

Vlatka Jirouš-Rajković, Boris Ljuljka

# Boja drva i njezine promjene prilikom izlaganja atmosferskim utjecajima

## The colour and the changes of colour of wood during weathering

*Izvorni znanstveni rad - Original scientific paper*

*Prispjelo - received: 17. 03. 1999. • Prihvaćeno - accepted: 12. 04. 1999.*

*UDK 630\*812.111; 634\*829.1*

**SAŽETAK** • Boja drva ovisi o međusobnom djelovanju kemijskih sastojaka drva i svjetlosti. Stoga reakcije komponenata drva sa svjetlošću, zrakom, toplinom i kemikalijama uzrokuju promjene boje drva. Diskoloracija drva nastaje i u unutrašnjim i u vanjskim prostorima. U ovom smo se radu ograničili samo na promjene boje drva prilikom izlaganja atmosferskim utjecajima. Spektralnim fotometrom mjerena je boja nezaštićenih uzoraka jelovine i hrastovine, te uzoraka zaštićenih transparentnim debeloslojnim lazurama na vodenoj bazi s različitim fotostabilizatorima. Promjene boje na uzorcima tijekom prirodnog izlaganja razlikuju se od promjena boje na uzorcima tijekom laboratorijskog izlaganja. Ustanovljeno je da transparentne lazure s upotrijebljenim fotostabilizatorima ne mogu u potpunosti zaštititi drvo od promjene boje tijekom izlaganja atmosferskim utjecajima. Najmanje promjene boje tijekom izlaganja atmosferskim utjecajima izmjerene su na uzorcima zaštićenima polutransparentnom lazurom.

**Ključne riječi:** boja drva, promjene boje drva, izlaganje atmosferskim utjecajima, mjerenje boje.

**SUMMARY** • The colour of wood depends on the chemical components of wood that interact with light. Hence, the reaction of wood components to light, heat and chemicals will change the colour of the wood.

Discolouration occurs both indoors and outdoors. In this paper we focused on the colour changes of wood during weathering. Colour measurements were taken with a spectrophotometer on fir wood and oak wood panels, both uncoated and coated with a clear film-forming water-based stain with various photostabilisers.

The colour changes recorded on the wood panels during accelerated weathering are different

---

Autori su docentica i profesor na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Authors are an assistant professor and a professor respectively, at the Faculty of Forestry of the Zagreb University.

*from the colour changes recorded on the wood panels during outdoor exposure.*

*The results indicated that the various stabilised clear film forming water-based stains used are not effective in preventing wood discolouration during weathering.*

*The last color changes during weathering were measured on samples treated with semi-transparent wood stain.*

**Key words:** wood colour, discolouration of wood, wood weathering, colour measurement

## 1. UVOD

### 1. INTRODUCTION

Posebnu estetsku vrijednost drvu daje njegova tekstura i njegova boja. Pod bojom drva razumijeva se prirodni ton boje prosušenog drva, a u jedričavih vrsta prirodni ton boje srži (Horvat-Krpan, 1967).

Boja je, usprkos velikom značenju u proizvodnji namještaja, uređenju interijera i umjetničkom obrtu, relativno slabo upoznata i istraživana, pogotovo u usporedbi s mehaničkim svojstvima drva. U udžbenicima o drvu i tehnologiji drva o boji drva mogu se najčešće naći općenite informacije što se odnose na opis pojedinih vrsta, pri čemu se boja opisuje kao žućkasta, smeđasta, crvenkastosmeđa itd. Razlog tome je sama priroda boje, velike varijabilnosti boje drva i teško mjernotehničko poimanje boje drva (Kucera i Katuscak, 1992). Sve veća vrijednost drva i proizvoda od drva, kao i napredak u teoriji boja i mjernim instrumentima, posljednjih godina nagovješćuju da će se boji drva u budućnosti pridavati sve veća pozornost.

