



Matko Bupić\*

Luko Milić\*\*

Marijo Oršulić\*\*\*

ISSN 0469-5266

(23 - 28)

## SIMULACIJSKI MODEL RASHLADNOG SUSTAVA BRODSKOG DIZELSKOG MOTORA

### SIMULATION MODEL OF MARINE DIESEL ENGINE COOLING SYSTEM

UDK 621.436:621.565:629.123

Izvorni znanstveni rad  
Original scientific paper

#### Sažetak

U uvodnom dijelu ovog rada prikazani su načini kako se može ostvariti regulacija temperatura u rashladnom sustavu brodske dizelske motore. Zatim je opisan rashladni sustav kao objekt regulacije i postavljen njegov matematički model. Prema matematičkom modelu i podacima motora MAN-B&W oznake L50MCE izrađen je dinamički kontinuirani kompjutorski simulacijski model u DYNAMO višem programskom jeziku, kojim je simulirana dinamika ponašanja rashladnog sustava. Dobiveni rezultati predloženi su numerički i grafički.

*Ključne riječi:* rashladni sustav, matematički model, simulacijski model, dinamički, kontinuirani

#### Summary

The introductory part of this paper deals with the methods for obtaining temperature regulation in the marine diesel engine cooling system. Cooling system, as an object of regulation, has been described afterwards and its mathematical model has been put forward. A dynamic continued computer simulation model in DYNAMO language, by means of which the behaviour of the cooling system was simulated, was developed according to the mathematical model and the data of MAN-B&W of L50MCE mark. The obtained results have been numerically and graphically presented.

*Key words:* cooling system, mathematical model, simulation model, dynamic, continued

#### 1. Uvod Introduction

Na suvremenim brodskim dizelskim motorima regulacija temperatura rashladnog sustava ostvaruje se regulatorima temperature i uređajima daljinske kontrole i zaštite. Uporaba automatskih regulatora temperature osigurava automatsko održavanje željenog temperaturnog režima rashladne vode, što je nužan preduvjet za ostvarenje optimalnog toplinskog režima rada dizelskog motora. Kvalitetna stabilnost radnih temperatura u sustavu hlađenja cilindara, stapova i rasprskavača porivnog dizelskog motora osigurava njegov siguran, trajan i ekonomičan rad.

Temperatura u rashladnom sustavu dizelskog motora obično se regulira na izlazu iz motora. U sustavu hlađenja cilindara to omogućuje stabilizaciju srednje temperature vode na izlazu iz cilindara, čime se osigurava optimalni temperaturni režim i u toplinski najopterećenijim predjelima cilindarskih košuljica.

Hlađenje porivnih dizelskih brodskih motora ostvaruje se u zatvorenom krugu slatkom vodom i u otvorenom krugu morskom vodom. Rashladni sustav sastoji se iz dva temeljna elementa: motora i hladnjaka.

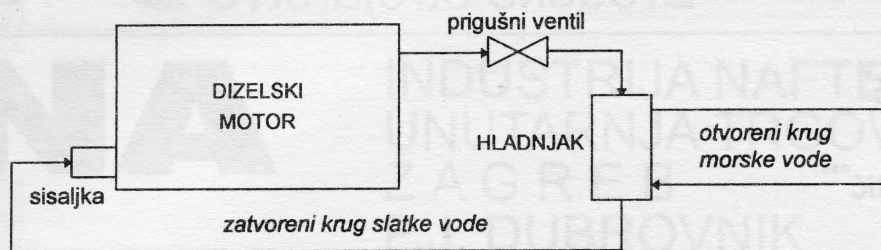
Regulacija temperatura u rashladnom sustavu može se ostvariti jednim od slijedećih načina:

- **prigušivanjem u zatvorenom krugu**, pri čemu se postavlja prigušni ventil na cjevovodu zatvorenog kruga, kojim se regulira protok slatke vode koja struji kroz motor i hladnjak, slika 1.;
- **premoštenjem u otvorenom krugu**, pri čemu se pomoću trosmjernog ventila regulira protok morske vode koja struji kroz hladnjak, slika 2.;
- **premoštenjem u zatvorenom krugu**, pri čemu se pomoću trosmjernog ventila regulira protok slatke vode koja struji kroz hladnjak, slika 3.

