

SUŠENIE BUKOVÉHO REZIVA V KOMOROVÝCH SUŠIARŇACH REŽIMAMI ZACHOVAVAJÚCIMI PÔVODNÚ FARBU DREVA

DRYING OF BEECH TIMBER IN CHAMBER DRYING KILNS BY REGIMES PRESERVING THE ORIGINAL COLOUR OF WOOD

Ladislav DZURENDA – Nencho DELIISKI

ABSTRACT

In this paper, there are presented the results of works analysing the influence of suggested external conditions for drying of beech timber with thickness of $h = 25$ and 60 mm from moisture $W_p = 70$ % to $W_k = 8$ % in chamber drying kilns, with the aim to preserve the original colour of beech wood, quality of the seasoned timber and heat consumption.

Based on realised works, it is possible to state, that drying of beech timber according to the suggested regimes does not inflict changes in chromophore structure of wood and the beech wood preserves its original white-yellow colour. Quality parameters of the seasoned timber such as: difference between the achieved average final moisture and the planned final moisture, variance span of final moisture and moisture gradient in dryid beech timber classify this dried timber into the I. quality degree.

Realisation of the process of drying of beech wood using wet air in the interval of temperatures $t_s = 37 \div 65$ °C has negative impact on the time of this process. In comparison with the regimes of beech timber drying according to ON 49 0651, realised at temperatures of $t = 60 \div 80$ °C, the actual duration of drying of beech timber with $h = 25$ mm according to the suggested regime is 2,1 times longer and the actual duration of drying of beech timber with $h = 60$ mm is 2,3 times longer.

Specific consumption used to dry 1 m^3 of beech timber in chamber drying kiln MKD 30, according to the suggested set of external conditions for drying of beech timber with thickness of $h = 25$ mm is $Q_{TZN} = 442,12 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ and for timber with $h = 60$ mm it is $Q_{TZN} = 493,94 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$.

Normative heat consumption used to dry 1 m^3 of beech timber with thickness of $h = 60$ mm according to the suggested regime of seasoning is by 34,95 % higher, than the normative heat consumption used to dry beech timber of a set thickness according to the regime of beech timber drying ON 49 0651.

Keywords: beech, timber, hot-air drying, regime of drying, colour of wood.

ÚVOD

Sušenie dreva patrí k základným technologickým operáciám spracovania drevnej hmoty. Uvedená technologická operácia je značne komplikovaný hydrotermický proces a napriek nemalému úsiliu vedecko-výskumných pracovníkov a technológov, výskum sušenia dreva nie je doposiaľ ukončený.

Sušenie bukového reziva vykonávané v teplotovzdušných komorových sušiarňach podľa sušiacich režimov ON 49 0651, GOST, či režimov sušenia používaných fy: Hildebrandt GmbH, Incomac s.r.l., Vzduchotechnika a.s., Mühlböck GmbH je bežne realizované pri teplotách $t = 60 \div 80$ °C. Realizácia sušiaceho procesu pri uvedených teplotách vytvára v bukovom dreve

podmienky nielen pre odstraňovanie vody z dreva, ale i pre priebeh chemických reakcií akými sú parciálna hydrolyza hemicelulózy a extrakcia vodorozpustných akcesorických látok (BUČKO 1995, TREBULA & BUČKO 1996, HALAJ 1999, KAČÍK 2001, DZURENDA & DELIISKI 2000, LAUROVA *et al.* 2004), ktoré vyvolávajú ireverzibilné zmeny bukového dreva. Jednou z takýchto zmien je zmena farby bukového dreva z pôvodnej bielo - žltej farby na matný bledo hnedo - ružový farebný odtieň. Mieru zmeny farby dreva v procesoch teplo-vlhkostného obrábania dreva definoval (DELIISKI 1991) kritériom farebnej homogenizácie dreva S_{FH} , ktoré je číselne rovné veľkosti integrálnej plochy funkcie zmeny teploty dreva v procese teplo-vlhkostného obrábania dreva. Jednotkou uvedeného kritéria je termosekunda [K.s]. Zmena farebného odtieňa bukového dreva z pôvodnej bielo-žltej farby na hnedo ružový farebný odtieň nastáva po prekročení hranice kritéria farebnej homogenizácie $S_{FH} \leq 1,2 \times 10^7$ [K.s].

Za účelom eliminácie uvedeného nedostatku boli na báze teplo-vlhkostného obrábania dreva vypracované špeciálne režimy pre teplovzdušné sušenie bukového reziva v komorových sušiarňach zachovávajúce pôvodnú farbu bukového dreva. Cieľom tejto práce je posúdenie navrhnutých vonkajších podmienok sušenia pre teplovzdušné sušenie bukového reziva hrúbky 25 a 60 mm z vlhkosti $W_p = 70$ % na vlhkosť $W_k = 8$ % v komorových sušiarňach reziva, z aspektu kvality vysušeného reziva, miery zmeny farby dreva a spotreby tepla.

