

PREDRAG M. ŽIVKOVIĆ  
PETAR M. JOVANČIĆ  
TIHOMIR R. DABIĆ

Originalni naučni rad  
UDC:535.217-31:676.222/223.004.622=861

## Uticaj UV svetlosti na promene optičkih karakteristika novinskog papira u uslovima ubrzanog starenja

*Ispitan je uticaj UV svetlosti na promenu stepena beline i boje novinskog papira sa velikim sadržajem drvenjače. Utvrđena je zavisnost promene optičkih karakteristika papira od ukupne primljene energije UV zračenja. Utvrđeno je da odstupanja vrednosti optičkih karakteristika uzoraka koji su ubrzano starili u laboratorijskim uslovima, od vrednosti optičkih karakteristika uzoraka koji su starili prirodnim putem, pod dejstvom dnevne svetlosti, na kraju ispitivanja nisu veća od 5%. Na osnovu ovoga, prikazani metod procene promene optičkih karakteristika za ispitivani tip papira može se primeniti u posmatranom intervalu primljene energije UV zračenja po jedinici površine.*

**Ključne reči:** starenje papira, stepen refleksije, belina papira

### 1. UVOD

Papir predstavlja materijal složenog sastava, u kome značajan udeo zauzimaju organske komponente – celuloza i lignin. Celuloza i lignin sa vremenom podležu hemijskim promenama, koje pored ostalog, dovode i do promena optičkih karakteristika papira. Glavni doprinos promeni optičkih karakteristika papira daje UV komponenta svetlosnog zračenja. Za primenu papira u dužem vremenskom periodu veoma je značajno predvideti u kojoj meri će papir promeniti optičke karakteristike, odnosno požuteti pod dejstvom svetlosti kojoj je izložen [1].

Da bi se za kratko vreme došlo do saznanja o stepenu promena optičkih karakteristika papira koje će pretrpeti tokom dugotrajne eksploatacije, uzorke papira treba izložiti višestruko jačem svetlosnom zračenju od onog koji će na papir delovati tokom uobičajene primene. Međutim, potrebno je utvrditi i da li optičke karakteristike uzoraka izloženih uobičajenim svetlosnim uslovima, zavise od primljene energije na isti način kao i optičke karakteristike uzoraka izloženih ubrzanom starenju u laboratorijskim uslovima, ili se između njih može uspostaviti složena korelacija [2].

---

Adresa autora: Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, Karnegijeva 4

### 2. EKSPERIMENTALNI DEO

Ispitivanja su vršena na pravougaonim uzorcima novinskog papira (Matroz, Sremska Mitrovica) sa velikim sadržajem lišćarske drvenjače, dimenzija 75 x 120 mm. Na svakom uzorku označena su po tri merna mesta bez uključaka i defekata, kako bi se merenje vršilo uvek na istom mestu i izbegao uticaj lokalnih promena boje papira na srednje vrednosti merenja.

Polovina uzoraka izložena je dejstvu veštačkog definisanog izvora svetlosti, sa tri paralelno postavljene UV lampe BASF Nyloprint, snage po 40 W, na međusobnom rastojanju od po 15 mm, udaljene od uzoraka 50 mm. Optičke karakteristike određivane su svakog dana, tokom sedam dana koliko je trajao ovaj eksperiment.

Druga polovina uzoraka pripremljena je za izlaganje dnevnoj svetlosti, tako što je pričvršćena na tablu, koja je, zatim, okačena na spoljašnji zid okrenut severnoj strani, da bi se izbegao direktan uticaj sunčevih zraka. Izlaganje uzoraka dnevnoj svetlosti trajalo je 45 pretežno sunčanih dana, tokom septembra i oktobra meseca.

Optičke karakteristike uzoraka određene su početka izlaganja dejstvu svetlosti, a zatim u vremenskim intervalima od po pet do šest dana, pomoću spektrofotometra Spectra Flash SF300 (Data Color International, USA).

U ovom radu praćena je promena optičkih karakteristika papira tokom ubrzanog starenja u laboratoriji i spontanog starenja pod dejstvom dnevne svetlosti. Na osnovu spektrofotometrijskog merenja svakog uzorka, dobijena je kriva spektralne refleksije sa korakom od po 10 nm, na osnovu koje su, softverskom obradom, dobijene vrednosti sledećih optičkih karakteristika papira:

- Stepen refleksije,  $R$ , svetlosti talasne dužine 460 nm sa površine uzorka [3]
- CIE stepen beline, koji se izračunava prema jednačini (1)

$$W_{\text{CIE}} = Y + 800(x_0 - x) + 1700(y_0 - y) \quad (1)$$

gde su  $(x_0, y_0)$  koordinate ahromatske tačke za posmatrani izvor svetlosti, a  $Y$  je stepen svetline uzorka [4a]

