

Univerzitet u Beogradu
Tehnološko-metalurški fakultet

Ana A. Mišković

Inženjerski pristup optimizaciji UV
zaštitnih svojstava tekstilnih materijala
na bazi konoplje

- Doktorska disertacija -

Beograd, 2024.

University of Belgrade
Faculty of Technology and Metallurgy

Ana A. Mišković

Engineering approach to optimization
of UV protection properties of hemp-
based textile materials

- Doctoral dissertation -

Belgrade, 2024.

Mentor:

dr Snežana Stanković, red. prof. Univerziteta u
Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Članovi komisije:

dr Matejka Bizijak, red. prof. Univerziteta u
Ljubljani, Prirodno-tehnički fakultet

dr Dušan Popović, red. prof. Univerziteta u
Beogradu, Fizički fakultet

dr Tatjana Mihailović, docent Univerziteta u
Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Datum odbrane doktorske disertacije _____

Inženjerski pristup optimizaciji UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala na bazi konoplje

Sažetak

Konoplji, kao biljnoj kulturi, u javnosti je već priznat veliki potencijal u pogledu održivosti. Zahvaljujući jedinstvenim svojstvima i ekološkim prednostima, vlakna konoplje su se ponovo afirmisala kao sirovina za odevne tekstilne materijale. Zaštita od ultraljubičastog (UV) zračenja je od vitalne važnosti za decu, stanovništvo pri rekreativnim aktivnostima, radnike na otvorenom i radnike izložene intenzivnim veštačkim izvorima UV zračenja. Stoga je glavni cilj ove disertacije bio da se tekstilnim materijalima na bazi konoplje obezbede unapređena UV zaštitna svojstva primenom strategije inženjerskog pristupa koji podrazumeva primenu mehaničkih operacija i metoda projektovanja tekstilnih materijala. To su isključivo ekološki benigne procedure koje isključuju upotrebu dodatnih hemijskih tretmana.

Primenjeni inženjerski pristup obuhvatio je dve aktivnosti. Prva je podrazumevala kombinovanje konopljine, pamučne, viskozne i poliakrilonitrilne pređe u fazi proizvodnje glatkih DL pletenina. Drugi pravac je podrazumevao primenu operacije končanja pređa kojom se modifikuju svojstva pređa i tekstilnih materijala. Prema evropskom standardu EN 137587-2, pletenina od konoplje, i u mešavini sa viskozom i pamukom okarakterisane su “dobrim”, “vrlo dobrim” i “odličnim” UV zaštitnim svojstvima, redosledno. Relaksaciono skupljanje glatkih DL pletenina uzrokovalo je veće smanjenje UVB transmisije u poređenju sa UVA transmisijom. Tekstilnim materijalima na bazi konoplje je dodata nova vrednost – UV zaštitna sposobnost na način koji ne narušava pozitivne aspekte održivosti.

Ključne reči: konoplja, pamuk, viskoza, poliakrilonitril, UV zaštita, UPF, pletenina, pređa, UV transmisija, otvorena poroznost

Naučna oblast: Tehnološko inženjerstvo

Uža naučna oblast: Tekstilno inženjerstvo

Engineering approach to optimization of UV protection properties of hemp-based textile materials

Abstract

Being renewable and biodegradable, hemp is a crop that has already been acknowledged for its great potential in terms of sustainability. Thanks to the unique hemp fibre properties and ecological benefits, hemp has been reintroduced as a source of fibres for clothing textile applications. Protection from ultraviolet radiation (UVR) has become a vital subject of public interest, primarily for children, the population in recreational situations, outdoor workers, or workers exposed to intense artificial sources of UVR. Based on this, the main goal of this dissertation was to provide hemp-based textile materials with improved UV protective properties through an engineering approach, i.e. the application of mechanical operations and methods of designing textile materials. These are exclusively ecologically benign procedures with no use of additional chemical treatments.

Two activities were included in the engineering approach applied. The first action included blending hemp yarn with cotton, viscose, or acrylic yarn at the knitting production stage. Another one is based on the yarn ply twisting operation, which changes yarn and fabric properties. The results indicated “good” UV protection properties of pure hemp, and “very good” and “excellent” UV protection ability of hemp-containing (viscose and cotton, respectively) knitted fabrics, according to European standard EN 137587-2. The yarn ply twisting operation influenced the UV protection properties of hemp knitted fabric by controlling the loop configuration. Relaxation shrinkage of the knitted fabrics caused a higher decrease in UVB transmission than UVA transmission. A new value – UV protection ability, was added to hemp-based textiles in a way that does not impair positive aspects of sustainability.

Keywords: hemp, cotton, viscose, acrylic, UV protection, UPF, knitted fabric, yarn, UV transmission, open porosity

Scientific field: Technological Engineering

Scientific subfield: Textile Engineering

Istraživanja u okviru disertacije rađena su na Katedri za tekstilno inženjerstvo Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu i Prirodno-tehničkom fakultetu, Univerziteta u Ljubljani.

Srdačno se zahvaljujem svom mentoru, prof. dr Snežani Stanković, na nesebičnoj i veoma profesionalnoj saradnji, pomoći i podršci, bez koje realizacija ove disertacija ne bi bila moguća. Zahvaljujem se na ideji i toku sprovedenog istraživanja, sugestijama i savetima tokom pisanja disertacije i interpretacije dobijenih rezultata. Njena podrška, strpljenje, saveti i pomoć tokom koncipiranja i realizacije istraživanja i pisanja disertacije bili su od neprocenjive vrednosti.

Zahvaljujem se prof. dr Matejki Bizjak na mogućnosti da se UV zaštitna svojstva pletenina sprovedu na Prirodno-tehničkom fakultetu Univerziteta u Ljubljani.

Prof. dr Dušanu Popoviću i prof. dr Tatjani Mihailović se zahvaljujem na razumevanju i korisnim sugestijama tokom finalizacije disertacije.

Beskrajno se zahvaljujem izuzetnim ljudima koji me okružuju, mojoj porodici, suprugu, bratu Dušanu i kuma Biljani na pomoći vezanoj za izradu disertacije, podršci i razumevanju.

Ana Mišković

SADRŽAJ

UVOD	1
TEORIJSKI DEO	
1. INDUSTRIJSKA KONOPLJA – POTENCIJAL I IZAZOVI	5
2. ASPEKTI ODRŽIVOSTI KONOPLJE KAO TEKSTILNE SIROVINE	13
3. UV ZAŠTITNA SVOJSTVA TEKSTILNIH MATERIJALA I ODEĆE	17
3.1. UV zračenje.....	17
3.2. UV zaštita.....	24
3.3. UV zaštitna svojstva tekstilnih materijala.....	32
3.3.1. Efekat svojstava sirovine na UV zaštitna svojstva tekstilnih materijala.....	34
3.3.2. Efekat parametara pređe na UV zaštitna svojstva tekstilnih materijala.....	36
3.3.3. Efekat strukture tekstilnih materijala na njihova UV zaštitna svojstva.....	38
3.3.4. Efekat obrade tekstilnih materijala na njihova UV zaštitna svojstva.....	42
EKSPERIMENTALNI DEO	
4. CILJ I SADRŽAJ RADA	47
5. MATERIJAL I METODE ISPITIVANJA	49
5.1. Materijal.....	49
5.2. Metode ispitivanja.....	51
5.2.1. Ispitivanje UV zaštitnih svojstava DL pletenina.....	51
5.2.2. Statistička analiza eksperimentalnih podataka.....	53
6. REZULTATI I DISKUSIJA	54
6.1. Strukturne karakteristike pređa i glatkih DL pletenina.....	54
6.2. UV zaštitna svojstva glatkih DL pletenina.....	61
6.2.1. UV zaštitna svojstva glatkih DL pletenina izrađenih od jednožične pređe.....	61
6.2.2. Potencijal operacije končanja za optimizaciju UV zaštitnih svojstva pletenina.....	72
7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	78
8. ZAKLJUČAK	81
LITERATURA	82
Spisak tabela.....	94
Spisak slika.....	96

UVOD

Za široku naučnu javnost planeta Zemlja je oduvek neiscrpna tema za istraživanje i stručnu diskusiju. Naučnici su još uvek zainteresovani za pronalaženje odgovora o nastanku Sunčevog sistema, mnogih nebeskih tela, ali naročito planete Zemlje i svih živih organizama koji je nastanjuju. I danas se traga za odgovorima, ali s obzirom na novija istraživanja čini se da je pažnja preusmerena sa nastanka na opstanak planete Zemlje i sveukupnog živog sveta na planeti (Amidžić i sar. 2007).

Planeta Zemlja je veliki dinamički sistem, koji poput savršenog živog organizma, funkcioniše više od 4,5 milijardi godina unazad. Položaj Zemlje u Sunčevom sistemu koji uslovljava optimalnu količinu toplote, prisustvo prirodnih zaštitnih barijera od štetnih kosmičkih zraka, stabilnu klimu, idealan sastav atmosfere, čist vazduh, idealna količina i kvalitet vode, zdrava hrana, bogat biodiverzitet i još mnogo toga, rezultat su savršenog ambijenta za razvoj celokupnog organskog sveta na Zemlji (Glavatović 2005).

Međutim, ovo savršenstvo je poslednjih 10.000 godina narušeno, kako pokazuje istorijska analiza odnosa čovečanstva prema Zemlji. Etapa „industrijskog društva“, duga dva veka, dovela je do protivurečnosti dva osnovna planetarna podsistema, odnosno prirode i ljudskog društva, zbog čega je dugoročna perspektiva opstanaka i napretka čovečanstva dovedena u pitanje (Milinčić 2005).

Značajne i uočljive promene u prirodnom ambijentu mogu biti posledica prirodnih i ljudskih faktora. Međutim, u naučnom svetu posebnu težinu nosi 4. stav iz Izveštaja Međunarodnog panela o klimatskim promenama (engl. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) u kome se tvrdi da su ubrzane promene na Planeti, kao što je najpre promena klime, koja je najdragoceniji prirodni resurs, uzrokovana antropogenim uticajem (Antonijević i sar. 2013; Pavlović 2011). Zbog prevelikog ljudskog uticaja na životnu okolinu planeta Zemlja se trenutno nalazi u novom geološkom periodu poznatom kao antropocen (Dartnel 2021). Veliki deo stručne javnosti veruje da je period antropocena započet još s Prvom industrijskom revolucijom u drugoj polovini 18. veka, a mnogi smatraju da je započet i ranije. Međutim, ova epoha je postala progresivna izazivajući preoblikovanje fizičkih sistema Zemlje (klime, hemijskog sastava i živog sveta) kroz vidljive negativne efekte po životnu sredinu počev od oko 1950. godine, zbog uticaja industrije poput betona, plastike, aluminijuma, gasova, uglja i nuklearnog naoružanja kada je ekosistem cele planete počeo da se menja (URL 1; Čukanović Karavidić i sar. 2021).

Zbog eksponencijalnog porasta svetske populacije raste najpre potreba za vodom i hranom, a zatim energijom, hemikalijama, kao i svim ostalim resursima (Blackburn 2005). Zbog ubrzanog porasta stanovništva tokom godina tj. prenaseljenosti, javila se potreba za „nezaustavljivim“ tehničko-tehnološkim inovacijama koje u velikoj meri troše energiju i prirodne resurse, što vodi ka zagađenju i ugrožavanju životne sredine. U tabeli 1 prikazan je hronološki rast stanovništva na planeti, sa predviđanjem za 2050. godinu.

Tabela 1. Hronološki prikaz porasta broja stanovnika na planeti (URL 2; Giljen 2021)

Godina	Broj stanovnika
15.000 god p.n.e.	3.000.000
Početak n.e.	230.000.000
1820.	1.000.000.000
1960.	3.000.000.000
1975.	4.000.000.000
1987.	5.000.000.000
2003.	6.300.000.000
2010.	7.000.000.000
2050.	9.500.000.000

Demografska ekspanzija i progresivna industrijska proizvodnja su dva ključna faktora koja su dovela do ekološke krize i pitanja održivosti na nivoima prirodnih resursa koji su najveći izazovi 21. veka (Islam i Bhat 2019). Trenutno na Zemlji živi blizu 8 milijardi ljudi, koji svojim svakodnevnim aktivnostima ostavljaju značajan i vidljiv trag na životnu sredinu. Povećano, nekontrolisano korišćenje i eksploatacija prirodnih resursa dovodi do brojnih problema vezanih za kapacitete prirode koji su znatno ispod limita potreba današnje civilizacije (Dartnel 2021).

Na osnovu nivoa potrošnje resursa i stvaranja otpada u odnosu na mogućnost prirode da podnese to opterećenje do održivog prihvatanja razvijena je nauka Ekološkog otiska (engl. Ecological Footprint). Ekološkim otiskom meri se nivo ljudske potrošnje planetarnih resursa u odnosu na kapacitet Zemlje da apsorbira negativne ljudske aktivnosti i određuje se količina biološki produktivne površine (npr. zemlje, mora) koja je iskorišćena za dobijanje materije i energije i odlaganje otpada. Njegova analiza pruža matricu za poređenje ekološkog otiska (npr. vodeni otisak, otisak ugljen dioksida) sa raspoloživim biokapacitetima (Đurić 2019; Kordej-De Villa i sar. 2009). Prema istraživanjima Svetske fondacije za prirodu (engl. WWF – World Wide Fund for Nature) i Mreže za globalni ekološki otisak (engl. Global Footprint Network) dinamika potrošnje prirodnih resursa je dostigla kritičan nivo sedamdesetih godina prošlog veka, kada je ljudski ekološki otisak prestigao biokapacitet planete Zemlje, odnosno kada je korišćenje prirodnih resursa postalo veće nego što je planeta u stanju da obnovi.

Broj ljudi na planeti sa teritorijalne tačke gledišta ne predstavlja problem. Problem je vezan za potrebe današnjeg čoveka, počev od potrošnje energije, do transporta, informacija, kao i generisanja otpada. Mreža za globalni ekološki otisak 2019. godine objavila je izveštaj u kome je prikazano koliko je pojedinim državama potrebno planeta da bi mogli normalno da opstanu trenutnim životnim tempom, što kada se generalizuje daje zastrašujući podatak od 1,7 planeta da bi čovečanstvo opstalo prema uobičajenim navikama i uticajem koji ostvaruje na životnu sredinu. Svetska fondacija za prirodu predviđa da će zbog količine resursa koje čovečanstvo danas koristi do 2030. godine biti potrebno dve planete da bi se zadovoljile godišnje potrebe čovečanstva (WWF 2019; Pavlović 2011).

U 18. veku ekonomisti, poput Tomasa Maltusa i Vilijama S. Dževonsa, su ograničenost prirodnih resursa posmatrali u kontekstu povećanja populacije i energetske potrebe za vreme industrijske revolucije (Pavlović 2011). Prenaseljenost je, prema definiciji američkog biologa Pola Erliha, situacija u kojoj je stanovništvo u procesu iscrpljivanja neobnovljivih resursa (URL 3).

Prirodni resursi se najčešće klasifikuju na dve grupe i to:

1. **obnovljivi resursi (neograničeni)** – prirodni i biološki fondovi (voda, vazduh, zemljište, biljni i životinjski svet) i energetske tokovi (sunce, hidroenergija, geotermalna energija, energija vetra) i

2. **neobnovljivi resursi (ograničeni)** – fosilna goriva - fondovi mineralnih bogatstava (rude metala i nemetala, sirova nafta, prirodni tj. zemni gas, ugalj, ulje, plin, nuklearna energija) (Milašinović i sar. 2009; URL 4).

Potrošnja energije iz prirodnih resursa se ne smatra ekološkim problemom, ali nekontrolisana proizvodnja energije i transport negativno utiču na životnu sredinu i dolazi do velikih gubitaka prirodnih resursa. Pored toga, pojedini obnovljivi izvori nisu neiscrpn, količinski su ograničeni, jer se ne obnavljaju na biološki način. Dok su neobnovljivi resursi formirani u davnoj geološkoj prošlosti i za njihovo ponovno stvaranje potrebni su milioni godina (Milašinović i sar. 2009).

Međutim, zabrinutost za zalihe resursa je u stalnom porastu, jer se njima ne raspolože na adekvatan način i zbog činjenice da gotovo čitavo čovečanstvo troši neobnovljive izvore energije. Organizacija za globalni ekološki otisak svake godine izračunava "Dan ekološkog duga zemlje" ili "Dan premašaja" (engl. Earth Overshoot Day) što označava dan u godini kada je čovečanstvo za svoje potrebe iskoristilo sve biološke resurse koje je Zemlja u stanju da obnovi za godinu dana (URL 5). 2019. godine taj dan je bio 29. jula, a 2020. godine 22. avgusta, što se pripisuje Pandemiji Kovid-19 virusa, kada je ljudska aktivnost bila prinudno smanjena. Prema njihovom izveštaju, na godišnjem nivou potroši se 1,6 prirodnih resursa brže nego što je ekosistemima potrebno da se regenerišu (URL 6).

Godišnje se iz zemlje izvuče oko 150 milijardi tona ruda i fosilnih goriva (Butorac 2018). Prerađivanjem, najpre sagorevanjem, tih sirovina u okolinu se ispuštaju velike količine otpadnih gasova i pepela, na bazi sumpora, azota i vodonika i poznatih gasova sa efektom staklene bašte (vodena para, ugljen-dioksid, metan, azot-suboksid i troposferski ozon). Ovi gasovi ispuštaju se slobodno u atmosferu zbog čega zagađuju vodu, zemlju i vazduh, a samim tim i hranu zbog čega dolazi do razvoja novih vrsta bolesti, mutacija, ali i izumiranja pojedinih živih organizama i narušavanja biološke raznovrsnosti. Osim toga, odgovorni su za ogromnu količinu veštački izazvane toplote koja je uzrok globalnog zagrevanja i klimatskih promena tj. povećanog broja prirodnih požara i poplava, porasta nivoa mora, oštećenja ozonskog omotača i pojave „ozonskih rupa”, pada prosperiteta, pa čak i gladovanja (Blackburn 2005; Milašinović i sar. 2009). Osim toga, emisija gasova staklene bašte doprinosi povećanju globalne temperature za 1°C svake godine (Ahmed i sar. 2022).

Posledice globalnog zagrevanja su i sve češći požari, suša i kisele kiše koje ugrožavaju svetske šume. Šume se sve češće u javnosti predstavljaju kao „pluća” planete Zemlje i odgovorna su za zadržavanje štetnog ugljen-dioksida koji proizvodi 62% veštačke toplote. Predviđanja, potkrepljena naučnim činjenicama, su da će do 2050. godine šume početi da oslobađaju ugljen-dioksid umesto da ga apsorbuju. Zbog kiselih kiša stabla sagorevaju i suše se, kao i zbog seče šuma, stvaraju se idealni uslovi za život termita, koji su u stanju da za jedan minut ispuste 5 litara metana. Ovaj podatak je zabrinjavajući s obzirom na činjenicu da je metan gas koji je odgovoran za oko 20% veštački proizvedene toplote (Butorac 2018; URL 7; Nakomčić-Smaragdakis i sar. 2014).

Globalno zagrevanje i slabljenje ozonskog omotača su dva dominantna atmosferska procesa 20. i 21. veka koja utiču na pogoršanje klime, a izazvana su emisijom gasova staklene bašte i hlorofluorokarbonata uzrokovanih antropogenim uticajem (Pavlović 2011). Sa razvojem industrije, s početka 50-ih godina prošlog veka, povećala se proizvodnja i potrošnja hlorofluorokarbonata (freoni i haloni), kao i drugih supstanci koji u različitim kombinacijama sadrže hemijske elemente kao što su hlor, fluor, brom, ugljenik i kiseonik. Hlorofluorokarbonati se koriste kao pokretači sadržaja u aerosolnim konzervama, u pakovanju penastih proizvoda, kao rastvarači i sredstva za hlađenje. Oni su poznati kao jedinjenja koja zadržavaju toplotu poput ugljen-dioksida i u velikoj meri razgrađuju molekule ozona iz ozonskog omotača i odgovorni su za pojavu „ozonskih rupa” zbog kojih štetno sunčevo zračenje nesmetano dolazi do površine Zemlje.

Najštetnije je ultraljubičasto (UV) zračenje koje ozonski omotač u sve manjoj meri uspeva da apsorbuje, a ono uništava fitoplanktone i druge organizme važne za lanac ishrane, ali i u velikoj meri ugrožava ljudsko zdravlje. Evropska svemirska agencija objavila je da je 2. oktobra 2006. godine iznad Antartika zabeleženo do sada najveće smanjenje ozonskog omotača. U tom području nedostaje oko 40 miliona tona ozona, a godišnje se količina ozona smanjuje za oko 1%. Na „razređivanje” ozonskog omotača utiču i emisije oksida azota koje vrše avioni, kao i oni nastali sagorevanjem fosilnih goriva i od nitrifikacije i dezertifikacije organskih i neorganskih azotnih veštačkih đubriva. Svetska zdravstvena organizacija (engl. WHO, World Health Organization) godišnje beleži više od 30 miliona trovanja pesticidima, od čega oko 100.000 završava u smeću (Butorac 2018; Kocić 2013).

Još jedan veoma važan pokazatelj štetnog ljudskog delovanja po okolinu je sve brže narušavanje biološke raznovrsnosti (biodiverziteta) na Zemlji. Svetska fondacija za prirodu od 1970. godine svake druge godine objavljuje Izveštaj o životu na planeti koji, na osnovu dvogodišnjeg istraživanja i prikupljanja podataka stručnjaka i organizacija širom sveta, predstavlja sveobuhvatnu studiju stanja planete kroz Indeks života na Planeti (engl. LPI, Living Planet Index), praćenjem preko 21.000 populacija sisara, ptica, gmizavaca, vodozemaca i riba. Trendovi koje naučnici otkrivaju u ovim podacima pomažu im da donose zaključke o zdravlju ekosistema.

Indeks života na planeti pokazuje da su od 1970. godine do danas populacije divljih vrsta (sisara, riba, ptica, gmizavaca i vodozemaca) širom sveta u proseku opale za 68% i da se ovaj trend još uvek ne usporava. Opadanje brojnosti divljih vrsta i gubitak prirodnih staništa u najvećoj meri su posledica ljudskih aktivnosti. Već je znatno izmenjeno 75% kopnene površine Zemlje koja nije pod stalnim ledom, okeani su većinom zagađeni, a izgubljeno je preko 85% močvarnih oblasti. 27.000 vrsta godišnje, odnosno 74 dnevno se nepovratno izgube; sa 100 organskih vrsta izumrlih u toku jednog

dana, stopa izumiranja postaje 1.000 puta veća od procenjene prirodne evolucione stope izumiranja. Ako se izumiranje nastavi po sadašnjoj stopi, tokom narednih 30 godina moglo bi da nestane 20% današnjih vrsta što se ne smatra normalnim procesom s evolucionog i biološkog aspekta. U narednih 100 godina ovo bi značilo da će uništavanje ekosistema dovesti do toga da milionima vrsta (500.000 životinja i biljaka i 500.000 insekata) preči istrebljenje (Pavlović 2011; WWF 2020).

Naučnici iz primenjenih bioloških disciplina upozoravaju na značaj biodiverziteta u čijem su sastavu i organske vrste (kao nosioci posebne kombinacije gena) sa svojim specifičnim funkcijama. Bez biodiverziteta ne bi postojao biogeohemijski ciklus i produkcija kiseonika, ekosistem ne bi funkcionisao, ne bi bilo fotosinteze i razgradnje organske materije. Očuvanjem biodiverziteta pospešena je regulacija klime, umanjuju se efekti gasova staklene bašte, održava kvalitet vazduha i vode, kontrolišu se suše i poplave i još mnogo drugih pojava od fundamentalnog značaja za održavanje života na planeti (Pavlović 2011).

„Da bi život na planeti bio održiv neophodna je ogromna raznovrsnost bioloških vrsta. Jedno od milijarde različitih organizama koriste na najbolji mogući način sve prirodne izvore i šanse za preživljavanje, i ako milioni vrsta vode živote koji se tako preklapaju da se uzajamno održavaju – planeta može uspešno da živi. Što je veći biodiverzitet, to će bezbedniji biti sav *Život na Zemlji*, ubrajajući tu i nas. Ovako kako mi danas živimo na Zemlji, međutim, nagonimo biodiverzitet u propadanje.” - citat iz knjige *Život na našoj planeti*, poznatog autora televizijskih serijala Dejvida Atenbora, koji kroz lično svedočanstvo beleži izmene u biodiverzitetu (Atenboro 2020).

1. INDUSTRIJSKA KONOPLJA – POTENCIJAL I IZAZOVI

Jedan od najvećih izazova današnjice je pitanje rešavanja akumuliranih ekoloških problema. Može se reći da danas ne postoje industrijske delatnosti koje su oslobođene ekoloških pitanja (Lukić 2003). Da bi industrijska proizvodnja zadovoljila ekološke standarde, jedan od uslova je da sirovina za finalne proizvode bude biorazgradiva, prirodna, i čiji se otpad može reciklirati (Islam i Bhat 2019). Zbog toga, početkom 21. veka industrijska konoplja (lat. *Cannabis sativa* L. var. *Sativa*) zadobija poverenje velikog broja industrijskih grana.

Proizvodnja industrijske konoplje doživela je „veliki povratak“, bez obzira na njenu živopisnu istoriju, jer se pokazala kao biljka impresivnih kvaliteta (Stanković 2008). Turbulentna razdoblja kroz koje je ova biljka prolazila kroz vekove beleže i podatke o njenom uticaju na društveni progres, pa čak i ratove (Petak 2016).

Industrijska konoplja je jedna od prvih kultivisanih biljaka (Fortenbery i Bennett 2004). Gajila se širom Starog sveta još pre pisane istorije, a najraniji podaci o konoplji vezani su za njeno poreklo i datiraju još iz vremena od 8000 godina p.n.e. Veruje se da potiče iz centralne Azije odakle su je nomadski narodi preneli tokom seoba, i na istok i na zapad (Šustić 2019; Stojanović i sar. 2017; Kišgeci 1994). Pamuk iz Indije i lan sa Mediterana otkriveni su tek hiljadu godina kasnije (Robinson 2000).

U drevna vremena konoplja se više smatrala izvorom lekova nego tekstila (Rijavec i sar. 2017). Stari Kinezi su razlikovali mušku i žensku biljku konoplje, i iz nje su uspevali da dobiju kvalitetno vlakno od kog su pravili platna za odevne i druge predmete, ribarske mreže i užariju. Seme konoplje su koristili u ishrani, pozder za ogrev, a brojni su dokazi i o korišćenju u medicinske i ritualne svrhe (Pejić 2009; Kišgeci 1994). Mnoštvo dokaza iz različitih lokaliteta širom Azije ukazuju na uzgoj konoplje, kao na primer pronađeni ostaci traka od konoplje na 12.000 godina starom neolitskom nalazištu Iuan-Šan (današnji Tajvan). Ostaci tkanina od konoplje pronađeni su i na lokalitetu iz kasnog neolita (oko 4000 god. p.n.e.) u provinciji Zheijang (Robinson 2000). U najstarijoj lekarskoj knjizi na svetu postoje zapisi legendarnog cara Šen Nunga koji opisuje uzgajanje konoplje oko reka i dolina Taišana (T'aishana), oko 2300 god p.n.e. (Milosavljević i sar. 2004).

Grčki istoričar Herodot svedoči o tome da je konoplja prenetu u Evropu oko 1500 godina p.n.e. zahvaljujući seobama Tračana i Skita, koji su je gajili kao važan usev, u oblasti Kaspijskog mora, za dobijanje vlakana i semena (Rijavec i sar. 2017; Pejić 2009). Homer u Odiseji spominje konopljinu platno. Prva radionica za tkanje konoplje i ostaci platna od konoplje pronađeni su iskopavanjem na lokalitetu kulture Šang (1400-1100 god. p.n.e.) u blizini sela Taiki u provinciji Hebei (Robinson 2000). Dok su u Egiptu tragovi konoplje otkriveni tek u srednjem veku, o čemu piše i poznati venecijanski putopisac Marko Polo (Kišgeci 1994). A takođe je zabeleženo da je Kristofer Kolumbo doplovio u Ameriku na brodovima opremljenim konopljom (Malabadi i sar. 2023).

Konoplji se pripisuje uspešan razvoj brodarstva, zahvaljujući čemu je ona prenesena iz Španije u Čile 1545. godine, a tek 1645. godine doneta je u Novu Englesku i Sjedinjenje Američke Države (SAD) (Ehrensing 1998). U istoriji SAD industrijska konoplja se pamti po veoma uspešnoj proizvodnji kanapa, koji se koristio u Američkoj mornarici, i hartije, na kojoj su štampani i prvi nacrti Deklaracije o nezavisnosti. Takođe, poznata je upotreba semena konoplja za dobijanje ulja, koje je u 19. veku Abraham Linkoln (engl. Abraham Lincoln) koristio za svetiljke. U 20. veku, Henri Ford (engl. Henry Ford), osnivač kompanije *Ford Motor*, od semena konoplje je uspeo da proizvede revolucionarno biogorivo, ali i vozilo sa bioplastičnom karoserijom dobijenom od konoplje (Petak 2016). Industrijska konoplja je veliku primenu imala i u proizvodnji platna, od koga je sašivena i prva Američka zastava i vojne uniforme, ali i prve čuvene Levi's farmerke iz 1873. godine, i čak 80% odeće do oko 1920. godine (Fortenbery i Bennett 2004; Pejić 2009; Kramer 2017; Wrangham 2019).

Uprkos ogromnom ekonomskom uspehu, proizvodnje industrijske konoplje dvadesetih i tridesetih godina prošlog veka, njena upotreba je postala otežana usled verovanja da se može koristiti i kao psihoaktivno sredstvo sa povišenim procentom psihoaktivne supstance delta-9-tetrahidrokanabinol (delta9-THC), poznato kao marihuana. Zbog toga je Američko Ministarstvo finansija, 1937. godine,

donelo Zakon o oporezivanju na marihuanu. Međutim, još jedan od razloga zbog koga je upotreba konoplje bila smanjena je revolucionarno otkriće sintetičkih vlakana, koje je započeto istih godina kada i „anti-propaganda o konoplji”. Tada je Američka kompanija *DuPont* patentirala prvo sintetičko vlakno (Najlon) dobijeno iz fosilnih derivata (Stanković 2008; Wrangham 2019).

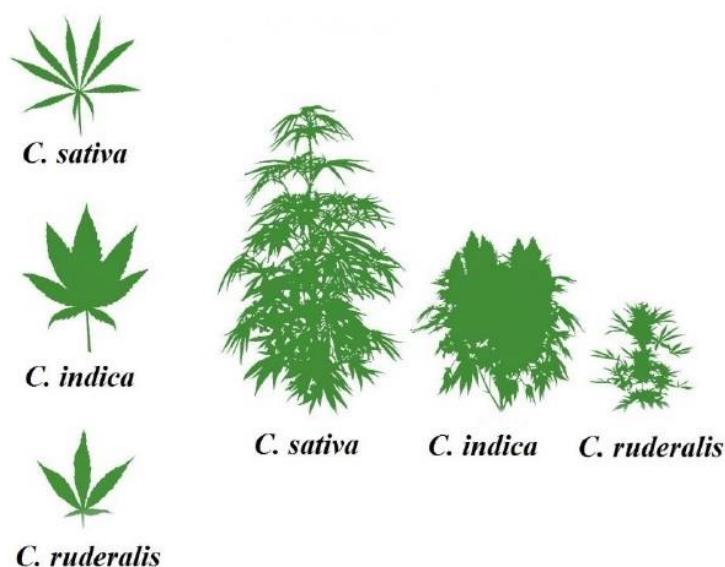
Najintenzivniji period gajenja konoplje na globalnom nivou vezuje se za period od 1930. do 1960. godine sa površinom od oko milion hektara. Bivši Sovjetski Savez, sa udelom preko 50%, bio je najveći svetski proizvođač konoplje u to vreme, a Jugoslavija najveći proizvođač u Evropi. Druga polovina 20. veka obeležila je pad obima proizvodnje vlakana konoplje i u Evropi (osim Francuske). Kao i u slučaju SAD to se pripisuje intenzivnom razvoju jednostavne i jeftinije proizvodnje sintetičkih, hemijskih i nekih prirodnih vlakana, ali i zbog stroge kontrole i zabrane gajenja konoplje zbog izvesnih varijeteta biljke (Stanković 2008; Ehrensing 1998; Kozlowski i sar. 2005).

Devedesetih godina prošlog veka javio se interes za ponovno komercijalno uzgajanje industrijske konoplje, što je dovelo do poništenja zabrane o njenom korišćenju 1993. godine u Velikoj Britaniji, a kasnije i u Holandiji, Nemačkoj i širom Evrope. Interes za ponovno uzgajanje konoplje u Evropi javio se usled zabrinutosti društva po pitanju čistije proizvodnje, reciklaže i zaštite životne sredine, i u potrazi za održivim resursima. Tek 2013. godine, u SAD je donet Zakon o industrijskoj konoplji kojim je odobreno uzgajanje sorte konoplje sa niskim procentom delta9-THC (Wrangham 2019).

Uprkos ekstremnim usponima i padovima vezanim za upotrebu industrijske konoplje ona je danas ipak veoma cenjena ekološka sirovina, jer je i posle višegodišnje „borbe za pravdu” uspešno naučno dokazano da je nepravedno bila sinonim za marihuanu. Konoplja je poznata i kao *Kanabis* (lat. *Cannabis*), što je naziv roda biljke, iz porodice *Cannabinaceae* (Rehman i sar. 2021). To je jednogodišnja biljka, koja je jedna od glavih predstavnika vlakana iz like (stabljike), pored lana, jute, ramije i kenafa (Stanković 2008).

Karl Lenias (eng. Carolus Linnaeus), 1753. godine, klasifikaovao je konoplju prema razlici genetskih, fizičkih i hemijskih karakteristika, ali i prema različitoj upotrebi, na sledeće tri vrste (slika 1.1):

1. *Cannabis Sativa L.* – poznata kao obična ili industrijska konoplja koja se prvenstveno gaji zbog vlakana i semena (krupno, svetlo smeđe boje). Njena drvenasta stabljika je visine od 1-5 m, a prečnika 6-20 mm. Najviše je zastupljena u Evropi;
2. *Cannabis Indica* – gaji se u Indiji, Iranu, Turskoj, Siriji, Pakistanu, Srednjoj Americi zbog dobijanja opojnih sredstava. Ima sjajno, tamno seme, a visina biljke je oko 1,5 m i
3. *Cannabis Ruderalis* – divlja konoplja, koja je zastupljena u određenim područjima Rusije (Fortenbery i sar. 2014; Rehman i sar. 2021).

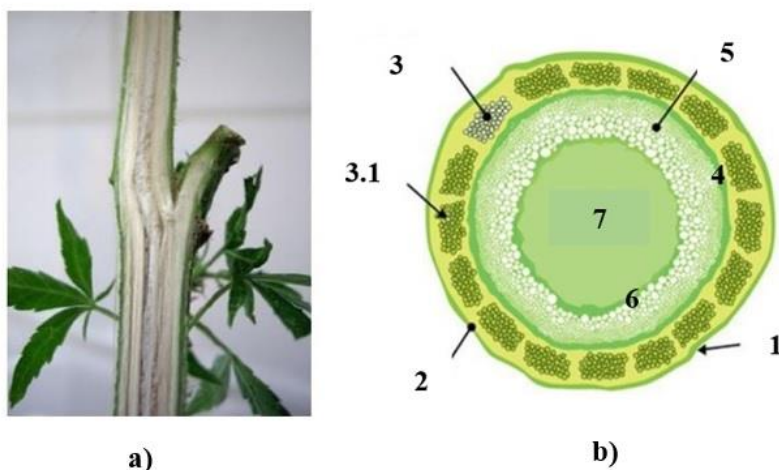


Slika 1.1. Industrijska (*C. Sativa*), Indijska (*C. Indica*) i Divlja (*C. Ruderalis*) konoplja (Drinić, 2020)

Konoplja spada u „kosmopolitske” biljke, jer se može gajiti širom sveta, zbog čega je poznata i njena klasifikacija prema geografskom poreklu, na sledeće tri vrste:

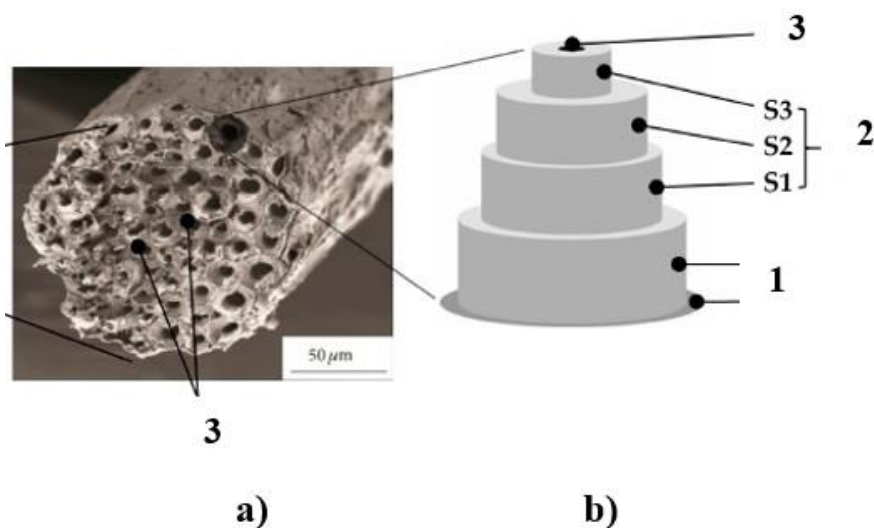
1. Severna konoplja, koju karakteriše kratak period rasta (60-75 dana) sa visokim prinosom semena;
2. Južna konoplja sa periodom rasta od preko 150 dana, visokim prinosom vegetativne biomase, uključujući vlakna dobrog kvaliteta, i
3. Srednjoevropska konoplja – čiji je period rasta i prinos između prethodne dve vrste (Kozłowski i sar. 2005).

Zahvaljući karakterističnim listovima, biljka konoplja je izuzetno prepoznatljiva. Biljka se takođe sastoji od stabljike, korena, cvetova i semena (Averink 2015). Stabljika zrele konoplje je sastavljena od nekoliko slojeva, što je ilustrovano na slici 1.2.b. Spoljni omotač i epiderm štite stablo od vlage i naglih promena temperature, i delimično ojačavaju stabljiku. Tanak korteks, koji sadrži hlorofil, prijanja na sloj floema sa snopovima likinih vlakana. Ksilem, srž i kambijum stvaraju veliki drveni sloj, koji čini približno 75% ukupne mase stabljike, i odgovorni su za transport rastvorljivih organskih jedinjenja nastalih tokom fotosinteze, kao i distribucije vode i minerala iz korena biljke. Vlakna grupisana u ćelije daju biljci krutost i čvrstoću (Zimniewska 2022). To su lignocelulozna vlakna (čine 20-40% stabljike) koja se prostiru celom dužinom paralelno vertikalnoj osi stabljike. Centralni deo stabljike (lumen) je širine od 30 do 60 mm u prečniku (Morin-Crini i sar. 2019; Ehrensing 1998).



Slika 1.2. Uzdužni (a) i poprečni (b) presek stabljike konoplje: 1- spoljni omotač (kutikula); 2 – kora (epiderm); 3 – ćelije (grupe) vlakana; 3.1 – elementarno vlakno; 4 – kambijum; 5 - drvenasti sloj; 6 – srž; 7 – lumen (Wrangham 2019; Kišmartin, 2015)

Vlakna konoplje su višćelijska (za razliku od pamuka) i sastoje se iz više elementarnih vlakana. U ovim snopovima vlakna su povezana pektinskom polisaharidnom mrežom, koja izgleda kao cilindrična mreža u stablu. Višćelijska struktura (tehničkih) vlakana se može posmatrati kao kompozitni materijal sa brojnim lumenima međusobno paralelno grupisanih, kao što prikazuje slika 1.3.a. (Manai i sar. 2019; Zimniewska 2022). Elementarna vlakna su vretenastog oblika, debelih zidova, najčešće sa petouglim poprečnim presekom i unutrašnjim kanalom – lumenom, koji se pri vrhu sužava i na kraju potpuno nestaje. Lumen zauzima najviše do 9% zapreminskog udela vlakna (Škundrić i sar. 2008; Stanković 2008; Zimniewska 2022). Ćelijski zid vlakana konoplje je višeslojan i sastoji se iz primarnog ćelijskog zida (prvi sloj deponovan tokom razvoja ćelije) i sekundarnog ćelijskog zida (od tri sloja različitih aksijalnih usmerenja i vezanih za hemicelulozu), kao što je ilustrovano na slici 1.3.b. (Manai i sar. 2019). Srednji sloj sekundarnog ćelijskog zida izgrađen je od dugih celuloznih lanaca koji stvaraju mikrofibrile (prečnika 10-30 nm) sa oko 30-100 molekula celuloze, obezbeđujući dobru jačinu vlakana (Zimniewska 2022; Morin-Crini i sar. 2019).



Slika 1.3. Sekundarna vlakna konoplje: a) poprečni presek ćelije (grupe) vlakana; b) šematski prikaz elementarnog vlakna: 1 – primarni ćelijski zid, 2 – sekundarni ćelijski zid, 3- lumen (Manaiia i sar. 2019)

Amorfna područja u ćelijskom zidu vlakana sastoji se od celuloze i hemiceluloze (preko 75%), lignina (10–12%) i ponekad pektina, kao i voskova i pepela koji se smatraju površinskim nečistoćama. Molekuli hemiceluloze i celuloze povezani su vodoničnim vezama, čime stvaraju celuložno-hemiceluloznu mrežu, koja je glavna strukturna komponenta vlaknaste ćelije. Celuloza obezbeđuje čvrstoću ćelijskog zida i fleksibilnost. Hidrofobni lignin stvara duge molekularne mreže pomoću kojih su vlakna udružena u snopove. Lignin je odgovoran za veliku jačinu i krutost ćelijskog zida, kao i nedovoljna sorpciona svojstva vlakana zahvaljujući čemu „čuva” vlakna od hemijske, fizičke i mikrobiološke degradacije. Prisustvo lignina izaziva povećanu lomljivost vlakana, čime je otežano njihovo odvajanje od stabla i predivost. Pektin se javlja u srednjoj lameli gde utopljen u hemiceluloze i lignin formira vezivni sloj između elementarnih ćelija (Zimniewska 2022; Morin-Crini i sar. 2019).

Vlakna konoplje se prostiru duž cele stabljike, ali je najveća korisna koncentracija u središnjem delu. Na dnu stabljike (u tzv. korenastom vratu) sa kasnijim razvojem biljke nastaju sekundarna vlakna koja imaju nižu tehnološku vrednost za tekstilnu industriju, jer su kraća (dužine 2 mm), deblja, kruća i međusobno čvršće povezana, sa velikim sadržajem lignina (obično od 20-30%), što ih čini nepodesnim za pređenje. Kratka vlakna iz pozdera, čine 70-80% stabljike, a oko 40 % od sadržaja ovih vlakana se prema standardima klasifikuje kao III klasa, odnosno neupotrebljivo je kao tekstilno vlakno (Stanković 2008; Stanković 2023-a; Adesina i sar. 2020). Na vrhu stabljike, gde se nalaze cvetovi, koncentracija vlakana opada i ona su izuzetno lomljiva. Zbog toga se presek stabljike od korenastog vrata do sredine cvati naziva „tehnička“ dužina da bi se razlikovala od ukupne dužine biljke konoplje. Tu je najveća koncentracija primarnih (tehničkih) vlakana (duga 5–55 mm, prosek 20 mm) (Sankari 2000; Kozłowski i sar. 2005; Morin-Crini i sar. 2019). U tabeli 1.1. prikazana su svojstva i hemijski sastav vlakana konoplje.

Tabela 1.1. Karakteristike i hemijski sastav vlakana konoplje (Stanković 2008)

Parametar	Jedinica	Konoplja
Dužina tehničkog vlakna	cm	80-300 (120)
Dužina elementarnog vlakna	mm	5-55 (15-25)
Finoća tehničkog vlakna	tex	2,2
Finoća elementarnog vlakna	mtex	333
Prečnik elementarnog vlakna	µm	15-30
Jačina	cN tex ⁻¹	27-69
Izduženje	%	1,5-4,2 (2)
Sadržaj celuloze	%	67-78
Sadržaj lignina	%	3,5-5,5 (3,3)
Sadržaj pektina u hemicelulozi	%	17
Sadržaj vlage	%	7,4-11

Morfološke karakteristike konoplje (dužina i debljina vlakana), kao i kvalitet i količina vlakana u stabljici zavise od brojnih prirodnih i poljoprivrednih faktora. To mogu biti uslovi gajenja, vrsta zemljišta, primena đubriva, gustina setve, genetski potencijal biljke (prema nameni) ili sorta biljke, i sl. (Sankari 2000).

Konoplja pripada grupi biljaka sa vrlo intenzivnim i brzim rastom. U fazi brzog rasta (više od 10 mm dnevno) uspešno konkuriše korovskim biljkama, pa zbog toga nije neophodno korišćenje pesticida i herbicida (Kozłowski i sar. 2005; Ehrensing 1998). Jedan od najvažnijih agronomskih uticaja na prinos i kvalitet je velika gustina setve (oko 150 biljaka po 1m²), kojom se postiže dobijanje duge stabljike (do oko 4,8 m, koja je razgranata samo pri vrhu), velikog prinosa biomase sa boljim kvalitetom vlakana (Averink 2015; Weightman i Kindred 2005). Njen uzgoj je moguć na različitim tipovima zemljišta, ali najbolje uspeva na rastresitom, dobro dreniranom i plodnom zemljištu, bogatim organskim materijama (Fortenbery i Bennett 2004).

Industrijska konoplja je spremna je za berbu dva do tri meseca nakon setve (Manaia i sar. 2019) i za dobijanje tekstilnih vlakana najčešće sledi šest osnovnih koraka:

- 1) hemijsko uklanjanje listova - hemijskim jedinjenjima uklanjaju se listovi sa stabla biljke;
- 2) sečenje – posebnim mašinama stabljike se seku i ravno polažu na tlo da bi se dobro osušile na vetru. Nakon sušenja, snopovi stabljike se skupljaju specijalno dizajniranim mašinama koje održavaju paralelno poravnanje stabljike konoplje u cilju dobijanja maksimalnog oporavka dugih primarnih vlakana;
- 3) Močenje (maceracija) je biološki proces obrade stabljika konoplje mokrim postupkom (na rosi, u industrijskim bazenima, stajaćoj vodi, tekućoj vodi, mineralnoj vodi ili određenim kombinacijama) u cilju njihovog omekšavanja. Na ovaj način se, zbog razgradnje pektinskih materija u stabljici, snopovi vlakna oslobađaju od drvenastih delova stabljike, a oslobađaju se i razdvajaju elementarna vlakna. Zatim se pristupa procesu pranja i sušenja, koje se može obaviti na prirodan ili veštački način;
- 4) baliranje osušenih stabljika;
- 5) utovar i
- 6) transport (Fortenbery i Bennett 2004; Karanović 2017; Sponner i sar. 2005).

Tek nakon dobijanja suve stabljike oslobođene od pektina sledi proces lomljenja stabljike, kako bi se vlakna u potpunosti odvojila od drvenastih delova i nečistoća. Ovaj proces odvija se mehaničkim putem (lomilicama ili prolaskom stabljike kroz valjke) ili ručnim putem. Na ovaj način izdvajaju se tehnička (višećelijska) vlakna konoplje, koja se potom na grebenaljkama, oslobađaju od delova pozdera i kratkih vlakana, kako bi se izdvojila vlakna pogodna za pređenje. Grebenanje vlakana je ekološka metoda, u kojoj ne dolazi do proizvodnje otpadnih voda, a nusproizvodi (oštećena i pokidana vlakna) mogu imati dalju primenu. Nakon grebenanja sledi proces omekšavanja vlakana na

specijalnim mašinama, nakon čega se dobijaju meka i gipka vlakna pogodna za nastupajuću operaciju pređenja (Karanović 2017).

Vlakna konoplje karakteriše velika jačina, odlična higijenska svojstva, dobra termička i električna svojstva, antimikrobna i antialergijska svojstva, dobra sposobnost zaštite od ultraljubičastog (UV) i infracrvenog (IR) zračenja (Stanković i sar. 2019-b). Zahvaljujući ovim svojstvima, njihova primena je veoma značajna u tekstilnoj industriji, kao i u mnogim drugim sektorima. Vlakna konoplje mogu da odgovore zahtevima za izradu materijala specifičnih svojstava, kao na primer u tehničke svrhe za dobijanje tehničkog tekstila (ambalažni, medicinski, geotekstilni i drugi materijali). Međutim, vlakna konoplje se odlikuju određenim nedostacima u vidu otežanog savijanja i malog istežanja, tvrdog opipa i otežane predivosti. Uklanjanjem ovih nedostataka otvara se mogućnost primene vlakana konoplje u oblasti visokokvalitetnog odevnog tekstila. Poslednjih godina su mnoga istraživanja bila usmerena na modifikovanje vlakana konoplje kako bi se obezbedili neophodni tehnološki parametri koji omogućavaju preradu na visokoproduktivnim mašinama za pređenje pamuka i vune. Ovi procesi su poznati kao kotonizacija, a imaju za cilj individualizaciju tehničkih vlakana na pojedinačna elementarna vlakna (Stanković 2008; Stanković 2023-a).

Modifikovanje vlakana konoplje (kotonizacija) podrazumeva uklanjanje pratećih supstanci poput pektina, lignina, smola, voskova i nečistoća, kako bi se smanjila njihova krutost i olakšala njihova dalja transformacija u pređe, za dobijanje tekstilnih materijala sa poboljšanim upotrebnim svojstvima. Pri različitim uslovima modifikovanja dolazi do strukturnih promena vlakana konoplje, koje mogu da dovedu i do mehaničkih deformacija vlakana i do promene njihovih sorpcionih svojstava. Postoje različite kategorije procesa modifikovanja vlakana konoplje kao što su mehaničko profinjavanje, hemijsko profinjavanje, fizičko-hemijski tretmani i biološki (enzimski) tretmani (Stanković 2008; Karanović 2017). Nakon procesa modifikacije vlakna konoplje postaju čistija, mekša i fleksibilnija, čime je omogućeno njihovo pređenje na mašinama za pređenje pamuka i vune. Zahvaljujući ovim sistemima mogu se dobiti pređe samo od vlakana konoplje, ali i mešavine sa pamukom ili vunom, sa finoćom u rasponu od 50 do 100 tex-a (Stanković 2023-a).

