



## SPOTREBA SÝTEJ VODNEJ PARY AUTOKLÁVU APDZ 240 V PRIEBEHU TERMICKÉHO PROCESU MODIFIKÁCIE FARBY DREVA

Adrián Banski<sup>1</sup> – Ján Matyašovský<sup>2</sup>

### Abstract

*The article deals with the consumption of saturated steam autoclave APDZ 240 in the color modification process for the most unfavorable operating conditions of the autoclave: thermal adjustment wood lumber Agate white, with humidity  $u = 100\%$ , modification mode at temperature  $t = 137 \pm 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  during period  $\tau = 7,5$  hour. The presented model of technological process of heat consumption reveals that the biggest consumption of saturated steam in volume 2136 kg/hour is at the beginning of the technological process at the heating time  $\tau_0 \approx 1,5$  hours when the heat of condensing water vapor is used to heat the modified wood and to heat the autoclave. Subsequently, the heat of the condensing vapor in volume at 6 kg/hr is used to cover the heat loss of the autoclave. In the second phase of the process  $\tau_2$ , the saturated steam is not lead into the autoclave and the heat losses of the autoclave are covered by heat from the isochoric cooling of the steam contained in the autoclave as well as by the heat from the cooling the autoclave construction material.*

**Key words:** wood, saturated steam, wood colour, thermal adjustment.

### ÚVOD

Drevo umiestnené do prostredia horúcej vody, sýtej vodnej pary či nasýteného vlhkého vzduchu sa nahrieva a mení svoje fyzikálne, mechanické a chemické vlastnosti. Uvedené skutočnosti sa využívajú v drevárskych technológiách varenia a parenia dreva vo výrobe dých a preglejok, ohýbaného nábytku, či lisovaného dreva.

Termická úprava dreva – parenie reziva sa uskutočňuje v pariacich komorách, alebo v pariacich zvonoch prostredníctvom nasýteného vlhkého vzduchu pri atmosférickom tlaku a teplotách  $t = 80 \div 95\text{ }^{\circ}\text{C}$  pre  $\tau = 14 \div 48$  hodín [1-4], alebo prostredníctvom sýtej pary v tlakových autoklávoch pri teplotách  $t = 105 \div 135\text{ }^{\circ}\text{C}$  pre  $\tau = 6 \div 18$  hodín [5-7].

Procesy termickej úpravy dreva parením dreva sýtou vodnou parou sú okrem cielených fyzikálno-mechanických a chemických zmien dreva sú sprevádzané aj zmenou farby. Kým, v minulosti sa farebné zmeny stávajú v technologickom procese parenia dreva využívali na odstránenie nežiaducich farebných rozdielov medzi svetlou bielou a tmavým jadrom, či odstránenie nežiaducich farebných škvrn vzniknutých zaparením, zahnednutím či zaplesnením, tak v ostatnom čase je problematike cielennej zmeny farby dreva jednotlivých drevín venovaná zvýšená pozornosť [3, 7, 8, 9,10].

<sup>1</sup>Technical University of Zvolen, T.G.Masaryka 24, 96053, Zvolen, Slovakia

<sup>2</sup>VIPO, a.s., Partizánske, Gen. Svobodu1069/4, 958 01 Partizánske, Slovakia  
e-mail: banski@tuzvo.sk, jmatyasovsky@vipo.sk

Cieľom danej práce je stanovenie spotreby sýtej vodnej pary v priebehu procesu modifikácie farby dreva agátového reziva v autokláve APDZ 240.