#### 1.1. Činitelji boje drva i uzroci njezine varijabilnosti

##### 1.1. The causes of wood colour and wood colour variability

Kada svjetlost pada na površinu drva, jedan se dio izravno reflektira, a drugi ulazi u stanice čije stanične stijenke i pigmenti apsorbiraju određene valne duljine. Svjetlost koja se nije apsorbirala u stanicama ponovno se raspršuje, reflektira i propušta. Neapsorbiranu svjetlost prepoznamo kao boju drva. Prema tome, činitelje prirodne boje drva treba tražiti u anatomskoj strukturi i kemijskom sastavu drva. Celuloza i hemiceluloza ne apsorbiraju vidljivu svjetlost (Hon i Minemura, 1991). Nativni lignin, izoliran s minimalnim kemijskim ili fizikalnim promjenama blijedo je žut, a celuloza je bijela. U drvu četinjača boja lignina pripisuje se supstituciji fenila benzokinonom i dehidrogeniziranim kopolimerima koniferilaldehida (Hon i Minemura, 1991).

Pretpostavlja se da lignin, koji je u drvu uklopljen u celulozni skelet apsorbira

valne duljine manje od 500 nm (Hon i Minemura, 1991; prema Pew i Connors, 1971). Sasvim male razlike u sadržaju celuloze, odnosno lignina u drvu primjetljive su kao razlike u boji.

Odlučujući utjecaj na boju drva imaju akcesorni sastojci u drvu, npr. smole, polifenoli, alkaloidi i anorganske soli, koji se talože u staničnim stijenkama ili na njima. Te prateće tvari djelomično nastaju pri stvaranju drva iz kambija, no većim dijelom nastaju biokemijskim procesima prilikom osržavanja. Oni određuju boju drva specifičnih vrsta (npr. zelenkasti ton bagremovine), kao i razliku u boji između bjeljike i srži jedričavih vrsta drva. Mnoge vrste drva apsorbiraju svjetlost valne duljine veće od 500 nm zbog prisutnosti fenolnih supstancija kao što su flavonoidi, stilben, lignan, tanin i kinon (Hon i Minemura, 1991).

Na boju drva osobito utječe debljina stanične stijenke. Razlika u boji između svijetloga ranog drva i tamnijega kasnog drva u godu četinjača uzrokovana je uglavnom različitim debljinom stanične stijenke traheida ranog i kasnog drva te usko korelira s gustoćom drva u tim područjima.

Prirodna boja drva specifična je za pojedinu vrstu, te je oko 30 000 trgovačkih vrsta drva najveći izvor varijabilnosti boje drva. Osim toga, utjecaji staništa, ishrane i individualnosti stabla, kao i osržavanja povećavaju varijabilnost boje drva. Na boju drva utječu i fizikalni činitelji kao što su kut pod kojim svjetlost pada na drvena vlakanca, sadržaj vode u drvu te hrapavost površine (Hon i Minemura, 1991).

#### 1.2. Promjene boje drva

##### 1.2. Colour changes of wood

Boja drva ovisi o međusobnom djelovanju kemijskih sastojaka drva i svjetlosti. Stoga reakcije drvnih komponenata sa svjetlošću, zrakom, toplinom i kemikalijama uzrokuju promjene boje drva. Diskoloracija drva nastaje i u unutrašnjim i u vanjskim prostorima i mnogo je činitelja koji je uzrokuju i u njoj sudjeluju.

Promjene boje drva mogu uzrokovati:

Oznaka uzorka (obrade) Sample code	Opis obrade Description of the treatment
KB	neobrađeni uzorci <i>Untreated samples</i>
LB	impregnacija lazura bez fotostabilizatora <i>Impregnating primer Wood stain without a photostabiliser</i>
F1LB	impregnacija lazura sa 1,5% TiO <sub>2</sub> <i>Impregnating primer Wood stain with 1,5% TiO<sub>2</sub></i>
F2LB	impregnacija lazura s fotostabilizatorima (1% Tinuvin 1130 + 1% HALS Tinuvin 292) <i>Impregnating primer Wood stain with a photostabilisers (1% Tinuvin 1130 + 1% HALS Tinuvin 292)</i>
L2B	impregnacija lazura sa 2-3% pigmenta Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (polutransparentna lazura) <i>Impregnating primer Wood stain with 2-3% iron-oxide (semi-transparent wood stain)</i>

**Tablica 1.**

Oznake uzoraka i opis obrade • Sample codes and description of the treatments

- abiotički utjecaji (svjetlost, temperatura, kisik, oborine, onečišćivači)
- organizmi poput bakterija, gljiva i insekata
- mnogi tehnološki procesi (sušenje, impregnacija, površinska obrada)
- procesi onečišćenja i trošenja pri upotrebi drva.

