

Uticaj operacije končanja pređe na UV zaštitni faktor pletenina od konoplje

Ana A. Kocić¹, Dušan M. Popović², Snežana B. Stanković¹, Goran B. Poparić²

¹Univerzitet u Beogradu, Tehnološko–metalurški fakultet, Beograd, Srbija

²Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet, Beograd, Srbija

Izvod

Cilj ovog rada bio je analiza uticaja operacije končanja pređe na UV zaštitna svojstva pletenina. U tu svrhu su, polazeći od jednožične i končane pređe od konoplje, u kontrolisanim uslovima proizvedene glatke DL pletenine. Budući da su ove pletenine najpodložnije relaksacionim promenama, sproveden je postupak njihove mokre relaksacije. Eksperimentalno ili računski su određena konstrukciona i fizička svojstva pletenina, kao i promene nastale posle njihove pune relaksacije. UV zaštitna sposobnost suvo i mokro relaksiranih pletenina je kvantitativno ocenjena pomoću parametra UV zaštitni faktor (UPF, *Ultraviolet Protection Factor*) pletenina standardnim *in vitro* postupkom koji podrazumeva spektrofotometrijsko ispitivanje transmisije UV radijacije. Činjenica da se relaksiranoj pletenini izrađenoj od končane konopljne pređe pripisuju odlična UV zaštitna svojstva, uz prednost u pogledu propustljivosti vazduha, ukazuje na potencijal koji operacija končanja pređa ima u oblasti komforne i zdrave letnje odeće.

Ključne reči: UV zaštitni faktor, UV transmisija, pletenina, pređa, končanje, konoplja.

Dostupno na Internetu sa adrese časopisa: <http://www.ache.org.rs/HI/>

Poslednjih godina u javnosti se intenzivno govori o pojavi ozonskih rupa i pojačanom sunčevom UV zračenju. Zbog toga, iako je dobro poznat pozitivan učinak čovekovog izlaganja sunčevim zracima kao što je podsticanje stvaranja vitamina D i drugi terapijski efekti, pokazalo se da dugotrajno i nekontrolisano profesionalno ili rekreativno izlaganje suncu izaziva izvesne efekte štetne po zdravlje. Najočigledniji kratkoročni efekat prekomernog izlaganja sunčevim zracima su opekotine ili crvenilo na koži (erythema). Hronično oštećenje kože izazvano UV zracima izaziva prerano starenje kože, benigne i maligne tumore na koži. S obzirom da u Istočnoj i Južnoj Evropi u letnjim mesecima UV indeks može biti na nivou vrednosti indeksa zračenja u Australiji, zaštita od UV zračenja je od velike važnosti za stanovništvo, posebno za radnike na otvorenom prostoru, decu i omladinu. Pored prirodnih izvora UV zračenja u svakodnevnom životu su prisutni i veštački izvori UV zračenja kao što su razna osvetljenja radnih prostora, industrijska električna pražnjenja, svetleće reklame i slično.

Smatra se da odeća obezbeđuje najefikasniju UV zaštitu. Kolika će biti zaštita koju odeća pruža zavisi od mnogih parametara. U toku poslednje decenije rađena su brojna istraživanja u pravcu definisanja odgovarajućih performansi odeće kao barijere za UV radijaciju (UVR) i utvrđeni su ključni parametri odgovorni za efi-

NAUČNI RAD

UDK 677.075:677.017:543.422.3

Hem. Ind. 70 (3) 319–327 (2016)

doi: 10.2298/HEMIND141126036K

kasnost tekstilnih materijala u pogledu UVR zaštite. Rezultati ovih istraživanja pokazali su da, pored dizajna odeće [1,2], sirovinski sastav, parametri pređe, prepletaj, površinska masa i debljina tekstilnih materijala uslovljavaju nivo UV zaštitne sposobnosti odevnog predmeta [3–11]. Pored toga, pokazalo se da je sposobnost odeće da blokira UVR uslovljena bojom, primenjenim postupcima dorade (beljenje, upotreba UV apsorbera i sl.) [12,13], i parametrima koji se odnose na upotrebu odevnih predmeta kao što su količina vlage u materijalu, istezanje materijala i postupci nege odevnih predmeta [14–17].

Opšte je prihvaćeno da sintetička vlakna pružaju bolju UV zaštitu, međutim, treba imati u vidu činjenicu da tekstilni materijali izrađeni od sintetičkih vlakana nisu komforni za nošenje u uslovima visokih spoljnih temperatura (kada su visoke vrednosti UVR). Sa druge strane, zahvaljujući odličnim higijenskim svojstvima tekstilni materijali na bazi celuloze su izuzetno komforni za nošenje, posebno u letnjim mesecima. Generalno se smatra da celulozni tekstilni materijali ne pružaju visoku UV zaštitu jer celulozna vlakna (pamuk, lan, konoplja, viskoza) imaju mali kapacitet UV apsorpcije. Ipak, potencijal ovih vlakana u pogledu UV zaštite leži u činjenici da ona u sebi sadrže i do 30% pratećih materija (voskovi, pektin, lignin i pigmenti) koje se ponašaju kao odlični apsorberi UVR. U tom smislu, upotreba sirovih (nemodifikovanih) celuloznih vlakana za izradu odevnih tekstilnih materijala dobija na značaju. Dosađajna istraživanja UV zaštitnih svojstava celuloznih tekstilnih materijala uglavnom se odnose na pamuk [18–20], što je donekle i razumljivo kada se ima u vidu

Preписка: S. Stanković, Tehnološko–metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11120, Beograd, Srbija.

E-pošta: stankovic@tmf.bg.ac.rs

Rad primljen: 26. novembar, 2014

Rad prihvaćen: 13. februar, 2015

zastupljenost ovog vlakna na tržištu. Sa porastom interesovanja za revitalizaciju vlakana konoplje u oblasti visokokvalitetnih odevnih tekstilnih proizvoda, zahvaljujući njihovim dobrim predispozicijama sa aspekta toplotnog komfora [21], i imajući u vidu ozbiljan nedostatak rezultata vezanih za UV zaštitna svojstva tekstilnih materijala od konoplje [22], nameće se potreba analize potencijala vlakana konoplje u pogledu sposobnosti UV zaštite.

