

Univerzitet u Beogradu
Tehnološko-metalurški fakultet
Katedra za tekstilno inženjerstvo

Snežana B. Stanković

**UTICAJ STRUKTURE PREĐA NA BAZI
AGROCELULOZNIH VLAKANA NA NJIHOVU
DALJU TEKSTILNU TRANSFORMACIJU I
UPOTREBNA SVOJSTVA**

-Doktorska disertacija-

Beograd, 2008

Predsednik komisije:

Dr Petar Jovančić, red.prof.
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Članovi komisije:

Dr Maja Radetić, docent
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Dr Tatjana Mihailović, docent
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Dr Goran Poparić, docent
Fizički fakultet, Beograd

Dr Mateja Bizjak, docent
Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana

Datum odbrane doktorske disertacije

UTICAJ STRUKTURE PREĐA NA BAZI AGROCELULOZNIH VLAKANA NA NJIHOVU DALJU TEKSTILNU TRANSFORMACIJU I UPOTREBNA SVOJSTVA

Izvod

Tekstilno tržište se poslednjih decenija odlikuje širokom zastupljenošću sintetičkih vlakana, pre svega zbog jeftinije i produktivnije proizvodnje. Pored ekonomskih razloga, tome doprinosi i činjenica da prisustvo sintetičkih vlakana u odevnom tekstilnom materijalu poboljšava stabilnost dimenzija i trajnost i olakšava negu i održavanje odevnih predmeta. Međutim, povećani zahtevi za komfornom odećom, kao i ekološki prihvatljivim tekstilnim vlaknima, izazvali su porast proizvodnje i primene prirodnih vlakana. Proizvodnja i primena vlakana konoplje odlikuje se naglim usponima i padovima, počev od perioda intenzivnog gajenja pa do gotovo potpunog prekida poslednjih decenija. Jedinstvena svojstva i ekološke prednosti vlakana konoplje reafirmišu ih za primenu u oblasti tkz. „zdravog“ odevnog tekstila.

Specifična tekstilna svojstva konoplje, kao što su odlična higijenska, toplotna, električna i UV zaštitna svojstva, svrstavaju tekstilne materijale od konoplje u grupu tekstila sa dobrim fiziološkim predispozicijama. Ipak, izvesne slabosti vlakana konoplje, koja se vezuju za tvrdi opip i malu elastičnost, predstavljaju ograničenja sa aspekta taktilnog komfora i dalje tekstilne transformacije. Da bi se konoplja uvela u oblast visoko kvalitetnog komfornog odevnog tekstila, u kojoj sada dominiraju pamuk, viskoza i vuna, neophodno je da se svojstva vlakana konoplje modifikuju i usklade sa svojstvima tradicionalnih komfornih vlakana (pamuk, viskoza i vuna). Aktuelna istraživanja se bave mogućnostima upotrebe vlakana konoplje, modifikovanih specijalnim metodama elementarizacije (kotonizovanje), u mešavinama sa pamukom, vunom ili sintetičkim vlaknima, kako bi se upotrebom sistema pređenja pamuka ili vune proizvele visoko kvalitetne pređe. Cilj ovog istraživanja bio je ispitivanje mogućnosti dobijanja komfornih tekstilnih materijala mešanjem vlakana konoplje sa drugim vlaknima dubliranjem ili končanjem homogenih pređa. Primenjene tehnike kombinovanja jednožičnih pređa omogućile su ne samo kombinovanje vlakana različitih svojstava, već i dobijanje kompleksnih pređa čija su se svojstva, usled promena u gustini pakovanja i orijentaciji vlakana, razlikovala od svojstava jednožičnih komponenata. Končanjem jednožičnih pređa različitog sirovinskog sastava i strukture dobijene su hibridne pređe jedinstvenih svojstava.

Radi ispitivanja uticaja strukture pređe na svojstva komfora, od dubliranih pređa od konoplje, viskozne i tri različito upredene varijante pamučnih pređa, pri čemu su sve imale istu nominalnu finoću, proizvedeno je devet varijanti DL pletenina. Deseta varijanta pletenine izrađena je od končane dvožične pređe od konoplje. Od končanih pređa na bazi konoplje proizvedene su dve serije DD (1×1) pletenina, koje su se odlikovale manjom (N) i većom (V) gustinom petlji. Ispitivana su mehanička, relaksaciona i površinska svojstva pređa za koja se očekivalo da mogu imati uticaja na komfor pletenina, kao i fizička svojstva pletenina koja su u najvećoj meri odgovorna za percepciju komfora. Sposobnost pletenina da prenose toplotu, vazduh i vodenu paru poslužila je za ocenu toplotnog komfora pletenina. Uvid u taktilni komfor pletenina omogućen je ispitivanjem mehaničkih (kompresija, istezanje) i površinskih svojstava pletenina.

U okviru ovog istraživanja pletenine na bazi konoplje su ispoljile svojstva komfora komparativna svojstvima pamučnih i viskoznih pletenina. Pokazalo se da je sposobnost pletenina od konoplje da prenose toplotu, vazduh i vodenu paru na nivou vrednosti koje su ispoljile pamučna i viskozna pletenina. U okviru DL pletenina, pletenina izrađena od pređe od konoplje je okarakterisana najvećom propustljivošću vazduha, dok je DD pletenina

izrađena od končane pređe od konoplje ispoljila najbolja termička svojstva. U pogledu taktilnog komfora, pletenine na bazi konoplje su ispoljile zadovoljavajuća mehanička i površinska svojstva.

Rezultati su pokazali da svojstva vlakana i struktura pređe, uslovljavajući način slaganja vlakana u pređi, predstavljaju parametre koji su od velikog značaja sa stanovišta toplotnog komfora. Statističkom analizom je potvrđeno da je sposobnost pletenina da prenosi toplotu, vazduh i vodenu paru u velikoj meri uslovljena geometrijom jezgra i površine pređe, koje su određene vrstom vlakana, intenzitetom upredanja i primenjenom tehnikom končanja. Specifična struktura hibridnih pređa, nastala kao rezultat upotrebljenih vrsta vlakana kao i interne strukture komponentnih pređa, uticala je na toplotni komfor putem regulisanja otvorene slobodne površine (makroporoznost) pletenina. Dokazano je da su maljavost pređe i pokretljivost vlakana u pređi, koji su prvenstveno uslovljeni intenzitetom primarnog i sekundarnog upredanja, u tesnoj vezi sa taktilnim komforom pletenina. Pokazalo se da ovi parametri strukture pređe imaju veliki uticaj na kompresiono ponašanje i geometrijsku hrapavost pletenina. Pored toga, upredanje pređe je uslovalo frikciona svojstva pletenina. Sprovedena istraživanja su potvrdila veliki potencijal tehnika dubliranja i končanja pređa u pogledu postizanja odgovarajućih svojstava komfora pletenina na bazi konoplje. Dobijeni rezultati predstavljaju osnovu za dalja istraživanja mogućnosti koje pruža tehnologija pređenja sa aspekta komfora.

Ključne reči: pređa, upredanje, dubliranje, končanje, pletenina, konoplja, pamuk, viskoza, Tactel[®], toplotni komfor, taktilni komfor, mehanička svojstva pređe, relaksaciona svojstva pređe, površinska svojstva pređe, termička svojstva pletenine, propustljivost vazduha, propustljivost vodene pare, kompresija pletenine, istežanje pletenine, površinska svojstva pletenine

INFLUENCE OF AGRO-CELLULOSE FIBRE BASED YARN STRUCTURE ON SUBSEQUENT TEXTILE TRANSFORMATION AND END-USE PROPERTIES

Abstract

In the past decades, the textile market was characterized by a wide range application of man-made fibres. The low-cost and efficient production of these fibres seems to be the main criterion. In addition to economics, some of desired garment properties such as the shape stability, durability and easy care could be easily achieved by introducing man-made fibres into clothing textile materials. However, growing demands for the comfort clothing and environmentally friendly fibres caused the increase of production and application of natural fibres. The hemp fibres production is characterized by sharp ups and downs, from the extensively growing to their decline in the past decades. Thanks to the unique hemp fibre properties and ecological benefits hemp is reintroduced as a potential fibre source for the health human application. Specific hemp-textile characteristics, as their excellent hygienic, thermal, antielectrostatic and ultraviolet radiation-resistant properties determine hemp fabrics as physiological friendly textiles. However, hemp fibres have some limitations concerned with the tactile comfort and subsequent textile transformation. Hemp by nature is coarse and does not have much elasticity. In order to introduce hemp to the area of high quality comfort clothing, which at the moment is governed by cotton, viscose and wool, the properties of hemp fibres must be improved to match to those of traditionally comfort fibres (cotton, viscose and wool). Actual investigations refer to the usage of modified hemp fibres, by special fibre elementarization methods (cottonization), in blends with cotton, wool or synthetic fibres, so that they can be processed on cotton or wool spinning systems to high quality yarns. The aim of this research was to investigate the possibilities of producing comfort textile fabrics incorporating both hemp and other fibres by assembling or folding (ply-twisting) of homogeneous yarns. The techniques applied for a combination of single yarns (assembling and folding) made it possible not only to combine different fibre properties, but to provide the complex yarn differing from single components because of the changes in fibres packing density and orientation. In case of an introduction of different fibre content single components, differing in basic structure themselves, the folded hybrid yarns with the unique properties were obtained.

In order to access the influence of yarn structure on comfort properties, plain knitted fabrics were produced from two-assembled hemp, viscose and three variants of cotton yarns differing in twist level, all having the same nominal linear density. In such a way nine plain knitted fabrics were obtained. The tenth variant was produced from two-folded hemp yarn. From the folded hemp based yarns two series of rib (1×1) knitted fabrics were produced differing in stitch density, designed as N (lower) and V (high) density. Mechanical, relaxation and surface properties of the yarns, which were expected to have an influence on comfort properties of the knitted fabrics, were tested. Physical properties of the knitted fabrics the most responsible for the comfort perception were included in this study. In order to evaluate thermal comfort of the knits, basic transport properties: thermal properties, air permeability and water vapour permeability, were investigated. Tactile comfort of the knits was assessed through the mechanical (compression, tensile) and surface properties investigated.

In this investigation hemp based knitted fabrics exhibited comfort properties at a comparable level to cotton and viscose knitted fabric. The transport properties of the pure hemp knitted fabrics, related to thermal comfort, shown to be in the range of the values of the cotton and viscose knit. Among the plain knitted fabrics the pure hemp knits were

characterized by the highest air permeability, while the pure hemp rib knitted fabric exhibited the best thermal properties. Satisfactory mechanical and surface properties of hemp based knitted fabrics from the aspect of tactile comfort were demonstrated.

The results indicated that both the constituent fibre properties and the yarn structure were of a great importance concerning thermal comfort through the way in which fibres were packed into a yarn. A statistical analysis confirmed that the transport properties of the knitted fabrics were influenced to a great extent by the core and surface geometry of the yarns, which were, in turn, determined by the fibre type, twist level and spinning technique applied. As a result of the fibre type as well as the intrinsic characteristics of the component yarns, the specific structure of the hybrid yarns influenced the thermal comfort through the regulation of the free open surface (macro-porosity) of the knitted fabrics. The hairiness of yarn and the inter-fibre mobility, which were influenced by the primary or secondary twist level in the first place, proved to be highly related to the tactile comfort of the knitted fabrics. These yarn parameters showed to have a great influence on compression behaviour and geometrical roughness of the knits. In addition, the friction behaviour of the knitted fabrics was dependent on yarn twist. The investigation conducted confirmed that both assembling and folding technique have a great potential to guide the comfort properties of hemp based knitted fabrics in a desired direction. The results obtained enable the basis for a further investigation of the possibility of the spinning technology from the aspect of comfort.

Key words: yarn, twisting, assembling, folding, knitted fabric, hemp, cotton, viscose, Tactel[®], thermal comfort, tactile comfort, mechanical properties of yarn, relaxation properties of yarn, surface properties of yarn, thermal properties of knitted fabric, air permeability of knitted fabric, water vapour permeability of knitted fabric, compression properties of knitted fabric, tensile properties of knitted fabric, surface properties of knitted fabric

U toku izrade doktorske disertacije imala sam veliku sreću da sam bila okružena kolegama i prijateljima koji su mi nesebično pomogli, te osećam prijatnu dužnost, čast i zadovoljstvo da ih na ovom mestu pomenem.

Angažovanjem dr Svetlane Milosavljević, red. prof. i dr Tanje Tadić, red. prof. obezbeđena je pređa od konoplje što je omogućilo ostvarenje primarnog cilja ove disertacije. Kako to ne bi bilo moguće bez ispitivanja svojstava komfora pletenina na bazi konoplje, veliku zahvalnost dugujem gospodinu Risti Čaliji koji je omogućio da se u „ST. GEORGE-u“ proizvedu končane pređe na bazi konoplje kao i jedna grupa pletenina. U radionicama Srednje škole za dizajn tekstila u Beogradu izrađena je druga grupa pletenina za potrebe ovog istraživanja, na čemu se zahvaljujem Direktor šule Stanku Kišu i Pomoćniku direktora Zorici Menićanin. Kolegama Vlaji Čoguriću i Malini Borjan dugujem izuzetnu zahvalnost zbog njihovog neposrednog angažovanja na izradi ovih pletenina.

Deo istraživanja u okviru disertacije rađen je na Tehnološko-metalurškom fakultetu. Istraživanja koja su se odnosila na neka svojstva pređa i propustljivost vazduha pletenina urađena su u laboratorijama CiS Instituta zahvaljujući kolegici Gordani Beloica – Popović i ovim putem joj zahvaljujem na nesebičnoj pomoći. Kao rezultat saradnje sa kolegama Goranom Poparićem i Dušanom Popovićem sa Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu razvijen je postupak za ispitivanje termičkih svojstava tekstilnih materijala na čemu sam im neizmerno zahvalna. Značajan deo istraživanja (mehanička svojstva pređa, propustljivost vodene pare pletenina, mehanička i površinska svojstva pletenina) obavljen je, zahvaljujući velikom zalaganju kolegice Matejke Bizjak, na Katedri za tekstil Fakulteta prirodnih nauka i inženjerstva Univerziteta u Ljubljani (Slovenija) i na Katedri za tekstilne materijale i dizajn Mašinskog fakulteta Univerziteta u Mariboru (Slovenija). Zbog toga, dragoj Mateji dugujem veliku zahvalnost. Takođe se zahvaljujem kolegici Simoni Jevšnik za angažovanje u realizaciji testiranja na KES-F sistemu.

Čast mi je da na ovom mestu izrazim svoju zahvalnost cenjenim kolegama: Jerzy Mankowski, Lidia Grabowska, Lieva van Langenhove, Bodil E. Pallesen i Mario de Araujo na interesovanju, korisnim sugestijama i ljubaznosti da mi učine dostupnim rezultate sopstvenih istraživanja.

U toku izrade disertacije upoznala sam za mene nove statističke metode obrade eksperimentalnih podataka, na čemu se iskreno zahvaljujem dr Hiromi Tokura Professor Emeritus of Nara Women's University i svojoj sestri Slađani Stanković.

Članovima Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije: dr Petar Jovančić red. prof., dr Maja Radetić docent, dr Tatjana Mihailović docent, dr Goran Poparić docent i dr Matejka Bizjak docent, izražavam duboku zahvalnost za uloženo vreme, trud i sugestije koje su doprinele kvalitetu ovog rada.

Dekanu TMF-a dr Ivanki Popović red. prof. zahvaljujem na stalnom interesovanju za moj rad, razumevanju i podršci u za mene presudnim momentima.

Kolegicama i kolegama sa TMF-a i Katedre za tekstilno inženjerstvo dugujem zahvalnost za iskazano interesovanje tokom mog rada.

Iskreno i toplo se zahvaljujem roditeljima, Milanu, Slađi i svim prijateljima na velikom razumevanju, strpljenju i podršci tokom svih ovih godina.

Snezana B. Stanković

SADRŽAJ

UVOD.....	1
TEORIJSKI DEO	
1. KONOPLJA.....	6
1.1. Renesansa konoplje.....	6
1.2. Konoplja kao neiscrpna tekstilna sirovina.....	8
1.3. Nove pređe na bazi konoplje.....	14
2. KOMFOR.....	19
2.1. Definicija komfora.....	20
2.2. Neurofiziološka osnova percepcije komfora.....	22
3. TERMOFIZIOLOŠKI ASPEKT KOMFORA.....	26
3.1. Toplotni komfor odeće.....	31
3.1.1. Fizička svojstva tekstilnih materijala u funkciji toplotnog komfora.....	38
3.1.1.1. Termička svojstva tekstilnih materijala.....	39
3.1.1.2. Propustljivost vodene pare.....	48
3.1.1.3. Dinamički prenos toplote i vlage.....	57
3.1.1.4. Propustljivost vazduha.....	59
4. ČULNI ASPEKT KOMFORA.....	63
4.1. Taktilni komfor.....	67
4.1.1. Fizička svojstva tekstilnih materijala u funkciji taktilnog komfora.....	77
EKSPERIMENTALNI DEO	
5. CILJ I SADRŽAJ RADA.....	83
6. MATERIJAL I METODE.....	85
6.1. Materijal.....	85
6.2. Metode ispitivanja.....	88
6.2.1. Ispitivanje mehaničkih svojstava pređa.....	88
6.2.2. Ispitivanje relaksacionih svojstava pređa.....	90
6.2.3. Ispitivanje površinskih svojstava pređa.....	92
6.2.4. Ispitivanje sposobnosti pletenina da prenose toplotu i propuštaju vazduh i vodu paru.....	94
6.2.4.1. Ispitivanje propustljivosti vazduha.....	94
6.2.4.2. Ispitivanje termičkih svojstava.....	95
6.2.4.3. Ispitivanje propustljivosti vodene pare.....	98

6.2.5. Ispitivanje mehaničkih svojstava pletenina.....	100
6.2.6. Ispitivanja površinskih svojstava pletenina.....	103
7. REZULTATI I DISKUSIJA.....	104
7.1. Mehanička svojstva pređa.....	104
7.2. Relaksaciona svojstva pređa.....	113
7.3. Površinska svojstva pređa.....	127
7.4. Sposobnost pletenina da prenose toplotu i propuštaju vazduh i vodenu paru.....	136
7.4.1. Propustljivost vazduha.....	136
7.4.2. Termička svojstva pletenina.....	147
7.4.3. Propustljivost vodene pare.....	155
7.5. Mehanička svojstva pletenina.....	159
7.5.1. Kompresija pletenina.....	159
7.5.2. Istezanje pletenina.....	181
7.6. Površinska svojstva pletenina.....	188
8. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA.....	198
9. ZAKLJUČAK.....	206
LITERATURA.....	208

UVOD

Poznato je da se pod upotrebnim svojstvima tekstilnih proizvoda podrazumevaju različita svojstva u zavisnosti od namene proizvoda. Imajući u vidu da su svojstva komfora od presudnog značaja kada je reč o odevnim tekstilnim materijalima, nameće se potreba istraživanja ovih izuzetno kompleksnih svojstava. Čovek je u svakodnevnom životu u bliskom dinamičkom i frekventnom kontaktu sa tekstilnim materijalima. Rezultat ove interakcije su različiti mehanički, toplotni, hemijski i električni stimulansi. Odgovarajući na indukovane stimulanse receptori u čovekovoј koži proizvode senzacije opipa, toplote ili hladnoće i bola. Pri tome, senzacije izazvane odećom uslovljene su faktorima kao što su čovekova fizička aktivnost i klimatski uslovi okruženja. Dosadašnja istraživanja su pokazala da, osim dizajna, komfor predstavlja ključni parametar koji je odgovoran za konačan čovekov sud o određenom odevnom predmetu.

Komfor odeće predstavlja kompleksan fenomen koji se može razmatrati sa aspekata brojnih disciplina. Istraživanja se mogu vršiti u istorijskom, kulturološkom i društvenom kontekstu. Pojam komfora se može tretirati kao fiziologija odevenog čoveka u specifičnom klimatskom okruženju. Komfor obuhvata i fizička svojstva odeće i načine na koje ona modifikuju međusobnu interakciju čovekovog tela i okruženja. Stoga se kompleksna ocena komfora odeće mora sagledati sa fizičkog, fiziološkog, neurofiziološkog i psihološkog stanovišta. Drugim rečima, komfor nekog odevnog predmeta pored fizičkih svojstava tekstilnog materijala i karakteristika koje se tiču dizajna odevnog predmeta, biva interpretiran i na osnovu psiho-fizioloških faktora (čovekovo fiziološko stanje, životni stil, modni trendovi) i prethodnih iskustava (predrasude, sklonosti, očekivanja) koji utiču na čovekovo mišljenje.

Komfor odeće se može svrstati u tri grupe: psihološki ili estetski, toplotni i taktilni komfor. Psihološki komfor se uglavnom vezuje za modne trendove i tzv. društvenu prihvatljivost ne dotičući se svojstava tekstilnih materijala. Toplotni komfor odnosi se na sposobnost tekstilnog materijala da ne remeti termofiziološku ravnotežu čovekovog tela i okruženja putem transporta toplote i znoja koje je ljudski organizam proizveo. Taktilni komfor je uslovljen površinskim i mehaničkim svojstvima tekstilnih materijala.

Čovekov organizam predstavlja komplikovan termodinamički sistem u kome se metabolitičkim procesima energija kontinualno proizvodi, i u kome mora biti omogućena kontinualno oslobađanje energije u okruženje u obliku toplote ili latentnih gubitaka

toplote koji prate isparavanje znoja. Odeća, odnosno tekstilni materijal može da modifikuje ovaj neophodni proces razmene toplote. U tom smislu, ključni parametar za postizanje zadovoljavajućeg toplotnog komfora je permeabilnost tekstilnog materijala, odnosno sposobnost da propušta vazduh, toplotnu energiju i vodenu paru. Navedena transportna svojstva su rezultat komplikovanih procesa prerade vlakana u odevne tekstilne materijale, s obzirom da ovi procesi značajno određuju način i gustinu pakovanja vlakana u pređi i pređe u tkanini ili pletenini. Pored toga, svojstva vlakana i pređa, kao i konstrukcija odevnog tekstilnog materijala takođe određuju njegovu permeabilnost.

Prilikom svakodnevnog nošenja odeće čovekovo telo je stalno izloženo kompleksnom mehaničkom opterećenju. To može biti “samo” masa odevnog predmeta ukoliko je telo u mirovanju, ili opterećenje izazvano deformacijom tekstilnog materijala pri pokretima čovekovog tela. Opterećenje se prenosi na telo na površinama kontakta kože i tekstilnog materijala, pri čemu je priroda kontakta u najvećoj meri određena površinskim svojstvima materijala. Suštinski, taktilni komfor je rezultat opterećenja generisanog u tekstilnom materijalu i njegove distribucije na koži. Lakoća pokreta čovekovog tela kao i nivo generisanog opterećenja u tesnoj su vezi sa mehaničkim svojstvima tekstilnog materijala, kao što su kompresibilnost, sposobnost istezanja, savijanja i smicanja. S obzirom da se tekstilni materijali odlikuju heterogenom i izraženom geometrijom površine, koja uslovljava broj i veličinu kontaktnih tačaka, površinska svojstva materijala su takođe veoma važna za doživljaj taktilnog komfora. Sa druge strane, mehanička kao i površinska svojstva tekstilnih materijala funkcija su karakteristika vlakana, strukture pređe i materijala (tkanine ili pletenine) i primenjenih procesa oplemenjivanja.

U literaturi je dostupan veliki broj istraživanja svojstava komfora tekstilnih materijala, kako onih koji se tiču toplotnog komfora (transport toplote, vazduha i vlage) tako i onih koji se odnose na taktilni komfor (mehanička svojstva tekstilnih materijala pri niskim opterećenjima, površinska svojstva). Predmet tih istraživanja je uglavnom bio uticaj strukturnih parametara tekstilnih materijala (na primer, debljina, gustina, poroznost, površinska masa). Ograničen broj istraživanja odnosi na ispitivanje efekata strukture i svojstava pređa na fizičke parametre tekstilnih materijala u kontekstu njihovog komfora, pri čemu su najčešće, predmet analize bili finoća i upredanje pređe. U okviru ove disertacije, pored efekta gustine pakovanja i pokretljivosti vlakana u pređi kao posledica intenziteta upredanja, ispitivan je i uticaj geometrije površine pređe na svojstva komfora pletenina.

Odevni tekstilni materijali proizvedeni od prirodnih vlakana su u upotrebi stotinama godina kao materijali koji su u skladu sa čovekovim senzibilitetom. Materijali izrađeni od prirodnih vlakana uspešno su zadovoljavali prvobitnu čovekovu potrebu za ulepšavanjem, kao i očuvanjem termofiziološke ravnoteže čovekovog tela i okruženja i zaštitom od povreda. Ipak, period od polovine pa do kraja XX veka karakteriše dinamičan razvoj sintetičkih vlakana i njihova široka primena u tekstilnoj industriji uz istovremeno značajno smanjenje upotrebe prirodnih vlakana. Ovakva situacija bila je prouzrokovana relativno jeftinim i jednostavnim tehnologijama proizvodnje sintetičkih vlakana kao i mogućnošću kreiranja svojstava sintetičkih vlakana koja imitiraju prirodna vlakna. Međutim, pridavanje sve veće važnosti ekologiji i zdravom stilu života rezultiralo je obnovljenim interesovanjem za prirodna obnovljiva i biodegradabilna vlakna. Danas kada ekološki dizajn postaje filozofija koja se odnosi na sve više materijala i proizvoda, prirodna agrocelulozna vlakna smatraju se interesantnom ekološkom alternativom za raznovrsne primene. Mnogi industrijski sektori motivisani su interesantnom kombinacijom mehaničkih i fizičkih svojstava uz njihov ekološki prihvatljiv (eng. eco-friendly) karakter. To svakako, ne znači da će prirodna vlakna potpuno zameniti sintetička vlakna. Činjenica je da u okviru ukupne eksploatacije tekstilnih sirovina u svetu danas, polovinu čine sintetička vlakna i moglo bi se učiniti da ona predstavljaju konkurenciju vlaknima iz like. Međutim, upravo je primena sintetičkih vlakana u mešavinama sa vlaknima iz like doprinela razvoju produktivnijih tehnika dobijanja „novih“ pređa uz poboljšanje kvaliteta potenciranjem dobrih upotrebnih svojstava različitih sirovina. Na takav način, iako su sintetička vlakna potisnula vlakna iz like u nekim oblastima primene, omogućila su proširenje asortimana novih proizvoda sa novim područjima primene, kao što su visokokvalitetni, komforni odevni tekstilni materijali. Tradicionalna prerada agroceluloznih vlakana (vlakna iz like) razvila se u modernu tekstilnu industriju, što je posebno izraženo u Severnoj Americi i Zapadnoj Evropi.

Konoplja, kao jedno od agroceluloznih vlakana, odavno je poznata po upotrebi u tehničke svrhe proistekloj iz njene velike jačine i modula. Iako je upotreba vlakana konoplje u svetu i kod nas bila okarakterisana oštrim usponima i padovima, krećući se u rasponu od intenzivne primene do gotovo potpunog zastoja, danas konoplja ponovo predstavlja izvor ekološke sirovine za industriju papira, bio-dizela, kao i komponenta za ojačavanje kompozitnih materijala za automobilsku industriju i građevinarstvo. Ipak, imajući u vidu jedinstvena svojstva vlakana konoplje kao što su izuzetna jačina, odlična

higijenska (sorpciona) svojstva, dobra termička i električna svojstva, antimikrobna i antialergijska svojstva, UV i IR zaštitna svojstva, opravdano je očekivanje da bi tekstilni materijali od konoplje mogli imati značajnu primenu u tekstilnoj industriji i to u oblastima u kojima se od materijala zahtevaju specifična svojstva. To je pre svega oblast tehničkog tekstila, kao što su ambalažni, medicinski, geotekstilni i drugi specifični materijali. Navedena specifična svojstva vlakana konoplje, uz eliminisanje izvesnih slabosti kao što su mala sposobnost istezanja i savijanja, tvrd opip i otežana transformacija u pređe i tekstilne površine, opredeljuju ih za primenu u oblasti odevnog tekstila sa dobrim predispozicijama sa aspekta komfora.

Pregled literature ukazuje na ograničen broj podataka o svojstvima komfora tekstilnih materijala na bazi konoplje. Aktuelna istraživanja se bave mogućnostima modifikovanja vlakana konoplje (kotonizacija) u cilju obezbeđivanja tehnoloških parametara koji bi omogućili preradu vlakana konoplje na postojećim visokoproduktivnim mašinama za pređenje pamuka i vune. Tako se, pored izbegavanja investicionih ulaganja u razvoj specijalizovanih i modernizaciju konvencionalnih mašina za pređenje vlakana iz like (konoplja, lan), omogućuje mešanje vlakana konoplje sa tradicionalnim komfornim vlaknima (pamuk, viskoza, vuna), čime se dobija jeftinija pređa zadovoljavajućih svojstava komfora. Do sada sprovedena istraživanja se odnose na iznalaženje mogućnosti transformacije vlakana konoplje u komforne tekstilne materijale mešanjem sa drugim tekstilnim vlaknima (prirodnim i sintetičkim) u masi ili mešanjem traka u jednoj od faza proizvodnje pređe. U okviru ove disertacije mešanje različitih tekstilnih sirovina, odnosno konoplje sa pamukom i viskozom po prvi put je ostvareno operacijom dubliranja pređa homogenog sirovinskog sastava, što se pokazalo kao vrlo jednostavan način modifikovanja svojstava tekstilnih materijala u željenom pravcu. Izvestan broj istraživanja se odnosi na ispitivanje mogućnosti primene tzv. nekonvencionalnih (ili novih) tehnika pređenja (rotorsko, frikciono ili pređenje sa obavijanjem). Iako su u okviru tih istraživanja korišćena druga vlakna iz like (lan, juta), i uprkos činjenici da se ne može uspostaviti direktna analogija, može se ipak pretpostaviti mogućnost izrade pređa na bazi konoplje primenom novih tehnika pređenja. U cilju iskorišćenja potencijala koji nudi operacija končanja u pogledu modifikovanja upotrebnih svojstava pređa, u okviru disertacije se pristupilo formiranju končanih pređa na bazi konoplje. Pored homogene končane pređe od konoplje, uvođenjem jedne ili dve filamentne pređe zajedno sa komponentom od konoplje u složenu končanu pređu, formirane su hibridne pređe sa jedinstvenim svojstvima

proisteklim iz osobenosti upotrebljenih tekstilnih sirovina i jednožičnih komponenata. Dobijeni rezultati ukazuju na još jedan mogući način mešanja vlakana konoplje sa sintetičkim vlaknima, kojima se pripisuju loša svojstva komfora, na takav način da se iskorišćavanjem internih svojstava pojedinačnih komponenti omogući dobijanje tekstilnih materijala zadovoljavajućih svojstava komfora.

1. KONOPLJA

1.1 Renesansa konoplje

Današnju svetsku tekstilnu industriju, kada je reč o tekstilnim sirovinama, možda više nego ikada karakteriše jaka konkurencija dva snažna rivala: sintetičkih (i hemijskih) i prirodnih tekstilnih vlakana. Ubrzani razvoj industrije sintetičkih vlakana u periodu od pedesetih do sedamdesetih godina prošlog veka izazvao je značajno smanjenje proizvodnje i prerade prirodnih tekstilnih vlakana, pre svih konoplja, lan, svila i vuna. Zahvaljujući činjenici da se relativno jeftinim i produktivnim tehnologijama mogu proizvoditi sintetička vlakna sa svojstvima koja „imitiraju“ svojstva prirodnih vlakana ili svojstvima koja im obezbeđuju specifične oblasti primene, decenijama je primat na tržištu tekstilnih sirovina i tekstilnih proizvoda bio na strani sintetičkih vlakana. Danas se hemijska vlakna ipak smatraju inferiornim u odnosu na prirodne sirovine, pre svega imajući u vidu ekološke aspekte. Pored toga, zdrav stil života, široko prihvaćen od strane svetske populacije, nametnuo je ozbiljne zahteve u pogledu udobnosti nošenja odeće, odnosno komfora odevnih predmeta. Otuda je u svetu krajem prošlog i na početku ovog veka izražen trend povratka prirodnim tekstilnim sirovinama, pre svega vlaknima lana i konoplje. Pamuk, kao jedina agrocelulozna tekstilna sirovina koja je odolela i opstala na svetskom tržištu, uprkos impresivnim rezultatima na polju genetike, tekstilne mašinogradnje i poboljšanja tehnologije pređenja pamuka ne može da zadovolji potrebe svetske odevne industrije za komfornim vlaknima. Takođe, smatra se da već sada nije moguće obezbediti dovoljnu količinu celulozne pulpe neophodne za proizvodnju regenerisanih celuloznih vlakana od kojih bi se proizvodila odeća zadovoljavajućih svojstava komfora.

Konoplja (*Cannabis sativa* L.) je jedna od najstarijih industrijskih biljaka. U tekstilne svrhe vlakna konoplje su u upotrebi već sedam milenijuma. Smatra se da je prapostojbina ove biljke Srednja Azija, odakle je u vreme velikih seoba naroda dospela u Evropu [1, 2]. U periodu najintenzivnijeg gajenja konoplje (od 1930. do 1960. godine) svetske površine su iznosile oko milion hektara. Najveći proizvođač konoplje u to vreme bio je bivši Sovjetski Savez sa udelom preko 50 % u svetskoj proizvodnji. Evropa je u ovom periodu bila značajan proizvođač konoplje a bivša Jugoslavija je po površinama pod konopljom bila najveći proizvođač u Evropi (bez SSSR) sa udelom od oko 25 % u

evropskim i 6 % u svetskim razmerama [1, 3]. Međutim, nastala kriza nije mimoišla ni evropske proizvođače. Izvestan obim proizvodnje konoplje zadržao se do danas jedino u istočnoevropskim zemljama (Mađarska, Rumunija, Bugarska), dok je u Zapadnoj Evropi kontinuitet u proizvodnji održala jedino Francuska. Najveći proizvođači konoplje u Evropi danas su Rumunija, Mađarska i Poljska. Na svetskom nivou su to Kina, Ukrajina i Rusija [2, 3].

