

Utjecaj koncentracije optičkog bjelila na bjelinu i UV zaštitu pamučne tkanine

Hofmann, Juraj

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Textile Technology / Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:201:424788>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-05**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
TEKSTILNA TEHNOLOGIJA I INŽENJERSTVO (TTI)**

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ KONCENTRACIJE OPTIČKOG BJELILA
NA BJELINU I UV ZAŠTITU PAMUČNE TKANINE**

Juraj Hofmann

Zagreb, rujan 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
TEKSTILNA TEHNOLOGIJA I INŽENJERSTVO
Smjer: Tekstilna kemija, materijali i ekologija (TKME)

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ KONCENTRACIJE OPTIČKOG BJELILA
NA BJELINU I UV ZAŠTITU PAMUČNE TKANINE**

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Anita Tarbuk

Juraj Hofmann

Zagreb, rujan 2020.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Institucija: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

Sveučilišni diplomski studij: Tekstilna tehnologija i inženjerstvo

Smjer: Tekstilna kemija, materijali i ekologija

Rad je izrađen u: Zavod za tekstilnu kemiju i ekologiju

Student: Juraj Hofmann

Matični broj (broj indeksa): 10967/TTI-TKME

Mentor: izv. prof. dr. sc. Anita Tarbuk

Broj stranica: 37

Broj tablica: 18

Broj slika : 22

Broj literaturnih referenci: 37

Jezik teksta: hrvatski

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. Doc. dr. sc. Tihana Dekanić, predsjednica
2. Izv. prof. dr. sc. Anita Tarbuk, mentorica, članica
3. Izv. prof. dr. sc. Maja Somogyi Škoc, članica
4. Izv. prof. dr. sc. Iva Rezić, zamjenica članice

Rad je pohranjen u knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta, Prilaz baruna Filipovića 28a.



Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP-2017-05-8780 *Bolničke zaštitne tekstilije*.

ZAHVALE

Veliko hvala, u prvom redu, dugujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Aniti Tarbuk koja mi je omogućila svu potrebnu opremu i pomogla sa svojim savjetima pri izradi diplomskog rada, i što je uvijek imala razumijevanja, vremena i strpljenja za mene.

Također, zahvaljujem mami i bratu na podršci. Oni su uvijek bili uz mene i zato je moj tijek studiranja bio znatno olakšan.

Svima hvala!

SAŽETAK:

Juraj Hofmann:

UTJECAJ KONCENTRACIJE OPTIČKOG BJELILA NA BJELINU I UV ZAŠTITU PAMUČNE TKANINE

U ovom diplomskom radu istraženi su učinci optičkih bjelila različite kemijske građe te njihova remisija u plavom dijelu spektra. U tu svrhu pamučne tkanine obrađene su optičkim bjelilima različite konstitucije i tona emisije: derivatima stilbena Uvitex BHT i Uvitex RSB, te distirilbifenil derivatom Uvitex NFW u širokom koncentracijskom rasponu (0,2; 0,5; 2; 5; 20 i 50 % na masu materijala). U svrhu ekonomične obrade snižena je temperatura obrade na 60°C. Bjelila su primijenjena uz dodatak 5 g/l Na₂SO₄ postupkom iscrpljenja na aparatu Mathis u vremenu 30 min. Ispitan je utjecaj koncentracije optičkog bjelila na bjelinu i UV zaštitu pamučne tkanine i evaluiran prema normiranim metodama. Prvo je istražena fluorescencija otopine optičkog bjelila, te su na tkaninama nakon obrade ispitana su sljedeća svojstva: Spektralne karakteristike, bjelina, požućenje, odstupanje tona od idealno bijele, te UV zaštita. Pokazalo se da optička bjelila Uvitex NFW i Uvitex BHT emitiraju u plavom, a Uvitex RSB u crveno-ljubičastom. Kod bjelila plavog tona, optimalna koncentracija je 0,5% iako se najveća bjelina postiže pri 2 %. Pri višim koncentracijama dolazi do gašenja fluorescencije, što rezultira požućenjem tkanine. Za razliku od Uvitex BHT i Uvitex NFW, kod Uvitex RSB bjelina raste s povećanjem koncentracije i pri koncentraciji od 20 % pokazuje najveću bjelinu. Međutim, već koncentracija od 2 % daje podjednaku bjelinu i UV zaštitu te se može smatrati optimalnom. S druge strane, sve optički bijeljene tkanine već pri najnižoj koncentraciji doprinose povećanju UV zaštite, a pri 0,5 % i višoj koncentraciji pokazuju maksimalnu moguću UV zaštitu (UPF=1000). Optička bjelila plavog tona pri koncentraciji 0,2 % daju nešto višu zaštitu od bjelila crvenog tona, no postignuta maksimalna UV zaštita pri višim koncentracijama ne smanjuje s pojavom gašenja fluorescencije, odnosno smanjenjem bjeline i remisije pri višim koncentracijama optičkog bjelila.

Ključne riječi: optičko bijeljenje, fluorescencija, bjelina, UV zaštita

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. TEORIJSKI DIO | 2 |
| 2.1. Optička bjelila | 2 |
| 2.2. UV zaštita | 7 |
| 2.2.1. UV zaštita tekstilom | 11 |
| 2.2.2. Optička bjelila i UV apsorberi u UV zaštiti | 13 |
| 3. EKSPERIMENTALNI DIO | 16 |
| 3.1 Zadatak rada | 16 |
| 3.2. Materijali i obrade | 16 |
| 3.3. Mjerne metode | 18 |
| 4. REZULTATI S RASPRAVOM | 21 |
| 5. ZAKLJUČAK | 34 |
| 6. LITERATURA | 35 |

1. UVOD

Sunce je živim bićima izvor života. Znamo da pretjerano izlaganje Suncu dovodi do oštećenja kože, opekline i tumora kože. Najštetnije su ultraljubičaste zrake. Budući da ozonski omotač više nema tu gustoću kao nekada, znamo da je 80% tumora kože uzrokovano UV zračenjem. Umjereno izlaganje Suncu može imati povoljan, ali i štetan učinak, ovisno o dužini izlaganja. Često u ljetnim mjesecima preko medija dobivamo informacije o jačini zračenja i upozorenju da se ne izlažemo Suncu od 10 do 17 sati. Sunce je potrebno jer pomaže ugradnju vitamina D u kosti. Vitamin D regulira metabolizam kalcija i važan je za sprječavanje rahitisa, ostoporoze i ostalih koštanih deformacija. Umjereno sunčanje povećava stvaranje hemoglobina i melanina. Budući da koža pamti svako pretjerano izlaganje Suncu, može nam izazvati rak kože i nakon mnogo godina. To se najčešće vidi kod ljudi koji mnogo vremena provode na otvorenom kao što su: mornari, poljoprivrednici, građevinari itd. Naročito su ugroženi ljudi svijetle kože i plavih očiju, nego ljudi tamnije boje kože. Crna rasa je mnogo otpornija na karcinom kože. Nekada su se najveća oštećenja od Sunca, koja dovode do kožnog melanoma, dobivala u prvih deset do dvadeset godina života. S napretkom farmaceutskih, kozmetičkih i tekstilnih proizvoda sa visokom UV zaštitom i sa svijesti ljudskog roda, ukoliko se čuvamo, možemo se zaštititi od malignih oboljenja kože i drugih organa.

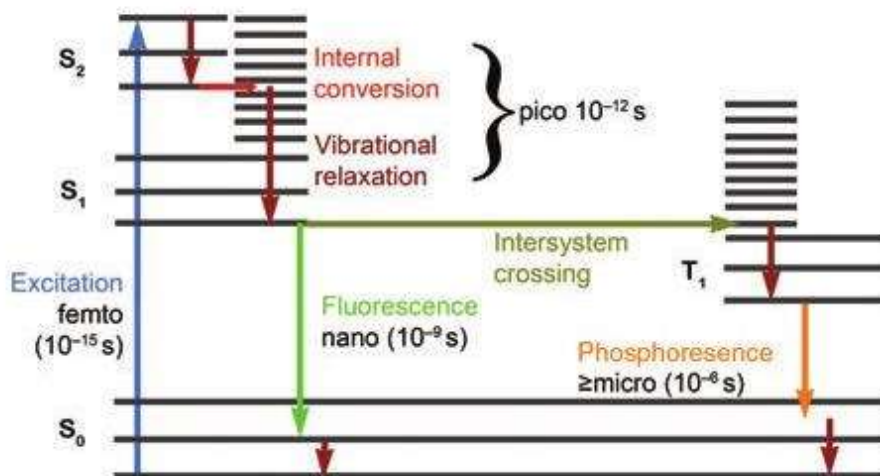
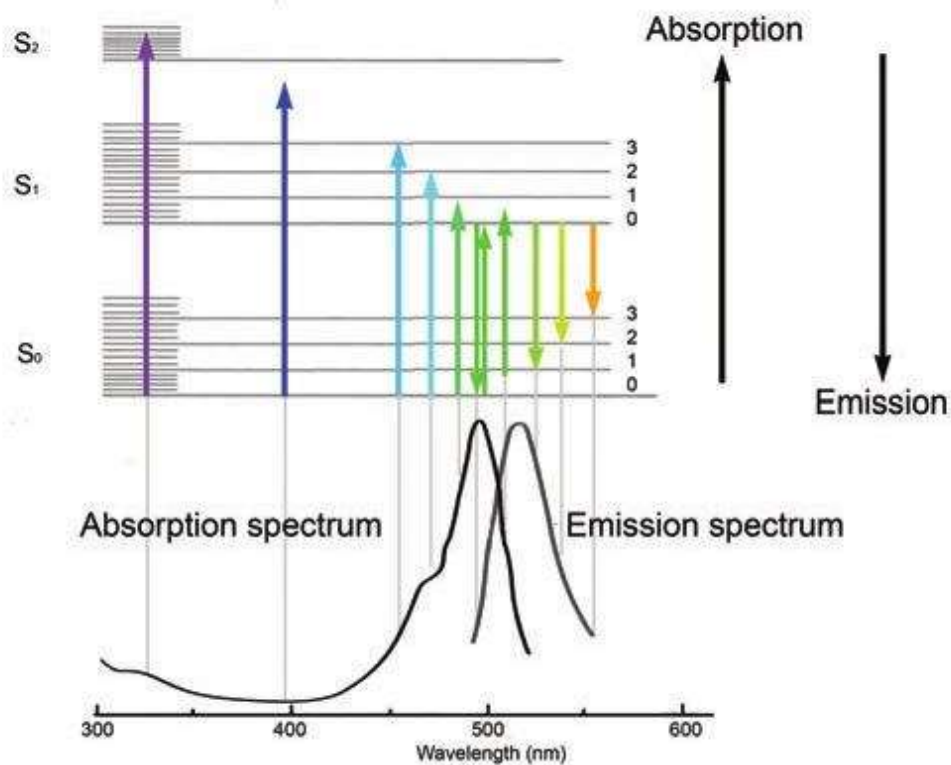
Budući da su istraživanja početkom 21. stoljeća pokazala da su optička bjelila jedno od učinkovitih sredstava za UV zaštitu, u ovom diplomskom završnom radu istražen je utjecaj koncentracije optičkih bjelila različite konstitucije na bjelinu i UV zaštitu pamučne tkanine.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Optička bjelila

Ljudi su već od davnine nastojali postići što veću bjelinu na tekstilu, papiru, bijelim materijalima ili bijelim predmetima. U novije vrijeme visoke bjeline postiže se primjenom optičkih bjelila. Optička bjelila su zapravo fluorescentna bojila koja apsorbiraju nevidljivo ultraljubičasto svjetlo uz emisiju svjetla kraćih valnih duljina. Povećavaju bjelinu materijala na koja su nanesena. Na tržište dolaze u obliku praha, koncentriranih otopina ili disperzija. Najveću primjenu optičkih bjelila ima industrija deterdženata, zatim papira, te tekstilna industrija. Osim za bijeljenje koriste se i u bojadisanju za nijansiranje i dobivanje briljantnih tonova koji se teško postići na drugi način [1-7]. Ideju za optičko bijeljenje prvi je dao P. Kreis 1929 g. On je zaključio da će bezbojna fluorescentna sredstva koja apsorbiraju ultraljubičasto svjetlo povećati bjelinu materijala na kojem se nalaze. Primjenom eskulina na lanenim uzorcima dobio je znatno povećanje bjeline. Primijetio je dva nedostatka ovog spoja. To su: slaba postojanost na pranje i na svjetlo jer je tkanina postajala žuća nego prije obrade.

Djelovanje optičkih bjelila temelji se na fluorescenciji, koju ubrajamo u luminescencije [1]. Pojava hladnog svjetla ili luminescencije podrazumijeva da se svjetlo obasjavanja (svjetlo pobuđivanja) najprije apsorbira, te zatim emitira kao sekundarno svjetlo. Apsorpcijom svjetla pobuđivanja molekule tvari dolaze u pobuđeno (ekscitirano) stanje (S_1), a zatim se odmah ili kroz određeno vrijeme vraćaju u početno stanje (S_0) uz emisiju svjetla (sl.1). Fluorescencija traje samo dotle, dok traje obasjavanje (primarno zračenje svjetlom pobuđivanja), te nakon toga trenutno prestaje, dok je vrijeme trajanja fosforescencije znatno dulje nakon prekida djelovanja svjetla pobuđivanja, od nekoliko sekundi do nekoliko sati nakon obasjavanja. U procesu fluorescencije u kratkom vremenu odvija se prijelaz u normalno stanje uz emisiju svjetla, dok se u fosforescentnoj tvari na ekscitirano stanje nadovezuje metastabilno stanje, nakon kojeg postupno nastupa normalno stanje uz emisiju svjetla. Valna duljina emitiranog svjetla najčešće je veća nego valna duljina apsorbiranog svjetla (Stokesov zakon).

