

Utjecaj koncentracije optičkog bjelila na bjelinu i UV zaštitu poliesterskih tkanina

Kašaj, Petra

Undergraduate thesis / Završni 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:201:951965>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-15**



Repository / Repozitorij:

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



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

ZAVRŠNI RAD

UTJECAJ KONCENTRACIJE OPTIČKOG
BJELILA NA BJELINU I UV ZAŠTITU
POLIESTRESKIH TKANINA

Petra Kašaj

Zagreb, rujan 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
Studij: Tekstilna tehnologija i inženjerstvo (TTI)
Smjer: Projektiranje i menadžment tekstila (PMT)

ZAVRŠNI RAD

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

Izv. prof. dr. sc. Anita Tarbuk

Petra Kašaj

10019/TTI

Zagreb, rujan 2020.

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

Prilaz baruna Filipovića 28a, 10 000 Zagreb

Zavod za tekstilnu kemiju i ekologiju

Rad sadrži:

Broj stranica:	41
Broj slika :	32
Broj tablica:	14
Broj literaturnih referenci:	28

Članovi Povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada:

1. Doc. dr. sc. Tihana Dekanić, predsjednica
2. Izv. prof. dr. sc. Anita Tarbuk, mentorica, članica
3. Izv. prof. dr. sc. Ivana Salopek Čubrić, članica
4. Dr. sc. Snježana Brnada, zamjenica članice



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

Istraživanje je u okviru znanstveno-istraživačkog projekta *Bio-inovirani poliesteri* u sklopu zajedničke hrvatsko-srpske suradnje u trajanju od 1. svibnja 2019. do 30. travnja 2021. godine.

ZAHVALE

Veliku zahvalnost, u prvom redu, dugujem svojoj mentorici izv. prof. dr.sc. Aniti Tarbuk koja mi je omogućila svu potrebnu opremu i pomogla savjetima pri izradi ovog završnog rada, svojim stručnim znanjem i iskustvom. Također se zahvaljujem asistentici Ivani Čorak na strpljenju, pruženom znanju i pomoći, doc. dr. sc. Tihani Dekanić, članovima povjerenstva, te svim djelatnicima Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta profesorima i stručnim suradnicima.

Ujedno zahvaljujem i tvrtki DyStar na donaciji optičkih bjelila.

Iskazujem zahvalnost i cijeloj svojoj obitelji koja me uvijek podržavala i upućivala na pravi put.

Velika hvala svima!

SAŽETAK:

Petra Kašaj:

UTJECAJ KONCENTRACIJE OPTIČKOG BJELILA NA BJELINU I UV ZAŠTITU POLIESTERSKIH TKANINA

U završnom radu istražena su optička bjelila različitog tona tvrtke DyStar (serija Sera® White), i njihova remisija u vidljivom dijelu spektra. U tu svrhu primijenjena su tri nova optička bjelila na bazi di(cianostiril) derivata, u širokom rasponu koncentracija (0,1, 0,5, 1, 5, 10 i 20% na m.m.) na tkanini poliestera i mješavini poliestera s pamukom. Istražene su promjene tkanina u obradi (površinska masa, čvrstoća i gustoća). Ispitan je utjecaj koncentracije na bjelinu i UV zaštitu poliesterske tkanine i njene mješavine s pamukom. Sve promjene evaluirane su sukladno normiranim metodama.

Obradama ne dolazi do značajnijih promjena u mehaničkim svojstvima. Najviši stupanj bjeline za PES i PES/CO Sera® White P-R je pri 0,1% na m.m. Za Sera® White P-N optimalna koncentracija je 1% na m.m. za obje poliesterske tkanine isto kao i za Sera® White P-B. Te koncentracije uzrokuju najmanje odstupanje nijansi bez obzira na 35% pamuka u mješavini. Sve optički bijeljene tkanine već pri najnižoj koncentraciji doprinose povećanju UV zaštite, a u optimalnoj i višoj koncentraciji pokazuju maksimalnu moguću UV zaštitu (UPF=1000). Uspoređujući rezultate bjeline i UV zaštite na PES i PES/CO tkaninama, može se vidjeti da su na PES tkanini postignuti nešto bolji rezultati. Razlog za bolju bjelinu je u boljem afinitetu derivata di(cijanostirila) na poliesterska vlakna, a za UV zaštitu od i apsorpcija UV zračenja benzenskih prstena u molekuli polimera. Budući da je u PES/CO tkanina 35% pamučnih vlakana, stupanj bjeline i UPF su nešto niži. Međutim, obradom s više od 1% na m.m. Sera® White P-N, postignuta je maksimalna UV zaštita. Postignuta maksimalna UV zaštita se ne smanjuje gašenjem fluorescencije.

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

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Ultraljubičasto (UV) zračenje	2
2.1.1. UV zaštita.....	4
2.2. Optičko bijeljenje.....	6
2.2.1. Fluorescencija.....	6
2.2.2. Optička bijelila	7
2.2.3. Učinci optičkih bjelila u oplemenjivanju i pranju	9
3. EKSPERIMENTALNI DIO	10
3.1. Zadatak rada	10
3.2. Materijali i obrade	10
3.3. Mjerne metode.....	12
3.3.1. Mehanička svojstva tkanine	12
3.3.2. UV zaštita.....	14
3.3.3. Spektralne karakteristike	15
4. REZULTATI S RASPRAVOM.....	18
4.1. Analiza mehaničkih svojstava	18
4.2. UV zaštita	28
4.3. Analiza spektralnih karakteristika	30
5. ZAKLJUČAK	41
6. LITERATURA.....	42

1. UVOD

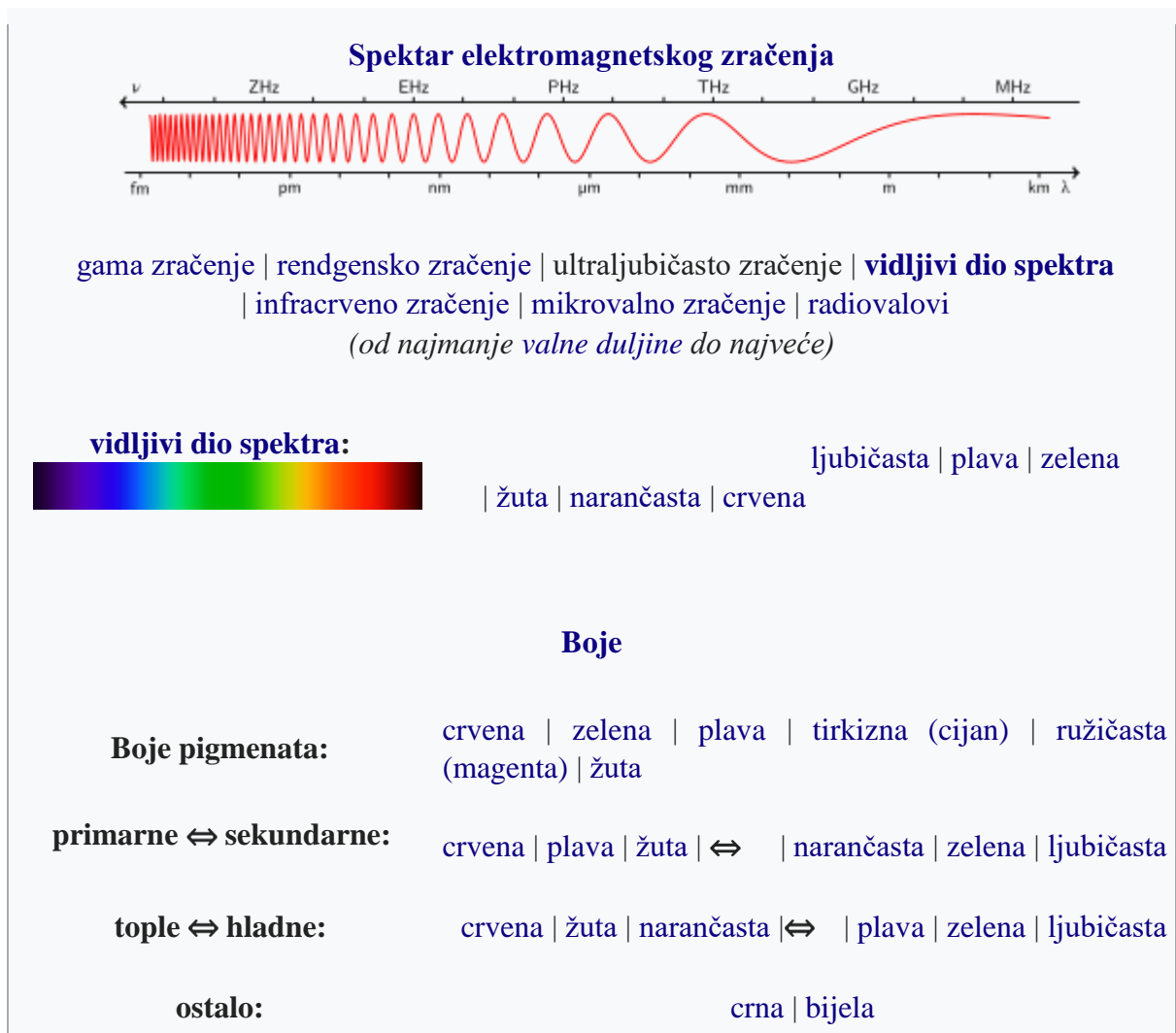
Dugo izlaganje sunčevom ultraljubičastom zračenju (UV-R), zajedno s količinom pigmentacije kože, glavni je uzrok raka kože. Rizik od naknadne pojave raka kože povećao se u cijelom svijetu zbog rušenja ozona, ali može se smanjiti pravilnom i ranom fotoprotekcijom. Poznato je da optičko bijeljenje zahvaljujući pojavi fluorescencije doprinosi UV zaštiti, kao i bjelini tkanine. UV zaštita može se postići i miješanjem vlakana. Poliesterska tkanina zbog benzenskih prstena u molekuli polimera pokazuje UV zaštitu, ali ima malu apsorpciju pomoćnih tvari zbog visoke kristalnosti vlakana. U mješavini s pamukom poboljšava se hidrofilnost i udobnost, ali zaštita od UV zraka postaje se smanjuje. Optički bijeljene tkanine apsorbiraju UV-A zračenje, pretvaraju ga u plavu fluorescenciju, snižavajući propusnost UV zračenju, što rezultira visokim ultraljubičastim zaštitnim faktorom (UPF), a time i boljom UV zaštitom. Primjenom optičkih bjelila moguće je postići različite nijanse bjeline korištenjem različitih sredstava za povećanje emisije na različitim valnim duljinama, a da pri tome pružaju i UV zaštitu.

Narušavanjem ozonskog omotača i prodiranjem štetnog UV zračenja, krajem 20. stoljeća započeta su istraživanja zaštite. Budući da se pokazalo da su optička bjelila jedno od učinkovitih sredstava za UV zaštitu, u ovom završnom radu istražen je utjecaj koncentracije optičkih bjelila na bjelinu i UV zaštitu poliesterske tkanine i tkanine iz mješavine poliester/pamuk 65/35%.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Ultraljubičasto (UV) zračenje

Elektromagnetsko zračenje ili svjetlost je zajedničko ime za sve forme energije koje se kreću brzinom svjetlosti. Obuhvaća sve vrste elektromagnetskih valova [1], od niskofrekventnih radiovalova (valne duljine od nekoliko kilometara) preko mikrovalova (30 cm do 1 mm) i područja optičkih spektara (infracrvenoga zračenja, vidljive svjetlosti, ultraljubičastoga zračenja; od 1 mm do 1 nm) do visokofrekvencijskoga rendgenskog zračenja (valne duljine do približno 1 pm) i gama-zračenja (sl. 1).



Slika 1. Spektar elektromagnetskog zračenja

Promjene u energijskim razinama elektrona uglavnom na ultraljubičastim i vidljivim spektrima, a od vibracijske i rotacijske energije molekula potječu infracrveni spektri. Ljudsko oko je osjetljivo samo na dio svjetlosti u spektru, koji se naziva “vidljiva svjetlost”, i nalazi se između 400 i 780 nm [1].

Ultraljubičasto (UV) zračenje dio je spektra valnih duljina od 100 nm do 400 nm. Dijeli se na UV-A od 320 nm do 400 nm, UV-B od 290 nm do 320 nm, te UV-C od 100 do 290 nm koje je vrlo opasno po život biljaka i životinja (tab.1), ali na svu sreću potpuno ga apsorbira ozonski omotač u stratosferi pa ne dolazi do površine Zemlje [1-3].

Tablica 1. Podjela UV zračenja i utjecaj pojedinih zraka na žive organizme [3]

	UV-A	UV-B	UV-C
λ [nm]	320-400	280-320	100-280
Apsorpcija u ozonskom omotaču	Prolazi	Većinom apsorbirano	U potpunosti apsorbirano
Količina UV zračenja koja dopire do površine Zemlje	> 98 %	< 2 %	Zanemarivo
Utjecaj na žive organizme	Prerano starenje, bore i pjege	Neophodno za sintezu vitamina D; akutne i kronične bolesti i oštećenja kože i očiju – crvenilo (eritem), tamnjenje, fotostarenje, DNK oštećenje, keratitis i katarakta (mrena), rak kože	Smrtonosno

Na količinu UV zračenja utječu visina sunca, geografska širina, oblačnost, nadmorska visina (na svakih 1000 m nadmorske visine, UV zračenje se pojačava za 10 - 12%), refleksija, zagađenje zraka i dr. [1-4].

Kada svjetlost dolazi do određene površine, koja može varirati od potpuno sjajne do matirane, od crne ili bijele do obojene, dolazi do međudjelovanja atomske i molekularne strukture objekta koja rezultira pojavom apsorpcije, refleksije i raspršenja svjetlosti ako se radi o neprozirnoj površini, ili refrakcije i transmisije ako se radi o prozirnoj površini. Mehanizmi međudjelovanja atomske i molekularne strukture objekta i pojave apsorpcije, refleksije ili transmisije svjetla određuju čovjekovu percepciju objekta kao bijelog, crnog, obojenog ili prozirnog. Prilikom

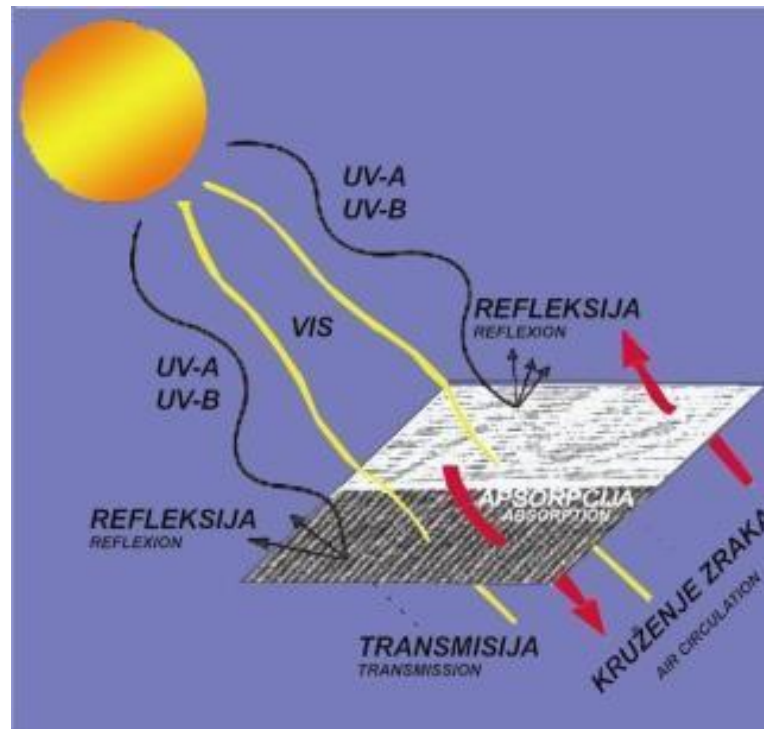
upada svjetla promatrani predmet djeluje kao optički filter koji apsorbira dio ukupne svjetlosti koja dolazi do njegove površine, dio propušta odnosno transmitira, a dio reflektira.