Danas se uglavnom vlakna konoplje prerađuju u pređe u mešavini sa drugim prirodnim i sintetičkim vlaknima. Predenjem mešavine vlakana konoplje i pamuka na konvencionalnim mašinama za pamuk dobija se ujednačeno predivo u kome su umanjena inferiorna svojstva vlakna konoplje, kao što su visoka zatezna čvrstoća, hladan i grub opip, otpornost na piling i gužvanje (Malabadi i sar. 2023). Na ovaj način kombinuju se svojstva različitih vlakana čime se dobijaju kvalitetniji gotovi proizvodi, a uz to i povećana produktivnost i jeftinija proizvodnja (Stanković 2008).

Konvencionalnim sistemom pređenja (tzv. prstenasto pređenje) mogu se dobiti pređe napravljene od mešavine 55% konoplje i 45% organskog pamuka koje se već duže vreme koriste za dobijanje različitih vrsta tkanina i pletenina. Na mašinama za pređenje vune sa češljanjem moguća je proizvodnja pređa u mešavini vlakana konoplje i poliakrilonitrilnih (PAN) vlakana, u različitim procentnim udelima. Takođe, uz pomoć sistema za pređenje vune vlačanjem izrađuju se pređe u mešavini konoplje (30%), vune (40%) i poliestarskih vlakana (PES, 30%). Zadatak daljih istraživanja u cilju dobijanja pređa i tekstilnih površina od konoplje je u najvećoj meri usmeren na pronalaženje adekvatne tekstilne mašinogradnje za dobijanje pređa u granicama finoće od 20 – 50 tex, koja je karakteristična za pređe namenjene za kvalitetne odevne tekstilne materijale (Stanković 2008).

Poznati komercijalni brendovi uvrstili su u svoju ponudu proizvode od konoplje u želji da doprinesu popularizaciji odeće, galanterije i obuće, kao i kućnog tekstila od konoplje. To su najčešće proizvodi poput klasičnih i sportskih odevnih predmeta, torbi, novčanika, kapa, ćilima, tekstila za nameštaj, pa i dekorativnih predmeta (Crini i sar. 2020). Da bi se potrošačima podigla svest o značaju tekstilnih materijala od industrijske konoplje istraživanja su usmerena i na ispitavnije u pogledu njihovog komfora prilikom upotrebe i estetskih performansi (Stanković 2023-b).

Osim visokokvalitetnih vlakana od konoplje se dobijaju i sirovine za proizvode velikog potencijala za tradicionalnu i inovativnu industrijsku proizvodnju. Svi delovi biljke industrijske konoplje se mogu iskoristiti u različitim industrijskim sektorima, a to su:

- seme konoplje je zbog visokog sadržaja proteina, aminokiselina i esencijalnih masnih kiselina, vrlo korisno za ljudsku i životinjsku ishranu;

- list i cvet industrijske konoplje su prepoznati po moćnoj lekovitosti, zbog čega se sve češće koriste kao sirovine u farmaceutskoj i prehrambenoj industriji, zbog bogatog sadržaja jedinjenja poput kanabidiola (CBD). CBD je proteklih godina izuzetno cenjeno jedinjenje, jer se pokazalo da ima lekovito dejstvo kod mnogobrojnih zdravstvenih problema. Ovo jedinjenje se jedino može ekstrahovati iz cveta konoplje, i za razliku od THC, nije psihoaktivno (Carus i Sarmento 2016; Adesina i sar. 2020; Sraka i sar. 2019; Goločorbin-Kon i sar. 2015). Ulje konoplje koristi se i kao sirovina za proizvodnju uljanih boja, lakova i tonera, a i kozmetičkih proizvoda za higijenu i negu kože (Lukačević 2016);

- stabljika konoplje je izvor najjačih industrijskih prirodnih vlakana na svetu;

- koren, kao i list, sadrže dragocene hranljive sastojke za đubrenje zemljišta (Tang i sar. 2016). Procenjuje se da postoji 25.000 raznovrsnih proizvoda od konoplje, koji nalaze svoju primenu u poljoprivredi, automobilske industriji, građevini, kozmetici, prehrambenoj industriji, proizvodnji nameštaja i papira, za reciklažu, u tekstilnoj industriji, medicini, za proizvodnju bioenergije itd. (Rehman i sar. 2021; Averink 2015; Tang i sar. 2017).

Velika jačina vlakana konoplje (i porast jačine u mokrom stanju), postojanost prema rastvorima i morskoj vodi, termička svojstva i apsorpcija vlage u velikoj meri je usmerila vlakna konoplje za proizvodnju tehničkog tekstila. Veliki broj istraživanja je posvećen primeni vlakana konoplje za izradu specifičnih tehničkih materijala kao što su geotekstil, filteri za prečišćavanje, kompoziti i sl. (Stanković 2008). Kompozitni materijali se razvijaju i redizajniraju sa ciljem da se poboljšaju i prilagode tradicionalnim proizvodima, ali kao održivi proizvodi poznati kao biokompoziti (dobijeni iz obnovljivih izvora) ili kompoziti prirodnih vlakana i polimera (engl. NFPC, natural fiber-polymer composites) (Peças i sar. 2018; Väisänen i sar. 2017). Industrijska konoplja je prepoznata kao veoma povoljna komponenta za proizvodnju biokompozita i u obliku pređe, tkanine, ali i kao netkani materijal, sa kojim se lako manipuliše u toku prerade (Misono i sar. 2015), ali i zbog svojih izuzetnih mehaničkih svojstava (jačine, čvrstoće) i specifične krutosti, po kojoj je uporediva sa staklenim vlaknima (Manai i sar. 2019).

Baghaei i sar. sprovedli su istraživanje u cilju dobijanja najbolje moguće varijante kompozitnog materijala za automobilsku industriju. Kompresionim oblikovanjem dobili su izuzetan ekološki kompozitni materijal sačinjen od 30% udela konoplje kao ojačanja i 70% polimlečne kiseline (PLA) kao matrice. Pored činjenice da je biorazgradiv, razvijeni kompozitni materijal je lakši, i ima odlična mehanička i termička svojstva. Pored ekoloških prednosti, ovakav kompozit omogućuje smanjenje troškova proizvodnje (Baghaei i Skrifvars 2014). S godinama, u auto industriji raste potražnja za kompozitima na bazi konoplje, jer su se ovakvi kompoziti pokazali izuzetno dobro kao npr. delovi panela na vratima i prtljažnicima automobila (Karus i Vogt 2004).

Kratka vlakna konoplje, koja nastaju kao nusproizvod prilikom proizvodnje pređa, kao i sekundarni (reciklirani) gotovi tekstilni proizvodi pogodni su za izradu tehničkih tekstilnih proizvoda ili za tzv. ne-tekstilnu primenu (van Dam 2008). Veliki broj radova posvećen je primeni industrijske konoplje za dobijanje geotekstilnih materijala, kao i za proizvodnju iverica i bioplastike (Averink 2015; Väisänen i sar. 2017). Proizvedeni su 100% biorazgradivi plastični proizvodi od konoplje u obliku kesa, i drugih ambalažnih materijala, kojima je potrebno tri do šest meseci da se razgrade za razliku od tradicionalnih plastičnih masa kojima su potrebne stotine godina. Veoma poznata kompanija igračkara „Lego“ planira da do 2030. godine plastičnu masu na bazi fosilnih goriva zameni bioplastikom od konoplje (Mašić 2018; Sebastian i sar. 2023). Dodavanje vrednosti odbačenim proizvodima od konoplje može se realizovati kroz proizvodnju materijala za toplotnu i zvučnu izolaciju u građevini, bilo u obliku ploča, ili kao izolacione ispune (Islam 2019). Buksnowitz C. i sar. su kroz svoje istraživanje došli do zaključka da u kompozitima za zvučnu izolaciju vlakna konoplje premašuju performanse staklenih vlakana u pogledu sposobnosti apsorbovanja zvuka (Buksnowitz i sar. 2010).

Industrijska konoplja ima dugu istoriju u proizvodnji papira, zahvaljujući drvenastom jezgru stabljike od kog se dobija pulpa odličnih mehaničkih svojstava (slična pulpi dobijenoj od topole),

velike čvrstoće i dugotrajnosti. Za proizvodnju finijeg papira koriste se duga konopljna vlakna, dok se za karton i grublji papir koriste kratka vlakna ili čak cela stabljika konoplje (Ehrensing 1998; Lukačević 2016).

Mnoge države širom sveta ulažu velike napore u pronalaženju alternativnih energetske resursa goriva, iz obnovljivih izvora kojima se neće zagađivati životna sredina. To su tzv. biogoriva koja se dobijaju korišćenjem biomase žitarica i semena, među kojima je našla primenu i industrijska konoplja. Rehman i sar. su u svom istraživanju predstavili koje se vrste goriva od konoplje mogu dobiti i dokazali da pomoću njih mogu da se ispune nacionalni energetske ciljevi (Rehman i sar. 2013).

Serijske studije bave se i upotrebom industrijske konoplje za proizvodnju geotekstilnih proizvoda za apsorpciju i filtraciju štetnih materijala. Boutron i sar. razvili su u svom istraživanju zamenu za tradicionalne sisteme adsorpcije i desorpcije pesticida, koji se koriste u poljoprivrednim vodostajevima. Rezultati koje su dobili pokazuju da vlakna jute i konoplje mogu da apsorbuju 35-80% tri tipa često korišćenih pesticida u poljoprivredi, sa relativno velikom brzinom adsorpcije, što znači da vlakna konoplje mogu pri kratkotrajnom kontaktu da zadrže velike količine pesticida. Takođe, rezultati pokazuju i da je maksimalna desorpcija bila oko 50% od početne adsorbovane količine pesticida (Boutron i sar. 2009).

Dokazano je u mnogobrojnim studijama da je industrijska konoplja veoma dobar indikator zagađenosti zemljišta teškim metalima (bakar, olovo, cink, kadmijum) prirodnim procesom poznatim kao fitoremedijacija (Stanković 2008; Cleophas i sar. 2023). Zato je veoma korisno gajenje konoplje u industrijski zagađenim područjima, u blizini izvora zagađenja. Biljka konoplja najviše teških metala apsorbuje kroz koren, a zatim stabljiku i lišće, i na kraju, u semenu, i na taj način u velikoj meri čisti zemljište i poboljšava njegov kvalitet (DeeDee 2011; Angelova i sar. 2004). Biosorbenti od vlakana konoplje koriste se i za uklanjanje teških metala iz vodenih tokova (Morin-Crini i sar. 2019).

2. ASPEKT ODRŽIVOSTI KONOPLJE KAO TEKSTILNE SIROVINE

Sredinom prošlog veka ekološka pitanja se nisu često razmatrala. Prva velika zabrinutost za životnu sredinu javila se 1971. godine, na međunarodnoj konferenciji u Mentonu, kada je preko 2000 naučnika iz celog sveta potpisalo apel upućen Organizaciji Ujedinjenih Nacija (UN), u kome su upozoravali na ozbiljnost situacije sa kojom se čovečanstvo suočavalo u vezi demografske ekspanzije, rušenja ravnoteže između čoveka i biosfere i zagađenja životne sredine (Stanković i Hafner 2014; Pavlović 2011). Nakon velikih ekoloških debata, 1972. godine započeto je sa idejama o kreiranju međunarodne i nacionalne ekološke politike kroz *Koncept o održivom razvoju*. Tada su i zvanično ekološki problemi povezani sa dominantnim industrijskim razvojem (Čukanović Karavidić i sar. 2021).

Pojam *Održivi razvoj* je zvanično aktuelizovan, a ideje i strategije o njegovom sprovođenju objavljene su i definisane u različitim dokumentima i sporazumima vladinih i nevladinih organizacija širom sveta. Njihov najvažniji cilj je zaštita životne sredine uz očuvanje ograničenih prirodnih resursa (Štrbac i sar. 2012). Neki od najvažnih multilateralnih ekoloških sporazuma doveli su do značajnih promena u mnogim nacionalnim, strateškim i razvojnim dokumentima brojnih država širom sveta. Takođe, mnoge industrijske i druge delatnosti bile su prinuđene da izmene svoju razvojnu politiku i procese proizvodnje kroz uvođenje pravnih obaveza za odgovorno upravljanje otpadom i emisijom zagađenja u atmosferu, vodu i zemljište, kao i kroz metodologije o ekonomičnijem trošenju resursa i energije. Za postizanje „idealne” bioekonomije najveći fokus se sve više usmerava na proizvodnju iz biomase (Milošević i sar. 2015; Von Cossel i sar. 2019).

Danas nova životna filozofija o održivosti ima za cilj i razvijanje zdrave svesti o ekološkoj bezbednosti kod svakog pojedinca, zato što je loš uticaj tehnoloških inovacija na čoveka veoma veliki (Islam i sar. 2013). Zbog toga sa godinama na tržištu raste ponuda proizvoda dobijenih „čistim” tehnologijama od ekoloških sirovina koje su održive i obnovljive na biološkoj osnovi u vidu prirodnih resursa (Misnon i sar. 2015; Morin-Crini i sar. 2019). Putem medija, različitih kampanja proizvođača i društvenih organizacija uvedeni su popularni pojmovi kao što su *ekološki* (engl. eco-friendly), *organski*, *biorazgradiv*, *obnovljiv*, *zelen* i slično, koji se najpre odnose na finalni industrijski proizvod (Misnon i sar. 2014). Pokazalo se da proizvodi „etiketirani” na ovaj način u velikoj meri počinju da privlače interesovanje potrošača, iako u mnogim slučajevima budu skuplji, naročito kada su u pitanju prehrambeni i tekstilni proizvodi, kao i sredstva za negu i higijenu.

Zahvaljujući povećanoj svesti o održivosti, i u tekstilnoj industriji je poslednjih godina veoma izražena potražnja za ekološkim sirovinama u vidu vlakana, ali i boja za tekstil, kao i različitih vrsta dorada tekstilnih materijala (Islam i sar. 2013). U poslednjih desetak godina je i u ostalim industrijskim sektorima, potražnja za prirodnim vlaknima je uvećana za oko 13% (Rana i sar. 2014). Tekstilna i modna industrija su među najvećim zagađivačima prirode na svetu, najpre zbog proizvodnih procesa u kojima se troše ogromne količine vodenih resursa i energije, kao i upotrebe sirovina kojima se u velikoj meri emituju štetni gasovi, zagađuju vodotokovi i zemljište (Duque Schumacher i sar. 2020; Frfulanović-Šomodi i Savić 2019). Osim toga, ove industrije mogu biti praćene lošim radnim okruženjem, uz upotrebu jeftine radne snage, pa čak i dece (Stanković 2023-a). S druge strane, svake godine odbačeni miliona tona tekstilnih proizvoda na deponije takođe uzrokuju ozbiljna zagađenja životne sredine (Islam i Bhat 2019).

Poslednjih godina zabeležen je veliki broj istraživanja na temu fenomena proizvodnje i upotrebe sintetičkih tekstilnih vlakana. Svake godine u izveštajima o globalnoj potrošnji tekstilnih sirovina izdvaja se upotreba sintetičkih u odnosu na prirodna vlakna. Upotreba sintetičkih vlakana 1999. godine za izradu tekstilnih proizvoda uznosila je 45%, pamuka 36% i ostalih vlakana 19%, dok je u 2019. godini sintetika činila udeo od 70%, oko 26% pamuk i oko 4% je činio ostatak (Avernik 2015, URL 1). Superiornost sintetičkih vlakana u odnosu na prirodna vlakna i dalje se pripisuje tome da su, kao jedno od najznačajnijih otkrića dvadesetog veka, značajan faktor svetskog privrednog razvoja, a uz to i jednostavnijoj, bržoj i jeftinijoj proizvodnji u odnosu na ostala tekstilna vlakna. Tekstilna industrija doživela je najveću ekspanziju s otkrićem sintetičkih vlakana, zbog čega su se prirodna

vlakna poput vune, svile, lana i konoplje vezivala za naziv „tradicionalna” (Baldini i sar. 2018). Industrijska proizvodnja sintetičkih vlakana tada se smatrala „čistijom” i jednostavnijom u odnosu na proizvodnju prirodnih vlakana koja je zahtevala veliku radnu snagu i naporan rad (od procesa žetve do prerade u tekstilne materijale). S druge strane, zbog eksponencijalnog porasta stanovništva mogla je, kao i danas, da zadovolji sve njegove potrebe, uz verovanje da je njihova upotreba učinila dobrobit po čovečanstvo do čvrstih dokaza da je jedan od najvećih uzroka svetske ekološke krize.

Dugoročnim praćenjem se pokazalo da je proizvodnja sintetičkih vlakana ipak dosta skuplja u odnosu na prirodna vlakna. Budući da zahtevaju potrošnju velike količine energije, vode, hemikalija i fosilnih goriva, a to su ograničeni resursi. Pored toga, dobijeni finalni polimerni proizvodi nisu biorazgradivi. Da bi se ublažili brojni negativni efekti sintetičkih proizvoda, poslednjih godina se intenzivno radi na njihovom recikliranju. Međutim, tekstilni proizvodi od recikliranih sintetičkih materijala i dalje za sobom ostavljaju negativan uticaj po životnu sredinu. Na primer, u toku jednog pranja jakne od poliestra, oslobodi se 1,7 g mikro-vlakna (manja od 5 mm), koja kontaminiraju vodonosnike i prehrambeni lanac, jer je njihovo filtriranje veoma zahtevno i otežano sa ekonomske tačke gledišta (Kramer 2017).

Negativan uticaj industrije sintetičkih i hemijskih vlakana je nemejljiv, kao i kod ostalih industrija čije su osnovne sirovine i procesi proizvodnje bazirani na upotrebi fosilnih i lako isparljivih hemijskih derivata (Islam, 2019; Hansen i sar. 2016). Potreba za novim izvorima energije i ekološkim industrijskim sirovinama omogućila je industrijskoj konoplji ogromnu prednost u odnosu na uobičajeno korišćena sintetička vlakna dobijena iz polimernih smola. Međutim, uzimajući u obzir sve aspekte održivosti industrijske konoplje u pogledu ekološkog i ekonomičnog uzgoja, ona je trenutno superiornija i odnosu na mnoge prirodne sirovine, poput pamuka (Stanković 2008; Misnon i sar. 2015).

Interesovanje za uzgoj industrijske konoplje u cilju proizvodnje tekstilnih proizvoda s godinama u velikoj meri raste. Jedan od razloga je i činjenica da ispunjava sve kriterijume koncepta o održivom razvoju u pogledu ekološke sirovine sa velikim potencijalom za industrijsku primenu. Za uzgoj konoplje potrebne su male količine vode, a biljka se odlikuje veoma brzim rastom uz visok prinos (veći u odnosu na bilo koju drugu biljku) u svim klimatskim uslovima (Zimniewska 2022; Kramer 2017). Veoma je značajan i podatak da konoplja ne zahteva agrohemijske (pesticide, herbicide), a pritom, putem fitoremedijacije može da sanira kontaminirano zemljište uz očuvanje njegove prirodne ravnoteže (Ahmed i sar. 2022; Sraka i sar. 2019). Osim toga, ostatke konoplje je moguće iskoristiti kao botaničke insekticide ili repelente za uklanjanje štetočina u organskoj poljoprivredi (Adesina i sar. 2020). Zahtevi i troškovi su veoma slični kao kod uzgajanja kukuruza, s prinosom od 2,5-8,7 tona suve stabljike po aru (Ehrensing 1998). Zahvaljujući činjenici da ne zahteva upotrebu pesticida, biljka konoplje se može uspešno primenjivati u plodoredu sa drugim usevima povećavajući njihov prinos (Ammaducci i sar. 2015). Takođe, impresivan je podatak da je konoplja biljka koja je u stanju da apsorbira oko 22 t/ha ugljen-dioksida (CO₂) pretvarajući ga u biomasu skladištenjem u stabljiku i koren (Stanković 2023-a; Zimniewska 2022).

Troškovi poljoprivrednih aktivnosti (đubrenje, cena semena, radna snaga, navodnjavanje) pri uzgoju industrijske konoplje su za 77,63% manji nego za pamuk. Za dobijanje 1 kg finalnog vlakna pamuka potrebno je pet do deset puta više vode nego za dobijanje vlakana konoplje (Ahmed i sar. 2022; Kramer 2017). Tačnije, za 1 kg vlakana konoplje potrebno je 2.123 l vode, a za 1 kg pamuka oko 10.000 l vode, a nekada i do 20.000 l vode (Novaković i sar. 2020-a; Kramer 2017). Vodeni otisak vlakana pamuka je znatno veći od vodenog otiska vlakana sisala i lana, koji su opet veći od vodenog otiska vlakana jute i konoplje. Vlakna konoplje imaju prosečan globalni otisak vode od 2.719 m³/t (Avernik 2015). Potreba za obilnim navodnjavanjem pamuka je povezana i sa činjenicom da je njen uzgoj moguć samo u subtropskim oblastima, za razliku od konoplje koja nema ograničenja u pogledu klimatskih uslova prilikom uzgoja. Zbog velikog utroška vode za gajenje pamuka, ostatak regije i stanovništvo u blizini trpi posledice negativnog uticaja po životnu sredinu, zbog čestih nestašica vode i degradacije tla na kome je otežano uzgajanje i navodnjavanje drugih poljoprivrednih kultura (Kramer 2017).

Uzgoj pamuka je odgovoran za 25% svetskog utroška pesticida i 80% utroška vode u celokupnoj tekstilnoj industriji, što ima za posledicu ogroman negativan uticaj na životnu sredinu. Zbog toga se pamuk ne smatra ekološkom sirovinom. Ipak, danas pamuk čini 40% ukupne svetske proizvodnje prirodnih tekstilnih vlakana (Avernik 2015; Rosa i Grammatikos 2019; van der Velden i sar. 2014; Vandepitte i sar. 2020). Dai i sar. u svom radu zabeležili su da globalno zagrevanje počinje da utiče na dužinu vlakana pamuka, koja u velikoj meri određuje kvalitet pređe (Dai i sar. 2017). U poređenju sa pamukom čiji je prinos 1,35 t/ha, prinos vlakana konoplje je 3 t/ha, s tim što je za 1 t vlakana pamuka potrebno utrošiti 6 kg pesticida, 290 kg herbicida i 2.300 m³ vode (Stanković, 2023a). Na istoj površini zemljišta prinos konoplje može biti čak 250% veći od pamuka i 600% veći u odnosu na lan (Stanković 2008).

Pored uticaja po životnu sredinu konoplja i pamuk se dosta razlikuju i u pogledu karakteristika vlakana. Pamučna vlakna su uglavnom finija i odlikuje ih veća ujednačenost u odnosu na vlakna konoplje, zbog čega je obrada i proces pređenja pamučnih vlakana jednostavniji (Kramer 2017). Vlakna konoplje su tri do osam puta jača od vlakana pamuka. Osim toga, mnogo su izdržljivija tj. trajnija, otpornija na habanje, toplotu, vatru i zračenja (ultraljubičasto, UV i infracrveno, IR zračenje), toplija su, prozračnija i imaju bolja apsorpciona svojstva u odnosu na pamuk. Uprkos većoj izdržljivosti, tkanine od konoplje su manje fleksibilne, ali njihova zatezna čvrstoća je bolja u poređenju sa pamukom. Mehanička svojstva tkanine od mešavine konopljinih i pamučnih vlakana su od 15 do 20% bolja u poređenju sa tkaninom od 100% pamučnih vlakana. U poređenju sa drugim prirodnim vlaknima, konopljina vlakna se izdvajaju i po izuzetnim antibakterijskim, antimikrobnim i antialergijskim svojstvima, što ih čini odličnim izborom za osobe sa osetljivom kožom, kao i za proizvodnju medicinskog i kućnog tekstila (Malabadi i sar. 2023; Kramer 2017; Ahmed i sar. 2022; Rana i sar. 2014).

Odeću od konoplje karakterišu izuzetna fiziološka svojstva i udobnost pri nošenju, slično odeći od pamuka. Ali i pored svih upotrebnih i ekoloških prednosti, tekstilni materijali od konoplje još uvek ne mogu da pariraju onima od pamuka na današnjem tržištu tekstilnih proizvoda. Najveći razlozi za to su regulatorna pitanja i cena industrijske konoplje. S obzirom da je njeno uzgajanje još uvek zabranjeno u određenim regijama, to se odrazilo na nedostatak u istraživanju i ulaganju u tehnološki razvoj uzgoja, žetve i prerade. Takođe, postoje brojna tehnološka ograničenja prilikom proizvodnje tekstilnih materijala od konoplje. Ekonomska isplativost proizvodnje konoplje je manja u odnosu na pamuk i vunu, zato što ne postoji dovoljno efikasna i optimizovana proizvodna linija. U svim koracima, od kultivacije biljke do pređenja, postojeća tehnologija nije prilagođena za dobijanje visokokvalitetnih tekstilnih materijala od 100% konoplje (Kramer 2017; Averink 2015). Cena proizvodnog asortimana od vlakana konoplje je od 357 do 2100 USD/t, dok za pamuk iznosi 1500 do 4200 USD/t, s tim da je približna cena od 5 do 13 USD/kg za tekstilni proizvod od čiste konoplje (Stanković 2023-a). Osim toga, u toku su brojna istraživanja usmerena na modifikaciju vlakana konoplje u cilju približavanja dužine i prečnika vlakana kao kod pamučnih, što bi im omogućilo konkurentnost na tržištu sa aspekta proizvodnje tekstilnih materijala. Zbog veoma kompleksne i ekonomski zahtevne proizvodnje pređa od 100% konoplje, pa time i tekstilnih površina (tkanina, pletenina), konopljina vlakna se i dalje korsite u mešavinama, jer najveći broj predionica na svetu (90%) smatra da vlakno konoplje nije pogodno za pređenje (Kramer 2017).

Vlakna konoplje mogu biti pređena po sistemu suvog i mokrog pređenja. Tehnikom mokrog pređenja mogu se dobiti fine pređe od konoplje, ali je sam postupak neisplativ zbog velikog utroška energije prilikom upotrebe tople vode, operacije sušenja i otežanih uslova pređenja zbog habanja pređe o delove mašina. Zato se suvi postupak pređenja konopljinih vlakana, sa naknadnim parenjem, smatra produktivnijom tehnologijom, kojom se uspešno dobija pređa uravnotežene strukture sa odličnim mehaničkim svojstvima. U poređenju sa sistemima pređenja pamuka i vune tradicionalni sistem pređenja lana i konoplje je skuplji uz veliki utrošak radne snage (Stanković 2008; Vandepitte i sar. 2020). Rotorskim pređenjem moguće je dobiti predivo finoće 50 tex-a od 100% konoplje, a za finija prediva neophodna je mešavina sa pamukom, viskozom ili liocelom. S tim u vezi i mašine za pređenje nisu sasvim prilagođene vlaknima konoplje, pa je cena prediva od konoplje 50 puta veća od pamučnih pređa (Kramer 2017).

Danas više od 30 zemalja uzgaja konoplju, a najveći proizvođač i izvoznik je Kina (Crini i sar. 2020). Prema FAO Stat-u (Food and agriculture data of Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2018. godine, kao vodeći proizvođači konoplje u svetu izdvajaju se i Kanada (proizvodna površina od 555.853 ha), Severna Koreja (21.247 ha) i Francuska (12.900 ha) (Ahmed i sar. 2022). Globalna upotreba konopljinih vlakana za tekstil iznosi manje od 1% sa ukupnom proizvodnjom od oko 69.000 tona (Kramer 2017). Interesovanje Evropskih uzgajivača konoplje sa godinama raste, a trenutno oko 50% svetske proizvodnje konopljinih vlakana koncentrisano je u Francuskoj (Bourmauda i sar. 2019). U EU dozvoljeno je gajenje sorti industrijske konoplje sa sadržajem THC do 0,2% u suvoj masi, u Kanadi je ograničenje do 0,3%, a u Švajcarskoj je čak i do 1% THC. Uzgoj industrijske konoplje i danas je ilegalno u većini delova SAD (Rijavec i sar. 2017).

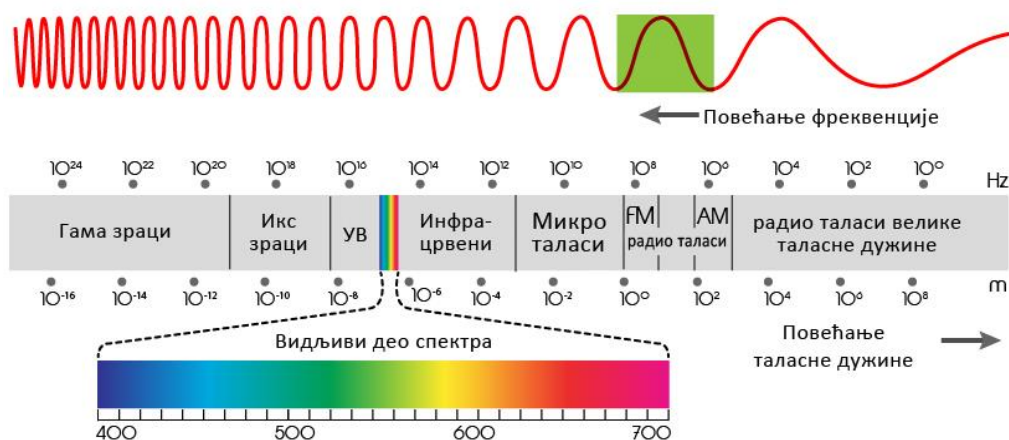
3. UV ZAŠTITNA SVOJSTVA TEKSTILNIH MATERIJALA I ODEĆE

3.1. UV zračenje

U Sunčevom jezgru odigravaju se termonuklearne reakcije (nuklearna fuzija, tj. pretvaranje vodonika u helijum) zbog kojih se u njemu generiše ogromna količina energije. Ova energija se sa Sunčeve površine prenosi u vidu svetlosti i toplote procesima poznatim i kao zračenje ili radijacija (Pešović i sar. 2012). Svetlost ima prirodu elektromagnetnog talasnog kretanja zbog koga se energija Sunca oslobađa i prostire kroz bezvazdušni prostor (vakuum) i dolazeći do Zemlje donosi energiju koja omogućava funkcionalnost svih živih organizama na njoj (Polkinghorne 2017; Krtsić 2020).

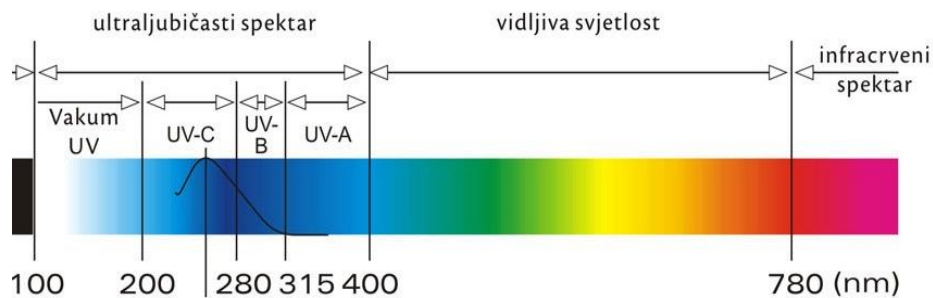
Elektromagnetno (EM) zračenje predstavlja prenošenje energije kroz nematerijalnu sredinu u vidu skupa talasa ili energetskih čestica (fotona sa kvantnom energijom) koje prenosi kroz prostor sa oscilujućim električnim i magnetnim poljem (Krtsić 2020). Energija elektromagnetnih talasa i fotona, koji se emituju EM zračenjem, direktno je vezana za talasnu dužinu (λ , nm) i frekvenciju (f , Hz) talasa. Zraci manje talasne dužine imaju veću energiju i frekvenciju, i obrnuto. Talasne dužine elektromagnetnih talasa kreću se od 0,01 nm do 10.000 nm, prema čemu je napravljena osnovna podela prema jačini u energiji Sunčevog zračenja, kao što je ilustrovano na slici 3.1, na:

- gama (γ),
- rendgensko ili iks (X),
- ultraljubičasto (UV),
- vidljivo (VIS) i
- infracrveno (IR) zračenje;
- mikrotalasi i
- radio talasi (Amidžić i sar. 2007).



Slika 3.1. Vrste sunčevog zračenja u svim delovima EM spektra (URL 8)

Intenzitet Sunčevog EM zračenja je najzastupljeniji u optičkom delu spektra (slika 3.2), koji čine infracrveno (56%), vidljivo (39%) i ultraljubičasto (5%) zračenje talasnih dužina u intervalu od 100 nm do 10.000 nm, zbog čega spadaju u grupu nejonizujućeg zračenja (Perić 2007; Malinović Milićević i Radovanović 2016). EM zračenje optičkog dela spektra do Zemljine površine (biosfere) dospeva u vidu zraka talasnih dužina u opsegu od 290 nm do 3.000 nm (zraci manjih talasnih dužina od 100 nm do 290 nm apsorbiraju se u ozonskom omotaču). Najveći intenzitet, odnosno količina zračenja pripada zracima talasne dužine od oko 500 nm (Kocić 2015). Osetljivost oka, kao prijemnika energije vidljive svetlosti, najveće je na svetlost talasne dužine od 555 nm (zeleno-žuta boja) (Kirić 2002).



Slika 3.2. Elektromagnetno zračenje u optičkom delu spektra (URL 9)

Poslednjih godina, zbog kontinuiranog uništavanja startosferskog ozonskog omotača, zbog prekomernog antropogenog uticaja, među civilizacijom prisutna je velika zabrinutost usled pojačanog sunčevog zračenja koje dolazi do Zemlje. Bez obzira na mali procenat UV zračenja, nevidljivih za ljudsko oko, koje dospeva do Zemljine površine (oko 5%), ono se smatra najopasnijim po ljudsko zdravlje (Verma i sar. 2024).

Ultraljubičasto zračenje ili radijacija (UVR engl. ultraviolet radiation) obuhvata EM zračenje sa talasnim dužinama između 100 i 400 nm, što je između X-zraka najvećih talasnih dužina (meko rendgensko zračenje) i vidljivog dela zračenja najmanjih talasnih dužina (ljubičastih zraka). Njih je otkrio 1801. godine nemački fizičar Johan Riter (engl. Johann Wilhelm Ritter), jer je došao do zaključka da se iza ljubičastog dela spektra vidljive svetlosti javljaju nevidljivi zraci, koji izazivaju fluorescenciju i fotoelektrični efekat (pretvaranje svetlosne energije u električnu). Prvobitno ih je nazvao „oksidujućii zraci” da bi naglasio njihovu hemijsku reaktivnost, a potom ih je nazvao „hemijski zraci” i taj se naziv održao do 19. veka. Tokom 1878. godine otkriven je efekat ovih zraka na sterilizaciju bakterija i dokazano je da su biološki najefikasniji zraci reda veličine 250 nm. 1960. godine dokazan je i njihov uticaj na dezoksiribonukleinsku kiselinu (DNK) (Vulević 2015), nakon čega im je i zvanično promenjen naziv u ultraljubičasti zraci, što znači „van ljubičastog”, od latinskog *ultra* – „van”, a „ljubičasto” označava deo vidljive svetlosti sa najmanjom talasnom dužinom, pored koje se ovi zraci nalaze (Kocić 2015).

Prema izvoru zračenja, UV zraci mogu biti:

- **prirodni** UV zraci čiji je jedini izvor Sunce, zbog čega su poznati i kao Solarni UV zraci. Na površinu Zemlje stiže samo UV zračenje talasnih dužina većih od 290 nm, dok se zračenje manjih talasnih dužina apsorbuje u atmosferi, posebno u sloju ozona (50 km iznad površine Zemlje) u stratosferi. Od celokupne energije Sunca, UV zračenju pripada oko 9%, a najveći deo tog zračenja pokriva oblast između 300 do 400 nm. Oko 14%, od celokupnog solarnog UV zračenja, pripada talasnim dužinama kraćim od 300 nm, čija je energija toliko jaka da kada bi dolazili do Zemlje mogli bi da unište sve postojeće oblike života na njoj (Vulević 2015); i

- **veštački** izvori UV zračenja, kao što su lampe i fluorescentne cevi koje se koriste u biologiji, medicini i kozmetici. Aparati koji se koriste za sterilizaciju (vazduha, vode, predmeta), lampe za fototerapiju, solarijumi, reklamna svetla, zagrejeni izvori i izvori sa električnim pražnjenjem kroz gasove, takođe su veštački izvori UV radijacije (Jugović i Pecarski 2009; Hrnjak i Živković 2002;). Veštački izvori UV zračenja su opasniji od prirodnog zbog veće koncentracije tj. količine zračenja koja od njih može da se „primi” jednokratno na određenim površinama.

Kao i kod drugih vrsta zračenja što je talasna dužina manja veća je energija zraka, te se UV zraci prema jačini i biološkom dejstvu koje imaju na žive organizme, iz Međunarodne komisije za osvetljenje (CIE, engl. Commission Internationale de l’Eclairage, No. 69), dele na tri oblasti zračenja:

- **UVC** ili kratkotalasno (100 - 280 nm),
- **UVB** ili srednjetalasno (280 – 315 nm) i
- **UVA** ili dugotalasno (315 – 400 nm)

Postoje i drugi načini klasifikacije UV zraka, zavisno od naučne discipline koja ih proučava, kao na primer podele prema:

- biološkom dejstvu na žive organizme, odnosno prema dubini prodiranja u kožu i promenama koje izazivaju u organizmu:

- UVC (180 – 290 nm),
- UVB (290 – 320 nm) i
- UVA (320 – 400 nm);

- hemijском dejstvu tj. prema vrsti reakcija koje se odigravaju usled njihovog delovanja:

- zračenje u oblasti talasnih dužina od 175 – 220 nm (zračenje zahvaljujući kome se u stratosferi formira ozon),
- zračenje u oblasti talasnih dužina od 220 – 300 nm (zračenje koje ima germicidno dejstvo) i
- zračenje u oblasti talasnih dužina od 281 – 320 nm (zračenje koje ima najjače dejstvo na kožu i naziva se eritemalna oblast);

- spektroskopiji, disciplini koja proučava odnos međudejstva EM zračenja i materije:

- Daleku (ili vakuumsku, skr. FUV ili VUV) oblast UV zračenja od 200 nm do 300 nm i
- Blisku oblast („tamno svetlo“, skr. NUV) koja obuhvata interval talasnih dužina od 300 nm do 400 nm.

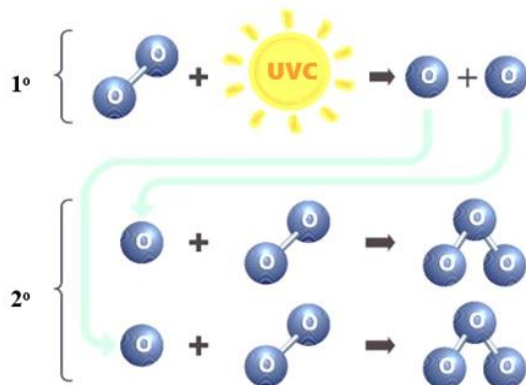
U međunarodnom standardu za određivanje Sunčevog zračenja (ISO 21348) definisana je podela UV zračenja prema talasnoj dužini i energiji fotona, prikazana u tabeli 3.1. Međutim, klasifikacija koja je definisana deklaracijom CIE je najprihvatljivija i najviše se primenjuje kod većine naučnih disciplina (Kocić 2013; Babić i sar. 2016).

Tabela 3.1. EM spektar UV zračenja (Babić i sar. 2016)

Naziv	Skraćenica	Talasna dužina (nm)	Energija po fotonu (eV)
Ultraljubičasto A (crno svetlo)	UVA	400-315	3,10-3,94
Blisko UV	NUV	400-300	3,10-4,13
Ultraljubičasto B	UVB	315-280	3,94-4,43
Srednje UV	MUV	300-200	4,13-6,20
Ultraljubičasto C (antimikrobno svetlo)	UVC	280-100	4,43-12,4
Daleko UV zračenje	FUV	200-122	6,20-10,2
Vakumsko UV zračenje	VUV	200-100	6,20-12,4
Duboko UV zračenje	LUV	100-88	12,4-14,1
Super UV zračenje	SUV	150-10	8,28-124
Ekstremno UV zračenje	EUV	121-10	10,2-124

UV zračenje je zbog velike energije fotona, u odnosu na ostale vrste optičkog zračenja, biološki najaktivnije i najopasnije po organski materijal živih vrsta (Mamnicka i Czajkowski 2012). UVC zračenje se odlikuje najmanjom talasnom dužinom i najvećom energijom, zbog čega je karakteristično po svom germicidnom, baktericidnom i virusicidnom dejstvu. Smatra se najopasnijim po ljudsko zdravlje, jer može direktno da deluje na genetski materijal i dovode do neželjenih efekata na nivou ćelije, što se kod ljudi manifestuje pojavom opekotina na koži i kancerogenih oboljenja. UVC zraci čije su talasne dužine manje od 180 nm nemaju biloški efekat, jer se u potpunosti apsorbuju u vazduhu, zbog čega se nazivaju vakuumsko UV zračenje (Vulević 2015). UVC zračenje je prisutno samo iz veštačkih izvora, jer se prirodno UVC zračenje apsorbuje i filtrira u ozonskom omotaču i ne stiže do Zemljine površine (Verma i sar. 2024). Zbog toga solarno UVC zračenje ne predstavlja faktor

rizika po ljudsko zdravlje (Rahman i sar. 2022). UVC zraci su odgovorni za nastanak ozonskog omotača, tako što tokom hemijske reakcije i procesa u kojim su uključeni UV zraci i molekuli kiseonika nastaju molekuli ozona, što je ilustrovano na slici 3.3. U prvom koraku (slika 3.3, 1^o) UVC zraci razbijaju molekule kiseonika (O₂) i tom reakcijom se dobijaju dva odvojena atoma kiseonika (2O). U drugom koraku ovog procesa (slika 3.3, 2^o), atomi kiseonika se spajaju sa po jednim molekulom kiseonika i formiraju molekule ozona (O₃) (Fahey 2006).



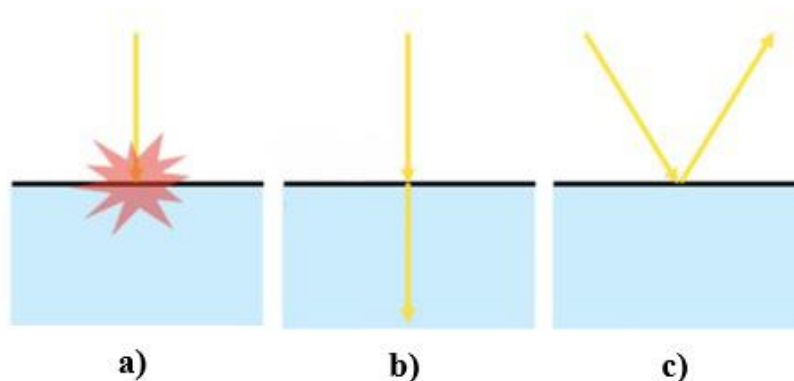
Slika 3.3. Reakcija sunčevih UVC zraka i kiseonika u cilju nastajana molekula ozona u ozonskom omotaču (Fahey 2006)

UVB zračenje ima manju energiju od UVC zračenja zbog čega ne može da učestvuje u procesu stvaranja ozonskog omotača, ali se zato u velikoj meri apsorbuje u njemu. Ipak jedan deo (3,35% od celokupnog UVR i 0,1% od celokupnog Sunčevog zračenja) UVB zračenja stiže do površine Zemlje. UVB zračenje ima najizraženiji biološki efekat na organizam, pa zato zbog visoke energije svojih fotona može da ima i destruktivno dejstvo na biološki svet (Najdanović 2013; Perić 2007). Energija UVB zraka je dovoljna da bi aktivirala niz fotohemijskih reakcija u organizmu, koje mogu da uzrokuju oštećenje tkiva kože i očiju, crvenilo (eritem, eng. erythema) i opekotine (Vulević 2015). Hronično izlaganje dovodi do prevremenog starenja kože, oštećenja oka u vidu katarakte i oštećenja mrežnjače, oštećenja DNK i razvoja različitih oblika kancera kože (Sarkar 2007; Kocić 2015; Verma i sar. 2024; Kibria i sar. 2022; Laing i sar. 2006).

UVA zračenje ima najmanju energiju i za razliku od prethodna dva tipa UV zračenja ono nesmetano stiže do Zemlje. Ono predstavlja 4,9% od ukupne sunčeve energije koja dospeva do površine zemlje, ili čak 96,65% od ukupnog UV zračenja. UVA zračenje ima najmanji biološki efekat na žive organizme, ali nije potpuno bezbedno prilikom dužeg izlaganja većem intenzitetu ovog zračenja. U medicini UVA zračenje je našlo široku primenu naročito u terapijske i dijagnostičke svrhe. U terapijske svrhe, poznata je primena hemijskog dejstva UVA zraka (talasnih dužina od 350 do 345 nm), zbog sposobnosti da stimuliše sintezu vitamina D iz njegovog provitamina, ali i u terapijama kod rahitisa, za formiranje pigmentata, kao i u helioterapiji. U cilju dijagnostikovanja UVA zraci (talasnih dužina od 345 do 400 nm) se uspešno koriste zbog svoje sposobnosti da stimuliše fluorescenciju u pojedinim materijalima, koje tada počinju da emituju vidljivo zračenje. Zbog ovog fenomena UVA zraci se često nazivaju „tamno svetlo”. Koristi se u fluorescentnoj mikroskopiji, fluorescentnoj fotografiji, kao i pri mikroskopskim identifikacijama različitih materija (Perić 2007). UVA zračenje ima sposobnost da dublje prodire u kožu od UVB zračenja, čime smanjuje imunološki odgovor ćelija kože, što dovodi do prevremenog starenja kože, ali i drugih štetnih efekata (Kocić 2015; Verma i sar. 2024).

Energija ili upadno svetlo UV zraka tokom dolaska do površine Zemlje, razlaže se kroz tri forme interakcije sa atmosferom i dodirnim površinama (živa i neživa priroda, objekti), a to su (slika 3.4.):

- **apsorpcija** (difuzija) – upijanje tj. zadržavanje zraka od strane dodirne površine,
- **transmisija** (direktno prolaženje) – prolaženje zraka kroz dodirnu površinu i
- **refleksija** (rasipanje, odbijanje) – promena pravca zraka pri kontaktu sa površinom.



Slika 3.4. Interakcija UV zraka o dodirnu površinu:
a) apsorpcija; b) transmisija; c) refleksija (URL 10)

UV zraci na svom putu kroz atmosferu dolaze u kontakt sa različitim molekulima i aerosolima sa kojima razmenjuju energiju. Ova interakcija zavisi od talasne dužine i upadne energije UV zraka, kao i od prirode molekula na koji dolazi energija i njegovog fizičkog i hemijskog stanja. Intenzitet i količina UVR koja dospeva do Zemljine površine takođe zavisi i od godišnjeg doba, doba dana, geografske širine i nadmorske visine. Npr, oblačnost u nekim slučajevima može da umanjuje ukupnu količinu UVR za 50%, a ponekad može i da propusti do 90% UVR. Takođe, na svakih 1.500 m nadmorske visine UVR se povećava za oko 20%. Pogrešno je mišljenje da je obezbeđena zaštita od UVR u hladu, npr ispod suncobrana ili tende, jer UV zraci mogu da se reflektuju o površine kao što je voda (5%), pesak (17%), trava (3%), sneg i led (80%). Osim toga, UV zraci mogu i da se transmituju kroz vodu, staklo i ostale materijale (Tomljenović i sar. 2008; Kocić 2013; Kocić 2015).

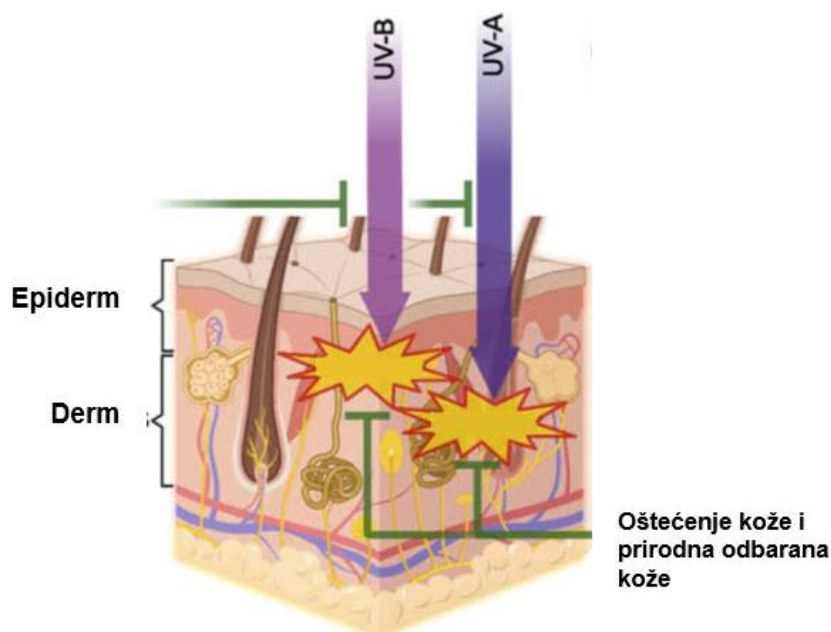
Kada je u pitanju interakcija UV zraka sa kožom dolazi do veoma složenih reakcija. Najpre, fotoni UV zraka interaguju sa biološkim makromolekulima u površinskom sloju kože, poznatom kao epiderm ili epidermis, istim fizičkim procesima kao kada dođu u dodir sa drugim površinama, apsorpcijom, refleksijom ili transmisijom. Od ovih fizičkih procesa zavisi na koji način će UV zračenje delovati na kožu, ali veliki uticaj na interakciju između kože i UVR ima i tip kože.

Kada se deo upadanog zračenja reflektuje o kožu (oko 5%), dolazi do procesa pri kome se menja smer kretanja zračenja, odnosno dolazi do odbijanja zraka o kožu, bez razmene energije. Preostali deo zračenja obično prodire u epiderm i manjim delom se difuzno rasejava na biološke makromolekule i procesom reemisije jednim delom „napušta” kožu, a drugim većinskim delom se apsorbuje (direktno ili posle višestrukih procesa difuznog rasejavanja) u kožu. Rasejavanje je proces pri kome se razmenjuje energija između fotona UV zraka i tkiva (ćelija) kože, tako što foton gubi deo svoje energije predajući je ćeliji. Prilikom procesa rasejavanja UV zraci zbog gubitka energije menjaju pravac kretanja, i tada se najveća energija utroši na zagrevanje kože. Rasejavanje UV zraka se najčešće ponavlja dok foton u potpunosti ne izgubi svoju energiju, odnosno dok se ne apsorbuje ili ne napusti epiderm promenom pravca kretanja prema površinskom delu kože tj. van kože ili u dublje slojeve kože (derm).

Apsorpcija zračenja je početna i uslovna reakcija svake fotohemijske reakcije. Do apsorpcije UV zračenja može doći u bilo kom sloju kože, ali samo u prisustvu određenih molekula, tzv. hromofora.

