

## KOMPRESIBILNOST PLETENINA PODVRGNUTIH TESTU NEGE I NOŠENJA

*S obzirom na tesnu povezanost kompresionih karakteristika i konfora tekstilnih površina, u okviru ovog rada pratilo se kompresiono ponašanje pletenina. Pri tome, vršeno je ispitivanje dva važna činioca kompresionog ponašanja u toku petocikličnog opterećenja i rasterećenja: kompresibilnost ili mekoća pletenina i sposobnost elastičnog oporavka materijala. Kako bi se ocenilo ponašanje pletenina u pogledu ovih svojstava u uslovima eksploatacije (nege i nošenja), pletenine su podvrgnute testu nošenja posle čega se pristupilo proveru prethodno navedenih svojstava. Takođe je izvršena i provera fizičkih svojstava pletenina posle sprovedenog testa. Dobijeni eksperimentalni rezultati aproksimirani su van Wyk–ovim zakonom kompresije.*

Savremeni način života kontinuirano pooštrava zahteve i kriterijume kvaliteta odevnih predmeta, što za tekstilnu industriju predstavlja stalni izazov u smislu zadovoljenja osnovnih svojstava konfora uz istovremeno praćenje modnog tržišta. Kompleksnost pojma konfora ogleda se u čitavom nizu svojstava, koja na određen način utiču na udobnost nošenja odevnog predmeta [1]. To su pre svega fizičko–mehanička, površinska, sorpciona, termofiziološka i druga svojstva počev od vlakana preko pređa do tekstilnih površina tj. gotovih odevnih predmeta. Pri tome, važnu grupu u okviru fizičko–mehaničkih svojstava predstavljaju tkz. deformaciona svojstva imajući u vidu da upravo ona u velikoj meri određuju ponašanje tekstilnih materijala u uslovima njihove nege i nošenja. Naime, visok kvalitet odevnog predmeta podrazumeva i postojanost njegovih upotrebnih svojstava a dobro je poznato da su u eksploatacionim uslovima tekstilni materijali izloženi stalnom dejstvu deformacionih sila kao što su istezanje, savijanje, torzija i kompresija. Kompresibilnost ili sposobnost materijala da se deformiše pod dejstvom sile pritiska, kao merilo mekoće tekstilnog materijala, predstavlja važan faktor njegovog konfora, što je bio jedan od razloga da se sprovedena istraživanja u okviru ovog rada baziraju na ispitivanju kompresionog ponašanja tekstilnih materijala. Takođe, sa stanovišta postojanosti svojstava tekstilnih materijala bilo je značajno oceniti sposobnost materijala da zadrži mekoću i elastičnost posle ponovljenog cikličnog opterećivanja i rasterećivanja. Imajući u vidu raznolikost tekstilnih sirovina kao i njihove različite potencijale u pogledu svojstava vezanih za konfor (svojstva elastičnosti), bilo je interesantno videti kako se deformaciona svojstva različitih vlakana projektuju na svojstva tekstilnih površina [2,3].

Adresa autora: S. Stanković, Tehnološko–metalurški fakultet, 11120 Beograd, Karnegijeva 4  
E-mail: stankovic@tmf.bg.ac.yu  
Rad primljen: Oktobar 11, 2005.  
Rad prihvaćen: Mart 28, 2006.

### EKSPERIMENTALNI DEO

Imajući u vidu prethodno pomenutu činjenicu da se tekstilna vlakna mogu međusobno značajno razlikovati u pogledu elastičnosti, za izradu pletenina, koje su poslužile kao eksperimentalni materijal, odabrane su pređa od konoplje i PAC (poliakrilonitralna) pređa. Faktičke karakteristike ovih pređa prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. Fizičke karakteristike upotrebljenih pređa  
Table 1. Characteristics of the yarns used for the production of knits

Svojstvo, jedinica	Konoplja	PAC
Finoća, tex	47.8	48.7
Broj uvoja, t/m	370	351
Specifična jačina, cN/tex	27.8	15.8
Maljavost, m <sup>-1</sup>	3.4	63.5

Za potrebe izrade pletenina identičnih struktura pređe su prethodno stručene. Tako su dobijene tri varijante složenih pređa; jedna se sastojala od dve identične pređe od konoplje, drugu složenu pređu su sačinjavale jedna konopljina i jedna PAC pređa dok su dve PAC pređe formirale treću složenu pređu. Ovako formirane pređe omogućile su izradu tri varijante DL (jednostavnih kuliranih) pletenina koje su se međusobno razlikovale po sirovinskom sastavu: 100% konoplja, 50% konoplja/50% PAC i 100 % PAC pletenina.

Kako bi se ocenilo kompresiono ponašanje pletenina pri njihovom višecikličnom opterećivanju na pritisak, upotrebom aparata za merenje debljine tekstilnih površina (TexTest–FX 306) uzorci su kompresiono opterećivani i relaksirani u toku pet ciklusa počev od minimalnog opterećenja (0.29 N), što je predstavljalo početnu debljinu uzorka tj. debljinu bez opterećenja (prema standardu JUS F:S2.021.), preko njegovog progresivnog povećanja (1.67 N, 4.12 N, 6.57 N, 11.48 N) do približno desetostrukog iznosa (16.38 N). Registrovane promene debljine uzoraka poslužile su za izračunavanje relativne kompresibilnosti pletenina za svaki ispitivani ciklus:

$$\Delta d_i = [(d_0 - d_{16.38})/d_0] \cdot 100, (\%) \quad (1)$$

gde je:

$\Delta d_i$  – relativna kompresibilnost pletenine za posmatrani ciklus, %,

$d_0$  – početna debljina uzorka za posmatrani ciklus, mm,

$d_{16.38}$  – debljina uzorka pri maksimalnom opterećenju u posmatranom ciklusu, mm.

Ovakvo višeciklično kompresiono opterećenje trebalo bi da omogući predviđanje ponašanja tekstilnih materijala u uslovima njihove eksploatacije. Ipak, napredak u tom smislu predstavlja sprovođenje tkz. testa nošenja koji je istovremeno podrazumevao i održavanje i negu testiranih pletenina. Sprovedeni test je podrazumevao svakodnevno angažovanje volontera u toku osam nedelja. Pletenine podvrgnute testu nošenja su zatim, ponovo ispitivane u pogledu kompresionog ponašanja po prethodno opisanom postupku.

## PRIKAZ REZULTATA I DISKUSIJA

Zahvaljujući skoro identičnoj strukturi konopljinje i PAC pređe (tabela 1: finoća i broj uvoja), proizvedene pletenine odlikovale su se skoro identičnom strukturom, kako je prikazano u tabeli 2.

