STUDIJA O SNAZI MONOFUNKCIONALNIH REAKTIVNIH BOJA: UTICAJ JONSKE JAČINE RASTVORA NA OBOJENOST PAMUČNE TKANINE

Nebojša Ristić^{1*}, Aleksandra Mičić¹, Ivanka Ristić¹, Anđela Jovanović¹

¹Academy of Vocational Studies Southern Serbia,
Department of Technological Art Studies Leskovac, Leskovac
*e-mail: bojana1998@ptt.rs

Scientific paper
UDC: 677.2:677.026
doi: 10.5937/tekstind2104063R

Apstrakt: Reaktivne boje su najpopularnije boje za bojenje celuloznih vlakana. Mali afinitet boja za pamuk uslovljava prisustvo velikih količina elektrolita i pomoćnih materija u kupatilu za bojenje. Poslednjih godina u trendu su postupci za veće iskorišćenje boja sa minimalnim utroškom hemikalija i prirodnih resursa. Broj jona koji nastaje disocijacijom elektrolita određuje jonsku jačinu rastvora i ima promotivni efekat na iscrpljene i fiksiranje reaktivnih boja. U ovom radu ispitivan je uticaj neutralnih soli (NaCl i Na₂SO₄) i alkalne soli (Na₂CO₃) na intenzitet obojenja pamučne tkanine reaktivnim bojama. Kupatilo sa većom jonskom jačinom neutralne soli ima veće iscrpljenje reaktivnih boja. Dodatak alkalnog elektrolita za aktiviranje hemijske reakcije boja/vlakno ima dodatni promotivni efekat na iscrpljenje reaktivnih boja.

Ključne reči: reaktivne boje, neorganski elektroliti, jonska jačina rastvora, intenzitet obojenja.

THE STUDY ON THE POWER OF MONOFUNCTIONAL REACTIVE DYES: THE INFLUENCE OF THE IONIC STRENGTH SOLUTION ON COLORING OF COTTON FABRIC

Abstract: Reactive dyes are the most popular dyes for dyeing cellulose fibers. The low affinity of dyes on cotton determines the presence of large amounts of electrolytes and additional substances in the dyeing bath. In recent years, methods for increased use of dyes with minimal consumption of chemicals and natural resources have been popular. The number of ions formed by the dissociation of electrolytes determines the ionic strength of the solution and has a promotional effect on exhaustion and fixation of reactive dyes. In this work, the influence of neutral salts (NaCl and Na₂SO₄) and alkali salt (Na₂CO₃) on the color intensity of cotton fabric by reactive dyes has been investigated. A bath with a higher ionic strength of neutral salt has a greater exhaustion of reactive dyes. The addition of an alkaline electrolyte to activate the chemical dye/fiber reaction has an additional promotional effect on the exhaustion of reactive dyes.

Keywords: reactive dyes, inorganic electrolytes, ionic strength solution, color intensity.

1. UVOD

Reaktivne boje su najmlađa i najvažnija klasa boja za bojenje celuloznih vlakana. Jednostavna primena različitim postupcima bojenja, široka paleta tonova i postojana i briljantna obojenja prednosti su koje kra-

se ove boje. Reaktivne boje danas čine oko 60% svet-ske potrošnje boja za celulozna vlakna [1]. Međutim, mali afinitet boja za vlakno i paralelna reakcija boje sa vodom predstavljaju problematičnu stranu njihove primene i odnosi se na iskorišćenje boje iz tehnološkog rastvora i ekološko opterećenje koje prouzrokuju

