

# TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA UPROŠĆENIH TERMODINAMIČKIH METODA ODREĐIVANJA VREMENA HLAĐENJA NA PRIMERU TEHNOLOGIJE HLAĐENJA JOGURTA U DVE FAZE<sup>1</sup>

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF SIMPLIFIED THERMODYNAMIC METHODS FOR COOLING TIME DETERMINATION – AN EXAMPLE OF TWO-PHASE YOGURT COOLING TECHNOLOGY

**MARKO OKULIĆ, MARKO OŽEGOVIĆ i IVAN ZLATANOVIĆ,**  
Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu,  
E-mail: ivan@agrif.bg.ac.rs

*Dobra procena vremena hlađenja i zamrzavanja može obezbediti efikasan i ekonomičan rad rashladnog sistema u tehnološki zahtevanim specifičnim uslovima proizvodnje. Prehrambeni materijali imaju promenljivo termičko ponašanje zbog složene strukture i sastava, različitih dimenzija i osobina pakovanja i slično, tako da je teško predvideti dinamiku njihovog hlađenja što može uticati na kvalitet i cenu finalnog proizvoda. U ovom radu je analizirana tehnologija pripreme jogurta hlađenjem u dve faze sa stanovišta dve najčešće korišćene metode u inženjerskoj praksi, za predviđanje vremena hlađenja (metoda faktora  $f$ - $j$  i metoda “Equivalent Heat Transfer Dimensionality”). Rezultati dobijeni ovim metodama dobro se slažu sa projektovanim kapacitetom rashladnog sistema i potvrđuju veliki uticaj dimenzija i geometrijskog oblika hlađenog proizvoda na vreme trajanja rashladnog procesa. Analize ukazuju na to da se posmatrane metoda mogu efikasno koristiti pri nalaženju odgovarajuće veličine i oblika ambalaže proizvoda.*

**Ključne reči:** hlađenje; vreme hlađenja; modelovanje; metode; efikasnost

*Good cooling and freezing time estimations and predictions can provide efficient and economic performance of refrigeration system for specific technology demands. Food products have complex compositions, and variable shapes and sizes of the packaging, which lead to variable thermal behavior and quality after the processing. It is, therefore, difficult to determine accurately the effects of the product cooling dynamics on the final product's quality and price. The yogurt manufacturing by two-phase cooling technology was analyzed from the different aspects of adequate method selections, and two most common methods in the engineering practice were applied ( $f$ - $j$  factors method and “Equivalent Heat Transfer Dimensionality” method). The results obtained by these methods showed very good agreement with the refrigeration system performance and capacities, and they confirmed great dependence of the cooled product dimensions, shape and geometry on the cooling process. The performed analysis showed that the used calculation method could also be used in the process of defining the suitable package size and shape.*

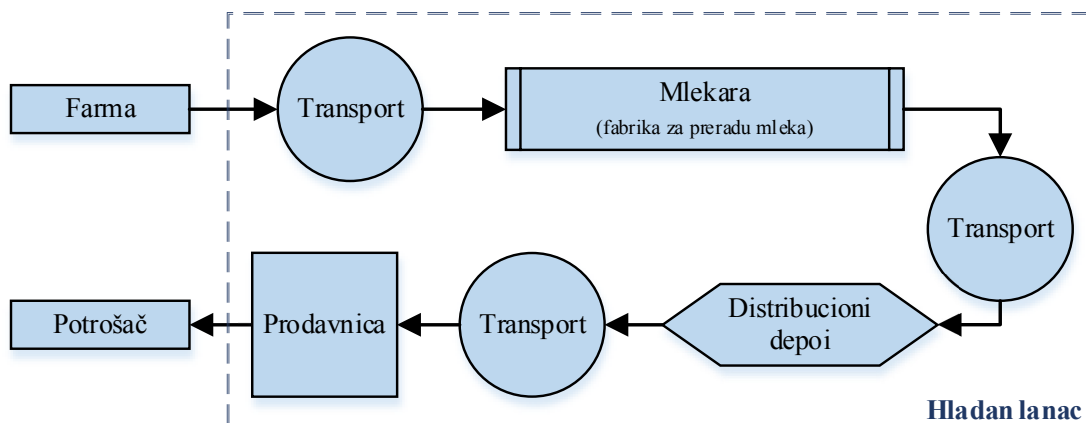
**Key words:** refrigeration; cooling time; modeling; estimation methods; efficiency

