

ANALÝZA BARVY DŘEVA A JEJÍ ZMĚNY VLIVEM SIMULOVANÉHO SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ U TROPICKÝCH DŘEV

J. Baar, V. Gryc

Došlo: 10. května 2010

Abstract

BAAR, J., GRYC, V.: *Colour of tropical wood and discolouration due to simulated sunlight*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2010, LVIII, No. 5, pp. 13–20

This study investigated the wood surface discolouration due to simulated sunlight of three tropical woods native in South America. These woods are commonly used in the Czech Republic. Wood of jatoba (*Hymenaea courbaril* L.), massaranduba (*Manilkara bidentata* A. Chev.) and tigerwood (*Astronium graveolens* Jacq.) was exposed to treatment by light of xenon-arc lamp, which simulates outdoor sunlight, for 144 hours. Colour measurements of exposed and non-exposed areas of samples were performed by means of spectrophotometer measuring in CIEL*a*b* colour system. The resulting wood discolouration was evaluated according to value of the overall colour change ΔE^* . Changes of particular parameters (L^* , a^* and b^*) were also observed during exposure. The wood surface darkened rapidly during the first hours of exposure to simulated sunlight, then samples showed only a slight increase in lightness. After 144 hours of sunlight irradiation the values of chromaticity coordinates were lower compared with the original surface. The initial variations in the lightness of different wood decreased to the minimum after exposure. The most distinctive discolouration of wood was found in the initially brightest wood tigerwood, the darkest massaranduba was affected the least.

CIEL*a*b* colour system, tropical wood, discolouration, simulated sunlight

Anatomická struktura a chemické složení dřeva ovlivňují nejen vlastnosti mechanické a fyzikální, ale i vlastnosti estetické. Barva dřeva a její stálost je u dřevěných výrobků užívaných v exteriéru, ale zejména v interiéru, jedním z důležitých estetických znaků. V praxi lze přesného a rychlého určení barvy dřeva využít při sortimentaci přířezů např. ve výrobě podlahovin (Hrčka, 2008).

Barva dřeva je zrakový vjem, který je ovlivněn spektrálním složením odražených světelných paprsků. Jedná se o značně variabilní záležitost, liší se nejen mezi různými druhy dřev, ale i v rámci jedné dřeviny a často dokonce i na jednotlivém kusu dřeva (Panshin a de Zeeuw, 1980). Hlavními stavebními látkami dřeva jsou celulóza, hemicelulózy, lignin a velká skupina doprovodných složek dřeva (extraktiv). Celulóza a hemicelulózy neabsorbují viditelné světlo a jeví se tedy jako bílé. Přírodní lignin extrahovaný s minimálními chemickými a fyzikálními

změnami má barvu bledě žlutou (Hon a Minemura, 2001). Tyto světlé odstíny jsou však zpravidla překryty barvou výraznějších extraktiv.

Barva dřeva se však může velmi dramaticky změnit vlivem různých činitelů (sluneční záření, vlhkost, teplota, mikroorganismy, kontakt s kovy atd.). Z abiotických činitelů sluneční záření a zejména ultrafialová složka tohoto záření (UV – vlnová délka < 380 nm) způsobuje nejvýraznější barevné změny dřeva (Tolvaj *et al.*, 2001; Hon, 2001). Z hlavních stavebních látek dřeva lignin absorbuje 80–95 % UV záření, menší část UV záření je pohlcována polysacharidickou složkou dřeva (5–12 %) a pouhé 2 % připadá na extraktiva (Kuo a Hu, 1991). V případě, že je dřevo vystaveno venkovnímu nebo umělému slunečnímu záření i po relativně krátkou dobu, dochází ke snadno pozorovatelným změnám barvy a jasu dřeva. Barva většiny dřev se působením světla mění do žluta až hněda vlivem fotooxidace ligninu

a extraktiv, v exteriéru následně dochází k šednutí povrchu vyplavováním hnědých rozkladných produktů ligninu (Feist a Hon, 1984). K rozkladu nejméně stabilního ligninu dochází v povrchových buňkách dřeva, jedná se tedy čistě o povrchový jev. UV záření ani viditelné světlo není schopno proniknout do větší hloubky než 75 µm, respektive 200 µm. Zjištěné ztmavnutí dřeva až do hloubky 2 mm je pravděpodobně zapříčiněno následnými řetězovými reakcemi volných radikálů (Hon, 2001).