Odnos i udio apsorpcije i refleksije, te dominantna valna duljina apsorbiranog i reflektiranog dijela svjetla sa površine promatranog objekta definirati će ton i zasićenost boje predmeta. Taj elektromagnetski impuls reflektiranog dijela svjetlosti dolazi do receptora u ljudskom oku i prenosi se do mozga gdje se stvara doživljaj boje [5].

2.1.1. UV zaštita

Male količine UV zračenja su korisne za ljude i neophodne za proizvodnju vitamina D, a potiču proizvodnju melatonina i serotonina. UV zračenje se također koristi za liječenje bolesti poput rahitisa, psorijaze i ekcema [1]. Međutim, većina populacije upoznata je i sa činjenicom da je UV zračenje štetno i da je potrebna adekvatna zaštita pri dugotrajnom izlaganju jakom suncu [2, 3, 6-13]. Danas se traže novi načini, sredstva i metode za poboljšanje zaštite od UV zračenja. Tri su osnovna načina zaštite od UV zračenja; smanjivanje vremena izloženosti sunčevom UV zračenju, korištenje zaštitnih krema i korištenje odjeće s višim faktorom zaštite (UPF, ultraviolet protective factor) [2, 13]. Sva odjeća pruža određenu zaštitu no ona često nije dovoljna. Dijelovi tijela koji nisu prekriveni odjećom trebaju se zaštititi kremom sa zaštitnim faktorom koja sadrži UV-A i UV-B filtre. U novije vrijeme pokazalo se da su djetinjstvo i adolescencija kritična razdoblja za kasniji razvoj zloćudnih tumora kože jer se u tom životnom razdoblju apsorbira do 80 % UV zraka. Iz tog razloga pravilna i rana fotozaštita mogu smanjiti rizik od kasnijeg nastanka zloćudnih tumora kože. Neophodno je u djetinjstvu i adolescenciji primijeniti losione za zaštitu od sunca i nositi odgovarajuću odjeću, uz napomenu da je određena količina UV-B zračenja neophodna za sintezu vitamina D. Sunčane naočale također moraju imati UV-A i UV-B filtere za pravilnu zaštitu očiju [3].

UV zračenje predstavlja mali dio sunčeva spektra, svega 5 %. Kad UV zračenje dođe do tekstilnog materijala dio zračenja se odbija (refleksija), dio apsorbira (apsorpcija), a dio prolazi kroz njega (transmisija) (sl. 2) [7].



Slika 2. UV zračenje u doticaju s tekstilom [7]

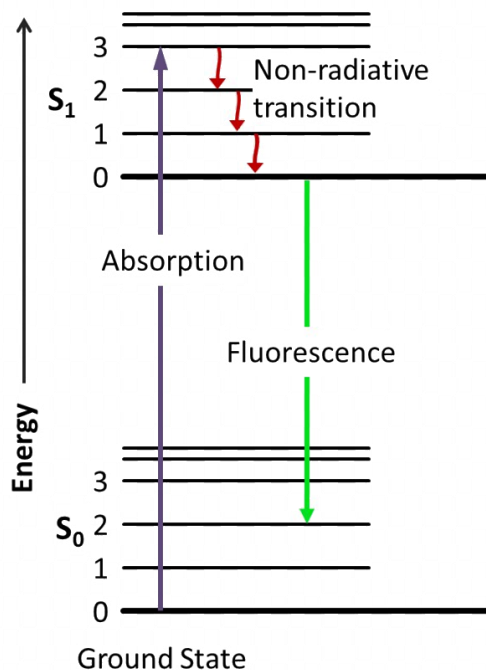
Na propusnost UV zraka utječu različiti čimbenici kao što su vrsta vlakna, tip vlakna od kojeg je materijal izrađen, udio vlage u materijalu, struktura materijala, prisutnost bojila u materijalu, koncentracija uporabljenih bojila, optičkih bjelila, UV absorbera i drugo. Većina prirodnih vlakana više propuštaju UV zračenje nego sintetska vlakna izrađena od sintetskih polimera [2, 3]. Sukladno tome poliesterska vlakna zbog strukture aromatskih prstena snažno apsorbiraju UV-B zračenje. Uporabom pigmenta (TiO_2) taj se učinak dodatno povećava pa apsorbiraju zračenje cijelog UV područja [14]. Veća debljina i gustoća te masa materijala uzrokuju manju propusnost UV zračenja pa je zaštitni učinak veći. Također udio vlage može imati utjecaj na apsorpciju UV zračenja jer voda popuni mjesta između vlakana pa se propusnost smanjuje. Dok veća finoća vlakana uzrokuje veću propusnost materijala [12]. UV apsorberi apsorbiraju UV zračenje i otpuštaju apsorbiranu energiju fotona kao toplinu ili svjetlost rotacijom i vibracijom veze u atomu. Jačina intramolekulnih vodikovih veza može slabiti pod utjecajem polarnih otapala [15]. Različite učinke pokazuju obojeni materijali, ovisno o tonu i primijenjenom bojilu. Pa tako dublji tonovi jače apsorbiraju UV zračenje. Optička bjelila svojom strukturom podsjećaju na bojila ali se ponašaju kao UV apsorberi. Pri nanosu optičkih bjelila povećava se bjelina određenog materijala te fluorescencija. [2, 3, 8-10, 13, 16].

2.2. Optičko bijeljenje

2.2.1. Fluorescencija

Kod procesa fotoluminescencije energija primarnog zračenja šalje elektron iz temeljne energetske razine u višu energetska razine iz koje se vraća emisijom sekundarnog zračenja. S obzirom na trajanje sekundarnog zračenja fotoluminescencija dijeli se na fluorescenciju koja traje dok djeluje primarno zračenje, i fosforescenciju, sekundarno zračenje koje traje i nakon prestanka primarnog zračenja. Proces apsorpcije su u oba slučaja jednaki.

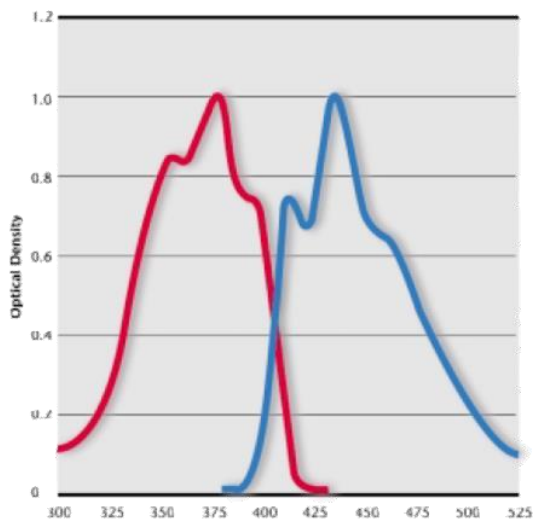
Fluorescencija nastupa kada se molekula koja je pobuđena do više titrajne razine (S_1) vraća izravno preko najniže titrajne razine na bilo koju titrajnu razine osnovnog stanja (S_0) i pri tome višak energije emitira u obliku svjetla fluorescencije ($S_1 \rightarrow S_0 + h \cdot n_{fl.}$). Proces vibracijske relaksacije traje 10^{-10} s. Ako je molekula već prije izlaganja djelovanju UV zračenja sadržavala veću energiju nego što odgovara osnovnom stanju energija emitiranog zračenja veća od energije apsorbitiranog zračenja [17-19]. Zračenje se emitira nakon 10^{-8} - 10^{-6} s. Ovaj proces opisuje dijagram prema Jablonskom (sl. 3).



Slika 3. Dijagram prema Jablonskom

2.2.2. Optička bijelila

Optička bijelila su bezbojni ili slabo obojeni fluorescentni organski spojevi koji apsorbiraju energiju UV zračenja, a zatim je pretvaraju u vidljivo plavo svjetlo koje emitiraju čime se neutralizira žuti ton i postiže briljantnost. Budući da za proces fluorescencije vrijedi i zakon zrcalne simetrije (sl.4), do povećanja ukupne emisije vidljivog svjetla s obrađenog materijala dolazi jer se maksimum apsorpcije nalazi u nevidljivom dijelu spektra, a maksimum emisije u kratkovalnom dijelu vidljivog spektra [17-19]. Različitim optičkim bjelilima moguće je postići maksimum emisije pri različitim valnim duljinama, pa se mogu dobiti bjeline različitih nijansi [21, 22].

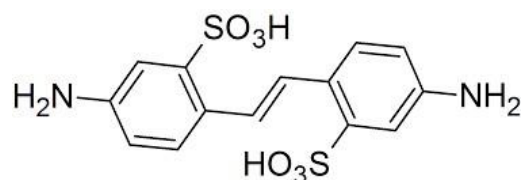


Slika 4. Apsorpcijski ($A_{\max} = 375$ nm) i emisijski ($E_{\max} = 437$ nm) spektar optičkog bijelila [21]

Za dobar učinak optičkog bijeljenja potrebno je najprije materijal dobro kemijski izbjeliti. Primijenjene koncentracije optičkog bijelila strogo su određene jer primjenom većih koncentracija optičkih bjelila može doći do smanjenja intenziteta fluorescencije (poznato kao koncentracijsko gašenje fluorescencije). U kupelji za obradu ne smiju biti prisutna gasila fluorescencije (metalni ioni i sl.), a izvor svjetla mora biti bogat UV zračenjem (350 do 400 nm) [17]. Bolje nijansiranje pri optičkom bijeljenju može se postići i dodatkom plave ili ljubičaste boje u kupelj, što smanjuje ukupnu emisiju sa materijala u odnosu na obradu samo optičkim bjelilom, no povećava osjet bjeline jer se emisija svjetla pomiče više u neutralno bijelo područje [18].

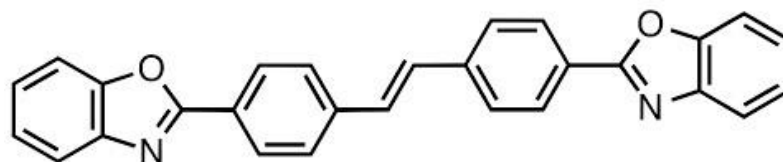
Najveću primjenu optičkih bjelila ima industrija deterdženata, zatim papira, te tekstilna industrija. Razvojem i uspješnom primjenom optičkih bjelila, zahtjevi su postajali sve veći, te se od bijelih tkanina zahtjeva bjelji izgled od idealno bijele površine magnezijeva oksida ili barijeva sulfata. Osim za bijeljenje tkanina, optička bjelila se koriste i u bojadisarstvu za nijansiranje i dobivanje briljantnih tonova koji se teško dobivaju na drugi način [17-20].

Suprotno složenosti procesa ove pretvorbe energije u molekulama optičkih bjelila, njihova primjena je vrlo jednostavna i gotovo jednaka procesima bojadisanja tekstilnih vlakana. Od brojnih spojeva koji se danas koriste za optičko bijeljenje najpoznatiji su i u najvećoj količini se primjenjuju derivati stilbena, kumarina, benzoksazola i pirazolina [23]. Derivati stilbena (sl. 5) imaju dobar afinitet prema celuloznim vlaknima, a pogodni su i za obradu proteinskih te nekih sintetičkih vlakna [17, 24].

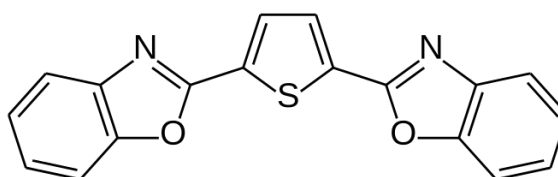


Slika 5. Kemijska struktura 4,4'-diamino-2,2'-stilbenedisulfonske kiseline

Derivati kumarina primjenjuju se za optičko bijeljenje poliesterskih vlakana, te poliakrilonitrilnih vlakana [17]. Derivati pirazolina se primjenjuju za optičko bijeljenje vune, svile, acetata, poliamida. Derivati benzoksazola (sl. 6-7) se najčešće upotrebljavaju pri optičkom bijeljenju poliestera, ali i acetatnih, triacetatnih i poliamidnih vlakana, dok se za celulozna vlakna isključivo dodaju u sredstva za pranje. Daju visoku postojanost na svjetlo i kemikalije [17, 20].



Slika 6. Optičko bjelilo za poliestar 4,4 –bis(benzoksazolil)stilben



Slika 7. Optičko bjelilo u sastavu deterdženta 2,5-bis(benzoksazol-2-il)tiofen

2.2.3. Učinci optičkih bjelila u oplemenjivanju i pranju

Funkcionalna odjeća može osigurati poprilično učinkovitu UV zaštitu. Optička bjelila zbog svojstva apsorpcije UV zračenja daju dodatnu vrijednost obrađenom tekstilnom materijalu [3]. U posljednje vrijeme istražuje se potencijal UV zaštite optičkim bjelilima dodanim u deterdžent za široku potrošnju. Provedeno je istraživanje na pamučnom materijalu i mješavini poliester/pamuk tako da su deterdžentu dodani fluorescentni spojevi, optička bjelila i UV absorberi. Pokazalo se da mala količina optičkog bjelila povećava UV zaštitu, a izvrsna zaštita se postiže već u prvim pranjima dodatkom UV apsorbera. Optička bjelila mogu doprinijeti povećanju UV zaštite materijala nakon pranja, a kombinacijom UV apsorbera i optičkih bjelila već u prvih pet ciklusa pranja povećava se stupanj UV zaštite [25].

Budući da optička bjelila apsorbiraju UV-A zrake ($\lambda = 300-400$ nm) i pretvaraju ovo zračenje u plavo svjetlo fluorescencije ($\lambda_{\max} = 440$ nm), njihova primjena vodi do bolje UV zaštite. UV apsorberi su posebna vrsta optičkih bjelila, koja osim što apsorbiraju UV-A dio spektra, također apsorbiraju UV-B zrake. Apsorbiraju u području 290-400 nm, nakon čega molekule prelaze u pobuđeno stanje i izazivaju pojavu fluorescencije, odnosno emitiraju svjetlo u području 420-470 nm. UV apsorberi kao benzotriazol i fenil-benzotriazol sposobni su vrlo uspješno apsorbirati štetna UV-B zračenja u rasponu valnih duljina 290-360 nm, što ih čini učinkovitijima od uobičajenih optičkih bjelila, jer osim što povećavaju bjelinu materijala, pružaju odličnu zaštitu od štetnih UV-B zračenja. Razvijeni su i UV apsorberi koji imaju svojstvo fluorescencije pa je njihova 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 [6-16, 25-27]

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1 Zadatak rada

Zadatak ovog završnog rada je istražiti optička bjelila različitog tona i njihovu remisiju u vidljivom dijelu spektra. U svrhu ekonomične obrade poliesterske tkanine i njene mješavine s pamukom sniziti temperaturu obrade na 90 °C.

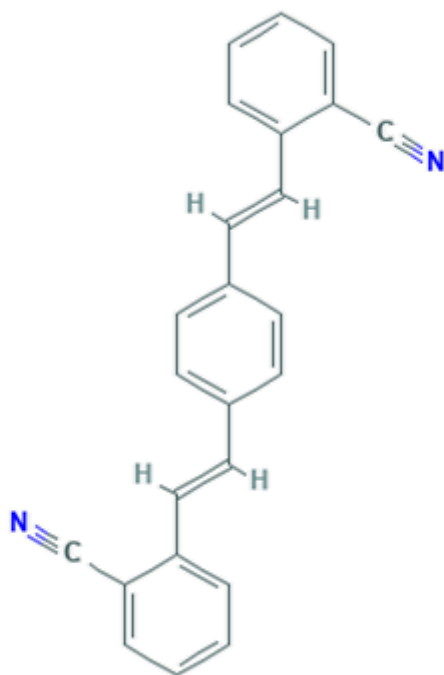
Nakon obrade na uzorcima ispitati slijedeća svojstva:

- Konstruktivne karakteristike tkanine ○ površinska masa ○ gustoća
- Prekidna sila i istezanje
- UV zaštita
- Spektralne karakteristike tkanine ○ remisija, R ○ stupanj bjeline prema CIE, W_{CIE} ○ Odstupanje tona od idealno bijele, TD

3.2. Materijali i obrade

Tkanina. Standardna poliesterska i tkanina iz mješavine poliestar/pamuk 65/35 (WFK, šifre 20000 i 30000) površinske mase 170 g/m².