Stepen beline po Ganz-Griseru, koji se izračunava prema jednačini (2)

$$W_{\text{GG}} = Y + Px + Qy + C \quad (2)$$

gde su  $P$ ,  $Q$  i  $C$  koeficijenti koji imaju sledeće vrednosti [4b]:

$$P = -1868,322, \quad Q = -3695,690 \\ C = 1809,441$$

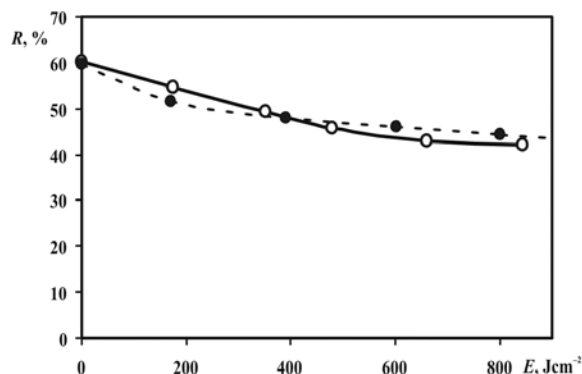
- Koordinate boje papira u CIE Lab bojenom prostoru.
- Odstupanje u boji,  $\Delta E$ , između koordinata boje papira određenih po primanju određene svetlosne energije ( $L, a, b$ ), i koordinata boje papira na početku eksperimenta ( $L_0, a_0, b_0$ ):

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (3)$$

Određivanje primljene energije UV zračenja u oba slučaja izvršeno je na osnovu merenja srednjeg fluksa zračenja pomoću komercijalnog UV-metra New Technology, koji direktno očitava fluks UV zračenja u  $\text{mWm}^{-2}$ . Utvrđeno je da je prosečan fluks energije u laboratorijskim uslovima tokom ovog eksperimenta iznosio  $6,57 \text{ mWm}^{-2}$ , a na mestu izlaganja dnevnoj svetlosti  $0,66 \text{ mWm}^{-2}$ .

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Zavisnost stepena refleksije od primljene energije UV zračenja, za uzorke osvetljavane dnevnom svetlošću i veštačkom svetlošću u laboratorijskim uslovima, prikazane su na slici 1.



Slika 1 – Zavisnost stepena refleksije od primljene energije UV zračenja za uzorke izložene ubrzanom starenju pod dejstvom veštačke svetlosti u laboratorijskim uslovima (isprekidana linija) i uzorke koji su spontano starili pod dejstvom dnevne svetlosti (puna linija)

Sa slike 1 se vidi da se zavisnost stepena refleksije od primljene energije UV zračenja za uzorke osvetljene dnevnom svetlošću u velikoj meri poklapa sa zavisnošću za uzorke izložene za oko 10 puta intenzivnijem UV zračenju u laboratorijskim uslovima, pri čemu maksimalno odstupanje ne prelazi 6%. Ukupnu energiju zračenja od oko  $850 \text{ Jcm}^{-2}$  uzorci izloženi dnevnoj svetlosti primili su za oko 22500 minuta (16 celih dana ili 48 dana uzimajući trajanje obdanice), dok su uzorci osvetljavani u laboratorijskim uslovima, istu energiju primili za skoro 10 puta kraće vreme.

Sa slike 1 se takođe može uočiti da stepen refleksije opada sa porastom primljene energije UV zračenja, ali da bi se utvrdila granična vrednost potrebno je izvesti eksperimente pri većim energijama UV zračenja.

Promene izgleda uzoraka papira koji su do kraja eksperimenta primili ukupnu energiju od oko  $850 \text{ Jcm}^{-2}$  mogu se uočiti golim okom neuvežbanog posmatrača. Postavlja se pitanje minimalne razlike vrednosti optičkih karakteristika papira koja se može uočiti golim okom, i razlike posle koje papir postaje neupotrebljiv, što će biti predmet naknadnog proučavanja.

U tabeli 1 prikazane su promene CIE Lab koordinata uzoraka osvetljivanih dnevnom svetlošću, a u tabeli 2 u laboratorijskim uslovima.

