

Karla Prelog, Petra Forte Tavčer  
Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, grafiko in oblikovanje,  
Snežniška 5, 1000 Ljubljana, Slovenija

---

## Čiščenje odpadne vode v barvarni tekstilnega materiala s flokulacijo in ponovna uporaba očiščene vode

### *Wastewater Treatment in Dyehouse using Flocculation Method and Water re-use*

Izvirni znanstveni članek/*Original Scientific Article*

Prispelo/*Received* 11-2016 • Sprejeto/*Accepted* 05-2017

---

#### Izvleček

Glavni cilj raziskave je bil ugotoviti učinkovitost flokulacije kot samostojne metode za čiščenje odpadne vode iz tekstilne barvarne do stopnje, ki je primerna za ponovno uporabo očiščene vode v industriji. Za čiščenje vode, ki smo jo en teden zbirali v zbiralnem bazenu tovarne Gorenjska predilnica, d. d., smo izbrali kationski kondenzacijski flokulant. Očiščena voda je bila uporabljena za laboratorijsko barvanje bombaža, poliestra, poliakrilonitrila, poliamida in volne s tremi različnimi recepturami, ki so pomenile svetli, srednji in temni barvni ton. Sočasno in pri enakih pogojih smo barvali vzorce s tehnološko vodo. Obarvanje in barvne razlike smo določali spektrofotometrično na aparatu DataColour Spectraflash SF-600X. Obarvanim vzorcem smo določili obstojnost pri pranju ter obstojnost proti kislemu in alkalnemu znoju. Vsi barvani vzorci so sprejemljivi z vidika barvne razlike v primerjavi z vzorcem, ki je bil hkrati barvan s tehnološko vodo. Izjema je svetli odtenek na bombažu, kjer je barvna razlika prevelika. Obstojnost pri pranju je na vseh materialih, razen na bombažu, ostala nespremenjena. Obstojnost proti kislemu in alkalnemu znoju je pri poliakrilonitrilu in poliestru ostala nespremenjena. Največja razlika v oceni obstojnosti proti kislemu in alkalnemu znoju med vzorcem, pobarvanim z očiščeno in tehnološko vodo, pa je pri bombažu.

Ključne besede: barvarna, barvanje, obstojnost, flokulacija, recikliranje, odpadna voda

#### Abstract

*The main goal of the research was to determine whether the treatment of dye-house wastewater with flocculation could be efficient enough for water re-use in further production. A cationic condensation product was chosen for the treatment of industrial mixed wastewater collected in one week in Gorenjska predilnica d. d. Treated water was used for laboratory dyeing of cotton, polyester, polyacrylonitril, polyamide and wool with three different recipes representing light, medium and dark shade. The fabrics were dyed comparatively using technological and treated water under the same conditions. Colourimetric evaluation of dyed samples was done on spectrophotometer DataColour Spectraflash SF-600X. Wet fastness and colour fastness to perspiration (acid and alkaline) of differently dyed samples were investigated. The results showed a high efficiency of flocculation for dye-house wastewater treatment and reuse of treated water in production. The change of colour was acceptable for all dyed samples except cotton light shade. Wet fastness became worse only on cotton but not more than one grade, when comparing the samples dyed in technological and those dyed in cleaned water. The colour fastness to perspiration did not change for polyester and polyacrylonitril; it was worse only for cotton samples.*

*Keywords: dye-house, dyeing, fastness, flocculation, recycling, wastewater*

## 1 Uvod

### 1.1 Odpadne vode v tekstilni industriji

Tekstilna industrija je velika porabnica in onesnaževalka vode, predvsem pri kemični obdelavi tekstilnih materialov, kot so beljenje, pranje, barvanje, tiskanje in apretiranje. Velik problem so v odpadnih vodah barvila, saj so že v majhni koncentraciji dobro vidna in moteča za okolico. Med barvanjem se sicer večina barvil izčrpa in veže na vlakna, vedno pa ostane tudi nevezano barvilo, ki po barvanju konča v odpadni vodi. Sestava odpadnih voda je zelo spremenljiva predvsem zaradi številnih različnih barvil in kemikalij, ki se uporabljajo pri teh postopkih. Na trgu je več kot 10.000 vrst pomožnih sredstev za obdelavo tekstila [1, 2].

Čeprav je količinski delež barvil v vsej odpadni vodi zelo majhen, je prav odstranjevanje barvil iz odpadne vode glavni problem barvarn. Večina barvil ima kompleksno aromatsko zgradbo, ki je odporna proti svetlobi, biološki razgradnji, ozonu in drugim snovem v okolju. Zato jih ni mogoče odstraniti iz vode s klasičnimi metodami čiščenja odpadne vode [3]. Barvila, ki se zdaj uporabljajo, imajo po zagotovilih izdelovalcev nizko stopnjo strupenosti. Vpliv pa je odvisen od časa izpostavljenosti in koncentracije, ki so ji izpostavljeni posamezni organizmi. Barvila pri izpustu v okolje močno vplivajo na fotosintetsko aktivnost. Znižajo namreč stopnjo penetracije svetlobe [1]. Poleg tega so strupena za določene skupine organizmov v vodnem okolju. Ionska barvila se ne bioakumulirajo, medtem ko se neionska barvila in pigmenti bioakumulirajo. Pri odpadnih vodah iz barvarn se opozarja na prisotnost težkih kovin, ki imajo številne negativne učinke na okolje. Nekatera barvila vsebujejo komplekse s kovinami, kjer so prisotni kromovi, kobaltovi, bakrovi in nikljevi ioni, poznani kot problematična onesnaževala [2].

Za barvanje bombaža z reaktivnimi barvili je značilna zelo nizka stopnja izčrpanja, v odpadni vodi ostane velik delež nevezanega, hidroliziranega barvila. Odpadna voda je značilno močno alkalna. V vodi ostane tudi velik delež elektrolita. Pri posebnih reaktivnih barvilih od 10 do 40 g/l, pri nekaterih reaktivnih barvilih tudi do 100 g/l. V kopeli po barvanju ostanejo prav tako druga pomožna sredstva. Zaradi svoje kemijske sestave reaktivna barvila povečajo koncentracijo adsorbiljivih organskih halogenov (AOX) v odpadnih vodah.

Po barvanju poliestra (PES) z disperznimi barvili ostanejo kisle odpadne vode, ki so obremenjene z ostanki barvila. Kljub dobremu izčrpanju se delež ostanka barvil v kopeli poveča z jakostjo barvnega tona. V kopeli ostajajo tudi različna pomožna sredstva.

Za barvanje poliamida (PA) in volne (WO) so značilne kisle barvalne kopeli, zato je odpadna voda kislila. V vodi ostaja majhen delež barvil, saj je stopnja fiksiranja barvil visoka. V odpadni vodi ostajajo pomožna sredstva, med njimi tista, ki zagotavljajo ustrezen pH.

Za bazična barvila je značilna visoka stopnja izčrpanja. Odpadna voda, ki nastaja po barvanju poliakrilonitrila (PAN), je kislila in je v največji meri obremenjena s pomožnimi sredstvi, ki upočasnjujejo barvanje (retarderji). Prisotna pa so tudi druga pomožna sredstva.

### 1.2 Odstranjevanje barvil iz odpadne vode s flokulacijo

Odpadne vode, ki nastajajo pri tekstilnih postopkih, so zelo različne sestave, zato je nemogoče določiti postopek, ki bi bil ustrezen za vse odpadne vode [4, 5]. Procese razbarvanja odpadne vode razdelimo v tri glavne skupine: fizikalno-kemijske, kemijske in biološke. Flokulacija s koagulacijo spada med fizikalno-kemijske postopke in je z ekonomskega vidika najlažje izvedljiv postopek za odstranjevanje barvil iz odpadne vode. V preteklosti je bil tak način čiščenja del celotnega procesa obdelave, ki je vključeval tudi druge načine čiščenja. Ni pa se obnesel kot samostojni postopek zaradi nezadostne učinkovitosti. To se spreminja z razvojem izboljšane kemijske kontrole in novih ločevalnih tehnik [2, 6].