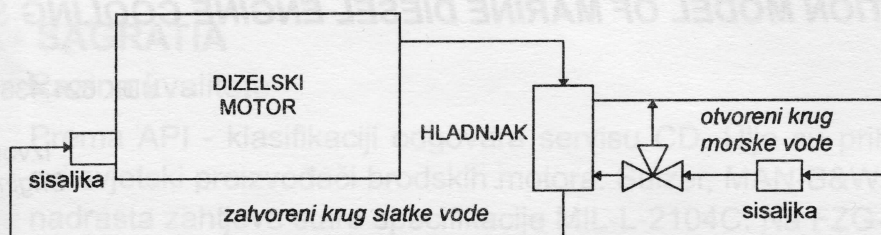
\* Matko Bupić, dipl. ing.  
predavač Veleučilišta u Dubrovniku  
direktor "Auto-Dubrovnik" d.d.

\*\* Dr. sci. Luko Milić, dipl. ing.  
Veleučilište u Dubrovniku

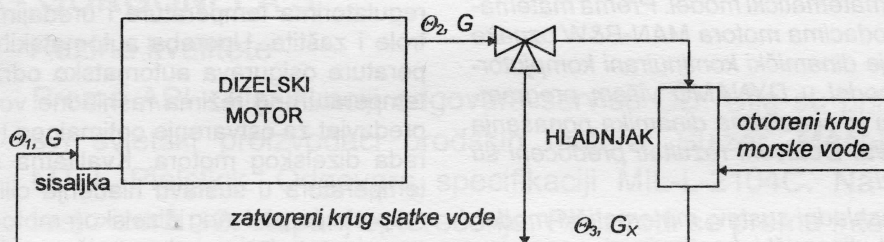
\*\*\* Dr. sci. Marijo Oršulić, dipl. ing.  
docent Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Splitu



Slika 1. Regulacija temperatura prigušivanjem u zatvorenom krugu  
Figure 1. Temperature regulation by means of regulating valve in a closed circuit



Slika 2. Regulacija temperatura premoštenjem u otvorenom krugu  
Figure 2. Temperature regulation by bypassing in an open circuit



Slika 3. Regulacija temperatura premoštenjem u zatvorenom krugu  
Figure 3. Temperature regulation by bypassing in a closed circuit

Prvi način rijetko se koristi i to samo pri uporabi sisaljki s rotacijskim kolima. Osnovni nedostatak ovog načina regulacije jest osciliranje vrijednosti tlaka u sustavu, kao i mogućnost pojave velikih toplinskih opterećenja zbog smanjenja protočne količine uslijed prigušenja. Drugi način u primjeni je prvenstveno u sustavima regulacije temperature ulja za podmazivanje, dok se treći način najčešće koristi. Pri tome je regulacijski element ventil ili razvodnik u trosmjernom kućištu.

## 2. Rashladni sustav kao objekt regulacije

### Cooling system as a regulation object

Načelna shema automatskog sustava regulacije (ASR) temperature rashladne vode s najčešće rabljenim mjestom postavljanja osjetnog elementa na cjevovodu na izlazu iz motora prikazana je na slici 3.

U ovom slučaju regulirana veličina je temperatura vode na izlazu iz motora, a temperatura na ulazu mijenja se u ovisnosti o radnom režimu. Ispitivanja pokazuju da se regulacijom prema danoj shemi postiže ravnomjernije mijenjanje temperatura u hlađenim dijelovima motora nego pri regulaciji temperatura postavljanjem osjetnog elementa na ulazu u motor, a prijelazni procesi pri povećanju ili smanjenju opterećenja događaju se prema eksponencijalnom zakonu. Pri porastu temperature rashladne vode ASR povećava količinu vode koja struji kroz hladnjak, smanjujući istovremeno količinu vode koja struji mimo hladnjaka. Pri sniženju temperature rashladne vode ASR djeluje obratno.

Kvalitetan ASR temperatura rashladne vode treba zadovoljavati slijedeće zahtjeve:

- područje ugađanja regulatora 35 do 100°C;
- neravnomjernost (statičko odstupanje regulacije) ne veća od 12°C;
- neosjetljivost ne veća od 1°C;

- inertnost regulatora, pod kojom se podrazumijeva vrijeme pomicanja (premještanja) regulacijskog organa za 2/3 hoda pri odskočnom mijenjanju okolne temperature za veličinu jednaku neravnomjernosti regulatora, ne duža od 40 sekundi;
- odstupanje temperatura u prijelaznom procesu pri jediničnom poremećaju ne veće od 6°C;
- trajanje prijelaznog procesa pri punom rasterećenju ili opterećenju ne duže od 2 minuta za porivni i ne duže od 10 minuta za pomoćne motore.