MATERIÁL A METODIKA

Rozpisy vonkajších podmienok – režimov sušenia bukového reziva hrúbky $h = 25$ mm a $h = 60$ mm, z vlhkosti $W_p = 70$ % na vlhkosť $W_k = 8$ %, pri ktorých nastáva zmena farby bukového dreva sú uvedené v tab. 1.

Tab. 1 Rozpis vonkajších podmienok sušenia pre bukové rezivo $h = 25$ mm a $h = 60$ mm, pri zachovaní pôvodnej farby dreva.

Tab. 1 Specification of external conditions for seasoning of beech timber with thickness of $h = 25$ mm and $h = 60$ mm, from the moisture $W_p = 70$ % to $W_k = 8$ %, while preserving the original wood colour.

Fáza sušenia	Hrúbka reziva [mm]					
	25			60		
	t_s [°C]	Δt [°C]	τ [hod]	t_s [°C]	Δt [°C]	τ [hod]
Ohrev	44	3	3	42	3	8
70 ÷ 45	38	5	40	37	5	133
45 ÷ 35	40	6	25	39	5	82
35 ÷ 25	45	8	38	43	7	123
25 ÷ 20	49	10	29	47	9	97
Kondicionovanie	49	6	2,5	47	5	6
20 ÷ 15	55	14	33	53	13,5	109
15 ÷ 10	62	19	46	60	18	152
10 ÷ 08	65	25	22	63	20	71
Ošetrovanie	65	6	5	63	5,5	13
Ochladzovanie			3			8

V režime sušenia bukového reziva na konci sušenia vo vlhkosťnom stupni 25–20 % je zaradené kondicionovanie za účelom čiastkovej eliminácie vlhkosťného spádu vytvoreného v rezive počas odparovania voľnej vody z lúmenov buniek. Kondicionovanie je realizované zvýšením relatívnej vlhkosti sušiaceho média pri rovnakej teplote aká bola vo vlhkosťnom stupni 25–20 %. Sušenie bukového reziva tak hrúbky $h = 25$ mm, ako i hrúbky $h = 60$ mm, bolo vykonané v teplovzdušnej komorovej sušiarňi MKD-30 vyrábanej firmou BENEKO Ltd, Sofia. Kvalita procesu sušenia bukového reziva je hodnotená formou sušiaceho spádu U definovaného

podielom priemernej vlhkosti sušeného dreva w_{pr} a rovnovážnej vlhkosti v danom vlhkostnom stupni w_{rov} .

Po ukončení procesu sušenia bola kontrola kvality vysušeného reziva vykonaná na 8 sušiacich vzorkách stanovením: odchýlky priemernej konečnej vlhkosti od požadovanej vlhkosti, kolísania konečnej vlhkosti, vlhkostného spádu a zmeny farby dreva.

Odchýlka priemernej konečnej vlhkosti od požadovanej vlhkosti bola hodnotená prostredníctvom matematického vzťahu:

$$w_0 = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ik}}{n} - w_k \quad [\%], \quad (1)$$

kde: n – počet kontrolných sušiacich vzoriek [-],
 w_{ik} – priemerná konečná vlhkosť sušiacich vzoriek [%],
 w_k – požadovaná konečná vlhkosť vzoriek [%].

Kolísanie konečnej vlhkosti, variačné rozpätie konečnej vlhkosti vysušeného reziva bolo hodnotené rozdielom hodnôt maximálnej a minimálnej vlhkosti v sušiacich vzorkách podľa vzťahu:

$$w_{k0} = w_{max} - w_{min} \quad [\%], \quad (2)$$

kde: w_{max} – maximálna vlhkosť v sušiacich vzorkách [%],
 w_{min} – minimálna vlhkosť v sušiacich vzorkách [%].

Vlhkostný spád bol stanovený z rozdielu vlhkosti stredovej vrstvy a priemeru oboch povrchových vrstiev:

$$\Delta w = w_s - w_{pov} \quad [\%], \quad (3)$$

kde: w_s – vlhkosť stredovej vrstvy [%],
 w_{pov} – vlhkosť povrchových vrstiev [%].

Farba dreva na povrchu bukového reziva bola meraná kolorimetrom Color Reader CR-10, ktorý stanovuje farbu prostredníctvom súradníc farebného koordinačného systému CIE - $L^*a^*b^*$. Princíp merania kolorimetra je založený na stanovení hodnoty parametra L^* – kvantifikujúceho svetlosť farby od 100 pre bielu po 0 pre čiernu, parametra a^* – kvantifikujúceho chromatickú súradnicu s odtieňom medzi červenou a zelenou farbou, parametra b^* – kvantifikujúceho chromatickú súradnicu s odtieňom medzi žltou a modrou farbou. Zmena farby bukového dreva vyvolaná procesom sušenia bola kvantifikovaná tak veľkosťou zmien jednotlivých súradníc vo farebnom koordinačnom systéme pred sušením a na opracovanom povrchu hoblovaním po sušení, ako aj veľkosťou farebnej odchýlky $\Delta E_{a,b}$ v zmysle CIE (1986), kvantifikovanej vzťahom:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad [-], \quad (4)$$

kde: L^* – svetlosť farby [-],
 a^* – súradnica s odtieňom medzi červenou a zelenou farbou [-],
 b^* – súradnica s odtieňom medzi žltou a modrou farbou [-].