S koagulacijo/flokulacijo znižamo elektrostatični naboj na površini dispergiranih koloidnih delcev z dodajanjem ionov z nasprotnim nabojem. Ta proces lahko poteka po več mehanizmih, npr. po mehanizmu elektrostatične koagulacije, pri reakciji s funkcionalnimi skupinami koloidov, z adsorpcijo/agregacijo in »sweep« koagulacijo. Značilni koagulantni so kovinske soli [7].

Suspendirani in koloidni delci imajo v površinskih vodah največkrat negativni ali anionski naboj, kar dispergira delce. Ob nevtralizaciji naboja se ti delci združijo v večje skupke, ki težijo k posedanju. Za to je treba dodati v vodo snov, ki ima močan kationski naboj. Taka snov se veže na delce z negativnim

nabojem, nevtralizira njihovo anionsko površino in omogoči, da se nevtralni delci združijo ter tvorijo kosmiče. Najučinkovitejši flokulanti so polimeri z velikimi molekulskimi masami, ki majhne kosmiče povežejo v večje, kompaktno in hitro posedajoče se flokule. Ta proces se imenuje flokulacija [2].

Koagulacija/flokulacija ne odstrani vseh vrst barvil enako učinkovito. Žveplova in disperzna barvila z lahkoto flokulirajo in se z lahkoto posedajo. Medtem ko kislina, direktna, redukcijska in reaktivna barvila dobro flokulirajo, so nastali kosmiči slabe kakovosti in se zato slabo posedajo. Kationska barvila pa sploh ne flokulirajo. Koliko sredstva je potrebnega, je odvisno od več dejavnikov, predvsem pa od tipa odpadne vode, koncentracije prisotnega barvila in od količine drugih dodanih pomožnih sredstev in kemikalij [2].

### 1.3 Metodologija in namen dela

V prvem delu raziskave smo proučili sestavo odpadne vode v podjetju Gorenjska predilnica, d. d. Določili smo štiri okoljske parametre obremenitve odpadne vode; kemijsko potrebo po kisiku, celoten organski ogljik, vsebnost suhe snovi in obarvanost.

V nadaljevanju smo vodo prečistili s štirimi komercialno dostopnimi flokulanti in izbrali najučinkovitejšega. Po navedbah proizvajalca so uporabljeni flokulanti učinkoviti samostojno in dodatek koagulantov ni potreben. S tem smo očistili večjo količino odpadne vode, zbrane v tednu dni iz skupnega zbiralnega bazena v podjetju.

Z očiščeno vodo smo barvali bombaž, volno, poliester, poliakrilonitril in poliamid v svetlem (L), srednjem (M) in temnem (D) barvnem tonu. Sočasno smo z enako recepturo barvali enak material s svežo tehnološko pripravljeno vodo (mehčana voda).

Ugotavljali smo barvno razliko med vzorcem, barvanim z očiščeno vodo, in vzorcem, barvanim s tehnološko vodo. Spremljali smo obstojnost pri pranju ter obstojnost obarvanja proti kislemu in alkalnemu znoju.

Dobljeni rezultati bodo v pomoč podjetju pri izbiri ustreznega postopka obdelave odpadne vode in pri definiranju stroškov ob načrtovanju lastne čistilne naprave. Prav tako bodo rezultati pomagali pri določanju ekonomske učinkovitosti ob uporabi reciklirane vode, čeprav je voda še vedno (pre)poceni surovina. Pripomogli bodo k optimizaciji procesov ter posledično k znižanju skupnih stroškov skozi zmanjšano porabo vode.

## 2 Eksperimentalni del

### 2.1 Priprava in analiza vode

#### Tehnološka voda

Tehnološka voda poimenujemo mehčano svežo vodo, ki se uporablja pri vseh procesih v proizvodnji. V podjetju uporabljajo tehnološko vodo, za katero so predpisane najvišje dovoljene vrednosti naslednjih parametrov [8]: totalna trdota do 50 ppm, železo do 0,05 mg/l, baker do 0,05 mg/l, klorid do 300 mg/l in pH od 6,5 do 7,5.

#### Reprezentativna odpadna voda

Opadna voda v barvarni nastaja pri izkuhavanju, beljenju, barvanju in plemenitenju. Zbira se v izravnalnem bazenu, kjer se odpadne vode med seboj delno nevtralizirajo. Iz izravnalnega bazena teče odpadna voda v čistilno napravo z nevtralizacijskim bazenom. Čistilna naprava je opremljena z avtomatskim merjenjem in reguliranjem vrednosti pH, merjenjem temperature in pretoka odpadne vode, ki iz čistilne naprave izteka v javno kanalizacijo in nato v centralno čistilno napravo Škofja Loka. Korekcija vrednosti pH poteka z vodnima raztopinama  $H_2SO_4$  in  $NaOH$  [9]. V podjetju, kjer se barva več različnih materialov z različnimi barvili in postopki, je nemogoče sestaviti odpadno vodo v laboratoriju. Zato smo, da bi pridobili najbolj realen vzorec odpadne vode, le-to zbirali sedem zaporednih dni, od ponedeljka do nedelje, in sicer po dva litra na štiri ure, ter jo zmešali v zbirni posodi. Zajemali smo jo iz izravnalnega bazena, kjer se steka odpadna voda iz vseh barvalnih aparatov. Tako smo pripravili reprezentativen vzorec odpadne vode.

#### Čiščenje odpadne vode z metodo flokulacije

Za čiščenje reprezentativnega vzorca odpadne vode smo uporabili flokulant CHT-FLOCKUNGSMITTEL CV (Bezema – Švica), s katerim smo prečistili večjo količino reprezentativnega vzorca vode. To vodo smo uporabili v nadaljnjih postopkih barvanja. Postopek čiščenja je potekal tako, da smo v odpadno vodo dodajali od 0,2 do 2,0 g/l flokulanta pri pH vrednostih 6, 7, 8 in 9, ki smo jo uravnavali z  $Na_2CO_3$  ali  $CH_3COOH$ . Uporabili smo laboratorijski prenosni 4-pozicijski flokulator Velp Scientifica FP4. Raztopine smo mešali dve minuti pri 100 obratih na minuto. Po dodatku flokulanta smo jih mešali še 20 minut pri 20 obratih na minuto. Čas posejanja je bil od 30 do 120 minut. Raztopine smo

opazovali v štirih paralelkah. Rezultate smo ovrednotili glede na čas posedanja in bistrenja raztopine. Prečiščeno vodo smo ločili od usedline s filtracijo ob uporabi filtrirnega papirja. Najboljše rezultate smo dobili pri 0,3 g/l flokulanta in pri pH 8.

### Določanje okoljskih parametrov

Obremenitev zbrane in očiščene vode smo določili z meritvijo štirih okoljskih parametrov, in sicer kemijske potrebe po kisiku (KPK) (SIST EN ISO 6060:1996), celotnega organskega ogljika (TOC) (SIST EN ISO 8245:2000), obarvanosti (SIST EN ISO 7887:1996) [10] ter deleža suhe snovi v vodi.