Tabela 2. Fizička svojstva pletenina

Table 2. Physical properties of the knitted fabrics

Svojstvo, jedinica		konoplja+ konoplja	konoplja + PAC	PAC+PAC
Gustina, cm <sup>-1</sup>	D <sub>h</sub>	5	5,5	6,5
	D <sub>v</sub>	14	13	11
Površinska gustina, cm <sup>-2</sup>		70	71,5	71,5
Dužina petlje, mm		5,0	5,2	5,4
Debljina, mm		0,916	1,038	1,181
Površinska masa, g/m <sup>2</sup>		372	357	370
Pokrivni faktor, tex <sup>1/2</sup> cm <sup>-1</sup>		19,5	18,9	18,3

Na taj način, anuliranjem uticaja strukturnih parametara, tj. kontrolisanjem svojstava koja određuju strukturu pletenine, a koja bi mogla uticati na njeno kompresiono ponašanje, analiza dobijenih rezultata svedena je na uticaj tekstilne sirovine na ponašanje pletenina pri dejstvu mehaničkih sila.

U tom smislu, podaci o relativnoj kompresibilnosti pletenina za svaki posmatrani ciklus (tabela 3) ukazuju na očigledne razlike između uzoraka.

Tabela 3. Relativna kompresibilnost pletenina

Table 3. Relative compressibility of the knitted fabrics

Uzorak	$\Delta d, \%$				
	1. ciklus	2. ciklus	3. ciklus	4. ciklus	5. ciklus
Konoplja+konoplja	20.0	7.58	6.76	6.29	5.68
Konoplja+PAC	26.9	13.9	12.6	12.3	12.3
PAC+PAC	33.2	21.1	19.1	18.6	18.5

Naime, zapaža se polazeći od prvog do petog ciklusa kompresije, najveća mekoća tj. kompresibilnost PAC pletenine, dok je pletenina od konoplje ispoljila najmanju kompresibilnost. Kompresibilnost pletenine napravljene od mešavine konoplja/PAC gotovo da predstavlja srednju vrednost kompresibilnosti ostalih dveju ispitivanih pletenina. Ovo ukazuje na činjenicu da su se razlike u svojstvima elastičnosti upotrebljenih tekstilnih sirovina projektovale u istom smislu na deformaciona svojstva pletenina. Naime, poznato je da vlakna konoplje karakteriše niska elastičnost i krutost, dok se PAC vlakna odlikuju mekoćom (usled male gustine) i sposobnošću zadržavanja oblika [4].

Još jedan mogući razlog značajno povećane kompresibilnosti PAC pletenine proizilazi iz različitih površinskih svojstava upotrebljenih pređa. Naime, de Jong je u okviru predloženog mehaničkog modela kompresije, tekstilnu površinu posmatrao kao troslojnu strukturu. Srednji ili unutrašnju deo predstavlja relativno nestišljivo gusto jezgro koje se sastoji od skupova vlakana organizovanih u pređe i izvesne manje količine vazduha. Vlakna koja štrče sa površine tkanine ili pletenine zajedno sa većom količinom vazduha formiraju dva spoljašnja sloja koja su u poređenju sa unutrašnjim slojem u značajnoj meri podložna kompresiji [5, 6]. Drugim rečima, može se očekivati da će pletenina sa izraženijom maljavošću površine biti "mekša" tj. odlikovaće se većom kompresibilnošću. Shodno tome, treba očekivati da će glatka pletenina sa neznatnim brojem štrčećih vlakana imati "skromnije" spoljašnje stišljivije slojeve, što će imati za posledicu njenu smanjenu kompresibilnost. Podaci o maljavosti pređa od kojih su izrađene pletenine (tabela 1), ukazuju na izraženu maljavost PAC pređe u odnosu na pređu od konoplje. Očigledno je maljava PAC pređa doprinela formiranju stišljivijih spoljašnjih slojeva PAC pletenine što je izazvalo njenu veću kompresibilnost. Radi dodatne analize dobijenih rezultata izračunati su koeficijenti kompresije pri progresivnom opterećenju ispitivanih pletenina (tabela 4) prema relaciji [7]:

$$C = -1/V(dV/dP), \text{ mm}^2/\text{N}, \quad (2)$$

gde je:

$C$  – koeficijent kompresije, mm<sup>2</sup>/N,

$V$  – zapremina uzorka, mm<sup>3</sup>,

$dV/dP$  – promena zapremine uzorka pri promeni pritiska, mm<sup>3</sup>/N.

Podaci iz table 4 potvrđuju najveću kompresibilnost PAC pletenine tokom kompletnog ciklusa kompresije. Takođe, smanjenje koeficijenta kompresije sa povećanjem pritiska na pleteninu potvrđuje prisustvo površinskih slojeva vlakana podložnijih kompresiji kao i prisustvo unutrašnjeg kompaktnijeg teže stišljivog jezgra. Zbog toga su na samom početku ciklusa kompresije pri manjim pritiscima pletenine ispoljile veću kompresibilnost. Iako su u tabeli 4 prikazani podaci koji se odnose samo na prvi ciklus kompresije, treba reći da

Tabela 4. Koeficijent kompresije ( $C$ ,  $\text{mm}^2/\text{N}$ ) pletenina u prvom ciklusu kompresije  
 Table 4. Compressibility ( $C$ ,  $\text{mm}^2/\text{N}$ ) of the knitted fabrics during the first compression cycle

Uzorak		Pritisak na pleteninu, $\times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$				
		26.06	64.38	102.7	179.34	255.98
Pre nošenja	Konoplja + konoplja	2.53	1.30	0.89	0.61	0.43
	Konoplja + PAC	3.71	1.86	1.24	0.79	0.59
	PAC + PAC	4.24	2.31	1.66	1.15	0.72
Posle nošenja	Konoplja + konoplja	2.36	1.37	1.03	0.87	0.54
	Konoplja + PAC	2.67	1.62	1.17	0.81	0.53
	PAC + PAC	2.43	1.47	0.92	0.7	0.5

je isti trend zapažen u svih pet sukcesivnih ciklusa kompresije.

