



MATEMATICKÝ MODEL PRE STANOVENIE NORMATÍVU SPOTREBY TEPLA NA FAREBNÚ HOMOGENIZÁCIU BUKOVÝCH PRÍREZOV V TLAKOVÝCH AUTOKLÁVOCH

Ladislav Dzurenda – Nencho Deliiski

Abstract

In this paper a mathematical model for calculation of scientifically based technically justified norm (TZN) of heat energy consumption for steaming of beech lumber for the purpose of colour homogenisation of wood in pressure autoclaves, is presented.

By application of the model for the case of colour homogenisation of beech lumber with thickness $h = 32$ mm to pale pink in a pressure autoclave AZ 240, a value of technically justified heat energy consumption is determined to $Q_{TZN} = 144,035$ kWh.m⁻³, which is equivalent to $Q_{TZN} = 0,519$ GJ.m⁻³. This value is with 13,5 % lower, than the average value of heat energy consumption shown by economic practice.

Key words: *steaming of wood, coloured homogenisation, mathematico-physical model, normatives of heat energy consumption*

ÚVOD

Parenie dreva je technologický proces v ktorom pôsobením tepla a vodnej pary sa menia fyzikálne, mechanické a chemické vlastnosti dreva. Parenie reziva a iných piliarových sortimentov sa vykonáva za účelom zmeny farby dreva, sterilizácie dreva, uvoľňovanie vnútorných rastových napätí v dreve a homogenizácie dreva [1-6].

Táto technologická operácia sa u nás vykonáva v pariacich jamách, pariacich komorách, či pariacich zvonoch parovzdušnou zmesou pri atmosférickom tlaku pri teplotách $t = 80 \div 95$ °C po dobu $\tau = 24 \div 96$ hod, resp. sýtou vodnou parou v tlakových autoklávoch pri teplotách $t = 105 \div 135$ °C po dobu $\tau = 8 \div 24$ hod [3, 5, 7]. Ekonomická efektívnosť plne automatizovaného procesu parenia je v značnej miere závislá na dobe trvania technologického procesu a spotrebe tepla pre realizáciu termického procesu parenia dreva.

Cieľom tohto príspevku je stanovenie technicko-zdôvodniteľnej normy (TZN) spotreby tepla na parenie bukových prírezov sýtou vodnou parou za účelom farebnej homogenizácie bukových prírezov v tlakových autoklávoch, formou matematicko-fyzikálneho modelu technologického procesu.

1. TECHNOLOGICKÝ PROCES TLAKOVÉHO PARENIA BUKOVÝCH PRÍREZOV ZA ÚČELOM FAREBNEJ HOMOGENIZÁCIE DREVA

Farebná homogenizácia bukového dreva sa vykonáva za účelom zmeny prirodzenej bielo-žltej farby drevnej hmoty dreviny buk na rovnomerné sfarbenie bukového dreva na

Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia projektov KEGA-SR č.1/6164/08 a NIS-LTU 105/2008, ako výsledok práce autorov a výraznej pomoci grantovej agentúry VEGA-SR a NIS-LTU, Sofia.

bledo ružový odtieň, resp. ružovočervený odtieň až po tmavý červenohnedý odtieň dreva pri zachovaní pôvodnej štruktúry a textúry dreva. Intenzita sfarbenia bukového dreva je závislá na čase farebnej homogenizácie a teplote sýtej vodnej pary. Kvalitatívne je vplyv teploty a času parenia na zmenu farby vyjadrovaný kritériom zušľacht'ovania dreva - farebnej homogenizácie S_{FH} v termosekundách (K.s), ktoré je číselne rovné veľkosti integrálnej plochy funkcie zmeny teploty dreva v procese farebnej homogenizácie [8,9]:

$$S_{FH} = \int_0^{\tau} (T_1 - T_0) dt,$$

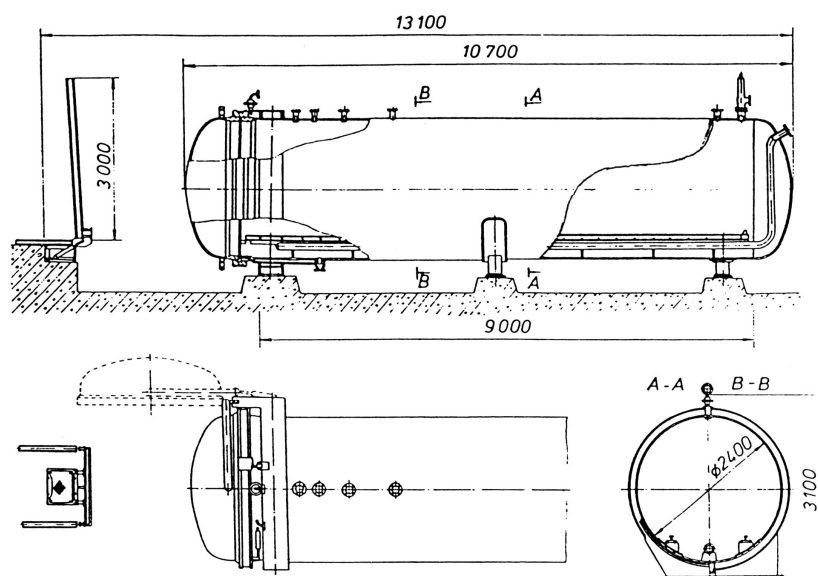
kde: T_1 – teplota pareného dreva v procese farebnej homogenizácie, K;

T_0 – teplota dreva na začiatku parenia, K

τ – čas trvania farebnej homogenizácie, s.

Na zmenu farebného odtieňa bukového dreva je potrebné 10^7 až $1,8 \cdot 10^7$ [K.s]. Pre získanie ružovo červeného odtieňa dreva bukových prírezov má kritérium zušľacht'ovania dreva - farebnej homogenizácie hodnotu: $S_Q = 1,2 \cdot 10^7$ [K.s], a pre tmavý červenohnedý odtieň dreva hodnota kritéria farebnej homogenizácie $S_Q = 1,8 \cdot 10^7$ K.s [8,9].

Technologický proces farebnej homogenizácie bukových prírezov je realizovaný sýtou vodnou parou o tlaku $p = 0,12 - 0,34$ MPa v tlakových autoklávoch. Autoklávy sú tlakové nádoby valcovitého tvaru z nehrdzavejúcej ocele [7, 10, 11]. Schéma autoklávu AZ-240 firmy LIGNOTECH ET Sofia je na obr. 1.



Obr. 1 Schéma autoklávu AZ-240 firmy LIGNOTECH ET Sofia

Technicko-technologické parametre autoklávov na parenie reziva a prírezov vyrábaných a dodávaných na trh sú v tabuľke 1. Spotreba tepla na proces farebnej homogenizácie bukového dreva v autoklávoch AZ-240 v podnikoch drevospracujúceho priemyslu vyjadrené formou technicko-hospodárskej normy TZN je $Q_{THN} = 0,6 \div 0,85$ GJ.m⁻³ [12].

Tabuľka 1 Technické parametre tlakových autoklávov na parenie deva vyrábaných firmou LIGNOTECH et Sofia

Parameter	Rozmer	Typ autokláva		
		AP- 240	AZ-240	AZ-240M
Vnútny priemer autokláva	mm	2 400	2 400	2 400
Dĺžka valcovej časti autokláva	m	13	9	4.5
Vnútny objem autokláva	m ³	66	48	28
Úžitkový objem	m ³	22	16	8
Hmotnosť	kg	17 200	12 500	7 400
Max. prevádzkový tlak	MPa	0,45	0,45	0,45
Tepelný príkon	kW	500	300	200
Elektrický príkon	kW	3	3	3
Ročná produkcia	m ³ .rok ⁻¹	10 000	8 000	4 000

2. MATEMATICKÝ MODEL TECHNICKO ZDÔVODNITELNEJ NORMY SPOTREBY TEPLA NA FAREBNÚ HOMOGINIZÁCIU BUKOVÉHO DREVA

Technicko-zdôvodniteľná norma (TZN) je špecifická spotreby tepla vyjadrujúca objektívne nutné množstvo tepla spotrebované na výrobu jednotky výrobku. Na stanovenie TZN je možné aplikovať dynamický model tepelnej bilancie pariačeho autokláva [9], alebo nižšie rozpracovaný statický model tepelnej bilancie pariačeho autokláva vhodný pre inžinierske výpočty.