Končanjem pređe (stručenjem i naknadnim upredenjem dve ili više jednožičnih pređa) modifikuje se čitav niz svojstava pređe koja su značajna za njenu dalju upotrebu. Promene se najpre odnose na poboljšanje mehaničkih karakteristika, povećanje ravnomernosti, voluminoznosti i abrazione otpornosti uz modifikovanje geometrije površine pređe. S obzirom na to da je najčešće smer upredanja končane pređe suprotan smeru upredanja polaznih komponenata, jačina končane pređe ne zavisi više od migracije vlakana i njihovog upredanja, već samo od međusobnog upredanja komponenata jedne oko druge. Pored toga, skoro paralelan položaj vlakana u končanoj pređi doprinosi boljem iskorišćenju njihove jačine, čime se poboljšavaju specifična jačina dobijenih složenih pređa, njihova istegljivost i sposobnost oporavka od mehaničkih naprezanja. Končane pređe imaju otvoreniju strukturu i bolju pokrivnu sposobnost u tkaninama. Takođe, redukcijom jednosmernog torzionog napona smanjuje se neuravnoteženost pređa. Usled ublažavanja varijacije elastičnih svojstava jednožičnih komponenata i varijacije neravnomernosti debljine kombinovanjem više niti povećava se ravnomernost končanih pređa uz modifikovanje njihovih estetskih svojstava [23].

Pored oskudnog broja istraživanja efekata koje struktura i svojstva pređe imaju na UV zaštitna svojstva tekstilnih materijala [4,24–26], u naučnoj literaturi nema podataka o potencijalu operacije končanja pređa u tom smislu. Polazeći od navedenih činjenica, u okviru ovog rada analizirana su UV zaštitna svojstva glatkih DL pletenina izrađenih od jednožične ili končane pređe od konoplje. Kao mera efikasnosti ispitivanih pletenina u pogledu UV zaštite poslužio je parametar UV zaštitni faktor ili UPF (*Ultraviolet Protection Factor*), određen *in vitro* metodom.

Ispitivanje fizičkih svojstava i UV zaštitne sposobnosti suvo relaksiranih DL pletenina od konoplje (bez mehaničkih i hemijskih tretmana koji bi promenili njihovu strukturu ili strukturu pređa) pojednostavljuje ocenu efekta končanja pređe na svojstva pletenine. Ipak, imajući u vidu činjenicu da se tekstilni materijali podvrgavaju mokrim obradama prilikom finalizacije proizvoda, u okviru ovog istraživanja pristupilo se postupku kvašenja pletenina i oceni UV zaštitnih svojstava nakon njihove mokre relaksacije.

EKSPERIMENTALNI DEO

Materijal

U okviru ovog istraživanja korišćena je pređa od konoplje (Linificio Canapificio Nazionale, Italy) sa nominalnom finoćom od 50 tex i nominalnom upredenošću od 400 uvoja po metru (Z pravac). Postupkom končanja tj. upredanjem dve jednožične pređe dobijena je končana pređa od konoplje (konoplja/konoplja) nominalne finoće 100 tex i nominalne upredenosti 310 uvoja po metru (S pravac). Po završetku končanja, končana pređa je podvrgnuta postupku relaksacije parenjem u autoklavu u trajanju od 20 min na 80 °C i odležavanju najmanje 72 h u kondicioniranom uslovima (vlažnost vazduha 65±2% i temperatura 20±2 °C), čime se končana pređa oslobađa od zaostalog torzionog napona. Strukturne karakteristike jednožične i končane pređe od konoplje (konoplja/konoplja) prikazane su u tabeli 1. Faktičke vrednosti finoće i upredenosti upotrebljenih pređa ispitivane su prema važećim SRPS standardima [27,28], dok je prečnik obe pređe određen upotrebom mikroskopa Nikon SMZ800, i na osnovu 50 očitavanja određena je srednja vrednost prečnika. Pomoću prečnika i finoće pređe izračunata je gustina pređa. Faktor pakovanja pređa određen je kao količnik gustine pređa i gustine vlakana.

Tabela 1. Karakteristike pređa od konoplje
Table 1. Characteristics of the hemp yarn

Svojstvo	Konoplja	Konoplja/Konoplja
Finoća, tex	47,8	95,6
Upredenost, m ⁻¹	370	297
Prečnik, mm	0,22	0,41
Gustina, g·cm ⁻³	1,258	0,721
Faktor pakovanja	0,84	0,48

Imajući u vidu rastući trend upotrebe pletenina za izradu letnje odeće, za potrebe ovog istraživanja su od jednožične i končane konopljinne pređe proizvedene dve varijante glatkih DL (desno-levih) pletenina. Prvi uzorak pletenine je proizveden od dublirane jednožične pređe od konoplje (konoplja+konoplja, 2Cs), a drugi od končane pređe od konoplje (konoplja/konoplja, KCs). Na taj način su dobijene pletenine istih konstrukcionih karakteristika, čime je omogućeno njihovo poređenje. Nakon izrade pletenine su podvrgnute obaveznoj tzv. suvoj relaksaciji, odnosno odležavanju u nezategnutom stanju na ravnoj površini u kondicioniranim uslovima (vlažnost vazduha 65±2% i temperatura 20±2 °C) u trajanju od najmanje 72 h. Konstrukcione karakteristike ovih glatkih pletenina prikazane su u tabeli 2.

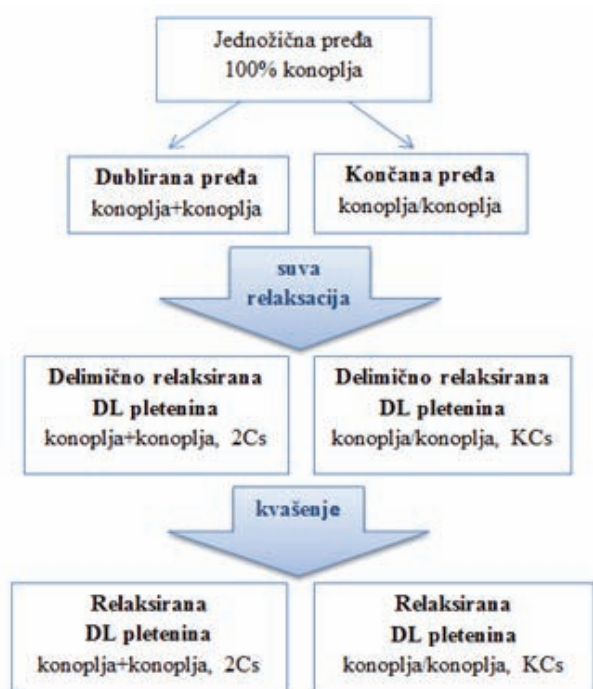
S obzirom na to da su obe pletenine proizvedene na istoj mašini uz kontrolisane tehnološke parametre, konstrukcione karakteristike ovih pletenina su veoma slič-

ne. Uočene male razlike, kako će kasnije biti objašnjeno, pripisuju se izvesnim razlikama u strukturi upotrebljenih pređa. Debljina pletenina određena je prema standardu SRPS EN ISO 5084 [29] a ostale konstrukcije karakteristike pletenina ispitivane su prema uobičajenim procedurama [30]. Šema eksperimentalnog materijala prikazana je na slici 1.