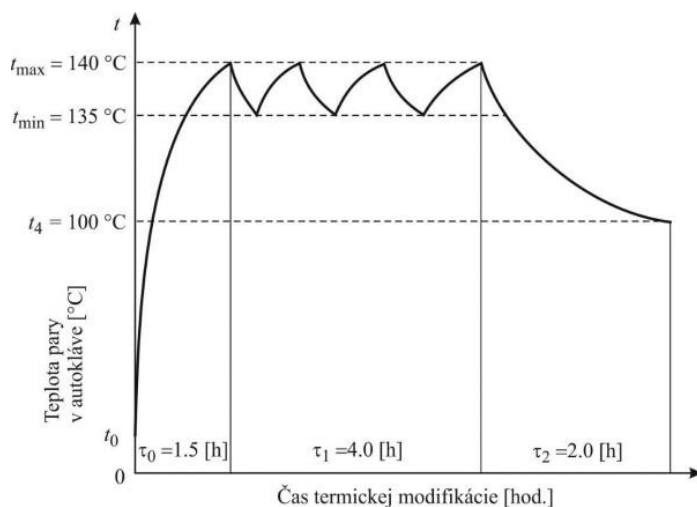
## MATERIÁL A METODA

Termická úprava dreva listnatých drevín sýtou vodnou parou za účelom modifikácie farby drevnej hmoty sa vykonáva v tlakových autoklávoch. Technické údaje tlakového autoklávu APDZ 240 firmy: Himmasch AD, Haskovo, Bulharsko uvádza tabuľka 1.

Tab. 1. Technické parameter tlakového autoklávu APDZ 240

Parameter	Rozmer	Type autoklávu		
		AP - 240	APDZ 240	AZ-240M
Vnútroň priemer autoklávu	mm	2,400	2,400	2,400
Dĺžka valcovej časti autoklávu	m	13	9	4.5
Vnútroň objem autoklávu	m <sup>3</sup>	66	48	28
Úžitkový objem	m <sup>3</sup>	22	16	8
hmotnosť	kg	17 200	12 500	7 400
Max. prevádzkový tlak	MPa	0.45	0.45	0.45
Elektrický	kW	3	3	3

Režim najvyššiu teplotu a dobu procesu farebnej modifikácie reziva sýtou vodnou parou v tlakovom autokláve APDZ 240 pre listnaté dreviny je zobrazený na obr.1.



Obr. 1. Režim termickej úpravy sýtou vodnou parou za účelom modifikácie farby

Zdrojom tepla pre realizáciu technologického procesu je kondenzačné teplo vodnej pary. Jednou z alternatív stanovenia jej spotreby je bilancia spotrieb tepla technologického procesu [4, 5, 7, 10, 12]:

$$Q_{ha} = Q_{hw} + Q_{hf} + Q_{hil} + Q_{he} + Q_{hfv} + Q_{hcw} \quad [\text{kJ}] \quad (1)$$

kde:  $Q_{hw}$  – teplo potrebné na ohrev farebného modifikovaného dreva, kJ;

- $Q_{hf}$  – teplo potrebné na ohrev konštrukčného materiálu autoklávu, kJ;  
 $Q_{he}$  – tepelná strata z povrchu tepelnej izolácie tlakového autoklávu do atmosféry, kJ;  
 $Q_{hil}$  – teplo potrebné na ohrev izolácie autoklávu, kJ;  
 $Q_{hew}$  – teplo extrahované kondenzátom z tlakového autoklávu, kJ;  
 $Q_{hfv}$  – teplo extrahované nasýtenou parou po otvorení autoklávu, kJ;  
 $Q_{hc}$  – teplo potrebné na pokrytie tepelných strát z povrchu tlakového autoklávu, kJ;

Jednotlivé spotreby tepla v technologickom procese popisujú rovnice:

$Q_{hw}$  - teplo potrebné na ohrev farebne modifikovaného dreva s vlhkosťou  $u > 30\%$ :

$$Q_{hw} = V_D \left[ \rho_R \left( 1 + \frac{w}{100} \right) \right] \frac{c_D}{10^3} (t_4 - t_D), \quad [\text{kJ}] \quad (2)$$

kde:  $V_D$  – objem farebne modifikovaného dreva v tlakovom autokláve,  $\text{m}^3$ ;