Zkoumání vlivu slunečního světla na změnu barvy dřeva je složité nejen z hlediska neopakovatelnosti přírodních podmínek, ale i vzhledem k časové náročnosti. Proto je světelná degradace dřeva zpravidla zkoumána při umělých podmínkách vyvolaných xenonovými lampami. Světelné spektrum xenonových lamp je velmi podobné slunečnímu spektru (Tolvaj *et al.*, 2001). Simulace pomocí xenonového světla je vhodná zejména v případě dlouhodobého ozáření. Žloutnutí dřeva vyvolané působením světla xenonových lamp je v krátkém období rychlejší a výraznější (Tolvaj a Mitsui, 2005).

Tato práce se zabývá variabilitou barvy a zejména povrchovou změnou vyvolanou působením simulovaného slunečního záření. Každé dřevo mění působením světla svou barvu, v závislosti na druhu se však liší míra, rychlost a průběh této změny. Byly použity tři druhy tropických dřev pocházejících z Jižní Ameriky: jatoba (*Hymenaea courbaril* L.), massaranduba (*Manilkara bidentata* A. Chev.) a tigerwood (*Astronium graveolens* Jacq.).

MATERIÁL A METODIKA

Zkušební vzorky

Zkušební vzorky o rozměrech 140 × 45 × 15 mm (L × T × R) byly klimatizovány v prostředí o teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti 65 ± 5%. Tangenciální plocha vystavená působení simulovaného slunečního světla byla před experimentem broušena (zrnitost 180). Vzorky byly po obroušení skladovány v temné místnosti. Z každého druhu dřeva bylo použito 14 zkušebních vzorků.

Působení umělého slunečního světla

Vzorky byly vystaveny působení umělého slunečního záření v xenonové testovací komoře Q-SUN Xe-1, Q-Lab Corporation, U.S.A. (1800W xenonová výbojka – celé spektrum slunečního svitu, intenzita ozáření 0,55 W/m² – 340 nm, teplota na černém panelu 60 °C) po různou dobu, pohybující se od 0 do 144 hod. Každý vzorek byl před ozářením z jedné poloviny překryt hliníkovou fólií, aby bylo možné pozorovat kontrast mezi ozářeným a původním povrchem. Police vzorků v komoře byla pravidelně měněna, aby nedošlo k intenzivnějšímu ozáření některých vzorků vlivem případného nestejnoměrného rozložení záření. Vzorky byly během expozice v daných intervalech ze zařízení vyjmuty z důvodu měření barevnosti povrchu.

Měření světlostlosti

Změna barevnosti povrchu během ozáření byla měřena pomocí přenosného spektrofotometru Spectro-guide 45/0 firmy BYK (geometrie měření 45/0, standardní pozorovatel 10°, druh osvětlení D65, průměr měřené oblasti 11 mm, CIEL*a*b* barevný systém). Parametry L*, a*, b* a ΔE* byly měřeny u každého vzorku na pěti místech a následně byla vypočtena průměrná hodnota.

K popsání barevného prostoru byl použit pravoúhlý barevný systém CIEL*a*b* vymezený třemi osami: nepestrou osou světlosti (L*), chromatickou osou zeleno-červenou (a*) a chromatickou osou modro-žlutou (b*). Stupnice světlosti se pohybuje od 0 (černá) do 100 (bílá). Barevnost plochy je popisována dvěma parametry a* a b*, které nemají žádné hodnotové ohraničení (+ a* – červená, – a* – zelená, + b* – žlutá, – b* – modrá). Souřadnice L*, a*, b* jednoznačně určují barvu v jejím odstínu, sytosti a jas.

Celková změna barevnosti povrchu je určena barevnou odchylkou ΔE* vypočtenou podle rovnice:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2},$$

kde ΔL*, Δa*, Δb* představují rozdíly mezi původními a konečnými souřadnicemi (před a po ozáření povrchu). Nízká hodnota ΔE* vypovídá o nízké změně barevnosti.