Rashladni sustav kao objekt regulacije je sustav s distribuiranim parametrima, budući se akumuliranje topline može ostvariti u metalnoj masi motora, slatkoj vodi u zatvorenom krugu, metalnom kućištu hladnjaka, a također i u materijalu cjevovoda i morskoj vodi. Temperature, slatke i morske vode, zbog dovođenja i odvođenja topline na različitim mjestima imaju promjenljive vrijednosti, što rezultira distribucijom parametara. Pri praktičnim proračunima automatskog sustava regulacije temperatura distribuiranost parametara objekta može se zanemariti.

Rashladni sustav može se opisati diferencijalnom jednadžbom trećeg reda s konstantnim koeficijentima i prijenosnom funkcijom u obliku:

$$W_{(s)} = \frac{T_4^2 s^2 + T_5 s + \delta_2}{T_1^3 s^3 + T_2^2 s^2 + T_3 s + \delta_1} \quad (1)$$

Na taj način rashladni sustav brodskog dizelskog motora je predstavljen kao višekonturni sustav članova s interakcijskim djelovanjem. Na temelju eksperimentalnih ispitivanja došlo se do spoznaje da je pri praktičnim proračunima rashladni sustav svrsishodno razmatrati kao sustav s jednim stupnjem slobode, u kojem se proces razmjene topline događa na jednom mjestu i to na mjestu osjetnog elementa. Tako se rashladni sustav može opisati diferencijalnom jednadžbom prvog reda, koja se postavlja iz jednadžbe toplinske bilanse.

### 3. Matematički model rashladnog sustava brodskog dizelskog motora *Mathematical model of marine diesel engine cooling system*

Za promatrani automatski sustav regulacije prikazan slikom 3. jednadžba toplinske bilanse za toplinski ravnotežni režim ima oblik:

$$Q_1 = Q_2 \quad (2)$$

- $Q_1$  ... toplina odvedena od motora slatkom vodom
- $Q_2$  ... toplina odvedena iz rashladnog sustava u hladnjaku

$$Q_1 = a \cdot P_e \cdot b_e \cdot H_d \quad (3)$$

- $a$  ... omjer odvedene topline od motora prema proizvedenoj toplini u motoru (10-15%)
- $P_e$  ... efektivna snaga motora, W
- $b_e$  ... efektivni specifični potrošak goriva, kg/(s×W)
- $H_d$  ... donja ogrijevna moć goriva, J/kg

$$Q_2 = c \cdot G_x \cdot \Delta\Theta \quad (4)$$

- $c$  ... specifični toplinski kapacitet slatke vode, J/(kg×K)
- $G_x$  ... protok slatke vode, kg/s
- $\Delta\Theta$  ... razlika temperatura slatke vode na ulazu i izlazu iz hladnjaka,  $\Theta_2 - \Theta_3$ , K

Dizelski motori za poriv brodova odlikuju se velikim snagama i posjeduju veliki broj međusobno zavisnih sustava. Uvjeti plovidbe broda i radni režim porivnog stroja nisu stalni, već se neprekidno mijenjaju, zbog stalnih promjena stanja mora i atmosferskih uvjeta i zbog promjenljivosti plovnih putova i područja plovidbe. Zbog toga, pri analizi rashladnog sustava brodskog dizelskog motora potrebno je imati u vidu sljedeće činjenice:

- za vrijeme rada motora mijenja se količina topline odvedene od motora slatkom vodom ( $Q_1$ ) zbog promjene efektivne snage motora ( $P_e$ ) i efektivnog specifičnog potroška goriva ( $b_e$ );
- zbog promjenljivosti temperature morske vode mijenja se i količina topline odvedene iz rashladnog sustava u hladnjaku ( $Q_2$ ).

Efektivna snaga motora ( $P_e$ ) može se predočiti kao funkcija više različitih čimbenika, poput broja okretaja osovine motora ( $n$ ), pretička zraka ( $\lambda$ ), gustoće zraka ( $\rho$ ), ogrijevne moći goriva ( $H_d$ ), itd. Za potrebe ove analize pretpostavlja se promjena efektivne snage motora prema uobičajenim teorijskim funkcijama (odskočnoj, nagibnoj i impulsnoj).

