
PMD – prezasićenost kisikom na morskom dnu	PMD – supersaturation on the seabed
LMOK_VS – lateralno miješanje otopljenog kisika u vodenom stupcu	LMOK_VS – dissolved oxygen lateral mixing in the water column
LMOK_MD – lateralno miješanje otopljenog kisika na morskom dnu	LMOK_MD – dissolved oxygen lateral mixing on the seabed
VMOK – vertikalno miješanje otopljenog kisika	VMOK – dissolved oxygen vertical mixing
DR – disanje ribe	DR – fish respiration
AVM – atmosfersko vrijeme miješanja	AVM – atmosphere mixing time
ZOK – zasićenost otopljenim kisikom	ZOK – dissolved oxygen saturation
<b>PODSUSTAV FITOPLANKTONA I ALGI</b>	<b>PHYTOPLANKTON AND ALGAE SUBSYSTEM</b>
FITO – količina fitoplanktona	FITO – phytoplankton
ALGE – količina algi	ALGE – algae
RFITO – rast fitoplanktona	RFITO – phytoplankton growth
RALGE – rast algi	RALGE – algae growth
SFITO – smrtnost fitoplanktona	SFITO – phytoplankton death
SALGE – smrtnost algi	SALGE – algae death
RN_FITO – razina dušika po masi fitoplanktona	RN_FITO – nitrogen content per phytoplankton
RN_ALGE – razina dušika po masi algi	RN_ALGE – nitrogen content per algae
PN_FITO – potrošnja dušika fitoplanktona	PN_FITO – phytoplankton nitrogen consumption
PN_ALGE – potrošnja dušika algi	PN_ALGE – algae nitrogen consumption
SR_FITO – stopa rasta fitoplanktona	SR_FITO – phytoplankton growth fraction
SR_ALGE – stopa rasta algi	SR_ALGE – algae growth fraction
SS_FITO – stopa smrtnosti fitoplanktona	SS_FITO – phytoplankton death fraction
SS_ALGE – stopa smrtnosti algi	SS_ALGE – algae death fraction
KFITO – kapacitet fitoplanktona	KFITO – phytoplankton capacity
KALGE – kapacitet algi	KALGE – algae capacity
ROK_FITO – potrošnja otopljenog kisika fitoplanktona	ROK_FITO – dissolved oxygen phytoplankton consumption

ROK_ALGE – potrošnja otopljenog kisika algi	ROK_ALGE – dissolved oxygen algae consumption
RE_FITO – disanje fitoplanktona	RE_FITO – phytoplankton respiration
RE_ALGE – disanje algi	RE_ALGE – algae respiration
FFITO – fitoplankton	FFITO – phytoplankton
FALGE – alge	FALGE – photo algae
OK_FITO – proizvodnja otopljenog kisika fitoplanktona	OK_FITO – dissolved oxygen phytoplankton production
OK_ALGE – proizvodnja otopljenog kisika algi	OK_ALGE – dissolved oxygen algae production
LVM – lateralno vrijeme miješanja	LVM – lateral mixing time
VVM – vertikalno vrijeme miješanja	VVM – vertical mixing time

---

Osnovni ulaz u sustav je količina otpada iz uzgajališta koja obuhvaća promatrani morski okoliš. Ona se odnosi na fekalije riba, nepojedenu hranu iz ribljih uzgajališta, te bilo koji drugi izvor organskog otpada u tom području. Ova varijabla djeluje pozitivnom uzročno – posljedičnom vezom na varijablu organske tvari, što znači da veća količina otpada povećava količinu organske tvari u vodenom stupcu.

#### *PODSUSTAV ORGANSKE TVARI*

Organska tvar predstavlja podsustav koji se sastoji od dvije jednadžbe stanja, te šest jednadžbi promjene stanja. Sastavni dio podsustava čini određeni broj pomoćnih jednadžbi, koje kao i u drugim podsustavima služe kao ulazne veličine ili kao pretvorbene funkcije koje povezuju ovaj podsustav s ostalima.