Razlozi konstantnog opadanja gajenja i prerade vlakana konoplje su mnogobrojni. Pored ranije pomenutog intenzivnog razvoja jeftinijih sintetičkih vlakana, što je doprinelo smanjenju proizvodnje konoplje, u mnogim razvijenim zemljama uvedena je stroga kontrola ili je čak zabranjeno gajenje konoplje kao mera predostrožnosti protiv ilegalne upotrebe konoplje za drogu. Naime, poznato je da izvesni ekotipovi i varijeteti ove biljke sadrže 5 – 10 % pa i više psihoaktivne supstance tetrahidrokanabinola (THC) [4]. S obzirom da je dokazano da tzv. industrijska konoplja sadrži svega 0,3 – 1,5 % THC, razrešene su zablude koje su dugo pratile konoplju, zbog čega su devedesetih godina prošlog veka neke zemlje ukinule zabranu gajenja konoplje (Kanada, Nemačka, SAD, Velika Britanija), dok su druge dozvolile eksperimentalno gajenje (Australija, Danska, Finska). U zemljama gde nije bilo prohibicije (Francuska, Rumunija, bivša Jugoslavija) opadanje proizvodnje konoplje je posledica dugotrajne i zametne prerade vlakana, kao i otežanih uslova rada, pa je konoplja bila prinuđena da vremenom ustupi mesto produktivnijoj tehnologiji prerade pamuka [5]. Prisutan svetski trend renesanse konoplje kao industrijske biljke može se pre svega pripisati ekološkim razlozima, popularizaciji upotrebe prirodnih biorazgradivih materijala kao i potrebi rešavanja problema zaštite životne sredine.

Postoji čitav niz ekoloških razloga za obnavljanje interesovanja za konoplju. Konoplja je izuzetno brzo rastuća biljka, pri čemu obezbeđuje prinos vlakana veći u odnosu na bilo koju drugu biljku, pa je prema površini zemljišta neophodnoj za postizanje određenog prinosa vlakana konoplja u prednosti u odnosu na sve ostale biljne izvore vlakana. Tako, konoplja može da da čak 250 % više vlakana od pamuka i 600 % u odnosu na lan uzimajući u obzir istu površinu zemljišta [6]. Pored toga što se dobro uklapa u plodored, konoplja ostavlja zemljište u odličnom stanju predstavljajući dobar predusev za većinu ratarskih biljaka. Konoplja se može smatrati pravom ekološkom biljkom jer, osim što zadržava prirodnu ravnotežu zemljišta, ne zahteva tokom svog razvoja upotrebu sintetičkih pesticida, herbicida i fungicida za razliku od pamuka – najzastupljenijeg

agroceluloznog vlakna. Podaci govore da se u SAD polovina upotrebljene količine poljoprivrednih sintetičkih đubriva upotrebi prilikom gajenja pamuka [7]. Devedesetih godina prošlog veka u Poljskoj i Nemačkoj su vršeni eksperimenti koji su pokazali da su konoplja i lan vrlo dobri indikatori zagađenosti zemljišta teškim metalima kao što su bakar, olovo, cink, kadmijum, pri čemu se konoplja pokazala kao bolji fitoekstraktor teških metala [8]. Pokazalo se da gajenje konoplje i lana u područjima blizu metalurških kompleksa postepeno obnavlja zagađeno zemljište ekstrahovanjem čestica teških metala bez negativnog efekta na prinos biljaka. Iako se pri tome se konoplja ne diskvalifikuje kao industrijska sirovina (tekstil, celulozna pulpa, građevinski i izolacioni materijal, energent), neminovno se nameće potreba iznalaženja standarda koji bi specifikovali sadržaj teških metala u sirovom materijalu i posebno u tekstilnim proizvodima [9, 10].

Dinamičan razvoj industrije uz sve prednosti, ispoljava i neželjeni efekat oštećenja biosfere tj. narušavanja životne sredine. Za razliku od vode i vazduha, koji se mogu smatrati obnovljivim izvorima, ljudski faktor često izaziva nepovratne promene u zemljištu, kao što je iscrpljivanje prirodnih energetske izvora ili kontinuirano smanjenje površina pod šumama. Narastajuća potreba za novim izvorima energije i novim ekološki prihvatljivim (engl.eco-friendly) industrijskim sirovinama pruža šansu konoplji da kao jednogodišnji obnovljiv izvor sirovine za tekstilnu i hemijsku industriju, građevinarstvo, energetiku i industriju papira povрати stare pozicije, ili ih nadmaši, na svetskoj industrijskoj sceni.

1.2 Konoplja kao neiscrpa tekstilna sirovina

Za vlakna konoplje i lana se može reći da su glavni predstavnici vlakana iz like (stabljike) pored jute, ramije, kenafa. Za razliku od pamuka, konoplja i lan su višecelijska vlakna i sastoje se iz više elementarnih vlakana međusobno povezanih pektinskim supstancama. Snopovi elementarnih vlakana su udruženi u veće agregate – tehnička vlakna, koji su poprečno povezani (anastamosis) formirajući cilindričnu mrežu u stablu. Iako gledano botanički konoplja i lan nisu u vezi, imaju sličnu anatomiju. Elementarna vlakna su vretenastog oblika sa mnogouglim, najčešće petouglim poprečnim presekom i unutrašnjim kanalom (lumen) [11, 12]. Lumen u vlaknu konoplje zauzima najviše do 9 % zapreminskog udela vlakna, čime se ne narušava njegova jačina budući da najmanje 91 % zapremine čini čvrsta masa sposobna da se odupre različitim opterećenjima [13]. Vlakna

konoplje su duža od lana ali su manje savitljiva i grublja. Od vlakana lana se razlikuju i po izgledu krajeva, koji su kod konoplje račvasti, kao i po smeru uvoja fibrila, koji su kod vlakna konoplje usmereni u desno (Z). Praktično se razlike mogu uočiti mikroskopijom ili hemijskom analizom ili smerom uvrtnja prilikom bubrenja, pri čemu se vlakno konoplje uvrće u levo (suprotno od kretanja kazaljke na satu) dok se vlakno lana uvrće u desno (u pravci kretanja kazaljke na satu) [14, 15]. Iako se smatra da su dužina i debljina elementarnih vlakana konoplje i lana približne vrednostima pamučnog vlakna (Tabela 1), zahvaljujući njegovom obliku blago upredene trake pamučna vlakna su okarakterisana boljom ispredivošću [16]. Iako je reč o celuloznim vlaknima, razlike u hemijskom sastavu vlakana iz like (konoplje, lana) i pamuka, pa otuda i u ponašanju vlakana pri preradi i eksploataciji, potiču usled prisustva pratećih supstanci kojih u pamučnim vlaknima ima u manjoj količini ili ih uopšte nema. Prateće komponente su lignin, pektin, pepeo, masti i voskovi, pri čemu se i vlakna iz like međusobno razlikuju prema sadržaju pratećih supstanci. U tabeli 1 su pored morfoloških i fiziko-mehaničkih svojstava date prosečne vrednosti sadržaja pojedinih komponenti konoplje, lana i pamuka, pri čemu su u zagradama date najčešće vrednosti pojedinih parametara.

Tabela 1. Svojstva i hemijski sastav konoplje, lana i pamuka [11, 15, 16, 17]

Parametar	Jedinica	Konoplja	Lan	Pamuk
Dužina tehničkog vlakna	cm	80-300 (120)	20-140 (50)	-
Dužina elementarnog vlakna	mm	5-55 (15-25)	1-130 (13-40)	10-70 (12-36)
Finoća tehničkog vlakna	tex	2,2	2	-
Finoća elementarnog vlakna	mtex	333	290	200-143
Prečnik elementarnog vlakna	µm	15-30	17-20	12,5
Jačina	cN tex ⁻¹	27-69	27-73	24-25
Izduženje	%	1,5-4,2 (2)	1,5-4,1 (2,5)	6-8
Sadržaj celuloze	%	67-78	64-84	94
Sadržaj lignina	%	3,5-5,5 (3,3)	0,6-5,0 (2,0)	-
Sadržaj pektina u hemicelulozi	%	17	19	0,9
Sadržaj vlage	%	7,4-11	6,5-12,3	8-11

Prisustvo lignina u elementarnim vlaknima (u amorfnim područjima celuloze) i prostorima između elementarnih vlakana uzrokuje povećanu lomljivost i krutost vlakana iz like, čime se smanjuje njihova deljivost i ispredivost. To je posebno izraženo kod vlakana konoplje s obzirom na povećan sadržaj lignina (Tabela 1). Pored toga, veliki nedostatak konoplje ogleda se u prisustvu tzv. sekundarnih vlakana koja su uglavnom

smeštena u donjem delu stabljike bliže korenu biljke. Generalno, ova vlakna su kraća, deblja, kruća i međusobno čvršće povezana, što ih čini nepodesnim za predenje. Oko 40 % od sadržaja ovih vlakana se prema standardima klasifikuje kao III klasa, odnosno neupotrebljivo je kao tekstilno vlakno [16]. Morfološke karakteristike konoplje (dužina i debljina vlakana) uslovljene su načinom gajenja, koji zavisi od toga da li je biljka namenjena isključivo za dobijanje vlakana ili se gaji zbog vlakana i semena. Tako, u slučaju gajenja konoplje i zbog vlakna i zbog semena finoća vlakana se kreće u intervalu od 8,5 – 6,6 tex [11].

Specifična struktura vlakana konoplje obezbeđuje im čitav niz svojstava koja ih opredeljuju za raznovrsnu primenu u različitim oblastima. Duga lista proizvoda od konoplje obuhvata danas oko 25000 najrazličitijih proizvoda u industriji papira, tekstilnoj, prehrambenoj i farmaceutskoj industriji. Takođe, listu proizvoda dopunjuju i proizvodi za ličnu higijenu, izolacioni i građevinski materijali [2]. Ipak, konoplja se u najvećoj meri (75 % ukupne svetske proizvodnje) upotrebljava za izradu raznovrsnih tekstilnih proizvoda. Dobro poznata velika jačina vlakana konoplje, kao i porast jačine u mokrom stanju, postojanost prema toplim rastvorima i morskoj vodi, usmerila je vlakna konoplje za upotrebu u oblasti tehničkog tekstila. Tradicionalno se konoplja koristi za izradu užarije i ambalažnih proizvoda za različite namene. Ipak, u toku su istraživanja na polju njihove primene za izradu specifičnih tehničkih tekstilnih materijala (geotekstil, filteri za prečišćavanje, kompoziti i sl.) [13, 18, 19, 20].

Čitav niz svojstava karakterističnih za celulozna vlakna, ali i izvesna svojstva proistekla iz osobnosti strukture vlakana konoplje, omogućuju im široku primenu u oblasti odevnog tekstila. Izuzetna sorpciona svojstva usled prisustva lumena u vlaknu konoplje omogućuju im brzu apsorpciju i otpuštanje vlage i znoja, što je od velike važnosti kada je reč o odevnim tekstilnim materijalima, posebno onim namenjenim za upotrebu u toplim klimatskim uslovima. Tako se pokazalo da se pri nošenju odeće od konoplje formira mikroklima koja omogućava čovekovom telu osećaj toplote i do 5 °C niži u odnosu na odeću od pamuka [21]. Korisna svojstva vlakana konoplje sa aspekta fiziologije ljudskog organizma su njihova higroskopnost, toplotno-izolaciona i antielektrostatička svojstva [16, 22, 23]. Zbog posedovanja antimikrobnih i antigljivičnih svojstava, kao i odsustva alergijskih dejstava, vlakna konoplje su podesna za izradu raznovrsnih higijenskih proizvoda (čarape, posteljno rublje, medicinsko rublje). Iako prisustvo lignina u vlaknima konoplje izaziva izvesne poteškoće vezane za deljivost i

ispredivost vlakana, zahvaljujući upravo ovoj supstanci vlakna konoplje obezbeđuju tekstilnim materijalima dobra zaštitna svojstva. Naime, poznato je da vlakna konoplje pružaju dobru zaštitu od UV i IR zračenja, kao i od elektromagnetnih mikrotalasa [21, 24]. Danas kada UV zračenje predstavlja pretnju čovekovom zdravlju u čitavom svetu i u uslovima izuzetno brzog razvoja telekomunikacija i mikrotalasnih tehnologije, specifična zaštitna svojstva vlakana konoplje opredeljuju ih za izradu radne, zaštitne ali i svakodnevnog odeće.

Ipak, pored niza navedenih higijenskih i zaštitnih svojstava vlakana konoplje koja predstavljaju njihov veliki potencijal za primenu u odevnoj industriji, činjenica je da su prisutne izvesne slabosti vlakana konoplje koje nameću ograničenja u pogledu primene ovih vlakana za izradu tekstilnih materijala sa apsolutno zadovoljavajućim svojstvima komfora. Usled relativno glatke površine i gusto pakovanih strukturnih elemenata u vlaknu konoplje opip ovih vlakana je tvrd i hladan. Iako se zbog toga odevni predmeti izrađeni od vlakana konoplje malo prljaju i pri pranju lako odaju prljavštinu, tvrd opip površine vlakna predstavlja problem sa aspekta taktilnog komfora, uslovljavajući neadekvatan opip i mekoću tekstilnog materijala [25]. Bitan nedostatak vlakana konoplje sa aspekta deformativnog ponašanja je njihova mala elastičnost (tabela 1) i krutost, zbog čega se pređa od konoplje odlikuje većom krutošću u poređenju sa pamučnom pređom iste finoće [17]. Imajući u vidu da je deformativno ponašanje pređa i tekstilnih materijala (tkanina i pletenina) u velikoj meri odgovorno za mehaničku interakciju između tekstilnog materijala i čovekovog tela, očigledno je da neelastičnost i krutost vlakana konoplje predstavljaju ograničavajući faktor sa aspekta taktilnog komfora [26]. Imajući u vidu da deformativna sposobnost tekstilnog materijala uslovljava sposobnost prijanjanja odevnog predmeta uz čovekovo telo, čime su u izvesnoj meri određeni procesi odgovorni za termofiziološku ravnotežu čovekovog organizma (prenos vazduha, znoja i toplote), navedeni nedostaci vlakana konoplje mogu da utiču i na toplotni komfor odeće.

Iako su se u vreme masovnog gajenja i prerade konoplje vlakna koristila za izradu odevnih predmeta, oni su bili grubi i uglavnom su se koristili kao radna odeća. Osnovni razlog tome su bila gruba i debela vlakna konoplje koja nisu mogla da obezbede elastičnost i mekoću tekstilnim materijalima. Naime, prerada vlakana konoplje podrazumevala je dugotrajan i komplikovan proces sačinjen od niza operacija koje su prethodile pređenju, kao što su močenje, sušenje, lomljenje, trljenje i grebanje. Dobijena duga i kratka vlakna predena su po sistemu pređenja lana po suvom ili mokrom

postupku. Tehnikom mokrog pređenja može se dobiti finija pređa od konoplje i lana, pri čemu ipak treba imati u vidu da mokri postupak pređenja ima nedostatke u smislu niže produktivnosti, većeg utroška energije zbog upotrebe tople vode, potrebe sprovođenja operacije sušenja pređe, otežavanja uslova rada i povećanog prljanja pređe i mašine. Zbog toga se radilo na razvoju tehnologije pređenja dugih likinih vlakana suvim postupkom pređenja sa naknadnim parenjem (25-30 min bez dejstva pritiska), čime se uspešno uravnotežava stuktura pređe koja se pri tome odlikuje i dobrim mehaničkim svojstvima [27]. U poređenju sa sistemima pređenja pamuka i vune tradicionalni sistem pređenja lana i konoplje je skuplji uz veliki utrošak radne snage [16]. Sa progresivnim smanjenjem udela vlakana iz like na svetskom tržištu od polovine prošlog veka mašinogradnja u oblasti pređenja lana i konoplje je sve više zaostajala u pogledu tehnologije i automatizacije, čime su troškovi prerade ovih vlakana u odnosu na tehnologiju prerade pamučnih vlakana konstantno rasli. Pored toga, osnovni cilj konvencionalnog postupka prerade vlakana iz like bio je da tehnička vlakna ostanu što je moguće duža, dok su se kratka vlakna izdvojena pri lomljenju i grebenanju smatrala sirovinom niže upotrebne vrednosti. Pređe finoće od 68 do 100 tex, koje su se mogle koristiti za izradu odevnih tekstilnih materijala, izrađivane su u maloj količini od dugih tehničkih vlakana finoće od 8,5 do 6,6 tex. Vlakna zadovoljavajućeg kvaliteta za izradu finih pređa mogla su se dobiti jedino od monofunkcionalne konoplje, odnosno konoplje gajene isključivo za vlakna, jer su se vlakna bifunkcionalne konoplje (gajena za vlakno i seme) odlikovala većim sadržajem lignina [28]. Kratka vlakna, koja sadrže dosta nečistoća i drvenaste mase, koristila su se za izradu grubih tehničkih pređa finoće od 140 do 270 tex ili zajedno sa nepredivim vlaknima kao materijal za izolaciju ili ispune [11]. Tekstilni materijali izrađeni od finijih pređa izrađenih od dugih tehničkih vlakana konoplje uglavnom su deblji u poređenju sa proizvodima od pamuka, vune ili sintetičkih vlakana [29, 30].

Trendovi savremenog društva uzrokovali su sve veću potražnju visoko kvalitetnih odevnih materijala koji mogu da obezbede zadovoljavajuća svojstva komfora odevnih predmeta. U tom smislu finoća vlakana se nametnula kao dominirajući faktor, što je dovelo do toga da elementarna vlakna konoplje (i lana) postanu predmet istraživanja mogućnosti primene u oblasti komfornog tekstila. Tradicionalni sistem pređenja vlakana iz like nije bio primenjiv za izradu finih pređa od elementarnih vlakana konoplje. S obzirom da bi investiciona ulaganja u modernizaciju postojeće tehnologije dovela do ekonomske nekonkurentnosti konoplje kao tekstilne sirovine, u istraživanjima se pošlo od

činjenice da su fizički parametri elementarnog vlakna konoplje slični pamučnom vlaknu zbog čega bi se ona mogla uz odgovarajuću pripremu prerađivati na postojećim visokoproduktivnim mašinama za pređenje pamuka. Postupcima modifikovanja ili „kotonizacije“ konoplje vrši se individualizacija tehničkih vlakana u pojedinačna elementarna vlakana ili njihove manje skupove oslobođene pratećih supstanci (nečistoće, pektin, lignin, smole voskovi). Uklanjanjem primesa smanjuje se krutost vlakana konoplje čime se olakšava njihovo pređenje i dalja transformacija pređa u tekstilne materijale uz poboljšanje njihovih upotrebnih svojstava.

Modifikovanje vlakana konoplje razvija su više pravaca kao mehaničko, hemijsko, i novije, fizičko-hemijsko i biološko kotonizovanje, pri čemu svaki od ovih postupaka treba sprovoditi tako da ne dođe do potpune individualizacije vlakana ili do njihovog nedovoljnog međusobnog razdvajanja, čime se ne bi dobila pređa visokog kvaliteta [30]. Pri tome, treba reći da rezultati na polju modifikovanja vlakana konoplje zaostaju u poređenju sa postignutim rezultatima kotonizacije lana zbog povećanog sadržaja lignina i prisustva sekundarnih vlakana. Povećana krutost vlakana konoplje čini ih podložnijim oštećenjima posebno pri mehaničkoj kotonizaciji. Eksperimenti su pokazali da je za dobijanje kotonizovanih vlakana konoplje sa svojstvima bliskim kotonizovanom lanu neophodna monofunkcionalno gajena konoplja [11, 28, 31].

Mehaničko kotonizovanje vlakana podrazumeva preradu tehničkih vlakana konoplje na specijalizovanim agregatima mašina za otvaranje, čišćenje i kardiranje raznih proizvođača mašina (Laroche, Temafa, Rieter), pri čemu se uz izdvajanje primesa vrši profinjavanje na manje snopove ili elementarna vlakana. Ovakav način modifikovanja vlakana se smatra grubim jer može da dođe do oštećenja vlakana. Ipak, sa ekološkog aspekta ova metoda je u prednosti u odnosu na ostale [29, 32].

Hemijsko modifikovanje vlakana konoplje se izvodi najčešće obradom sa natrijumhidroksidom različitih koncentracija na različitim temperaturama i vremenima obrade, od čega zavisi i postignuti stepen deljivosti vlakana kao i njihova fizičko-mehanička svojstva (finoća, prekidne karakteristike) [33].

Fizičko-hemijski postupci kotonizacije obuhvataju profinjavanje vlakana eksplozijom vodene pare i ultrazvučnom obradom tehničkih vlakana konoplje. Po metodi eksplozije vodene pare (engl. Stex – steam explosion) snopovi vlakana impregnirani alkalijama izlažu se pari na povišenoj temperaturi i pritisku (2,9 MPa, 150-220 °C, 5-15 min). Difuzijom pare u snopove vlakana vezivne supstance (lignin i pektin) omekšavaju i

postaju rastvorne u vodi pa se jednostavno uklanjaju ispiranjem. Dužina vlakana modifikovanih ovim postupkom u najvećoj meri odgovara dužini pamučnog vlakna i mogu se koristiti za konvencionalno (prstenasto) pređenje [30, 34, 35]. Ultrazvučni tretman snopova vlakana u vodenoj sredini se pokazao ekološki prihvatljivim i veoma efikasnim sa profinjenim vlaknima odličnih prekidnih karakteristika [36, 37].

Biološko modifikovanje vlakana konoplje sastoji se u obradi tehničkih vlakana različitim enzimima (celulaze, pektinaze, laktaze) čime se vrši njihovo razdvajanje uz mogućnost dodatnog profinjavanja mehaničkim operacijama (kardiranje). Istraživanja su pokazala da se enzimskom obradom tehničkih vlakana konoplje finoća vlakana smanjuje za 30-40 % dok je srednja dužina vlakana za oko 5,5 puta manja u odnosu na polaznu dužinu. Dodatnim kardiranjem postiže se smanjenje finoće vlakana za oko 63 % i dužine za 87 %. Enzimski modifikovana vlakna konoplje odlikuju se povećanim sadržajem celuloze, uz smanjenje sadržaja pratećih supstanci i to hemiceluloze za 28 %, pektina za 98 % i lignina za 23 %, čime se postiže njihova dobra ispredivost na mašinama za pređenja pamuka i vune [31, 38]. Ipak, treba reći da se radi o skupom i zahtevnom postupku modifikovanja vlakana.

Metoda profinjavanja vlakana oksidacijom u mokrom stanju (WO - wet oxidation) zasnovana je na postupku degumiranja i beljenja kojim su duga vlakna lana i konoplje podvrgavana neposredno pre mokrog pređenja kako bi im se povećala sposobnost razvlačenja. Modifikovanje vlakana se vrši u dve faze u autoklavu. Nakon obrade površinskim aktivnim materijama na 120 °C sprovodi se beljenje peroksidom na 100 °C pri niskim pH vrednostima [39]. Međutim, treba reći da su opisani novi postupci kotonizovanja vlakana konoplje razvijeni na laboratorijskom nivou, pri čemu ih njihova cena čini za sada neekonomičnim za praktičnu primenu.

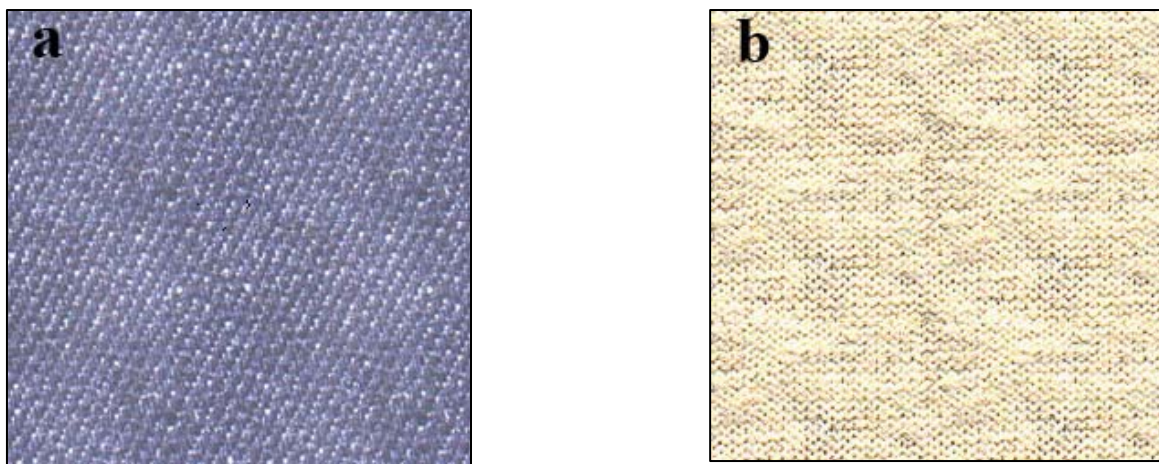
1.3 Nove pređe na bazi konoplje

Odlična higijenska svojstva vlakana konoplje pobudila su povećano interesovanje za uvođenjem konoplje u oblast tzv. komfornih odevnih tekstilnih materijala. Zahvaljujući razvijenim postupcima profinjavanja vlakana konoplje omogućeno je njihovo modifikovanje u cilju dobijanja takvih tehnoloških svojstava vlakana (dužina i finoća) neophodnih za preradu na postojećim sistemima za pređenje pamuka i vune. Primena ovakvih, sa aspekta prerade konoplje nekonvencionalnih tehnika pređenja, omogućila je

izradu pređa povećane upotrebne vrednosti, kao i vrednosti u komercijalnom smislu. Naime, upotrebom modernizovanih, visokoproduktivnih mašina za pređenje pamuka i vune u velikoj meri se kompenzuju troškovi kotonizovanja vlakana. Pored toga, velika prednost upotrebe sistema za pređenja pamuka i vune leži u činjenici da je omogućeno dobijanje pređa od mešavine vlakana konoplje i pamuka, vune ili sintetičkih vlakana. Pored proširenja asortimana tekstilnih proizvoda, kombinovanjem različitih svojstava vlakana poboljšavaju se eksploataciona svojstva tekstilnih materijala, što rezultuje u povećanju kvaliteta gotovih proizvoda uz povećanu produktivnost i jeftiniju proizvodnju. Mešanje komponenata može da se sprovodi u masi vlakana (u obliku “kreveta” ili na mašinama za mešanje), ili kombinovanjem traka, pri čemu treba reći da se mešanjem vlakana u masi brže postiže homogena mešavina i povećava sposobnost pređenja vlakana u narednim fazama prerade [39]. Mešanjem vlakana konoplje sa poznatim komfornim vlaknima (pamuk, viskoza, vuna, svila) iskorišćava se potencijal koji vlakna konoplje imaju uz istovremeno kompenzovanje slabosti vezanih za njihovo deformativno ponašanje. U poređenju sa pamukom i vunom vlakna iz like su, iz razumljivih razloga, relativno kasno počela da se primenjuju kao komponente u mešavinama sa hemijskim vlaknima. Cilj mešanja vlakana iz like sa hemijskim vlaknima bio je dobijanje „novih“ pređa, uz potenciranje prednosti različitih vlakana. S jedne strane, to su dobra fiziološka svojstva (brzo apsorbovanje vlage, visoka toplotna provodljivost) i neobični vizuelni efekat vlakana iz like i s druge strane, pozitivna svojstva hemijskih vlakana, kao što su velika otpornost na gužvanje i trenje. Pri tome, izbor komponenata mešavine i njihov procentualni odnos zavise od namene proizvoda. Pored zahteva u pogledu svojstava (deformativna, taktilna svojstva) proizvoda, odabrana mešavina treba da zadovolji zahteve odgovarajuće tehnologije prerade i njene ekonomske opravdanosti. Takođe, treba uzeti u obzir i modne zahteve.

Napori vezani za izradu pređa od lana i mešavina sa drugim prirodnim i sintetičkim vlaknima, sa različitim procentualnim udelom lana, datiraju od sedamdesetih godina prošlog veka. Od velikog broja istraživanja dokumentovanih u literaturi [40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48], neka su se završila na laboratorijskom nivou, dok su druga primenjena kao delimično ili potpuno industrijalizovana. Kao posledica otežanog modifikovanja vlakana konoplje usled većeg sadržaja lignina i prisustva sekundarnih vlakana, tek se devedesetih godina prošlog veka krenulo sa istraživanjima vezanim za proširenje asortimana proizvoda od konoplje ka komfornom tekstilu, pri čemu se mogu

uočiti dva pravca. Jedan se odnosi na postupke dorade tekstilnih materijala u cilju modifikovanja površine vlakna. Istraživanja ukazuju da veliki potencijal u tom smislu imaju postupci obrade tekstilnih materijala enzimima i plazmom [49]. Drugi prilaz problemu transformacije konoplje u zonu komfornih tekstilnih materijala predpostavlja iskorišćavanje mogućnosti koje pružaju različite tehnologije pređenja, kako konvencionalne tako i nove tehnike pređenja. Tako se, pored izbegavanja investicionih ulaganja u razvoj specijalizovanih i modernizaciju konvencionalnih mašina za pređenje vlakana iz like, omogućuje mešanje vlakana konoplje sa tradicionalnim komfornim (pamuk, viskoza, vuna) ali i sa sintetičkim vlaknima. Do sada sprovedena istraživanja se odnose na iznalaženje mogućnosti transformacije vlakana konoplje u komforne tekstilne materijale mešanjem sa drugim tekstilnim vlaknima u masi ili mešanjem traka u jednoj od faza proizvodnje pređe. U praktičnom smislu najviše je urađeno u SAD i Kanadi, gde postoje specijalizovane firme koje tržištu nude poluproizvode i proizvode od vlakana konoplje i mešavine. Tako, Hemp Traders (SAD) ima u ponudi pređe, tkanine i pletenine i odevne predmete od 100 % konoplje ili mešavine sa pamukom, lanom, vunom i svilom. Dostupne su pređe od dugih vlakana konoplje proizvedene na klasičnim mašinama za pređenje vlakana iz like po mokrom postupku i pređe napravljene od mešavine 55 % konoplje i 45 % organskog pamuka proizvedene po konvencionalnom sistemu pređenja pamuka (tzv. prstenasto pređenje) [50]. Na slici 1 su date fotografije denim tkanine i pletenine izrađene od pređe sastava 55% vlakana konoplje i 45 % vlakana organskog pamuka (gajenje pamuka bez pesticida uz upotrebu isključivo prirodnih đubriva).



Slika 1. Fotografije denim tkanine (a) i pletenine (b) izrađenih od pređe sastava 55 % konoplje i 45 % organskog pamuka

Prva dokumentovana istraživanja sprovedena su u Italiji između I i II Svetskog rata. Prof.dr Camillo Levi je u članku „Sull'impiego del canapafiocco misto col cotone“ [29] predstavio rezultate prema kojima su uspešno proizvedene pređe finoće 100 tex od mešavine italijanske konoplje i američkog pamuka, pri čemu je udeo kotonizovanih vlakana konoplje iznosio 12,5, 25 i 50 %. Nakon primarne prerade vlakana konoplje i pamuka njihovo mešanje je izvršeno na mašini za kardiranje u okviru konvencionalnog sistema za pređenje pamuka. Kaže se da je proces pređenja unekoliko otežan u poređenju sa pređenjem pamuka. Brzina mašina je morala biti smanjena a iglena garnitura karde je morala biti češće čišćena zbog brzog zagušivanja igala. Uz veće gubitke vlakana prilikom pređenja i veću neravnomernost međuproizvoda (trake), dobijene su pređe koje su generalno pozitivno ocenjene uprkos nešto smanjenoj jačini ovih pređa u odnosu na pamučnu pređu. Pređe su uspešno upotrebljene za izradu tkanina površinske mase oko 200 g m⁻².

Devedesete godine prošlog veka obeležila su istraživanja koja su rađena u Poljskoj na Institutu za prirodna vlakna u Poznanu i Tekstilnom fakultetu Tehničkog univerziteta u Lođu. Ova istraživanja su ukazala na mogućnost prerade modifikovanih vlakana konoplje u mešavini sa drugim vlaknima (prirodnim ili sintetičkim) po sistemima pređenja pamuka i vune. Pokušaji da se mehanički kotonizovana vlakna konoplje prerade u mešavini sa pamukom u odnosu 60 % – 40 % na konvencionalnim mašinama za pređenje pamuka su se pokazali neuspešnim zbog lošeg kvaliteta poluproizvoda sa karde (koprena) i velikog procenta gubitka kotonizovanih vlakana konoplje (50 %) [29]. Međutim, uspešnim se pokazao sistem rotorskog pređenja pamuka. Od mehanički kotonizovanih vlakna konoplje u mešavini sa pamukom, uz učešće konoplje 20-30 %, izrađena je pređa na rotorskoj predilici finoće 80-84 tex i jačine 8,2-9,66 cN tex⁻¹ sa koeficijentom varijacije 13,2-18,2 % [11, 28, 51]. Na osnovu rezultata sprovedenih istraživanja u industrijskim uslovima se uspešno proizvode pređe finoće 50, 64, 80, 100 i 120 tex sa sadržajem konoplje 42-54 %. Asortiman tekstilnih materijala u kojima su ove pređe upotrebljene obuhvata denim tkaninu kod koje je pređa konoplja/pamuk (54/46 %) finoće 100 tex upotrebljena za potku, i pleteninu za rublje izrađenu od konoplja/pamuk (40/60 %) pređe finoće 50 tex [16].

U periodu od 1999. do 2000. godine vršena su istraživanja mogućnosti izrade pređe od mešavine vlakana konoplje i poliakrilonitrilnih (PAN) vlakana na mašinama za pređenje vune sa češljanjem. Kratka vlakna konoplje iz srednjeg dela stabljike su

podvrgnuta mehaničkom profinjavanju na setu otvarača, čistača i kardi posle čega se traka od modifikovanih vlakana konoplje na različite načine kombinovala sa trakama PAN vlakana. Varijanta u kojoj je traka sa karde sastava 50 % konoplja/50 % PAN kombinovana sa trakom 100 % PAN, tako da se dobije konačni procentualni sadržaj komponenata 20 % konoplja/80 % PAN, se pokazala kao optimalna, pri čemu je dobijena pređa finoće 32 tex i 64 tex zadovoljavajućih prekidnih karakteristika [32]. Sistem pređenja vune vlačanjem primenjen je za izradu pređe od mešavine konoplje (30 %), vune (40 %) i poliestarskih vlakana (PES, 30 %) finoće 100 tex sa zadovoljavajućim tehnološkim parametrima (jačina 6,01-6,82 cN tex⁻¹ uz koeficijent varijacije 6,25-17,60 %) [17, 28]. Pokušaji da se u mešavinu uvedu PAN vlakna umesto PES za sada nisu dali zadovoljavajuće rezultate [29].

