

**FAREBNÉ ZMENY NA POVRCHU PORANENÉHO BUKOVÉHO
KMEŇA VYVOLANÉ MECHANICKÝM POŠKODENÍM KÔRY
1. VPLYV ROZDIELNEHO DREVINOVÉHO ZLOŽENIA PORASTU**

**COLOR CHANGES ON WOUNDED SURFACE OF BEECH STEM INDUCED
BY MECHANICAL INJURY THE BARK**

1. EFFECT OF DIFFERENT TREE SPECIES COMPOSITION IN FOREST

Vladimír Račko – Oľga Mišíková

ABSTRACT

In the article was observed influence of different wood species of forest composition and influence of exposure of wound after removal of bark on its color changes. There were observed two forests, first with 100 % beech representation and second with heterogenous tree species with minority beech representation 30 % and dominant oak representation 55 %. The observation was made on end of vegetation season in September – November. The color changes on injured surface were measured in color space CIEL*a*b*. The most clear changes were found in both forests at first days after injury. In next observed period the color changes were less clear. The difference between these observed forests within individual sample period were statistical significant. Simultaneously, the higher average changes were found in homogenous beech forest.

Keywords: beech, injury, tree species composition of forest, color changes, CIEL*a*b*.

ÚVOD

Starnutie dreva predstavuje proces zmeny, ktorý prebieha v dreve pod vplyvom neustále sa meniaceho pôsobenia kyslíka, vlhkosti, teploty, UV žiarenia a biologických činiteľov (MATSUO *et al.* 2011). Výsledkom tohto procesu je zmena chemického zloženia dreva, čo vedie následne k zmene jeho farby. Auxochrómy (skupiny atómov, obsahujúce voľné elektrónové pary ako sú – OH, COOH) pomáhajú zvýšiť absorpciu svetla vyšších vlnových dĺžok (HON a SHIRAISHI 1991). Zmenu farby dreva tiež spôsobujú extraktívne látky v dreve (YAZAKI *et al.* 1994). Čiastočné zmeny v chemickej štruktúre lignínu a hemicelulóz, vyvolané pôsobením slnečného svitu (UV žiarenie), spôsobia zas posun farby dreva do žltej oblasti. Farba dreva sa mení tiež v závislosti od druhu dreviny, genetických a environmentálnych podmienok rastu stromu alebo podmienok pôsobenia na drevo v procese jeho spracovania (HON a SHIRAISHI 1991). V mŕtvom dreve je jeho chemická štruktúra pomerne stabilná a fixovaná predchádzajúcimi podmienkami jeho rastu. Ďalšia zmena farby je potom závislá od spôsobu skladovania a technológie spracovania (sušenie, hydrotermická úprava, povrchová úprava ...) (TOLVAJ a FAIX 1995, AYADI *et al.* 2003, TOLVAJ a MITSUI 2005, NZOKOU a KAMDEM 2006, AHAJJI *et al.* 2009, LUKMANDARU *et al.* 2009, SANDOVAL-TORRES *et al.* 2010, MATSUO *et al.* 2011, REINPRECHT *et al.* 2011, YAO *et al.* 2011).

Na druhej strane, v živom strome neustále prebiehajú fyziologické procesy, ktorých zmena je okrem množstva genetických predispozícií závislá aj od krátko a dlhodobých období jeho rastu (meniacej sa klímy v rámci dňa, v rámci vegetačného obdobia a obdobia vegetačného kľudu a v rámci celkovej doby rastu stromu). Vitalita stromu (vek, veľkosť koruny, sociologické

postavenie v poraste) a environmentálne podmienky jeho rastu stromu (drevinové zloženie porastu, vyživovací komplex v pôde, nadmorská výška, expozícia a sklon svahu atď.) tiež významne formujú tieto procesy. Ak dôjde k poraneniu kmeňa živého stromu, dôjde k naštartovaniu biochemických obranných mechanizmov, snažiacich sa zabrániť vniknutiu vzduchu a patogénov do štruktúry dreva. Oxidačné reakcie vyvolajú v počiatočných štádiách na povrchu rany farebné zmeny a neskôr aj v jeho vnútornej štruktúre (BAUCH 1984). Na povrchu kmeňa sa mení vlhkosť, odumiera kambium a tvorí sa kalus (DUJESIEFKEN *et al.* 2001, GRUNWALD *et al.* 2002, STOBBE *et al.* 2002).

Farebné zmeny na povrchu rany sú prvým indikátorom, ktorý poukazuje na vytvorenie zmien v štruktúre, súvisiacich s poraním kmeňa. Poznať dynamiku procesu týchto farebných zmien na umelo poranenom bukovom kmeni je cieľom predloženého článku.

