

# UPOTREBA MORSKE VODE ZA BOJENJE VUNE REAKTIVNIM BOJAMA

Nebojša Ristić<sup>1\*</sup>, Aleksandra Mičić<sup>1,a</sup>, Ivanka Ristić<sup>1,b</sup>,  
Dragana Marković Nikolić<sup>1,c</sup>, Aleksandar Zdravković<sup>1,d</sup>

<sup>1</sup> Akademija strukovnih studija Južna Srbija,

Odsek za tehnološko umetničke studije, Vilema Pušmana 17, Leskovac

<sup>a</sup> (<https://orcid.org/0009-0005-4882-3086>)

<sup>b</sup> (<https://orcid.org/0009-0003-2838-8713>)

<sup>c</sup> (<https://orcid.org/0000-0003-3171-9838>)

<sup>d</sup> (<https://orcid.org/0000-0001-9906-3543>)

\* e-mail: nr667288@gmail.com, ORCID ID (<https://orcid.org/0009-0004-9941-471X>)

Professional paper

UDC: 677.31:677.027.4

DOI: 10.5937/tekstind2501026R



**Apstrakt:** Velika potrošnja vode i hemikalija u bojenju tekstila uslovljava razvoj i promociju alternativnih postupaka koji su ekološki bezbedni i održivi. Slatka voda je sve više nedostajući prirodni resurs i njena eventualna supstitucija morskom vodom bilo bi održivo tehnološko rešenje sa aspekta ekologije. U ovom radu izvršeno je bojenje vunene tkanine reaktivnim Lanazol i Drimalan F bojama u simuliranoj i pravoj morskoj vodi i rezultati su upoređeni sa rezultatima bojenja u destilovanoj vodi. U kupatila za bojenje sa simuliranom morskom vodom i pravom morskom vodom nije dodavan natrijum sulfat. Uzorci bojeni u morskoj vodi imaju intenzivnija obojenja, dobru ravnomernost i odlične postojanosti na pranje u poređenju sa konvencionalnim procesom.

**Ključne reči:** Vuna, Reaktivne boje, Morska voda, Intenzitet obojenja.

## USE OF SEA WATER FOR DYEING WOOL WITH REACTIVE DYES

**Abstract:** The high consumption of water and chemicals in textile dyeing conditions the development and promotion of alternative procedures that are environmentally safe and sustainable. Fresh water is an increasingly scarce natural resource, and its possible substitution with sea water would be a sustainable technological solution from the point of view of ecology. In this work, woolen fabric was dyed with reactive Lanazol and Drimalan F dyes in simulated and real seawater and the results were compared with the results of dyeing in distilled water. No sodium sulfate was added to the simulated seawater and real seawater dye baths. Samples dyed in seawater have more intense colors, good uniformity and excellent fastness to washing compared to the conventional process.

**Key words:** Wool, Reactive dyes, Sea water, Color intensity.

### 1. UVOD

Tekstilna industrija je sektor koji u celom lancu proizvodnje potpuno zavisi od vode, tj. nema proizvodnje tekstila bez upotrebe vode. Voda pokriva oko 71 odsto površine naše planete, ali samo 3,5% svih voda na Zemlji je slatka voda i najveći deo je zamrznut u polarnim ledenim pokrivačima. Podzemne vode čine 31% ukupno slatke vode, koja nije lako dostupna. Najpristupačniji oblik slatke vode nalazi se u jezerima, rekama i akumulacijama i on obuhvata

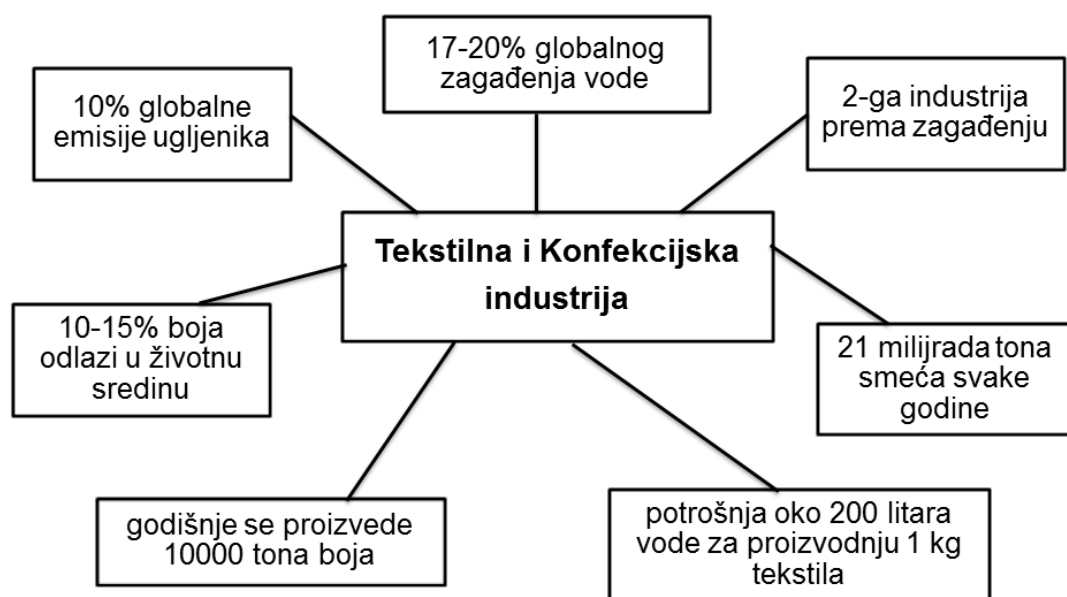
samo 0,3% ukupnog resursa slatkih voda [1]. Globalno, oko 70% slatke vode koristi se za navodnjavanje u poljoprivredi i oko 22% u industriji. Tekstilna industrija troši 75% industrijske vode [2]. Danas na planeti živi 2,3 milijarde ljudi sa nedostatkom pijaće vode, od kojih 733 miliona živi u oblastima koje nemaju vodu za piće iz tzv. "unapređenih" izvorišta (izvorišta zaštićenih od kontaminacije) [3]. Procenjuje se da u svetu dnevno umre oko 4000 ljudi od bolesti koje su izazvane konzumiranjem zagađene vode [4]. Iz tih razloga