Tabela 2. Konstrukcije karakteristike suvo relaksiranih glatkih pletenina od konoplje
Table 2. Construction characteristics of the dry relaxed plain hemp knitted fabrics

Svojstvo		Konoplja+Konoplja ^a , Konoplja/Konoplja ^b ,	
		2Cs	KCs
Gustina cm ⁻¹	D_v	13,7	12,0
	D_h	5,5	5,5
Površinska gustina cm ⁻²		75,5	66,0
Dužina petlje, mm		5,0	5,3
Debljina, mm		0,916	0,926
Površinska masa g m ⁻²		360,4	334,4

^aDublirana pređa od konoplje; ^bkončana pređa od konoplje



Slika 1. Šema eksperimentalnog materijala.
Figure 1. Design of the experimental material.

Metode ispitivanja

UV zaštitna svojstva pletenina od konoplje, kvantitativno iskazana kroz parametar UPF (UV zaštitni faktor) ispitivana su *in vitro* metodom prema evropskom standardu EN 13758-1 [31]. Ova široko rasprostranjena laboratorijska metoda podrazumeva merenje direktne i

difuzione UV transmisije upotrebom UV–Vis spektrofotometra u intervalu talasnih dužina od 290 do 400 nm (UVB oblast od 290 do 315 nm i UVA oblast od 315 do 400 nm) u koracima od 5 nm. UPF se izračunava kao odnos srednje vrednosti količine UV zračenja emitovanog UV izvorom i količine UV zračenja transmitovane kroz uzorak tekstilnog materijala uz korekciju koja uzima u obzir različitu biološku delotvornost različitih talasnih dužina u okviru intervala UV radijacije. Ova korekcija je neophodna s obzirom da biološka aktivnost kraćih talasnih dužina u okviru UVB intervala znatno prevazilazi aktivnost UVA spektra. Korišćen je spektrofotometar UV/Vis/NIR Perkin-Elmer Lambda 9 (Perkin-Elmer, Boston, MA, USA). Ovaj uređaj je opremljen integrišućom sferom u kojoj se prikupljaju UV zraci koji kroz uzorak prolaze direktno ili difuzijom. Da bi se umanjile greške pri merenju aktivira se odgovarajući UV transmisioni filter. Pomoću spektrofotometra su registrovane talasne dužine od 290–400 nm u koracima od 5 nm. Merenje transmisije je vršeno na uzorcima pletenina koji su normalno i u nezategnutom stanju postavljeni na izvor UV zraka, tako da je njihova prednja strana okrenuta ka UV izvoru. Za svaku pleteninu je vršeno četiri merenja na osnovu kojih su izračunate srednje vrednosti UVB, UVA i UVR transmisije, kao i vrednosti UPF-a prema relaciji (1):

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

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

U svrhu analize UV zaštitnih svojstava pletenina od konoplje pristupilo se merenju propustljivosti vazduha i izračunavanju gustine i poroznosti pletenina. Propustljivost vazduha pletenina je ispitivana pomoću digitalnog uređaja NBFY (Ningbo Textile Instrument Factory, China), prema standardu ASTM D737 [32]. Uzorak pletenine se postavlja licem na gore na okrugli otvor (površine $20 cm^2$) usisne glave aparata, i uz konstantni gradijent pritiska (100 Pa) registruje se količina propuštenog vazduha u $m^3 m^{-2} min^{-1}$. Propustljivost vazduha pletenina od konoplje određena je kao srednja vrednost pet merenja po uzorku pletenine. Gustina pletenine (zapreminska masa) δ ($kg m^{-3}$) određena je odnosom njene površinske mase i debljine. Ukupna poroznost pletenine P (%), definisana kao ukupna količina vazduha u pletenini (pore između pređa i pore unutar pređe), izračunata je prema relaciji (2) [30]:

$$P = 100 - \frac{\delta}{\rho} 100 \quad (2)$$

gde je ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) gustina vlakana. Gustina vlakana konoplje iznosi $1500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Delimično relaksirane (suva relaksacija) pletenine od konoplje, čija su strukturna i fizička svojstva prethodno bila definisana, podvrgnute su postupku mokre relaksacije prema nešto izmenjenom standardnom postupku (SRPS F. S2.020, metoda E) [33]. Postupak relaksacije je sproveden kvašenjem uzoraka pletenine u hladnoj vodi. Uzorak smešten između dve staklene ploče potapa se u destilovanu vodu temperature do 20°C . Posle 2 h statičke relaksacije uzorak se cedi između upijajuće hartije da bi se odstranila suvišna voda i ostavi da se suši na sobnoj temperaturi i vlažnosti, raširena na tankoj žičanoj mreži. Posle perioda kondicioniranja izračunava se procenat skupljanja S (%) pletenine prema relaciji (3) [34]:

$$S = 100 \frac{L_{H0}L_{V0} - L_{H1}L_{V1}}{L_{H0}L_{V0}} \quad (3)$$

gde su L_{H0} i L_{V0} – dužina epruvete (uzorka) u pravcu redova i nizova pletenine pre kvašenja, a L_{H1} i L_{V1} – dužina epruvete (uzorka) u pravcu redova i nizova pletenine posle mokre relaksacije.

Prethodno opisane procedure ispitivanja pletenina od konoplje (konstrukcione karakteristike, UPF, propustljivost vazduha, gustina i poroznost) ponovljene su na uzorcima pletenina podvrgnutim mokroj relaksaciji. Pored toga, definisana je geometrija (prečnik, gustina i faktor pakovanja) jednožične i končane pređe od konoplje nakon mokre relaksacije pletenina.

Za statističku analizu dobijenih rezultata korišćen je Student t -test, prema kome se u slučaju da je vrednost statistike (p) manja od praga značajnosti ($\alpha = 0,05$) odbacuje nulta hipoteza o jednakosti aritmetičkih sredina (srednjih vrednosti). Efekat mokre relaksacije pletenina na UVR transmisiju statistički je analiziran upotrebom t -testa uparenih uzoraka. Ovim testom se pored srednje vrednosti dva uparena uzorka (transmisija pre i posle kvašenja pletenine). Efekat je statistički potvrđen u slučaju kada je vrednost statistike (p) manja od zadatog praga značajnosti ($\alpha = 0,05$).