## I. Uvod

Tehnologija konzervisanja namirnica hlađenjem predstavlja jedan od najbrže rastućih sektora prehrambene industrije i trgovine hranom. Kontinualni uspeh ovakvog načina očuvanja kvaliteta hrane zavisi uveliko od efikasnosti upravljanja “hladnim lancem” proizvodnje. Ovaj proces obuhvata niz međusobno zavisnih i povezanih operacija u procesu proizvodnje, distribucije, skladištenja i prodaje rashlađenih i zamrznutih prehrambenih proizvoda. Formacija i kontrola svake karike u “hladnom lancu” proizvodnje hrane je ključna za obezbeđivanje sigurnosti i kvaliteta finalnog proizvoda (Coulomb, 2008). Gledano sa stanovišta finansija i ekonomičnosti, “hladan lanac” zahteva ne samo značajna ulaganja u rashladni sistem,

<sup>1</sup> Rad predstavlja Srbiju na studentskom takmičenju IIR-a u okviru Međunarodnog kongresa hlađenja, ICR2015 koji se od 16. do 22. avgusta ove godine održava u japanskom gradu Jokohami. Autori rada su Marko Ožegović, student Odseka za poljoprivrednu tehniku (sleva), docent dr Ivan Zlatanović (mentor), Katedra za tehničke nauke na Institutu za poljoprivrednu tehniku, i Marko Okulić, student Odseka za agroekonomiju Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

već i u brojne druge aktivnosti u organizaciji celokupnog procesa (Montanari, 2008). Pre svega je neophodno istaći uticaj promenljivosti cena i troškova u snabdevanju električnom energijom, rashladnim fluidima, rezervnim delovima i održavanjem, ali takođe i fiksnih troškova koji se ogledaju u obliku tačno proračunate godišnje deprecijacije rashladnog sistema nekim od metoda proračuna amortizacionih troškova (Steinhart and Steinhart, 1974). Sve ovo direktno utiče na konačan ishod i održivost proizvodnje. Stoga je veoma važno prilikom kupovine rashladnog uređaja (sistema) imati u vidu kvalitet, garantni rok, dostupnost rezervnih delova, energetska efikasnost, ekološki uticaj rashladnog fluida, kao i troškove eksploatacije (Zanoni i Zavanella, 2012). Usled povećane potražnje jogurta na tržištu, kao i rigoroznih zahteva u pogledu bezbednosti i kvaliteta hrane, hlađenje je ne samo važna karika u procesu proizvodnje, već i u procesu distribucije i snabdevanja krajnjeg potrošača (slika 1). Drugim rečima, hlađenje je proces koji direktno utiče i kreira cenu finalnog proizvoda, jer pored toga što doprinosi procesu proizvodnje hranje, bitno utiče i na njen kvalitet i bezbednost. Sve ove osobine finalnog proizvoda su blisko povezane sa održanjem lojalnosti potrošača, što se direktno odražava i na profit koji proizvođač ostvaruje (Tamime i Robinson, 1988).



Slika 1. Tipičan lanac snabdevanja u mlekerskoj industriji

U ovom radu je analizirana tehnologija pripreme jogurta hlađenjem u dve faze. Analizirane faze rashladnog procesa su deo kompleksne industrijske proizvodnje i smeštene su u specijalizovanom objektu sa dnevnom preradom od nekoliko hiljada litara mleka. Dobro predviđanje vremena hlađenja je od velike važnosti zato što direktno utiče na kapacitet rashladnog sistema, a samim tim i na troškove investiranja.