neophodno je u svim sektorima preduzeti sveobuhvatne mere za zaštitu slatkovodnih resursa u sklopu održivog razvoja, što se posebno odnosi na tekstilnu industriju. Tekstilna industrija koristi ogromnu količinu vode i hemikalija u svim prerađivačkim fazama, ali ubedljivo najveća potrošnja vode (85%) i hemikalija (65%) je u procesima hemijske dorade tekstila. Količina vode koji se koristi za proizvodnju jednog kilograma tekstilnog proizvoda može biti u rasponu od 95 do 400 litara. Studija sprovedena za tursku tekstilnu industriju pokazala je da se koristi između 20 i 230 m<sup>3</sup> vode za proizvodnju 1 tone tekstilnih tkanina [5]. Tokom mokre obrade i završnog pranja i ispiranja nastaju kontaminirane otpadne vode opterećene nefiksiranim bojama, solima, raznim pomoćnim sredstvima, obično na bazi tenzida, izbeljivačima, alkalijama i ponekad kancerogenim teškim metalima [6]. Bojenje tekstila je dinamični proces sa mnogo varijabilnih hemijskih i tehničko-tehnoloških parametara. Kod konvencionalnog bojenja 1 tona tkanina može dovesti do zagađenja 200 tona vode. Proces bojenja i dorade su odgovorni za 17-20% svetskog zagađenja vode. U otpadnoj vodi iz bojačnice tekstila identifikovane su 72 toksične materije, od kojih se 30 ne mogu ukloniti [7-9]. Soli čine blizu 50% zagađenja i najviše doprinose visokim vrednostima za ukupno rastvorene čvrste materije (TDS), bihemijskoj potrošnji kiseonika (BPK) i hemijskoj potrošnji kiseonika (HPK). Različiti preteći problemi po životnu sredinu izazvani tekstilnom i odevnom industrijom prikazani su na slici 1 [10].

Voda se smatra univerzalnim rastvaračem i univerzalnim sredstvom za bojenje. Uloga vode u bojenju tekstilnog materijala je mnogostruka i mani-

festuje se uticajem na stanje boje u rastvoru, pojave na kontaktnim površinama kao i na zapreminska svojstva vlakna, što ima ozbiljan uticaj na bojenje i druge hemijske obrade. Voda je uspešan plastifikator vunenog vlakna, jer smanjuje njegovu temperaturu ostakljivanja. Apsorbovana voda u vuni pretežno se nalazi u vezanom obliku (nesmrzavajuća voda), a upravo taj oblik prouzrokuje smanjenje temperature ostakljivanja tako da u vuni joni boje penetriju pretežno po modelu slobodne zapremine [11]. Morska voda je rastvor sastavljen od jedne faze koju čine dve komponente, čista voda i skup rastvorenih soli, čija količina se izražava salinitetom (grama soli/ kg vode). Glavni joni prisutni u morskoj vodi su hlorid (Cl<sup>-</sup>), natrijum (Na<sup>+</sup>), sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), magnezijum (Mg<sup>2+</sup>), kalcijum (Ca<sup>2+</sup>) i kalijum (K<sup>+</sup>) [12,13]. U proseku, morska voda ima salinitet od oko 3,5% (35 g/dm<sup>3</sup>) [14]. Morska voda bi mogla biti iskorišćena kao alternativni izvor vode u hemijskoj doradi tekstila kako bi se uštedela velika količina slatke vode.

Vuneno vlakno je najkompleksnije od svih tekstilnih vlakana. Vuna je heterogeni polimer sastavljen od različitih amfoternih proteina, odgovornih za različita fizička i hemijska svojstva različitih delova vlakna. Konformacija makromolekula vune u obliku  $\alpha$ -spirale čini vlakno izuzetno elastičnim. Vunena vlakna se reverzibilno izdužuju do 50% kada su mokra i do 30% u suvom stanju. Fleksibilnost vunenog vlakna čini ga izdržljivim tako da se može savijati više od 20000 puta bez loma, u poređenju sa oko 3000 puta za pamuk i 2000 puta za svilu [15]. Vunene tkanine su veoma cenjene od strane potrošača zbog svojih odličnih osobina udobnosti tokom nošenja. Pored estetskog kom-



**Slika 1:** Različiti problemi izazvani tekstilnom i odevnom industrijom

fora vunena odeća pruža i termo-fiziološki komfor. Vuna se može smatrati "aktivnim" vlaknom i "regulatorom" temperature jer vuna može da upije vodenu paru do 35,3% sopstvene težine bez osećaja vlage i lepljivosti (pamuk 22,6%, PA66 8,8%) [16]. Vuna uvek upija vlagu iz atmosfere veće vlažnosti i ispušta je u suvo okruženje, tako da može zaštititi telo u hladnim i toplim uslovima. Kako vlažnost vune raste povećava se temperatura vlakna, a oslobađanje vlage iz vlakna smanjuje njegovu temperaturu [17].