obojene otpadne vode. Reaktivne boje su anjonske prirode i dodati elektroliti imaju ulogu da pospeše iscrpljenje i fiksiranje boje za celulozu pamuka. Molekuli rektivnih boja imaju specifične funkcionalne grupe koje mehanizmom adicije ili supstitucije uspostavljaju kovalentnu vezu sa hidroksilnim grupama celuloze. Najvažniji parametri koji utiču na intenzitet obojenja pamuka reaktivnim bojama su koncentracija soli, koncentracija alkalija, zapremina i temperatura kupatila, vrsta reaktivne grupe i svojstva materijala za bojenje [2-8]. Uprkos velikoj popularnosti rektivnih boja postoje brojni ekološki izazovi zbog niskog nivoa iskorišćenja boja. Kupatilo za bojenje sadrži velike količine elektrolita i pomoćnih sredstava koja povećavaju ravnomernost i postojanost obojenja [9]. Koncentracija elektrolita se progresivno povećava sa povećanjem koncentracije boje i zapremine kupatila, tako da bojenje metodom iscrpljenja stvara ogromne količine obojenih otpadnih voda koje sadrže visoke količine soli i pomoćnih sredstava i imaju visoke vrednosti BPK i HPK [10,11]. Poslednjih godina razvijaju se postupci za veće iskorišćenje reaktivnih boja, kao i metode za uštedu vode, energije i hemikalija. Paul i saradnici ispitivali su uticaj koncentracije alkalije (Na_2CO_3) na obojenost pamučne pletenene reaktivnom bojom Novacron Red S-B [12]. Koncentracije boje (1%) i glauberove soli (40 g/dm^3) bile su nepromenljive a koncentracija Na_2CO_3 varirala je od 6 do 10 g/dm^3 . Na osnovu intenziteta obojenja (K/S) utvrđena je optimalna vrednost koncentracije alkalije od 8 g/dm^3 . Ispitivan je uticaj NaCl na agregaciju reaktivnih boja i svojstva bojenja pamučne pletenine [13]. U eksperimentu su korišćene boje različite reaktivnosti, u koncentraciji 1-9% i temperature bojenja 60, 80 i 95°C . Povećanje standardne koncentracije NaCl ($40\text{-}80 \text{ g/dm}^3$) na $100\text{-}300 \text{ g/dm}^3$ imalo je pozitivan uticaj na intenzitet obojenja u svetlim nijansama. Međutim, dodatak NaCl preko 150 g/dm^3 u kupatilo za bojenje pamuka u tamnim nijansama (5, 7, 9% boje) umanjuje prinos boje, tj. intenzitet obojenja. Pomoću UV/VIS spektrofotometra utvrđene su smanjene vrednosti apsorpcije rastvora koji sadrže velike količine NaCl, usled agregacije boje, tj. dolazi do smanjenja rastvorljivosti boja. Stvaranje agregata u kupatilu za bojenje, proporcionalno koncentraciji NaCl, smanjuje iscrpljenje boja jer agregati ne mogu da prodiru u vlakno i ostaju na površini vlakna. U skoro objavljenom radu grupa autora proučavala je difuziju reaktivne boje C.I. Reactive Blue 194 u viskozni filament pomoću konfokalne Ramanove mikroskopije [14]. Ramanove slike za mapiranje dubine prodora boje pokazuju da molekuli postepeno difunduju u unutrašnjost vlakna. U ranoj fazi bojenja molekuli boje se nalaze u obliku

prstena u perifernim slojevima vlakna a zatim prodiru u amorfnu strukturu jezgra vlakna. Utvrđeno je da je povećanje temperature bojenja korisno za pokretljivost makromolekula vlakna i difuziju molekula boje. Kabir i saradnici uporedili su uticaj različitih soli na iscrpljenje rektivnih boja [15]. U primenjenim koncentracijama soli ($20\text{-}60 \text{ g/dm}^3$) najveće vrednosti K/S imali su uzorci bojeni u kupatilu sa Glauberovom soli, što je objašnjeno većim brojem jona koji nastaje disocijacijom u odnosu na NaCl. Nedavno je objavljen rad u kome je sprovedena uporedna studija efikasnosti dva elektrolita na bojenje pamuka reaktivnom bojom Sumifix Supra Yellow E-XF [16]. Uzorak tkanine obojen u kupatilu koje sadrži Na_2SO_4 ima veće iscrpljenje boje i veći koeficijent difuzije a manje vreme polubojenja u odnosu na obojen uzorak u kupatilu sa NaCl. Dobijeni rezultati su rezultat smanjenja odbojnih sila između anjona boje i površine pamučnog vlakna, što je više izraženo u kupatilu sa Na_2SO_4 , koja disocijacijom daje veći broj katjona u odnosu na NaCl. U skoro objavljenom radu grupa autora je koristila Taguchi metod za ocenu procesnih parametara na iscrpljenje i fiksiranje bifunkcionalne boje C.I. Reactive Red 195 na pamučnu tkaninu [17]. Rezultati su pokazali da koncentracija soli ima najveći uticaj, na drugom mestu je koncentracija alkalije, zatim temperatura i vreme bojenja. Povećanje odnosa kupatila negativno se odražava na iscrpljenje, fiksiranje i intenzitet obojenja pamučne tkanine. Katjonizacija pamuka proučavana je kao postupak za povećanje iscrpljenja reaktivnih boja. Predhodna obrada pamučne tkanine komercijalnim katjonskim sredstvom smanjuje negativni zeta potencijal tkanine i povećava intenzitet obojenja, proporcionalno koncentraciji katjonskog težišta [18]. Yu i saradnici su kontinuiranom metodom fullardovanje-zračenje-napariivanje bojili katjonizovani pamuk bojom C.I. Reactive Red 239 bez soli uz korišćenje mikrotalasnog zračenja i rezultate uporedili sa tradicionalnim postupkom fullardovanje-sušenje-napariivanje [19]. Katjonizovani pamučni uzorci tretirani mikrotalasnim zračenjem, za koncentracije boje 4 i 10 g/dm^3 , imali su veći intenzitet obojenja (K/S) u poređenju sa uzorcima bojenim tradicionalnim postupkom. Za koncentraciju boje 20 g/dm^3 intenziteti obojenja imaju približne vrednosti, što je autore navelo na zaključak da primenjeni postupak sa primenom mikrotalasa definišu kao manje ekološki štetan i efikasan alternativni postupak za kontinuirano bojenje pamučne tkanine bez soli. Kinetika bojenja pamuka reaktivnim bojama bez upotrebe soli proučavana je primenom četiri nevodena sistema bojenja [20]. U nevedenim sistemima bojenja stepen iscrpljenja je veći nego u vodenom kupatilu i u siloksanu ravnotežno stanje postiže se za 5-10 minuta bojenja

