

# SIMULACIJSKI MODEL DINAMIČKOG PONAŠANJA HLAĐENOGA TERETA U BRODSKOMU RASHLADNOM KONTEJNERU

## *Simulation Model of Dynamic Behaviour of Refrigerated Products in a Ship's Refrigerated Container*

mr. sc. Matko Bupić

Pomorski odjel Sveučilišta u Dubrovniku  
E-mail: matko.bupic@unidu.hr

prof. dr. sc. Branimir Pavković

Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci

prof. dr. sc. Tomislav Jemrić

Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

UDK 621.565  
621.798.12

### Sažetak

*Na temelju razvijenoga matematičkog modela, te konstrukcijskih karakteristika ispitivanoga rashladnog kontejnera, njegova rashladnog agregata i karakteristika hlađenoga tereta izrađen je simulacijski model dinamičkog ponašanja hlađenoga tereta. Prezentirani model dio je dinamičkog modela za cjelokupni sustav brodske rashladnog kontejnera koji, uz hlađeni teret, uključuje: kontejnerske stijenke, vlažni zrak u kontejneru, kondenzacijsku jedinicu, isparivač, kontejnersku opremu, ventilator isparivača i grijač odmrzivača. Ispitivanje je provedeno na 12,2-metarskom (40-stopnom) rashladnom kontejneru. Za modeliranje i simulaciju koristilo se metodom sistemske dinamike (System Dynamics) i simulacijskim programom Powersim. Dinamički model hlađenoga tereta u brodske rashladnom kontejneru verificiran je na temelju usporedbe rezultata simulacije s empirijski očekivanim kvalitativnim podacima.*

*Cljučne riječi: simulacijski model, hlađeni teret, brodski rashladni kontejner.*

### Summary

*Simulation model of dynamic behaviour of refrigerated products has been based on the developed mathematical model, constructional characteristics of the tested container, its refrigeration plant and characteristics of refrigerated products. The model presented is a part of dynamic model of the complete ship's refrigerated container system, whose individual subsystems are refrigerated products, container wall, refrigerated humid air in the container, condensation unit, evaporator, container outfit, evaporator fan and defroster heater. The research has been conducted on a 12,2-metre (40-foot) refrigerated container. The method of System Dynamics and Powersim simulation program have been used for modelling and simulation. The dynamic model of the refrigerated products in a ship's refrigerated container has been verified and conformed by the comparison of simulation results with empirical qualitative data.*

*Keywords: simulation model, refrigerated products, ship's refrigerated container*

### UVOD / Introduction

Ovaj rad nastavak je rada [1] "Matematičko modeliranje dinamičkog ponašanja hlađenog tereta u brodskom rashladnom kontejneru", objavljenoga u časopisu Naše more, 55 (2008), 3-4. Razvijeni matematički model kojim

se opisuje dinamika temperature  $\vartheta_T(t)$  i vlažnosti  $m_{k,T}(t)$  hlađenoga tereta i dinamika vlažnosnog opterećenja zraka u kontejneru od hlađenoga tereta  $\dot{m}_{a,TZ}(t)$ , sve u temperaturnom području iznad temperature zaleđivanja vode,  $\vartheta_T(t) > 0$  °C, predočen je jednačbama:

$$\frac{d\vartheta_T(t)}{dt} = -\frac{1}{T_2} [\vartheta_T(t) - \vartheta_Z(t)] - \frac{1}{T_3} [h_{d,T} - h_{k,T}] \frac{1}{c_{s,T}}, \quad (1)$$

$$T_2 = \frac{m_{s,T} c_{s,T} + m_{k,T}(t) c_k}{\alpha_T A_T}, \quad (1.a)$$

$$T_3 = \frac{m_{s,T} + \frac{c_k}{c_{s,T}} m_{k,T}(t)}{\dot{m}_{d,TZ}(t)}, \quad (1.b)$$

$$m_{k,T}(t) = m_{k,T}(t_0) - \int_{t_0}^t \dot{m}_{d,TZ} dt, \quad (2)$$

$$\dot{m}_{d,TZ} = \frac{\beta_T A_T}{R_d T_{sr,TZ}} (\varphi_T p_{gd,T} - p_{d,Z}), \quad (3)$$

gdje su:

$\vartheta_T$  - temperatura hlađenog tereta u rashladnom kontejneru, °C;

$\vartheta_Z$  - temperatura hlađenog zraka u rashladnom kontejneru, °C;

$t$  - vrijeme, s, h;

$h_{d,T}$  - specifična entalpija vodene pare nastale ishlapljivanjem vlage s površine tereta u hlađeni zrak, Jkg<sup>-1</sup>;

$h_{k,T}$  - specifična entalpija kapljevite vlage na površini tereta, Jkg<sup>-1</sup>;

$m_{s,T}$  - masa suhog hlađenog tereta, kg;

$c_{s,T}$  - specifični toplinski kapacitet suhog hlađenog tereta, Jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>;

$m_{k,T}$  - masa kapljevite vlage sadržane u hlađenom teretu, kg;

$c_k$  - specifični toplinski kapacitet vode,  $c_k = f(\vartheta)$ , Jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>;

$\dot{m}_{d,TZ}$  - maseni tok ishlapljene vlage s površine tereta u hlađeni zrak, kgs<sup>-1</sup>;

$T_2, T_3$  - vremenske konstante, s;

$\alpha_T$  - koeficijent prijelaza topline na površini tereta, Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>;

$\beta_T$  - koeficijent prijenosa mase ishlapljivanjem vlage s površine tereta, ms<sup>-1</sup>;

$A_T$  - površina tereta izložena struji hlađenog zraka, m<sup>2</sup>;

$R_d$  - plinska konstanta vodene pare,  $R_d = 461,52$  Jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>;

$T_{sr,TZ}$  - aritmetička srednja vrijednost temperatura tereta i zraka, K;

$\varphi_T$  - relativna vlažnost oko površine hlađenog tereta, s pretpostavljenom vrijednosti  $\varphi_T \leq 1$ ;

$p_{gd,T}$  - granična vrijednost parcijalnog tlaka vodene pare u vlažnom zraku uz površinu tereta, Pa;

$p_{d,Z}$  - parcijalni tlak vodene pare u hlađenom vlažnome zraku, Pa.