Delež suhe snovi nam pove, koliko raztopljenih ali neraztopljenih snovi ostane v kopeli, ko voda izhlapi. Izmeri se tako, da se stehtajo suhi tehtiči, nato se vanje nalije 50 g vode in nato suši v sušilniku pri temperaturi 105 °C do konstantne mase. Ohlajeni tehtiči se ponovno stehtajo ter po enačbi (1) določijo količina suhe snovi.

$$M_{ss} = \frac{m_{tpo} - m_{tpred}}{m_k} \times 100 [\%] \quad (1)$$

kjer je  $M_s$  delež suhe snovi v [%],  $m_{tpo}$  masa tehtiča s suho snovjo v [g],  $m_{tpred}$  masa praznega suhega tehtiča v [g] in  $m_k$  masa kopeli v [g].

## 2.2 Barvanje

Očiščeno vodo smo uporabili za laboratorijsko barvanje bombažnega pletiva (BW), poliamidne preje

(PA), volnene preje (WO), poliestrske preje (PES) in poliakrilonitrilne preje (PAN) s tremi recepturami, ki pomenijo svetli (L), srednji (M) in temni (D) barvni ton. Material smo hkrati primerjalno barvali z navadno tehnološko vodo v enakih razmerah. Barvali smo v barvalnem aparatu Ahiba Nuance ECO. Vsi materiali so bili pred tem pripravljene po ustaljenih postopkih izkuhanja, čiščenja in beljenja glede na zahteve materiala.

### Bombaž

Barvali smo 100-odstotno bombažno pletivo, spleteno iz preje finoče 14,3 tex, s končno ploščinsko maso 200 g/m<sup>2</sup>. Material, ki smo ga uporabili za barvanje temnega tona, je bil pred tem izkuhan. Material, ki smo ga uporabili za barvanje svetlega in srednjega barvnega tona, pa je bil pred tem beljen s postopkom Black Magic.

Uporabili smo barvila Novacron izdelovalca Huntsman/SwissColour (Slovaška); gelb LS-R, orange LS-BR, scharlach LS-2G, rot LS-B, blau LS-B in brilliantblau LS-G. Pri barvanju smo dodajali pomožna sredstva Biavin 109, Bezema (Švica) (preprečevanje gubanja bombažnega pletiva): Sevozym kat, Textil-Colour (Nemčija) (odstranjevanje preostalega vodikovega peroksida) in Alvirol AGK, Bezema (Švica) (deaktivacija kovinskih ionov).

Slika 1 prikazuje potek barvanja bombažnega pletiva, kopelno razmerje 1 : 20, preglednica 1 pa recepture za barvanje bombažnega pletiva v svetlem, srednjem in temnem barvnem tonu.

Preglednica 1: Recepture za barvanje bombažnega pletiva v svetlem (L), srednjem (M) in temnem (D) barvnem tonu

Table 1: Recipes for dyeing of cotton knit in light (L), medium (M) and dark (D) colour tone

Preglednica 1a: Količina barvil

Table 1a: Quantity of dyes

Barvila/Dyes	Koncentracija/Concentration [%]		
	L <sup>a)</sup>	M <sup>a)</sup>	D <sup>a)</sup>
Novacron gelb LS-R	0,004	0	0
Novacron orange LS-BR	0	0	2,3
Novacron scharlach LS-2G	0	0,2	0
Novacron rot LS-B	0,0008	1,3	4,0
Novacron brilliantblau LS-G	0,0004	0,0035	0
Novacron blau LS-B	0	0	3,5

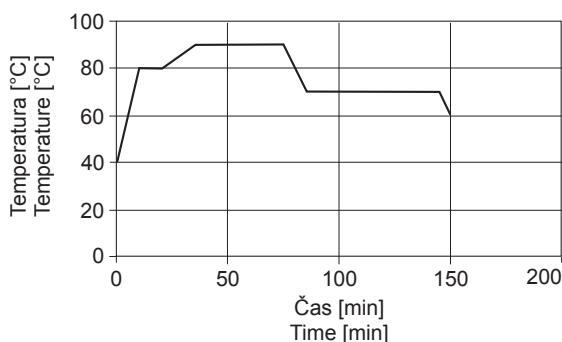
<sup>a)</sup>Barvni ton/Colour tone

Preglednica 1b: Količina kemikalij in pomožnih sredstev  
Table 1b: Quantity of chemicals and auxiliaries

Kemikalije in pomožna sredstva/ Chemicals and additives	Koncentracija/Concentration [g/l]		
	L <sup>a)</sup>	M <sup>a)</sup>	D <sup>a)</sup>
CH <sub>3</sub> COOH 80% (pH 6)	0,3	0,3	0,3
NaCl	10	15	40
NaOH 50%	2,5	2,5	2,5
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	5	5	5
Biavin 109	0,2	0,2	0,2
Alvirol AGK	1,0	1,0	1,0
Sevozym kat	0,5 <sup>b)</sup>	0,5 <sup>b)</sup>	0,5 <sup>b)</sup>

<sup>a)</sup>Barvni ton/Colour tone

<sup>b)</sup>Koncentracija sredstva je podana v odstotkih./Concentration is given in percentage.



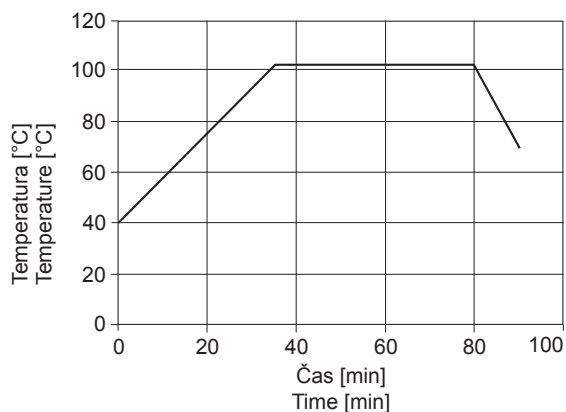
Slika 1: Potek barvanja bombažnega pletiva  
Figure 1: Dyeing procedure of cotton knits

### Volna

Barvali smo 100-odstotno volneno prejo finoče 31,1 tex, ki je bila pred tem oprana.

Uporabili smo barvila Bemacid izdelovalca Bezema (Švica): gelb CA-GW, rot CA-GW, blau CA-GW in pomožno sredstvo Breviol SCN, Pulcra (Nemčija).

(Kationsko sredstvo, ki skrbi za enakomerno prehanje barvila na material.) Potek barvanja je prikazan na sliki 2 (kopelno razmerje 1 : 10), recepture za barvanje pa v preglednici 2.



Slika 2: Potek barvanja volne  
Figure 2: Wool dyeing process

Preglednica 2: Recepture za barvanje volne v svetlem (L), srednjem (M) in temnem (D) barvnem tonu  
Table 2: Recipes for dyeing of wool in light (L), medium (M) and dark (D) colour tone

Preglednica 2a: Količina barvil  
Table 2a: Quantity of dyes

Barvilo/Dye	Koncentracija/Concentration [%]		
	L <sup>a)</sup>	M <sup>a)</sup>	D <sup>a)</sup>
Bemacid gelb CA-GW	0,150	0,450	2,75
Bemacid rot CA GW	0,045	0	1,55
Bemacid blau CA-GW	0,025	0,04	0,65

<sup>a)</sup>Barvni ton/Colour tone

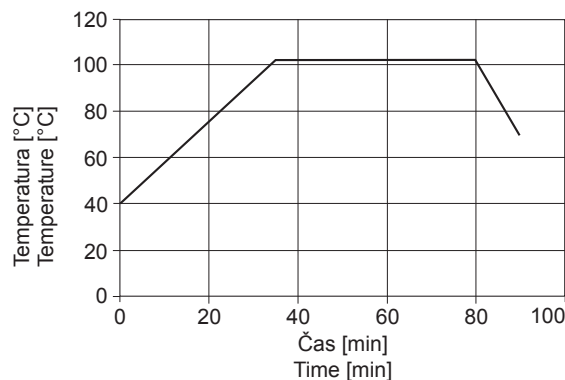
Preglednica 2b: Količina kemikalij in pomožnih sredstev