$\rho_R$  – redukovaná hustota dreva,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;

$u$  – absolútna vlhkosť farebného modifikovaného dreva, %;

$c_D$  – stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity modifikovaného dreva,  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;

$t_D$  – teplota dreva na začiatku termického procesu,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_4$  – teplota nasýtenej pary a telesa autoklávu na konci technologického procesu,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$Q_{hf}$  - Teplo potrebné na ohrev konštrukčného materiálu avtoklávu:

$$Q_{hf} = m_A c_A [t_4 - t_A], \quad [\text{kJ}] \quad (3)$$

kde:  $m_A$  – hmotnosť telesa tlakového autoklávu, kg;

$c_A$  – špecifická tepelná kapacita materiálu tlakového autoklávu,  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;

$t_4$  – teplota nasýtenej pary a telesa autoklávu na konci technologického procesu,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_A$  – teplota materiálu tlakového autoklávu na začiatku technologického procesu,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$Q_{hil}$  - Teplo potrebné na ohrev izolácie avtoklávu:

$$Q_{hil} = m_1 c_1 \left( \frac{t_1 + t_2}{2} - t_{Ai} \right), \quad [\text{kJ}] \quad (4)$$

kde:  $m_1$  – hmotnosť izolačného materiálu, kg

$c_1$  – stredná hodnota špecifickej tepelnej kapacity izolačného materiálu  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;

$t_1$  – teplota telesa autoklávu počas technologického procesu,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_2$  – teplota na vonkajšom povrchu izolácie autoklávu počas technolog. procesu,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{Ai}$  – teplota izolácie autoklávu pred ohrevom,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$Q_{he}$  - Tepelná strata z povrchu tepelnej izolácie tlakového autoklávu do atmosféry:

$$Q_{he} = 3,6 \cdot \alpha_k \cdot \left[ \pi(D + 2 \cdot h_i)L + \pi(D + 2 \cdot h_i)^2 \right] (t_2 - t_0)(\tau_c - \tau_1), \quad [\text{kJ}] \quad (5)$$

kde:  $\alpha_k$  – koeficient prestupu tepla povrchu autoklávu,  $\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$

$D$  – priemer tlakového autoklávu bez izolácie, m;

$h_1$  – hrúbka izolačnej vrstvy telesa tlakových autokláv, m;

$L$  – dĺžka valcovej časti tlakového autoklávu, m;

$t_2$  – teplota na vonkajšom povrchu izolácie autoklávu počas technolog. procesu,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_0$  – teplota materiálu tlakového autoklávu na začiatku technologického procesu,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\tau_0$  – čas ohrevu, h;

$\tau_1$  – čas 1 fázy technologického procesu, h.

$Q_{\text{hfv}}$  - Tepelná strata tlakového autokláva odvedenou sýtou vodnou parou nachádzajúcou sa v nezaplnenom pracovnom priestore autokláva pri jeho vyprázdňovaní.

$$Q_{\text{hfv}} = \left[ \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L - V_D \right] \cdot \frac{h''}{v''}, \quad [\text{kJ}] \quad (6)$$

kde:  $D$  – priemer tlakového autokláva bez izolácie, m;  
 $L$  – dĺžka valcovej časti tlakového autokláva, m;  
 $V_D$  – objem farebne modifikovaného dreva v tlakovom autokláve, m<sup>3</sup>;  
 $h''$  – entalpia nasýtenej pary v autokláve na konci technologického procesu, kJ.kg<sup>-1</sup>;  
 $v''$  – špecifický objem sýtej pary v autokláve na konci technolog. procesu m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>;