Cieľom článku bolo zistiť, ako sa menila farba dreva rany po odstránení kôry v periode 55 dní na dvoch skúmaných porastoch líšiach sa drevinovým zložením.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

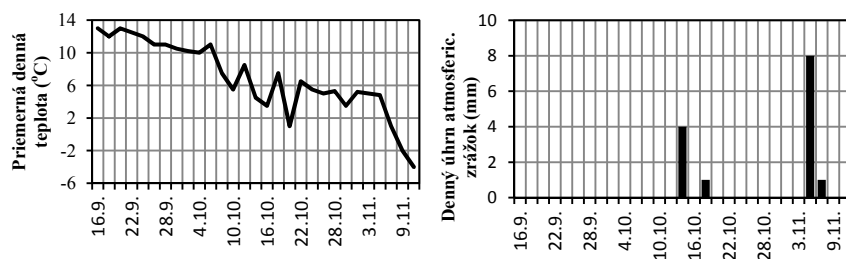
Experimentálne merania boli vykonané v dvoch porastoch Vysokoškolského lesného podniku Technickej univerzity Zvolen s nadmorskou výškou od 450–510 m.n.m. Porasty boli vybrané tak, aby sa výrazne líšili ich drevinovým zložením, podielom jednotlivých drevín a lokalitou rastu. Charakteristiky skúmaných porastov sú uvedené v tab. 1.

Tab. 1 Základné charakteristiky skúmaných porastov podľa LHP za roky 2010–2020.

Tab. 1 Basic characteristics of investigated forest stands according to FMP 2010–2020.

Porast	Lokalita	Vek porastu [rok]	Drevinové zloženie porastu		Bonita (buk)	Nadm.výška [m.n.m.]	Expozícia svahu	Sklon svahu
			BK	Ostatné dreviny				
587	Budča – Kremenný jarok	100	30%	DB-55%, HB-10%, CR-3%, SM,OS-2%	28	450	SV	30%
541	Turová - Včelien	75	100%	0%	28	510	V	40%

V každom poraste boli na živých stromoch vo veku cca. 70 rokov vytvorené štyri rany o rozmeroch 10 × 20 cm. Rany boli vytvorené na pozíciách 0, 90, 180 a 270° braných od základnej expozície svahu. Kôra bola opatrne zlúpnutá a kambium odstránené zoškrábaním. Z obr. 1 je vidieť, ako sa menila priemerná denná teplota a priemerný denný úhrn zrážok na najbližšej meteorologickej stanici v nadmorskej výške 318 m.n.m. Aj keď sa klimatické podmienky z pohľadu nadmorskej výšky a presných lokalít porastov mierne líšili, klimatologické krivky SHMU nám charakterizujú aspoň približne možnú klímu v skúmaných porastoch.



Obr. 1 Grafické trendy klimatologických zmien v sledovanom období pre meteorologickú stanicu Sliach (zostrojené na základe podkladov SHMU Bratislava, <http://www.shmu.sk/sk/?page=1611&id=>).

Fig. 1 Graphic trends of climatological changes during the investigated period for meteorological station Sliach (constructed on the basis of data SHMI Bratislava, <http://www.shmu.sk/sk/?page=1611&id=>).

Meranie farby

Meranie farby vo farebnom priestore CIEL*a*b* bolo vykonané spektrofotometrom (BYK Spectro-guide 6834) pri svetle zdroja D65 a uhle merania 10°. Na každej rane bolo vykonaných 30 meraní. 10 meraní v ľavej časti rany, 10 v strede a 10 v pravo. Merania počiatočných referenčných súradníc (L_0^*, a_0^*, b_0^*) v oboch skúmaných porastoch boli vykonané hneď po odstránení kôry v polovici septembra 2011. Ďalšie merania súradníc (L_i^*, a_i^*, b_i^*) boli vykonané v intervaloch (i) po 4, 12, 28 a 55 dňoch od poranenia. Následne boli vypočítané farebné rozdiely jednotlivých CIEL*a*b* súradníc ($\Delta L_i^*, \Delta a_i^*, \Delta b_i^*$) podľa rovnice:

$$\Delta L_i^* = L_0^* - L_i^*; \Delta a_i^* = a_0^* - a_i^*; \Delta b_i^* = b_0^* - b_i^* \quad (1)$$

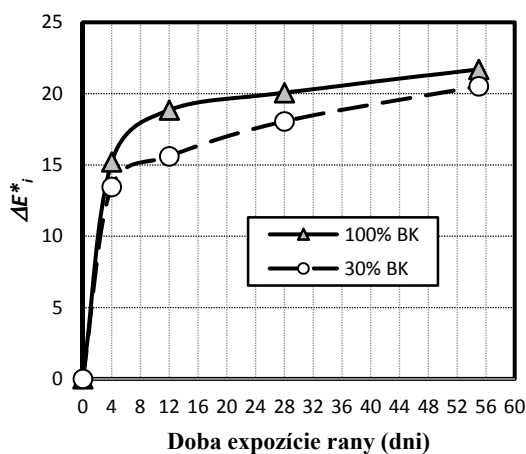
a celkové farebné rozdiely ΔE_i^* podľa rovnice:

$$\Delta E_i^* = \sqrt{\Delta L_i^{*2} + \Delta a_i^{*2} + \Delta b_i^{*2}} \quad (2)$$

Keďže analýzy rozptylov vplyvu faktora pozície rany na strome pri CIEL*a*b* súradniciach nepreukázali štatisticky významné rozdiely (tab. 3), jednotlivé hodnoty výberových súborov za strom boli zlúčené do jedného výberového súboru. Namerané súradnice a ich rozdiely slúžili ako vstupné údaje pre štatistické vyhodnotenie pomocou dvojfaktorovej analýzy rozptylu vplyvu drevinového zloženia porastu a vplyvu doby uplynutej od vzniku poranenia.