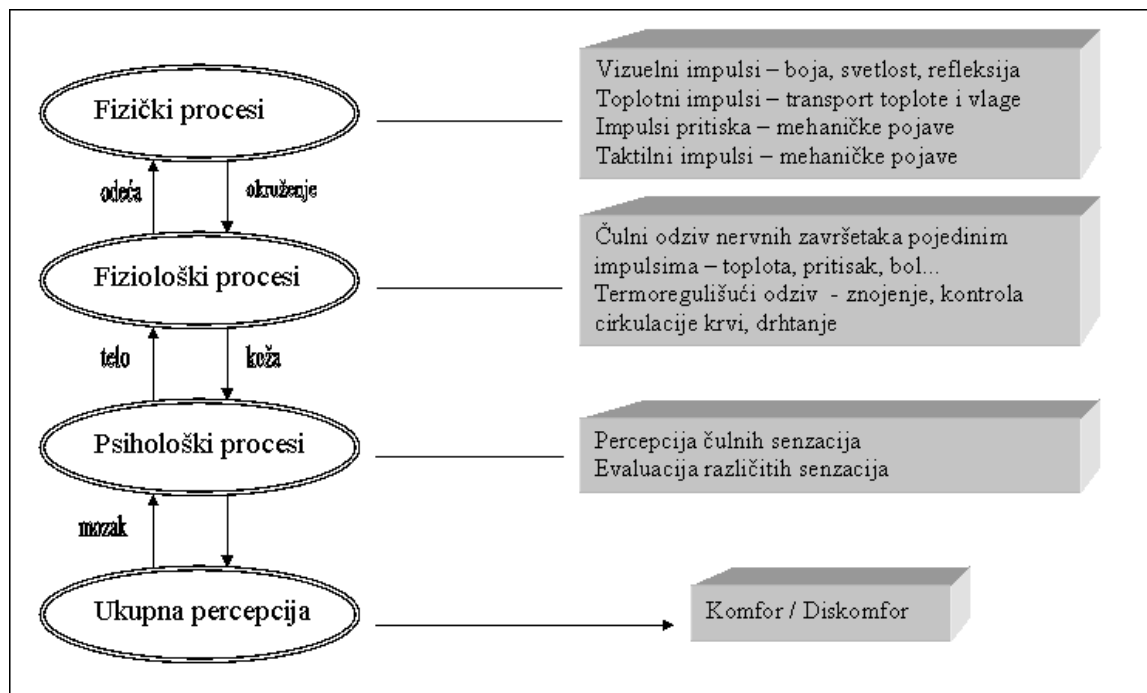
U Evropi približno 70 % proizvedenih pređa namenjenih za kvalitetne odevne tekstilne materijale ima finoću 20 - 50 tex. Kada se radi o pređi od konoplje njena aktuelna granica ispredivosti iznosi 50 tex. Stoga se kao jedan od glavnih zadataka daljih istraživanja nameće iznalaženje mogućnosti pomeranja granice ispredivosti pređa od konoplje u zonu većih finoća.

2. KOMFOR

Odeća predstavlja integralni deo ljudskog života s obzirom da ispunjava nekoliko važnih zahteva u čovekovom životu, pre svega zaštita, (socijalni) status i estetika. Pre svega, odeća obezbeđuje čoveku mentalno zadovoljstvo samim pokrivanjem njegovog tela u skladu sa društvenim standardima. Primarno, odeća predstavlja barijeru koja štiti ljudski organizam od različitih uticaja iz okruženja. Zaštitna uloga odeće uključuje održavanje adekvatnog toplotnog okruženja čovekovog tela važnog za njegovo preživljavanje kao i zaštitu od povređivanja koja mogu biti izazvana abrazijom, strujanjima, radijacijom, električitetom, hemijskim ili mikrobiološkim toksičnim materijama. Takođe, prateći modne trendove čovek pojačava svoj osećaj zadovoljava ali i ispoljava svoju potrebu za dostizanjem statusa u društvu. Na osnovu rečenog, sistem čovek-odeća se može posmatrati kao otvoreni sistem koji je u stalnoj dinamičkoj interakciji sa okruženjem u fizičkom, čulnom, psihološkom i informacionom smislu. Proces koji se interaktivno dešavaju u ovakvom sistemu uslovljavaju osećaj udobnosti i stanje čovekovog organizma. Ovi procesi se mogu svrstati u nekoliko grupa [52]:

1. Fizički procesi u odeći i u neposrednom okruženju koji obezbeđuju fizičke signale čovekovom organizmu. Ovi procesi obuhvataju prenos vlage i toplote kroz odeću, mehaničke interakcije između tela i odeće, refleksiju i absorpciju svetlosti od strane tekstilnog materijala.
2. Fiziološki procesi u telu koji određuju fiziološko stanje organizma i sposobnost preživljavanja u kritičnim uslovima, kao što su toplotna ravnoteža tela i dinamička interakcija tela sa odećom i sa okruženjem.
3. Neurofiziološki procesi tj. neurofiziološki mehanizmi kojima se formiraju čulni signali kao rezultat interakcije tela sa odećom i okruženjem.
4. Psihološki procesi tj. procesi u mozgu koji na osnovu neurofizioloških čulnih impulsa formiraju subjektivnu percepciju ili doživljaj komfora. Polazeći od različitih subjektivnih percepcija, prethodnih iskustava, ličnih želja i spoljnih uticaja čovekov um formira sveobuhvatnu percepciju na osnovu koje formira sklonosti i pravi izbore.

Navedeni procesi se dešavaju dinamički i simultano prateći odgovarajuće zakone, međusobno se dopunjujući, čime određuju stanje organizma u svakom momentu. Shema procesa formiranja subjektivne percepcije komfora prikazana je na slici 2.



Slika 2. Shema procesa formiranja percepcije komfora

Fizički procesi obezbeđuju signale čovekovim čulima, koji zatim proizvode neurofiziološke impulse prosleđujući ih mozgu i izazivajući neophodne aktivnosti kao što su regulacija znojenja, cirkulacija krvi, proizvodnju toplote drhtanjem i sl. Mozak formuliše subjektivne percepcije individualnih čulnih senzacija. Čovek ih zatim ocenjuje prema ranijim iskustvima i sopstvenoj volji formiranoj pod uticajem raznih fizičkih, ambijentalnih, socijalnih i kulturnih faktora. Kao rezultat skupa subjektivnih percepcija nastaje ukupna percepcija komfora ili mišljenje (sud) formirano integracijom svih fizičkih, fizioloških, neurofizioloških i psiholoških procesa i faktora koji na njih utiču.

2.1 Definicija komfora

Devedesete godine dvadesetog veka okarakterisane su razvojem novog tzv. zdravog stila života, pri čemu su se nove društvene tendencije odrazile i na oblast dizajna tekstila. Savremeni trendovi uticali su na svest potrošača koji počinju da vrše izbore tekstilnih materijala ne samo na osnovu vizuelnog efekta već uključujući i dodir, miris, intuiciju i emocije. Od odeće se očekuje da bude “zdrava”, funkcionalna i komforna.

Iako komfor odeće danas predstavlja univerzalnu čovekovu potrebu, pojam komfora je izuzetno kompleksan i teško ga je definisati. Od ranije je poznato da je u

poređenju sa pojmom komfora, ljudima lakše da opišu osećaj diskomforta terminima kao što su bockanje, peckanje, svrab, hladno, toplo i sl. U tom smislu opšte prihvaćena teorija definiše komfor kao “odsustvo bola i diskomforta kao neutralnog stanja” [53]. Istraživanja u oblasti komfora odeće potencirala su neke bitne komponente komfora:

1. Komfor je usko povezan sa subjektivnom percepcijom različitih čulnih senzacija.
2. Komfor obuhvata mnoge aspekte čovekovih čula kao što su vizuelni (estetika), toplotni (hladnoća i toplota), taktilni (hrapavost, mekoća i elastičnost) i bol (peckanje i svrab).
3. Subjektivna percepcija podrazumeva psihološke procese u kojima se relevantne čulne senzacije formulišu, kombinuju i definišu na osnovu stečenih iskustava i subjektivnih želja čime se formira opšti osećaj komfora.
4. Mehanička i toplotna interakcija sistema čovek-odeća je veoma važan aspekt komfora.
5. Čovekovo okruženje (fizičko, socijalno i kulturno) ima važnu ulogu u formiranju osećaja komfora.

S obzirom na nepobitnu multidimenzionalnost komfora, naučnici su definisali pojam komfora na različite načine imajući u vidu njegove različite aspekte. Prema holističkom konceptu koji je postavio Li [54], komfor je stanje višestruke interakcije fizičkih, fizioloških i psiholoških faktora. Slater [55] je definisao komfor kao “prijatno stanje fiziološke, psihološke i fizičke harmonije ljudskog bića i njegovog okruženja” i ukazao je na značajan uticaj okruženja na osećaj komfora identifikujući tri tipa komfora (fiziološki, psihološki i fizički). Fiziološki komfor se odnosi na sposobnost čovekovog tela da “sačuva” život, psihološki komfor tiče se umne sposobnosti zadovoljenja emotivnih i estetskih potreba, dok fizički komfor podrazumeva efekte okruženja na ljudski organizam. Behera [56] je komfor odeće svrstao u tri grupe: psihološki, taktilni i toplotni komfor. Psihološki komfor je usko povezan sa modnim trendovima i pojmom društvene prihvatljivosti uz neznatni uticaj svojstava tekstilnog materijala. Taktilni komfor je uslovljen površinskim i mehaničkim svojstvima tekstilnog materijala. Sposobnost odeće da održi temperaturu kože putem prenosa toplote i znoja determiniše toplotni komfor. Saville [57] je komfor definisao kao termofiziološki komfor kojim se definiše sposobnost materijala da sačuva toplotnu ravnotežu tela tokom različitih nivoa aktivnosti i kao komfor senzacija koje se tiču mehaničkog kontakta kože i odeće, mekoće tekstilnog materijala i njegove sklonosti ka iritacijama i “lepljenju” za kožu kad se skvasi. Veliki

broj istraživanja komfora koja su se zasnivala na raznovrsnim testovima nošenja odeće potencirala su tri latentne nezavisne dimenzije komfora odeće [52, 58-62]:

1. Komfor toplote - vlage se odnosi na senzacije toplote i vlage kao što su lepljiv, vruć, vlažan, hladan, upijajući. Ovaj aspekt komfora povezuje toplotne receptore kože i sposobnost tekstilnog materijala da prenosi toplotu i vlagu i propušta vazduh.
2. Komfor dodira koji se tiče senzacija proisteklih iz direktnih mehaničkih interakcija kože i tekstilnog materijala kao što su bockav, grub (rapav), koji grebe, svrbi, i sl. Ove senzacije uslovljene su uglavnom površinskim svojstvima tekstilnog materijala uključujući prečnik štrčećih krajeva vlakana i njihovu gustinu, a identifikuju se receptorima bola u koži.
3. Komfor pritiska obuhvata mnoge kompleksne senzacije kao što su mek, elastičan, rastresit, težak, lagan i sl. Pored receptora pritiska u koži i kombinacija nekoliko pojedinačnih čulnih senzacija može izazvati nastajanje ove kompleksne senzacije. Mehanička svojstva, gustina i opip tekstilnog materijala kao i sposobnost prijanjanja uz telo odevnog predmeta uglavnom su odgovorni za formiranje ove dimenzije, odnosno aspekta komfora.

Najširu definiciju komfora dao je Hatch [53], definišući pojam komfora sa četiri aspekata:

1. Termofiziološki komfor koji se odnosi na prenos toplote i vlage kroz tekstilni materijal i izučava sposobnost tekstilnog materijala da zadrži toplotnu ravnotežu čovekovog tela.
2. Taktilni komfor koji je uslovljen različitim nervnim senzacijama nastalim prilikom kontakta tekstilnog materijala i kože.
3. Komfor koji se tiče pokreta čovekovog tela i razmatra sposobnost tekstilnih materijala da omogućе nesmetane pokrete uz istovremeno zadržavanje željenog oblika odevnog predmeta.
4. Estetski komfor koji podrazumeva subjektivnu percepciju odeće čulima vida, sluha, mirisa i dodira.

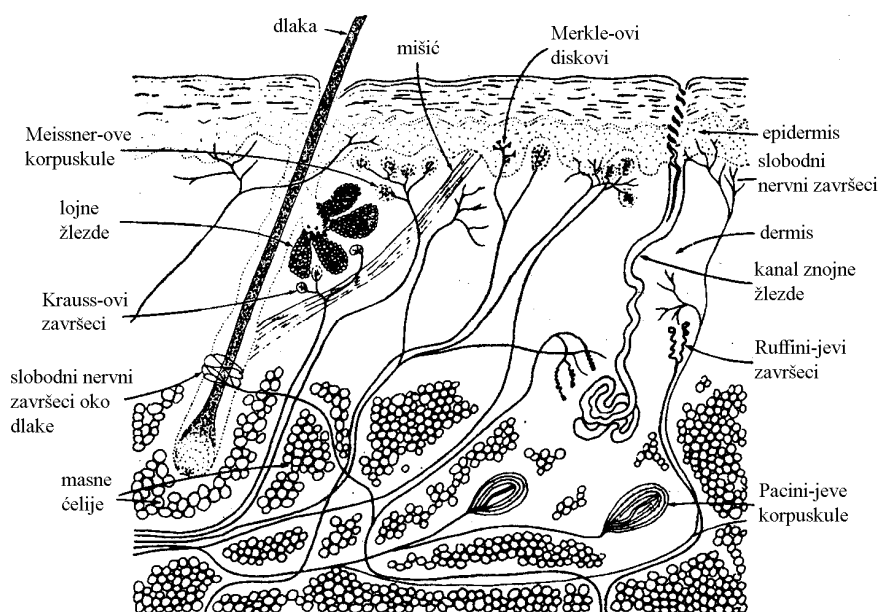
2.2 Neurofiziološka osnova percepcije komfora

Čovekovo telo, odeća i okruženje su u stalnoj međusobnoj interakciji određujući nivo komfora u svakom trenutku. Kao rezultat interakcije ova tri elementa nastaje čulna

senzacija sačinjena od informacija dobijenih putem čula vida, dodira, kinestezije, sluha, ukusa i mirisa. Očigledno da je vizuelna senzacija najvažniji činilac esetskog komfora. Kinestezija predstavlja percepciju pokreta tela putem nervnih završetaka koji registruju istežanje i kontrakcije mišića. Prijatan miris odeće povoljno utiče na percepciju komfora za razliku od neprijatnog mirisa koji narušava osećaj komfornog iz čega proizilazi da miris može predstavljati bitan faktor komfora. Zvuk koji odeća povremeno može da proizvede takođe utiče na čovekovu percepciju komfora. Na primer, zvuk električnog pražnjenja nastalog prilikom upotrebe tekstilnog materijala od sintetičkih vlakana pojačava osećaj nekomfornog. Ukus je verovatno najmanje važan faktor komfora odeće.

S obzirom da odeća pokriva najveći deo čovekovog tela u svakodnevnom životu, tekstilni materijal je u dinamičkom kontaktu sa velikom površinom kože izazivajući nastajanje različitih mehaničkih, toplotnih, hemijskih ili električnih impulsa. Stoga se dodir, definisan kao mnoštvo senzacija izazvanih različitim spoljnim stimulansima kože, može smatrati glavnim činiocem taktilnog komfora utičući istovremeno i na ostale aspekte komfora odeće. Koja će senzacija biti izazvana zavisi prvenstveno od toga koji će čulni receptor biti iritiran prilikom kontakta tekstilnog materijala i kože.

Za čovekovu kožu se može reći da je jedan veliki čulni organ čija je osnovna funkcija da “komunicira” sa čovekovim okruženjem. Složena struktura čovekove kože prikazana je na slici 3 [63]. Dva osnovna sloja - epidermis i dermis sačinjavaju kožu.



Slika 3. Struktura čovekove kože

Epidermis predstavlja spoljni sloj koji se sastoji od nekoliko slojeva mrtvih ćelija smeštenih iznad jednoslojnih živih ćelija. Dermis je unutrašnji sloj u kome se nalazi većina nervnih završetaka u koži, znojne žlezde, folikule dlačica i fina mišićna vlakna. Ispod ovog sloja nalazi se vezivno tkivo i masne ćelije. Na slici 3 su prikazani neki od nervnih završetaka u koži, koji mogu biti korpuskularni ili slobodni nervni završeci. Korpuskularni nervni završeci snabdeveni su malim zadebljanjima na dendritima, pri čemu se razlikuju Vater-Pacini-jeve lamelarne korpuskule, Meissner-ove korpuskule, Merkle-ovi diskovi i Kraus-ovi i Ruffini-jevi završeci. Slobodni nervni završeci u potkožnom tkivu u vezi su sa sensorima bola dok oni u epidermisu mogu uticati na senzore hladnoće i bola [52, 63, 64]. Međusobni dodir između čovekove kože i tekstilnog materijala okarakterisan je velikom dodirnom površinom sa regionima različite osetljivosti. Takođe, dodir se ostvaruje u uslovima česte promene fizioloških parametara čovekovog organizma kao što su temperatura kože, brzina znojenja i količina vlage na površini kože, čime se stvaraju novi toplotni impulsi. S obzirom da je telo često u pokretu, tekstilni materijal može da klizi niz kožu ili suprotno, uz česte promene pravca pomeranja materijala, čime se stalno indukuju novi mehanički impulsi. Generalno, različiti eksterni impulsi nastaju kao rezultat mehaničkog kontakta sa spoljnim objektima, promene temperature usled zagrevanja ili oslobađanja toplote čovekovog tela ili usled traumatskih povreda i hemijskih iritacija. Čulni receptori smešteni u koži transformišu impulse u senzacije koje se odnose na toplotu, hladnoću, opip, bol, kao i kompleksne senzacije nastale sintezom različitih impulsa. Ovi receptori se kategorišu kao mehanoreceptori, termoreceptori i noniceptori.

U mehanoreceptore se ubrajaju Pacini-jeve i Meissner-ove korpuskule i Kraus-ovi i Ruffini-jevi završeci koji su prožeti tzv. brzim mijelinskim vlaknima (mijelin je bela masna supstanca u nervnom omotaču), kao i folikule dlačica i Merkle-ovi diskovi sa karakterističnom i dobro organizovanom morfoloijom. Za mehanoreceptore je karakteristično da svaki od njih reaguje na određeni parametar mehaničkog nadražaja. Tako, Pacinijeve korpuskule su osetljive na pritisak, zatezanje, vibracije i elektro šok, a Meissnerove korpuskule su receptori dodira [52, 64].

Termoreceptori detektuju temperaturu kože, pri čemu reaguju kako na konstantnu temperaturu tako i na njene fluktuacije (dT/dt). U uslovima konstantne temperature ovi receptori emituju impulse kontinuirano identifikujući temperaturu kože. U slučajevima

kada dođe do fluktuacije temperature, termoreceptori se ponašaju dvojako tj. kao receptori hladnoće i kao receptori toplote. Opseg osetljivosti receptora hladnoće je u intervalu temperature 25 - 30 °C i oni reaguju na dinamičko opadanje temperature. Porast temperature registruju receptori toplote čija se osetljivost kreće u intervalu 39 - 40 °C [52].

Noniceptori identifikuju impulse koji su neprijatni i mogu štetiti čovekovom organizmu kao što su ekstremno zagrevanje kože (opekotina), jak pritisak (kontuzija) ili kontakt sa oštrim predmetom ili objektom koji bi na drugi način oštetio kožu. Uloga ovih receptora je da upozore čovekov organizam kako bi na vreme preduzeo akcije u cilju sopstvene zaštite. Razlikuju se dva osnovna tipa noniceptora. Vlakna sa velikim sadržajem mijelina (A vlakna), koja reagiju brzinom od 10 do 40 m s⁻¹, uspešno detektuju mehaničke impulse. Drugu grupu noniceptora čine mala A ili C vlakna sa malim sadržajem ili bez mijelina koja su osetljiva na različite impulse: visoka (iznad 42° C) ili niska (ispod 10° C) temperatura, povrede usled dejstva hemikalija i mehanički impulsi jakog intenziteta [52].

Informacije prikupljene od različitih receptora prosleđuju se različitim tipovima nervnih vlakana, kojih ima ukupno 31 par, kičmenoj moždini odnosno mozgu. Nervna vlakna se međusobno razlikuju prema vrsti impulsa koji ih pobuđuje, načinu kako reaguju na stimulans (sporo ili brzo adaptirajući) i prema opažajnom polju. Opažajno polje odnosi se na region kože koji, kada se stimuliše, pobuđuje određeno nervno vlakno [63]. Na osnovu nervnih impulsa nastalih prilikom interakcije kože i odeće u mozgu se formiraju senzacije na osnovu kojih se stimulišu određeni procesi u čovekovom organizmu. U zavisnosti od vrste i svojstava odeće indukovane senzacije mogu biti prijatne ili neprijatne. Na osnovu senzacija nastalih od impulsa indukovanih receptorima u koži i čitavog niza drugih faktora čovek formira kompleksnu percepciju komfora odeće.

3. TERMOFIZIOLOŠKI ASPEKT KOMFORA

Termoregulacija ili održavanje ravnotežne temperature tela ($36 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$) je od izuzetnog značaja za normalno funkcionisanje ljudskog organizma. Čovekovim fiziološkim sistemom i mehanizmom ponašanja reguliše se toplota njegovog tela. Mehanizam ponašanja uslovljen je svesnom senzacijom toplote i emotivnom percepcijom toplotnog komfora na osnovu kojih čovek svesno i dobrovoljno preduzima akcije u pravcu obezbeđivanja adekvatnog toplotnog statusa organizma [52, 65]. Kao primer može se navesti zaklanjanje od direktnog uticaja sunca, oblačenje dodatnih odevnih predmeta kao zaštita od hladnoće, kiše, vetra i slične aktivnosti. Fiziološki sistem se može definisati kao automatski kontrolni sistem sačinjen od spontanijih procesa, koji regulišu toplotnu ravnotežu tela, kao što su znojenje, drhtanje, širenje (vazodilatacija) i skupljanje (vazokonstrukcija) krvnih sudova [52, 65]. Indukovani impulsi se od termoreceptora prosleđuju centralnom nervnom sistemu koji obezbeđuje odziv čovekovog organizma u pravcu generisanja ili oslobađanja toplote.

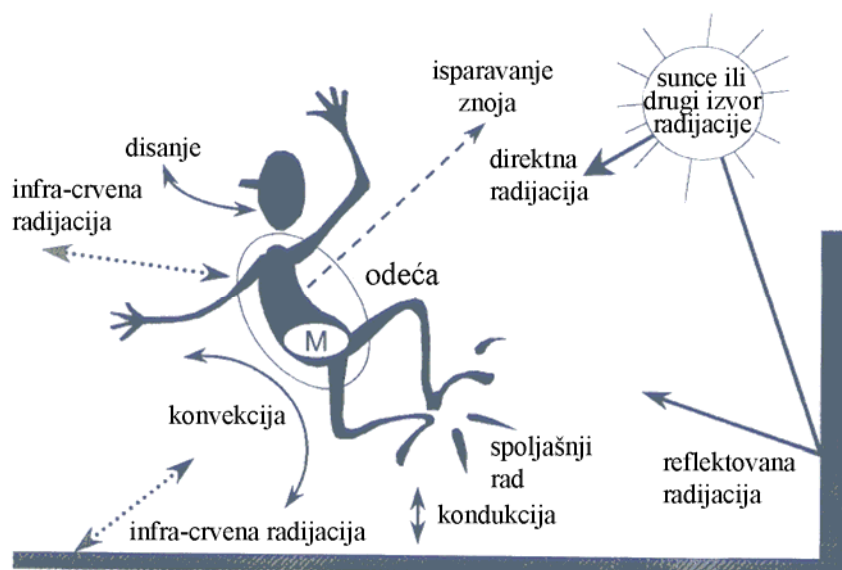
Hemijsku energiju obezbeđenu ishranom organizam prevodi metaboličkim procesom u toplotnu energiju. Pri tome, količina generisane toplote uslovljena je stepenom aktivnosti organizma. U stanju mirovanja dovoljna je količina toplote koja zadovoljava osnovne funkcije kao što su disanje i rad srca neophodan za snabdevanje ćelija organizma kiseonikom i hranljivim materijama. U uslovima fizičkog napora rastu potrebe aktivnih mišića za kiseonikom što izaziva ubrzanje metabolizma. Prilikom sagorevanja hranljivih materija najveći deo toplotne energije se utroši na rad mišića, dok se jedan manji deo oslobodi van tela kao spoljašnji rad (W). Brzina kojom se toplotna energija generiše u organizmu definiše se kao brzina metabolizma (M) izražena u W m^{-2} , budući da se prilikom izračunavanja u obzir uzima površina tela koja je u direktnoj vezi sa procesom razmene toplote tela sa okruženjem. Usvojeno je da je za muškarca mase 70 kg i površine tela $1,8 \text{ m}^2$ bazna brzina metabolizma 44 W m^{-2} , dok za ženu od 60 kg sa površinom tela od $1,6 \text{ m}^2$ bazna brzina metabolizma iznosi 41 W m^{-2} [66, 67]. Brzina metabolizma može imati vrednosti u rasponu od 40 do 800 W m^{-2} [65] u zavisnosti od starosti, pola, konstitucije, fizičke kondicije kao i od nivoa aktivnosti. Utvrđeno je da brzina metabolizma predstavlja četverostruku vrednost rada koji čovek vrši uključujući i

vrednost baznog metabolizma [68]. U tabeli 2 su date neke vrednosti brzine metabolizma za prosečnog muškarca u zavisnosti od nivoa aktivnosti [67].

Tabela 2. Klasifikacija brzine metabolizma prema nivou fizičke aktivnosti

Nivo aktivnosti	Brzina metabolizma Wm^{-2}	Primer
Mirovanje	65	Odmor, ležanje
Nizak	100	Mirno sedenje, stajanje
Srednji	165	Angažovanost ruku
Visok	230	Intenzivan pokret (rad)
Veoma visok	290	Maksimalna fizička aktivnost

Kako bi se održala termička ravnoteža organizma neophodno je da toplota generisana metaboličkim procesom bude u ravnoteži sa energijom koju telo odaje okruženju. Razmena toplote vrši se putem nekoliko različitih mehanizama, kao što su kondukcija (provođenje toplote), konvekcija (prelaženje toplote), radijacija (zračenje toplote), isparavanje i disanje, kako je ilustrovano na slici 4 [69].



Slika 4. Razmena toplote čovekovog organizma sa okruženjem

Smatra se da se od ukupno generisane toplote organizma 90 % oslobodi kroz kožu kondukcijom, konvekcijom, radijacijom i isparavanjem znoja. Preostalih 10 % utroši se prilikom zagrevanja i vlaženja udahnutog vazduha kao i na ostale telesne sekrecije uključujući i znoj koji nije ispario već se sliva niz telo [68].

U procesu razmene energije tela sa okruženjem kondukcija (C_k) ima neznatnu ulogu. Mnogo važniji mehanizam oslobađanja toplote je konvekcija (C). Temperatura kože je najčešće viša od temperature vazduha iz okruženja zbog čega se toplota prenosi sa kože na vazduh iz neposredne okoline. U uslovima kada postoji razlika u temperaturama površine čovekovog tela i nekog objekta iz okruženja dolazi do međusobne razmene toplote radijacijom (R), što može biti od suštinskog značaja u procesu razmene toplote tela sa okolinom. Disanjem se takođe oslobađa jedan deo toplote budući da je vazduh koji se udiše najčešće hladniji i suvlji od unutrašnje površine pluća. Toplotu oslobođenu disanjem čine svesno oslobođena toplota (C_{res}) i tzv. latentna toplota (E_{res}) [70]. Navedeni fundamentalni termodinamički proces razmene energije tela sa okruženjem može se opisati opštom jednačinom energetskog bilansa [52, 70]:

$$M - W = C + R + E_{sk} + (C_{res} + E_{res}) + C_k, \text{ [Wm}^{-2}\text{].}$$

(1)

Jednačina 1 uključuje površinu čovekovog tela budući da je u direktnoj vezi sa razmenom toplote između tela i okruženja. S obzirom da spoljašnji rad (W) čini samo manji deo (0 – 20 %) ukupno generisane toplote, najčešće se zanemaruje [67].

Očigledno je da je stanje termičke ravnoteže čovekovog tela, kao otvorenog termodinamičkog sistema, uslovljeno interakcijom procesa metabolizma i okruženja, kao i razmenom toplote i mase između tela i okruženja. Relevantni parametri okruženja su temperatura, vlažnost vazduha i brzina vetra. Tri relevantne temperature (temperatura vazduha, temperatura zračenja i temperature okolnih površina) uslovljavaju termodinamički proces razmene toplote tela sa okruženjem. Temperatura vazduha determiniše obim razmene toplote konvekcijom tj. interakcijom kože i vazduha iz neposredne okoline kao i udisanjem vazduha. Sa porastom temperature vazduha telo otpušta manju količinu toplote, a ukoliko temperatura vazduha premaši temperaturu kože nastupa obrnut proces. Temperatura zračenja, definisana kao srednja temperatura svih zidova i drugih objekata u čovekovom okruženju, utiče na nivo razmene energije zračenja između kože i okruženja. Na primer, u uslovima rada na direktnom suncu ili u čeličanama, temperatura zračenja lako premašuje temperaturu kože što uzrokuje zračenje u smeru od okruženja ka čovekovom telu. Pored rizika od opekotina ili promrzlina, temperatura površina koje su u neposrednom kontaktu sa čovekovim telom određuju i intenzitet

razmene toplote kondukcijom. Osim temperature površine, za mehanizam razmene toplote kondukcijom relevantni parametri su i toplotna provodljivost i toplotni kapacitet objekta u kontaktu sa telom [69, 71].

Smatra se da se znojenjem čovek u najvećoj meri oslobađa viška toplote. Sa druge strane, istraživanja su pokazala da vlažnost ili prisutan znoj na površini kože u značajnoj meri determiniše toplotni komfor, iako neurofiziološka osnova percepcije vlage nije potpuno razjašnjena. Generalno mišljenje je da u čovekovom organizmu ne postoje receptori vlage već da je osećaj vlage rezultat izvesnih indirektnih mehanizama [52, 72]. Vlažnost kože (w) se definiše kao odnos aktuelne brzine isparavanja znoja i maksimalno moguće brzine isparavanja u datim uslovima okruženja. Usled difuzije vlage kroz kožu minimalna vlažnost kože iznosi 0,06 [67]. Najčešće je koncentracija vlage na koži viša u poređenju sa količinom vlage u vazduhu čime je omogućeno iznojavanje kože. Nasuprot tome, za ljudski organizam su veoma stresne situacije kada je gradijent vlage obrnut tj. kada je vlažnost vazduha veća u poređenju sa vlažnošću kože. U takvim situacijama usled nemogućnosti da se uspostavi termička ravnoteža nagomilava se energija u organizmu i otuda raste temperatura tela i kože i povećava se vlažnost kože, drugim rečima, raste osećaj diskomfora. Različiti izvori su ukazali da se osećaj komfora gubi kada vlažnost kože premaši vrednost 0,3. Takođe je ustanovljena relacija koja dovodi u vezu vlažnost kože (w) i brzinu metabolizma (M) (Wm^{-2}) i predstavlja uslov za obezbeđivanje zahteva komfora:

$$w < 0,0012M + 0,15 . \quad (2)$$

Poznato je da se pri istoj relativnoj vlažnosti vazduha, sadržaj vlage u vazduhu menja sa promenom temperature vazduha. Zbog toga je sadržaj vlage u vazduhu, a ne relativna vlažnost vazduha, izuzetno važan parametar termofiziološkog stanja organizma. Pri tome, kada je temperatura vazduha niža od temperature kože znoj će moći da isparava sa površine kože bez obzira na vrednost relativne vlažnosti vazduha [69, 73].

Brzina vetra ili intenzitet cirkulacije vazduha može u velikoj meri da odredi termofiziološko stanje čovekovog organizma s obzirom da uslovljava razmenu energije kako konvekcijom tako i znojenjem. Istraživanja su pokazala da je brzina prenosa energije konvekcijom i isparavanjem znoja u linearnoj zavisnosti od kvadratnog korena brzine strujanja vazduha [68]. Takođe je utvrđeno je da je termička stabilnost organizma obrnuto

proporcionalna brzini cirkulacije vazduha [74]. Naime, sa porastom brzine vetra raste i intenzitet razmene toplote čovekovog tela sa okolinom. Tako, u prisustvu vetra u hladnom okruženju telo će se brže hladiti a u toplom okruženju brže će se ugrijati.

Kombinacija navedenih klimatskih faktora na kompleksan način definiše fiziološki i psihološki odziv čovekovog organizma ili drugim rečima, uslovljava osećaj toplote i doživljaj komfora. Promenom jednog od faktora narušava se termička ravnoteža organizma, čime se aktiviraju kontrolni procesi termoregulacije tj. vazomotorna regulacija (širenje ili skupljanje krvnih sudova) i znojenje, kako bi se promenio intenzitet razmene energije i mase sa okruženjem [75]. Pored navedenih spoljašnjih parametara toplotni komfor je značajno uslovljen brzinom metabolizma kao unutrašnjim parametrom organizma. Kao što je već ranije navedeno (Tabela 1), brzina metabolizma je pre svega uslovljena fizičkom aktivnošću. Sa druge strane, sa ubrzanjem metabolizma smanjuje se gubitak toplote konvekcijom (C) i radijacijom (R) usled smanjenja temperature kože, a raste gubitak energije isparavanjem (E_{sk}) zbog bržeg znojenja kože [70]. Prilikom pojačane fizičke aktivnosti, ukoliko se u organizmu generiše velika količina toplote, dolazi do porasta temperature tela i pojačanog znojenja čime se pogoršava osećaj komfora. Takođe, u situacijama nedovoljno generisane unutrašnje energije tela, cirkulacija krvi u ekstremitetima se usporava, dolazi do lokalizovanog hlađenja kože i javlja se osećaj diskomforta. Očigledno da čovekov metabolizam može lako da naruši termičku ravnotežu tela i okruženja variranjem temperature i vlažnosti tela, ali sa druge strane, mehanizmima termoregulacije čovek održava neophodnu termodinamičku ravnotežu tj. obezbeđuje sebi toplotni komfor. Na primer, u uslovima kada telo počinje da se smrzava drhtanjem može značajno da se ubrza metabolizam kako bi se generisala potrebna toplota.