Smanjenje kompresibilnosti pletenina sa svakim narednim ciklusom opterećenje–rasterećenje (tabela 3) ukazalo je na kontinualno smanjenje elastične komponente deformacije prilikom višecikličnog kompresionog opterećenja materijala. Dodatnu potvrdu predstavljaju kompresione krive konstruisane na osnovu registrovanih promena debljine pletenina pri njihovom cikličnom opterećenju i rasterećenju u toku pet ciklusa (slika 1) [8]. Kod svih ispitivanih pletenina uočavaju se značajne promene debljine uzoraka u toku prvog i drugog ciklusa kompresije, dok su već posle drugog ciklusa promene sve manje izražene da bi se posle petog ciklusa kompresione krive gotovo preklapile. Iz navedenog proizilazi pretpostavka da se prilikom uzastopnog višecikličnog opterećenja menja udeo komponenata deformacije u ukupnoj deformaciji prilikom kompresije [9]. Radi dublje analize pristupilo se kvantitativnom određivanju rada plastične deformacije  $W_p$  izračunavanjem površine koju zaklapaju krive opterećenje–rasterećenje za svaki ciklus (tabela 5).

Tabela 5. Rad plastične deformacije kompresije pletenina  
 Table 5. Work of irrecoverable compression of the knitted fabrics

Uzorak	$W_p, \times 10^{-4} \text{ J}$				
	1. ciklus	2. ciklus	3. ciklus	4. ciklus	5. ciklus
Konoplja+konoplja	8.29	2.56	2.17	1.97	1.94
Konoplja+PAC	11.3	5.00	4.23	3.88	3.79
PAC+PAC	15.2	8.24	7.51	6.60	6.84

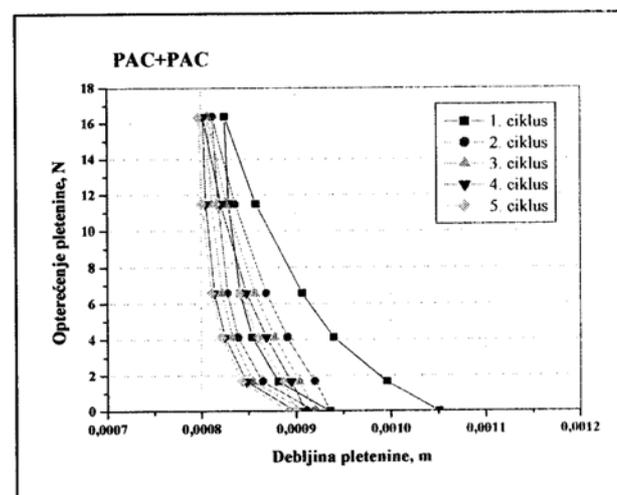
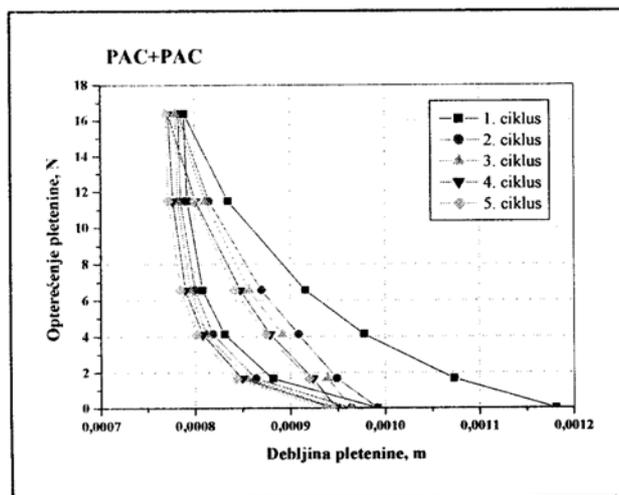
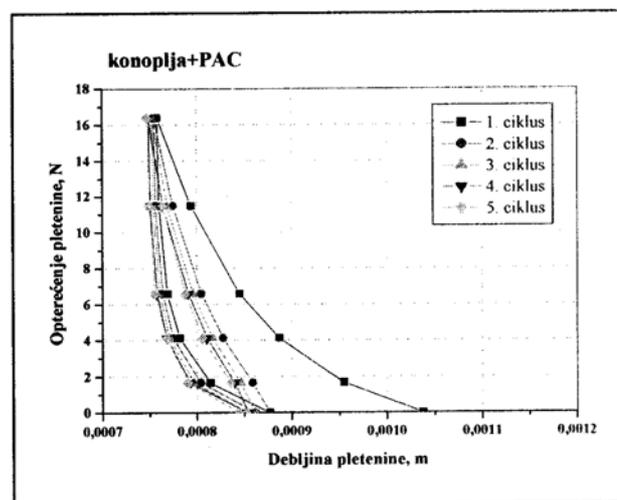
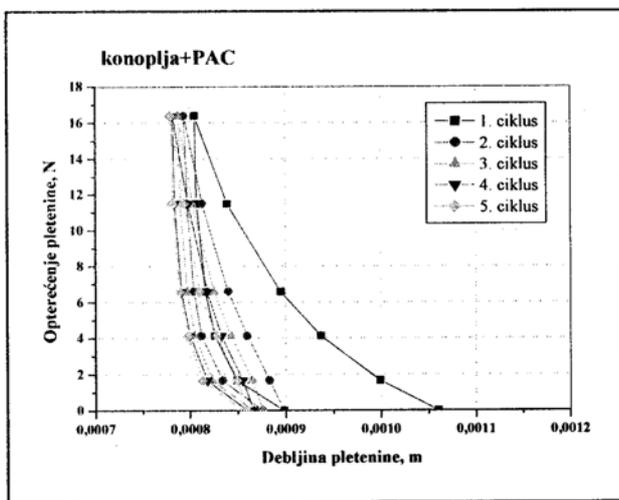
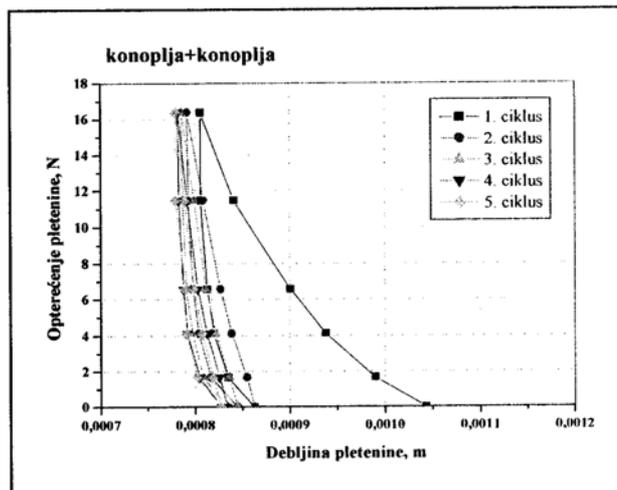
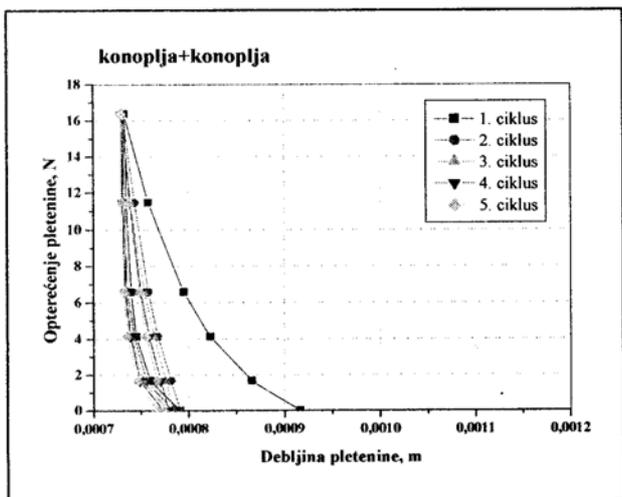
Kod svih pletenina uočeno je smanjenje rada plastične deformacije idući od prvog ka petom ciklusu, uz tendenciju približavanja izračunatih vrednosti za svaki sledeći ciklus. Naime, mogu se zapaziti približne vrednosti rada plastične deformacije za četvrti i peti ciklus kompresije. Pored uočenog smanjenja komponente plastične deformacije došlo je i do smanjenja elastične komponente deformacije, o čemu govore podaci o kompresibilnosti pletenina pri višecikličnom kompresionom opterećenju (tabela 3). Stoga se nameće zaključak da je prilikom višeciklične kompresije pletenina došlo do po-