U tehnološkim procesima oplemenjivanja vune bojenje ima veliki značaj, jer se 96% proizvoda od vune boji [18]. Asortiman reaktivnih boja za vunu obuhvata nekoliko komercijalnih maraka kojima se postižu briljantni i postojani tonovi, i ove boje su pogodne za bojenje vune koja se može mašinski prati [19, 20]. Lanazol boje (Ciba-Geigy, Švajcarska) imaju  $\alpha$ -bromakrilamidnu funkcionalnu grupu koja sa vunom uspostavlja kovalentnu vezu u više stupnjeva adicije i supstitucije. Ovim visoko reaktivnim bojama dobijaju se obojenja visoke postojanosti na mokre obrade i svetlost. Neke Lanazol boje imaju dve funkcionalne grupe. Drimalan F boje (Clariant, Švajcarska) odlikuju se visokim mokrim postojanostima, visokim stepenom fiksiranja, otpornošću na hidrolizu i brzim bojenjem vune obrađene protiv filcanja. Ove boje imaju 2,4-difluor 5-hlor pirimidin reaktivnu grupu koja sa funkcionalnim grupama vune reaguje mehanizmom bimolekulske nukleofilne supstitucije ( $S_N2$  mehanizam). U najnovijem radu grupa autora proučavala je ekološki prihvatljivo bojenje mešavine vune i pamuka reaktivnom bojom [21]. Svrha rada je bila upotreba biorazgradljivih organskih soli (tetra natrijumova so - EDTA i trinatrijum citrat) umesto neorganskih soli (Glauberova so i  $Na_2CO_3$ ), koji su glavni zagađivači otpadnih voda u reaktivnom bojenju. Na osnovu postignutog intenziteta boje na uzorcima mešovito g sastava kao i ekoloških parametara (BPK i HPK) autori su zaključili da su primenjene organske soli u koncentraciji već od  $40 \text{ g/dm}^3$  bolja i sigurnija opcija u odnosu na primenu neorganskih soli. U nedavno objavljenom radu grupa autora istraživala je morsku vodu kao procesni medijum za bojenje vune Lanazol i Remazol reaktivnim bojama [22]. Uporedni kvalitet bojenja vune reaktivnim bojama u destilovanoj vodi, simuliranoj morskoj vodi i pravoj morskoj vodi procenjen je u smislu intenziteta obojenja i performansi postojanosti. Za primenjeni asortiman boja i koncentracije boja 0,5, 1 i 2% bojenjem u morskoj vodi postignuta je dubina obojenja koja je komercijalno prihvatljiva, tj. može se uporediti sa postignutim obojenjem u destilovanoj vodi.

U ovom radu ispitana je mogućnost upotrebe morske vode kao procesne sredine za bojenje vune

reaktivnim bojama. Procena upotrebljivosti morske vode kao pogodne sredine za bojenje izvršena je na osnovu uporednog kvaliteta obojenja vune u destilovanoj vodi, simuliranoj morskoj vodi i pravoj morskoj vodi u smislu iscrpljivanja boja i intenziteta obojenja na materijalu. Za bojenje su korišćene komercijalne reaktivne boje marke Lanazol i Drimalan F.

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

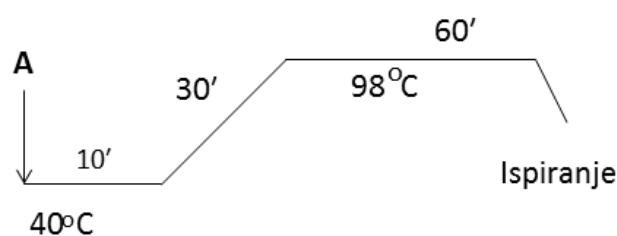
### 2.1. Materijal i metode rada

Za bojenje korišćena vunena tkanina (100% vuna) površinske mase  $208 \text{ g/m}^2$ , koja ima stepen beline po Stensbiju 51,5 i industrijski je pripremljena za bojenje. Masa uzoraka za bojenje iznosila je 3 g, a zapremina kupatila  $180 \text{ cm}^3$ .

U radu su korišćene hemikalije:

- Lanazol red G, bifunkcionalna reaktivna boja (C.I. Reactive Red 83), Lanazol yellow 4G, monofunkcionalna reaktivna boja (Ciba Geigy – Švajcarska),
- Drimalan yellow F-3GL (C.I. Reactive Yellow 69), monofunkcionalna reaktivna boja, Drimalan blue F-2GL (C.I. Reactive Blue 94), monofunkcionalna reaktivna boja (Clariant–Švajcarska),
- Albegal B – sredstvo za egalizaciju,
- $Na_2SO_4$  – sredstvo za povećanje iscrpljenja boja,
- $CH_3COOH$  – sredstvo za regulaciju pH rastvora.

Bojenje je izvedeno u Ahiba aparatu (TYP G7B) u staklenim kivetama sa vertikalnim pokretanjem materijala. Koncentracija boje iznosila je 0,6% i 2% na masu materijala. Bojenje metodom iscrpljenja izvedeno je prema profilu bojenja prikazanom na slici 2.



A – boja, hemikalije

**Slika 2.** Profil bojenja vune reaktivnim bojama

Bojenje je izvedeno u destilovanoj (DV), simuliranoj morskoj vodi (SMV) i pravoj morskoj vodi (PMV – Egejsko more). Prava morska voda upotrebljena je bez predhodne obrade. Sastav simulirane morske, prikazan u tabeli 1, pripremljen je prema literaturi [22].