Špecifická spotreba tepla na vysušenie 1 m³ bukového reziva hrúbky $h = 25$ mm a $h = 60$ mm v komorovej sušiarňi MKD-30 danými režimami je stanovená formou technicky zdôvodniteľných noriem (Q_{TZN}) prostredníctvom modelu technického výpočtu normatívu spotreby tepla na sušenie reziva v komorových sušiarňach, (DZURENDA & DELIISKI 2009).

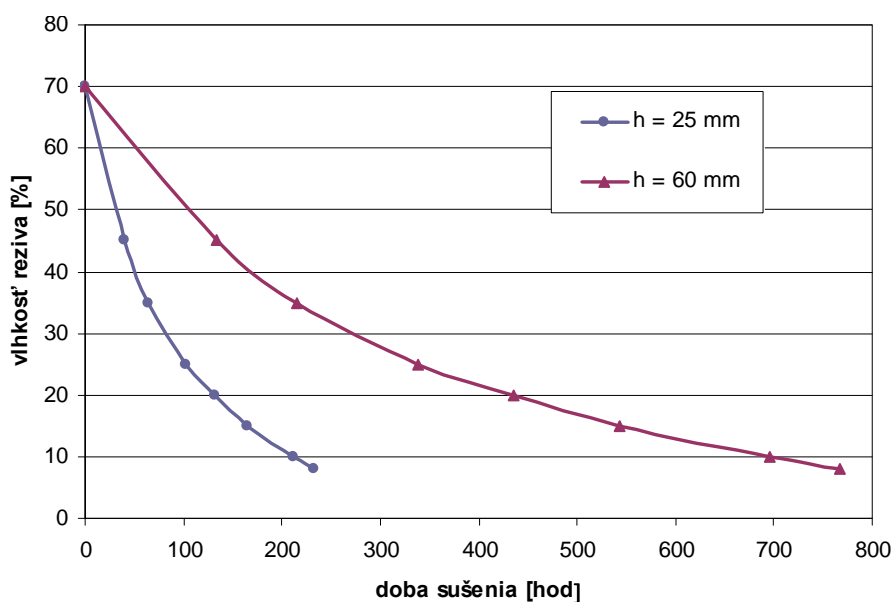
Normatív spotreby tepla na proces sušenia bukového reziva v komorovej sušiarňi kvantifikuje rovnica:

$$Q_{TZN} = \frac{Q_W + Q_V + Q_A + Q_L + Q_{HG} + Q_S}{V_D} \quad [\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}], \quad (5)$$

kde: Q_W – teplo potrebné na ohrev reziva v sušiarňi, [kWh],
 Q_V – teplo potrebné na ohrev vlhkého vzduchu v komorovej sušiarňi a zvlhčovanie vo fáze ohrevu a konečného ošetrenia, [kWh],
 Q_A – teplo potrebné na ohrev konštrukcie komorovej sušiarne a prekladových latiek, [kWh],
 Q_L – teplo potrebné na ohrev vzduchu v sušiarňi za účelom odparenia vody z dreva, [kWh],
 Q_{HG} – teplo na uvoľnenie hygroskopicky viazanej vody z dreva, [kWh],
 Q_S – teplo na krytie tepelných strát sušiarne, [kWh],
 V_D – objem sušeného dreva, [m^3].

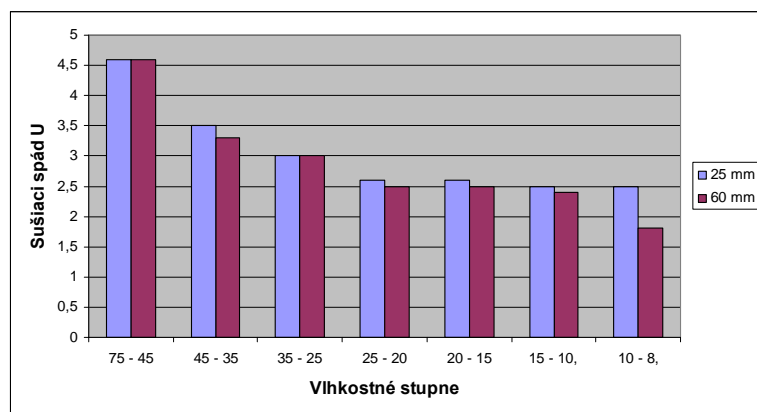
VÝSLEDKY

Priebeh procesu vlastného sušenia bukového reziva hrúbky $h = 25$ mm a $h = 60$ mm je zobrazený na obr. 1.



Obr. 1 Krivky sušenia bukového reziva hrúbky: $h = 25$ a 60 mm.
 Fig. 1 Curves of drying of beech timber with thickness of $h = 25$ and 60 mm.

Miera tvrdosti sušenia bukového reziva vyjadrená formou sušiaceho spádu pre obe hrúbky bukového reziva v jednotlivých vlhkostných stupňoch, ako i celom procese sušenia zobrazuje diagram na obr. 2.