Od koncentracije i raspodele molekula hromofora u slojevima kože, zavisi intenzitet i tok svih reakcija između kože i UV zračenja. Svaki molekul hromofora apsorbuje različite UV zrake različitih talasnih dužina. Tako najveći deo UVB zračenja apsorbuju hromofore raspoređene u epidermu, kao što su: amino-kiseline, DNK, proteini (npr. keratin), pigmenti (melanin), urokanska kiselina, holesterol i dr. Kod svih nabrojanih molekula, osim u slučaju pigmenta melanina, apsorpciona efikasnost naglo opada sa povećanjem talasne dužine UV zraka, sa malom ili nikakvom apsorpcijom zračenja iz UVA spektra. Melanin u epidermu predstavlja glavnu hromoforu i ima sposobnost da apsorbuje zračenje talasne dužine od 350-1200 nm. Urokanska kiselina, poznata i kao urocaninska kiselina, ima važnu ulogu u metaboličnim procesima kože, kao i antimikrobna i antioksidativna svojstva koja su zaslužna za zaštitu od slobodnih radikala, regulaciju pH vrednosti kože i ulogu prirodne barijere od UV zraka. Ona predstavlja glavnu hromoforu površinskog sloja epiderma i apsorbuje UV zrake talasnih dužina od 240-300 nm. U slučaju da se proces apsorpcije nastavi u dubljim slojevima kože, u bazalnom delu epiderma, gde se nalaze „žive” ćelije, povećava se rizik od fotohemijskih reakcija koje mogu da dovedu do pojave neželjenih efekata dejstava UV zraka po zdravlje kože. Zbog toga je zaštitni sloj kože raspoređen u površinskom sloju koji je izgrađen od izumrelih ćelija, jer je dalje u unutrašnjim slojevima mogućnost kože da se „brani” otežana.

Prodoranjem UV zraka u dublje slojeve, prema dermu, započinje proces transmisije (propuštanja) zračenja. Na količinu transmitovanog ili propuštenog zračenja kroz kožu utiču brojni faktori, kao što su broj slojeva ćelija i količina melanina u epidermu, ali i kolika je talasna dužina UV zraka. Dubina penetracije i biološka aktivnost UV zraka kroz kožu direktno je proporcionalna njihovoj talasnoj dužini. Što je veća talasna dužina penetracija zraka je dublja i zračenje je štetnije za kožu. Zbog toga koža zaustavlja i upija oko 90% UVB zraka u svom površinskom sloju (komponente epidermalnih ćelija, npr. proteini ili DNK), a 20-30% UVA zraka prodire u dublje slojeve kože (Kocić 2015). Drugim rečima, zraci manje talasne dužine imaju i mogućnost za manju dubinu prodiranja, odnosno koža znatno manje propušta UVB zrake od UVA zraka. UVB zraci mogu da se transmituju do epiderma, gde i ispoljavaju svoje biološko dejstvo, dok UVA mogu da prodiru kroz epiderm dublje do derma, kao što je prikazano na slici 3.5. (Perić 2007).



Slika 3.5. Penetracija UVB i UVA zraka u kožu (Verma i sar. 2024)

Energija UVA zraka je nedovoljna da izazove promene u površinskim slojevima kože, ali zato nesmetano dostiže do bazalnog sloja epiderma i do dermalnih fibroblasta u kojima može da izazove oštećenje makromolekula. Zbog UVA zračenja dolazi do tamnjenja koje ustvari predstavlja prirodni odbrambeni mehanizam kože. To je proces u kome se aktiviraju melanocite (ćelije smeštene u epidermu) koje generišu smeđi pigment (melanin) pod uticajem fotona UVA zračenja. Melanin iz kože oksidacijom (vezivanje molekula kiseonika) apsorbuje UVA zrake i raspršuju energiju kao bezopasnu toplotu, blokirajući UVA zračenje da ne bi došlo do oštećenja kožnog tkiva, tada pigment postaje tamnije braon boje (Kocić 2013; Verma i sar. 2024; Dobnik Dubrovski 2010; Krutmann i sar. 2021).

Kada UVB zraci prolaze kroz kožu dolazi do brzih reakcija u kojima se sudaraju ogroman broj fotona zraka i molekula iz kože, prilikom kojih fotoni predaju svoju energiju molekulima i na taj način dolazi do raskidanja molekulskih veza i promena u hemijskom sastavu kože na mestima gde se sudar odigrao. Ove promene molekula su neželjene i praćene su bolnim opekotinama na površini kože, koje posle prestanka zračenja i nakon nekoliko dana nestaju sa površine, ali promene koje su nastale u unutrašnjosti kože ostaju trajne. Fotoni UVB zraka mogu da „pogode” i oštete osnovni gradivni element – DNK molekule u ćelijama, zbog čega dolazi do promena u njegovoj strukturi i trajnog oštećenja genoma. Interakcija između fotona UVB zraka i DNK lanca, najpre dovodi do kidanja vodoničnih veza u DNK lancu (slika 3.6.) i izmene u redosledu parova, tj nastaju nove „šifre” za stvaranje novih ćelija, koje nastavljaju da se dele, ali ne na uobičajen, ispravan način i kao takve mogu da postanu opasne za okolne ćelije, ali i za čitav organizam. Ove promene su nakon hroničnog izlaganja UVR toliko velike da postojeći prirodni mehanizmi za odbranu kože nisu dovoljni da „poprave” ćeliju, jer se oštećenje akumulira iz godine u godinu dok se ne izmeni proizvodnja DNK melanocite. Zbog toga nastaju mutirane ćelije u koži koje se proširuju u susedne oblasti i započinju obrazovanje kancerogenog tkiva, tj. nastanka pojedinih vrsta raka kože (Kocić 2013; Dobnik Dubrovski 2010).



Slika 3.6. Ilustracija prekida DNK lanca pod uticajem UV zračenja (URL 11)

Učestalost karcinoma kože zadobija epidemiološke razmere, zbog čega se svake godine povećava broj zabeleženih smrtnih slučajeva, a smatra se da je jedan od glavnih razloga za to prekomerno izlaganje UV zračenju. Najčešći karcinomi su kancer bazalnih ćelija ili bazocelularni (BCC) i proćastih ćelija (SCC), poznati kao ne-melanonski karcinomi kože (NMSC), koji se jedino mogu zaustaviti hirurškom intervencijom. Oblik BCC tumora kod bele populacije 2017. godine zabeleženi su sa incidencom od 7,7 miliona slučajeva širom sveta. Najopasniji i najsmrtonosniji karcinom kože

je melanom (maligni tumor pigmentnih ćelija kože) koga karakteriše agresivni lokalni rast i metastaze, zbog čega je u 75% slučajeva smrtonosan. Najviša incidencija melanoma u svetu je u Australiji i Novom Zelandu, više od dva puta veća nego u Severnoj Americi, ili 5 puta veća nego u Evropi. Na primer, u Australiji, 2012. godine, standardizovana stopa incidence bila je 62,7 za muškarce i 39,9 za žene, sa smrtnošću od 8,9 za muškarce i 3,5 za žene. Rak kože čini 80% svih novih slučajeva dijagnostikovanih karcinoma, što prema statistici ukazuje da će dva od tri Australijanaca dobiti dijagnozu raka kože do sedamdesete godine. Na svakih sat vremena jedna osoba završi borbu sa melanomom kože smrtnim ishodom, a globalno se svake godine javlja više od 2 miliona nemelanomskih karcinoma kože i 300.000 melanomskih karcinoma kože prema Svetskoj zdravstvenoj organizaciji. Države sa visokom stopom melanoma su i Kanada i Norveška. Procenjuje se da će se rizik od razvoja SCC i BCC utrostručiti kroz pet i više godina naročito prilikom hroničnog izlaganja UVR (Wong i sar. 2013; Grifoni i sar. 2020; Tarbuk i sar. 2016; Sarkar 2005; Boothby-Shoemaker i sar. 2022).

Osim ozbiljnih negativnih efekata koje UV zračenje može da izazove po zdravlje, važno je naglasiti i povoljan uticaj dejstva UV zraka na kožu prilikom umerene i kontrolisane izloženosti. Usled delovanja UVR u koži se obezbeđuje do 90% potreba za vitaminom D, koji je neophodan za razvoj i zdravlje kostiju, jer sprečava osteoporozi i prelome, ali njegova uloga je takođe važna i za očuvanje zdravlja kardiovaskularnog sistema, autoimunog stanja i spečavanja nastanka karcinoma (Lhilali i sar. 2023; Kannan i Lim 2014; Wilson 2014-a). Pozitivan učinak dejstva UV zračenja na kožu je upravo ovaj gde se odvija konverzija provitamina D u njegov vitamin D₃, kao i aktivacija zaštitnih mehanizama kože od dejstva UVR zadebljanjem površinskog sloja kože (epiderma), aktiviranje procesa melanogeneze i sinteze melanina, kao i terapijsko dejstvo u lečenju psorijaze i ekcema (Perić 2007).

Kapacitet zaštite kože od UVR je ograničen, pa zbog toga jedina opasnost po kožu moguća usled prekomernog izlaganja UVR koje tada izaziva ireverzibilne promene kože, koje dovode do narušavanja njenog zdravlja i izgleda (Malinović Milićević i Radovanović 2016; Kibria i sar. 2022; Wilson i sar. 2013). Ekstremno izlaganje UVR najviše je prisutno kod dugotrajnog profesionalnog ili rekreativnog boravka na otvorenom prostoru. Oko 80% izloženosti sunčevom zračenju, u toku čitavog života, odigrava se u toku kratkotrajnog izlaganja, bez namere da se potamni, pri kome se takođe posledice izlaganja zračenju akumuliraju u vidu promena na molekularnom nivou u koži koje su kumulativne i nepovratne (Kocić 2015). Veruje se da se u detinjstvu i adolescenciji 80% UVR apsorbuje u koži, dok se preostalih 20% apsorbuje kasnije u životu (Tarbuk i sar. 2016).

3.2. UV zaštita

Zaštiti od štetnog uticaja UV zračenja s godinama se sve ozbiljnije pristupa, jer je najbolja zaštita koju pruža ozonski omotač sve slabija. Ozonski omotač, koji predstavlja prirodni štiti Zemljine atmosfere, blokira štetno zračenje koje neprekidno dolazi od Sunca, ali omogućava prolaz ostalim vrstama zračenja koja su neophodna za normalan razvoj života na Zemlji. Ozonski omotač je sačinjen od gustog, koncentrovanog sloja molekula ozona u stratosferi, smešten oko 10-50 km iznad površine Zemlje (Rehman i sar. 2022). Iako ozonski omotač čini veoma mali deo naše gornje atmosfere tj. stratosfere, njegovo prisustvo je idalje od vitalnog značaja za ljudsko blagostanje. Oko 90% atmosferskog ozona se nalazi u ozonskom omotaču čija je uloga da apsorbuje štetne (UVC i UVB) zrake po organski svet na Zemlji. Najintenzivniji gubitak ozona redovno se uočava u proleće iznad Antarktika, koji je obično naziva „ozonska rupa” da bi ukazao na veliko lokalizovano uništenje ozonskog omotača. Smanjenje ozonskog sloja takođe je primećeno i nad drugim regionima poput Arktika, Australije, severnih i srednjih geografskih širina.

Posle otkrića da pojedina hemijska jedinjenja (u obliku gasova), koja dolaze sa Zemljine površine, imaju veliki uticaj na uništavanje stratosferskog ozonskog sloja pristupljeno je veoma posvećenom analaiziranju ovog ekološkog problema. Istraživači iz različitih naučnih oblasti usredsredili su se na bolje razumevanje pretnje po ozonski omotač i uspešno su „detektovali” hemijska jedinjenja usled

čijeg povećanja u atmosferi dolazi do uništavanja molekula ozona, o kojima je bilo reči u uvodnom delu. Na osnovu ovih istraživanja omogućeno je laboratorijsko karakterisanje reakcija koje su uključene u uništavanje molekula ozona i na osnovu računskih modela mogu se dobiti informacije kojima je omogućeno predviđanje toka stanjivanja ozonskog omotača u budućnosti, ukoliko se nastavi sa upotrebom određenih hemikalija (Fahey 2006). Republika Srbija je u okviru „Zakona o zaštiti vazduha” i „Uredbom o postupanju sa supstancama koje oštećuju ozonski omotač, kao i o uslovima za izdavanje dozvola za uvoz i izvoz tih supstanci” definisala sva hemijska jedinjenja, koja se koriste u procesnim i transportnim industrijama, zbog kojih dolazi do uništavanja molekula ozona u stratosferi ("Službeni glasnik RS", br. 114/2013).

Naučni dokazi ukazuju da se sa smanjenjem debljine ozonskog omotača za 1% stopa karcinoma kože i očiju raste za 2-3% (Alam i sar. 2021). Zbog ozbiljnosti globalnog problema koji predstavlja iscrpljivanje ozonskog omotača nastalo je Montrealski protokol Ujedinjenih Nacija (1987. godine) koji služi kao sredstvo za njegovo rešavanje. Zahvaljujući Montrealskom protokolu, koji se iznova usavršava i dopunjuje, mnogim proizvodnim industrijama ponuđeno je rešenje u vidu tzv. „ozone-friendly” hemikalija, koje predstavljaju alternativu za uobičajeno korišćena hemijska jedinjenja koja dovode do narušavanja ozonskog omotača. Veruje se da će poštovanjem ovog protokola, od strane industrija širom sveta, biti smanjenja akumulacija gasova koji uništavaju ozon i da će doći do njegovog oporavka do kraja 21. veka (Fahey 2006).

Nažalost, praznjenje ozonskog omotača s godinama postaje veće, što direktno uslovljava povećan intenzitet štetnog UV zračenja koje stiže do Zemljine površine (Campos Payá i sar. 2015). Zbog toga se javnost sve češće upozorava na mere zaštite od UV zračenja i prevenciju zdravstvenih tegoba koje može da izazove. Ljudski organizam nije u stanju da registruje UV zračenje direktno preko svojih čula, kao u slučaju infracrvenog zračenja koje receptori kože registruju kao toplotu, ili vidljivog zračenja koje se registruje preko čula vida (Perić 2007). S obzirom da se čulnim organima ne registruje UV zračenje, neophodno je korišćenje mernih instrumenata da bi se izmerio intenzitet sunčevog UVR.

Svetska meteorološka organizacija (WMO, engl. World Meteorological Organization) i WHO, 1994. godine, usvojile su internacionalnu jedinicu za merenje intenziteta UV zračenja tzv. UV indeks (UVI) (Thanh Thao i sar. 2022). UV indeksom se meri nivo UV zračenja na Zemlji, prema sledećoj relaciji:

$$UVI = k_{er} \int_{280nm}^{400nm} E(\lambda) S_{er}(\lambda) d\lambda \quad (3.1)$$

gde je prema $E(\lambda)$ [W/m^2nm] – solarno zračenje na ravnoj površini, za talasnu dužinu λ ; $d\lambda$ - talasna dužina i interval talasne dužine, k_{er} je jednako 40 [m^2/W]; $S_{er}(\lambda)$ - različit eritermalni efekat prema CIE (1987) u odnosu na talasnu dužinu UV zraka (Rehman i sar. 2022).

UV indeks se definiše kao intenzitet zračenja od 25 mW/m^2 , uzimajući u obzir biološki aktivan spektar UV zraka talasnih dužina do 400 nm. Prema tome, intenzitetu UV zračenja od 25 mW/m^2 odgovara vrednost od 1 UV Indeksa, dok intenzitetu zračenja od 250 mW/m^2 odgovara vrednost od 10 UVI (Perić 2007). Prema WHO napravljena je podela intenziteta UV zračenja izražena kroz pet različitih nivoa UV indeksa, kao i preporučene mere zaštite, prikazane su tabeli 3.2. (Kocić 2015). Vrednosti UV indeksa se kreću od nule pa naviše, pri čemu veće vrednosti ukazuju na štetnije dejstvo UV zračenja na kožu i oči, usled njegovog povećanog intenziteta. Efekti UV zračenja su kumulativni, što znači da je pored intenziteta zračenja, važna i dugotrajnost izlaganja zračenju.

Tabela 3.2. UV indeks i preporučene mere zaštite (Kocić 2015)

UVI	Opis	Medijska boja	Preporučena zaštita
0-2	Niska opasnost	Zeleno	Sunčane naočare. Ukoliko je prisutan sneg – zaštitna krema, jer sneg reflektuje veliki deo UV zračenja. Povećana opreznost za ljude sa osetljivom kožom.
3-5	Srednji rizik	Žuto	Sunčane naočare i zaštitne kreme, pokrivanje tela tekstilnim materijalima, korišćenje kape i šešira. Tokom podneva izbegavanje direktnoj izloženosti UV zračenju, npr. boravak u hladu.
6-7	Visok rizik	Narandžasto	Sunčane naočare, krema za zaštitu od UV zraka sa SPF 15 ili više, pokrivanje tela tekstilnim materijalima, korišćenje kape i šešira sa širokim obodom i izbegavanje izlaganja UV zračenju u predioru između 11:00 i 16:00 časova.
8-10	Vrlo visok rizik	Tamno crveno	Primena prethodnih mera zaštite, ali uz dodatnu pažnju – nezaštićena koža će posle kratkog izlaganja UV zračenju da pocrveni.
11+	Ekstremni rizik	Ljubičasto	U slučaju da nije moguće potpuno izbegavanje UV zračenju u periodu između 11:00 i 16:00 časova, koristiti sve prethodno nabrojane mere zaštite uz povećanu opreznost.

Uvođenje internacionalne UVI jedinice je prilagođeno javnosti radi lakšeg prihvatanja i razumevanja. Vrednost UVI se trenutno objavljuje i prognoziraju u okviru meteoroloških izveštaja što pomaže u primeni zaštitnih mera protiv štetnog dejstva UV zračenja u određeno vreme i na pojedinim lokacijama. UV indeks zavisi od doba dana, geografske dužine i širine, godišnjeg doba, ozonskog omotača i oblačnosti, ali i o od reflektovanja zraka o npr sneg ili pesak. Na geografskim širinama blizu ekvatora vrednosti UVI su vrlo visoke i ekstremne (Aguilera i sar. 2023). Dok u južnoj i istočnoj Evropi, tokom letnjih meseci, UVI dostiže visoke vrednosti kao što je slučaj na Novom Zelandu i Australiji, gde UVI najviši na svetu (Laperre and Gambichler 2003).

Epidemiolozi i dermatolozi preporučuju izbegavanje izlaganja sunčevom zračenju kada je UVI veći od 3 bez adekvatnih mera zaštite (Wilson i sar. 2013). Ukoliko nije moguće potpuno izbegavanje izlaganja sunčevog UVR prilikom visokih vrednosti UVI, WHO preporučuje mere zaštite u vidu korišćenja krema za sunčanje, zaštitnih naočara, šešira i zaštitnih odevnih predmeta, kao što je prikazano u tabeli 3.2. (Hustvedt i Cox Crews 2005; Aguilera i sar. 2023).

Kozmetički preparati, poput losiona i krema namenjenih za zaštitu kože od sunčevog UVR definisani su SPF faktorom (engl. Sun Protection Factor), naočare EPF faktorom (engl. Eye Protection Factor), a tekstilni materijali se najčešće karakterišu UPF vrednostima (engl. Ultraviolet Protection Factor) (Scott 2005; Dobnik Dubrovski 2010). UPF su analogne SPF vrednostima, iako se računaju na različite načine, pa se zato u zavisnosti od metode testiranja SPF vrednosti koriste i za karakterisanje zaštitnih sposobnosti tekstilnih materijala (Doyon i sar. 2022; Wilson 2014-b). Njihove vrednosti su pokazatelj bezbednog vremenskog izlaganja UVR pre nego što dođe do crvenila na koži (Osterwalder i Herzog 2009; De i sar. 2005).

Najčešća strategija za zaštitu od štetnog uticaja UV zračenja po kožu, je primena kozmetičkih sredstva sa visokim SPF vrednostima. Ova sredstva obično sadrže neke od efikasnih molekularnih kompleksa koji su u stanju da apsorbuju ili reflektuju UV fotone, kao što su razni organski i neorganski filteri. Kozmetički preparati za sunčanje nisu praktični za upotrebu, jer da bi pružili

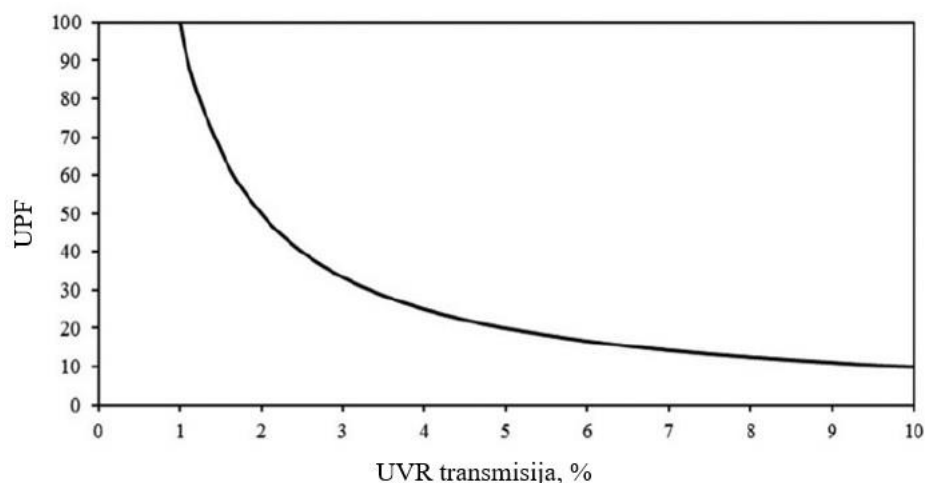
efikasnu zaštitu koži, moraju se koristiti u dovoljnoj količini i uz stalno ponovno apliciranje u skladu sa promenljivim uslovima sredine (uticaj temperature, vetra, vlažnosti i sl.). Uz to, imaju i brojne nedostatke jer neki blokiraju samo UVB zrake, a ne i UVA. Osim toga, mogu nepovoljno da utiču na kožu izazivajući alergijske reakcije i štetne efekte, pa čak i kancerogena oboljenja (Wang i sar. 2017; Rahman i sar. 2022; Martić i sar. 2018; Davids i sar. 1997). Prema medicinskim stručnjacima, kozmetički proizvodi za zaštitu od UVR moraju biti sigurni, hemijski inertni, neiritirajući, netoksični i otporni na svetlost, i da potpuno blokiraju transmisiju UV zraka kroz kožu, ali na tržištu je gotovo nemoguće naći UV zaštitni proizvod koji ispunjava nabrojane kriterijume (Kibria i sar. 2022).

Zbog brojnih nedostataka krema za sunčanje, odeća i tekstilni aksesoari su se pokazali kao najefikasnija zaštita od UVR. Za tu namenu, WHO preporučuje nošenje široke, gusto tkane odeće u punoj dužini sa visokim vrednostima UPF-a (Algaba i Riva 2002). Termin UPF je široko prihvaćen od strane industrije tekstila i odeće i implementiran je u nekoliko nacionalnih i internacionalnih standarda (Bauer 2020). UPF, kao pojam, prvi put je uveden i definisan 1995. godine u okviru standarda Australije/Novog Zelanda (AS/NZS 4399), kao brojčana vrednost dobijena instrumentalnim merenjem kojom se definiše moć tekstilnih površina da pruže zaštitu od UV zračenja. Što je vrednost UPF veća, bolja je zaštita koju tekstilni materijali pružaju od UV zračenja (Grifoni i sar. 2002). Brojčana vrednost UPF izražava procenat UVR transmisije kroz tekstilni materijal. Npr, tekstilni materijal ocenjen sa UPF 15 omogućava prolazak 1/15 UVR ($1/15=0,066$; $0,066 \cdot 100=6,6$; $100-6,6=93,4$), što znači da teorijski zaustavlja 93,4% prolaska efektivnog UVR (Doyon i sar. 2022). Ukoliko je materijal deklarisan sa UPF 50, to znači da kroz tekstilni materijal prolazi samo 2% zračenja ($1/50 = 0,02$, tj. $0,02 \cdot 100 \% = 2\%$). Drugim rečima, ukoliko se na koži izrazi vidljivo crvenilo tj. eritem nakon izlaganja UV zračenju u trajanju od 5 minuta, odeća sa UPF 50 pružiće to vreme na 5 minuta puta faktor zaštite ($5 \cdot 50=250$ min, tj. oko 4h) (Allen i Bain 2008). Prema prvobitnoj verziji standarda AS/NZS 4399 iz 1996. godine, UVR zaštitna odeća se kategorisala prema tabeli 3.3.

Tabela 3.3. UPF klasifikacija prema standardu AS/NZS 4399:1996 (AS/NZS 4399:1996)

UPF interval	UVR kategorija zaštite	Efektivna UVR transmisija, %	UPF ocene
15 – 24	Dobar	6,7-4,2	15, 20
25 – 39	Veoma dobar	4,1-2,6	25, 30, 35
40 – 50, 50+	Odličan	$\leq 2,5$	40, 45, 50, 50+

Na slici 3.7, na osnovu grafičkog prikaza, dat je odnos između transmisije UV zračenja kroz tekstilni materijal i očekivane UPF vrednosti. Transmisija UV zraka iznad 10 se ignoriše jer je UPF ispod onoga što se smatra dovoljnim za pružanje zaštite, a UPF vrednosti iznad 50 su takođe zanemarene, jer se prema standardu AS/NZS 4399, tekstilni materijali sa takvim vrednostima smatraju odličnom UV zaštitom (Bernhard i sar. 2021).



Slika 3.7. Odnos teorijske trnasmisije UVR i pripadajući faktor zaštite od UVR (UPF) (Bernhard i sar. 2021)

Prema standardu AS/NZS 4399 testiranje se vrši na novim, nerastegnutim i suvim tekstilnim materijalima. Zbog toga se često postavlja pitanje o pouzdanosti dobijenih rezultata, jer se ne uzima u obzir stanje tekstilnog materijla pri realnim uslovima prilikom nege i nošenja (sadržaj vlage, deformacije, promena konstrukcionih parametara), za koje se smatra da imaju veliki uticaj na dobijene UPF vrednosti (Wong i sar. 2015-a). Danas postoje dve verzije standarda AS/NZS 4399 i to AS/NZS 4399:2017 koji se odnosi na Novi Zelend i AS 4399:2020 koji je na snazi u Australiji, čiji je UPF sistem klasifikacije dat u tabeli 3.4.

Tabela 3.4. UPF klasifikacija prema standardu AS/NZS 4399:2017 i AS 4399:2020 (Boothby-Shoemaker i sar.2022)

UPF interval	UVR kategorija zaštite
15-29	Minimalan
30-49	Dobar
50+	Odličan

Unutar Australije, testiranje prema standardu AS 4399:2020 obavezno u laboratorijama koja su podržane od strane Australijske agencije za zaštitu od radijacije i nuklearnu bezbednost (ARPANSA, engl. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency), čiju oznaku odevni predmeti moraju da sadrže uz deklarisanu UPF vrednost. Revizija standarda iz 2017. godine isključila je odevne predmete koji nedovoljno pokrivaju telo iz kvalifikacije za ARPANSA oznaku, ali je zadržala specifične standarde pokrivenosti za šešire i rukavice. 2019. godine, australijska studija je otkrila da je više od polovine šešira u velikom tržnom centru sa priloženom UPF ocenom od 50+, od strane proizvođača, nije ispunilo zahteve ARPANSA standarda u pogledu dizajna ili UVR zaštitnih svojstava (Boothby-Shoemaker i sar. 2022; Allen i Bain 2008).

U Evropi prema standardu EN 13758-2, kao i u AS/NZS, tekstilni materijali se klasifikuju u tri kategorije (tabela 3.5.). UPF vrednost 40+ ukazuje na sposobnost tekstilnog materijala da „propusti”

1/40 tj. oko 2,5% UV zraka, što se smatra odličnom UV zaštitom, pa je zato generalno prihvaćeno da piktogram 40+ nose svi materijali bilo da je UPF 40 ili mnogo veći. Prema ovom standardu samo tekstilni materijali sa UPF vrednostima većim od 30 mogu da se označe kao UV zaštitni materijali. Npr. UPF 25 pokazuje da kroz tekstilni materijal prolazi 1/25 tj. oko 4% UVR što, prema uslovima ovog standarda, ne obezbeđuje dovoljnu UV zaštitu i na takvim materijalima ne može da stoji UPF piktogram (EN 13758-1:2002; EN 13758-2:2003; Stanković i sar. 2009; Abhijit i sar. 2010).

Tabela 3.5. UPF klasifikacija prema standardu EN 13758-2:2003 (EN 13758-2:2003)

UPF interval	UVR kategorija zaštite	Efektivna UVR transmisija, %	UPF ocene
20 - 29	Dobar	5,0-3,4	-
30 - 40	Veoma dobar	3,3-2,5	30
> 40	Odličan	≤2,5	40+

U SAD se za određivanje UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala koristi standard AATCC TM 183 (engl. American Association of Textile Chemists and Colorists), kojim je definisan postupak za merenje UPF vrednosti tekstilnih materijala kako u suvom tako i u vlažnom stanju. Metoda propisuje minimalno dva uzorka za testiranje, koji su prethodno pripremljeni prema ASTM D 6544, odnosno oprani (40 puta), izloženi simuliranom sunčevom svetlu na 100 AFU (engl. AATCC fading units), što je ekvivalentno količini sunčeve svetlosti pod kojom je tekstilni materijal izložen tokom perioda od dve godine, i u slučaju tkanina za kupanje tretirani hlorisanom vodom. Ovim postupkom ocenjivanja dobijaju se jako stroge UPF vrednosti, pa se mora uzeti u obzir smanjenje zaštitnih svojstava tkanine nastalih nakon procesa pripreme uzoraka. Obeležavanje UV zaštitnih tekstilnih proizvoda se vrši prema ASTM D 6603-07, gde se nalaže da UPF vrednosti kojima su deklarirani tekstilni materijali predstavljaju najniže vrednosti zaštite koja se očekuje tokom upotrebe u periodu od dve godine od strane korisnika. Proračun vrednosti UPF i klasifikacija zaštite su isti kao što je opisano u AS/NZS standardu (tabela 3.3). Tekstilni materijal se ne može označiti kao UV zaštitni ukoliko mu je izmerena vrednost UPF manja od 15, a ako je UPF vrednost veća od 50 deklarisan je piktogramom 50+ (Scott 2005; Dobnik Dubrovski 2010).

Još jedan UV Standard kod koga se uzima u obzir promena svojstava i konstrukcije tekstilnih materijala, nastalih tokom procesa nege i nošenja, je UV Standard 801, razvijen je od strane nezavisnih instituta za istraživanje tekstila u Nemačkoj, Austriji i Švajcarskoj. Ovim standardom dobijaju se jako pouzdane vrednosti UPF, jer se prilikom merenja tekstilni materijali izlažu mehaničkom naprezanju i uticaju vlage od znoja ili vode. Sertifikacija se dodeljuje koristeći sledeće UPF faktore: 10, 15, 20, 30, 40, 60 i 80, pri čemu se određena vrednost zaokružuje na sledeći niži nivo (UV STANDARD 801 2022).

Nabrojani standardi i metode koriste testove za kvantitativnu ocenu određivanja UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala, koji mogu da se sprovede putem laboratorijskog testiranja prema sledećim metodama:

1. **In vivo** – s prevoda na latinski jezik znači „da živo“, predstavlja tehniku merenja na koži, odnosno čoveku, u cilju dobijanja SPF vrednosti. Pomoću ove tehnike mogu se odrediti zaštitni faktor krema za sunčanje i tekstilnih materijala, a veoma često se koristi i kao potvrda *in vitro* merenja. Testiranje tekstilnih materijala *in vivo* metodom najčešće se sprovodi tako što se pričvrste pravougaoni komadi testilnog materijala na leđima ispitanika i utvrđuje minimalna eritemalna doza (MED) zaštićene i nezaštićene kože. MED se definiše kao minimalna količina energije zračenja potrebna za pojavu prvog vidljivog crvenila na koži posle 22 ± 2 h izlaganja. MED za nezaštićenu kožu se određuje prvo upotrebom povećanih UVB „doza“. MED za zaštićenu kožu se određuje nizom

povećanih UVB doza. I vrednosti SPF se mogu izračunati na sledeći način (Campos Payá i sar. 2015; Scott 2005):

$$SPF = \frac{MED_{zaštićasti\ kože}}{MED_{nezaštićezekože}} \quad (3.2)$$

S obzirom da se SPF određuje iz odnosa vremena potrebnog da eritemalna aktivnost dostigne maksimalnu vrednost za zaštićenu i nezaštićenu kožu, moglo bi se lako izračunati vreme koje je moguće provesti pod uticajem UVR, sa ili bez zaštite tekstilnim materijalom. Ako bi se na koži izloženoj suncu pojavilo crvenilo bez odgovarajuće zaštite za 10 minuta, ona bi značilo da bi se sa zaštitnom odećom od UPF 15 to vreme produžilo na 150 minuta:

$$SPF = \frac{MED_{zaštić.kože}}{MED_{nezaštić.kože}} \rightarrow 15 = \frac{MED_{zaštić.kože}}{10} \rightarrow MED_{zaštić.kože} = 150 \text{ min} \quad (3.3)$$

Jedan od glavnih nedostataka *in vivo* metode je što se prilikom izvođenja testa koriste izvori solarnog spektra kojim se ne ostvaruju talasne dužine samo u osegu UV zračenja. Neki istraživači su zaključili da mala promena spektra zračenja može imati veliki uticaj na SPF vrednosti, pogotovo za tkanine od poliestra i svile što pokazuje velike razlike u apsorpciji od strane vlakana u opsegu od 290 - 400 nm. Osim toga, da bi se ovom tehnikom merenja dobili pouzdani rezultati neophodan je veliki broj ispitanika, jer dobijene SPF vrednosti u velikoj meri zavise od tipa kože, što daje negativan odraz na brzinu i objektivnost dobijenih rezultata. Uprkos navedenim ograničenjima, *in vivo* testiranja mogu da budu korisna za merenje odgovora organizma na UV zračenje i za poređenje sa UPF vrednostima dobijenim *in vitro* metodom (Scott 2005; Boothby-Shoemaker i sar. 2022).

2. ***In vitro*** - za određivanje UPF vrednosti kojom se označava zaštitna sposobnost tekstilnih materijala na osnovu instrumentalnih merenja definisanih stadardima EN 13758-1 i AS/NZS 4399:1996. UPF predstavlja odnos prosečnog efektivnog UVR izračunatog za nezaštićenu kožu prema prosečnom efektivnom UVR izračunatom za kožu zaštićenu uzorkom tekstilnog materijala. Efektivno zračenje UV zračenja je proizvod relativne spektralne efektivnosti eritemskog zračenja i relativne energetske vrednosti solarne radijacije koja dolazi do kože. Ovo je je važan parametar koji se uzima kao korekcionni faktor prilikom izračunavanja UPF, zbog razlike u biloškoj aktivnosti talasnih dužina u okviru intervala UVR (290-400 nm). Ova korekcija je neophodna s obzirom da biološka aktivnost kraćih talasnih dužina u okviru UVB intervala (100 - 280 nm) znatno prevazilazi aktivnost UVA dugotalasnog spektra (315 – 400 nm) (Sarkar 2005; Doyon i sar. 2022; Kursun i Ozcan 2010). Za čoveka je najvažnija eritemalna spektralna efikasnost koja predstavlja najočigledniji efekat prekomernog izlaganja suncu koje dovodi do crvenila kože ili opekotina. Ovaj spektar biološkog dejstva definisan je 1987. godine i prihvaćen je od strane CIE (International Commission of Illumination). UPF vrednosti, *in vitro* metodom, izračunavaju se kao srednja vrednost odnosa količine efektivne doze UVR (ED) za nezaštićenu kožu (UV zračenja emitovanog UV izvorom) i količine UV zračenja transmitovane kroz uzorak tekstilnog materijala kojom se dobija efektivna doza (ED_m) za kožu kada je zaštićena, uz korekciju koja uzima u obzir različitu biološku delotvornost različitih talasnih dužina u okviru intervala UV radijacije, prema relaciji (3.4):

$$UPF = \frac{ED}{ED_m} = \frac{\sum_{\lambda=290}^{\lambda=400} E(\lambda)\varepsilon(\lambda)\Delta\lambda}{\sum_{\lambda=290}^{\lambda=400} E(\lambda)T(\lambda)\varepsilon(\lambda)\Delta\lambda} \quad (3.4)$$

gde je $E(\lambda)$ – intenzitet solarnog zračenja (količina radijacije na određenoj površini, $Wm^{-2}nm^{-1}$), $\varepsilon(\lambda)$ – relativna eritemalna spektralna efikasnost, $\Delta\lambda$ – primenjeni korak merenja u UV intervalu talasnih dužina (nm) i $T(\lambda)$ – izmerena transmisija za talasnu dužinu λ (Sarkar 2005).

Prosečna vrednost UV transmisije (T , %) računa se prema relaciji (3.5):

$$T = \frac{1}{n} \sum_{290}^{400} T_i(\lambda) \quad (3.5)$$

gde je $T_i(\lambda)$ - spektralna transmisija na talasnoj dužini λ . Prosečne vrednosti refleksije UV zračenja (R , %) izračunavaju se na isti način, ubacivanjem vrednosti refleksije $R_i(\lambda)$ u jednačinu (3.5). Vrednosti transmitansa i refleksije omogućile su izračunavanje apsorpcije UVR (Kocić i sar. 2019).

Postoje dve *in vitro* kvantitativne tehnike merenja za testiranje prenosa UV zračenja kroz tekstilne materijale ili merenje UPF vrednosti, i to su:

- **radiometrijska tehnika** - gde se ukupni prenos UVR kroz uzorak tekstilnog materijala meri korišćenjem stvarnog ili simuliranog solarnog spektra širokopojasnog izvora UVR (koji može biti filtriran za UVB ili kombinaciju UVA i UVB opsega talasnih dužina). Ukupana transmisija UVR kroz tekstilni materijal meri se radiometrom, koji je opremljen izvorom UVR, difuzerom i detektorom zračenja. Prikilom sprovođenja radiometrijskog merenja, ispitivani uzorak tekstilnog materijala se obmotava oko detektora, da bi mogli da se registruju i reflekovani UV zraci. Radiometar pokazuje izlazno očitavanje odgovora ukupne energije zračenja koja prolazi kroz tekstilni materijal i koja pada na površinu detektora. Zaštitni faktor (UPF) se određuje uzimajući odnos izmerene energije u odsustvu i energije u prisustvu uzorka. Radiometrijska merenja ne daju definitivnu vrednost faktora zaštite, što se pripisuje apsorpciji UVR od strane uzorka tekstilnog materijala, koja nije nezavisna od opsega talasnih dužina UVA i UVB zraka. Ipak, ova tehnika je korisna za određivanje UPF vrednosti na različitim mestima istog uzorka ili pri istezanju uzorka tekstilnog materijala, kako bi se uporedila eventualna odstupanja zaštitnog faktora očitana radiometrom (Sarkar 2005); i

- **spektrofotometrijska tehnika** - gde se transmisija UVA i UVB zraka, kroz tekstilni materijal, meri kao funkcija talasne dužine, iz čega se zatim izračunava UPF. Merenje se izvodi na spektrofotometru koji je opremljen integrisanom sferom u kojoj se prikupljaju UV zraci (lampe koje simuliraju UV zrake), koji pod pravim uglom kroz uzorak tekstilnog materijala prolaze direktno ili difuzijom. Da bi se umanjile greške, izazvane fluorescencijom od optičkih pojačivača svetlosti, pri merenju se aktivira UV transmisioni filter. Spektrofotometrijska merenja se obično vrše u koracima od 1, 2, 5 ili 10 nm u opsegu talasnih dužina od 290 do 400 nm. Veličina koraka je važna, jer utiče na preciznost merenja. Na primer, korišćenje koraka od 1 nm daje najtačnije određivanje UPF vrednosti; korišćenje koraka od 5 nm daje rezultate unutar 0,5%, dok su UPF vrednosti sa koracima od 10 nm unutar 1,5 do 2,5%. Merenje UVR transmisije se vrši na minimum četiri uzorka tekstilnih materijala, koji su normalno i u nezategnutom stanju postavljeni na izvor UVR, tako da su licem okrenuti ka UV izvoru. Za sve ispitivane uzorke su izračunavali se srednje vrednosti UVB i UVA transmisije, kao i vrednosti UPF, prema relaciji (3.4). Istraživanja koja su koristila spektrofotometrijsku tehniku i međulaboratorijska ispitivanja su potvrdila da je ova metoda precizana, ali da je veliki nedostatak korišćenje zračenja koja se svode na paralelan snop zraka koji normalno, tj pod pravim uglom padaju na tekstilni materijal. U praksi stvarna zaštita koju pruža

tekstil mogla bi da bude veća od one koju predviđa *in vitro* merenje, pošto u realnom životu UV zraci ne padaju normalno na tekstilni materijal, a pored toga prisutni su oni zraci koji se rasipaju (Sarkar 2005; Scott 2005).

Prepoznato je kao veliki nedostatak prilikom definsanja UPF vrednosti *in vitro* metodom da se ne uzima u obzir koliko odevni predmet pokriva površinu tela (BSA, engl. Body Surface Area). Npr, prema dobijenoj UPF 50 za neki tekstilni materijal, od koga se kao finalni proizvod dobija košulja kratkih rukava, nije isto kada bi košulja od tog istog materijala imala duge rukave, jer bi na osnovu pokrivenosti koju omogućava telu ima bolja UV zaštitna svojstva. Zato su 2018. godine Harrison i Downs predložili da se prilikom ocenjivanja UV zaštitnih svojstava odevnih tekstilnih predmeta pored UPF i SPF, uvedu i faktori BSA i GPF (engl. Garment Protective Factor), kao kombinovane faktore zaštitne odeće kako bi dalje ocenili sposobnost UV zaštite odevnog predmeta. GPF se izračunava kao vrednost procenta tela koje pokriva odevni predmet i takođe uzima u obzir UPF samog odevnog predmeta. Ovaj proračun dolazi do bezdimenzionog indeksa, koji raste s porastom BSA, od 0–3 (ispunjen minimalni standard), 3–6 (dobra zaštita) i 6 ili više (izvanredna zaštita). Trenutno, GPF nije zvanično široko prihvaćen od strane bilo kog standarda ili zemlje proizvođača UV zaštitne odeće, već je ideja o njegovoj primeni za ubuduće dala potstrek za dalja razmišljanja prilikom delkarisanja odevnih predmeta u pogledu UV zaštite (Downs i Harrison 2017; Boothby-Shoemaker i sar. 2022).

3.3. UV zaštitna svojstva tekstilnih materijala

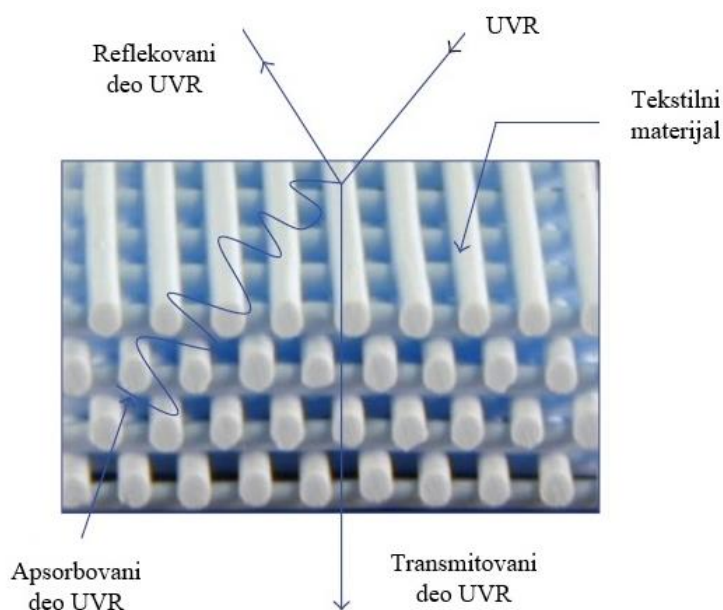
Zbog alarmantnog porasta zabeleženih slučajeva raka kože širom sveta UV zaštitna odeća je postala dinamična oblast istraživanja (Wong i sar. 2013). Tekstilni materijali, od čega najpre odevni predmeti, od svih UV zaštitnih sredstava predstavljaju najefikasniju i najbezbedniju zaštitu od štetnog UVR. Međutim, njihova zaštita u nekim slučajevima ipak nije dovoljna, odnosno definisana je niskim UPF vrednostima. O zaštiti od UV zračenja najviše se obraća pažnja tokom letnjih meseci kada je UV indeks najviši, zbog čega se pri karakterisanju UV zaštitnih svojstava poseban akcenat pridaje letnjim odevnim predmetima kao što su majice, haljine i pantalone napravljene od tankih i laganih materijala, koji pružaju odgovarajući komfor neophodan za „letnje“ vremenske uslove. Pojedini izvori navode da samo 1/3 odevnih proizvoda iz kolekcija za proleće/leto pružaju adekvatnu UV zaštitu. Zaštitna svojstva ovih odevnih predmeta ne utiču na njihove modne i esetske karakteristike, pa se zato osim po deklaraciji ne razlikuju od odevnih predmeta koji ne pružaju UV zaštitu (Kocić 2015; Tarbuk i sar. 2016). Pored odeće važnu ulogu u zaštiti od UVR imaju i tekstilni aksesoari poput različitih kapa i šešira, za zaštitu glave, lica i vrata. Prema standardu koji je usvojila EU 2002. godine, osim definisanog minimalnog zaštitnog UPF faktora koji moraju da zadovolje, data je i preporuka da moraju da štite glavu, vrat, leđa, ruke do polovine podlaktice i noge do kolena, budući da su to regije na telu koju su rizične za pojavu melanoma (Tarbuk i sar. 2016; EN 13758-2:2003).

Interakcija između UV zračenja i tekstilnih materijala ista je kao u slučaju kada UV zraci dospevaju na bilo koju drugu površinu. Tekstilni materijali mogu da reflektuju UV zrake odbijajući ih od svoje površine pod određenji uglom; mogu da ih apsorbuju, odnosno da ih zadrže na svojoj površini pretvarajući ih u neku drugu energetska formu sprečavajući dolazak energije zračenja do kože; ali u nekim slučajevima je moguće da se UV zraci trasmituju tj. prolaze direktno kroz tekstilni materijal (putem međuprostora između vlakana i pređe), pa onda i kroz kožu, kao što je prikazano na slici 3.8 (Pavko Čuden i Urbas 2011; Sarkar 2007; Singh i Singh 2013).

Na koji način će se odvijati interakcija između UVR i tekstilnih materijala, odnosno kolika je mogućnost UV zaštite tekstilnih materijala (vrednost UPF ili SPF faktora), zavisi od brojnih faktora, kao što su:

- **sirovinski sastav** (vrsta vlakana),
- **konstrukcioni parametri** (debljina, gustina, površinska masa, vrsta pređa),
- **tip završne obrade** (bojenje, beljenje, dorada),
- **način upotrebe i održavanja** (sadržaj vlage, nastale deformacije prilikom nege i nošenja)

(Tarbuk i sar. 2016; Stanković i sar. 2009; Gabrijelčić i sar. 2009).



Slika 3.8. Interakcija UVR sa tekstilnim materijalom (Singh i Singh 2013)

Nabrojani faktori su dugi niz godina tema različitih istraživanja u cilju pronalaženja optimalne kombinacije parametara za dobijanje tekstilnih materijala sa zadovoljavajućim UV zaštitnim svojstvima. Iako svaki od ovih faktora posmatranih ponaosob utiče na UV zaštitna svojstva odeće, poseban akcenat prilikom istraživanja stavlja na optimalnu kombinaciju konstrukcionih parametara i pravilan izbor vrste vlakana, prediva, boje, kao i specifičnih dorada, kojom je omogućena proizvodnja tekstilnih materijala sa visokom UV zaštitnom, ali i kvalitetom s aspekta termofiziološkog komfora (Akgun i sar. 2010; Alebeid i Zhao 2017). Da bi odeća pružila komfor prilikom nošenja, treba da omogući odgovarajući prenos toplote između ljudskog tela i njegove okoline kako bi se održao fiziološki i termalni balans (Stanković i sar. 2008). Termalna udobnost se odnosi na sposobnost tekstilnog materijala tj. odeće da podrži termoregulacioni sistem tela kako se ne bi narušila telesna temperatura, čak i ako se atmosferski uslovi ili fizičke aktivnosti promene. Svojstva tekstilnih materijala koja u najvećoj meri utiču na čovekovu termo-fiziološku ravnotežu su propustljivost vodene pare i propustljivost vazduha (Stanković i Bizjak 2014). Zato se ona veoma često ispituju zajedno sa UV zaštitnim svojstvima tekstilnih materijala, jer mogu da budu narušena kada se projektuju konstrukciona svojstva za tekstilne materijale sa visokom UV zaštitom. Upravo to su kroz svoj rad predstavili Novaković i sar., kada su narušenu termalnu udobnost odeće pripisali smanjenju veličine i distribucije pora na pleteninama (Novaković i sar. 2020-b).

Osim toga, na UV zaštitna svojstva odeće veliki uticaj ima i proces proizvodnje tekstilnog materijala (Wilson i sar. 2008-b). Na primer, prilikom dobijanja hemijskih i sintetičkih tekstilnih vlakana u toku proizvodnje postoji mogućnost da se određena hemijska jedinjenja nepravilno upotrebe, što može da utiče na narušena UV zaštitna svojstva tih vlakna (Kocić 2015). Takođe, negativan uticaj na UV zaštitu može da ima i proces proizvodnje, kao i procesi nege i nošenja gotovih odevnih predmeta, kada su često izloženi silama zatezanja različitog intenziteta, kao i čestom kvašenju i parenju, usled čega vremenom dolazi do degradacije materijala (Wilson i sar. 2008-a; Hoffmann i sar. 2001).

Interesovanje za UV zaštitnu odeću godinama raste kao rezultat interesovanja potrošača i edukacije o potrebi zaštite, naročito u oblasti o bezbednosti na radu. Danas su poslodavci u pojedinim državama, poput Nemačke, zakonski obavezani da radnicima koji su izloženi visokom uticaju UVR obezbede zaštitnu opremu sa visokim UPF faktorom (Boothby-Shoemaker i sar. 2022). Rastuća

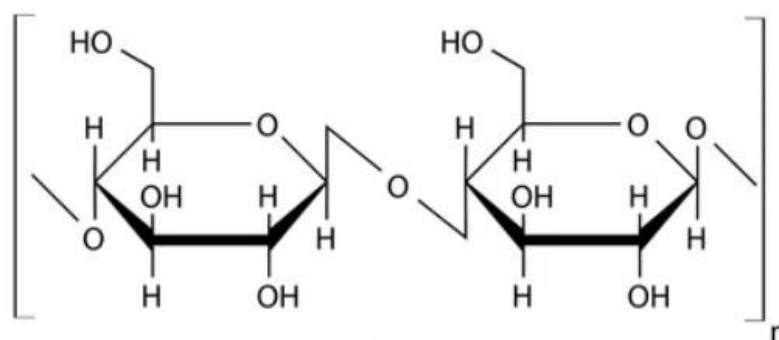
potražnja s godinama se zapaža i u proizvodnji sportske UV zaštitne opreme, odnosno odeće, koja još treba da zadovolji udobnost, elastičnost, pozračnost i sl. (Aguilera i sar. 2023).