$Q_{\text{hcw}}$  - Tepelná strata tlakového autokláva odvedeným kondenzátom na konci technologického procesu:

$$Q_{\text{hcw}} = m_K (h' - h_{\text{H}_2\text{O}}) = \frac{Q_{\text{hw}} + Q_{\text{hf}} + Q_{\text{hil}} + Q_{\text{hc}}}{r} (h' - h_{\text{H}_2\text{O}}), \quad [\text{kJ}] \quad (7)$$

kde:  $m_K$  – hmotnosť skondenzovanej sýtej pary počas technologického procesu, kg;  
 $h'$  – entalpia kondenzátu na konci technologického procesu, kJ.kg<sup>-1</sup>;  
 $h_{\text{H}_2\text{O}}$  – entalpia vody používanej na výrobu nasýtenej pary; kJ.kg<sup>-1</sup>;  
 $Q_{\text{hw}}$  – teplo potrebné na ohrev farebného modifikovaného dreva, kJ;  
 $Q_{\text{hf}}$  – teplo potrebné na ohrev konštrukčného materiálu autokláva;  
 $Q_{\text{hil}}$  – teplo potrebné na ohrev izolácie autokláva, kJ;  
 $Q_{\text{hc}}$  – teplo potrebné na pokrytie tepelných strát z povrchu tlakového autokláva, kJ;  
 $r$  – kondenzačné teplo nasýtených pár použité v technologickom procese; kJ.kg<sup>-1</sup>;

Proces farebnej modifikácie dreva je typickým diskontinuálnym procesom vyznačujúcim sa s nerovnomernou spotrebou tepla. Podľa prác [4, 6, 11, 13] najväčšia spotreba tepla je na začiatku technologického procesu v čase  $\tau_0 \approx 1,5$  hod, kedy teplo kondenzujúcej vodnej pary je využívané na ohrev modifikovaného dreva a ohrev autokláva. Následne je teplo kondenzujúcej sýtej pary využívané na krytie tepelných strát autokláva. V druhej fáze technologického procesu  $\tau_2$  sa sýta para do autokláva neprivádza, tepelné straty autokláva sú pokryté teplom z izochorického ochladzovania sýtej pary nachádzajúcej sa v autokláve a teplom z ochladzovania konštrukčného materiálu autokláva. Spotrebu sýtej vodnej pary počas ohrevu modifikovaného dreva a autokláva  $\tau_0$  a I. fázy technologického procesu  $\tau_1$  popisujú rovnice (8) a (9):

$$m_{\text{H}_2\text{O}-\tau_0}'' = \frac{Q_{\text{hw}} + Q_{\text{hf}} + Q_{\text{hil}} + Q_{\text{hfv}} + Q_{\text{hcw}}}{(h'' - h') \cdot \tau_0}, \quad [\text{kg.h}^{-1}] \quad (8)$$

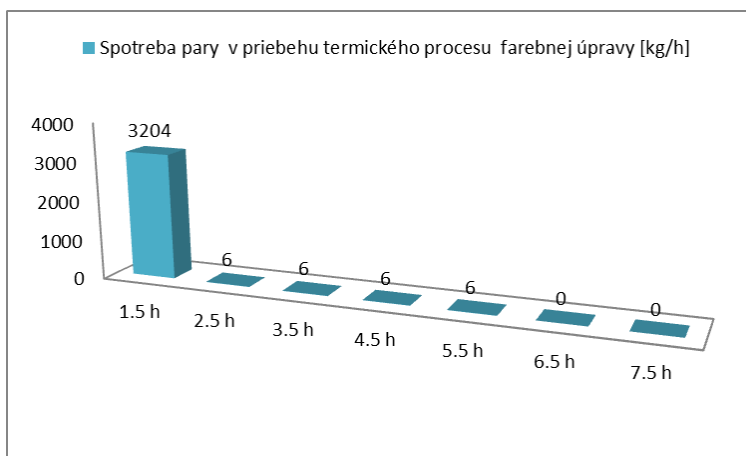
kde:  $Q_{\text{hw}}$  – teplo potrebné na ohrev farebného modifikovaného dreva, kJ;  
 $Q_{\text{hf}}$  – teplo potrebné na ohrev konštrukčného materiálu autokláva;  
 $Q_{\text{hil}}$  – teplo potrebné na ohrev izolácie autokláva, kJ;  
 $Q_{\text{hc}}$  – teplo potrebné na pokrytie tepelných strát z povrchu tlakového autokláva, kJ;  
 $Q_{\text{hfv}}$  – teplo extrahované nasýtenou parou po otvorení autokláva, kJ;  
 $h''$  – entalpia nasýtenej pary v autokláve na konci technologického procesu, kJ.kg<sup>-1</sup>;  
 $h'$  – entalpia kondenzátu na konci technologického procesu, kJ.kg<sup>-1</sup>;  
 $\tau_0$  – čas ohrevu, h;