## II. Materijali i metode

Jogurt je polučvrsti fermentisani mlečni proizvod. Iako konzistentnost, ukus i miris jogurta mogu geografski varirati od regiona do regiona, osnovni sastojci i proizvodnja su prilično standardizovani (Chandan, 2006). Većina industrijski proizvedenih jogurta koristi kravlje mleko. Punomasno, delimično obrano i obrano mleko ili krem mogu se takođe koristiti. Da bi se obezbedio razvoj jogurtskih kultura, osobine sirovog mleka moraju biti takve da su zadovoljeni sledeći uslovi: mali broj bakterija; odsustvo antibiotika i štetnih hemikalija; mleko dobijeno bez mastitisa, kolostruma ili užeglih struktura; odsustvo kontaminacije bakteriofagama. Mikroorganizmi (starter kulture) u većini proizvodnih metoda su ključni uzročnici formiranja tipičnog ukusa i teksture jogurta (Lee i Lucey, 2010).

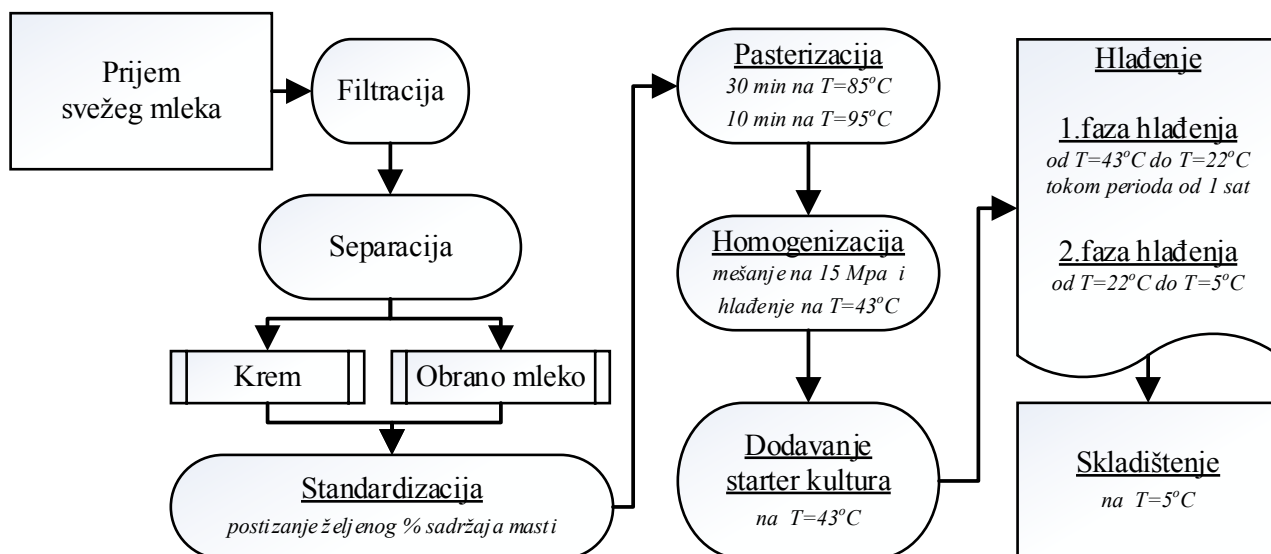
### A. Tehnologija proizvodnje jogurta hlađenjem u dve faze

U radu je analizirana prva faza tehnologije proizvodnje jogurta u dve faze, čije je mesto u lancu proizvodnje prikazano na slici 2.