3.3.1. Efekat svojstava sirovine na UV zaštitna svojstva tekstilnih materijala

UV zaštitna odeća se najčešće koristi tokom letnjih meseci, pa zato njeno projektovanje počinje s planiranjem polaznih sirovina koje su prikladne za toplije ambijentalne uslove sredine. Iz tog razloga su to materijali u čijem su sirovinskom sastavu pretežno zastupljena prirodna vlakna, naročito celulozna, kao što su pamuk, lan, konoplja i ramija, koja se odlikuju odličnim termo-fiziološkim komforom i higijenskim svojstvima koja su od izuzetne važnosti za letnje vreme. Nabrojana prirodna vlakna u svom sastavu sadrže od 10–30 % pratećih materija kao što su voskovi, pektin, lignin, pigmenti, a uz to, oko 10% nečistoća, koji imaju ulogu prirodnih UV apsorbera. Količina apsorbovanog UV zračenja u tekstilnim materijalima utiče isključivo od fizičko-hemijske prirode vlakana. Međutim, za celulozna vlakna su karakteristične različite postupci modifikacije (hemijski, mehanički, enzimski) u cilju postizanja veće finoće i mekoće, čime dolazi do uklanjanja odrvenjene komponente lignina i ostalih vezivnih supstanci (Chen-Yu i Wong 2017; Kocić i sar. 2019; Nikolić 2011; Pejić i Asanović 2006; Manaia i sar. 2019; Yildirim i sar. 2017). Zbog toga sirova (nemodifikovana) celulozna vlakna pružaju mnogo bolju UV zaštitu, pa u tom smislu dobijaju na značaju za izradu odevnih tekstilnih materijala (Kocić i sar. 2016).

Za celulozna vlakna su karakteristični i postupci izbeljivanja, pri čemu istraživanja svedoče o smanjenim UV zaštitnih svojstvima beljenih materijala u odnosu na sirove, upravo zbog eliminisanja prirodnih pigmenta koji mogu da se ponašaju kao apsorberi UV zraka (Gambichler i sar. 2001; Algaba i sar. 2004). Uticaj izbeljivanja je zabeležen čak i kod svilenih tkanina, gde je takođe ustanovljeno povećanje UV transmisije za četiri puta u odnosu sirovu tkaninu od svile (Crews i sar. 1999).

Pored pratećih materija u hemijskoj strukturi prirodnih celuloznih vlakana (slika 3.9), poput pamuka koje se satoji od 88-96% čiste celuloze, postoje i drugi činoci koji utiču na UPF vrednosti (Alebeid i Zhao 2017). To su najčešće monosaharidne jedinice u kojima se nalazi veliki broj hidroksilnih grupa (OH-), koje su izuzetno hidrofilne, tj imaju mogućnost vezivanja molekula vode (Kostić 2008). Zbog izuzetne hidrofilnosti, celulozna vlakna imaju tendenciju da bubre prilikom hemijskih dorada (npr. bojenje, mercerizovanje), što negativno utiče na UV zaštitna svojstva, jer UV zraci imaju veliki afinitet prema molekulima vode i kada je tekstilni materijal pokvašen mogu lako da se transmituju kroz njega (neki materijali propuštaju i do 50% više UV zraka kada su nakvašeni).

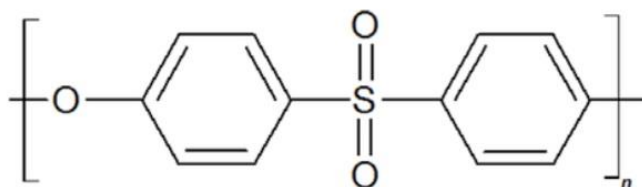


Slika 3.9. Hemijska struktura celuloze unutar celuloznih tekstilnih vlakana (URL 12)

Leti se preferira upotreba tekstilnih proizvoda od konoplje zbog odličnih higijenskih svojstava, ali i bolje UV zaštitne sposobnosti, u sirovom stanju, od pamuka i svile (Crini i sar. 2020). Bi i saradnici, takođe su dokazali da se konoplja od šest testiranih vlakana iz like odlikuje najboljim UPF vrednostima (Bi i sar. 2019). Osim pamuka i lana, i viskozna vlakna koja su često zasupljena u izadi

letnjih odevnih predmeta, pružaju nedovoljnu UV zaštitu (Gambichler i sar. 2001). Od svih prirodnih vlakana jedino vunena imaju dobra UV zaštitna svojstva jer apsorbiraju ceo UV spektar (izuzetak je vuneni muslin - tkanina koja ima veliku poroznost) (Reinert i sar. 1997; Zampatakis i Dubrovski 2005). Akrilna vlakna su takođe loš inhibitor UVR (Sarkar 2007). Generalno prirodna vlakna nemaju visoke UPF vrednosti, jer nemaju dvostruke veze u svojoj hemijskoj strukturi, kojima bi bila omogućena apsorpcija UVR (Yildirim i sar. 2017). Dok npr obična pamučna majica ima UPF vrednost od 3 do 5, majica od mešavine od poliestra i pamuka bi zbog prisustva poliestra imala veći UPF (Chen-Yu i Wong 2017).

Vlakna koja sadrže konjugovane aromatske polimerne strukture, poput poliestra (PES) čija je molekulska struktura prikazana na slici 3.10, efikasna su u apsorpciji UV zraka (Yildirim i sar. 2017). Takođe, PES vlakna pružaju efikasnu UV zaštitu i zbog svoje hidrofobne prirode tj. otpornosti na vodu (Alebeid i Zhao 2017). Grupa fenil estera, u hemijskom sastavu poliestera, u polimernom lancu, prepoznata je po snažnoj apsorpciji UV svetlosti ispod 310 nm (Rahman i sar. 2022). S obzirom da UV transmisija značajno raste na 313 nm, što je otprilike na granici između talasnih dužina UVA i UVB zraka, PES je manje efikasan protiv UVA zračenja. Ali kada je u pitanju postizanje totalne zaštite od UVR kod PES vlakana to se postiže dodatkom sredstva za matiranje, zahvaljujući kojima se postiže blokiranje i UVA zraka (Algaba i Riva 2002; Zampatakis i Dubrovski 2005). S druge strane, druga sintetička vlakna poput poliamida (PA), akrila, polipropilena (PP) i acetata, pružaju malu zaštitu od UV zračenja (Rahman i sar. 2022).



Slika 3.10. Molekulska struktura poliestarskog vlakna (URL 13)

Međutim, PES kao i druga sintetička vlakna nisu se dobro pokazala u obezbeđivanju komfora, i naročito po toplom vremenu se ne smatraju udobnim za nošenje. Pri visokim ambijentalnim temperaturama potrebno je da tekstilni materijal omogući odvođenje toplote i vlage od tela ka okruženju, ali i da spreči tok spoljašnje toplote ka telu (Stanković i sar. 2017). Danas su na tržištu dostupna specijalno dizajnirana vlakna od mešavine PES, poznata po komercijalnom nazivu Coolmax koja imaju najbolja UV zaštitna svojstva i odlična termo-fiziološka svojstva kojima omogućavaju da korisnik ostane u dobrom fizičkom stanju tokom naporene fizičke aktivnosti, što ih čini odličnim za proizvodnju sportske odeće (Yam i sar. 2013).

Pored hemijske strukture tekstilnih vlakana veliki uticaj na UV zaštitna svojstva imaju i njihova geometrijska svojstva (prečnik, dužina i struktura površine). Što je prečnik vlakana manji, manja je i njihova međusobna udaljenost prilikom preoblikovanja u pređe, što značajno doprinosi smanjenju UVR transmisije kroz njih (Duleba-Mejak 2009). Takođe, što su vlakna duža, rastresitija i maljavija po površini, nastaje kompaktnija i manje porozna pređa kroz koju je otežano prolaženje UV zračenja (Wong i sar. 2016). Kan i sar. su kroz svoje ispitivanje dokazali da pređa od češljanog ekstra dugog pamuka (tzv. eng. *Supima*) u odnosu na pređu od češljanog pamuka ima i do 8,88% bolji UPF (Kan i sar. 2013).

Leti je veoma zastupljeno nošenje kupaćih kostima, ronilačkih odela i sl. koji su pretežno u vlažnom stanju uz telo, što znači da u sebi sadrže veliku količinu molekula vode. Zbog toga se oni proizvode od hidrofobnih tekstilnih vlakana sa velikim UV zaštitnim svojstvima, poput PES. Kan i saradnici su dokazali da, u mokrom stanju, pletnina od modifikovanog PES vlakna ima za 45% veću UPF vrednost od pamučne (Kan i sar. 2014). Kod ljudi je prisutna navika nošenja pamučne majice za vreme kupanja, s verovanjem da je na taj način obezbeđena zaštita od oštećenja kože pod uticajem

UVR, ali istraživanja pokazuju upravo suprotno, jer je rizik od UVR povećan kada je odeća uz telo vlažna. Da bi dokazali smanjenu UV zaštitu pamuka u mokrom stanju, Tarbuk i saradnicu su sproveli ispitivanje kroz koje su izneli dokaze da pamučna majica nakvašena morskom vodom narušava UPF vrednost, u odnosu na suvo stanje, do 40% (Tarbuk i sar. 2014). Studija Gambichlera i saradnika otkiva da se UPF vrednosti tkanina od PES, lana i viskoze značajno smanjuju pod uticajem vlage i da im se na taj način transmisija UVA povećava (Wong i sar. 2015a).

Neosporno je da sva tekstilna vlakana u određenoj meri mogu da obezbede zaštitu od UV zraka prilikom izlaganja sunčevoj svetlosti, u zavisnosti od njihove polimerne strukture. Međutim, prilikom proizvodnje odevnih predmeta svojstva tekstilnih vlakana su uglavnom podložna fizičko-hemijskim promenama u odnosu na različite procese modifikovanja, kao što su način pređenja, tkanja i pletenja ili procesi bojenja i oplemenjivanja. U tabeli 3.6. prikazana su UV zaštitna svojstva često korišćenih tekstilnih materijala za izradu odevnih predmeta i njihove UPF vrednosti.

Tabela 3.6. UPF vrednosti uobičajeno korišćenih tekstilnih materijala za izradu odevnih predmeta (Boothby-Shoemaker i sar. 2022)

Tip tekstilnog materijala	UPF
Beljeni pamuk	8-14
Nebeljeni pamuk	10-30
Lan	4-14
Svila	4-14
Poliestar	19-49
Pamučna plava denim tkanina	50+

3.3.2. Efekat parametara pređe na UV zaštitna svojstva tekstilnih materijala

Sirovinski sastav, tehnika izrade i konstrukcione karakteristike pređa (finoća, upredenost, oblik i veličina poprečnog preseka) u velikoj meri utiču na UV zaštitna svojstva gotovog odevnog predmeta, jer direktno definišu strukturu tekstilnog materijala, tj. njegovu debljinu, poroznost i pokrivni faktor, površinsku masu i teksturu (Majumdar i sar. 2015-a; Stanković i sar. 2008). Inženjerski pristup optimizaciji UV zaštitnih svojstava uglavnom je posvećen strukturnim parametrima tekstilnih materijala, a manje dizajnu pređe koji je izuzetno važan u karaktreisanju interakcije sa UV zračenjem (Mišković i sar. 2021).

Pokrivni faktor tekstilnih materijala, koji ima najveći uticaj na UV zaštitna svojstva, direktno definišu debljina (veličina poprečnog preseka), upredenost (smer i broj uvoja po jedinici dužine), maljavost i finoća (linerana gustina) pređe, kao i gustina pređa unutar tekstilne površine. Veći pokrivni faktor tekstilnih površina dobija se upotrebom debljih pređa, sa većim vrednostima finoće (u tex-ima), a time i njihova povećana UV zaštita (Milosavljević i sar. 2000). Yildirim i sar. su kroz analiziranje uticaja parametara pređe na UPF vrednosti tkanina, došli do zaključka da su tkanine od pređa manje finoće imale veću poroznost i manju UV zaštitnu sposobnost od tkanina od finijih tj. debljih pređa (Yildirim i sar. 2017).

Debljina pređe se smanjuje s povećanjem njene upredenosti. Ukoliko je upredenost veća, odnosno veći broj uvoja pređe, utoliko se njena komponentna vlakna međusobno povezuju u većoj meri. Odatle proizilazi da upređanje utiče na krutost pređe, njenu gustinu i kompaktnost, kao i na veličinu poprečnog preseka (debljinu) (Milsavljević 1983). Broj uvoja utiče i na savitljivost pređe, što se češće

zapaža prilikom izrade pletenina, kada se sa smanjenjem savitljivosti pređa (zbog velike upredenosti) smanjuje gustina petlji u pletenini. Kada je gustina između pređa smanjena, odnosno veća poroznost između pređa na pleteninama i tkaninama, onda je zaštita od UVR narušena, jer UV zraci mogu nesmetano da prolaze kroz međuprostor između pređa. Zato upredenije pređe karakteriše manja debljina i manji UPF tkanina ili pletenina (Pejić i Asanović 2006; Singh i Singh, 2013).

Površina pređe ima veliki uticaj na njen prečnik. Tako npr. kardirane i vlačene pređe sa maljavom površinom i rastresitom unutrašnjom strukturom, imaju veći prečnik u poređenju sa češljanom pređom iste finoće, a veći prečnik pređe uslovljava i veću gustinu tekstilnih materijala, pa time smanjenu mogućnost za prolaženje UV zraka (Milosavljević i sar. 2000). Stanković i sar. su povezali parametre upredenosti i maljavosti pređe sa UV zaštitnim svojstima, tako što su dokazali da se sa povećanjem broja uvoja i smanjenjem maljavosti pređe povećava mogućnost prolaženja UV zraka kroz pletenine i tako smanjuje njihova UV zaštitna sposobnost. Samim tim dolazi se do zaključka da površinska struktura pređe, u ovom slučaju maljavost, utiče na distribuciju zapremine vazduha unutar tekstilnog materijala, odnosno njenu poroznost, sa čijim se smanjenjem efikasno pospešuje zaštita protiv UVR (Stanković i sar. 2009).

Takođe, dokazano je da su UPF vrednosti pređa predenih na konvencionalnim prstenastim predilicama za oko 15% veće nego kod pređa dobijenih pomoću „torque-free” prstenaste predilice (i pri predenju pređa istog sirovinskog sastava). Ovo se takođe objašnjava time što se konvencionalnim predenjem dobija pređa sa većim brojem uvojem u odnosu na „torque-free” predenje, čime se dobija neravna površine pređe o koju se lako reflektuju i rasipaju UV zraci (Kan i sar. 2013). Štaviše, pređe sa visokim stepenom maljavosti i upredenosti mogu izazvati probleme prilikom pletenja ili tkanja, jer utiču na smanjenje čvrstoće i lošu dimenzionalnu stabilnost krajnjeg proizvoda. Preostali momenat uvijanja omogućava sklonost pređe da se uvije u kasnijem procesu eksploatacije, kao što je npr. nega i nošenje. Tao i saradnici su razvili modifikovani sistem za proizvodnju „ring spun” prediva sa malim brojem uvoja (komercijalni naziv: Estex®), a relativno visokom čvrstoćom i balansiranim svojstvom momenata uvijanja. Tkanine napravljene od ovog modifikovanog prediva imaju manju maljavost, bolji opip, pa je stoga dimenzionalna stabilnost i čvrstoća na kidanje relativno bolja nego kod tkanina od konvencionalnih prediva male upredenosti (Wong i sar. 2016).

Kada su u pitanju pređe od hemijskih i sintetičkih vlakana, dobijene postupcima ispredanja iz rastvora ili rastopa polimera u obliku multi- ili mono- filamenta, one se po svojoj unutašnjoj i površinskoj strukturi znatno razlikuju od pređa od prirodnih vlakana dobijenih konvencionalnim postupcima predenja. Zbog velike ravnomernosti prečnika filamenata omogućena je velika gustina pakovanja pređe, što ih karakteriše glatkom i „klizavom“ površinom, velikom ravnomernošću i malom debljinom (Milosavljević i sar. 2000). Ali, prilikom razmatranja njihove UV zaštitne sposobnosti, presudnu ulogu ima hemijski sastav polimera, a ne strukturna svojstva pređe. U nekim slučajevima se u samom procesu izrade filamentnih pređa dodaju različiti mineralni aditivi (npr. TiO₂, ZnO) kojima se pospešuju njihova UV zaštitna svojstva. Ovi aditivi se, u zavisnosti od željenog nivoa UV zaštite, inkorporiraju u strukturu filamenta bez mogućnosti naknadne razgradnje ili direktnog kontakta sa kožom (Paul i sar. 2009).

Imajući u vidu da sintetička vlakna imaju bolje sposobnosti zaštite od UV zračenja, Stanković i saradnici su razvili hibridne pređe (pređa konoplja/filamenta pređa) tehnikom končanja i proizveli rebraste pletenine sa poboljšanom zaštitom od UV zračenja. Cilj ovog istraživanja je bio da se dokaže da se kombinovanjem pređa od prirodnog celuloznog vlakna i veštačkih vlakana može uspešno obezbediti UV zaštita pletenina, bez uticaja različitih mehaničkih i hemijskih obrada (Stanković i sar. 2017).

Kocić i saradnici su pokazali da se poboljšanje svojstava zaštite od UV zračenja kod pletenina od konoplje može postići kombinovanjem konoplje s drugim celuloznim (pamućnim, viskoznim) pređama tokom pletenja, izbegavajući dodatne mehaničke operacije. U okviru ovog istraživanja, došli su do zaključka da se kombinovanjem pamučnih i viskoznih pređa uz pređu od konoplje, umanjuju negativni efekti pređe od konoplje u pogledu krutosti pri savijanju. Zbog toga se prilikom izrade pletenine dobija fleksibilnija i kompaktnija struktura petlji unutra pletenine kojom je omogućeno bolje prijanjanje pređa i smanjena mogućnost za prolaženje UVR (Kocić i sar. 2019).

Zanimljiva je i činjenica da postoji izvesna razlika u UV zaštitnim svojstvima tekstilnih površina od dvožičnih pređa, dobijenih različitim tehnikama predenja. Končanje i dubliranje, kao veoma poznati postupci za dobijanje dvožične pređe, u istraživanju Kocić i saradnika, pokazali su razlike prilikom karakterisanja UV zaštitnih svojstava. U ovom istraživanju od jednožične pređe od konoplje, dobijene su, postupcima dubliranja i končanja, dvožične pređe od kojih su proizvedene glatke pletenine gotovo istih konstrukcionih parametara. Međutim, ove pletenine su nakon postupaka suve i mokre relaksacije, pokazale razlike prilikom karakterisanja UV zaštitnih svojstava. Ove razlike se pripisuju tehnici dobijanja dvožične pređe, jer se postupkom končanja menja orijentacija vlakna usled sekundarnog upredanja u smeru suprotnom od smera upredanja jednožične komponente. Prilikom operacije končanja vlakna se delimično raspredaju i dolazi do „otvaranja” strukture končane pređe, što dovodi do smanjenja pokrivnog faktora i gustine pređe za oko 57% u odnosu na jednožočnu komponentu. Zbog toga se končane pređe karakterišu manjom UV zaštitom u odnosu na dublirane pređe istog sirovinskog sastava (Kocić i sar. 2016).

3.3.3. Efekat strukture tekstilnih materijala na njihova UV zaštitna svojstva

Bez obzira na veliku slabost u pogledu zaštite od UV zračenja, za izradu letnje odeće i dalje se najčešće koriste prirodna celulozna vlakana (pamuk, lan, konoplja) i vlakna od regenerisane celuloze (viskoza, modal) (Stanković i sar. 2019-a). Međutim, jedan od načina za delimično anuliranje njihove inferiornosti sa aspekta UV zaštite je adekvatno projektovanje konstrukcionih parametara (Kocić i sar. 2019). Ovo se odnosi na strukturu tkanina (i pletenina) koja je definisana konstrukcionim karakteristikama (gustina osnove i potke, ili gustina petlji, utkanje i prepletaj) koji u velikoj meri utiču na geometrijska svojstva tekstilnih materijala kao što su pokrivanje (pokrivni faktor), poroznost, masa i debljina, za koje se smatra da imaju najveći uticaj na UV zaštitna svojstva tekstilnih materijala. Drugim rečima, kolika će biti UV transmisija kroz tekstilni materijal (vrednost UPF) direktno zavisi od njenih konstrukcionih karakteristika (Wilson i sar. 2008-a).

Prolaženje UV zraka kroz tekstilni materijal do kože najviše je omogućeno zbog otvorenog prostora između pređa, koji se definiše kao otvorena proznost tekstilnih materijala. Poroznost (P, engl. Porosity, %) predstavlja procentualno izražen sadržaj pora u tekstilnom materijalu (između pređa i unutar pređe) i najviše je uslovljen gustinom pređe (broj pređa/cm) i prepletajem. Poroznost je u direktnoj korelaciji sa pokrivnim faktorom (CF, engl. Cover Factor, %) tekstilnih materijala, jer se sa smanjenjem poroznosti pokrivni faktor povećava, tj. povećava se površina (u procentima) tekstilnog materijala koju zauzima pređa (Gies 2007; Majumdar i sar. 2015-b).

Pokrivni faktor je veoma važan parametar koji se često sreće u literaturi, naročito pri karakterisanju UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala (Algaba i sar. 2004; Majumdar i sar. 2015-a), jer postoji direktna veza između UPF vrednosti i pokrivnog faktora. Prilikom projektovanja tekstilnog materijala sa visokim UPF vrednostima jedan od glavnih ciljeva je da se njegova strukturalna poroznost svede na minimum, odnosno da se pokrivni faktor poveća. Na osnovu toga razvijen je matematički model koji predstavlja osnovu za uspešno kreiranje tekstilne površine sa odgovarajućim UV zaštitnim svojstvima i predstavljen je sledećom relacijom (Kocić 2015):

$$CF = (\rho_o \cdot d_o) + (\rho_p \cdot d_p) - (\rho_o \cdot d_o \cdot \rho_p \cdot d_p) \quad (3.6)$$

gde su: ρ_o , ρ_p – gustina osnove i potke (broj pređa/cm), a d_o , d_p – prečnici osnove i potke (μm).

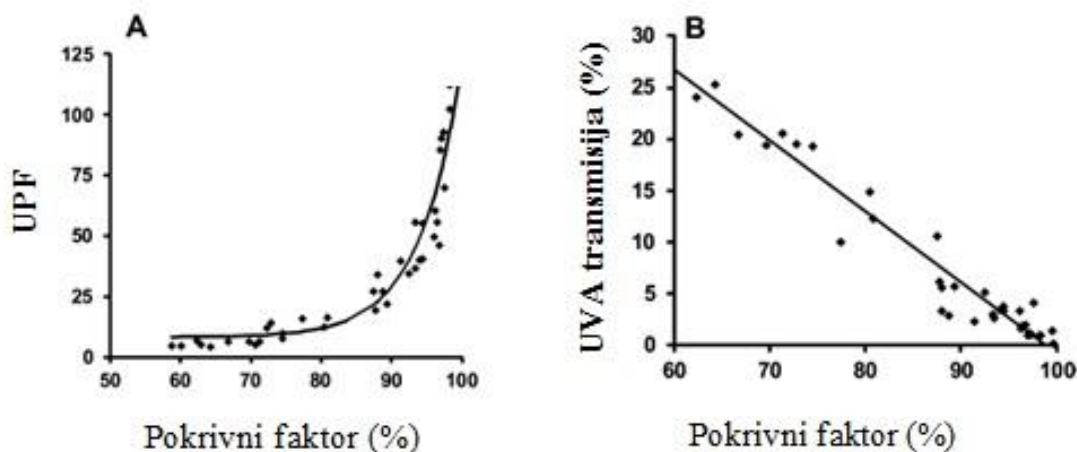
Deo otvorene površine (a_o), izračunate prema relaciji 3.7, predstavlja procentualno iskazanu ukupnu površinu pora:

$$a_o = 100 - CF \quad (3.7)$$

S porastom gustine pređa na jedinici dužine tekstilnih površina smanjuje se razmak između pređa, što uslovljava manju poroznost i veći pokriveni faktor, a kao rezultat toga transmisija UV zraka se smanjuje. Drugim rečima, tekstilni materijali sa visokim pokrivenim faktorom su gusto tkani ili pleteni, tj. manje porozni, što uslovljava njihovu visoku UPF vrednost (Kostajnshek i Dimitrovski 2013). Pailthorpe je matematičkim relacijama povezo UV transmisiju kroz tekstilni materijal sa njegovim pokrivenim faktorom. Procenat UVR transmisije (T , %) može se proračunati upotrebom Pailthorp-ove jednačine (3.8) (Pailthorpe 1998), a UPF relacijom (3.9) (Scott 2005), čija je uzajamna zavisnost sa pokrivenim faktorom prikazana na grafikonima na slici 3.11:

$$T = 100 - CF \quad (3.8)$$

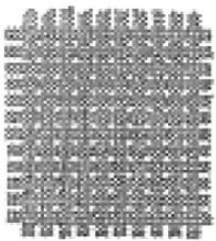
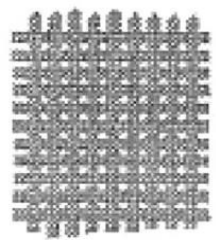
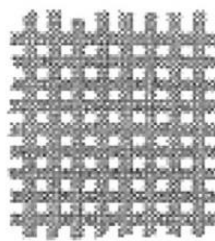
$$UPF = \frac{100}{100 - CF} \quad (3.9)$$



Slika 3.11. Odnos UPF vrednosti i pokrivenog faktora (A); odnos UPF vrednosti i transmisije UVA zraka (B) (Aguilera i Galvaz, 2014)

U tabeli 3.7, prikazan je primer nekih UPF vrednosti i procentualne vrednosti UVR transmisije kroz tekstilni materijal dobijenih prema relacijama (3.8) i (3.9) (Morison 2003). Na osnovu vrednosti datih u tabeli 3.7, dolazi se do zaključka da pokriveni faktor mora biti veći od 93 % da bi se postigla minimalna UPF vrednost od 15. Takođe, kada CF prelazi 95%, mala povećanja CF dovode do značajnog poboljšanja UV zaštitne sposobnosti odeće. Isto tako treba napomenuti da tkanine sa istim CF mogu imati značajno različite UPF vrednosti, naročito ako se razlikuju prema sirovinskom sastavu, obijenosti ili vrsti obrade (Kocić 2015).

Tabela 3.7 . Uticaj pokrivnog faktora na UPF vrednosti (Kibria i sar. 2022)

Izgled tkanine			
Pokrivni faktor (CF, %)	97,5	95	90
UV transmisija (T, %)	2,5	5	10
UPF	40	20	10

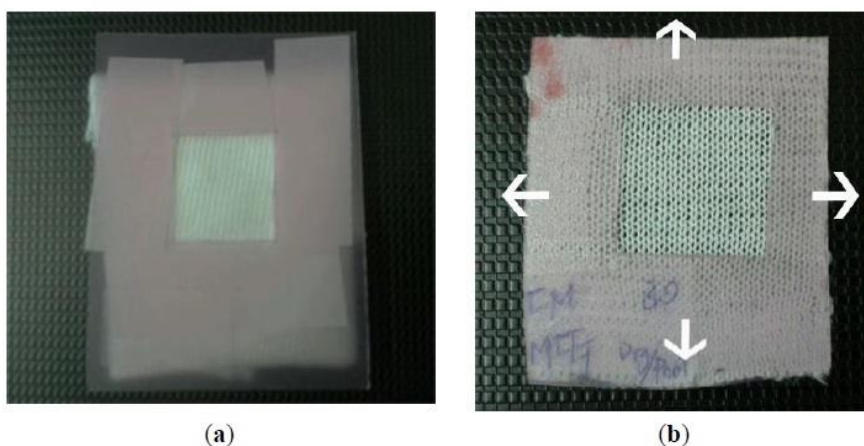
Pletenine uglavnom imaju manji pokrivni faktor od tkanina, zbog veće otvorenosti između pređa tj. veće poroznosti u pletenim strukturama, što ih obično karakteriše manjim UPF vrednostima, ali su i dalje u letnjoj sezoni dosta popularnije od tkanina (Kan 2014; Alebeid i Zhao 2017). Zbog toga se relativno često rade istraživanja UV zaštitnih svojstava pletenina u cilju pronalaženja načina za obezbeđivanje zadovoljavajućih UPF vrednosti. DD (desno-desne) pletenine generalno pružaju bolju UV zaštitu od DL (desno-levih) pletenina, zahvaljujući većoj debljini, težini i pokrivnom faktoru (Wong i sar. 2013). Bernhard i saradnici sprovedi su istraživanje u kome su pokazali da se UPF vrednosti pletenina sa niskom UV zaštitom mogu značajno poboljšati nakon procesa kalandrovanja. Oni su u okviru svog istraživanja sprovedi proces kalandrovanja gotovih pletenina između valjaka (od 3t zagrejanih do 180°C) i upoređivali uticaj ovog procesa nakon jednog, dva, tri i četiri ponovljena procesa. Došli su do zaključka da se najveće UPF vrednosti postižu na svim uzorcima ispitivanih pletenina nakon četvrtog ponovljenog procesa, kao posledice jakog pritiska na pleteninu i sabijanja pri kome se poroznost značajno smanjila i time značajno sprečilo prolaženje UV zraka, bez obzira na manju debljinu pletenine nakon kalandrovanja (Bernhard i sar. 2021).

Kada su tkanine u pitanju, pokazalo se da njihov prepletaj ima značajan uticaj na UV zaštitna svojstva. Tako na primer, tkanine u saten prepletaju karakteriše veći pokrivni faktor i gustina između pređa od tkanina u keper ili platno prepletaju, zahvaljujući kome pružaju bolju zaštitu od UVR. Kod bojene tkanine u platno prepletaju, sa najvećom gustinom tkanja, UPF vrednosti su ispod 45, a kod tkanine istog sirovinskog sastava u saten prepletaju izmerene su UPF vrednosti su i do 400. Poređenjem prepletaja tkanina ustanovljeno da najbolju zaštitu od UVR pruža saten prepletaj, zatim keper, pa platno prepletaj, kao posledica gustine i broja dodirnih tačaka prilikom ukrštanja pređa osnove i potke (Rahman i sar. 2022).

Treba ipak imati u vidu da veliki pokrivni faktor tekstilnih površina često negativno utiče na svojstva komfora. Usled smanjenog međuprostora između pređa, tj. poroznosti, otežana je propustljivost vazduha i vodene pare. Upravo su do navedenog zaključka došli i Kostajnshek i Dimitrovski, prilikom ispitivanja UV zaštitnih i toplotnih svojstava na uzorcima pamučnih tkanina. Oni su upoređivali tkanine različite debljine i strukture kako bi ocenili efekte uticaja poroznosti, koja se s debljinom tkanina smanjuje. Bolja UV zaštitna svojstva, kao što je očekivano, pružile su dvoslojne tkanine zbog manje veličine pora između pređa, zbog kojih je otežano prolaženje UV zraka. Međutim, smanjenje poroznosti uslovalo je prilično zatvoreniju strukturu tkanine, što se negativno odrazilo na termo-fiziološka svojstva (Kostajnshek i Dimitrovski 2018). Do istog saznanja u vezi konstrukcionih parametara i UV zaštitnih svojstava pamučnih tkanina došli su Alebeid i Zhao, koji su takođe dokazali da se sa povećanjem debljine i pokrivnog faktora tkanina, povećavaju i UPF vrednosti (Alebeid i Zhao 2017). Zbog toga se prilikom projektovanja UV zaštitnih tekstilnih materijala treba voditi računa o dobro izbalansiranim konstrukcionim parametrima kojima se ne narušavaju svojstva komfora (Scott 2005).

Struktura tekstilnih materijala sklona je promenama u toku perioda nege i nošenja, kada dolazi do istezanja, habanja, kvašenja i sl., koje imaju veliki uticaj na UV zaštitna svojstva. Prilikom nošenja odeće često dolazi do kvašenja i zadržavanja vlage u materijalu, koje je najčešće uzrokovano prenosom znoja koje je ljudski organizam proizveo (Kocić 2015). Isti tekstilni materijal ima manju UV zaštitu kada je mokar, nego u suvom stanju, zbog otežane refleksije, a olakšane transmisije UV zraka zbog prisustva molekula vode (Boothby-Shoemaker i sar. 2022). Na primer, UPF vrednost majice od pamučne pletenine menja se od 2,6 za suhu do 1,5 kada je majica pokvašena, a u nekim istraživanjima je pokazano da je to smanjenje i do jedne trećine (Wilson i sar. 2008 – a; Jevtić 1990). Osterwalder i saradnici su dokazali da je UV transmisija kod beljene pamučne tkanine oko 30%, i raste na 50% kada je tkanina u mokrom stanju (Osterwalder i sar. 2000).

Razlika u UPF vrednostima tekstilnih materijala je velika u zavisnosti od toga da li se one određuju na materijalima u relaksiranom stanju ili uz primenjenu silu istezanja. U realnim uslovima, prilikom nošenja odevnih predmeta, oni se često istežu na telu, zbog čega im se smanjuje pokriveni faktor, a povećava poroznost. Na slici 3.12. prikazan je uzorak pletenine prilikom pripreme za spektrofotometrijsko određivanje UPF vrednosti. Prema uobičajenom postupku ispitivanja, prema standardu AS/NZS 4399, uzorak se postavlja na uređaj kao što je prikazano na slici 3.12. a), a na slici 3.12. b) je prikazan izgled uzorka pletenine istegnuta u oba pravca za 30% da bi se uzeo u obzir efekat istezanja.



Slika 3.12. Pletenina u relaksiranom stanju (a); i istegnuta u oba pravca za 30% (b)
(Kan i sar. 2013)

Pomoću Lambert-Beer-ove jednačine moguće je uvesti korekciju prilikom određivanja transmisije UVR ($T_{\lambda,\chi}$,%) kroz tekstilni materijal, što pokazuje sledeća relacija:

$$T_{\lambda,\chi} = P_{\chi} + (1 - P_{\chi}) \cdot 10^{-A_{\lambda} \cdot d_{\chi}} \quad (3.10)$$

gde P_{χ} predstavlja vidljivu poroznost na tekstilnom materijalu prilikom različitih nivoa istezanja. Zbog istezanja bitno je uzeti u obzir i koeficijent apsorpcije (A_{λ}) i promenu u debljini materijala (d_{χ}). Uobičajeno je da se debljina materijala smanjuje prilikom istezanja (princip zadržavanja iste zapremine tekstilnog materijala), a χ označava vrednost istezanja. Transmisija UVR linerano raste sa povećanjem stepena istezanja materijala. Primenom relacije 3.10 može se predvideti smanjenje UPF vrednosti materijala u relaksiranom stanju (Kan i sar. 2013). Ako se pamučna pletenina sa dodatkom elastana rastegne za 15% vrednost njenog UPF-a se smanji sa 23 na 10. Dokazano je da se kod čarapa sa UPF vrednostima 50, UPF smanji čak devet puta nakon što se čarape rastegnu za 30% u pravcu dužine, a UPF se smanji sa 18 na 2 kada je čarapa istegnuta 30% po širini (Kan i sar. 2013). Upotreba rastegljive odeće veoma je popularna u današnje vreme, naročito kod adolescenata ženskog pola, kao što su helanke, čarape, uske i kratke majice i haljine, koje tesno prijanjaju uz telo. Današnja populacija takođe preferira i kupovinu odeće koje je „broj manja”, koja se rasteže na telu zbog isticanja konture

tela (Algaba i sar. 2007). Moon i Pailthorpe, merili su istezanje više odevnih predmeta koji u sebi sadrže elastin, pri čemu je 50 ispitanika izabralo svoju konfekcijsku veličinu. Došli su do zaključka da takva odeća prilikom nošenja isteže u intervalu od 2% do 52%, sa prosekom od 15,5%, što se odrazilo na smanjenje njihove UPF vrednosti u toku nošenja (Moon i Pailthorpe, 1995).

Kod skupljanja tekstilnih materijala povećanje pokrivnog faktor prati i povećana UV zaštita (Boothby-Shoemaker i sar. 2022), što je tipičan slučaj nakog prvog pranja. Početna vrednost od 20 UPF pamučne majice promenio na 38,2 posle prvog pranja, a 39,8 posle 36 pranja. Često su u upotrebi i deterdženti za pranje tekstilnih materijala koji u sebi sadrže UV apsorpciona jedinjenja koja se u toku procesa pranja vezuju za tekstilna vlakna u cilju povećanja UV zaštitnih sposobnosti. UV apsorberi imaju veliki afinitet prema pamučnim vlaknima i ostaju fiksirani za vlakna i posle pranja. UPF pamučne majice prane deterdžentom koji sadrži UV apsorbere menja se sa 4,8 na 23, dok se sposobnost UV zaštite majice oprane običnim deterdžentom neznatno menja od početnog UPF 5 do UPF 6 opranog uzorka (Paul i Bautista 2009). Kod pojedinih tekstilnih površina, osim zbog procesa nege, UPF vrednosti mogu da se povećaju i zbog nošenja kada dolazi do procesa habanja koje se karakteriše smanjenjem međuprostora između pređa, s povećanjem rastresitosti njene strukture i maljavosti (Stanković i sar. 2009).

3.3.4. Efekat obrade tekstilnih materijala na njihova UV zaštitna svojstva

Tekstilna industrija je poznata po korišćenju raznovrsnih dorada i boja prilikom proizvodnje tekstilnih materijala, kao i naknadnim dodavanjem hemijskih sredstava za postizanje različitih poboljšanih svojstava. Kada je u pitanju analiza UV zaštitna svojstva tekstilnih materijala, veoma je važno da se sagledaju i efekti obrada, poput boja, pigmenata, izbeljivača, nanočestica i sl., jer kao i konstrukcioni parametri, imaju veliki uticaj na UPF vrednosti tekstilnih materijala (Hustvedt i Cox Crews 2005).

Jedna od najčešćih obrada prirodnih celuloznih vlakana poput pamuka je beljenje, kojim se uklanjaju prirodni pigmenti, hidrofobne nečistoće i lignin koji imaju svojstva UV apsorbera (Rahman i sar. 2022). Procesom beljenja u hemijsku strukturu celuloznih vlakna uvode se optički posvetljivači sa efektom fluorescencije koji ne mogu da apsorbuju UV zračenje, a pritom još dodatno povećavaju UV transmisiju kroz tekstilni materijal (Sarkar 2007; Alebeid i Zhao 2017). Zbog toga sirovi celulozni materijali pružaju bolju UV zaštitu od beljenih, sa skoro dvostruko većim UPF faktorom (Hustvedt i Cox Crews 2005).

Međutim, u zavisnosti od hemijske strukture sredstava za beljenje, u nekim slučajevima je pokazano da usled beljenja UPF vrednosti tekstilnih materijala mogu i da rastu. Najčešće se u sredstvima za pranje tekstilnih materijala dodaju optički posvetljivači koji imaju ulogu UV apsorbera, a uz to poboljšavaju belinu tekstilnih materijala indukujući fluorescentnost (Rahman i sar. 2022). To su u okviru svog istraživanja dokazali Wong i saradnici, koji su izbeljivali pamučne pletenine različitih prepletaja, koje su nakon procesa beljenja postale kompaktnije usled bubrenja celuloznih vlakana čineći pletenine manje poroznim i na taj način smanjile mogućnost transmisije UV zraka kroz međuprostor između pređa. Kao što je prikazano na slici 3.13, na primeru pletenine u interlok prepletaju lako se uočava razlika u pokrivnom faktoru koja je nastala nakon procesa beljenja (Wong i sar. 2013).



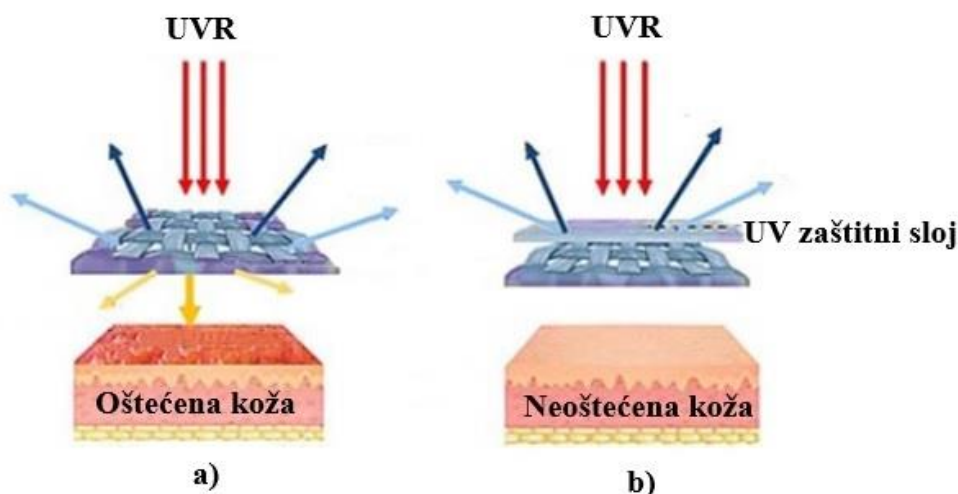
Slika 3.13. Izgled interlok pletenine pre (levo) i posle (desno) beljenja (Wong i sar. 2013)

Leti je uobičajen odabir lagane, tanke, izbeljene pamučne odeće, zato što pruža izuzetan komfor prilikom nošanja, ali iako bela boja reflektuje IR zračenje, ne pruža dobru UV zaštitu (Alebeid i Zhao 2017; Mamnicka i Czajkowski 2012). Obojeni tekstilni materijali pružaju bolju zaštitu od UVR od izbeljenih, ali i generalno boje za tekstil imaju značajnu ulogu u sprečavanju UV transmisije kroz tekstilne materijale (Hustvedt i Cox Crews 2005; Oda 2011). Većina boja za tekstilne materijale apsorbiraju spektar sunčeve svetlosti u regionu između 400 i 700 nm, ali mnoge apsorbiraju svetlost i u blizini UV spektra, na šta najviše utiče koncentracija i tip boje. U sastavu boja često su prisutni metali, poput bakra, koji blokiraju prolaz UV zraka kroz tekstilne materijale (Rahman i sar. 2022).

Tamnije boje (kao što su tamnoplava, crna i tamnozeleno) pokazuju bolja UV zaštitna svojstva od svetlijih (žutih, crvenih i zelenih) (Wilson i sar. 2008-b). Razlog za to može biti apsorpcija boja i modifikacija prenosa zraka zbog preklapanja spektra boja sa spektrom UV zraka (pretežno UVA), fotohemijske karakteristike i struktura molekula boje, ali i interakcija između boje i različitih vrsta tekstilnih vlakna (Wong i sar. 2015-b). Uslovi bojenja pokazuju uticaj na UPF vrednosti tkanina i u istraživanju koje su sprovedli Kan i Au, kada su došli do zaključka da se nižim koncentracijama boja postiže i niža UPF vrednost (Kan i Au 2015). Međutim, spovedena studija na ispitanicima, čija je sportska odeća u toku trčanja postala vlažna od znoja, pokazuje da su komadi crne boje pokazali neočekivani nižu vrednost UPF u odnosu na bele. Razlog za to je prisustvo molekula vode, kao posledice znojenja, u tekstilnom materijalu. Stoga je očigledno da je veoma teško sagledati samo jedan faktor prilikom razmatranja UV zaštitne sposobnosti tekstilnih materijala. Prilikom upoređivanja obojenih i neobojenih ili sirovih tekstilnih materijala, gotovo se uvek dolazi do zaključka da bolju UV zaštitu pružaju oni u kojima su prisutni molekuli boja (Wong i sar. 2015-a). Uticaj boje na UV zaštitna svojstva tekstilnih materijala su veoma interesantna oblast istraživanja, jer se još uvek nije došlo do eksplicitnog zaključka koja vrsta boje (direktne, reaktivne, prirodne, azo, disperzne, kiseline) može pružiti najbolju zaštitu od UV zračenja (Wong i sar. 2015-b).

Tipično za boje je da pod uticajem svetlosti blede, jer dolazi do različitih reakcija poput oksidacije, pa je za očuvanje boje na tekstilnom materijalu ponekad neophodno dodavanje UV apsorbera (Oda 2011; Sarkar 2007). UV apsorberi ili inhibitori su hemijska sredstva u obliku nanočestica koja se, osim za očuvanje obojenosti tekstilnih materijala, takođe koriste i kao namenska vrsta obrade kojom se povećavaju UV zaštitna svojstva i antibakterijska aktivnost tekstilnih materijala. To su bezbojna, najčešće netoksična, jedinjenja nanočestica, kao što su: titan-dioksid (TiO_2), cink-oksida (ZnO), silicijum-dioksid (SiO_2) i barijum-sulfat (BaSO_4); koja imaju odlična (foto)katalitička svojstva pod dejstvom UV svetlosti, zahvaljujući kojima apsorbiraju radijaciju celokupne UV oblasti. Zahvaljujući intenzivnom razvoju novih materijala, baziranih na primeni nanotehnologija, ovim sredstvima se na površinu tekstilnog materijala formira tanak zaštitni film (slika 3.14), najčešće obradama plazmom (Shateri-Khalilabad i Yazdanshenas 2013; Algaba i Riva 2002). Prednosti obrade plazmom (kvazi neutralan gas koga čine neutralne i naelektrisane čestice) su velike u odnosu na druge hemijske obrade, jer ona deluje samo na površinski sloj tekstilnog materijala (10-30 nm), a pritom je veoma jednostavna i ekološki prihvatljiva metoda. Ona je koristi da bi se omogućilo bolje vezivanje nanočestica na tekstilne materijale, tako što obezbeđuje aktivna mesta, u

vidu negativno naelektrisanih grupa (hidroksilne, karbonilne i karboksilne), za koja se vezuju nanočestice (Marković, 2011).



Slika 3.14. Šematsko poređenje uticaja UVR na kožu zaštićenu tekstilnim materijalim a) bez i b) sa zaštitnim UV slojem nanočestica (Rahman i sar. 2022)

Među različitim konvencionalnim poluprovodnicima, titan-dioksid (TiO_2) se preferira kao najpoželjniji neorganski blokator UV zračenja zbog svojih izvanrednih (foto)katalitičkih i netoksičnih svojstava, visoke termičke stabilnosti i dugotrajnih aktivnosti. Generalno, (foto)katalitičke aktivnosti TiO_2 su glavni razlog za njihova različita svojstva primene, uključujući UV zaštitu, antibakterijska svojstva i mogućnost samočišćenja tekstilnih materijala. S obzirom da se pokazalo da što su čestice TiO_2 manje njihova aktivnost postaje veća uglavnom se koriste u obliku nanočestica kojima se obebeđuje „premaz” tekstilnih materijala tj. površinska zaštita od UVR. TiO_2 blokira prolaženje UV zraka kroz tekstilni materijal putem apsorpcije ili refleksije. Nanočestice TiO_2 se na tekstilne materijale nanose različitim metodama, kao na primer sol-gel metodom, uz koju se UV zaštitna svojstva pamučnih tkanina mogu povećati za čak 571% (Rahman i sar. 2022). Cheng i saradnici su dokazali, u okviru svog (foto)katalitičkog eksperimenta, da je zaštita od UV zračenja pamučne tkanine ocenjena sa UPF 127,2 nakon obrade nanočesticama TiO_2 , kao i da je nakon pet ciklusa pranja vrednost UPF bila 108,8, što je izvanredno zavidan rezultat s obzirom na minimalu mogućnost UV zaštite pamučnih materijala (Cheng i sar. 2018). Ove rezultate potvrđuju i druga istraživanja (Wu i sar. 2009; Pakdel i sar. 2017; Abidi i sar. 2009) kojima je dokazano da obrada nano-rastvorom TiO_2 pamučnih materijala daje odlične rezultate u pogledu UV zaštitnih svojstava, posebno u UVB oblasti. Osim toga, formirane kovalentne veze između hidroksilnih grupa celuloze i TiO_2 omogućavaju odličnu trajnost tekstilnih materijala nakon procesa pranja u domaćinstvu, usled koga se čak i smanjuje površinski sadržaj TiO_2 , a ne narušava njihova UPF vrednost (Abidi i sar. 2009). Modifikacija površine tekstilnog materijala sa nanočesticama TiO_2 , zabeležena je i u istraživanju Rietzlera i saradnika, ali na tkaninama od poliamida (PA 6.6.) kojima je nakon ove obrade UPF vrednost bila značajno povećana (Rietzler i sar. 2019). Primena ove obrade je česta i kod ostalih sintetičkih vlakana, kao što je PES i PA 6. (Wong i sar. 2015-a).

Nanočestice ZnO , takođe mogu da tekstilnim vlaknima obezbede odličnu UV zaštitu, što je zabeleženo i istraživanju u kome je pamučna tkanina nakon obrade sa ZnO pokazala vrednost UPF 800 (Shateri-Khalilabad i Yazdanshenas 2013). Ova obrada koristi se i za sintetička vlakna kako za zaštitu od UV zračenja, tako i od IR zračenja, kao i za postizanje nekih drugih svojstava (Jiang i sar. 2017). Wang i saradnici su ispitali mogućnost nanošenja nanoštapića ZnO na pamuk i došli su do rezultata koji pokazuju da se nanoštapići ZnO dobro vezuju za pamučno vlakno obezbeđujući odličnu

UV zaštitu (Marković 2011). Nanočestice ZnO pružaju širok spektar apsorpcije UV zraka, odličan su provodnik i imaju izvanredna antialergijska svojstva zbog čega se primenjuju i u lečenju kože. Takođe, sinteza ZnO je jednostavnija i jeftinija u odnosu na ostale neorganske okside, uključujući i TiO₂ (Rahman i sar. 2022).

Potpuna UV zaštita se obezbeđuje i ukoliko se tekstilni materijal obradi nanočesticama silicijum-dioksida (SiO₂) koje su prethodno modifikovane nekim organskim UV apsorberom (Marković 2011). Takođe, oksidi gvožđa, bakra i grafena mogu se koristiti kao završne obrade za (foto)protektivnu obradu tekstilnih materijala. Camlibel i saradnici opisali su kako tekstilni materijali tretirani oksidom gvožđa mogu imati UPF vrednosti od 35 do 50 (Boothby-Shoemaker i sar. 2022).