$$m''_{H_2O-\tau_1} = \frac{Q_{hc}}{(h'' - h') \cdot \tau_1}, \quad [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (9)$$

kde:  $Q_{hc}$  – teplo potrebné na pokrytie tepelných strát z povrchu tlakového autoklávu, kJ;  
 $h''$  – entalpia nasýtenej pary v autokláve na konci technologického procesu, kJ.kg<sup>-1</sup>;  
 $h'$  – entalpia kondenzátu na konci technologického procesu, kJ.kg<sup>-1</sup>;  
 $\tau_1$  – čas 1 fázy technologického procesu, h.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Bilancia spotreby sýtej vodnej pary autokláva APDZ 240 v procese farebnej modifikácie, prostredníctvom vyššie uvedeného matematického zápisu, je vykonaná pre najnepriaznivejšie podmienky prevádzky farebnej modifikácie reziva v autokláve: drevinu *Agát biely* s jednou z najvyšších hodnôt redukovanej hustoty dreva listnatých drevin  $\rho_r = 600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , vlhkosť  $u = 100 \%$ , projektovaný objem modifikovaného dreva  $V_D = 16 \text{ m}^3$  a režim modifikácie prevádzkovaný v autokláve APDZ 240 s najvyššou teplotou sýtej vodnej pary  $t = 137 \pm 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$  po dobu  $\tau = 7,5$  hod. Závislosť spotreby sýtej vodnej pary teploty autoklávu APDZ 240 v priebehu technologického procesu farebnej modifikácie reziva, uvádza obr. 4.



**Obr. 4.** Závislosť spotreby sýtej vodnej pary v priebehu technologického procesu farebnej modifikácie  $V = 16 \text{ m}^3$  agátového reziva v tlakovom autokláve APDZ 240.

Z bilancie spotreby sýtej vodnej pary autoklávom APDZ 240 plynie, že v priebehu technologického procesu sa spotrebuje  $m_{H_2O} = 3228 \text{ kg}$  sýtej vodnej pary o teplote  $t = 137 \pm 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . V čase maximálneho odberu, na počiatku technologického procesu, je hodinová spotreba sýtej pary  $m_{H_2O} = 2136 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}$ .

Hodinový odber sýtej vodnej pary špecifikuje aj nevyhnutnú požiadavku na tepelný výkon parného generátora  $Q = 1958 \text{ kW}$  v tepelnom systéme závodu.

Skondenovaná vodná para je v priebehu technologického procesu termickej úpravy dreva je kontaminovaná produktmi hydrolýzy a extrakcie z termicky upravovaného dreva [15, 16, 17] a musí byť odvádzaná je na čistenie v ČOV. Uvedená skutočnosť radí termickú úpravu – modifikáciu farby dreva medzi technologické operácie s priamou spotrebou pary a nevratným kondenzátom do tepelného systému závodu.