Obr. 2 Hodnoty sušiacich spádov pre jednotlivé hrúbkové skupiny a vlhkostné stupne sušenia bukoveho reziva.

Fig. 2 Values of drying gradient for individual thickness groups and moisture gradients of beech timber drying.

Počiatočnú a konečnú vlhkosť sušiacich vzoriek, hodnoty parametrov farebných súradníc L^* , a^* , b^* sušiacich vzoriek reziva pred a po sušení, ako i veľkosti farebných odchýlok bukoveho dreva ΔE_{ab} vyvolané procesom sušenia uvádzajú tabuľky 2 a 3.

Tab. 2 Vlhkosti a farebné súradnice L^* , a^* , b^* bukoveho reziva hrúbky $h = 25$ mm na začiatku a konci sušenia a veľkosť farebnej odchýlky dreva v procese jeho sušenia $\Delta E_{a,b}$.

Tab. 2 Moistures and colour coordinates L^* , a^* , b^* of beech timber with thickness of $h = 25$ mm at the start and at the end of drying and the size of colour deviation of wood in the process of drying $\Delta E_{a,b}$.

Vzorka	Vlhkosť reziva	Farebné súradnice			ΔE_{ab}
		L^*	a^*	b^*	
1	$W_p = 70,4 \%$	72,1	9,2	21,6	1,5
	$W_k = 7,8 \%$	72,8	8,6	22,6	
Zmeny farebných súradníc		-0,7	-0,8	1,0	
2	$W_p = 72,8 \%$	69,7	9,1	21,8	1,0
	$W_k = 8,5 \%$	70,2	8,6	22,4	
Zmeny farebných súradníc		0,5	-0,7	0,6	
3	$W_p = 71,9 \%$	63,5	14,3	28,8	1,1
	$W_k = 8,4 \%$	64,4	13,8	29,3	
Zmeny farebných súradníc		0,9	-0,5	0,5	
4	$W_p = 72,1 \%$	70,7	10,2	22,9	1,4
	$W_k = 8,6 \%$	70,8	8,9	23,4	
Zmeny farebných súradníc		0,1	-1,3	0,5	
5	$W_p = 70,5 \%$	69,4	11,2	25,2	1,1
	$W_k = 8,1 \%$	69,5	10,2	25,6	
Zmeny farebných súradníc		0,1	-1,0	0,4	
6	$W_p = 70,3 \%$	72,1	9,8	23,9	1,6
	$W_k = 8,0 \%$	72,4	8,7	25,1	
Zmeny farebných súradníc		0,3	-1,1	1,2	
7	$W_p = 72,3 \%$	69,8	11,7	26,8	1,2
	$W_k = 9,1 \%$	70,6	10,8	27,1	
Zmeny farebných súradníc		0,8	-0,9	0,3	
8	$W_p = 70,8 \%$	60,8	11,2	21,1	1,3
	$W_k = 8,2 \%$	61,4	10,5	22,0	
Zmeny farebných súradníc		0,6	-0,7	0,9	

Tab. 3 Vlhkosti a farebné súradnice L^* , a^* , b^* bukového reziva hrúbky $h = 60$ mm na začiatku a konci sušenia a veľkosť farebnej odchýlky dreva v procese jeho sušenia $\Delta E_{a,b}$.

Tab. 3 Moistures and colour coordinates L^* , a^* , b^* of beech timber with thickness of $h = 60$ mm at the start and at the end of drying and the size of colour deviation of wood in the process of drying $\Delta E_{a,b}$.

Vzorka	Vlhkosť reziva	Farebné súradnice			$\Delta E_{a,b}$
		L^*	a^*	b^*	
1	$W_p = 70,9\%$	69,2	11,2	25,2	1,2
	$W_k = 8,5\%$	69,8	10,2	25,3	
Zmeny farebných súradníc		0,6	-1,0	0,1	
2	$W_p = 71,8\%$	70,8	8,7	21,8	0,9
	$W_k = 9,2\%$	71,1	8,3	22,6	
Zmeny farebných súradníc		0,3	-0,4	0,8	
3	$W_p = 69,1\%$	72,1	9,6	25,3	1,3
	$W_k = 7,7\%$	72,7	8,8	26,1	
Zmeny farebných súradníc		0,6	-0,8	0,8	
4	$W_p = 70,8\%$	69,4	10,5	22,8	1,3
	$W_k = 8,6\%$	70,2	9,9	23,6	
Zmeny farebných súradníc		0,8	-0,6	0,8	
5	$W_p = 70,7\%$	69,9	9,2	22,3	1,4
	$W_k = 8,4\%$	71,1	8,6	22,8	
Zmeny farebných súradníc		1,2	-0,6	0,5	
6	$W_p = 70,7\%$	72,2	10,1	26,0	1,1
	$W_k = 8,2\%$	72,7	9,6	26,8	
Zmeny farebných súradníc		0,5	-0,5	0,8	
7	$W_p = 71,1\%$	69,6	11,0	21,7	1,1
	$W_k = 8,4\%$	70,2	10,3	22,3	
Zmeny farebných súradníc		0,6	-0,7	0,6	
8	$W_p = 70,8\%$	64,5	11,6	24,8	1,3
	$W_k = 8,3\%$	65,3	10,9	25,1	
Zmeny farebných súradníc		0,8	-0,7	0,3	

Výsledky analýz hodnotiacich kvalitu usušenia bukového reziva formou odchýlky priemernej konečnej vlhkosti od požadovanej konečnej vlhkosti, kolísania (rozptylu) konečnej vlhkosti a vlhkosťného spádu reziva sú v tabuľke 4.