na 25°C. Na prednosti bojenja bez soli ukazuju Singha i saradnici i predlažu modifikovanje površine pamuka uvođenjem funkcionalne grupe sa afinitetom za reaktivne boje, kao što su biopolimer hitozan, katjonska sredstva i dendrimeri [21]. Upotreba tenzida koji ima antiaglomeracijski efekat, poput dioktil natrijum sulfosukcinata, omogućuje bojenje sa smanjenim odnosom kupatila. Prisutni tenzid solubilizuje reaktivnu boju i olakšava prodor kroz električni sloj na površini vlakna, tako da je iskorišćenje boje veće a potrošnja vode i hemikalije smanjena za 50% [22]. Nedavno je objavljen rad u kome se kao medijum za bojenje pamuka reaktivnim bojama predlaže mašavina etanol-voda [23]. Uzorci pamučne pređe predhodno su držani na sobnoj temperaturi 15 minuta u rastvoru 15 g/dm³ Na₂CO₃ a zatim bojeni na 60°C 60 minuta bez soli u mešavini 9:1 etanol-voda. Dobijeni su za 21-66% veći intenziteti obojenja pređe u odnosu na konvencionalno bojenje u vodi, reaktivnim bojama sa VS funkcionalnom grupom. Khatri i saradnici predlažu jonsku jačinu rastvora kao pokretačku snagu za adsorpciju i difuziju boja u pamuk, zbog čega treba optimizovati koncentraciju soli u kupatilu za bojenje [24].

U ovom radu ispitan je uticaj jonske jačine elektrolita na iscrpljenje i fiksiranje reaktivnih boja za pamuk. U poređnom studijom identifikovan je uticaj dve vrste neutralnih soli (NaCl i Na₂SO₄) na iscrpljenje reaktivnih boja, kao i uticaj alkalne soli (Na₂CO₃) na prinos i fiksiranje boja.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1. Materijal i metode rada

U eksperimentu su bojeni uzorci tkanine 100% pamuk, površinske mase 220 g/m², u prepletaju keper 2/1 S. Tkanina je industrijski pripremljena za bojenje. Uzorci za bojenje imali su masu 5 g. U radu su korišćene sledeće hemikalije:

- Drimaren Blue Z-BH, monofunkcionalna reaktivna boja (trihlorpirimidin TCP, Clarinat - Švajcarska),
- Remazol Brilliant Red 5B, monofunkcionalna reaktivna boja (vinil sulfon VS, DyStar - Nemačka),
- Cibacron Yellow F-3R, monofunkcionalna boja (fluortriazin FT, CIBAGEigy - Švajcarska),
- NaCl – so, hemikalija za povećanje iscrpljenja boja,
- Na₂SO₄ – so, hemikalija za povećanje iscrpljenja boja,
- Na₂CO₃ – so, hemikalija za regulaciju pH rastvora.

Strukturne formule upotrebljenih boja nisu dostupne. Bojenje je izvedeno u Ahiba aparatu (TYP G7B) u

staklenim kivetama sa vertikalnim pokretanjem materijala. Bojenje je izvedeno izotermno pri t=80°C za boju Drimaren Blue Z-BH i pri t=70°C za boje Remazol Brilliant Red 5B i Cibacron Yellow F-3R u toku 60 i 120 minuta. U kupatilu koje je sadržalo boju i so za povećanje iscrpljenja boje vreme bojenja iznosilo je 60 minuta. Uzorci koji su bojeni 120 minuta, najpre su bojeni 60 minuta uz dodatak soli za povećanje iscrpljenja boje a zatim je dodavana so za regulaciju alkalnog pH kupatila i bojenje je nastavljeno još 60 minuta. Koncentracija boje bila je 1,5 i 4% (na masu materijala) a koncentracija NaCl i Na₂SO₄ 50 i 100 g/dm³, respektivno. Koncentracija Na₂CO₃ bila je 15 i 20 g/dm³ a zapremina kupatila 150 cm³ (R 1:30). Nakon bojenja i ispiranja uzorci koji su bojeni 120 min obrađeni u sapunskom rastvoru na 90°C u toku 15 minuta, isprani i vazdušno osušeni.

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

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

Gde je: K - koeficijent apsorpcije, S - koeficijent rasipanja, R - refleksija za svetlost D65/10. Talasne dužine maksimuma apsorpcije imaju sledeće vrednosti: Drimaren Blue Z-BH, 610 nm; Remazol Brilliant Red 5B, 540 nm; Cibacron Yellow F-3R, 430nm.

Upotrebom kolorimetra CO7500 (WPA Engleska) merena je apsorbancija rastvora, na talasnoj dužini maksimalne apsorpcije, na početku i na kraju bojenja (posle 120 min). Upotrebom jednačine 2 određen procenat iscrpljenja boje (E):

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

A_o – apsorbancija rastvora na početku bojenja

A₁ – apsorbancija rastvora na kraju bojenja.

Za svaki sistem bojenja (za vreme bojenja 120 minuta) određena je supstantivnost boje (K) koja predstavlja meru sposobnosti boje da pređe iz rastvora na vlakno pri određenim uslovima bojenja. Supstantivnost je određena primenom jednačine (3) [25]:

$$K = \frac{[\%E \times L]}{[100 - \%E]} \quad (3)$$

gde je: %E – iscrpljenje boje, L – odnos kupatila.