Matematicko-fyzikálny model (TZN) spotreby tepla pre technologický proces farebnej homogenizácie bukového dreva sýtou vodnou parou v tlakových autoklávoch popisujú rovnice:

$$Q_{TZN} = \frac{Q_D + Q_A + Q_I + Q_S + Q_P + Q_K}{V_D}, \quad (1)$$

kde: Q_D – teplo potrebné na ohrev farebne homogenizovaného dreva, kWh;

Q_A – teplo potrebné na ohrev konštrukčného materiálu autokláva, kWh;

Q_I – teplo potrebné na ohrev izolácie autokláva, kWh;

Q_S – teplo potrebné na krytie tepelných strát z povrchu konštrukcie tlakového autokláva emitovaných počas technologického procesu do atmosféry, kWh;

Q_P – teplo odvedené sýtou parou po otvorení autokláva pri jeho vyprázdňovaní, kWh;

Q_K – teplo odvedené kondenzátom z tlakového autokláva, kWh;

V_D – objem pareného – farebne homogenizovaného dreva v tlakovom autokláve, m³.

Teplo potrebné na ohrev farebne homogenizovaného dreva pri vlhkosti $w > 30\%$ možno vypočítať prostredníctvom nasledovných rovníc:

$$Q_D = \frac{V_D \left[\rho_R \left(1 + \frac{w}{100} \right) \right] c_D (T_1 - T_0)}{3,6 \cdot 10^6}, \quad (2)$$

kde: ρ_R – redukovaná hustota dreva, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;
 w – absolútna vlhkosť farebne homogenizovaného dreva, %;
 c_D – stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity mokrého dreva ($\text{J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), pri vlhkosti $w > 30$ % v intervale termodynamických teplôt T_1 a T_0 , podľa N. Deliiskeho [13]:

$$c_D = \frac{2862 \frac{w}{100} + 555}{1 + \frac{w}{100}} + \frac{5,49 \frac{w}{100} + 2,95}{1 + \frac{w}{100}} \cdot \frac{T_0 + T_1}{2} + \frac{0,0036 \left(\frac{T_0 + T_1}{2} \right)^2}{1 + \frac{w}{100}}, \quad (3)$$

T_1 – termodynamická teplota dreva na konci ohrevu (maximálna teplota v procese farebnej homogenizácie bukového dreva), K;

T_0 – termodynamická teplota dreva na počiatku procesu farebnej homogenizácie, K;
 Výraz $3,6 \cdot 10^6$ v menovateli rovnice (2) je prepočítavací parameter tepla na kWh.

Teplu potrebné na ohrev konštrukčného materiálu autokláva:

$$Q_A = \frac{m_A c_A (T_1 - T_0)}{3,6 \cdot 10^6}, \quad (4)$$

kde: m_A – hmotnosť korpusu tlakového autokláva, kg;

c_A – stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity materiálu korpusu tlakového autokláva, $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

T_1 – termodynamická teplota na vnútornom povrchu konštrukcie tlakového autoklávu po ohreve, K;

T_0 – termodynamická teplota na vnútornom povrchu konštrukcie tlakového autoklávu pred ohrevom, K.

Teplu potrebné na ohrev izolácie autokláva:

$$Q_I = \frac{m_I c_I \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_0 \right)}{3,6 \cdot 10^6}, \quad (5)$$

kde: m_I – hmotnosť izolácie korpusu tlakového autokláva, kg:

$$m_I = (\pi DL + \pi D^2) d_I \rho_I, \quad (6)$$

Výraz $(\pi DL + \pi D^2)$ kvantifikuje vonkajší povrchu neizolovaného tlakového autokláva. Zohľadňuje špecifikum predného i zadného čela, ktoré nie sú ploché ale majú sférický tvar [9].