Vrijednost efektivnog specifičnog potroška goriva ( $b_e$ ) daje se u funkcionalnoj zavisnosti o snazi motora ( $P_e$ ) na temelju snimljenih dijagrama na pokusnom stolu.

Omjer hlađenjem odvedene topline od motora prema proizvedenoj toplini u motoru ( $a$ ) nije konstantna vrijednost, već se mijenja s promjenom snage motora, ali će za potrebe ove analize biti pretpostavljena njegova konstantna vrijednost.

Na temelju jednadžbe (2), dinamički režim rada može se predstaviti sljedećom diferencijalnom jednadžbom:

$$c \frac{d\Theta_2}{dt} = Q_1 - Q_2 \quad (5)$$

$\Theta_2$  ... temperatura na izlazu iz motora, tj. na ulazu u hladnjak - regulirana veličina

$\Theta_3$  ... temperatura na izlazu iz hladnjaka.

Uvrštenjem jednadžbi (3) i (4) u (5) i sređivanjem dobije se diferencijalna jednadžba dinamičkog režima rada sustava za hlađenje broskog dizelskog motora:

$$C_1 \frac{d\Theta_2}{dt} + C_2 \cdot G_x \cdot \Theta_2 = a \cdot P_e \cdot b_e \cdot H_d + C_2 \cdot G_x \cdot \Theta_3 \quad (6)$$

koja u obliku:

$$\frac{d\Theta_2}{dt} = \frac{1}{C_1} (-C_2 \cdot G_x \cdot \Theta_2 + a \cdot P_e \cdot b_e \cdot H_d + C_2 \cdot G_x \cdot \Theta_3) \quad (7)$$

predstavlja jednadžbu stanja rashladnog sustava broskog dizelskog motora.

#### 4. Dinamički kontinuirani kompjutorski simulacijski model u DYNAMO višem programskom jeziku *Dynamic continued computer simulation model in DYNAMO language*

Za postavljanje kompjutorskog simulacijskog modela rabljeni su podaci motora MAN-B&W oznake L50MCE dobiveni snimanjem na pokusnom stolu:

- relativna vrijednost efektivnog specifičnog potroška goriva ( $b_e$ ) ovisi o efektivnoj snazi motora ( $P_e$ ) prema sljedećoj funkcionalnoj zavisnosti:  $b_e = 0,2856 \cdot P_e^2 - 0,4522 \cdot P_e + 1,1666$ , a stvarna se vrijednost efektivnog specifičnog potroška goriva u kg/kWh dobije ako se relativna vrijednost pomnoži s 0,168;
- za omjer hlađenjem odvedene topline od motora prema proizvedenoj toplini u motoru uzeta je srednja vrijednost:  $a = 0,132$ ;
- donja ogrijevna moć goriva ima vrijednost:  $H_d = 42707$  kJ/kg;
- efektivna snaga motora:  $P_e = 12000$  kW;
- pretpostavljena vrijednost temperature slatke vode na izlazu iz motora, tj. na ulazu u hladnjak  $\Theta_2 = 80^\circ\text{C}$ , a na izlazu iz hladnjaka  $\Theta_3 = 68^\circ\text{C}$ .

Pri unošenju jednadžbe stanja rashladnog sustava (7) u DYNAMO viši programski jezik radi postavljanja simulacijskog modela izvršena je sljedeća zamjena oznaka:

$$\Theta_2 = X2$$

$$\Theta_3 = X3$$

$$C_1 = T1$$

$$C_2 \cdot G_x = K1$$

$$a \cdot H_d = K2$$

$$P_e = P$$

$$b_e = B$$

```

*****
* M. Bupic, L. Milic, M. Orsulic                               Dubrovnik, 03-97
* SIMULACIJSKI MODEL RASHLADNOG SUSTAVA BROSKOG DIZELSKOG MOTORA
*
*****
R DX2DT.KL=(1/T1)*(-K1*X2.K+K2*P.K*B.K+K1*X3)
L X2.K=X2.J+DT*DX2DT.JK
N X2=0.95
*
C T1=700
*
C K1=700
*
C K2=1000
*
A B.K=.2856*P.K**2-.4522*P.K+1.1666
*
C X3=0.8
*
A P.K=.5*STEP(.1,30)+STEP(.1,60)+PULSE(.4,1,80,160)+RAMP(.1,90)
*
*****
SAVE DX2DT,X2,B,P
*
*****
SPEC DT=.1,LENGTH=100,SAVPER=1
*
*****