Optička bjelila. Tri optička bjelila tvrtke DyStar, di(cianostiril) derivati (sl. 8): Sera® White P-N, Sera® White P-B i Sera® White P-R primijenjena su u širokom koncentracijskom rasponu: 0.1, 0.5, 1, 5, 10, i 20% na masu materijala m.m.).



Slika 8. Optičko bjelilo *derivat 1,4-Bis(2-cianostiril)benzena*

Dimenzija uzorka tkanina bila je 6 cm x 48cm, a masa uzoraka 5 grama. Optička bjelila primijenjena su postupkom iscrpljenja na aparatu Polycolor, Mathis uz omjer kupelji 1:30 pri temperaturi od 90 °C u vremenu 30 min. Završetkom optičkog bijeljenja uzorke nismo ispirali, te su sušeni na zraku.

Oznake uzoraka uz tumačenje navedeni su u tab. 1.

Tablica 2. Oznake uzoraka uz tumačenje obrada

Oznaka	Obrada
PES	Neobrađena tkanina iz poliestera
PES/CO	Neobrađena tkanina iz mješavine poliestera i pamuka (65/35)
...-FWA-konc.	...-tip optičkog bjelila-0.1, 0.5, 1, 5, 10, 20 % na m.m.
...-PN-...	Sera® White P-N
...-PB-...	Sera® White P-B
...-PR-...	Sera® White P-R

3.3. Mjerne metode

3.3.1. Mehanička svojstva tkanine

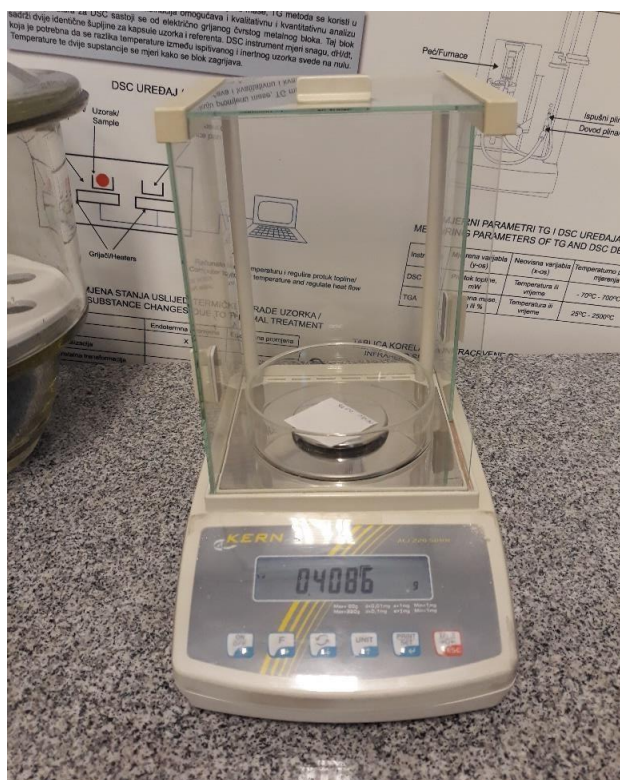
Broj niti osnove i potke, te površinska masa utvrđeni su prije i nakon obrada poliesterskih tkanina prema standardnim metodama.

Broj niti osnove i potke

Broj niti osnove (N_o) i potke (N_p) [$\text{br./cm} \square \text{cm}^{-1}$] proveden je prema ASTM D377507 *Standard Test Method for Warp (End) and Filling (Pick) Count of Woven Fabrics*.

Površinska masa

Površinska masa (m) [g/m^2] pamučnih tkanina određena je vaganjem na digitalnoj vagi KERN, model ALJ 220-5DNM s točnošću mjerenja 0,0001 g (sl.9) prema HRN ISO 3801:2003 *Tekstil - Tkanine - Određivanje mase po jedinici duljine i mase po jedinici površine*.



Slika 9. Digitalna vaga s točnošću mjerenja 0,0001 g

Prekidna sila i prekidno istežanje

Prekidna sila (F_p) i prekidno istežanje (ϵ_p) izmjereni su prema HRN EN ISO 13934-1:2008 *Tekstilije - Vlačna svojstva plošnih tekstilija - 1. dio: Određivanje maksimalne sile i istežanja pri maksimalnoj sili metodom trake* na dinamometru Tensolab, MESDAN-LAB (sl.10).



Slika 10. Dinamometar Tensolab, MESDAN-LAB

Uvjeti određivanja prekidne sile i prekidnog istežanja su:

- dimenzije uzorka 200 mm x 50 mm
- razmak među stezaljkama 100 mm
- brzina istežanja 100 mm/min
- predopterećenje 2 N.

3.3.2. UV zaštita

Faktor zaštite od UV zračenja, UPF (*Ultraviolet Protection Factor*) je izraz za jačinu zaštite od UV zračenja koji ukazuje na sposobnost zaštite tijela tekstilnim materijalima od UV zračenja kako ne bi došlo do opekline kože. Određuje se mjerenjem vrijednosti transmisije u UV-A i UV-B području zračenja UPF a računa prema formuli:

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

$E(\lambda)$ = solarno zračenje

$\varepsilon(\lambda)$ = eritematski učinak spektra $\Delta\lambda =$

interval valnih dužina pri mjerenju

$T(\lambda)$ = propusnost spektra pri valnoj dužini λ

Tumačenje ocjene prema UPF donosi se sukladno odabranoj normi. Postoji više normi, a u Hrvatskoj se najčešće primjenjuju dvije - europske HRN EN 13758-1:2003 Tekstil – Svojstva zaštite od sunčevog UV zračenja – 1. dio: Metoda ispitivanja plošnog tekstila za odjeću (EN 13758-1:2001) i HRN EN 13758-2:2003 Tekstil – Svojstva zaštite od sunčevog UV zračenja – 2 dio, ili australsko-novozelandska AS/NZS 4399:2017 *Sun protective Clothing – Evaluation and Classification*. Glavna razlika je u tumačenju ocjene – u Europi se smatra izvrsnom ocjenom zaštite UPF 40, dok Australija i Novi Zeland za izvrsnost zaštite prihvaćaju vrijednost UPF-a većom od 50+.

Na transmisijskom spektrofotometru Cary 50/Soloscreen tvrtke Varian (sl.11) izmjerene su transmisije UV zračenja za svaki uzorak posebno. Transmisija je mjerena na 8 različitih mjesta na svakom uzorku. Rezultati su iskazani prema AS/NZS 4399:2017.



Slika 11. Transmisijski spektrofotometar Cary 50/Soloscreen (Varian)

Tablica 3. UPF klasifikacija prema australsko-novozelandskoj normi

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

Dodatno za zemlje s visokim UV indeksom vrijedi:

$$UPF \geq 15 \geq UV_{index}^{max} \quad (2)$$

Primjerice, za zemlju s UV ideksom 7-10 kao što je Hrvatska, preporuča se UPF 105-150 za zaštitu osoba koje osam sati provode na otvorenom [3].

3.3.3. Spektralne karakteristike

Na remisijskom spektrofotometru Spectraflash SF 300 tvrtke Datacolor (sl.12) izmjerena je Spektralna remisija, R. Na temelju spektralnih vrijednosti putem matematičkih modela izračunati su bjelina i odstupanje tona.



Slika 12. 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*:

$$W = Y + 800 (x_n - x) - 1700 (y_n - y) \quad (3)$$

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.

Odstupanje tona

boje od neutralno bijele bijelog standarda iskazuje se pomoću vrijednosti TD, tint discrepancy koja se automatski izračunava iz spektralne remisije. Međuovisnost između broja odstupanja tona boje, odstupanje tona boje i kolorističkog značenja dani su u tablici 3.

Tablica 4. Međuovisnost između broja odstupanja tona boje, odstupanje tona boje i kolorističkog značenja [28]

Broj odstupanja tona boje, TV	Odstupanje tona boje, TD	Kolorističko značenje	
<-5,5	RR	Obojeno u smjeru crvene	
-5,5 do -4,51	R5	vrlo jako	crvenije u odnosu na bijeli standard
-4,5 do -3,51	R4	jako	
-3,5 do -2,51	R3	jasno	
-2,5 do -1,51	R2	malo	
-1,5 do -0,51	R1	U tragovima	
0,5 do -0,49		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda	
0,5 do -1,49	G1	u tragovima	zelenije u odnosu na bijeli standard
1,5 do -2,49	G2	malo	
2,5 do -3,49	G3	jasno	
3,5 do -4,49	G4	jako	
4,5 do -5,49	G5	vrlo jako	
>-5,5	GG	Obojeno u smjeru zelene	

4. REZULTATI S RASPRAVOM

Za potrebe izrade ovog rada poliesterske tkanine (PES i PES/CO) su optički bijeljenje s tri različita optička bjelila u širokom koncentracijskom rasponu. U svrhu ekonomične obrade poliesterske tkanine i njene mješavine s pamukom sniziti temperaturu obrade na 90 °C. Nakon obrade na uzorcima su istražene konstrukcijske karakteristike tkanine (površinska masa i gustoća), prekidna sila i istezanje, UV zaštita, te iz spektralna remisija, stupanj bjeline prema CIE, te odstupanje tona od idealno bijelog.

1.1. Analiza mehaničkih svojstava

Broj niti osnove i potke poliesterskih tkanina, PES i PES/CO tkanine, prije i nakon obrada utvrđeni su prema ASTM D3775-07. Rezultati su prikazani u tab. 5-6.

Površinska masa utvrđena je vaganjem optički bijeljene PES i PES/CO tkanine prije i nakon obrade HRN ISO 3801:2003 *Tekstil - Tkanine - Određivanje mase po jedinici duljine i mase po jedinici površine*. Rezultati su prikazani u na sl.13 i 14.

Prekidna sila (F) i prekidno istezanje (ϵ) optički bijeljene PES i PES/CO tkanine izmjereni su prije i nakon obrade metodom trake. Rezultati su prikazani na sl. 15-26.

Analizirajući prvotna svojstva optički bijeljene PES tkanine iz rezultata broja niti osnove i potke prikazanih u tab. 7-8. te površinske mase prikazane na sl.13 i 14, vidljivo je da su vrijednosti ostale gotovo iste. Razlog tomu je što kod materijala iz sintetskih vlakana nema bubrenja, pa ne dolazi do skupljanja.

U mješavini PES/CO uočava se blagi porast površinske mase. U mokrim obradama dolazi do bubrenja celuloznih materijala, a nakon sušenja dolazi do skupljanja tkanine. Obzirom da samo celulozna komponenta u mješavini bubri, a ima 35% pamuka dok je ostatak PES, taj porast na masi iznosi svega 3 %.

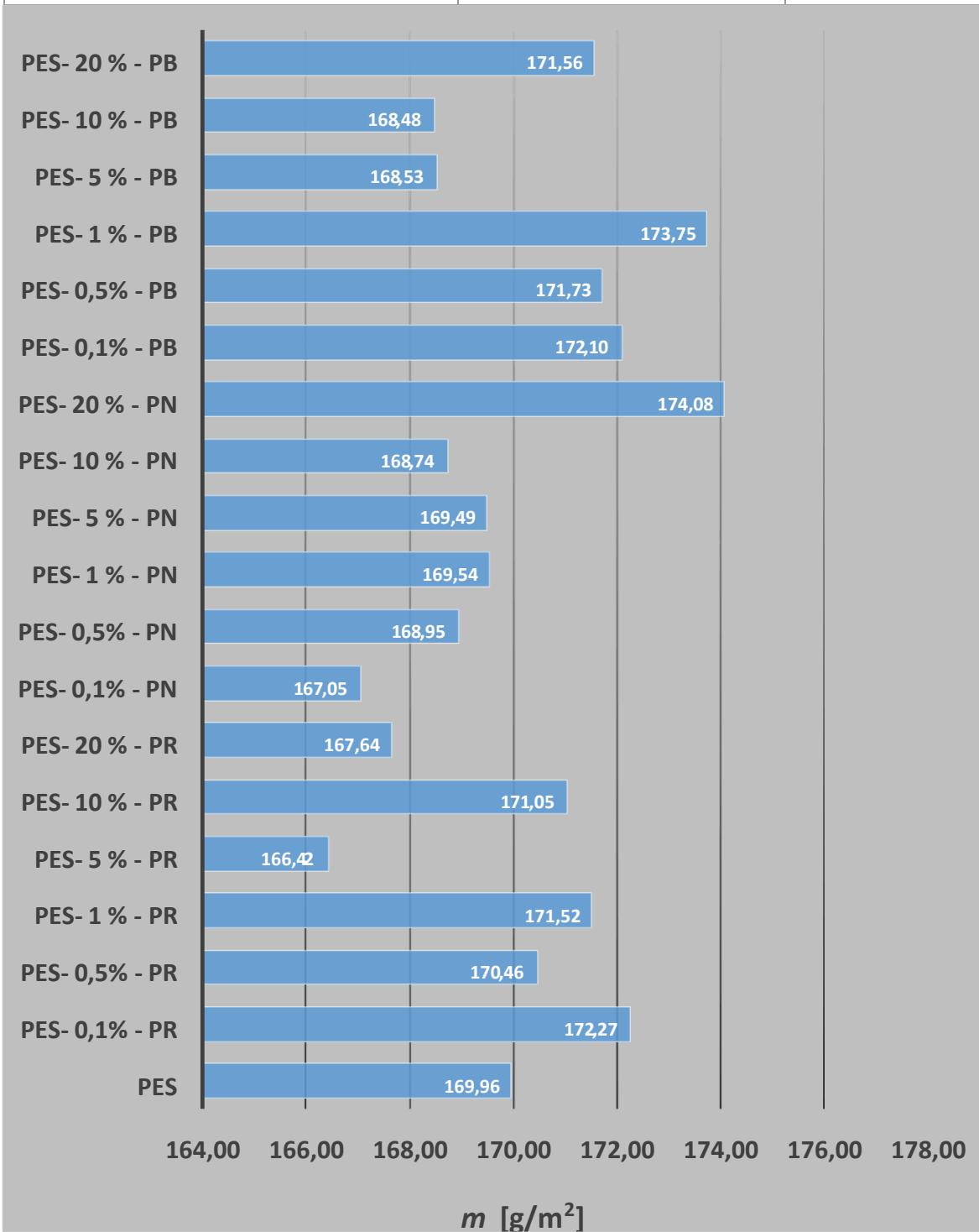
Tablica 5. Gustoća niti osnove (No) i potke (Np) PES tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja

Uzorak	No [cm⁻¹]	Np [cm⁻¹]
PES	28	24
PES- 0,1% - PR	28	22
PES- 0,5% - PR	28	24
PES- 1 % - PR	28	24
PES- 5 % - PR	28	24
PES- 10 % - PR	28	24
PES- 20 % - PR	28	24
PES- 0,1% - PN	28	22
PES- 0,5% - PN	28	22
PES- 1 % - PN	28	24
PES- 5 % - PN	28	22
PES- 10 % - PN	28	24
PES- 20 % - PN	28	24
PES- 0,1% - PB	28	22
PES- 0,5% - PB	28	22
PES- 1 % - PB	28	24
PES- 5 % - PB	28	24
PES- 10 % - PB	28	24
PES- 20 % - PB	28	24