Makroporoznost (otvorena slobodna površina) pletenina je kvalitativno ocenjena pomoću SEM (*Scanning Electron Misroscopy*) mikrofotografija (Jeol JSM-840A). Epruvete pletenina su prethodno bile prevučene slojem zlata.

REZULTATI I DISKUSIJA

Polazeći od činjenice da je idealnu gustinu pakovanja pređe (0,907) teško dostići, gustina pakovanja jednožične konopljne pređe od 0,84 ukazuje na njenu

kompaktnu strukturu, što je potvrđeno i vrednošću gustine pređe ($1,258 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) koja je za samo 16% manja od gustine vlakna konoplje ($1,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Kompaktna struktura ove pređe objašnjava se smanjenom elastičnošću i gipkošću vlakana konoplje usled čega je usporena njihova migracija prilikom formiranja pređe. Upredanjem dve jednožične pređe od konoplje formira se nova složena (končana) pređa kod koje je neminovno došlo do promene orijentacije vlakana usled sekundarnog upredanja (končanja) u smeru suprotnom od smera upredanja jednožične komponente. Kao rezultat, vlakna konoplje se delimično raspredaju, odnosno dolazi do „otvaranja“ strukture končane pređe, što se manifestuje kroz smanjenje faktora pakovanja i gustine končane pređe za oko 57% u odnosu na jednožičnu komponentu (tabela 1). Kao posledica razlika u internoj strukturi jednožične i končane pređe od konoplje, kod DL pletenina izrađenih od ovih pređa uočene su izvesne male razlike u površinskoj gustini (broj petlji na jedinici površine pletenine), površinskoj masi, debljini i dužini petlje. Manja površinska gustina petlji kod pletenine izrađene od končane konopljne pređe (KCs) posledica je manje vertikalne gustine KCs pletenine (tabela 2). Budući da su obe pletenine proizvedene uz konstantne parametre mašine, različita vertikalna gustina pletenina može se jedino pripisati različitoj savitljivosti jednožične i končane konopljne pređe. Kako prilikom končanja dolazi do delimičnog raspredanja jednožičnih komponenta, pokretljivost vlakana u novonastaloj složenoj pređi raste, što vodi ka povećanju savitljivosti pređe. Otuda je kod KCs pletenine došlo do povećanja dužine petlje i debljine pletenine, i smanjenja vertikalne gustine petlji. Usled većeg broja petlji na jedinici površine 2Cs pletenine, veća je i njena površinska masa u poređenju sa KCs pleteninom.

Ispitivanje fizičkih svojstava i UV zaštitne sposobnosti suvo relaksiranih DL pletenina od konoplje imalo je za cilj da da pouzdanu ocenu efekta končanja pređe na svojstva pletenine. Svaka mehanička ili hemijska dorada pletenina promenila bi strukturu i pređa i pletenina i eventualno maskirala efekat operacije končanja pređe. Ipak, treba imati u vidu da se tzv. suvom relaksacijom pletenina samo delimično relaksira, odnosno oslobađa se samo deo prisutnog napona u pletenini i zaostalih torzionih sila u pređi, dok se mokrom relaksacijom struktura pletenine gotovo u potpunosti relaksira uz veliku sklonost ka promeni svojih dimenzija. Zbog toga se u okviru ovog istraživanja pristupilo postupku kvašenja pletenina od konoplje, i praćenju promene njihove strukture i fizičkih svojstava u svrhu ocene uticaja relaksacionih procesa na UV zaštitna svojstva pletenina. Izračunate vrednosti skupljanja pletenina (relacija (3)) nakon mokre relaksacije iznose 11,9% za 2Cs pleteninu i 10,6% za KCs pleteninu. Treba ipak reći da uočena razlika u procentu skupljanja ove dve plete-

nine nije statistički potvrđena [$p(0,498) > \alpha(0,05)$]. Dimenzionalne promene pletenina ukazuju na činjenicu da je u procesu mokre relaksacije došlo do skupljanja kako jednožične tako i končane konopljne pređe. To se pripisuje velikom afinitetu vlakana konoplje prema molekulima vode, odnosno njihovim hidrofilnim svojstvima. Promene u vlaknu koje su nastale prilikom apsorpcije vode dovele su do promene u gustini pakovanja vlakana u pređi. Geometrija obe pređe se promenila, što se manifestovalo blagim povećanjem prečnika i smanjenjem gustine pređe (tabela 3).

Tabela 3. Karakteristike pređa od konoplje posle mokre relaksacije

Table 3. Characteristics of the hemp yarns after wet relaxation

Svojstvo	Konoplja	Konoplja/Konoplja
Prečnik, mm	0,23	0,45
Gustina, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1,151	0,601
Faktor pakovanja	0,77	0,40

Usled skupljanja pređe došlo je do povećanja horizontalne gustine petlji, odnosno došlo je do promene oblika petlji, što se objašnjava distorzijom i izvijanjem petlji u pravcu treće dimenzije usled njihove težnje da zauzmu ravnotežni oblik. To je dovelo do povećanja površinske gustine petlji i debljine pletenina, zbog čega se povećava i površinska masa pletenina (tabela 4). Promena oblika petlji u toku procesa relaksacije pletenine kvašenjem, omogućena je dejstvom tečnosti koja predstavlja određeno sredstvo "podmazivanja" tačaka preplitanja pređe. Time se smanjuje površinski koeficijent trenja segmenata pređe, koja lakše klize u tačkama međusobnog kontakta.