U trenutku  $t_e$ , s, kad se hlađeni teret ohladi na temperaturu zaleđivanja vode,  $\vartheta_T(t_e) = 0$  °C, preostala količina kapljevite vlage u teretu  $m_{k,T}(t_e)$ , kg, nastavlja se jednim dijelom ishlapljivati, a jednim se dijelom počinje zaleđivati, pri čemu nastali led sublimira. Za sve vrijeme fazne promjene, temperatura se tereta ne mijenja. Dinamika preostale mase kapljevite vlage u teretu  $m_{k,T}$  u tom razdoblju opisuje se jednadžbom:

$$\frac{dm_{k,T}(t)}{dt} = \frac{\alpha_T [\vartheta_T - \vartheta_Z(t)] A_T + \dot{m}_{d,TZ}(t) r_{ed}}{r_{ke}}, \quad (4)$$

a dinamika mase nastalog leda na hlađenom teretu  $m_{e,T}$  jednadžbom:

$$\frac{dm_{e,T}(t)}{dt} = \frac{-\alpha_T [\vartheta_T - \vartheta_Z(t)] A_T - \dot{m}_{d,TZ}(t) r_{kd}}{r_{ke}}, \quad (5)$$

gdje su:

$r_{ed}$  - toplina sublimacije leda koja je pri temperaturi od 0 °C jednaka zbroju topline kopnjenja leda  $r_{ek}$  i topline isparivanja vode  $r_{kd}$ , što iznosi 2.834.357 Jkg<sup>-1</sup>;

$r_{kd}$  - toplina isparivanja vode koja pri temperaturi od 0 °C iznosi 2.500.357 Jkg<sup>-1</sup>;

$r_{ke}$  - negativna vrijednost topline zaleđivanja vode koja pri temperaturi od 0 °C iznosi -334.000 Jkg<sup>-1</sup>;

$m_{e,T}$  - masa nastalog leda na hlađenom teretu, kg.

Dinamiku temperature hlađenog tereta u temperaturnom području  $\vartheta_T(t) < 0$  °C opisuju izrazi:

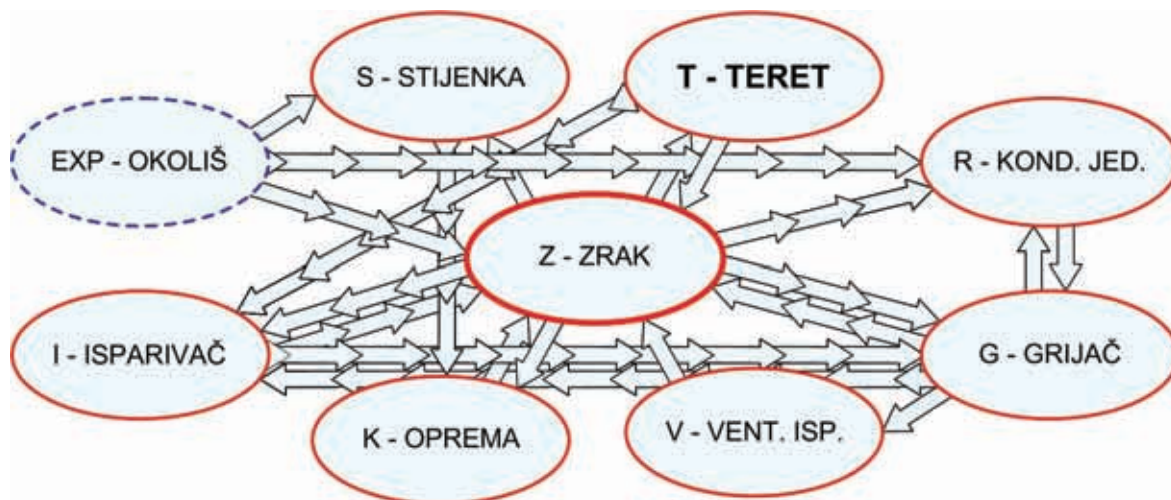
$$\frac{d\vartheta_T(t)}{dt} = -\frac{1}{T_4} [\vartheta_T(t) - \vartheta_Z(t)], \quad (6)$$

$$T_4 = \frac{m_{s,T} c_{s,T} + m_{e,T} c_e}{\alpha_T A_T}, \quad (6.a)$$

gdje je:  $T_4$  - vremenska konstanta, s.

### ISPITIVANI BRODSKI RASHLADNI KONTEJNER / *Tested ship's refrigerated container*

Za matematičko modeliranje i izradbu dinamičkoga simulacijskog modela hlađenoga tereta u brodscome rashladnom kontejneru koristilo se metodom systemske dinamike (*System Dynamics*) i simulacijskim programskim jezikom *Powersim*. S obzirom na to da se systemska dinamika u svom metodološkom pristupu zasniva na uzročno-posljedičnom funkcionalnom pristupu u razmatranju strukturnih modela, a kako je model hlađenoga tereta samo jedan od podsustava cjelovitog sustava brodsckoga rashladnog kontejnera, to se pri izračunavanju izlaznih varijabla modela



Slika 1. Komodeli cjelovitoga dinamičkoga simulacijskog modela sustava broskog rashladnog kontejnera s tokovima međusobne razmjene podataka  
 Figure 1. Comodels of complete dynamic simulation model of a system of a ship refrigerating container with the flows of interchangeable data

hlađenoga tereta koristi ulaznim varijablama dobivenima u modelima drugih podsustava. Svih osam modela pripadajućih podsustava rashladnog kontejnera, koji su shematski prikazani na slici 1., integrirano je u cjeloviti dinamički simulacijski model. Simulacijski proces odvija se paralelnim i istodobnim simulacijama svakoga pojedinačnog modela, uz međusobnu razmjenu podataka.