**Tabela 1:** Sastav simulirane morske vode

| So                                   | Koncentracija, g/dm <sup>3</sup> | Molarnost, M |
|--------------------------------------|----------------------------------|--------------|
| NaCl                                 | 24,72                            | 0,425        |
| KCl                                  | 0,67                             | 0,009        |
| CaCl <sub>2</sub>                    | 1,03                             | 0,0093       |
| MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O | 6,29                             | 0,0255       |
| MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O | 4,66                             | 0,023        |
| NaHCO <sub>3</sub>                   | 0,18                             | 0,002        |

Pored boje, kupatilo za bojenje je sadržalo sredstvo za egalizovanje 1% Albegal B, a pH kupatila 5,5 podešen je dodavanjem sirćetne kiseline. Natrijum sulfat u koncentraciji od 10% dodavan je u kupatilo sa 0,6% boje kod upotrebe destilovane vode. Kupatila za bojenje sa simuliranom morskom vodom i pravom morskom vodom nisu sadržala natrijum sulfat.

Na refleksionom spektrofotometru Spectraflash SF600X (Datacolor – SAD) izmerena je refleksija uzorka na talasnim dužinama 400 – 700 nm i određene su CIELab koordinate boja. Na osnovu vrednosti refleksije na talasnoj dužini maksimalne adsorpcije za svaki uzorak izračunat je intenzitet obojenja ( $K/S$ ) prema Kubelka-Munk jednačini:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2R} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Gde je:  $K$  – koeficijent apsorpcije,  $S$  – koeficijent rasipanja,  $R$  – refleksija za svetlost D65/10. Talasne dužine maksimuma apsorpcije boja imaju sledeće vrednosti: Lanazol red G, 530 nm; Lanazol yellow 4G, 440 nm; Drimalan yellow F-3GL, 440 nm i Drimalan blue F-2GL, 630 nm.

Upotrebom kolorimetra CO7500 (WPA – Engleska) merena je apsorbancija rastvora, na talasnoj dužini maksimalne apsorpcije, na početku i na kraju bojenja. Upotrebom jednačine 2 određen je procenat iscrpljenja boje ( $E$ ):

$$\%E = \left[ \frac{(A_o - A_1)}{A_o} \right] \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$A_o$  – apsorbancija rastvora na početku bojenja

$A_1$  – apsorbancija rastvora na kraju bojenja.

Procenat povećanja intenziteta obojenja ( $I$ ) na uzorcima bojenim u morskoj vodi ( $_{MV}$ ) u odnosu na intenzitet obojenja uzoraka bojenim u destilovanoj vodi ( $_{DV}$ ) izračunat je pomoću jednačine 3:

$$I = \frac{(K/S)_{MV} - (K/S)_{DV}}{(K/S)_{DV}} \cdot 100[\%] \quad \dots\dots\dots (3)$$

Ravnomernost obojenja  $\sigma(\lambda)$  izračunata je merenjem  $K/S$  vrednosti 20 nasumičnih tačaka na talasnoj dužini maksimuma apsorpcije  $\lambda$  i korišćenjem jednačina 4 i 5 [23]:

$$\sigma(\lambda) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(K/S)_{i,\lambda} - (\overline{K/S})_{\lambda}]^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$(\overline{K/S})_{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (K/S)_{i,\lambda} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Gde je  $\sigma(\lambda)$  standardna devijacija svake  $K/S$  vrednosti nasumičnih tačaka sa  $(K/S)_{\lambda}$ ,  $\lambda$  je talasna dužina maksimuma apsorpcije reaktivnih boja,  $n$  broj testiranih tačaka, i  $(K/S)_{i,\lambda}$  je  $K/S$  vrednost svake nasumične tačke.

Ravnomernost obojenja izražena pomoću  $\sigma(\lambda)$  poboljšava se ukoliko opada vrednost  $\sigma(\lambda)$ .

Na obojenim uzorcima određena je postojanost na pranje na 40 °C primenom standarda ISO 105-C10 :2006 [24].

## 2.2. Rezultati i diskusija

### 2.2.1. CIELab coordinate

CIELAB sistem je najvažniji sistem za objektivno vrednovanje boja u kome se obojenost uzoraka opisuje koordinatama. U tabeli 2 (Lanasol boje) i tabeli 3 (Drimalan F boje) date su vrednosti koordinata boja u zavisnosti od koncentracije boje u kupatilu i vrste vode. Vrednosti za svetlinu  $L^*$ , uzoraka obojenih sa Lanazol red G, imaju veće vrednosti na uzorcima bojenim sa 0,6% boje, dok je hromatičnost  $C^*$  veća na uzorcima bojenim sa 2% boje. Kada se uporede vrednosti koordinata boja uzorka bojenog u morskoj vodi sa uzorcima bojenim u destilovanoj vodi, vrednost svetline boje  $L^*$  je za 15% manja, za obe dubine obojenja. Hromatičnost boje  $C^*$  uzoraka bojenih u morskoj vodi veća je za svetliji ton do 40% i tamniji ton do 9%. Upadljivo je značajno povećanje koordinate  $(+a^*)$ , naročito za svetliji ton, tj. udeo čiste crvene boje u tonu obojenja dobijenog bojenjem u simuliranoj i pravoj morskoj vodi. Uzorci bojeni sa Lanazol yellow 4G imaju značano veću svetlinu u odnosu na uzorke bojene crvenom bojom, jer žuta boja ima najveću svetlinu u spektru hromatskih boja. Uzorci bojeni u morskoj vodi imaju manje vrednosti svetline boje  $L^*$ , i to za svetliji

ton do 9% i tamniji ton do 6%, u odnosu na uzorak bojen u destilovanoj vodi. I vrednosti za hromatičnost  $C^*$  na uzorcima bojenim u morskoj vodi variraju do 5% u odnosu na uzorak bojen u destilovanoj vodi, što ukazuje da promene u obojenju uzoraka vunene tkanine nisu značajno velike kao kod predhodne boje.