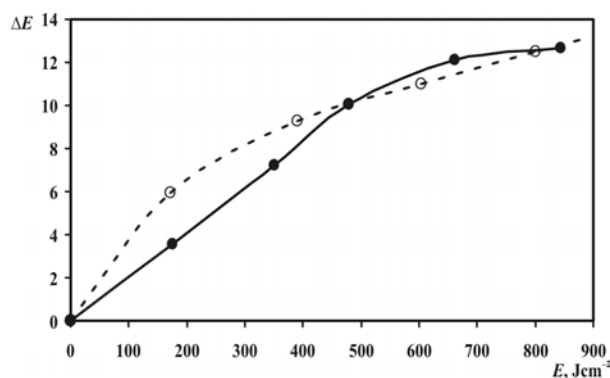
Tabela 1 – Promene CIE Lab koordinata uzoraka osvetljanih dnevnim svetlošću

$t$ , min	0	4620	9240	12600	17400	22200
$E$ , $Jcm^{-2}$	0	175,4	350,9	478,5	660,8	843,2
L	83.97	82.74	81.31	80.41	79.51	79.35
a	-0.30	0.32	0.70	1.07	1.38	1.72
b	4.97	8.38	11.74	14.37	16.21	16.68
$\Delta E$	0	3.8	7.24	10.04	12.11	12.66

Tabela 2 – Promene CIE Lab koordinata uzoraka osvetljanih u laboratorijskim uslovima

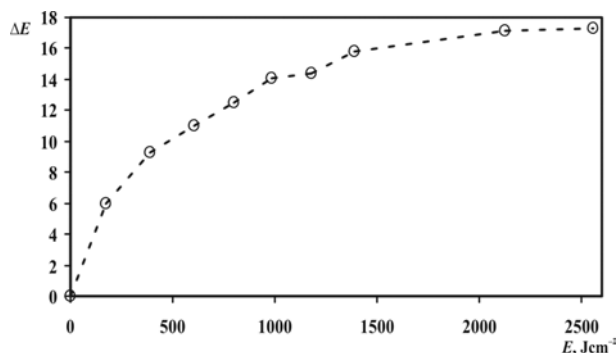
$t$ , min	0	435	990	1530	2030	2475
$E$ , $Jcm^{-2}$	0	171.5	390.3	603.1	800.2	985.7
L	83.95	82.28	81.78	81.55	81.16	80.80
a	-0.22	0.07	0.17	0.34	0.57	0.85
b	5.23	10.96	14.21	15.95	17.40	18.76
$\Delta E$	0	5.97	9.26	11.00	12.52	14.11

Na slici 2 prikazano je odstupanje u boji,  $\Delta E$ , uzoraka papira u zavisnosti od primljene energije UV zračenja. Maksimalno odstupanje  $\Delta E$  uočava se pri nižim vrednostima primljene energije UV zračenja. Sa porastom primljene energije UV zračenja pokazuje se da se uzorci osvetljavani dnevnim svetlošću ponašaju slično uzorcima osvetljavanim u laboratorijskim uslovima. Za vrednosti primljene energije UV zračenja veće od  $500 Jcm^{-2}$  uzorci pokazuju istu tendenciju i praktično se poklapaju. Na osnovu ovoga, laboratorijska ispitivanja intenzivnim UV zračenjem mogu se primeniti za procenu promene boje uzoraka koji će u dužem vremenskom periodu biti izloženi dnevnoj svetlosti.



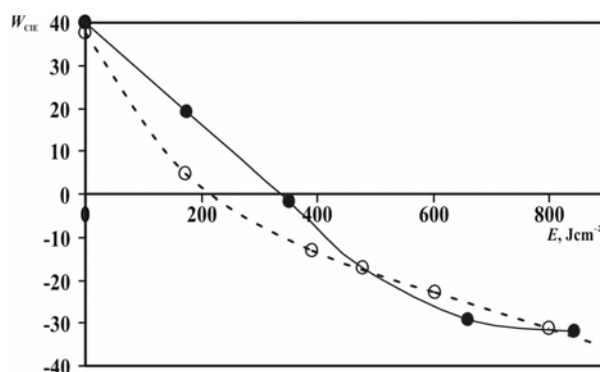
Slika 2 – Zavisnost odstupanja u boji,  $\Delta E$ , od primljene energije UV zračenja za uzorke izložene ubrzanom starenju (isprekidana linija) u laboratorijskim uslovima i uzorke koji su spontano starili pod dejstvom dnevne svetlosti (puna linija)

Takođe, uočava se da se odstupanje u boji papira menja sporije sa povećanjem ukupne primljene energije UV zračenja, i da  $\Delta E$  teži konačnoj vrednosti (slika 3). Za ispitivani papir ukupna promena  $\Delta E$  iznosila je oko 18, a CIE Lab koordinate pomerile su se većim delom ka žutoj, i manjim delom ka crvenoj oblasti, što odgovara i vizuelnom utisku.