Ispitivani broski rashladni kontejner kojega su konstrukcijske karakteristike upotrijebljene pri izradbi simulacijskog modela jest 40-stopni rashladni kontejner kineskog proizvođača TLC – *Yangzhou Tonglee Reefer Container Co., Ltd.*, oznake 1 AAA, model TL-96 [2], prikazan na slici 2. Opremljen je integralnim rashladnim uređajem *Thermo King*, model CRR40 PS, montiranim na čeonj strani kontejnera. Kontejner je projektiran i izrađen u skladu sa svim međunarodnim standardima i propisima, a namijenjen je prijevozu smrznutoga, hlađenoga i općeg tereta. Karakteristične veličine rashladnog kontejnera prikazane su na slici 3. Kontejner je konstrukcijski izveden na uobičajen način. U čeličnom okviru zavareni su izolacijski sendvič-paneli. Izolacijski materijal u sendvič-panelima je ekspanzirana poliuretanska pjena (R141b-exp.), kojoj je koeficijent toplinske vodljivosti  $0,027 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Poliuretanski izolacijski sloj obložen je valovitim nehrđajućim čeličnim limom. Podni sendvič-paneli ojačani su umetnutim pločama od tvrdog drveta, a na radnoj površini poda međusobno su zavareni aluminijski T-profilovi visine od 63,5 mm, formirajući tako kompaktnu i čvrstu podnu plohu. Na čeonj strani kontejnera izveden je čelični okvir u koji se montira rashladni uređaj, a na suprotnoj je strani čelični okvir u koji se postavljaju vrata.

Ona su dvokrilna i mogu se otvoriti za otprilike  $270^\circ$ . Kontejner udovoljava svim standardnim mehaničkim i toplinskim ispitivanjima, a propuštanje zraka iz njega svedeno je na manje od  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ .



Slika 2. 40-stopni rashladni kontejner TLC TL-96 [2]  
 Figure 2. 40 foot refrigerating container TLC TL-96



Slika 3. Karakteristični podaci na vratima kontejnera TLC TL-96  
 Figure 3. Characteristic data on the door of the container TLC TL-96



Slika 4. Tablica s podacima o rashladnoj jedinici  
Figure 4. Table with the data on the refrigerating plant

Kontejnerski rashladni uređaj *Thermo King*, model CRR40 PS [3], električna je kompaktna jedinica, s podnožnim dovođenjem zraka. Projektirana je da osigurava hlađenje i grijanje kontejnera za morski i kopneni transport duboko smrznutoga, smrznutoga, hlađenoga ili grijanog tereta. Omogućuje održavanje unutarnje temperature u rasponu od  $-25$  do  $25$  °C pri ekstremnim vanjskim temperaturama od  $-30$  do  $70$  °C. Kućište rashladne jedinice izvedeno je od aluminija i zaštićeno je od korozije. Uz standardne radne uvjete  $-18/38$  °C, projektirani rashladni kapacitet uređaja iznosi  $5,6$  kW, dok je kapacitet grijanja  $5,8$  kW. Kondenzator je hlađen zrakom a rashladna tvar je R134a. Isparivač je opremljen dvama dvobrzinskim aksijalnim ventilatorima koji osiguravaju zračnu cirkulaciju oko tereta u kontejneru. Kompresor je poluhermetički, klipni, s tri cilindra, pogonjen elektromotorom koji se napaja trofaznom strujom napona od  $460/230$  V i frekvencije  $50/60$  Hz. Osnovni podaci rashladnog uređaja *Thermo King* CRR40 PS prikazani su na slici 4.

### DINAMIČKI SIMULACIJSKI MODEL HLAĐENOG TERETA / *Dynamic simulation model of refrigerated products*

Za izradbu računalnoga dinamičkoga simulacijskog modela hlađenog tereta u brodskom rashladnom kontejneru u ovom je radu upotrijebljen simulacijski programski jezik *Powersim Studio Academic 2003* (5.10.3157.6) [4 i 5]. Na slikama 5. i 6. prikazani su dijagrami simulacijskog modela hlađenoga tereta.