Na osnovu intenziteta obojenja pre i posle sapunske obrade određen je stepen fiksiranja boje (F), primenom jednačine 4:

$$\%F = \frac{\left(\frac{K}{S}\right)_T}{\left(\frac{K}{S}\right)_0} \cdot 100 \quad (4)$$

gde se subskript T odnosi na tkaninu obrađenu u sapunskom rastvoru, a subskript 0 na neobrađenu tkaninu, odmah posle bojenja. Pomoću jednačine 5 određen je procenat ukupno fiksirane boje (T):

$$\%T = \frac{(\%E \times \%F)}{100} \quad (5)$$

Gde je: %E – iscrpljenje boje, %F – fiksirane boje

Jonska jačina (I) rastvora izračunata je korišćenjem jednačine 6:

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n c_i z_i^2 \quad (6)$$

Gde je: $c_1, c_2, \dots, c_i$ – koncentracija prisutnih jona u rastvoru (mol/dm³),

$z_1, z_2, \dots, z_i$ – naelektrisanje prisutnih jona u rastvoru.

U tabeli 1 date su oznake obojenih pamučnih uzoraka.

2.2. Rezultati i diskusija

2.2.1. CIELab koordinate

CIELAB sistem je najvažniji sistem za objektivno vrednovanje boja u kome se obojenost uzoraka opisuje koordinatama. U tabelama 2-4 date su vrednosti koordinata obojenja u zavisnosti od uslova bojenja. Vrednosti CIELab koordinata obojenja u tabelama variraju u zavisnosti od koncentracije boje i elektrolita koje sadrži kupatilo za bojenje. Kod uzoraka bojenih sa 1,5% Drimaren Blue Z-BH primetne su razlike u koordinatama za svetlinu L^* , položaj boje na plavo-žutoj osi b^* i hromatičnost C^* (tab 2). Kao što se vidi udeo zelene boje ($-a^*$) u tonu boja je približan kod svih uzoraka, kao i ton boje uzoraka h. Svi uzorci se nalaze u trećem kvadrantu CIELab kruga i produžetak bojenja za 60 min nakon dodavanja Na_2CO_3 značajno povećava udeo plave boje u tonu boje ($-b^*$). Ovo pokazuje da dodatak alkalije u kupatilo za bojenje nema samo ulogu da obezbedi alkalnu sredinu za fiksiranje reaktivnih boja za celulozu, već i podstiče prelazak boje iz rastvora na vlakno. Kod uzoraka bojenih sa 4% boje registruju se razlike u svim koordinatama između uzoraka. Uzorci bojeni dodatkom Na_2SO_4 u toku 60 minuta imaju veće vrednosti svih koordinata u odnosu na uzorak bojen dodatkom NaCl, što ukazuje na značajnu razliku u intenzitetu obojenja pre dodavanja Na_2CO_3 . Vrlo bliske vrednosti svih koordinata uzoraka bojenih 120 minuta ukazuju na značaj alkalije za iscrpljenje i fiksiranje ove boje.

Uzorci obojeni sa 1,5% Remazol Brilliant Red 5B imaju značajni pad svetline L^* i povećanje udela crvene boje ($+a^*$) pošto se rastvoru doda alkalija i vreme bojenja produži za 60 minuta (tab. 3). Uzorci koji su bojeni u kupatilu sa Na_2SO_4 imaju veći udeo crvene

Tabela 1: Oznake uzoraka

Oznaka uzorka	Konc. boje %	Konc. NaCl g/dm ³	Konc. Na_2SO_4 g/dm ³	Konc. Na_2CO_3 g/dm ³	Vreme bojenja, min
B1; R1; Y1	1,5%	50	-	-	60
B2; R2; Y2	1,5%	-	50	-	60
B3; R3; Y3	1,5 %	50	-	15	120
B4; R4; Y4	1,5%	-	50	15	120
B5; R5; Y5	4%	100	-	-	60
B6; R6; Y6	4%	-	100	-	60
B7; R7; Y7	4%	100	-	20	120
B8; R8; Y8	4%	-	100	20	120

B1-B8, uzorci obojeni sa Drimaren blue Z-BH; **R1-R8**, uzorci obojeni sa Remazol brilliant red 5B; **Y1-Y8**, uzorci obojeni sa Cibacron yellow F-3R.

boje (+a*) i plave boje (-b*), što ukazuje na intenzivnija obojenja. Uzorci obojeni sa 4% crvene boje imaju progresivno povećanje udela crvene boje (+a*), dok je udeo plave boje (-b*) bio približan, nezavisno od vremena bojenja. Žutu boju karakteriše visoka hromatičnost pri velikim vrednostima svetline (tab. 4). Uzorci obojeni bojom Cibacron Yellow F-3R imaju svetlinu L* koja se može uporediti sa svetlinom uzoraka plave i crvene boje. Međutim, hromatičnost žute boje je daleko najveća u asortimanu primenjenih boja. Hromatičnost C* obojenja se kreće od 60-83 i 2-4 puta je veća u odnosu hromatičnost postignutu crvenom i plavom bojom, respektivno. Upadljiv je veliki udeo čiste žute boje (+b) u tonu obojenja i on progresivno raste sa povećanjem koncentracije boje u tehnološkom rastvoru i produžetkom vremena bojenja. Uzorci obojeni u rastvoru sa Na₂SO₄ imaju veći udeo žute boje

(+b), manju svetlinu L* i veću hromatičnost C*. Dodatak alkalije doprinosi većoj vrednosti hromatičnosti za 5-8% kao rezultat većeg udela čiste boje, tj. alkalna so pored regulacije pH kupatila, doprinosi većem iscrpljenju boja.