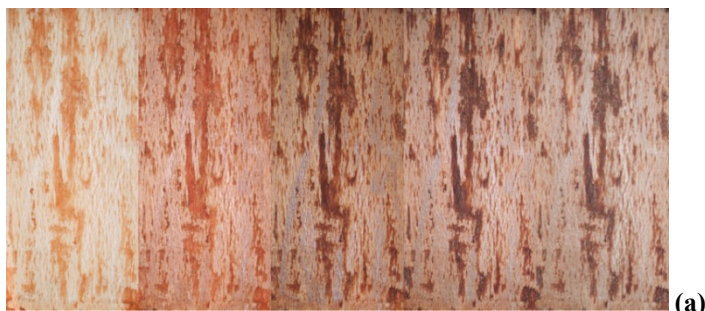
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Z obr. 2 a tab. 7 je vidieť, že v závislosti od doby uplynutej po poranení celková zmena farby ΔE_i^* v oboch skúmaných porastoch štatisticky významne menila. Najväčší nárast zmeny ΔE_i^* bol zaznamenaný do 4 dní. V ďalšom období sa farba rán menila len pozvoľna. Ale trendy nárastu parametra ΔE_i^* v sledovaných porastoch sa líšili. Výraznejšia zmena farby rán bola zistená v poraste s monokultúrou buka (100 % Bk). Naopak, v heterogénnom poraste s minoritným zastúpením buka 30 %, nárast zmeny farby nebol až taký výrazný.



Obr. 2 Celkové farebné zmeny povrchu rany ΔE_i^* ako funkcia času expozície poraneného kmeňa v skúmaných porastoch.

Fig. 2 Total color differences of injured surface ΔE_i^* as a exposure time function of injured stem in investigated forests.



V čase poranenia po 4 dňoch po 12 dňoch po 28 dňoch po 55 dňoch



V čase poranenia po 4 dňoch po 12 dňoch po 28 dňoch po 55 dňoch

Obr. 3 Zmeny farby rán závislé od doby expozície po poranení (a) – v poraste s homogénnym drevinovým zložením – 100 % BK, (b) - v poraste s heterogénnym drevinovým zložením – 30 % BK.
Fig. 3 Wounds discoloration depends on the exposure time after injury (a) – in forest with homogeneous tree species composition – 100 % of beech trees, (b) – in forest with heterogeneous tree species composition – 30 % of beech trees.

U rán buka na oboch skúmaných porastoch došlo k výraznému znižovaniu jasu charakterizovaného L^* súradnicou (tab. 2 a obr. 4). Rozdiel počas celého sledovaného obdobia bol $\Delta L_{100\%BK}^* = 17,6$ a $\Delta L_{30\%BK}^* = 16,8$. Najvýraznejšia zmena bola zistená v prvých 4 dňoch od poranenia ($\Delta L_{100\%BK}^* = 13,2$ a $\Delta L_{30\%BK}^* = 12,0$). Naproti tomu, v ďalšom (výrazne dlhšom) sledovanom období (51 dní) bola len $\Delta L_{100\%BK}^* = 4,3$ a $\Delta L_{30\%BK}^* = 4,7$.

Ale, v jednotlivých porastoch a súčasne v strede sledovaného obdobia (v 4, 12 a 28 dni od poranenia) sa priemerné hodnoty súradnice L^* štatisticky významne líšili (tab. 4 a obr. 4). Pritom priemerné hodnoty získané z porastu drevinovo heterogénneho boli vyššie, ako hodnoty z porastu drevinovo homogénneho. Obr. 3 dokumentuje, že rany pochádzajúce z porastu heterogénneho (30 % BK), mali vyšší jas. V deň poranenia ani na konci sledovaného obdobia sme štatisticky významné rozdiely nezistili. To znamená, že aj keď sa zložka jasu farby v priebehu expozície rán líšila, na konci sledovaného obdobia bola v oboch porastoch rovnaká.

Pokiaľ súradnica L^* reprezentuje zmenu jasu farby od bielej (100) až po čiernu (0), súradnice a^* a b^* reprezentujú jej farebný odtieň. Z tab. 2 je vidieť, že farebné odtiene reprezentované súradnicami a^* a b^* sa pohybovali v kladnom kvadrante farebného priestoru, v odtieňoch kombinácie farieb červeno/žltej.