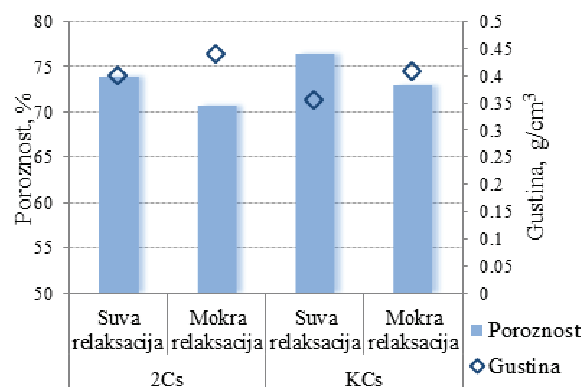
Tabela 4. Konstrukcione karakteristike mokro relaksiranih glatkih pletenina od konoplje

Table 4. Construction characteristics of the wet relaxed plain hemp knitted fabrics

Svojstvo		Konoplja+Konoplja,	Konoplja/Konoplja,
		2Cs	KCs
Gustina	D_v	13,6	12,0
cm^{-1}	D_h	6,2	6,0
Površinska gustina		84,3	72,0
cm^{-2}			
Dužina petlje, mm		5,2	5,2
Debljina, mm		0,929	0,933
Površinska masa		419,0	378,6
$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$			

Promene u strukturi pletenina izazvane relaksacionim procesima odrazile su se i na njihova fizička svojstva (gustina, poroznost i propustljivost vazduha). Poroznost i gustina glatkih pletenina od konoplje posle suve i mokre relaksacije prikazane su na slici 2. Kao

posledica manje gustine petlji, suvo relaksirana KCs pletenina je okarakterisana većim sadržajem vazduha (većom poroznošću i manjom gustinom) u odnosu na 2Cs pleteninu. Daljom relaksacijom pletenina kvašenjem došlo je do povećanja gustine kod obe pletenine usled povećanja njihove površinske mase, a kao posledica povećanja gustine, smanjena je poroznost pletenina. Ipak, i posle mokre relaksacije KCs pletenina se odlikuje većom poroznošću i manjom gustinom.



Slika 2. Gustina i poroznost glatkih pletenina od konoplje

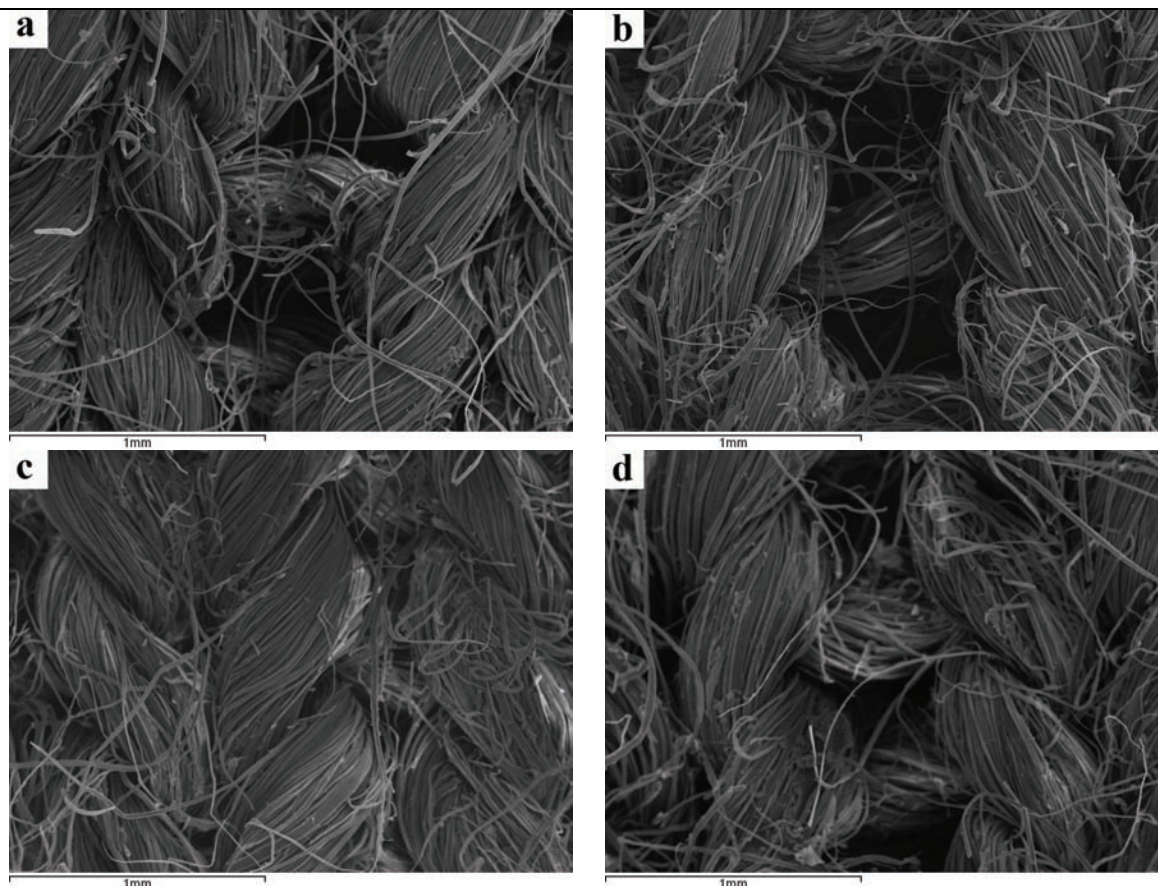
(2Cs – pletenina izrađena od jednožične pređe;

KCs – pletenina izrađena od končane pređe)

Figure 2. Density and porosity of the plain hemp knitted fabrics (2Cs – knitted fabric made from two assembled yarn; KCs – knitted fabric made from two-folded yarn)

Vrednosti poroznosti glatkih pletenina od konoplje date na slici 2 predstavljaju ukupnu poroznost, odnosno sadržaj vazduha između vlakana u pređi i između segmenata pređe u pletenini. Zbog toga se ovaj parametar ne može uzeti kao pokazatelj distribucije vazduha, odnosno pora u pleteninama, a što je od velike važnosti prilikom ocene potencijala pletenina u pogledu UV zaštitnih svojstava. Naime, poznato je da se transmisija UV zračenja kroz tekstilne materijale dešava u najvećoj meri kroz otvorene pore između pređa (nastale preplitanjem dva sistema žica kod tkanina ili jednog sistema žica kod pletenina) ili makropore. SEM mikrofotografije glatkih pletenina od konoplje poslužile su za kvalitativnu ocenu njihove makroporoznosti pre (slika 3a i b) i posle (slika 3c i d) mokre relaksacije. Lako se uočava veća „otvorenost“ pletenine izrađene od končane konopljne pređe, odnosno prisustvo većih otvorenih površina između nizova petlji, kako u slučaju suve relaksacije (slika 3b) tako i u slučaju mokre relaksacije (slika 3d). „Zatvorenija“ struktura suvo relaksirane 2Cs pletenine (slika 3a) postaje još očiglednija posle mokre relaksacije kada se makropore teško uočavaju, a susedni nizovi se dodiruju stranicama petlji (slika 3c).