```

Simulacijski model rashladnog sustava broskog dizelskog motora postavljen je i testiran prema slijedećem scenariju promjene efektivne snage motora: početno opterećenje 50% nazivne snage poraste u 30. i ponovo u 60. sekundi prema odskočnoj funkciji za 10% nazivne snage, u 80. sekundi mijenja se prema jediničnoj impulsnoj funkciji za 40% i konačno u 90. sekundi porast snage događa se prema nagibnoj funkciji s koeficijentom nagiba od 10%.

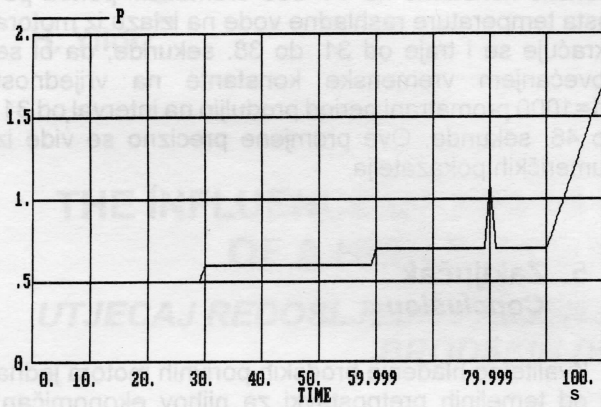
Dijagram na slici 4. (a) prikazuje promjenu relativne vrijednosti efektivne snage motora u periodu od nulte do 100. sekunde koja se odvija prema zadanom scenariju.

Dijagram na slici 4. (b) prikazuje promjenu relativne vrijednosti efektivnog specifičnog potroška goriva. Sniženje ove vrijednosti porastom snage motora u 30. i ponovno u 60. sekundi sasvim je sukladno izgledu dijagrama snimljenog na pokusnom stolu. Zbog povećanja snage u 80. sekundi prema jediničnoj impulsnoj funkciji i u 90. sekundi prema nagibnoj funkciji, vidljiv je i potpuno očekivan porast potroška goriva.

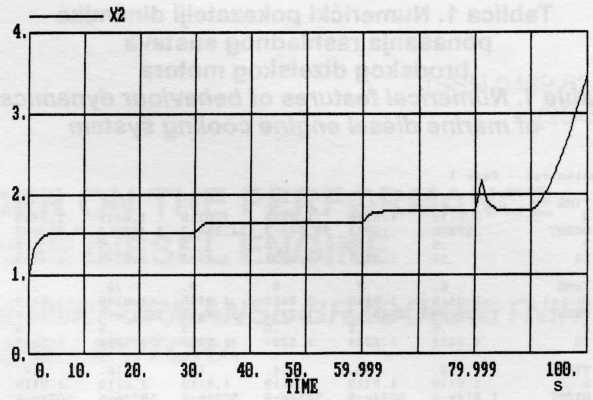
Dijagram na slici 4. (c) prikazuje promjenu brzine promjene relativne vrijednosti temperature na izlazu iz motora, tj. na ulazu u hladnjak.

Dijagram na slici 4. (d) prikazuje promjenu relativne vrijednosti temperature rashladne slatke vode na izlazu iz motora, uz istu vrijednost vremenske konstante za koju su dobiveni svi prethodni dijagrami,  $T1=700$ . Porastom vrijednosti snage motora vidljiv je očekivani porast i vrijednosti temperature vode na izlazu iz motora. Prateći promjene koje nastaju npr. u 30. sekundi porastom snage motora za 10% vrijednosti nazivne snage, vidljiv je nagli porast vrijednosti temperature slatke vode na izlazu iz motora koji nastupa u 31. sekundi. Brzina promjene sve je manja do 41. sekunde, da bi od 42. sekunde temperatura zadržala postignutu vrijednost konstantom sve do 61. sekunde, kad se zbog ponovnog porasta snage motora ponovno povećava i vrijednost temperature vode na izlazu iz motora.