Iz prikazanih rezultata u tabeli 3 za obojenja postignuta primenom Drimalan F reaktivnih boja zapaža se da uzorci obojeni sa Drimalan yellow F-3GL imaju, za iste uslove bojenja, preko 50% veću svetlinu  $L^*$  i više od 2,5 puta veće hromatičnost  $C^*$  u odnosu na vrednosti za uzorke obojene sa Drimalan blue F-2GL. Sva obojenja u morskoj vodi imaju redovno manje vrednosti svetline  $L^*$  u odnosu na korespondentne uzorke bojene

u destilovanoj vodi. Kolebanja vrednosti hromatičnosti  $C^*$  bila su maksimalno 14% za Drimalan yellow F-3GL i 10% za uzorke bojene sa Drimalan blue F-2GL. Na uzorcima bojenim Drimalan yellow F-3GL uočljivo je smanjenje vrednosti koordinate ( $-a^*$ ), što ukazuje da u vizuelnom doživljaju tona boje smanjuje udeo zelene boje. Udeo plave boje ( $-b^*$ ) u vizuelnom doživljaju obojenja uzoraka dobijenog sa 0,6% Drimalan blue F-2GL se smanjuje a dobijenog sa 2% se povećava, kada se destilovana voda zameni morskom vodom. Istovremeno, za obe serije uzoraka bojenih plavom bojom udeo zelene boje ( $-a^*$ ) je približno isti. Opisane promene u koordinatama boja su rezultat različitog iscrpljenja boje iz kupatila za bojenje kao posledica kvaliteta upotrebljene vode.

**Tabela 2:** Koordinate boje vunениh tkanina obojenih Lanasol bojama

| Boja (%)                     | Koordinate boja prema CIEL-ab sistemu |       |       |       |       |
|------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                              | $L^*$                                 | $a^*$ | $b^*$ | $C^*$ | h     |
| 0,6% Lanasol red G (DV)      | 57,27                                 | 33,94 | 6,82  | 34,62 | 11,4  |
| 0,6% Lanasol red G (SMV)     | 48,30                                 | 41,34 | 5,37  | 41,68 | 7,4   |
| 0,6% Lanasol red G (PMV)     | 48,77                                 | 48,09 | 7,34  | 48,64 | 8,68  |
| 2% Lanasol red G (DV)        | 45,17                                 | 48,71 | 6,66  | 49,16 | 7,79  |
| 2% Lanasol red G (SMV)       | 37,63                                 | 50,19 | 8,94  | 50,98 | 10,1  |
| 2% Lanasol red G (PMV)       | 38,30                                 | 52,43 | 10,50 | 53,47 | 11,32 |
| 0,6% Lanasol yellow 4G (DV)  | 77,33                                 | -5,65 | 57,54 | 57,81 | 95,6  |
| 0,6% Lanasol yellow 4G (SMV) | 71,00                                 | -4,11 | 53,65 | 53,81 | 94,4  |
| 0,6% Lanasol yellow 4G (PMV) | 75,36                                 | -1,20 | 60,32 | 60,33 | 91,1  |
| 2% Lanasol yellow 4G (DV)    | 76,10                                 | -1,30 | 81,67 | 81,68 | 90,9  |
| 2% Lanasol yellow 4G (SMV)   | 71,46                                 | -0,90 | 75,33 | 75,34 | 90,7  |
| 2% Lanasol yellow 4G (PMV)   | 74,40                                 | -1,03 | 80,31 | 80,31 | 89,27 |

**Tabela 3:** Koordinate boje vunениh tkanina obojenih Drimalan F bojama

| Boja (%)                         | Koordinate boja prema CIEL-ab sistemu |        |        |       |      |
|----------------------------------|---------------------------------------|--------|--------|-------|------|
|                                  | $L^*$                                 | $a^*$  | $b^*$  | $C^*$ | h    |
| 0,6% Drimalan yellow F-3GL (DV)  | 75,07                                 | -3,80  | 61,96  | 62,08 | 93,5 |
| 0,6% Drimalan yellow F-3GL (SMV) | 69,72                                 | -2,76  | 55,28  | 53,55 | 92,9 |
| 0,6% Drimalan yellow F-3GL (PMV) | 75,04                                 | -0,27  | 63,64  | 63,64 | 90,2 |
| 2% Drimalan yellow F-3GL (DV)    | 73,58                                 | 0,06   | 79,82  | 79,82 | 90,0 |
| 2% Drimalan yellow F-3GL (SMV)   | 70,52                                 | 0,91   | 76,34  | 76,35 | 89,3 |
| 2% Drimalan yellow F-3GL (PMV)   | 73,09                                 | 2,74   | 78,71  | 78,76 | 88,0 |
| 0,6% Drimalan blue F-2GL (DV)    | 54,48                                 | -15,64 | -16,67 | 22,86 | 227  |
| 0,6% Drimalan blue F-2GL (SMV)   | 52,54                                 | -16,14 | -14,22 | 21,51 | 221  |
| 0,6% Drimalan blue F-2GL (PMV)   | 53,73                                 | -16,78 | -14,69 | 22,30 | 221  |
| 2% Drimalan blue F-2GL (DV)      | 39,90                                 | -15,08 | -22,78 | 27,32 | 236  |
| 2% Drimalan blue F-2GL (SMV)     | 38,83                                 | -14,11 | -26,48 | 30,00 | 242  |
| 2% Drimalan blue F-2GL (PMV)     | 39,37                                 | -14,88 | -25,14 | 29,22 | 250  |