većanja viskoelastične komponente deformacije, koja u uslovima uzastopne kompresije nije mogla u većoj meri da doprinese elastičnosti ispitivanih pletenina [10]. Osvrtanjem na ranije pomenute navode o troslojnoj strukturi tkanine ili pletenine [5,6], jasno je da će pri nižim pritiscima kompresiji biti izloženi spoljašnji rastresiti slojevi za koje se pretpostavlja da čine elastičnu komponentu deformacije. Sa porastom kompresionog opterećenja bivaju nadjačane frikcione sile između pređa pa i samih vlakana u pređi te vlakna počinju međusobno da klize. U ovoj fazi kada debljina pletenine počne nelinearno da opada sa porastom pritiska, osim viskoelastične deformacije u izvesnoj meri prisutna je i plastična deformacija budući da se smatra da je međusobno pomeraње vlakana u većoj meri nepovratano [11]. Usled toga, sa daljim porastom pritiska debljina pletenine se neznatno smanjuje formirajući slojeve gusto pakovane strukture pletenine sa minimalnim sadržajem vazduha. Sa svakim narednim ciklusom kompresije ovakvih gusto pakovanih agregata vlakana je sve više te se tako smanjuje udeo komponente plastične deformacije sa napredovanjem broja ciklusa. Svakako se u istom smislu smanjuje i udeo elastične komponente deformacije.

I pored činjenice da se sa ponavljanjem broja ciklusa opterećenje–rasterećenje smanjuje komponenta plastične deformacije, prethodna analiza ukazuje na pojavu izvesnog "zamora" materijala, nepoželjnog ali neizbežnog fenomena u uslovima eksploatacije tekstilnih materijala. Pletenina od konoplje je u tom smislu ispoljila najmanji potencijal.

Međutim, kada se ima u vidu da rad plastične deformacije predstavlja meru nesposobnosti materijala da se vrati na svoje početne dimenzije, onda veća vrednost rada ukazuje na smanjenu sposobnost elastičnog oporavka materijala. U tom smislu, prednost je na strani pletenine od konoplje. Smanjenje rada plastične deformacije sa svakim sledećim ciklusom je stoga značilo i smanjenje nesposobnosti oporavka pletenina izloženih ponovljenom kompresionom opterećenju. Sa stanovišta konfora odevnih tekstilnih materijala, ovo je posebno važno s obzirom na ranije pomenuto smanjenje kompresibilnosti pletenina pri njihovoj višecikličnoj kompresiji.

Posle sprovođenja testa nošenja i nege ispitivanih pletenina a pre analize njihovog kompresionog ponaša-



Slika 1. Kompresione krive pri višecikličnom opterećenju pletenina  
Figure 1. Compression curves under cyclic compression of the knitted fabrics

Slika 2. Kompresione krive pletenina podvrgnutih testu nošenja  
Figure 2. Compression curves of the knitted fabrics exposed to repeated wash and wear cycles

Tabela 6. Fizička svojstva pletenina podvrnutih testu nošenja  
Table 6. Physical properties of the knitted fabrics exposed to repeated wash and wear cycles

Svojstvo, jedinica	konoplja+konoplja	konoplja+PAC	PAC+PAC	
Gustina, cm <sup>-1</sup>	D <sub>h</sub>	8	7	6,5
	D <sub>v</sub>	12	12	11
Površinska gustina, cm <sup>-2</sup>	96	84	71,5	
Dužina petlje, mm	5,2	5,4	5,45	
Debljina, mm	1,042	1,055	1,056	
Površinska masa, g/m <sup>2</sup>	475	400	360	
Pokrivni faktor, tex <sup>1/2</sup> cm <sup>-1</sup>	18,8	18,2	18,3	

nja, bilo je neophodno osvrnuti se na promene u osnovnim strukturnim svojstvima pletenina (tabela 6). Očekivane promene, s obzirom na sklonost pletenina da se značajno skupljaju prilikom pranja, zapažene su kod pletenine od konoplje i u nešto manjoj meri kod pletenine od mešavine. Osnovne strukturne karakteristike PAC pletenina ostale su nepromenjene. Izvesno smanjenje debljine i površinske mase verovatno je posledica uklanjanja štrčećih malja sa površine pletenine prilikom njenog održavanja.

Podaci o relativnoj kompresibilnosti pletenina (tabela 7) svedoče da je do promene došlo kod svih ispitivanih uzoraka, pri čemu je kod pletenine od konoplje došlo do povećanja kompresibilnosti, za razliku od PAC pletenine i pletenine napravljene od mešavine konoplja/PAC, kod kojih je došlo do smanjenja "mekoće".