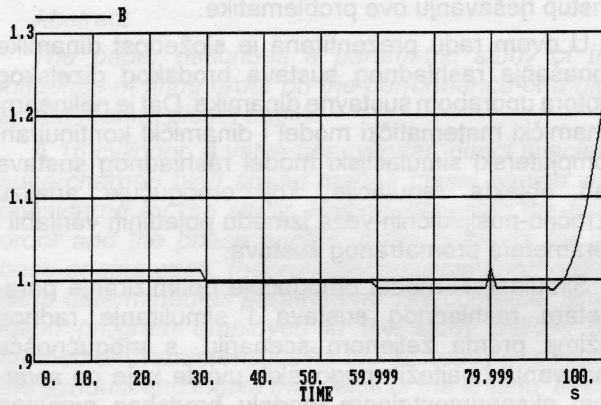
Dijagramima na slikama 4. (e) i 4. (f) ilustriran je utjecaj vremenske konstante  $T1$  na inertnost promatranog sustava. Tako npr. sniženjem vrijednosti vre-



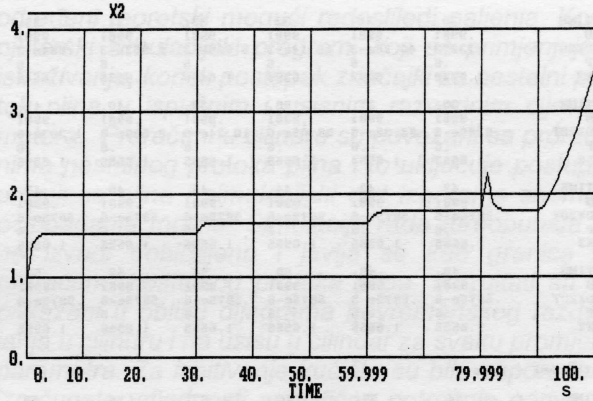
a) Promjena relative vrijednosti efektivne snage motora  
a) The change of relative value of effective engine output



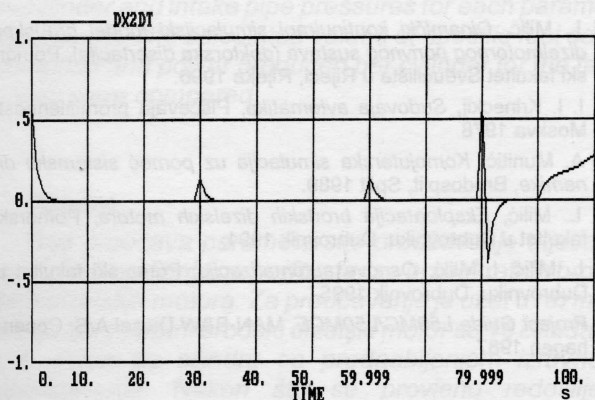
d) Promjena relative vrijednosti temperature na izlazu iz motora uz  $T_1=700$   
d) The change of relative temperature value at the engine outlet at  $T_1 = 700$



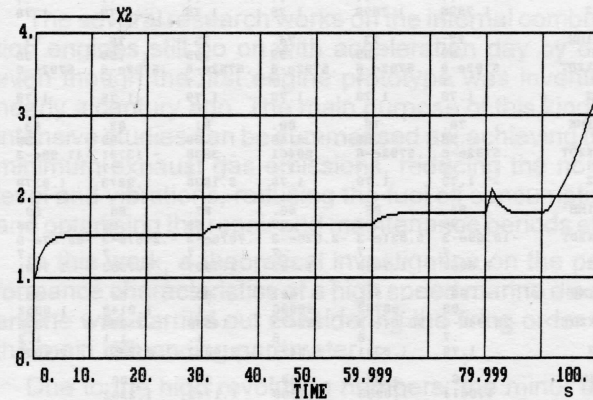
b) Promjena relative vrijednosti efektivnog specifičnog potroška goriva  
b) The change of relative value of effective, specific fuel consumption



e) Promjena relative vrijednosti temperature na izlazu iz motora uz  $T_1=500$   
e) The change of relative temperature value at the engine outlet at  $T_1=500$



c) Promjena brzine promjene relative vrijednosti temperature na izlazu iz motora  
c) The alternation of velocity change of relative temperature value at the engine outlet



f) Promjena relative vrijednosti temperature na izlazu iz motora uz  $T_1=1000$   
f) The change of relative temperature value at the engine outlet at  $T_1 = 1000$