2.2.2. Supstantivnost boja

Supstantivnost je sposobnost boje da iz rastvora pređe na vlakno i u velikoj meri zavisi od hemijskog sastava i strukture boje. Supstantivnost takođe zavisi od temperature kupatila i koncentracije soli. Boje veće supstantivnosti imaju veće ravnotežno iscrpljenje i obrnuto. Reaktivne boje zbog veličine molekula imaju malu supstantivnost i dodavanje neorganskih elektrolita pozitivno utiče na iscpjenje boje iz rastvora na vlakno iz 3 razloga:

Tabela 2: Koordinate obojenja pamučnih tkanina obojenih sa Drimaren Blue Z-BH

Oznaka uzorka	Koordinate obojenja prema CIEL-ab sistemu				
	L*	a*	b*	C*	h
B1	73,14	-6,00	-13,69	14,95	246,33
B2	73,07	-5,59	-14,84	15,86	249,36
B3	66,92	-7,86	-18,86	20,43	247,39
B4	65,27	-8,24	-19,76	21,41	247,37
B5	69,19	-5,63	-13,10	14,26	246,74
B6	65,04	-5,79	-15,60	16,64	249,64
B7	57,77	-9,12	-22,54	24,31	247,97
B8	57,75	-9,26	-22,60	24,42	247,72

Tabela 3: Koordinate obojenja pamučnih tkanina obojenih sa Remazol Brilliant Red 5B

Oznaka uzorka	Koordinate obojenja prema CIEL-ab sistemu				
	L*	a*	b*	C*	h
R1	80,53	21,76	-6,70	22,70	342,89
R2	77,64	26,67	-7,96	27,83	343,38
R3	72,82	32,92	-6,56	33,57	348,73
R4	70,82	33,99	-6,20	34,55	349,66
R5	77,18	22,39	-10,03	24,54	335,88
R6	75,80	21,56	-12,65	25,00	333,96
R7	66,28	33,19	-12,02	35,30	340,81
R8	64,40	34,31	-12,61	36,55	340,61

Tabela 4: Koordinate obojenja pamučnih tkanina obojenih sa Cibacron Yellow F-3R

Oznaka uzorka	Koordinate obojenja prema CIEL-ab sistemu				
	L*	a*	b*	C*	h
Y1	79,87	16,58	58,36	60,67	74,14
Y2	78,22	16,14	59,12	61,28	75,08
Y3	78,47	18,10	61,91	64,50	73,70
Y4	78,45	19,45	63,32	66,24	72,93
Y5	73,14	25,45	72,36	76,70	70,62
Y6	72,17	28,20	73,57	78,79	69,03
Y7	71,11	28,87	74,67	80,06	68,86
Y8	70,64	31,06	76,50	82,56	67,91

1. boja iz jonskog prelazi u molekularni oblik, tj. smanjuje se rastvorljivost boje,
2. smanjuje se negativno površinsko naelektrisanje vlakna, tj. odbojne sile između boje i vlakna i
3. povećava se hemijski potencijal boje u rastvoru.

Uticaj dodatog neorganskog elektrolita na stanje boje u rastvoru i stanje površine pamučnog vlakna zavisi od vrste elektrolita, tj. broja jona koji nastaju disocijacijom, u prvom redu broja katjona. Što je veći broj katjona veći je učinak neutralizacije negativnog naelektrisanja i promotivni efekat elektrolita na prinos boje je veći.

Na Slici 1. prikazane su vrednosti supstantivnosti boja na osnovu iscrpljenja boja za vreme bojenja 120 min, što odgovara realnom sistemu bojenja. Supstantivnost je kod svih boja bila veća kod bojenja sa većom koncentracijom boja i elektrolita, i kada kupatilo sadrži Na_2SO_4 . Supstantivnost Drimaren Blue Z-BH je za oko 2% veća kada tehnološki rastvor sadrži Na_2SO_4 u poređenju sa sistemom bojenja sa NaCl. Kod primene boje Remazol Brilliant Red 5B povećanje supstantivnosti kada se NaCl zameni sa Na_2SO_4 za obe dubine obojenja iznosi oko 10%. Kod boje Cibacron Yellow F-3R povećanje supstantivnosti je 25% za svetliji ton i 33% za tamniji ton. Dobijeni rezultati pokazuju važnu i složenu ulogu prisutnih neorganskih elektrolita na povećanje iscrpljenja reaktivnih boja na pamuku.