Table 2b: Quantity of chemicals and auxiliaries

Kemikalije in pomožna sredstva/Chemicals and additives	Koncentracija/Concentration		
CH <sub>3</sub> COOH 80 % (pH 6)	0,8 g/l	0,8 g/l	0,8 g/l
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,0 g/l	2,0 g/l	2,0 g/l
Breviol SCN	1,0 %	1,0 %	1,0 %

**Poliamid**

Barvali smo 100-odstotno poliamidno prejo z finoče dtex 78 f 20x2. Material je bil pred tem opran. Uporabili smo barvila Bemacid izdelovalca Bezema (Švica): rot B2-BSA, turquoise F-G, barvila Nylanthrene proizvajalca Yorkshire (Nemčija): gelb B4-NGL, orange CSLF, rubin C-5BL in barvila Optilan izdelovalca Clariant (Avstrija): gelb MF-RL, marine N-RBL ter barvilo Telon blau A-FN proizvajalca DyStar (Nemčija/Singapur). Uporabili smo naslednja pomožna sredstva: Meropan EF, Bezema (Švica); (uravnavanje pH kopele), Breviol SCN, Pulcra (Nemčija) (kationski proizvod, ki v kopeliposkrbi za enakomerno prehajanje



Slika 3: Potek barvanja poliamida

Figure 3: Polyamide dyeing process

Preglednica 3: Receptura za barvanje poliamida v svetlem (L), srednjem (M) in temnem (D) barvnem tonu

Table 3: Recipes for dyeing of polyamide in light (L), medium (M) and dark (D) tone

Preglednica 3a: Količina barvil

Table 3a: Quantity of dyes

Barvilo/Dye	Koncentracija/Concentration [%]		
	L <sup>a)</sup>	M <sup>a)</sup>	D <sup>a)</sup>
Nylanthrene gelb B4-NGL	0,0006	0	0
Optilan gelb MF-RL	0	0,4000	0
Nylanthrene orange CSLF	0	0	0,2000
Bemacid rot B2-BSA	0	0,1300	0
Nylanthrene rubin C-5BL	0	0	0,2000
Telon blau A-FN	0	0,2700	0
Optilan marine N-RBL	0	0	1,0000
Bemacid turquoise F-G	0,0030	0	0

<sup>a)</sup>Barvni ton/Colour tone

Preglednica 3b: Količina kemikalij in pomožnih sredstev

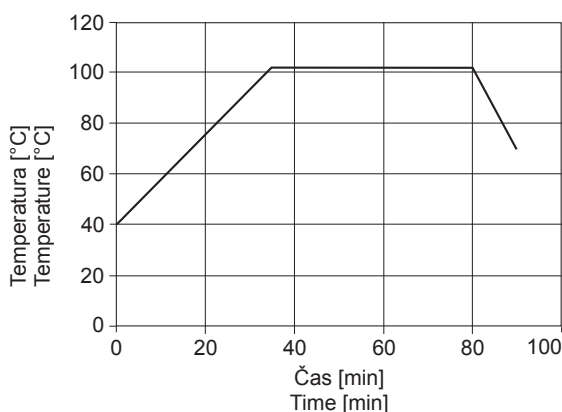
Table 3b: Quantity of chemicals and auxiliaries

Kemikalije in pomožna sredstva/Chemicals and additives	Koncentracija/Concentration		
CH <sub>3</sub> COOH 80%	0,8 g/l	0,8 g/l	0,8 g/l
Meropan EF	1,0 g/l	1,0 g/l	1,2 g/l
Sarabid C 14	0,5 %	0,5 %	0,5 %
Breviol SCN	1,0 %	1,0 %	1,0 %

barvila iz kopeli na material), Sarabid C 14, Bezema (Švica) (egalizirno sredstvo). Slika 3 prikazuje potek barvanja poliamida, kopelno razmerje 1 : 10, preglednica 3 pa recepture za barvanje.

### Poliakrilonitril

Barvali smo 100-odstotno poliakrilonitrilno prejo finoče 66,7 tex, ki je bila pred tem oprana. Uporabili smo barvila Astrazon izdelovalca DyStar (Nemčija/Singapur): goldgelb GLE, rot FBL, rot GTLN, blau FGRL in pomožna sredstva Rucogal PAB 300, Rudolf

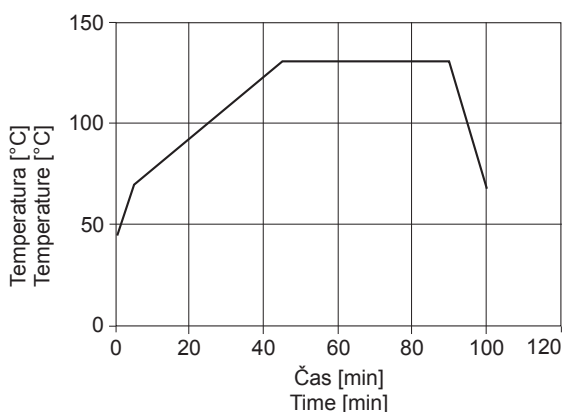


Slika 4: Potek barvanja za poliakrilonitril  
Figure 4: Polyacrylonitrile dyeing process

Chemie (Nemčija) (kationsko egalizirno sredstvo), Migrasist ACD, Rudolf Chemie (Nemčija) (kationski zaviralec). Slika 4 prikazuje potek barvanja poliakrilonitrila, kopelno razmerje 1 : 10, preglednica 4 pa recepture za barvanje.

### Poliester

Barvali smo 100-odstotno poliestrsko prejo finoče 25 tex, ki je bila pred tem oprana. Po barvanju smo material reduktivno čistili.



Slika 5: Potek barvanja poliembra  
Figure 5: Polyester dyeing process

Preglednica 4: Recepture za barvanje poliakrilonitrila v svetlem (L), srednjem (M) in temnem (D) barvnem tonu  
Table 4: Recipes for dyeing of polyacrylonitrile in light (L), medium (M) and dark (D) tone Table 4a: Quantity of dyes

Preglednica 4a: Količina barvil  
Table 4a: Quantity of dyes

Barvilo/Dye	Koncentracija/Concentration [%]		
	L <sup>a)</sup>	M <sup>a)</sup>	D <sup>a)</sup>
Astrazon goldgelb GLE	0,01	0,017	0,25
Astrazon rot FBL	0	0,025	0,8
Astrazon rot GTLN	0,0015	0	0
Astrazon blau FGRL	0,0022	0,12	0,16

<sup>a)</sup>Barvni ton/Colour tone

Preglednica 4b: Količina kemikalij in pomožnih sredstev  
Table 4b: Quantity of chemicals and auxiliaries

Kemikalije in pomožna sredstva/Chemicals and additives	Koncentracija/Concentration		
CH <sub>3</sub> COOH 80% (pH 4,5)	1,8 g/l	1,8 g/l	1,8 g/l
Rucogal PAB 300	0,6 %	0,6 %	0,6 %
Migrasist ACD	1,5 %	1,5 %	1,5 %

Preglednica 5: Recepture za barvanje poliestrske preje  
Table 5: Recipes for dyeing of polyester

Preglednica 5a: Količina barvil  
Table 5a: Quantity of dyes

Barvilo/Dye	Koncentracija/Concentration [%]		
	L <sup>a)</sup>	M <sup>a)</sup>	D <sup>a)</sup>
Foron brilliantgelb SWF	0	0	0,1500
Foron goldgelb SWF	0,0040	0,2480	0,5000
Foron rot SWF	0,0001	0,0003	0
Foron blau SWF	0,0002	0,0030	0
Foron marineblau SWF	0	0	0,5000

<sup>a)</sup>Barvni ton/Colour tone

Preglednica 5b: Količina kemikalij in pomožnih sredstev  
Table 5b: Quantity of chemicals and auxiliaries

Kemikalije in pomožna sredstva/Chemicals and additives	Koncentracija/Concentration [g/l]		
CH <sub>3</sub> COOH 80% (pH 4,5)	1,1	1,1	1,1
Alwiron PWE	1,5	1,5	1,5
Tanacid SAB	0,75	0,75	0,75

Uporabili smo barvila Foron izdelovalca Archroma (Švica): brilliantgelb SWE, goldgelb SWE, rot SWE, blau SWE, marineblau SWF in pomožna sredstva Alwiron PWE, TextilColour (Nemčija); (migrirno, egalizirno in dispergirno sredstvo), Tanacid SAB, Tanatex (Nemčija); (kislá pufirska mešanica z dispergirnimi lastnostmi), Rucorit RAL, Rudolf GmbH (Nemčija) (redukcijsko sredstvo za naknadne obdelave). Slika 5 prikazuje potek barvanja poliestra, kopelno razmerje 1 : 10, preglednica 5 pa recepture za barvanje.