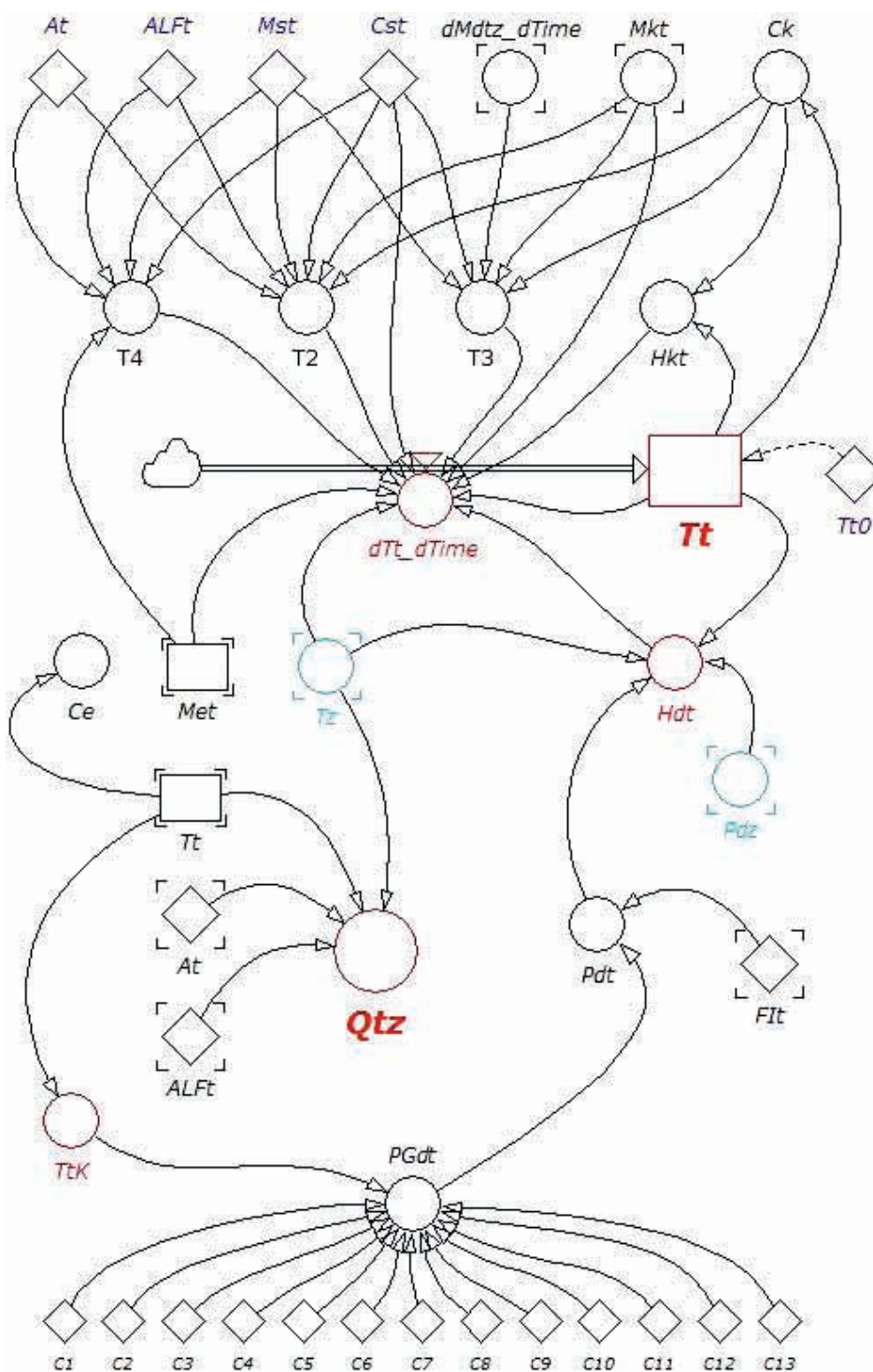
Izrađen je na temelju prethodno razvijenoga i opisanoga matematičkog modela.

U simulacijskom modelu pojavljuju se ukupno  $54$  različite varijable. Varijable koje opisuju fizikalno-geometrijska svojstva hlađenoga tereta i svojstva strujanja hlađenoga vlažnog zraka oko njega su: masa suhog tereta (oznaka na dijagramu simulacijskog modela:  $Mst$ ), specifični toplinski kapacitet tereta ( $Cst$ ), površina tereta izložena struji hlađenog zraka ( $At$ ), koeficijent prijelaza topline na površini tereta ( $ALFt$ ), početna temperatura tereta ( $Tt0$ ), početna masa kapljevite vlage na teretu ( $Mkt0$ ), relativna vlažnost oko površine tereta ( $FIt$ ), te Lewisova značajka ( $Le$ ) i eksponent ovisan o režimu strujanja ( $n$ ). Sve su to ujedno ulazne varijable kojima se brojčane vrijednosti mogu mijenjati ovisno o postavljenom scenariju simulacije.

Druga skupina ulaznih varijabla su one kojima se izračunate vrijednosti donose iz simulacijskog modela hlađenoga vlažnog zraka u kontejneru: temperatura hlađenoga vlažnog zraka u kontejneru u °C ( $Tz$ ), ili u K ( $TzK$ ), parcijalni tlak vodene pare u hlađenome vlažnom zraku u kontejneru ( $Pdz$ ), specifični toplinski kapacitet ( $CPz$ ) i gustoća hlađenoga vlažnog zraka u kontejneru ( $ROz$ ).

Za izračunavanje karakterističnih veličina kapljevite vlage, leda i vodene pare koja nastaje ishlapljivanjem vlage s tereta, upotrijebljene su u simulacijskome modelu sljedeće varijable: specifični toplinski kapacitet vode ( $Ck$ ) i specifični toplinski kapacitet leda ( $Ce$ ), kojima su vrijednosti dane ovisno o trenutnoj temperaturi, koeficijenti Hyland-Wexlerove jednadžbe ( $C1, \dots, C13$ ), granična vrijednost parcijalnog tlaka ( $PGdt$ ), tj. vrijednost parcijalnog tlaka vodene pare u vlažnom zraku uz površinu tereta ( $Pdt$ ), specifična entalpija kapljevine na površini tereta ( $Hkt$ ), plinska konstanta vodene pare ( $Rd$ ), koeficijent prijenosa mase ishlapljivanjem vlage s površine tereta ( $BETt$ ), toplina isparivanja vode pri  $0$  °C ( $rkd$ ), toplina zaleđivanja vode pri  $0$  °C ( $rke$ ) i toplina sublimacije leda pri  $0$  °C ( $red$ ).