Poznato je da tekstilni materijali tretirani mokrim obradama, kao što su čišćenje, mercerizovanje ili beljenje, trpe određene strukturne promene. Studija vršena u cilju ispitivanja UV zaštitne sposobnosti mercerizovane (obrađene alkalnim rastvorom 17%-ni NaOH) pamučne tkanine, donosi zaključak da tkanina obrađena na ovaj način ima veću UPF vrednost od sirove. Razlog tome jeste skupljanje materijala usled mercerizovanja, koje dovodi do povećanja vrednosti pokrivnog faktora, a samim tim i UPF-a (Grancarić i Penova 2005).

Iz svih prethodno pomenutih studija može se zaključiti da je interakcija između UV zračenja i tekstilnih materijala složena, uključujući različite parametre vlakana, pređa, tekstilnih površina, kao i bojenja i drugih vrsta dorade. Svi ovi rezultati predstavljaju vrednu bazu podataka za inženjere i dizajnere, ali hijerarhija ovih parametara još uvek nije uspostavljena i stoga je potrebno sprovesti više istraživanja kako bi se utvrdile opšte smernice za proizvodnju UV zaštitnih tekstilnih materijala i odeće. Većina ovih studija sa inženjerskim pristupom UV zaštitnim svojstvima fokusirana je na pamuk, verovatno zbog činjenice da pamuk zadovoljava veliki deo svetske potražnje za vlaknima (Islam i sar. 2013). Međutim, sa aspekta održivosti, nedostaci uobičajene proizvodnje pamuka povezani su sa visokom potrošnjom vode i značajnim zahtevima za pesticidima i đubrivima (Ullah i sar. 2016), pa se istraživanja sve više usmeravaju na pronalaženje sirovina koje su sa aspekta održivosti superiornije u odnosu na pamuk.

Osim toga, smatra se da su organski apsorberi UV zračenja (pigmenti i boje poput reaktivnih, disperznih, direktnih, azo, baznih i kiselinskih boja za tekstilne materijale) najbolji vid obrade tekstilnih materijala u cilju dobijanja potpunih UV zaštitnih svojstava. Međutim, dugoročna stabilnost organskih apsorbera UVR ima negativan uticaj na ekosistem i rizik po zdravlje, tako što ulaze u različite delove ekosistema tokom svog životnog ciklusa, kao što su površinski, otpadni i pitki vodeni tokovi, zemljište, mulj, poljoprivredna područja, i lanac ishrane ljudi. Zbog odlične rastvorljivosti u vodi i zbog polarnih grupa u svom hemijskom sastavu, oni u otpadnim vodama u velikoj meri doprinose biohemijskom i hemijskom utrošku kiseonika, inhibiraju fotosintezu i rast biljaka, podstiču bioakumulaciju, i mogu dovesti do toksičnosti i kancerogenosti. Boja povezana sa površinom vode utiče na biotski sistem blokirajući ulazak svetlosti kroz vodu, što takođe smanjuje brzinu fotosinteze i nivo rastvorenog kiseonika. Osim toga, ulaze u lanac ishrane životinja i ljudi zbog njihove sposobnosti biomagnifikacije i ostaju kao zagađivači životne sredine. Oko 15% do 50% boja (kao što su azo boje) ne može se zadržati na tekstilnim materijalima tokom procesa bojenja. Tako nakon bojenja, velike količine boja dospevaju u vodotokove kroz otpadne sisteme industrijske otpadne vode. Ove otpadne vode direktno su povezane sa navodnjavanjem poljoprivrednih površina, što povećava toksične efekte na zemljište i uništava zemljišta (Rahman i sar. 2022). Zbog toga se smatra da su boje za tekstilne materijale jedan od najvećih zagađivača životne sredine (Boothby-Shoemaker i sar. 2022).

Osim boja, različiti metali i oksidi metala koji se koriste u nanotehnologijama za obradu tekstilnih materijala mogu u određenoj meri da utiču negativno na životnu sredinu, zbog masovne primene. Ovi materijali ispoljavaju svoje toksične efekte generisanjem reaktivnih oblika kiseonika i slobodnih radikala i oslobađanjem jona metala u ekosisteme. Intenzitet toksičnog efekta postepeno se povećava sa povećanjem broja oslobođenih metalnih jona. Zavisno od vrste rastvarača i temperature rastvaranja, efekat toksičnosti TiO₂ i ZnO varira od niske do visoke ili od visoke do niske. Na primer, efekti trovanja opadaju sa porastom temperature zbog niskog formiranja metalnih jona (Rahman i sar. 2022).

Sa popularnošću prirodnog načina života, javnost se okrenula korišćenju prirodnih i održivih proizvoda, pa su stoga sprovedena istraživanja o korišćenju nealergijskih, netoksičnih i ekološki prihvatljivih prirodnih boja za celulozne tekstilne materijale (Parisi i sar. 2015; Chao i sar. 2017). Pokazalo se da je povećanje zaštite od UV zračenja uglavnom zavisilo od karakteristika apsorpcije UV zračenja od strane prirodnih boja za tekstilne materijale (Feng i sar. 2007). Prirodne boje se mogu dobiti od različitih biljnih ekstrakata (Grifoni i sar. 2020) kao što su eukaliptusovi listovi (Silva i sar. 2018), ekstrakti čaja (Kim 2006; Bonet-Aracil i sar. 2016), amarant i crni paradajz (Morshed i sar. 2018) i različiti ekstrakti iz mediteranske flore (Grifoni i sar. 2014) koji se koriste za poboljšanje zaštite tekstilnih materijala od UV zračenja. Pored biljnih ekstrakata, poljoprivredni otpad je uspešno iskorišćen za poboljšanje sposobnosti zaštite od UV zračenja pamučnih tkanina (Pandey i sar. 2018). Grifoni i saradnici su pokazali poboljšanje svojstava zaštite od UV zračenja konoplje i lana (Grifoni i sar. 2009), kao i različitih celuloznih tkanina (pamučne, lanene, od konoplje, od ramije) nakon bojenja nekim od najčešćih prirodnih boja. Ova istraživanja pokazuju da se sposobnost zaštite od UV zračenja tekstilnih materijala može poboljšati zavisno od hemijskog sastava boje i uslova bojenja (Grifoni i sar. 2011). Ekstrakt iz lista aloje vere jedan je od najpoznatijih prirodnih UV apsorbera, a osim toga je netoksičan, antimikroban i efikasan u lečenju rana. Da bi se obezbedila dobra UV zaštitna svojstva, ekstrakt aloja vere se aplicira na površinu tekstilnog materijala u obliku kompozita (aloja vera/hitosan nanokompozit). Nanošenjem takvog nanokompozita na pamučnu tkaninu metodom sušenja pod pritiskom, ona pokazuju izvanrednu UPF vrednost (više od 50), uz maksimalnu apsorpciju UVB zraka i uz multifunkcionalne karakteristike, uključujući antimikrobno dejstvo. Postoji još mnoštvo prirodnih ekstrakata koji se koriste u cilju postizanja zadovoljavajućih UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala, i pokazalo se da su biljni ekstrakti efikasnija UV zaštita od drugih prirodnih izvora poput npr. voska ili prirodnog zeolita (Rahman i sar. 2022).

4. CILJ I SADRŽAJ RADA

Industrijska konoplja (*Cannabis sativa* L.) je vekovima u upotrebi kao tekstilna sirovina. Nakon perioda stagnacije u preradi i upotrebi vlakana konoplje sredinom 20. veka, do koga je došlo usled intenzivne proizvodnje i upotrebe sintetičkih vlakana, kao i usled genetske sličnosti biljke industrijske konoplje sa varijantom biljke sa velikim sadržajem psihoaktivne komponente, nastupila je reafirmacija konoplje kao sirovine sa odličnim predispozicijama sa aspekta održivog razvoja. Pokazalo se da konoplja može da bude zdrav, ekološki, obnovljiv i biorazgradiv izvor sirovine, kako za tradicionalne, tako i za inovativne primene u različitim industrijskim granama. Pore toga, ova biljka se odlikuje brzim rastom, uz prilagodljivost različitim uslovima zemljišta. Konoplja je prepoznata kao biljka sa sposobnošću bioremedijacije i suzbijanja korova u zemljištu na kome se gaji. Gajenje konoplje zahteva minimalne količine herbicida i pesticida, i značajno manju količinu vode od pamuka, danas najupotrebljavanijeg prirodnog tekstilnog vlakna. I sa ekonomskog aspekta, prednost je na strani konoplje, jer se pokazalo da su troškovi vezani za gajenje konoplje značajno niži u poređenju sa gajenjem pamuka. Kao tekstilna sirovina, vlakna konoplje se odlikuju izuzetnim higijenskim svojstvima, i dobrim antielektrostatičkim i toplotno-izolacionim svojstvima. Smatra se da vlakna konoplje nude dobru zaštitu od elektromagnetnog (ultraljubičastog i infracrvenog) zračenja zahvaljujući prisustvu lignina. Međutim, najveći deo lignina se uklanja iz vlakana prilikom njihove prerade i profinjavanja što je neophodno da bi se dobila visoko kvalitetna vlakna za izradu tekstilnih materijala dodate vrednosti.

Javnosti su dobro poznati pozitivni efekti sunčevih zraka na čovekovo zdravlje, kao što su podsticanje sinteze vitamina D, i drugi terapijski efekti. Sa druge strane, pokazalo se da nekontrolisano i dugotrajno izlaganje sunčevim zracima može da izazove štetne efekte koji mogu biti kratkotrajni (crvenilo kože i opekotine), i hronični kao što su prerano starenje kože, benigni i maligni tumori na koži. Zbog toga je danas u javnosti prisutan trend zaštite od sunčevog zračenja. Odeća predstavlja jedno od najvažnijih i najpouzdanijih sredstava zaštite od UV zračenja. Rezultati dosadašnjih istraživanja su pokazali da efikasnost odevnih predmeta u pružanju adekvatne UV zaštite zavisi od dizajna ili kroja odevnog predmeta, sirovinskog sastava i boje tekstilnog materijala, primenjenih obrada materijala, ali i prepletaja, površinske mase i debljine tekstilnog materijala, kao i od karakteristika upotrebljene pređe.

Kada je reč o unapređenju UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala, moguća su dva prilaza. Hemijski pristup podrazumeva primenu različitih tzv. mokrih obrada i nanošenje hemikalija ili UV apsorbera na tekstilni materijal. Drugi, manje istraživani inženjerski pristup podrazumeva iskorišćenje potencijala strukturnih elemenata i parametara tekstilnih materijala u smislu postizanja zadovoljavajućih UV zaštitnih svojstava. Pregled literature ukazuje na ograničen broj istraživanja sa inženjerskim pristupom poboljšanju UV zaštitne sposobnosti tekstilnih materijala. Kada je reč o tekstilnim materijalima od prirodnih vlakana, najveći broj tih istraživanja se odnosi na pamučne tekstilne materijale budući da su oni najviše u upotrebi. Izuzetno je mali broj istraživanja, na internacionalnom nivou, koja se bave ispitivanjem UV zaštitne sposobnosti tekstilnih materijala na bazi konoplje.

Polazeći od prethodnih navoda, osnovni cilj ove disertacije je da se inženjerskim pristupom, odnosno primenom mehaničkih operacija i metoda projektovanja tekstilnih materijala, tekstilnim materijalima na bazi konoplje obezbede unapređena UV zaštitna svojstva. Pri tome, ovde se radi o isključivo ekološki benignim postupcima bez primene ikakvih dodatnih supstanci i aditiva. Time se tekstilnim materijalima na bazi konoplje, pored već pomenutih odličnih upotrebnih svojstava, dodaje nova vrednost iskazana kroz optimalna UV zaštitna svojstva, na način da se ne naruše pozitivni aspekti održivosti.

Kako je već rečeno, istraživanja u okviru ove doktorske disertacije obuhvatila su dva pravca inženjerskog pristupa modifikaciji UV zaštitnih svojstava. Jedan pravac se odnosi na kombinovanje konopljine pređe sa pređama od drugih prirodnih i hemijskih (sintetičkih i regenerisanih) vlakana u

fazi izrade pletenina. Drugim rečima, formiranje „mešavine“ vlakana realizuje se u fazi pletenja, što omogućuje projektovanje UV zaštitnih svojstava pletenina efektima upotrebljene sirovine i specifičnostima strukture i geometrije pređa. Drugi pravac predstavlja pokušaj primene dodatne ali neobavezne mehaničke operacije – končanje pređa, koja se u praksi sprovodi sa ciljem poboljšanja svojstava pređe kao što su jačina i ravnomernost, u cilju poboljšanja UV zaštitnog kapaciteta pletenina. Zbog toga su za potrebe ovog istraživanja upotrebljene jednožične pređe od konoplje, pamuka, viskoze i poliakrilonitrilnih vlakana, kao i končana (dvožična) konopljina pređa. Imajući u vidu da je sunčevo zračenje posebno izraženo u letnjim mesecima, odabrana su pamučna i viskozna vlakna budući da se odevni tekstilni materijali namenjeni za letnju odeću najčešće proizvode od ovih vlakana. Generalno se smatra da sintetička vlakna pružaju bolju UV zaštitu, međutim činjenica je da su tekstilni materijali od sintetičkih vlakana inferiorni u pogledu termofiziološkog komfora. Kako su se dosadašnja istraživanja UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala na bazi sintetičkih vlakana uglavnom odnosila na poliestar, u okviru ovog istraživanja je izabrana pređa od poliakrilonitrilnih vlakana (PAN).

Od navedenih pređa su proizvedene glatke DL pletenine, kombinovanjem konopljine pređe sa pamučnom, viskoznom ili PAN pređom u toku samog postupka pletenja, ali i pletenine homogenog sirovinskog sastava (konopljina, pamučna, viskozna i PAN) radi adekvatnog komparativnog sagledavanja uticaja svojstava vlakana i pređa. U uslovima istih tehnoloških parametara proizvodnje proizvedena je i pletenina od končane konopljine pređe čije su strukturne karakteristike i UV zaštitna svojstva analizirana u odnosu na pleteninu izrađenu od jednožične konopljine pređe. Imajući u vidu dimenzionu nestabilnost DL pletenina, odnosno sklonost ka relaksacionom skupljanju, proizvedene pletenine su podvrgnute mokroj relaksaciji. Sve pletenine, pre i posle mokre relaksacije, su sistematski analizirane u pogledu primarnih i sekundarnih strukturnih parametara, a zatim su podvrgnute spektrofotometrijskom testiranju UV zaštitnih svojstava (*in vitro* metoda).

Cilj realizovanih istraživanja i dobijenih rezultata je unapređenje saznanja o potencijalima inženjerskog pristupa optimizaciji UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala na bazi konoplje, ali i uspostavljanje nekih opštih smernica za projektovanje tekstilnih materijala sa zadovoljavajućim svojstvima UV zaštite.

5. MATERIJAL I METODE ISPITIVANJA

5.1. Materijal

Za istraživanja u okviru doktorske disertacije upotrebljene su štapelne jednožične pređe od konoplje (Linificio Canapificio Nazionale, Italija), pamuka (PVK, Vranje), viskoze (Viskoza, Loznica) i poliakrilonitrilnih (PAN) vlakana (Pirotex, Pirot). Projektovane karakteristike upotrebljenih pređa su finoća 50 tex i upredenost 400 m⁻¹ u Z smeru. Realne vrednosti finoće i upredenosti, kao i geometrijske karakteristike ovih pređa date su u tabeli 5.1. Pored navedenih jednožičnih pređa, u okviru istraživanja je upotrebljena i dvožična končana pređa od konoplje nominalne finoće 100 tex i upredenosti 310 m⁻¹ u S smeru. Končana konopljna pređa, proizvedena u kompaniji „St. George“ (Srbija), stabilizovana je parenjem u autoklavu na 80 °C u trajanju od 20 min i odležavanjem 72 h u kondicioniranim uslovima (65% ± 2% Rh, 20 °C ± 2 °C). Karakteristike končane konopljne pređe prikazane su u tabeli 5.1. Realne vrednosti finoće i upredenosti pređa određene su prema važećim SRPS standardima (SRPS EN ISO 2060, SRPS EN ISO 2061). Prečnik pređa je određen upotrebom svetlosnog mikroskopa, i na osnovu 50 očitavanja izračunata je srednja vrednost prečnika pređe. Specifična gustina pređe ρ_y (g/cm³) je izračunata prema relaciji 5.1

$$\rho_y = \frac{4T}{d^2 10^3 \pi} \quad (5.1)$$

gde je T – finoća pređe (tex), i d – prečnik pređe (mm). Faktor pakovanja pređe definisan je odnosom gustine pređe i gustine vlakana. Maljavost pređa je eksperimentalno određena pomoću uređaja Shirley Hairiness Monitor SDL 103 koji registruje malje duže od 3 mm koje štrče sa površine pređe. Broj malja je registrovan u intervalima od 5 sec, a zatim je preračunat na dužinu pređe od 1 m.

Tabela 5.1. Karakteristike štapelnih jednožičnih pređa

Parametar (jedinica)	Konoplja	Končana konoplja	Pamuk	Viskoza	PAN
Finoća (tex)	47,8	95,6	48,9	44,4	48,7
Upredenost (m ⁻¹)	370	297	490	340	351
Koeficijent upredenosti (tex ^{1/2} cm ⁻¹)	25,6	29,0	33,2	22,6	24,5
Prečnik (mm)	0,22	0,41	0,34	0,25	0,28
Gustina (g/cm ³)	1,258	0,721	0,539	0,905	0,791
Faktor pakovanja	0,84	0,48	0,36	0,60	0,66
Maljavost (m ⁻¹)	3,4	6,7	14,8	37,2	63,5

Opisane jednožične i končana konopljna pređa su upotrebljene za izradu kuliranih glatkih desnolevih (DL) pletenina na kružnoj pletačoj mašini finoće NoE 20, uz kontrolisanje tehnoloških parametara procesa pletenja. Stručnjem po dve pređe i njihovim polaganjem na igle mašine omogućena je izrada homogenih i nehomogenih pletenina u pogledu sirovinskog sastava. Preciznije, polaganjem jedne konopljne i jedne pamučne pređe proizvedena je konoplja/pamuk pletenina. Kombinovanjem konopljne pređe sa viskoznom ili poliakrilonitrilnom (PAN) pređom dobijene su konoplja/viskoza i konoplja/PAN pletenine. Na taj način, sve tri pletenine se sastoje od 50% konoplje i 50% druge sirovine (pamuk, viskoza ili PAN). Kako bi sve proizvedene pletenine bile međusobno uporedive u pogledu konstrukcionih karakteristika, na isti način (stručnjem dve iste pređe) su proizvedene i homogene varijante pletenina: 100% konoplja, 100% pamuk, 100% viskoza i 100%

PAN. Kao osma varijanta, proizvedena je i pletenina od končane konopljinine pređe (konoplja/konoplja) uz iste tehnološke parametre procesa pletenja. Suva relaksacija pletenina obavljena je njihovim odležavanjem u nezategnutom stanju na ravnoj površini u kondicioniranim uslovima ($65\% \pm 2\% \text{ Rh}$, $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$). Primarni strukturni parametri (konstrukcione karakteristike) proizvedenih pletenina, prikazani u tabeli 5.2, eksperimentalno su određeni prema standardnoj proceduri (Koblyakov, 1989).

Tabla 5.2. Primarni strukturni parametri glatkih DL pletenina

Sirovinski sastav	Gustina petlji			Debljina (mm)	Površinska masa (g/m^2)
	D_v^{a} (cm^{-1})	D_h^{b} (cm^{-1})	$D_v \cdot D_h^{\text{c}}$ (cm^{-2})		
Konoplja + konoplja	13,7	5,5	75,4	0,916	360
Konoplja/konoplja	12,0	5,5	66,0	0,948	334
Pamuk + pamuk	12,0	6,0	72,0	1,183	387
Konoplja + pamuk	13,0	5,5	71,5	1,047	366
Viskoza + viskoza	13,0	6,0	78,0	1,048	367
Konoplja + viskoza	14,0	5,5	77,0	0,957	376
PAN + PAN	11	6,5	71,5	1,181	376
Konoplja + PAN	13	5,5	71,5	1,038	359

^{a)} vertikalna gustina (broj redova); ^{b)} horizontalna gustina (broj nizova); ^{c)} površinska gustina petlji

Proizvedene DL pletenine su podvrgnute kvašenju u cilju mokre relaksacije prema standardu SRPS F.S2.020 (modifikovana metoda E) (SRPS, 1958). Pletenine su kvašene u destilovanoj vodi zagrejanjoj na 40 °C potapanjem epruvete (uzorka pletenine dimenzije $5 \times 5\text{ cm}$) postavljene između dve staklene ploče. Nakon dva sata, uzorak je oceden pomoću filter papira kako bi se uklonio višak vode, i osušen odležavanjem na žičanoj mreži na sobnoj temperaturi i vlažnosti vazduha. Posle 24 h kondicioniranja uzorka ($65\% \pm 2\% \text{ Rh}$, $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$), izmerene su nove dimenzije čime je omogućeno izračunavanje procenta skupljanja pletenine, S_p (%), prema relaciji 5.2.

$$S_p = \frac{L_0 \cdot H_0 - L_1 \cdot H_1}{L_0 \cdot H_0} \quad (5.2)$$

gde je L_0 ; L_1 – dužina epruvete (uzorka pletenine) pre i posle kvašenja, redosledno, i H_0 i H_1 – visina epruvete pre i posle kvašenja, redosledno.

Pored primarnih strukturnih parametara suvo relaksiranih pletenina, na isti način su definisani i mokro relaksirani uzorci, kao i pletenine podvrgnute testu nege i nošenja. Izvlačenjem niti prediva iz mokro relaksiranih uzoraka pletenina, kao i iz uzoraka podvrgnutih testu nege i nošenja, omogućeno je određivanje prečnika, specifične gustine i faktora pakovanja pređa. Na osnovu primarnih strukturnih parametara pređa i pletenina izračunati su sekundarni strukturni parametri pletenina: gustina, poroznost, otvorena poroznost, površina petlje, površinski i zapreminski moduli petlje. Gustina pletenina je izračunata kao količnik površinske mase i debljine pletenine. Poroznost pletenina, P (%), koja predstavlja ukupnu količinu vazduha u porama između pređa i u porama između vlakana u pređi, izračunata je prema relaciji 5.3

$$P = 100 - \frac{\rho_{pl}}{\rho_{vl}} 100 \quad (5.3)$$

gde je ρ_{pl} – gustina pletenine (kg/m^3), i ρ_{vl} – specifična gustina vlakna (kg/m^3).

Otvorena poroznost pletenina, O (%), definisana je kao količina vazduha u porama između segmenata pređa u pletenini (makropore). Ovaj parametar se izračunava prema relaciji 5.4.

$$O = 100 - \frac{\rho_{pl}}{\rho_p} 100 \quad (5.4)$$

gde je ρ_p – gustina pređe (kg/m^3).

Površina petlje (mm^2) se izračunava na osnovu širine i visine petlje. Širinu i visinu petlje je eksperimentalno teško odrediti, ali se ovi parametri petlje mogu izračunati na osnovu poznatih vrednosti horizontalne i vertikalne gustine pletenine. Površinski modul petlje, σ_p , definiše veličinu otvorene pore (makropore) u pletenini. Manja vrednost površinskog modula ukazuje na manju veličinu makropora, odnosno kompaktniju strukturu pletenine. Izračunava se prema relaciji 5.5.

$$\sigma_p = \frac{A \cdot B \sqrt{\pi \cdot \rho_p}}{2l\sqrt{T}} \quad (5.5)$$

gde je A – širina petlje (mm), B – visina petlje (mm), l – dužina petlje (cm), i T – finoća pređe (tex).

Zapreminski modul petlje, σ_v , definiše „zapreminsku propustljivost“ pletenine. Drugim rečima, ovaj parametar dovodi u vezu zapreminu „kocke“ u kojoj je smeštena jedna petlja i zapreminu koju zauzima pređa u toj „kocki“, prema relaciji 5.6. Veća vrednost zapreminskog modula ukazuje na manju zapreminu pređe u zapremini jedne petlje.

$$\sigma_v = \frac{4A \cdot B \cdot t}{\pi \cdot d^2 \cdot l} \quad (5.6)$$

t – debljina pletenine (mm), i d – prečnik pređe (mm).

5.2. Metode ispitivanja

5.2.1. Ispitivanje UV zaštitnih svojstava DL pletenina

Sposobnost tekstilnih materijala da obezbede UV zaštitu definiše se parametrom „UPF“ - UV zaštitni faktor (eng. UV protection factor) koji predstavlja kvantitativnu meru efikasnosti tekstilnog materijala da zaštiti čovekovu kožu od UV zračenja. UV zaštitni faktor se izračunava kao odnos srednje vrednosti količine UV zračenja emitivanog UV izvorom i količine UV zračenja koje je prošlo kroz uzorak tekstilnog materijala, uz korekciju koja uzima u obzir različitu bilošku delotvornost zračenja različitih talasnih dužina u okviru intervala UV radijacije. Radi se o široko prihvaćenoj *in vitro* standardizovanoj metodi (EN 13758-1, 2001) koja podrazumeva spektrofotometrijsko merenje propuštene UVA i UVB transmisije. Pomoću Lambda 800 UV/VIS spektrofotometra PELA-1000 (PerkinElmer Inc., USA), (slika 5.1), mereni su transmisija i refleksija u oblasti UV zračenja (290-400 nm) u intervalima od 5 nm. Uzorci pletenina su postavljani u nezategnutom stanju. Za svaku pleteninu je vršeno pet merenja, uz tri očitavanja po epruveti (uzorku): u pravcu redova, nizova i dijagonalno. Merenja su izvršena kako licem, tako i naličjem prema UV izvoru. Srednje vrednosti UVA, UVB i UVR transmisije izračunate su prema relacijama 5.7. 5.8 i 5.9

$$UVA_i = \frac{1}{m} \sum_{315}^{400} T_i(\lambda) \quad (5.7)$$

$$UVB_i = \frac{1}{k} \sum_{290}^{315} T_i(\lambda) \quad (5.8)$$

$$UVR = \frac{1}{n} \sum_{290}^{400} T_i(\lambda) \quad (5.9)$$

gde je $T_i(\lambda)$ – transmisija za talasnu dužinu λ ; m, k, n – broj merenja između talasnih dužina 315 – 400 nm, 290-315nm i 290-400 nm, redosledno. Srednje vrednosti UVR refleksije izračunate su na sličan način, uvođenjem odgovarajućih vrednosti refleksije za date talasne dužine u relacije 5.7, 5.8 i 5.9.



Slika 5.1. Lambda 800 UV/VIS spektrofotometar PELA-1000 (PerkinElmer Inc., USA)

Srednje vrednosti UVA, UVB i UVR transmisije i refleksije poslužile su za izračunavanje vrednosti apsorpcije u UVA, UVB i UVR oblastima. Vrednosti transmisije u čitavom UVR spektru poslužile su za izračunavanje UV zaštitnog faktora (UPF) prema relaciji 5.10 (EN 13758-1, 2001).

$$UPF = \frac{\sum_{\lambda=290}^{\lambda=400} E(\lambda)\varepsilon(\lambda)\Delta\lambda}{\sum_{\lambda=290}^{\lambda=400} E(\lambda)T(\lambda)\varepsilon(\lambda)\Delta\lambda} \quad (5.10)$$

gde je $E(\lambda)$ – solarno zračenje (količina radijacije na određenoj površini, W/m·nm), $\varepsilon(\lambda)$ – relativna eritermalna spektralna efikasnost, $\Delta\lambda$ - primenjeni korak merenja u UV intervalu talasnih dužina (nm), $T(\lambda)$ – transmisija uzorka materijala za talasnu dužinu λ (%). Opisani postupak merenja UVR transmisije, refleksije i izračunavanja UVR apsorpcije i UV zaštitnog faktora sprovedeno je za suvo relaksirane pletenine i mokro relaksirane uzorke. Sva merenja su sprovedena u standardizovanim

uslovima ($65\% \pm 2\% \text{ Rh}$, $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$). Vrednost UV zaštitnog faktora definiše vreme koje osoba koja nosi odevni predmet može biti izložena UV zračenju u poređenju sa situacijom kada je koža slobodno izložena zračenju (bez odeće), do pojave crvenila na koži. Prema evropskom standardu (EN 13758-2, 2003), tekstilni materijali sa vrednošću UPF iznad 30 klasifikuju se kao UV zaštitni materijali. Materijali okarakterisani UPF-om većim od 40 klasifikuju se kao odlični UV zaštitni materijali, i označavaju se simbolom „40+“ (tabela 5.3) (EN 13758-2, 2003).

Tabela 5.3. Kategorije i ocene UV zaštitne sposobnosti tekstilnih materijala prema standardu EN 13758-2.

Kategorija zaštite	UPF interval	Klasifikacija	Transmisija (%)
Odlična	Iznad 40	40+	< 2,5
Vrlo dobra	30 - 40	30	3,3 – 2,5
Dobra	20 - 29	-	5,0 – 3,4

5.2.2. Statistička analiza eksperimentalnih podataka

Za potrebe statističke analize eksperimentalnih podataka korišćeno je više različitih statističkih metoda, kao što su ANOVA (analiza varijanse jednog faktora), post-hoc T-test uz Bonferroni korekciju i T-test uparenih uzoraka. ANOVA statističkom metodom se porede srednje vrednosti eksperimentalnih rezultata više od dve grupe podataka. Pored srednje vrednosti i varijanse analiziranih podataka (eksperimentalnih rezultata), ova statistička metoda daje vrednost statistike (F), kritičnu vrednost statistike (F_{crit}), i nivo značajnosti (P) statistike F. Ovom statistikom testira se hipoteza da su srednje vrednosti tri ili više nezavisnih grupa podataka iste, što je slučaj kada je nivo značajnosti statistike manji od praga značajnosti α (u ovom slučaju $\alpha=0,05$). U slučaju kada je $F > F_{crit}$, uz uslov da je nivo značajnosti (P) veći od praga značajnosti (α), prihvata se hipoteza da tri i više nezavisnih grupa podataka nisu iste, ili drugim rečima, smatra se da uticaj testiranog faktora nije slučajan. U slučaju potvrde uticaja testiranog faktora, sproveden je post-hoc T-test sa Bonferroni korekcijom. Ovim testom je omogućeno poređenje svih mogućih parova nezavisnih grupa, kako bi se utvrdilo koje se međusobno značajno (statistički) razlikuju.

Studentov t-test je primenjen prilikom statističke analize dve nezavisne grupe rezultata; jedna se odnosila na pleteninu izrađenu od jednožične konopljine pređe, a druga na pleteninu izrađenu od končane konopljine pređe. Ovde se testiraju dve suprotstavljene hipoteze. Kada je nivo značajnosti statistike (P) manji od praga značajnosti α ($\alpha=0,05$), zaključuje se u korist hipoteze da dve nezavisne grupe podataka nisu iste, ili drugim rečima, potvrđuje se statistički da uočene razlike između dve grupe podataka nisu slučajne.

T-testom uparenih uzoraka vrši se analiziranje dve zavisne grupe podataka. U okviru ove disertacije, T-testom je izvršena je provera statističke značajnosti promene testiranog parametra posle mokre relaksacije glatkih DL pletenina. U slučaju kada je nivo značajnosti statistike (P) manji od praga značajnosti α ($\alpha=0,05$), potvrđuje se da je uočena promena testiranog parametra statistički značajna.

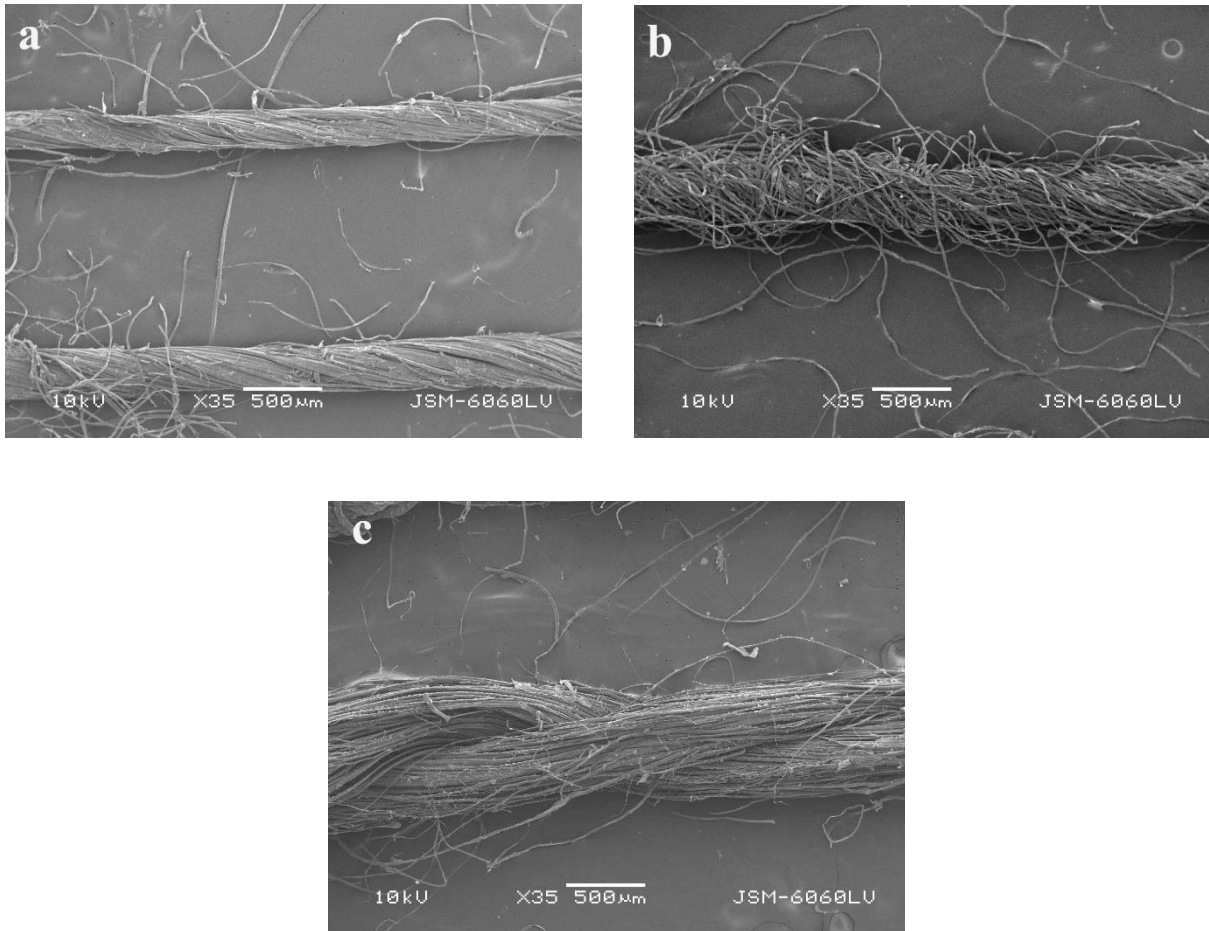
6. REZULTATI I DISKUSIJA

6.1. Strukturne karakteristike pređa i glatkih DL pletenina

Strukturne karakteristike pređa, koje su prikazane u tabeli 5.1, ukazuju na određena odstupanja realnih vrednosti strukturnih parametara jednožičnih pređa u poređenju sa projektovanim vrednostima što je posledica, kako tehnološkog procesa izrade pređe (u manjoj meri), tako i uticaja karakteristika upotrebljenih vlakana. Odstupanja od projektovane vrednosti finoće pređe (50 tex) su minimalna, međutim, uočava se značajno odstupanje upredenosti pamučne pređe u poređenju sa ostalim upotrebljenim jednožičnim pređama (tabela 5.1). To je posledica činjenice da je pamučna pređa proizvedena tehnikom rotorskog (open-end, OE) pređenja, usled čega se ona odlikuje nešto drugačijim strukturnim specifičnostima. Naime, rotorske pređe se odlikuju specifičnom višeslojnom strukturom. Upredenije jezgro pređe se sastoji od gusto pakovanih vlakana, dok su spoljni slojevi vlakana rastresiti sa promenljivom upredenošću. Površina rotorskih pređa se odlikuje prisustvom karakterističnih divljih (ovojnih) vlakana koja obmotavaju telo pređe. Zbog toga se generalno smatra da je stvarna vrednost upredenosti rotorske pređe značajno manja od eksperimentalno određene vrednosti (Lord, 1971). Imajući ovo u vidu, u okviru ove disertacije smatraće se da je upredenost pamučne pređe uporediva sa upredenošću ostalih upotrebljenih jednožičnih pređa.

Kada je reč o geometriji jednožičnih pređa, parametri dati u tabeli 5.1 ukazuju na određene razlike koje se manifestuju kroz prečnik i gustinu pređe, odnosno faktor pakovanja koji definiše gustinu pakovanja vlakana u pređi. Primenjena tehnika rotorskog pređenja pamučne pređe odrazila se na geometriju pređe na način da je prečnik pređe povećan, gustina i faktor pakovanja smanjeni u poređenju sa ostalim jednožičnim pređama. Sa druge strane, konopljina pređa se odlikuje 40% većom gustinom u odnosu na viskoznu pređu i oko 60% većom od gustine PAN pređe, što je rezultiralo manjim prečnikom konopljine pređe u poređenju sa ostalim jednožičnim pređama. (tabela 5.1). Velika gustina pakovanja vlakana u konopljinoj pređi pripisuje se smanjenoj fleksibilnosti konopljinih vlakana usled čega je njihova migracija tokom izrade pređe bila usporena. Pređe od konoplje i pamuka, koje su se odlikovale najmanjim (0,22 mm) i najvećim (0,34) prečnikom, redosledno, odnosno najvećom i najmanjom gustinom pakovanja vlakana, prikazane su na SEM mikrofotografijama na slici 6.1 (Stankovic i sar. 2022). Pored manjeg prečnika konopljine pređe, mikrofotografije ukazuju i na rastresitu strukturu i vrlo razvijenu topografiju površine pamučne pređe, što je posledica primenjene tehnike pređenja. Na mikrofotografiji konopljine pređe može se uočiti njena glatka površina sa manjim brojem dužih štrčćih krajeva vlakana (malja). Mala maljavost konopljine pređe je i kvantitativno utvrđena parametrom – indeks maljavosti ili maljavost pređe sa svega 3,4 malja po metru pređe. Većom maljavošću je okarakterisana pamučna pređa (14,8 m⁻¹), iako značajno manje u poređenju sa viskoznom (37,2 m⁻¹) i PAN (63,5 m⁻¹) pređom (tabela 5.1). Ipak, treba reći da primenjeni uređaj za registrovanje maljavosti pređa (Shirley Hairiness Monitor SDL 103) nije omogućio potpuno precizno kvantitativno utvrđivanje maljavosti pamučne pređe budući da registruje samo malje dužine iznad 3 mm. Naime, kako je ilustrovano na slici 6.1b, površina rotorske pamučne pređe se odlikuje velikim brojem petlji koje uređaj ne registruje.

Končanjem dve jednožične konopljine pređe u smeru suprotnom od smera primarnog upređanja formirana je složena (končana) pređa čija je struktura promenjena u odnosu na polazne jednožične komponente. Usled delimičnog raspredanja jednožičnih pređa prilikom končanja u smeru suprotnom od smera primarnog upređanja, došlo je do reorijentacije vlakana, odnosno do promene ugla nagiba vlakana u končanoj strukturi. Kao što se može videti na SEM mikrofotografiji na slici 6.1c, neka konopljina vlakna su gotovo paralelna sa osom končane pređe. Ovo „otvaranje“ ili smanjenje kompaktnosti strukture pređe manifestovalo se kroz smanjenje gustine končane pređe i faktora pakovanja za oko 43% u odnosu na jednožičnu konopljinu pređu (Kocić i sar. 2016). Iako je maljavost končane konopljine pređe udvostručena (6,7 m⁻¹) u poređenju sa jednožičnom konopljinom pređom, njena površina se može smatrati glatkom, što potvrđuje i mikrofotografija ove pređe (slika 6.1c).



Slika 6.1. Geometrija jednožične konopljine (a), i pamučne (b), i končane konopljine (c) pređe (Stanković i sar. 2022)

Iako su sve glatke DL pletenine obučene istraživanjem bile proizvedene na istoj pletačoj mašini pod istim tehnološkim uslovima, njihove osnovne konstrukcione karakteristike (primarni strukturni parametri) su se unekoliko razlikovali (tabela 5.2) kao posledica različitih svojstava upotrebljenih vlakana. Varijacije horizontalne i vertikalne gustine petlji kod pletenina izrađenih od jednožičnih pređa ukazuju na njihove međusobne razlike u pogledu konfiguracije ili oblika petlji. Međutim, interesantno je da za parove pletenina: pamuk i konoplja+pamuk, viskoza i konoplja+viskoza, i PAN i konoplja+PAN, površinska gustina ($D_h \cdot D_v$) gotovo identična uprkos varijacijama horizontalne i vertikalne gustine petlji. **Uočena pojava ukazuje na efekat koji je konopljina pređa imala na konfiguraciju petlji, ali ne i na gustinu petlji u nehomogenim pleteninama.** Površinska gustina petlji ($D_v \cdot D_h$), kao i prečnik pređe uticali su na varijacije debljine DL pletenina (tabela 5.2).

Pletenina izrađena od končane konopljine pređe (konoplja/konoplja) odlikuje se najmanjom površinskom gustinom (66 cm^{-2}), u okviru isptivanih DL pletenina, a broj petlji po 1 cm^2 je 12,5% manji u poređenju sa konopljinom pleteninom izrađenom od jednožične pređe (konoplja+konoplja). Uočeno smanjenje površinske gustine pletenine izrađene od končane konopljine pređe je posledica smanjenja njene vertikalne gustine u odnosu na varijantu pletenine izrađene od jednožične konopljine pređe. Kako su pletenine proizvedene pod istim tehnološkim parametrima proizvodnje, kao razlog za smanjenje vertikalne gustine nameće se promena konfiguracije petlji usled promene otpornosti na savijanje končane konopljine pređe. Naime, sa delimičnim raspredanjem jednožičnih komponenata u končanoj strukturi opada gustina pakovanja i raste pokretljivost vlakana, čime se povećava savitljivost končane pređe. Promena konfiguracije petlji kod pletenine izrađene od končane konopljine

pređe se manifestuje u promeni visine petlje, koja za ovu pleteninu iznosi 0,83 mm za razliku of 0,73 mm koliko iznosi visina petlje pletenine izrađene od jednožične konopljinine pređe, uz zadržavanje iste širine petlje (1,82 mm) (Stanković i Bizjak, 2014).

Još je Munden 1959. godine pokazao da je suva relaksacija pletenina nedovoljna kod pletenina izrađenih od hidrofilnih vlakana. Za potpunu relaksaciju glatkih pletenina izrađenih od hidrofilnih vlakana neophodna je mokra relaksacija koja podrazumeva njihovo kvašenje ili pranje, i iako često nije dovoljan jedan ciklus pranja, u industriji se uobičajeno primenjuje jedan ciklus mokre relaksacije. Stoga su u okviru ovog istraživanja ispitivane glatke DL pletenine podvrgnute jednom ciklusu mokre relaksacije nakon čega je izvršena provera primarnih strukturnih parametara pletenina. Poređenjem ovih parametara pletenina pre i posle mokre relaksacije (tabela 5.2 i 6.1, redosledno) uočava se da je kod svih pletenina došlo do promene u konfiguraciji petlji kao posledica promene horizontalne i vertikalne gustine petlji. Naime, kod svih pletenina je uočeno povećanje horizontalne gustine pletenina uz smanjenje ili zadržavanje vrednosti vertikalne gustine pletenine (tabela 6.1), što je dovelo do povećanja površinske gustine pletenina (broja petlji na jedinici površine pletenine).

Tabla 6.1. Primarni strukturni parametri mokro relaksiranih glatkih DL pletenina

Sirovinski sastav	Gustina petlji			Debljina (mm)	Površinska masa (g/m ²)
	D _v ^{a)} (cm ⁻¹)	D _h ^{b)} (cm ⁻¹)	D _v ·D _h ^{c)} (cm ⁻²)		
Konoplja + konoplja	13,6	6,2	84,3	0,957	415
Konoplja/konoplja	12,0	6	72,0	0,933	378
Pamuk + pamuk	12,0	6,9	82,8	1,248	446
Konoplja + pamuk	13,0	6,2	81,2	1,137	429
Viskoza + viskoza	12,5	7,0	87,5	1,080	412
Konoplja + viskoza	13,2	6,4	84,5	1,009	421
PAN + PAN	10,4	6,9	71,8	1,092	378
Konoplja + PAN	12	6,1	73,2	1,022	376

^{a)} vertikalna gustina (broj redova); ^{b)} horizontalna gustina (broj nizova); ^{c)} površinska gustina petlji

Prilikom kvašenja pletenina od hidrofilnih vlakana dolazi do relaksacije napona u pređi (kojem je pređa bila izložena prilikom pletenja), i konsolidacije strukture usled bubrenja pređe. Drugim rečima, dolazi do određenog skupljanja pletenine. Koliko će se pletenina skupiti prilikom relaksacije zavisi od više faktora kao što su svojstva upotrebljenih vlakana, finoća i upredenost pređe, dužina petlje, zatezanje pređe pri pletenju, gustina igala na mašini, uslovi pranja i sušenja. Promena horizontalne gustine (širine) pletenine uslovljena je međusobnim odnosom prečnika pređe i širine petlje. Pored toga, prilikom bubrenja hidrofilnih vlakana dolazi do povećanja torzionog napona u pređi što dovodi do distorzije petlji i daljeg smanjenja širine pletenine i povećanja njene debljine, što je slučaj kod svih ispitivanih DL pletenina (tabela 6.1). Priroda upotrebljenih vlakana, pre svega afinitet ka apsorpciji vode, kao i odnos prečnika pređe i širine petlje, uslovlili su različit intenzitet skupljanja pletenina prilikom mokre relaksacije (tabela 6.2). Rezultati su pokazali najveći procenat skupljanja pletenina na bazi konoplje (tabela 6.2). U okviru grupe pletenina izrađenih od jednožičnih pređa, najveće skupljanje je uočeno kod konoplja+viskoza pletenine, praćeno konoplja+pamućnom i konopljinom pleteninom. Nešto manji procenat skupljanja je uočen kod pamučne i viskozne pletenine. Međutim, na osnovu statističke analize se može smatrati da su pletenine izrađene od celuloznih (hidrofilnih) ispoljile slično relaksaciono skupljanje, izuzev konoplja/viskoza pletenine čija je vrednost skupljanja statistički značajno različita od viskozne i pamučne pletenine (tabela 6. 2). Značajno manji procenat skupljanja konoplja+PAN i PAN pletenina, što je opravdano hidrofobnom prirodom poliakrilonitrilnih vlakana, potvrđen je ANOVA statističkom analizom, uz post-hoc test sa Bonferroni korekcijom. Iako je vrednost skupljanja pletenine izrađene od končane konopljinine pređe

manja u poređenju sa pleteninom od jednožične konopljne pređe, statističkom analizom je utvrđeno da je razlika u procentu skupljanja ove dve pletenine slučajnog karaktera (tabela 6.2).

Tabela 6.2. Skupljanje DL pletenina usled mokre relaksacije (*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$)

	Konoplja + konoplja	Konoplja/konoplja	Pamuk + pamuk	Konoplja + pamuk	Viskoza + viskoza	Konoplja + viskoza	PAN + PAN	Konoplja + PAN
Skupljanje (%)	11,9	10,6	8,6	12,7	9,2	14,7	0,9	4,6
Konoplja/konoplja	0,900							
Pamuk + pamuk	0,248	0,770						
Konoplja + pamuk	0,900	0,722	0,078					
Viskoza + viskoza	0,480	0,900	0,900	0,184				
Konoplja + viskoza	0,391	0,067	0,002*	0,734	0,006*			
PAN + PAN	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*	0,001*		
Konoplja + PAN	0,001*	0,002*	0,080	0,001*	0,030*	0,001*	0,128	

Tip vlakana i svojstva pređa su, pored primarnih strukturnih parametara pletenina, uticali na njihove sekundarne strukturne parametre koji prvenstveno karakterišu geometriju pletenine. Poroznost (ukupna količina vlakana unutar pređe i između segmenata pređe u pletenini) ispitivanih DL pletenina varira u određenoj meri kao posledica uočenih varijacija površinske gustine pletenina. Najvećom poroznošću je okarakterisana pamučna pletenina, ali se sa druge strane, ova pletenina odlikuje najmanjom otvorenom slobodnom površinom (otvorena poroznost, tabela 6.3). To se objašnjava geometrijom rotorske pamučne pređe, koja je kao posledica primenjene tehnike predenja (rotorsko, OE) okarakterisana najvećim prečnikom uz najmanju gustinu pakovanja vlakana. Povećani sadržaj vazduha u pamučnoj pređi je doprineo ukupnoj poroznosti pletenine, ali je povećani prečnik ove pređe zatvorio otvorene pore u pletenini (pore između segmenata pređe u pletenini). Kao posledica najmanjeg prečnika konopljne pređe, odnosno najveće gustine pakovanja vlakana, što ukazuje na najkompaktniju strukturu pređe, pletenina od konoplje se odlikuje najvećom otvorenom poroznošću (tabela 6.3). Pored toga, uočava se da je kod pletenina proizvedenih kombinovanjem konopljne pređe sa pamučnom, viskoznom ili PAN pređom došlo do povećanja otvorene poroznosti u odnosu na odgovarajuće homogene varijante pletenina (pamučna, viskozna i PAN).