Barevnost povrchu vzorků byla měřena v následujících intervalech – 0, 2, 4, 6, 12, 24, 48, 98 a 144 hod.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Barva dřeva je velice variabilní, může se pohybovat od téměř bílé (např. běl některých dřev), až po skoro černou u jádra ebenu (Hon a Minemura, 2001). U většiny dřev je barva jádra v širokém spektru odstínů hnědé a dokonalý popis barvy dřeva je málokdy možný. Zbarvení dřeva jednotlivých zkoumaných druhů z hlediska vizuálního vjemu je v literatuře popisováno následovně: jatoba – jádro růžovo hnědé béžové až červenohnědé, také fialově tónované, často tmavě žilkované; tigerwood – zlatě hnědobéžové až červenohnědé jádro s tmavým černohnědým žilkováním; massaranduba – jádro tmavočervené, masově červené, poněkud nafialovělé barvy (Roček, 2005; Wagenführ, 2000). Samotné vnímání a interpretace barvy je velmi subjektivní. Pro potřeby kvantifikování změn barvy působením různých vlivů a následné vyhodnocování a srovnávání je vhodné použití objektivnějších metod – např. kolorimetrie. Barva dřeva či jiného materiálu je v tomto případě popisována pomocí různých barevných systémů, v našem případě se jedná o systém CIEL*a*b*. Dřevo se všemi svými barevnými variacemi se nachází v CIEL*a*b* barevném systému v kladném oktantu s koordinátami L*, + a*, + b* (Hon a Minemura, 2001). Katuščák a Kucera (2000) uvádějí pro dřeviny mírného pásma prostor vymezený hodnotami parametrů: L* = 40–100, a* = 0–20, b* = 10–40. Obdobný prostor platný pro 100 dřev

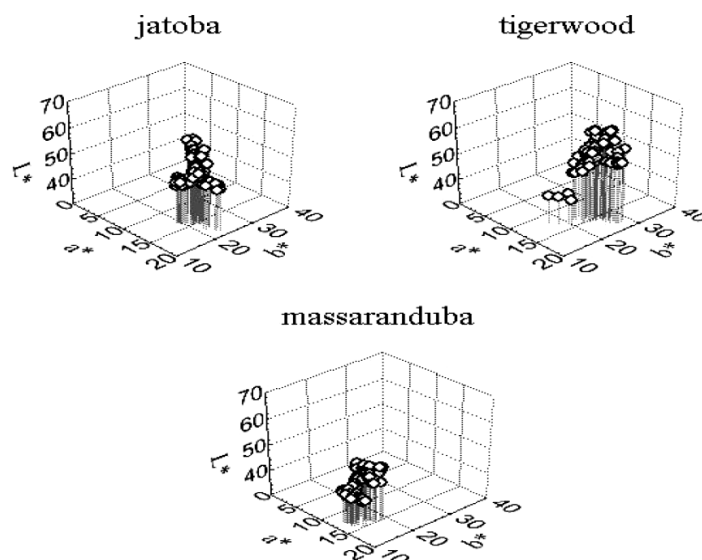
často využívaných v dřevozpracujícím průmyslu popisují i Hon a Minemura (2001). Umístění zkoumaných dřev v rámci zmiňovaného prostoru CIEL*a*b* barevného systému je patrné na Obr. 1.

Souřadnice L^* , a^* a b^* popisující barvu původního povrchu zkoumaných dřev jsou uvedeny v Tab. I. Všechna tři dřeva se nacházejí při spodní hranici L^* popisovaného prostoru a jedná se tedy o dřeva spíše tmavšího zbarvení. Dle parametru L^* je massaranduba dřevo nejtmavší, následuje jatoba a tigerwood. Parametr a^* , inklinující ve všech případech k červené barvě, se u jednotlivých dřev výrazně neliší. Massaranduba vykazuje nižší hodnotu parametru b^* ve srovnání s ostatními dřevy. Největší variabilitu ve zbarvení, zejména u parametru L^* , vykazuje dřevo tigerwood (viz Tab. II), což je zřejmě způsobeno zónováním jádra (střídáním světlých a výrazně tmavších pásů). Toto je patrné i z Obr. 1, na kterém shluk dat popisujících barvu tohoto dřeva zabírá nejrozsáhlejší prostor.