Hodnoty súradníc Δa^* sa na začiatku a konci sledovaného obdobia u oboch porastov výrazne nezmenili ($\Delta a_{100\%BK}^* = 1,1$ a $\Delta a_{30\%BK}^* = 0,7$). Ale, ich hodnoty sa v priebehu obdobia výrazne líšili. V prvých štyroch dňoch došlo k výraznému nárastu hodnoty a posunu odtieňu na osi červeno/zelenej, smerom k červenej zložke farby ($\Delta a_{100\%BK}^* = -4,6$ a $\Delta a_{30\%BK}^* = -3,8$). V ďalšom sledovanom období nastal opačný pozvoľný pokles (smerom k zelenej zložke farby), až na približne rovnakú úroveň s počiatočným stavom.

Tab. 2 Štatistické charakteristiky CIEL*a*b* súradníc, a ich rozdielov ΔL^* , Δa^* , Δb^* a celkových farebných rozdielov ΔE_{ab}^* .

Tab. 2 Statistical characteristics of CIEL*a*b* co-ordinates, its differences ΔL^* , Δa^* , Δb^* and total color differences ΔE_{ab}^* .

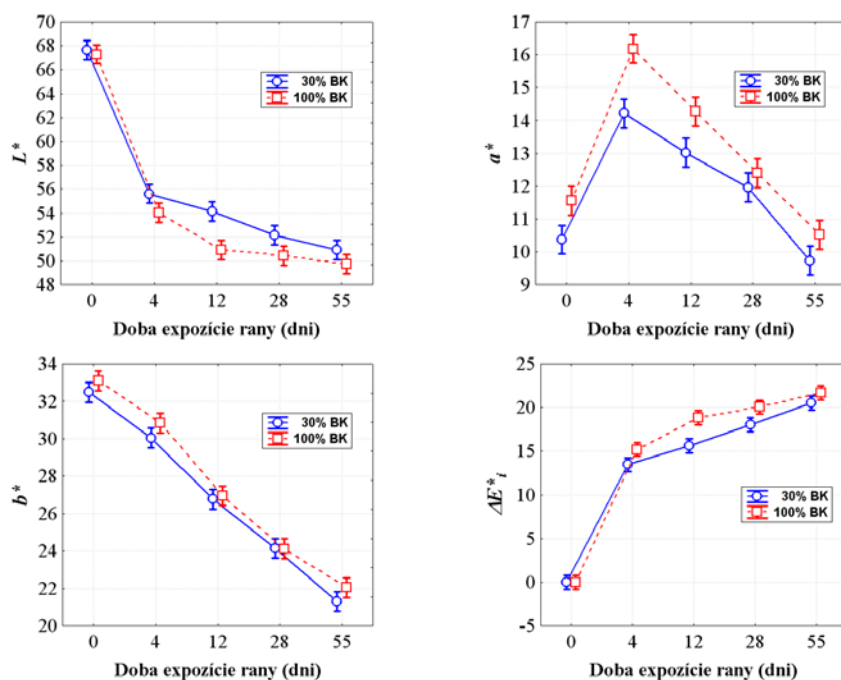
Zasúpenie buka v poraste	Doba expozície (dni)	n	L^*	ΔL^*	a^*	Δa^*	b^*	Δb^*	ΔE_{ab}^*
100 % BK	0	118	67,2 ±4,3	0,0	11,6±4,2	0,0	33,1±4,1	0,0	0,0
	4	118	54,0 ±4,0	13,2	16,2±2,6	-4,6	30,8±2,4	2,3	15,2±4,5
	12	118	50,9±5,2	16,4	14,3±2,0	-2,7	26,9±2,8	6,2	18,9±4,8
	28	118	50,4±5,9	16,8	12,4±1,6	-0,8	24,1±2,4	9	20,1±4,8
	55	118	49,7±5,9	17,6	10,5±1,4	1,1	22,0±2,1	11,1	21,7±4,8
30 % BK	0	119	67,7±2,7	0,0	10,4±2,2	0,0	32,5±2,1	0,0	0,0
	4	119	55,6±3,4	12,0	14,2±1,3	-3,8	30,0±2,5	2,5	13,5±3,1
	12	119	54,1±4,1	13,5	13,0±4,0	-2,6	26,8±5,3	5,7	15,6±6,6
	28	119	52,2±4,1	15,5	12,0±1,3	-1,6	24,1±1,7	8,4	18,1±3,8
	55	119	50,9±4,1	16,8	9,7±1,2	0,7	21,3±1,5	11,2	20,5±3,9

Poznámka: Vo vnútri stĺpcov (aritmetický priemer ± smerodajná odchylka)

Naproti tomu súradnica b^* počas celého sledovaného obdobia klesala, pričom medzi jednotlivými obdobiami bol zistený štatisticky významný rozdiel. Počas celého obdobia došlo k poklesu odtieňu farby na ose žltá/modrej (smerom k modrej zložke farby) a celkový rozdiel bol $\Delta b_{100\%BK}^* = 11,1$ a $\Delta b_{30\%BK}^* = 11,2$.