Reakcija organizma na temperaturne uslove okruženja (temperatura tela i kože, znojenje, drhtanje, vazodilatacija i vazokonstrikcija), u značajnoj meri je uslovljena fiziološkim razlikama između pojedinaca kao što su: bazna brzina metabolizma za određeni tip i masu čovekovog organizma, toplotna provodljivost masti u zavisnosti od gojaznosti organizma, brzina krvotoka i sposobnost absorpcije ultravioletnog, vidljivog i infracrvenog spektra zračenja u zavisnosti od pigmentacije kože. Najvažnija termofiziološka različitost potiče od različite količine masti u organizmu čime je uslovljena brzina krvotoka kao i prenos toplote kondukcijom. Poznato je da različita tkiva u organizmu zahtevaju različitu količinu krvi, npr. masti zahtevaju manje krvi u poređenju sa mišićima. Takođe, toplotna provodljivost masti je upola manja od toplotne

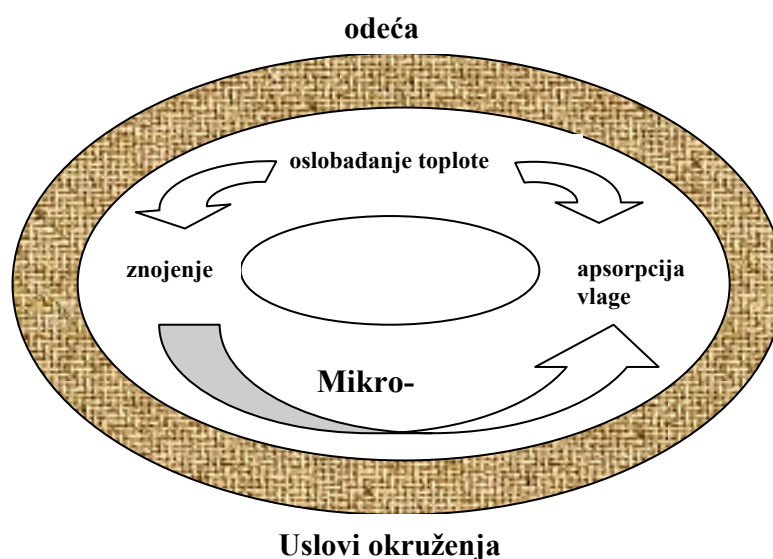
provodljivosti mišića [76]. Kontrolom brzine krvotoka vazomotornom akcijom čovekov organizam reguliše telesnu temperaturu kroz povećano ili smanjeno odavanje toplote okruženju. Istraživanja su pokazala da je zapremina krvi po jedinici telesne mase kod gojaznih osoba manja od prosečne vrednosti dok je kod vitkih visokih ljudi viša od prosečne vrednosti [77]. Pored navedenih postoji čitav niz drugih faktora koji mogu da utiču na toplotni odziv organizma kao što su dužina krvnih sudova u ekstremitetima, antropološke karakteristike kako različitih ljudskih rasa tako i karakteristike građe tela specifične za muški i ženski pol, fizička kondicija, menstrualni ciklus kod žena i slično.

3.1 Toplotni komfor odeće

U svakodnevnom životu čovekov organizam se retko nalazi u stacionarnom ravnotežnom stanju sa okruženjem, pre svega zbog stalne promene sopstvene fizičke aktivnosti kao i ranije navedenih klimatskih uslova. Prema standardu (ISO-EN 7730) [78] toplotni komfor se definiše kao stanje uma koje ispoljava zadovoljstvo u pogledu temperaturnih karakteristika okruženja. Interakcijom tela sa okruženjem (vazduhom ili raznim objektima) potkožni termoreceptori obezbeđuju osećaj toplote na osnovu koga čovek sudi o toplotnom statusu okruženja. Svesnim postupcima ili termofiziološkim mehanizmima čovek održava toplotnu ravnotežu sa okruženjem, doživljava neutralni osećaj toplote ili drugim rečima, obezbeđuje sebi toplotni komfor. Osećaj toplotnog komfora ili diskomfora, nastao integracijom potkožnih i internih termoreceptora, odražava uopšteno stanje čovekovog termoregulacionog sistema. Za određenu brzinu metabolizma, ostale unutrašnje fiziološke parametre čovekovog organizma i klimatske uslove okruženja, termoneutralna zona ili zona toplotnog komfora ležace u intervalu ambijentalne temperature u kome nisu potrebne aktivnosti čovekovog termoregulacionog sistema.

Vršeci svoju osnovnu funkciju odeća je u stalnom kontaktu i interakciji sa čovekovim telom, posebno sa njegovim površinskim slojem, tj. kožom, štiteći ga od ekstremnih spoljnih uticaja. Pri tome, odeća predstavlja izvesnu barijeru slobodnoj razmeni energije i mase čoveka sa njegovim okruženjem, tako da svojstva odeće predstavljaju značajan parametar čovekovog termofiziološkog komfora. Pored činjenice da prisustvo odeće u interakciji tela sa okolinom dovodi do formiranja kompleksnog dinamičkog sistema hidro-termičke razmene, jednako je važna činjenica da sloj ili slojevi

tekstilnog materijala formiraju mikro-klimu ili mikro-okruženje, koje je u neposrednom kontaktu sa kožom i od izuzetne je važnosti za čovekov doživljaj komfora (Slika 5) [79]. Imajući u vidu termofiziološki aspekt komfora moglo bi se reći da je osnovna funkcija odeće da obezbedi čovekovu termičku ravnotežu sa neposrednim okruženjem pri različitim klimatskim uslovima, pri čemu su ključni parametri odeće njena sposobnost prenosa toplote i vlage.



Slika 5. Toplotni komfor odeće

Efekat ovih parametara odeće na hidro-termičku razmenu tela i okruženja ilustrovan je sledećim relacijama [80]:

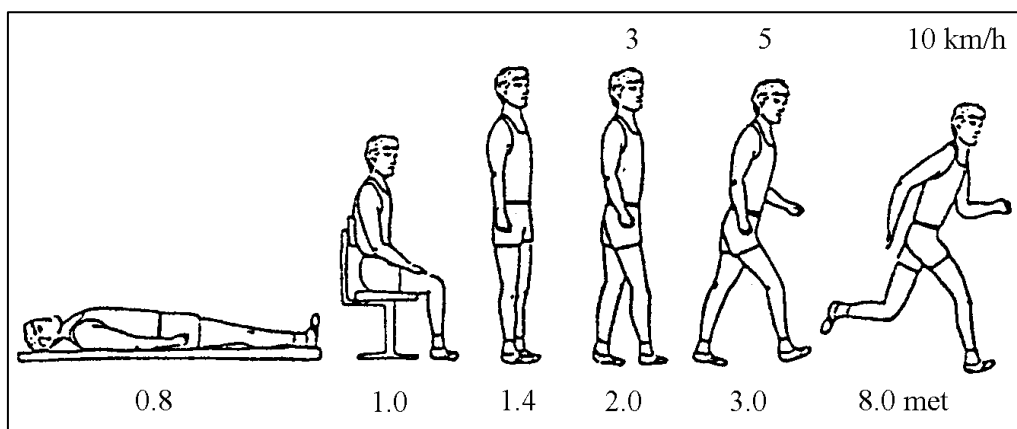
$$H_d = \frac{A \cdot (T_{sk} - T_a)}{R_{T(tot)}} \quad (3)$$

gde je H_d (W) - gubitak toplote kondukcijom, konvekcijom i radijacijom, A (m^2) – površina tela, T_{sk} ($^{\circ}C$) - temperatura kože, T_a ($^{\circ}C$) – temperatura vazduha i $R_{T(tot)}$ ($m^2 \cdot ^{\circ}C \cdot W^{-1}$) – ukupna termička otpornost odeće uključujući površinski sloj vazduha.

$$H_e = \frac{A(P_{sk} - P_a)}{R_{ET(tot)}} \quad (4)$$

gde je H_e (W) – gubitak toplote isparavanjem znoja (latetni gubitak toplote), A (m^2) – površina tela, P_{sk} (kPa) – parcijalni pritisak vodene pare na temperaturi površine kože i P_a (kPa) – parcijalni pritisak vodene pare na temperaturi vazduha iznad kože i $R_{ET(tot)}$ ($m^2 \cdot kPa \cdot W^{-1}$) – ukupna termička otpornost odeće i površinskog sloja vazduha isparavanju vlage.

Iako je parametar – ukupna termička otpornost odeće i površinskog sloja vazduha ($R_{T(tot)}$) ($m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$) ili ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$) prihvaćen SI sistemom jedinica, u upotrebi su i “Met” i “clo” jedinice. 1 Met predstavlja brzinu metabolizma čoveka u sedećem položaju uz zadovoljavajuće uslove toplotnog komfora i ekvivalentan je vrednosti od $58,2 \text{ W m}^{-2}$ [80]. Gagge je definisao 1 clo kao izolacionu sposobnost odeće (I_{cl}) dovoljnu da obezbedi komfor osobi koja miruje u normalno provetrenoj prostoriji (cirkulacija vazduha $0,1 \text{ m s}^{-1}$) na temperaturi vazduha $21 \text{ }^\circ C$ i pri relativnoj vlažnosti vazduha nižoj od 50 % [81]. Preračunato u SI sistem jedinica 1 clo ima vrednost $0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$. Slike 6 i 7 ilustruju neke vrednosti jedinica Met i clo [52].



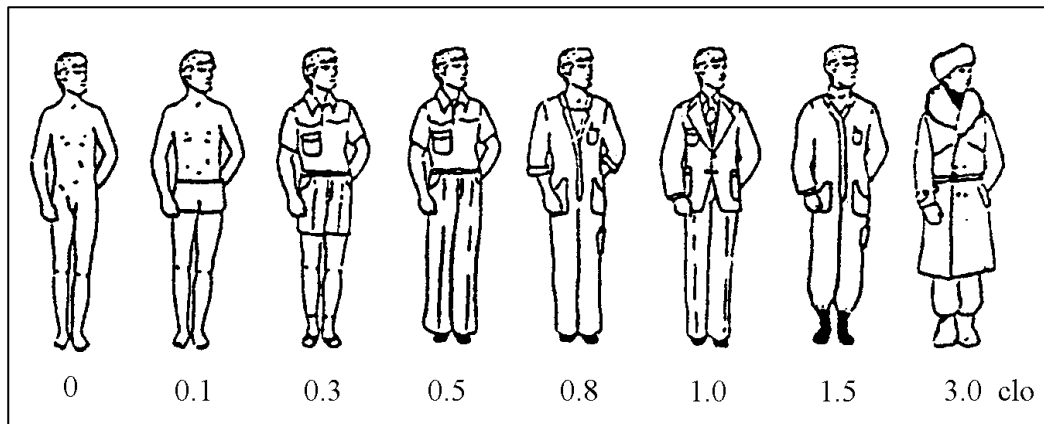
Slika 6. Brzina metabolizma u funkciji fizičke aktivnosti

Termo-izolaciona sposobnost odevnog predmeta (I_{clu}) (Clo) se može izračunati na osnovu površine tela koju pokriva (A_{cov}) (%):

$$I_{clu} = 0,61 \times 10^{-2} \cdot A_{cov} \quad (5)$$

ili ukoliko je poznata debljina tekstilnog materijala (H_{fab}) (m)

$$I_{clu} = 0,43 \times 10^{-2} \cdot A_{cov} + 1,4 \cdot H_{fab} \cdot A_{cov} \quad (6)$$



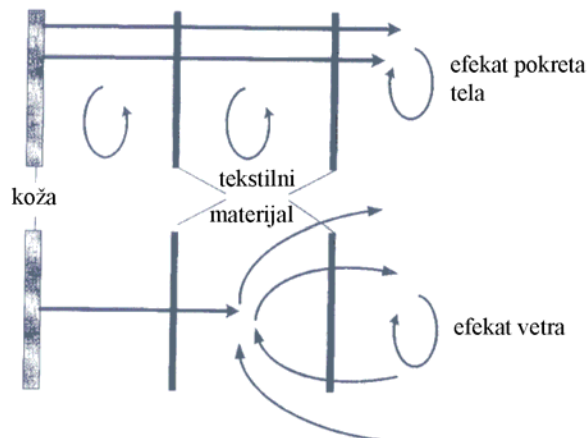
Slika 7. Toplotna izolaciona svojstva tipičnih odevnih predmeta

U literaturi se mogu naći podaci o termo-izolacionoj sposobnosti za pojedine odevne predmete (I_{clu}) kao i za komplete odeće (I_{cl}) kada je kombinovano više slojeva tekstilnih materijala. Kod manje preciznih proračuna, kada se pri razmeni toplote sa okruženjem ne uzima u obzir povećanje površine tela izazvano slojevima odeće, ukupna izolaciona sposobnost predstavlja zbir vrednosti za pojedine slojeve odeće. Istraživanja su pokazala da se ovakvi proračuni mogu primeniti kod tekstilnih materijala glatkih površina i u slučajevima kada dizajn odeće omogućava direktno dodirivanje slojeva odeće, čime se znatno redukuju slojevi nepokretnog vazduha oko površine materijala. Kada su individualni slojevi odeće okarakterisani grubom, neravnomernom površinom i u slučajevima slabog prijanjanja odeće uz telo, slojevi vazduha prisutni oko i unutar kompleta mogu značajno da utiču na njegova termo-izolaciona svojstva, čija se prava vrednost može odrediti direktnim merenjem [69, 82]. Osim svojstava tekstilnog materijala i dizajna odevnog predmeta, termo-izolaciona svojstva odeće uslovljena su i pokretima tela i uslovima okruženja, posebno brzinom cirkulacije vazduha. Naime, strujanje vazduha remeti stacionarni sloj vazduha neposredno uz odevni predmet, a takođe može da utiče i na sloj vazduha ispod gornjeg sloja kompleta odeće u zavisnosti od njegove propustljivosti vazduha. Sa porastom brzine cirkulacije vazduha smanjuje se termo-izolaciona sposobnost odeće, pri čemu stepen redukcije opada sa porastom brzine vetra. Smanjenje termo-izolacione sposobnosti (F_1) može se izraziti relacijom [83]:

$$F_I = \frac{I_{st} - I_t}{I_t}, \quad (7)$$

gde je I_{st} ($\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$) - termo-izolaciona sposobnost odeće u odsustvu strujanja vazduha i I_t ($\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$) - termo-izolaciona sposobnost odeće u datom momentu.

Sličan efekat na termo-izolaciona svojstva odeće ispoljava i brzina kretanja čoveka. Ipak, pored kompresije (sabijanje) tekstilnog materijala, pokreti tela mogu povećati količinu vazduha između pojedinih slojeva kompleta odeće ili ubrzati razmenu energije sa okolinom, čime se utiče na spoljne slojeve vazduha ali i na sve slojeve vazduha unutar kompleta odeće, kako je ilustrovano na slici 8 [69]. Ustanovljeno je da kombinovano dejstvo vetra i pokreta tela može da izazove smanjenje izolacione sposobnosti površinskog sloja vazduha i do 80 % i ukupnu termo-izolacionu sposobnost odeće za 53 % [84].



Slika 8. Shematski prikaz uticaja pokreta tela i brzine vetra na spoljašnje i unutrašnje slojeve vazduha

Drugi važan parametar odeće, indeks propustljivosti vlage (i_m), predstavlja indikator ponašanja odeće prilikom gubitka toplote isparavanjem znoja sa površine kože i definisan je sledećom relacijom [85]:

$$i_m = \frac{I_{tot}}{L \cdot R_{ET(tot)}}, \quad (8)$$

gde je I_{tot} ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}\text{W}^{-1}$) – termo-izolaciona sposobnost odeće i okolnog sloja vazduha, $(R_{\text{ET}(\text{tot})})$ ($\text{m}^2 \text{ kPa}\text{W}^{-1}$) – ukupna termička otpornost odeće i površinskog sloja vazduha isparavanju vlage i L ($^\circ\text{C kPa}^{-1}$) – Luisov broj koji predstavlja odnos koeficijenta prenosa mase isparavanjem i koeficijenta prenosa toplote konvekcijom. Vrednost Luisovog broja neznatno se menja sa temperaturom, pritiskom i vlažnošću vazduha ali se za većinu primena može smatrati konstantom ($L = 16,65 \text{ } ^\circ\text{C kPa}^{-1}$) [86].

S obzirom da ukupna termička otpornost isparavanju vlage ($R_{\text{ET}(\text{tot})}$) raste sa porastom debljine kompleta odeće, indeks propustljivosti vlage (i_m) kao bezdimenziona veličina predstavlja pogodniji parametar za karakterisanje ponašanja odeće. Teoretski, indeks propustljivosti vlage odeće može se kretati u intervalu od 0 za potpuno propustljive materijale do 1 za totalno nepropustljive materijale. Realne vrednosti indeksa kreću se u rasponu od 0,5 (za neodevenu osobu) do 0,2, pri čemu je prosečna vrednost za većinu odeće 0,38. Veća vrednost indeksa propustljivosti vlage odeće ukazuje na bolju sposobnost prilagođavanja širokom opsegu uslova okruženja [66, 85]. Intenzitet čovekove aktivnosti tj. pokreti tela kao i brzina cirkulacije vazduha utiču na otpornost odeće difuziji vlage, pri čemu indeks propustljivosti vlage (i_m) raste sa porastom intenziteta čovekovih pokreta i brzine vetra [32, 87].

Transmitivnost znoja karakteriše odeću u pogledu prenosa toplote isparavanja. Ovaj parametar, definisan kao odnos indeksa propustljivosti vlage i termo-izolacione sposobnosti odeće (i_m/clo), predstavlja indikator maksimalno mogućeg stepena hlađenja postignutog znojenjem. Transmitivnost znoja omogućava poređenje kompleta odeće okarakterisanih različitim termo-izolacionim sposobnostima. Pri tome, veća transmitivnost znoja odeće ukazuje na njenu povećanu sposobnost da prenosi toplotu konvekcijom i difuzijom vlage [88].

Faktor efikasnosti (f_{pcl}) ukazuje na efikasnost hlađenja znojenjem površine kože obučenog čoveka. Izračunava se na osnovu koeficijenta prenosa toplote konvekcijom između površine čovekovog tela i neposrednog okruženja (α_c) ($\text{Wm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) i tzv. intra termo-izolacione sposobnosti (isključujući sloj vazduha oko) odeće (I_{cl}) (clo):

$$f_{\text{pcl}} = \frac{1}{(1 + 0,143 \cdot \alpha_c \cdot I_{\text{cl}})} \quad (9)$$

Vrednosti ovog faktora kreću se od 0 za potpuno nepropustljivu odeću do 1 za neodeveno telo. Uspostavljena je i relacija između indeksa propustljivosti vlage i faktora efikasnosti [80]:

$$f_{pcl} = \frac{i_m}{\alpha_c(I_a + I_{cl})}, \quad (10)$$

gde je I_a (clo) – izolaciona sposobnost graničnog sloja vazduha.

Prethodno navedeni parametri kompleta odeće određuju sposobnost prenosa toplotne energije kroz sistem tekstilnih materijala pri stacionarnim uslovima termofiziološke interakcije odevenog čoveka i njegovog okruženja. Odeća, kao komponenta stacionarnog termoregulacionog sistema, treba da omogući nesmetani prenos toplote metabolizma (M) kondukcijom, konvekcijom, radijacijom i isparavanjem prema relaciji koja predstavlja prvi kriterijum komfora odeće [89]:

$$M = H_d + H_e, \quad (11)$$

gde je H_d – prenos toplote kondukcijom, konvekcijom i radijacijom i H_e – prenos toplote isparavanjem.

Minimalna vrednost relacije 11 postiže se u odsustvu znoja ($H_e = 0$) a maksimalna u uslovima kada je površina potpuno pokrivena znojem. Interval između minimalne i maksimalne vrednosti predstavlja teorijsku oblast termoregulacije koja zadovoljava prvi kriterijum komfora. Prema literature, granica od 20 % pokrivenosti površine znojem smatra se drugim kriterijumom komfora [89]:

$$H_d < M < H_d + 0,2H_e. \quad (12)$$

Na osnovu ovih kriterijuma i opšteg bilansa održanja energije tela postavljen je model granice komfora i termoregulacije, koji pretpostavlja da se zona komfora može proširiti zahvaljujući gubitku toplote isparavanjem znoja [85]:

$$\text{Granica komfora} = \frac{6,46}{I_{clu}} [(T_{sk} - T_a) + 3,3 \cdot i_m (P_{sk} - P_a)] , \quad (13)$$

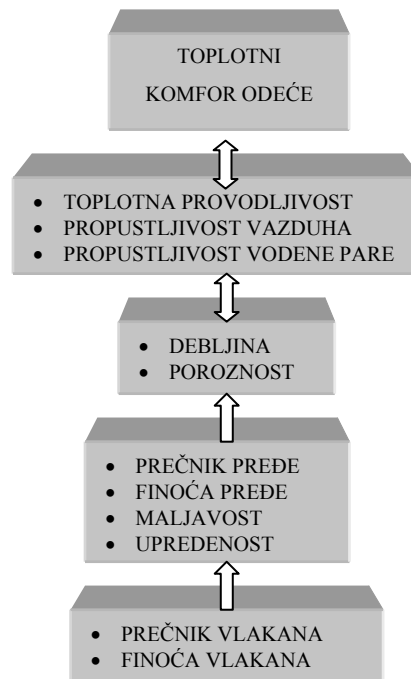
$$\text{Granica termoregulacije} = \frac{6,46}{I_{clu}} [(T_{sk} - T_a) + 16,5 \cdot i_m (P_{sk} - P_a)] , \quad (14)$$

gde je I_{clu} – termoizolaciona sposobnost tekstilnog materijala, i_m – indeks propustljivosti vlage, T_{sk} i T_a – temperatura kože i vazduha i P_{sk} i P_a – parcijalni pritisak vodene pare na temperaturi površine kože i na temperaturi sloja vazduha iznad kože.

Relacije 13 i 14 definišu interval u kome se, za proizvoljnu temperaturu kože i uslove okruženja, gubitkom toplote isparavanjem mogu kompenzovati promene brzine metabolizma kako bi se sačuvala termička ravnoteža. Alternativno, model definiše interval klimatskih uslova u kojima se, za odgovarajuću temperaturu kože i konstantnu brzinu metabolizma, može održati termička ravnoteža. Navedeni model termofiziološkog komfora obuhvatio je važne funkcionalne parametre od kojih je jedna grupa u funkciji svojstava odeće (I_{clu} , i_m), druga je u funkciji uslova okruženja (T_a , P_a , brzina vetra), a uključen je i parametar koji je uslovljen brzinom metabolizma (M).

3.1.1 Fizička svojstva tekstilnih materijala u funkciji toplotnog komfora

Ponašanje tekstilnog materijala u procesu termodinamičke razmene energije odevenog tela i okruženja uslovljeno je pre svega njegovom permeabilnošću ili sposobnošću da propušta toplotu, vlagu i vazduh. U tom smislu se može reći da su termička svojstva, propustljivost vazduha i vodene pare ključni parametri tekstilnih materijala sa aspekta toplotnog komfora [90, 91]. Izvestan broj autora ističe sposobnost prenosa vode kao četvrti važan parametar tekstilnog materijala koji determiniše toplotni komfor odevenog čoveka [92, 93]. Sposobnost tekstilnih materijala da prenose toplotu i propuštaju vazduh i vodenu paru uslovljena su, kako sirovinskim sastavom, tako i geometrijskom i zapreminskom konfiguracijom vlakana u pređi i u tkanini odnosno pletenini. Način pakovanja vlakana u pređu i konstrukcija tekstilnog materijala uzrokuju da i niz drugih fizičkih parametara može da utiče na doživljaj komfora, kako je ilustrovano na slici 9 [92].



Slika 9. Različiti parametri koji utiču na komfor odeće i njihova evolucija u toku procesa proizvodnje tekstilnog materijala

3.1.1.1 Termička svojstva tekstilnih materijala

U uslovima slabe (lagane) fizičke aktivnosti čoveka 75 % toplote oslobađa se sa površine kože kondukcijom, konvekcijom i radijacijom [94]. Stoga je izuzetno važna sposobnost prenosa toplote odevnih tekstilnih materijala u pravcu normalnom na površinu kože. Furijeova jednačina, koja važi za homogene materijale i prema kojoj za dati temperaturni gradijent (∇T), toplotni fluks (q) (Wm^{-2}) u pravcu normalnom na posmatranu površinu raste sa povećanjem toplotne provodljivosti materijala (λ) ($Wm^{-1}K^{-1}$), može se primeniti i za porozne vlaknaste materijale [95, 96]:

$$\vec{q} = -\lambda \vec{\nabla} T \quad . \quad (15)$$

S obzirom na poroznost tekstilnih materijala, fenomen prenosa toplote kroz tekstilni materijal obuhvata sva tri mehanizma - kondukciju, konvekciju i radijaciju.

Teorijski, koeficijent prolaza toplote (K) ($W m^{-2} \cdot K^{-1}$) se može predstaviti jednačinom [97]:

$$K = \frac{1}{\frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_r}}, \quad (16)$$

gde je d – debljina materijala, λ - toplotna provodljivost, α - koeficijent prelaza toplote konvekcijom i α_r – koeficijent prelaza toplote radijacijom.

Ipak, generalno je prihvaćeno da je kondukcija (prenos toplote provođenjem) dominantan mehanizam koji kod polimernih materijala, kao što su tekstilna vlakna, podrazumeva provođenje toplote sudarima molekula. Tako, model termičkog ponašanja tekstilnih materijala, koji je predložio Farnworth [98], pretpostavlja da se prenos toplote dešava kondukcijom isključivo u jednom pravcu i u smeru vlakana uz zanemarivanje konvekcije i radijacije. Kako je tekstilni materijal sačinjen od vlakana i nepokretnog vazduha zarobljenog unutar njegove strukture, toplotna provodljivost materijala (λ) određena je konduktivnošću vazduha (λ_a) i vlakana (λ_f):

$$\lambda = (1 - f) \cdot \lambda_a + f \cdot \lambda_f, \quad (17)$$

gde je f – udeo vlakana u zapremini materijala.

Uzimajući u obzir orijentaciju vlakana Bogaty [99] je precizirao model uvodeći dve komponente; jedna komponenta predstavlja vlakna paralelna toku toplote (x) a drugu čine vlakna koja su normalna na pravac prenosa toplote (y):

$$\lambda = x \cdot (V_f \cdot \lambda_f + V_a \cdot \lambda_a) + y \frac{\lambda_a \cdot \lambda_f}{V_a \cdot \lambda_f + V_f \cdot \lambda_a}, \quad (18)$$

gde su V_a i V_f – zapremina vazduha i vlakana u materijalu.

Holcombe [94] je u svoj model toplotne provodljivosti tekstilnog materijala, pored toplotne provodljivosti vlakana, uveo faktor pakovanja kao merilo gustine i strukture materijala:

$$\lambda = 172 \cdot (\text{faktor pakovanja}) + 0,043 \cdot (\text{toplotna provodljivost vlakana}) + 21,1 \quad (19)$$

Konstanta uz toplotnu provodljivost vlakana u relaciji 19 samo se neznatno razlikuje od toplotne provodljivosti vazduha ($0,026 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$). S obzirom da je toplotna provodljivost konvencionalnih vlakana 5 do 20 puta veća od vrednosti za vazduh, kako je prikazano u tabeli 3 [94], očigledno je da će toplotna provodljivost tekstilnog materijala biti veća sa porastom udela vlakana u zapremeni materijala ili upotrebom vlakana veće toplotne provodljivosti.

Tabela 3. Toplotna provodljivost nekih vlakana

Vrsta vlakna	Toplotna provodljivost, $\text{mW m}^{-1}\text{K}^{-1}$
Aramidna vlakna	130
Pamuk	461
Poliakrilonitrilna vlakna	200
Poliamidna vlakna	243
Poliestarska vlakna	141
Polipropilenska vlakna	117
Poliuretanska vlakna	126
Polivinilhloridna vlakna	167
Viskozni filament	289
Vuna	193

Na osnovu podataka o toplotnoj provodljivosti tekstilnih vlakana i vazduha moglo bi se zaključiti da vlakna u većoj meri utiču na termička svojstva tekstilnih materijala. Međutim, vazduh imobilizovan u strukturu materijala ponašajući se kao izolacioni medijum može značajno da utiče na termičko ponašanje tekstilnog materijala. Takođe, činjenica da se toplotna provodljivost vazduha poveća za $0,75 \text{ mW m}^{-1}\text{K}^{-1}$ pri porastu temperature za 10 K, u intervalu uobičajenih klimatskih uslova, takođe ukazuje na mogućnost modifikovanja termičkih svojstava tekstilnog materijala. Termičko ponašanje tekstilnih materijala pri stacionarnom prenosu toplote u praksi se najčešće opisuje parametrima kao što su toplotna provodljivost, toplotna otpornost i termička difuzivnost. Toplotna provodljivost (λ) ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) definiše količinu toplote (Q) (W) koja se u vremenu (t) (s) provede kroz određenu površinu (S) (m^2) tekstilnog materijala debljine (d) (m) pri temperaturnoj razlici (ΔT) (K) [100]:

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{S \cdot \tau \cdot \Delta T} \quad (20)$$

Termička otpornost provođenju toplote tekstilnog materijala (r) ($\text{m}^2 \text{KW}^{-1}$) je funkcija njegove aktuelne debljine (d) (m) i toplotne provodljivosti (λ) ($\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$) prema relaciji [101]:

$$r = \frac{d}{\lambda} \quad (21)$$

Termička difuzivnost (koeficijent temperaturene provodljivosti) (a) ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$) opisuje brzinu prenosa toplote kroz tekstilni materijal u zavisnosti od njegove strukture i definisana je relacijom [102]:

$$a = \frac{\lambda}{\delta \cdot c} \quad (22)$$

gde je δ - gustina tekstilnog materijala, c – specifični toplotni kapacitet materijala i λ - toplotna provodljivost.

Termička svojstva tekstilnih materijala uslovljena su mnogim faktorima počevši od morfoloških karakteristika vlakana, preko strukture i svojstava pređa do strukturnih i fizičkih karakteristika samih tekstilnih materijala. Toplotna provodljivost delimično kristalnih polimera, kakvi su polimeri u tekstilnim vlaknima, određena je njihovom molekularnom strukturom, gustinom, stepenom kristalizacije, stepenom orijentacije kristala i pokretljivošću molekulskih lanaca u amorfnim područjima [103-105]. S obzirom na dobro poznatu činjenicu da su konvencionalna tekstilna vlakna u osnovi polimeri relativno male gustine sa razvijenom kapilarnom strukturom, istraživanja su potvrdila da se čak i varijeteti iste vrste vlakana mogu međusobno razlikovati u pogledu termičkog ponašanja [96]. Takođe, svaka hemijska, biološka ili fizička obrada vlakana, kao što su na primer alkalna obrada pamučnih vlakana [106] ili kotonizacija vlakana konoplje [107], koja menja morfologiju vlakna izaziva nužno i promene u termičkom ponašanju.

S obzirom da je zapremina vazduha prisutnog u strukturi tekstilnog materijala, posebno pletenina, značajno veća od zapremine komponentnih vlakana, pokazalo se da je

osim termičkih karakteristika samih vlakana za termičko ponašanje tekstilnih materijala od izuzetne važnosti i način i gustina pakovanja vlakana u pređi. Gustina pakovanja vlakana u pređi (ϕ) definiše se kao zapreminski udeo vlakana na jedinicu dužine pređe prema relaciji [92]:

$$\phi = \frac{T_{\text{tex}}}{\rho \cdot S_{\text{pr}}} \quad , \quad (23)$$

gde je T_{tex} – finoća pređe, ρ - gustina vlakna i S_{pr} – poprečni presek pređe.

Idealna gustina pakovanja ($\phi = 0,907$) je kod štapel pređe teško dostižna i najčešće se kreće u intervalu od 0,3 do 0,7 u zavisnosti od oblika poprečnog preseka i izvijenosti vlakana kao i od nivoa upredanja pređe. Zbog toga gustina pakovanja vlakana u pređi predstavlja bitan parametar kako ukupne poroznosti tako i makroporoznosti (optička poroznost ili otvorena slobodna površina) tekstilnog materijala. Tako je izvedena relacija koja povezuje makroporoznost DL (desno-levih kuliranih) pletenina (β), prečnik (d_{pr}) i finoću (T_{tex}) pređe [92]:

$$\beta = 1 - \left(\frac{G \cdot d_{\text{pr}}}{T_{\text{tex}}} \right) \cos \theta - 8D_1 \cdot D_2 \cdot d_{\text{pr}}^2 \cdot \cos^2 \theta \quad , \quad (24)$$

gde je G – površinska masa materijala, D_1 i D_2 – gustina nizova i redova pletenine i θ - ugao koji pređa zaklapa sa projektovanom površinom materijala:

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{4D_1 \cdot D_2 \cdot T_{\text{tex}} \cdot d_{\text{pr}}}{G} \right) \quad . \quad (25)$$

Manji broj istraživanja koji se odnosio na uticaj osnovnih svojstava pređa na termičko ponašanje tekstilnih materijala pokazao je da se sa povećanjem finoće pređe smanjuje toplotna provodljivost materijala. Ovo smanjenje provodljivosti objašnjava se činjenicom da smanjenje prečnika pređe, pri nepromenjenim strukturnim parametrima materijala, izaziva povećanje njegove poroznosti, što svakako utiče na provođenje toplote. Sa porastom intenziteta upredanja, čime se povećava gustina pakovanja vlakana u pređi,

manjuje se termička otpornost materijala. Naime, smanjenje prečnika pređe izazvano gušćim pakovanjem vlakana dovodi do smanjenja debljine materijala a time i količine vazduha u njemu, čime se snižava izolaciona sposobnost materijala [108, 109]. Istraživanja su takođe pokazala da različiti tipovi pređa sa svojim specifičnostima umnogome određuju termičko ponašanje tekstilnih materijala. Tako je, poređenjem termičke otpornosti pletenina proizvedenih od kardirane i češljane pamučne pređe, ustanovljeno da se upotrebom kardirane pređe povećava otpornost iz dva razloga. Povećani prečnik odnosno rastresitija struktura kardirane pređe povećava debljinu pletenine, dok povećana maljavost pređe izaziva zatvaranje otvorenih pora i povećanje količine “zarobljenog” vazduha, što dovodi do prevencije prenosa toplote [108]. Operacija končanja pređa, takođe, utiče na termička svojstva pletenina kroz promenu gustine pakovanja vlakana [96]. Ispitivanjem termičkog ponašanja pletenina izrađenih od PES filamena ustanovljeno je da se upotrebom teksturiranih filamenata smanjuje toplotna provodljivost materijala kako zbog prisutne veće količine vazduha između monofilamenata tako i zbog povećane debljine materijala [110]. Specifične strukture hibridnih i kompozitnih pređa proizvedenih nekonvencionalnim tehnikama u značajnoj meri diktiraju termičko ponašanje tekstilnih materijala [90]. Smatra se da osim toplotne provodljivosti vlakana i gustine njihovog pakovanja u pređe, finoća vlakana može u izvesnoj meri da utiče na termičke karakteristike tkanina i pletenina. Na primer, pokazalo se da se tkanine izrađene od PES mikrovlakana odlikuju nižom toplotnom provodljivošću u poređenju sa tkaninama koje sadrže konvencionalna poliestarska vlakna [111].

Iako se prenos toplote kroz tekstilni materijal u najvećoj meri dešava kondukcijom kroz vlakna, generalno je prihvaćeno da strukturalna svojstva tekstilnih površina mogu prevladati uticaj termičkih svojstava vlakana [112-115]. Zbog razlika koje različiti tipovi vlakana ispoljavaju u pogledu refleksije, apsorpcije i re-emisije zračenja, smatra se da su vlakna u većoj meri odgovorna za prenos toplote radijacijom [69]. Ograničeni broj istraživanja sprovedenih na pleteninama potvrdio je da, kada se radi prenosu toplote, doprinos vlakana biva relativno mali u poređenju sa efektom koji postiže vazduh uključen u strukturu pletenine [93, 94]. To se može objasniti činjenicom da se pletene strukture uopšteno odlikuju velikom poroznošću. Izvestan broj autora smatra da su čak u ovom smislu značajnija ona svojstva vlakana koja direktno utiču na gustinu pakovanja vlakana u složenije strukture, čime se determiniše distribucija i veličina pora u materijalu [92, 94].