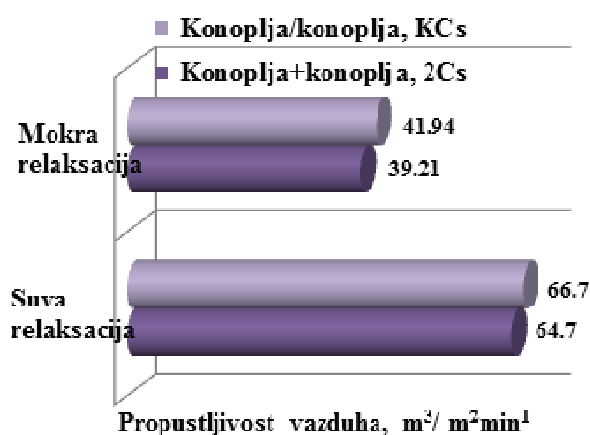
Budući da je propustljivost vazduha tekstilnih materijala, pored debljine, u najvećoj meri uslovljena poroznošću, odnosno kako je dokazano, makroporoznošću,



Slika 3. SEM mikrofotografije suvo relaksiranih 2Cs (a) i KCs (b), i mokro relaksiranih 2Cs (c) i KCs (d) glatkih pletenina od konoplje.
Figure 3. SEM microphotographs of the dry relaxed 2Cs (a) and KCs (b), and wet relaxed 2Cs (c) and KCs (d) plain hemp knitted fabrics.

rezultati propustljivosti vazduha konopljinih pletenina u okviru ovog rada su u određenoj meri posmatrani kao kvantitativna ocena njihove makroporoznosti. Takođe, imajući u vidu činjenicu da propustljivost vazduha predstavlja bitnu komponentu termofiziološkog komfora tekstilnih materijala, dobijeni rezultati ukazali su na potencijal pletenina u tom pogledu. Rezultati propustljivosti vazduha prikazani su na slici 4. Pletenina izrađena od končane konopljine pređe okarakterisana je većom propustljivošću vazduha u poređenju sa pleteninom izrađenom od jednožične konopljine pređe, što je potvrđeno Student t -testom ($p(0,016) < \alpha(0,05)$). Veća površinska gustina petlji 2CS pletenine podrazumeva veći broj makropora na jedinici površine pletenine koje su, zbog toga, manjih dimenzija u odnosu na KCs pleteninu (slika 3a i 3b). S obzirom da sa smanjenjem veličine pora raste otpor strujanju vazduha, opada sposobnost propuštanja vazduha 2CS pletenine. Strukturne promene do kojih dolazi u toku mokre relaksacije pletenina izazivaju smanjenje propustljivosti vazduha. Sa povećanjem površinske gustine petlji i povećanjem prečnika jednožične i končane konopljine pređe, redukovna je veličina makropora pa opada sposobnost propuštanja vazduha. Pri tome se KCs plete-

nina i dalje odlikuje većom propustljivošću vazduha [$p(0,031) < \alpha(0,05)$], što joj daje prednost nad 2Cs pleteninom u pogledu termofiziološkog komfora.



Slika 4. Propustljivost vazduha glatkih pletenina od konoplje.
Figure 4. Air permeability of the plain hemp knitted fabrics.

Procenat transmisije UVR kroz delimično (suvo) relaksirane 2Cs i KCs pletenine i izračunate vrednosti UPF dati su u tabeli 5. Imajući u vidu interval debljine ispi-

tivanih pletenina, odnosno vrednosti prečnika pređa od kojih su pletenine proizvedene, u okviru ovog istraživanja pošlo se od pretpostavke da upotrebljene pređe ne propuštaju UVR. Zbog toga, uočene razlike u vrednostima UV transmisije pletenina od konoplje, koje su statistički potvrđene ($p(2,58 \times 10^{-58}) < \alpha(0,05)$), mogu se pripisati njihovoj različitoj „otvorenosti“ strukture tj. makroporoznosti. KCs pletenina, koja je okarakterisana većom makroporoznošću (manifestovano kroz veću propustljivost vazduha) u poređenju sa 2Cs pleteninom, odlikuje se i većom UVR transmisijom, odnosno nižom vrednošću UPF koja joj ne obezbeđuju zadovoljavajuća UV zaštitna svojstva. Naime, prema standardu EN 13758-2 [35] tekstilni materijali sa UVR transmisijom većom od 5%, odnosno sa UPF vrednošću manjom od 20, ne obezbeđuju dovoljnu UV zaštitu. Prema vrednosti UV zaštitnog faktora 2Cs pletenine, odnosno prema vrednosti UVR transmisije (3,4–5,0%) [35], ova pletenina se kategoriše kao materijal sa dobrim UV zaštitnim svojstvima.

Tabela 5. UV zaštitna svojstva suvo relaksiranih glatkih pletenina od konoplje
Table 5. UV protection properties of the dry relaxed plain hemp knitted fabrics

Parametar		Konoplja+Konoplja, 2Cs	Konoplja/Konoplja, KCs
Transmisija %	UVA	4,123	5,936
	UVB	4,370	5,965
	UVR	4,251	5,950
UPF		21,10	15,02
UPF klasifikacija		Dobar	–

Snižavanje sposobnosti propuštanja vazduha posle mokre relaksacije pletenina ukazalo je na smanjenje njihove makroporoznosti, i potencijalno smanjenje UVA i UVB transmisije, što su rezultati i potvrdili (tabela 6). Uticaj mokre relaksacije pletenina na UVR transmisiju potvrđen je statističkom analizom (t -test uparenih uzoraka) za 2Cs ($p(1,74 \times 10^{-42}) < \alpha(0,05)$) i KCs ($p(8,85 \times 10^{-42}) < \alpha(0,05)$) pleteninu. Pored toga, pokazalo se da se posle mokre relaksacije UPF vrednost povećala za 2,8 puta kod obe pletenine. Tako je 2Cs pletenina i dalje okarakterisana većom vrednošću UPF u poređenju sa KCs pleteninom zahvaljujući većoj površinskoj gustini petlji (tabela 4). To je potvrđeno testiranjem značajnosti razlike između srednjih vrednosti UVR transmisije ove dve pletenine ($p(6,7 \times 10^{-49}) < \alpha(0,05)$). Imajući u vidu nisku vrednost gustine pakovanja konopljinih vlakana u končanoj pređi (0,4), ne treba zanemariti mogućnost da se UVR transmisija dešava u određenoj meri i kroz končanu pređu. Ipak, najbitnija činjenica je da se strukturnom relaksacijom obe pletenine UVA i UVB transmisija snižava ispod 2,5%, odnosno povećava se njihova UPF vrednost i dos-

tiže prag 40. Time 2Cs i KCs pletenina stiču oznaku 40+, i svrstavaju se u kategoriju materijala sa odličnim UV zaštitnim svojstvima. Ova činjenica potvrđuje potencijal koji operacija končanja pređe ima u pogledu UV zaštitnih svojstava, posebno ako se ima u vidu pozitivan efekat končanja na komfor tekstilnih materijala od konoplje [36].