### 2.3 Metode preiskav

#### Merjenje barve

Barvo vzorcev smo merili s pomočjo sistema CIE v spektralnem območju med 400 in 700 nm. Uporabili smo spektrofotometer Spectraflash SF-600X (DataColour). Kot vir svetlobe smo uporabili halogensko žarnico in ksenonsko bliskavico, ki v kombinaciji s filtrom dajeta standardizirano dnevno svetlobo D65. Merili smo vzorce bombažnega pletiva v štirih plasteh ter vzorce poliamidne, volnene, poliestrske in poliakrilonitrilne preje, v več

plasteh navite na kartonski nastavek, z izključenim leskom, pri merilni odprtini 6,6 mm. Vsak vzorec smo izmerili trikrat. Podali smo povprečne barvne vrednosti svetlosti (CIE  $L^*$ ), položaja na rdeče-zeleni osi ( $a^*$ ) in položaja na rumeni modri osi ( $b^*$ ) barvnega koordinatnega sistema ter celotno barvno razliko  $\Delta E_{ab}$  med vzorci, pobarvanimi v tehnološki vodi in vodi, očiščeni z izbranim flokulantom [11].

#### Določanje barvne obstojnosti

Barvno obstojnost pri pranju smo določali po standardu SIST EN ISO 105-C06:1999 [30]. Prehod barvila na prvo spremljevalno tkanino smo spektrofotometrično ovrednotili v skladu s standardom SIST EN ISO 105-A04:1999 [10].

Obstojnost proti kislemu in alkalnemu znoju smo določali po standardu SIST EN ISO 105-E04:1999 [30]. Prehod barvila na prvo spremljevalno tkanino smo spektrofotometrično ovrednotili v skladu s standardom SIST EN ISO 105-A04:1999 [10].

Vse našteté obstojnosti se ocenjujejo z ocenami od 1 do 5, kjer 1 pomeni najslabšo in 5 najboljšo obstojnost.

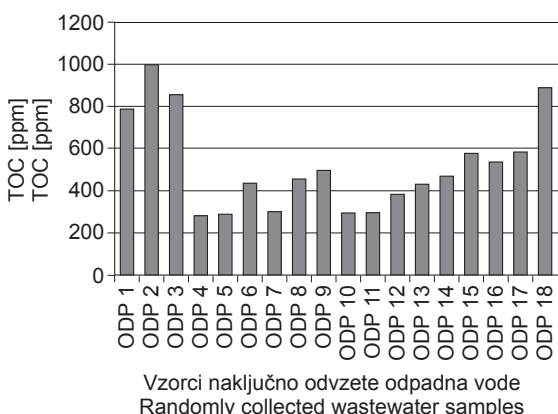


### 3 Rezultati z razpravo

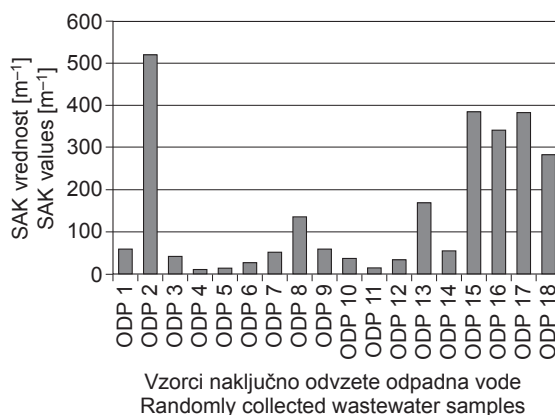
Slika 6 prikazuje delež suhe snovi, slika 7 TOC vrednosti in slika 8 obarvanost odpadne vode pri 436 nm v naključno odvzetih vzorcih odpadne vode. Odvzeli smo 18 vzorcev, ki smo jih označili od ODP1 do ODP18.



Slika 6: Delež suhe snovi v (%) v naključno odvzetih vzorcih odpadne vode (ODP 1 do ODP 18)  
Figure 6: Dry substance rate (%) in randomly collected wastewater samples (ODP 1 to ODP 18)



Slika 7: Vrednost TOC v (ppm) v naključno odvzetih vzorcih odpadne vode (ODP 1 do ODP 18)  
Figure 7: TOC values (ppm) of randomly collected wastewater samples (ODP 1 to ODP 18)



Slika 8: SAK naključno odvzetih vzorcev odpadne vode pri 436 nm vode (ODP 1 do ODP 18)  
Figure 8: SAK at 436 nm of randomly collected wastewater samples (ODP 1 to ODP 18)

Kot je razvidno s slik od 6 do 8, so vrednosti suhe snovi, TOC in obarvanosti pri 436 nm pri vzorcih naključno odvzete odpadne vode zelo različne. To pomeni, da obremenitve odpadne vode tekom dneva izjemno nihajo. To je skladno s podatki iz literature [12], kjer je poudarjena izredno spremenljiva sestava odpadnih voda iz barvarne in je izrazito kompleksen problem za pripravo optimalnega postopka čiščenja odpadne vode. Ugotovili pa smo tudi, da je nemogoče sestaviti odpadno vodo za testiranje v laboratoriju. Zato smo vodo za raziskavo (represntativni vzorec) zbrali v zbiralnem bazenu v enem tednu, kot je opisano v eksperimentalnem delu.

Preglednica 6 prikazuje okoljske parametre reprezentativnega vzorca odpadne vode in vode, očiščene s flokulantom CHT- CV.

KPK vrednost reprezentativnega vzorca je 680 mg/l. Z uporabo flokulanta CHT-CV smo vrednosti KPK znižali za 15 %. Prav tako se je znižala obarvanost odpadne vode. Vrednost TOC reprezentativnega vzorca odpadne vode je 615 ppm. Vrednost TOC se s postopkom ni bistveno spremenila in znaša 597 ppm.

Preglednica 6: Okoljski parametri reprezentativnega vzorca odpadne vode in vode, očiščene s flokulantom CHT- CV  
Table 6: Environmental parameters of representative sample of wastewater and water cleaned with flocculant CHT-CV

Voda/Water	Suha snov/Dry matter [%]	KPK [mg/l]	TOC [ppm]	IC [ppm]	SAK [m <sup>-1</sup> ]		
					436 nm	525 nm	620 nm
Odpadna/Waste	0,23 ± 0,01	680 ± 10	615 ± 10	92 ± 1	420,0	219,0	190,0
Očiščena/Treated	0,25 ± 0,01	580 ± 10	597 ± 10	113 ± 1	1,6	0,6	0,5

Preglednica 7: Vrednosti CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  za vzorce bombaža, barvane v svetlem (L), srednjem (M) in temnem (D) barvnem tonu, in barvna razlika ( $\Delta E_{ab}^*$ ) med vzorcema, barvanima s tehnološko in očiščeno vodo  
Table 7: CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  values of cotton dyed in light (L), medium (M) and dark (D) tone and colour difference ( $\Delta E_{ab}^*$ ) between samples dyed with technological and treated water

Voda/Water	Barvni ton/Colour tone	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E_{ab}^*$
Tehnološka/Technological	L	93,46	-0,22	9,06	a)
	M	44,04	55,42	0,71	/
	D	26,23	34,81	13,87	/
Očiščena/Treated	L	91,99	-1,13	9,81	1,88
	M	43,65	55,49	1,38	0,78
	D	26,48	35,06	13,83	0,36

a) Razlika med vzorcema je podana samo pri očiščeni vodi, da se podatki ne podvajajo.