### 2.2.2. Iscrpljenje boja i intenzitet obojenja

Procenat iscrpljenja Lanasol boja iz kupatila i intenzitet obojenja uzoraka bojenih ovim bojama prikazani su u tabeli 4. Iz tabelarnih prikaza zapažaju se veće iscrpljenje reaktivnih boja na uzorcima vunene tkanine koji su bojeni u morskoj vodi u odnosu na sistem sa destilovanom vodom. Najveće povećanje iscrpljenja registrovano je u kupatilu sa bifunkcionalnom reaktivnom bojom Lanasol red G (tab. 4). Bojenjem ovom bojom u pravoj morskoj vodi u svetloj nijansi iscrpljenje boje je veće za 32%, a simuliranoj morskoj vodi za 27%, dok je u tamnoj nijansi iscrpljenje veće za 18% i 16%, respektivno. Trend povećnog iscrpljenja u pravoj i simuliranoj morskoj vodi registrovan je i za boju Lanasol yellow 4G, ali u značajno manjem iznosu. Upadljiva razlika u iscrpljenju Lanasol boja verovatno je posledica razlike u funkcionalnosti i veličini molekula boje, tj. bifunkcionalna crvena boja ima veću supstantivnost za vuneno vlakno. Kod bojenja vune dodaje se  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  koja ima ulogu da poveća iscrpljenje boje i značaj dodate soli je veći u razblaženim rastvorima, tj. pri bojenju u svetlim tonovima. Uprkos tome što je so izostavljena u kupatilu za bojenje sa simuliranim i pravom morskom vodom, značajno povećanje iscrpljenosti primenjenih Lanasol reaktivnih boja održava uticaj prisutnih soli u morskoj vodi na afineitet boja. Značajan porast iscrpljenja Lanasol red G bojenjem u kupatilu sa simuliranom i pravom morskom vodom dovelo do dramatične razlike u intenzitetu obojenja uzoraka vune, precizno izmerenih refleksijskim spektrofotometrom. Uzorci vunene tkanine bojeni ovom bojom u pravoj morskoj vodi imaju 157% i 115% veći intenzitet, za svetli i tamni ton, u poređenju sa intenzitetom obojenja uzoraka bojenih u kupatilu sa destilovanom vodom. Za uzorke bojene sa Lanasol yellow 4G upotreba prave morske vode ili simulirane morske vode povećava intezitet od 2 do 28%, u odnosu na kupatilo sa destilovanom vodom.

U tabeli 5 su rezultati za iscrpljenje Drimalan F boja i intenzitet obojenja uzoraka u zavisnosti od vrste vode i koncentracije boje. Iscrpljenje reaktivnih boja iz kupatila sa morskom vodom veće je u poređenju sa odgovarajućim sistemom sa destilovanom vodom. Takođe, uzorci bojeni u simuliranoj morskoj vodi i pravoj morskoj vodi imaju veći intenzitet obojenja u odnosu na uzorke bojene u destilovanoj vodi. Povećanje iscrpljenja boja, za celokupni asortiman bojenja, bio je u rasponu 2-9%, i komercijalno je prihvatljiv. Treba imati u vidu da ista razlika u iscrpljenju boja može proizrokovati različite razlike u intenzitetu obojenja, jer različite boje imaju različitu izdašnost. Precizna spektrofotometrijska merenja pokazuju da se bojenjem u

pravoj morskoj vodi postižu veći intenziteti obojenja za 4 i 6% za Drimalan yellow F-3GL i 6 i 3% Drimalan blue F-2GL za svetli i tamni ton, respektivno. Može se konstatovati da prisutne soli u simuliranoj i pravoj morskoj vodi imaju pozitivan uticaj na iscrpljenje reaktivnih boja na vuni, jer povećavaju hemijski potencijal boja u rastvoru. Povećanje afiniteta boja za vuneno vlakno zavisi od reaktivnosti i strukture svake reaktivne boje.

**Tabela 4:** Iscrpljenje Lanasol boja i intenzitet obojenja uzoraka

| Boja (%)                     | E (%) | K/S   | I (%) |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| 0,6% Lanasol red G (DV)      | 58    | 2,36  | -     |
| 0,6% Lanasol red G (SMV)     | 85    | 5,25  | 122   |
| 0,6% Lanasol red G (PMV)     | 90    | 6,06  | 157   |
| 2% Lanasol red G (DV)        | 72    | 8,20  | -     |
| 2% Lanasol red G (SMV)       | 88    | 17,20 | 110   |
| 2% Lanasol red G (PMV)       | 90    | 17,67 | 115   |
| 0,6% Lanasol yellow 4G (DV)  | 60    | 4,82  | -     |
| 0,6% Lanasol yellow 4G (SMV) | 74    | 6,15  | 28    |
| 0,6% Lanasol yellow 4G (PMV) | 71    | 6,05  | 26    |
| 2% Lanasol yellow 4G (DV)    | 61    | 18,17 | -     |
| 2% Lanasol yellow 4G (SMV)   | 64    | 18,47 | 2     |
| 2% Lanasol yellow 4G (PMV)   | 67    | 18,93 | 4     |