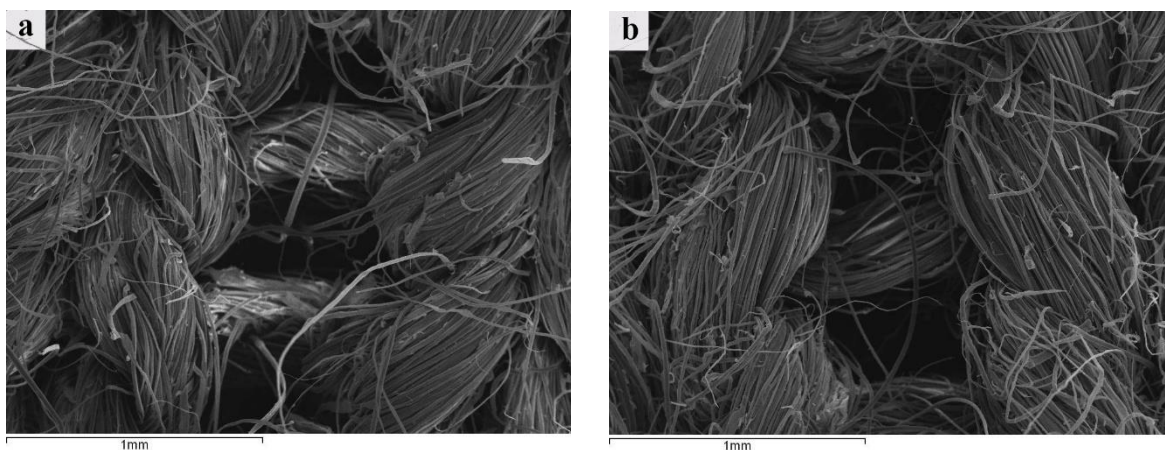
Imajući u vidu činjenicu da otvorena poroznost pletenine predstavlja ukupnu slobodnu površinu u pletenini bez uvida u veličinu otvorenih pora (makropora) između segmenata pređe, za ispitivane DL pletenine je izračunat parametar – površina petlje. Manja površina jedne petlje ukazuje na veći broj petlji po jedinici površine pletenine, što dalje ukazuje na manju veličinu otvorenih pora u pletenini. Manja površina petlje je uzrokovana većom površinskom gustinom pletenine koja je u okviru ispitivanih DL pletenina varirala u zavisnosti od karakteristika pređa. Kao što se može videti u tabeli 6.3, gotovo identične površine petlji imaju parovi pletenina: pamuk i konoplja+pamuk, viskoza i konoplja+viskoza, i PAN i konoplja+PAN. Međutim, kada se radi o površinskom modulu petlje, σ_p , ne zapaža se efekat identičnih, ili gotovo identičnih vrednosti površinskog modula kod navedenih

parova pletenina, za razliku od prethodno uočenog efekta identične ili gotovo identične površinske gustine (tabela 5.2) i površine petlje (tabela 6.3). U ovom slučaju, **kombinovanjem konopljne pređe sa pamučnom, viskoznom ili PAN pređom povećava se vrednost površinskog modula petlje u odnosu na odgovarajuće varijante pletenina homogenog sirovinskog sastava** (pamučna, viskozna i PAN). Ako se zna da površinski modul petlje koreliše površinu petlje i površinu koju zahvata pređa u petlji (jednačina 5.5), veća vrednost modula ukazuje na veću površinu otvorenih pora u petlji. U okviru ispitivanih DL pletenina, najvećom vrednošću površinskog modula, odnosno najvećom veličinom otvorenih pora, okarakterisana je 100% konopljna pletenina, što se neminovno pripisuje uticaju geometrije konopljne pređe ili preciznije, gustini pakovanja vlakana konoplje u pređi. Konopljna pređa ima isti efekat i kada se radi o zapreminskom modulu petlje, σ_v , koji dovodi u vezu zapreminu jedne petlje i zapreminu koju zauzima segment pređe u toj petlji (tabela 6.3). Pri tome, veća vrednost zapreminskog modula petlje podrazumeva manju zapreminu pređe u petlji, odnosno ukazuje na veću količinu vazduha u zapremini jedne petlje. U okviru DL pletenina izrađenih od jednožičnih pređa, konopljna pletenina je okarakterisana najvećom vrednošću zapreminskog modula, pre svega zbog najmanjeg prečnika konopljne pređe. Pored toga, kod pletenina koje sadrže konopljinu pređu kao jednu komponentu, došlo je do povećanja vrednosti zapreminskog modula petlje u odnosu na odgovarajuće varijante pletenina bez konopljne pređe (npr. konoplja+pamuk i pamuk+pamuk). Generalno se u okviru eksperimentalnog materijala mogu zapaziti najmanje vrednosti površinskog i zapreminskog modula petlje pamučne pletenine, što se pripisuje uticaju strukture i geometrije rotorske pamučne pređe (tabela 6.3).

Tabela 6.3. Sekundarni strukturni parametri glatkih DL pletenina

Sirovinski sastav	Gustina (g/cm ³)	Poroznost (%)	Otvorena poroznost (%)	Površina petlje (mm ²)	Površinski modul petlje	Zapreminski modul petlje
Konoplja+ konoplja	0,393	73,8	68,8	1,33	0,85	1,60
Konoplja/konoplja	0,353	76,5	51,0	1,52	0,70	2,06
Pamuk + pamuk	0,327	78,2	39,3	1,39	0,53	0,84
Konoplja + pamuk	0,353	76,4	60,7	1,40	0,71	1,12
Viskoza + viskoza	0,353	76,5	61,0	1,28	0,68	1,29
Konoplja + viskoza	0,387	74,2	64,2	1,29	0,74	1,34
PAN + PAN	0,318	73,5	59,8	1,40	0,65	1,15
Konoplja + PAN	0,346	74,4	66,2	1,39	0,77	1,31

Vrednosti sekundarnih strukturnih parametara pletenine proizvedene od končane konopljne pređe značajno se razlikuju u poređenju sa pleteninom izrađenom od jednožične konopljne pređe (tabela 6.3). Iako se pletenina izrađena od končane pređe (konoplja/konoplja) odlikuje većom ukupnom poroznošću, njena otvorena poroznost je oko 26% manja u odnosu na pleteninu izrađenu od jednožične konopljne pređe (konoplja+konoplja). Pored toga, površina petlje kod pletenine od končane konopljne pređe je veća kao posledica manje površinske gustine (tabela 5.2), međutim, manji površinski modul ove pletenine ukazuje na manju površinu otvorenih pora između segmenata pređe u petlji, što je posledica manje gustine pakovanja vlakana konoplje u končanoj pređi (tabela 5.1). Sa druge strane, geometrija končane konopljne pređe uzrokovala je povećanje zapreminskog modula petlje u poređenju sa pleteninom od jednožične končane pređe, što je ukazalo na veću količinu vazduha u zapremini jedne petlje (tabela 6.3). Na slici 6.2 su date SEM mikrofotografije pletenina izrađenih od jednožične i končane konopljne pređe koje ilustruju razlike u geometriji ovih pletenina.



Slika 6.2. SEM mikrofotografije pletenina izrađenih od jednožične (a) i končane (b) konopljine pređe (Kocić i sar. 2016)

Relaksaciono skupljanje ispitivanih DL pletenina je, pored promene njihove površinske gustine, debljine i površinske mase (tabela 6.1) dovelo do promene geometrije pređa u pleteninama, kao i sekundarnih strukturnih parametara pletenina. Geometrijski parametri pređa pre i posle mokre relaksacije pletenina prikazani su u tabeli 6.4. Budući da je hidrofobno vlakno, geometrija PAN pređe se nije promenila prilikom mokre relaksacije pletenina. Promene koje su nastale bubrenjem vlakana i pređe prilikom apsorpcije vode izazvale su povećanje prečnika konopljine jednožične i končane pređe, i smanjenje gustine pakovanja vlakana u pređi (Kocić i sar. 2016). Nasuprot tome, prečnik pamučne i viskozne pređe je smanjen nakon mokre relaksacije pletenina, uz povećanje gustine pakovanja vlakana (tabela 6.4). Uočene razlike u modifikovanju geometrije pređa u pletenini prilikom mokre relaksacije, ili različit intenzitet kontrakcije pređa, može se pripisati kako polaznim karakteristikama samih pređa (prečnik, gustina pakovanja, geometrija površine), tako i stepenu njihove agregacije u pletenini. Naime, kada se radi o pamučnoj pletenini, razvijena geometrija površine pamučne pređe (slika 6.1b), odnosno prisustvo ovojnih vlakana i slobodnih vlaknastih petlji na površini pređe ublažilo je efekat „podmazivanja“ tačaka preplitanja segmenata pređe u petljama u prisustvu vode. Zbog toga je relaksaciono skupljanje pamučne pletenine nešto manje (Tabela 6.2), a rastresita struktura rotorske pamučne pređe omogućila je prepakivanje pamučnih vlakana u gušće slojeve (povećanje gustine pakovanja vlakana, tabela 6.4). U okviru ispitivanih DL pletenina, viskozna pletenina se odlikovala najvećom površinskom gustinom (gustinom petlji) a time i najvećim brojem tačaka preplitanja segmenata pređe na jedinici površine. To je usporilo migraciju vlakana u pređi prilikom mokre relaksacije pletenine, pa je došlo do minimalne promene prečnika pređe, i nešto povećane gustine pakovanja vlakana. Kontrakcija vlakana konoplje u gusto pakovanoj jednožičnoj pređi dovela je do blagog povećanja prečnika pređe nakon mokre relaksacije pletenine, uz smanjenje gustine pakovanja vlakana. Povećanje prečnika končane konopljine pređe u mokro relaksiranoj pletenini, uz smanjenje gustine pakovanja vlakana, verovatno se može pripisati manjoj površinskoj gustini pletenine izrađene od končane konopljine pređe (tabela 5.2), čime je omogućena veća pokretljivost pređe, kao i veća pokretljivost konopljinih vlakana u pređi, pri relaksacionom skupljanju.

Tabela 6.4. Geometrijski parametri pređa nakon mokre relaksacije glatkih DL pletenina

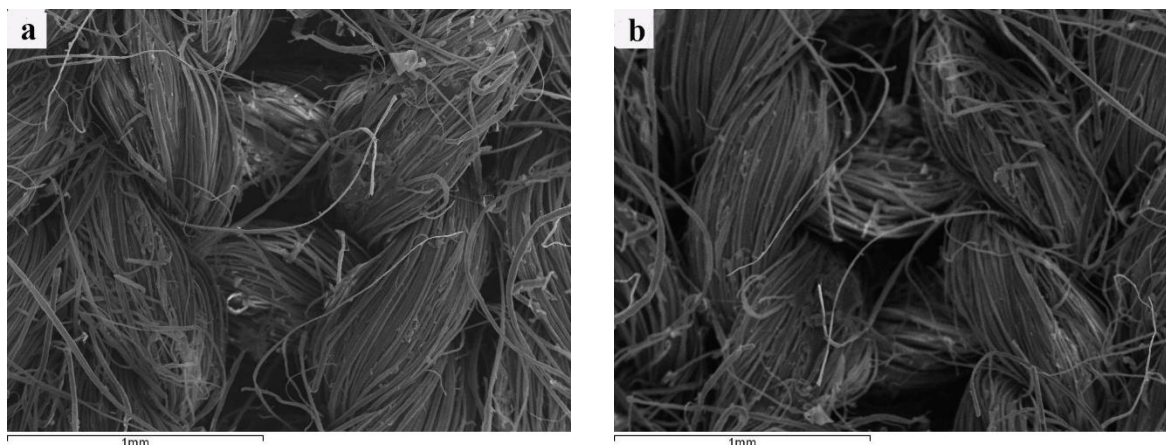
Parametar (jedinica)		Konoplja	Končana konoplja	Pamuk	Viskoza	PAN
Prečnik (mm)	Početno	0,22	0,41	0,34	0,25	0,28
	Mokro relaksirano	0,23	0,45	0,30	0,24	0,28
Gustina (g/cm ³)	Početno	1,258	0,721	0,539	0,905	0,791
	Mokro relaksirano	1,151	0,601	0,692	0,982	0,791
Faktor pakovanja	Početno	0,84	0,48	0,36	0,6	0,66
	Mokro relaksirano	0,77	0,40	0,46	0,65	0,66

Kao posledica promena osnovnih konstrukcionih karakteristika i geometrije pređa pri mokroj relaksaciji pletenina, došlo je do promene njihovih sekundarnih strukturnih parametara (tabela 6.5). Generalno se može reći da je usled relaksacionog skupljanja došlo do povećanja gustine i smanjenja poroznosti pletenina. U okviru pletenina izrađenih isključivo od celuloznih vlakana, smanjena je površina petlje i ukupna otvorena slobodna površina, izuzev kod pamučne pletenine kod koje je došlo do povećanja otvorene poroznosti za oko 23% (tabela 6.6), pre svega zbog povećanja gustine pamučne pređe (tabela 6.4). Za razliku od polaznih, suvo relaksiranih parova pletenina sa identičnom površinskom gustinom i površinom petlje, kod mokro relaksiranih pletenina dolazi do odstupanja od uočenog efekta (tabela 6.5), što se može pripisati različitim efektima relaksacije upotrebljenih pređa. Sa druge strane, efekat povećanja površinskog modula i zapreminskog modula petlje kod pletenina sa konopljinom pređom kao jednom komponentom primetan je i u slučaju mokro relaksiranih pletenina. Kao u slučaju polaznih suvo relaksiranih DL pletenina (izrađenih od jednožičnih pređa), nakon njihove mokre relaksacije pamučna pletenina se odlikuje najmanjom otvorenom poroznošću, površinskim i zapreminskim modulom petlje (tabela 6.5). To znači da je površina otvorenih pora u pamučnoj pletenini najmanja, a zapremina pređe u petlji najveća.

Tabela 6.5. Sekundarni strukturni parametri mokro relaksiranih glatkih DL pletenina

Sirovinski sastav	Gustina (g/cm ³)	Poroznost (%)	Otvorena poroznost (%)	Površina petlje (mm ²)	Površinski modul petlje	Zapreminski modul petlje
Konoplja+ konoplja	0,434	71,1	62,3	1,19	0,70	1,43
Konoplja/konoplja	0,405	73,0	32,6	1,39	0,59	1,57
Pamuk + pamuk	0,358	76,2	48,3	1,20	0,51	0,96
Konoplja + pamuk	0,371	75,2	59,8	1,22	0,61	1,14
Viskoza + viskoza	0,381	74,6	61,2	1,14	0,63	1,28
Konoplja + viskoza	0,417	72,2	60,9	1,18	0,67	1,29
PAN + PAN	0,346	71,2	56,3	1,40	0,65	1,02
Konoplja + PAN	0,368	72,8	62,1	1,37	0,72	1,28

Nakon mokre relaksacije i promene strukture i geometrije pletenina izrađenih od jednožične i končane konopljne pređe, zadržava se njihov međusobni odnos u pogledu sekundarnih strukturnih parametara. Pletenina proizvedena od končane konopljne pređe odlikuje se većom ukupnom poroznošću, ali manjom otvorenom poroznošću, manjim površinskim modulom i većim zapreminskim modulom u poređenju sa pleteninom izrađenom od jednožične konopljne pređe (tabela 6.5), što ukazuje na manju veličinu (površinu) otvorenih pora, ali i manju zapreminu pređe u zapremini petlje. SEM mikrofotografije date na slici 6.3 ilustruju određene razlike u geometriji ovih pletenina.



Slika 6.3. SEM mikrofotografije mokro relaksiranih pletenina izrađenih od jednožične (a) i končane (b) konopljne pređe (Kocić i sar. 2016)

Tabela 6.6. Promena sekundarnih strukturnih parametara DL pletenina nakon mokre relaksacije (procentualna vrednost)

Sirovinski sastav	Gustina (g/cm ³)	Poroznost (%)	Otvorena poroznost (%)	Površina petlje (mm ²)	Površinski modul petlje	Zapreminski modul petlje
Konoplja+ konoplja	+10,4	-2,2	-9,9	-10,5	-17,6	-10,6
Konoplja/konoplja	+14,7	-4,6	-36,1	-8,6	-15,7	-23,8
Pamuk + pamuk	+9,5	-2,6	+22,9	-13,7	-3,8	+14,3
Konoplja + pamuk	+5,1	-1,6	-1,5	-12,8	-14,1	+1,8
Viskoza + viskoza	+7,9	-2,5	-0,3	-10,9	-7,3	-0,8
Konoplja + viskoza	+7,8	-2,7	-5,1	-8,5	-9,5	-3,7
PAN + PAN	+8,8	-3,1	-5,8	0	0	-11,3
Konoplja + PAN	+6,4	-2,1	-6,2	-1,4	-6,5	-2,3

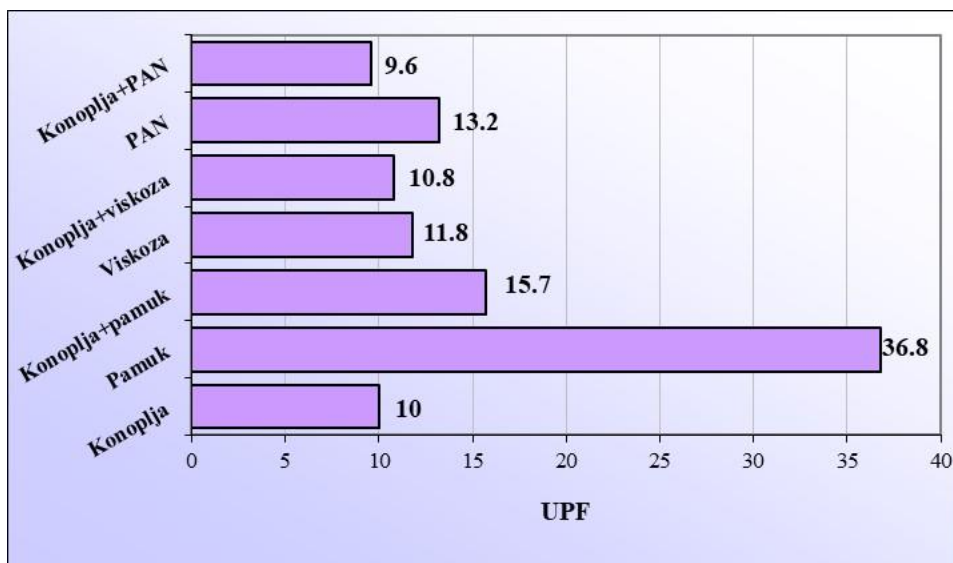
Izračunate procentualne vrednosti promene sekundarnih strukturnih parametara DL pletenina, koje su date u tabeli 6.6, pružaju kvantitativni uvid u intenzitet i smer modifikovanja ispitivanih parametara. U okviru eksperimentalnog materijala, najveća promena je uočena kod pletenine izrađene od končane konopljne pređe, čija se otvorena poroznost mokrom relaksacijom redukovala za oko 36%. Ista pletenina je pretrpela i najveće promene zapreminskog modula petlje. Ono što se takođe zapaža je činjenica da je kod pamučne pletenine došlo do povećanja otvorene slobodne površine i zapreminskog modula petlje nakon mokre relaksacije za razliku od ostalih ispitivanih DL pletenina kod kojih se vrednost ovih parametara smanjuje (tabela 6.6). Najmanje promena je uočeno kod PAN

pletanine (izuzev zapreminskog mokrog modula), što je i očekivano s obzirom na hidrofobnu prirodu akrilnih vlakana.

6.2. UV zaštitna svojstva glatkih DL pletenina

6.2.1. UV zaštitna svojstva glatkih DL pletenina izrađenih od jednožične pređe

UV zaštitni faktor tekstilnih materijala (engl. Ultraviolet Protection Factor, UPF) predstavlja kvantitativnu ocenu sposobnosti tekstilnog materijala da pruži zaštitu od ultraljubičastog (UV) zračenja. Veća vrednost ovog parametra ukazuje na veći stepen zaštite koji tekstilni materijal obezbeđuje. Prema evropskom standardu EN 137587-2, tekstilni materijali čija UPF vrednost iznosi 40 i više, kategorišu se odličnom UV zaštitnom sposobnošću (tabela 5.3), i nose oznaku „40+“. Vrednosti UPF za ispitivane glatke DL pletenine date su dijagramom na slici 6. 4. Prema EN 137587-2 klasifikaciji, izuzev pamučne pletenine sa vrednošću UPF 36,8, što je svrstava u kategoriju sa vrlo dobrom UV zaštitnom sposobnošću, ostale ispitivane pletenine ne obezbeđuju dovoljan nivo UV zaštite. Pri tome, osim pamučne pletenine sa najvećom UPF vrednošću, izdvojile su se konoplja+pamučna i PAN pletenina sa UPF 15,7 i 13,2, redosledno, dok ostale ispitivane DL pletenine imaju slične vrednosti UPF, što je potvrđeno ANOVA statističkom analizom [$F(400,23) > F_{crit}(2,37)$ za $P(0.00) < \alpha(0,05)$] uz Bonferroni korekciju (tabela 6.7).



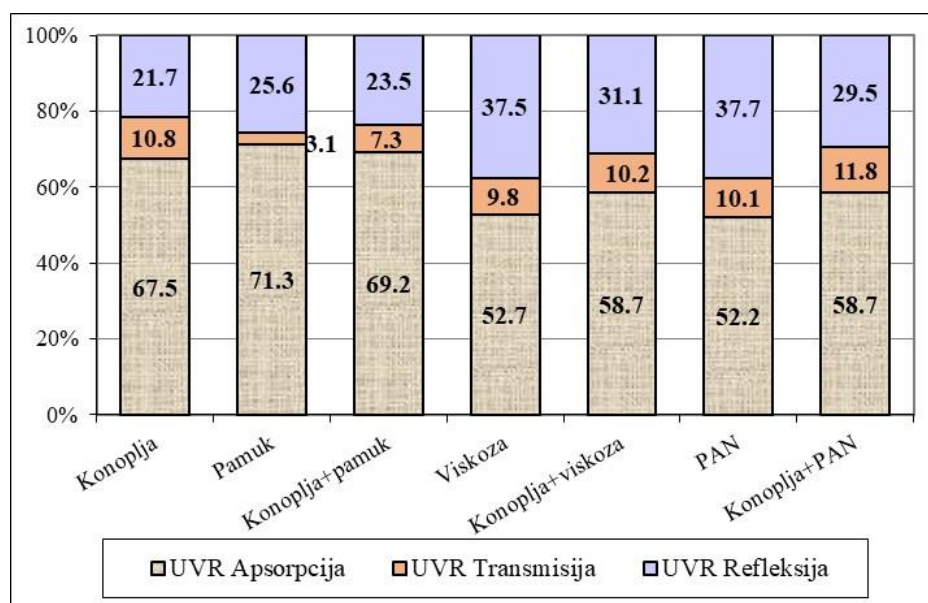
Slika 6.4. UPF vrednosti suvo relaksiranih glatkih DL pletenina

Pre dalje analize eksperimentalnih rezultata treba reći da vrednosti UPF-a date na dijagramu na slici 6.4 predstavljaju srednje vrednosti svih rezultata, dobijenih sa uzorkom postavljenim licem a zatim naličjem prema izvoru UV zračenja, budući da je Studentov t-test pokazao da nema statistički značajne razlike između rezultata dobijenih pri različitom položaju (lice ili naličje) uzorka. Navedeno važi i za sve sledeće rezultate koji će biti prikazani i analizirani.

Tabela 6.7. Statistička analiza UPF vrednosti suvo relaksiranih DL pletenina
 (*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha=0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha=0,01$)

	Pamuk + pamuk	Konoplja + pamuk	Viskoza + viskoza	Konoplja + viskoza	PAN + PAN	Konoplja + PAN
Konoplja+konoplja	0,000**	0,000**	0,326	5,000	0,001**	11,346
Pamuk+pamuk		0,000**	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**
Konoplja+pamuk			0,000**	0,000**	0,015*	0,000**
Viskoza+viskoza				3,936	1,052	0,068
Konoplja+viskoza					0,038*	1,628
PAN + PAN						0,000**

Polazeći od činjenice da UV zračenje može biti apsorbovano, reflektovano ili propušteno kroz tekstilni materijal, a u svrhu analize dobijenih rezultata UPF-a, razmatrana je distribucija UV zračenja u ispitivanim DL pleteninama (slika 6.5). Pre svega, zapaža se da najveći deo UV zračenja biva apsorbovan, a najmanji deo zračenja se propušta kroz materijal. Pri tome, najveći procenat apsorpcije je uočen kod konopljinine, pamučne i kod pletenine izrađene kombinovanjem konopljinine i pamučne pređe. Smatra se da celuloza ima malu sposobnost apsorpcije UV zračenja, međutim, veće vrednosti UV apsorpcije kod pletenina koje sadrže konopljinu i pamučna vlakna pripisuju se pratećim materijama prisutnim u ovim vlaknima, kao što su pigmenti i lignin kod konopljinih vlakana koji predstavljaju prirodne apsorbere UV zračenja. Naime, kako su za izradu pletenina upotrebljene nebeljene konopljinu i pamučna pređa, pletenine su testirane u svom „sirovom“ stanju, bez ikakvih postupaka dorade, kao što je beljenje i sl., koji bi uklonili primese prisutne u prirodnim celuloznim vlaknima. To je doprinelo da, na primer, konopljinu platenina ima 15 procentnih poena veću sposobnost apsorpcije UV zračenja u poređenju sa viskoznom pleteninom. Sa druge strane, uočen je očekivano veći udeo refleksije UV zračenja kod pletenina izrađenih od sintetičkih (PAN) i hemijskih celuloznih (viskoza) vlakana. Procenat refleksije UV zračenja kod pletenina izrađenih kombinovanjem konopljinine i PAN ili viskozne pređe iznosio je gotovo prosečnu vrednost refleksije konopljinine i PAN (ili viskozne) pletenine (slika 6.5).



Slika 6.5. Distribucija UV zračenja u suvo relaksiranim glatkim DL pleteninama

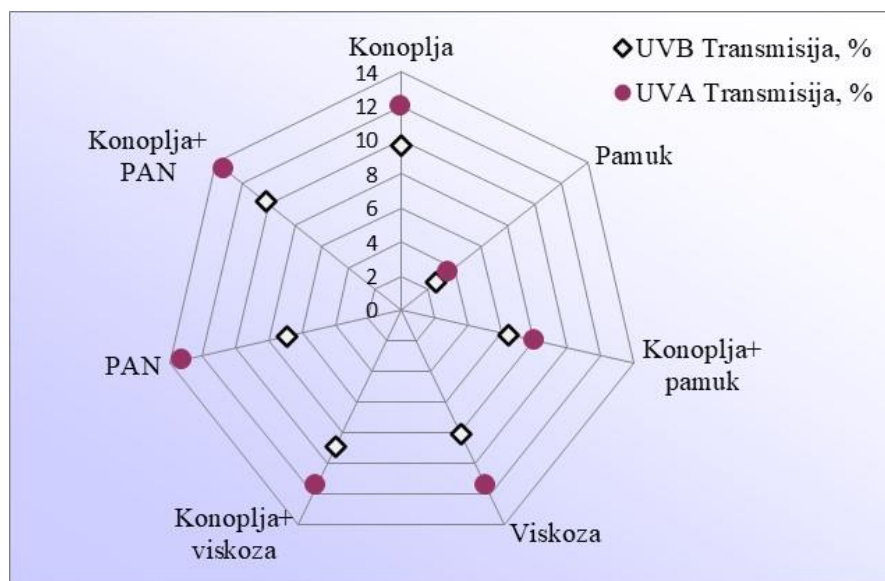
Neka prethodna istraživanja su pokazala da sirove pamučne tkanine (Hustvedt i Cox Crews, 2005) i pletenine (Stanković i sar., 2009, Stanković i sar., 2017) mogu da obezbede visok stepen UV zaštite. Sa druge strane, druga istraživanja su ukazala na činjenicu da prisustvo UV apsorbujućih pigmentata i primesa u vlaknima mogu da obezbede dobru UV zaštitu samo u slučaju adekvatnih strukturnih karakteristika tekstilnih materijala (Wong i sar., 2013, Grifoni i sar., 2009). Zbog toga, činjenica da u grupi pletenina proizvedenih od prirodnih celuloznih vlakana, jedino pamučna pletenina potpada pod UPF kategorizaciju, odnosno okarakterisana je „vrlo dobrim“ UV zaštitnim svojstvima, navodi na analizu strukture i geometrije pletenina i pređa koje su upotrebljene za izradu pletenina. Prema relaciji 5.10, UV zaštitni faktor (UPF) je uslovljen transmisijom UV zraka kroz tekstilni materijal. Prema rezultatima prikazanim na slici 6.5, upravo je pamučna pletenina okarakterisana najmanjim procentom transmisije (propuštanja) UV zraka. Sledeća po intenzitetu UV transmisije, i UPF vrednosti, je konoplja+pamuk pletenina. Polazeći od činjenice da se transmisija UV zraka dešava kroz otvorene pore u tekstilnom materijalu, najniža vrednost UV transmisije kroz pamučnu pleteninu se može objasniti najmanjom slobodnom otvorenom površinom ove pletenine u poređenju sa ostalim ispitivanim DL pleteninama (tabela 6.3). Pored toga, ova pletenina je okarakterisana najmanjim vrednostima površinskog i zapreminskog modula petlje, što ukazuje na njenu kompaktnu strukturu. Veća površina pora i veća količina vazduha u petlji (indikovano vrednostima površinskog i zapreminskog modula petlje, tabela 6.3) uzrokovale su veće propuštanje UV zraka kroz konoplja+pamuk pleteninu. Kako je površina pora i količina vazduha u petlji konopljine pletenine veća u poređenju sa prethodne dve pletenine, procenat UV transmisije je povećan (10,8%), što je smanjilo vrednost UPF-a. ANOVA statistička analiza je utvrdila statističku značajnost uočenih razlika UV transmisije [$F(33,29) > F_{crit}(2,22)$ za $P(0.00) < \alpha(0,05)$]. Međutim, Bonferroni korekcijom je izdvojena grupa pletenina sa sličnim vrednostima UV transmisije (9,8 do 11,8 %): konopljina viskozna, PAN, konoplja+viskoza i konoplja+PAN pletenina (Tabela 6.8). Interesantno je da su ove pletenine okarakterisane sličnom sposobnošću UV transmisije iako su se međusobno razlikovale u pogledu stepena otvorenosti strukture (tabela 6.3). Na primer, viskozna, PAN i konoplja+viskoza pletenina se odlikuju gotovo identičnim vrednostima UV transmisije, iako sve tri imaju različitu površinu otvorenih pora i zapreminu vazduha u petlji (najmanja površina pora i najmanja zapremina vazduha u petlji PAN pletenine). Šta više, sličnu vrednost UV transmisije ispoljila je konopljina pletenina, iako je okarakterisana najvećom površinom pora i zapreminom vazduha u petlji.

Tabela 6.8. Statistička analiza UV transmisije suvo relaksiranih DL pletenina (*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,01$)

	Pamuk + pamuk	Konoplja + pamuk	Viskoza + viskoza	Konoplja + viskoza	PAN + PAN	Konoplja + PAN
Konoplja+konoplja	0,000**	0,000**	3,091	7,842	6,096	4,337
Pamuk+pamuk		0,000**	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**
Konoplja+pamuk			0,019*	0,000**	0,005**	0,000**
Viskoza+viskoza				11,991	14,504	0,161
Konoplja+viskoza					18,182	0,696
PAN + PAN						0,461

U svrhu objašnjenja uočene pojave, pristupilo se analizi transmisije ultraljubičastog zračenja u UVB i UVA regionima talasnih dužina. Prema rezultatima prikazanim dijagramom na slici 6.6, uočavaju se veće vrednosti UVA transmisije u odnosu na UVB transmisiju u rasponu od oko 25% kod konopljine i konoplja/pamučne pletenine do čak 90 % kod PAN pletenine. Pored toga, može se

uočiti da se pletenine međusobno razlikuju, kako u intenzitetu UVB, tako i u intenzitetu UVA zračenja, što je potvrdila i statistička analiza (tabele 6.9 i 6.10). Statistička analiza je takođe potvrdila slične vrednosti UVB transmisije konopljne i konoplja+PAN pletenine (tabela 6.9), kao i sličnost konopljne pletenine sa viskoznom i viskoza+konopljinom pleteninom u pogledu intenziteta UVA transmisije. Interesantno je međutim, da je posmatrano u čitavom regionu UV zračenja (UVB+UVA), uočena sličnost između konopljne i PAN pletenine (tabela 6.8) izostala u slučaju odvojene analize UVB i UVA transmisije. Objašnjenje leži u činjenici da je prilikom analize srednjih vrednosti transmisije UV zračenja u čitavom posmatranom spektru talasnih dužina (290-400 nm) došlo do uprosečavanja vrednosti UVB i UVA transmisije. Tako se PAN pletenina, sa manjom vrednošću UVB transmisije i većom vrednošću UVA transmisije u odnosu na konopljinu pleteninu (slika 6.6), uprosečavanjem približila procentu UV transmisije konopljne pletenine (slika 6.5).



Slika 6.6. UVB i UVA transmisija za suvo relaksirane glatke DL pletenine

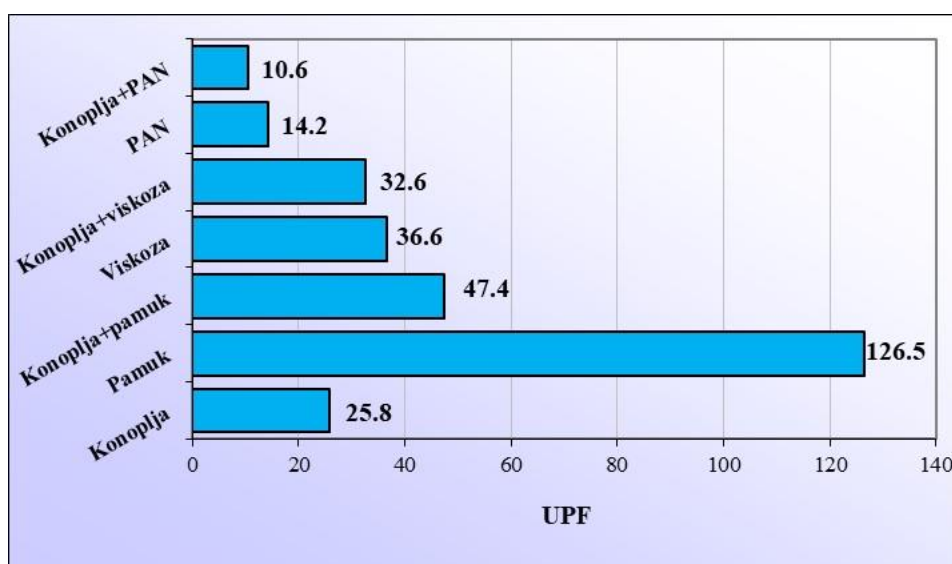
Tabela 6.9. Statistička analiza UVB transmisije suvo relaksiranih DL pletenina (*statistički značajno za $P < \alpha, \alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha, \alpha = 0,01$)

	Pamuk + pamuk	Konoplja + pamuk	Viskoza + viskoza	Konoplja + viskoza	PAN + PAN	Konoplja + PAN
Konoplja+konoplja	0,000 **	0,000 **	0,000 **	0,020 *	0,000 **	0,322
Pamuk+pamuk		0,000 **	0,000 **	0,000 **	0,000 **	0,000 **
Konoplja+pamuk			0,000 **	0,000 **	0,639	0,000 **
Viskoza+viskoza				0,005 **	0,000 **	0,000 **
Konoplja+viskoza					0,000 **	0,000 **
PAN + PAN						0,000 **

Tabela 6.10. Statistička analiza UVA transmisije suvo relaksiranih DL pletenina
 (*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,01$)

	Pamuk + pamuk	Konoplja + pamuk	Viskoza + viskoza	Konoplja + viskoza	PAN + PAN	Konoplja + PAN
Konoplja+konoplja	0,000**	0,000**	0,604	0,487	0,000**	0,000**
Pamuk+pamuk		0,000**	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**
Konoplja+pamuk			0,000**	0,000**	0,000**	0,000**
Viskoza+viskoza				19,446	0,000**	0,000**
Konoplja+viskoza					0,000**	0,000**
PAN + PAN						13,288

Poznato je da se UVB i UVA zraci odlikuju različitom biološkom aktivnošću, odnosno štetnošću za žive organizme, zbog čega relacija za izračunavanje UV zaštitnog faktora (jednačina 5.10) uključuje relativnu spektralnu efektivnost $E(\alpha)$ talasnih dužina 290 – 400 nm. Biološka efektivnost UVB regiona talasnih dužina značajno je veća u odnosu na UVA region zračenja pa tako, uprkos manjim vrednostima UVB transmisije, UVB zračenje značajno utiče na vrednost UPF-a. U okviru pomenute grupe pletenina sa sličnim vrednostima transmisije UV zračenja: konoplja, viskoza, konoplja+viskoza, PAN i konoplja+PAN, PAN pletenina je okarakterisana većom vrednošću UPF-a (slika 6.4), što se upravo objašnjava činjenicom o nižoj vrednosti UVB transmisije PAN pletenine (6,9%) u poređenju sa konopljinom (9,7), viskoznom (8,1), konoplja+viskoznom (8,9) i konoplja+PAN (10,2) pleteninom.



Slika 6.7. UPF vrednosti mokro relaksiranih glatkih DL pletenina

Nakon sprovedene mokre relaksacije ispitivanih glatkih DL pletenina pristupilo se proveriti njihove UV zaštitne sposobnosti. UPF vrednosti mokro relaksiranih pletenina prikazani su na dijagramu na slici 6. 7. Najvećom vrednošću UPF-a odlikuje se pamučna pletenina, a zatim sledi konoplja+pamučna pletenina. Iako je UPF vrednost pamučne pletenine 2,6 puta veća od UPF vrednosti konoplja+pamučne pletenine, obe se kategorišu „odličnim“ UV zaštitnim svojstvima

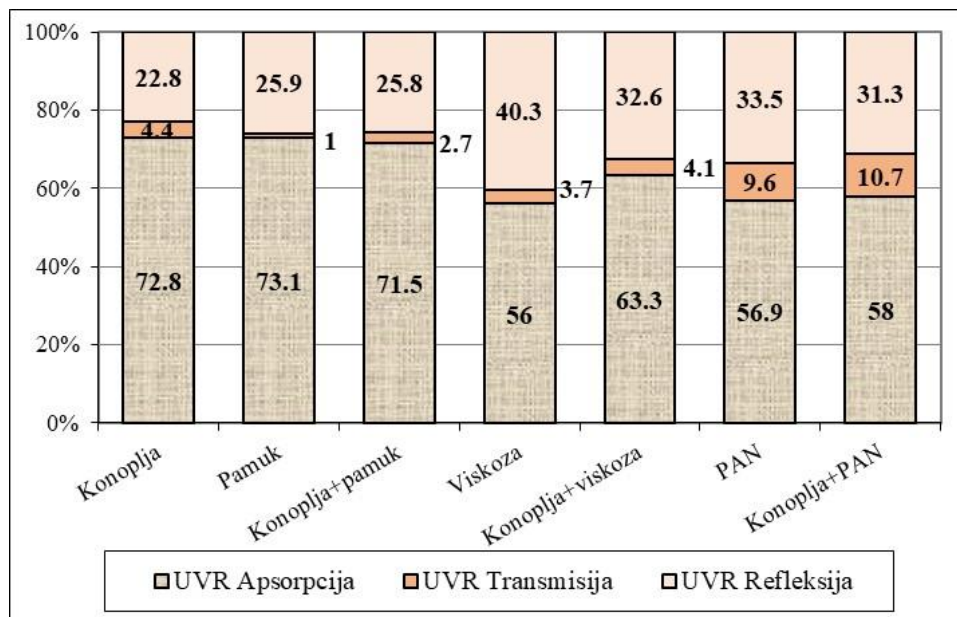
(tabela 5.3). Prema vrednostima UPF-a, viskozna i konoplja+viskozna pletenina se svrstavaju u kategoriju sa „vrlo dobrim“ UV zaštitnim svojstvima, dok se konopljina pletenina, prema evropskom standardu (EN 137587-2), odlikuje „dobrim“ UV zaštitnim svojstvima (slika 6.7). Najniže vrednosti UPF-a uočene su kod PAN i konoplja+PAN pletenine, i budući da su njihove vrednosti UPF-a ispod 20, ne pružaju dovoljnu UV zaštitu prema EN 137587-2 standardu. Iako je ANOVA statistička analiza potvrdila uočene razlike u vrednostima UPF-a [$F(455,88) > F_{crit}(2,37)$ za $P(0.00) < \alpha(0,05)$], primenjena Bonferroni korekcija je ukazala na parove pletenina sa „statistički“ sličnim vrednostima UPF-a, kao što su PAN i konoplja+PAN, viskoza i konoplja+viskoza, i konoplja i konoplja+viskoza (tabela 6.11). Interesantno je da su konopljina i konoplja+viskozna pletenina, iako su statistički okarakterisane sličnim vrednostima UPF-a, svrstane u različite kategorije UV zaštitne sposobnosti (dobra i vrlo dobra, redosledno).

Tabela 6.11. Statistička analiza UPF vrednosti mokro relaksiranih DL pletenina (*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha=0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha=0,01$)

	Pamuk + pamuk	Konoplja + pamuk	Viskoza + viskoza	Konoplja + viskoza	PAN + PAN	Konoplja + PAN
Konoplja+konoplja	0,000**	0,000**	0,004**	0,286	0,001**	0,016*
Pamuk+pamuk		0,000**	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**
Konoplja+pamuk			0,005**	0,000**	0,000**	0,000**
Viskoza+viskoza				2,680	0,000**	0,000**
Konoplja+viskoza					0,000**	0,000**
PAN + PAN						0,847

Distribucija UV zračenja u mokro relaksiranim glatkim DL pleteninama data je na slici 6.8. Najveći deo UV zračenja je apsorbovan vlaknima od kojih su pletenine izrađene, a najmanji deo UV zračenja je propušten kroz pletenine. Pletenine koje su proizvedne od prirodnih vlakana (konopljina, pamučna i konoplja+pamučna), apsorbovale su najviše UV zraka, dok su se pletenine izrađene od sintetičkih i hemijskih vlakana, ili u kombinaciji sa konopljinim vlaknima, odlikovale većim stepenom refleksije UV zraka. Kada je reč o UV transmisiji, PAN i konoplja+PAN pletenina su se izdvojile kao pletenine sa najvećom propustljivošću UV zraka (slika 6.8), pri čemu je statistička analiza potvrdila da se one međusobno slično ponašaju u pogledu UV transmisije (tabela 6.12). Najmanju UV transmisiju, od svega 1%, imala je pamučna pletenina, što se svakako može pripisati njenoj kompaktnoj (zatvorenoj) strukturi, po čemu se i izdvojila od ostalih ispitivanih pletenina (tabela 6.5). U okviru ispitivanih mokro relaksiranih pletenina, izdvojila se grupa pletenina: konoplja, viskoza, konoplja+viskoza i konoplja+pamuk, sa sličnim vrednostima UV transmisije, što je potvrđeno i statističkom analizom (tabela 6.12). Međutim, iako okarakterisane sličnom propustljivošću UV zraka, razlikovale su se prema vrednostima UPF-a. Na primer, konopljina pletenina sa 4,4% UV transmisije ima UPF 26, dok konoplja+viskozna pletenina sa 4,1% UV transmisije ima UPF 33, što ih svrstava u različite kategorije UV zaštite. Pored toga, može se zapaziti da su viskozna i konoplja+viskozna pletenina, prema vrednostima UPF-a, kategorisane „vrlo dobrim“ UV zaštitnim svojstvima iako su vrednosti UV transmisije van intervala predviđenog evropskim standardom (EN 137587-2) za tu kategoriju zaštite od UV zračenja (2,5 - 3,3). Interesantno je takođe da je konoplja+PAN pletenina okarakterisana značajno većom UV transmisijom u poređenju sa konopljinom pleteninom, uprkos sličnim vrednostima strukturnih parametara koji opisuju geometriju ovih pletenina (tabela 6.5). Naime, mokro relaksirane konopljina i konoplja+PAN pletenina odlikovale su se istom otvorenom poroznošću i gotovo identičnim vrednostima površinskog modula

petlje (ista površina otvorenih pora), uz nižu vrednost zapreminskog modula petlje što ukazuje na veću zapreminu pređe u petlji. Sve prethodno navedeno navodi na potrebu analize transmisije ultraljubičastog zračenja u UVB i UVA regionima talasnih dužina.



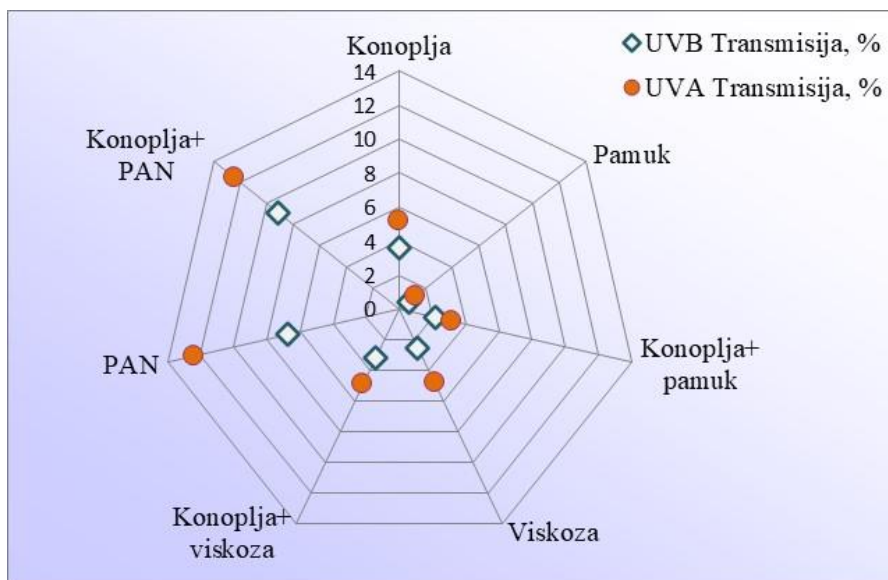
Slika 6.8. Distribucija UV zračenja u mokro relaksiranim glatkim DL pleteninama

Tabela 6.12. Statistička analiza UV transmisije mokro relaksiranih DL pletenina (*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,01$)

	Pamuk + pamuk	Konoplja + pamuk	Viskoza + viskoza	Konoplja + viskoza	PAN + PAN	Konoplja + PAN
Konoplja+konoplja	0,000**	0,119	4,655	12,340	0,000**	0,000**
Pamuk+pamuk		0,146	0,001**	0,000**	0,000**	0,000**
Konoplja+pamuk			2,326	0,506	0,000**	0,000**
Viskoza+viskoza				10,37	0,000**	0,000**
Konoplja+viskoza					0,000**	0,000**
PAN + PAN						1,272

UVB i UVA transmisija mokro relaksiranih DL pletenina prikazane su na slici 6.9. Uočavaju se veće vrednosti UVA transmisije u odnosu na UVB transmisiju, u rasponu od 42% za konopljinu do 95% za viskoznu pleteninu. Statistička analiza je pokazala da se pletenine međusobno razlikuju po UVB transmisiji [$F(554,54) > F_{crit}(2,37)$ za $P(0,00) < \alpha(0,05)$], izuzev viskozne i konoplja+pamučne pletenine sa sličnim vrednostima UVB transmisije (tabela 6.13). ANOVA statistika, uz Bonferroni korekciju, pokazala je statistički značajne razlike UVA transmisije kod DL pletenina [$F(761,68) > F_{crit}(2,37)$ za $P(0,00) < \alpha(0,05)$], uz izdvojene dve grupe pletenina sa sličnim vrednostima UVA transmisije: PAN i konoplja+PAN; i konoplja, viskoza i konoplja+viskoza (tabela 6.14). Nasuprot približnim vrednostima UVA transmisije kod konopljinu, viskozne i konoplja+viskozne pletenine, one su se međusobno razlikovale u pogledu UVB transmisije (tabela 6.13). Niža vrednost UVB transmisije viskozne pletenine se može pripisati manjoj površini petlje i manjoj veličini otvorenih

pora u poređenju sa konoplja+viskoznom pleteninom. Veća „otvorenost“ konopljne pletenine, iskazano kroz sekundarne strukturne parametre (tabela 6.5), uzrokovala je veću UVB transmisiju ove pletenine. Polazeći od činjenice o većoj biološkoj aktivnosti UVB zraka, manja UVB transmisija viskozne (2,47%) i konoplja+viskozne pletenine (3,2%) u poređenju sa konopljinom pleteninom (3,64%) uzrokovale su veće vrednosti UPF-a viskozne i konoplja+viskozne pletenine. Vrednosti UVB transmisije ovih pletenina nalaze se u intervalu predviđenim standardom EN 137587-2 za kategoriju „vrlo dobre“ zaštite od UV zračenja (2,5 - 3,3), ali se uprosečavanjem vrednosti UVB i UVA transmisije došlo do 3,7% i 4,1% UV transmisije, redosledno.



Slika 6.9. UVB i UVA transmisija mokro relaksiranih glatkih DL pletenina

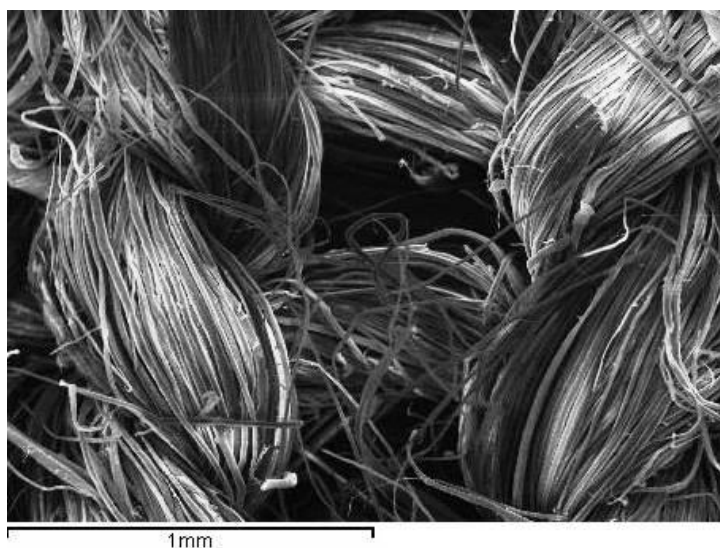
Tabela 6.13. Statistička analiza UVB transmisije mokro relaksiranih DL pletenina (*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,01$)

	Pamuk + pamuk	Konoplja + pamuk	Viskoza + viskoza	Konoplja + viskoza	PAN + PAN	Konoplja + PAN
Konoplja+konoplja	0,000**	0,000**	0,000**	0,036*	0,000**	0,000**
Pamuk+pamuk		0,000**	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**
Konoplja+pamuk			0,175	0,000**	0,000**	0,000**
Viskoza+viskoza				0,000**	0,000**	0,000**
Konoplja+viskoza					0,000**	0,000**
PAN + PAN						0,000**

Tabela 6.14. Statistička analiza UVA transmisije mokro relaksiranih DL pletenina
 (*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,01$)

	Pamuk + pamuk	Konoplja + pamuk	Viskoza + viskoza	Konoplja + viskoza	PAN + PAN	Konoplja + PAN
Konoplja+konoplja	0,000**	0,000**	2,670	6,398	0,000**	0,000**
Pamuk+pamuk		0,000**	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**
Konoplja+pamuk			0,000**	0,000**	0,000**	0,000**
Viskoza+viskoza				12,721	0,000**	0,000**
Konoplja+viskoza					0,000**	0,000**
PAN + PAN						19,516

ANOVA analiza je pokazala da ne postoji statistički značajna razlika u vrednosti UPF-a i UV transmisije između PAN i konoplja+PAN pletenina (tabele 6.11 i 6.12). Kao što se može videti na slici 6.9, PAN i konoplja+PAN pletenina su imale iste vrednosti UVA transmisije (potvrđeno statističkom analizom, tabela 6.14), ali različite vrednosti UVB transmisije (statistički potvrđeno, tabela 6.13). Sekundarni strukturni parametri, pre svega površinski i zapreminski moduli petlje, ukazali su na zatvoreniju strukturu PAN pletenine, zbog čega je manje propustljiva za UV zračenje. Čini se ipak, da razlika između UVB transmisije PAN i konoplja+PAN pletenina nije bila tolika da bi uticala na vrednosti UPF ovih pletenina, statistički gledano.