Ak porovnáme zmeny farby rán buka z jednotlivých porastov, zistíme určité rozdiely. Pokiaľ faktor drevinového zloženia porastu pri súradnici a^* do 12 dňa po poranení vykazoval štatisticky významný vplyv, po tomto období bol jeho vplyv štatisticky nevýznamný (obr. 4, tab. 5). Naproti tomu, u súradnice b^* sme nezistili štatisticky významný vplyv drevinového zloženia porastu počas celej sledovanej periódy (obr. 4, tab. 6).

Na základe pozorovaní v poraste môžeme povedať, že sa farba rán začala meniť prakticky okamžite (do 3–5 min) po odstránení kôry, ako následok naštartovania obranných mechanizmov stromu. Za súčasne vysokej vlhkosti dochádza k oxidačným reakciám v kambiu, ktorého časť zostala na povrchu rany. U buka tiež dochádza k premene škrobu a rozpustných karbohydrátov v živých parenchymatických bunkách na drevosfarbujúce látky fenolickej povahy (BAUCH 1984, KOCH *et al.* 2001). Tiež (+)-katechín, (-)-epikatechín a pravdepodobne aj flaván-3-ols majú v priebehu oxidácie a polymerizačných reakcií významnú úlohu pri tvorbe červeno-hnedých chromofórov (ALBERT *et al.* 2003, HOFMANN *et al.* 2004). Vplyvom vnikajúceho vzduchu sa z parenchymatických buniek tvoria tyly. Tyly bránia úniku vlhkosti a difúzii vzduchu do rany, pričom chemickú bariéru vytvára aj suberín, ktorý sa koncentruje v tylách a okolitých pletivách (BIGGS 1987, SCHMITT a LIESE 1993, RIOUX *et al.* 1995, OVEN *et al.* 2010). Na povrchu rany sa počas prvých mesiacov po poranení formuje kalus (ochranná vrstva tvorená delením parenchymatických buniek), ktorý v neskorších štádiách chráni povrch proti vnikaniu mikrobiálnej a hubovej infekcie (NOEL 1968, WOODWARD a PEARCE 1988, STOBBE *et al.* 2002). Aj napriek tejto bariére dochádza k pomerne rýchlej difúzii vlhkosti z rany a následnému vniku vzduchu. Difúzia vlhkosti z dreva bola podľa nášho názoru jeden z faktorov, ktorý mal vplyv na rýchlosť oxidačných reakcií na povrchu rany. Preto zmena farby rán buka z oboch sledovaných porastov pokračovala najrýchlejšie v prvých 4 dňoch od poranenia a ďalej sa postupne spomaľovala.



Obr. 4 Krabicovo-bodový graf výsledkov priemerných hodnôt súradníc a 95 % intervalov spoľahlivosti L^* , a^* , b^* a ΔE^*_t .

Fig. 4 Box plot graph of average values and 95 % intervals of L^* , a^* , b^* coordinates and ΔE^*_t .

Poranenie stromov bolo vykonané v druhej polovici mesiaca september, na konci vegetačného obdobia. Celé sledované obdobie bolo veľmi suché, slnečné, zrážky sa vyskytovali len v jeho druhej polovici a boli veľmi slabé. Priemerná denná teplota sa počas obdobia výrazne menila. V čase poranenia stromov a počas prvej štvrtiny obdobia bola nad 10 °C, potom postupne klesala až na konečnú teplotu -3 °C. Keďže proces prirodzeného starnutia dreva vo vonkajších podmienkach a následnej zmeny farby je podľa viacerých autorov závislý od slnečného svitu (zložky UV-žiarenia), vlhkosti vzduchu a teploty (TSUCHIKAWA *et al.* 2004, KRISHNA 2005, NZOKOU a KAMDEM 2006, OLTEAN *et al.* 2008, TOLVAJ a MITSUI 2010), môžeme predpokladať, že na rýchlosť zmeny farby v prvých 4 dňoch od poranenia mala tiež do značnej miery vplyv vyššia denná teplota a UV-žiarenie. Naopak, v zostávajúcom období znižujúca sa teplota a utlmujúce sa fyziologické procesy stromu prispeli k postupnému spomaleniu farebných zmien. Rozdielne pedologické a rastové podmienky stromov v skúmaných porastoch mali, podľa nášho názoru, vplyv na fyziologické procesy v strome a následne na rozdiely vo vývoji farebných zmien (súradníc L^* a a^*).

Tab. 3 Jednofaktorové analýzy rozptylov - vplyvu polohy rany na kmene stromu vzhľadom k orientácii svahu.

Tab. 3 One-way analysis of variances - influence the injury position on tree stem in relation to slope orientation.

Zastúpenie buka v poraste	Súradnice CIEL* a^*b^*		
	L^*	a^*	b^*
30 % BK	0,306097	0,013416	0,177905
100 % BK	0,149851	0,016425	0,133288


Poznámka: Štatisticky významný vplyv faktora * na hladine významnosti $\alpha = 0,05$, ** na hladine významnosti $\alpha = 0,01$, *** na hladine významnosti $\alpha = 0,001$


Tab. 4 Duncanov test priemerných hodnôt L^* súradnice. Faktor 1 – drevinové zloženie porastu, faktor 2- doba expozície rany od vzniku poranenia.