U ovom smo se radu ograničili na promjene boje pri izlaganju drva atmosferskim i laboratorijskim utjecajima.

Drvo koje se rabi na otvorenom prostoru izloženo je sunčanoj energiji s malenim udjelom ultraljubičastog zračenja (skraćeno, UV zračenja) koje svojim visokim kvantom energije može razoriti mnoge kemijske veze (ugljik-ugljik, ugljik-kisik, ugljik-vodik) u sastojcima drva i uzrokovati diskoloraciju i razgradnju drvene površine. Treba naglasiti da diskoloraciji drva izloženog atmosferskim utjecajima pridonose i kisik, toplina, vlažnost, onečišćivači i mikroorganizmi, no UV svjetlost glavni je činitelj diskoloracije drva (Hon, 1995). Dubina sloja koji mijenja boju iznosi, ovisno o vrsti drva, 0,5-2,5 mm (Feist, 1988). Slijed promjena boje vrlo je složen i ovisi o prirodnoj boji drva, ekstraktivnim tvarima, vrsti i jakosti kemijskih promjena pojedine vrste drva (Sandermann i Schlumbom, 1962b).

Općenito, boja drva mijenja se prema žutoj ili smeđoj zbog kemijskog razlaganja lignina (fotooksidacije) i ekstraktivnih tvari. Ekstraktivne su tvari vrlo nepostojane na svjetlost i na nju različito reagiraju. Mogu prouzročiti i blijedenje drvene površine prije njezina zatamnjenja (Sandermann i Schlumbom, 1962a). Svjetlost, u ovisnosti o valnoj duljini na različitim vrstama drva uzrokuje potpuno različite promjene boje. Tako je npr. Leary (1967) ustanovio da svjetlost

valne duljine 360-395 nm uzrokuje žućenje novinskog papira, a svjetlost valne duljine 410-520 nm izbljeđuje taj papir. Gubitak metoksilnih skupina linearno se povećava sa žućenjem, što povezuje žućenje s fotooksidacijom lignina. Do žućenja celuloze nije dolazilo bez prisutnosti zraka i vjerojatno je ono uzrokovano oksidacijom uz djelovanje svjetlosti (Leary, 1968).

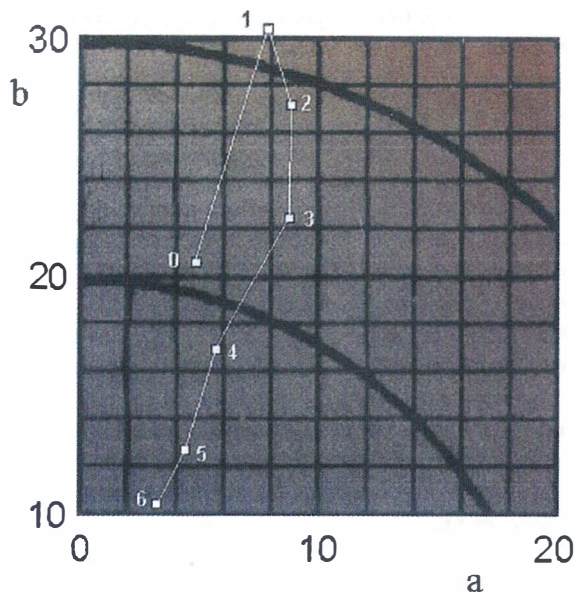
Promjena boje i svjetline uzoraka drva četinjača izloženih prirodnim utjecajima ili umjetnoj UV svjetlosti nastaje u relativno kratkom vremenu (Feist i Hon, 1984). Na nekim vrstama drva u početku prirodnog izlaganja svjetlina se smanjuje, zatim povećava i nakon šest mjeseci izlaganja ponovno se smanjuje, što je posljedica jake erozije i strukturnog raspada površinskih stanica. Minemura i Umehara (1979) ustanovili su da UV svjetlost na ariševini prouzrokuje tamnjenje, da vidljiva svjetlost valnih duljina < 580 nm ima izbljeđujući učinak, a valne duljine > 580 nm samo neznatno diskoloriraju ariševinu. Hon i Feist (1986) izlagali su uzorke pet različitih listača prirodnoj i umjetnoj UV svjetlosti i ustanovili velike promjene boje i svjetline, bez obzira na uvjete izlaganja.