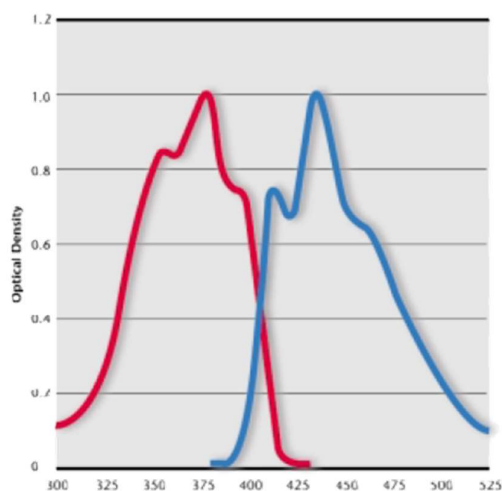


Slika 1. Jablonski dijagram [8]

Molekula koja fluorescira mora biti sposobna apsorbirati svjetlost, imati planarni oblik, a konjugacija mora biti potpuna (fluoroforne skupine). Za razliku od kromofornih skupina (molekule koje izazivaju obojenost tvari), fluoroforne skupine podrazumijevaju konfiguraciju molekule i nekih njezinih dijelova, premda obje vrste molekula, da bi emitirale određenu obojenost moraju i apsorbirati svjetlo [1].

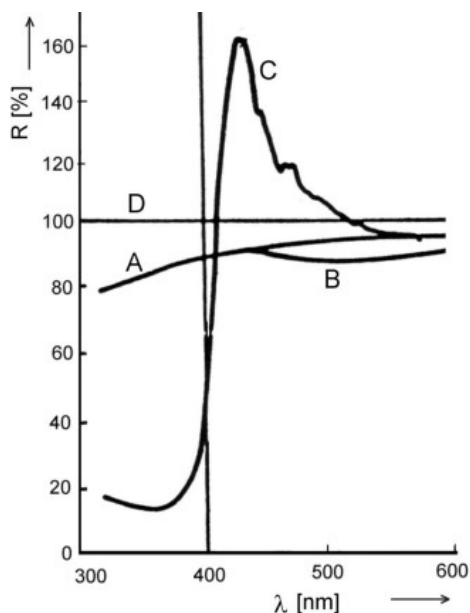
Aromatski spojevi su savršeni primjeri cikličkih molekula s konjugiranim dvostrukim vezama, koje fluoresciraju. Molekule s više konjugiranih dvostrukih veza apsorbiraju dugovalno ultraljubičasto i vidljivo svjetlo, za razliku od molekula bez dvostrukih veza koje apsorbiraju svjetlo od maksimalno 160 nm. Područje apsorpcije se pomiče prema većim valnim duljinama s povećanjem broja dvostrukih, konjugiranih veza. Time se mijenja i boje fluorescencije, benzen i naftalen ne daju vidljive fluorescencije, dok ostali emitiraju u vidljivom dijelu spektra i to, antracen u plavom, naftacen u narančastom, a pentacen u crvenom dijelu spektra [1].

Poznato je da idealno bijela površina reflektira u potpunosti vidljivi dio spektra, te joj je ukupna refleksija $R = 100\%$. Idealno crna predstavlja površinu koja u potpunosti apsorbira vidljivo svjetlo pa njena refleksija iznosi $R = 0$. Osjet obojene površine pripada selektivnom apsorpiranju vidljivog svjetla spektra i reflektiranju obojenog svjetla koje je komplementarno apsorpirano. Fluorescencija, na kojoj se temelji učinak optičkih bjelila, podrazumijeva apsorpciju nevidljivog, ultraljubičastog svjetla (300 – 400 nm) i emisiju vidljivog svjetla u plavom području spektra (400 – 500 nm). Za proces fluorescencije vrijedi i zakon zrcalne simetrije, jer se spektri apsorpcije i emisije najčešće odnose kao predmet i slika u zrcalu (sl.2). Zbog toga jer se maksimum apsorpcije nalazi u nevidljivom dijelu spektra, a maksimum emisije u kratkovalnom dijelu vidljivog spektra, dolazi do povećanja ukupne emisije vidljivog svjetla sa obrađenog materijala, te se neutralizira žuti ton i postiže briljantnost [1-3].



Slika 2. Apsorpcijski ($A_{\max} = 375$ nm) i emisijski ($E_{\max} = 437$ nm) spektar optičkog bjelila [9]

Na sl.3 možemo shematski vidjeti djelovanje optičkog bjelila. Krivulja A predstavlja kemijski bijeljeni materijal. Obojeni pigmenti koje nismo uspjeli ukloniti apsorbiraju svjetlo u plavom dijelu spektra dajući žućkastu nijansu zbog smanjene remisije svjetla. Krivuljom B predstavljamo neutralizaciju žućkaste nijanse zbog povećane apsorpcije u žutom dijelu spektra, ali istovremeno dolazi do smanjenja ukupne remisije. Krivulja C prikazuje materijal obrađen s optičkim bjelilom. Dolazi do uklanjanja žućkastog tona i povećanja ukupne remisije svjetla u plavom dijelu spektra. Pravac D opisuje remisiju idealne bjeline. Količina refleksije svjetla s tekstila je približno jednaka količini upadnog svjetla (100% refleksije) [10].



Slika 3. Krivulje spektralne refleksije svjetla prema Lanteru [10]

Različita optička bjelila postižu maksimum emisije pri različitim valnim duljinama, pa se tako primjenom različitih optičkih bjelila dobivaju bjeline različitih nijansi, npr. ako maksimum fluorescencije leži na valnoj duljini od 435 nm, onda je fluorescentno svjetlo plavo, na 440 nm ljubičasto – crveno, na 500 nm zelenkasto [9]. Dodatkom plave ili ljubičaste boje u kupelj može se postići bolje nijansiranje pri optičkom bijeljenju [2].

Za optičko bijeljenje najviše se upotrebljavaju derivati stilbena. Stilben je 1,2 diefenilen i ima sustav od 7 konjugiranih dvostrukih veza, ali nema afinitet prema vlaknu pa ga treba modificirati. Derivati stilbena najčešće su izvedeni iz 4-4'-di-aminostilben-2-2'-disulfonske kiseline. Imaju široku primjenu u industriji deterdženata i papira, dok se u tekstilnoj industriji primjenjuju isključivo kao optička bjelila za gotovo sve vrste vlakana.

Bolja uporabna svojstva imaju derivati 4-4'-bis(triazinil-amino)-stilben-2-2'-disulfonske kiseline i u tekstilnoj industriji primjenjuju kao optička bjelila za celulozna, poliamidna i vunena vlakna. Većina optičkih bjelila za celulozna vlakna su derivata bis-triazinil-diaminostilben-disulfonske kiseline. Nedostatak im je slaba postojanost na svjetlo, što se nadoknađuje naknadnim pranjem sredstvima koja u sebi sadrže optička bjelila [1,4].

Kako bi se osigurala dobra bjelina optičkim bijeljenjem neophodno je da pamučni materijal dobro iskuhan i kemijski bijeljen. Iskuhavanjem pamuka uklanjaju se pektini, voskovi, organske kiseline, proteini i minerali, no obojene tvari – pigmenti ostaju. Svrha kemijskog bijeljenja je dobivanje visoke bjeline uz neznatno oštećenje celuloze. Danas se najčešće bijeli oksidativnim sredstvima, posebice vodikovim peroksidom pri čemu se obojene tvari razgrađuju, prelaze u bezbojne produkte, te ispiru [2, 11-14].

Kod povećanja koncentracije optičkih bjelila postoji granična koncentracija karakteristična za svako optičko bjelilo poslije koje se više ne povećava bjelina, nego dolazi do njezinog smanjenja, a materijal dobiva zelenkastu ili žućkastu nijansu. Glavni uzroci smanjenja bjeline upotrebom prevelikih koncentracija su:

1. Djelomična apsorpcija vidljivog svjetla - smanjenje bjeline upotrebom prevelikih koncentracija optičkih bjelila uzrokovano njihovim blagim žućkastim obojenjem.

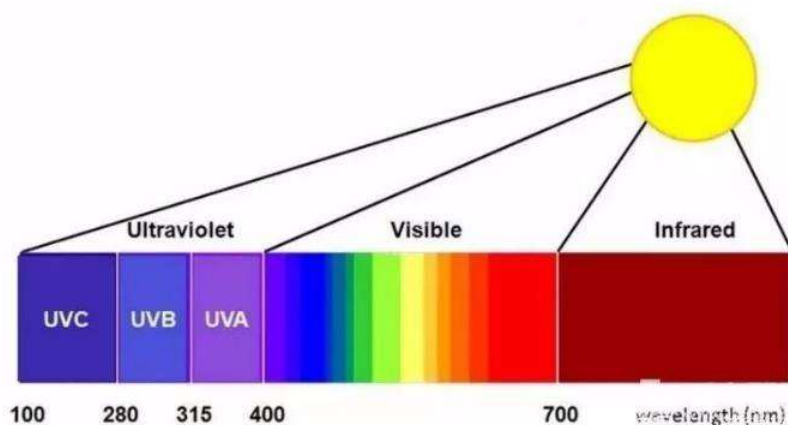
2. Pomak spektra fluorescencije prema većim valnim duljinama - spektar fluorescencije se pomiče s porastom koncentracije optičkih bjelila prema većim valnim duljinama (očekivana žućkasta nijansa).

3. Koncentracijsko gašenje fluorescencije - smanjenje efekta bjeline upotrebom prevelikih koncentracija optičkih bjelila. Pojava nastaje ako se molekule fluorescentne tvari nalaze u prevelikoj koncentraciji na apsorbatima ili u otopinama [1].

Većina tipičnih komercijalnih deterdženata za kućnu upotrebu sadrži znatne količine optičkih bjelila. Učinak optičkih bjelila na obojeni tekstil je različit, ovisno o boji, tj. odgovarajućem dijelu spektra. On je vidljiviji na ljubičastim tonovima te manje na narančastoj i crvenoj boji. Kod ovih boja može se također primijetiti blagi učinak kod slabe postojanosti. Što je svjetlija boja, to je intenzivniji učinak optičkog bjelila čak i kod boja dobre postojanosti. Tamne boje koje pokazuju nižu postojanost pri pranju pokazuju malu razliku u nijansi [6, 15].

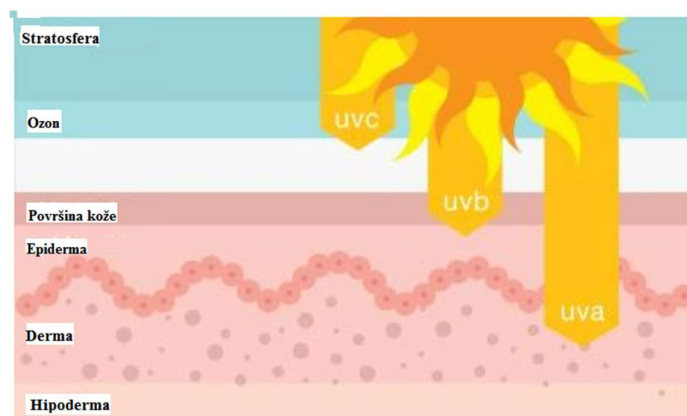
2.2. UV zaštita

Sunčevo zračenje koje dolazi na Zemlju može biti ultraljubičasto (UV) 190-400 nm, vidljivog dijela (VIS) 380-780 nm i infracrvenog (IR) 780-2500 nm. UV zračenje (UV-R) sadrži najveću energiju radijacije i dijeli se na: UV-A, UV-B i UV-C zračenje. UV-A se nalazi u rasponu od 320 do 400 nm, UV-B u rasponu od 290 do 320nm i UV-C u rasponu od 100 do 290 nm (sl.4) [16, 17].



Slika 4. Prikaz Sunčevog spektra [18]

UV-A zračenje je izvor stvaranja vitamina D, ali prekomjerno izlaganje može uzrokovati kancerogene reakcije i ozljede. Također je uzročnik ubrzanog starenja kože, katarakte i indirektnog oštećenja strukture DNA. Pojava opekline na koži je jedan od najčešćih akutnih učinaka prekomjernog izlaganja sunčevim zrakama. One potiču stvaranje akni na površini kože. Prodor UV-R i djelovanje na kožu ljudi prikazano je na sl.5 [19].



Slika 5. Prodiranje UV zračenja i njihovo djelovanje na ljudsku kožu [19]

Prevelikom apsorpcijom UV-B zračenja može doći do akutnih i kroničnih reakcija (pojava melanoma ili raka kože), pojava crvenila na koži (eritem) ili opekline od sunca i smanjenja imuniteta. Izlaganje Suncu uzrokuje dodatno fotostareće i fotosenzitivne poremećaje (fototoksične i fotoalergijske reakcije te solarnu urtikariju) [20]. UV-C izaziva rak kože i trenutačnu smrt. UV-A prolazi kroz zemljinu atmosferu s malo promjene. Uz pomoć ozona koji se nalazi u stratosferi apsorbirano je 90% UV-B spektra. UV-C spektar je u potpunosti apsorbiran uz pomoć atmosferskog ozona, vodene pare, kisika i ugljikovog dioksida [17].

Pojava raka kože postao je globalni incident, zbog povećanih slučajeva iz godine u godinu. S obzirom na vrstu dijagnoze rak kože se može podijeliti na epidermoidni (rožnati) karcinom (SCC - Squamous cell carcinoma) i bazalni karcinom (BCC - Basal cell carcinoma). Pod zajedničkim nazivom se zovu ne melanomski rakovi kože (NMSC - non-melanoma skin cancers). Može se otkriti u ranim fazama svog razvitka kao crveno/crno zadebljanje na površini kože. Može se uspješno i brzo ukloniti s minimalnom štetom i gotovo uvijek je izlječiv ako se otkrije na vrijeme. BCC je najčešći oblik kožne neoplazme koji je prikazan kao povišena i glatka izbočina veličine bisera. Katkada možemo vidjeti krvne žile unutar tumora koji se može oštetiti i koji uklanjamo izrezivanjem. Prekomjerno UV zračenje dovodi do oštećenja stanica i uzrokuje upalu kože. Posljedice nam dolaze u obliku eritema ili opekline od Sunca (tab.1) [21-23].