D – vonkajší priemer tlakového autokláva bez izolácie, m;

L – dĺžka cylindrickej časti tlakového autokláva, m;

d_I – hrúbka izolačnej vrstvy korpusu tlakového autokláva, m;

ρ_I – hustota izolačného materiálu, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;

c_I – stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity izolačného materiálu, $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;

- T_1 – termodynamická teplota na vnútornom povrchu izolácie autoklávu po ohreve, K;
 T_2 – termodynamická teplota na vonkajšom povrchu izolácie tepelného zariadenia v zmysle požiadaviek BOZP je $t_2 \leq 50$ °C, t.j. $T_2 \leq 323,15$ K;
 T_0 – termodynamická teplota izolácie autoklávu pred ohrevom, K.

Teplu potrebné na krytie tepelných strát z povrchu tepelnej izolácie tlakového autoklávu:

$$Q_S = (\alpha_k + \alpha_r)(\pi D_1 L + \pi D_1^2)(T_2 - T_0)(\tau_c - \tau_1) \quad (7)$$

α_k – koeficient prestupu tepla prirodzenou konvenciou z povrchu izolácie autoklávu, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$, po matematickej úprave kriteriálnej rovnice pre podmienky prirodzenej konvencie tepla z povrchu izolácie autoklávu do atmosféry nadobúda rovnica tvar:

$$\alpha_k = \frac{\lambda_v}{D_1} [C_k (\text{Pr} \cdot \text{Gr})^n] = \frac{\lambda_v}{D_1} \left\{ 0,135 \left[6,867 \frac{\beta_v D_1^3}{\nu_v^2} (T_2 - T_0) \right]^{0,333} \right\}, \quad (8)$$

α_r – koeficient prestupu tepla radiáciou z povrchu izolácie autoklávu $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$, podľa Stefann-Boltzmanovho zákona vypočítať z nasledovnej rovnice [14, 15, 16]:

$$\alpha_r = \frac{5,775\varepsilon \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right]}{T_2 - T_0}. \quad (9)$$

- kde: λ_v – koeficient tepelnej vodivosti vzduchu pre teplotu $T = 0,5(T_2 + T_0)$, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;
 β_v – koeficient objemovej rozťažnosti vzduchu pre teplotu $T = 0,5(T_2 + T_0)$, K^{-1} ;
 ν_v – kinematická viskozita vzduchu pre teplotu $T = 0,5(T_2 + T_0)$, $m^2 \cdot s^{-1}$;
 $D_1 = D + 2d_1$ - vonkajší priemer tlakového autoklávu s izoláciou, m;
 T_2 – termodynamická teplota na vonkajšom povrchu izolácie autoklávu po ohreve, K;
 T_0 – termodynamická teplota atmosférického vzduchu, K;
 τ_c – celkový čas parenia (farebnej homogenizácie), h;
 τ_1 – čas ohrevu tepelného zariadenia, h: $\tau_1 = \frac{T_1 - T_0}{50}$ podľa F. Setničku [17].

Teplu potrebné na krytie tepelnej straty tlakového autoklávu odvedenou sýtou parou nachádzajúcou sa v nezaplňenom pracovnom priestore autoklávu pri jeho vyprázdňovaní.

$$Q_P = \frac{V_A - V_D}{3,6 \cdot 10^6 \nu''} h'', \quad (10)$$

- kde: V_A – vnútorný objem autoklávu, m^3 ;
 V_D – objem farebne homogenizovaného dreva v tlakovom autokláve, m^3 ;
 ν'' – špecifický objem sýtej vodnej pary v autokláve na konci parenia, $m^3 \cdot \text{kg}^{-1}$;
 h'' – entalpia sýtej vodnej pary v autokláve na konci parenia, $J \cdot \text{kg}^{-1}$.

Teplu potrebné na krytie tepelnej straty tlakového autokláva odvedeným kondenzátom na konci procesu parenia (farebnej homogenizácie):

$$Q_K = \frac{m_K (h' - h_{H_2O})}{3,6 \cdot 10^6} = \frac{Q_D + Q_A + Q_I + Q_S}{r} (h' - h_{H_2O}) \quad (11)$$

kde: m_K – hmotnosť kondenzátu vytvoreného skondenzovaním sýtej pary privedenej do tlakového autoklávu, kg;

h' – entalpia sýtej vody (kondenzátu) na konci parenia v autokláve, $J \cdot kg^{-1}$;

h_{H_2O} – entalpia vody použitej na výrobu sýtej pary, $J \cdot kg^{-1}$;

r – kondenzačné teplo sýtej pary použitej v procese parenia (farebnej homogenizácie), $J \cdot kg^{-1}$;

Aplikácia matematicko-fyzikálneho modelu pre stanovenie TZN - spotreby tepla na farebnú homogenizáciu bukového dreva je vykonaná na príklade výpočtu spotreby tepla pre farebnú homogenizáciu bukových prírezov $h = 32$ mm na bledo ružový odtieň v tlakovom autokláve AZ 240.