## 2. CILJ ISTRAŽIVANJA 2. AIM OF RESEARCH

Da bi se istaknula prirodna tekstura i boja drva, u posljednje se vrijeme sve više upotrebljavaju transparentne prevlake. Da bi se povećala otpornost tih prevlaka prema fotooksidacijskoj degradaciji i zaštitilo drvo, jer UV svjetlost može penetrirati kroz te prevlake, često se u njih uklapaju UV apsorberi i HALS spojevi (Hindered Amine Light Stabilisers),



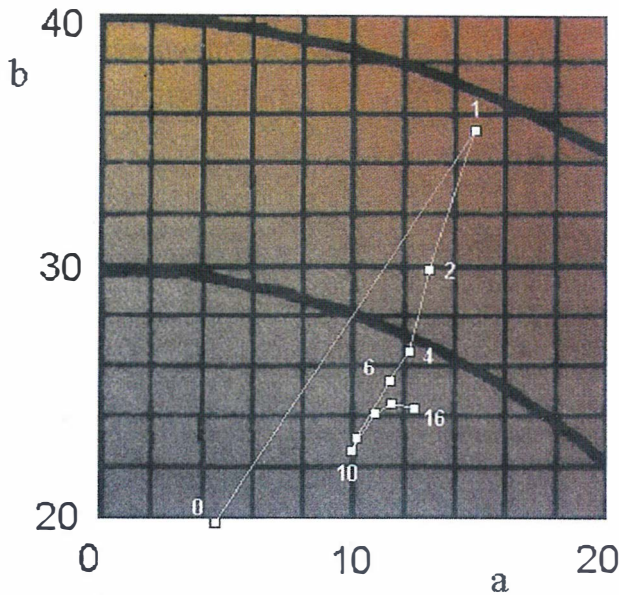
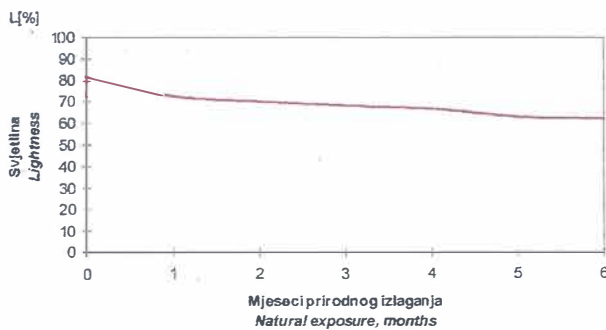




**Slika 3.**

Promjena boje neobrađenog uzorka jelovine tijekom prirodnog izlaganja. Promjena koordinata a i b prikazana je u povećanom isječku CIELAB dijagrama boja.

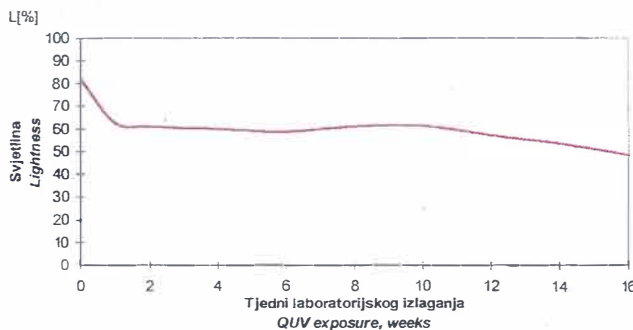
- Change in colour during natural weathering of untreated fir-wood sample. Change of a and b coordinates is presented in enlarged section of CIELAB colour chart.