Tabela 6. UV zaštitna svojstva mokro relaksiranih glatkih pletenina od konoplje
Table 6. UV protection properties of the wet relaxed plain hemp knitted fabrics

Parametar		Konoplja+Konoplja, 2Cs	Konoplja/Konoplja, KCs
Transmisija %	UVA	1,722	2,390
	UVB	1,719	2,386
	UVR	1,721	2,388
UPF		59,77	59,77
UPF klasifikacija		40+ (odličan)	42,05

ZAKLJUČAK

U okviru ovog istraživanja izvršeno je poređenje UVR transmisije i UV zaštitnog faktora (UPF) glatkih pletenina izrađenih od jednožične ili končane konopljine pređe u cilju utvrđivanja potencijala operacije končanja pređe na UV zaštitna svojstva pletenina. Analiziran je uticaj operacije končanja konopljine pređe na strukturu i fizička svojstva (gustina, poroznost, propustljivost vazduha) pletenina. Efekat koji operacija končanja pređe ima na konstrukcione karakteristike pletenina objašnjava se povećanom savitljivošću končane pređe, koja je posledica smanjenja gustine pakovanja vlakana u novonastaloj složenoj pređi. Razlike u konstrukcionim karakteristikama glatkih pletenina od konoplje uticale su na različitu raspodelu pora, što je uslovalo njihova različita „transportna svojstva“. Pored veće poroznosti, pletenina izrađena od končane konopljine pređe odlikuje se makroporama većih dimenzija koje su izazvale više vrednosti transmisije i niže vrednosti UV zaštitnog faktora u poređenju sa pleteninom izrađenom od jednožične konopljine pređe. Strukturne promene nastale tokom mokre relaksacije pletenina, uz smanjenje ukupne poroznosti i makroporoznosti, povećavaju efikasnost UV zaštite obe pletenine. Međutim, pored činjenice da se pletenina izrađena od končane pređe, kada je relaksirana od unutrašnjih napona, odlikuje odličnom UV zaštitnom sposobnošću, treba imati u vidu njenu veću propustljivost vazduha koja joj daje prednost sa aspekta termofiziološkog komfora. Može se reći da su preliminarni rezultati ukazali na potencijal koji operacija končanja pređe ima u pogledu UV zaštitnih svojstava pletenina. Ipak, kako bi se dobile preciznije smernice u tom smislu, neophodna su dalja istraživanja uz proširenje eksperimentalnog materijala u

pravcu primene šireg intervala sekundarnog upredanja (končanja) pređa i konstrukcionih karakteristika pletenina.

LITERATURA

- [1] C.A. Wilson, A.V. Parisi, Protection from solar erythematous ultraviolet radiation – simulated wear and laboratory testing, *Textile Res. J.* **76** (2006) 216–225.
- [2] M. Khazova, J.B. O'Hagan, K.J.-L. Grainger, Assessment of sun protection for children's summer 2005 clothing collection, *Radiat. Prot. Dosimetry* **123** (2007) 288–294.
- [3] I. Algaba, A. Riva, P.C. Crews, Influence of fiber type and fabric porosity on the UPF of summer fabrics, *AATCC Review* **4** (2004) 26–31.
- [4] S.B. Stankovic, D. Popovic, G.B. Poparic, M. Bizjak, Ultraviolet protection factors of gray-state plain cotton knitted fabrics, *Textile Res. J.* **79** (2009) 1034–1042.
- [5] K. Dimitrovski, F. Sluga, R. Urbas, Evaluation of the Structure of Monofilament PET Woven Fabrics and their UV Protection Properties, *Textile Res. J.* **80** (2010) 1027–1037.
- [6] S. Davids, L. Capjack, N. Kerr, Clothing as protection from ultraviolet radiation: which fabric is most effective? *Int. J. Dermatol.* **36** (1997) 374–379.
- [7] A. Grancarić, Ž. Penava, A. Tarbuk, UV protection of cotton – the influence of weaving structure, *Hem. Ind.* **59** (2005) 230–234.
- [8] M. Duleba-Mejak, Transmission of UV radiation through woven fabrics in dependence on the inter-thread spaces, *Fibers Text. East. Eur.* **17** (2009), 34–38.
- [9] A. Majumdar, V.K. Kothari, A.K. Mondal, P. Hatua, Effect of weave, structural parameters and ultraviolet absorbers on in vitro protection factor of bleached cotton woven fabrics, *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.* **28** (2012) 58–67.
- [10] W.-Y. Wong, J.K.-C. Lam, C.-W. Kan, R. Postle, Influence of knitted fabric construction on the ultraviolet protection factor of greige and blended cotton fabrics, *Textile Res. J.* **83** (2013) 683–699.
- [11] C.W. Kan, A study on ultraviolet protection of 100% cotton knitted fabrics: effect of fabric parameters, *Sci. World J.* (2014) 506049.
- [12] P.D. Dubrovski, The influence of color and woven fabric construction on ultraviolet protection factor, in *Proceedings of the 6th World Textile Conference AUTEX 2006*, NC State University, USA, 2006.
- [13] U. Osterwalder, W. Schlenker, H. Rohwer, E. Martin, S. Schuh, Facts and fiction on ultraviolet protection by clothing, *Radiat. Prot. Dosimetry* **91** (2000) 255–260.
- [14] D.G. Stanford, K.E. Georgouras, M.T. Pailthorpe, The effect of laundering on the sun protection afforded by a summer weight garment, *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* **5** (1995) 28–30.
- [15] S.Q. Wang, A.W. Kopf, J. Marx, A. Bogdan, D. Polsky, R.S. Bart, Reduction of ultraviolet transmission through cotton T-shirt fabrics with low ultraviolet protection by various laundering methods and dyeing: clinical implications, *J. Am. Acad. Dermatol.* **44** (2001) 767–774.
- [16] T. Gambichler, K.L. Hatch, A. Avermaete, P. Altmeyer, K. Hoffman, Influence of wetness on the ultraviolet protection factor (UPF) of textiles: *in vitro* and *in vivo* measurements, *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.* **18** (2002) 29–35.
- [17] A. Kocić, Uticaj dimenzijalne stabilnosti glatkih pletenina na njihova UV zaštitna svojstva, završni master rad, Tehnološko–metalurški fakultet, Beograd, 2013.
- [18] K. Hoffmann, K. Kaspar, T. Gambichler, P. Altmeyer, In vitro and in vivo determination of the UV protection factor for lightweight cotton and viscose summer fabrics: a preliminary study, *J. Am. Acad. Dermatol.* **43** (2000) 1009–1016.
- [19] J.H. Xin, W.A. Daoud, Y.Y. Kong, A new approach to UV-blocking treatment for cotton fabrics, *Textile Res. J.* **74** (2004) 97–100.
- [20] G. Hustvedt, P. Cox Crews, The ultraviolet protection factor of naturally-pigmented cotton, *J. Cotton Sci.* **9** (2005) 47–55.
- [21] S. Stanković, Uticaj strukture pređa na bazi agroceluloznih vlakana na njihovu dalju tekstilnu transformaciju i upotrebnost svojstva, Doktorska disertacija, Tehnološko–metalurški fakultet, Beograd, 2009.
- [22] D. Grifoni, L. Bacci, G. Zipoli G. Carreras, S. Baronti, F. Sabatini, Laboratory and outdoor assessment of UV protection, offered by flax and hemp fabrics dyed with natural dyes, *Photochem. Photobiol.* **85** (2009) 313–320.
- [23] S. Milosavljevic, T. Tadic, S. Stankovic, A new twist on plied yarn properties, *Textile Month* September (1998) 26–29.
- [24] S.A. Sinclair, B.L. Diffey, Sun protection provided by ladies stocking, *Br. J. Dermatol.* **136** (1997) 239–241.
- [25] A.V. Parisi, M.G. Kimlin, L.R. Meldrum, C.M. Relf, Field measurement on protection by stocking from solar erythematous ultraviolet radiation, *Radiat. Prot. Dosimetry* **86** (1999) 69–72.
- [26] A. Tarbuk, A.M. Grancarić, Z. Penava, A. Zampetakis, The influence of yarn linear density on UV protection of woven cotton fabrics, in *Proceedings of the 3rd International Textile, Clothing & Design Conference – Magic World of Textiles*, Dubrovnik, Croatia, 2006, pp. 739–744.
- [27] SRPS ISO 2060: Pređa u namotajima - Određivanje linearne gustine - Metoda povesma, 1995.
- [28] SRPS ISO 2061: Tekstil - Određivanje uvoja u pređi – Metoda direktnog brojanja, 1994.
- [29] SRPS EN ISO 5084: Tekstil – Određivanje debljine tekstila i tekstilnih proizvoda, 2013.
- [30] A. Koblyakov, in A. Koblyakov (Ed.), *Laboratory Practice in the Study of Textile Materials*, Mir Publisher, Moscow, 1989, pp. 254–262.
- [31] EN 13758-1:2002 Textiles – Solar Ultraviolet Protective Properties – Part I: Methods of test for Apparel Fabrics.
- [32] ASTM D737 – 96: Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics.
- [33] SRPS F. S2.020: 1958, Fizikalna ispitivanja tekstila – Određivanje skupljanja tkanine.
- [34] J.E. Booth, *Principles of Textile Testing*, Butterworths, London, 1968.