Tab. 4 Duncan's test average values of L^* coordinate. Factor 1 – wood species composition of forest, factor 2- exposure time of wound from injuries.

Zastúpenie buka v poraste	Doba od vzniku poranenia	{1} 67,657	{2} 55,612	{3} 54,121	{4} 52,161	{5} 50,891	{6} 67,287	{7} 54,053	{8} 50,902	{9} 50,443	{10} 49,705
1	0		0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,523	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
2	4	0,000***		0,010**	0,000***	0,000***	0,000***	0,009**	0,000***	0,000***	0,000***
3	30% BK	12	0,000***	0,010**		0,001**	0,000***	0,000***	0,907	0,000***	0,000***
4	28	0,000***	0,000***	0,001**		0,036*	0,000***	0,001	0,029*	0,005**	0,000***
5	55	0,000***	0,000***	0,000***	0,036*		0,000***	0,000***	0,984	0,439	0,051
6	0	0,523	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
7	4	0,000***	0,009**	0,907	0,001**	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***
8	100% BK	12	0,000***	0,000***	0,000***	0,029*	0,984	0,000***	0,000***		0,458
9	28	0,000***	0,000***	0,000***	0,005**	0,439	0,000***	0,000***	0,458		0,202
10	55	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,051	0,000***	0,000***	0,057	0,202	

Poznámka: Štatisticky významný vplyv faktora * na hladine významnosti $\alpha = 0,05$, ** na hladine významnosti $\alpha = 0,01$, *** na hladine významnosti $\alpha = 0,001$

 - označenie hladín významnosti pre rôzne porasty, ale rovnaké doby od vzniku poranenia


 - označenie hladín významnosti v rovnakých porastoch, ale medzi jednotlivými (susednými) dobami od poranenia


Tab. 5 Duncanov test priemerných hodnôt a^* súradnice. Faktor 1 – drevinové zloženie porastu, faktor 2- doba expozície rany od vzniku poranenia.

Tab. 5 Duncan's test average values of a^* coordinate. Factor 1 – wood species composition of forest, factor 2- exposure time of wound from injuries.

Zastúpenie buka v poraste	Doba od vzniku poranenia	{1} 10,375	{2} 14,217	{3} 13,016	{4} 11,958	{5} 9,7333	{6} 11,557	{7} 16,182	{8} 14,277	{9} 12,395	{10} 10,517
1	0		0,000***	0,000***	0,000***	0,042*	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,651
2	4	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,848	0,000***	0,000***
3	30% BK	12	0,000***	0,000***		0,001**	0,000***	0,000***	0,000***	0,049*	0,000***
4	28	0,000***	0,000***	0,001**		0,000***	0,202	0,000***	0,000***	0,166	0,000***
5	55	0,042*	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,057
6	0	0,000***	0,000***	0,000***	0,202	0,000***		0,000***	0,000***	0,010*	0,001**
7	4	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***
8	100% BK	12	0,000***	0,848	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***
9	28	0,000***	0,000***	0,049*	0,166	0,000***	0,010*	0,000***	0,000***		0,000***
10	55	0,651	0,000***	0,000***	0,000***	0,057	0,001**	0,000***	0,000***	0,000***	

Poznámka: Štatisticky významný vplyv faktora * na hladine významnosti $\alpha = 0,05$, ** na hladine významnosti $\alpha = 0,01$, *** na hladine významnosti $\alpha = 0,001$

 - označenie hladín významnosti pre rôzne porasty, ale rovnaké doby od vzniku poranenia


 - označenie hladín významnosti v rovnakých porastoch, ale medzi jednotlivými (susednými) dobami od poranenia


Tab. 6 Duncanov test priemerných hodnôt b^* súradnice. Faktor 1 – drevinové zloženie porastu, faktor 2- doba expozície rany od vzniku poranenia.

Tab. 6 Duncan's test average values of b^* coordinate. Factor 1 – wood species composition of forest, factor 2- exposure time of wound from injuries.

Zastúpenie buka v poraste	Doba od vzniku poranenia	{1} 32,489	{2} 30,042	{3} 26,767	{4} 24,142	{5} 21,300	{6} 33,103	{7} 30,843	{8} 26,953	{9} 24,126	{10} 22,041
1	0		0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,104	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
2	4	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,064	0,000***	0,000***	0,000***
3	30% BK	12	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***	0,622	0,000***	0,000***
4	28	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,966	0,000***
5	55	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,059
6	0	0,104	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
7	4	0,000***	0,064	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***
8	100% BK	12	0,000***	0,000***	0,622	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***
9	28	0,000***	0,000***	0,000***	0,966	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***
10	55	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,059	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	

Poznámka: Štatisticky významný vplyv faktora * na hladine významnosti $\alpha = 0,05$, ** na hladine významnosti $\alpha = 0,01$, *** na hladine významnosti $\alpha = 0,001$

 - označenie hladín významnosti pre rôzne porasty, ale rovnaké doby od vzniku poranenia


 - označenie hladín významnosti v rovnakých porastoch, ale medzi jednotlivými (susednými) dobami od poranenia


Tab. 7 Duncanov test priemerných hodnôt celkových farebných zmien ΔE_{ab} . Faktor 1 – drevinové zloženie porastu, faktor 2- doba expozície rany od vzniku poranenia.