Slika 4. Dijagrami dinamike ponašanja rashladnog sustava brodskog dizelskog motora  
Figure 4. Behaviour dynamics diagrams of marine diesel engine cooling system

**Tablica 1. Numerički pokazatelji dinamike ponašanja rashladnog sustava brodskog dizelskog motora**  
**Table 1. Numerical features of behaviour dynamics of marine diesel engine cooling system**

matko.rsl - Page 1

TIME	0.	1.	2.	3.	4.	5.
B	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119
DX2DT	.57279	.19972	69.64e-3	24.28e-3	8.466e-3	2.952e-3
P	.5	.5	.5	.5	.5	.5
X2	.95	1.3231	1.4531	1.4985	1.5143	1.5198
TIME	6.	7.	8.	9.	10.	11.
B	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119
DX2DT	1.029e-3	.3588e-3	.125e-3	43.54e-6	15.17e-6	5.271e-6
P	.5	.5	.5	.5	.5	.5
X2	1.5218	1.5224	1.5227	1.5227	1.5228	1.5228
TIME	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119
DX2DT	1.814e-6	.5024e-6	.5024e-6	.5024e-6	.5024e-6	.5024e-6
P	.5	.5	.5	.5	.5	.5
X2	1.5228	1.5228	1.5228	1.5228	1.5228	1.5228
TIME	18.	19.	20.	21.	22.	23.
B	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119
DX2DT	.5024e-6	.5024e-6	.5024e-6	.5024e-6	.5024e-6	.5024e-6
P	.5	.5	.5	.5	.5	.5
X2	1.5228	1.5228	1.5228	1.5228	1.5228	1.5228
TIME	24.	25.	26.	27.	28.	29.
B	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119	1.0119
DX2DT	.5024e-6	.5024e-6	.5024e-6	.5024e-6	.5024e-6	.5024e-6
P	.5	.5	.5	.5	.5	.5
X2	1.5228	1.5228	1.5228	1.5228	1.5228	1.5228
TIME	30.	31.	32.	33.	34.	35.
B	.9981	.9981	.9981	.9981	.9981	.9981
DX2DT	.13273	46.28e-3	16.14e-3	5.626e-3	1.962e-3	.684e-3
P	.6	.6	.6	.6	.6	.6
X2	1.5228	1.6092	1.6394	1.6499	1.6535	1.6548
TIME	36.	37.	38.	39.	40.	41.
B	.9981	.9981	.9981	.9981	.9981	.9981
DX2DT	.2386e-3	83.32e-6	29.08e-6	10.24e-6	3.568e-6	1.303e-6
P	.6	.6	.6	.6	.6	.6
X2	1.6553	1.6554	1.6555	1.6555	1.6555	1.6555
TIME	42.	43.	44.	45.	46.	47.
B	.9981	.9981	.9981	.9981	.9981	.9981
DX2DT	.5875e-6	.5875e-6	.5875e-6	.5875e-6	.5875e-6	.5875e-6
P	.6	.6	.6	.6	.6	.6
X2	1.6555	1.6555	1.6555	1.6555	1.6555	1.6555
TIME	48.	49.	50.	51.	52.	53.
B	.9981	.9981	.9981	.9981	.9981	.9981
DX2DT	.5875e-6	.5875e-6	.5875e-6	.5875e-6	.5875e-6	.5875e-6
P	.6	.6	.6	.6	.6	.6
X2	1.6555	1.6555	1.6555	1.6555	1.6555	1.6555