Preglednica 8: Vrednosti CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  za vzorce poliestra, barvane v svetlem (L), srednjem (M) in temnem (D) barvnem tonu, in barvna razlika ( $\Delta E_{ab}^*$ ) med vzorcema, barvanima s tehnološko in očiščeno vodo  
Table 8: CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  values of polyester dyed in light (L), medium (M) and dark (D) tone and colour difference ( $\Delta E_{ab}^*$ ) between samples dyed with technological and treated water

Voda/Water	Barvni ton/Colour tone	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E_{ab}^*$
Tehnološka/Technological	L	82,85	2,59	14,00	a)
	M	55,48	9,37	21,87	/
	D	24,77	6,53	3,48	/
Očiščena/Treated	L	83,36	3,33	14,05	0,90
	M	55,30	9,70	22,13	0,45
	D	25,01	6,57	3,47	0,24

a) Razlika med vzorcema je podana samo pri očiščeni vodi, da se podatki ne podvajajo.

Preglednica 9: Vrednosti CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  za vzorce poliakrilonitrila, barvane v svetlem (L), srednjem (M) in temnem (D) barvnem tonu, in barvna razlika ( $\Delta E_{ab}^*$ ) med vzorcema, barvanima s tehnološko in očiščeno vodo  
Table 9: CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  values of polyacrylonitrile dyed in light (L), medium (M) and dark (D) tone and colour difference ( $\Delta E_{ab}^*$ ) between samples dyed with technological and treated water

Voda/Water	Barvni ton/Colour tone	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E_{ab}^*$
Tehnološka/Technological	L	85,45	0,57	11,45	a)
	M	53,41	2,74	-20,96	/
	D	25,52	32,04	3,92	/
Očiščena/Treated	L	84,40	0,46	11,76	1,10
	M	53,61	3,23	-20,53	0,68
	D	25,87	32,02	3,43	0,61

a) Razlika med vzorcema je podana samo pri očiščeni vodi, da se podatki ne podvajajo.

Preglednice od 7 do 11 prikazujejo vrednosti CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ter barvne razlike za vzorce različnih materialov, barvanih s tehnološko in očiščeno vodo. Iz preglednice 7 je razvidno, da so vzorci, barvani z očiščeno vodo, temnejši kot vzorci, barvani s tehnološko

vodo (imajo nižje vrednosti  $L^*$ ). Največja razlika je pri svetlem barvnem tonu (-1,46), manjša je pri srednjem (-0,39) in najmanjša pri temnem barvnem tonu (0,25).

Preglednica 10: Vrednosti CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  za vzorce volne, barvane v svetlem (L), srednjem (M) in temnem (D) barvnem tonu, in barvna razlika ( $\Delta E_{ab}^*$ ) med vzorcem, barvanim s tehnološko in očiščeno vodo  
Table 10: CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  values of wool dyed in light (L), medium (M) and dark (D) tone and colour difference ( $\Delta E_{ab}^*$ ) between samples dyed with technological and treated water

Voda/Water	Barvni ton/Colour tone	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E_{ab}^*$
Tehnološka/Technological	L	65,33	7,48	22,60	a)
	M	68,82	-16,26	41,32	/
	D	25,00	13,63	13,68	/
Očiščena/Treated	L	64,11	7,42	22,59	1,21
	M	68,49	-15,72	40,88	0,77
	D	24,60	13,59	13,26	0,58

<sup>a)</sup>Razlika med vzorcema je podana samo pri očiščeni vodi, da se podatki ne podvajajo.

Preglednica 11: Vrednosti CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  za vzorce poliamida, barvane v svetlem (L), srednjem (M) in temnem (D) barvnem tonu, in barvna razlika  $\Delta E_{ab}^*$  med vzorcema, barvanima s tehnološko in očiščeno vodo  
Table 11: CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  values of polyamide dyed in light (L), medium (M) and dark (D) tone

Voda/Water	Barvni ton/Colour tone	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E_{ab}^*$
Tehnološka/Technological	L	88,89	-9,26	11,96	a)
	M	34,93	9,94	14,12	/
	D	12,61	2,18	-9,25	/
Očiščena/Treated	L	88,87	-7,96	12,10	1,32
	M	35,26	10,33	13,92	0,55
	D	13,51	2,21	-9,53	0,94

<sup>a)</sup>Razlika med vzorcema je podana samo pri očiščeni vodi, da se podatki ne podvajajo.

Tudi celotna barvna razlika,  $\Delta E_{ab}^*$ , je največja pri svetlem in najmanjša pri temnem barvnem tonu. Barvna razlika pri svetlem tonu znaša 1,88 in je previsoka, saj je  $\Delta E_{ab}^* > 1,5$  nesprejemljiva za večino kupcev. Vrednosti  $\Delta E_{ab}^*$  za srednji (0,78) in temni (0,36) barvni ton sta manjši od 1, kar pomeni, da imata ustrezno barvo tudi vzorca, barvana z očiščeno vodo. Pri poliesteru se vrednosti svetlosti primerjanih vzorcev skoraj ne razlikujejo. Največja razlika v svetlosti je pri svetlem barvnem tonu in znaša 0,51. Tudi celotna barvna razlika je največja pri svetlem barvnem tonu in znaša 0,90. Ta vrednost je sprejemljiva tudi za najzahtevnejše kupce, kjer se po navadi zahteva  $\Delta E_{ab}^* < 1,0$ . Vrednost  $\Delta E_{ab}^*$  za srednji barvni ton znaša 0,45 in za temnega 0,24. Obe vrednosti sta zelo nizki, kar pomeni minimalno razliko v barvnem tonu. To pa pomeni zelo dobro ponovljivost barvanja glede na material, barvan s tehnološko vodo. Največje odstopanje v svetlosti med primerjanima vzorcema je pri svetlem barvnem tonu in znaša -1,05, kar pomeni, da je vzorec, pobarvan z očiščeno

vodo, temnejši. Pri srednjem in temnem barvnem tonu je razlika v svetlosti majhna in znaša za srednji ton 0,20 in za temnega 0,35. Največja  $\Delta E_{ab}^*$  je izmerjena pri svetlem barvnem tonu in znaša 1,10. Pri srednjem barvnem tonu znaša 0,68 in pri temnem 0,61. Vrednost barvne razlike z intenziteto barvnega tona pada. Vse tri razlike so sprejemljive za večino kupcev. Največje odstopanje v svetlosti med primerjanima vzorcema je pri svetlem barvnem tonu in znaša -1,21. Pri srednjem in temnem barvnem tonu je razlika v svetlosti med primerjanima vzorcema manjša ter znaša za srednji ton -0,33 in za temnega -0,40. To pa pomeni, da so vsi trije vzorci, pobarvani z očiščeno vodo, temnejši od vzorca, pobarvanega s tehnološko vodo. Kot v prejšnjih primerih je tudi pri volni največja  $\Delta E_{ab}^*$  izmerjena pri svetlem barvnem tonu (1,21), najmanjša pa pri temnem (0,58). Verjetnost ponovljivosti odtenka je tako večja pri temnem barvnem tonu. Vse tri razlike pa so sprejemljive za večino kupcev.