Tablica 1. Učinak UV zračenja na različitim tipovima kože [21]

| Tip kože (Bez ozljeda) | Kritična doza mJ/cm ² | Vrijeme zaštite (min) | Razina rizika |
|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---|
| I - Bijela | 15 - 30 | 5 - 10 | Lako nastaju opekline, najveći rizik od preranog starenja kože, najveći rizik za razvoj raka kože |
| II - Bijela | 25 - 35 | 8 - 12 | Opekline i preplanulost |
| III - Smeđkasta | 30 - 50 | 10 - 15 | Preplanulost i pokoja opekline |
| IV - Smeđa | 45 - 60 | 15 - 20 | Preplanulost i pokoja opekline |
| V - Smeđa | 100 | 20 - 35 | Dovoljna razina za melanin i rjeđe opekline |
| VI — crna, tamnosmeđa | 100 - 200 | 35 - 70 | Dovoljna razina melanina, opekline, lako dolazi do preplanulosti |

S obzirom na vrste, postoje četiri vrste melanoma. Površinsko rastući melanom (sl.6a) je najčešći tip koji se javlja u 60-70% svih prijavljenih slučajeva. Ovaj tip je najčešće viđen kod ljudi mlađe dobi i može se naći na bilo kojem dijelu tijela (kod muškaraca je nađen u području

trupa, a kod žena na nogama i kod gornjeg dijela leđa za oba spola). Melanom nodularnog tipa (sl.6b) se može identificirati kada se formira u obliku kvrge. Javlja se u 15-30% kod čovjeka starije dobi na područjima gornjeg dijela trupa, nogu, i ruku te se kod muškaraca zna formirati na području lubanje (najagresivniji tip melanoma). Lentigo maligni melanom (sl.6c) se manifestira kod starijih osoba koji su bili izloženi kroničnim količinama sunčevih zraka. Javlja se u 5-15% slučajeva. Akralno lentigni melanom (sl.6d-e) je površinski način širenja melanoma. Pojavljuje se u crnoj ili smeđoj boji koje možemo naći ispod noktiju ili na površini stopala i dlanova. Ovaj tip melanoma se može naći kod crne i žute, a najmanje prisutna kod bijele rase [23].



Slika 6. Vrste melanoma:
a. Površinsko rastući melanom,
b. Melanom kvrgastog tipa,
c. Lentigo maligni melanom,
d.-e. Akralno lentigni melanom
[23]

Stručnjaci procjenjuju da 90% slučajeva melanoma je povezano isključivo s izlaganjem UV zračenju tijekom čovjekova života. Smatraju da se naizmjeničnim izlaganjem može predstaviti veći rizik stvaranja melanoma kod djece i adolescenata, nego kod neprekidnog izlaganja. 80% ultraljubičastog zračenja se apsorbira tokom navedenih životnih perioda. Zbog toga dolazi i do stvaranja raka kože tj. melanoma kod osoba u dobi od 15 do 29 godina. U Hrvatskoj 2008. godine je bilo prijavljeno 20000 novih slučajeva raka kože. 286 novih slučajeva (2,6%) i 118 smrtnih slučajeva. (1,1%) kod muškaraca i 275 novih slučajeva (2,9%) i 79 smrtnih slučajeva (1,4%) kod žena s melanomom [23].

Čimbenici koje utječu na učinak zaštite od UV-R su: geografska pozicija, Sunce, ozonski omotač, raspršenost u atmosferi, te nadmorska visina. Sa svrhom zaštite javnost se obavještava o razini UV zračenja i njenoj štetnoj posljedici putem UV indeksa koji se računa tijekom solarnog podneva. Do 2004. prikazivao se skalom od 0 do 10 gdje je 0 predstavljao minimalni, a 10+ vrlo visoki udio izloženosti. Promjene uzrokovane promjenama Zemljina omotača dovele su do pojačanog UV zračenja i promjene kategorija izloženosti (sl.7). Prema navedenom modelu definirane su preporuke o zaštiti (tab.2) [24].

| UV Index Prior to May 2004 | | The New Global Solar UV Index | |
|-------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|
| Exposure Category | Index Number | Exposure Category | Index Number |
| MINIMAL | 0-2 | LOW | 1-2 |
| LOW | 3-4 | MODERATE | 3-5 |
| MODERATE | 5-6 | HIGH | 6-7 |
| HIGH | 7-9 | VERY HIGH | 8-10 |
| VERY HIGH | 10+ | EXTREME | 11+ |

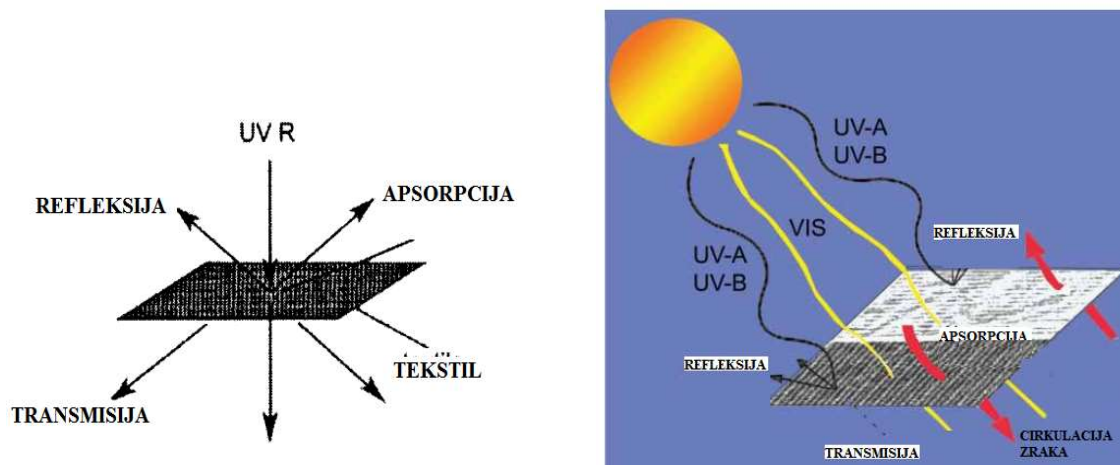
Slika 7. Stara i nova shema prikaza UV indeksa [24]

Tablica 2. Zaštitne mjere za pojedini UV indeks [24]

| Kategorija izloženosti | UV indeks | Zaštitne mjere |
|------------------------|-----------|---|
| Niska | 1-2 | Nositi naočale tijekom sunčanih dana. Snijeg povećava UV zaštitu. |
| Umjerena | 3-5 | Korištenje krema za sunčanje i materijala kojima prekrivamo svoje tijelo (bijeke majice s dugim rukavima i kape) |
| Visoka | 6-7 | Zaštita od opekline, nošenje šešira širokog oboda, korištenje zasjenjenih prostora i izbjegavati Sunce od 11 do 16 sati |
| Vrlo visoka | 8-10 | Korištenje svih navedenih zaštitnih mjera (koža će brzo izgorjeti) |
| Ekstremna | 11+ | Obavezno se preporuča korištenje svih zaštitnih mjera (nezaštićena koža će izgorjeti za nekoliko minuta) |

2.2.1. UV zaštita tekstilom

Posljednjih desetljeća se pokušava spriječiti učestalost stvaranja raka kože. Smanjujući izloženost UV-R, tekstili su odlični materijali za zaštitu protiv sunca i većine UV-R (UV-A i UV-B). Ti tekstili mogu smanjiti ili blokirati negativan utjecaj odjećom [16]. U dodiru tekstilnog materijala s UV zrakama (sl.8) dio zračenja reflektira, dio apsorbira, dok jedan dio zračenja prolazi kroz materijal (transmisija) [23, 25, 26].



Slika 8. UV zračenje u doticaju s tekstilom [23, 26]

Učinkovitost UV zaštite tekstilnih materijala izražava se pomoću Faktora zaštite od UV zračenja (Ultraviolet Protection Factor, UPF). UPF je definiran kao omjer prosječno izračunatog UV zračenja za nezaštićenu kožu i prosječno izračunatog UV zračenja za kožu koja je zaštićena tkaninom za ispitivanje. Računa se prema izrazu:

$$UPF = \frac{\sum_{\lambda=290}^{400} E(\lambda) * \varepsilon(\lambda) * \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=290}^{400} E(\lambda) * T(\lambda) * \varepsilon(\lambda) * \Delta\lambda} \quad (1)$$

gdje su: $E(\lambda)$ – Sunčevo zračenje

$\varepsilon(\lambda)$ – eritematski učinak spektra

$\Delta\lambda$ – interval valnih duljina prema mjerenju

$T(\lambda)$ – propusnost spektra pri valnoj duljini (λ)

Postoje različiti elementi koji mogu utjecati na prolaznost (transmisiju) UV zračenja kroz tekstil [21-23, 25-35]:

- Vrsta vlakana i svojstva - prirodna ili umjetna, modifikacije, aditivi, morfologija, vlažnost i površina (tab.3). Pamuk ne pruža zaštitu jer uklanjanjem primjesa u iskuhavanju i bijeljenju, povećava je propusnost UV zračenja. Svila pokazuje lošu, a vuna odličnu UV zaštitu, zahvaljujući aminokiselinama koje sadržavaju aromatske skupine (tirozin) i cistin koje apsorbiraju zračenje kraće od 350 nm. Poliester sadrži dobra UV zaštitna svojstva zbog aromatskih prstenova unutar polimernog lanca. Poliesterska vlakna apsorbiraju više UV zračenja, nego alifatska (masna) poliamidna vlakna [7, 21, 23].

Tablica 3. UV zaštitni faktori neobojenih ispletenih tkanina sličnih konstrukcija [17]

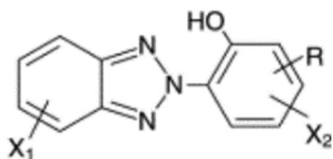
| Vrsta vlakna/struktura | UPF |
|--|-----|
| Pamučno pletivo | 4 |
| Vuneno pletivo | 45 |
| Svilena tkanina s dijagonalnim prugama | 7 |
| PA/EL pletivo | 12 |
| PES pletivo | 26 |

- Vrsta pređe i svojstva - debljina, uvojitost i finoća. Struktura tkanine - konstrukcija tkanja, broj pređa, težina, debljina tkanine, mikro i makro konstrukcijske karakteristike, broj pređa i poroznost. Konstrukcija kojom određujemo poroznost i vrstu tkanja kod same tkanine je jedna od najvažnijih faktora kod određivanja učinkovitosti UV-R. Gušće i teže tkanine propuštaju manje UV-R.
- Boja, dubina tona - bojila, tisak, naslojavnanje, pigmenti i ostale obrade. Tekstilije tamnijih tonova bolje upijaju UV zračenje nego svjetlijih.
- Njega i upotreba nogu pružiti dvojake učinke: Rastezanja, piling i filcanje uzrokuju manji faktor zaštite protiv zračenja [16]. S druge strane, uporabom deterdženata koji sadrže optička bjelila, te kod skupljanja dolazi do povećanja UV zaštite.
- Završne obrade - optička bjelila, UV apsorbenti, naslojavnanje, i ostale obrade sve doprinose povećanju UV zaštite.

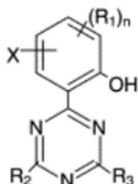
2.2.2. Optička bjelila i UV apsorberi u UV zaštiti

Optička bjelila imaju svojstvo fluorescencije, pa intenzivno apsorbiraju energiju UV zračenja ($\lambda = 300\text{--}400\text{ nm}$), uz istovremenu emisiju vidljivog svjetla kraćih valnih dužina ($\lambda_{\text{max}} = 430\text{--}445\text{ nm}$). Budući da apsorbiraju UV-A zrake i pretvaraju ga u plavo svjetlo njihova primjena vodi do bolje UV zaštite [23, 25-32].

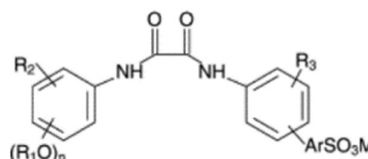
UV apsorberi ili UV blokatori, kako im i ime kaže, apsorbiraju i/ili blokiraju UV zračenje (UV-A i UV-B). Možemo ih podijeliti na anorganske i organske UV apsorbere. Anorganski UV apsorberi (blokirajuće čestice) temelje se na mješovitim oksidativnim filmovima ili česticama koji posjeduju sposobnost apsorpcije ili raspršivanja UV-R. Najčešće se koriste TiO_2 i ZnO i mogu se već dodati u polimernu smjesu prije ispredanja umjetnih vlakana. Organski UV apsorberi (apsorbirajuće molekule) mogu učinkovito apsorbirati UV-R, prelaze u pobuđeno stanje i otpuštaju energiju u IR području kao toplinu. Najvažniji UV apsorberi temelje se na fenolnoj grupi, kako bi tvorili intramolekularne O-H-O mostove. To su: 2-hidroksibenzofenon, 2,2-dihidroksibenzofenon, 3-hidroksiflavon i ksantoni. Također postoje i spojevi koje tvore O-H-N mostove. To su: 2-(2-hidroksifenil)benzotriazol i 2-(2-hidroksifenil)-1,3,5-triazin [17, 21, 23, 33-35].



Derivat benzotriazola [17]

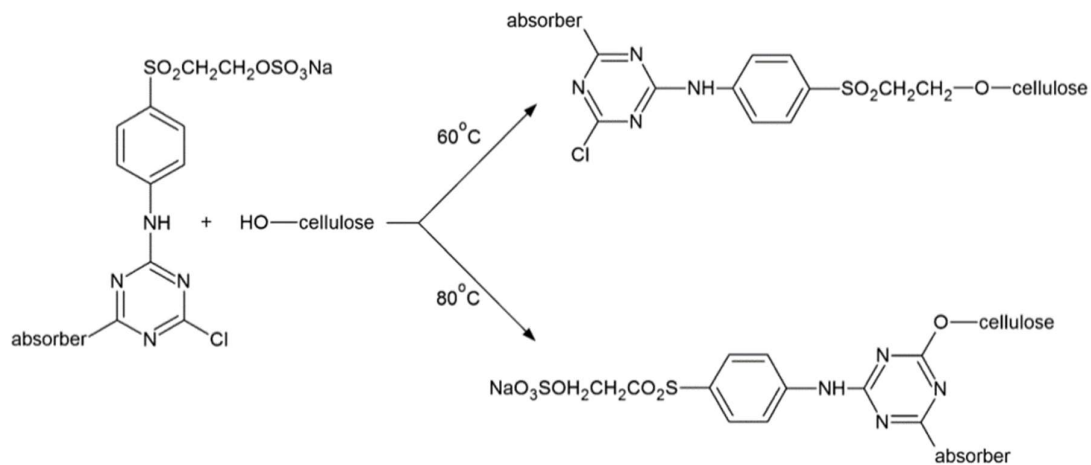


Derivat triazina [17]



Derivat dianilidne oksalne kiseline [17]

UV apsorbere možemo primijeniti u svim metodama završnih obrada oplemenjivanja, bojadisanja i tiska. Tipičan UV apsorber koji se koristi za celulozna vlakna mora biti vodotopljiv i pokazivati afinitet prema vlaknu. UV apsorberi "reaktivnog tipa", sadrže reaktivne skupine koje mogu tvoriti kovaletne veze s celulozom (sl.9) [35].