Sveže mleko se posle postupka filtracije i separacije (odvajanje na krem i obrano mleko) standardizuje radi postizanja željenog sadržaja masti. Potom se različiti sastojci mešaju u specijalno opremljenim posudama. Mešavina se dalje pasterizuje u kontinualnim pločastim razmenjivačima toplote 30 min na 85 °C ili 10 min na 95 °C. Ovi termički tretmani su neophodni radi postizanja sterilnog i povoljnog okruženja za razvoj starter kultura; zgrušavanja proteinske strukture i poboljšanja viskoznosti i teksture jogurta. Stabilnost, konzistencija i punoća se potom postižu u procesu homogenizacije. Posle hlađenja homogenizovane smese na optimalnu temperaturu počinje se sa dodavanjem starter kultura. Smesa se potom održava 4–6 sati na temperaturi od 43 °C. Ova temperatura pogoduje razvoju mikroorganizama.

Najintenzivniji proces hlađenja se odvija tokom prve faze hlađenja, neposredno posle dodavanja starter kultura. Tehnologija proizvodnje tada zahteva obaranje temperature sa 43 °C na 22 °C u vremenskom

periodu od 1 sat. Glavni ulazni parametar za proračun kapaciteta sistema predstavlja upravo ovaj podatak o zahtevanom vremenu hlađenja. Termomehaničke osobine vazduha i jogurta (tabela 1) bitno utiču na procese prostiranja toplote i konačno performanse komponenata rashladnog sistema.



Slika 2. Tehnološka šema procesa proizvodnje jogurta

Tabela 1. Termomehaničke osobine vazduha i jogurta

Fluid		Vazduh	Jogurt
Temperatura	[ °C]	0	22
Gustina	[kg/m <sup>3</sup> ]	1,276	1033
Specifičan toplotni kapacitet	[kJ/(kg·K)]	1,007	3,9
Koeficijent provođenja toplote	[W/(m·K)]	0,024	0,17
Dinamička viskoznost	[Pa·s]	1,711	107

Druga faza rashladnog procesa je manje zahtevna jer vremenski period ovog procesa nije striktno definisan. Tokom druge faze hlađenja jogurt se hladi i skladišti na temperaturi od 5 °C da bi se fizički, hemijski i mikrobiološki procesi usporili, a proizvod što duže očuvao.

### B. Rashladni sistem i komora za hlađenje

Prva faza hlađenja odvija se u malim rashladnim komorama (slika 3 – levo) smeštenim unutar velike skladišne komore (slika 3 – desno) u kojima se odvija druga faza hlađenja na temperaturi od 5 °C.



Slika 3. Male rashladne komore (levo) i skladišna komora (desno)

Ova informacija je važna prilikom formulisanja spoljnih i graničnih uslova koji su od značaja prilikom proračuna toplotnog opterećenja malih komora. Takođe je neophodno poznavati strukturu zidova komora, koeficijenta provođenja toplote korišćenih materijala i slično.

Najveći uticaj na rashladni proces imaju dimenzije, geometrijski oblik i materijal pakovanja jogurta (slika 4 – levo). Protok hladnog vazduha u horizontalnom i vertikalnom pravcu između i oko jogurtskih čaša bio bi daleko bolji da nema celofana umotanog oko palete. Celofan predstavlja glavnu prepreku strujanju vazduha i njegova uloga je isključivo da obezbedi stabilnost čitave palete tokom transporta (premeštanja) unutar skladišta. Paleta je izdignuta od poda za 150 mm (drveno postolje) tako da vazduh može prostrujavati i ispod palete, što ide u prilog intenzivnijem hlađenju proizvoda.



Slika 4. Paleta jogurta na postolju (levo) i unutrašnjost male rashladne komore (desno)

Jedna mala rashladna komora može da prihvati dve palete i sadrži dva isparivača (rashladni kapacitet jednog isparivača je 13 kW i protok vazduha 8750 m<sup>3</sup>/h) sa distributivnim elementima (kanali) simetrično postavljenim (slika 4 – desno). Hladan vazduh se usmerava na paletu kroz otvore na kanalima dimenzija 2200 × 70 mm (po pet otvora na levom i desnom kanalu simetrično). Ova informacija je bitna jer će od veličine i oblika otvora zavisiti i karakter strujanja dovodnog vazduha oko paleta. Vazduh unutar komore odvodi toplotu sa tople palete jogurta i predaje je isparivaču (temperatura isparavanja je 0 °C, što je ujedno i temperatura unutrašnjosti komore), a potom se kanalima i pomenutim otvorima usmerava ponovo na paletu. Na ovaj način se unutar komore u periodu od jednog časa postiže 1105 izmena vazduha (recirkulacija).