Kada se radi o geometrijskim karakteristikama tekstilnih materijala brojni autori slažu se u oceni da debljina materijala ima najveći uticaj na njihova termička svojstva. Smatra se da debljina materijala objašnjava 90% fenomena prenosa toplote kroz tekstilni materijal [99, 116-118]. Takođe je dokazano da postoji linearna korelacija termičke otpornosti i debljine, pri čemu se vrednosti termičke otpornosti za tipične odevne materijale kreću u intervalu od 20 do 30 m·KW⁻¹ [82, 94, 119-121]. Shodno povećanju debljine materijala povećava se i njegova zapremina što je generalno praćeno i povećanom količinom inkorporiranog vazduha, koji zarobljen između vlakana u pređi i između pređa u tkanini ili pletenini usporava proces prenosa toplote. Drugim rečima, promenom debljine materijala menja se njegova gustina i poroznost koja se smatra drugim važnim faktorom termičkog ponašanja tekstilnih materijala [92, 94, 121, 122]. Poroznost (P) (%) tekstilnog materijala je definisana ukupnom količinom vazduha u materijalu, kako između pređa (makroporoznost) tako i unutar njih (mikroporoznost), i izračunava se prema relaciji [123]:

$$P = 100 - \frac{\delta}{\rho} \times 100 \quad , \quad (26)$$

gde je δ (g m⁻³) gustina tekstilnog materijala i ρ gustina vlakana (g m⁻³).

Poroznu strukturu tekstilnog materijala čine makropore formirane preplitanjem dva sistema žica kod tkanina ili jednog sistema žica kod pletenina i mikropore uslovljene gustinom pakovanja vlakana u pređe. Makropore u materijalu karakterišu njegovu optičku poroznost ili tzv. otvorenu slobodnu površinu. Veličina ovih pora određena je strukturnim svojstvima materijala ali i prečnikom i ukupnom dužinom pređe (relacija 24) [92]. Uz geometriju vlakana, tehnika pređenja diktira način i gustinu pakovanja vlakana u pređi, a time i veličinu i distribuciju mikropora u materijalu [94, 124]. Povećanje poroznosti tekstilnog materijala vodi smanjenju prenosa toplote kondukcijom. Ovakav efekat je uslovljen nepokretnim vazduhom prisutnim u porama materijala za koji je prihvaćeno da se ponaša kao izolator [90, 122]. Međutim, u praksi vazduh u makroporama retko miruje i može se kretati pod dejstvom više faktora, kao što su pokreti tela, vetar i slično. U situacijama kada u ukupnoj poroznosti tekstilnog materijala makropore imaju veliki udeo ili u uslovima strujanja okolnog vazduha, transport toplote kroz materijal se osim

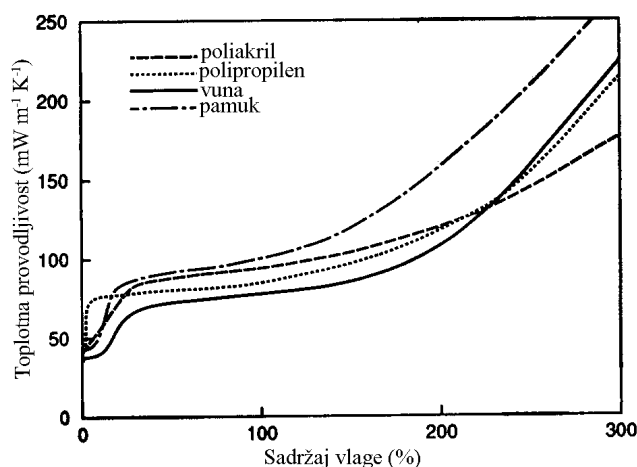
kondukcijom u značajnoj meri dešava konvekcijom ili prinudnom konvekcijom [125]. Navedene činjenice ukazuju da veličina i distribucija pora u tekstilnom materijalu u značajnoj meri regulišu fenomen prenosa toplote.

Istraživanja su potvrdila da je prenos toplote u korelaciji i sa površinskom masom i gustinom tekstilnog materijala. Zapažanja istraživača ukazuju da su površinska masa i termička otpornost tekstilnog materijala srazmerno proporcionalne [82, 126-128]. Poređenjem materijala istih debljina ustanovljeno je da materijal veće gustine ispoljava manju termičku otpornost. Povećana gustina materijala ukazuje na povećanje udela vlakana u jedinici zapremine materijala čime raste broj međusobnih kontakata vlakana. Time se intenzivira prenos toplote kondukcijom [128, 129]. Ipak, veza između gustine materijala i njegove sposobnosti prenosa toplote nije jednoznačna niti uvek linearna. Naime, sa opadanjem gustine očekuje se povećanje termičke otpornosti materijala ali je ustanovljena kritična granica gustine materijala od 60 kg m^{-3} ispod koje konvekcija toplote (prenos toplote prelaženjem) postaje dominirajući mehanizam i termička otpornost materijala opada [97, 120].

Prilikom ocene tekstilnih materijala u pogledu termičkog ponašanja mora se uzeti u obzir nehomogenost materijala u pravcu debljine. Polazeći od činjenice da su štapel pređe nehomogene po svom poprečnom preseku tj. da je površina ovakvih pređa okarakterisana izvesnom maljavošću, prihvaćeno je da tkanine i pletenine imaju troslojnu strukturu. Centralni sloj ili jezgro materijala čine gusto pakovani agregati vlakana koji su okruženi spoljnim rastresitim slojevima sastavljenim od manjeg broja strčećih vlakana i velike količine vazduha [130-133]. Zbog ovakve troslojne strukture, debljina materijala se lako menja već pri niskim vrednostima pritiska. Prilikom lateralne kompresije materijala smanjuje se zapremina inkorporiranog vazduha što sigurno menja toplotni fluks kroz materijal [94, 99, 117, 134]. Pored toga, trajne promene u strukturi materijala izazvane kompresionim silama definitivno menjaju njegove termičke karakteristike [84]. Zbog toga su termičko ponašanje i kompresibilnost tekstilnih materijala u tesnoj vezi. Praktični značaj ove povezanosti ogleda se u činjenici da su materijali prilikom nošenja kontinuirano izloženi pokretima čovekovog tela [69].

Poznato je da atmosferski uslovi mogu takođe da utiču na termičko ponašanje tekstilnih materijala. Kod poroznih materijala, kakvi su i tekstilni materijali, sa porastom temperature ubrzava se prenos toplote, što se objašnjava činjenicom da se toplota kroz

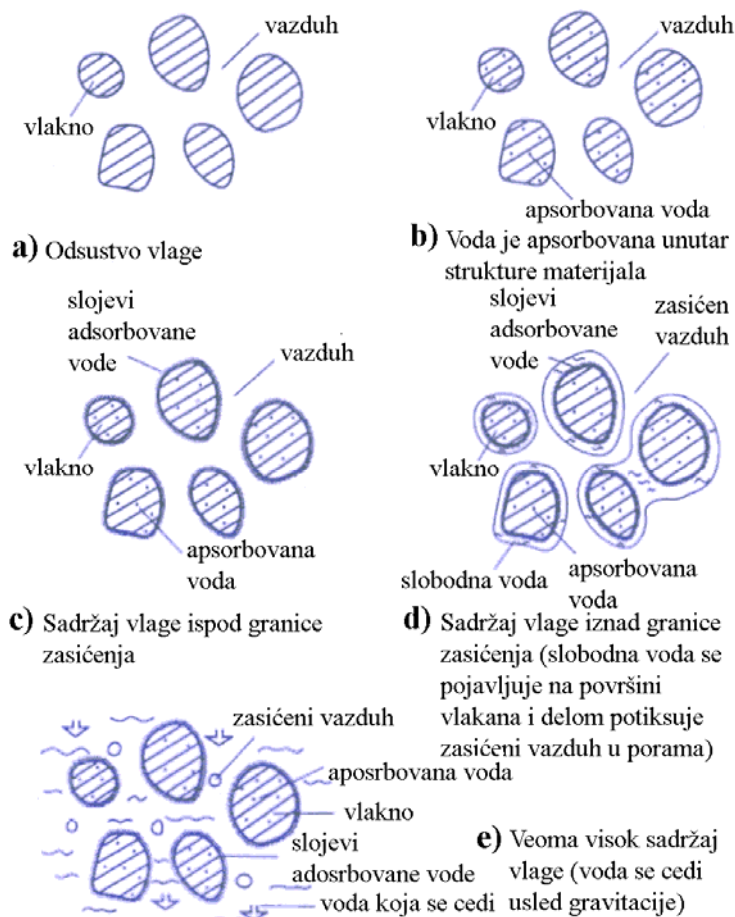
materijal pored kondukcije prenosi i konvekcijom i zračenjem kroz pore materijala [95]. Toplotna provodljivost materijala zavisi i od njegove vlažnosti. Svi tekstilni materijali u kondicioniranom stanju (20 °C, 65 % Rh) sadrže izvestan procenat vlage zavisno od higroskopnosti i generalno je prihvaćeno da takva mala količina vlage ne utiče značajno na prenos toplote kroz materijal. Međutim, u praktičnim uslovima nošenja odeće vrlo često su prisutne situacije kada se u materijalu akumulira veća količina vlage, bilo znojenjem tela ili u uslovima visoke atmosferske vlažnosti. Termičko ponašanje tekstilnih materijala se značajno razlikuje zavisno od količine prisutne vlage. Ukoliko je u tekstilnom materijalu prisutna veća količina vlage apsorbirane higroskopnim vlaknima, sadržane u porama poroznih hidrofobnih vlakana ili kao slobodna tečnost u porama materijala, termičko ponašanje materijala se obavezno menja. U ovakvim situacijama provođenje toplote se dešava kroz vlakna, vazduh i vodu. Krive na slici 10 [136] ukazuju na nelinearnu zavisnost toplotne provodljivosti i sadržaja vlage u materijalu, što je posledica različite raspodele vlage u vlaknima i materijalu sa porastom sadržaja vlage (slika 11) [136].



Slika 10. Toplotna provodljivost pletenina različitog sirovinskog sastava

Budući da je toplotna provodljivost vode dvadeset tri puta veća od provodljivosti vazduha ($0,6 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), sa porastom sadržaja vlage u materijalu raste ukupan toplotni fluks [93, 128, 137]. Takođe, istraživanja su pokazala da, kada je tekstilni materijal sa većim sadržajem vlage izložen temperaturnom gradijentu, toplotni fluks pored kondukcije kroz

vlakna, vazduh i vodu i izvesne manje radijacije uključuje mehanizme kao što su kondenzacija/isparavanje i apsorpcija/desorpcija [136, 138].



Slika 11. Shematski dijagram poprečnog preseka tekstilnog materijala sačinjenog od hidrofilnih vlakana

3.1.1.2 Propustljivost vodene pare

Kako je već ranije rečeno (relacija 11), prilikom termofiziološkog uravnoteženja čovekovog organizma sa okruženjem ukupne gubitke toplote sa površine kože čine dve komponente: gubitak toplote kondukcijom, konvekcijom i radijacijom i oslobođena toplota isparavanjem. U tzv. normalnim uslovima, koji podrazumevaju standardni nivo fizičke aktivnosti i neekstremne klimatske uslove, telo oslobodi oko 60 ml vodene pare za sat vremena. Ovakvo latentno ili prikriveno znojenje ili isparavanje vlage u obliku pare

čini 15 % ukupno oslobođene toplote kroz kožu. Jača fizička aktivnost izaziva porast energije metabolizma, pri čemu znojne žlezde luče blizu 450 ml h⁻¹ znoja [139]. Oslobođanje toplote isparavanjem je od velikog značaja i u uslovima visokih ambijentalnih temperatura kada su kondukcija, konvekcija i radijacija smanjeni usled niskog temperaturnog gradijenta [138]. U slučaju kada je temperaturni gradijent suprotnog smera između kože i okruženja, isparavanje znoja ostaje jedini način da se telo oslobodi viška toplote. S obzirom da je latentna toplota isparavanja vode prilično visoka (2500 kJ kg⁻¹), čak i mala količina isparenja značajno doprinosi ukupnom toku toplote [136].

Odevni tekstilni materijali treba da omoguće nesmetano oslobađanje vlage sa površine kože i stoga je propustljivost vodene pare od fundamentalnog značaja za termodinamičku ravnotežu čovekovog tela i osećaj komfora. Propustljivost vodene pare ili sposobnost materijala da prenosi vodenu paru definiše se kao količina vodene pare koja za određeno vreme prođe kroz jedinicu površine materijala kao rezultat gradijenta pritiska između dve površine materijala [140]. Recipročna vrednost predstavlja otpornost materijala ka propuštanju vodene pare.

Ukoliko se tekstilni materijal posmatra kao granica dva ambijenta (telo i okruženje) različite temperature i vlažnosti, temperaturni gradijent i gradijent koncentracije vlage intenziviraju prenos toplote i mase (vlage) kroz materijal. U izotermnim uslovima, odnosno u odsustvu temperaturnog gradijenta, gradijent koncentracije uslovljava transport vlage kroz tekstilni materijal u obliku pare. U ovakvim stacionarnim uslovima vodena para se transportuje stalnom brzinom kroz materijal u pravcu gradijenta koncentracije koji se ne menja sa vremenom. Prenos vodene pare kroz tekstilni materijal uključuje nekoliko mehanizama: (a) molekulska difuzija kroz polimernu fazu tj. vlakna, (b) površinska difuzija adsorbovanih molekula na površini vlakana, i (c) molekulska difuzija kroz vazdušne prostore u materijalu. Među naučnicima postoji saglasnost da je pri stacionarnom transportu vlage dominantan mehanizam difuzija vodene pare kroz slojeve vazduha u materijalu, pri čemu sorpcioni kapacitet materijala ima relativno minornu ulogu [141-143].

Proces difuzije vlage kroz tekstilni materijal određen je gradijentom napona pare. Fick je prvi postavio relaciju između fluksa vlage (J_{Ax}) i gradijenta koncentracije (dC_A/dx) [144]:

$$J_{Ax} = D_{AB} \frac{dC_A}{dx} , \quad (27)$$

gde je D_{AB} - koeficijent difuzije vlage kroz polimernu fazu ili vlakno.

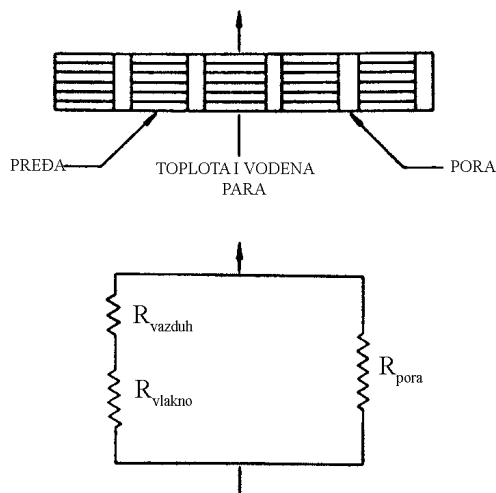
Koeficijent difuzije vlage kroz stacionarni vazduh prema literaturi je $0,239 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ [92]. Koeficijent difuzije pamučnih vlakana iznosi $10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ dok hidrofobna vlakna imaju vrednost koeficijenta difuzije $10^{-9} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ [92, 145]. S obzirom na ovakve vrednosti koeficijenata difuzije, difuzija vodene pare se odvija nesmetano kroz pore materijala. Transport vlage kroz polimernu fazu ograničen je difuzijom vlage unutar vlakna i izvan njega, što je posledica nižih vrednosti koeficijenata difuzije. Pri tome, mehanizam difuzije kroz vlakna razlikuje se u zavisnosti od njihove higroskopnosti. Difuzija vlage kroz hidrofobna vlakna podleže Fick-ovom zakonu difuzije (relacija 27) sa konstantnim koeficijentom difuzije, za razliku od hidrofilnih vlakana, kod kojih difuzija unekoliko odstupa od relacije 27. Naime, difuzija vlage kroz hidrofilna vlakna, kao što su celulozna vlakna, opisuje se kao dvostepeni proces. Prva faza odgovara brzom Fick-ovoj difuziji sa koeficijentom difuzije uslovljenim gradijentom koncentracije. Difuzija u drugoj fazi je mnogo sporija prateći eksponencijalnu zavisnost gradijenta koncentracije i fluksa pare. Koeficijent difuzije se u ovoj fazi menja sa vremenom [138, 146, 147]. Ovaj fenomen upravo je posledica velikog afiniteta hidrofilnih polimera prema molekulima vodene pare. Adsorpcijom vodene pare prilikom difuzije kroz vlaknasti sistem dolazi do bubrenja vlakana i redukcije veličine pora čime se usporava proces difuzije.

Iako priroda vlakna određuje brzinu difuzije vlage, istraživanja su potvrdila da je u ukupnom prenosu vlage kroz materijal udeo difuzije vlage kroz vlakna relativno zanemarljiv. Tako, izračunati koeficijenti propustljivosti vlage (P_w), kao proizvoda koeficijenta difuzije i koeficijenta rastvorljivosti, prema relaciji:

$$P_w = \frac{F \cdot d}{\Delta C} , \quad (28)$$

gde je F - fluks vlage u stacionarnim uslovima, d – debljina materijala i ΔC – gradijent koncentracije vlage, pokazali su da molekuli vode 1790 puta brže difunduju kroz vazduh nego kroz celulozu. Za hidrofobne polimere taj odnos je još veći u korist difuzije vlage kroz vazduh [148]. Zbog toga, iako se koeficijenti propustljivosti pojedinih polimera za

vlakna mogu značajno razlikovati, njihove vrednosti su takve da ne mogu značajno da doprinesu ukupnoj difuziji vlage kroz tekstilni materijal. Takođe je dokazano da fizička svojstva vlakana ne uslovljavaju otpornost materijala prema difuziji vodene pare.



Slika 12. Model strukture tekstilnog materijala

Na osnovu modela strukture tekstilnog materijala (slika 12) otpornost materijala difuziji (propuštanju) vodene pare (R_{ET}) ili drugim rečima, termička otpornost tekstilnog materijala isparavanju vlage, dovedena je u vezu sa strukturom materijala prema relaciji [92]:

$$R_{ET} = \frac{d}{(1-\beta) \frac{(D_f / D_a)}{(1-\gamma) + \gamma(D_f / D_a)} + \beta} \quad , \quad (29)$$

gde su D_a i D_f – koeficijenti difuzije vlage kroz vazduh i kroz vlakna, d – debljina tekstilnog materijala, γ - zapreminski udeo vazduha u pređi i β - makroporoznost materijala definisana relacijom 24. Kako se odnos D_f/D_a kreće u intervalu 10^{-6} do 10^{-8} , što je za praktične svrhe zanemarljivo, relacija 29 se svodi na:

$$R_{ET} = \frac{d}{\beta} \quad . \quad (30)$$

Očigledno je otpornost tekstilnog materijala ka propuštanju vodene pare u najvećoj meri uslovljena njegovom geometrijom, tačnije, debljinom i poroznošću. Kada se radi o poroznosti od posebnog je značaja makroporoznost, odnosno veličina otvorenih slobodnih pora između pređa u materijalu. S obzirom da su debljina i makroporoznost tkanina i pletenina određene prečnikom pređe, koji je uslovljen gustinom pakovanja vlakana, smatra se da različiti tipovi vlakana isključivo svojom geometrijom mogu da utiču na difuziju vodene pare kroz tekstilni materijal. Na taj način, iako je difuzija vlage kroz pore tekstilnog materijala gotovo trenutna, brzina prenosa vodene pare je limitirana brzinom kojom vlaga difunduje kroz vlakna [145].

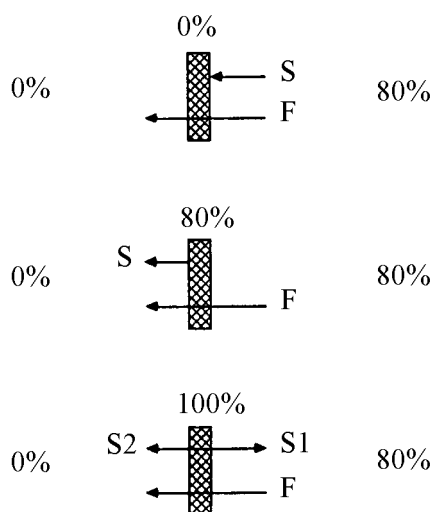
Adsorpcija vodene pare omogućena je Van der Waal-ovim silama koje se uspostavljaju između molekula vodene pare i površine vlakna. Adsorbovana količina vodene pare je veća u slučajevima višeg parcijalnog pritiska i niže temperature. U uslovima termodinamičke ravnoteže izjednačeni su hemijski potencijali vodene pare i adsorbovanog filma. Porastom parcijalnog pritiska narušava se ravnoteža hemijskih potencijala zbog čega se dodatna para veže za prethodno adsorbovani sloj kako bi se ponovo uspostavila ravnoteža [144]. Površinska difuzija je uslovljena i higroskopnošću vlakana, veličinom pora i ukupnom specifičnom površinom materijala. Pretpostavlja se na osnovu istraživanja da je u slučaju sintetičkih vlakana, kod kojih je specifična površina $1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, za ukupan prenos vodene pare kroz tekstilni materijal migracija adsorbovanog sloja pare od mnogo manjeg značaja u poređenju sa slobodnom difuzijom kroz pore materijala. Efekat površinske difuzije kod pamuka je mnogo jače izražen, jer osim jednoslojne hemisorpcije uzrokovane hidrofilnošću celuloze, molekuli vode fizičkom sorpcijom formiraju višeslojni film na površini vlakna [148, 149]. Matematička analiza površinske difuzije adsorbovanih molekula vodene pare pokazala je da je u stacionarnim uslovima proces nezavistan od pravca gradijenta koncentracije.

Generalno se smatra da se odevni tekstilni materijali odlikuju niskom otpornošću difuziji (propuštanju) vodene pare usled njihove relativno velike poroznosti. Naime, kod većine tekstilnih materijala zapreminski udeo vlakana je manji od 50 % od ukupne zapremine materijala, čak i značajno manji posebno kada se radi o pleteninama. Iako je doprinos vlakana difuziji vodene pare kroz materijal mali, količina vlakana u materijalu predstavlja značajnu promenljivu koja uslovljava otpor materijala difuziji. Varijacije u količini vlakana ispoljavaju svoj uticaj na difuziju vodene pare na dva načina: kroz debljinu i poroznost materijala. Istraživanja ukazuju da debljina tekstilnog materijala

značajno utiče na njegovu otpornost difuziji vodene pare. Pri tome, linearna zavisnost između ova dva parametra tekstilnog materijala je relativno slaba ali statistički značajna [143]. Iako je generalno porast debljine materijala praćen porastom otpora difuziji vodene pare, eksperimentalno praćenje ukazuju na izvesna odstupanja od trenda, što se objašnjava maskiranjem efekta debljine nekim drugim parametrima. Na primer, dva materijala iste debljine mogu imati različitu otpornost ka difuziji vodene pare ukoliko se međusobno razlikuju po gustini tj. po procentualnom udelu vlakana u ukupnoj zapremini materijala [150]. Veća gustina tekstilnog materijala podrazumeva manju poroznost, prema relaciji 26, čime se povećava otpor difuziji vodene pare [151]. Polazeći od činjenice da manje pore pružaju veći otpor toku fluida, pored ukupne poroznosti tekstilnog materijala, od presudnog značaja za difuziju vodene pare su veličina i raspodela pora u materijalu [122]. Naime, dva materijala iste poroznosti mogu se različito ponašati prilikom difuzije vodene pare u zavisnosti od karaktera poroznosti. S obzirom da vodena para slobodno prolazi kroz otvorene slobodne površine formirane između pređa u tkanini ili pletenini, može se očekivati da će najmanji otpor difuziji pare ispoljiti materijal sa najvećom makroporoznošću. Kod materijala velike gustine fluks vodene pare biva usporen pa je difuzija uslovljena apsorpcijom, redistribucijom vode i naknadnim isparavanjem, što je u vezi sa hidrofilnošću vlakana [152, 153]. Konstrukcija tekstilnog materijala [151, 154-156] i geometrija pređe [92] određuju otvorenu slobodnu površinu u materijalu. Tako se pokazalo da sa povećanjem finoće pređe raste i propustljivost vodene pare tekstilnog materijala. Razlog tome je činjenica da materijal proizveden od finije pređe ima veću makroporoznost [108, 109]. Struktura pređe, odnosno gustina pakovanja vlakana u pređi, određuje i mikroporoznost tekstilnog materijala. Raspodela i veličina pora u pređi uslovljeni su tehnikom pređenja [90, 108] ali i geometrijom vlakana [93, 1153, 157].

Pored navedenih mehanizama difuzije vodene pare kroz tekstilni materijal, koji se simultano odvijaju u ravnotežnim uslovima tj. uz stalnu brzinu difuzije i gradijent koncentracije vlage, u neravnotežnim uslovima moraju se uzeti u obzir sorpciona svojstva vlakana. Naime, pre dostizanja ravnotežnog stanja a u prisustvu gradijenta vlažnosti, pored već opisanih mehanizama dešava se apsorpcija i desorpcija vlage unutar materijala. U ovom tzv. prelaznom periodu simultano se dešavaju dva procesa:

1. tekstilni materijal apsorbuje ili desorbuje vlagu kako bi sadržaj vlage uravnotežio sa ambijentalnom vlažnošću i vlažnošću mikrookruženja (prostor ograničen telom i odećom)
2. difuzija pare kroz tekstilni materijal u pravcu gradijenta koncentracije.



Slika 13. Moguće varijante ponašanja tekstilnog materijala u prisustvu gradijenta vlažnosti: F – fluks vlage; S - sorpcija

U zavisnosti od polaznog sadržaja vlage u tekstilnom materijalu moguća su tri scenarija (varijante ponašanja tekstilnog materijala), kako je ilustrovano na slici 13 [148]. U sva tri slučaja fluks vlage je usmeren kroz materijal u pravcu gradijenta koncentracije. Ukoliko je materijal kondicioniran na vlažnost okruženja niže vlažnosti, on će apsorbovati vlagu iz okruženja veće vlažnosti. Kada je materijal prethodno uravnotežen sa okruženjem veće vlažnosti, u prisustvu gradijenta koncentracije doći će do desorpcije vlage u pravcu okruženja koje ima manju vlažnost. Teorijski je moguć i slučaj kada je početna vlažnost materijala takva da dolazi do apsorpcije-desorpcije vlage u oba pravca. Pored temperature i vlažnosti okruženja, količina apsorbovane vodene pare u materijalu zavisi i od hemijskog sastava i strukture vlakana, odnosno od njihove higroskopnosti [137]. U slučaju vlakana visokih sorpcionih sposobnosti, kao što su pamuk i viskoza, sorpcioni proces je povezan sa sorpcionim histerezisom, elastičnim oporavkom i promenama dimenzija. Naime, apsorbovanjem molekula vode mikrofibrili bubre smanjujući tako

veličinu pora između vlakana i pređa, čime se usporava difuzija vodene pare kroz materijal. Mehanički histerezis vlakana naglašava i adsorpcioni histerezis [158].

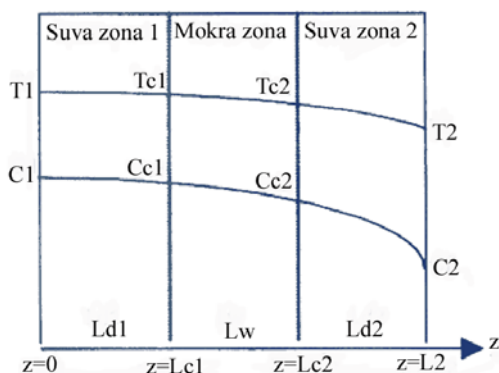
Dok se difuzija vodene pare kroz tekstilni materijal u najvećoj meri dešava kroz vazduh inkorporiran u strukturi materijala, akumulacija vlage se isključivo vrši vlaknima. Naime, celuloza apsorbuje 20000 puta više vlage u poređenju sa vazduhom iste zapremine. Takođe, kod poliestra, koji se smatra gotovo inertnim za upijanje vlage, odnos sorpcione sposobnosti poliestra i vazduha je 300 u korist polimera. U procesu difuzije vodene pare kroz tekstilni materijal koji je izložen gradijentu vlažnosti simultano i konkurentno se dešavaju difuzija i apsorpcija vlage. S obzirom da tekstilni materijal čine komponente koje se međusobno značajno razlikuju po sorpcionom kapacitetu, gde dominira polimerna faza, kao i po propustljivosti vlage, kada dominira gasna komponenta, jednačina održanja mase može se predstaviti na sledeći način [97]:

$$\varepsilon \frac{\partial C_p}{\partial t} + (1 - \varepsilon) \frac{\partial C_f}{\partial t} = \frac{D \cdot \varepsilon}{\tau_{ef}} \cdot \frac{\partial^2 C_p}{\partial x^2}, \quad (31)$$

gde je ε - poroznost materijala, C_p - koncentracija vlage u porama materijala, C_f - koncentracija vlage u vlaknima, D - koeficijent difuzije vode kroz vazduh i τ_{ef} - efektivni parametar koji zavisi od veličine i distribucije pora u materijalu. Sabirci na levoj strani predstavljaju akumulaciju vlage u vazduhu i vlaknima. Izraz na desnoj strani opisuje difuziju vlage kroz pore materijala.

U uslovima temperaturnog gradijenta, odnosno pri nižoj ambijentalnoj temperaturi, transport vodene pare je uvek praćen kondenzacijom unutar tekstilnog materijala. Kada se topliji sloj vodene pare susretne sa hladnijim slojem materijala, koji se tada ponaša kao hladan zid, dolazi do kondenzacije pare [137]. Na osnovu laboratorijskih istraživanja i testova nošenja pokazalo se da do kondenzacije dolazi pri ambijentalnim temperaturama ispod 10 °C [144]. Drugo istraživanje ukazuje da se kondenzacija može zanemariti na temperaturama iznad 20 °C, dok na nižim temperaturama eksponencijalno raste [159]. Difuzija vodene pare se podvrgava promeni faze i u slučajevima kada koncentracija vodene pare u tekstilnom materijalu dostigne nivo zasićenja dolazi do kondenzacije pare u materijalu po celoj njegovoj debljini ili na mestima gde je lokalni parcijalni pritisak dostigao pritisak zasićenja (napon pare) na lokalnoj temperaturi [160,

161]. Pojavom kondenzacije u materijalu formira se mokra zona ograničena suvim oblastima materijala. Uspostavljeni temperaturni profil kao i profil koncentracije pare prikazani su na slici 14 [162], gde je T - temperatura, a C predstavlja koncentraciju vodene pare u različitim slojevima materijala. Sa $z = 0$ i $z = L_2$ označeni su unutrašnji i spoljašnji sloj materijala.



Slika 14 . Profil temperature i koncentracije vodene pare u tekstilnom materijalu u toku kondenzacije

Sa pojavom kondenzacije pare difuzija tečnosti se dešava u tri faze. U početnom periodu započinje kondenzacija. U drugoj fazi, kada temperaturni gradijent i gradijent koncentracije vlage dostignu stacionarno stanje, kondenzat u mokroj zoni materijala linearno raste sa vremenom ali je još uvek nedovoljan za migraciju. Po dostizanju kritične vrednosti kondenzat se kreće pod dejstvom površinskog napona i gravitacionih sila pomerajući granice mokrog područja u materijalu. Time se dostiže novo stacionarno stanje u kome se vodena para kondenzuje na granici suvog i mokrog sloja na strani višeg parcijalnog pritiska i ponovo ispari na drugoj granici mokrog i suvog sloja u oblasti nižeg parcijalnog pritiska [163, 164]. Brzina kondenzacije se smanjuje sa povećanjem higroskopnosti slojeva kao i sa porastom brzine difuzije vodene pare kroz materijal [165]. Sa povećanjem sadržaja kondenzata u slojevima tekstilnog materijala smanjuje se i termička otpornost materijala, s obzirom da je toplotna provodljivost vode značajno veća (dvadeset tri puta) u poređenju sa vazduhom [136].

3.1.1.3 Dinamički prenos toplote i vlage

Termofiziološki komfor podrazumeva dve jasno razdvojene faze. U uslovima niže fizičke aktivnosti čoveka i u odsustvu ekstremnih klimatskih uslova dolazi samo do neznatnog znojenja kože. Stacionarni prenos toplote i vodene pare omogućuje adekvatnu termoregulaciju i osećaj toplotnog komfora. Međutim, u praksi se vrlo često čovek nalazi u neravnotežnim ili dinamičkim uslovima. Na primer, kod neodevenog čoveka pojačan intenzitet znojenja je praćen istovremenim gubitkom toplote isparavanjem znoja. Analogno, svako smanjenje intenziteta znojenja je praćeno istovremenim smanjenjem oslobađanja toplote. Drugim rečima, neodeveni čovek zahvaljujući svom termofiziološkom sistemu uspešno reguliše oslobađanje toplote bez vremenskog zaostajanja. Kod pojačanog znojenja odevenog čoveka, izvesna količina znoja se akumulira u odeći. Naime, odeća zadržava određenu količinu znoja različitim mehanizmima, kao što su apsorpcija od strane vlakana, kondenzacija znoja pri dodiru sa hladnijim slojevima odeće ili upijanjem znoja sa površine kože [62, 86, 115]. Smanjenje fizičke aktivnosti usporava čovekov metabolizam i zaustavlja pojačano znojenje, dok vlaga akumulirana u odeći nastavlja da se desorbuje i isparava što dovodi do nepoželjnog dodatnog hlađenja čovekovog tela. Karakterisanje sposobnosti prenosa toplote i difuzije vlage odevnih tekstilnih materijala u dinamičkim uslovima je od velike važnosti s obzirom na činjenicu da je čovekovo telo izloženo stalnim promenama klime (temperatura, vlažnost), odeće i fizičke aktivnosti.