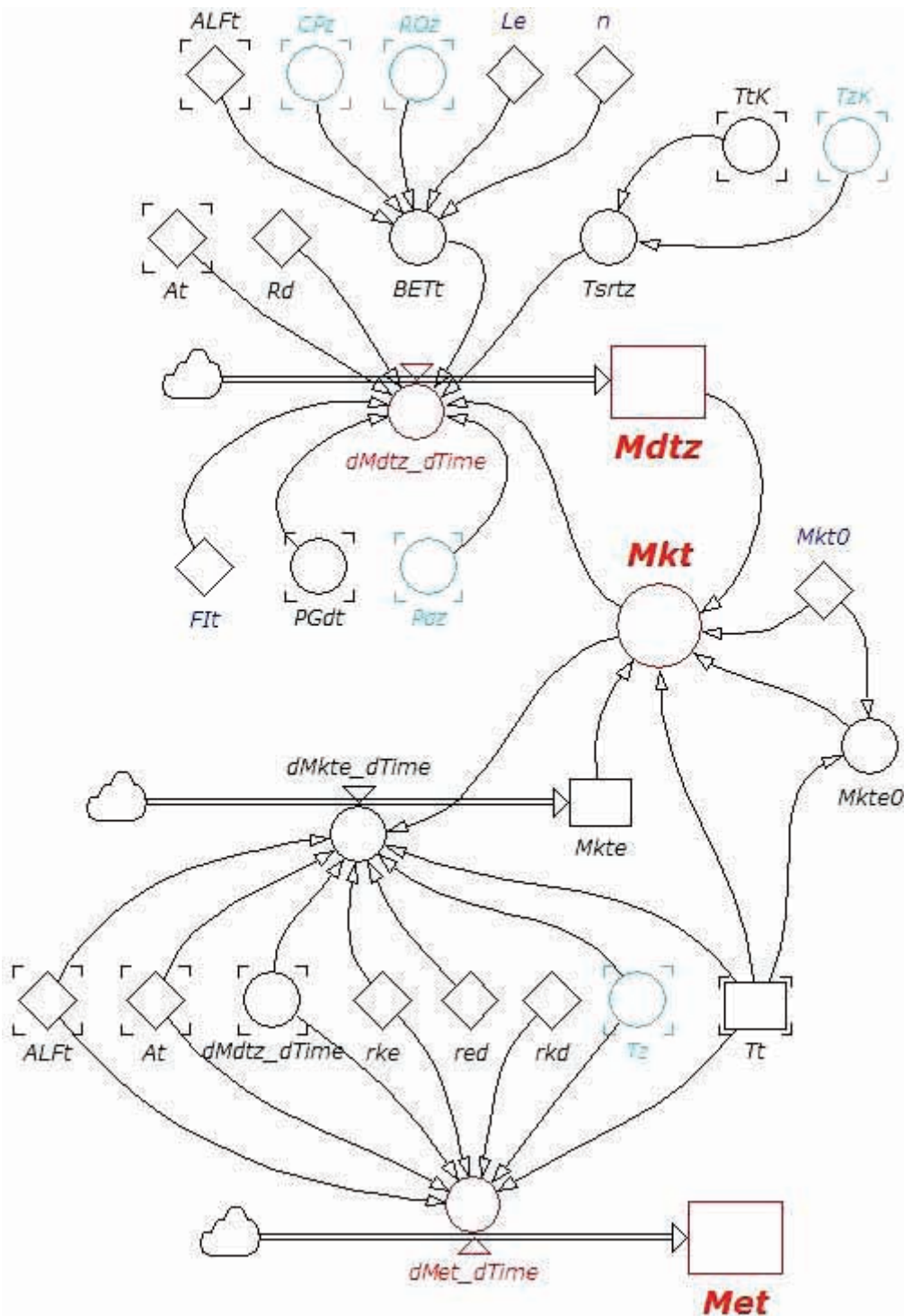
Pomoćne varijable u simulacijskom modelu su: vremenske konstante ( $T2, T3$  i  $T4$ ), aritmetička srednja vrijednost temperatura tereta i zraka ( $Tsrtz$ ), preostala masa kapljevite vlage na površini tereta u trenutku početka zaleđivanja ( $Mkte0$ ), njezina dinamika tijekom procesa zaleđivanja ( $Mkte$ ) i brzina te promjene ( $dMkte\_dTime$ ).



Slika 5. Dijagram simulacijskog modela hlađenoga tereta - I. dio  
 Figure 5. The diagram of a simulation model of refrigerated products – I part

Konačno, izlazne varijable simulacijskog modela hlađenog tereta su: dinamika temperature tereta izražena u °C ( $Tt$ ), ili u K ( $TtK$ ), i brzina promjene temperature hlađenog tereta ( $dTt\_dTime$ ), zatim specifična entalpija vodene pare u vlažnom zraku uz površinu tereta ( $Hdt$ ), dinamika toplinskog opterećenja od hlađenog tereta ( $Qtz$ ),

dinamika sadržaja kapljevite vlage na teretu ( $Mkt$ ), dinamika vlažnosnog opterećenja zraka u kontejneru od ishlapljene vlage s površine tereta ( $Mdtz\_dTime$ ), te dinamika sadržaja leda na površini tereta ( $Met$ ) i brzina te promjene ( $dMet\_dTime$ ).