Tab. 7 Duncan's test average values of color changes ΔE_{ab} . Factor 1 – wood species composition of forest, factor 2- exposure time of wound from injuries.

Zastúpenie buka v poraste	Doba od vzniku poranenia	{1} 0,000	{2} 13,457	{3} 15,604	{4} 18,053	{5} 20,519	{6} 0,0000	{7} 15,207	{8} 18,847	{9} 20,062	{10} 21,702
1	0		0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	1,000	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
2	4	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,002**	0,000***	0,000***	0,000***
3	30% BK	12	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,486	0,000***	0,000***	0,000***
4	28	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***	0,164	0,001**	0,000***
5	55	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,005**	0,423	0,038*
6	0	1,000	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
7	4	0,000***	0,002**	0,486	0,000***	0,000***	0,000***		0,000***	0,000***	0,000***
8	100% BK	12	0,000***	0,000***	0,000***	0,164	0,005**	0,000***	0,000***		0,033*
9	28	0,000***	0,000***	0,000***	0,001**	0,423	0,000***	0,000***	0,033*		0,006**
10	55	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,038*	0,000***	0,000***	0,000***	0,006**	

Poznámka: Štatisticky významný vplyv faktora * na hladine významnosti $\alpha = 0,05$, ** na hladine významnosti $\alpha = 0,01$, *** na hladine významnosti $\alpha = 0,001$

 - označenie hladín významnosti pre rôzne porasty, ale rovnaké doby od vzniku poranenia

 - označenie hladín významnosti v rovnakých porastoch, ale medzi jednotlivými (susednými) dobami od poranenia

ZÁVER

V práci bol sledovaný vplyv expozície kmeňa buka v rozdielnej drevinovej skladbe porastov a vplyv časovej expozície rany v kmeni buka po umelom mechanickom poranení na jej farebné zmeny. Boli sledované dva kmene z dvoch porastov: so 100 % zastúpením buka a s heterogénnym drevinovým zložením s minoritným zastúpením buka 30 % a dominantným zastúpením duba 50 %. Najvýraznejšie farebné zmeny rany buka boli v oboch skúmaných porastoch zistené v prvých dňoch po poranení. V ďalšom sledovanom období boli farebné zmeny menej výrazné. Avšak, rozdiely medzi dvoma kmeňmi z oboch skúmaných porastov v rámci jednotlivých sledovaných období boli štatisticky významné, pričom vyššie priemerné hodnoty CIEL*a*b* súradníc boli zistené v homogénnom bukovom poraste.

LITERATÚRA

- AHAJJI, A., DIOUF, P., ALOUI, F., ELBAKALI, I., PERRIN, D., MERLIN, A., GEORGE, B. 2009. Influence of heat treatment on antioxidant properties and colour stability of beech and spruce wood and their extractives. *Wood Science and Technology*, 2009, 43(1): 69–83.
- ALBERT, L., HOFMANN, T., NÉMETH, Z. I., RÉTFALVI, T., KOLOSZÁR, J., VARGA, S., CSEPREGI, I. 2003. Radial variation of total phenol content in beech (*Fagus sylvatica* L.) wood with and without red heartwood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2003, 61(3): 227–230.
- AYADI, N., LEJEUNE, F., CHARRIER, F., CHARRIER, B., MERLIN, A. 2003. Color stability of heat-treated wood during artificial weathering. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2003, 61(3): 221–226.
- BAUCH, J. 1984. Discoloration in the wood of living and cut trees. *IAWA Bulletin*, 1984, 592–598.
- BIGGS, A. R. 1987. Occurrence and Location of Suberin in Wound Reaction Zones in Xylem of 17 Tree Species. *Phytopathology*, 1987, 77(5): 718–725.
- DUJESIEFKEN, D., KOWOL, T., STOBBE, H. 2001. Callus growth on the wound surface — a response of trees to damage caused by logging and traffic accidents. *Der Flächenkallus — eine Wundreaktion von Bäumen an Rücke- und Anfahrtschäden*. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 2001, 120(1): 80–89.
- GRUNWALD, C., STOBBE, H., SCHMITT, U. 2002. Entwicklungsstufen der seitlichen Wundüberwallung von Laubgehölzen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 2002, 12150–12158.
- HOFMANN, T., ALBERT, L., RÉTFALVI, T. 2004. Quantitative TLC analysis of (+)-catechin and (-)-epicatechin from *Fagus sylvatica* L. with and without red heartwood. *Journal of planar chromatography-Modern TLC*, 2004, 17(5): 350–354.
- HON, D. N. S., SHIRAIISHI, N. 1991. *Wood and cellulosic chemistry*. Marcel Dekker Inc, 1991. 946 s.
- KOCH, G., BAUCH, J., PULS, J., WELLING, J. 2001. Ursachen und wirtschaftliche Bedeutung von Holzverfärbungen. *Interdisziplinäre Forschung am Beispiel der Rotbuche*. *Forschungsreport*, 2001, (2): 30–33.
- KRISHNA K, P. 2005. Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of wood. *Polymer Degradation and Stability*, 2005, 90(1): 9–20.
- LUKMANDARU, G., ASHITANI, T., TAKAHASHI, K. 2009. Color and chemical characterization of partially black-streaked heart-wood in teak (*Tectona grandis* L.). *Journal of Forestry Research*, 2009, 20(4): 377–380.
- MATSUO, M., YOKOYAMA, M., UMEMURA, K., SUGIYAMA, J., KAWAI, S., GRIL, J., KUBODERA, S., MITSUTANI, T., OZAKI, H., SAKAMOTO, M., IMAMURA, M. 2011. Aging of wood: Analysis of color changes during natural aging and heat treatment. *Holzforschung*, 2011, 65(3): 361–368.
- NOEL, A. R. A. 1968. Callus formation and differentiation at an exposed cambial surface. *Annals of Botany*, 1968, 32(2): 347–359.
- NZOKOU, P., KAMDEM, D. P. 2006. Influence of wood extractives on the photo-discoloration of wood surfaces exposed to artificial weathering. *Color Research & Application*, 2006, 31(5): 425–434.
- OLTEAN, L., TEISCHINGER, A., HANSMANN, C. 2008. Wood surface discolouration due to simulated indoor sunlight exposure. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2008, 66(1): 51–56.
- OVEN, P., MERELA, M., VEK, V. 2010. Response of wood in beech to mechanical wounding. In *Wood Structure and Properties '10*, Zvolen, Arbora Publishers, 2010, s. 63–66.
- REINPRECHT, L., BACULÁK, J., PÁNEK, M. 2011. Prírodné a urýchlené starnutie náterov pre drevené okná. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2011, 53(1): 21–31.