Slika 9. Reakcija bifunkcionalnog reaktivnog UV apsorbera s celuloznim vlaknom [35]

UV apsorberi kao benzotriazol i fenil-benzotriazol sposobni su vrlo uspješno apsorbirati štetna UV-B zračenja u rasponu valnih duljina 290-360 nm i pretvoriti ih u toplinsku energiju, svjetlo rotacijom ili vibracijom veze u atomima, što ih čini učinkovitijima od uobičajenih optičkih bjelila, jer osim što povećavaju bjelinu materijala, pružaju odličnu zaštitu od štetnih UV-B zračenja. Komercijalno dostupni UV apsorberi navedeni su u tab.4.

Tablica 4. Komercijalno dostupni UV apsorberi [17]

| Trgovački naziv | Proizvođač | Vrsta UV apsorbera |
|-----------------|-------------|--------------------|
| Tinuvin | Ciba | Benzotriazol |
| LA-34 | Asahi Denka | Benzotriazol |
| Cyasor UV-531 | Citeck | Benzofenon |
| UV-CHEK-AM-340 | Ferro | Hidroksibenzoat |

Nedavno je novi UV-apsorber stilben-derivat razvijen za primjenu u završnoj obradi i njezi tekstila. Ovaj UV apsorber ima svojstvo fluorescencije pa je primjena dvojaka, za povećanje bjeline i UV zaštite. Osim toga, najnovija istraživanja upućuju da se optička bjelila i takvi UV apsorberi mogu primijeniti u postupku pranja i u formulacijama deterdženata [19-21].

Kako bi ukazali koja odjeća pruža najbolju zaštitu od UV zračenja, važno je da pravilno označavanje odjevnih predmeta. Na etiketama tekstilnih materijala može pisati informacija kojom se procjenjuje UV zaštita materijala na dvije godine. Drugi ispitni standard definira specifikacije za održavanje njege proizvedenih odjeća i tekstila za zaštitu od sunca koju možemo vidjeti na visećim etiketama. Bez pružanja informacija o UV zaštiti, potrošači neće moći kupiti tekstilne proizvode koje im proizvođač želi prodati. Postoji radna odjeća koja po standardu 801 štiti zaposlenika od opasnih UV zraka (piktogram na sl. 10) [36].



Slika 10. Viseće etikete kojima se označava vrijednost odjeće za UV zaštitu [36]

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1 Zadatak rada

Zadatak ovog diplomskog rada je istražiti optička bjelila različite kemijske građe te njihovu remisiju u plavom dijelu spektra. U svrhu ekonomične obrade snižena je temperatura obrade na 60 °C.

Istražena je fluorescencija otopine optičkog bjelila.

Nakon obrada na pamučnim tkaninama se ispitana sljedeća svojstva:

- Spektralne karakteristike
- bjelina i požućenje,
- odstupanje tona od idealno bijele,
- UV zaštita.

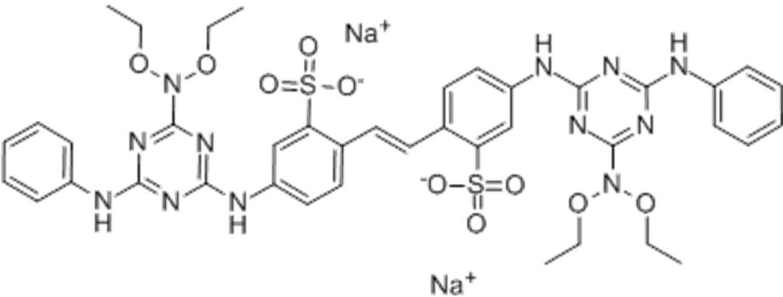
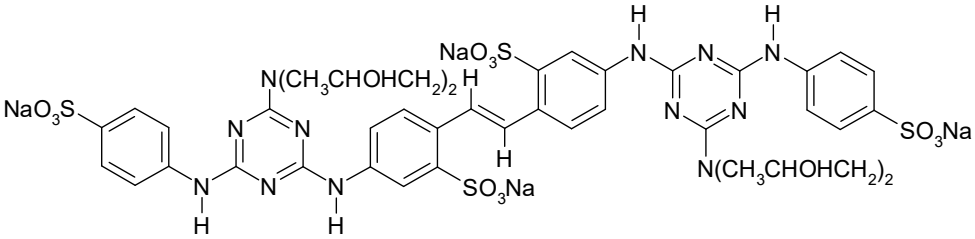
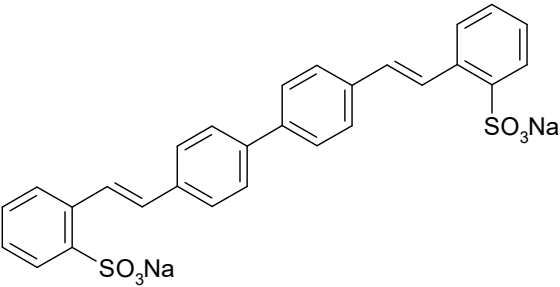
3.2. Materijali i obrade

Tkanina. Standardna pamučna tkanina (WFK, šifre 10000), površinske mase 170 g/m².

Optička bjelila. Tri optička bjelila različite konstitucije i emisije iz porodice Uvitex® proizvođača Ciba-Geigy AG (tab.5) u širokom koncentracijskom rasponu:

$c_1 = 0,2 \%$; $c_2 = 0,5 \%$; $c_3 = 2 \%$; $c_4 = 5 \%$; $c_5 = 20 \%$; $c_6 = 50 \%$

Tablica 5. Oznake, nazivi i strukturne formule optičkih bjelila

| Oznaka | Naziv i strukturna formula |
|--------|---|
| BHT |  <p>Uvitex BHT C.I. Fluorescent Brighthener 113 Derivat diaminostilbendisulfonske kiseline $\lambda_{\max} = 440 \text{ nm}$</p> |
| RSB |  <p>Uvitex RSB Triazin derivat stilben disulfonske kiseline $\lambda_{\max} = 435\text{-}440 \text{ nm}$</p> |
| NFW |  <p>Uvitex NFW C.I. Fluorescent Brighthener 351 Distiril bifenil derivat $\lambda_{\max} = 435\text{-}440 \text{ nm}$</p> |

Masa materijala: 2,5 g

Omjer kupelji: 1:25

Vrijeme obrade: 30 min

Temperatura obrade: 60 °C

Bjelila su primijenjena uz dodatak 5 g/l Na₂SO₄ postupkom iscrpljenja na aparatu Mathis (sl.11)

Nakon obrade tkanine su zračno osušene.



Slika 11. Uređaj za obradu Mathis

3.3. Mjerne metode

Na brzo skenirajućem spektrofotometru HITACHI F-7000 FL za mjerenje širokog raspona fluorescencije (sl.12) izmjerena je fluorescencija otopina optičkih bjelila.



Slika 12. Fluorometar HITACHI F-7000 FL

Na remisijskom spektrofotometru Spectraflash SF 300 tvrtke Datacolor (sl.13) izmjerena je Spektralna remisija, R [%]. Na temelju spektralnih vrijednosti putem matematičkih modela izračunati su svjetlina L^* i koordinate boje a^* i b^* .



Slika 13. Remisijski spektrofotometar Spectraflash SF 300 (Datacolor)

Stupanj bjeline automatski je izračunat prema CIE (W_{CIE}) u skladu s ISO 105-J02:1997 *Textiles - Tests for colour fastness - Part J02: Instrumental assessment of relative whiteness*:

$$W_{CIE} = Y + 800 (x_n - x) - 1700 (y_n - y) \quad (2)$$

gdje su:

- x , y i Y – koordinate boje za izvor svjetla D_{65} standardnog promatrača,
- x_n i y_n – koordinate kromatičnosti za izvor svjetla.

Izračunati su i drugi stupnjevi bjeline:

$$W_{Berger} = 3B + G + 3A \quad (3)$$

$$W_{Ganz} = 3B - 1.5G - 0.5A \quad (4)$$

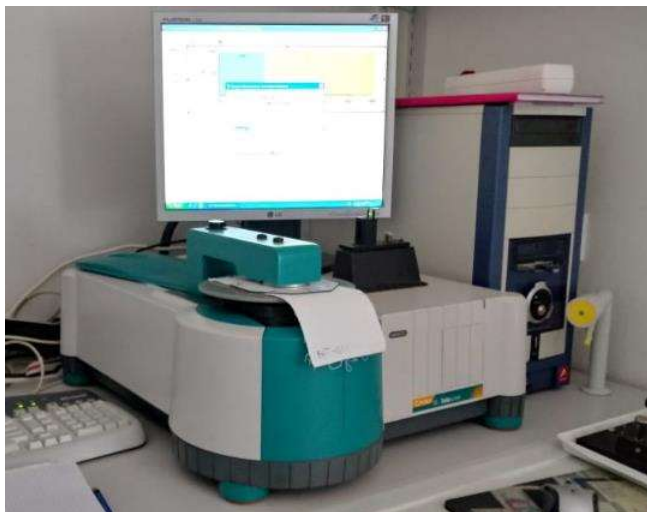
$$W_{Stensby} = L + 3a - 3b \quad (5)$$

gdje je: $B = RZ$ (blue), $G = RY$ (green), $A = RX$ (amber).

Indeks požućenja (Yellowing Index, YI) izračunat je prema DIN 6167:1980 *Description of yellowness of near-white or near-colourless materials*:

$$YI = \frac{X-Y}{Y} \cdot 100 \quad (6)$$

Na transmisijском спектрофотометру Cary 50/Soloscreen tvrtke Varian (sl.14) izmjerene su transmisije UV zraćenja za svaki uzorak posebno. Transmisija je mjerena na 8 različitih mjesta na svakom uzorku. Rezultati su iskazani prema AS/NZS 4399:2017 *Sun protective Clothing – Evaluation and Classification*. UPF određuje stupanj zaštite od UV zraćenja i ukazuje na sposobnost tekstilnog materijala da zaštiti tijelo kako ne bi došlo do opekline. Izračunat je iz propusnosti spektra pri određenoj valnoj duljini prema (1). Klasifikacija je dana u tab. 6.



Slika 14. Transmisijски спектрофотометар Cary 50/Soloscreen (Varian)

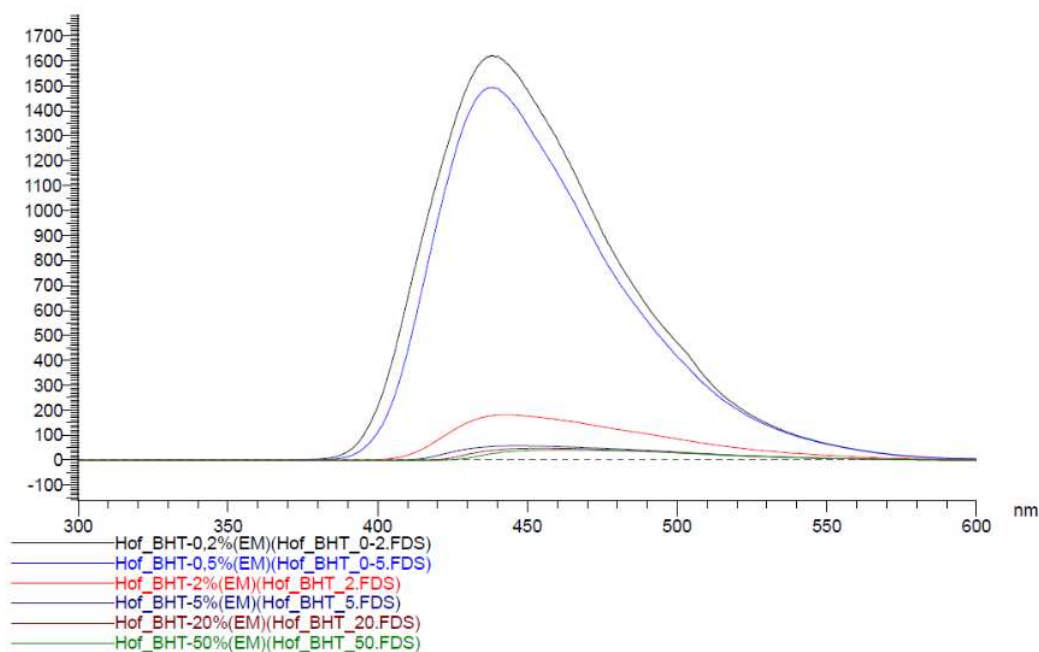
Tablica 6. UPF klasifikacija prema AS/NZS 4399:2017

| Oznaka UPF | UV zaštita | Blokiranje UV zraćenja (%) |
|-----------------|------------|----------------------------|
| 15 -20 | Dobra | 93 -95,8% |
| 25, 30, 35 | vrlo dobra | 95,9 -97,4% |
| 40, 45, 50, 50+ | Izvrсна | >97,5% |

Za zemlje s visokim UV indeksom (7-10+) preporuča se UPF 105 -150 za zaštitu osoba koje na otvorenom provedu osam sati dnevno, a računa se prema $UPF=15 \cdot UV$ indeks.