2.2.3. Intenzitet obojenja

Intenziteti obojenja (K/S) izračunati su korišćenjem Kubelka-Munk jednačine i grafički prikazani na slikama 2-4. Intenzitet obojenja pamučnih tkanina zavisi od formulacije rastvora za bojenje i vremena bojenja. Uzorci obojeni sa Drimaren Blue Z-BH imaju približnu vrednost K/S za prvih 60 minuta bojenja u svetloj nijansi (1,5%). Bojenjem sa 4% boje u prisustvu Na_2SO_4 postiže se intenzitet koji je za 40% veći u odnosu na sistem sa NaCl, što ukazuje na veći učinak natrijum sulfata na stanje boje u rastvoru i prelazak na pamuk. Dodatak alkalije (Na_2CO_3) značajno je uticao na povećanje intenziteta obojenja uzoraka bojenih plavom bojom. Kod uzoraka svetlije nijanse to povećanje je 85% (kupati sa NaCl) i 113% (kupati sa Na_2SO_4). Kod bojenja u tamnoj nijansi efekat alkalije na iscrpljivanje boje je još veći jer je intenzitet obojenja 3 puta veći u kupatilu sa NaCl, i 2 puta veći u kupatilu sa Na_2SO_4 . Na uzorcima pamučnih tkanina obojenih sa Remazol Brilliant Red 5B razlike u intenzitetu obojenja dodatkom alkalne soli nisu toliko velike kao kod plave boje. Nezavisno od dubine tona intenzitet obojenja veći je kada se boji pamučna tkanina u kupatilu koje

Slika 1: Supstantivnost reaktivnih boja:
a-Drimaren blue Z-BH; b-Remazol brilliant red 5B;
c-Cibacron Yellow F-3R

sadrži Na_2SO_4 , i to za 10-17%. Dodatak alkalne soli (Na_2CO_3) povećava iscrpljenje boje, tako da je nakon 120 minuta bojenja vrednost K/S veća za 10-42% za svetli ton i 65% za tamni ton. I kod primene Cibacron Yellow F-3R intenzitet obojenja zavisi od dodatka elektrolita za bojenje i uticaj je veći kod veće koncentracije boje. Bojenje bojom Cibacron Yellow F-3R u kupatilu sa Na_2SO_4 intenzitet obojenja je kod svetle nijanse veći 8 i 11%, a kod tamne nijanse 29 i 26% za 60 i 120 minuta bojenja, respektivno, u odnosu na kupatilo sa NaCl. Uticaj alkalije na iscrpljenje i intenzitet obojenja je takođe značajan i u kupatilu sa 1,5% boje K/S se povećava za 14% (kupati sa NaCl) i 18% (kupati sa Na_2SO_4). U kupatilu sa 4% boje K/S se povećava za 25% (kupati sa NaCl) i 23% (kupati sa Na_2SO_4).

Objašnjenje za veći intenzitet obojenja pamuka reaktivnim bojama dodatkom Na_2SO_4 je što disocijacijom nastaje duplo više Na^+ jona u odnosu na NaCl , tako da je i jonska jačina rastvora veća pri istoj koncentraciji za 25% (tabela 5). Veći broj jona neorganskog elektrolita u većoj meri smanjuje odbojne sile vlakno/boja i povećava hemijski potencijal boje u rastvoru.

Neorganske alkalije u bojenju iscrpljivanjem koriste se za regulaciju alkalnosti rastvora i aktiviranje reakcije boja/vlakno. Rezultati za intenzitet obojenja pamučnih tkanina pokazuju da, pored reakcije boja/vlakno, dolazi do dodatnog iscrpljivanja reaktivnih boja (tzv. sekundarna iscrpljenost) i pripisuje se povećanju jonske jačine rastvora na osnovu jona nastalih disocijacijom alkalne soli.

Tabela 5: Koncentracija elektrolita i jonska jačina

Koncentracija 50 g/dm ³		Koncentracija 100 g/dm ³	
Elektrolit	Jonska jačina, I [mol/dm ³]	Elektrolit	Jonska jačina, I [mol/dm ³]
NaCl	0,85	NaCl	1,71
Na ₂ SO ₄	1,06	Na ₂ SO ₄	2,13

2.2.4. Fiksiranje boja

Kod primene reaktivnih boja na pamuku veoma je važno da iscrpljenje i fiksiranje imaju što veći procenat, zbog postizanja željene nijanse obojenja i da bi količina boje u otpadnoj vodi bila što manja. U tabeli 6 prikazane su procentualne vrednosti za stepen fiksiranja boje F i ukupnu fiksiranu boju T, za uzorke bojene

Slika 2: Intenzitet obojenja uzoraka obojenih sa Drimaren Blue Z-BH (levo 1,5%; desno 4%)

Slika 3: Intenzitet obojenja uzoraka obojenih sa Remazol Brilliant Red 5B (levo 1,5%; desno 4%)

Slika 4: Intenzitet obojenja uzoraka obojenih sa Cibacron Yellow F-3R (levo 1,5%; desno 4%)

120 minuta. Zapaža se da stepen fiksiranja ima vrednosti od 71 do 84% a ukupno fiksirana boja 40-56%. Ovo znači da oko polovine upotrebljene boje se fiksira za vlakno a polovina dospeva u vodotokove. Vrednosti za stepen fiksiranja su veće kod veće koncentracije boje, i najveći prinos boje postignut je bojom Drimaren Blue Z-BH u koncentraciji 4%. Niske vrednosti za ukupno fiksiranu reaktivnu boju tumače se visokim odnosom kupatila (R1:30), što uzrokuje niske vrednosti ravnotežnog iscrpljenja. Iz tog razloga u industrijskom bojenju pamuka metodom iscrpljenja prosečan odnos kupatila je 1:8 [26].