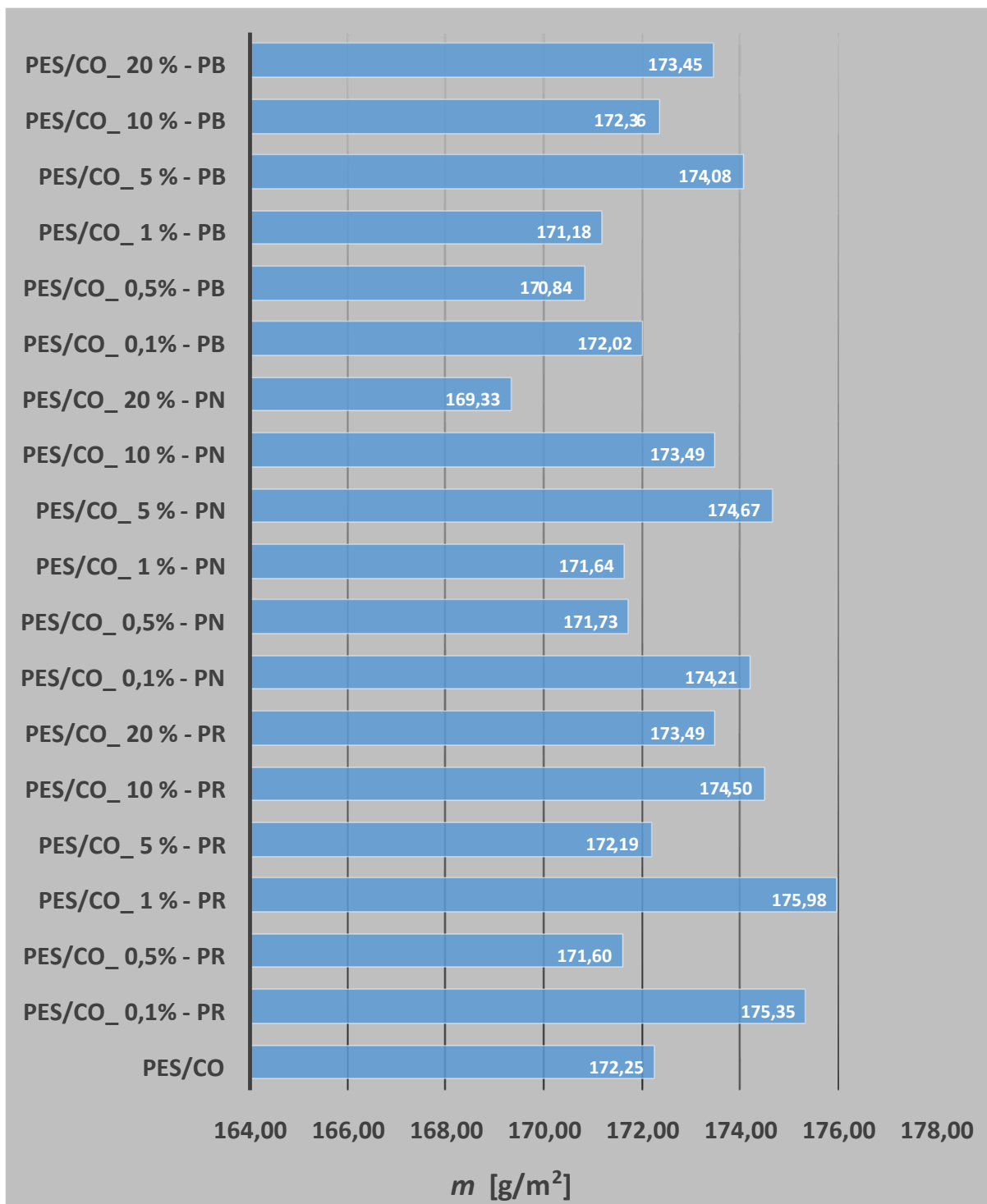
Tablica 6. Gustoća niti osnovne (No) i potke (Np) PES/CO tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja

Uzorak	No [cm⁻¹]	Np [cm⁻¹]
PES/CO	28	22
PES/CO_ 0,1% - PR	28	22
PES/CO_ 0,5% - PR	28	24
PES/CO_ 1 % - PR	28	24
PES/CO_ 5 % - PR	28	24
PES/CO_ 10 % - PR	28	24
PES/CO_ 20 % - PR	28	24
PES/CO_ 0,1% - PN	28	24
PES/CO_ 0,5% - PN	28	24
PES/CO_ 1 % - PN	28	22
PES/CO_ 5 % - PN	28	22
PES/CO_ 10 % - PN	28	24
PES/CO_ 20 % - PN	28	24
PES/CO_ 0,1% - PB	26	22
PES/CO_ 0,5% - PB	28	22
PES/CO_ 1 % - PB	28	22
PES/CO_ 5 % - PB	28	22

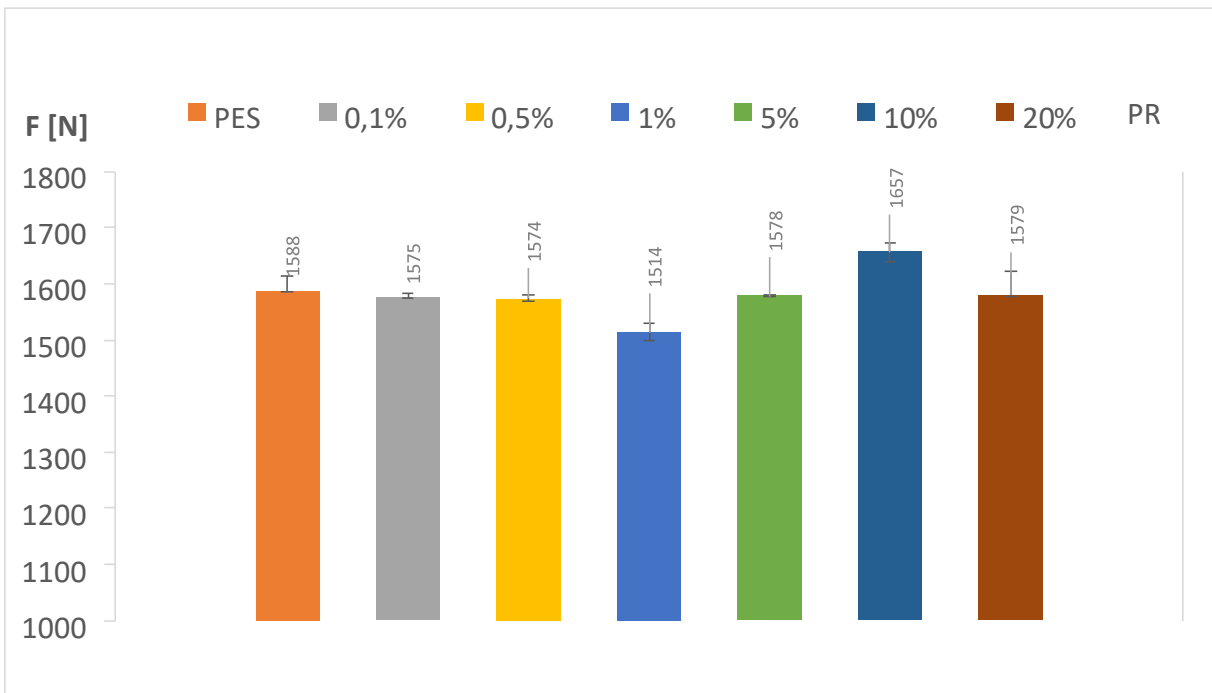
PES/CO_ 10 % - PB	28	22
PES/CO_ 20 % - PB	28	24



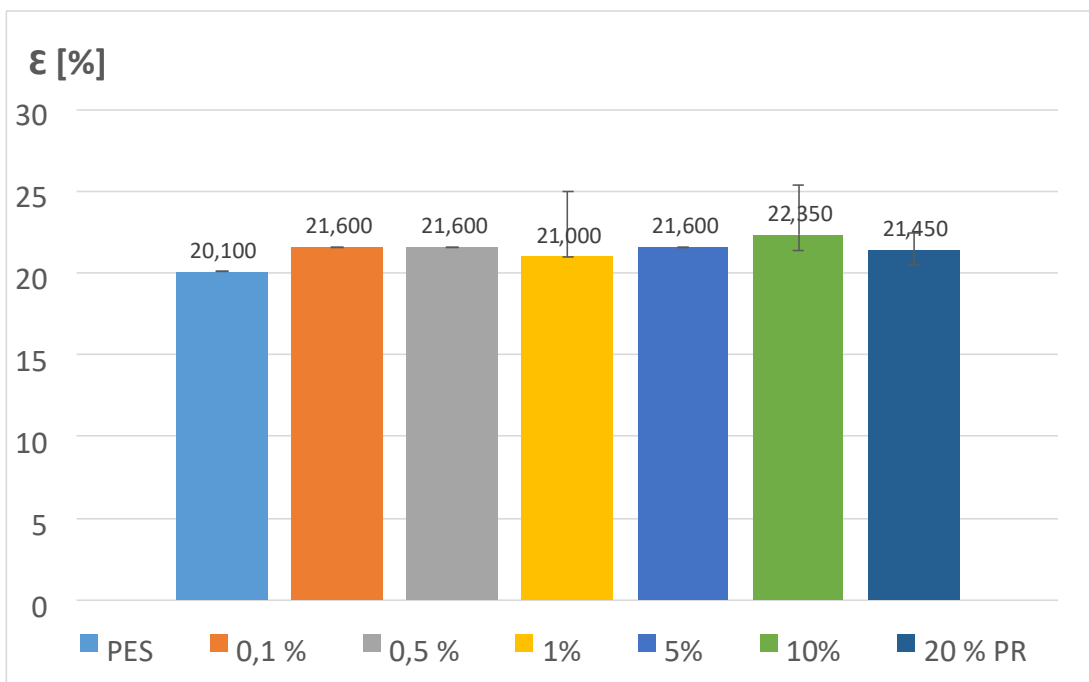
Slika 13. Površinska masa m [g/m²] PES tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja



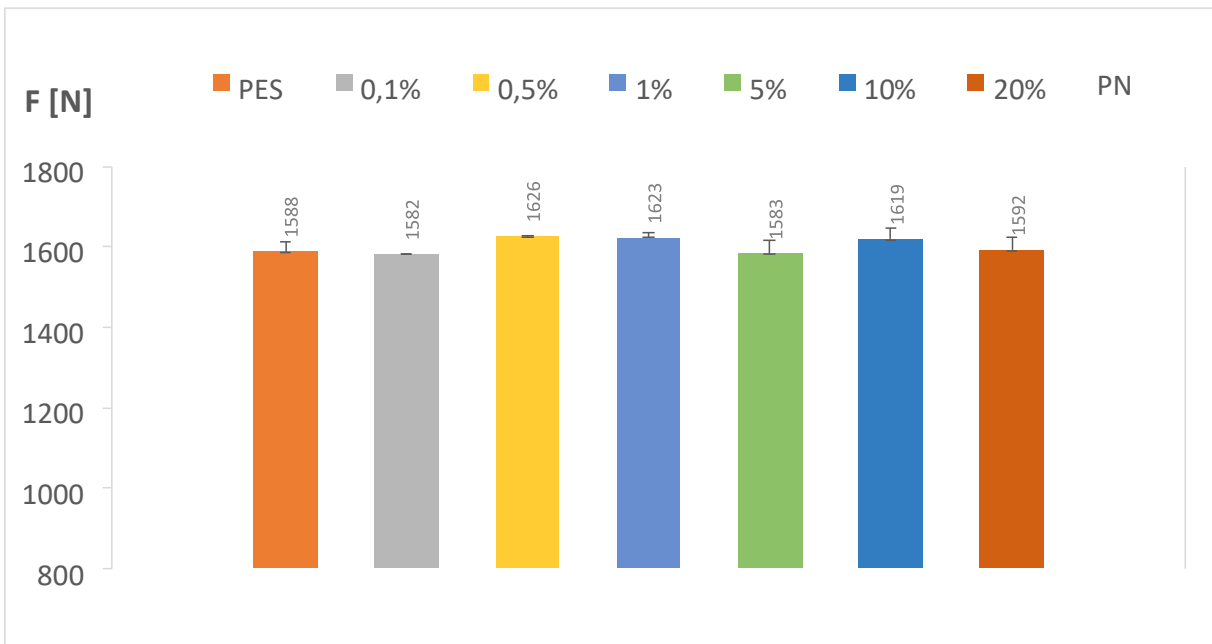
Slika 14. Površinska masa m [g/m²] PES/CO tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja



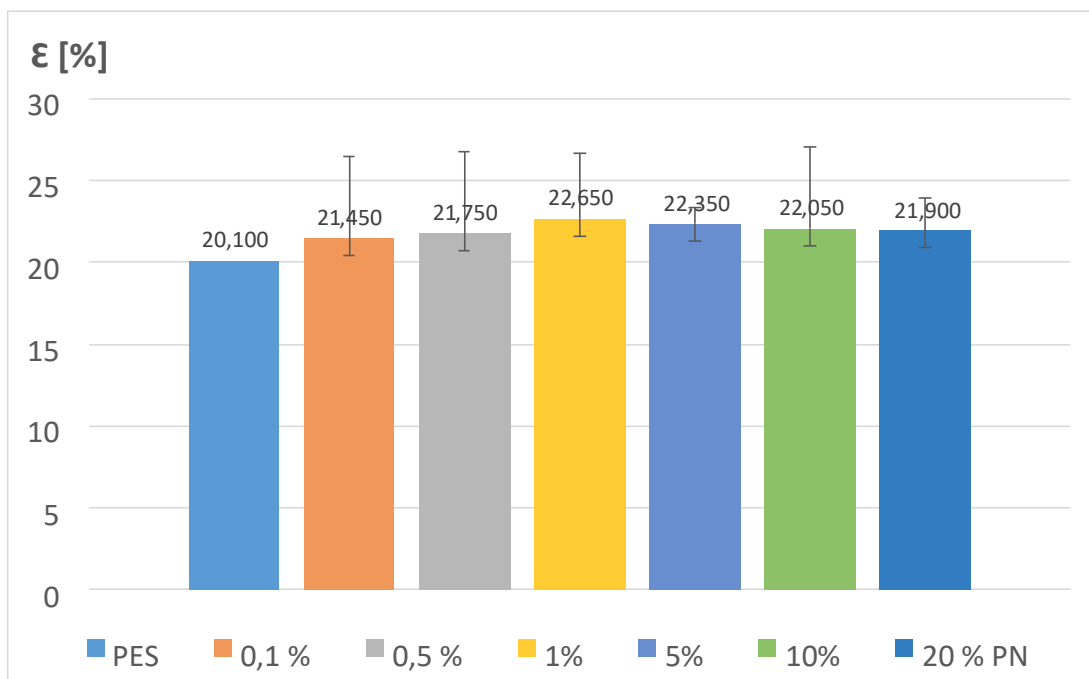
Slika 15. Prekidna sila, F [N] PES tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja sa SeraWhite P-R



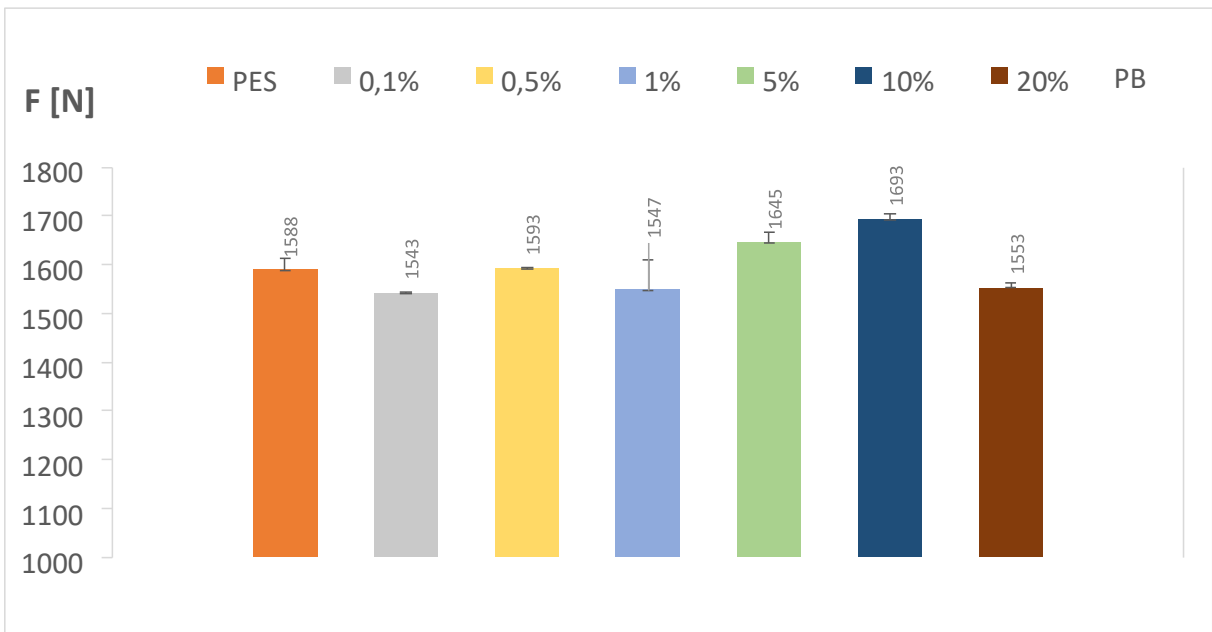
Slika 16. Prekidno istežanje, ε [%] PES tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja sa SeraWhite P-R