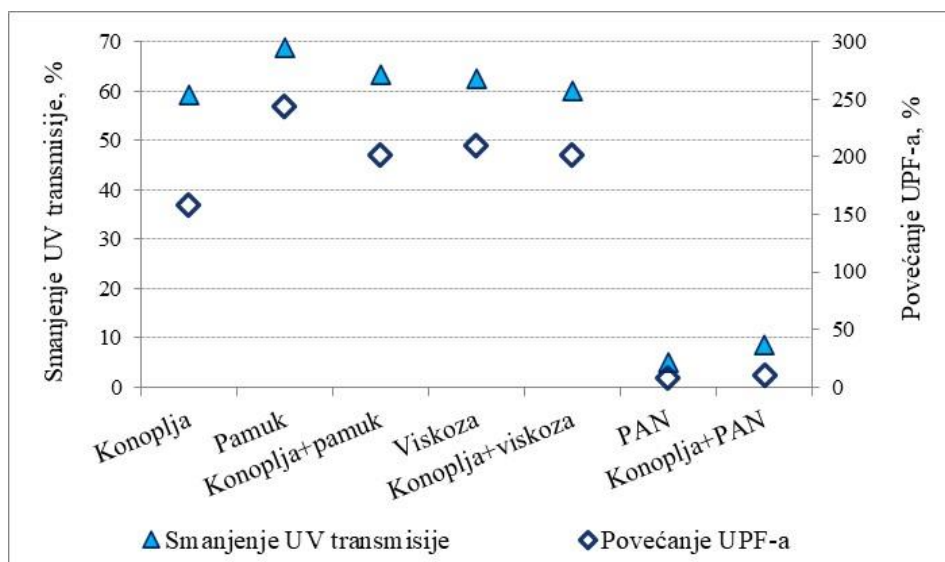


Slika 6.10. SEM mikrofotografija petlje u konopljinoj pletenini (Kocić i sar. 2019)

Poređenjem konopljine i konoplja+PAN pletenina može se videti da se karakterišu sličnom otvorenom poroznošću i površinom otvorenih pora u petlji (tabela 6.5), a različitim vrednostima UV transmisije (slika 6.8). Niža UV transmisija konopljine pletenine se verovatno može pripisati njenoj većoj gustini (tabela 6.5). Veća gustina konopljine pletenine podrazumeva veću masu vlakana u jedinici zapremine pletenine, ili u uzorku (epruveti) određenih dimenzija, što je verovatno dovelo do veće apsorpcije UV zračenja vlaknima konoplje, čiji je afinitet ka UV apsorpciji veći u poređenju sa

PAN vlaknima. Kao što je ilustrovano na slici 6.10 (Kocić i sar., 2019), pored jednostrukih segmenata pređe koji formiraju iglenu i platinsku glavu petlje, u tačkama ukrštanja pređe u petlji formiraju se dvostruko deblji slojevi vlakana. To dovodi do određenog izvijanja pređe zbog čega lateralni presek pletenine (u pravcu debljine) poprima oblik niza polutalasa. Koliko god da je površina pređe glatka, UV zraci koji dospeju do pletenine jednim delom se apsorbuju, deo zraka prolazi slobodno kroz otvorene pore, a deo UV zraka koji se odbijaju o površinu pređe će se reflektovati u okruženje, ili će biti apsorbovani susednim slojevima vlakana. Veća gustina konopljne pletenine, uz veći kapacitet apsorpcije UV zračenja kod konopljinih vlakana, verovatno su uticali na smanjenje UV transmisije kroz konopljinu pleteninu.

Kako je analizirano u prethodnom delu teksta (tačka 6.1), promene u strukturi pletenina koje su se desile pri mokroj relaksaciji dovele su promene UV zaštitnih svojstava. Dijagram na slici 6.11 omogućuje uporedno praćenje promene UPF-a i UV transmisije glatkih DL pletenina. Strukturne promene nastale usled skupljanja pletenina pri mokroj relaksaciji, koje se pre svega odnose na veličinu otvorenih pora u pleteninama, dovele su do smanjenja UV transmisije i posledično, do povećanja UPF-a. Kod PAN i konoplja+PAN pletenina se uočava najmanje smanjenje UV transmisije i iznosi 5% i 8,7%, redosledno, što je u skladu sa najmanjim relaksacionim skupljanjem ovih pletenina (tabela 6.2). Zbog toga je UPF ovih pletenina značajno manje povećan (7,6% i 10,4% za PAN i konoplja+PAN, redosledno) u poređenju sa ostalim ispitivanim pleteninama kod koji se povećanje UPF-a kreće u rasponu od oko 160% za konopljinu do 240% za pamučnu pleteninu. Najveći porast UPF-a pamučne pletenine uzrokovan je najvećim smanjenjem UV transmisije (69%). Iako se smanjenje UV transmisije ostalih pletenina izrađenih od celuloznih vlakana kreće se u rasponu od 59 do 64%, najmanje povećanje UPF-a registrovano je kod konopljne pletenine. To se objašnjava činjenicom da konopljina pletenina i posle mokre relaksacije zadržava najveće vrednosti površinskog i zapreminskog modula (tabela 6.5), što ukazuje na najotvoreniju strukturu pletenine.



Slika 6.11. Promena UV zaštitnih svojstava glatkih DL pletenina nakon mokre relaksacije

U svrhu utvrđivanja statističke značajnosti razlika UVB i UVA transmisije kod pletenina pre i posle mokre relaksacije sproveden je T-test uparenih uzoraka, koji je potvrdio da registrovano smanjenje nije slučajnog karaktera, osim u slučaju UVB transmisije kod PAN pletenine (tabela 6.15). PAN pletenina je izuzetak i kada je reč o intenzitetu promene UVB i UVA transmisije, jer je za razliku od ove pletenine, kod svih ostalih pletenina intenzivnije smanjenje UVB transmisije u odnosu na UVA transmisiju (tabela 6.15). Najmanje smanjenje UVB transmisije PAN pletenine usled najmanjeg

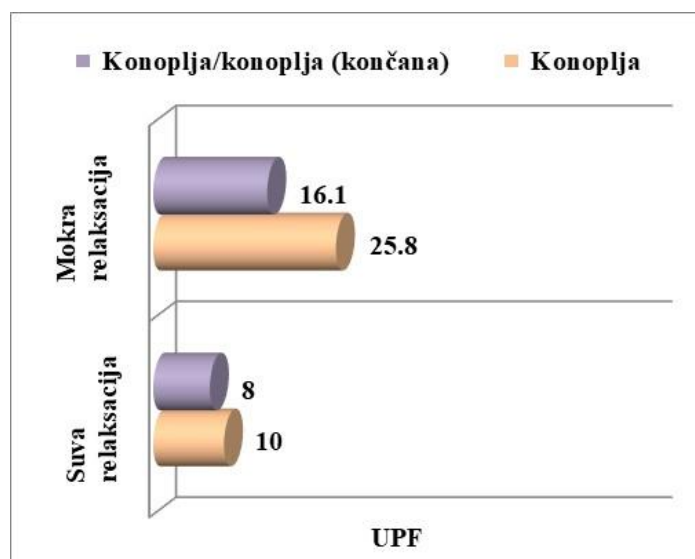
relaksacionog skupljanja (0,9%) dovelo je do najmanjeg povećanja UPF-a ove pletenine (slika 6.11). Ovo predstavlja potvrdu ranijeg tumačenja da UVB transmisija značajno uslovljava vrednost UPF-a, odnosno nivo UV zaštite. Pored toga, može se zaključiti da su pletenine sa manjom otvorenosću strukture osetljivije na promene veličine otvorenih pora, i shodno tome, na vrednost UV transmisije, i UPF-a.

Tabela 6.15. Procentualno smanjenje UVB i UVA transmisije nakon mokre relaksacije glatkih DL pletenina sa statističkom analizom (T-test uparenih uzoraka, *statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$)

	Konoplja + konoplja	Pamuk + pamuk	Konoplja + pamuk	Viskoza + viskoza	Konoplja + viskoza	PAN + PAN	Konoplja + PAN
Smanjenje UVB transmisije (%)	62,4	72,2	66,6	69,4	64,2	2,9	8,7
T-test uparenih uzoraka	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0.372	0,011*
Smanjenje UVA transmisije (%)	56,8	66,6	60,9	57,8	56,7	6,2	7,2
T-test uparenih uzoraka	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,031*	0,024*

6.2.2. Potencijal operacije končanja za optimizaciju UV zaštitnih svojstva pletenina

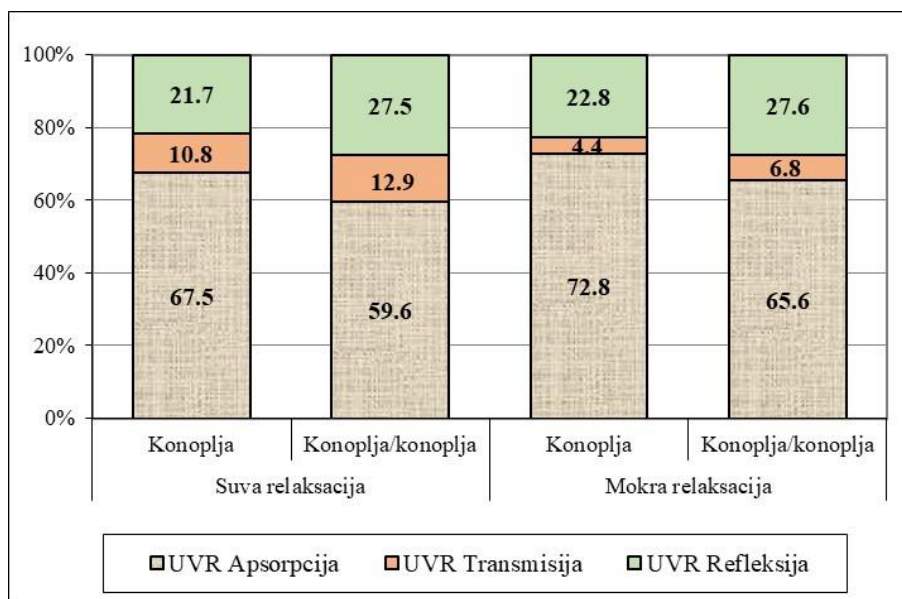
Končanje pređe je dodatna operacija pripreme pređe za naredne procese prerade u složenije tekstilne proizvode (tkanine, pletenine). Končanje podrazumeva dubliranje ili stručenje dve ili više jednožičnih pređa uz naknadno ili istovremeno upredanje, čime se formira nova složenija linearna struktura – končana pređa. Svojstva končane pređe razlikuju se od svojstava jednožičnih komponentata. Pre svega, kombinovanjem više pređa poboljšava se ravnomernost končane pređe u odnosu na polazne komponente. Kako je smer upredanja prilikom končanja pređa suprotan od smera primarnog upredanja, redukuje se torzioni napon zbog čega se smanjuje neuravnoteženost pređe. Pored toga, končanjem se poboljšavaju i mehanička svojstva (jačina i oporavak od mehaničkih naprezanja) i abraziona otpornost, uz modifikovanje pokrivne sposobnosti i površinskih svojstava pređa (Oxtoby, 1987). Uzimajući u obzir navedene činjenice, deo ovog istraživanja bio je posvećen ispitivanju potencijala operacije končanja pređa u smislu optimizacije UV zaštitnih svojstava pletenina. Pored prethodno analiziranih glatkih DL pletenina, uz iste tehnološke parametre je proizvedena i pletenina od končane konopljinke pređe radi poređenja sa pleteninom izrađenom jednožične konopljinke pređe, odnosno od dve jednožične pređe kako bi se obezbedila njihova uporedivost. Na slici 6.12 su date vrednosti UPF-a pletenine izrađene od končane konopljinke pređe i konopljinke pletenine sa stručenim (jednožičnim) konopljinim pređama. Slično konopljinoj pletenini od jednožične pređe, suvo relaksirana pletenina izrađena od končane pređe je okarakterisana niskom vrednošću UPF-a, nedovoljnom da joj obezbedi dobru UV zaštitnu sposobnost. Statistička analiza (Studentov t-test) je pokazala da razlika u vrednosti UPF-a ovih pletenina nema slučajni karakter [$P(0,000) < \alpha(0,05)$].



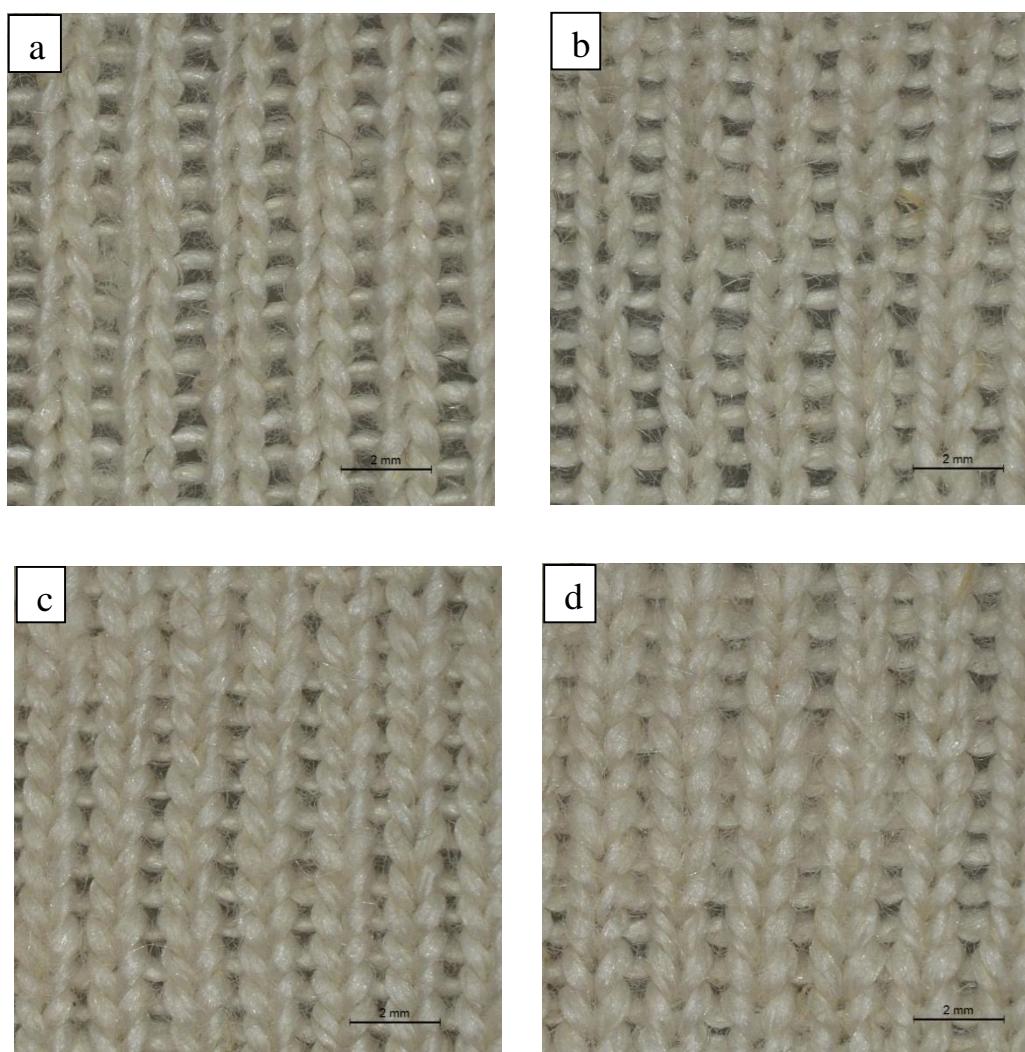
Slika 6.12. UPF pletenine izrađene od končane konopljne pređe

Niža vrednost UPF-a pletenine od končane konopljne pređe posledica je veće UV transmisije (slika 6.13), koja upućuje na veću otvorenu površinu pletenine, dostupnu za prolaz UV zraka. Međutim, podaci iz tabele 6.3 ukazuju na značajno manju otvorenu površinu pletenine od končane konopljne pređe u poređenju sa pleteninom od jednožične konopljne pređe. Niži površinski modul petlje kod pletenine od končane konopljne pređe takođe ukazuje na manju veličinu otvorenih pora. Ipak, veća površina petlje, kao posledica manje površinske gustine (gustine petlji) pletenine izrađene od končane konopljne pređe, i veća vrednost zapreminskog modula petlje ukazuju na manju zapreminu pređe u jednoj petlji. Imajući u vidu relaciju 5.5 (relacija za izračunavanje površinskog modula petlje), manji površinski modul petlje kod pletenine od končane konopljne pređe uzrokovan je manjom gustinom končane pređe u poređenju sa jednožičnom konopljinom pređom (tabela 5.1). Sa druge strane, veruje se da je upravo zbog manje gustine pakovanja vlakana, odnosno veće pokretljivosti vlakana u končnoj konopljinoj pređi, došlo do sabijanja pređe u tačkama preplitanja pređe u petlji. Pored toga, zbog veće savitljivosti končane u odnosu na jednožičnu konopljinu pređu, konfiguracija petlje u pletenini od končane konopljne pređe je modifikovana u odnosu na pleteninu od jednožične pređe. Sve navedeno je doprinelo da se kod pletenine od končane konopljne pređe formiraju otvorene pore koje zaklapaju iglene glave petlji (slika 6.14b). Kao što se može videti na slici 6.14a, kod pletenine izrađene od jednožične konopljne pređe ovakvih otvorenih pora nema, i mogu se uočiti samo otvorene pore koje zaklapaju platinske glave petlji (pore između nizova petlji). Razlog tome je manja savitljivost jednožične konopljne pređe, kao i velika gustina pakovanja vlakana u jednožičnoj pređi koja nije omogućila sabijanje vlakana u tačkama preplitanja pređe u pletenini. Kvalitativna analiza upućuje na zaključak da se pletenina izrađena od končane konopljne pređe karakteriše većom otvorenom poroznošću od kvantitativno iskazanih sekundarnih strukturnih parametara (tabela 6.3), jer treba imati u vidu da su karakteristike pređa kao što su prečnik i gustina pakovanja vlakana određivane na pređama u slobodnom stanju, a ne u pletenini.

Manja gustina pletenine od končane konopljne pređe, uz manju zapreminu pređe u petlji, uzrokovale su manju apsorpciju UV zraka u poređenju sa pleteninom od jednožične konopljne pređe (slika 6.13).

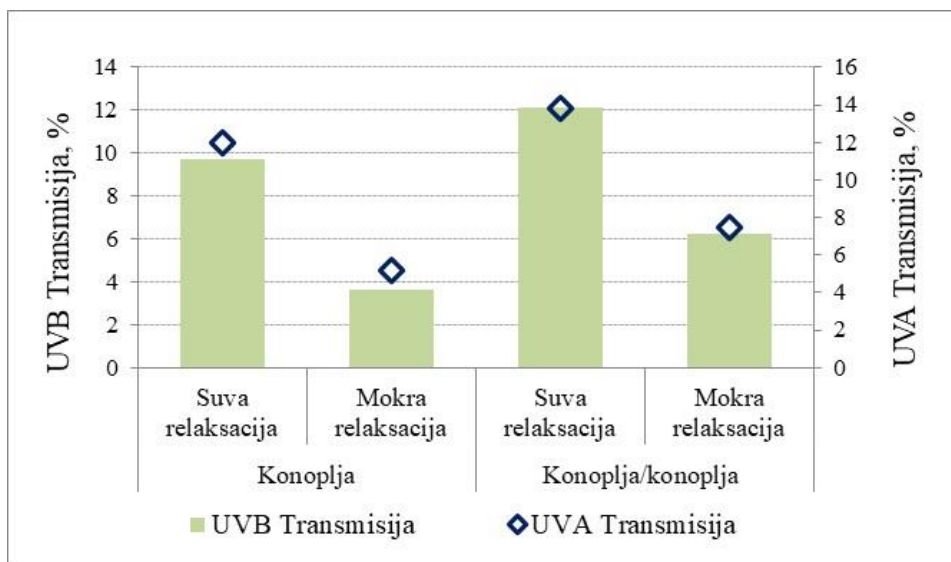


Slika 6.13. Distribucija UV zračenja u pletenini od končane konopljne pređe



Slika 6.14. Mikrofotografije suvo relaksiranih pletenina od jednožične (a) i končane (b) konopljne pređe, i mokro relaksiranih pletenina od jednožične (c) i končane (d) konopljne pređe

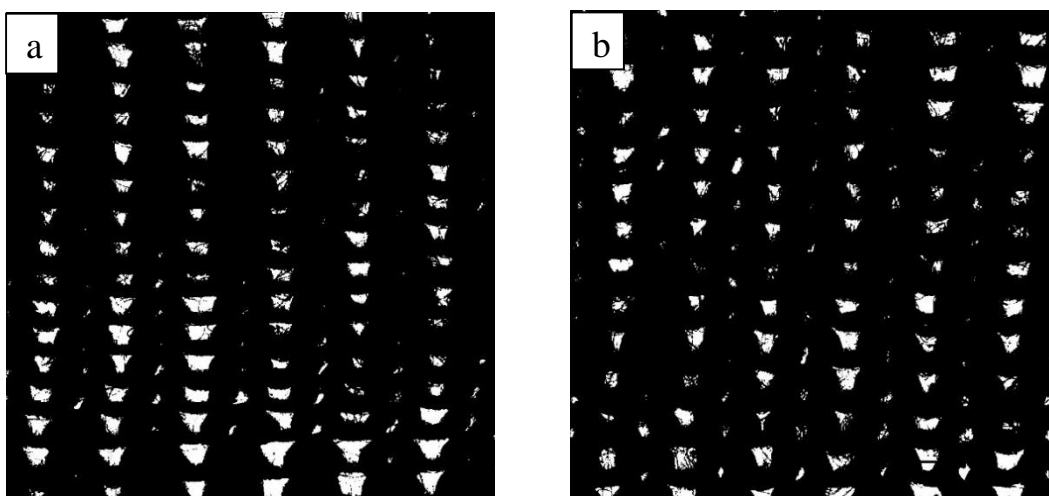
Analiza UVB i UVA transmisije pletenina izrađenih od jednožične i končane konopljne pređe može da pruži dodatno pojašnjene niže vrednosti UPF-a pletenine od končane konopljne pređe. Naime, dijagram na slici 6.15 ilustruje da su UVB i UVA transmisija pletenine od končane konopljne pređe niže u poređenju sa pleteninom od jednožične pređe, što je i statistički potvrđeno [$P(0,000) < \alpha(0,05)$]. Pri tome, veća je razlika u UVB transmisiji (oko 2,4 procentnih poena) u odnosu na UVA transmisiju (1,8 procentnih poena). Drugim rečima, čini se da je značajniju ulogu u nižoj UV transmisiji, odnosno većem UPF-u pletenine od jednožične konopljne pređe imala niža UVB transmisija kroz ovu pleteninu.



Slika 6.15. UVB i UVA transmisija pletenine izrađene od končane konopljne pređe

Mokrom relaksacijom pletenine izrađene od končane konopljne pređe došlo je do njenog skupljanja (10,6%) i modifikovanja strukture na način kako je to prethodno analizirano (tačka 6.1). Povećanje gustine pletenine dovelo je do porasta UV apsorpcije (slika 6.13), a smanjenje otvorene poroznosti usled relaksacionog skupljanja uzrokovalo je snižavanje UV transmisije, i posledično, povećanje UPF-a (slika 6.12). I nakon mokre relaksacije pletenina od končane konopljne pređe ima manju UV apsorpcionu sposobnost zbog manje gustine ove pletenine (tabela 6.5). Vrednost UPF-a pletenine izrađene od končane konopljne pređe je udvostručena nakon mokre relaksacije, ali sa UPF 16 ova pletenina se ne može kategorisati prema standardu EN 137587-2, kao tekstilni materijal sa dobrim UV zaštitnim svojstvima. Razlika UPF-a između pletenine od končane i jednožične pređe, statistički potvrđena [$P(0,001) < \alpha(0,05)$], može se pripisati intenzivnijem smanjenju UV transmisije kod pletenine od jednožične pređe (oko 59%) u poređenju sa pleteninom od končane pređe (oko 47%), kao što ilustruje dijagram na slici 6.15. Uočena veća redukcija UV transmisije kod pletenine od jednožične pređe posledica je većeg relaksacionog skupljanja ove pletenine (za 1,3 procentnih poena), iako ova razlika u skupljanju prilikom mokre relaksacije nije statistički potvrđena (tabela 6.2). Nakon mokre relaksacije, površina petlje kod pletenine izrađene od končane konopljne pređe smanjena je za 8,5%, za razliku od 10,5% smanjenja površine petlje u pletenini od jednožične pređe. Površinski modul petlje u pletenini od jednožične konopljne pređe je za 2 procentna poena više redukovan u odnosu na pleteninu od končane pređe. Sa druge strane, zapreminski modul petlje kod pletenine od končane pređe je više smanjen (oko 24%) u poređenju sa smanjenjem od oko 11% kod pletenine od jednožične pređe, što ukazuje na činjenicu da prilikom mokre relaksacije, proces rekonfiguracije (preoblikovanje) petlji nije tekao na isti način u obe pletenine. Pored toga, treba imati u vidu da je povećani prečnik končane konopljne pređe posle mokre relaksacije (tabela 6.4) značajno doprineo snižavanju zapreminskog modula petlje budući da je vrednost ovog parametra obrnuto proporcionalna kvadratu prečnika pređe (relacija 5.6). Međutim, i ovde treba uzeti u obzir da je

prečnik končane pređe izmeren na uzorku pređe u slobodnom stanju („izvučena“ iz pletenine). Uz to, gustina pakovanja vlakana u končanoj pređi je smanjena nakon mokre relaksacije, što pretpostavlja mogućnost veće pokretljivosti vlakana u končanoj pređi posle mokre relaksacije pletenine, što dodatno olakšava sabijanje pređe u tačkama preplitanja pređe u petlji. Zbog toga se pretpostavlja da su se kod pletenine izrađene od končane konopljne pređe i posle mokre relaksacije zadržale otvorene pore u iglenim glavama petlji, koje su doprinele većoj UV transmisiji kod ove pletenine uprkos njenom manjem površinskom modulu (tabela 6. 5). Prisustvo otvorenih pora u iglenim glavama petlji u pletenini izrađenoj od končane konopljne pređe može se videti na mikrofotografiji na slici 6.14d, i posebno jasno na slikama 6.16a i 6.16b, koje predstavljaju dvodimenzionalnu projekciju mikrofotografija prikazanih na slici 6.14c i 6.14d.



Slika 6.16. Dvodimenzionalna projekcija pletenina izrađenih od jednožične (a) i končane (b) konopljne pređe

Pored prethodno navedenih razloga za veću „UV propustljivost“ pletenine od končane konopljne pređe, treba pomenuti i mogućnost veće refleksije UV zraka na njihovom putu kroz petlje pletenine od končane konopljne pređe. Naime, iako je smanjenje zapreminskog modula petlje bilo izraženije kod ove pletenine, vrednost zapreminskog modula je veća u poređenju sa pleteninom od jednožične konopljne pređe što ukazuje na veću zapreminu vazduha u petlji kod pletenine od končane pređe. Veća zapremina vazduha u petlji je verovatno doprinela pre refleksiji nego apsorpciji UV zraka.

Podaci na dijagramu na slici 6.12 pokazuju da se razlika u vrednosti UPF-a za pleteninu od končane i jednožične konopljne pređe povećava posle mokre relaksacije. U svrhu tumačenja ove činjenice, pristupilo se izračunavanju UVB i UVA „propustljivosti“ pletenine izrađene od končane konopljne pređe, i poređenju sa vrednostima za pleteninu od jednožične konopljne pređe. T-test uparenih uzoraka je potvrdio statističku značajnost registrovanog smanjenja UVB i UVA transmisije izazvanog mokrom relaksacijom pletenine od končane pređe (tabela 6.16). Kao i u slučaju ostalih ispitivanih glatkih DL pletenina, i ovde je uočeno intenzivnije smanjenje UVB transmisije u odnosu na UVA transmisiju. Podaci iz tabele 6.16 pokazuju da je smanjenje UVB i UVA transmisije kod pletenine od končane pređe manje u poređenju sa pleteninom od jednožične konopljne pređe (za oko 13 i 11 procentnih poena, redosledno), što je sigurno uticalo na vrednost UPF-a pletenina posle mokre relaksacije.

Tabela 6.16. Procentualno smanjenje UVB i UVA transmisije nakon mokre relaksacije pletenina sa statističkom analizom (T-test uparenih uzoraka, *statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$)

	Smanjenje UVB transmisije (%)	T-test uparenih uzoraka	Smanjenje UVA transmisije (%)	T-test uparenih uzoraka
Konoplja/konoplja	49,2	0,000*	45,6	0,000*
Konoplja+ konoplja	62,4	0,000*	56,8	0,000*

7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Polazeći od osnovnog cilja ove disertacije da se inženjerskim pristupom obezbedi optimizacija UV zaštitna svojstva tekstilnih materijala na bazi konoplje, u okviru zaključnih razmatranja poseban osvrt je dat na uticaj konopljne pređe na strukturne parametre glatkih DL pletenina koje su kao komponentu sadržale konopljinu pređu. Efekat konopljne pređe se jasno uočava zahvaljujući činjenici da se geometrija ostalih upotrebljenih pređa (pamučne, viskozne i PAN) razlikovala kao posledica svojstava upotrebljenih vlakana i primenjene tehnike izrade pređe. Svojim geometrijskim karakteristikama (prečnik, gustina, površinska geometrija) koje su proistekle iz svojstava vlakana, konopljna pređa je uslovlila vrednosti primarnih strukturnih parametara pletenina (površinska gustina, debljina, površinska masa), ali i njihovu geometriju iskazanu kroz sekundarne strukturne parametre kao što su površina petlje, površinski modul petlje i zapreminski modul petlje. Ako se porede primarni strukturni parametri pletenina, uočava se da se upotrebom konopljne pređe kao komponente, uz pređu od drugih vlakana (pamuk, viskoza, PAN), menja konfiguracija petlje, što se manifestuje razlikama horizontalne i vertikalne gustine petlji ovih pletenina. Ipak, površinska gustina pletenina, koja predstavlja proizvod horizontalne i vertikalne gustine petlji, izrađenih uz kombinovanje konopljne pređe sa pamučnom, viskoznom ili PAN pređom, ostaje nepromenjena u odnosu na pletenine homogenog sirovinskog sastava (pamučna, viskozna i PAN). Shodno tome, ne menja se i površina petlje u pletenini. Sa druge strane, uvođenje konopljne pređe vodi ka povećanju površinskog modula petlje, odnosno ka povećanju površine otvorenih pora u petlji. Povećava se i zapreminski modul petlje što ukazuje na smanjenje zapremine pređe u petlji. Drugim rečima, iako se uvođenjem konopljne pređe u DL pleteninu ne menja površinska gustina (broj petlji po jedinici površine), modifikuje se geometrija otvorenih pora pod uticajem geometrije konopljne pređe (prečnik, gustina pakovanja vlakana).

Nakon mokre relaksacije glatkih DL pletenina, i njihovog različitog relaksacionog skupljanja, stvaraju se razlike u površinskoj gustini petlji (a time i u površini petlje) između parova pletenina: pamuk i konoplja+pamuk, viskoza i konoplja+viskoza i PAN i konoplja+PAN. Efekat koji konopljna pređa ima na površinski modul petlje u pleteninama sa konopljinom pređom kao komponentom, zadržava se i nakon mokre relaksacije pletenina. Površinski modul petlje kod pletenina sa konopljinom pređom kao komponentom veći je u poređenju sa pleteninama homogenog sirovinskog sastava (pamučna, viskozna i PAN) što ukazuje na veću površinu otvorenih pora. Zapreminski modul petlje kod pletenina sa konopljinom pređom kao komponentom ostaje veći od vrednosti modula za pletenine homogenog sirovinskog sastava, i posle mokre relaksacije pletenina. Relaksacioni procesi koji se dešavaju u pređama prilikom mokre relaksacije pletenina menjaju geometriju pređe, što se odražava na smanjenje vrednosti zapreminskog modula petlje kod svih pletenina, odnosno na povećanje zapremine pređe u petlji.

U poređenju sa ostalim ispitivanim glatkim DL pleteninama proizvedenim od jednožičnih pređa, pletenina koja je proizvedena od jednožične konopljne pređe (uz stručenje dve jednožične pređe) odlikuje se najvećim površinskim modulom i zapreminskim modulom petlje, što ukazuje na najveću površinu otvorenih pora u petlji, i najmanju zapreminu pređe u zapremini petlje. Drugim rečima, konopljna pletenina se odlikuje „najotvorenijom“ strukturom što je čini „najpropustljivijom“ za UV zrake. Prilikom mokre relaksacije, značajno relaksaciono skupljanje se zapaža kod pletenina proizvedenih isključivo od celuloznih hidrofilnih vlakana. Pri tome, najveće skupljanje je registrovano kod pletenina nehomogenog sirovinskog sastava (konoplja+pamuk i konoplja+viskoza) verovatno kao posledica konkurentnog uticaja različitih vlakana. Specifičnosti upotrebljenih vlakana i pređa uzrokovale su različite relaksacione procese u njima tokom mokre relaksacije pletenina, zbog čega su modifikovane geometrijske karakteristike pređa (prečnik i gustina pakovanja vlakana), izuzev PAN pređe koja je zadržala svoje karakteristike i posle mokre relaksacije pletenina. Kod konopljne pređe je došlo do smanjenja gustine pakovanja vlakana, uz neznatno povećanje prečnika pređe, dok je kod pamučne i viskozne pređe, uz smanjenje prečnika, došlo do povećanja gustine pakovanja

vlakana. Konopljina pletenina je posle mokre relaksacije zadržala najveći zapreminski modul petlje i posle konoplja+PAN pletenine, najveći površinski modul petlje.

Končanjem, odnosno formiranjem dvožične konopljne pređe, formirana je složena pređa čija je savitljivost povećana u poređenju sa jednožičnom konopljinom pređom. Zbog toga, iako su pletenine od končane i jednožične pređe izrađene pod istim tehnološkim parametrima proizvodnje, razlikovale su se u pogledu primarnih strukturnih parametara, pre svega površinske gustine petlji, ali i u pogledu sekundarnih strukturnih parametara koji definišu njihovu geometriju. Različita konfiguracija petlji kod ove dve pletenine ogleda se i u činjenici da je pletenina od končane konoplje okarakterisana manjom površinom otvorenih pora, ali istovremeno i manjom zapreminom pređe u petlji. Međusobni odnos pletenina izrađenih od končane i jednožične konopljne pređe u pogledu primarnih i sekundarnih strukturnih parametara zadržao se i posle njihove mokre relaksacije.

Kako geometrija pletenine predstavlja jedan od ključnih parametara njene UV zaštitne sposobnosti, može se reći da je konopljina pređa svojim specifičnostima, uslovljavajući geometriju pletenine, uslovljavala i kapacitet pletenine da pruži adekvatnu UV zaštitu. Konopljina pređa je uzrokovala snižavanje UPF-a pletenina sa konopljinom pređom kao komponentom u poređenju sa odgovarajućim pleteninama homogenog sirovinskog sastava (pamučna, viskozna i PAN). Pri tome, u okviru ispitivanih glatkih DL pletenina jedino je pamučna pletenina pokazala zadovoljavajući nivo UV zaštite i kategorisana je „vrlo dobrim“ UV zaštitnim svojstvima“ prema evropskom standardu EN 137587-2. Uprkos dobrim UV apsorpcionim svojstvima prirodnih celuloznih vlakana (nebeljenih), nije postignuta zadovoljavajuća UV zaštitna sposobnost konoplja+pamuk i konopljne pletenine upravo zbog „otvorenosti“ njihove strukture.

Relaksaciono skupljanje pletenina tokom mokre relaksacije, koje vodi ka „zatvaranju“ otvorenih pora, doprinosi snižavanju UV transmisije i povećanju UPF-a kod pletenina izrađenih isključivo od celuloznih vlakana. Izuzetak su PAN i konoplja+PAN pletenina čiji je relaksaciono skupljanje vrlo malo (0,9% i 4,6%, redosledno). Zahvaljujući strukturnim promenama, mokro relaksirana pamučna pletenina dobija „odlična“ UV zaštitna svojstva, viskozna i konoplja+viskozna pletenina dostižu „vrlo dobra“ UV zaštitna svojstva, a konopljina pletenina se karakteriše „dobrom“ UV zaštitnom sposobnošću. Najmanja vrednost UPF-a konopljne pletenine u ovoj grupi pletenina govori u prilog činjenici da „otvorenost“ strukture pletenine ostaje jedan od ključnih faktora za postizanje dobrih UV zaštitnih svojstava.

Sa aspekta osnovnog cilja ove doktorske disertacije, značajan podatak je da se, iako je kod pletenina sa konopljinom pređom kao komponentom došlo do snižavanja UPF-a, kategorija zaštite podudara sa kategorijom odgovarajuće homogene pletenine. Drugim rečima, kombinovanjem konopljne pređe sa drugom celuloznom pređom u pletenini povećava se UPF pletenine, što se može smatrati potvrdom da predloženi pristup optimizaciji UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala na bazi konoplje ima perspektivu.

Rezultati sprovedenih istraživanja daju određene opšte smernice za projektovanje tekstilnih materijala zadovoljavajućih UV zaštitnih svojstava. Pre svega, pokazalo se da, iako je efekat distribucije otvorenih pora u pletenini na njenu UV zaštitnu sposobnost jasan, nije uvek ključan za vrednost UPF-a. Naime, iako čak i male promene u veličini otvorenih pora uslovljavaju UV transmisiju kroz pleteninu, nekada te promene nisu dovoljne da bi uslovile promenu vrednosti UPF-a. Dva su razloga za to. Jedan je različita biološka aktivnost srednjetalasnih (UVB) i dugotalasnih (UVA) zraka. Iako je UVA transmisija kroz ispitivane DL pletenine veća, zbog veće biološke aktivnosti UVB zraka, male promene UVB transmisije kroz pleteninu mogu značajno da utiču na vrednost UPF-a pletenine. Drugi razlog leži u činjenici da je sposobnost tekstilnog materijala da apsorbuje UV zrake uslovljena afinitetom vlakana ka UV apsorpciji, ali i topografijom površine materijala, pa i geometrijom petlji u pletenini.

Upotrebom končane konopljne pređe za izradu glatke DL pletenine uz iste tehnološke parametre proizvodnje kao i pletenina od jednožične konopljne pređe, i uporednom analizom njihovih UV zaštitnih svojstava, omogućeno je utvrđivanje potencijala mehaničke operacije končanja pređa za projektovanje optimalnih UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala, uz već dobro poznate pozitivne

efekte na performanse pređa i tekstilnih materijala. Pletenina od končane konopljne pređe je u svom sirovom stanju (suvo relaksirana) ispoljila manju UV zaštitnu sposobnost u poređenju sa pleteninom od jednožične konopljne pređe. To je bilo uzrokovano većom UV transmisijom kroz pleteninu od končane konopljne pređe uprkos njenoj manjoj otvorenoj poroznosti. U ovom slučaju, kvalitativna analiza je pokazala da su u pletenini od končane konopljne pređe prisutne otvorene pore u iglenim glavama petlje koje su nastale na račun veće površine petlje (u odnosu na pleteninu izrađenu od jednožične konopljne pređe), i sabijanja končane pređe u tačkama ukrštanja u petlji što je omogućeno manjom gustinom pakovanja vlakana konoplje u končanoj pređi. Drugim rečima, u pletenini od končane konopljne pređe prisutne su otvorene pore koje nisu bile iskazane kroz vrednosti sekundarnih strukturnih parametara.

Relaksaciono skupljanje pletenine od končane konopljne pređe tokom mokre relaksacije, dovelo je do strukturnih promena koje su se odrazile na smanjenje UV transmisije kroz pleteninu i povećanje UPF-a. Treba reći da to povećanje nije bilo u meri da pletenina od končane konoplje dostigne nivo „dobre“ UV zaštitne sposobnosti prema standardu EN 137587-2, kako je to slučaj kod pletenine od jednožične konopljne pređe. Otvorene pore u iglenim glavama petlji kod pletenine od končane konopljne pređe zadržale su se u pletenini i posle mokre relaksacije, što je doprinelo tome da UV transmisija kroz ovu pleteninu bude veća, a UPF niži u poređenju sa pleteninom od jednožične konopljne pređe. Povećanje gustine pletenine od končane konopljne pređe uzrokovano relaksacionim skupljanjem doprinelo je povećanju UV apsorpcije. Međutim, i posle mokre relaksacije, pletenina od končane konopljne pređe okarakterisana je manjom UV apsorpcijom u poređenju sa pleteninom od jednožične konopljne pređe. Iako dobijeni rezultati daju prednost pletenini od jednožične konopljne pređe u pogledu UV zaštitnih svojstava, treba imati u vidu da je ovo istraživanje obuhvatilo samo jednu varijantu končane konopljne pređe. Polazeći od činjenice da se končanjem pređa različite finoće, uz različite odnose primarnog i sekundarnog upredanja, može projektovati željena struktura i geometrija končanih pređa i pletenina, onda se može očekivati da se u budućim istraživanjima uspostave smernice za unapređenje UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala primenom operacije končanja pređa.

Polazeći od činjenice da je mokra relaksacija pletenina uobičajeni postupak koji se primenjuje u industrijskoj praksi u cilju postizanja njihove dimenzione stabilnosti, može se reći da je deo istraživanja koji se odnosi na mokro relaksirane pletenine na bazi konoplje od posebne važnosti. U tom smislu, posebno je značajno da je mokro relaksirana 100% konopljna pletenina ispoljila dobru UV zaštitnu sposobnost. Ipak, istraživanja koja su obuhvatila suvo relaksirane pletenine pružila su određena saznanja i smernice u korist unapređenja UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala.

8. ZAKLJUČAK

Polazeći od postavljenih ciljeva, sprovedenih istraživanja, dobijenih rezultata i njihove detaljne analize, mogu se doneti sledeći zaključci:

1. U okviru strategije inženjerskog pristupa razvoju UV zaštitnih materijala na bazi konoplje korišćenjem isključivo uobičajenih mehaničkih operacija u tehnologiji izrade pletenina, uz kombinovanje jednožične konopljine pređe sa pamučnom, i viskoznom pređom, proizvedene su pletenine na bazi konoplje sa zadovoljavajućim UV zaštitnim svojstvima. Izbegavanje dodatnih mehaničkih operacija i hemijskih dorada za funkcionalizaciju tekstilnih materijala na bazi konoplje, doprinosi održivosti konoplje u smislu ekoloških, ekonomskih i socijalnih aspekata.
2. Upotreba prirodno obojenih (nebeljenih) tekstilnih materijala na bazi konoplje poboljšava apsorpciju UV zraka čime se doprinosi unapređenju UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala, kao i aspektima održivosti zbog izbegavanja hemijskih tretmana. Rezultati su takođe pokazali da je apsorpcija UV zraka uslovljena apsorpcionim kapacitetom vlakana i topografijom površine materijala.
3. Koncept projektovanja dobrih UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala na bazi konoplje primenom operacije končanja konopljine pređe pokazao je određene prednosti, čime se nametnula potreba daljeg istraživanja u pravcu primene šireg intervala sekundarnog upređanja (končanja) i strukturnih parametara pletenina.
4. Postizanje dobrih UV zaštitnih svojstava konopljine pletenine nakon mokre relaksacije predstavlja potvrdu da otvorena poroznost tekstilnog materijala ima značajnu ulogu za postizanje dobrih UV zaštitnih svojstava. Rezultati su takođe pokazali da sa smanjenjem veličine otvorenih pora raste „osetljivost“ pletenine, odnosno jača efekat strukturnih promena na UV transmisiju kroz pleteninu.
5. Iako je UVA transmisija kroz ispitivane DL pletenine veća, pokazalo se da male promene UVB transmisije mogu značajno da utiču na UV zaštitni faktor (UPF) pletenine, što je uzrokovano većom biološkom aktivnošću UVB zraka.
6. Složena hijerarhijska struktura tekstilnog materijala (vlakno – pređa – pletenina (kanina)) generalno komplikuje projektovanje željenih performansi tekstilnog proizvoda. Međutim, koristeći potencijale koje vlakna, pređe i pletenine imaju u smislu inženjerskog dizajna, otvara se gotovo neograničen prostor za dizajn i projektovanje optimalnih UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala na bazi konoplje. Određene smernice uspostavljene u ovom istraživanju mogu se smatrati univerzalnim, odnosno primenjivim za projektovanje unapređenih UV zaštitnih svojstava drugih tekstilnih materijala.