**Tabela 5:** Iscrpljenje Drimalan F boja i intenzitet obojenja uzoraka

| Boja (%)                         | E (%) | K/S   | I (%) |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| 0,6% Drimalan yellow F-3GL (DV)  | 79    | 6,22  | -     |
| 0,6% Drimalan yellow F-3GL (SMV) | 82    | 6,53  | 5     |
| 0,6% Drimalan yellow F-3GL (PMV) | 81    | 6,44  | 4     |
| 2% Drimalan yellow F-3GL (DV)    | 70    | 16,93 | -     |
| 2% Drimalan yellow F-3GL (SMV)   | 75    | 18,10 | 7     |
| 2% Drimalan yellow F-3GL (PMV)   | 74    | 17,88 | 6     |
| 0,6% Drimalan blue F-2GL (DV)    | 57    | 2,90  | -     |
| 0,6% Drimalan blue F-2GL (SMV)   | 66    | 3,23  | 11    |
| 0,6% Drimalan blue F-2GL (PMV)   | 62    | 3,06  | 6     |
| 2% Drimalan blue F-2GL (DV)      | 60    | 9,55  | -     |
| 2% Drimalan blue F-2GL (SMV)     | 68    | 11,19 | 17    |
| 2% Drimalan blue F-2GL (PMV)     | 62    | 9,85  | 3     |

**Tabela 6:** Ravnomernost obojenja i postojanost obojenja na pranje

| Boja (%)                         | $\sigma(\lambda)$ | Promena nijanse | Prelaz na pamuk | Prelaz na vunu |
|----------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 0,6% Lanazol red G (DV)          | 0,119             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 0,6% Lanazol red G (SMV)         | 0,118             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 0,6% Lanazol red G (PMV)         | 0,118             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 2% Lanazol red G (DV)            | 0,118             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 2% Lanazol red G (SMV)           | 0,117             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 2% Lanazol red G (PMV)           | 0,118             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 0,6% Lanazol yellow 4G (DV)      | 0,110             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 0,6% Lanazol yellow 4G (SMV)     | 0,111             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 0,6% Lanazol yellow 4G (PMV)     | 0,108             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 2% Lanazol yellow 4G (DV)        | 0,106             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 2% Lanazol yellow 4G (SMV)       | 0,107             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 2% Lanazol yellow 4G (PMV)       | 0,108             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 0,6% Drimalan yellow F-3GL (DV)  | 0,094             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 0,6% Drimalan yellow F-3GL (SMV) | 0,088             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 0,6% Drimalan yellow F-3GL (PMV) | 0,093             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 2% Drimalan yellow F-3GL (DV)    | 0,094             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 2% Drimalan yellow F-3GL (SMV)   | 0,095             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 2% Drimalan yellow F-3GL (PMV)   | 0,091             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 0,6% Drimalan blue F-2GL (DV)    | 0,090             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 0,6% Drimalan blue F-2GL (SMV)   | 0,083             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 0,6% Drimalan blue F-2GL (PMV)   | 0,084             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |
| 2% Drimalan blue F-2GL (DV)      | 0,084             | 4-5             | 4-5             | 4-5            |

Analizom rezultata za ravnomernost obojenja u tabeli 6 zapaža se da su kolebanja vrednosti za ravnomernost obojenja minimalna, tj. da svi uzorci imaju veliku ravnomernost, pa se može konstatovati da upotreba simulirane ili prave morske vode nije imala negativan uticaj na ravnomernost obojenja. Postojanost na pranje u pogledu promene nijanse obojenih uzoraka i prelaz na prateće bele tkanine ima visoke ocene (tab. 6). Visoke performanse postojanosti odražavaju prirodu jake kovalentne veze između boja i vunenog vlakna.

### 3. ZAKLJUČAK

Bojenje je najvažnija hemijska obrada tekstila kojom materijal dobija željenu nijansu i očekivana estetska svojstva. Osnovna odlika bojenja je velika

potrošnja vode i hemikalija, odnosno velika produkcija zagađenih voda. Uzimajući u obzir problem slatkih voda proučavaju se različiti inovativni pristupi i tehnike bojenja koje su ekološki bezbednije. U novije vreme morska voda se proučava kao moguća procesna sredina za bojenje, jer sadrži velike količine neorganskih soli.

U ovom radu rezultati bojenja vune izabranim Lanazol i Drimalan F reaktivnim bojama u destilovanoj vodi upoređivani su sa rezultatima bojenja upotrebom simulirane morske vode i prave morske vode. Morska voda Egejskog mora upotrebljena je bez predhodnog filtriranja ili druge predhodne obrade. Iscrpljenje reaktivnih boja na vuni iz kupatila sa simuliranom i pravom morskom vodom veće je u odnosu na kupatila sa destilovanom bojom. Povećano iscrpljenje

boja iz morske vode doprinelo je da intenzitet obojenja vunenih uzoraka bude veći do 26% za monofunkcionalne reaktivne boje i do 157% za bifunkcionalnu reaktivnu boju, u odnosu na odgovarajuće uzorke bojene u destilovanoj vodi. Rezultati za ravnomernost i postojanost obojenja ukazuju da je moguće postići nivo obojenja, u morskoj vodi kao medijumu za bojenje tekstila, koji su u svakom pogledu uporedivi sa obojenjem u destilovanoj vodi. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da upotreba morske vode kao medijuma za bojenje vune ima potencijal praktične primene, jer se mogu dobiti veći intenziteti obojenja u odnosu na sistem sa destilovanom vodom, bez dodavanja soli i sa visokim kvalitetom ostalih performansi obojenja.