Jednadžbe stanja su organska tvar u vodenom stupcu (OT\_VS) i organska tvar na morskom dnu (OT\_MD). Osnovni ulazi u ova dva stanja: su akumulacija u vodenom stupcu (A\_VS) i akumulacija na morskom dnu (A\_MD), dok su izlazi: razgradnja u vodenom stupcu (R\_VS) i razgradnja na morskom dnu (R\_MD). Važna jednadžba promjene stanja je i lateralno miješanje organske tvari (LM\_OT), koja opisuje vodoravnu izmjenu organske tvari između promatranog područja i okolnih voda. Posljednja jednadžba promjene stanja je potonuće organske tvari (POT) i govori o brzini kojom organska tvar prelazi iz vodenog stupca na morsko dno. Podsustav organske tvari pozitivnom uzročno-posljedičnom vezom djeluje na podsustav otopljenog dušika i negativnom na podsustav otopljenog kisika. Oba ova podsustava sastoje se od dvije jednadžbe stanja, te nekoliko ulaznih i izlaznih jednadžbi promjene stanja, kao i određenog broja pomoćnih varijabli.

#### *PODSUSTAV OTOPLJENOG DUŠIKA*

Podsustav otopljenog dušika ima jednadžbu stanja koja pokazuje razinu otopljenog dušika u vodenom stupcu (N\_VS), te jednadžbu stanja koja prikazuje razinu otopljenog dušika na morskom dnu (N\_MD). Ulazne veličine u ove dvije jednadžbe stanja su jednadžbe promjene stanja, obnova dušika u vodenom stupcu (ON\_VS) i obnova dušika na morskom dnu, koje ovise o pomoćnim jednadžbama: mineralizaciji u vodenom stupcu

(M\_VS) i na morskom dnu (M\_MD). Glavni izlazi su jednadžbe promjene stanja, potrošnja dušika u vodenom stupcu (PN\_VS) i potrošnja dušika na morskom dnu (PN\_MD). Uz nabrojane jednadžbe promjene stanja postoje i tri dodatne jednadžbe koje opisuju lateralna i vertikalna gibanja dušika u moru. Prva takva jednadžba je vertikalno miješanje otopljenog dušika (VMN), koja opisuje okomitu izmjenu dušika između vodenog stupca i morskog dna. Ova varijabla je podešena tako da se dušik giba iz područja veće koncentracije u područje manje koncentracije, zbog čega se za prikazivanje koristi jednadžba promjene stanja s dvostrukim tokom. Osim ovog vertikalnog, postoje i dva lateralna miješanja otopljenog dušika: u vodenom stupcu (LMN\_VS) i na morskom dnu (LMN\_MD). Ove varijable su također prikazane dvostrukim tokom, a predstavljaju razmjenu otopljenog dušika između promatranog područja i okolnog mora. Valja istaknuti i pomoćnu jednadžbu - prosječni sadržaj dušika (PS\_N), koja predstavlja ulaznu vrijednost za lateralna miješanja dušika.