Slika 6. Dijagram simulacijskog modela hlađenog tereta – II. dio  
 Figure 6. The diagram of a simulation model of refrigerated products – II part

## REZULTATI SIMULACIJSKOG MODELA ZA HLAĐENI TERET / Results of simulation model of refrigerated products

Provjera valjanosti simulacijskog modela za hlađeni teret obavljena je na temelju usporedbe simulacijskih rezultata

s iskustveno očekivanim kvalitativnim rezultatima. Simulacija je provedena po sljedećem scenariju:

- temperatura zraka u kontejneru  $\vartheta_z$  (oznaka  $Tz$  u simulacijskom modelu) linearno opada s koeficijentom nagiba  $-0,01 \text{ } ^\circ\text{Cs}^{-1}$  od početne

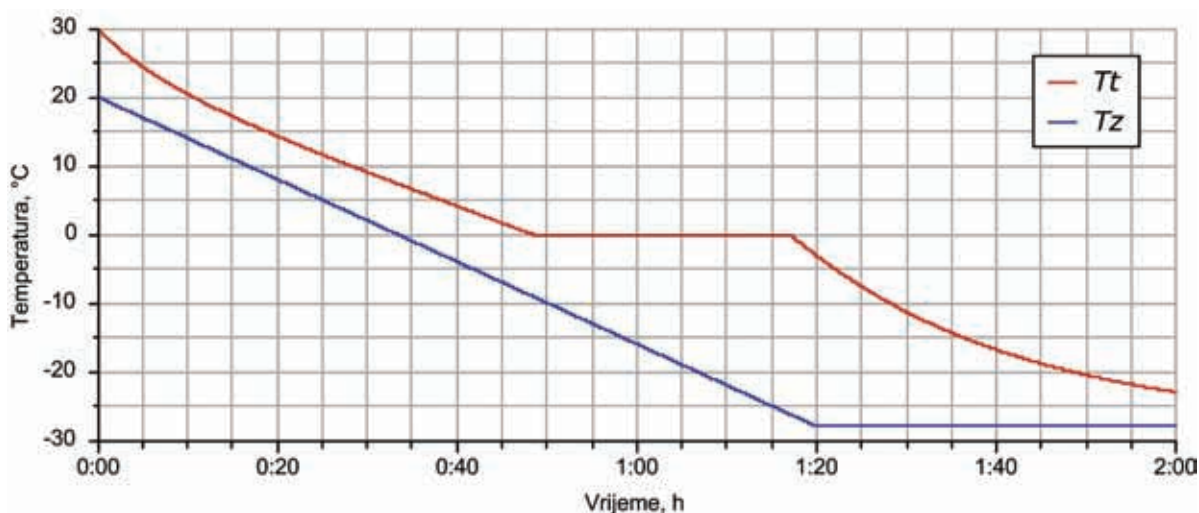
vrijednosti 20 °C do vrijednosti -28 °C, nakon čega postignutu vrijednost zadržava konstantnom do kraja procesa simulacije,

- relativna vlažnost zraka  $\phi_z$  (Flz) tijekom cijelog procesa ima konstantnu vrijednost 0,9,
- početna vrijednost temperature hlađenog tereta  $\theta_T(t=0)$  (Tt0) je 30 °C,
- masa suhog tereta  $m_{s,T}$  (Mst) je 200 kg,
- početna vrijednost mase vlage sadržane u teretu  $m_{k,T}(t=0)$  (Mkt0) je 40 kg,
- površina tereta  $A_T$  (At) je 13,5 m<sup>2</sup>,
- specifični toplinski kapacitet suhog tereta  $c_{s,T}$  (Cst) iznosi 1.675 Jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>,
- koeficijent prijelaza topline na površini tereta  $\alpha_T$  (ALFt) ima vrijednost 20 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>.

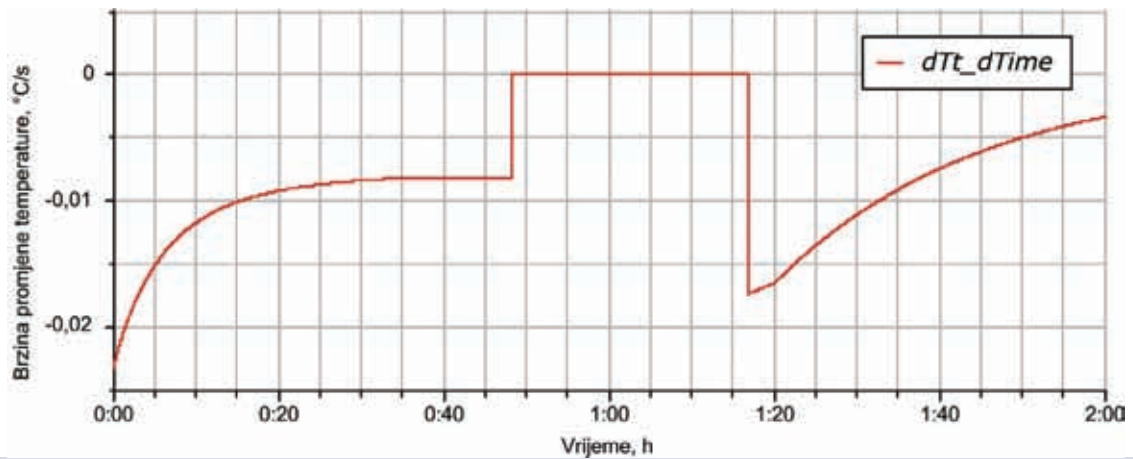
Rezultati simulacije grafički su predočeni. Dijagram na slici 7. prikazuje kako se tijekom vremena mijenja temperatura tereta (Tt) ovisno o temperaturi zraka u kontejneru (Tz), a dijagram na slici 8. prikazuje brzinu kojom se mijenja temperatura tereta ( $dTt\_dTime$ ) tijekom vremena izražena u °Cs<sup>-1</sup>. Brzina promjene temperature tereta ima najveću vrijednost na početku simulacijskog procesa, a zatim sve sporiji trend opadanja. U trenutku kad temperatura tereta postigne vrijednost od 0 °C, njezina brzina promjene padne na 0 °Cs<sup>-1</sup>. Usprkos nastavljenom hlađenju i linearnom

snižavanju temperature zraka u kontejneru, temperatura tereta zadržava se na vrijednosti 0 °C sve dok se posljednja kapljica vlage ne zamrzne ili ishlapi. Nakon toga teret se sve sporije nastavlja hladiti zajedno s nastalim slojem leda na njegovoj površini, i temperatura tereta asimptotski se približava konstantnoj temperaturi zraka.