[35] EN 13758-12:2003 Fabrics – Solar UV Protective Properties – Part 2: Classification and Marking of Apparel.

[36] S.B. Stankovic, M. Bizjak, Effect of yarn folding on comfort properties of hemp knitted fabrics, *Cloth. Text. Res. J.* **32** (2014) 202–214.

SUMMARY

INFLUENCE OF YARN FOLDING ON UV PROTECTION PROPERTIES OF HEMP KNITTED FABRICS

Ana A. Kocić¹, Dušan M. Popović², Snežana B. Stanković¹, Goran B. Poparić²

¹*University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade, Serbia*

²*University of Belgrade, Faculty of Physics, Belgrade, Serbia*

(Scientific paper)

In the last years the media have highlighted the damage of the ozone layer and the resulting increase of ultraviolet radiation (UVR) reaching the Earth's surface. Prolonged and repeated, both occupational and recreational, sun exposure of the population causes some detrimental effects. Clothing is considered to be one of the most important tools for UV protection. It is generally accepted that synthetic fibres provide a high UV protection capability of textiles, while cellulose fibres (cotton, linen, hemp, viscose) have a low UV absorption capacity. However, natural pigments, pectin and waxes in natural cellulose fibers, and lignin in hemp fibers, act as UV absorbers having a favorable effect on UPF of grey-state fabrics. Bearing in mind the trend of reintroduction of hemp fibers as a source of eco-friendly textiles, there is a serious lack of study about the potential of hemp materials in terms of UV protection. Folded yarn is a complex yarn composed of two or more component yarns arranged parallel and twisted together to make a "new quality" yarn. Folding of yarns is an operation undertaken in order to modify single-yarn properties to an appreciable degree. There are very few investigations concerning the relationship between the yarn properties and UV protection effectiveness of the fabric made therefrom. In addition, there is no any result in the scientific literature about the influence of yarn folding on UV protection properties of textile materials. Having this in mind, for our research the idea was to evaluate the effect of yarn folding in this regard. The plain knitted fabrics composed of single or two-folded hemp yarn were compared in terms of UV protection properties. The Ultraviolet Protection Factor (UPF), as the quantitative measurement of the material effectiveness to protect the human skin against UVR, was determined for the textile materials by *in vitro* test method according to the European standard EN 13758. The knitted fabrics construction and physical properties were also determined. Bearing in mind that plain knitted fabrics are particularly susceptible to relaxation, they were subjected to relaxation and shrinkage by wetting process, and testing procedure was repeated on the water-treated samples. The results obtained indicated that the folding operation influences UV protection properties of knitted fabrics through an influence on a loop configuration, i.e. the fabric openness. Relaxation and shrinkage of the knitted fabrics due to wet relaxation caused the reduction of macro-porosity increasing the UPF of the knitted fabrics. Although the knitted fabric produced from single hemp yarn was characterised by higher UPF, the UVR transmittance of the folded hemp yarn knitted fabric after wet relaxation placed it in the "excellent UV protection category" (according to European Standard EN 13758-2). This fact together with the better thermal comfort manifested itself in higher air permeability, confirmed the potential of folding operation in terms of UV protection properties of textile materials.

Keywords: UPF • UV Transmission • Knitted fabric • Yarn • Folding • Hemp