LITERATURA

Abidi N., Cabrales L., Hequet E., Functionalization of cotton fabric surface with titania nanosols: Applications for self-cleaning and UV-protection properties, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 1 (10) 2141-2146, **2009**

Adesina I., Bhowmik A., Sharma H., Shahbazi A., A review on the current state of knowledge of growing conditions, Agronomic soil health practices and utilities of hemp in the United States, *Agriculture*, 10 (4), 129, **2020**

Aguilera J, Gálvez M.V, Sánchez-Roldán C., Herrera-Ceballos E., New advances in protection against solar ultraviolet radiation in textiles for summer clothing, *Photochemistry and Photobiology*, 90 (5), 1199-1206, **2014**

Aguilera J., Navarrete-de Gálvez E., Sánchez-Roldán C., Herrera-Ceballos E., de Gálvez M., Sun-protective properties of technical sportswear fabrics 100% polyester: the influence of moisture and sweat on protection against different biological effects of ultraviolet (UV) radiation, *Photochemistry and Photobiology*, 99 (1), 184–192, **2023**

Ahmed F., Islam Z., Mahmud S., Sarker E., Islam R., Hemp as a potential raw material toward a sustainable world: A review, *Heliyon*, 8 (1), e08753, **2022**

Akgun M., Becerir B., Alpay H.R., Ultraviolet (UV) protection of textiles: a review, *International scientific conference, Gabrovo*, 301-311, **2010**

Alam I.K., Moury N.N., Islam M.T., Synthetic and natural UV protective agents for textile finishing, In: Rather L.J., Shabbir M., Haji A. (Ed), *Sustainable Practices in the Textile Industry*, 207–235, **2021**

Alebeid O.K., Zhao T., Review on: developing UV protection for cotton fabric, *The Journal of the Textile Institute*, 108 (12), 2027-2039, **2017**

Algaba I., Riva A., In vitro measurement of the ultraviolet protection factor of apparel textiles, *Coloration Technology*, 118 (2), 52-58, **2002**

Algaba I., Riva A., Crews P.C., Influence of fiber type and fabric porosity on the UPF of summer fabrics, *AATCC review*, 4 (2), 26-31, **2004**

Algaba I, Riva A, Pepió M., Modelization of the influence of the wearing conditions of the garments on the ultraviolet protection factor, *Textile Research Journal*, 77 (11), 826-836, **2007**

Allen M., Bain G., Measuring the UV protection factor of fabrics, *Thermo Fisher Scientific, Application Note: 51664*, **2008**

Amaducci S, Scordia D, Liu FH, Zhang Q, Guo H, Testa G, Cosentino SL, Key cultivation techniques for hemp in Europe and China, *Industrial Crop and Products*, 6, 2-16, **2015**

Amidžić B., Biočanin R., Rakić G., Zračenje u radnoj i životnoj sredini i mere zaštite u sistemima bezbednosti, *IMK – 14 Istraživanje i razvoj*, 13 (26-27) 1-2, **2007**

Angelova V., Ivanovab R., Delibaltova V., Ivanova K., Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp), *Industrial Crop and Products*, 19 (3), 197–205, **2004**

Antonijević M., Starčević S., Sabić S., Jovanović S., Klimatske promene i njihov uticaj na kvalitet života, Festival kvaliteta – 40. Nacionalna konferencija o kvalitetu; 8. Nacionalna konferencija o kvalitetu života, **2013**

AS/NZS 4399:1996, Australian/New Zealand Standard, Sun protective clothing— Evaluation and classification, **1996**

Atenboro D., Život na našoj planeti: moje svedočenje i vizija budućnosti, Beograd, Laguna, **2020**

Averink J., Global water footprint of industrial hemp textile, Water Engineering and Management, University of Twente, Enschede, **2015**

Babić R., Stanković-Babić G., Babić S., Marjanović A., Babić N., Doze, rizici i posledice ultraljubičastog zračenja, Acta Ophthalmologica, 42 (1), **2016**

Baghaei B., Skrifvars M., Salehi M., Bashir T., Rissanen M., Nousiainen P., Novel aligned hemp fibre reinforcement for structural biocomposites: Porosity, water absorption, mechanical performances and viscoelastic behaviour, Composites: Part A: Applied Science and Manufacturing, 61, 1-12, **2014**

Baldini M., Ferfua C., Piani B., Sepulcri A., Dorigo G., Zuliani F., Danuso F., Cattivello C., The performance and potentiality of monoecious hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars as a multipurpose crop, Agronomy, 8 (9), 162, **2018**

Bauer S., Photoprotection by workwear: Ultraviolet protection factors for artificial radiation from welding arcs, Photochemistry and Photobiology, 96 (4), 917–925, **2020**

Bernhard A., Caven B., Wright T., Burtscher E., Bechtold T., Improving the ultraviolet protection factor of textiles through mechanical surface modification using calendaring, Textile Research Journal, 92 (9–10), 1405–1414, **2021**

Bi X., Zhang W., Yu Ch., Yang J., UV resistance of bast fibers, Cellulose, 26 (116), 6061–6071, **2019**

Blackburn R.S., Biodegradable and sustainable fibers, The textile institute, CRC Press, Woodhead Publishing Limited, Cambridge England, **2005**

Bonet-Aracil, M.A., Diaz-Garcia, P., Bou-Belda, E., Sebastis, N., Montoto, A., Rodrigo, R., UV protection from cotton fabrics dyed with different tea extracts, Dyes and Pigments, 134, 448-452, **2016**

Boothby-Shoemaker W., Mohammad T., Ozog D., Lim H., Photoprotection by clothing: A review, Photodermatology, Photoimmunology and Photomedicine, 38 (5), 478–488, **2022**

Bourmaud A., Mérotte J., Siniscalco D., Le Gall M., Gager V., Le Duigou A., Pierre F., Behloul K., Arnould O., Beaugrand J., Baley C., Main criteria of sustainable natural fibre for efficient unidirectional biocomposites, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 124, 105504, **2019**

Boutron O., Gouy V., Touze N., Benoit P., Chovelon J.M., Margouma C., Geotextile fibres retention properties to prevent surface water nonpoint contamination by pesticides in agricultural areas, Geotextiles and Geomembranes, 27 (4), 254-261, **2009**

Buksnowitz C., Adusumalli R., Pahler A., Sixta H. and Gindl W., Acoustical properties of lyocell, hemp, and flax composites, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 29 (20), 3149–3154, **2010**

- Butorac A., Teorija o Geji – Džejm Lovelok, Završni rad, Filozofski fakultet Univerzitet u Rjeci, **2018**
- Campos Payá J., Díaz-García P., Montava I., Miró-Martínez P., Bonet, M., A new development for determining the ultraviolet protection factor., *Journal of Industrial Textiles*, 45(6), 1571–1586, **2015**
- Carus M., Sarmiento L., The European hemp industry: cultivation, processing and applications for fibres, shivs, seeds and flowers, EIHA – European Industrial Hemp Association, **2016**
- Chao, Y., Ho, T., Cheng, Z., Kao, L., Tsai, P., A study on combing natural dyes and environmentally-friendly mordant to improve color strength and ultraviolet protection of textiles, *Fibres and Polymers* 18 (8), 1523-1530, **2017**
- Chen-Yu J., Wong S., Effects of Repeated treatments of perspiration, weathering, and laundering on the ultraviolet protection of a naturally colored lightweight cotton fabric, *Clothing and Textiles Research Journal*, 35(2), 128-140, **2017**
- Cheng D., He M., Ran J., Cai G., Wu J., Wang X., In situ reduction of TiO₂ nanoparticles on cotton fabrics through polydopamine templates for photocatalysis and UV protection, *Cellulose*, 25 (2), 1413–1424, **2018**
- Cleophas F.N., Zahari N.Z., Murugayah P., Rahim S.A., Mohd Yatim A.N., Phytoremediation: A novel approach of bast fiber plants (hemp, kenaf, jute and flax) for heavy metals decontamination in soil—Review, *Toxics*, 11 (1), 5, **2023**
- Crews P.C., Kachman S., Beyer A.G., Influences on UVR transsion of undyed woven fabrics, *Textile Chemist and Colorist*, 31 (6), 17-26, **1999**
- Crini G., Lichtfouse E., Chanet G., Morin-Crini N., Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment: a review, *Environmental Chemistry Letters*, 18 (3), 1451–1476, **2020**
- Čukanović Karavidić M., Dukić Mijatović M., Pejanović R., Karavidić S., Obrazovanje za održivi razvoj: Putokaz za obrazovanje mladih, *Službeni Glasnik*, Beograd, **2021**
- Dai Y., Yang J., Hu W., Zahoor R., Chen B., Zhao W., Meng Y., Zhou Z., Simulative global warming negatively affects cotton fiber length through shortening fiber rapid elongation duration, *Scientific Reports*, 7 (1), **2017**
- Dartnel L., Iskon, Kako nas je zemlja stvorila, Beograd, Laguna, **2021**
- Dauids S., Capjack L., Kerr N., Fedosejevs R., Clothing as protection from ultraviolet radiation: which fabric Is most effective?, *International Journal of Dermatology*, 36 (5), 374-379, **1997**
- De P., Sankhe M.D., Chaudhari S.S., Mathur M.R., UV-resist, Water-repellent breathable fabric as protective textiles, *Journal of Industrial Textiles*, 34 (4), 209–222, **2005**
- DeeDee M., An evaluation of hamp fiber for furnishing applications, Master, Colorado State University, **2011**
- Dobnik Dubrovski P., Woven fabrics and ultraviolet protection, University of Maribor, Faculty of mechanical engineering Slovenia, Woven fabric engineering, **2010**

- Downs N.J., Harrison S.L., A comprehensive approach to evaluating and classifying sun-protective clothing, *British Journal of Dermatology*, 178 (4), 958-964, **2018**
- Doyon V., Khosravi-Hafshejani T., Richer V., An added benefit of masks during the COVID-19 pandemic: ultraviolet protection, *Journal of Cutaneous Medicine and Surgery*, 26 (1), 63-70, **2022**
- Drinić Z., Ekstrakcija Industrijske konoplje (*Cannabis Sativa L.*), Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Farmaceutsko inženjerstvo, Univerzitet u Novom Sadu, **2020**
- Duleba-Mejak M., Transmission of UV radiation through woven fabrics in dependence on the inter-thread spaces, *Fibers & textiles in Eastern Europe*, 17 (2), 34-38, **2009**
- Duque Schumacher A., Pequito S., Pazour J., Industrial hemp fiber: A sustainable and economical alternative to cotton, *Journal of Cleaner Production*, 268, **2020**
- Đurić Z., Ekološka održivost poslovanja u hotelijerstvu, Doktorska teza, Univerzitet Educons, Fakultet za sport i turizam, Sremska Kamenica, **2019**
- Ehrensing D.T., Feasibility of industrial hemp production in the United States Pacific Northwest, Station bulletin 681, Agricultural Experiment Station, Oregon State University, **1998**
- EN 13758-1:2002 Textiles – Solar Ultraviolet Protective Properties – Part I: Methods of test for Apparel Fabrics, **2002**
- EN 13758-2:2003 Fabrics – Solar UV Protective Properties – Part 2: Classification and Marking of Apparel, **2003**
- Fahey D.W., Twenty questions and answers about the ozone layer: 2006 Update, Joint global ozone research and monitoring project, **2006**
- Feng, X.X., Zhang, L.L., Chen, J.Y., Zhang, J.C., New insight into solar UV protective properties of natural dye, *Journal of Cleaner Production*, 15(4), 366-372, **2007**
- Fortenbery T.R., Bennett M., Opportunities for commercial hemp production, *Review of Agricultural Economics*, 26 (1), 97-117, **2004**
- Fortenbery T.R., Mick Endowed Chair T., Industrial hemp: opportunities and challenges for Washington, College of Agricultural, Human, and Natural Resource Sciences, School of Economic Sciences, Washington State University, **2014**
- Frfulanović-Šomodi D., Savić M., Eko-moda kao potreba savremenog društva, *Tekstilna Industrija*, 2, **2019**
- Gabrijelčić H., Urbas R., Sluga F., Dimitrovski K., Influence of fabric constructional parameters and thread colour on UV radiation protection, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 17 (1), 46-54, **2009**
- Gambichler T., Avermaete A., Badger A., Altmeyer P. and Hoffman K., Ultraviolet protection by summer textiles, Ultraviolet transmission measurements verified by determination of the minimal erythema dose with solar-simulated radiation, *British Journal of Dermatology*, 144 (3), 484-489, **2001**
- Gies P., Protection by clothing, *Photodermatology, Photoimmunology and Photomedicine*, 23 (6), 264-274, **2007**
- Giljen G.M., 2030, Beograd, Laguna, **2021**

- Glavatović B., Osnovi geonauka, Seizmološki zavod Crne Gore, Podgorica, **2005**
- Goločorbin-Kon S., Pavlović N., Rašković A., Lalić-Popović M., Primena kanabisa u medicini i farmaciji, *Medicinski časopis*, 49(4), 130-138, **2015**
- Grancarić A.M., Penava Ž., UV protection of cotton – the influence of weaving structure, *Hemijska Industrija*, 59 (9-10), 230-234, **2005**
- Grifoni D., Bacci L., Zipoli G., Carreras G., Baronti S., Sabatini F., Laboratory and outdoor assessment of UV protection offered by flax and hemp fabrics dyed with natural dyes, *Photochemistry and Photobiology*, 85 (1), 313-320, **2009**
- Grifoni, D., Bacci, L., Zipoli, Albanese L., Sabatini, F., The role of natural dyes in the UV protection of fabrics made of vegetable fibres. *Dyes Pigments*, 91 (3), 279-285, **2011**
- Grifoni, D., Bacci, L., Lonardo, D.S., Pinelli, P., Scardigli, A., Camilli, F., Sabatini, F., Zipoli, G., Romani, A., UV protective properties of cotton and flax fabrics dyed with multifunctional plant extracts, *Dyes and Pigments*, 105, 89-96, **2014**
- Grifoni D., Roscigno G., De Falco E., Vece A., Camilli F., Sabatini F., Fibbi L., Zipoli G., Evaluation of dyeing and uv protective properties on hemp fabric of aqueous extracts from vegetal matrices of different origin, *Fibers and Polymers*, 21 (8), 1750-1759, **2020**
- Hansen A., Budde J., Prochnow A., Resource usage strategies and trade-offs between cropland demand, fossil fuel consumption, and greenhouse gas emissions—Building insulation as an example, *Sustainability*, 8 (7), 613, **2016**
- Hatua P., Majumdar A., Das A., Modeling ultraviolet protection factor of polyester-cotton blended woven fabrics using soft computing approaches, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 9 (3), **2014**
- Hoffmann K., Laperre J., Avermaete A., Altmeyer P., Gambichler T., Defined UV protection by apparel textiles, *Archives of Dermatology*, 137 (8), 1089-1094, **2001**
- Hrnjak M., Živković D., Izloženost stanovništva veštačkom ultravioletnom zračenju i zaštita, *Vojnomedicinska akademija, Zavod za preventivnu medicinu – Institut za medicinu rada, Beograd*, **2002**
- Hustvedt G., Cox Crews P., Textile technology: The ultraviolet protection factor of naturally-pigmented cotton, University of Nebraska – Lincoln, *The Journal of Cotton Science*, 9, 47–55, **2005**
- Islam Sh., Shahid M., Mohammed F., Perspectives for natural product based agents derived from industrial plants in textile applications: a review, *Journal of Cleaner Production*, 57, 2-18, **2013**
- Islam S., Bhat G., Environmentally-friendly thermal and acoustic insulation materials from recycled textiles, *Journal of Environmental Management*, 251, **2019**
- Jevtić A.P., The sun protection effect of clothing, including beachwear, *Australasian Journal of Dermatology*, 31(1), 5–7, **1990**
- Jiang S., Xu J., Miao D, Peng L., Shang S., Zhu P., Water-repellency, ultraviolet protection and infrared emissivity properties of AZO film on polyester fabric, *Ceramics International*, 43 (2), 2424–2430, **2017**

- Jugović Z., Pecarski D., Uticaj sunčevog zračenja na zdravlje stanovništva, 1st International Conference Ecological Safety in Post-modern Environment, Banja Luka, RS, BiH, **2009**
- Kan C.W., Yum L., Ng S., The effect of stretching on ultraviolet protection of cotton and cotton/coolmax-blended weft knitted fabric in a dry state, *Materials*, 6 (11), 4985-4999, **2013**
- Kan C.W., A study on ultraviolet protection of 100% cotton knitted fabric: Effect of fabric parameters, *The Scientific World Journal*, 1-10, **2014**
- Kan C, Yum L, Ng S, The effect of stretching on ultraviolet protection of cotton and cotton/coolmax-blend weft knitted fabric in a wet state, *Materials*, 7 (1), 58-74, **2014**
- Kan C., Au C., In-vitro analysis of the effect of constructional parameters and dye class on the UV protection property of cotton knitted fabrics, *Plos One*, 10 (7), **2015**
- Kannan S., Lim H., Photoprotection and vitamin D: a review, *Photodermatology, photoimmunology and photomedicine*, 30 (2-3), 137-145, **2014**
- Karanović J., UV zaštitna svojstva rebrastih pletenina izrađenih od hibridnih pređa na bazi konoplje, Master rad, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, **2017**
- Kibria G., Repon R., Hossain F., Islam T., UV-blocking cotton fabric design for comfortable summer wears: factors, durability and nanomaterials, *Cellulose*, 29 (2), 7555–7585, **2022**
- Kim S., Dyeing characteristics and UV protection property of green tea dyed cotton fabrics - focusing on the effect of chitosan mordanting condition, *Fibers and Polymers*, 7, 255–261, **2006**
- Kirić M., UV zračenje i njegova primena u ispitivanju bez razaranja, Stručni rad, Standardizacija i kvalitet, **2002**
- Kišgeci J., Konoplji hvala, Nolit Beograd, NIP Novi Sad, **1994**
- Kišmartin E., Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, **2015**
- Koblyakov A., Determination of structural and dimensional characteristics of knitted fabrics. In: A. Koblyakov (Ed.) *Laboratory Practice in the Study of Textile Materials*. Mir Publisher, Moscow. 254-262, **1989**
- Kocić A., Uticaj dimenzijalne stabilnosti glatkih pletenina na njihova UV zaštitna svojstva, Master rad, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, **2013**
- Kocić A., Inženjerski pristup optimizaciji UV zaštitnih svojstava tekstilnih materijala, Završni rad, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, **2015**
- Kocić A., Popović D., Stanković S., Poparić G, Uticaj operacije končanja pređe na UV zaštitni faktor pletenina od Konoplje, *Hemijska Industrija*, 70 (3), 319–327, **2016**
- Kocić A., Bizjak, M., Popovic, D., Poparic, B.G., Stankovic, B.S., UV protection afforded by textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibres, *Journal of Cleaner Production*, 228 (12), 1229-1237, **2019**
- Kordej- De Villa Ž., Stubbs R., Sumpor M., Participativno upravljanje za održivi razvoj, Ekonomski institut, Zagreb, **2009**

- Kostajnshek K., Dimitrovski K., Poroznost večplastnih bombažnih tkanin in njen vpliv na prepustnostne lastnosti, *Tekstilec*, 56 (4), 335-344, **2013**
- Kostajnshek K., Dimitrovski K., Multilayer Cotton Fabric Porosity and its Influence on Permeability Properties, *Tekstilec*, 61(4), 254-264, **2018**
- Kostić M., Struktura vlakana, Interna skripta, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, **2008**
- Kozlowski R., Baraniecki P., Barriga-Bedoya J., Bast fibers (flax, hemp, jute, ramie, kenaf, abaca), *Biodegradable and Sustainable Fibres*, 36-38, **2005**
- Kramer L.S., Hemp as raw material for the fashion industry - A study on determining major factors hampering hemp to be integrated in the textile apparel supply chain, Saxion University of Applied Sciences, The Netherlands, **2017**
- Krstić D., Elektromagnetna zračenja u životnoj sredini (Zaštita od elektromagnetnih zračenja), Fakultet zaštite na radu, Niš, **2020**
- Krutmann J., Schalka S., Watson R.E.B., Wei L., Morita A., Daily photoprotection to prevent photoaging, *Photodermatology, Photoimmunology and Photomedicine*, 37 (6)4, 82-489, **2021**
- Kursun S., Ozcan G., An Investigation of UV Protection of Swimwear Fabrics, *Textile Research Journal*, 80 (17), 1811-1818, **2010**
- Laing R., Niven B., Bevin N., Matthews M., Wilson C., High visibility, UVR protection and passive cooling, integrated in workplace clothing, *Journal of Occupational Health and Safety - Australia and New Zealand*, 22(6), 567-578, **2006**
- Laperre J., Gamblichler T., Sun protection offered by fabrics: on the relation between effective doses based on different action spectra. *Photodermatology, Photoimmunology and Photomedicine*, 19 (1), 11-6, **2003**
- Lhlali I., Zouine N., Menouni A., Godderis L., Kestemont M.-P., El Midaoui A., El Jaafari S., Filali-Zegzouti Y., Sun exposure score and vitamin D levels in moroccan women of childbearing age, *Nutrients*, 15 (3), 688, **2023**
- Lord P.R., The structure of open-end spun yarn, *Textile Research Journal*, 41(9) 778-784, **1971**
- Lukačević I., Industrijska konoplja-morfološka obilježja, uzgoj i uporaba, Fakultet agrobiotehničkih znanosti, Završni rad, Osijek, **2016**
- Lukić S., Netkani materijali na bazi agroceluloznih vlakana u ekologiji i medicini, Zbornik radova XLVII Konf za ETRAN, Herceg Novi, 8-13, **2003**
- Majumdar A., Kothari V.K., Mondal A.K., Engineering of cotton fabrics for maximizing in vitro ultraviolet radiation protection, *Photodermatology Photoimmunology Photomed*, 26 (6), 290 – 296, **2010**
- Majumdar A., Das A., Hatua P., Effects of fabric thickness and inter-yarn pore size on ultraviolet radiation protection by polyester woven fabrics, *Fibers and Polymers*, 16 (5), 1163-1168, **2015-a**
- Majumdar A., Das A., Hatua P., Ultraviolet radiation protection by cotton fabrics: role of porous yarn structure, fabric thickness and pore size, *The Journal of the Textile Institute*, 107 (9), 1159-1168, **2015-b**

- Malabadi R., Kolkar K., Chalannavar R., Industrial cannabis sativa: Role of hemp (fiber type) in textile industries, *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, 16 (2), 1–014, **2023**
- Mamnicka J., Czajkowski W., New fiber-reactive UV-absorbers increasing protective properties of cellulose fibres, *Cellulose*, 19, 1781–1790, **2012**
- Manaiia J., Manaiia A., Rodrigues L., Industrial Hemp Fibers: An Overview, *Fibers*, 7 (12), 106, **2019**
- Marković D., Multifunkcionalna svojstva tekstilnih materijala modifikovanih nanočesticama titan-dioksida, Doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, **2011**
- Martić R., Krajišnik D., Milić J., Antioksidansi biljnog porekla u kozmetičkim proizvodima – fizičko-hemijske osobine i fotorotektivni potencijal, *Arhiv za Farmaciju.*, 68 (1), 1-33, **2018**
- Mašić O., Industrial hemp – economic and ecological benefits: The case of Serbia, *Serbian Journal of Engineering Management*, 3 (2), **2018**
- Milašinović S., Kešetović Ž., Đurić S., Ekološke dimenzije globalizacije, *Ecologica*, 16 (54), 205-212, **2009**
- Milinčić A. M., Povodom dana Planete Zemlje, *Globus*, Srpsko geografsko društvo, Beograd, **2005**
- Milosavljević S., Laboratorijski praktikum iz tehnologije predenja, Tehnološko-Metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, **1983**
- Milosavljević S., Tadić T., Stanković S., Knjiga o predenju i pletenju, Beograd, **2000**
- Milosavljević S. i grupa autora, Konoplja sirovina budućnosti, Monografija, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, **2004**
- Milošević S., Bijelić I., Adamović Ž., Značaj i uloga standarda iso 14001 u upravljanju zaštitom životne sredine, 9. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem, "QUALITY 2015", Neum, BiH, 10-13 jun, **2015**
- Misnon M.I., Islam M.M., Epaarachchi A.J., Lau K., Potentiality of utilising natural textile materials for engineering composites applications, *Materials and Design*, 59, 359–368, **2014**
- Misnon M.I., Islam M.M., Epaarachchi J.A., Lau K.T., Analyses of woven hemp fabric characteristics for composite reinforcement, *Materials and Design*, 66, 82-92, **2015**
- Mišković A., Popović D., Bizjak M., Poparić G., Stanković S., Optimization of UV protective properties of hemp containing knitted fabrics, *Textile Science and Economy*, 12th International Scientific-professional conference 10th December, 2021, Zrenjanin, Serbia, **2021**
- Moon R., Pailthorpe M., Effect of stretch and wetting on the UPF of elastane fabrics, *Australasian Textiles*, 15 (5), 39-42, **1995**
- Morin-Crini N., Loiacono S., Placet V., Torri G., Bradu C., Kostić M., Cosentino C., Chanet G., Martel B., Lichtfouse E., Crini G., Hemp-based adsorbents for sequestration of metals: a review, *Environmental Chemistry Letters*, 17, 393–408, **2019**
- Morison L.W., Photoprotection by clothing, *Dermatologic Therapy*, 16 (1), 16-22, **2003**

- Morshed M., Azad S., Deb H., Islam A., Shen X., Eco-friendly UV blocking finishes extracted from *amaranthus viridis* and *solanum nigrum*, *Tekstilec*, 61 (2), 93-100, **2018**
- Munden D.L., Geometry and dimensional properties of plain knitted fabrics. *Journal of the Textile Institute*, 50, T448-471, **1959**
- Najdanović S., Degradacija tekstilne boje Reactive orange 4 procesima UV/H₂O₂ i foto-fenton, Master rad, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, Univerzitet u Nišu, **2013**
- Nakomčić-Smaragdakis B., Čepić Z., Dragutinović N., Proces sagorevanja pšenične slame i njegov uticaj na zagađenje vazduha, *Savremena Poljoprivredna Tehnika*, 40 (1), 1-62, **2014**
- Nikolić T., Dobijanje biološki aktivnih vlakana na bazi selektivno oksidisane celuloze, Doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, **2011**
- Novaković M., Popović D., Mladenović N., Poparić G., Stanković S., Development of comfortable and eco-friendly cellulose based textiles with improved sustainability, *Journal of Cleaner Production*, 267 (2), 122-154, **2020-a**
- Novaković M., Milanović J., Grujić D., Stanković S., Liquid transfer properties of textile fabrics as a function of moisture content, *Hemijska Industrija*, 74 (2), 118-131, **2020-b**
- Oda H., Development of UV absorbers for sun protective fabrics, *Textile Research Journal*, 81 (20), 2139–2148, **2011**
- Osterwalder U., Schlenker W., Rohwer H., Martin E., Schuh S., Facts and fiction on UV protection by clothing, *Radiation Protection Dosimetry*, 91 (1-3), 255–260, **2000**
- Osterwalder U., Herzog B., Sun protection factors: world wide confusion, *British Journal of Dermatology*, 161, 13–24, **2009**
- Oxtoby E., *Spun Yarn Technology*, London, Butterworths, **1987**
- Pailthorpe M., Apparel textiles and sun protection: a marketing opportunity or a quality control nightmare?, *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 422(1), 175–183, **1998**
- Pakdel E., Daoud W., Afrin T., Sun L., Wang X., Enhanced antimicrobial coating on cotton and its impact on UV protection and physical characteristics, *Cellulose*, 24 (9), 4003–4015, **2017**
- Pandey R., Patel S., Pandit P., Shanmugam N., Jose S., Colouration of textiles using roasted peanut skin-an agro processing residue, *Journal of Cleaner Production*, 172, 1319-1326, **2018**
- Parisi M.L., Fatarella E., Spinelli D., Pogni R., Basosi R., Environmental impact assessment of an eco-efficient production for coloured textiles, *Journal of Cleaner Production*, 108, 514-524, **2015**
- Paul R., Bautista L., De la Varga M., Nano-cotton fabrics with high ultraviolet protection, *Textile Research Journal*, 80 (5), 454-462, **2009**
- Pavko Čuden A., Urbas R., Impact of elastane addition on UV protective properties of viscose and polyacrylonitrile knits, *Acta Chimica Slovenica*, 58 (4), 854-859, **2011**
- Pavlović V., Univerzitet i održivi razvoj, Fakultet političkih nauka, Univerzitet u Beogradu, Centar za ekološku politiku i održivi razvoj, **2011**

- Peças P., Carvalho H., Salman H., Leite M., Natural fibre composites and their applications: A Review, *Journals of Composites Science*, 2 (4), 66, **2018**
- Pejić B., Asanović K., Uticaj pratećih komponenta vlakana konoplje na njihovu električnu otpornost, *Hemisjka Industrija*, 60 (1-2), 33-38, **2006**
- Pejić B., Uticaj različitih faktora fizičko-hemijskih modifikovanja na strukturu i svojstva vlakana konoplje, *Doktorska disertacija, Tehnološko-Metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu*, **2009**
- Perić A., Spektralne karakteristike veštačkih izvora uv zračenja -solarijumi-, *Diplomski rad, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu*, **2007**
- Pešović U., Milanković I., Jagodić D., Randić S., Model intenziteta globalnog sunčevog zračenja na horizontalnu površinu, *Infoteh-Jahorina*, 11, **2012**
- Petak M., Upotreba konoplje – etnološko-antropološki i bioetički aspekti, *Diplomski rad, Filozofski fakultet, Sveučilište u Zagrebu*, **2016**
- Polkinghorne J., *Quantum Theory, A very short introduction*, Oxford University Press, Laguna, **2017**
- Rahman S., Alom J., Nitai A., Hasan S., Ahmed M., Nam S., Mondal M., Ultraviolet-blocking protective textiles, *Protective Textiles from Natural Resources*, 395-444, **2022**
- Rana S., Pichandi S., Parveen S., Fanguero R., Natural plant fibers: production, processing, properties and their sustainability parameters Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing, 1-35, **2014**
- Rehman M.S., Rashid N., Saif A., Mahmood T., Han J., Potential of bioenergy production from industrial hemp (*Cannabis sativa*): Pakistan perspective, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 154-164, **2013**
- Rehman M., Fahad S., Du G., Cheng X., Yang Y., Tang K., Liu L., Liu F., Deng G., Evaluation of hemp (*Cannabis sativa* L.) as an industrial crop: a review, *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (38), 1-12, **2021**
- Reinert G., Fuso F., Hilfiker R. and Schmidt E., UV-Protecting properties of textile fabrics and their improvement, *Textile Chemist and Colorist*, 29 (12), 36-43, **1997**
- Rietzler B., Caven B., Bechtold T., Pham T., Treatment of polyamide 66 fabric for increased ultraviolet protection, *Textile Research Journal*, 90 (15-16), 1–8, **2019**
- Rijavec T., Janjić S., Kocjan Ačko D., Revitalization of industrial hemp *Cannabis Sativa* L. var. *Sativa* in Slovenia: a study of green hemp fibres, *Tekstilec*, 60 (1), 36-48, **2017**
- Robinson D., *Velika knjiga o konoplji, samoizdanje Aleksandar Urbančić*, **2000**
- Rosa A., Grammatikos S., Comparative Life Cycle Assessment of Cotton and Other Natural Fibers for Textile Applications, *Fibers*, 7 (12), 101, **2019**
- Sankari H., Comparison of bast fibre yield and mechanical fibre properties of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars, *Industrial Crops and Products*, 11, 73–84, **2000**
- Sarkar A.K., Textiles for UV protection. In: Scott R. (Ed.), *Textiles for Protection*, Woodhead Publishing Ltd., England, 355-377, **2005**

- Sarkar A.K., On the relationship between fabric processing and ultraviolet radiation transmission, *Photodermatology, Photoimmunology and Photomedicine*, 23 (5), 191–196, **2007**
- Scott R., *Textiles for protection*, Woodhead Publishing in Textiles, Cambridge, **2005**
- Sebastian J.S.V., Dong, X., Trostle C., Pham H., Joshi M.V., Jessup R.W., Burow M.D., Provin T.L., Hemp agronomy: current advances, questions, challenges, and opportunities, *Agronomy*, 13 (2), 26, **2023**
- Shateri-Khalilabad M., Yazdanshenas M., Bifunctionalization of cotton textiles by ZnO nanostructures: antimicrobial activity and ultraviolet protection, *Textile Research Journal*, 83(10), 993–1004, **2013**
- Silva M.G., Barros M.A.S.D., Almeida R.T.R., Pilau E.J., Pinto E., Soares G., Santos J.G., Cleaner production of antimicrobial and anti-UV cotton materials through dyeing with eucalyptus leaves extract, *Journal of Cleaner Production*, 199, 807-816, **2018**
- Singh K.M, Singh A, Ultraviolet Protection by Fabric Engineering, *Journal of Textiles*, 1-6, **2013**
- "Službeni glasnik RS", br. 114/**2013**
- Sponner, J., Toth, L., Cziger, S., Franck, R.R., Hemp. In: Franck, R.R. (Ed.), *Bast and other plant fibres*, Woodhead publishing Ltd., Cambridge, 176-206, 2005
- Sraka M., Škevin D., Obradović M., Butorac J., Magdić I., Agroecological conditions of industrial hemp production in the western Pannonian agricultural subregion and fatty acids composition of hemp seed oil, *Journal of Central European Agriculture*, 20(3), 809-822, **2019**
- SRPS EN ISO 2060:2012. Tekstil – Pređa u namotajima – Određivanje podužne mase (masa po jedinici dužine) metodom kanure.
- SRPS EN ISO 2061:2016. Tekstil – Određivanje broja uvoja u pređi – metoda sa direktnim brojanjem.
- SRPS F.S2.020:1958. Fizikalna ispitivanja tekstila – Određivanje skupljanja pletenine.
- Stanković S., Popović D., Poparić G., Thermal properties of textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibers, *Polymer Testing*, 27 (1), 41–48, **2008**
- Stanković S., Uticaj strukture pređa na bazi agroceluloznih vlakana na njihovu dalju tekstilnu transformaciju i upotrebna svojstva, *Doktorska disertacija, Tehnološko-Metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu*, **2008**
- Stanković S., Popović D., Poparić G., Bizjak M., Ultraviolet protection factor of gray-state plain cotton knitted fabrics, *Textile Research Journal*, 79 (11), 1034-1042, **2009**
- Stanković M., Hafner P., Međunarodne konvencije i sporazumi u ekološkoj oblasti – u svetlu savremene civilizacije i međunarodne trgovine, *Škola biznisa*, No. 1, **2014**
- Stanković S., Bizjak M., Effect of yarn folding on comfort properties of hemp knitted fabrics, *Clothing and Textiles Research Journal*, 32 (3), 202-214, **2014**
- Stanković S., Popović D., Kocić A., Poparić G., Ultraviolet protection factor of hemp/filament hybrid yarn knitted fabrics, *Tekstilec*, 60(1), 49-57, **2017**

Stanković S., Kocić A., Bizjak M., Popović D., Poparić G., UV protection afforded by textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibres, *Journal of Cleaner Production*, 228 (12), 1229-1237, **2019-a**

Stanković S., Novaković M., Popović D., Poparić G., Bizjak M., Novel engineering approach to optimization of thermal comfort properties of hemp containing textiles, *The Journal of the Textile Institute*, 110 (9), 1-9, **2019-b**

Stankovic S., Pavlovic S., Bizjak M., Popovic D., Poparic G., Thermal design method for optimization of dry heat transfer through hemp-based knitted fabrics, *Journal of Natural Fibers* 19(15) 12155-12167, **2022**

Stanković S., Toward increasing public awareness of cellulose-based textiles with improved sustainability, in: Muthu S.S: (Ed.), *Consumer awareness and textile sustainability, sustainable textiles: production, processing, manufacturing and chemistry*, Springer, 33-44, **2023-a**

Stanković S., *Consumer Awareness and textile sustainability: sensory evaluation of hemp textiles by consumers as a prospective market research method for new textile products*, in: Muthu S.S: (Ed.), *Consumer awareness and textile sustainability, Sustainable textiles: production, processing, manufacturing & chemistry*, Springer, 117-135, **2023-b**

Stojanović D. i autori, *Dar neba ili cveće zla, Psihoaktivne i druge opasne biljke Balkanskog poluostrva*, **2017**

Škundrić P., Kostić M., Medović A., Mihailović T., Asanović K., Sretković Lj., *Tekstilni materijali, Tehnološko-Metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu*, **2008**

Štrbac N., Vukotić M., Sokić M., *Održivi razvoj i zaštita životne sredine, Reciklaža i održivi razvoj* 5, 18 – 29, **2012**

Šustić L., *Proizvodnja i mogućnost korišćenja industrijske konoplje*, Fakultet agrobiotehničkih znanosti, Završni rad, Osijek, **2019**

Tang K., Struik P.C., Yin X., Thouminot C., Bjelkova M., Stramkal V., Amaducci S., *Comparing hemp (Cannabis sativa L.) cultivars for dual-purpose production under contrasting environments*, *Industrial Crops and Products*, 87, 33–44, **2016**

Tang K., Struik C.P., Amaducci S., Stomph T-J., Yin X., *Hemp (Cannabis sativa L.) leaf photosynthesis in relation to nitrogen content and temperature: implications for hemp as a bio-economically sustainable crop*, *GCB Bioenergy*, 9, 1573–1587, **2017**

Tarbuk A., Grancerić M.A., Šitum M., *Discrepancy of whiteness and UV protection in wet state*, *Collegium Antropologicum*, 38 (4), 1099-1105, **2014**

Tarbuk A., Grancerić A.M., *Skin cancer and uv protection*, *Autex Research Journal*, 16 (1), 19-28, **2016**

Tomljenović A., Čunko R., Pezelj E., Grgec S., *Metodologija vrednovanja kvalitetne tkanine za suncobrane u uvjetima primjene*, *Tekstil*, 57 (1-2), 1-14, **2008**

Thanh Thao N.M., Van Tri H., Gia Han T.N., *Measure The Ultraviolet Protection Factor (UPF) of fabrics on UV-VIS spectrophotometer*, *Journal of Science Technology and Food*, 22 (3), 321-329, **2022**

Ullah A., Perret S.R., Gheewala S.H., Soni P., Eco-efficiency of cotton-cropping systems in Pakistan: An integrated approach of life cycle assessment and data envelopment analysis, *Journal of Cleaner Production*, 134, 623-632, **2016**

URL 1 - <https://nationalgeographic.rs/istorija-i-kultura/tradicija-i-obicaji/a18965/kada-je-poceo-antropocen.html> (26.5.22. 11:35)

URL 2 - https://en.wikipedia.org/wiki/File:Human_population_growth_from_1800_to_2000.png (12.7.21. 21:16)

URL 3 - https://en.wikipedia.org/wiki/Paul_R._Ehrlich (26.5.22. 12:00)

URL 4 - https://www.youtube.com/watch?v=EVcekqboOME&ab_channel=IrinaDamnjanovi%C4%87 (11.7.21. 22:22)

URL 5 - <http://www.glassumadije.rs/covecanstvo-je-juce-potrosilo-sve-obnovljive-resurse-za-ovu-godinu/> (26.5.22. 12:10)

URL 6 - <https://pregled.com.hr/2020/08/15/organizacija-global-footprint-network-izracunala-je/> (26.5. 22 12:30)

URL 7 - https://sr.wikipedia.org/wiki/Гасови_стаклене_баште (05.05.2022. 22:00)

URL 8 - <http://tiyana.net/wp-content/uploads/2012/10/0308sr.jpg> (17.05.2014. 22:00)

URL 9 - <http://www.hoya.hr/UserFiles/image/UV-spektar-za-web.jpg> (13.10.2015. 12:48)

URL 10 - <https://quizlet.com/456805390/principles-of-reflection-transmission-and-absorption-flash-cards/> (14.4.24. – 13:30)

URL 11 - <https://www.cancercouncil.com.au/cancer-prevention/sun-protection/understanding-uv-radiation/how-uv-radiation-increases-skin-cancer-risk/> (02.05.24. 15:58)

UV STANDARD 801 General and Special Conditions, **2022**

Väisänen T., Das O., Tomppo L., A review on new bio-based constituents for natural fiber-polymer composites, *Journal of Cleaner Production*, 149 (6), 582-596, **2017**

Van Dam J., Natural fibres and the environment : environmental benefits of natural fibre production and use, *Proceedings of the Symposium on Natural Fibres*, Wageningen University, The Netherlands **2008**

Van der Velden N., Patel M., Vogtländer J., LCA benchmarking study on textiles made of cotton, polyester, nylon, acryl, or elastane, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 331–356, **2014**

Vandepitte K., Vasile S., Vermeire S., Vanderhoeven M., Van der Borght W., Latr'e J., De Raeve A., Troch V., Hemp (*Cannabis sativa* L.) for high-value textile applications: The effectivelong fiber yield and quality of different hemp varieties, processed using industrial flax equipment, *Industrial Crops and Products*, 185, 112969, **2020**

Verma A., Zanoletti A., Kareem K.Y., Adelodun B., Kumar P., Ajibade F.O., Silva L.F.O., Phillips A.J., Kartheeswaran T., Bontempi E., Dwivedi A., Skin protection from solar ultraviolet radiation using natural compounds: a review, *Environmental Chemistry Letters*, 22 (8), 273–295, **2024**

Von Cossel M., Lewandowski I., Elbersen B., Staritsky I., Van Eupen M., Iqbal Z., Mantel S., Scordia D., Testa G., Cosentino S.L., Maliarenko O., Eleftheriadis I., Zanetti F., Monti A., Lazdina D., Neimane S., Lamy I., Ciadamidaro L., Sanz M., Esteban Carrasco J., Ciria P., McCallum I., M. Trindade L., N. Van Loo E., Elbersen W., Luisa Fernando A., Papazoglou E. and Alexopoulou E., Marginal agricultural land low-input systems for biomass production, *Energies*, 12 (16), 3123, **2019**

Vulević B., Izvori ultraljubičastog zračenja i zaštita, JP “Nuklearni objekti Srbije”, Vinča – Beograd, **2015**

Wang S., Xu H., Stanfield J., Osterwalder U., Herzog B., Comparison of ultraviolet A light protection standards in the United States and European Union through in vitro measurements of commercially available sunscreens, *Elsevier on Behalf of the American Academy of Dermatology*, 77 (1), **2017**

Weightman R., Kindred D., Review and analysis of breeding and regulation of hemp and flax varieties available for growing in the UK, Project NF0530. Final report for the Department for Environment, Food and Rural Affairs. London, UK: ADAS Centre for Sustainable Crop Management, **2005**

Wilson C.A., Gies P.H., Niven B.E., McLennan A., Bevin K.N., The relationship between UV transmittance and color – visual description and instrumental measurement, *Textile Research Journal*, 78(2), 128–137, **2008-a**

Wilson C.A., Bevin N., Laing R., Niven B., Solar protection- Effect of selected fabric and use characteristics on ultraviolet transmission, *Textile Research Journal*, 78 (2), 95-104, **2008-b**

Wilson C.A., Protection from erythema while accommodating pre-vitamin D3 production. Are textiles double agents?, UV Radiation and its effects — 2014, NIWA UV workshop. April 15-17 2014. Auckland, New Zealand, **2014**

Wilson C.A., Parisi A., Bennett I., Estimation of vitamin D and erythema production when the skin is covered by fabric, 1st International Conference on Natural Fibers, June 2013, Guimaraes, Portugal, **2013**

Wilson C.A., Communication of ultraviolet 'protection': Do current indicators effectively encourage general use of fabrics and garments to enhance health, Proceedings of the 89th Textile Institute World Conference. November 2-6, Wuhan, China, **2014**

Wong W., Lam J., Kan C., Postle R., Influence of knitted fabric construction on the ultraviolet protection factor of greige and bleached cotton fabrics, *Textile Research Journal*, 83(7), 683–699, **2013**

Wong W., Lam J., Kan C., Postle R., IN VITRO assessment of ultraviolet protection of coloured cotton knitted fabrics with different structures under stretched and wet conditions, *Radiation Protection Dosimetry*, 164 (3), 325–334, **2015-a**

Wong W., Lam J., Kan C., Postle R., Influence of reactive dyes on ultraviolet protection of cotton knitted fabrics with different fabric constructions, *Textile Research Journal*, 86 (5), 1–21, **2015-b**

Wong W., Lam J., Kan C., Postle R., Impacts of yarn twist and staple length on UV protection of plain-knitted cotton fabrics, *The Journal of the Textile Institute*, 107 (12), 1533-1542, **2016**

Wrangham A.H., A feasibility study on the reintroduction of Industrial Hemp, as an arable break-crop, in the United Kingdom, Dissertation submitted in partial fulfillment for the degree of master of science in rural business management, SRUC, Aberdeen, **2019**

Wu D., Long M., Zhou J., Cai W., Zhu X., Chen C., Wu Y., Synthesis and characterization of self-cleaning cotton fabrics modified by TiO₂ through a facile approach, *Surface and Coatings Technology*, 203, 3728- 3733, **2009**

WWF – World Wide Fund For Nature, Global Footprint Network, Report: EU overshoot day – Living beyond nature's limites, **2019**

WWF, Izevštaj o životu na planeti 2020, Izdanje za mlade, Vodič za našu budućnost, **2020**

Yam E., Kan C., Lam J., Ng S., Hu H., Yuen C., The relation between ultraviolet protection factor and fibre content, *Journal of Textile Engineering*, 59 (4), 83-86, **2013**

Yildirim K., Kanber A., Karahan M., Karahan N., The solar properties of fabrics produced using different weft yarns, *Textile Research Journal*, 88 (13), 1543–1558, **2018**

Zampatakis A., Dubrovski D. P., Thermophysiological comfort and UPF, *Proceedings of the 5th World Textile Conference AUTEX 2005*, Portorož, Slovenija, **2005**

Zimniewska, M., Hemp fibre properties and processing target textile: a review, *Materials*, 15 (5), 1901, **2022**

Spisak tabela

- Tabela 1.** Hronološki prikaz porasta broja stanovnika na planeti (URL 2; Giljen 2021)
- Tabela 1.1.** Karakteristike i hemijski sastav vlakana konoplje (Stanković 2008-a)
- Tabela 3.1.** EM spektar UV zračenja (Babić i sar. 2016)
- Tabela 3.2.** UV indeks i preporučene mere zaštite (Kocić 2015)
- Tabela 3.3.** UPF klasifikacija prema standardu AS/NZS 4399:1996 (AS/NZS 4399:1996)
- Tabela 3.4.** UPF klasifikacija prema standardu AS/NZS 4399:2017 i AS 4399:2020 (Boothby-Shoemaker i sar.2022)
- Tabela 3.5.** UPF klasifikacija prema standardu EN 13758-2:2003 (EN 13758-2:2003)
- Tabela 3.6.** UPF vrednosti uobičajeno korišćenih tekstilnih materijala za izradu odevnih predmeta Boothby-Shoemaker i sar. 2022)
- Tabela 3.7.** Uticaj pokrivnog faktora na UPF vrednosti (Kibria i sar. 2022)
- Tabela 5.1.** Karakteristike štapelnih jednožičnih pređa
- Tabela 5.2.** Primarni strukturni parametri glatkih DL pletenina
- Tabela 5.3.** Kategorije i ocene UV zaštitne sposobnosti tekstilnih materijala prema standardu EN 137587-2.
- Tabela 6.1.** Primarni strukturni parametri mokro relaksiranih glatkih DL pletenina
- Tabela 6.2.** Skupljanje DL pletenina usled mokre relaksacije (*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$)
- Tabela 6.3.** Sekundarni strukturni parametri glatkih DL pletenina
- Tabela 6.4.** Geometrijski parametri pređa nakon mokre relaksacije glatkih DL pletenina
- Tabela 6.5.** Sekundarni strukturni parametri mokro relaksiranih glatkih DL pletenina
- Tabela 6.6.** Promena sekundarnih strukturnih parametara DL pletenina nakon mokre relaksacije (procentualna vrednost)
- Tabela 6.7.** Statistička analiza UPF vrednosti suvo relaksiranih DL pletenina
(*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,01$)
- Tabela 6.8.** Statistička analiza UV transmisije suvo relaksiranih DL pletenina
(*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,01$)
- Tabela 6.9.** Tabela 6.9. Statistička analiza UVB transmisije suvo relaksiranih DL pletenina
(*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,01$)
- Tabela 6.10.** Statistička analiza UVA transmisije suvo relaksiranih DL pletenina
(*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,01$)
- Tabela 6.11.** Statistička analiza UPF vrednosti mokro relaksiranih DL pletenina
(*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,01$)

Tabela 6.12. Statistička analiza UV transmisije mokro relaksiranih DL pletenina

(*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,01$)

Tabela 6.13. Statistička analiza UVB transmisije mokro relaksiranih DL pletenina

(*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,01$)

Tabela 6.14. Statistička analiza UVA transmisije mokro relaksiranih DL pletenina

(*statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$; **statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,01$)

Tabela 6.15. Procentualno smanjenje UVB i UVA transmisije nakon mokre relaksacije glatkih DL pletenina sa statističkom analizom (T-test uparenih uzoraka, *statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$)

Tabela 6.16. Procentualno smanjenje UVB i UVA transmisije nakon mokre relaksacije pletenina sa statističkom analizom (T-test uparenih uzoraka, *statistički značajno za $P < \alpha$, $\alpha = 0,05$)

Spisak slika

Slika 1.1. Industrijska (C. Sativa), Indijska (C. Indica) i Divlja (C. Ruderalis) konoplja (Drinić, 2020)

Slika 1.2. Uzdužni (a) i poprečni (b) presek stabljike konoplje: 1- spoljni omotač (kutikula); 2 – kora (epiderm); 3 – ćelije (grupe) vlakana; 3.1 – elementarno vlakno; 4 – kambijum; 5 - drvenasti sloj; 6 – srž; 7 – lumen (Wrangham 2019; Kišmartin, 2015)

Slika 1.3. Sekundarna vlakna konoplje: a) poprečni presek ćelije (grupe) vlakana; b) šematski prikaz elementarnog vlakna: 1 – primarni ćelijski zid, 2 – sekundarni ćelijski zid, 3- lumen (Manaiia i sar. 2019)

Slika 3.1. Vrste sunčevog zračenja u svim delovima EM spektra (URL 8)

Slika 3.2. Elektromagnetno zračenje u optičkom delu spektra (URL 9)

Slika 3.3. Reakcija sunčevih UVC zraka i kiseonika u cilju nastajana molekula ozona u ozonskom omotaču (Fahey 2006)

Slika 3.4. Interakcija UV zraka o dodirnu površinu: a) apsorpcija; b) transmisija; c) refleksija (URL 10)

Slika 3.5. Penetracija UVB i UVA zraka u kožu (Verma i sar. 2024)

Slika 3.6. Ilustracija prekida DNK lanca pod uticajem UV zračenja (URL 11)

Slika 3.7. Odnos teorijske transmisije UVR i pripadajući faktor zaštite od UVR (UPF) (Bernhard i sar. 2021)

Slika 3.8. Interakcija UVR sa tekstilnim materijalom (Singh i Singh 2013)

Slika 3.9. Hemijska struktura celuloze unutar celuloznih tekstilnih vlakana (URL 12)

Slika 3.10. Molekulska struktura poliestarskog vlakna (URL 13)

Slika 3.11. Odnos UPF vrednosti i pokrivenog faktora (A); odnos UPF vrednosti i transmisije UVA zraka (B) (Aguilera i Galvaz, 2014)

Slika 3.12. Pletenina u relaksiranom stanju (a); i istegnuta u oba pravca za 30% (b) (Kan i sar. 2013)

Slika 3.13. Izgled interlok pletenine pre (levo) i posle (desno) beljenja (Wong i sar. 2013)

Slika 3.14. Šematsko poređenje uticaja UVR na kožu zaštićenu tekstilnim materijalim a) bez i b) sa zaštitnim UV slojem nanočestica (Rahman i sar. 2022)

Slika 5.1. Lambda 800 UV/VIS spektrofotometar PELA-1000 (PerkinElmer Inc., USA)

Slika 6.1. Geometrija jednožične konopljine (a), i pamučne (b), i končane konopljine (c) pređe (Stanković i sar. 2022)

Slika 6.2. SEM mikrofotografije pletenina izrađenih od jednožične (a) i končane (b) konopljine pređe (Kocić i sar. 2016)

Slika 6.3. SEM mikrofotografije mokro relaksiranih pletenina izrađenih od jednožične (a) i končane (b) konopljine pređe (Kocić i sar. 2016)

Slika 6.4. UPF vrednosti suvo relaksiranih glatkih DL pletenina

Slika 6.5. Distribucija UV zračenja u suvo relaksiranim glatkim DL pleteninama

Slika 6.6. UVB i UVA transmisija za suvo relaksirane glatke DL pletenine

Slika 6.7. UPF vrednosti mokro relaksiranih glatkih DL pletenina

Slika 6.8. Distribucija UV zračenja u mokro relaksiranim glatkim DL pleteninama

Slika 6.9. UVB i UVA transmisija mokro relaksiranih glatkih DL pletenina

Slika 6.10. SEM mikrofotografija petlje u konopljinom pletenini (Kocić i sar. 2019)

Slika 6.11. Promena UV zaštitnih svojstava glatkih DL pletenina nakon mokre relaksacije

Slika 6.12. UPF pletenine izrađene od končane konopljine pređe

Slika 6.13. Distribucija UV zračenja u pletenini od končane konopljine pređe

Slika 6.14. Mikrofotografije suvo relaksiranih pletenina od jednožične (a) i končane (b) konopljine pređe, i mokro relaksiranih pletenina od jednožične (c) i končane (d) konopljine pređe

Slika 6.15. UVB i UVA transmisija pletenine izrađene od končane konopljine pređe

Slika 6.16. Dvodimenzionalna projekcija pletenina izrađenih od jednožične (a) i končane (b) konopljine pređe

-BIOGRAFIJA-

Ana Mišković rođena 30.12.1989. godine u Jagodini, gde je završila osnovnu i srednju školu. 2008. godine je upisala Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, studijski program Tekstilna tehnologija, gde je 2011. godine stekla zvanje inženjer tekstilne tehnologije. Godine 2011. upisala je master akademske studije, takođe na Tehnološko-metalurškom fakultetu, studijski program Tekstilna tehnologija, nakon čega je stekla zvanje master inženjer tekstilne tehnologije. Školske 2013/2014. godine upisala je doktorkse akademske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, studijski program Tekstilno inženjerstvo, pod mentorstvom dr Snežane Stanković, redovnog profesora na katedri za Tekstilno inženjerstvo.

2014. godine radila je kao nastavnik u Školi za dizajn, Beograd, i kao saradnik u nastavi na Katedri za tekstilno inženjerstvo Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu. Od 2019. godine zaposlena je u laboratoriji za ispitivanje tekstilnih materijala i kože „Textilinspekt” kao laborant i zamenik rukovodioca laboratorije.

Kao koautor objavila je 1 rad u vrhunskom međunarodnom časopisu, prvih 10 % impakt liste, 1 rad u međunarodnom časopisu, i 1 rad u časopisu međunarodnog značaja. Učestvovala je sa saopštenjima na 4 međunarodna skupa, od kojih su tri objavljena u celini, i sa 2 saopštenja na nacionalnim skupovima.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: Ана Мишковић

Број индекса: 4014/2013

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Инжењерски приступ оптимизацији УВ заштитних својстава текстилних материјала на бази коноље

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 30.05.2024.



Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: Ана Мишковић

Број индекса: 4014/2013

Студијски програм: Текстилно инжењерство

Наслов рада: Инжењерски приступ оптимизацији УВ заштитних својстава текстилних материјала на бази конопље

Ментор: проф. др Снежана Станковић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, 30.05.2024.



Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Инжењерски приступ оптимизацији УВ заштитних својстава текстилних материјала

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, 30.05.2024.



1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.

ОЦЕНА ИЗВЕШТАЈА О ПРОВЕРИ ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма iThenticate којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Инжењерски приступ оптимизацији УВ заштитних својстава текстилних материјала на бази конопље”, аутора Ане Мишковић, констатујемо да утврђено подударање текста износи 10%. Овај степен подударности последица је општих места, односно употребе стручних термина, стандардних назива, дефиниција, и података који се тичу обрађене теме, као и објашњења различитих појмова и стандардних метода тестирања које су примењене у истраживањима у оквиру дисертације. Део подударности односи се на претходно публиковане резултате докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

03.06.2024. године

Ментор

Снежана Станковић