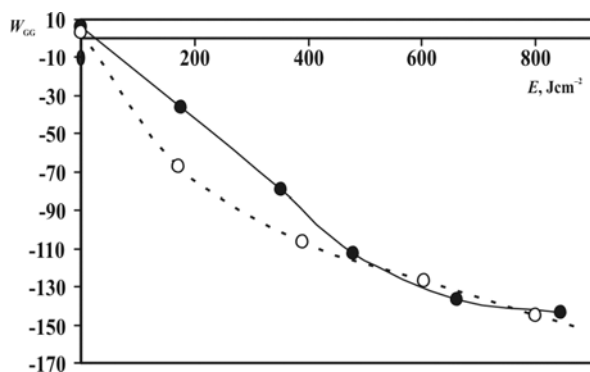
Slika 3 – Zavisnost odstupanja u boji,  $\Delta E$ , od primljene energije UV zračenja za uzorke izložene ubrzanom starenju u laboratorijskim uslovima za veće energije zračenja

Na slici 4 prikazana je promena CIE stepena beline u funkciji primljene energije UV zračenja, za uzorke osvetljavane dnevnim svetlošću i u laboratorijskim uslovima.



Slika 4 – Promena CIE stepena beline u zavisnosti od primljene energije UV za uzorke izložene ubrzanom starenju (isprekidana linija) u laboratorijskim uslovima i uzorke koji su spontano starili pod dejstvom dnevne svetlosti (puna linija)

Na slici 5 prikazana je promena stepena beline po Ganc-Griseru u funkciji primljene energije UV zračenja, za uzorke osvetljavane dnevnim svetlošću i u laboratorijskim uslovima.



Slika 5 –Promena stepena beline po Ganc-Griseru u zavisnosti od primljene energije UV za uzorke izložene ubrzanom starenju (ispredana linija) u laboratorijskim uslovima i uzorke koji su spontano starili pod dejstvom dnevne svetlosti (puna linija)

Stepen beline za uzorke novinskog papira osvetljene dnevnom svetlošću i u laboratorijskim uslovima se menja na isti način i zavisi od primljene energije zračenja. Posle uočljivih razlika u stepenu beline do primljene energije UV zračenja od oko 500 Jcm<sup>-2</sup>, stepen beline uzoraka osvetljivanih dnevnom svetlošću postaje praktično isti kao stepen beline uzoraka osvetljivanih u laboratorijskim uslovima, sa sličnom tendencijom opadanja.

#### 4. ZAKLJUČCI

Na osnovu izvedenih eksperimenata i dobijenih rezultata može se zaključiti sledeće:

- Promene ispitivanih optičkih karakteristika (stepena refleksije, stepena beline CIE, stepena beline po Ganz-Griseru i koordinata boje izražene u CIE Lab bojenom prostoru) novinskog papira sa velikim sadržajem drvenjače, koji će biti izložen prirodnoj svetlosti u dužem vremenskom periodu, mogu se proceniti na osnovu relativno kratkog ispiti-

vanja dejstva višestruko jačeg izvora UV zračenja.

- Koordinate boje uzoraka pomeraju se većim delom ka žutoj, i nešto manje ka crvenoj oblasti u CIE Lab bojenom prostoru, što odgovara vizuelnom utisku.
- Odstupanje u boji,  $\Delta E$ , raste sporije sa povećanjem primljene energije UV zračenja, i teži maksimalnoj vrednosti od oko 18%.
- Stepenn beline po Ganc-Griseru povoljniji je za opisivanje promene od CIE stepena beline daje veću apsolutnu promenu bročanih vrednosti.
- Promene izgleda uzoraka koji su primili ukupnu energiju UV zračenja od oko 850 Jcm<sup>-2</sup> mogu se uočiti i vizuelno, pri čemu je ovako izmenjeni izgled papira još uvek vizuelno prihvatljiv za većinu anketiranih posmatrača. Utvrđivanje granice osetljivosti i maksimalne prihvatljive promene optičkih karakteristika papira biće predmet naknadnog istraživanja.

#### LITERATURA

- [1] Lee, S. B., Bogaard, J., Feller, R. L., *J. Am. Institute for Conservation*, **28** (1989) 1.
- [2] Bond, J. S., Atalla, R. H., Agarwall U. P., Hunt C. G., The aging of Lignin Rich papers upon Exposure to Light: Its Quantification and Prediction, *10th international symposium on wood and pulping chemistry*, TAPPI Press, Volume III, 500-504.
- [3] JUS H.N8.129
- [4] Puebla, C., **Whitness Assesments: A Primer**, Axiphos GmbH, Germany, 2003, a) p. 30; b) p. 29

#### SUMMARY

##### AN INFLUENCE OF UV LIGHT ON THE OPTICAL CHARACTERISTICS OF NEWSPRINTING PAPER DURING ACCELERATED AGEING

*An influence of UV light on reflectance values, whiteness degree and colour of the newsprinting paper containing grea amount of mechanical pulp was investigated. The dependance of the optical characteristics of the paper on total absorbed energy of UV ligh was also determined. It is shown that difference between optical characteristics of spontaneously day light aged paper and samples aged in the laboratory conditions, are less than 6%. Consequently, the proposed method for evaluation of the optical characteristics of newsprinting paper could be applied.*

**Key words:** paper ageing, reflectance values, paper whiteness degree