Ukupna toplotna energija (Q_T) koja se prenosi kroz tekstilni materijal u stacionarnim uslovima u jedinici vremena može se predstaviti kao zbir tzv. suvog prenosa toplote (H_d) (kondukcija, konvekcija i radijacija) i toplote isparavanja (H_e), dva simultana ali odvojena procesa:

$$Q_T = \frac{A(T_{sk} - T_a)}{R_{T(tot)}} + \frac{A(P_{sk} - P_a)}{R_{ET(tot)}}, \quad (32)$$

gde je A (m^2) – površina tela, T_{sk} ($^{\circ}C$) - temperatura kože, T_a ($^{\circ}C$) – temperatura vazduha, $R_{T(tot)}$ ($m^2 \text{ } ^{\circ}C \text{ } W^{-1}$) – ukupna termička otpornost odeće uključujući površinski sloj vazduha, P_{sk} (kPa) – parcijalni pritisak vodene pare na temperaturi površine kože, P_a (kPa) –

parcijalni pritisak vodene pare na temperaturi vazduha iznad kože i $R_{ET(tot)}$ ($m^2 \text{ kPa W}^{-1}$) – ukupna termička otpornost odeće i površinskog sloja vazduha isparavanju vlage.

Međutim, u dinamičkim (nestacionarnim) uslovima difuzija vodene pare kroz tekstilni materijal praćena je apsorpcijom pare usled manje ili veće higroskopnosti vlakana kao i kondenzovanjem ili isparavanjem u zavisnosti od distribucije temperature i vlage [116]. Ovi procesi, koji u osnovi predstavljaju fazne transformacije molekula vode, praćeni su oslobađanjem ili apsorbovanjem toplote koja se superponira sa “suvom” toplotom formirajući ukupan toplotni fluks u materijalu, što je ilustrovano na slici 15 [52].



Slika 15. Dinamički transport toplote i vlage kroz tekstilni materijal

Sa druge strane, apsorpcija/desorpcija i isparavanje/kondenzacija su uslovljeni efikasnošću prenosa toplote. Na primer, uravnotežavanje oslobođene toplote sorpcije i apsorbovane toplote isparavanja deblje pamučne tkanine zahteva duži period u poređenju sa finijom pamučnom tkaninom [138]. Pored toga, superponirajući efekat difuzije vlage i prenosa toplote zavisi od niza faktora kao što su sorpcioni kapacitet i prečnik vlakana, koeficijent difuzije vodene pare i toplota sorpcije. Toplota adsorpcije celuloznih vlakana zavisi u izvesnoj meri od količine vlage i stepena kristalnosti vlakna, pri čemu se proporcionalno smanjuje sa porastom stepena kristalnosti [168].

Naučnici su još četrdesetih godina prošlog veka prepoznali značaj koji dinamički prenos toplote i difuzija vlage kroz tekstilni materijal imaju na formiranje dinamičkog toplotnog komfora odeće. Istraživanja su išla u pravcu postavljanja matematičkih modela zasnovanih na osnovnim principima termodinamike u cilju adekvatnog opisivanja superponiranog prenosa toplote i vlage kroz tekstilni materijal. Neki od modela uključuju

prenos toplote praćen apsorpcijom/desorpcijom ili isparavanjem/kondenzacijom ili uključujući sva četiri oblika transfera vlage.

3.1.1.4 Propustljivost vazduha

Važan parametar komfora odeće sa aspekta balansa energije predstavlja ventilacija mikroklimе unutar kompleta odeće. Ventilacija mikroklimе podrazumeva razmenu vazduha između mikroklimе, tj. vazduha unutar odevnog kompleta uključujući i međuprostor ograničen kožom i slojem tekstilnog materijala, i čovekovog okruženja tj. vazduha izvan mikroklimе formirane odećom. Značaj ovog procesa ogleda se u prisutnoj međusobnoj interakciji razmene vazduha, toplote i vlage između mikroklimе i okruženja. Istraživanja su pokazala da su za proces razmene vazduha bitni faktori koji se odnose na samog čoveka (pokreti tela), klimatske uslove okruženja (vlaga, vetar) i svojstva odeće kao što su dizajn i poroznost tekstilnog materijala [169]. U poređenju sa ranije opisanim svojstvima tekstilnih materijala (prenos toplote i difuzija vlage) propustljivost vazduha je u najvećoj meri uslovljena strukturom materijala (poroznost, debljina, horizontalna i vertikalna gustina, dužina petlje, pokriveni faktor) [170, 171, 156]. Sposobnost tekstilnog materijala da propušta vazduh okarakterisana je koeficijentom propustljivosti vazduha (A_p) ($m^3 m^{-2}s^{-1}$), koji je definisan količinom vazduha (V) (m^3) koji pri konstantnom pritisku u jedinici vremena (τ) (s) prođe kroz jedinicu površine materijala (S) (m^2) [72]:

$$A_p = \frac{V}{S \cdot \tau} \quad (33)$$

Istraživanja vezana za uticaj strukture tekstilnog materijala na propustljivost vazduha ukazuju na poroznost i debljinu materijala kao ključne parametre [172-174]. Pored ukupne poroznosti od posebne je važnosti broj, oblik i veličina makropora (otvorenih pora) u materijalu s obzirom da se strujanje vazduha u najvećoj meri dešava kroz pore između pređa [92, 101, 175, 122]. Polazeći od ove činjenice, kao i aproksimirajući pore između pređa kao cilindrične otvore normalne na površinu materijala, Goodings [176] je razvio jednačinu koja povezuje propustljivost vazduha i strukturu materijala:

$$\frac{Q}{\Delta p} = \frac{1}{8 - \mu} \cdot \frac{\beta^2}{N \cdot d} \quad (34)$$

gde je Q – brzina toka vazduha po jedinici površine materijala, Δp – gradijent pritiska, β - optička poroznost, N – broj pora po jedinici površine materijala, d – debljina materijala i μ - viskoznost vazduha.

Iako su propustljivost vazduha i makroporoznost tekstilnog materijala u tesnoj vezi, treba imati u vidu da njihova međusobna interakcija nije uvek jednostavna. Budući da makroporoznost tekstilnog materijala čine pore između pređa, pored konstrukcionih karakteristika materijala ovaj parametar je uslovljen i geometrijom pređe (relacija 24). Pri tome, štrčeća vlakna sa površine štapel pređa u izvesnoj meri zatvaraju pore i menjaju njihov oblik smanjujući praktično makroporoznost. Međutim, u poređenju sa poroznošću kao statičkim svojstvom, strujanjem vazduha kroz pore materijala štrčeća vlakna se lako pomeraju ne utičući značajno na propustljivost vazduha [177]. Uticaj vlakana na propustljivost vazduha ogleda se u gustini pakovanja vlakana u pređe. Veća gustina pakovanja vlakana vodi ka smanjenju specifične površine materijala što smanjuje otpor kretanju vazduha [153]. Empirijski je pokazano da je pri konstantnim ostalim uslovima propustljivost materijala uslovljena kvadratom prečnika vlakna, odnosno njegovom finoćom [115]. Osim geometrije vlakana, gustina pakovanja je uslovljena načinom izrade pređe i koeficijentom upredanja. Poznato je da se sa porastom upredanja smanjuje količina vazduha inkorporirana u strukturu pređe čime ona postaje kompaktnija. Sa porastom gustine pakovanja vlakana u pređi struktura tekstilnog materijala postaje otvorenija za strujanje vazduha [173, 177, 178]. Takođe, poznato je da u tačkama ukrštanja pređa dolazi do njihove distorzije kako unutar ravni materijala tako i izvan nje. Kod tekstilnih materijala velike gustine smanjena je distorzija pređe ali je intenzivirana njena kompresija u tačkama ukrštanja, čime se smanjuju međuprostori između vlakana u pređi. Ovaj efekat upravo kod gustih materijala može značajno da utiče na propustljivost vazduha, pri čemu treba imati u vidu da sa porastom upredanja pređe opada njena podložnost kompresiji [175]. Konvencionalne i nove tehnike pređenja određuju specifičnu strukturu pređe što se kroz geometriju tkanine i/ili pletenine odražava na propustljivost vazduha [90, 178, 179]. Efekat prečnika pređe i gustine pakovanja vlakana postaje još značajniji u slučajevima izuzetno gustih tekstilnih materijala kod kojih je strujanje

vazduha jedino moguće kroz strukturu pređe [180]. Debljina ovakvih materijala male poroznosti postaje izuzetno važan parametar pri čemu, sa porastom debljine materijala opada propustljivost vazduha [156, 169].

Propustljivost vazduha može da utiče na komfor tekstilnog materijala na nekoliko načina. Tekstilni materijal koji je propustljiv za vazduh istovremeno je propustljiv i za vodenu paru. Ipak, treba imati u vidu činjenicu da se vazduh i vodena para različitim mehanizmima prenose kroz tekstilni materijal. Sva tekstilna vlakna, bez obzira na hemijski sastav, nepropustljiva su za vazduh. Kako je već ranije rečeno, tekstilni materijal propušta vazduh kroz pore između pređa i eventualno kroz otvore između vlakana. Nasuprot tome, difuzija vodene pare vrši se kroz pore u materijalu ali i samim vlaknima u većoj ili manjoj meri zavisno od njihovog sastava i strukture [181].

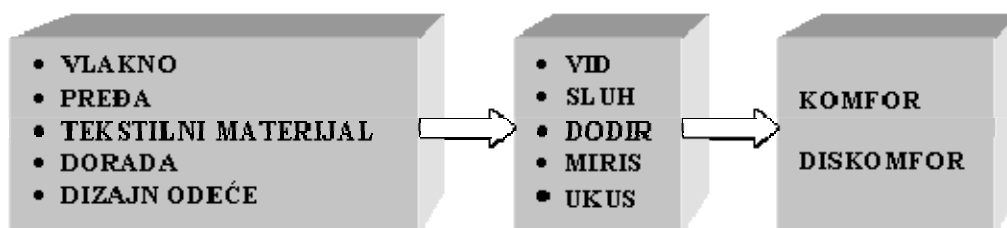
Kod tekstilnih materijala okarakterisanih velikom makroporoznošću ili u prisustvu velikog gradijenta pritiska (intenzivna cirkulacija vazduha) raste udeo konvektivnog transporta toplote i mase. Prenos vodene pare konvekcijom dobija na značaju u uslovima tzv. prinudne konvekcije kada je povećana cirkulacija vazduha u neposrednom okruženju tekstilnog materijala. Sa porastom intenziteta strujanja vazduha (brzine vetra) raste i brzina prenosa vodene pare [182]. U praksi je odevni tekstilni materijal često izložen istovremeno gradijentu koncentracije vlage i gradijentu pritiska vazduha pa se prenos vodene pare kroz materijal dešava difuzijom i konvekcijom istovremeno. U ovakvim situacijama konvektivni tok se kod higroskopnih materijala dodatno komplikuje sklonošću hidrofilnih vlakana da absorbuju vlagu. Bubrenje vlakana i pređa izaziva promene u veličini i geometriji pora u materijalu čime se povećava otpornost materijala konvektivnom toku [183]. Opisani efekat je posebno izražen kod materijala sa inicijalno manjom makroporoznošću. Nasuprot tome, promena zapremine vlakana nema značajan uticaj na propustljivost vazduha kod materijala okarakterisanih velikom ukupnom otvorenom površinom [180]. Smanjivanjem veličine makropora u materijalu usporava se i difuzija vodene pare, čime se menja ukupan tok toplote isparavanja znoja. Sprovedena istraživanja su potvrdila slično ponašanje higroskopnih tekstilnih materijala u pogledu propustljivosti vazduha u funkciji relativne vlažnosti okruženja [184].

Propustljivost vazduha nekog materijala može značajno da uslovi njegovo termičko ponašanje, posebno u uslovima veće cirkulacije ambijentalnog vazduha. Naime, strujanjem vazduha intenzivira se gradijent pritiska što izaziva prodiranje spoljašnjeg

vazduha u strukturu materijala čime se menja njegovo termičko ponašanje. Pored toga, korelacija propustljivosti vazduha i prenosa toplote kroz materijal pripisuje se povećanom doprinosu konvekcije i radijacije usled otvorenije strukture materijala, što je od posebnog značaja u situacijama kada je temperatura okoline niža od temperature kože [128, 185]. Razmatranja u okviru prethodnog paragrafa ukazuju na činjenicu da je propustljivost vazduha u tesnoj vezi i sa prenosom toplote isparavanja znoja kroz tekstilni materijal [93].

4. ČULNI ASPEKT KOMFORA

Dva bitna aspekta komfora odeće, čijom se interakcijom kreira subjektivna percepcija udobnosti odeće, predstavljaju toplotni i čulni komfor. Čulni komfor odnosi se na čovekov čulni doživljaj odeće, pre svega taktilni ali ne isključujući i čulo vida, sluha, mirisa i ukusa. Doživljaj komfora je uslovljen osećajem koji tekstilni materijal izaziva u dodiru sa kožom, vizuelnim efektom odeće, zvukom koji materijal proizvodi prilikom čovekovog kretanja, svojim mirisom pa čak i svojim ukusom (na primer, bebe često sisaju omiljeni tekstilni materijal). Svaka senzacija izazvana specifičnim fizičkim impulsom doprinosi sveobuhvatnoj percepciji komfora (slika 16) [186]. Brojna istraživanja potvrdila su izuzetnu složenost prisutnih relacija između vlakana, pređa i tekstilnih materijala kao i njihov uticaj na čulni aspekt komfora [58, 154, 155, 187, 188].



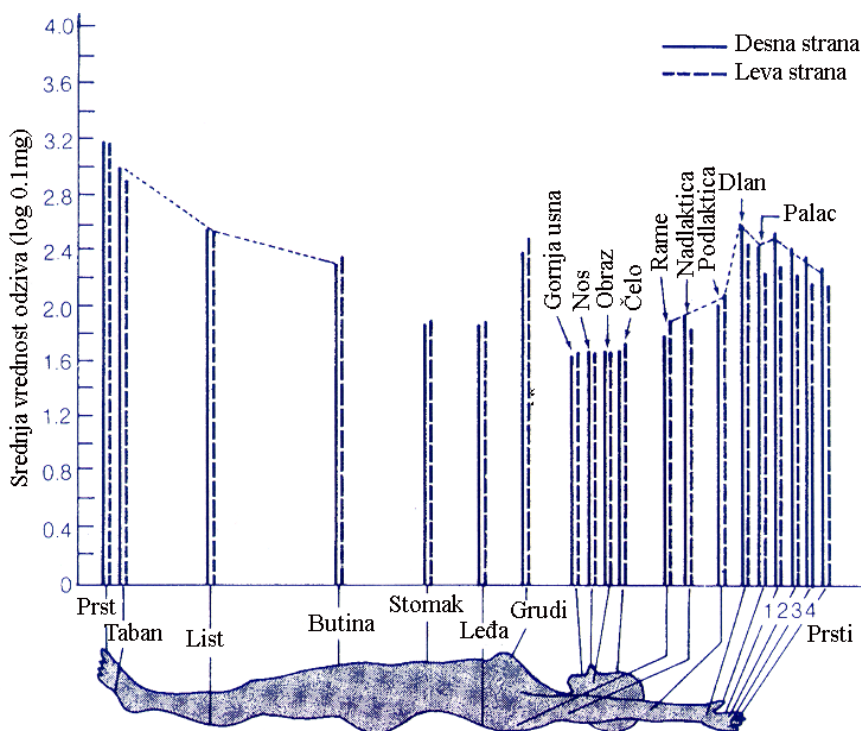
Slika 16. Čulni aspekt komfora odeće

Tokom nošenja odeće ostvaruje se neposredan, dinamičan kontakt odeće i kože na gotovo čitavoj površini čovekovog tela. Ovakav kontakt je okarakterisan nizom činjenica:

1. površina kontakta je veoma velika i prostire se preko regiona kože različite osetljivosti;
2. fiziološki parametri čovekovog tela, kao što su temperatura kože, brzina znojenja i vlažnost površine kože, često se menjaju izazivajući nove toplotne stimulanse; i
3. čovekovo telo je često u pokretu, što izaziva frekventno pomeranje tekstilnog materijala u različitim pravcima po koži, čime se pobuđuju novi mehanički impulsi [52].

Ovi toplotni i mehanički impulsi izazivaju reakciju različitih čulnih receptora i stvaraju različite senzacije kao što su opip, dodir, toplotne, senzacije vlažnosti i kompleksne sintetičke senzacije, koje zajedno utiču na percepciju komfora odeće.

U toku stalne mehaničke interakcije između tekstilnog materijala i kože odeća vrši pritisak i mehaničku stimulaciju kože čime se aktiviraju različiti mehanoreceptori koji generišu raznovrsne senzacije dodira. Svaka tačka na čovekovoј koži može da pobudi osećaj dodira. Međutim, osetljivost kože varira u različitim regionima čovekovog tela. Na slici 17 [52] su prikazane prosečne vrednosti odziva kože u različitim regionima ženskog tela, pri čemu viši stub predstavlja veću silu potrebnu za pobuđivanje čulnog receptora odnosno manju osetljivost regiona kože.



Slika 17. Prosečna vrednost odziva različitih regiona kože ženskog tela

Intenzitet senzacije dodira uslovljen je frekvencijom vibracije impulsa i vlažnošću kože. Peckanje koji se može pojaviti pri kontaktu kože i tekstilnog materijala obično se opisuje kao osećaj mnogobrojnih nežnih uboda. Tradicionalno se senzacija peckanja ili bockanja vazuje za alergijsku reakciju kože u dodiru sa vunanim tekstilnim materijalima, pri čemu produžena iritacija površine može izazvati zapaljenje kože. Međutim, istraživanja su

pokazala da neurofiziološka osnova peckanja izazvanog tekstilnim materijalom nije uzrokovana alergijskim reakcijama ili hemikalijama koje potiču od vune. Osnovni razlog pojave peckanja identifikovan je kao mehanička stimulacija kože izazvana površinom materijala čime se indukuju aktivnosti grupe malih nervnih vlakana bola [189]. Tekstilni materijal prilikom kontakta vrši izvestan pritisak na kožu pri čemu se štrčeća vlakna sa površine materijala savijaju. U momentu kada deformacione sile pojedinačnih vlakana dostignu određeni nivo aktiviraju se nervni završeci bola tj. noniceptori. Kritično opterećenje koje aktivira ove receptore bola je približno 0,75 mg u tački dodira sa kožom. Osetljivost na peckanje je uslovljena brojnim faktorima. Nervni završeci, receptori bola, vrlo su blizu površine maljave kože za razliku od glatkih regiona kože (prsti) pa oni ne mogu da registruju peckanje. Sa povećanjem sadržaja vlage na koži raste osećaj peckanja jer voda omekšava mrtvi sloj ćelija na koži tako da štrčeća vlakna lakše prodiru. Osetljivost na peckanje raste i sa povećanjem temperature okruženja u intervalu 12 – 32 °C, jer usled pojačanog znojenja raste sadržaj vlage na koži [188]. Svrab predstavlja senzaciju koja je rezultat aktiviranja izvesnih površinskih receptora bola, koji se mogu razlikovati od receptora odgovornih za senzacije peckanja [52].

Mehanička stimulacija receptora bola u koži nekada može da izazove zapaljenje ili iritaciju kože koja se manifestuje crvenjenjem. Pobuđivanjem izvesnih nervnih receptora bola u blizini nervnih završetaka oslobađaju se vazoaktivni agensi, koji širenjem kapilara izazivaju pojavu crvenila, prvo u zoni aktiviranih nervnih završetaka a zatim se crvenilo širi na ostale regione kože. Smatra se da ovakvo ponašanje nije rezultat alergijske reakcije već je posledica mehaničkog nadražaja kože. Iritacija kože može da nastane trenutno, kada su u pitanju minuti, ili sporo u toku nekoliko sati [52].

Senzacije hrapavost i grebanje dovode se u vezu sa geometrijom površine tekstilnog materijala, a opaža se kada se materijal pomera po površini kože. Rezultati istraživanja su pokazali da su za percepciju dodira relevantna dva faktora: intenzitet primenjene sile i rastojanje između susednih ispupčenja. Istraživanja su takođe pokazala da je percepcija hrapavosti nezavisna od kinestetičkih efekata (efekti pokreta tela) ali je uslovljena mehanoreceptorima u koži. Pri tome, senzacija hrapavosti nije funkcija samo jednog mehanoreceptora već je povezana sa prostornom varijacijom u reakcijama različitih mehanoreceptora. Ove varijacije su uslovljene kompleksnom površinom tekstilnog materijala, koja je definisana prepletajem i gustinom materijala kao i vrstom vlakana. Pored toga, ustanovljeno je da je hrapavost tkanina i pletenina definisana

prečnikom prede [52]. Takođe, istraživanja ukazuju na korelaciju subjektivne percepcije hrapavosti i frikционе sile neophodne za pokretanje materijala po koži. Sa porastom nivoa vlažnosti kože raste osećaj hrapavosti uz pogoršanje doživljaja komfora [188]. Senzacija grebanja u tesnoj je vezi sa senzacijom hrapavosti i predstavlja često korišćen parametar doživljaja diskomfora odeće. Istraživanjem na polju subjektivne percepcije grebanja tekstilnih materijala identične strukture ali različitog sirovinskog sastava ustanovljeno je da trenje i savitljivost uslovljavaju osećaj grebanja [190].

Tekstura materijala predstavlja uniformnost ili varijaciju površine objekta čime se definišu aktuelne ili implicitne karakteristike površine. Tekstura površine se može opisati na najrazličitije načine, kao što su glatko, hrapavo, sjajno i slično. Percepcija teksture je očigledno kompleksna sintetička senzacija koja pokriva mnoge aspekte čulnih karakteristika površine uključujući vizuelnu, slušnu kao i različite taktilne senzacije. U svakodnevnom životu prilikom kontakta čoveka i odeće on posmatra materijal, čuje zvuk trenja između kože i materijala ili između različitih delova odeće. Vizuelni, slušni i taktilni impulsi obezbeđuju čoveku sveobuhvatnu percepciju teksture površine. Aktiviranje čulnih receptora bola, dodira i temperature u koži po celoj površini čovekovog tela rezultuje taktilnom percepcijom teksture. Opip je najverovatnije osnovna komponenta teksture a takođe i hrapavost predstavlja bitan aspekt ove sintetičke senzacije [52]. U izvesnim situacijama čulo vida može da ima dominantnu ulogu u percepciji teksture. Na primer, čulom vida se identifikuju dvodimenzionalni elementi teksture, prostorne karakteristike površine i boja. Međutim, najčešće je percepcija teksture rezultat kooperativnih aktivnosti različitih čula. Sa druge strane, vrlo često čovek na osnovu prethodnih iskustava uči kako da prepozna različite teksture materijala i kako da na osnovu izgleda predvidi opip materijala.

Opip tekstilnog materijala definiše senzaciju koju materijal izaziva u kontaktu sa čovekovom šakom. Opip predstavlja kompleksnu sintetičku višedimenzionalnu senzaciju koja nastaje kao rezultat čovekovog aktivnog rukovanja materijalom. Osnovni činioci subjektivne percepcije opipa su mekoća, krutost, glatkost i punoća. Aktivnosti istraživanja i manipulisanja materijala čovekovom rukom bazirane su na efikasnoj integraciji pokreta i čulne percepcije. Šaka ima nekoliko bitnih čulnih mehanizama uključujući i kinesteziju (čulni osećaj kretanja) a smatra se da ključnu ulogu imaju mehanoreceptori u koži unutrašnje površine šake gde je smešten veliki broj nervnih završetaka sa ukupno 17000 čulnih jedinica osetljivih na bezopasne mehaničke deformacije kože [52]. Ustanovljena je

fundamentalna razlika između percepcije dodira prilikom nošenja odeće i rukovanja tekstilnim materijalom. Naime, prilikom kontakta odeće i kože osoba svesno miruje u želji da percipira opip materijala pa se takav dodir smatra pasivnim. Aktivan dodir dešava se u slučaju kada osoba svesno pokretima šake manipuliše materijalom kako bi obezbedila objektivne informacije o materijalu. Čovek najčešće instinktivno zna kako da manipuliše materijalom kako bi prikupio potrebne informacije, iako se instinkti kod različitih ljudi mogu razlikovati [191]. Istraživanja su pokazala da su psihofizičke relacije između subjektivne percepcije opipa i objektivnih svojstava materijala vrlo kompleksne po svojoj prirodi i uslovljene karakteristikama različitih tipova materijala [192].

4.1 Taktilni komfor

Elementarna razmatranja fizičke interakcije između čovekovog tela i odeće potvrđuju činjenicu da je telo stalno izloženo kompleksnom mehaničkom opterećenju. To može biti masa tekstilnog materijala ili naprezanje koje prati deformaciju materijala prilikom njegovog prilagođavanja pokretima tela. Indukovano opterećenje prenosi se na čovekovo telo u tačkama dodira tela i materijala. Imajući u vidu izraženu geometriju površine tekstilnog materijala, koja je okarakterisana nehomogenošću izazvanom štrčećim vlaknima i ispučenjima na mestima vezivnih tačaka pređa, broj i priroda kontakta telo/materijal određena je u najvećoj meri površinskim karakteristikama materijala. Pokreti tela kao i nivo generisanog opterećenja u materijalu prilikom pokreta u tesnoj je vezi sa mehaničkim karakteristikama tekstilnog materijala. Čak i u normalnim uslovima nošenja odeće tekstilni materijal trpi različite deformacije: istezanje, savijanje, smicanje, kompresija i dr., koje se ne mogu zanemariti. Na primer, istraživanja su pokazala da se prilikom savijanja kolena materijal može istezati i preko 50% [193]. Na osnovu rečenog može se zaključiti da je taktilni komfor definisan mehaničkom interakcijom između tekstilnog materijala i čovekovog tela, a percepcija taktilnog komfora uslovljena je količinom generisanog opterećenja u materijalu kao i njegovom distribucijom na koži.

Na osnovu činjenice da su mehanička svojstva tekstilnih materijala u najvećoj meri određena svojstvima vlakana, konstrukcijom pređa i samih materijala, proističe zaključak da je i percepcija taktilnog komfora uslovljena navedenim parametrima [154, 155, 194, 197]. Krutost vlakana i veličina dodirne površine između kože i materijala se najčešće pominju kao bitni faktori taktilnih senzacija. S obzirom da su temperatura i

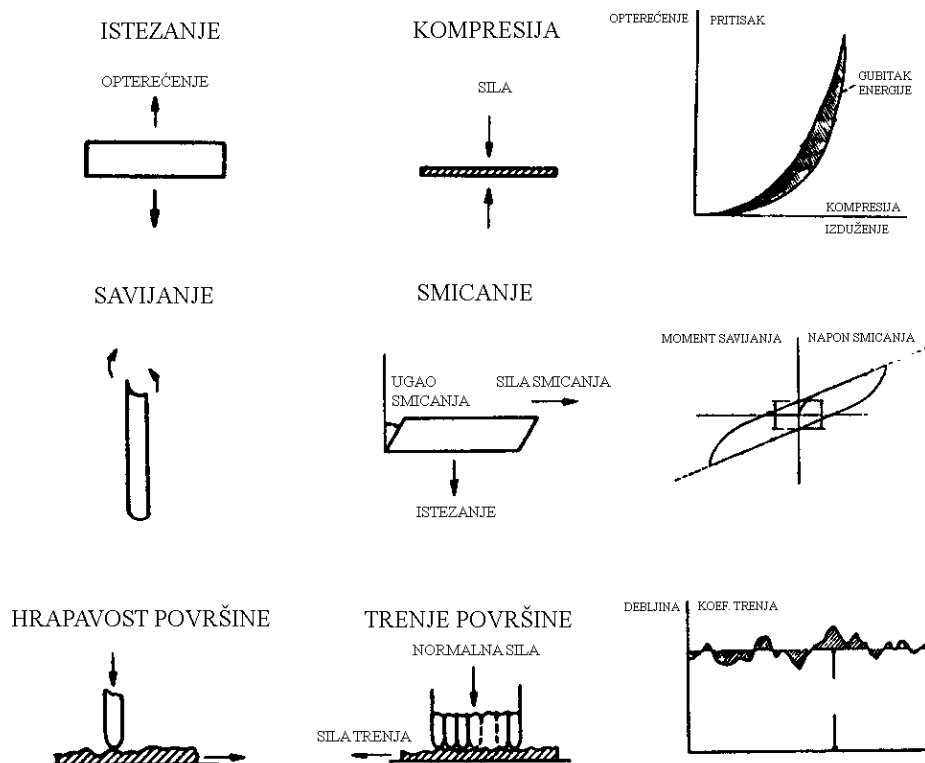
vlažnost ambijentalnog vazduha bitni činioci kako ponašanja tekstilnih materijala u pogledu mehaničkih i površinskih svojstava tako i mikroklima u zoni koža/materijal, čulne senzacije odnosno percepcija taktilnog komfora je takođe zavisna od ovih faktora [58, 188].

Ocena taktilnih svojstava tekstilnih materijala može se vršiti subjektivnim tehnikama (subjektivna ocena) i objektivnim merenjem upotrebom odgovarajućih instrumenata (objektivna ocena). Čovekova percepcija taktilnog komfora predstavlja kombinaciju fizičkih faktora (npr. hrapavo-glatko) i psiholoških faktora (npr. udobno-neudobno)[198]. Subjektivno merenje podrazumeva direktno ocenjivanje čovekovog mišljenja o svojstvima materijala i ono u ovakvim slučajevima predstavlja jedini bitan parametar. Ranija istraživanja su pokazala da je čovek sposoban da čini objektivne i kvantitativne procene sopstvenih senzacija. Ipak, treba imati u vidu razliku između osobe koja kvantifikuje svoju percepciju nekog svojstva materijala, na primer, mekoća, krutost ili debljina, gde se radi o psihofizičkom merenju i osobe koja daje prednost jednom materijalu u odnosu na drugi kada se radi samo o hedonističkom izboru [199]. S obzirom da nije moguće instrumentima izmeriti šta čovek misli i oseća dok nosi određenu odeću, jedini način da se oceni subjektivna percepcija je upotreba psiholoških skala kod kojih je proces formiranja mišljenja baziran na upotrebi skala sastavljenih od reči ili izraza koje čovek iskustveno poznaje. Istraživači su identifikovali mnoge prepoznatljive attribute odevnih materijala koji se odnose na taktilni komfor pa je rečnik izraza upotrebljivanih u istraživanjima veoma veliki [198]. Lista termina koji opisuju čovekovo čulno opažanje u Hollies-ovim istraživanjima obuhvatala je reči: rastresit, težak, krut, naelektrisan, hladan, hrapav, škripav [58]. Faktorskom analizom Howorth i Oliver su polaznih dvadeset i jedan sveli na sedam termina kojima se opisuje opip materijala: glatkost, mekoća, grubost, debljina, masa, toplota i krutost [200]. U okviru rada na razvoju metodologije za evaluaciju opipa tekstilnih materijala Kawabata i Niwa su identifikovali krutost, glatkost i krtost kao primarne izraze opipa materijala [191]. Winakor i koautori su za procenu opipa materijala koristili tri fizičke dimenzije, odnosno tri izraza: krutost, hrapavost i debljina [195]. Japanski komitet za standardizaciju i evaluaciju opipa razvio je seriju atributa kvaliteta ili primarnih izraza koji definišu opip odevnih tekstilnih materijala. Primarni atributi za karakterisanje materijala za zimsku odeću su glatkost, punoća i elastičnost, dok su punoća, elastičnost, krutost i tvrdoća usvojeni atributi za evaluaciju opipa materijala

namenjenih za izradu letnje odeće. Pokazalo se da je sveobuhvatan opip odevnih tekstilnih materijala značajno korelisan navedenim primarnim atributima opipa materijala [201].

Neki autori smatraju da se opip tekstilnog materijala može definisati kao kvalitet materijala ili pređe procenjen reakcijom indukovanom čulom dodira [202], ili kao ukupan zbir senzacija ispoljenih dodirivanjem i manipulisanjem materijala prstima [203]. Polazeći od ovih definicija, subjektivnom ocenom opipa materijala, koja podrazumeva precizno definisanu metodologiju postupanja sa materijalom pri ocenjivanju određenog svojstva, može se uspešno oceniti percepcija tekstilnog materijala sa aspekta taktilnog komfora [204]. Međutim, izvesne senzacije mogu biti generisane isključivo u uslovima nošenja odeće u prisustvu relevantnih fizičkih impulsa. Određene senzacije indukovane mehaničkim dejstvom tekstilnog materijala na kožu mogu nastati samo uz specifične kombinacije fiziološkog stanja čoveka (npr. brzina znojenja), svojstva materijala, kroja odeće i uslova okruženja (temperatura i vlažnost vazduha, brzina vetra). Takođe, smatra se da se veći broj taktilnih senzacija ispoljava na drugim delovima tela umesto šaka pa se generalno daje prednost ispitivanju percepcije komfora odeće u uslovima nošenja [52]. Zbog toga testovi nošenja predstavljaju važnu tehniku istraživanja u oblasti komfora odeće. Ipak, subjektivna merenja su praćena izvesnim problemima. Pre svega, merenja se kompletno oslanjaju na iskrenost ispitanika. Problem predstavljaju i prisutne varijacije u mišljenjima različitih ljudi, što zahteva veliki broj merenja kako bi se obezbedila zadovoljavajuća preciznost. S obzirom da subjektivni odgovori ispitanika nisu brojevi, statistička analiza dobijenih subjektivnih podataka je veoma komplikovana. Takođe, subjektivni podaci su okarakterisani izvesnim nedoslednostima s obzirom da su individualna mišljenja uslovljena velikim brojem psiholoških, fizioloških i socioloških faktora kao i uslovima okruženja [205]. Polazeći od činjenice da se u okviru subjektivnih tehnika uobičajeno koriste poznati i opšte prihvaćeni termini, koji adekvatno opisuju svojstva tekstilnih materijala sa aspekta taktilnog komfora, dodatni problem može da nastane prilikom internacionalne interpretacije rezultata. Naime, nekada je termine korišćene u okviru ispitivanja opipa ili prilikom testova nošenja u određenom jezičkom području teško tumačiti na drugom jeziku sa potpuno istim značenjem [52, 191]. I pored izvesnih nedostataka metode subjektivne ocene, razvijane dugi niz godina, dale su detaljna saznanja o neophodnim atributima tekstilnih materijala sa aspekta taktilnog komfora. Takve dragocene informacije omogućile su identifikaciju osnovnih kategorija

fizičkih i posebno mehaničkih svojstava tekstilnih materijala (istezanje, savijanje, smicanje, kompresija) odgovornih za dostizanje zadovoljavajućeg nivoa taktilnog komfora [191, 196]. S obzirom na činjenicu da su prilikom nošenja odeće tekstilni materijali izloženi relativno niskim opterećenjima, objektivno determinisana mehanička svojstva materijala podrazumevaju merenja pri niskim opterećenjima. Kako su opterećenja koje materijali trpe prilikom nošenja ciklična, objektivna ocena elastičnosti materijala podrazumeva merenje sposobnosti oporavka i histerezisa deformacije pri kontrolisanoj brzini opterećenja (frekvenciji ciklusa). Peirce je prvi kvantifikovao relaciju između subjektivno ocenjenog opipa i objektivno merenih svojstava materijala. Polazeći od senzacija krutosti i tvrdoće identifikovao je seriju objektivnih testova baziranih na fundamentalnim fizičkim svojstvima materijala kao što su dužina savijanja, krutost na savijanje i modul savijanja, debljina, kompresibilnost i moduo kompresije, gustina, sposobnost istezanja i koeficijent trenja [207]. Sedamdesetih godina prošlog veka Kawabata je razvio metodologiju za objektivnu evaluaciju opipa tekstilnih materijala baziranu na pretpostavci da je opip materijala određen kombinacijom primarnih taktilnih parametara kao što su mekoća, krutost i hrapavost [191, 208, 209]. KES-F sistem (Kawabata Evaluation System for Fabric), koji danas predstavlja najzastupljeniju tehniku za objektivnu ocenu mehaničkih i površinskih svojstava materijala, sastoji se od četiri instrumenta projektovanih za merenje svojstava materijala pri niskim opterećenjima. Jedinствena odlika ovih instrumenata je njihova sposobnost da mere mehanička svojstva materijala pri malim opterećenjima sa velikom tačnošću. Ovi instrumenti mogu da izoluju doprinos pojedinačnih svojstava materijala (mehaničkih i površinskih) na formiranje taktilnih senzacija. Merena svojstva se mogu svrstati u pet grupa koje karakterišu pet modaliteta deformacija tekstilnih materijala: kompresija, savijanje, smicanje i istezanje, i površinska svojstva. Merenje ovih osnovnih mehaničkih i površinskih svojstava bazirano je na principima prikazanim na slici 18 [209]. Tipične krive deformacija-oporavak, odnosno krive histerezisa prikazane su kao osenčene površine na graficima istezanja i lateralne kompresije i kao debljina petlje histerezisa na krivama savijanja i smicanja. Značaj izučavanja histerezisa deformacije je u činjenici da on predstavlja gubitak energije tokom kompletnog ciklusa deformacija-oporavak usled neelastičnih mehaničkih procesa u materijalu, međusobnog trenja i viskoelastične prirode vlakana.