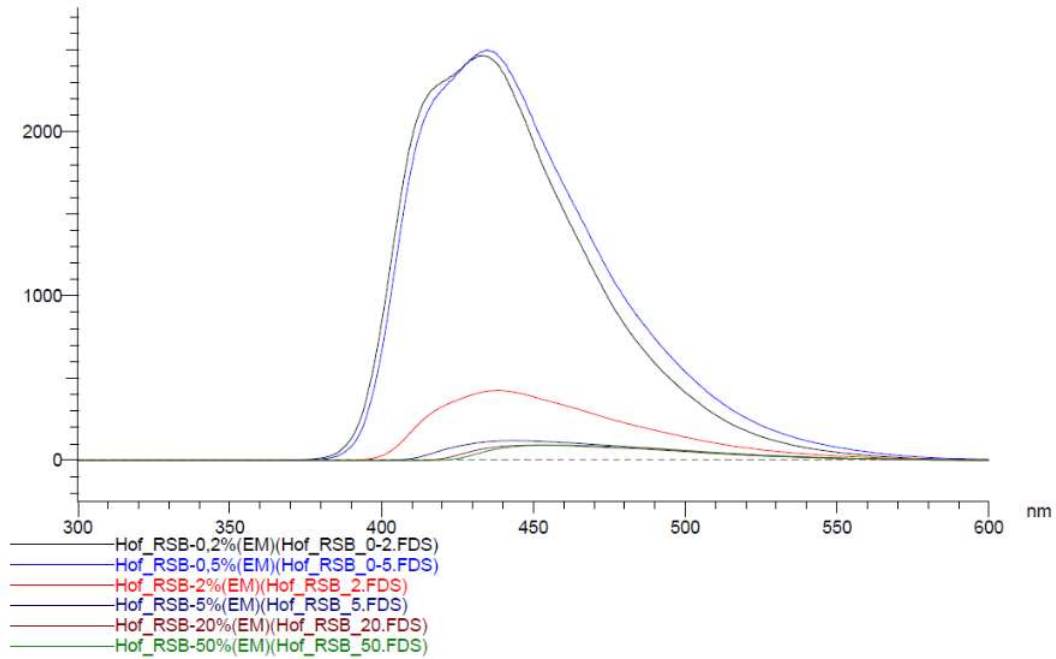
4. REZULTATI S RASPRAVOM

Za potrebe izrade ovog rada pamučne tkanine su optički bijeljenje s tri različita optička bjelila u širokom koncentracijskom rasponu. Prethodno obradi izmjerena je fluorescencija na spektrofotometru HITACHI F-7000 FL. Rezultati su prikazani na sl.15-17.

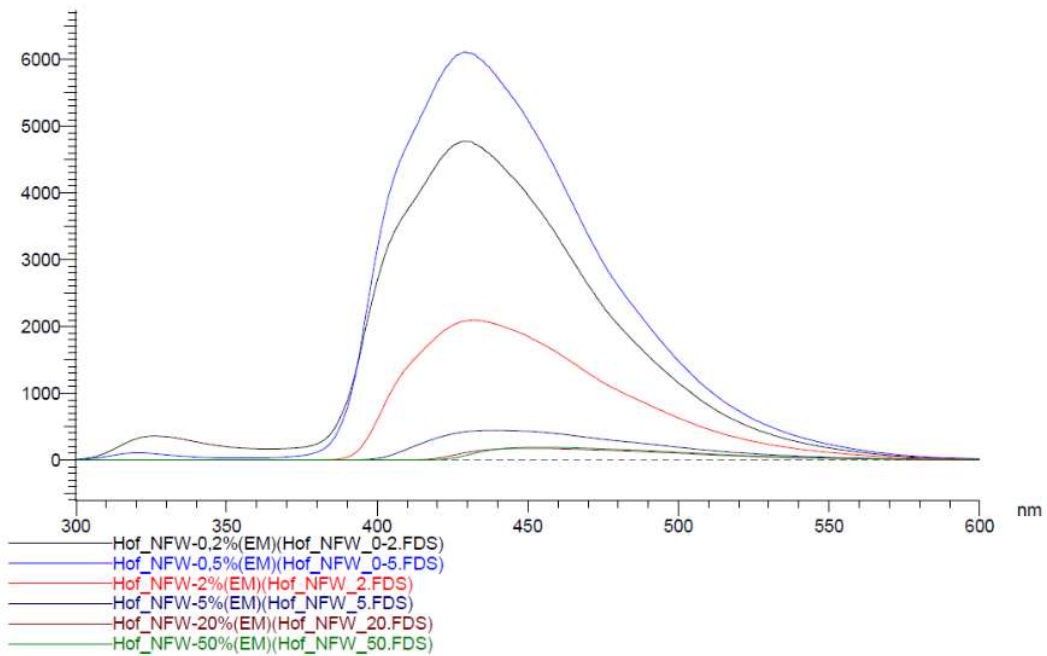


Slika 15. Fluorescencija otopina optičkog bjelila Uvitex BHT

Iz rezultata prikazanih na sl.15 vidljivo je da je emisija optičkog bjelila Uvitex BHT na 440 nm, emisija čiste plave boje. Najveći emisiju ima otopina optičkog bjelila koncentracije 0,2% na m.m. (1600), a potom 0,5 % na m.m (1400). Otopina Uvitex BHT koncentracije 2% ukazuje na znatno nižu fluorescenciju (100). Kod koncentracija viših od 2% vidljivo je gašenje fluorescencije, te je emisija blizu 0. Istovremeno se može uočiti i batokromni pomak emisije.



Slika 16. Fluorescencija otopina optičkog bjelila Uvitex RSB



Slika 17. Fluorescencija otopina optičkog bjelila Uvitex NFW

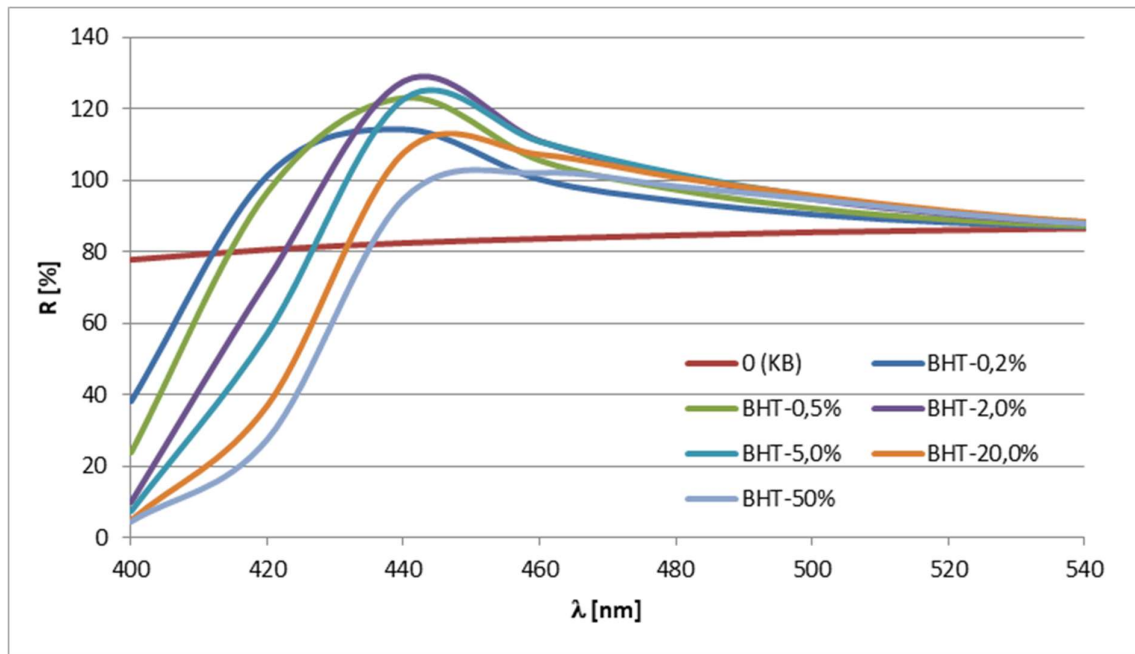
Iz rezultata prikazanih na sl.16 vidljivo je da je emisija optičkog bjelila Uvitex RSB na 440 nm. Podjednaku emisiju fluorescencije imaju otopine optičkog bjelila koncentracije 0,2% i 0,5 % na m.m (2500). Otopina Uvitex RSB koncentracije 2% ukazuje na znatno nižu fluorescenciju (400). Kod koncentracija viših od 2% vidljivo je gašenje fluorescencije, te se emisija fluorescencije približava 0. Vidljiv je batokromni pomak prema višim valnim duljinama kao posljedica gašenja fluorescencije.

Sa sl.17 vidljivo je da je emisija optičkog bjelila Uvitex NFW na 430 nm, plavo-ljubičasta. Optičko bjelilo koncentracije 0,2% ima emisiju fluorescencije od 4900. S porastom koncentracije raste fluorescencija, pa najveću emisiju ima otopina optičkog bjelila koncentracije 0,5% na m.m. (6000). Otopina koncentracije 2% ukazuje na nižu fluorescenciju od 2000. S porastom koncentracije jasno je vidljivo gašenje fluorescencije i pomak emisije na 440 nm. Kod koncentracije 5% fluorescencija je 300, a s povećanjem koncentracije emisija je bliže 0.

Nakon obrade istraženim otopinama provedeno je mjerenje remisije na remisijском spektrofotometru. Izračunati su stupnjevi bjeline i indeks požućenja, te odstupanje tona u odnosu na bijeli standard. Rezultati su prikazani tablično (tab. 7-15) i grafički (sl.18-22).

Tablica 7. Spektralne remisije, R [%] pri različitim valnim duljinama [nm] optički bijeljene pamučne tkanine s Uvitex BHT

| λ (nm) | 0 (KB) | BHT-0,2% | BHT-0,5% | BHT-2% | BHT-5% | BHT-20% | BHT-50% |
|----------------|--------|----------|----------|--------|--------|---------|---------|
| 400 | 77,70 | 37,95 | 23,77 | 9,99 | 7,25 | 4,89 | 4,35 |
| 420 | 80,55 | 101,42 | 96,78 | 72,10 | 57,14 | 36,98 | 27,48 |
| 440 | 82,39 | 114,38 | 123,13 | 127,53 | 122,86 | 107,60 | 94,95 |
| 460 | 83,60 | 100,31 | 105,56 | 110,76 | 110,89 | 107,04 | 102,23 |
| 480 | 84,58 | 94,25 | 97,40 | 101,20 | 101,90 | 100,63 | 98,45 |
| 500 | 85,43 | 90,47 | 92,18 | 94,60 | 95,52 | 95,57 | 94,81 |
| 520 | 86,00 | 88,24 | 89,03 | 90,41 | 91,15 | 91,29 | 90,94 |
| 540 | 86,50 | 87,06 | 87,27 | 87,81 | 88,35 | 88,27 | 88,01 |
| 560 | 86,97 | 86,90 | 86,94 | 87,14 | 87,59 | 87,37 | 87,18 |
| 580 | 87,18 | 86,77 | 86,68 | 86,65 | 87,03 | 86,65 | 86,44 |
| 600 | 87,49 | 86,99 | 86,85 | 86,73 | 87,02 | 86,53 | 86,33 |
| 620 | 87,62 | 87,28 | 87,16 | 87,10 | 87,33 | 86,92 | 86,64 |
| 640 | 87,77 | 87,56 | 87,47 | 87,50 | 87,68 | 87,42 | 87,06 |
| 660 | 88,19 | 88,04 | 87,96 | 88,00 | 88,17 | 87,94 | 87,60 |
| 680 | 88,44 | 88,27 | 88,13 | 88,17 | 88,31 | 88,09 | 87,78 |
| 700 | 88,71 | 88,47 | 88,30 | 88,32 | 88,45 | 88,24 | 87,94 |



Slika 18. Remisijske krivulje kemijski i optički bijeljenih pamučnih tkanina s Uvitex BHT u širokom koncentracijskom rasponu za područje valnih duljina 400-540 nm

Tablica 8. Stupanj bjeline (W) prema Berger, Hunter, Stensby i CIE, te indeks požućenja (YI) kemijski bijeljene pamučne tkanine i pamučnih tkanina bijeljenih optičkim bjelilom Uvitex BHT u širokom koncentracijskom rasponu

| Uzorak | W_{Berger} | W_{Hunter} | W_{Stensby} | W_{CIE} | YI |
|----------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------|--------|
| 0,0 (KB) | 73,7 | 85,3 | 84,8 | 74,4 | 4,96 |
| BHT-0,2 | 133,9 | 124,0 | 134,0 | 131,8 | -17,06 |
| BHT-0,5 | 147,5 | 132,0 | 142,9 | 142,6 | -21,78 |
| BHT-2,0 | 149,9 | 131,5 | 137,9 | 142,0 | -22,19 |
| BHT-5,0 | 139,6 | 123,6 | 125,0 | 131,5 | -18,3 |
| BHT-20,0 | 113,3 | 105,0 | 97,0 | 105,1 | -8,70 |
| BHT-50,0 | 91,9 | 90,6 | 76,6 | 83,0 | -1,03 |

Iz rezultata stupnjeva bjeline vidljivo je da kemijski bijeljena pamučna tkanina ima najnižu bjelinu ($W_{\text{CIE}} = 74,4$). Razlog tome je uklanjanje primjesa sirovog pamuka: masnoće, voskova, pektina, proteina i drugih organskih tvari u procesu iskuhavanja te pigmentata u procesu kemijskog bijeljenja. Iako su razoreni pigmenti u kemijskom bijeljenju ona i dalje ima blago žućkasti ton što se vidi iz indeksa požućenja ($YI=4,96$). Optičkim bijeljenjem postignuti su veći stupnjevi bjeline tkanina.

Već i vrlo mala koncentracija od 0,2% jako povećava stupanj bjeline na 131,8. S povećanjem koncentracije optičkog bjelila povećava i spektralna remisija. Najveći stupanj bjeline postiže se pri koncentraciji od 0,5 i 2%. Budući da je za postizanje najveće bjeline potrebno manje sredstva optimalna koncentracija je 0,5% na m.m. Prekoračenjem koncentracije od 2 % optičkog bjelila, spektralna remisija se smanjuje, a vidljiv je i pomak spektra remisije prema većim valnim duljinama. Sve to ukazuje da je došlo do pojave gašenja fluorescencije. Vrijednosti svjetline L^* prikazane u tab.9 potvrđuju najveću bjelinu.