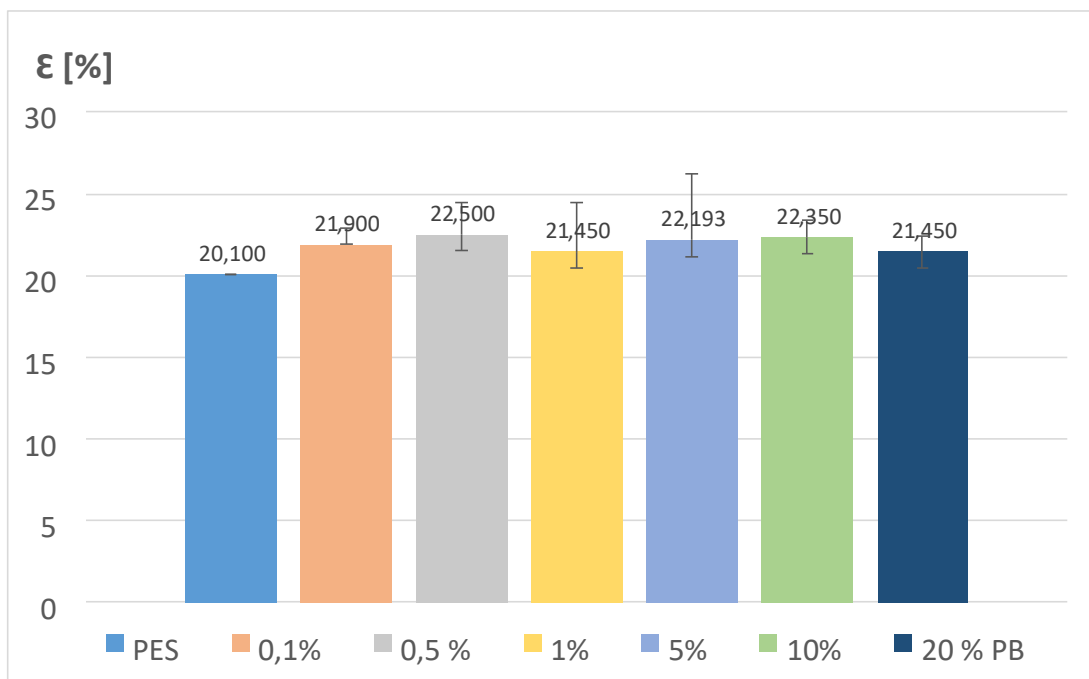
Slika 17. Prekidna sila, F [N] PES tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja sa SeraWhite P-N



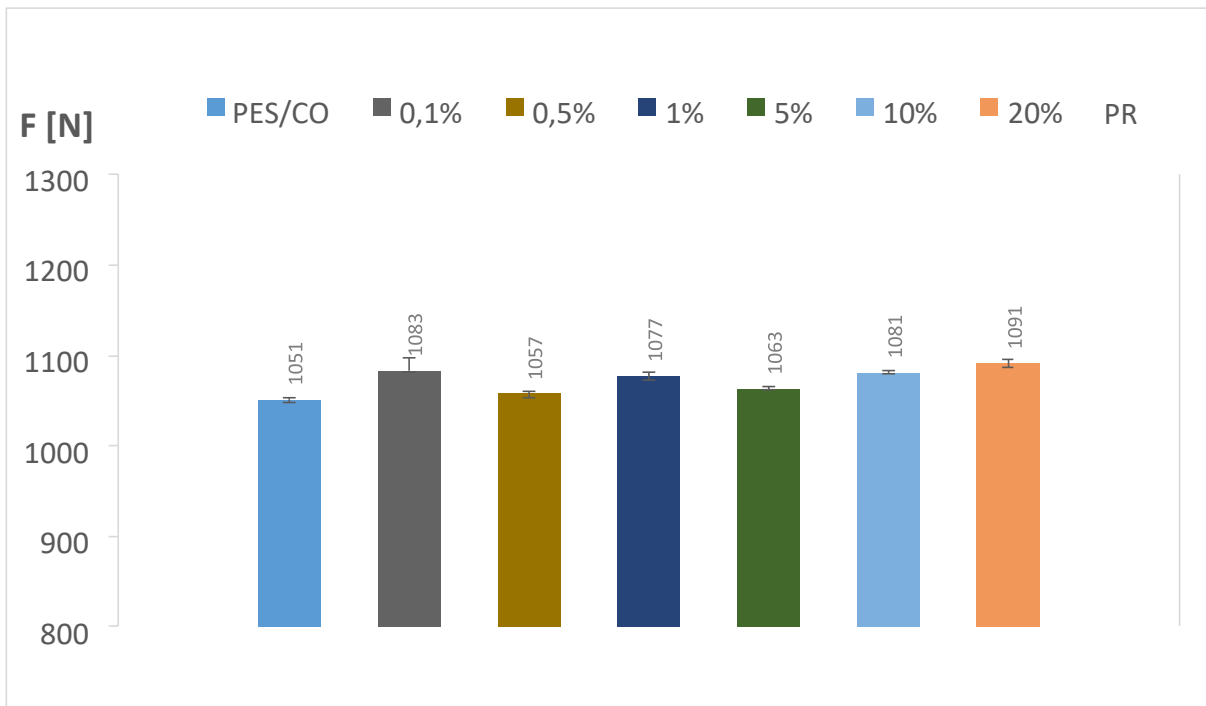
Slika 18. Prekidno istezanje, ε [%] PES tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja sa SeraWhite P-N



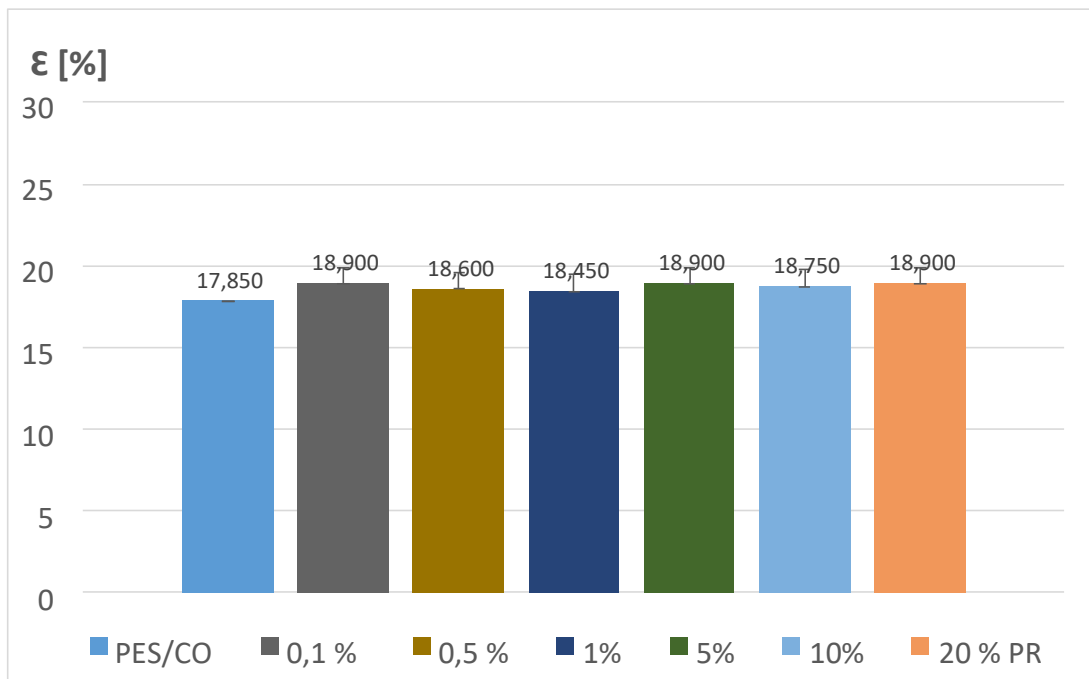
Slika 19. Prekidna sila, F [N] PES tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja sa SeraWhite P-B



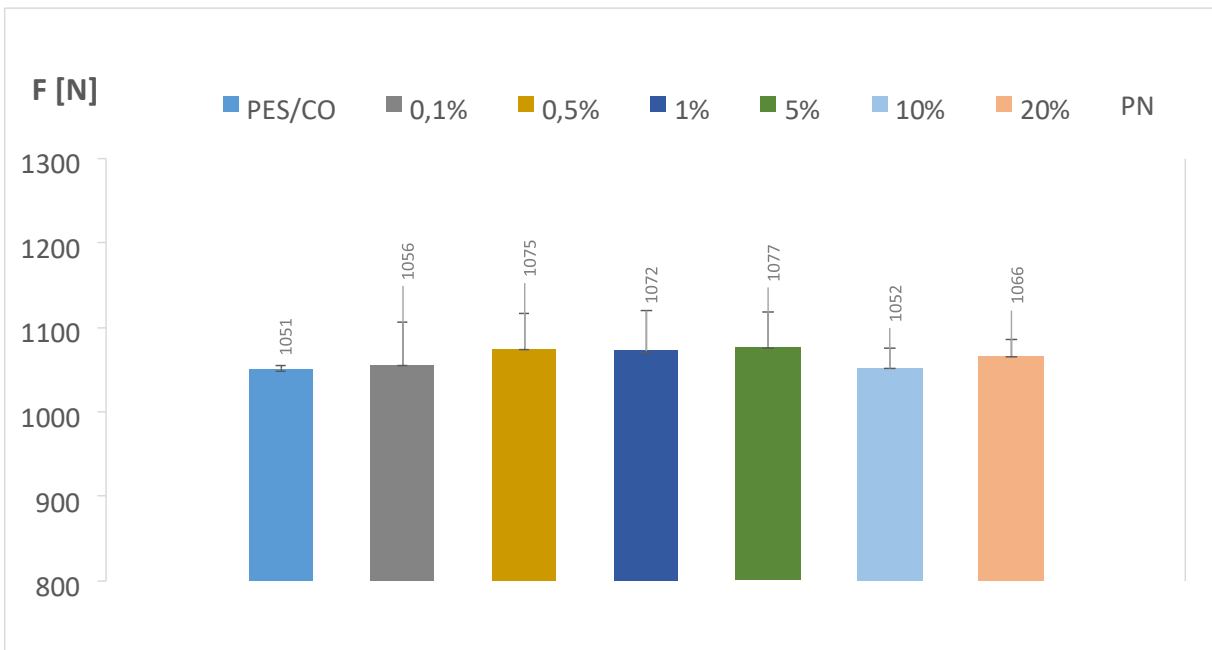
Slika 20. Prekidno istežanje, ϵ [%] PES tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja sa SeraWhite P-B



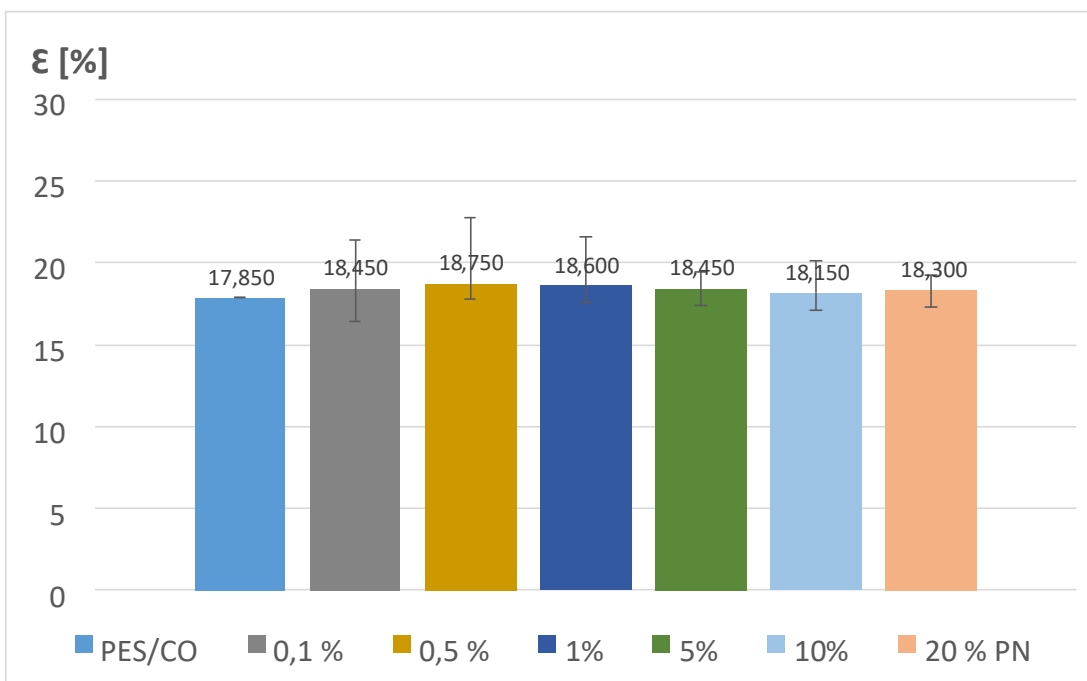
Slika 21. Prekidna sila, F [N] PES/CO tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja sa SeraWhite P-R



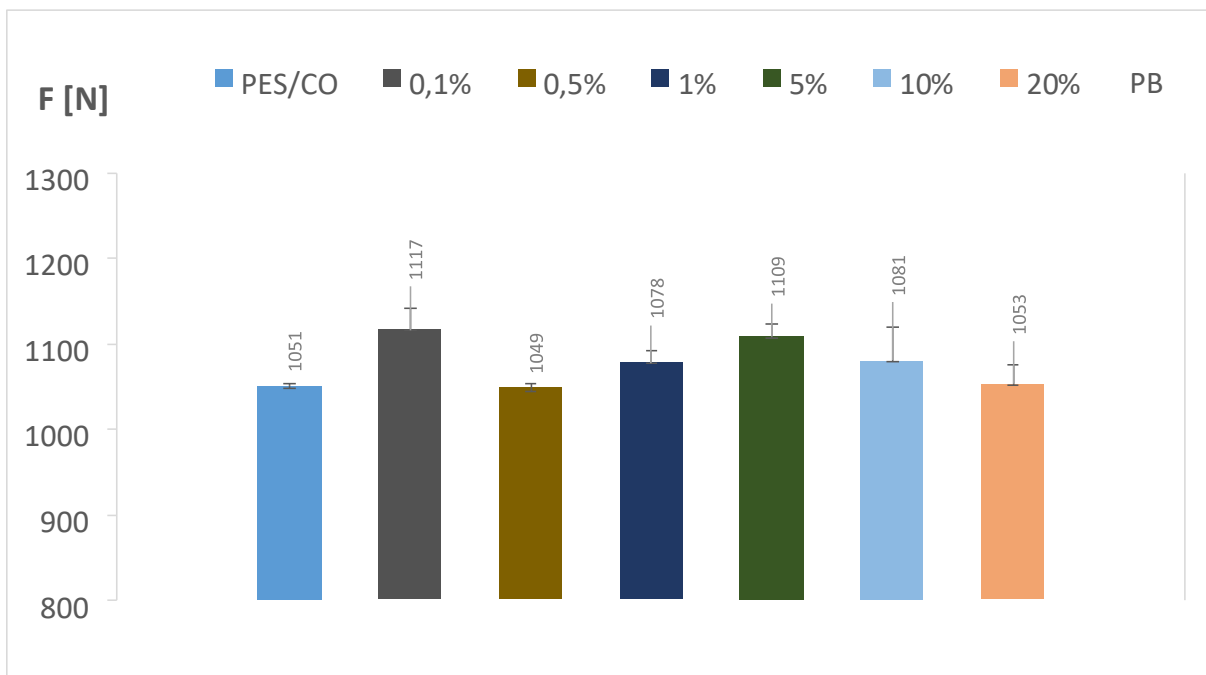
Slika 22. Prekidno istežanje, ε [%] PES/CO tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja sa SeraWhite P-R