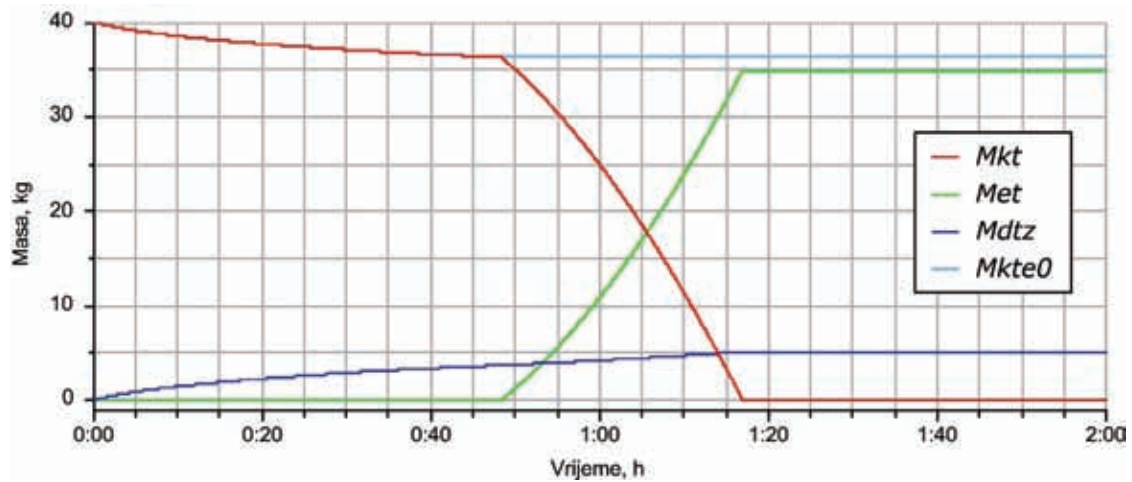
Dijagram na slici 9. predočuje kako se tijekom vremena mijenjaju mase kapljevite vlage (Mkt) i leda (Met) na površini tereta, te masa ishlapljene vlage (Mdtz) s površine tereta. Sve dok je temperatura tereta u području iznad 0 °C, početna količina od 40 kg kapljevite vlage na površini tereta smanjuje se samo zbog ishlapljivanja vlage u zrak. U trenutku kad se hlađeni teret ohladi na 0 °C (što se događa u 0:48:30 sati od početka procesa), preostala masa kapljevite vlage nastavlja jednim dijelom ishlapljivati, a jednim dijelom započinje se zaleđivati, pri čemu nastali led sublimira. Nakon zaleđivanja posljednje kapljice vode (što se događa u 1:16:50 sati), više nema kapljevite vlage, a nastale mase leda i pare zadržavaju postignute vrijednosti. Dijagramom na slici 10. prikazane su brzine izlučivanja vodene pare s površine tereta u zrak ( $dMdtz\_dTime$ ) i nastajanja leda na površini tereta ( $dMet\_dTime$ ), dok dijagram na slici 11. prikazuje vrijednosti toplinskog toka s hlađenog tereta na zrak u kontejneru tijekom simuliranog rashladnog procesa.



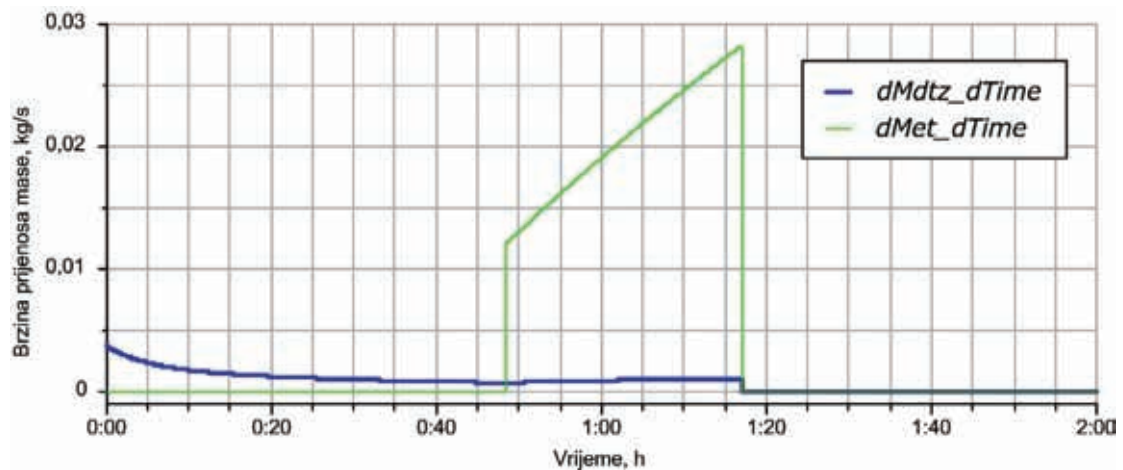
Slika 7. Rezultati simulacije dinamike temperature tereta (Tt) ovisno o temperaturi zraka u kontejneru (Tz)  
Figure 7. Simulation results of products' temperature dynamics (Tt) depending on container air temperature (Tz)



Slika 8. Rezultati simulacije brzine promjene temperature tereta ( $dTt\_dTime$ )  
 Figure 8. Simulation results of products' temperature fluctuation