**Slika 4.**

Promjena boje neobrađenog uzorka jelovine tijekom laboratorijskog izlaganja. Promjena koordinata a i b prikazana je u povećanom isječku CIELAB dijagrama boja.

- Change in colour during accelerated weathering of untreated fir-wood sample. Change of a and b coordinates is presented in enlarged section of CIELAB colour chart.







odgovarajućih parova koordinata dobiti tri razlike:  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ . Ovisno o tome jesu li razlike pozitivne ili negativne, mogu se izvesti sljedeći kvalitativni zaključci.

Razlika	Značenje razlike	
	pozitivne	negativn
$\Delta L^*$	svjetlije	tamnije
$\Delta a$	crvenije	zelenije
$\Delta b^*$	žuće	plavlje

Najveća prednost CIE  $L^*a^*b^*$  sustava jest mogućnost mjerenja ili vizualne procjene jednakih razlika boje u svjetlini, tonu i zasićenosti. Jedinica  $\Delta L^*$  vizualno je jednaka jednoj  $\Delta a^*$  jedinici, a ona je pak jednaka jednoj  $\Delta b^*$  jedinici u cijelom sustavu boja. Ukupna razlika boja  $\Delta E^*_{ab}$  ili ukupna vizualna razlika boja dana je formulom:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta H^*)^2 + (\Delta C^*)^2}$$

$$\Delta H^*_{ab} = \sqrt{(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*_{ab})^2}$$

$$\Delta L^* = L^*_T - L^*_R$$

$$\Delta a^* = a^*_T - a^*_R$$

$$\Delta b^* = b^*_T - b^*_R$$

$$\Delta C^*_{ab} = C^*_{ab,T} - C^*_{ab,R}$$

$\Delta h$  je oznaka za **kutnu razliku u tonu boje** (u stupnjevima). Ova vrijednost pretvorena u metričku vrijednost naziva se **metrička razlika u tonu boje** i ima oznaku  $\Delta H^*$ .

T - testirani uzorak  
R - referentni uzorak

Apsolutni iznos ustanovljenih razlika dopušta sljedeće procjene (Biffi 1985).

Razlika $\Delta E^*_{ab}$	Procjena razlike boje
do 0,2	neprijetna
0,2 - 0,5	vrlo slaba
0,5 - 1,5	slaba
1,5 - 3,0	jasna
3,0 - 6,0	vrlo jasna
6,0 - 12,0	jaka
preko 12,0	vrlo jaka

#### 4. REZULTATI I DISKUSIJA 4. RESULTS AND DISCUSSION

Promjena tona boje i zasićenosti na uzorcima jelovine tijekom prirodnog i laboratorijskog izlaganja grafički je prikazana u CIE  $L^*a^*b^*$  sustavu boja (sl. 2). Na slikama 3. i 4. predočen je dio prvog kvadranta sustava  $L^*a^*b$  u kojemu se nalaze boje mjerenih uzoraka. Svjetlina je predočena posebno tzv. izglađenom krivuljom, u ovisnosti o vremenu izlaganja uzoraka.

Iz slika je vidljivo da se na neobrađenim uzorcima jelovine tijekom prirodnog i laboratorijskog izlaganja smanjuje svjetlina, uzorci tamne. Vrijednosti  $\Delta E$ , koje označavaju ukupnu razliku boja između dva uzorka, upućuju na vrlo jake promjene boje ( $\Delta E > 13$ , sl.5). Promjene boje različite su tijekom prirodnog i laboratorijskog izlaganja. Nakon 1,2, i 3 mjeseca prirodnog izlaganja zasićenost boje se povećava, uzorak postaje crveniji i žući, no nakon tog razdoblja smanjuje se zasićenost boje i vrijednosti a i b prema zelenijemu, a b prema plavljemu. Nakon šest mjeseci izlaganja boja uzorka sve se više približava sivoj (akromatskoj boji).