Analogno povećanju bjeline, smanjuje se indeks požućenja. Međutim, gašenjem fluorescencije, požućenje materijala je veće. Vrijednosti odstupanja tona to potvrđuju. Prava neutralna bjelina je na koncentraciji između 0,5 i 2%, a s porastom koncentracije dolazi do naslojavanja optičkog bjelila i tkanina pozeleni. Uzorci bijeljeni manjom koncentracijom od 2 % pokazuju pomak od odstupanja tona boje od neutralno bijelog standarda prema crvenkasto – ljubičastom dijelu spektra, dok uzorci bijeljeni koncentracijom većom od 2 % pokazuju pomak prema plavo – zelenom dijelu spektra (tab.5). Pomaci u plavo, odnosno u crveno vidljivi su i iz rezultata a^* i b^* u tab.9.

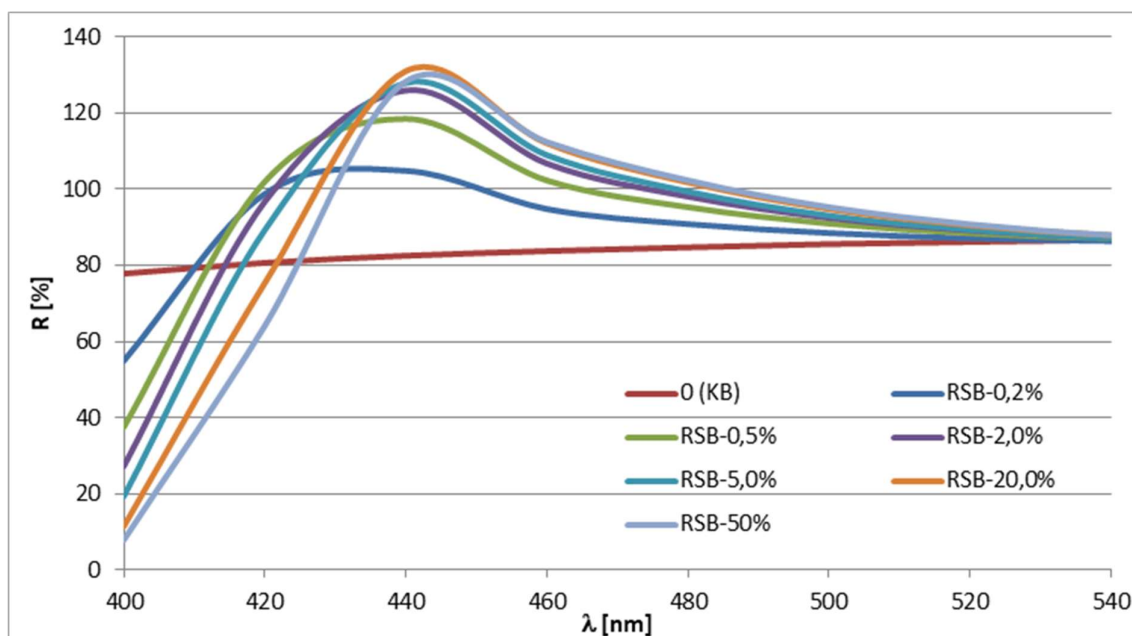
Tablica 9. Spektralne vrijednosti i odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda kemijski bijeljene pamučne tkanine i pamučnih tkanina bijeljenih optičkim bjelilom Uvitex BHT u širokom koncentracijskom rasponu

| Uzorak | L^* | a^* | b^* | Odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda [37] | |
|----------|-------|-------|--------|--|---|
| | | | | | |
| 0,0 (KB) | 94,52 | -0,19 | 2,65 | G1 | U tragovima zelenije od bijelog standarda |
| BHT-0,2 | 95,36 | 3,26 | -9,68 | R1 | U tragovima crvenije od bijelog standarda |
| BHT-0,5 | 95,62 | 3,55 | -12,01 | R1 | U tragovima crvenije od bijelog standarda |
| BHT-2,0 | 95,94 | 2,10 | -11,72 | G1 | U tragovima zelenije od bijelog standarda |
| BHT-5,0 | 96,10 | 0,47 | -9,23 | G3 | Jasno zelenije od bijelog standarda |
| BHT-20,0 | 95,87 | -2,65 | -3,44 | GG | Obojeno u smjeru zelene |
| BHT-50,0 | 95,58 | -4,83 | 1,29 | GG | Obojeno u smjeru zelene |

Iz rezultata mjerenja spektralnih karakteristika pamučnih tkanina bijeljenih optičkim bjelilom Uvitex RSB u rasponu koncentracija od 0,2 % do 50 % je vidljivo da je najveća spektralna remisija postignuta pri koncentraciji optičkog bjelila od 20 %, pri valnoj duljini 440 nm i iznosi $R = 131,01\%$. Pri korištenju veće koncentracije optičkog bjelila od 20 % spektralna remisija je neznatno se smanjuje. Valja istaknuti da se slična remisija od $R=125,93\%$ postiže već pri koncentraciji od 2 % i gotovo ostaje ista do 50 % ($R=128,33\%$).

Tablica 10. Spektralne remisije, R [%] pri različitim valnim duljinama [nm] optički bijeljene pamučne tkanine s Uvitex RSB

| λ (nm) | 0 (KB) | RSB-0,2% | RSB-0,5% | RSB-2% | RSB-5% | RSB-20% | RSB-50% |
|----------------|--------|----------|----------|--------|--------|---------|---------|
| 400 | 77,70 | 55,02 | 37,52 | 26,99 | 19,39 | 11,26 | 7,85 |
| 420 | 80,55 | 98,77 | 101,90 | 96,60 | 89,38 | 75,27 | 64,13 |
| 440 | 82,39 | 104,84 | 118,39 | 125,93 | 128,08 | 131,01 | 128,33 |
| 460 | 83,60 | 94,84 | 102,25 | 106,71 | 109,12 | 112,07 | 112,43 |
| 480 | 84,58 | 90,88 | 95,25 | 98,01 | 99,55 | 101,80 | 102,37 |
| 500 | 85,43 | 88,54 | 90,92 | 92,39 | 93,23 | 94,78 | 95,34 |
| 520 | 86,00 | 87,17 | 88,40 | 89,08 | 89,51 | 90,46 | 90,84 |
| 540 | 86,50 | 86,45 | 87,07 | 87,22 | 87,31 | 87,87 | 88,03 |
| 560 | 86,97 | 86,41 | 86,82 | 86,83 | 86,84 | 87,24 | 87,32 |
| 580 | 87,18 | 86,36 | 86,66 | 86,53 | 86,49 | 86,79 | 86,82 |
| 600 | 87,49 | 86,66 | 86,88 | 86,69 | 86,64 | 86,85 | 86,82 |
| 620 | 87,62 | 87,07 | 87,20 | 87,03 | 86,97 | 87,04 | 86,90 |
| 640 | 87,77 | 87,40 | 87,48 | 87,36 | 87,31 | 87,32 | 87,12 |
| 660 | 88,19 | 87,92 | 87,98 | 87,88 | 87,80 | 87,80 | 87,56 |
| 680 | 88,44 | 88,16 | 88,16 | 88,03 | 87,99 | 88,00 | 87,74 |
| 700 | 88,71 | 88,38 | 86,36 | 88,23 | 88,18 | 88,14 | 87,94 |



Slika 19. Remisijske krivulje kemijski i optički bijeljenih pamučnih tkanina s Uvitex RSB u širokom koncentracijskom rasponu za područje valnih duljina 400-540 nm

Tablica 11. Stupanj bjeline (W) prema Berger, Hunter, Stensby i CIE, te indeks požućenja (YI) kemijski bijeljene i pamučnih tkanina bijeljenih optičkim bjelilom Uvitex RSB u širokom koncentracijskom rasponu

| Uzorak | W _{Berger} | W _{Hunter} | W _{Stensby} | W _{CIE} | YI |
|----------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------|--------|
| 0,0 (KB) | 73,7 | 85,3 | 84,8 | 74,4 | 4,96 |
| RSB-0,2 | 117,6 | 114,0 | 121,8 | 117,8 | -11,44 |
| RSB-0,5 | 140,7 | 128,4 | 139,5 | 137,7 | -19,52 |
| RSB-2,0 | 152,2 | 135,1 | 146,8 | 146,6 | -23,51 |
| RSB-5,0 | 155,3 | 136,4 | 147,4 | 148,4 | -24,50 |
| RSB-20,0 | 155,9 | 135,5 | 143,6 | 147,3 | -24,30 |
| RSB-50,0 | 149,8 | 130,7 | 135,3 | 141,0 | -21,99 |

Tablica 12. Spektralne vrijednosti i odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda kemijski bijeljene i pamučnih tkanina bijeljenih optičkim bjelilom Uvitex RSB u širokom koncentracijskom rasponu

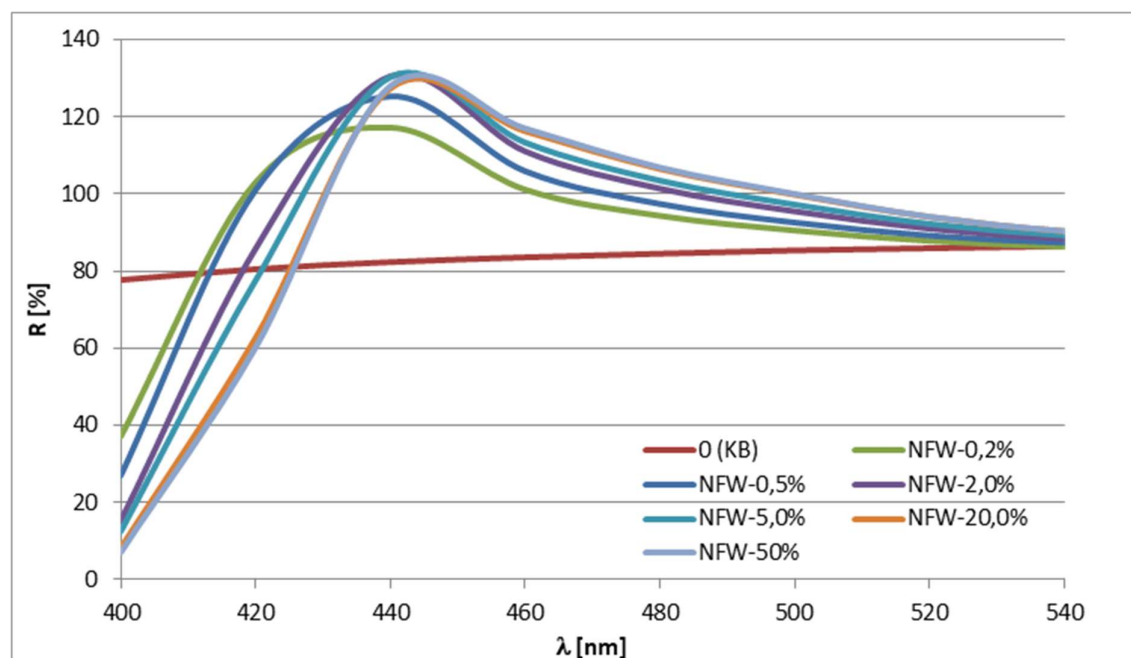
| Uzorak | L* | a* | b* | Odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda [37] | |
|----------|-------|-------|--------|--|---|
| | | | | | |
| 0,0 (KB) | 94,52 | -0,19 | 2,65 | G1 | U tragovima zelenije od bijelog standarda |
| RSB-0,2 | 94,93 | 2,57 | -6,73 | R1 | U tragovima crvenije od bijelog standarda |
| RSB-0,5 | 95,43 | 3,64 | -10,98 | R2 | Malo crvenije od bijelog standarda |
| RSB-2,0 | 95,64 | 3,84 | -12,91 | R1 | U tragovima crvenije od bijelog standarda |
| RSB-5,0 | 95,75 | 3,56 | -13,28 | R1 | U tragovima crvenije od bijelog standarda |
| RSB-20,0 | 96,02 | 2,63 | -12,88 | G1 | U tragovima zelenije od bijelog standarda |
| RSB-50,0 | 96,06 | 1,50 | -11,42 | G2 | Malo zelenije od bijelog standarda |

Uzorci obrađeni optičkim bjelilom Uvitex RSB postigli su podjednak stupanj bjeline prema CIE za navedene koncentracije od 2% (146,6) do 20% (147,3). U tom području najmanji je i indeks požućenja od -23,51 do -24,30), dok je maksimalna remisija pri valnoj duljini od 440 nm. Uzorci bijeljeni optičkim bjelilom Uvitex RSB u koncentracijama nižim od 5% su u tragovima crveniji a viši od 20 % u tragovima zeleniju od neutralno bijelog standarda. To potvrđuju i rezultati a* i b*. Uzevši u obzir da se slični rezultati bjeline postižu i pri koncentraciji od 2 %, iz ekoloških i ekonomskih razloga preporuča se ova koncentracija kao optimalna.

Iz prikazanih rezultata mjerenja spektralnih karakteristika na uzorcima bijeljenim optičkim bjelilom Uvitex NFW u rasponu koncentracija od 0,2 % do 50 % vidljivo je da spektralna remisija raste povećanjem koncentracije, no prelaskom određene koncentracije se smanjuje. Granična koncentracija za ovo optičko bjelilo iznosi 2 % i pri toj koncentraciji izmjerena je najveća spektralna remisija na valnoj duljini 440 nm i iznosi R = 130,55 %.