Tabela 6: Stepen fiksiranja (F) i ukupno fiksirana boja (T)

Oznaka uzoraka	F, %	T, %
B3	76	42
B4	77	43
B7	84	45
B8	82	44
R3	72	40
R4	71	43
R7	75	43
R8	76	46
Y3	71	46
Y4	74	53
Y7	76	52
Y8	74	56

3. ZAKLJUČAK

Bojenje pamuka reaktivnim bojama metodom iscrpljenja najzastupljeniji je industrijski postupak koga karakteriše dugotrajna obrada materijala u tehnološkom rastvoru za bojenje. Pažljiv izbor tehnoloških i hemijskih parametara kao što su, temperatura i pH kupatila, koncentracija elektrolita i pomoćnih sredstava važni su za konačan ishod bojenja. Reproductivnost postupka bojenja u smislu postizanja zadate nijanse obojenja važan je sa aspekta dalje prerade materijala.

U ovom radu ispitan je uticaj neutralnih soli (NaCl i Na_2SO_4) i alkalne soli (Na_2CO_3) na intenzitet obojenja pamučne tkanine reaktivnim bojama. Dizajn eksperimenta obuhvata upotrebu boja različitih funkcionalnih grupa, bojenje u dve dubine nijanse i primenu dva elektrolita koji povećavaju iscrpljenje boja. Uzorci su bojani 60 i 120 minuta sa ciljem ispitivanja dodate alkalije u drugom delu bojenja na sekundarno iscrpljivanje boje, tj. intenzitet obojenja.

Na osnovu dobijenih rezultata mogu se doneti sledeći zaključci:

- Vrednosti CIELab koordinata obojenja variraju u zavisnosti od koncentracije boje i elektrolita koje

sadrži kupatilo za bojenje. Žutu boju karakteriše visoka hromatičnost pri velikim vrednostima svetline, što nije slučaj sa plavom i crvenom bojom.

- Supstantivnost je kod svih boja veća kada se kao elektrolit dodaje Na_2SO_4 . Supstantivnost Drimaren Blue Z-BH je za oko 2% veća kada tehnološki rastvor sadrži Na_2SO_4 u poređenju sa sistemom bojenja sa NaCl. Kod primene boje Remazol Brilliant red 5B povećanje supstantivnosti kada se NaCl zameni sa Na_2SO_4 za obe dubine obojenja je oko 10%, a kod boje Cibacron Yellow F-3R povećanje je 25% za svetliji ton i 33% za tamniji ton.

- Intenzitet obojenja pamučnih tkanina zavisi od formulacije rastvora za bojenje i vremena bojenja. Uzorci bojani u kupatilu sa Na_2SO_4 imali su uvek veći intenzitet obojenja u odnosu na intenzitet obojenja postignut bojenjem u kupatilu sa NaCl, što se tumači većom jonskom jačinom kupatila sa Na_2SO_4 .

- Dodatkom neorganske alkalne soli povećava se intenzitet obojenja. Može se zaključiti da osim aktivacije reakcije boja/vlakno alkalna so utiče na dodatno (sekundarno iscrpljivanje) reaktivnih boja, što se objašnjava povećanjem jonske jačine rastvora na osnovu jona nastalih disocijacijom alkalne soli.

- Vrednosti za stepen fiksiranja F su na standardnom nivou, a niske vrednosti za ukupno fiksiranu reaktivnu boju T tumače se visokim odnosom kupatila (R1:30).

REFERENCE

- [1] Burkinshaw S. M., Salihu G. (2019). The role of auxiliaries in the immersion dyeing of textile fibres: Part 7 theoretical models to describe the mechanism by which inorganic electrolytes promote reactive dye uptake on cellulosic fibres, *Dyes and Pigments*, 161(1), 605-613.
- [2] Ristić N., Ristić I., Mičić A., Zdravković M. (2020). Studija o snazi reaktivnih boja: Uticaj funkcionalne grupe na obojenost pamučne tkanine, *Tekstilna industrija*, 68(2), 4-11.
- [3] Alam Md. S., Khan G. M. A., Razzaque S. M. A., Hossain M. J., Minhaz-ul-Haque, Zebsy S. (2008). Dyeing of cotton fabrics with reactive dyes and their physico-chemical properties, *Indian Journal of fibre & Textile Research*, 33(1), 58-65.
- [4] Naser Md. A., Haque A. (2014). Effect of dyeing parameters on dyeing of cotton fabrics with fluoro chloro pyrimidine reactive dyes, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(4), 125-128.
- [5] Shimo S. S., Smriti S. A. (2015). Color co-ordinates and relative color strength of reactive dye influenced by fabric gsm and dye concentration, *Internati-*