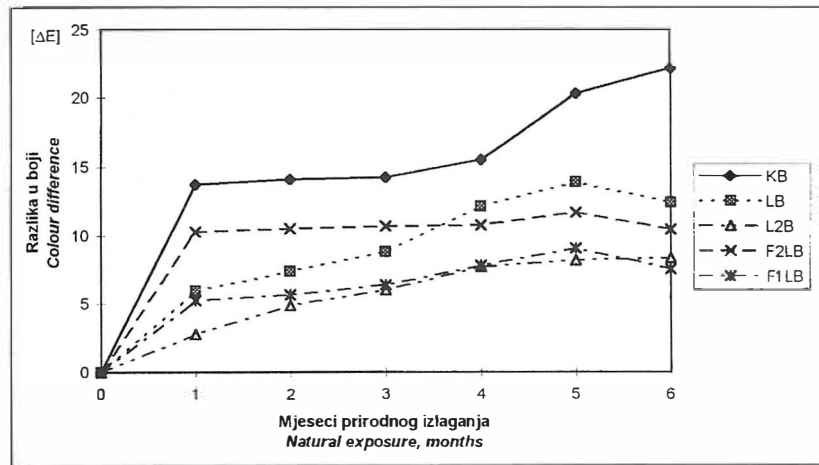
Već nakon tjedan dana izlaganja laboratorijskim utjecajima nastaje vrlo jaka promjena boje jelovine ( $\Delta E > 27$ , sl.6). Boja postaje zasićenija, crvenija i žuća. Nakon laboratorijskog izlaganja uzorak nema sivkastu boju površine kao uzorak nakon prirodnog izlaganja, već tamnosmeđu. Tijekom prirodnog izlaganja osim sunčanog svjetla na površinu djeluju i voda i mikroorganizmi, te različita onečišćenja iz zraka. Sivu boju površine uzorka nakon prirodnog izlaganja vjerojatno je uzrokovala i kiša koja s vremenom ispire smeđaste produkte razgradnje lignina, tako da na površini ostane sivi sloj, koji se sastoji od djelomično razgrađene celuloze. Drugi uzrok mogu biti gljive uzročnici sivljenja, tj. plavetnila, koje se javljaju u vlazi.

Hon i Feist (1986) navode da je gornji sloj vrsta drva izloženih prirodnim vremenskim utjecajima bogat ugljikohidratima (celulozna vlakanca), koji može nejednoliko reflektirati svjetlost i tako prouzročiti varijabilnost svjetline.

Na slikama 5. i 6. prikazana je promjena boje nezaštićene jelovine i jelovine zaštićene transparentnim prevlakama tijekom prirodnog i laboratorijskog izlaganja, a na slikama 7. i 8. promjena boje na uzorcima hrastovine tijekom prirodnog i laboratorijskog izlaganja. Očito je da su promjene boje i nezaštićenih i prevlakama zaštićenih uzoraka jelovine i hrastovine i pri prirodnome i pri laboratorijskom izlaganju

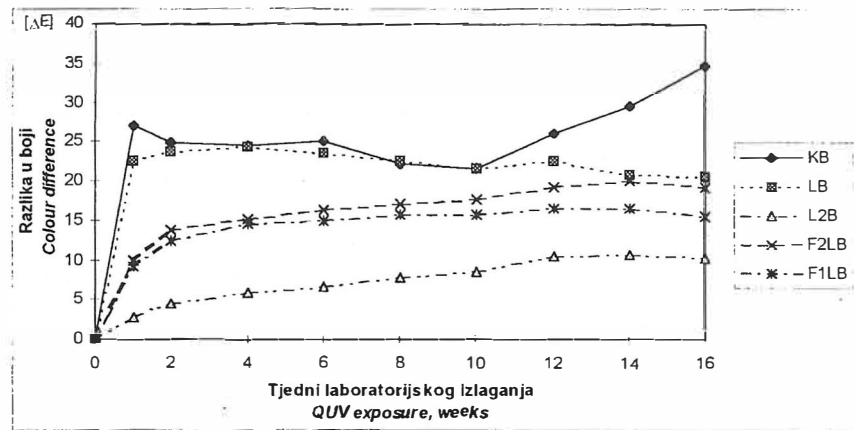
**Slika 5.**

Promjene boja uzorka jelovine tijekom prirodnog izlaganja • Change in colour during natural weathering of fir-wood