Tablica 13. Spektralne remisije, R [%] pri različitim valnim duljinama [nm] optički bijeljene pamučne tkanine s Uvitex NFW

| λ (nm) | 0 (KB) | NFW-0,2% | NFW-0,5% | NFW-2% | NFW-5% | NFW-20% | NFW-50% |
|----------------|--------|----------|----------|--------|--------|---------|---------|
| 400 | 77,70 | 36,96 | 27,08 | 15,39 | 12,36 | 8,10 | 6,88 |
| 420 | 80,55 | 102,93 | 100,90 | 85,89 | 77,43 | 62,58 | 60,04 |
| 440 | 82,39 | 117,21 | 125,13 | 130,55 | 130,20 | 127,26 | 127,94 |
| 460 | 83,60 | 101,10 | 105,81 | 111,15 | 113,23 | 116,22 | 116,97 |
| 480 | 84,58 | 94,31 | 97,34 | 101,49 | 103,34 | 106,42 | 106,83 |
| 500 | 85,43 | 90,49 | 92,53 | 95,60 | 97,15 | 99,75 | 99,96 |
| 520 | 86,00 | 87,79 | 89,16 | 91,10 | 92,15 | 93,98 | 94,06 |
| 540 | 86,50 | 86,27 | 87,33 | 88,47 | 89,16 | 90,31 | 90,35 |
| 560 | 86,97 | 85,88 | 86,91 | 87,69 | 88,19 | 89,05 | 89,09 |
| 580 | 87,18 | 85,61 | 86,57 | 87,09 | 87,48 | 88,10 | 88,16 |
| 600 | 87,49 | 85,86 | 86,70 | 87,05 | 87,36 | 87,79 | 87,84 |
| 620 | 87,62 | 86,53 | 86,99 | 87,25 | 87,45 | 87,67 | 87,67 |
| 640 | 87,77 | 87,07 | 87,29 | 87,51 | 87,65 | 87,73 | 87,70 |
| 660 | 88,19 | 87,62 | 87,75 | 87,95 | 88,08 | 88,10 | 88,08 |
| 680 | 88,44 | 87,85 | 87,89 | 88,09 | 88,21 | 88,21 | 88,21 |
| 700 | 88,71 | 88,10 | 88,03 | 88,23 | 88,31 | 88,32 | 88,34 |



Slika 20. Remisijske krivulje kemijski i optički bijeljenih pamučnih tkanina s Uvitex NFW u širokom koncentracijskom rasponu za područje valnih duljina 400-540 nm

Tablica 14. Stupanj bjeline (W) prema Berger, Hunter, Stensby i CIE, te indeks požućenja (YI) kemijski bijeljene pamučne tkanine i pamučnih tkanina bijeljenih optičkim bjelilom Uvitex NFW u širokom koncentracijskom rasponu

| Uzorak | W _{Berger} | W _{Hunter} | W _{Stensby} | W _{CIE} | YI |
|----------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------|--------|
| 0,0 (KB) | 73,7 | 85,3 | 84,8 | 74,4 | 4,96 |
| NFW-0,2 | 139,7 | 127,9 | 138,9 | 137,0 | -19,64 |
| NFW-0,5 | 151,3 | 134,5 | 146,2 | 145,8 | -23,17 |
| NFW-2,0 | 157,6 | 136,5 | 144,7 | 148,5 | -24,65 |
| NFW-5,0 | 156,4 | 134,5 | 139,8 | 146,0 | -23,79 |
| NFW-20,0 | 151,8 | 129,2 | 128,5 | 139,3 | -21,43 |
| NFW-50,0 | 152,5 | 129,5 | 128,5 | 139,7 | -21,63 |

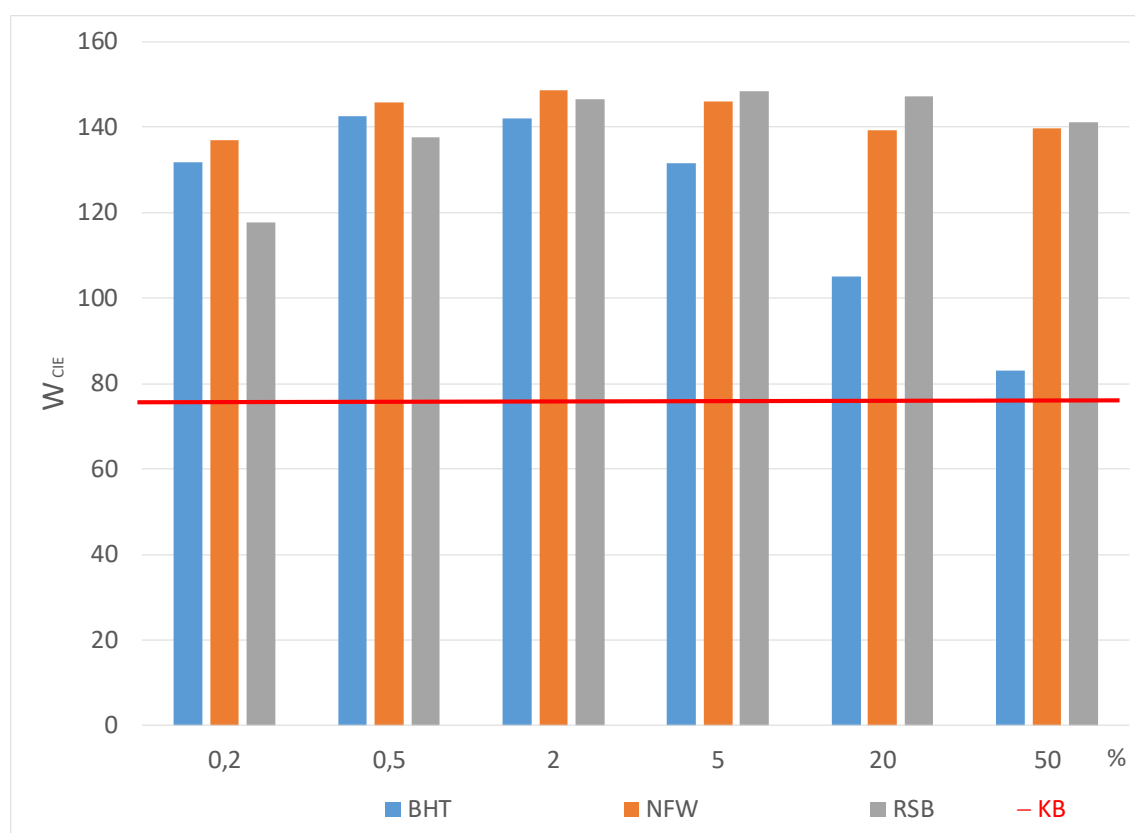
Tablica 15. Spektralne vrijednosti i odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda kemijski bijeljene pamučne tkanine i pamučnih tkanina bijeljenih optičkim bjelilom Uvitex BHT u širokom koncentracijskom rasponu

| Uzorak | L* | a* | b* | Odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda [37] | |
|----------|-------|-------|--------|--|---|
| | | | | | |
| 0,0 (KB) | 94,52 | -0,19 | 2,65 | G1 | U tragovima zelenije od bijelog standarda |
| NFW-0,2 | 95,08 | 3,60 | -10,99 | R1 | U tragovima crvenije od bijelog standarda |
| NFW-0,5 | 95,64 | 3,81 | -12,75 | R1 | U tragovima crvenije od bijelog standarda |
| NFW-2,0 | 96,19 | 2,70 | -13,09 | G1 | U tragovima zelenije od bijelog standarda |
| NFW-5,0 | 96,48 | 1,73 | -12,38 | G2 | Malo zelenije od bijelog standarda |
| NFW-20,0 | 96,92 | -0,25 | -10,61 | G5 | Vrlo jako zelenije od bijelog standarda |
| NFW-50,0 | 96,96 | -0,32 | -10,68 | G5 | Vrlo jako zelenije od bijelog standarda |

Međutim, primjenom najmanjih koncentracija 0,2 i 0,5 % vidljiv je značajan porast bjeline. Sa sl. 20 vidljivo je da je maksimalna remisija za ove koncentracije na 430 nm, što odgovara emisiji fluorescencije izmjerene na fluorometru (sl. 17). Pri koncentraciji od 0,5% na m.m. postiže se visok stupanj bjeline 145,8, a najviši je kod 2% 148,5. Kod koncentracija viših od 2% maksimum remisije je pri 440 nm, no intenzitet remisija se smanjuje. Iz grafičkog prikaza je također vidljivo da je tkanina bijeljena koncentracijom 2 % optičkog bjelila postigla najveću spektralnu remisiju, dok je prelaskom na koncentracije više od 5% zabilježen pad spektralne remisije. Najveći stupanj bjeline prema CIE i najmanji indeks požućenja, pokazao je uzorak bijeljen s 2 % Uvitex NFW, ali pokazuje odstupanje tona od neutralno bijelog standarda i to prema plavom dijelu spektra. Uzorci obrađeni nižom koncentracijom pokazuje neznatno odstupanje tona od neutralno bijelog standarda prema crveno – ljubičastom dijelu spektra.

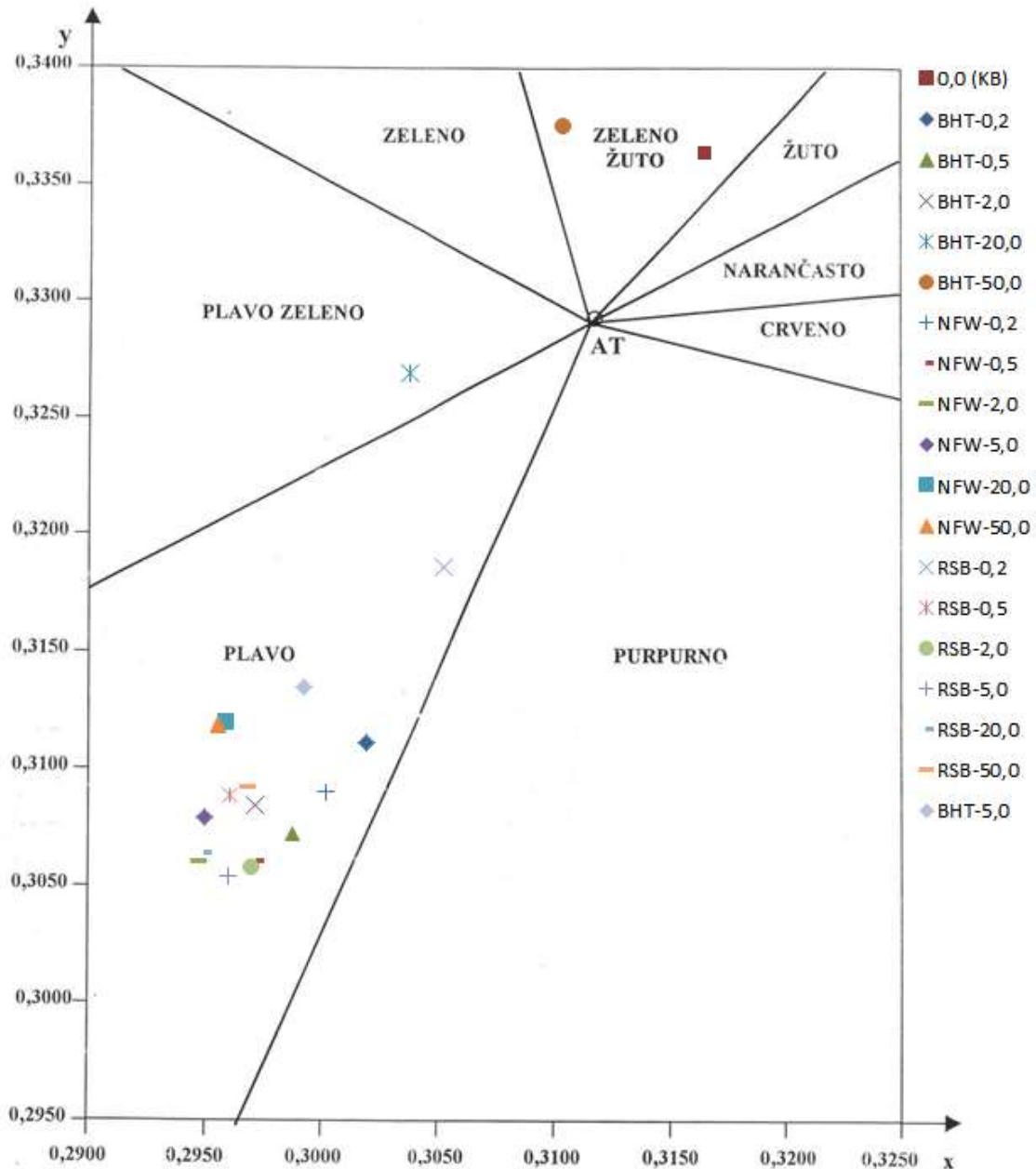
U slučaju optičkog bjelila Uvitex NFW, na osnovu mjerenja spektralnih karakteristika, kao optimalan uzorak preporuča se uzeti koncentracija od 0,5 %, jer iako ne daje najvišu remisiju, pokazuje približno jednak stupanj bjeline.

U ovom radu korištena su tri optička bjelila različite konstitucije i tona emisije: Uvitex BHT, Uvitex RSB, te Uvitex NFW. Po kemijskom sastavu su derivati stilbena: Uvitex BHT koji ima visok afinitet prema pamuku (2 sulfonatne skupine) i Uvitex RSB koji ima srednji afinitet (4 sulfonatne skupine), te Uvitex NFW koji nije diaminostilben derivati već distirilbifenil derivat. Provedena je usporedbom stupnjeva bjeline (sl. 21) i prikaz u dijagramu kromatičnosti (sl. 22).



Slika 21. Stupanj bjeline prema CIE pamučnih tkanina bijeljenih optičkim bjelilima Uvitex BHT, Uvitex RSB i Uvitex NFW u odnosu na kemijski bijeljenu (KB) pamučnu tkaninu

Vidljivo je da se visoka bjelina i izvrsne svjetline pamučne tkanine postižu bez obzira na kemijski sastav primijenjenog optičkog bjelila pri koncentraciji je 2 %. Za Uvitex BHT i Uvitex NFW tkanina ima maksimum remisije na 440 nm što odgovara plavom tonu. Ujedno, za ova bjelila dovoljna je koncentracija od 0,5% za postizanje izvrsne bjeline.