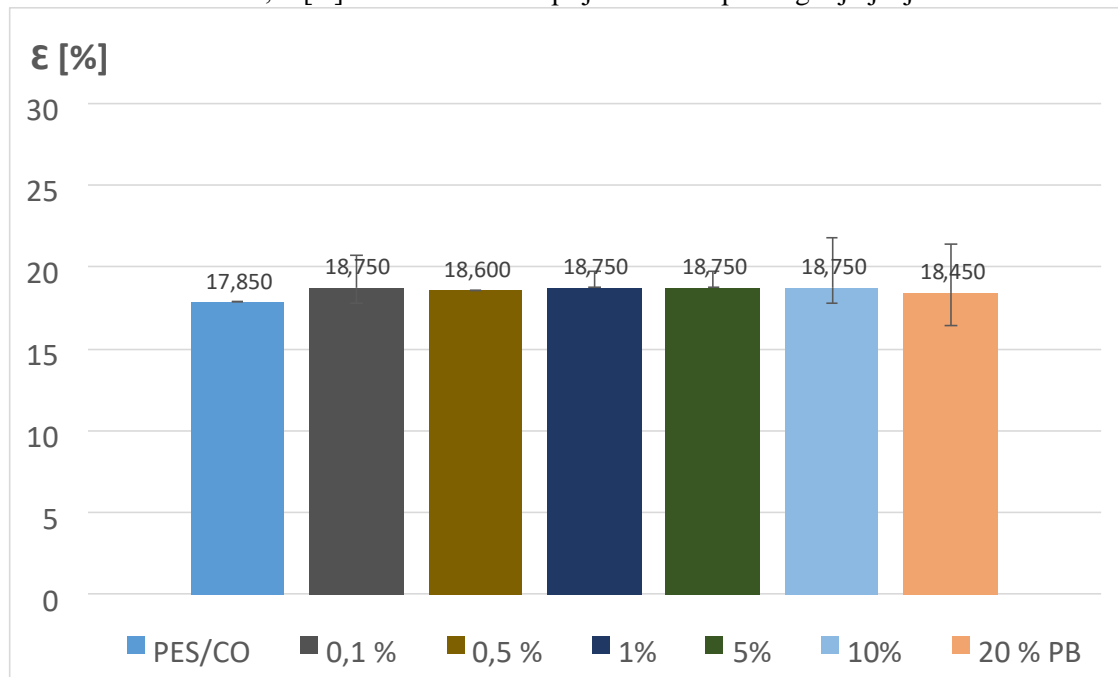
Slika 23. Prekidna sila, F [N] PES/CO tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja sa SeraWhite P-N



Slika 24. Prekidno istezanje, ε [%] PES/CO tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja sa SeraWhite P-N



Slika 25. Prekidna sila, F [N] PES/CO tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja sa SeraWhite P-B



Slika 26. Prekidno istezanje, ε [%] PES/CO tkanine prije i nakon optičkog bijeljenja sa SeraWhite P-B

Rezultati prekidne sile (F) i prekidnog istezanja (ε) optički bijeljene tkanine, prikazani na sl. 15-26, ukazuju na malo poboljšanje mehaničkih svojstava. Zapažena su manja povećanja u vidu prekidne sile. Razlog povećanju prekidne sile je skupljanje tkanine.

Usporedbom rezultata poliesterske tkanine i mješavine poliester/pamuk vidljivo je da poliesterske tkanine imaju veće prekidno istežanje te prekidne sile. Poznato je da poliesterska vlakna imaju izvrsna mehanička svojstva. Budući da celulozna vlakna nisu tako čvrsta, mješavina ima nešto slabija mehanička svojstva.

1.2. UV zaštita

Utjecaj optičkih bjelila na UV zaštitu poliesterskom tkaninom (PES) i tkaninom iz mješavine poliester/pamuk (PES/CO) praćen je putem UV-A i UV-B transmisije te srednje vrijednosti zaštitnog faktora od UV zračenja (UPF). Rezultati su prikazani u tab. 7-8.

Tablica 7. UV-A i UV-B transmisija, standardna devijacija, standardna pogreška, te UV zaštita PES tkanine bijeljene optičkim bjelilima u širokom koncentracijskom rasponu

Uzorak	UPF	τ UVA	τ UVB	Stand. dev.	Stand. pogr.	UV zaštita	
PES	200,167	0,100	4,436	17,975	52,486	50 +	Odlična zaštita
PES_ 0,1% - PR	650,318	0,100	0,674	37,976	110,889	50 +	Odlična zaštita
PES_ 0,5% - PR	901,288	0,100	0,199	28,204	82,356	50 +	Odlična zaštita
PES_ 1 % - PR	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES_ 5 % - PR	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES_ 10 % - PR	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES_ 20 % - PR	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES_ 0,1% - PN	773,415	0,100	0,408	68,275	199,363	50 +	Odlična zaštita
PES_ 0,5% - PN	975,267	0,100	0,122	20,421	59,630	50 +	Odlična zaštita
PES_ 1 % - PN	981,794	0,100	0,116	21,135	61,713	50 +	Odlična zaštita
PES_ 5 % - PN	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES_ 10 % - PN	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES_ 20 % - PN	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES_ 0,1% - PB	452,863	0,100	1,276	60,746	177,380	50 +	Odlična zaštita
PES_ 0,5% - PB	923,338	0,100	0,185	131,165	383,001	50 +	Odlična zaštita
PES_ 1 % - PB	925,299	0,100	0,177	122,353	357,272	50 +	Odlična zaštita
PES_ 5 % - PB	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES_ 10 % - PB	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES_ 20 % - PB	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita

Tablica 8. UV-A i UV-B transmisija, standardna devijacija, standardna pogreška, te UV zaštita PES/CO tkanine bijeljene optičkim bjelilima u širokom koncentracijskom rasponu

Uzorak	UPF	τ UVA	τ UVB	Stand. dev.	Stand. pogr.	UV zaštita	
PES/CO	113,499	0,100	6,434	8,125	23,724	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 0,1% - PR	758,631	0,100	0,411	48,414	141,368	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 0,5% - PR	999,108	0,100	0,101	1,785	5,211	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 1 % - PR	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 5 % - PR	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 10 % - PR	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 20 % - PR	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 0,1% - PN	382,629	0,100	1,332	23,422	68,393	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 0,5% - PN	868,491	0,100	0,208	24,270	70,869	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 1 % - PN	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 5 % - PN	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 10 % - PN	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 20 % - PN	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 0,1% - PB	758,621	0,100	0,511	49,414	151,369	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 0,5% - PB	776,633	0,100	0,352	119,864	350,003	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 1 % - PB	998,087	0,100	0,010	3,826	11,173	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 5 % - PB	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 10 % - PB	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita
PES/CO_ 20 % - PB	1000,000	0,100	0,100	0,000	0,000	50 +	Odlična zaštita

Iz rezultata prikazanih u tab. 7-8 može se vidjeti da PES tkanina radi benzenskih prstena u molekuli polimera dovodi do izvrsne UV zaštite (UPF =200). U mješavini s pamukom UV zaštita se smanjuje (UPF=113,5) radi celulozne komponente koja ne pruža zaštitu. Razlog tomu su visoki učinci čišćenja primjesa pamuka u iskuhavanju i bijeljenju.

Već primjenom male koncentracije optičkog bjelila dolazi do povećanja stupnja bjeline i UPF-a, bez obzira na primijenjeno optičko bjelilo. Budući da molekule optičkih bjelila pokazuju pojavu fluorescencije temeljenu na elektronski pobuđenom stanju UV zračenjem (340-370 nm), daju visoku bjelinu ponovnim oslobađanjem energije u plavom području (obično 420-470 nm). Povećanjem koncentracije dolazi do još većeg UPF-a zbog apsorpcije UV-A

zračenja. Pri koncentraciji od 1% na m.m. postiže se maksimalni UPF od 1000 koji se ne smanjuje bez obzira na pojavu gašenja fluorescencije, odnosno smanjenjem bjeline i remisije pri višim koncentracijama optičkog bjelila.

1.3. Analiza spektralnih karakteristika

Na remisijskom spektrofotometru izmjerena je spektralna remisija, R poliesterskih tkanina prije i nakon obrada optičkim bjelilima u širokom koncentracijskom rasponu. Remisijske krivulje prikazane su na slikama 27-32 i tablicama 9-14.

Na temelju spektralnih vrijednosti putem matematičkih modela izračunati su bjelina prema CIE i odstupanje tona od idealno bijelog. Rezultati stupnja bjeline prema CIE, maksimalne remisije i valne duljine pri kojoj je postignuta maksimalna remisija prikazani su u tablicama 9 i 10.

Iz rezultata se vidi da neobrađene tkanine PES i PES/CO imaju remisiju pri 700 nm i stupanj bjeline 80, bez primjetnog odstupanja nijanse od bijelog standarda. Vidljivo je da se s povećanjem koncentracije optičkog bjelila povećava i spektralna remisija, no prekoračenjem koncentracije od tzv. optimalne, spektralna remisija se smanjuje.

Povećanje koncentracije optičkih bjelila ne znači i povećanje stupnja bjeline, naprotiv, postoji granična koncentracija do koje se postiže povećanje bjeline, ali prekoračenjem granične koncentracije bjelina se smanjuje, te materijali poprimaju drugu nijansu. Granična koncentracija koja se preporuča pri optičkom bijeljenju je karakteristična za svako optičko bjelilo, a ovisi i o vrsti materijala na kojem se primjenjuje [17]. Tri glavna uzroka zbog kojih dolazi do smanjena stupnja bjeline pri uporabi prevelikih koncentracija su djelomična apsorpcija vidljivog svjetla, pomak spektra fluorescencije prema većim valnim duljinama, te koncentracijsko gašenje fluorescencije.

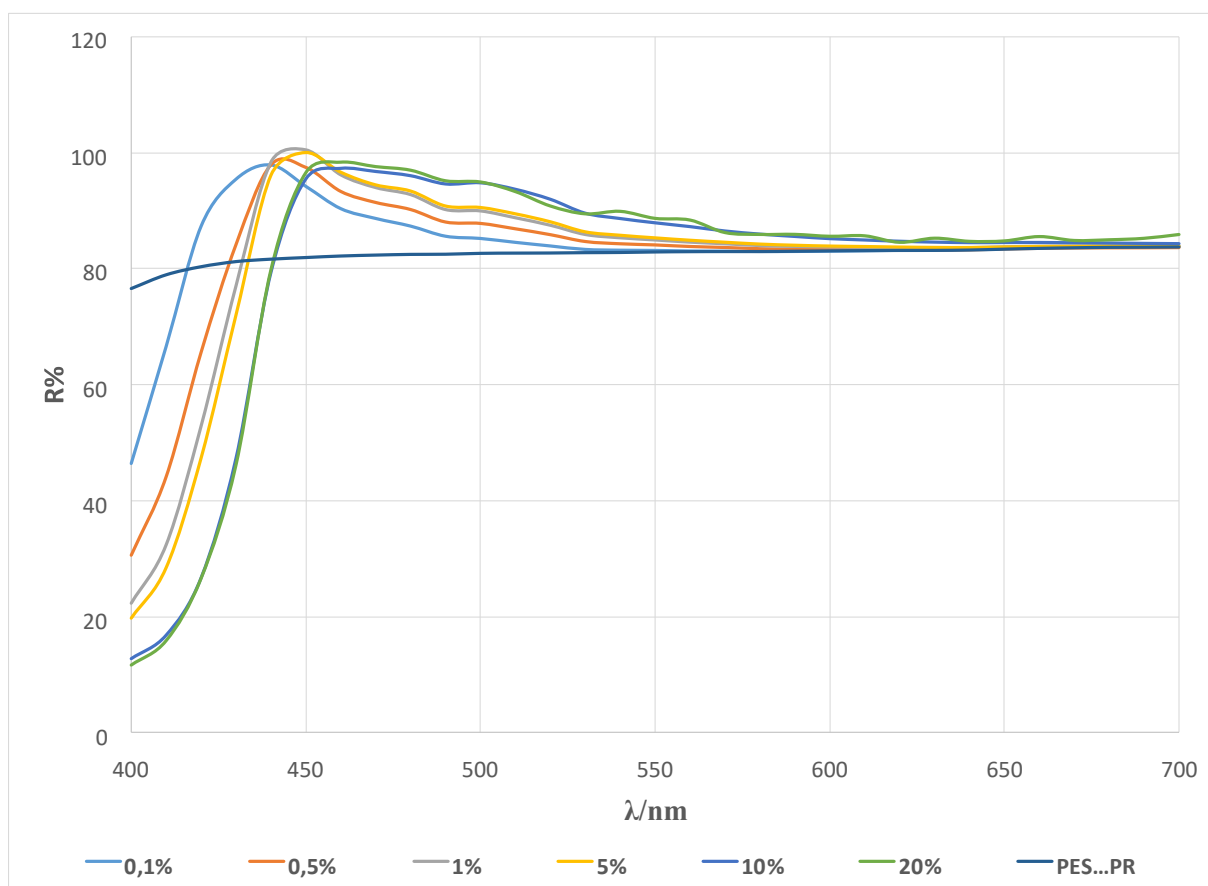
Obradom s najnižom koncentracijom optičkog bjelila Sera® White P-R 0,1% na m.m. postiže se najveći stupanj bjeline (W_{CIE} 107,2 za PES i 103,2 za PES/CO) zbog fluorescentne remisije pri 440 nm. Već obradom pri koncentraciji 0,5% na m.m. dolazi do vidljivog odstupanja nijanse od bijelog standarda; tkanine postaju jasno zelenije. S povećanjem koncentracije promjena tona je još jača, tako da 1% na m.m. dovodi do vrlo jako zelenijeg tona, a 20% potpune obojenosti u zeleno. Tu pojavu prati i pomak maksimuma remisije s 440 nm na

450 nm za 1%, te 460 za 10% na m.m. i više. Obje tkanine bilježe isto ponašanje, jedino je intenzitet nešto manji kod mješavine. Iz ovoga se može zaključiti da je najniža koncentracija optičkog bjelila Sera® White P-R od 0,1% na m.m. optimalna koncentracija.