Tabela 7. Relativna kompresibilnost pletenina podvrnutih testu nošenja  
Table 7. Relative compressibility of the knitted fabrics exposed to repeated wash and wear cycles

Uzorak	Δd, %				
	1. ciklus	2. ciklus	3. ciklus	4. ciklus	5. ciklus
Konoplja+konoplja	22.7	8.23	6.98	6.23	5.79
Konoplja+PAC	24.0	11.6	10.0	9.70	9.30
PAC+PAC	21.5	13.2	12.3	11.9	10.3

Povećanje sposobnosti kompresije pletenine od konoplje verovatno je posledica povećanja površinske gustine, mase i debljine pletenine do čega je došlo skupljanjem pletenine prilikom njenog održavanja. Pri tome, na osnovu podataka iz tabele 4 čini se da povećanje debljine pletenine od konoplje nije narušilo srazmeru njene troslojne strukture, pa je tako došlo do povećanja koeficijenta kompresije za sve vrednosti pritiska na pleteninu. Kada se radi o PAC pletenini očigledno da je prilikom nege i nošenja došlo do promene strukture površine u pravcu smanjenja njene maljavosti, pa je smanjenje kompresibilnosti najizraženije na početku ci-

klusa kompresije kada su kompresiji izloženi spoljašnji slojevi pletenine (tabela 4). Međutim, iako je došlo do neznatnog povećanja površinske gustine i debljine pletenine proizvedene od mešavine, prisutan je i efekat uklanjanja štrčećih malja koje potiču većinom od PAC komponentne pređe. Drugim rečima, spoljašnji slojevi pletenine su promenili svoju strukturu posle perioda nege i nošenja, usled čega se na početku ciklusa kompresije koeficijent kompresije pletenine smanjio dok je sa porastom pritiska na pleteninu ispoljio vrednosti slične vrednostima netretirane pletenine (tabela 4). Ove činjenice još jednom potvrđuju pretpostavku da karakter površine pređe može uticati na kompresiono ponašanje tekstilnih materijala.

Trend smanjenja kompresibilnosti pletenina sa svakim narednim ciklusom kompresije prisutan je i ovde uz blagu prednost PAC pletenine. Takođe, kompresione krive pri petocikličnom kompresionom opterećenju, konstruisane za pletenine nakon testa nošenja (slika 2), potvrdile su ranije opisane trendove.

Izračunate vrednosti rada plastične deformacije kompresije pletenina za svaki od pet ciklusa opterećenje-rasterećenje, kao i kod polaznih uzoraka, potvrđuju povećanje njihove sposobnosti oporavka (tabela 8).

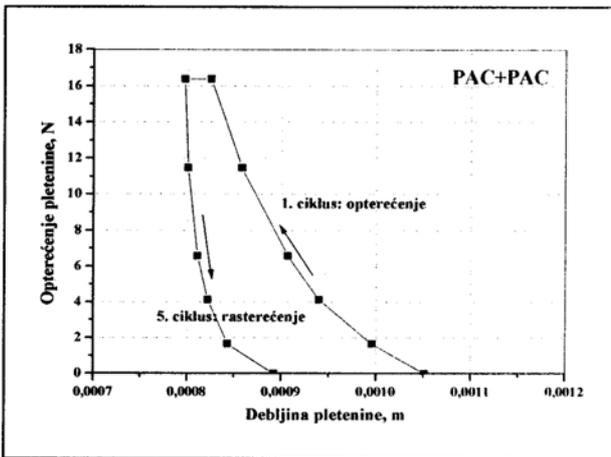
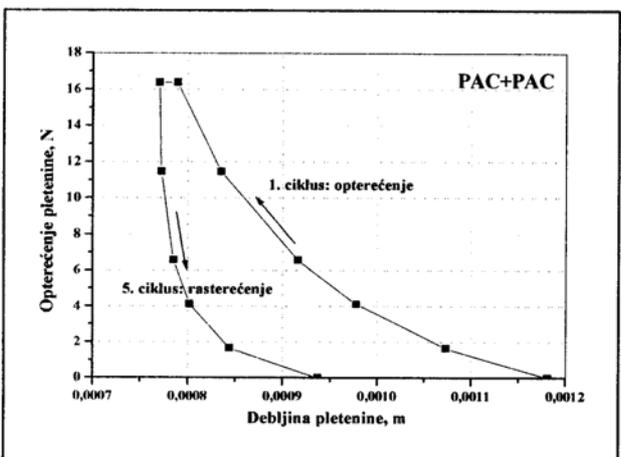
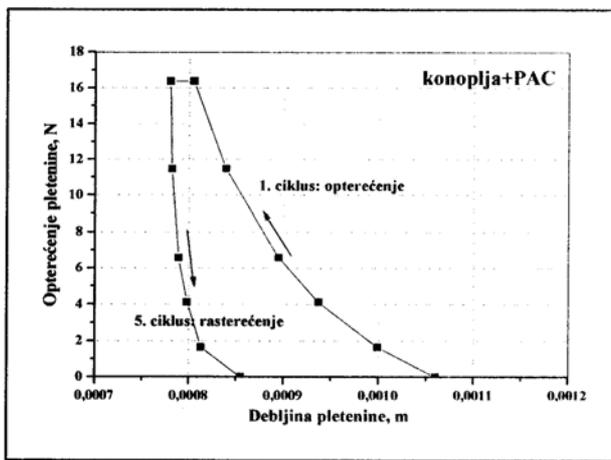
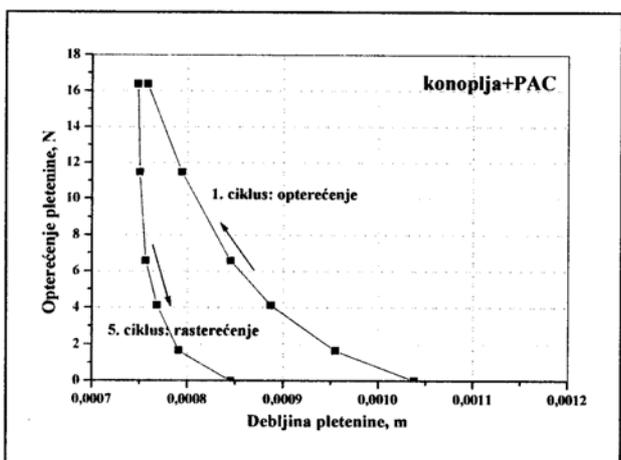
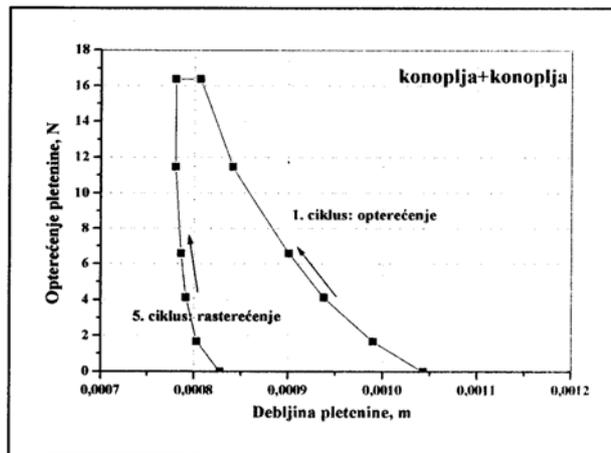
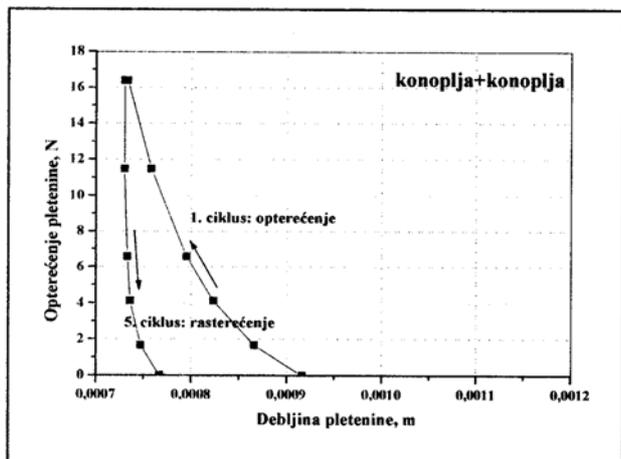
Tabela 8. Rad plastične deformacije kompresije pletenina podvrnutih testu nošenja