### *PODSUSTAV OTOPLJENOG KISIKA*

Podsustav otopljenog kisika također ima dvije jednadžbe stanja: jednu koja pokazuje razinu otopljenog kisika u vodenom stupcu (OK\_VS) i jednu koja pokazuje razinu otopljenog kisika na morskom dnu (OK\_MD). Ove varijable kao ulaze koriste dvije jednadžbe promjene stanja: obnovu otopljenog kisika u vodenom stupcu (OOK\_VS), te obnovu otopljenog kisika na morskom dnu (OOK\_MD). Kao izlazi koriste se jednadžbe promjene stanja: potrošnja otopljenog kisika u vodenom stupcu (POK\_VS) i potrošnja otopljenog kisika na morskom dnu (POK\_MD). Kada se dosegne razina zasićenja kisikom dolazi do njegovog ispuštanja u atmosferu. Iz tog su razloga u model uvrštene i dodatne dvije jednadžbe promjene stanja: prezasićenost u vodenom stupcu (PVS) i prezasićenost na morskom dnu (PMD), koje prikazuju ispuštanje viška otopljenog kisika u atmosferu. Ove dvije varijable ovise o početnim postavkama dviju pomoćnih jednadžbi: atmosferskom vremenu miješanja (AVM) i zasićenosti otopljenim kisikom (ZOK). Uz navedene postoje i tri dodatne jednadžbe promjene stanja dvostrukog toka, koje opisuju lateralna i vertikalna gibanja otopljenog kisika. Vertikalno miješanje otopljenog kisika (VMOK) je varijabla koja prikazuje razmjenu kisika između vodenog stupca i morskog dna, koja je, kao i kod otopljenog dušika, postavljena na način da se vertikalno kretanje odvija iz područja veće u područje manje koncentracije. Lateralna miješanja otopljenog kisika u vodenom stupcu (LMOK\_VS) i na morskom dnu (LMOK\_MD) predstavljaju izmjenu otopljenog kisika između promatranog područja i okolnog mora. Podsustav otopljenog dušika pozitivnim uzročno-posljedičnim vezama djeluje na podsustav algi i fitoplanktona.

### *PODSUSTAV ALGI I FITOPLANKTONA*

Podsustav algi i fitoplanktona može se promatrati kao jedan podsustav, ali i kao dva manja zasebna podsustava. Oni, djeluju na podsustav otopljenog kisika pozitivnom uzročno-posljedičnom vezom. Središnje jednadžbe stanja su: razine algi (ALGE) i fitoplanktona

(FITO). Njihove ulazne varijable su jednadžbe promjene stanja: rast algi (RALGE) i rast fitoplanktona (RFITO). Ove varijable prvenstveno ovise o razinama dušika u vodenom stupcu i na morskom dnu. Fitoplanktonu, koji obitava u gornjim slojevima mora, važniji je dušik u vodenom stupcu, dok je algama presudan dušik s morskog dna. Uginuće algi (SALGE) i fitoplanktona (SFITO) su izlazne jednadžbe promjene stanja, a ovise o pomoćnim jednadžbama: stopi uginuća algi (SS\_ALGE) i stopi uginuća fitoplanktona (SS\_FITO), koje su pak direktno povezane s nosivim kapacitetom algi (KALGE) i fitoplanktona (KFITO). Alge i fitoplankton su također i potrošači kisika u moru, tako da su u model ugrađene i posebne pomoćne jednadžbe: disanje algi (RE\_ALGE) i disanje fitoplanktona (RE\_FITO), koje povećavaju potrošnju kisika u moru.

Definiranjem strukture modela (Chateau i Chang, 2010) uočeno je postojanje dva pozitivna i dva negativna kruga povratnog djelovanja. Približavanjem granicama nosivog kapaciteta okoliša uočava se povećanje dominacije negativnih krugova povratnog djelovanja.

Osnovni ulaz u sustav je količina otpada iz uzgajališta s kojim je dosta teško upravljati jer se otpad razgrađuje i otapa u morskoj vodi (Amirkolaie, 2011).

Prema Roque d'Orbcastel i sur. (2009) hrana se smatra glavnim izvorom otpada, te kod određivanja količine otpada iz akvakulture kao važan faktor treba uzeti količinu hrane koja se koristi. Miller i Seemmens (2002) pretpostavljaju da čak i kod dobro upravljanih sustava 30% hrane postaje kruti otpad.

## ZAKLJUČAK

Osnovni ulaz u sustav ponašanja otpada marikulture u morskom okolišu je količina otpada iz uzgajališta koja dolazi u promatrani morski okoliš. On se odnosi na fekalije riba, nepojedenu hranu iz ribljih uzgajališta, te bilo koji drugi izvor organskog otpada u tom području. Na ponašanje ključnih varijabli sustava, kao što je razina otopljenog kisika u vodi, direktno utječe količina otpada iz uzgajališta. Dok uzgajalište ispušta organsku tvar u vodu, razina otopljenog kisika pada, što povećava smrtnost ribe, te time onemogućava daljnji uzgoj na tom području. Ovakvo ponašanje uočava se u strukturnom modelu (s dva pozitivna i dva negativna kruga povratnog djelovanja). Dominacija negativnih krugova povratnog djelovanja povećava se kako se sustav približava granicama nosivog kapaciteta okoliša. Iako postoje brojne mogućnosti testiranja utjecaja uzgajališta ribe na morski okoliš, ovaj sistem dinamički model se može iskoristiti u procjeni održivosti uzgajališta ribe, čak i u slučaju nedostatka podataka.