### C. Uprošćene metode određivanja vremena hlađenja

Dve najčešće korišćene metode u inženjerskoj praksi za predviđanje vremena hlađenja su:

– metoda određivanja vremena hlađenja bazirana na faktorima  $f$  i  $j$ ;

– metoda određivanja vremena hlađenja bazirana na faktoru  $E$  tzv. Equivalent Heat Transfer Dimensionality (EHTD) metoda.

Ove dve metode se široko koriste u literaturi i predstavljaju primarne metode koje preporučuje ASHRAE (ASHRAE, 2014).

Kada je kondukcija kroz unutrašnje slojeve namirnice zanemarljivo mala u odnosu na konvekciju sa površinskih slojeva namirnice na okolnu sredinu, kompletan proizvod će imati uniformnu temperaturu i određivanje vremena hlađenja biće krajnje jednostavno, s obzirom na to da će temperatura proizvoda i toplotno opterećenje eksponencijalno opadati tokom vremena. Ovaj odnos kondukcije i konvekcije je definisan Biot-ovim bezdimenzionim brojem (1).

$$Bi = \frac{h \cdot L}{k} \quad (1)$$

gde je:  $h$  – koeficijent prelaza toplote,  $L$  – karakteristična dužina i  $k$  – koeficijent provođenja toplote.

Jednačina modela metode bazirane na faktorima  $f$  i  $j$ , prikazana je jednačinom (2).

$$Y = \frac{T - T_a}{T_i - T_a} = j \cdot e^{\frac{-2,303 \cdot \theta}{f}} \quad (2)$$

gde je:  $\theta$  – vreme hlađenja,  $T_a$  – temperatura hladnog vazduha,  $T_i$  – početna temperatura proizvoda (jogurt) i  $T$  – temperatura proizvoda (jogurt).

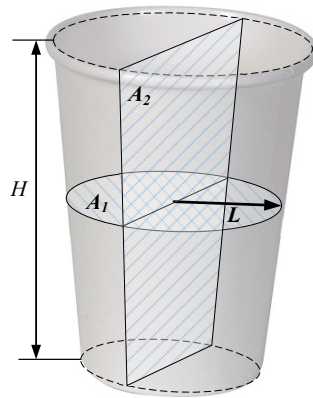
Faktor  $j$  je mera koja prati eksponencijalno opadanje temperature u početku procesa hlađenja, dok faktor  $f$  pokazuje vreme potrebno za dobijanje 90% smanjenja bezdimenzionane temperaturske razlike  $Y$ . Za nepravilne geometrijske oblike faktori  $f$  i  $j$  se mogu izračunati iz jednačine (3) (Smith i dr., 1968).

$$G = 0,25 + \frac{3}{8} \pi^2 L^4 \left( \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} \right) \quad (3)$$

gde je:  $G$  – geometrijski indeks,  $L$  – najkraće rastojanje između centra i površine namirnice,  $A_1$  – površina minimalnog poprečnog preseka koji sadrži  $L$ , i  $A_2$  – površina poprečnog preseka koji je ortogonalan na  $A_1$  (Slika 5). Hayakawa and Villalobos (1989) predlažu jednačinu (4) prilikom određivanja faktora  $M_1^2$ .

$$\begin{aligned} \ln(M_1^2) = & 0,92083090 + 0,83409615X_g - 0,78765739X_b \\ & - 0,04821784X_gX_b - 0,0408987X_g^2 \\ & - 0,10045526X_b^2 + 0,01521388X_g^3 \\ & + 0,00119941X_gX_b^3 + 0,00129982X_b^4 \end{aligned} \quad (4)$$

gde su  $X_g = \ln(G)$  i  $X_b = \ln(1/Bi)$ .