Table 8. Work of irrecoverable compression of the knitted fabrics exposed to repeated wash and wear cycles

Uzorak	W <sub>p</sub> , x 10 <sup>-4</sup> J				
	1. ciklus	2. ciklus	3. ciklus	4. ciklus	5. ciklus
Konoplja+konoplja	12.5	3.64	2.62	1.99	1.67
Konoplja+PAC	11.6	4.48	3.55	3.30	2.88
PAC+PAC	9.27	4.93	4.27	4.17	3.74

Radi adekvatne ocene kompresionog ponašanja pletenina, kao i predviđanja njihovog ponašanja u uslovima nošenja i nege, pristupilo se izradi dijagrama tkz. histerezisa kompresije, kojeg sačinjavaju linija opterećenja u prvom ciklusu i linija rasterećenja u petom ciklusu (slike 3 i 4). Izračunavanjem površine koju zahvata histerezis kompresije (rad plastične deformacije kompresije) omogućena je kvantitativna ocena elastičnog oporavka ispitivanih pletenina [12].

Prikazane krive ilustruju promene u kompresionom ponašanju pletenina podvrnutih testu nošenja i pranja. Imajući u vidu polazne uzorke, najveću sposobnost elastičnog oporavka ispoljila je pletenina od konoplje, dok je PAC pletenina, iako najmekša, pokazala najmanju sposobnost da se vrati na početne dimenzije. Međutim, nakon testa nošenja slika se menja u korist PAC pletenine, dok je kod pletenine od konoplje došlo do smanjenja sposobnosti elastičnog oporavka. Isti trend zapaža se i kod pletenine napravljene od mešavine konoplja/PAC.



Slika 3. Histerzis kompresije pletenina  
Figure 3. Compression hysteresis of the knitted fabrics

Kako bi se izvršila dublja analiza pogoršanja sposobnosti pletenina od konoplje i pletenine od mešavine da se oporave pri višecikličnom kompresionom opterećenju, pristupilo se izračunavanju komponenata deformacije kompresije za pletenine pre i posle sprovođenja testa (tabela 9).

Slika 4. Histerzis kompresije pletenina podvrgnutih testu nošenja  
Figure 4. Compression hysteresis of the knitted fabrics exposed to repeated wash and wear cycles

Prva kolona u tabeli 9 predstavlja zbir izračunatih radova plastične deformacije za svih pet ciklusa kompresije, dok druga kolona predstavlja rad plastične deformacije kompresije pletenine izračunat na osnovu histerzisa kompresije. Razlika ove dve vrednosti predstavlja rad viskoelastične deformacije,  $W_{ve}$  (treća kolona

Tabela 9. Kompresiono ponašanje pletenina  
Table 9. Compressional behavior of the knitted fabrics

Uzorak		$W_{p_i} \times 10^{-4} \text{ J}$ (1+2+3+4+5)	$W_{p_i} \times 10^{-4} \text{ J}$ (1-5)	$W_{ve_i} \times 10^{-4} \text{ J}$	$D_{p_i} \%$	$D_{ve_i} \%$
Pre nošenja	Konoplja+konoplja	16.9	9.55	7.38	56.4	43.6
	Konoplja+PAC	28.2	13.6	14.6	48.2	51.8
	PAC + PAC	44.4	19.4	25.0	43.7	56.3
Posle nošenja	Konoplja+konoplja	22.4	17.0	5.42	75.8	24.2
	Konoplja+PAC	25.8	16.3	9.5	63.2	36.8
	PAC + PAC	26.4	14.4	12.0	54.6	45.4

u tabeli 8) [10]. Na osnovu ovih vrednosti izračunata u procentualna učešća viskoelastične,  $D_{ve}$ , i plastične deformacije,  $D_p$ , kompresije ispitivanih pletenina. Može se uočiti da je pletenina od konoplje ispoljila najveću sklonost da se nepovratno deformiše prilikom kompresije, što je verovatno posledica ranije pomenute slabije elastičnosti vlakana konoplje. Nakon nošenja i nege pletenina udeo plastične komponente deformacije povećava se na račun viskoelastične komponente i to posebno kod pletenine od konoplje i pletenine od mešavine. Kako je već ranije naglašeno, prilikom nege pletenina strukturne promene su u najvećoj meri pretrpele pletenina od konoplje i konoplja/PAC pletenina. Promena strukture usled skupljanja pletenina podrazumevala je smanjenje sadržaja vazduha, kako između samih pređa tako i između vlakana u pređi, tj. formirani su gušći agregati vlakana manje podložni kompresiji.