Slika 22. Dio CIE dijagrama kromatičnosti

S druge strane, remisija s tkanina obrađenih s Uvitex RSB tkanina odgovara crveno-ljubičastom tonu te se pri višim koncentracijama pomiču u plavo, odnosno pri 20 % u neutralno. Kod optičkih bjelila plavog tona, Uvitex BHT i Uvitex NFW uočava se koncentracijsko gašenje fluorescencije (smanjenje bjeline i remisije, povećanje indeksa požućenja). To se može objasniti prevelikom koncentracijom molekula optičkog bjelila na tkanini. Naslojavanjem

molekula optičkog bjelila ne mogu se pobuditi svi slojevi te zbog toga nema fluorescencije koja direktno utječe na smanjenje bjeline. Dodatno, molekule optičkih bjelila pri velikim koncentracijama grade dimere koji nemaju sposobnost fluoresciranja.

Utjecaj koncentracije optičkih bjelila na UV zaštitu praćen je putem UV-A i UV-B transmisije te srednje vrijednosti zaštitnog faktora od UV zračenja (UPF). Rezultati izmjereni prema AS/NZS 4399:2017 su prikazani u tab. 16-18.

Tablica 16. UV-A i UV-B transmisija, standardna devijacija, standardna pogreška, te UV zaštita kemijski bijeljene pamučne tkanine i tkanine bijeljene optičkim bjelilom Uvitex BHT u širokom koncentracijskom rasponu izmjereni prema AS/NZS 4399:2017

| Uzorak | srednja UPF | τ UVA | τ UVB | standardna devijacija | standardna pogreška | UV zaštita | |
|----------|-------------|------------|------------|-----------------------|---------------------|------------|-----------------|
| 0,0 (KB) | 20,998 | 3,406 | 7,376 | 2,335 | 2,895 | 15 | dobra zaštita |
| BHT-0,2 | 734,958 | 0,149 | 0,111 | 226,559 | 280,933 | 50+ | izvrsna zaštita |
| BHT-0,5 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |
| BHT-2,0 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |
| BHT-5,0 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |
| BHT-20,0 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |
| BHT-50,0 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |

Tablica 17. UV-A i UV-B transmisija, standardna devijacija, standardna pogreška, te UV zaštita kemijski bijeljene pamučne tkanine i tkanine bijeljene optičkim bjelilom Uvitex RSB u širokom koncentracijskom rasponu izmjereni prema AS/NZS 4399:2017

| Uzorak | srednja UPF | τ UVA | τ UVB | standardna devijacija | standardna pogreška | UV zaštita | |
|----------|-------------|------------|------------|-----------------------|---------------------|------------|-----------------|
| 0,0 (KB) | 20,998 | 3,406 | 7,376 | 2,335 | 2,895 | 15 | dobra zaštita |
| RSB-0,2 | 144,281 | 0,770 | 0,724 | 103,690 | 128,576 | 50+ | izvrsna zaštita |
| RSB-0,5 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |
| RSB-2,0 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |
| RSB-5,0 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |
| RSB-20,0 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |
| RSB-50,0 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |

Tablica 18. UV-A I UV-B transmisija, standardna devijacija, standardna pogreška, te UV zaštita kemijski bijeljene pamučne tkanine i tkanine bijeljene optičkim bjelilom Uvitex NFW u širokom koncentracijskom rasponu izmjereni prema AS/NZS 4399:2017

| Uzorak | srednja UPF | τ UVA | τ UVB | standardna devijacija | standardna pogreška | UV zaštita | |
|----------|-------------|------------|------------|-----------------------|---------------------|------------|-----------------|
| 0,0 (KB) | 20,998 | 3,406 | 7,376 | 2,335 | 2,895 | 15 | dobra zaštita |
| NFW-0,2 | 614,747 | 0,212 | 0,103 | 363,942 | 451,288 | 50+ | izvrsna zaštita |
| NFW-0,5 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |
| NFW-2,0 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |
| NFW-5,0 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |
| NFW-20,0 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |
| NFW-50,0 | 1000,000 | 0,100 | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 50+ | izvrsna zaštita |

Iz rezultata prikazanih u tab. 16-18 može se vidjeti da kemijski bijeljena tkanina pruža samo dobru UV zaštitu (UPF =20,998). Čišćenjem primjesa pamuka u iskuhavanju i bijeljenju uklonjena je zaštita koju su pružali pigmenti i vosak. Već primjenom male koncentracije optičkog bjelila dolazi do fluorescencije što dovodi do povećanja stupnja bjeline, a time i UV zaštite. Bez obzira na primijenjeno optičko bjelilo primjenom najniže koncentracije od 0,2 % postiže se izvrsna UV zaštita. Primjenom više koncentracije postiže se maksimalna moguća UV zaštita (UPF=1000). Promatrajući rezultate svih uzoraka dolazimo do zaključka da su odlične rezultate prema svim parametrima pokazali svi optički bijeljeni uzorci u koncentracijama većim od 0,5 % bez obzira na optičko bjelilo koje je korišteno.

Uspoređujući primijenjena optička bjelila, vidljivo je da bjelila plavog tona Uvitex BHT i NFW pri najnižoj koncentraciji daju viši UPF, nego bjelilo crvenog tona Uvitex RSB.

Valja istaknuti da se maksimalna UV zaštita ne smanjuje s pojavom gašenja fluorescencije, odnosno smanjenjem bjeline i remisije pri višim koncentracijama optičkog bjelila.

5. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu istražena je fluorescencija optičkih bjelila različite konstitucije i tona emisije: derivatima stilbena Uvitex BHT i Uvitex RSB, te distirilbifenil derivatom Uvitex NFW, u širokom koncentracijskom rasponu od 0,2% do 50 % na m.m. Ispitan je utjecaj koncentracije optičkih bjelila na bjelinu i UV zaštitu pamučne tkanine.

Usporedbom optičkih bjelila pokazalo se da optička bjelila Uvitex NFW i Uvitex BHT emitiraju u plavom, dok Uvitex RSB emitira u crveno-ljubičastom. Kod bjelila plavog tona, optimalna koncentracija je 0,5% iako se najveća bjelina postiže pri 2%. Pri višim koncentracijama dolazi do gašenja fluorescencije, što rezultira požućenjem tkanine. Za razliku od Uvitex BHT i Uvitex NFW, kod Uvitex RSB bjelina raste s povećanjem koncentracije i pri koncentraciji od 20 % pokazuje najveću bjelinu. Međutim, već koncentracija od 2% daje podjednaku bjelinu i UV zaštitu te se može smatrati optimalnom.

S druge strane, sve optički bijeljene tkanine već pri najnižoj koncentraciji doprinose povećanju UV zaštite, a pri 0,5% i višoj koncentraciji pokazuju maksimalnu moguću UV zaštitu (UPF=1000). Optička bjelila plavog tona pri koncentraciji 0,2% daju nešto višu zaštitu od bjelila crvenog tona, no postignuta maksimalna UV zaštita pri višim koncentracijama ne smanjuje se s pojavom gašenja fluorescencije, odnosno smanjenjem bjeline i emisije pri višim koncentracijama optičkog bjelila.

6. LITERATURA

- [1] Soljačić, I.: O optičkim bjelilima, *Tekstil* 21 (1972) 5, 377-398
- [2] Soljačić I., A.M. Grancarić: Vježbe iz procesa oplemenjivanja tekstila, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, 1995.
- [3] Grancarić, A. M., Tarbuk, A: Quenching of Fluorescence in World of Whiteness; Book of Papers of 11th AIC 2009, Sydney, Australia, The Colour Society of Australia, 2009. 395-401
- [4] Soljačić, I.: Optička bjelila u sredstvima za pranje, *Tekstil* 21 (1972) 5, 415-421
- [5] Grancarić, A. M., Soljačić, I.: Einfluss der Konzentration optischer Aufheller auf Fluoreszenz und Weissgrad von Baumwollgeweben, *Melliand Textilber* 62 (1981) 11, 876-882
- [6] Tarbuk A., A. M. Grancarić, M. Šitum: Discrepancy of Whiteness and UV Protection in Wet State. *Collegium antropologicum* 38 (2014) 4, 1099-1105
- [7] Dekanić, T., T. Pušić, A. Tarbuk, I. Soljačić: Funkcionalizacija pamučnih tekstilija za UV zaštitu, 7. Međunarodni stručno-znanstveni skup "Zaštita na radu i zaštita zdravlja" Zbornik radova, Kirin, S. (ur.). Karlovac: Veleučilište u Karlovcu, 2018. 463-469
- [8] Lichtman, J.; Conchello, J.A.: Fluorescence Microscopy, *Nature Methods* 2 (2006) 12, 910-919, DOI: 10.1038/nmeth817
- [9] Discover Uvitex World – The Handbook of Fluorescent Whitening of Textiles, Ciba Specialty Chemicals, 1999
- [10] Soljačić, I., Pušić, T.: Njega tekstila, TTF, Zagreb 2005.
- [11] Grancarić, A.M., I. Soljačić, D. Katović: Osnove oplemenjivanja tekstila, Knjiga II. Procesi mokre apreture, bojadisanja i tiska, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, 1994.
- [12] Zulić D., A. M. Grancarić: Alkalne pektinaze za iskuhavanje pamuka, *Tekstil* 51 (2002.) 1, 128-135
- [13] Soljačić I.: Problematika bijeljenja pamuka vodikovim peroksidom, *Tekstil* 26 (1977) 11.
- [14] Tarbuk A., T. Pušić, M. Jukić: Optimiranje postupka iskuhavanja pamučne tkanine kiselim i neutralnim pektinazama. *Tekstil* 62 (2013) 9-10, 353-360

-
- [15] Soljačić, I.; Pušić, T.: Mogućnosti UV zaštite u pranju // Zbornik Hrvatske obrtničke komore i Obrtne zbornice Slovenije: Međunarodni stručni skup " Njega tekstilija i odjeće-kemijско čišćenje i pranje", aktualna problematika / HOK, OZS (ur.). Zagreb, Ljubljana: HOK, OZS, 2007. str. 49-58; pristupljeno: 3-4-2019, dostupno: https://www.hok.hr/content/download/4316/33406/file/08_ivo_soljadic.pdf
- [16] Scott, R. A.: Textiles for protection, 11-12, Woodhead Publishing, 2005.
- [17] Roshan P.: Functional Finishes for Textiles: Improving Comfort, Performance and Protection, 463-485, Woodhead Publishing, 2015.
- [18] ENJOLigth: Što je puni spektar LED, pristupljeno: 3-4-2019, dostupno: <http://hr.ledplantlamp.com/info/what-is-full-spectrum-led-32752843.html>
- [19] ... The Skin Sins: UV Exposure, pristupljeno: 3-4-2019, dostupno: <http://www.skinrepair.uk.com/uv-exposure>
- [20] Pan, N.; Sun, G.: Functional textiles for improved performance, protection and health, 45-63, Woodhead Publishing, 2011.
- [21] Saravanan, D: UV protection textile materials, Autex Research Journal, 7 (2007) 1, 53-62
- [22] Tarbuk A., A. M. Grancarić, M. Šitum, M. Martinis: UV Clothing and Skin Cancer, Collegium Antropologicum. 34 (2010) S2, 179-183
- [23] Tarbuk A., A. M. Grancarić, M. Šitum: Skin cancer and UV Protection. Autex research journal. 16 (2016) 1, 19-28 2019
- [24] ... UV indeks; pristupljeno: 1-4-2019 dostupno: <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/uviguide.pdf>
- [25] Grancarić, A. M., Penava Ž., Tarbuk A.: UV Protection of Cotton: the Influence of Weaving Structure, Hemijska industrija, 59 (2005), 9-10, 230-234.
- [26] Grancarić A. M., A. Tarbuk, D. McCall: Modifikacija površine poliesterske tkanine nanočesticama tribomehanički aktiviranog prirodnog zeolita (TMAZ), Polimeri 28 (2007) 4, 219-224
- [27] Dekanić, T., Pušić, T., Soljačić I. Impact of artificial light on optical and protective effects of cotton after washing with detergent containing fluorescent compounds, Tenside Surf. Det. 51 (2014) 5, 451-459
- [28] Dekanić T., A. Tarbuk, T. Pušić, A. M. Grancarić, I. Soljačić: Light Conversion for UV Protection by Textile Finishing and Care, in Sunscreens: Properties, Role in Skin Cancer Prevention and Health Effects (Ed. S. H. Sharp), New York : Nova Science Publishers, 2015, 143-172, ISBN 978-1-63482-160-5
-

-
- [29] Zhou Y., Cox Crews P., Effect of OBAs and repeated launderings on UVR transmission through fabrics. *Textile Chem. Color.* 30 (1998) 11, 19-24.
- [30] Gambichler, T., Rotterdam, S., Altmeyer, P., Hoffmann, K. Protection against ultraviolet radiation by commercial summer clothing: need for standardised testing and labelling, *BMC Dermatology* 1 (2001) 6.
- [31] Reinert, G., Fuso, F., Hilfiker, R., Schmidt, E. UV-protecting properties of textile fabrics and their improvement. *Text Chem Color* 29 (1997) 12, 36-43.
- [32] Riva, A., Algaba, I., Prieto, R. Optical Brightening Agents Based on Stilbene and Distyryl Biphenyl for the Improvement of Ultraviolet Protection of Cotton Fabrics, *Tekstil* 56 (2007) 1, 1-6
- [33] Mamnicka, J.; Czajkowski W.: New fiber-reactive UV-absorbers increasing protective properties of cellulose fibres, *Cellulose* 19 (2012), 1781–1790.
- [34] Mahltig, B.; Bottcher H.; Rauch, K.; Dieckmann, U.; Nitsche, R.; Fritz T.: Optimized UV protecting coatings by combination of organic and inorganic UV absorbers, *Thin Solid Films* 485 (2005), 108 – 114.
- [35] Paluszkiwicz, J.; Czajkowski, W.; Kaźmierska, M.; Stolarski, R.: Reactive Dyes for Cellulose Fibres Including UV Absorbers, *Fibers and Textiles in Eastern Europe*, 13 (2005) 2, 76-80.
- [36] ... UV standard 801, dostupno: <https://www.engel.eu/en/products/certifications>
pristupljeno: 4-4-2019
- [37] Griesser, R.: Metode i mogućnosti upotrebe metričke ocjene boje bjeline tekstila, *Ciba-Geigy-brošura br. 9334 D*, 1980.