Hon a Minemura (2001) rozdělují dřeva do pěti skupin dle rozdílného chování při změně světlosti: pouze tmavnutí, tmavnutí a následné zesvětlení, tmavnutí – zesvětlení – tmavnutí, pouze zesvětlení a zesvětlení a následné ztmavnutí. U mnoha tropických dřevin dochází během expozice ke střídání fází tmavnutí a zesvětlení. Zkušební vzorky vystavené UV záření (340 nm) po dobu 144 hod vykazovaly záporné hodnoty ΔL^* , u dřeva tedy do-

šlo ke ztmavnutí povrchu. Na grafu znázorňujícím závislost ΔL^* na době expozice lze pozorovat dva různé průběhy křivky. Během prvních 10 hodin se výrazně snížila světlost zkoumaného povrchu. Následoval pozvolný pokles a po 24 hodinách expozice došlo k opačnému trendu, kdy začal povrch dřeva mírně světlat. Obdobné chování bylo pozorováno u všech tří zkoumaných dřev. Parametr a^* , představující osu zelená-červená, u dřeva jatoba a tigerwood v počáteční fázi zvyšoval své hodnoty (dřevo se stávalo „červenější“). V intervalu 6 až 12 hodin se však hodnoty začaly vracet do původního stavu a dále pak klesaly. Toto chování je způsobeno pravděpodobně přítomností specifických typů extraktiv ve dřevě. Změna parametru b^* měla podobný průběh jako u světlosti, výrazný pokles (směrem k modré) v počáteční fázi ozáření a následná stabilizace hodnot.

Oltean *et al.* (2008) zjistili u listnatých dřev mírného pásma rapidní změnu ΔE^* během prvních 12 hodin působení UV záření. Většina z měřených dřev dosáhla po 120 hodinách expozice stabilních hodnot ΔE^* a následným ozářením docházelo pouze k mírnému, pouhým okem nerozlišitelnému, zvýšení nebo snížení hodnoty celkové barevné odchylky. V našem případě rovněž došlo k výrazné změně barvy (ΔE^*) v průběhu prvních 12 hodin, následně se hodnoty měnily minimálně a změny byly stěží pozorovatelné (viz Obr. 2). Tigerwood vyka-

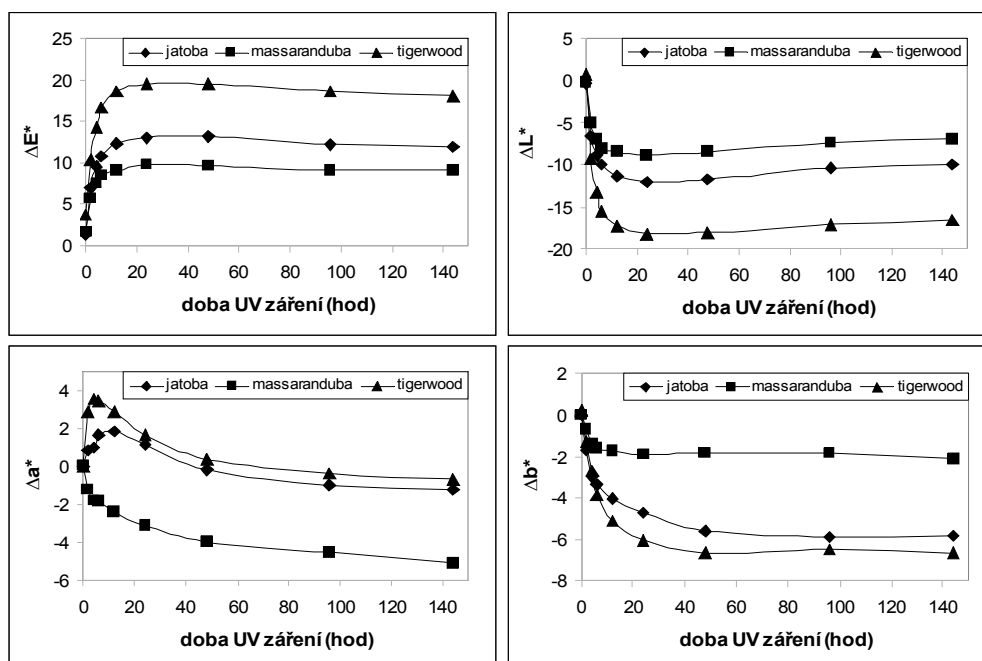


1: Umístění množiny dat popisujících barvu tří druhů dřev v rámci CIEL*a*b* barevného prostoru
1: Position of data describing colour of three wood species within the CIEL*a*b* colour space