matko.rsl - Page 2

TIME	54.	55.	56.	57.	58.	59.
B	.9981	.9981	.9981	.9981	.9981	.9981
DX2DT	.5875e-6	.5875e-6	.5875e-6	.5875e-6	.5875e-6	.5875e-6
P	.6	.6	.6	.6	.6	.6
X2	1.6555	1.6555	1.6555	1.6555	1.6555	1.6555
TIME	60.	61.	62.	63.	64.	65.
B	.99	.99	.99	.99	.99	.99
DX2DT	.13449	46.9e-3	16.35e-3	5.701e-3	1.988e-3	.6931e-3
P	.7	.7	.7	.7	.7	.7
X2	1.6555	1.7431	1.7737	1.7843	1.788	1.7893
TIME	66.	67.	68.	69.	70.	71.
B	.99	.99	.99	.99	.99	.99
DX2DT	.2419e-3	84.26e-6	29.43e-6	10.24e-6	3.559e-6	1.294e-6
P	.7	.7	.7	.7	.7	.7
X2	1.7898	1.7899	1.79	1.79	1.79	1.79
TIME	72.	73.	74.	75.	76.	77.
B	.99	.99	.99	.99	.99	.99
DX2DT	.5792e-6	.5792e-6	.5792e-6	.5792e-6	.5792e-6	.5792e-6
P	.7	.7	.7	.7	.7	.7
X2	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79
TIME	78.	79.	80.	81.	82.	83.
B	.99	.99	1.0148	.99	.99	.99
DX2DT	.5792e-6	.5792e-6	.60461	-.3938	-.13731	-.47.88e-3
P	.7	.7	1.1	.7	.7	.7
X2	1.79	1.79	1.79	2.1838	1.9273	1.8379
TIME	84.	85.	86.	87.	88.	89.
B	.99	.99	.99	.99	.99	.99
DX2DT	-16.69e-3	-5.821e-3	-2.029e-3	-.7076e-3	-.2467e-3	-85.97e-6
P	.7	.7	.7	.7	.7	.7
X2	1.8067	1.7958	1.792	1.7907	1.7903	1.7901
TIME	90.	91.	92.	93.	94.	95.
B	.99	.98762	.99096	1.	1.0148	1.0352
DX2DT	-29.94e-6	90.64e-3	.12673	.14538	.15955	.17375
P	.7	.8	.9	1.	1.1	1.2
X2	1.79	1.8381	1.9474	2.0832	2.2351	2.4009
TIME	96.	97.	98.	99.	100.	
B	1.0614	1.0333	1.1309	1.1742	1.2232	
DX2DT	.18956	.20752	.22782	.25054	.2757	
P	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	
X2	2.5816	2.7791	2.9955	3.2334	3.495	

menske konstante na T1=500 vremenski period porasta temperature rashladne vode na izlazu iz motora skraćuje se i traje od 31. do 38. sekunde, da bi se povećanjem vremenske konstante na vrijednost T1=1000 promatrani period produljio na interval od 31. do 46. sekunde. Ove promjene precizno se vide iz numeričkih pokazatelja.

## 5. Zaključak Conclusion

Kvalitetno hlađenje brodskih porivnih motora jedna je od temeljnih pretpostavki za njihov ekonomičan, pouzdan i trajan rad. Budući da uspješno hlađenje ovisi o cijelom nizu raznih parametara, kao što su mase slatke i morske vode, temperature vode na ulazu i na izlazu iz motora, brzine strujanja slatke i morske vode, stanje površina preko kojih se obavlja razmjena topline, opterećenost motora, itd., potreban je sustavni pristup rješavanju ove problematike.

U ovom radu prezentirana je složenost dinamike ponašanja rashladnog sustava brodskog dizelskog motora uporabom sustavne dinamike. Dat je nelinearni dinamički matematički model i dinamički kontinuirani kompjuterski simulacijski model rashladnog sustava kao objekta regulacije, koji omogućuje analizu uzročno-posljedičnih veza između pojedinih varijabli i parametara promatranog sustava.

Simulacijski model omogućuje optimiziranje parametara rashladnog sustava i simuliranje radnog režima prema željenom scenariju, s mogućnošću zadavanja i najtežih pogonskih uvjeta koje na stvarnom eksperimentalnom modelu brodskog porivnog dizelskog motora ne bi bilo moguće ostvariti.

## Literatura References

- [1] L. Milić, *Dinamički kontinuirani simulacijski model brodskog dizelmotornog porivnog sustava (doktorska disertacija)*, Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka 1996.
- [2] I. I. Krineckij, *Sudovaja avtomatika*, Piščevaja promišlenost, Moskva 1978.
- [3] A. Munitić, *Kompjuterska simulacija uz pomoć systemske dinamike*, Brodosplit, Split 1989.
- [4] L. Milić, *Eksploatacija brodskih dizelskih motora*, Pomorski fakultet u Dubrovniku, Dubrovnik 1991.
- [5] L. Milić, I. Milić, *Osnove automatizacije*, Pomorski fakultet u Dubrovniku, Dubrovnik 1995.
- [6] *Project Guide L50MC/L50MCE*, MAN-B&W Diesel A/S, Copenhagen 1987.

Rukopis primljen: 27. 3. 1997.