Pri poliamidu pa je, nasprotno kot pri drugih vzorcih, največje odstopanje v svetlosti med primerjanima vzorcema pri temnem tonu. Znaša 0,90 in pomeni, da je vzorec, barvan z očiščeno vodo, svetlejši od vzorca, barvanega s tehnološko vodo. Pri svetlem in srednjem barvnem tonu je razlika v svetlosti med primerjanima vzorcema manjša in znaša za srednji ton 0,34 in za svetlega -0,02.

Celotna barvna razlika pa je tudi pri poliamidu največja pri svetlem barvnem tonu in znaša 1,32. Vsi trije barvni toni, pobarvani z očiščeno vodo, so tukaj svetlejši od vzorcev, pobarvanih s tehnološko vodo. Verjetnost ponovljivosti barvnega tona je tako večja pri temnem barvnem tonu. Vse tri razlike pa so sprejemljive za večino kupcev.

Preglednica 12: Obstočnost pri pranju terproti kislemu in alkalnemu znoju za bombaž  
Table 12: Colour fastnesses to wash and acid and alkaline perspiration of cotton

Voda/Water	Barvni ton/ Colour tone	Ocena/Evaluation		
		Kisli znoj/Acid perspiration	Alkalni znoj/ Alkaline perspiration	Pranje/Washing
Tehnološka/ Technological	L	4-5	3	4-5
	M	4-5	3-4	4
	D	3	2	3
Očiščena/Treated	L	3	3	4
	M	2	2	3
	D	2	2	2-3

Preglednica 13: Obstočnost pri pranju terproti kislemu in alkalnemu znoju za poliester  
Table 13: Colour fastnesses to wash and acid and alkaline perspiration of polyester

Voda/Water	Barvni ton/ Colour tone	Ocena/Evaluation		
		Kisli znoj/Acid perspiration	Alkalni znoj/ Alkaline perspiration	Pranje/Washing
Tehnološka/ Technological	L	5	5	5
	M	5	4-5	5
	D	4-5	4	5
Očiščena/Treated	L	4-5	4-5	5
	M	5	4-5	5
	D	4	4	5

Preglednica 14: Obstočnost pri pranju terproti kislemu in alkalnemu znoju za poliakrilonitril  
Table 14: Colour fastnesses to wash and acid and alkaline perspiration of polyacrylonitrile

Voda/Water	Barvni ton/ Colour tone	Ocena/Evaluation		
		Kisli znoj/Acid perspiration	Alkalni znoj/ Alkaline perspiration	Pranje/Washing
Tehnološka/ Technological	L	5	5	5
	M	5	4-5	5
	D	5	4-5	4-5
Očiščena/Treated	L	5	5	5
	M	5	4-5	5
	D	5	4-5	4-5

Preglednica 15: Barvna obstojnost volne pri pranju terproti kislemu in alkalnemu znoju  
Table 15: Colour fastnesses to wash and acid and alkaline perspiration of wool

Voda/Water	Barvni ton/ Colour tone	Ocena/Evaluation		
		Kisli znoj/Acid perspiration	Alkalni znoj/ Alkaline perspiration	Pranje/Washing
Tehnološka/ Technological	L	4-5	3-4	5
	M	4-5	3-4	4-5
	D	4	3	4-5
Očiščena/Treated	L	4-5	3-4	5
	M	4-5	3-4	4-5
	D	3	2-3	4-5

Preglednica 16: Barvna obstojnost poliamida pri pranju terproti kislemu in alkalnemu znoju  
Table 16: Colour fastnesses to wash and acid and alkaline perspiration of polyamide

Voda/Water	Barvni ton/ Colour tone	Ocena/Evaluation		
		Kisli znoj/Acid perspiration	Alkalni znoj/ Alkaline perspiration	Pranje/Washing
Tehnološka/ Technological	L	4	3-4	5
	M	3-4	3	4-5
	D	3-4	3	4
Očiščena/Treated	L	4	3	5
	M	3	3	4-5
	D	3	3	4

V preglednicah od 12 do 16 so prikazane ocene obstojnosti na pranje in ocene obstojnosti proti kislemu in alkalnemu znoju za vse materiale, pobarvane s tehnološko in z očiščeno vodo.

Vse obstojnosti, tako pri pranju kot proti kislemu in alkalnemu znoju, so na bombažu, pobarvanem z očiščeno vodo, slabše (ocene od 2 do 3) od obstojnosti na bombažu, pobarvanem s tehnološko vodo (ocene od 2 do 4-5).

Obstojnost pri pranju na poliestru, pobarvanem z očiščeno vodo, je enaka kot pri vzorcih, pobarvanih s tehnološko vodo. V obeh primerih je odlična pri vseh barvnih tonih (ocene 5).

Obstojnost proti kislemu in alkalnemu znoju je zelo dobra pri poliestru, barvanem s tehnološko vodo (ocene od 4 do 5), pri vzorcih, obarvanih z očiščeno vodo, pa so za malenkost slabše (ocene od 4 do 4-5).

V vseh primerih, tako pri pranju kot proti kislemu in alkalnemu znoju, je obstojnost pri poliakrilonitrilu,

pobarvanem z očiščeno vodo, enaka kot pri vzorcih, pobarvanih s tehnološko vodo. V obeh primerih je odlična pri vseh treh barvnih tonih (ocene od 4-5 do 5).

Barvna obstojnost volne pri pranju je odlična tako pri vzorcih, pobarvanih z očiščeno vodo, kot pri vzorcih, pobarvanih s tehnološko vodo, pri vseh treh barvnih tonih (ocene od 4-5 do 5).

Barvna obstojnost volne pri kislem znoju je boljša kot pri alkalnem znoju. Med vzorci, obarvanimi s svežo in očiščeno vodo, pa so razlike le pri temnem tonu, kjer so slabše pri tistih, ki so barvani z očiščeno vodo.

Barvna obstojnost pri pranju in pri alkalnem znoju je pri vzorcih poliamida, pobarvanih z očiščeno vodo, enaka kot pri vzorcih, pobarvanih s tehnološko vodo (od 4 do 5). Nekoliko slabša je obstojnost vzorcev, barvanih z očiščeno vodo, pri kislem znoju (ocene od 3 do 4) kot pri vzorcih, barvanih s tehnološko vodo (ocene od 3-4 do 4).

## 4 Sklepi

Z raziskavo smo želeli ugotoviti, v kolikšni meri je flokulacija primerna metoda za obdelavo odpadne vode iz barvarne tekstilnega materiala in kakšne so možnosti za ponovno uporabo tako očiščene odpadne vode. Raziskavo smo opravljali v barvarni podjetja Gorenjska predilnica, d. d., v Škofji Loki. V barvarni plemenitijo pletiva različne surovinske sestave, od naravnih celuloznih in beljakovinskih vlaken do vseh vrst sintetičnih vlaken in njihovih mešanic, pri čemer uporabljajo različna barvila in različna pomožna sredstva. Zato je sestava odpadne vode zelo pestra, pogosto je tudi močno obremenjena.

V prvem delu raziskave smo proučili sestavo odpadne vode. Določili smo štiri okoljske parametre obremenitve odpadne vode: kemijsko potrebo po kisiku, celoten organski ogljik, vsebnost suhe snovi in obarvanost.

Ugotovili smo, da obremenitev odpadne vode že v teku posameznega dneva močno niha. Povprečna obremenjenost je visoka, s TOC do 990 ppm in močno obarvanostjo. Da bi dobili povprečno obremenjeno odpadno vodo, smo vzorce vode odvzeli sedem dni iz zbiralnega bazena in jih zmešali med seboj, s čimer smo dobili reprezentativni vzorec odpadne vode.