I: Souřadnice CIEL*a*b* systému pro jednotlivá dřeva

I: Coordinates of CIEL*a*b* colour system for individual woods

	jatoba			massaranduba			tigerwood		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
arit. průměr	50,4	14,5	22,3	45,4	13,5	15,5	56,2	15,4	25,2
max	58,7	18,5	24,9	51,0	15,2	18,9	64,2	18,1	28,9
min	44,1	12,1	19,4	39,5	12,0	12,7	40,1	11,9	17,5



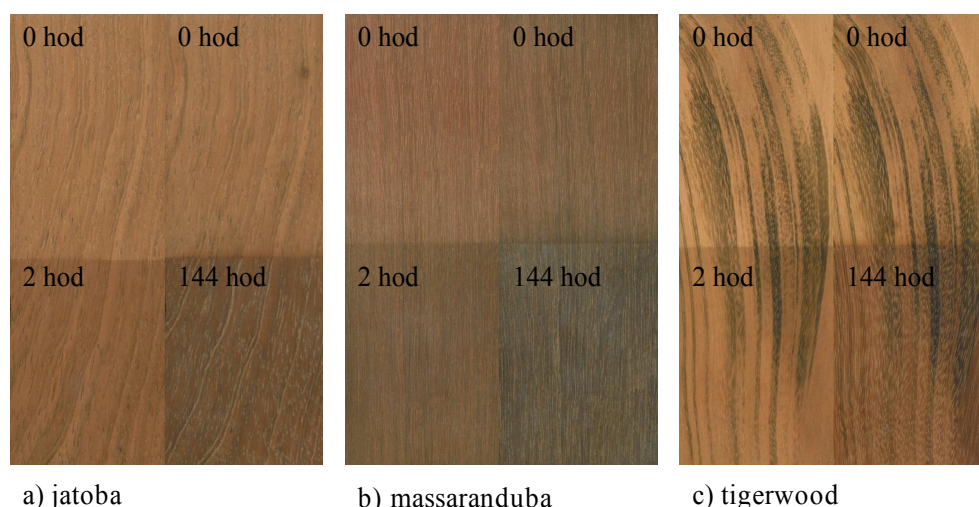
2: Průběh odchylek parametrů L^* , a^* , b^* a barevné odchylky ΔE^* během expozice světelnému záření
 2: Progress of deviation of parameters L^* , a^* , b^* and overall colour change ΔE^* during light irradiation

zoval po 144 hodinách největší barevnou změnu ($\Delta E^* = 18,2$), k nejméně zřetelnému ztmavnutí povrchu došlo u massaranduby ($\Delta E^* = 9,13$), jejíž povrch byl před expozicí nejtmavší. Na celkovou odchylku ΔE^* měla největší vliv změna světlosti L^* . Massaranduba se od zbylých dřev lišila podílem chromatických parametrů na celkové odchylce ΔE^* . Parametr b^* vykazoval na konci testu asi pětinašobnou hodnotu odchylky oproti ostatním dřevům, naopak parametr a^* byl přibližně třetinový.

Po dvou hodinách vystavení působení simulovaného slunečního záření došlo u všech vzorků k viditelné změně barvy povrchu (viz Obr. 3). U každého z dřev přesáhla celková odchylka ΔE^* hodnotu 3 (viz Tab. II), která je považována za limitní

hranici pro rozlišitelnost pouhým okem (Hon a Minemura, 2001). Z Obr. 3 je patrný kontrast mezi ozářeným (2 a 144 hod) a původním (0 hod) povrchem. Zřetelně došlo ke změně povrchu do tmavějších odstínů hnědé. S rostoucí dobou expozice se rozdíl mezi srovnávanými polovinami zvyšoval.