Tabuľka 2. Režim farebnej homogenizácie dreva bukových prírezov $h = 32$ mm v tlakovom autokláve AZ-240

Farebný odtieň	Teplota sýtej pary [$^{\circ}C$]		Čas parenia v hodinách [hod]			
	t_{min}	t_{max}	Fáza I	Fáza II	Fáza III	Celkový čas
ružový	104	118	7,0	3,0	3,0	13,0

Technicko-technologické parametre štandardného procesu technologického procesu farebnej homogenizácie v tlakovom autokláve AZ 240 sú: $V_D = 16$ m³ objem farebne homogenizovaných bukových prírezov v tlakovom autokláve, $\rho_R = 561$ kg.m⁻³ redukovaná hustota dreva dreviny buk lesný [18], $w = 80$ % absolútna vlhkosť bukových prírezov pred parením, $c_D = 3161$ J.kg⁻¹.K⁻¹ stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity mokrého dreva s absolútnou vlhkosťou $w = 80$ % pre teploty $T_0 = 283,15$ K a $T_1 = 383,15$ K, $c_A = 500$ J.kg⁻¹.K⁻¹ stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity konštrukčného materiálu tlakového autokláva pre teploty $T_0 = 283,15$ K a $T_1 = 383,15$ K [9], $m_A = 12\,500$ kg hmotnosť korpusu tlakového autokláva [9], $T_0 = 283,15$ K teplota atmosférického vzduchu, teplota konštrukcie tlakového autoklávu pred ohrevom, teplota dreva na počiatku procesu farebnej homogenizácie, $T_1 = 383,15$ K teplota dreva na konci ohrevu, teplota na vnútornom povrchu konštrukcie tlakového autoklávu po ohreve dreva, $d_1 = 0,1$ m hrúbka vrstvy izolácie korpusu tlakového autoklávu [9], $c_1 = 920$ J.kg⁻¹.K⁻¹ stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity izolačného materiálu autokláva pre teploty $T_0 = 283,15$ K a $T_1 = 383,15$ K, $\rho_1 = 200$ kg.m⁻³ hustota izolačného materiálu, $\lambda_v = 0,0274$ W.m⁻¹.K⁻¹ koeficient tepelnej vodivosti vzduchu pre určujúcu teplotu $T = 303,15$ K, $\beta_v = 3,3 \cdot 10^{-3}$ K⁻¹ koeficient objemovej rozťažnosti vzduchu pre teplotu $T = 303,15$ K, $\nu_v = 16,6 \cdot 10^{-6}$ m².s⁻¹ kinematická viskozita vzduchu pre určujúcu teplotu $T = 303,15$ K, $\varepsilon = 0,276$ koeficient pomernej sálavosti pozinkovaného plechu na povrchu izolácie autokláva [17, 19], $T_2 = 323,15$ K teplota na povrchu izolácie tlakového autoklávu po ohreve, $\alpha_k = 5,46$ W.m⁻².K⁻¹ koeficient prestupu tepla prirodzenej konvencie z povrchu izolácie tlakového autoklávu, $\alpha_r = 1,78$ W.m⁻².K⁻¹ koeficient prestupu tepla radiáciou z povrchu izolácie tlakového autoklávu, $D = 2,4$ m priemer korpusu tlakového autoklávu, $D_1 = 2,6$ m priemer korpusu tlakového autoklávu s izoláciou, $L = 10,7$ m dĺžka korpusu tlakového autoklávu, $V_A = 48$