Tab. 4 Hodnotenie kvality usušeného reziva.

Tab. 4 Evaluation of the quality of drying timber.

Kvalitatívny znak		Hrúbka reziva [mm]	
		25	60
Odchýlka priemernej konečnej vlhkosti od požadovanej vlhkosti	w_0	0,3 %	0,4 %
Kolísanie konečnej vlhkosti	w_{k0}	1,3 %	1,5 %
Vlhkosťný spád reziva	Δw	0,3 ÷ 0,8 %	0,6 ÷ 2,3 %

Na základe porovnania nameraných hodnôt odchýliek priemernej konečnej vlhkosti od plánovanej konečnej vlhkosti, variačného rozpätia konečnej vlhkosti usušeného bukového reziva a vlhkosťného spádu v usušenom bukovom rezive s hodnotami znakov akosti jednotlivých stupňov kvality je možné konštatovať, že usušené bukové rezivo hrúbky $h = 25$ mm podľa analyzovaných kvalitatívnych ukazovateľov: $w_0 = 0,3\% \leq 0,5\%$, $w_{k0} = 1,3\% \leq 2,0\%$ a $\Delta w = 0,3 \div 0,8\% \leq 1,0\%$ spĺňa kritéria I. kvalitatívneho stupňa. Rovnako z hodnotenia kvality usušeného bukového reziva hrúbky $h = 60$ mm navrhnutým režimom sušenia plynie, že

vysušené bukové rezivo s nameranými kvalitatívnymi ukazovateľmi: $w_0 = 0,4 \% \leq 0,5 \%$, $w_{k0} = 1,5 \% \leq 2,0 \%$ a $\Delta w = 0,6 \div 2,3 \% \leq 2,5 \%$ patrí do kvalitatívneho stupňa I.

Farebné súradnice bukového dreva sušiacich vzoriek hrúbky 25 mm a 60 mm zaznamenali v procese sušenia nepatrné rozdiely vo forme zvýšenia belosti bukového dreva o $\Delta L^* = 0,1 \div 1,2$, zníženie hodnoty súradnice a^* popisujúcej škálu farebného odtieňa medzi červenou a zelenou farbou o $\Delta a^* = 0,4 \div 1,3$ a zvýšenie hodnoty súradnice b^* popisujúcej škálu farebného odtieňa medzi žltou a modrou farbou o $\Delta b^* = 0,1 \div 1,2$.

Celkové zmeny farebných odchýlok bukoveho dreva v procese sušenia $\Delta E_{a,b} = 0,9 \div 1,6$, sa nachádzajú v intervale farebnej diferencie $\Delta E_{ab} \leq 2$, označovanej ako nevýrazné zmeny farby.

Hodnoty technicko-zdôvodniteľnej normy spotreby tepla na vysušenie 1 m³ bukoveho reziva hrúbok 25 mm a 60 mm, v stredno-kapacitnej komorovej sušiarne reziva MKD 30, podľa režimov zachovávajúcich pôvodnú farbu bukoveho dreva, pri sušení reziva z vlhkosti $W_p = 70 \%$ na vlhkosť $W_k = 8 \%$, pri počiatkovej teplote dreva $t_d = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ a pri priemernej teplote atmosférického vzduchu v okolí komorovej sušiarne $t_o = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ uvádza tabuľka 5.

Tab. 5 Technicko-zdôvodniteľná norma spotreby tepla na vysušenie 1 m³ bukoveho reziva režimami zachovávajúcimi pôvodnú farbu bukoveho dreva.

Tab. 5 Technically resonable norm of heat consumption for drying of 1 m³ of beech timber according to regimes preserving the original colour of beech wood.

Hrúbka sušeného reziva [mm]	Normatív spotreby tepla Q_{TZN} [kWh·m ⁻³]
25	442,12
60	493,94

V tabuľke 6 sú uvedené hodnoty špecifických spotrieb tepla a spotrieb tepla jednotlivých položiek bilancie procesu sušenia hrúbky reziva $h = 60$ mm, podľa navrhnutého režimu a režimu sušenia bukoveho reziva podľa ON 49 0651 v komorovej sušiarne reziva MKD 30 z vlhkosti $W_p = 70 \%$ na vlhkosť $W_k = 8 \%$, pri počiatkovej teplote dreva $t_d = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ a priemernej teplote atmosférického vzduchu v okolí komorovej sušiarne $t_o = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tab. 6 Jednotlivé položky spotreby tepla na vysušenie 1 m³ bukoveho reziva $h = 60$ mm v komorovej sušiarne reziva MKD 30.