Barva dřeva vystaveného venkovním podmínkám se rapidně mění v poměrně krátké době. Obecně u všech dřev dochází k žloutnutí až hnědnutí. Příčinou těchto jevů je zejména degradace (fotooxidace) ligninu a extraktivních látek. Dřeva bohatá na extraktiva mohou blednout předtím, než se zhnědnutí dřeva projeví zřetelně (Feist, 1983). Při fotodegradaci nejméně stabilního ligninu vznikají rozkladné produkty hnědého zabarvení. Lze předpo-



3: Vizualní srovnání kontrastu ozářeného a neozářeného povrchu
 3: Visual comparison of contrast among the exposed and the non-exposed surface

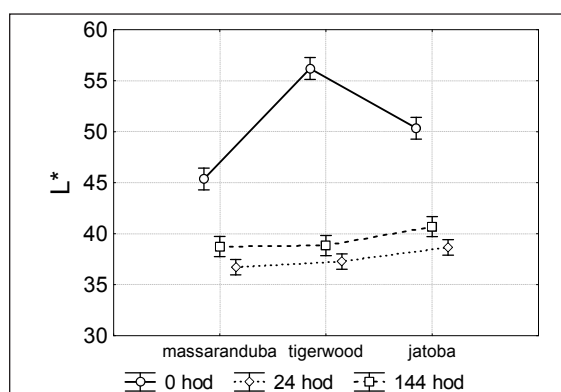
II: Parametry L^* , a^* , b^* a ΔE^* v průběhu expozice světelnému záření pro jednotlivé dřeva (a.p. – aritmetický průměr; v.k. – variační koeficient – %)

II: Parameters L^* , a^* , b^* and ΔE^* during exposure to light irradiation for individual woods (a.p. – arithmetic mean; v.k. – variation coefficient – %)

Doba expozice (hod)		0		2		4		6		12	
		a.p.	v.k.	a.p.	v.k.	a.p.	v.k.	a.p.	v.k.	a.p.	v.k.
jatoba	L^*	50,3	8,8	44,1	6,7	41,8	6,7	40,7	6,8	39,3	7,1
	a^*	14,5	10,2	15,4	12,7	15,5	12,4	16,2	11,7	16,4	10,7
	b^*	22,3	6,9	20,6	9,2	19,3	9,3	18,9	9,0	18,3	9,5
	ΔE^*	1,5	56,4	7,0	36,0	9,5	31,8	10,8	32,4	12,4	33,6
massaranduba	L^*	45,4	7,1	40,6	5,7	38,6	6,4	37,5	6,3	37,1	6,6
	a^*	13,5	5,9	12,2	6,7	11,7	6,6	11,6	6,7	11,0	6,3
	b^*	15,5	11,8	14,9	10,5	14,1	11,1	13,9	11,3	13,8	11,6
	ΔE^*	1,7	55,5	5,7	37,3	7,5	35,6	8,6	34,5	9,2	32,8
tigerwood	L^*	56,2	10,0	46,1	8,8	42,2	9,0	40,0	9,9	38,2	10,7
	a^*	15,4	8,9	18,3	9,0	19,0	8,9	18,9	11,1	18,3	10,8
	b^*	25,2	8,9	23,7	10,3	22,3	11,6	21,2	14,2	20,0	17,2
	ΔE^*	3,8	87,9	10,5	32,4	14,3	30,7	16,6	30,5	18,6	30,3

Doba expozice (hod)		24		48		96		144	
		a.p.	v.k.	a.p.	v.k.	a.p.	v.k.	a.p.	v.k.
jatoba	L^*	38,7	7,2	38,9	8,1	40,2	8,7	40,7	9,4
	a^*	15,7	10,2	14,3	9,2	13,6	8,6	13,3	7,9
	b^*	17,6	10,4	16,7	12,0	16,5	12,3	16,5	12,8
	ΔE^*	13,1	36,1	13,2	37,9	12,2	42,8	11,9	44,9
massaranduba	L^*	36,7	7,1	37,2	7,0	38,3	7,5	38,7	7,0
	a^*	10,3	7,0	9,5	7,6	8,9	8,0	8,4	8,2
	b^*	13,6	11,9	13,7	12,1	13,7	13,0	13,4	12,5
	ΔE^*	9,8	31,6	9,7	30,0	9,1	31,5	9,1	29,2
tigerwood	L^*	37,3	10,9	37,4	12,3	38,3	13,5	38,8	14,2
	a^*	17,1	11,0	15,8	10,7	15,0	9,2	14,7	8,7
	b^*	19,0	18,3	18,4	21,0	18,5	22,3	18,4	23,0
	ΔE^*	19,5	32,4	19,5	36,1	18,7	42,5	18,2	42,7