## REFERENCES

- [1] <https://www.amnh.org/content/download/132762/2211960/file/grace-passage-1-teacher-version.pdf> (dostupno 22. 12. 20124.)
- [2] Water Efficiency in Textile Factories: ([https://www.sia-toolbox.net/sites/default/files/2023-11/Training%20Program%20%26%20Curriculum%20Development%20on%20Sustainability%20in%20Textiles\\_8.2\\_Water\\_Efficiency.pdf](https://www.sia-toolbox.net/sites/default/files/2023-11/Training%20Program%20%26%20Curriculum%20Development%20on%20Sustainability%20in%20Textiles_8.2_Water_Efficiency.pdf)) (dostupno 22. 12. 20124.) F. Schindler, (2023).
- [3] Ozturk, E. (2022). Improving water-use efficiency and environmental performances in an integrated woven-knitted fabric printing-dyeing textile mill, *Journal of Cleaner Production*, 379, Part 2, 134805.
- [4] Orsag, B., Majdak, M., Strmečki, T., Juran, J., Kovačević, Z., Bishof, S. (2020). Utjecaj Europskog zelenog plana na smanjenje onečišćenja u tekstilnoj industriji s naglaskom na oplemenjivanje tekstila, *Tekstil*, 69(1-3). 23-33.
- [5] Ozturk, E., Yetis, U., Dilek, F. B., Demirer, G. N. (2009). A chemical substitution study for a wet processing textile mill in Turkey, *Journal of Cleaner Production*, 17(2), 239-247.
- [6] Uddin, M.A., Begum, M.S., Ashraf, M., Azad, A.K., Adhikary, A.C., Hossain, M.S. (2023). Water and chemical consumption in the textile processing industry of Bangladesh, *PLOS Sustainability Transformation*, 2(7): e0000072.
- [7] Lara, L., Cabral, I., Cunha, J. (2022). Ecological Approaches to Textile Dyeing: A Review, *Sustainability*, 14, 8353.
- [8] Nayak, R., Panwar, T., Nguyen, L.V.T. (2020). Sustainability in fashion and textiles: A survey from developing country. In *Sustainable Technologies for Fashion and Textiles*; Nayak, R., Ed.: Woodhead Publishing: Sawston, UK, 2020; pp. 3–30.
- [9] Kant, R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard, *Natural Science*, 4(1), 22-26.
- [10] Khalil, E., Sarkar, J., Rahman, M.M., Shamsuzzaman, M., Das, D. (2023). Advanced Technology in Textile Dyeing. In: Rahman, M.M., Mashud, M., Rahman, M.M. (eds) *Advanced Technology in Textiles*, Textile Science and Clothing Technology. Springer, Singapore
- [11] Ristić, N. (2001). Neki aspekti uloge vode u bojenju tekstilnih vlakana, *Tekstilna industrija*, 49(8-10), 14-19.
- [12] Leticia, I., Ferreira, S., Medeiros, J.I., Steffens, F., Oliveira, F.R. (2020). Seawater as an alternative to dye cotton fiber with reactive dyes, *Textile Research Journal*, 91(9-10), 1184-1193.
- [13] Raja, A. S., Arputharaj, A., Senthilkumar, T., Saxena, S., & Patil, P. G. (2020). Dyeing of cotton with reactive dyes using pre-treated sea water. *Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR)*, 45(3), 319-325.
- [14] Devanand, G., Parthiban, M. (2019). Sea water for reactive dyeing of cotton fabrics, *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 44(1), 122-124.
- [15] <https://www.wool.ca/images/uploads/files/care/wool-fact-sheets-characteristics.pdf> (dostupno 17. 12. 2024.)
- [16] Stephen M., Burkinshaw, S.M., Liu, K. (2023). The roles of polymer relaxation phenomena, aqueous dye solubility and the physical properties of water in the mechanism of adsorption of a disperse dye on poly(ethyleneterephthalate) fibres: Part 3 physical properties of water and water-derived fibre properties, *Coloration Technology*, 139 (1), 79–96.
- [17] <https://www.woolwise.com/wp-content/uploads/2017/05/03.2-The-Wool-Fibre-and-its-applications-Notes.pdf> (dostupno 17. 12. 2024.)
- [18] Ristić, N. (2010). *Modifikovanje tekstilnog materijala iz binarne mešavine poliestar/prirodno vlakno sa ciljem simultnog bojenja komponenata*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet.
- [19] Lewis, D.M. (2008). The dyeing of wool with reactive dyes, *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, 98(5-6), 165-175.
- [20] Ristić, N., Novaković, M. (1999). Razvoj i primena reaktivnih boja za vunu, *Tekstilna industrija*, 47(8-10), 31-38.

- [21] Bhargva, G., Kambo, N., Bhargva, A. (2024). Eco friendly dyeing of wool cotton blended yarn by reactive dye, *International Journal of Advanced Chemistry Research*, 6(1), 225-232.
- [22] Broadbent, P.J., Carr, M., Rigout, M., Kistamah, N., Choolun, J., Radhakeesoonb, L., Uddin, A. (2018). Investigation into the dyeing of wool with Lanasol and Remazol reactive dyes in seawater, *Coloration Technology*, 134(2), 156-161.
- [23] Ristić, N., Dodić, I., Ristić, I. (2018). The influence of surfactant structure on the dyeing of polyamide knitting with acid dyes, *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 2 (2), 117-125.
- [24] Radivojević, D., Đorđević, M., Trajković, D. (2016). *Ispitivanje tekstila*, Visoka strukovna škola za tekstil, Leskovac.
- 
- Primljeno/Received on: 13.01.2025.  
Revidirano/ Revised on: 01.03.2025.  
Prihvaćeno/Accepted on: 03.03.2025.
- 
- © 2025 Authors. Published by Union of Textile Engineers and Technicians of Serbia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)