Tab. 6 Individual items of heat consumption used for drying of 1 m³ of beech timber with thickness of $h = 60$ mm in chamber drying kiln MKD 30.

Položky bilancie spotreby tepla komorovej sušiarne reziva MKD 30		Režim sušenia bukoveho reziva			
		navrhnutý		ON 49 0651	
		Špecifická spotreba tepla			
		kWh·m ⁻³	%	kWh·m ⁻³	%
Teplo na ohrev sušeného reziva	Q_W	34,68	7,02	53,44	14,60
Teplo na ohrev a zvlhčovanie vzduchu v sušiarne	Q_V	0,49	0,10	1,43	0,39
Teplo na ohrev konštrukcie sušiarne	Q_A	12,40	2,51	16,36	4,47
Teplo na ohrev vzduchu a odparovanie vody z dreva	Q_L	359,34	72,75	237,92	65,00
Teplo na uvoľnenie HG viazanej vody	Q_{HG}	3,95	0,80	3,99	1,09
Teplo na krytie tepelných strát sušiarne	Q_S	83,08	16,82	52,88	14,45
Normatív spotreby tepla $Q_{TZN} = \sum Q_i$		493,94	100,00	366,02	100,00

DISKUSIA

Podľa rozpisu teplôt a psychrometrických diferencií sušiaceho prostredia uvedených režimov teplovzdušného sušenia bukoveho reziva sa navrhnuté režimy sušenia v zmysle kategorizácie režimov sušenia, (KOLLMANN 1955, TREBULA 1989), radia medzi tzv. režimy so stúpajúcou teplotou a klesajúcou relatívnou vlhkosťou sušiaceho prostredia.

Z priebehu hodnôt sušiaceho spádu $U = 4,6 \div 3,5$ počas sušenia bukového reziva hrúbky $h = 25$ mm a sušiaceho spádu $U = 4,6 \div 3,3$ počas sušenia bukového reziva hrúbky $h = 60$ mm plyní, že od začiatku sušenia po priemernú vlhkosť $W = 35$ % napriek nízkej teplote sušiaceho prostredia možno sušenie bukového reziva označiť ako tvrdé s reálnym predpokladom tvorby vlhkového spádu po priereze reziva. Od priemernej vlhkosti $W = 35$ % sú parametre sušiaceho prostredia nastavované pre šetrnejšie, jemnejšie sušenie bukového reziva. Napriek uvedenému konštatovaniu, zámer autorov navrhnuť režim sušenia nespôsobujúci zmenu farby bukového reziva pri dosiahnutí najvyššej kvality vysušeného materiálu potvrdzujú výsledky kvalitatívnych skúšok vykonaných na záver sušenia bukového reziva, podľa ktorých vysušené bukové drevo v komorovej sušiarňi reziva MKD 30 malo pôvodnú, nezmenenú bielo žltú farbu a vlhkovostný spád u reziva $h = 25$ mm bol $\Delta W \leq 0,8$ % a u reziva $h = 60$ mm bol $\Delta W \leq 2,3$ %.

Odlíšnosť uvedených režimov od klasických časových režimov teplovzdušného sušenia bukového reziva uvádzaných normami ON 49 0651, ГОСТ, či fy: Hildebrandt GmbH, Incomac s.r.l., Vzduchotechnika a.s., Mühlböck GmbH vykonávaných pri teplotách $t = 60 \div 80$ °C sfarbovujúcimi bukové drevo do bledo hnedo – ružova je v skutočnosti, že proces sušenia bukového reziva navrhnutými režimami je realizovaný v oblasti dolného intervalu teplôt klasického konvekčného teplovzdušného sušenia dreva v komorových sušiarňach reziva. Počas odstraňovania vody voľnej nachádzajúcej sa v lúmenoch buniek bukového dreva je proces sušenia realizovaný vlhkým vzduchom s teplotou nižšou než $t = 50$ °C a psychrometrickej diferencii $\Delta t = 5 \div 10$ °C tak, aby teplota buncných stien a voľnej vody v lúmenoch dreva nepresiahla hodnotu $t_m \leq 40$ °C. Pri týchto teplotách nie sú vytvorené podmienky pre procesy deacetylácie bukového dreva a následné hydrolyzálne reakcie polysacharidických zložiek bukového dreva spôsobujúce zmeny v chromofórnej štruktúre dreva, (TREBULA & BUČKO 1996).

Zvýšenie teploty sušiaceho média na hodnotu $t = 53 \div 65$ °C a teploty vlhkého dreva nad úroveň $t_m \geq 40$ °C je realizované až v úseku klesajúcej rýchlosti sušenia pod hodnotou priemernej vlhkosti $W \leq 20$ %, kedy z dôvodu absencie voľnej vody a krátkej doby pôsobenia zvýšenej teploty v procese teplo-vlhkového obrábania dreva nie sú realizované procesy vyvolávajúce trvalé viditeľné zmeny v chromofórnej štruktúre bukového dreva. Uvedené konštatovanie potvrdzujú tak výsledky merania zmeny farby bukového dreva vyvolané procesom sušenia, ako i výsledky prác (KLEMENT & SMILEK 2010, KLEMENT *et al.* 2011) analyzujúce vplyv teploty a spôsob sušenia bukového dreva na farebný odtieň vysušeného bukového dreva.