Slika 5. Geometrijski prikaz čaše jogurta sa obeleženim karakterističnim veličinama

Stoga se faktor  $M_1^2$  može iskoristiti za određivanje faktora  $f$  pomoću jednačine (5) i faktora  $j$  pomoću jednačine (6).

$$f = \frac{2,303 \cdot L^2}{M_1^2 \cdot \alpha} \quad (5)$$

$$j = 0,892 \cdot e^{-0,0388 \cdot M_1^2} \quad (6)$$

gde je  $\alpha$  toplotna difuzivnost proizvoda.

Metoda određivanja vremena hlađenja bazirana na faktoru  $E$  tzv. EHTD metoda, zasniva se na poređenju ukupnog toplotnog fluksa sa toplotnim fluksom putem najkraće dimenzije proizvoda. Za nepravilne geometrijske oblike vreme hlađenja se može izračunati jednačinom (7):

$$\theta = \frac{3 \cdot \rho \cdot c \cdot L^2}{\omega^2 \cdot \lambda \cdot E} \cdot \ln \left( \frac{j}{Y} \right) \quad (7)$$

gde je  $\omega$  – prvi koren u radijanima transcendentne funkcije (8), a  $E$  – faktor oblika dat jednačinom (9).

$$\omega \cdot \cot \omega + Bi - 1 = 0 \quad (8)$$

$$E = \frac{Bi^{4/3} + 1,85}{\frac{Bi^{4/3}}{E_\infty} + \frac{1,85}{E_0}} \quad (9)$$

gde su  $E_0$  i  $E_\infty$  vrednosti faktora oblika kada je  $Bi = 0$  i  $Bi \rightarrow \infty$ , sledstveno (ASHRAE, 2014).

### III. Rezultati i razmatranje

Korišćenjem raspoloživih podataka, sprovedeni su proračuni korišćenjem obe pomenute metode. Rezultati proračuna su prikazani u tabelama 2 i 3.

Vreme hlađenja određeno metodom baziranom na faktorima  $f$  i  $j$  je 56,58 minuta, a metodom EHTD 53,11 minuta. Razlika u proračunu između ve dve metode je 3,47 minuta (ili 6,5%) što predstavlja zadovoljavajuće odstupanje. Takođe, rezultati proračuna vremena kod obe metode ukazuju na to da će tehnološki zahtev, da vreme hlađenja jogurta u prvoj fazi traje jedan sat, biti ispunjen (oba proračuna pokazuju vreme kraće od 60 minuta).

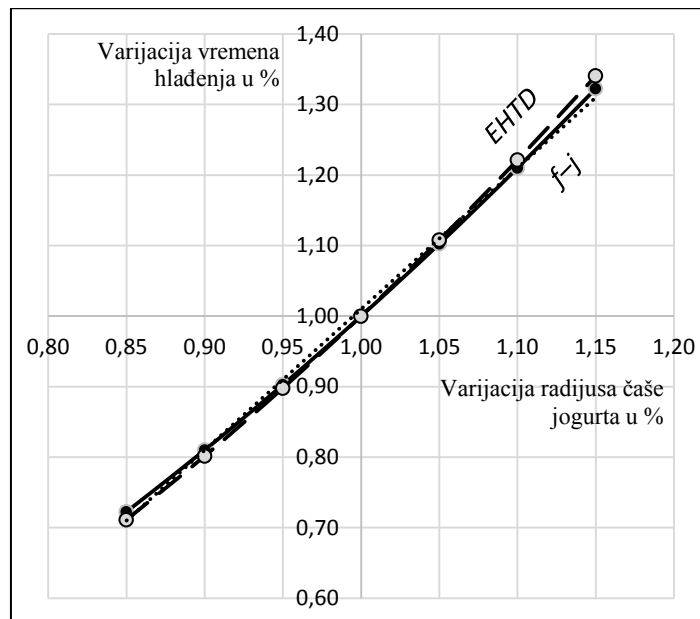
Tabela 2. Vreme hlađenja određeno metodom baziranom na faktorima  $f$  i  $j$