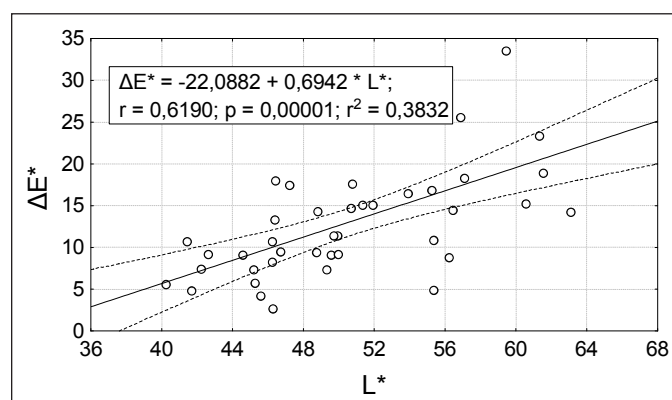
kládat, že u dřev světlejších odstínů se projeví přítomnost degradovaného ligninu v povrchových vrstvách výrazněji než u dřev tmavých. Světlost zkoumaných dřev byla před expozicí odlišná a statisticky významná. Během působení slunečního světla docházelo k postupnému snižování rozdílů světlosti mezi jednotlivými povrchy. Po 144 hodinách expozice se průměrné hodnoty světlosti dřev téměř nelišily, statisticky významné rozdíly vykazovala pouze jatoba (viz Obr. 4). Na Obr. 5 je regresní analýza závislosti celkové odchylky ΔE^* na světlosti původního povrchu. U zkoumaných dřev bylo zjištěno, že čím byl povrch před expozicí světlejší (L^*), tím výraznější změna barvy se u něj projevila. Nejtmavší massaranduba vykazovala nejnížší barevnou odchylku ΔE^* (viz Tab. II). Davis (1962) uvádí, že světle zbarvená dřeva nemusejí nevyhnutelně vykazovat vyšší míru změny barvy než dřeva tmavá. V rámci jednoho dřeva však dochází zpravidla k výraznějším změnám barvy u světlejších nebo bělových vzorků než u tmavších či jádrových. Obdobná závislost celkové odchylky byla zjištěna i na hodnotách parametru a^* a b^* . Čím nižší



4: ANOVA – porovnání světlosti povrchu (L^*) před a během působení simulovaného slunečního záření

4: ANOVA – comparison of surface lightness (L^*) before and during exposure to simulated sunlight

hodnoty těchto parametrů vykazoval původní povrch, tím menší byla výsledná odchylka ΔE^* .



5: Regresní analýza závislosti celkové odchylky ΔE^* na světlosti původního povrchu L^*

5: Regression analysis of dependence of overall colour change ΔE^* on lightness of the original surface L^*

SOUHRN

Působením slunečního světla, ať přirozeného nebo simulovaného, dochází ke změnám barvy povrchu dřeva v poměrně krátké době. Ozařovaný povrch vykazoval už po dvou hodinách barevné změny pozorovatelné pouhým okem. Během prvních hodin působení umělého slunečního světla došlo u zkoumaných dřev k výraznému ztmavnutí povrchu. Po delší době expozice naopak docházelo k mírnému zesvětlení povrchu všech tří dřev. Rozsah a průběh změny je závislý na druhu dřeva. Po 144 hodinách působení záření byla zjištěna největší celková odchylka (ΔE^*) u dřeva tigerwood ($\Delta E^* = 18,2$) a nejmenší u massaranduby ($\Delta E^* = 9,1$). Světlejší dřeva mohou být náchylnější ke změnám barvy a jasů povrchu, u zkoumaných dřev se toto potvrdilo. Nejtmavší massaranduba vykazovala po skončení expozice nejmenší barevné odchylky od původního povrchu.