*Summary*

SYSTEM DYNAMIC MODEL OF WASTE GENERATED FROM  
MARICULTURE FARMING

I. Đula, M. Slišković\*, G. Jelić Mrčelić<sup>1</sup>

The aim of this paper is to present a model of mariculture waste in the marine environment. The model can help determine the sustainability of mariculture in the area. It is divided into four sub-systems (organic matter, dissolved oxygen, dissolved nitrogen and algae-phytoplankton subsystem) and is defined by six basic variables connected by cause-effect relationships. Each of these variables is defined by one or several functions of state. The basic input into the system is the amount of waste generated by mariculture entering the observed water environment.

**Key words:** system dynamic model, mariculture, waste, marine environment

*LITERATURA*

- Amirkolaie A. K. (2011): Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. *Reviews in Aquaculture*, 3, 19 – 26.
- Chateau, P. A., Chang, Y. C. (2010): A system dynamics model for marine cage aquaculture, *Proceedings of the 28th International Conference of the System Dynamics Society*, <http://www.systemdynamics.org/conferences/2010/proceed/papers/P1103.pdf>.
- Chou, C. L., Haya, K., Paon, L. A. , Moffatt, J. D. (2004): A regression model using sediment chemistry for the evaluation of marine environmental impacts associated with salmon aquaculture cage wastes. *Marine Pollution Bulletin*, 49, (5-6), 465-72.
- Jamu, D. M., Piedrahita, R. H. (2002): An organic matter and nitrogen dynamics model for the ecological analysis of integrated aquaculture/agriculture systems: I. model development and calibration. *Environmental Modelling & Software*, 17, (6), 571 - 582.
- Jiang, Z., Fang, J., Mao, Y. Z., Wang, W. (2009): Eutrophication assessment and bioremediation strategy in a marine fish cage culture area in Nansha Bay, China. *Journal of Applied Phycology*, 22 (4), 421 - 426 .
- Johnston, D., Soderquist, C., Meadows, D.H. (2000): *The Shrimp Commodity System. Sustainability Institute Report*, 18pp.
- Losordo, T. M. , Masser, M. P., Rakocy, J. E. (1999): *Recirculating aquaculture tank production systems: a review of component options. SRAC (Publication no. 453).*

---

<sup>1</sup> Ivan Đula, assist. prof. Merica Slišković\* (corresponding author e-mail: merica@pfst.hr), assist. prof. Gorana Jelić Mrčelić, University of Split, Faculty of Maritime Studies, Zrinsko-Frankopanska 38, 21000 Split

- Miller, D., Semmens, K. (2002): Waste management in aquaculture. Aquaculture Information Series. West Virginia University. 1 - 9.
- Roque d'Orbcastel, E., Blancheton, J. P., Aubin, J. (2009): Towards environmentally sustainable aquaculture: comparison between two trout farming systems using life cycle assessment. Aquacultural Engineering, 40, 113 – 119.
- Strain, P. M., Wildish, D. J., Yeats, P. A. (1995): The Application of Simple Models of Nutrient Loading and Oxygen Demand to the Management of a Marine Tidal Inlet. Marine Pollution Bulletin, 30, (4), 253 - 261 .
- Teegavarapu, R. S. V., Tangirala, A. K., Ormsbee, L. (2005): Modeling Water Quality Management Alternatives for a Nutrient Impaired Stream Using System Dynamics Simulation. Journal of Environmental Informatics, 5, (2), 72 - 80.

Primljeno/Received: 5. 9. 2012.

Prihvaćeno/Accepted: 7. 12. 2012.