Stupanj bjeline prema CIE (W_{CIE})

Tablica 9.), maksimalna remisija (R_{max} [%]), valna duljina pri kojoj je postignuta (λ_{max} [nm]) i odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda prema [28] PES tkanine bijeljene optičkim bjelilom Sera White P-R u širokom koncentracijskom rasponu

Uzorak	W_{CIE}	R_{max} [%]	λ_{max} [nm]	Odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda [28]	
PES	79,1	85,04	700		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES_ 0,1% - PR	107,2	97,94	440		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES_ 0,5% - PR	98,9	97,85	440	G3	jasno zelenije od bijelog standarda
PES_ 1 % - PR	95,3	100,49	450	G4	jako zelenije od bijelog standarda
PES_ 5 % - PR	90,1	99,97	450	G5	Vrlo jako zelenije od bijelog standarda
PES_ 10 % - PR	59,8	97,36	460	GG	Obojeno u smjeru zelene
PES_ 20 % - PR	63,2	98,44	460	GG	Obojeno u smjeru zelene

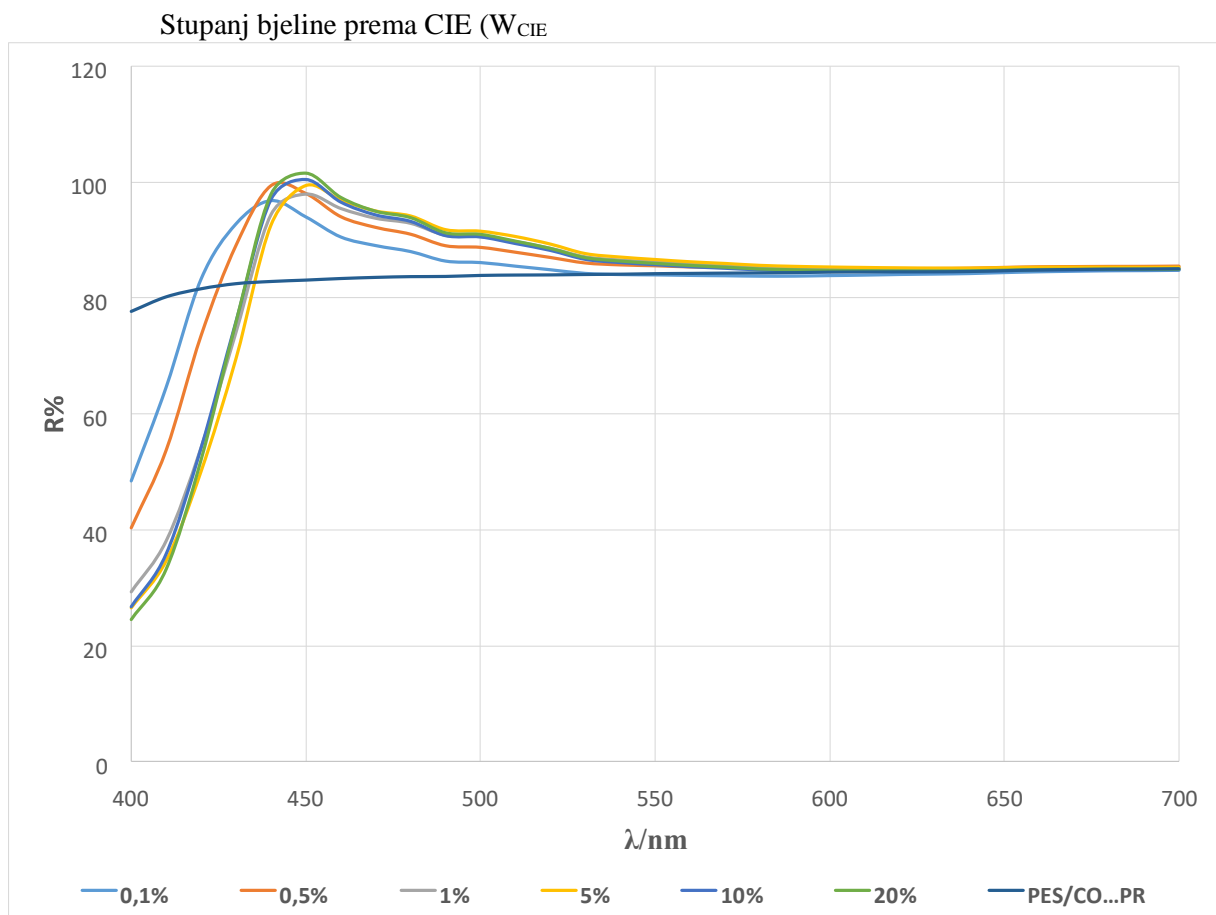


Stupanj bjeline prema CIE (W_{CIE})

Slika 27. Remisijske krivulje PES tkanine bijeljene optičkim bjelilom Sera White P-R u širokom koncentracijskom rasponu

Tablica 10.), maksimalna remisija (R_{max} [%]), valna duljina pri kojoj je postignuta (λ_{max} [nm]) i odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda prema [28] PES/CO tkanine bijeljene optičkim bjelilom Sera White P-R u širokom koncentracijskom rasponu

Uzorak	W_{CIE}	R_{max} [%]	λ_{max} [nm]	Odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda [28]	
PES/CO	80,0	83,78	700		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES/CO_ 0,1% - PR	103,2	96,88	440		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES/CO_ 0,5% - PR	102,5	99,46	440	G2	malo zelenije od bijelog standarda
PES/CO_ 1 % - PR	88,7	97,99	450	G4	jako zelenije od bijelog standarda
PES/CO_ 5 % - PR	86,2	99,36	450	G5	Vrlo jako zelenije od bijelog standarda
PES/CO_ 10 % - PR	93,6	100,37	450	G5	Vrlo jako zelenije od bijelog standarda
PES/CO_ 20 % - PR	94,4	101,62	450	G5	Vrlo jako zelenije od bijelog standarda



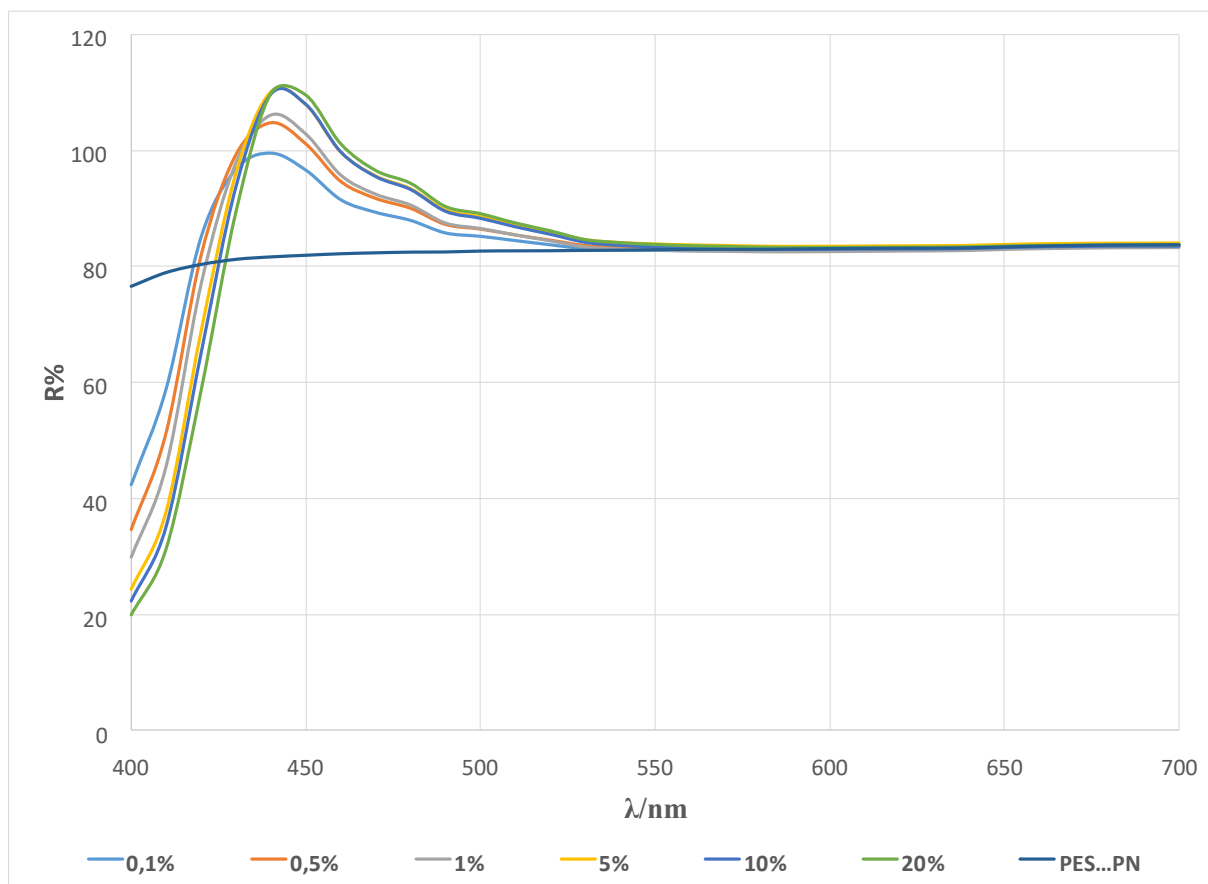
Slika 28. Remisijske krivulje PES/CO tkanine bijeljene optičkim bjelilom Sera White P-R u širokom koncentracijskom rasponu

Tablica 11.), maksimalna remisija (R_{max} [%]), valna duljina pri kojoj je postignuta (λ_{max} [nm]) i odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda prema [28] PES tkanine bijeljene optičkim bjelilom Sera White P-N u širokom koncentracijskom rasponu

Uzorak	W_{CIE}	R_{max} [%]	λ_{max} [nm]	Odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda [28]	
PES	79,1	85,04	700		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES_ 0,1% - PN	110,2	99,59	440		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES_ 0,5% - PN	113,5	101,15	450		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES_ 1 % - PN	117,6	106,11	440		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES_ 5 % - PN	120,4	110,22	440	G1	U tragovima zelenije od bijelog standarda

Stupanj bjeline prema CIE (W_{CIE})

PES_ 10 % - PN	119,3	109,70	440	G2	Malo zelenije od bijelog standarda
PES_ 20 % - PN	117,4	109,90	440	G2	Malo zelenije od bijelog standarda



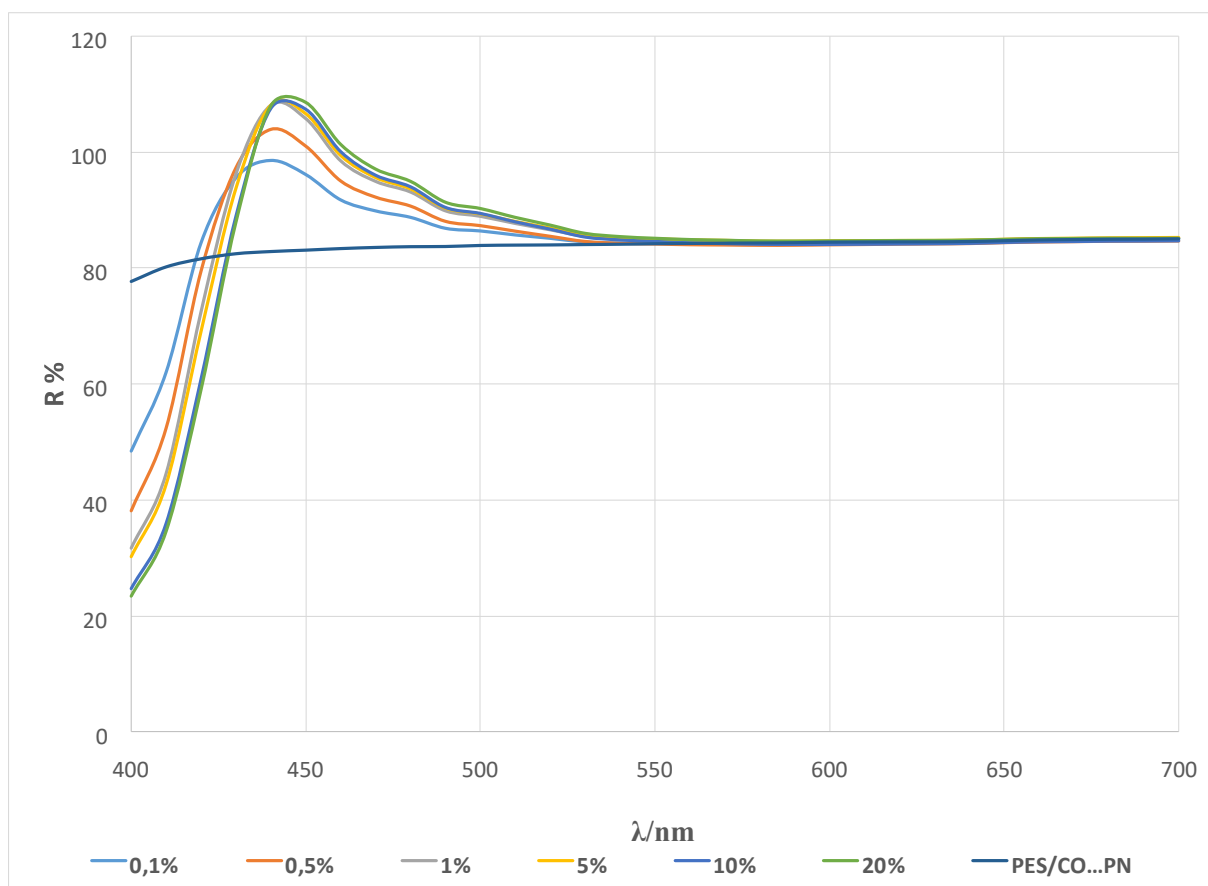
Slika 29. Remisijske krivulje PES tkanine bijeljene optičkim bjelilom Sera White P-N u širokom koncentracijskom rasponu

Tablica 12.), maksimalna remisija (R_{max} [%]), valna duljina pri kojoj je postignuta (λ_{max} [nm]) i odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda prema [28] PES/CO tkanine bijeljene optičkim bjelilom Sera White P-N u širokom koncentracijskom rasponu

Uzorak	W_{CIE}	R_{max} [%]	λ_{max} [nm]	Odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda [28]
PES/CO	80,0	83,78	700	Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES/CO_ 0,1% - PN	106,8	98,57	440	Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda

Stupanj bjeline prema CIE (W_{CIE})

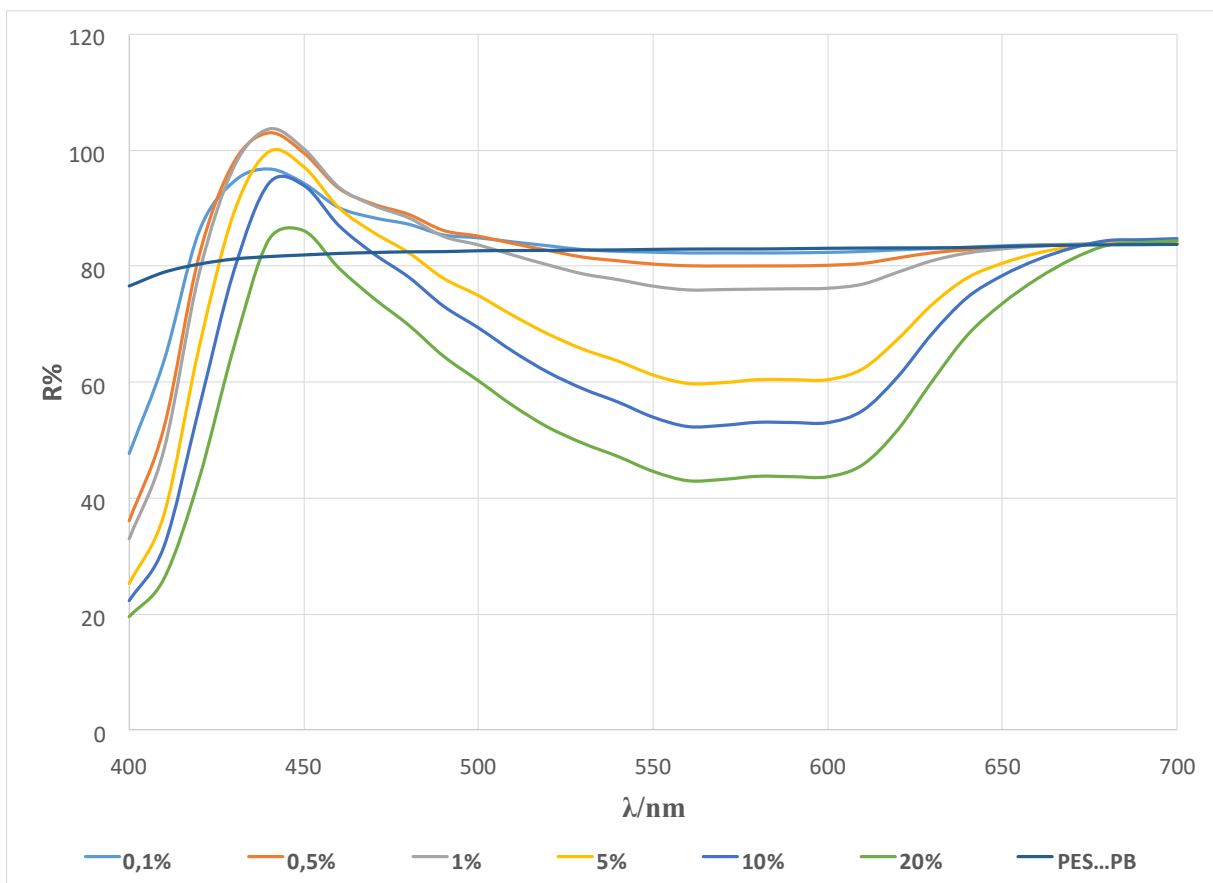
PES/CO_ 0,5% - PN	113,5	103,95	440		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES/CO_ 1 % - PN	116,9	108,07	440	G1	U tragovima zelenije od bijelog standarda
PES/CO_ 5 % - PN	116,0	108,05	440	G1	U tragovima zelenije od bijelog standarda
PES/CO_ 10 % - PN	113,6	107,61	440	G2	Malo zelenije od bijelog standarda
PES/CO_ 20 % - PN	113,4	108,56	450	G2	Malo zelenije od bijelog standarda