- RIOUX, D., CHAMBERLAND, H., SIMARD, M., OUELLETTE, G. B. 1995. Suberized tyloses in trees: An ultrastructural and cytochemical study. *Planta*, 1995, 196(1): 125–140.
- SANDOVAL-TORRES, S., JOMAA, W., MARC, F., PUIGGALI, J. 2010. Causes of color changes in wood during drying. *Forestry Studies in China*, 2010, 12(4): 167–175.
- SCHMITT, U., LIESE, W. 1993. Response of xylem parenchyma by suberization in some hardwoods after mechanical injury. *Trees - Structure and Function*, 1993, 8(1): 23–30.
- STOBBE, H., SCHMITT, U., ECKSTEIN, D. 2002. Developmental stages and fine structure of surface callus formed after debarking of living lime trees (*Tilia sp.*). *Annals of Botany*, 2002, 89773–782.
- TOLVAJ, L., FAIX, O. 1995. Artificial Ageing of Wood Monitored by DRIFT Spectroscopy and CIE L*a*b* Color Measurements. 1. Effect of UV Light. *Holzforschung*, 1995, 49(5): 397–404.
- TOLVAJ, L., MITSUI, K. 2005. Light source dependence of the photodegradation of wood. *Journal of Wood Science*, 2005, 51(5): 468–473.
- TOLVAJ, L., MITSUI, K. 2010. Correlation between hue angle and lightness of light irradiated wood. *Polymer Degradation and Stability*, 2010, 95(4): 638–642.
- TSUCHIKAWA, S., INOUE, K., MITSUI, K. 2004. Spectroscopic monitoring of wood characteristics variation by light-irradiation. *FOREST PRODUCTS JOURNAL*, 2004, 54(11): 71–76.
- WOODWARD, S., PEARCE, R. B. 1988. Responses of Sitka spruce callus to challenge with wood decay fungi. *European Journal of Forest Pathology*, 1988, 18(3/4): 217–229.
- YAO, C., YONGMING, F., JIANMIN, G., HOUKUN, L. 2011. Coloring characteristics of in situ lignin during heat treatment. *Wood Science and Technology*, 2011, 45(1): 1–8.
- YAZAKI, Y., COLLINS, P. J., MCCOMBE, B. 1994. Variations in Hot Water Extractives Content and Density of Commercial Wood Veneers from Blackbutt (*Eucalyptus pilularis*). *Holzforschung*, 1994, 48(1): 107–111.
- <http://www.shmu.sk/sk/?page=1611&id=>

Pod'akovanie

Práca je súčasťou projektu 1/0163/12 ktorý je financovaný Vedeckou grantovou agentúrou MŠ SR a SAV.

Adresa autorov

Ing. Vladimír Račko, PhD.
 Ing. Oľga Mišíková, PhD.
 Technická univerzita vo Zvolene
 Drevárska fakulta
 Katedra náuky o dreve
 T. G. Masaryka 24
 960 53 Zvolen