Ulazni podaci	
Dimenzija čaše jogurta (prečnik $2 \cdot L$ i visina $H$ )	$\varnothing 55 \times 63 \text{ mm}$
Najkraće rastojanje između centra čaša i površine čaše	$L = 0,0275 \text{ m}$
Površina minimalnog poprečnog preseka koji sadrži $L$	$A_1 = 0,02375 \text{ m}^2$
Površina poprečnog preseka koji je ortogonalan na $A_1$	$A_2 = 0,003465 \text{ m}^2$
Biot-ov broj	$Bi = 1,368$
Geometrijski indeks	$G = 0,801$
Karakteristična vrednost	$M_1^2 = 1,48$
Faktor $f$	$f = 13169$
Faktor $j$	$j = 0,842$
Bezdimenziona temperaturna razlika	$Y = 0,465$
Rezultat	
Vreme hlađenja	$\theta = 56,58 \text{ min}$

Tabela 3. Vreme hlađenja određeno metodom baziranom na EHTD

Ulazni podaci	
Radius čaše jogurta	$L = 0,0275 \text{ m}$
Biot-ov broj	$Bi = 1,368$
Vrednost veličine $\omega$	$\omega = 1,776$
Vrednost faktora oblika kada je $Bi = 0$	$E_0 = 2,74$
Vrednost faktora oblika kada je $Bi \rightarrow \infty$	$E_\infty = 2,04$
Odnos druge kraće vrednosti namirnice i najkraće dimenzije	$\beta_1 = 1,15$
Odnos najduže dimenzije namirnice i najkraće dimenzije	$\beta_2 = 1,15$
Faktor $j$	$j = 0,842$
Bezdimenziona temperaturna razlika	$Y = 0,465$
Rezultat	
Vreme hlađenja	$\theta = 53,11 \text{ min}$

Rezultati ukazuju na to da se uprošćene metode mogu koristiti pri analizi mogućnosti varijacije dimenzije pakovanja i njenog uticaja na vreme hlađenja. Čak i male varijacije dimenzije čaše imaju bitan uticaj na vreme trajanja procesa hlađenja (slika 6).



Slika 6. Uticaj varijacije dimenzije čaše jogurta na vreme hlađenja

Dimenzija radijusa čaše jogurta varirana je u opsegu  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$  i  $\pm 15\%$ , pri čemu je analiziran njen uticaj na vreme hlađenja. Povećanje dimenzije čaše za  $+5\%$  će produžiti vreme hlađenja za  $11,3\%$  ( $f$ -j metoda) ili  $10,78\%$  (EHTD metoda). Takođe, smanjenje dimenzije čaše za  $-5\%$  će skratiti vreme hlađenja za  $-9,8\%$  ( $f$ -j metoda) ili  $-10,21\%$  (EHTD metoda). Slično se dešava i prilikom varijacija za  $\pm 10\%$  i  $\pm 15\%$ .

Rezultati ukazuju da korelacija između dimenzije radijusa čaše jogurta i vremena hlađenja nije linearna funkcija (tačkasta linija na slici 6), već predstavlja neku složeniju zavisnost. To znači da ova funkcija može biti modelovana za različite geometrijske oblike čaše (i ne samo čaše već i drugih vrsta pakovanja) u cilju pronalaženja onog koje će biti ohlađeno na najefikasniji mogući način.

#### IV. Zaključak

U radu je analizirana prva faza hlađenja u okviru tehnologije hlađenja jogurta u dve faze. U ovoj fazi proizvodnog procesa potrošnja energije za hlađenje je najveća, tako da i najmanja poboljšanja u ovoj fazi mogu doneti značajne ekonomske koristi. Dve uprošćene metode za predviđanje vremena hlađenja su korišćene za određivanje vremena hlađenja upakovanog jogurta bazirano na ulaznim podacima dobijenim praćenjem rada realnog rashladnog sistema.