Slika 30. Remisijske krivulje PES/CO tkanine bijeljene optičkim bjelilom Sera White P-N u širokom koncentracijskom rasponu

Tablica 13. Stupanj bjeline prema CIE (W_{CIE}), maksimalna remisija (R_{max} [%]), valna duljina pri kojoj je postignuta (λ_{max} [nm]) i odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda prema [28] PES tkanine bijeljene optičkim bjelilom Sera White P-B u širokom koncentracijskom rasponu

Uzorak	W_{CIE}	R_{max} [%]	λ_{max} [nm]	Odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda [28]	
PES	79,1	85,04	700		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES_ 0,1% - PB	106,9	96,85	440		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES_ 0,5% - PB	118,4	103,04	440		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES_ 1 % - PB	125,1	103,66	440		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES_ 5 % - PB	146,2	99,79	440	R1	U tragovima crvenije od bijelog standarda
PES_ 10 % - PB	152,1	94,29	440	R1	U tragovima crvenije od bijelog standarda
PES_ 20 % - PB	157,9	86,18	450	R2	Malo crvenije od bijelog standarda

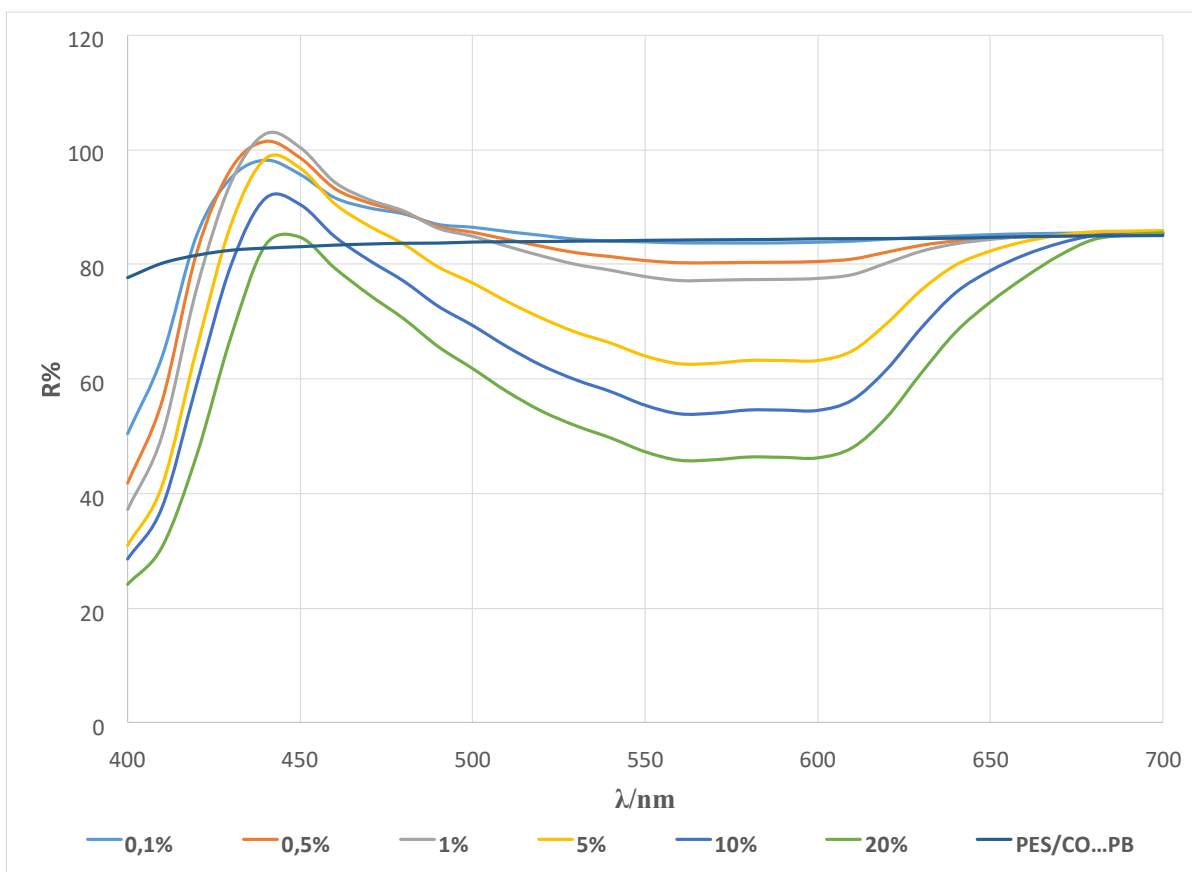


Slika 31. Remisijske krivulje PES tkanine bijeljene optičkim bjelilom Sera White P-B u širokom koncentracijskom rasponu

Tablica 14. Stupanj bjeline prema CIE (W_{CIE}), maksimalna emisija (R_{max} [%]), valna duljina pri kojoj je postignuta (λ_{max} [nm]) i odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda prema [28] PES/CO tkanine bijeljene optičkim bjelilom Sera White P-B u širokom koncentracijskom rasponu

Uzorak	W_{CIE}	R_{max} [%]	λ_{max} [nm]	Odstupanje tona boje od neutralno bijelog standarda [28]	
PES/CO	80,0	83,78	700		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES/CO_ 0,1% - PB	106,8	98,14	440		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES/CO_ 0,5% - PB	116,2	101,56	440		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES/CO_ 1 % - PB	121,2	102,9	440		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda

PES/CO_ 5 % - PB	137,9	98,44	440		Nikakva znatna odstupanja tona boje od neutralno bijele bijelog standarda
PES/CO_ 10 % - PB	144,3	91,51	440	R1	U tragovima crvenije od bijelog standarda
PES/CO_ 20 % - PB	148,7	84,69	450	R1	U tragovima crvenije od bijelog standarda



Slika 32. Remisijske krivulje PES/CO tkanine bijeljene optičkim bjelilom Sera White P-B u širokom koncentracijskom rasponu

Obradom s najnižom koncentracijom optičkog bjelila Sera® White P-N 0,1% na m.m. dolazi do povećanja bjeline (W_{CIE} 110 za PES i 106 za PES/CO). Obradom pri niskim koncentracijama od 0,1 i 0,5% na m.m. nema vidljivog odstupanja nijanse od bijelog standarda. S povećanjem koncentracije stupanj bjeline raste do optimalne koncentracije. Za PES tkanine najveći stupanj bjeline je pri koncentraciji od 5%, dok je za PES/CO tkanine 1% na m.m. (W_{CIE} za PES je 120,4, a za PES/CO 116,9). Maksimalni stupanj remisije je oko 445 nm. Iz tablica 7 i 8 može se vidjeti da ove koncentracije dovode do najveće bjeline, međutim dolazi do promjene tona. Obje su tkanine zelenije u odnosu na bijeli standard ukoliko je primijenjena koncentracija viša od optimalne. Iz rezultata remisije i maksimalnih valnih duljina može se vidjeti da je došlo

do promjene spektra emisije. Povećanje koncentracije optičkog bjelila dovelo je do smanjenja intenziteta remisije što je uzrokovalo gašenje fluorescencije, a posljedica je promjena tona. To potvrđuje batokromni pomak spektra remisije udesno - maksimum remisije se pomaknuo s 440 na 450 nm. Kao rezultat pomaka pri najvišim primijenjenim koncentracijama od 20% na m.m. tkanine su nešto zelenije od bijelog standarda. Iz ovoga se može zaključiti da je koncentracija optičkog bjelila Sera® White P-N od 1% na m.m. optimalna koncentracija. Optička bjelila Sera White P-N i Sera White P-R plavog su tona te se kod njih uočava gašenje fluorescencije što znači smanjenje bjeline i remisije. Pri velikim koncentracijama molekule optičkih bjelila grade dimere koji nemaju sposobnost fluoresciranja.

Rezultati mjerenja spektralnih karakteristika PES i PES/CO tkanina bijeljenih optičkim bjelilom Sera® White P-B pokazuju drugačije ponašanje od prethodnih. Niske koncentracije od 0,1 i 0,5 % na m.m. vode povećanju remisije i bjeline. Pri koncentraciji 1% na m.m. postignut je maksimum remisije, ali ne i bjelina. Iako bjelina i dalje raste, tkanine postaju značajnije obojene u crveno. Na remisijskim krivuljama jasno je vidljivo smanjenje remisije u području između 550 i 600 nm. Iz ovoga se može zaključiti da je koncentracija od 1% na m.m. optičkog bjelila Sera® White P-N optimalna koncentracija.

Maksimalna remisija za sve tkanine u rasponu koncentracija od 0,1, 0,5, 1, 5, 10 i 20% na m.m. kreće se u rasponu 440-460 nm. Usporedbom rezultata na PES i PES/CO tkaninama može se vidjeti da su na PES tkanini postignuti nešto bolji rezultati. Razlog za to je u afinitetu derivata di(cijanstiril)a prema poliesterskim vlaknima. Budući da je u PES/CO tkanina 35% pamučnih vlakana, bjelina je nešto niža.

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu istraženi su učinci optičkog bijeljenja PES i PES/CO tkanine optičkim bjelilima različitog tona emisije: derivatima di(cijanostiril)a, iz serije Sera® White DyStar. Ispitan je utjecaj koncentracije optičkog bjelila na bjelinu i UV zaštitu ovako obrađenih tkanina.

Analizirajući mehanička svojstva optički bijeljene PES i PES/CO tkanina vidljivo je da su vrijednosti ostale gotovo iste. Razlog tomu je što kod materijala iz sintetskih vlakana nema bubrenja, pa na ne dolazi do skupljanja. Obzirom da samo celulozna komponenta u mješavini bubri, bilježi se porast na masi od 3 % kod PES/CO tkanina, a s time i porast prekidne sile.

Najviši stupanj bjeline za PES i PES/CO Sera® White P-R pri 0,1% na m.m. Za Sera® White P-N optimalna koncentracija je 1% na m.m. za obje poliesterske tkanine isto kao i za Sera® White P-B. Te koncentracije uzrokuju najmanje odstupanje nijansi bez obzira na 35% pamuka u miješavini.

Sve optički bijeljene tkanine već pri najnižoj koncentraciji doprinose povećanju UV zaštite, a u optimalnoj i višoj koncentraciji pokazuju maksimalnu moguću UV zaštitu (UPF=1000). Postignuta maksimalna UV zaštita se ne smanjuje gašenjem fluorescencije.

Uspoređujući rezultate bjeline i UV zaštite na PES i PES/CO tkaninama, može se vidjeti da su na PES tkanini postignuti nešto bolji rezultati. Razlog za bolju bjelinu je u boljem afinitetu derivata di(cijanostirila) na poliesterska vlakna, a za UV zaštitu od i apsorpcija UV zračenja benzenskih prstena u molekuli polimera. Budući da je u PES/CO tkanina 35% pamučnih vlakana, stupanj bjeline i UPF su nešto niži. Međutim, obradom s više od 1% na m.m. Sera® White P-N, postignuta je maksimalna UV zaštita.

6. LITERATURA

- [1] World Health Organization (WHO): Global solar UV index - a practical guide; dostupno na: <https://www.who.int/uv/publications/en/UVIGuide.pdf>], pristupljeno: 15-1-2020
- [2] Tarbuk A., A. M. Grancarić, I. Jančijev, S. Sharma: Zaštita od ultraljubičastog zračenja površinski modificiranom poliesterskom tkaninom; *Tekstil* 55 (2006) 8, 383-394
- [3] Tarbuk A., A. M. Grancarić, M. Šitum: Skin cancer and UV Protection. *AUTEX research journal*. 16 (2016) 1, 19-28
- [4] Vanicek K., Frei T., Litynska Z., Schmalwieser A.: UV- Index for the Public; dostupno na: http://www.temis.nl/uvradiation/info/Vanicek_et_al_COST-713_2000.pdf, pristupljeno: 15-1-2020
- [5] Glogar M. I.: *Metrika boje, skripta*, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 2019
- [6] Tarbuk A., A. M. Grancarić, M. Šitum, M. Martinis: UV Clothing and Skin Cancer, *Collegium Antropologicum*. 34 (2010) S2, 179-183
- [7] Grancarić A. M., A. Tarbuk, D. McCall: Modifikacija površine poliesterske tkanine nanočesticama tribomehanički aktiviranog prirodnog zeolita (TMAZ), *Polimeri* 28 (2007) 4, 219-224
- [8] 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
- [9] 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
- [10] Zhou Y., Cox Crews P., Effect of OBAs and repeated launderings on UVR transmission through fabrics. *Textile Chem. Color.* 30 (1998) 11, 19-24.
- [11] 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.
- [12] 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.

-
- [13] Tarbuk A., Grancarić A.M., Šitum M.: Discrepancy of Whiteness and UV Protection in Wet State; *Coll Antropol* 38 (2014) 4, 1099-1105
- [14] Eckhardt, C., H. Rohwer. UV Protector for Cotton Fabrics, *Textile. Chemist and Colorist & American Dyestuff Reporter*, 32(2000) 4, 21-23
- [15] Hilfiker R. et al: Improving sun protection factors of fabrics by applying UV-absorbers, *Textile Research Journal* 66 (1996) 2
- [16] 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
- [17] Soljačić, I.: O optičkim bjelilima, *Tekstil* 21 (1972) 5, 377-398
- [18] Soljačić I., A.M. Grancarić: Vježbe iz procesa oplemenjivanja tekstila, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, 1995.
- [19] 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
- [20] Soljačić, I.: Optička bjelila u sredstvima za pranje, *Tekstil* 21 (1972) 5, 415-421
- [21] Discover Uvitex World – The Handbook of Fluorescent Whitening of Textiles, Ciba Specialty Chemicals, 1999
- [22] L. Botteri, M. Hendija, K. Doležal, A. Tarbuk: Modeliranje ženske bluže za izradu iz pamuka različite bjeline, Zbornik radova 11. znanstveno–stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo / Ercegović Ražić, S.; Glogar, M. I. ; Novak, I. (ur.). Zagreb : Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 2018. 68-74
- [23] A.Tiki, A. Amin, A. Kanwal: Chemistry of optical brighteners and uses in textile industries, *Pakistan Textile Journal*, 50 (2010) 7, 42-43
- [24] P. Atkins, J. de Paula, *Elements of Physical Chemistry*, 5th edn., Oxford University Press, Oxford, 2009, ch. 20, pp. 480-82.
- [25] Dekanić, T.; Pušić, T.; Soljačić, I. Postaju li deterdženti učinkovita sredstva za zaštitu od UV zračenja? Zbornik radova 6. međunarodni stručno-znanstveni skup Zaštita na radu i zaštita zdravlja; Kirin, S. (ur.). Karlovac: Veleučilište u Karlovcu, 2016. str. 895-901

-
- [26] 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
- [27] Alebeid, O. K. & Zhao, T.: Review on: developing UV protection for cotton fabric, *The Journal of The Textile Institute*, **108** (2017) 12, pp. 2027–2039.
- [28] Griesser, R. Assessment of whiteness and tint of fluorescent substrates with good interinstrument correlation; *Color Res. Appl.* **19** (1994), 6, pp. 446-460.