m^3 vnútorný priestor autokláva, $\tau_C = 13$ hod celková doba procesu parenia (farebnej homogenizácie) bukových prírezov, $\tau_1 = (110 - 10)/50 = 2$ h čas ohrevu autokláva, $h_{H_2O} = 42 \cdot 10^3 \text{ J.kg}^{-1}$ entalpia vody pri $t = 110^\circ\text{C}$ použitej na výrobu sýtej pary pre proces farebnej homogenizácie dreva [17], $h' = 461 \cdot 10^3 \text{ J.kg}^{-1}$ entalpia kondenzátu na výstupe z tlakového autoklávu [20], $h'' = 2,692 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$ entalpia sýtej vodnej pary pri teplote $t = 110^\circ\text{C}$ [17], $v'' = 1,211 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ špecifický objem sýtej vodnej pary pri teplote $t = 110^\circ\text{C}$ [17], $r = 2,23 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$ kondenzáčné teplo sýtej pary pri teplote $t = 110^\circ\text{C}$ privedenej do tlakového autoklávu [20].

Jednotlivé položky spotreby tepla TZN farebnej homogenizácie dreva bukových prírezov $h = 32$ mm na bledo ružový odtieň v tlakovom autokláve AZ-240 uvádza tabuľka 3.

Tabuľka 3: Jednotlivé položky spotreby tepla TZN

Názov položky spotreby tepla	Spotreba tepla		Podiel položky na spotrebe tepla
	kWh	kJ	
- na ohrev farebne homogenizovaného dreva	1 418,657	5 107 164	0,615
- na ohrev konštrukčného materiálu autokláva	173,611	625 000	0,075
- na ohrev izolácie autokláva	30,737	110 653	0,013
- na krytie tepelných strát tlakového autokláva	301,684	1 086 062	0,131
- na krytie tepelných strát odvedenou parou	19,716	70 979	0,009
- na krytie tepelnej straty odvedeným kondenzátom	361,634	1 301 882	0,157
Spolu:	2 306,039	8 301 740	1,000

Hodnota TZN pre farebnú homogenizáciu bukových prírezov $h = 32$ mm na bledo ružový odtieň v tlakovom autokláve AZ 240:

$$Q_{\text{TZN}} = \frac{2306,039}{16} = 144,127 \text{ kWh.m}^{-3} \quad \text{resp.} \quad Q_{\text{TZN}} = \frac{8301740}{16 \cdot 10^6} = 0,519 \text{ GJ.m}^{-3}.$$

Uvedená hodnota je v porovnaní s dolnou hranicou THN [12] evidovanou v podnikoch drevospracujúceho priemyslu o 13,5 % nižšia.

3. ZÁVER

V príspevku je uvedený matematicko-fyzikálny model pre výpočet technicko-zdôvodniteľnej normy spotreby tepla na farebnú homogenizáciu bukového dreva v tlakových autoklávoch.

Aplikáciou uvedeného modelu pre farebnú homogenizáciu bukových prírezov $h = 32$ mm na bledo ružový odtieň v tlakovom autokláve AZ 240 bola stanovená hodnota technicko zdôvoditeľného normatívu spotreby tepla $Q_{\text{TZN}} = 144,127 \text{ kWh.m}^{-3}$, resp. $Q_{\text{TZN}} = 0,519 \text{ GJ.m}^{-3}$. Uvedená hodnota je o 13,5 % nižšia než je dolná hranica spotreby tepla uvádzaná hospodárskou praxou formou technicko hospodárskych noriem.

Z analýzy podielu jednotlivých položiek spotreby tepla plynie, že najväčšie spotreby tepla na farebnú homogenizáciu sú: spotreba tepla na ohrev termicky upravovaného dreva 61,5 % a spotreby tepla na krytie tepelných strát tlakového autoklávu vo forme tepelnej emisie z povrchu tlakového autoklávu do atmosféry 13,0 % a vo forme odvedeného kondenzátu 15,7 %.

Skutočnosť, že 61,5% z privedeného tepla sa priamo využíva na realizáciu technologického procesu svedčí o vysokej účinnosti využitia tepla v termickom procese farebnej homogenizácie dreva v tlakových autoklávoch. Uvedená hodnota je 3 krát vyššia, než je priame využitie tepla v tradičných technológiách parenia dreva realizovaných pri atmosférickom tlaku [4].