Proces sušenia bukového dreva v dolnej oblasti intervalu teplôt klasického teplovzdušného sušenia bukového reziva má i negatívnu stránku, ktorou je pomalosť procesu sušenia spôsobujúca predĺženie času sušenia reziva. V porovnaní s režimami sušenia bukového reziva ON 49 0651 vykonávaných pri teplotách $t = 60 \div 80$ °C je vlastná doba sušenia bukového reziva $h = 25$ mm pri zachovaní pôvodnej farby dreva 2,1 násobne dlhšia a hrúbky reziva $h = 60$ mm je 2,3 násobne dlhšia. Uvedená skutočnosť sa negatívne premieta, ako uvádzajú práce (DRAHOŠ & VIKTORIN 1975, TREBULA & KLEMENT 2002, VIDELOV 2003, DZURENDA & DELIISKI 2010), na kapacitnom využití komorových sušiarň reziva.

Teplovzdušné sušenie bukového reziva v komorovej sušiarňi reziva MKD 30 podľa navrhnutého režimu sušenia bukového reziva je z aspektu spotreby tepla charakterizované normatívom spotreby tepla $Q_{TZN} = 442,12$ kWh·m⁻³ pre rezivo hrúbky $h = 25$ mm a normatívom spotreby tepla $Q_{TZN} = 493,94$ kWh·m⁻³ pre rezivo hrúbky $h = 60$ mm.

Z porovnania normatívu spotreby tepla na sušenie bukového reziva hrúbky $h = 60$ mm s normatívom spotreby tepla na sušenie bukového reziva rovnakej hrúbky sušeného v komorovej sušiarňi MKD 30 podľa režimu sušenia bukového reziva ON 49 0651, ktorého hodnota je $Q_{TZN} = 366,02$ kWh·m⁻³ plyní, že v procese sušenia bukového reziva režimom zachovávajúcim pôvodnú farbu dreva sa spotrebuje o 34,95 % viac tepla. Uvedené zvýšenie spotreby tepla je napriek úspore spotreby tepla na ohrev dreva a konštrukcie komorovej sušiarne spôsobené zvýšenou spotrebou tepla na ohrev vzduchu pre proces odparovania vody z dreva a krytie tepelných strát sušiarne vyvolané dlhšou dobou procesu sušenia. Obdobné výsledky – predĺženie

doby sušenia vplyvom znižovania teploty sušiaceho média a zvýšenie spotreby tepla na sušenie reziva v komorových sušiarňach reziva deklarujú práce: DRAHOŠ & VIKTORIN (1975), GLIJER (1990), DZURENDA (1993), DZURENDA & DELIISKI (2004).

ZÁVER

Na základe vykonaných prác je možné konštatovať, že sušenie bukového reziva hrúbok 25 mm a 60 mm z vlhkosti $W_p = 70$ % na vlhkosť $W_k = 8$ % v komorových sušiarňach reziva podľa navrhnutých vonkajších podmienok sušenia v intervale teplôt sušiaceho prostredia $t_s = 37 \div 65$ °C nespôsobuje zmeny farby dreva a bukové drevo si zachováva svoju pôvodnú bielo - žltú farbu. Zaradenie kondicionovania - čiastočnej eliminácie vlhkosťného spádu do procesu vlastného sušenia vo vlhkosťnom stupni 25–20 % sa pozitívne premietlo na rozložení vlhkosti po priereze bukového reziva na konci sušenia, čo umožnilo zaradiť vysušené rezivo do kvalitatívneho stupňa I.

Realizácia proces sušenia bukového dreva v dolnej oblasti intervalu teplôt klasického teplovzdušného sušenia sa negatívne prejavuje na predlžovaní procesu sušenia bukového dreva. V porovnaní s režimami sušenia bukového reziva ON 49 0651 vykonávaných pri teplotách $t = 60 \div 80$ °C je vlastná doba sušenia bukového reziva $h = 25$ mm pri zachovaní pôvodnej farby dreva 2,1 násobne dlhšia a hrúbky reziva $h = 60$ mm je 2,3 násobne dlhšia.

Špecifická spotreba tepla na vysušenie 1 m³ bukového reziva v komorovej sušiarňe reziva MKD 30, podľa navrhnutého rozpisu vonkajších podmienok sušenia bukového reziva hrúbky $h = 25$ mm je $Q_{TZN} = 442,12$ kWh·m⁻³ a pre rezivo hrúbky $h = 60$ mm je $Q_{TZN} = 493,94$ kWh·m⁻³. Normatív spotreby tepla na sušenie bukového reziva hrúbky $h = 60$ mm podľa navrhnutého modelu je o 34,95 % vyšší než je špecifická spotreba tepla sušenie bukového reziva danej hrúbky podľa režimu sušenia bukového reziva ON 49 0651.