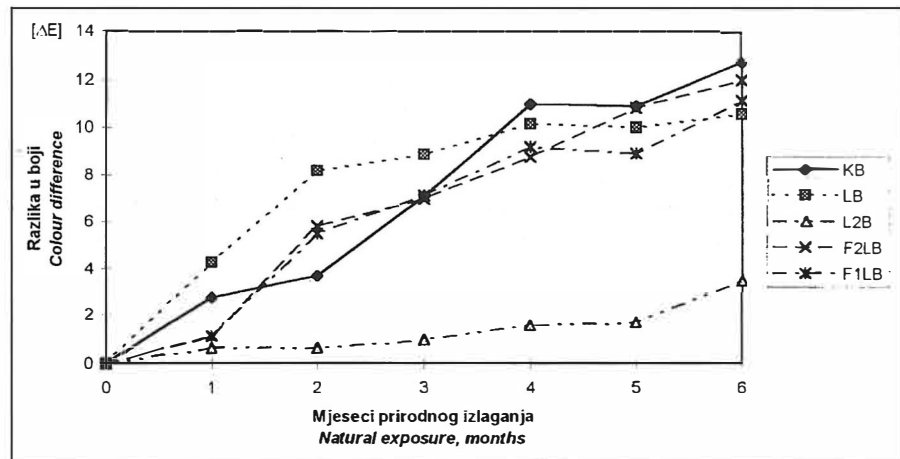
**Slika 6.**

Promjene boja uzorka jelovine tijekom laboratorijskog izlaganja • Change in colour during accelerated weathering of fir-wood



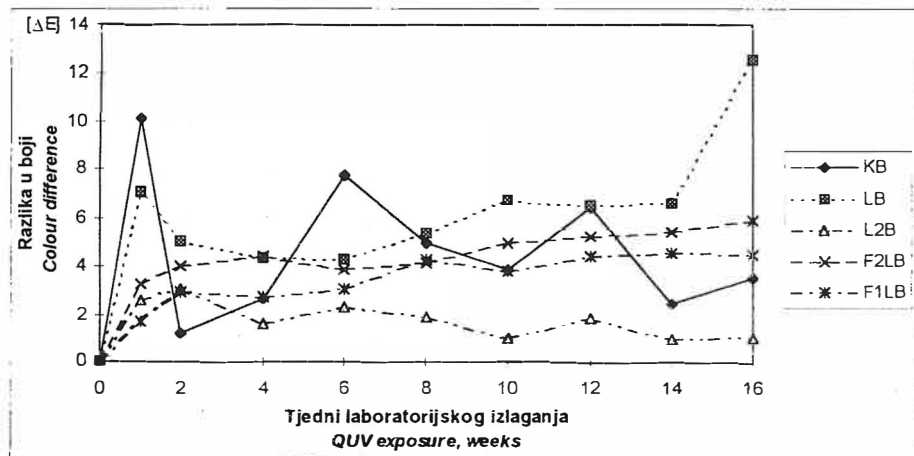
**Slika 7.**

Promjene boja uzorka hrastovine tijekom prirodnog izlaganja • Change in colour during natural weathering of oak-wood



**Slika 8.**

Promjene boja uzorka hrastovine tijekom laboratorijskog izlaganja • Change in colour during accelerated weathering of oak-wood





velike. Ukupna promjena boje ( $\Delta E$ ) manja je na hrastovim nego na jelovim uzorcima. Uzorci jelovine manje mijenjaju boju tijekom prirodnog izlaganja, dok uzorci hrastovine manje mijenjaju boju tijekom laboratorijskog izlaganja. To bismo možda mogli povezati s različitim aktivacijskim spektrima jelovine i hrastovine.