- onal Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(2), 192-197.
- [6] Naser Md. A., Haque A. (2014). Influence of electrolyte and liquor ratio on exhaustion and color coordinates of cotton fabric dyed with mono-functional and bi-functional reactive dyes, *Borneo Science*, 34(1), 27-33.
- [7] Rahman Md. M., Rashaduzzaman Md., Zaman Md. M., Biswas J. (2015). Effects of salt on dyeing of cotton fabric with different types of reactive dyes, *GB Journal of Science and Engineering*, 2(1), 53-57.
- [8] Haque A. N. Md. A., Hannan M. A., Rana Md. M. (2015). Compatibility analysis of reactive dyes by exhaustion-fixation and adsorption isotherm on knitted cotton fabric, *Fashion and Textiles*, 2(3), 1-12.
- [9] Burkinshaw S. M., Salihu G. (2019). The role of auxiliaries in the immersion dyeing of textile fibres: Part 1 an overview, *Dyes and Pigments*, 161(1), 519-530.
- [10] Burkinshaw S. M., Salihu G. (2019). The role of auxiliaries in the immersion dyeing of textile fibres: Part 8 practical aspects of the role of inorganic electrolytes in dyeing cellulosic fibres with commercial reactive dyes, *Dyes and Pigments*, 161(1), 614-627.
- [11] Burkinshaw S. M., Salihu G. (2019). The role of auxiliaries in the immersion dyeing of textile fibres: Part 9 practical aspects of the role of inorganic electrolytes in dyeing cellulosic fibres with pure reactive dyes, *Dyes and Pigments*, 161(1), 628-641.
- [12] Paul D., Das S. C., Islam T., Siddiquee Md. A. B., Md. A. M. (2017). Effect of alkali concentration on dyeing cotton knitted fabrics with reactive dye, *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 11(4), 162-167.
- [13] Suesat J. (2008). The influence of NaCl concentration on the build-up properties and aggregation of reactive dyes, *Agriculture and natural resources*, 42(3), 558-658.
- [14] Yang B., Dai Y., Zhong Y., Zhang L., Xu H., Wang B., Sui X., Feng X., Chen Z., Mao Z. (2020). A study of the diffusion behaviour of reactive dyes in cellulose fibres using confocal Raman microscopy, *Coloration Technology*, 136(6) 503-511.
- [15] Kabir S. Md. M., Koh J., Momotaz F. (2014). Analyzing the suitable electrolyte for reactive dyeing process in cotton goods, *Journal of Engineering Science*, 5(1), 75-80.
- [16] Baffoun A. (2019). Comparative study between two types of electrolyte used in the reactive dyeing of cotton, *Industria textila*, 70(1), 30-36.
- [17] Hossain Md. Y., Sarker S., Zakaria M., Islam Md. R., Fayaz R. U., Acharjya S. (2020). Influence of process parameters on exhaustion, fixation and color strength in dyeing of cellulose fiber with reactive dye, *Journal of textile & Engineering*, 3(1), 1-10.
- [18] Ristić N., Ristić I. (2012). Cationic modification of cotton fabrics and reactive dyeing characteristics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 7(4), 113-121.
- [19] Yu C., Liu Y., Lu Y., Tao K., Yi Z. (2020). A salt-free pad-irradiate-pad-steam reactive dyeing process for cotton fabric and the influence of cationising conditions on its coloration, *Coloration Technology*, 137(4), 399-406.
- [20] Wang J., Gao Y., Zhu L., Gu X., Dou H., Pei L. (2018). Dyeing property and adsorption kinetics of reactive dyes for cotton textiles in salt-free non-aqueous dyeing systems, *Polymers*, 10, 1030, 1-16.
- [21] Singha K., Maity S., Singha M. (2012). The Salt-Free Dyeing on Cotton: An Approach to Effluent Free Mechanism; Can Chitosan be a Potential Option?, *International Journal of Textile Science*, 1(6), 69-77.
- [22] Kabir S. Md. M., Sk S., Koh J. (2021). Sustainable low liquor ratio dyeing of cotton with C.I. Reactive Blue 21 using dioctyl sodium ulfosuccinate, *Textile Research Journal*, 91(9-10), 1083-1093.
- [23] Liangjun Xia, Aming Wang, Chunhua Zhang, Yang Liu, Heng Guo, Cailing Ding, Yunli Wang, Weilin Xu, (2018). Environmentally friendly dyeing of cotton in an ethanol-water mixture with excellent exhaustion, *Green Chemistry*, 20(19), 4473-4483.
- [24] Khatri A., White M., Padhye R. (2018). Effect of dye solution ionic strength on dyeing of cotton with reactive dyes, *Fibers and Polymers*, 19(6), 1266-1270.
- [25] 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*, 24(2), 117-125.
- [26] Burkinshaw S. M., Salihu G. (2019). The role of auxiliaries in the immersion dyeing of textile fibres part 2: Analysis of conventional models that describe the manner by which inorganic electrolytes promote direct dye uptake on cellulosic fibres, *Dyes and Pigments*, 161(1), 531-545.

Primljeno/Received on: 27.08.2021.

Revidirano/ Revised on: 22.11.2021.

Prihvaćeno/Accepted on: 22.11.2021.

© 2021 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/>)