LITERATÚRA

- BUČKO, J. 1995. Hydrolyznye procesy. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene. 116 s.
- CIE 1986. Colorimetry. 2nd Edition, CIE Pub. No. 15.2. Commission Internationale de l'Eclairage, Vienna, 74 s.
- DELIISKI, N. 1991. Metod dlja ocenki stepeni oblagorazhivania bukovykh pilomaterialov vo vremja ich proparki. In: Súčasné problémy a perspektívy sušenia bukového reziva. Zvolen: ES-VŠLD vo Zvolene, s. 37–44.
- DELIISKI, N. 2003. Modelirane i tehnologii za proparvane na darveny materialy v avtoklavi. [Dizertačná práca LTU Sofia], Sofia, 358 s.
- DELIJKI, N., DZURENDA, L. 2003. Avtomatičeskoe upravlenije processom konvektivno-kamernoj suški bukovykh pilomaterialov s sochraneniem ili s dopustimym izmenenijem ich estestvennoj okraski. In Annals of Warsaw Agricultural University – Forest and Wood Technology, 53: 42–46.
- DRAHOŠ, V., VIKTORIN, Z. 1975. Souhrn poznatků a výpočtových podkladů z výskumu sušení a sušáren řeziva. Praha. VÚD, 264 s.
- DZURENDA, L. 1993. Energetická náročnosť sušenia reziva v malokapacitných komorových sušiarňach. In Sušenie dreva v malovýrobe. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, s. 97–111, ISBN 80-228-0224-7.
- DZURENDA, L., DELIISKI, N. 2000. Analysis of moisture content changes in beech wood sleepers in the steaming process with saturated water steam. In: Wood research. 45(4): 1–7, ISSN 0012-6136.
- DZURENDA, L., DELIISKI, N. 2004. Energetic evaluation of the beech timber drying regime without color changes of wood mass. In: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva.04'. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, s. 331–337, ISBN 80-228-1385-0.
- DZURENDA, L., DELIISKI, N. 2009. Matematický model výpočtu technicky zdôvodniteľnej normy spotreby tepla na sušenie reziva v komorovej sušiarňi. Acta facultatis xylogologiae Zvolen, 51(2): 49–62, ISSN 1336-3824.
- DZURENDA, L., DELIISKI, N. 2010. Tepelné procesy v technológiách spracovania dreva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 274 s.

- GLIJER, L. 1990. Zużycie energii w suszarce cyklicznego dzialania do tarcicy. Przemysl drewny. 41, (12):18–20.
- HALAJ, M. 1999. Vplyv hydrotermickej úpravy dreva na zmenu farby bukoveho dreva. [Dizertacna praca DF - TU Zvolen], Zvolen, 74 s.
- KACÍK, F. 2001. Tvorba a chemické zloženie hydrolyzátov v systéme drevo – voda - teplo. Zvolen: TU vo Zvolene. 75 s.
- KLEMENT, I., SMILEK, P. 2010. Vplyv teploty na proces vysokoteplotného sušenia bukoveho reziva. Acta facultatis xylogologiae Zvolen, 52(2): 34–41, ISSN 1336-3824.
- KLEMENT, I., BALKOVSKÝ, I., SMILEK, P. 2011. Vplyv teploty na proces kontaktného sušenia bukoveho reziva. Acta facultatis xylogologiae Zvolen, 53(1):13–19, ISSN 1336-3824.
- KOLLMANN, F. 1955. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. 2 vyd. Berlin-Göttingen-Heidelberg -München, Springer – Verlag 1955, 2 zv.
- LAUROVÁ, M., MAMONOVÁ, M., KUČEROVÁ, 2004: Proces parciálnej hydrolyzy bukoveho dreva (*Fagus sylvatica* L.) parením a varením. [Vedecké štúdie 2/2004/A]. Zvolen: TU vo Zvolene 2004. ISBN 80-228-1374-5.
- TREBULA, P., BUČKO, J. 1996. Vákuové sušenie dreva, technické, technologické a ekologické aspekty. Vedecké štúdie 5/1996/B, Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 70 s.
- TREBULA, P. 1989. Hydrotermická úprava a ochrana dreva, časť: Hydrotermická úprava dreva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 301 s.
- TREBULA, P., KLEMENT, I. 2002. Sušenie a hydrotermická úprava dreva. Zvolen: TU vo Zvolene. 449 s.
- VIDELOV, CH. 2003. Sušene i toplinno obrabotvane na darvesinata. Sofia, Izdatelska kašta pri LTU. 335 s.

Adresa autorov

Prof. Ing. Ladislav Dzurenda, PhD.
Katedra obrábania dreva
Drevárska fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovensko
dzurenda@vsld.tuzvo.sk

Prof. Dr. Nencho Deliiski, DrSc.
Katedra – Mašinoznanije i avtomatizacija na proizvodstvoto
Fakultet Gorska promišlenost
Lesotečničeski univerzitet Sofia
bul. “Kliment Ochridski” 10
1756 Sofia
Bulgaria
deliiski@netbg.com