Dobiveni rezultati pokazuju da upotrijebljene transparentne prevlake ne mogu u potpunosti zaštititi drvo za vrijeme izlaganja atmosferskim utjecajima. Upotrijebljeni fotostabilizatori ne pridonose znatnom smanjenju diskoloracije za vrijeme izlaganja, posebice na hrastovim uzorcima. Zaštita polutransparentnom lazurama L2B pokazala je najmanju ukupnu promjenu boje uzoraka u usporedbi s početnom bojom uzoraka prije izlaganja.

## 5. ZAKLJUČAK 5. CONCLUSION

Uzorci jelovine i hrastovine tijekom prirodnog i laboratorijskog izlaganja pokazuju velike razlike u boji s obzirom na boju uzoraka prije izlaganja. Rezultati mjerenja boje tijekom prirodnog izlaganja razlikuju se od rezultata dobivenih mjerenjem tijekom laboratorijskog izlaganja i na osnovi njih ne možemo uspoređivati prirodno izlaganja s izlaganjem u QUV uređaju.

Primijenjene transparentne lazure s različitim stabilizatorima nisu mogle u potpunosti zaštititi drvo od promjene boje. Pokazalo se da je djelotvornost tih lazura u zaštiti drva od svjetlosne razgradnje veća na uzorcima jelovine nego na uzorcima hrastovine tijekom izlaganja.

Zaštita polutransparentnom lazurama rezultirala je najmanjom promjenom boje uzoraka s obzirom na početnu.

## 6. LITERATURA 6. REFERENCES

1. Biffi, M. 1985: Određivanje boje. *Drvna ind.* 36(9-10):217-227.
2. Feist, W.C. 1988: Outdoor wood weathering and protection. In: Rowell, Roger M.; Barbour, R. James, eds. *Archaeological wood: properties, chemistry, and preservation. Advances in Chemistry Series 225. Proceedings of 196th meeting of the American Chemical Society*; 1988 September 25-28.
3. 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 series 207. Proceedings of 185th meeting of the American Chemical Society*; March 20-25 1983, Seattle, Washington, DC. American Chemical Society, Washington. Chapter 11: 401-455.
4. Hon, D.N.-S.; Feist, W.C. (1986): Weathering characteristics of hardwood surfaces. *Wood Sci. Technol.* 20: 169-183.
5. Hon, D.N.-S., Minemura, N. (1991): Color and discoloration. In: *Wood and cellulosic chemistry*, Ed. Hon, Shiraishi, Marcel Dekker. Inc, New York and Basel.
6. Hon, D.N.-S. (1995): Stabilization of wood color: Is acetylation blocking effective? *Wood and Fiber Science*, 27(4):360-367.
7. Horvat, I., Krpan, J. (1967): *Drvno industrijski priručnik, Tehnička knjiga*, Zagreb.
8. Kucera, L., Katuscak, S. (1992): Das Phänomen Holzfarbe, 24. SAH Fortbildungskurs Holz-Farbe-Gestaltung, 4./5. November, Weinfeld.
9. Leary, G.J. (1967): The yellowing of wood by light, *Tappi* 50 (1):17-19.
10. Leary, G.J. (1968): The yellowing of wood by light: Part II., *Tappi* 51(6):257-260.
11. Minemura, N., Umehara, K. (1979): Color improvement of wood (I), Rept. Hokkaido For. Prod. Res. Inst., 68L92.
12. Sandermann, W., Schlumbom, F. (1962a): Photometrische und chromatographische Untersuchungen an Holzmehlen, *Holz Roh Werkstoff* 20(8):245-252.
13. Sandermann, W., Schlumbom, F. (1962 b): Änderung von Farbwert und Farbempfindung an Holzoberflächen. *Holz Roh Werkstoff* 20(8):285-291.