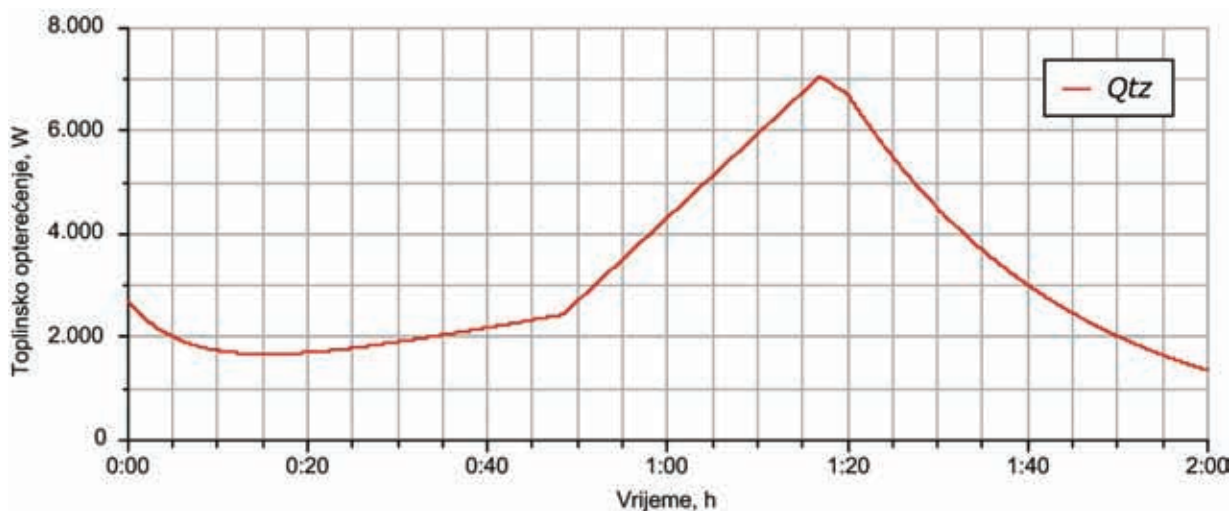


Slika 9. Rezultati simulacije dinamike mase kapljevite vlage ( $Mkt$ ) i leda ( $Met$ ) na površini tereta, te ishlapljene vlage ( $Mdtz$ ) s površine tereta  
 Figure 9. Simulation results of moisture mass dynamics in drops ( $Mkt$ ) and ice on the products' surface and the moisture evaporated ( $Mdtz$ ) from products' surface



Slika 10. Rezultati simulacije dinamike masenog toka vodene pare s površine tereta ( $dMdtz\_dTime$ ) i brzine promjene mase leda na površini tereta ( $dMet\_dTime$ )  
 Figure 10. Simulation results of water steam mass flow dynamics from products' surface and ice mass fluctuation on products' surface ( $DMet-dTime$ )





Slika 11. Rezultati simulacije dinamike toplinskog opterećenja zraka u kontejneru od hlađenog tereta ( $Q_{tz}$ )  
 Figure 11. The results of a simulation of dynamics of heat load of air in the container from refrigerated products

### ZAKLJUČAK / Conclusion

Dinamičko ponašanje modela hlađenoga tereta u skladu je s relevantnim podacima i spoznajama o realnom modelu, i dobiveni rezultati simulacije u potpunosti su, u kvalitativnom smislu, sukladni empirijski očekivanim rezultatima. Poradi toga se može zaključiti da je ovakvim načinom provjere, u nedostatku eksperimentalnih rezultata, verificirana valjanost razvijenog modela hlađenog tereta u brodskom rashladnom kontejneru.

Rezultati simulacije mogu poslužiti za praćenje promjena temperature hlađenoga tereta, ali i za analizu međusobnog utjecaja pojedinih parametara. Temeljem upotrijebljene metode systemske dinamike, koja na lak način omogućuje izmjenu vrijednosti varijabla simulacijskog modela kojima se opisuju fizikalno-geometrijske karakteristike ispitivanoga realnog sustava i uvjeti postavljenog scenarija simulacije - razvijen je model također primjenljiv na slične rashladne sustave. Osim toga, zbog vizualnog načina formuliranja simulacijskog modela s pomoću grafičkih objekata i kvalitativnog prikazivanja njegovih rezultata, što je karakteristika uporabljene metode modeliranja, dinamički model razvijen i opisan u ovom radu osobito je prikladan za edukacijske svrhe.

### ZAHVALA / Acknowledgement

Rezultati prikazani u članku proizašli su iz znanstvenoistraživačkih projekata: *Primijenjena istraživanja rashladnih sustava s novim radnim tvarima (069-0692972-2203)* i *Optimizacija čuvanja breskve i nektarine tretmanima poslije berbe (178-0000000-3583)*, koji se provode uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

### LITERATURA / References

- [1] M. Bupić, B. Pavković i T. Jemrić: Matematičko modeliranje dinamičkog ponašanja hlađenog tereta u brodskom rashladnom kontejneru, *Naše more*, 55 (2008), 3-4, str. 97 – 102.
- [2] TLC: *Technical Specification for 40' x 8' x 9'6" Refrigerated Container with MGSS Panels on Welded Corten Frame*, Yangzhou Tonglee Reefer Container Corporation Ltd., Jiangsu, China, 2000
- [3] Thermo King: *Maintenance Manual: CRR Power Saver & CRR Power Saver Plus*, Thermo King Corporation, Minneapolis, Minnesota, USA, 2000
- [4] Powersim: *Powersim Studio 2003 – User's Guide*, Powersim Software AS, Bergen, Norway, 2003
- [5] Powersim: *Powersim Studio 2003 – Reference Manual*, Powersim Software AS, Bergen, Norway, 2003

Rukopis primljen: 25. 2. 2010.