Slika 18. Principi na kojima se baziraju testiranja na KES-F instrumentima

Tabela 4. Parametri koji karakterišu mehanička i površinska svojstva tekstilnog materijala mereni na KES-F sistemu

Parametar	Simbol parametra	KES-F jedinica	
Istezanje	Izduženje pri opterećenju od 5 N cm ⁻¹	EMT	%
	Linearnost krive istezanja	LT	-
	Energija istezanja pri 5 N cm ⁻¹	WT	J m ⁻²
	Elastični oporavak istezanja	RT	%
Kompresija	Linearnost krive kompresije	LC	-
	Energija kompresije pri 5 kPa	WC	J m ⁻²
	Elastični oporavak kompresije	RC	%
	Debljina materijala pri 5 kPa	T	mm
Savijanje	Otpornost na savijanje	B	μN·m
	Histerezis savijanja	2HB	mN
Smicanje	Otpornost na smicanje	G	N m ⁻¹
	Histerezis smicanja pri 8.7 mrad	2HG	N m ⁻¹
	Histerezis smicanja pri 87 mrad	2HG5	N m ⁻¹
Površina	Koeficijent trenja (čelik/materijal)	MIU	-
	Srednja vrednost devijacije MIU	MMD	-
	Geometrijska hrapavost	SMD	μm

Kvantitativne mere koje karakterišu ponašanje materijala pri određenom deformacionom ciklusu su: prosečni nagib ili linearnost krive, maksimalna deformacija ili naprezanje, gubitak energije ili histerezis i zaostala deformacija. Parametri koji definišu hrapavost i trenje površine materijala su srednja vrednost koeficijenta trenja (između čelične žice i površine materijala), srednja vrednost odstupanja koeficijenta trenja i geometrijska hrapavost. Tekstilni materijal se u pogledu navedenih svojstava može opisati sa ukupno 16 parametara navedenih u tabeli 4 ili 28 u slučaju testiranja u oba pravca (horizontalnom i vertikalnom) [200, 211].

Čovekova percepcija taktilnog komfora zavisi pre svega od toga kako njegov mozak interpretira nervni odziv taktilnim impulsima koji su u tesnoj vezi sa mehaničkim i površinskim svojstvima tekstilnih materijala. Iako teorijski okviri fizičkih mehanizama taktilnog komfora odeće nisu u potpunosti istraženi, objektivna ocena mehaničkih i površinskih svojstava tekstilnih materijala omogućila je uspostavljanje relacija između svojstava materijala i različitih taktilnih senzacija. Jedna od najiritirajućih senzacija taktilnog diskomfora je peckanje izazvano u kontaktu sa tekstilnim materijalom (eng. prickliness). Individualna štrčeća vlakna na površini materijala u najvećoj meri izazivaju iritaciju nervnih završetaka u koži. Međutim, ustanovljeno je da se peckanje uzrokovano tekstilnim materijalom ne zapaža ukoliko je gustina štrčećih vlakana manja od 3 po 10 cm² ili je površina kontakta manja od 5 cm² [212]. Činjenica da je intenzitet senzacije peckanja funkcija gustine štrčećih vlakana na površini materijala kao i površine kontakta materijala i kože potvrđuje da su mehanička svojstva i geometrija površine materijala značajni faktori koji definišu ovu vrstu taktilne senzacije. Sprovedena istraživanja su identifikovala kritično opterećenje savijanja štrčećih krajeva vlakana (P_E) kao impuls koji je odgovoran za aktiviranje receptora bola. Iz relacije 35 proističe da su Young-ov modul (E), prečnik vlakna (d_{vl}) i dužina vlakana l_{vl} ključni parametri izazivanja senzacije peckanja [213]:

$$P_E = \pi^2 \left(\frac{E \cdot I}{4l_{vl}^2} \right), \quad (35)$$

gde je I – moment inercije ($I = \pi \cdot d_{vl}^4 / 64$ u slučaju kružnog poprečnog preseka vlakna).

U okviru ispitivanja uticaja mehaničkih svojstava materijala na percepciju komfora test nošenja je pokazao da je osećaj peckanja izazvan materijalom u pozitivnoj korelaciji sa prečnikom vlakana, debljinom materijala pri niskim opterećenjima i hrapavošću površine materijala [52]. Na osnovu velikog broja psiholoških testova nošenja potvrđeno je da su senzacije svrab i peckanje međusobno visoko korelisane. Naime, materijali koji u dodiru sa kožom daju osećaj peckanja obično izazivaju i svrab (eng. itchiness). Poređenjem subjektivnih ocena senzacije svraba sa objektivno merenim mehaničkim svojstvima materijala zaključeno je da je senzacija svraba u tesnoj vezi sa prečnikom vlakana, debljinom materijala pri niskim i visokim pritiscima i hrapavošću površine materijala [52].

Subjektivnim procenama i objektivnim merenjem ustanovljena je logaritamska zavisnost između subjektivne ocene krutosti (eng. stiffness) i koeficijenta drapiranja [214]. Slična međusobna zavisnost je dokazana i između subjektivnog doživljaja krutosti materijala i objektivno izmerene krutosti na savijanje [215]. Obimna istraživanja su pokazala da je subjektivna senzacija krutosti tekstilnog materijala povezana sa tri tipa mehaničkih svojstava materijala:

1. prečnik i prekidno opterećenje vlakana,
2. kompresiona svojstva materijala kao što su debljina pri niskim i visokim pritiscima, energija kompresije, linearnost krive kompresije, histerezis kompresije i elastični oporavak,
3. frikciona svojstva materijala kao što su srednja vrednost koeficijenta trenja i standardna devijacija koeficijenta trenja [52].

Mekoća (eng. softness) tekstilnog materijala je u praksi od strane potrošača najčešće upotrebljavani termin za definisanje odeće sa aspekta taktilnog komfora. Neki istraživači su mekoću materijala razmatrali kao suprotnost krutosti, dok su drugi mekoću ispitivali nasuprot čvrstine i tvrdoće [216]. Na osnovu procene mekoće različitih materijala subjektivnim ispitivanjem opipa i objektivnog merenja kompresije materijala ustanovljena je međusobna logaritamska zavisnost [217]. Pored značajne korelacije percepcije mekoće sa kompresijom materijala, mekoća se često definiše kao senzacija nastala kombinacijom voluminoznosti, elastičnosti, gipkosti i prijatnog opipa materijala. Očigledno je da mekoća tekstilnog materijala ima višestruko značenje proisteklo iz različitih fizičkih svojstava materijala kao što su kompresiona svojstva (debljina pri

niskim i visokim pritiscima, energija kompresije i elastični oporavak), elastična svojstva (maksimalno izduženje, linearnost krive sila - istežanje), histerzis smicanja, površinska masa materijala i trenje [52, 191].

Bitne taktilne senzacije izazvane tekstilnim materijalima koji su u direktnom kontaktu sa kožom su hrapavost (eng. roughness), glatkoća (eng. smoothness) i grebanje (scratchiness). Ključni faktori koji determinišu navedene senzacije su trenje i mehanička interakcija između tekstilnog materijala i kože. Hrapavost materijala se definiše kao neregularnost površine koja se može opisati geometrijski veličinom elemenata hrapavosti i mehanički koeficijentom trenja. Istraživanja su pokazala da je senzacija hrapavosti zavisna od rastojanja između elemenata hrapavosti površine materijala. Takođe je ustanovljena logaritamska zavisnost senzacije hrapavosti materijala i prečnika pređe, pri čemu su uz isti prečnik pređe pletenine okarakterisane hrapavijim površinama. Poređenjem čulnih odziva u testovima nošenja i instrumentalno određenih mehaničkih svojstava materijala dokazana je veza između senzacije hrapavosti i geometrije površine materijala (koeficijent hrapavosti površine), kompresionim (debljina pri niskim i visokim pritiscima, energija kompresije) i zateznim (maksimalno istežanje, elastični oporavak) svojstvima materijala kao i sa prečnikom i zateznim svojstvima (prekidna sila i prekidno izduženje) vlakana [52]. Prisutna vlaga na površini kože može značajno da utiče na intenzitet senzacije hrapavosti površine materijala. Povećana hidratacija kože omekšava njenu površinu povećavajući broj dodirnih tačaka kože i materijala a takođe može da izazove veće prijanjanje materijala uz kožu čime se povećavaju njihove dodirne površine. Pojačano trenje između tekstilnog materijala i kože aktivira veći broj receptora dodira čime se intenzivira percepcija teksture materijala, odnosno snižava se prihvatljivost materijala sa aspekta taktilnog komfora [188]. Dosadašnja istraživanja su pokazala da je precepcija glatkoće tekstilnih materijala uslovljena nizom fizičkih svojstava kao što su debljina materijala pri niskom pritisku, energija kompresije, linearnost krive kompresije, geometrijska hrapavost površine materijala, krutost na savijanje, histerzis savijanja, energija istežanja materijala i površinska masa [191]. Slično senzaciji hrapavosti, subjektivna senzacija grebanja je u korelaciji sa zateznim svojstvima materijala (maksimalno izduženje, energija i nagib krive opterećenje-izduženje, hrapavost površine materijala (srednja vrednost i devijacija koeficijenta hrapavosti) i kompresionim svojstvima materijala (debljina materijala pri niskom pritisku, energija kompresije i linearnost krive kompresije). Subjektivne ocene i objektivna merenja potvrdili su uticaj

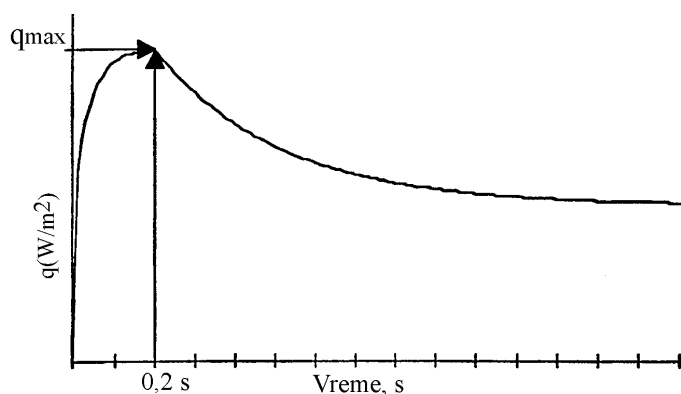
savitljivosti vlakana na intenzitet senzacije grebanja tekstilnog materijala. Pored toga, površinska struktura vlakana kroz efekat trenja može da predstavlja značajan faktor senzacije grebanja [194, 218].

Od modernih odevnih predmeta se pored atraktivnosti i funkcionalnosti očekuje da poseduju tzv. rezervu komfora koja treba da omogući nesmetanu slobodu pokreta svakog čoveka. Koliko će odeća biti u stanju da zadovolji određene antropometrijske zahteve u velikoj meri zavisi od mehaničkih svojstava tekstilnog materijala. Naime, analizom antropometrijske kinematike identifikovane su osnovne komponente komfora posmatranog sa aspekta pritiska koji odeća vrši na kožu. To su dizajn i kroj odevnog predmeta, prijanjanje ili klizanje tekstilnog materijala uz telo i sposobnost istežanja materijala [193]. Sklonost tekstilnog materijala da prijanja uz telo kao i priroda kontakta materijala i kože određeni su koeficijentom trenja kože i materijala i između materijala različitih slojeva odeće. Biaksijalno istežanje tekstilnog materijala u velikoj meri zavisi od svojstava elastičnosti i od sposobnosti elastičnog oporavka materijala. Kojim mehanizmom će odevni predmet da se prilagođava pokretima tela zavisi prvenstveno od ravnoteže između prisutnih naprezanja u materijalu i sila trenja između kože i materijala. Materijal sa velikom sposobnošću biaksijalnog istežanja [193] i velikim trenjem u dodiru sa kožom teži da se rastezanjem prilagodi čovekovom telu. Suprotan efekat ispoljavaju materijali sa niskim koeficijentom trenja i malom sposobnošću biaksijalnog istežanja. Materijali okarakterisani visokom otpornošću na klizanje i istežanje vršeći snažan pritisak na telo izazivaju osećaj diskomfora. Istraživanja su pokazala da se zadovoljavajući nivo biaksijalnog istežanja materijala sa aspekta komora kreće u intervalu od 25 % do 45 % zavisno od tipa odevnog predmeta. Pored toga, pokazalo se da pravac istežanja materijala u odnosu na telo ima značajan uticaj na precepciju komfora. Zavisnost između nivoa biaksijalne istegljivosti materijala i pritiska (P_K) koje materijal vrši na telo može se predstaviti relacijom [193]:

$$P_K = \frac{T_H}{\gamma_H} + \frac{T_V}{\gamma_V} \quad , \quad (36)$$

gde su T_H i T_V – sila istežanja (mereno na Instron aparatu na određenom nivou naprezanja) materijala u horizontalnom i vertikalnom pravcu i γ_H i γ_V – radijus obline određenog dela tela u horizontalnom i vertikalnom pravcu.

Senzacija toplo/hladno generiše se gotovo trenutno pri kontaktu površine materijala i kože. Nastala senzacija ne utiče značajno na termofiziološku ravnotežu organizma uslovljavajući više psihološki aspekt komfora. Istraživanja su pokazala da je senzacija toplo/hladno u tesnoj vezi sa sorpcionim svojstvima vlakana, prečnikom vlakana, strukturom materijala, toplotnim kapacitetom i konduktivnošću materijala i relativnom vlažnošću okolnog vazduha [111, 219-221]. Iako se veruje da toplotna provodljivost vlakana samo u manjoj meri utiče na formiranje ove toplotne senzacije, promena sadržaja vlage u vlaknima može da izazove promene konduktivnosti materijala odnosno njegovog površinskog sloja koji je u kontaktu sa kožom. Smatra se, međutim, da su veličina površine kontakta tekstilnog materijala i kože i geometrija površine materijala najbitniji činioci senzacije toplo/hladno. Sa povećanjem površine kontakta ubrzava se tok toplote sa kože kroz materijal čime on postaje „hladniji“ tj. percipira se osećaj hladnog. Karakter površine materijala, uslovljavajući izolacionu sposobnost sloja materijala koji je u neposrednom kontaktu sa kožom, utiče na formiranje toplotnog toka a time i na senzaciju koju materijal pruža. Tako, hrapava površina materijala smanjuje površinu kontakta sa kožom, dok glatkija površina povećavajući površinu kontakta povećava toplotni fluks kreirajući hladniji opip materijala [89, 132, 197].



Slika 19. Kriva toplotnog toka prilikom kontakta tekstilnog materijala i kože

Prvi objektivno determinisan parametar koji opisuje ponašanje tekstilnog materijala sa aspekta toplotnog opipa je maksimalna gustina toplotnog toka (q_{\max}) (W m^{-2}) u momentu kontakta materijala i kože. Kod uređaja namenjenog za objektivnu evaluaciju toplotnog opipa materijala nazvanog Thermo-labo (KES-FB7) [222], maksimalna

vrednost gustine toplotnog toka postiže se 0,2 s od uspostavljanja kontakta, što je ilustrovano na slici 19.

Drugi parametar koji se koristi kao objektivna mera toplotnog opipa materijala i kože je termička apsorptivnost (b) ($\text{W s}^{1/2} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$) ili koeficijent apsorpcije toplote određena relacijom [173]:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad , \quad (37)$$

gde je λ - toplotna konduktivnost, ρ - gustina materijala i c – specifični toplotni kapacitet materijala. Praktične vrednosti termičke apsorptivnosti tekstilnih materijala kreću se u intervalu od 20 - 300 $\text{W s}^{1/2} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, pri čemu više vrednosti apsorptivnosti predstavljaju hladniji opip materijala. S obzirom da se upotrebom higroskopskih vlakana tekstilnom materijalu obezbeđuje hladniji opip, viskoza, lan i pamuk ispoljavaju najhladniji opip dok se materijali od PVC, PP i PAN vlakana smatraju najtoplijim [221, 224]. Polazeći od prethodno rečenog, opisani parametri (maksimalna gustina toplotnog toka i termička apsorptivnost), koji definišu karakter tekstilnog materijala sa aspekta toplo/hladno senzacije proistekle iz kontakta materijala sa kožom, mogu se smatrati površinskim svojstvima tekstilnog materijala odgovornim za doživljaj taktilnog komfora odeće.

4.1.1 Fizička svojstva tekstilnih materijala u funkciji taktilnog komfora

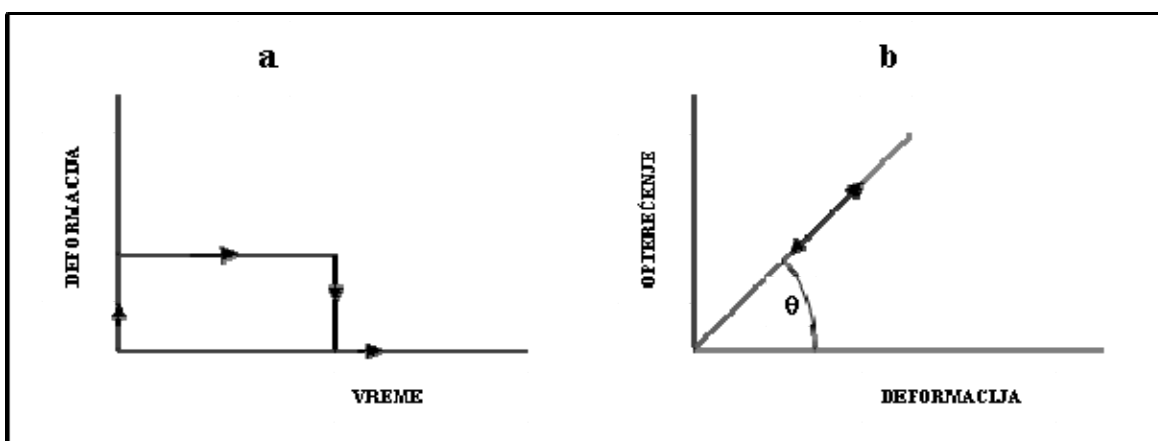
Percepcija taktilnog komfora suštinski je rezultat opterećenja generisanog u tekstilnom materijalu kao i distribucije opterećenja na koži. Lakoća pokreta i nivo generisanog opterećenja pri različitim pokretima tela uslovljeni su mehaničkim svojstvima materijala. Prilikom nošenja odevnog predmeta tekstilni materijal trpi četiri osnovna tipa deformacija: kompresija, istezanje, savijanje i smicanje. Pri tome, tekstilni materijal se deformiše u meri koliko mu dozvole njegova konstrukcija i svojstva strukturnih elemenata (vlakna, pređa). Sile koje materijal treba da savlada da bi se deformisao određene su vrstom opterećenja kako je prikazano u tabeli 5 [225]. Kod osnovnih formi deformacija izazvani napon je isti u svim tačkama u materijalu sa pravcem koji se podudara sa pravcem opterećenja. U slučajevima kada je opterećenju izložena veća površina materijala ili kada je intenzitet opterećenja takav da narušava originalni ravnotežni položaj materijala

u jednoj ravni dolazi do pojave izvijanja, odnosno materijal zauzima određenu konfiguraciju u prostoru. Opterećenje pri kome dolazi do odstupanja materijala od njegovog ravnotežnog položaja naziva se kritično opterećenje izvijanja. Ovde se radi o kompleksnoj deformaciji nastaloj kao rezultat kombinovanja kompresije, istezanja, smicanja i savijanja (tabela 5).

Tabela 5. Tipovi deformacija tekstilnih materijala

DEFORMACIJA		SUPROTSTAVLJENE SILE
U jednoj ravni	Lateralna kompresija, Istezanje	Longitudinalno trenje između pređa i vlakana
U jednoj ravni	Smicanje	Trenje pređe, eventualno savijanje i uvijanje
Izvan ravni	Savijanje	Savijanje pređe (trenje između vlakana u pređi)
Izvijanje	Deformacija usled kompresije	Kompresija, smicanje i savijanje
Izvijanje	Deformacija usled smicanja	Smicanje, savijanje i istezanje
Izvijanje	Deformacija usled koncentrisanog opterećenja	Kompresija, istezanje, smicanje i savijanje

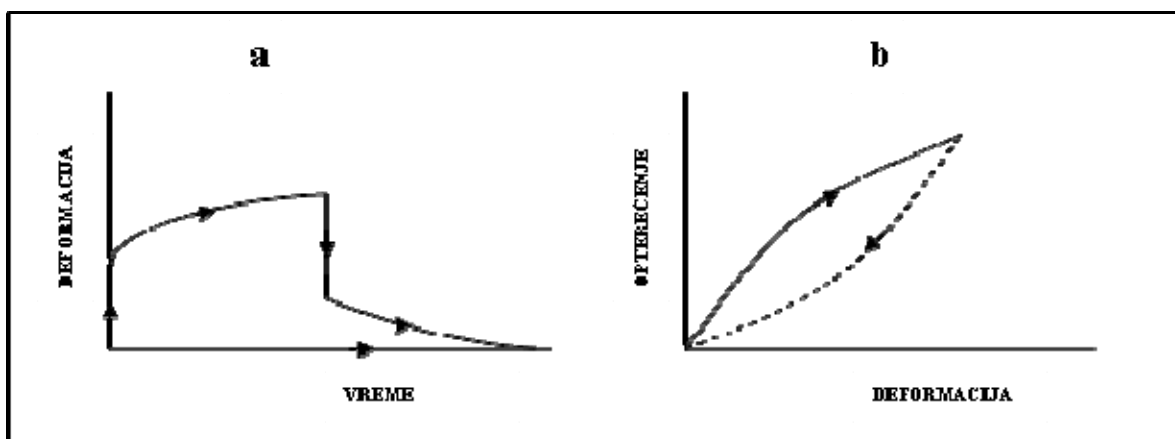
Poznato je da tekstilni materijali pod opterećenjem trpe deformaciju sačinjenu od dve komponente od kojih je jedna trenutna ili elastična deformacija, a druga se dešava posle izvesnog vremena (usporena deformacija). Usporenu (ili zakasnelu) deformaciju čine povratna (primarno puzanje ili viskoelastična) komponenta i nepovratna (sekundarno puzanje ili plastična) komponenta deformacije. Elastični oporavak se generalno može definisati kao sposobnost materijala da se vrati u prvobitno stanje ili oblik posle uklanjanja primenjenog opterećenja [226]. Sposobnost materijala da se oporavi posle deformacije uslovljena je kompleksnom interakcijom mnogih faktora vezanih za svojstva vlakana, geometriju pređa i strukturu materijala. Pored fizičkih svojstava, elastični oporavak materijala zavisi i od distribucije napona unutar strukture pređe i materijala. Idealno elastičan materijal ispoljava isključivo elastičnu deformaciju koja se ne menja sa vremenom trajanja opterećenja a trenutno i potpuno se gubi nakon rasterećenja (slika 20 a). Ovakvi materijali su okarakterisani linearnom krivom opterećenje-deformacija i međusobno se razlikuju prema modulu elastičnosti koji je na dijagramu na slici 20 b prikazan kao $\tan \theta$ [227].



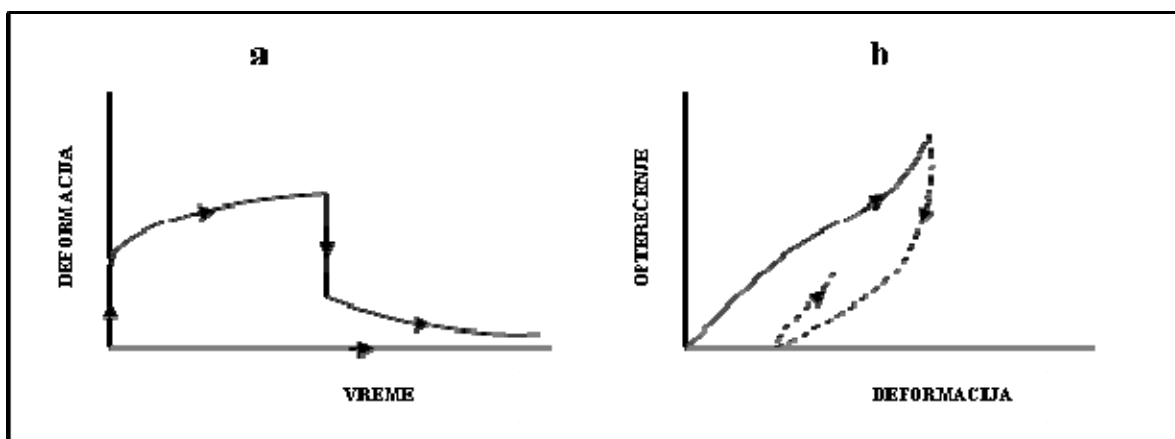
Slika 20. Deformaciona svojstva idealno elastičnih materijala: a) dijagram deformacija-vreme; b) dijagram opterećenje-deformacija

Tipične krive opterećenje - deformacija različitih vlakana i tekstilnih struktura dobijene eksperimentalnim putem potvrdile su da se tekstilni materijali ne mogu smatrati savršeno elastičnim, s obzirom da krive reflektuju efekte sve tri komponente deformacije: elastičnu, viskoelastičnu i plastičnu deformaciju. U ovom slučaju deformacija nije konstantna sa vremenom jer je pored trenutne elastične deformacije proporcionalne opterećenju prisutna i viskoelastična komponenta koja izaziva porast deformacije sa vremenom. Ova usporena ali reverzibilna komponenta deformacije menja oblik deformacione krive pri opterećenju materijala (slika 21 b i 22 b). Zbog toga analiza oblika deformacione krive omogućuje determinisanje elastičnih svojstava materijala. Po uklanjanju opterećenja trenutno se relaksira elastična deformacija u meri u kojoj je prethodno izazvana a vremenom i viskoelastična komponenta. Materijali kod kojih je iako usporen, elastični oporavak kompletan smatraju se elastičnim materijalima (slika 21 a i 21 b). Međutim, u uslovima opterećenja prilikom nošenja odeće tekstilni materijali najčešće ispoljavaju i viskoelastičnu i plastičnu deformaciju. Tada se elastični oporavak ne dešava u potpunosti zavisno od veličine trajne deformacije (slika 22 a i 22 b) [227].

U literaturi se često sposobnost oporavka materijala definiše odnosom energije retrakcije i energije deformacije, pri čemu deformacija može biti kompresija, istezanje, smicanje ili kompleksna deformacija nastala kombinacijom različitih tipova deformacija. Pojam retrakcije ovde ima značenje relaksacije napona bilo kompresionog, zateznog, smicajnog ili kompleksnog napona [228, 229].



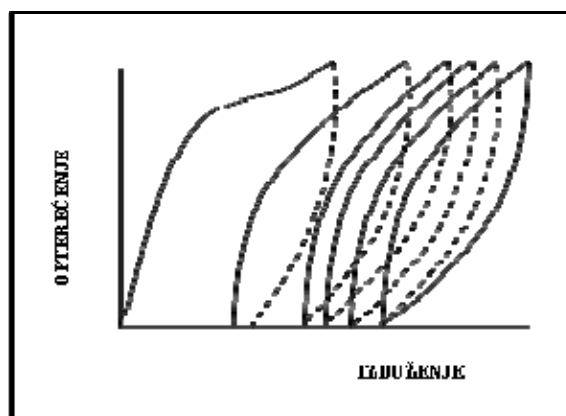
Slika 21. Deformaciona svojstva potpuno elastičnih tekstilnih struktura: a) dijagram deformacija-vreme; b) dijagram opterećenje-deformacija



Slika 22. Deformaciona svojstva delimično elastičnih tekstilnih struktura: a) dijagram deformacija-vreme; b) dijagram opterećenje-deformacija

Odevni tekstilni materijali su tokom veka trajanja izloženi seriji cikličnih opterećenja i rasterećenja. Svojom sposobnošću da apsorbuju energiju ispoljenu tokom opterećenja i oslobode je po rasterećenju tekstilni materijali se odupiru destruktiji. Ovakvo ponašanje materijala dirigovano je njihovim fundamentalnim fizičkim svojstvima, odnosno deformacionim karakteristikama. Drugim rečima, energetska svojstva materijala u tesnoj su vezi sa elastičnom, viskoelastičnom i plastičnom komponentom deformacije materijala i predstavljaju kriterijum sposobnosti materijala da trpi ciklično opterećenje. Pri tome, smatra se da komponenta trajne deformacije u najmanjoj meri određuje ponašanje materijala pod cikličnim opterećenjem, s obzirom da ova komponenta deformacije postaje

zanemarljiva već posle nekoliko prvih ciklusa deformacije (slika 23) [227]. Sa druge strane, reverzibilne komponente deformacije (elastična i viskoelastična komponenta) značajno kontrolišu količinu apsorbovane i oslobođene energije čime obezbeđuju adekvatno ponašanje tekstilnih materijala izloženih cikličnim opterećenjima. Polazeći od navedenih razmatranja brojni autori su sposobnost elastičnog oporavka materijala razmatrali kao parametar inverzan površini histerezisne petlje ispoljene prilikom deformacije i relaksacije tekstilnih materijala (slika 22 b) [227, 230-232].



Slika 23. Ciklično opterećenje tekstilnog materijala

Izvestan broj autora [227, 230-232] je elastični oporavak tekstilnog materijala definisao kao sposobnost materijala da apsorbuje rad a da ne pretrpi trajnu deformaciju. Aproksimiranjem vrednosti apsorbovanog rada (W_{ap}) relacijom koja predstavlja polovinu proizvoda opterećenja (L) i izduženja (E):

$$W_{ap} = \frac{1}{2} L \cdot E \quad , \quad (38)$$

i uvođenjem u relaciju koeficijenta pravca deformacione krive ($M = L/E =$ krutost) dokazano je da je količina rada koju tekstilna struktura može da apsorbuje u direktnoj vezi sa njenom krutošću:

$$W_{ap} = \frac{1}{2} \frac{L^2}{M} \quad . \quad (39)$$

Prema relaciji 39 materijal koji se odlikuje najvećom krutošću ima najmanju sposobnost da apsorbuje rad, odnosno ima najmanju sposobnost elastičnog oporavka [226, 233].

Iako je elastični oporavak tekstilnih materijala uslovljen elastičnim oporavkom vlakana, njihov međusobni odnos nije obavezno srazmeran. Naime, istraživanja su pokazala da elastični oporavak materijala, pored prirode vlakana, zavisi i od konstrukcionih karakteristika kao i od finoće i upredenosti komponentnih pređa [226, 234]. Sa druge strane, sposobnost elastičnog oporavka tekstilnog materijala je sa aspekta taktilnog komfora jedan od bitnih faktora odgovornih za generisanje određenih taktilnih senzacija. S obzirom da je prilikom nošenja odeće tekstilni materijal izložen stalnim cikličnim opterećenjima, sposobnost elastičnog oporavka materijala može značajno da utiče i na toplotni komfor odeće. Naime, trajne promene u strukturi materijala, pre svega promene debljine i poroznosti, izazvane kompresionim, zateznim ili kombinovanim opterećenjem neminovno utiču i na fizička svojstva materijala odgovorna za prenos toplote i propuštanje vlage i vazduha kroz materijal (slika 9) [69, 92, 94, 134, 135].

Mehanička interakcija između tekstilnog materijala i kože omogućena je u tačkama njihovog dodira. Kontura površine materijala odgovorna je za raspodelu opterećenja na koži pa se površinska svojstva materijala smatraju izuzetno važnim za percepciju taktilnog komfora. Poznato je da su pored nehomogene "unutrašnje" strukture tekstilni materijali okarakterisani i nehomogenom, neravnom površinom sa velikim brojem neravnina na mestima gde se pređe ukrštaju ili prepliću. Ove dvodimenzionalne neravnine su raspoređene periodično po površini materijala. Kod tkanina i pletenina proizvedenih od štapel pređa, dodatna nehomogenost površine potiče od neravnomernosti pređe izazvane štrčećim vlaknima na njenoj površini. Svojom krutošću ova štrčeća vlakna se odupiru kontaktu gustog srednjeg sloja materijala sa kožom prenoseći opterećenje na kožu u zoni nižih kompresionih opterećenja. Zato se smatra da su broj i dužina štrčećih vlakana kao i njihova fleksibilnost ili krutost primarni parametri taktilnog komfora [196, 235].

5. CILJ I SADRŽAJ RADA

Čovekova psihološka, čulna i fiziološka percepcija komfora uslovljena je u ogromnoj meri njegovom dinamičkom interakcijom sa odećom koja podrazumeva prenos toplote kondukcijom, konvekcijom i radijacijom, prenos vlage difuzijom, sorpcijom i isparavanjem i mehaničku interakciju u formi pritiska, trenja i dinamičkog kontakta. Stoga se naučni pristup objektivnoj oceni komfora tekstilnih materijala zasniva na određivanju fizičkih svojstava materijala u kontekstu navedenih fizičkih procesa odgovornih za generisanje različitih impulsa (vizuelni, toplotni, taktilni). Poznato je da su pored prirode vlakana, fizička svojstva tekstilnih materijala određena konstrukcionim parametrima materijala i strukturom i svojstvima komponentnih pređa. U drugoj polovini dvadesetog veka rađena su obimna istraživanja u oblasti međusobne zavisnosti strukture i fizičkih svojstava tekstilnih materijala. Međutim, samo se ograničen broj istraživanja, koja su retkim izuzecima datiraju iz protekle decenije, odnose na ispitivanje efekata strukture i svojstava pređa na fizičke parametre tekstilnih materijala u kontekstu njihovog komfora.