### Teorijska analiza eksperimentalnih rezultata

Usled kompleksnosti kompresionog ponašanja pletenina, što se može sagledati i iz svega prethodno izloženog, fenomeni izazvani kompresijom tekstilnih površina bili su predmet mnogih istraživanja. Cilj ovih istraživanja bio je postavljanje teoretskih zakonitosti tj. modela koji bi mogli da pojednostavljeno ali uspešno opišu kompresiono ponašanje tekstilnih materijala. Većina ispitivanja zasniva se na postulatima van Wyk-ove teorije koja se iako najjednostavnija smatra najrealnijim modelom koji opisuje zavisnost između pritiska i zapremine mase vlakana tokom kompresije [5]:

$$P = KEm^3/\rho^3 [1/V-V)^3 - 1/(V_0-V)^3], \quad (3)$$

gde je:

$P$  – pritisak,

$K$  – bezdimenziona konstanta određena strukturom vlakana,

$E$  – Young-ov modul elastičnosti vlakana,

$m$  – masa vlakana,

$\rho$  – gustina vlakana,

$V$  – zapremina mase vlakana,

$V_0$  – zapremina nekomprimovane masa vlakana

( $P=0$ ).

Kasnije je van Wyk korigovao jednačinu uvodeći pojam nestišljive zapremine  $V'$ :

$$P = (KEm^3/\rho^3) [1/(V-V')^3 - 1/(V_0-V')^3], \quad (4)$$

Iako koristan, van Wyk-ov model ima izvesna ograničenja u smislu nemogućnosti predviđanja pojave histereza uslovljenog međusobnim trenjem i premeštanjem vlakana tokom ciklusa kompresija-dekompresija [13]. Carnaby i Pan [11] su uspeali da kompjuterskom simulacijom teorijski predvide histerezis kompresije. Osnovni princip njihove teorije zasnivao se na upotrebi kritičnog ugla klizanja kao kriterijuma za klasifikaciju kontaktnih tačaka između vlakana na tkz. klizajuće i neklizajuće. Polazeći od fizičkih svojstava komponentnih vlakana Beil i Roberts su predložili model za predviđanje kompresionog ponašanja agregata vlakana uzimajući u obzir kako statičko tako i kinetičko trenje između vlakana [14]. U okviru ovog teksta već je pomenut mehanički model, izveden na osnovu van Wyk-ovog zakona (relacija 4), koji tekstilnu površinu definiše kao troslojnu strukturu [6]. Model se pokazao uspešnim za opisivanje kompresionih krivih u širokom opsegu pritisaka (2–5000  $\text{cN/cm}^2$ ). Takođe, Taylor i Pollet su potvrdili primenu modela u oblasti niskih kompresionih opterećenja do 10  $\text{cN/cm}^2$  [5].

Imajući u vidu pomenute teorijske osnove, u okviru ovog rada učinjen je pokušaj aproksimiranja dobijenih eksperimentalnih rezultata upotrebom dobro poznatog van Wyk-ovog zakona. Polazeći od pretpostavke da je vrednost  $V_0$  (zapremina pri  $P = 0$ ) relativno visoka, relacija 4 se može pojednostaviti, što omogućava primenu jednostavnijeg dvoparametarskog modela. Polazeći od relacije 4, kao i izraza za energiju kompresije  $W$  (relacija 5), mogu se izračunati van Wyk-ovi parametri – nestišljiva zapremina  $V'$  i mehanički parameter  $a'$  ( $KEm^3/\rho^3$ ) prema relacijama 6 i 7, respektivno [5].

$$W = \int_0^P P dv [a'/(V-V')] dv, \quad (5)$$

$$V' = V - 2W/P, \quad (6)$$

$$a' = 8W^3/P^2. \quad (7)$$

Izračunate vrednosti van Wyk-ovih parametara date su u tabeli 10.

Na osnovu ovih parametara izračunate su vrednosti zapremine za različite vrednosti pritiska. Pokazalo se da su izračunate vrednosti bliske eksperimentalno dobi-

Tabela 10. Izračunate vrednosti van Wyk-ovih parametara dvoparametarskog modela  
Table 10. Van Wyk parameters for the two-parameter model

Uzorak		Nestišljiva zapremina, $V', \text{mm}^3$	Mehanički parametar, $a', \text{Nmm}^7$	Koef. korelacije, $r^2$
Pre nošenja	Konoplja+konoplja	40.412	69.5	0.92
	Konoplja+PAC	39.712	176.2	0.94
	PAC + PAC	38.626	428.8	0.93
Posle nošenja	Konoplja+konoplja	41.814	238.4	0.90
	Konoplja + PAC	42.46	190.6	0.91
	PAC + PAC	45.560	97.2	0.91

Tabela 11. Udeo nestišljivog dela zapremine u ukupnoj zapremini uzorka ( $V'/V$ )  
Table 11. Fraction of incompressible volume part in the whole sample volume ( $V'/V$ )

Uzorak		Pritisak na pleteninu, $\times 10^{-3} \text{N/mm}^2$					
		0.29	26.06	64.38	102.7	179.34	255.98
Pre nošenja	Konoplja + konoplja	0.62	0.75	0.80	0.82	0.85	0.86
	Konoplja + PAC	0.54	0.68	0.74	0.77	0.78	0.82
	PAC + PAC	0.46	0.61	0.67	0.71	0.74	0.76
Posle nošenja	Konoplja + konoplja	0.53	0.67	0.73	0.76	0.79	0.81
	Konoplja + PAC	0.55	0.69	0.75	0.77	0.81	0.82
	PAC + PAC	0.62	0.75	0.8	0.82	0.85	0.86

jenim rezultatima, što je i potvrđeno izračunavanjem koeficijenta korelacije (tabela 10).

Udeo nestišljivog dela zapremine u ukupnoj zapremini uzorka za prvi ciklus kompresije prikazan je u tabeli 11. Kao što se može videti taj odnos ( $V'/V$ ) se kreće u intervalu od 0.46 za niže vrednosti pritiska do 0.86 pri maksimalnom pritisku, što je u skladu sa podacima iz literature [5, 6]. Očigledno je da se sa progresivnim povećanjem pritiska smanjuje udeo zapremine podložan kompresiji, što je u saglasnosti sa koeficijentom kompresije pletenina za različite vrednosti pritiska, izračunatim na osnovu eksperimentalnih podataka (tabela 4).

## ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata prikazanih u okviru ovog rada mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. Tekstilna vlakana, kao osnovni strukturni element tekstilnih površina, mogu svojim svojstvima elastičnosti odrediti ponašanje pletenina u pogledu deformacionih svojstava. Pokazalo se takođe, da se adekvatnom kombinacijom tekstilnih sirovina može uticati na postizanje zadovoljavajućih svojstava konfora sa aspekta kompresionog ponašanja pletenina.