Efektívnosť využitia tepla v procese parenia v autoklávoch je bezprostredne závislá na využití vnútorného objemu autokláva. Pre porovnanie, zaplnenie vnútorného priestoru autoklávu farebne homogenizovaným bukovým drevom v danom prípade je na jednu tretinu, riešenie efektívnosti zaplnenia pracovného priestoru autokláva prispeje k ďalšiemu znižovaniu spotreby tepla v oblasti parenia a tým i znižovaniu TZN.

LITERATÚRA

- [1] Kollmann, F., Gote, W.A.: Principles of Wood Sciences and Technology, Vol. 1. Solid Wood, Springer Verlag: Berlin – Heidelberg - New York, 1968, 592 s.
- [2] Sergovskij, P. S., Rasev, A. I.: Hidrotermičeskaja obrabotka i konservirovanije drevesiny. Lesnaja promyšlennost, Moskva, 1987, 360 s.
- [3] Nikolov, S., Deliiski, N.: Izmenenie na drevecinata pri proparvane. Technika, Sofia, 1985, 174 s.
- [4] Lawniczak, M.: Zarys hydrotermicznej i plastycznej obróbki drewna. Czesc I. – Warzenie i parzenie drewna. Poznan. 1995, 149 s..
- [5] Trebula, P., Klement, I.: Sušenie a hydrotermická úprava dreva. Vydavateľstvo TUZVO, Zvolen. 2002, 449 s., ISBN 80-228-1182-3.
- [6] Videlov, H.: Sušene i toplinno obrabotvane na drvesinata LTU Sofia, Sofia 2003, 335 s., ISBN 954-8783-63-0.
- [7] Nikolov, S., Rajčev, A., Deliiski, N.: Proparvane na drevesinata. Zemizdat, Sofia, 1980, 223 s.
- [8] Deliiski, N.: Metod dla ocenki stepeni oblagoraživanja bukovych pilomaterialov vo vremja ich proparki. In: Súčasné problémy a perspektívy sušenia bukového reziva. Zvolen. ES-VŠLD vo Zvolene 1991, s. 37-44.
- [9] Deliiski, N.: Modelirane i tehnologii za proparvane na drvesiny materiali v avtoklavi. [Dizertačná práca LTU Sofia], Sofia, 2003, 358 s.
- [10] Deliiski, N.: Energooszczedne parowanie drewna w autoklávach. Przemysl drzewny, 1991. No 5, s. 2 - 4.
- [11] Sokolovski, S.: Orazmerjavane na avtoklavi za obrabotvane na darvesina. Chast 1. Izchisliavane na cilindrichnata chast, danoto i kapaka na avtoklavi s bayonetno zatvariane. Chast 2. Izchisliavane na ploski kapaci i dana svarzani s boltove. Darvo-obrabotvashta i mebelna promishlenost, No. 1 (2008), s. 8-12; s.27-32.
- [12] Dzurenda, L., Deliiski, N.: Technicko-ekonomické posúdenie technológie tlakového parenia bukového dreva. Drevo 1994. No 5, s. 102 – 103.
- [13] Deliiski, N.: Mathematische Beschreibung der spezifischen Wärmekapazität des aufgetauten und gefrorenen Holzes. VIII International Symposium "Fundamental Research of Wood", Warszawa, 1990, s. 229-233.
- [14] Michejev, M. A. Základy sdílení tepla. Průmyslové vydavatelství, Praha, 1952, 387 s.
- [15] Kalčík, J., Sýkora, K.: Technická termomechanika, Academia, Praha, 1973, 536 s.
- [16] Taraba, B., Behúlová, M., Kraváriková, H.: Mechanika tekutín – Termomechanika. Vydavateľstvo STU Bratislava, Bratislava, 2004, 241 s.
- [17] Setnička, F.: Tepelná technika pre drevárskych inžinierov. ALFA, Bratislava, 1981, 432 s.
- [18] Regináč, L. a kol.: Náuka o dreve II. Edičné stredisko VSLD, Zvolen. 1990. 424 s.
- [19] Ražnjevič, K.: Tepelné tabuľky a diagramy. ALFA, Bratislava, 1969, 339 s.
- [20] Rivkin, C.L., Aleksandrov, A.A.: Termodinamičeskije svojstva vody i vodjanogo para. Enrgia, Moskva, 1975, 84 s.