CIEL*a*b* barevný systém, tropické dřevo, změna barvy, simulované sluneční světlo

SUMMARY

Changes of colour of wood surface caused by light irradiation, whether natural or simulated, start up in relatively short time. Irradiated surface of examined woods exhibited discolouration detectable by naked eye after just 2 hours. During the first hours of exposure to simulated sunlight rapid surface darkening was observed for wood samples. After the long-term exposure the surface of all three woods raised slightly by contrast. The range and the behaviour of change depends on wood species. After 144 hours of irradiation the greatest discolouration according to ΔE^* values was recorded for tigerwood ($\Delta E^* = 18.2$) and the smallest for massaranduba ($\Delta E^* = 9.1$). The theory that lighter woods can be susceptible to changes of surface colour and brightness was confirmed by means of the examined woods. The darkest wood – massaranduba – shows the lowest colour deviations of the original surface after exposure.

Poděkování

Tato práce vznikla v rámci výzkumného záměru LDF Mendelovy univerzity v Brně MSM 6215648902 *Les a dřevo – podpora funkčně integrovaného lesního hospodářství a využívání dřeva jako obnovitelné suroviny*. Autoři rovněž děkují Ústavu nábytku, designu a bydlení Mendelovy univerzity v Brně za umožnění provést experiment v xenonové testovací komoře a za zapůjčení spektrofotometru.

LITERATURA

- DAVIS, E. M., 1962: *Machining and related characteristics of United States hardwoods*. Technical bulletin No. 1267, Washington, D. C.: U. S. Department of Agriculture.
- FEIST, W. C., 1983: Finishing wood for exterior use. In: CARTER, R.M. (ed.), *Proceedings 87318 Finishing Eastern Hardwoods*, Madison: Forest Products Research Society, 185–198.
- FEIST, W. C., HON, D. N. S., 1984: Chemistry of weathering and protection. In: ROWELL, R. (ed.), *The chemistry of solid wood, Advances in chemistry vol. 207*, Washington: American Chemical Society, 614 p.
- HON, D. N. S., MINEMURA, N., 2001: Color and discoloration. In: HON, D. N. S. and SHIRAISHI, N., *Wood and cellulosic chemistry*. New York: Marcel Dekker, 385–442.

- HON, D. N. S., 2001: Weathering and Photochemistry of wood. In: HON, D. N. S. and SHIRAISHI, N., *Wood and cellulosic chemistry*. New York: Marcel Dekker, 513–546.
- HRČKA, R., 2008: Identification of discoloration of beech wood in CIELAB space. *Wood research*, 53, 1: 119–124.
- KATUŠČÁK, S. and KUCERA, J., 2000: CIE orthogonal and cylindrical color parameters and the color sequences of the temperate wood species. *Wood Research*, 45, 3: 9–21.
- KUO, M. and HU, N., 1991: Ultrastructural changes of photodegradation of wood surfaces exposed to UV. *Holzforshung*, 45, 5: 347–353.
- OLTEAN, L., TEISCHINGER, A. and HANSMANN, C., 2008: Wood surface discolouration due to simulated indoor sunlight exposure. *European Journal of Wood and Wood Products*, 66, 1: 51–56.
- PANSHIN, A. J. and DE ZEEUW, C., 1980: *Textbook of wood technology: structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada*, 4. vyd. New York: McGraw-Hill, 722 p. ISBN 0-07-048441-4.
- ROČEK, I., 2005: *Dřeva tropických oblastí*, Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a environmentální, 328 s., ISBN 80-213-1346-3.
- TOLVAJ, L., MITSUI, K., 2005: Light source dependence of the photodegradation of wood. *Journal of wood science*, 51, 5: 468–473.
- TOLVAJ, L., PREKLET, E., BARTA, E., PAPP, G., 2001: *Dependence on light sources of the artificial photodegradation of wood*. Paris: Workshop within COST action E-18, High Performance Wood Coatings, http://www.vtt.fi/rte/bp/costel18/seminar2_paper3.pdf, citace: 8. 4. 2010.
- WAGENFÜHR, R., 2000: *Holzatlas*. 5. vyd., Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 707 S. ISBN 3-446-21390-2.

Adresa

Ing. Jan Baar, Ing. Vladimír Gryc, Ph.D., Ústav nauky o dřevě, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: xbaar@node.mendelu.cz; gryc@mendelu.cz