Rezultati proračuna se veoma dobro slažu sa projektovanim kapacitetom rashladnog sistema i ukazuju na veliki uticaj dimenzija, oblika i geometrije pakovanja hlađenog proizvoda na proces hlađenja. Analize takođe ukazuju i na to da se razmatrane metode mogu koristiti i u fazi izbora optimalne veličine i oblika ambalaže.

Različite dimenzije ambalaže jogurta utiču na količinu utrošene energije, što ukazuje na to da se različite forme pakovanja moraju uzeti u razmatranje u ranim fazama planiranja procesa proizvodnje. Varijacija ulaznih parametara može predstavljati korisnu informaciju koja je od značaja za smanjenje vremena hlađenja, a što konačno može uticati i na postizanje finansijskih ušteda u procesu proizvodnje.

Za neka buduća istraživanja, bilo bi interesantno razmotriti i uticaj odabrane tehnologije sa aspekta zaštite životne sredine, imajući u vidu količinu energije koja se troši u procesima hlađenja, kao i pronalaženje alternativnih načina proizvodnje koji bi omogućili efikasniju proizvodnju sa istim kvalitetom finalnog proizvoda.

#### V. Nomenklatura

$A$	– površina ( $m^2$ )
$Bi$	– Biot-ov broj
EHTD	– Equivalent Heat Transfer Dimensionality
$f$	– faktor
$f$ -j method	– metoda određivanja vremena hlađenja bazirana na faktorima $f$ i $j$
$G$	– geometrijski indeks

$h$	– koeficijent prelaza toplote (W/m <sup>2</sup> K)
$H$	– visina čaše jogurta
$j$	– faktor
$k$	– koeficijent provođenja toplote (W/m K)
$L$	– radijus čaše jogurta, karakteristična dužina proizvoda (m)
$M$	– karakteristična vrednost
$Y$	– bezdimenziona temperaturska razlika
$\alpha$	– toplotna difuzivnost (m <sup>2</sup> /s)
$\theta$	– vreme hlađenja

## VI. Literatura

- [1] \*\*\* ASHRAE (2014). Handbook – Refrigeration, Chapter 20: Cooling and Freezing Times of Foods.
- [2] **Chandan, R. C. and K. R. O'Rell** (2006), *Manufacture of various types of yogurt*. Manufacturing Yogurt and Fermented Milks, 211–236.
- [3] **Coulomb, D.** (2008). *Refrigeration and cold chain serving the global food industry and creating a better future: two key IIR challenges for improved health and environment*. Trends in food science & technology, 19(8), 413–417.
- [4] **Hayakawa, K. and G. Villalobos** (1989), *Formulas for estimating Smith et al. parameters to determine the mass average temperature of irregularly shaped bodies*. J. of Food Process Engineering 11(4), 237–256.
- [5] Lee, W. J. and J. A. Lucey (2010), *Formation and physical properties of yogurt*. Asian-Aust. J. Anim. Sci, 23(9), 1127–1136.
- [6] **Montanari, R.** (2008), *Cold chain tracking: a managerial perspective*. Trends in Food Science & Technology, 19(8), 425–431.
- [7] Smith, R. E., G. L. Nelson, and R. L. Henrickson (1968), *Applications of geometry analysis of anomalous shapes to problems in transient heat transfer*. Transactions of the ASAE 11(2), 296–302
- [8] Steinhart, J. S. and C. E. Steinhart (1974), *Energy use in the US food system*. Univ. of Wisconsin, Madison.
- [9] Tamime, A. Y. and R. K. Robinson (1988), *Fermented milks and their future trends*. Part II. Technological aspects. Journal of Dairy Research, 55(02), 281–307.
- [10] Zaroni, S. and L. Zavanella (2012), *Chilled or frozen? Decision strategies for sustainable food supply chains*. International Journal of Production Economics, 140(2), 731–736.