Reprezentativno odpadno vodo smo obdelali z 0,3 g/l flokulanta CHT-CV pri pH 8, pri čemer se je obarvanost zmanjšala za 99 % in KPK za 15 %. Delež suhe snovi se je pri tem povečal.

Z očiščeno vodo smo nato barvali bombaž, volno, poliester, poliakrilonitril in poliamid v svetlem, srednjem in temnem barvnem tonu po postopkih, ki jih uporabljajo v podjetju Gorenjska predilnica, d. d. Sočasno smo z enako recepturo barvali enak material s svežo tehnološko pripravljeno vodo.

Vse testirane materiale smo z očiščeno vodo uspešno pobarvali. Največja barvna razlika med vzorcem, barvanim z očiščeno vodo, in vzorcem, barvanim s svežo vodo, je bila pri bombažu pri svetlem tonu, in sicer 1,88. Tudi pri drugih materialih je bila barvna razlika največja pri svetlem tonu, in sicer 1,10 pri poliakrilonitrilu, 1,21 pri volni, 1,32 pri poliamidu in 0,90 pri poliestru. Zaradi občutljivosti svetlih barvnih tonov je verjetno, da bi v proizvodnji ob barvanju različnih partij prihajalo do večjih razlik in ne bi bili ponovljivi.

Pri vseh materialih je barvna razlika med vzorci, barvanimi s tehnološko in očiščeno vodo, v srednjem

tonu manjša od 1,5, v temnem tonu pa manjša od 1,0. To pomeni, da je očiščena voda primerna za barvanje srednjih in temnih barvnih tonov vseh testiranih materialov. Najmanjšo barvno razliko smo izmerili pri barvanju poliestra v temnem tonu, in sicer 0,24.

Pri sintetičnih materialih smo izmerili manjše barvne razlike med vzorci, pobarvanimi s tehnološko, in tistimi, pobarvanimi z očiščeno vodo, kot pri naravnih materialih. Sintetične materiale je namreč težje pobarvati, saj so zaradi večje hidrofobnosti, večje orientacije in manjšega števila funkcionalnih skupin manj dovzetni za barvila in druge snovi iz kopele. Zato je tudi navzemanje in vezanje primesi, ki se niso odstranile pri obdelavi odpadne vode in lahko povzročijo barvne razlike na obarvanem materialu, manjše pri sintetičnih kot pri naravnih vlaknih.

Najmanjše barvne razlike smo izmerili pri barvanju poliestra, največje pa pri barvanju volne. Pri načrtovanju pilotne čistilne naprave v podjetju bi bilo smiselno na sistem, s katerim bi v proces barvanja vračali očiščeno vodo, vezati en barvalni aparat, ki bi ga uporabljali predvsem za visokotemperaturno barvanje poliestrskih materialov.

Barvne obstojnosti so pri bombažu, barvanem z očiščeno vodo, slabše kot pri vzorcu, barvanem s tehnološko vodo. Razlika je največ za eno oceno. Pri drugih materialih ni razlike v mokri obstojnosti med vzorci, pobarvanimi s tehnološko ali z očiščeno vodo. Sklepamo lahko, da je bombaž med barvanjem navzel tudi nečistoče iz očiščene vode. Pri testiranju mokrih obstojnosti pa so prešle iz materiala v kopel in obarvale spremljevalno tkanino.

Obstojnost proti kislemu in alkalnemu znoju je pri bombažu, ki smo ga barvali z očiščeno vodo, slabša kot pri vzorcu, ki smo ga barvali s tehnološko vodo. Slabša je obstojnost tudi pri volni in poliamidu. Pri poliakrilonitrilu in poliestru ni razlike med ocenami. Flokulacija se je pokazala kot postopek, ki zadovoljivo odstrani prisotna barvila iz odpadne vode. Voda je, kljub še vedno visokim vrednostim KPK in TOC, primerna za pripravo novih kopeli, saj so barvni toni skoraj enaki vzporedno barvanim vzorcem s tehnološko vodo in popolnoma primerljivi odstopanjem med barvnimi partijami v sami proizvodnji. Največ težav bi bilo pri barvanju svetlih barvnih tonov. Voda je primerna za barvanje temnih barvnih tonov in za barvanje sintetičnih vlaken, lahko pa bi jo uporabili tudi kot izpiralno vodo po barvanju.

V prihodnje bi bilo smiselno v barvarnah tekstilnih materialov postaviti pilotno čistilno napravo in v proizvodnji na večji količini materiala testirati ponovljivost barvnih tonov. Treba bi bilo vključiti ekonomsko upravičenost metode flokulacije glede na to, da je voda še vedno poceni surovina, in upoštevati, da s flokulacijo problem odpadnih barvil prenesemo iz odpadne vode v odpadno blato, ki ga je prav tako treba obdelati in nato odložiti.

Dobljeni rezultati bodo v pomoč podjetju pri izbiri ustreznega postopka obdelave odpadne vode ter pri definiranju stroškov ob načrtovanju lastne čistilne naprave. Pripomogli bodo k optimizaciji procesov ter posledično k znižanju skupnih stroškov skozi zmanjšano porabo vode.

## Viri

1. SOLJAČIĆ, Ivo, PUŠIĆ, Tanja. Ekologija u procesima oplemenjivanja i njege tekstila. *Tekstil*, 2005, **54**, 390–401.
2. JOSHI, M., PURWAR, R. Developments in new processes for colour removal from effluent. *Review of Progress in Colouration and Related Topics*, 2004, **34**, 58–71, 10.1111/j.1478-4408.2004.tb00152.x.
3. *Water recycling in textile wet processing*. Edited by J. Kenneth Skelly. Hampshire : Society of dyers and colourists, 2003, pp. 3–15, pp. 116–130.
4. POBERŽNIK, Mojca, SIMONIČ, Marjana. Razbarvanje odpadnih voda procesa barvanja s postopki flokulacije in koagulacije. *Tekstilec*, 2005, **48**(10–12), 237–244.
5. MENEZES, E. Developments in waste water treatment methods. *Energy and Waste Water*, 2003, 58–65.
6. HOLKAR, Chandrakant R., JADHAV, Ananda J., PINJARI, Dipak V., MAHAMUNI, Naresh M., PANDIT, Aniruddha B. A critical review on textile wastewater treatments: possible approaches. *Journal of Environmental Management*, 2016, **182**, 351–366, doi: 10.1016/j.jenvman.2016.07.090.
7. FORTE TAVČER, Petra. Čiščenje odpadne tehnološke vode pri tiskanju s pigmenti. *Tekstilec*, 2003, **46**(5–6), 120–126.
8. *Gorenjska predilnica d. d.* [dostopno na daljavo] [citirano 17. 01. 2016]. Dostopno na svetovnem spletu <<http://www.gorenjska-predilnica.si/index.php/sl/>>.
9. JAMNIK, M. *Poročilo o obratovalnem monitoringu odpadnih voda za podjetje Gorenjska predilnica*. Škofja Loka, 2013, 1–10.
10. *Slovenski inštitut za standardizacijo* [dostopno na daljavo] [citirano 05. 05. 2016] Dostopno na svetovnem spletu: <<http://ecommerce.sist.si/default.aspx>>.
11. GOLOB, Vera, GOLOB, Darko. *Interdisciplinarnost barve. Del 1.: V znanosti*. Uredila Slava Jeler in Marko Kumar. Maribor : Društvo koloristov Slovenije. Maribor, 2001, pp. 201–230.
12. *Colour in dyehouse effluent*. Edited by P. COOPER. Nottingham : Society of dyers and colourists, 1995, pp. 9–22.