2. Priroda površine vlakana projektovanjem kroz površinska svojstva pređe, kao drugog bitnog strukturnog elementa tekstilne površine, može da utiče na kompresiono ponašanje pletenina.

3. Kompresibilnost pletenina prilikom višeciklične kompresije opada za svaki naredni ciklus opterećenje-rasterećenje ukazujući na pojavu "zamora" materijala.

4. Smanjenje nesposobnosti elastičnog oporavka materijala izloženih ponovljenom kompresionom opterećenju, kao drugog važnog faktora kompresionog ponašanja pletenina, predstavlja značajnu činjenicu sa aspekta njihovih upotrebnih vrednosti.

5. Trendovi koji se odnose na kompresibilnost pletenina, kao i na sposobnost njihovog oporavka pri višecikličnoj kompresiji, ostaju nepromenjeni prilikom nošenja i održavanja pletenina.

6. U uslovima nošenja i nege odevnih tekstilnih materijala dolazi do promena u njihovom kompresionom ponašanju, pri čemu je smer promene određen prirodom tj. svojstvima tekstilnih vlakana.

7. Mehanički model zasnovan na poznatom van Wyk-ovom zakonu kompresije pokazao se uspešnim u okviru upotrebljenog eksperimentalnog materijala.

## LITERATURA

- [1] M. Zimniewska, R. Kozłowski, R. Muzyczek, M. Florysiak, Towards More Physiological Friendly Apparels Made of Natural Fibers, FAO International Conference "Bast Fibrous Plants for Healthy Life", Banja Luka, October 24–28, 2004, CD-ROM, Session III–3
- [2] S. Milosavljević, T. Tadić, S. Stanković, Neka svojstva konfora pletenina na bazi konoplje, XLI Savetovanje Srpskog hemijskog društva, 23–24.01.2003, Beograd, str. 234
- [3] S. Milosavljević, T. Tadić, S. Stanković, Influence of The Hemp Component in Non-Homogeneous Yarns on the Elastic Behavior of Knits Made Therefrom, CI&CEQ 2 (2005) 98–103
- [4] R. Jovanović, Nauka o vlaknima i tehnologija vlakana, Građevinska knjiga, Beograd, 1989

- [5] P.M. Taylor, D.M. Pollet, Static Low-Load Lateral Compression of Fabrics, *Textile Res. J.* **72** (2002) 983-991
- [6] S. de Jong, J.W. Snaith, N.A. Michie, A Mechanical Model for the Lateral Compression of Woven Fabrics, *Textile Res. J.* **56** (1986) 759-767
- [7] E. Sebestyén, T.S. Hickie, The Effect of Certain Fibre Parameters on the Compressibility of Wool, *J. Textile Inst.* **62** (1971) 545-560
- [8] J.H. Skinkle, *Textile Testing*, Chemical Publishing Co., Brooklyn, N.Y. (1949) 130-135
- [9] I. Krucinska, I. Jalmuzna, W. Zurek, Modified Rheological Model for Analysis of Compression of Nonwoven Fabrics, *Textile Res. J.* **74** (2004) 127-133
- [10] N.B. Beil, W.W. Roberts, Modeling and Computer Simulation of the Compressional Behavior of Fiber Assemblies, Part II: Hysteresis, Crimp, and Orientation Effect, *Textile Res. J.* **72** (2002) 375-382
- [11] G.A. Carnaby, N. Pan, Theory of the Compression Hysteresis of Fibrous Assemblies, *Textile Res. J.* **80** (1989) 275-284
- [12] S. Milosavljević, T. Tadić, S. Stanković, Poređenje nekih faktora konfora pletenina na bazi agroceluloznih i hemijskih vlakana, *Tekstilna industrija*, (2003) 7-14
- [13] J.I. Dunlop, Characterizing the Compression Properties of Fibre Masses, *J. Textile Inst.* **65** (1974) 532-536
- [14] N.B. Beil, W.W. Roberts, Modeling and Computer Simulation of the Compressional Behavior of Fiber Assemblies, Part I: Comparison to van Wyk's Theory, *Textile Res. J.* **72** (2002) 341-351

## SUMMARY

### COMPRESSSIONAL BEHAVIOR OF KNITTED FABRICS EXPOSED TO REPEATED WASH AND WEAR CYCLES

(Original scientific paper)

Snežana B. Stanković, Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade

The quality requirements of knitted fabrics nowadays have become highly demanding in terms of appearance and comfort properties. It is well known that yarns are subjected to tension, bending, torsion and compression during the wear and care of apparels.

The appropriate selection of raw materials could be the way to reduce the deformation of knits caused by mechanical forces. Keeping in mind the fact that natural fibers and man-made fibers can significantly differ in respect to elastic properties, natural fiber and synthetic fiber knits were produced for the experiment. The experimental material included three different variants of knitted fabrics: 100% hemp knit, 100% PAC knit and hemp 50%/PAC 50% knit. The behavior of knitted fabrics during the relaxation of compression was investigated. In order to indicate the change of the compressional properties of knitted fabrics, the same investigation after undergoing repeated wash and wear cycles (during eight weeks) was repeated.

Although the structure of the tested samples was the same, there were differences in the compressional behavior of the knitted fabrics. It is obvious that the differences in the elastic properties of hemp and PAC fibers were projected into the knits.

Compression curves were drawn in order to obtain an insight into the change of the compressional behavior of knitted fabrics during wear. These curves also enabled a comparative estimation of the compressional behavior of knits made of different yarn components. The surfaces proportional to the work of the compression for each of the cycles, as well as the work of compression between the first and the fifth cycles, of loading-unloading cycles were calculated. In order to compare the tested knitted fabrics, the hysteresis of compression was analysed from the aspect of ability of elastic recovery. The change in compressional behavior of knits exposed to wear and care cycles was confirmed. However, analysis of the comparative compression behavior of knits before and after wear, indicated differences between the tested samples.

The mechanical model for the lateral compression of fabrics derived from van Wyk's compression law, which explains the relationship between the pressure and volume of a fiber mass during compression is well known in the literature. In order to obtain a comprehensive insight into the compressional behavior of knitted fabrics, the results obtained were approximated with van Wyk's equation.

Key words: Hemp • PAC • Knitted fabric • Compressibility • Elastic recovery • Compression hysteresis • Van Wyk's compression law •

Ključne reči: konoplja • PAC • Pletenina • Kompresibilnost • Elastični oporavak • Histerezis kompresije • Van Wyk-ov zakon kompresije •