## ZÁVER

V príspevku sú prezentované výsledky analýz spotreby sýtej vodnej pary tlakového autoklávu APDZ 240 v procese termickej úpravy – modifikácie farby dreva. Z vykonanej analýzy plynie, že autokláv v priebehu technologického procesu spotrebuje  $m_{\text{H}_2\text{O}} = 3228$  kg sýtej vodnej pary o teplote  $t = 137 \pm 2,5$  °C. V čase maximálneho odberu, na počiatku technologického procesu počas ohrevu je hodinová spotreba sýtej pary  $m_{\text{H}_2\text{O}} = 2136$  kg.hod<sup>-1</sup>.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená Slovenskou agentúrou pre vedu a výskum na základe zmlúv č. APVV-17-0456.

## Literatúra

1. KOLLMANN, F., COTE, 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. 1987: Hidrotermičeskaja obrabotka i konservirovanije drevesiny. Lesnaja promyšlennost, Moskva, 1987, 360 s.
3. TREBULA, P.: Sušenie a hydrotermická úprava dreva. Zvolen: Vydavateľstvo TU Zvolen, 1996. 255 s.
4. DZURENDA, L., DELIISKI, N.: Tepelné procesy v technológiách spracovania dreva. Zvolen: Vydavateľstvo TU Zvolen, 2010. 273 s.
5. NIKOLOV, S., RAJCHEV, A., DELIISKI, N.: Proparvane na drvesinata. Sofia: Zemizdat, 1980. 222 s.
6. DELIISKI, N., DZURENDA, L., ANGELSKI, D., TUMBARKOVA, N.: An approach for computation of regimes for autoclave steaming of prisms for veneer production with a limited power of the heat generator. In: Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen. (2018), 60(1):101-112, doi: 10.17423/afx.2018.60.1.11
7. DZURENDA, L.: The Shades of Color of Quercus robur L. Wood Obtained through the Processes of Thermal Treatment with Saturated Water Vapor. BioResources, (2018), 13(1): 1525 – 1533, doi: 10.1063/biores.13.1.1525-1533.
8. TOLVAJ, L., NEMETH, R., VARGA, D., MOLNAR, S.: Colour homogenisation of beech wood by steam treatment. In: Drewno. (2009), 52(181): 5-17.
9. BARCIK, Š., GAŠPARÍK, M., RAZUMOV, E. Y.: Effect of thermal modification on the colour changes of oak wood. Wood Research. (2015), 60(3): 385-396.
10. DZURENDA, L.: Colour Modification of Robinia pseudoacacia L. during the Processes of Heat treatment with Saturated Water Steam. In: Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen. (2018). 60(1):61-70, (2018) doi: 10.17423/afx.2018.60.1.07
11. BANSKI, A: Vplyv vlhkosti dubového dreva na spotrebu tepla v procese farebnej homogenizácie sýtou vodnou parou. In: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva, (2016), 10(1): 235–239. ISSN 2453-904X.
12. DZURENDA, L.: Numeric Model of the Normative Consumption of Heat for the Colour Homogenisation of Wood in Pressure Autoclaves. In: AIP Conf. Proc. 1745, 020008-1–020008-7; (2016), doi: 10.1063/1.4953702.

13. DZURENDA, L.: The Effect of Moisture Content of Black Locust Wood on the Heating in the Saturated Water Steam during the Process of Colour Modification. In: MATEC Web of Conferences 168, 06004 (2018), DOI: 10.1051/mateconf/201816806004XXI.
14. BUČKO, J. 1995: Hydrolýzne procesy. Zvolen: Vydavateľstvo TU Zvolen, (1995), 116 s.
15. KAČÍK, F. 2001: Tvorba a chemické zloženie hydrolyzátov v systéme drevo-voda-teplo. Zvolen: Vydavateľstvo TU Zvolen, 75 s.
16. LAUROVA, M., MAMONOVA, M., KUČEROVA, V.: Proces parciálnej hydrolýzy bukového dreva (*Fagus sylvatica* L.) parením a varením. [Vedecké štúdie 2/2004/A], Zvolen: TU Zvolen. (2004), 58 s.