U okviru istraživanja polazi se od hipoteze da se tehnologijom pređenja, kao jednom od najranijih faza proizvodnje odevnih tekstilnih materijala, može uticati na svojstva komfora. Takođe, pretpostavlja se da u tom smislu još više potencijala ima operacija končanja kojom se modifikuju svojstva pređa u pravcu povećane ravnomernosti, poboljšanih dinamometarskih i relaksacionih svojstava i izmene geometrije površine.

Danas kada je eko-dizajn postao opšte prihvaćena filozofija života, obnavlja se interesovanje za prirodna obnovljiva i biodegradabilna celulozna vlakna. Visoka higroskopsnost, dobra sorpciona svojstva i propustljivost pare i vazduha vlakana konoplje obezbeđuje im odlične predispozicije za uspešnu transformaciju u komforne odevne tekstilne materijale. Strategije u oblasti eliminisanja izvesnih slabosti vezanih za slabiju elastičnost vlakana konoplje uključuju preradu kotonizovanog vlakna na standardnoj opremi za proizvodnju pređa pamučnog i vunenog tipa uz mešanje sa pamukom, vunom ili hemijskim vlaknima pamučnog ili vunenog tipa. U okviru ovog istraživanja, u cilju valorizacije vlakna konoplje kao osnove komfornih odevnih tekstilnih materijala visoke ekološke vrednosti, mešanje vlakana konoplje sa dobro poznatim komfornim celuloznim vlaknima (pamuk, viskoza) postignuto je primenom operacija dubliranja i končanja. Na takav način je tehnikama dubliranja i končanja omogućeno ne samo kombinovanje svojstava različitih vlakana već i transformacija svojstava proisteklih iz strukture jednožičnih homogenih pređa. Pored toga, dubliranjem i končanjem raznorodnih pređa

različitih fizičko-mehaničkih i tehnoloških svojstava dobijene su hibridne pređe okarakterisane jedinstvenim svojstvima proisteklim iz svojstava i strukture homogenih komponenti. Sistematsko proučavanje uticaja strukture i svojstava pređa na bazi konoplje na komfor DL i DD pletenina ima za cilj da ukaže na mogući pristup obezbeđivanja komfornih tekstilnih materijala na bazi konoplje putem optimizacije sastava, strukture i svojstava pređa i pletenina izbegavajući upotrebu ekološki nepoželjnih postupaka.

6. MATERIJAL I METODE ISPITIVANJA

6.1 Materijal

U okviru istraživanja korišćene su štapel jednožične pređe od konoplje (Linificio Canapificio Nazionale, Italija), pamuka (PVK, Vranje) i viskoze (Viskoza, Loznica) iste nominalne finoće 50 tex sa upređanjem u Z smeru. Preciznije, eksperimentalni materijal je obuhvatao tri varijante različito upređenih pamučnih pređa. Ove pređe su proizvedene tehnikom rotorskog pređenja (OE pređenje) uz variranje nominalnog upređenja za po 100 uvoja po 1 m. Strukturna svojstva jednožičnih pređa data su u tabeli 6.

Tabela 6. Strukturna svojstva jednožičnih pređa

Vlakno	Finoća, T_{tex} (tex)		Upredanje, K_u (m^{-1})		Koefficient upređanja, α_t ($\text{tex}^{1/2} \text{cm}^{-1}$)	
	nominalno	faktičko	nominalno	faktičko	nominalno	faktičko
Konoplja	50	47,8	400	370	28,3	25,6
Viskoza	50	44,4	400	340	28,3	22,6
Pamuk I	50	48,9	490	475	34,6	33,2
Pamuk II	50	48,1	590	547	41,7	37,9
Pamuk III	50	49,1	690	581	48,8	40,7

Za izradu končanih hibridnih pređa pored jednožične pređe od konoplje upotrebljeni su viskozni filament i teksturirani poliamidni filament (Tactel[®], Du Pont), čije su nominalne i faktičke karakteristike date u tabeli 7.

Tabela 7. Strukturna svojstva filamenata

Vlakno	Finoća, T_{tex} (tex)		Upredanje, K_u (m^{-1})		Koefficient upređanja, α_t ($\text{tex}^{1/2} \text{cm}^{-1}$)	
	nominalno	faktičko	nominalno	faktičko	nominalno	faktičko
Viskoza	30 f 64	30,9	110	113	6,0	6,3
Tactel	16 f 256	16,4	-	-	-	-

Karakteristike dobijenih končanih hibridnih pređa sa pređom od konoplje kao obaveznom komponentom, kao i svojstva končane pređe od konoplje prikazane su u tabeli 7. U nameri da se proizvedu složene pređe što približnijih vrednosti finoće, hibridne pređe su uglavnom dvožične izuzev jedne trožične varijante kod koje su dve niti tactela končane sa

jednožičnom pređom od konoplje. Nominalna vrednost upredanja svih složenih pređa iznosila je 310 m^{-1} u S smeru.

Tabela 8. Strukturna svojstva končane pređe od konoplje i hibridnih končanih pređa

Sastav pređe	Finoća, T_{tex} (tex)	Upredanje, K_u (m^{-1})	Koeficijent upredanja, α_t ($\text{tex}^{1/2} \text{ cm}^{-1}$)
Konoplja/konoplja	95,6	297	29,0
Konoplja/viskoza	81,6	308	27,8
Konoplja/tactel	62,8	305	24,2
Konoplja/tactel/tactel	78,8	308	27,3

Prethodnim dubliranjem jednožičnih štapel pređa kako bi se dobile homogene i nehomogene kombinovne pređe omogućeno je dobijanje devet varijanti kuliranih desno-levih (DL) pletenina proizvedenih na kružnoj mašini finoće NoE 20. Na istoj mašini proizvedena je i deseta varijanta pletenine od končane konopljine pređe čije su karakteristike date u tabeli 8 (konoplja/konoplja). Konstrukcione karakteristike proizvedenih pletenina prikazane su u tabeli 9.

Tabela 9. Konstrukcione karakteristike DL pletenina

Sirovinski sastav	Gustina petlji (cm^{-1})		Površinska gustina (cm^{-2})	Dužina petlje (mm)	Debljina (mm)	Površinska masa (g m^{-2})
	D_h	D_v				
Konoplja + konoplja	5,5	13,0	75,4	5,0	0,916	360,4
Konoplja/konoplja	5,5	12,0	66,0	5,3	0,948	334,4
Viskoza + viskoza	6,0	13,0	78,0	5,3	1,048	367,1
Konoplja + viskoza	5,5	14,0	77,0	5,3	0,957	376,3
Pamuk I + pamuk I	6,0	12,0	72,0	5,4	1,163	387,3
Konoplja + pamuk I	5,5	13,0	71,5	5,3	1,047	366,4
Pamuk II + pamuk II	6,5	12,5	81,2	5,6	1,191	430,0
Konoplja + pamuk II	6,0	12,0	72,0	5,5	1,068	380,5
Pamuk III+ pamukIII	6,5	12,0	78,0	5,5	1,211	423,6
Konoplja + pamuk III	6,0	12,5	75,0	5,5	1,069	402,6

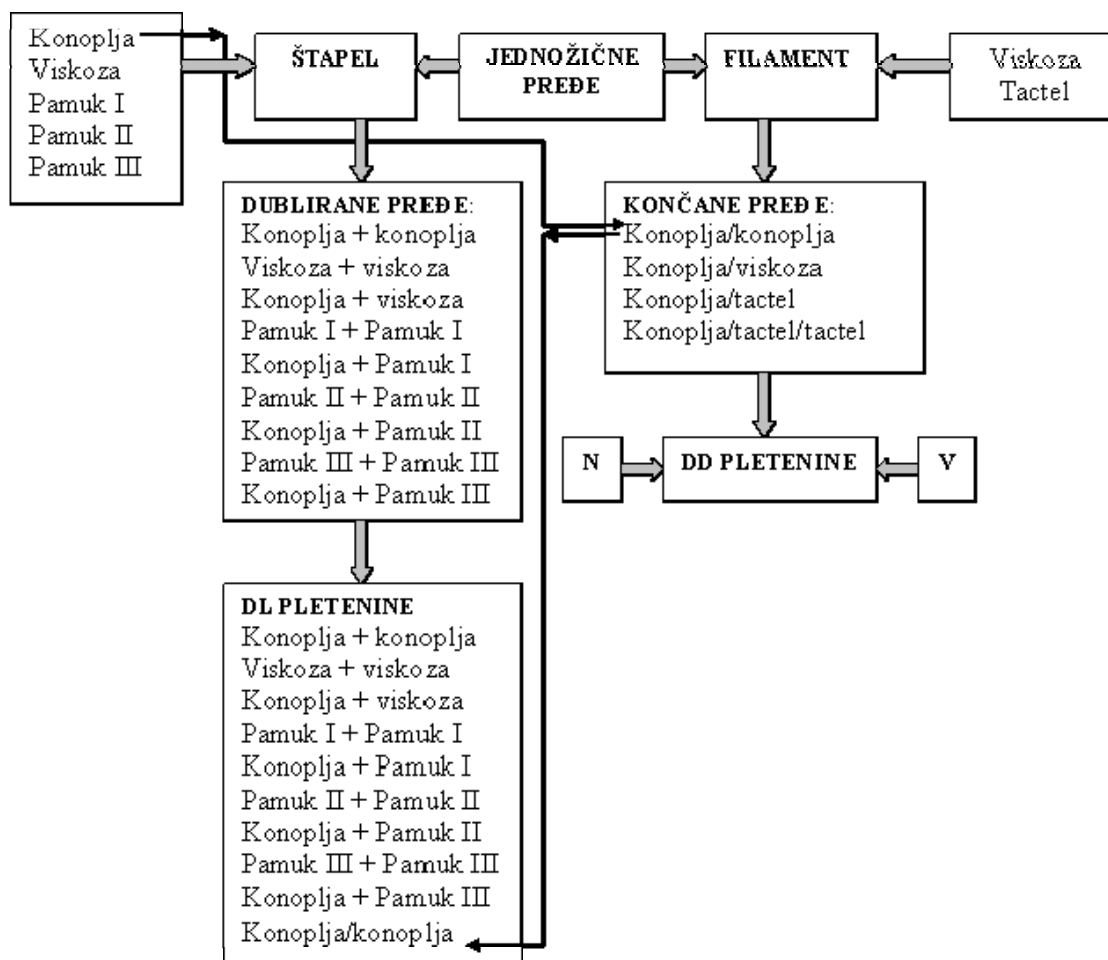
Hibridne končane pređe su iskorišćene za izradu kuliranih desno-desnih (DD) 1:1 pletenina na dvema mašinama koje su se međusobno razlikovale po finoći: NoE 10 i NoE 12. Tako su dobijene dve grupe pletenina različite površinske gustine koje će kasnije biti označene kao N (niža gustina) i V (veća gustina). Sedmu varijantu u okviru ove grupe ispitivanih pletenina predstavlja DD pletenina manje površinske gustine izrađena od

končane konopljne pređe. Varijantu pletenine veće površinske gustine nije bilo moguće napraviti zbog nedovoljne fleksibilnosti končane pređe od konoplje. Konstrukcione karakteristike ovih sedam pletenina date su u tabeli 10. Shema kompletnog eksperimentalnog materijala prikazana je na slici 24.

Tabela 10. Konstrukcione karakteristike DD pletenina

Sastav pređe	Gustina petlji (cm ⁻¹)		Površinska gustina (cm ⁻²)	Dužina petlje (mm)	Debljina (mm)	Površinska masa (g m ⁻²)	
	D _h	D _v					
Konoplja/ konoplja	N	11,0	12,0	132	6,8	1,649	429,1
Konoplja/ viskoza	N	11,0	12,0	132	6,9	1,430	371,6
	V	12,0	16,0	192	5,5	1,523	430,8
Konoplja/ tactel	N	11,0	12,0	132	6,6	1,218	273,6
	V	12,0	16,0	192	5,2	1,397	316,5
Konoplja/tactel/ tactel	N	10,0	13,2	132	6,8	1,382	351,1
	V	12,0	18,0	216	5,5	1,486	468,1

Provera faktičkih svojstava ispitivanih pređa urađena je prema važećim SRPS standardima [236, 237]. Strukturne karakteristike proizvedenih pletenina određene su prema standardnoj proceduri [123]. Posle kondicioniranja na 20±2 °C uz relativnu vlažnost 65±2 %, pređe su ispitivane u pogledu mehaničkih, relaksacionih i površinskih svojstava. U cilju valorizacije ispitivanih pređa u pogledu njihove transformacije u komforne tekstilne materijale proizvedene serije pletenina su podvrgnute ispitivanjima sposobnosti prenosa toplote i propuštanja vazduha i vodene pare, mehaničkih, relaksacionih i površinskih svojstava.



Slika 24. Shema eksperimentalnog materijala

6.2 Metode ispitivanja

6.2.1 Ispitivanje mehaničkih svojstava pređa

Ispitivanja mehaničkih svojstava pređa su vršena na dinamometru Instron 5567 prikazanom na slici 25, prema standardu ISO 2062 [238]. Uređaj čine fiksirana i pokretna konzola, merna glava i deo za registrovanje i štampanje podataka. Klimatska komora, kojom je dinamometar opremljen, omogućuje preciznu kontrolu temperature (-30 °C do +90 °C) i vlažnosti vazduha. Izmerene fizičke veličine se analiziraju kompjuterskim programom (BlueHill) čime je olakšana interpretacija dobijenih rezultata.



Slika 25. Dinamometar Instron 5567 (Instron, Velika Britanija)

Statistički obrađeni rezultati izraženi kao srednje vrednosti prekidne sile (P_{pr}) (N), prekidnog izduženja (E) (%) i odgovarajuće mere varijacije (standardna devijacija, koef. varijacije, minimalna i maksimalna vrednost). Na osnovu vrednosti specifične prekidne sile (p) (cN tex^{-1}) i prekidnog izduženja izračunat je rad kidanja (W_p) (J g^{-1}) ispitivanih pređa prema izrazu:

$$W_p = 0.1 \cdot \mu \cdot p \cdot E , \quad (40)$$

gde je μ - koeficijent popunjenosti dijagrama, čija je vrednost 0.5.

Primena ovog izraza je opravdana činjenicom da je zavisnost specifičnog rada kidanja pređe od njene finoće i koeficijenta upredanja analogna linearnoj zavisnosti prekidnih karakteristika, finoće i koeficijenta upredanja pređe [239]. Za ocenu energetske sposobnosti ispitivanih pređa poslužio je parametar - radna sposobnost (R_w) (J g^{-1}) koji je izračunat prema relaciji [239]:

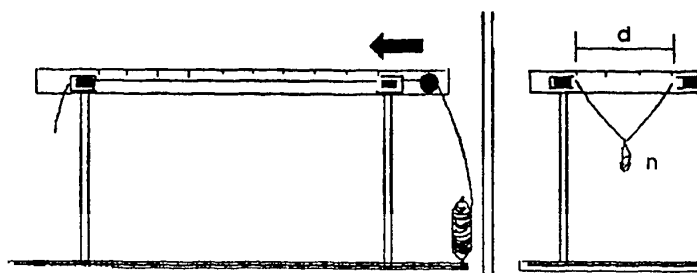
$$R_w = W_p (1 - 0.0165 \cdot cV_w) , \quad (41)$$

gde je cV_w – koeficijent varijacije rada kidanja, koji se može odrediti na osnovu vrednosti koeficijent varijacije prekidne sile (cV_p) (%) i prekidnog izduženja (cV_E) (%) pređe:

$$cV_w = \sqrt{cV_p^2 + cV_E^2} . \quad (42)$$

6.2.2 Ispitivanje relaksacionih svojstava pređa

Za ocenu relaksacionog ponašanja pređa poslužila su ispitivanja uravnoteženosti pređa kao i relaksacija pređa pri istezanju. S obzirom da za ispitivanje neuravnoteženosti pređa ne postoji standardni postupak, primenjena je metoda za određivanje sklonosti ka kovrdžanju na aparaturi, prikazanoj na slici 26 [240], koja registruje rastojanje krajeva odsečaka pređe u trenutku nastajanja prvih kovrdža (distanca kovrdžanja d , izražena u cm), kao i broj petljica (n).



Slika 26. Shema aparata za ocenjivanje zaostalog torzionog napona u pređi (sklonost ka kovrdžanju)

Na postolju aparata postavljena su dva vertikalna nosača između kojih je fiksiran metalni lenjir na čijem se levom kraju nalazi nepokretna klemna za hvatanje jednog kraja pređe. Po metalnom lenjiru slobodno klizi pokretna klemna, koja nosi drugi kraj pređe, omogućavajući tako, međusobno približavanje njenih krajeva do momenta obrazovanja petljica. Postupak je ponovljen 30 puta po eksperimentalnoj varijanti poštujući uslove ispitivanja u kojima je dužina uzorka iznosila 500 mm uz ostvareno predopterećenje od $0,1 \text{ cN tex}^{-1}$.

Za ispitivanje relaksacije pređa pri istezanju (aksijalno naprezanje na istezanje) poslužio je torziometar firme BRANCA IDEALAIR (Italija). Pre istezanja epruveta dužine 500 mm je fiksirana klemama torziometra uz predopterećenje od $0,1 \text{ cN tex}^{-1}$. Željeno opterećenje epruvete se postiže postavljanjem tegova odgovarajuće mase na nosač koji je u vezi sa pokretnom klemom torziometra i kazaljkom za registrovanje izduženja pređe. Na osnovu preliminarnih ispitivanja usvojeno je opterećenje u iznosu od 25 % i 50 % prekidnog opterećenja ispitivane pređe. Otpuštanjem pokretne kleme torziometra omogućeno je istezanje epruvete uz odgovarajući otklon kazaljke po skali sa

milimetarskom podelom. Registrovana su izduženja epruvete posle 3 i 30 s, 1; 3; 5; 10; 15; 30 i 60 min. Posle isteka 60-tog minuta i uklanjanja opterećenja registruje se skupljanje (skraćenje) epruvete posle 3 i 30 sec, 1; 3; 5; 10; 15 i 30 min. Na takav način, ukupno vreme potrebno za jednu opservaciju relaksacionog ponašanja pređe pri istezanju iznosi 90 min. Opisani postupak je ponovljen 5 puta za svaku pređu. Srednja vrednost izduženja posle 60 min predstavlja ukupno apsolutno izduženje pređe (l_{uk}) (mm) sačinjeno od tri komponente koje se odnose na elastičnu (l_e) (mm), viskoelastičnu (l_{ve}) (mm) i zaostalu (l_p) (mm) deformaciju [123]:

$$l_{uk} = l_e + l_{ve} + l_p \quad . \quad (43)$$

Elastična (brzopovratna) deformacija je komponenta ukupne deformacije koja nastaje pod dejstvom spoljašnjih sila usled diskretnih povećanja rastojanja između susednih atoma i njihovih valentnih uglova; širi se brzinom zvuka kroz pređu i istom brzinom nestaje po uklanjanju opterećenja. Elastična komponenta deformacije je izračunata kao razlika izduženja pređe registrovanog posle 60 min opterećenja i odmah nakon njegovog uklanjanja (3 s). Viskoelastična (sporopovratna) deformacija se može aproksimirati komponentom sporog oporavka izduženja koja nastaje usled promena u konfiguraciji molekula pod dejstvom spoljašnjih sila. Ova komponenta deformacije se relaksira duže vreme po rasterećenju dok se dužina pređe vidljivo menja. U okviru eksperimenta viskoelastična komponenta deformacije je određena razlikom izduženja pređe pri prvoj i poslednjoj opservaciji izduženja u toku relaksacije pređe. Apsolutno zaostalo izduženje pređe je komponenta deformacije koja se ne gubi u procesu relaksacije i predstavlja plastičnu deformaciju ili trajno izduženje pređe. Plastična deformacija se razvija veoma sporo pod dejstvom spoljašnjih sila koje izazivaju trajno premeštanje pojedinih veza ili čitavih makromolekula. Trajni deformacioni procesi prilikom istezanja pređe uključuju i ireverzibilno klizanje i premeštanje nedovoljno fiksiranih elementa njene strukture (vlakna ili elementarne pređe). Srednja vrednost izduženja pređe ispoljenog pri završetku procesa relaksacije (30 min) usvojena je kao plastična deformacija pređe pri istezanju. Na osnovu apsolutne vrednosti ukupnog izduženja pređa (l_{uk}) i njihove početne dužine (L_0) određeno je relativno izduženje pređa (ε) (%):

$$\varepsilon = \frac{l_{uk}}{L_0} \cdot 100. \quad (44)$$

Analognim relacijama su izračunate i relativne komponente elastične (ε_e) (%), viskoelastične (ε_{ve}) (%) i plastične (ε_p) (%) deformacije pređa:

$$\varepsilon_e = \frac{l_e}{L_0} \cdot 100, \quad \varepsilon_{ve} = \frac{l_{ve}}{L_0} \cdot 100, \quad \varepsilon_p = \frac{l_p}{L_0} \cdot 100, \quad (45)$$

S obzirom na međusobni odnos ukupnog relativnog izduženja i relativnih komponenata deformacije pređe:

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_{ve} + \varepsilon_p, \quad (46)$$

izračunati su udeli relativnih komponenata izduženja u ukupnom relativnom izduženju pređa prema sledećim jednakostima:

$$\Delta_e = \frac{l_e}{l}, \quad \Delta_{ve} = \frac{l_{ve}}{l}, \quad \Delta_p = \frac{l_p}{l}, \quad (47)$$

odakle proizilazi da je:

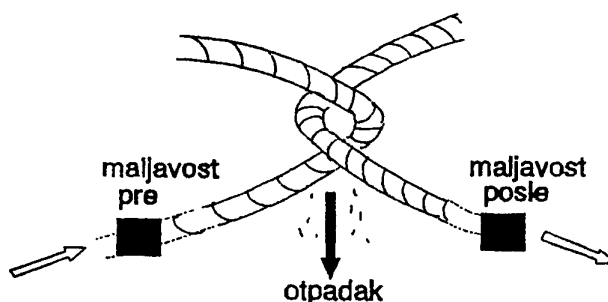
$$\Delta_e + \Delta_{ve} + \Delta_p = 1. \quad (48)$$

6.2.3 Ispitivanje površinskih svojstava pređa

Površinska svojstva pređa su ocenjivana preko dva pokazatelja – maljavosti i gubitka mase pri samoabraziji. Ispitivana maljavost poslužila je za ocenu geometrije površine pređa dok je sklonost ka samoabraziji predstavljala meru ranjivosti površine pređa. Za ispitivanje maljavosti pređa korišćen je instrument SHIRLEY HAIRINESS MONITOR SDL 103. Instrument sačinjavaju merna i računska jedinica. Mernu jedinicu čine izvor svetlosti i fotodioda. Prolaženjem pređe kroz mernu glavu ($55-100 \text{ m min}^{-1}$)

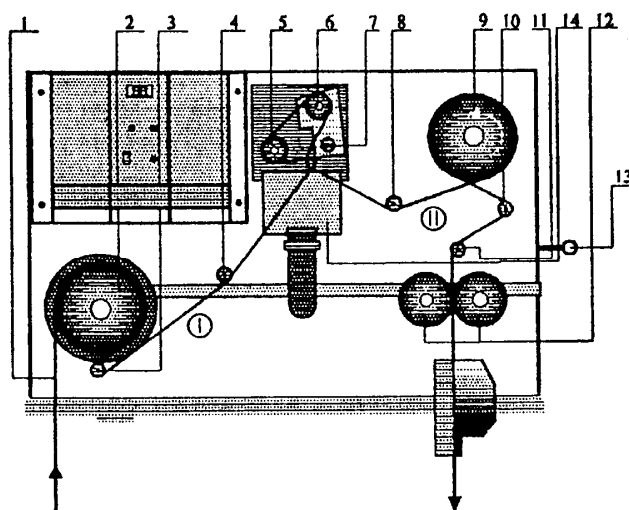
prisutna štrčeća vlakna prekidaju za trenutak svetlosni fluks. Pojačani signal sa fotodiode, kao funkcija smanjenja svetlosti koja pada na fotočeliju, prenosi se u računsku jedinicu, koja obezbeđuje digitalni zapis [123]. Korišćena varijanta aparata registruje malje duže od 3mm sa odsečka od 70° tela pređe, uz mogućnost podešavanja vremena merenja u određenom intervalu (5; 10; 20; 30; i 40 s) i kontinualno, s tim što je u ovom slučaju izabran interval od 5 s, što je dovoljno za dobijanje reprezentativnih rezultata.

Osim registrovanja početne maljavosti ispitivanih pređa, za ocenu promene geometrije površine pri samoabraziji, opisani instrument je kuplovan sa uređajem za samoabraziju, pri čemu se vodilo računa da merna glava merača malja ne remeti putanju ispitivanog uzorka, kako se ne bi prouzrokovala dodatna modifikacija površine. Shematski prikaz principa simultanog ispitivanja maljavosti i samoabrazije dat je na slici 27.



Slika 27. Shematski prikaz mesta merenja maljavosti i samoabrazije pređa

Samoabrazija pređe u petlji ispitivana je na STAFF -testeru G555 firme ZWEIGLE, prikazanom na slici 28 [241].



Slika 28. Tok pređe kroz STAFF tester G555A [241]

Sa držača kalema pređa (1) ide preko histerezisne kočnice (2), koja obezbeđuje odgovarajući prednapon u rasponu od 3-10 cN. Skretni koturovi (3) i (4) usmeravaju pređu ka rolnama (5), (6) i (7) za formiranje petlje. Preko kotura (8) i nakon što obmota merni točak (9) pređa pomoću rolnice (10) i češlja za vođenje (11) ide do valjaka za odvođenje pređe, pri čemu se zazor između valjaka reguliše polugom (13). Ispod mesta na kome se nalazi petlja montirana je cev (14) za usisavanje produkata samoabrazije koji padaju na aluminijski filter smešten u gornjem delu usisne cevi. Merenja su vršena u sledećim eksperimentalnim uslovima:

- smer petlje pri samoabraziji bio je usklađen sa smerom upredanja ili končanja pređa;
- odabran je prednapon od 7 cN, čime je postignuta dobra stabilnost petlje;
- merenje je vršeno na dužini od 100 m, što je bilo dovoljno da se dobije merljiv produkt samoabrazije.

Za svaku eksperimentalnu varijantu vršeno je po 20 ispitivanja samoabrazije, pri čemu je merena masa otpalih vlakana pri habanju, i po 30 merenja maljavosti (broj malja registrovanih u toku 5 s) pre i posle samoabrazije. Rezultati su iskazani kao gubitak mase pređe (A) (%) i kao broj malja po 1 metru pređe.

Dodatne opservacije geometrije površine končanih pređa obezbeđene su SEM (Scanning Electron Microscopy) mikrofotografijama, pri čemu su uzorci prevučeni slojem zlata.

6.2.4 Ispitivanje sposobnosti pletenina da prenose toplotu i propuštaju vazduh i vodenu paru

6.2.4.1 Ispitivanje propustljivosti vazduha

Upotrebom uređaja TextTest (Switzerland) ispitivana je propustljivost vazduha pletenina prema standardnoj proceduri ISO 9237 [242] koja je podrazumevala merenje protoka vazduha kroz tekstilni materijal pri konstantnom gradijentu pritiska. Uzorak pletenine se postavlja licem prema gore na okrugli otvor (prečnika 5 cm) usisne glave aparata i uz konstantnu razliku pritisaka (100 Pa) registruje se zapreminski tok vazduha (q) ($m^3 s^{-1}$) kroz otvor pokriven pleteninom. Srednje vrednosti zapreminskog toka vazduha dobijene na osnovu pet merenja po uzorku pletenine poslužile su za izračunavanje

propustljivosti vazduha definisane kao količina vazduha (mereno u m³) koja za 1 minut prođe kroz 1 m² tekstilnog materijala pri konstantnom gradijentu pritiska prema relaciji:

$$Q = \frac{q_a \cdot 10^{-4}}{60 \cdot S} , \quad (49)$$

gde je Q (m³ m⁻² min⁻¹) – količina propuštenog vazduha, q_a (m³s⁻¹) - srednja vrednost zapreminskog toka vazduha i S (m²) – površina uzorka kroz koju se propušta vazduh (0,002 m²).

U svrhu analize ponašanja ispitivanih pletenina u pogledu propustljivosti vazduha, kao i sposobnosti propuštanja vodene pare i prenosa toplote, izračunate su gustina i poroznost pletenina. Gustina pletenina (δ) (kgm⁻³) određena je odnosom njene površinske mase i debljine. Ukupna poroznost pletenine (P) (%), definisana kao ukupna količina vazduha u pletenini (između i unutar pređe) izračunata je prema relaciji [123]:

$$P = 100 - \frac{\delta}{\rho} \cdot 100 , \quad (50)$$

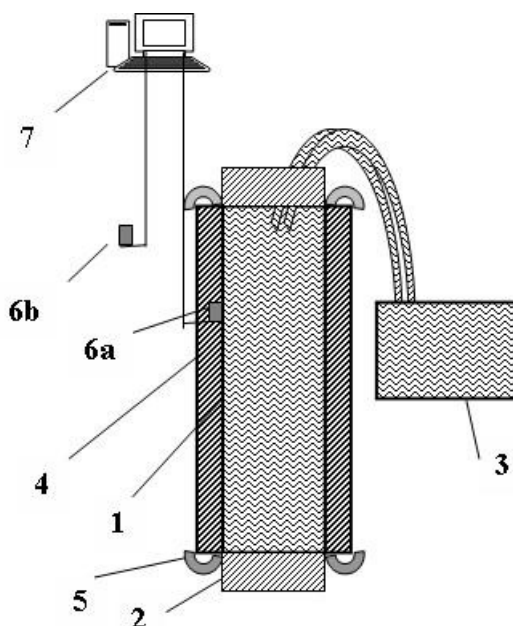
gde je (ρ) (kgm⁻³) specifična gustina vlakna. Prilikom izračunavanja poroznosti DD pleteninina izrađenih od nehomogenih končanih pređa vrednost ρ je aproksimirana prema procentualnom učešću pojedinih komponenata u končanoj pređi.

Kvalitativna ocena otvorenosti strukture pletenina (distribucije pora) sprovedena je pomoću SEM-a za DL pletenine i svetlosnog mikroskopa Nikon SMZ800 za DD pletenine.

6.2.4.2 Ispitivanje termičkih svojstava

Termička svojstva pletenina izrađenih od dubliranih i homogenih končanih pređa ispitivana su metodom koja je za potrebe ovog rada razvijena na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Metoda je bazirana na principu da je kod supstanci postavljenih u nizu u odnosu na pravac toplotnog fluksa, odnos gradijenta temperature kroz posmatrane supstance srazmeran odnosu njihovih termičkih otpornosti. Eksperimentalna procedura je podrazumevala merenje brzine hlađenja čvrstog tela zagrejanog do određene temperature

koje je tekstilnim materijalom izolovano od okolnog vazduha. Shematski dijagram aparature prikazan je na slici 29.



Slika 29. Shematski dijagram aparature za ispitivanje termičkih svojstava tekstilnih materijala

Cilindrični stakleni balon (1) sa bazama pokrivenim izolacionim materijalom (2), napunjen je vodom čija se temperatura kontroliše standardnim termostatom (3). Tekstilni materijal (4) se obmotava oko balona pomoću specijalno dizajniranih hvatača (5) koji obezbeđuju odgovarajući kontakt uzorka sa zidom balona bez prekomernog istezanja. Po dostizanju odgovarajuće temperature (90 °C) sistema (stakleni balon i voda), kontinuirano je registrovana promena temperature sistema sa vremenom pomoću digitalnog termometra (6a) fiksiranog za zid balona. Drugi senzor termometra (6b) je simultano registrovao temperaturu okolnog vazduha. Akvizicija registrovanih vrednosti temperatura oba senzora sprovedena je pomoću on-line kompjutera (7). Ista procedura je ponovljena bez tekstilnog materijala obmotanog oko balona. Procedura izračunavanja termičke otpornosti ispitivanih pletenina zasniva se na Newton-ovom zakonu hlađenja:

$$\frac{1}{C} Q = T = -\frac{dQ}{dt} R, \quad (51)$$

gde je C ($J K^{-1}$) – toplotni kapacitet tela u određenom momentu, T_0 (K) – temperatura tela, dQ/dt – količina toplote preneti kroz telo u jedinici vremena i R ($K W^{-1}$) – termički otpor tela. Preuređivanjem i integraljenjem relacije 51 Newton-ovo jednačina dobija oblik:

$$(T - T_{ok}) = (T_0 - T_{ok}) \cdot e^{-(1/RC)t}, \quad (52)$$

gde je T (K) – temperatura tela u određenom momentu, T_0 (K) – početna temperatura tela, T_{ok} (K) – ambijentalna temperatura i t (s) – vreme hlađenja. Nagib krive dobijene nanošenjem vremena hlađenja na apscisu i izraza $\ln[(T-T_{ok})/(T_0-T_{ok})]$ na ordinatu definiše konstantu hlađenja ($K_c = 1/RC$). Pri tome, u sprovedenom eksperimentu konstanta hlađenja je u obliku:

$$K_1 = \frac{1}{R_1 C} = \frac{1}{(R_0 + R) \cdot C}, \quad (53)$$

gde je C ($J K^{-1}$) – toplotni kapacitet sistema (stakleni balon i voda), R_1 ($K W^{-1}$) – ukupni termički otpor pletenine i sloja okolnog vazduha, R ($K W^{-1}$) – termički otpor pletenine i R_0 ($K W^{-1}$) – termički otpor sloja vazduha. Polazeći od prethodno navedene relacije termički otpor ispitivanih pletenina izračunata je prema relaciji:

$$R = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{K_1} - \frac{1}{K_0} \right), \quad (54)$$

gde je K_0 – konstanta hlađenja sistema bez obmotane pletenine. Na osnovu dobijene vrednosti toplotne otpornosti, površine uzorka (S) (m^2) i debljine pletenine (d) (m) izračunata je toplotna provodljivost za svaku pleteninu prema relaciji:

$$\lambda = \frac{1}{R} \cdot \frac{d}{S}. \quad (55)$$

Koeficijent prolaza toplote (K) ($W m^{-2} K^{-1}$), koji obuhvata transport toplote kondukcijom, konvekcijom i radijacijom za ispitivane pletenine izračunat je na osnovu relacije:

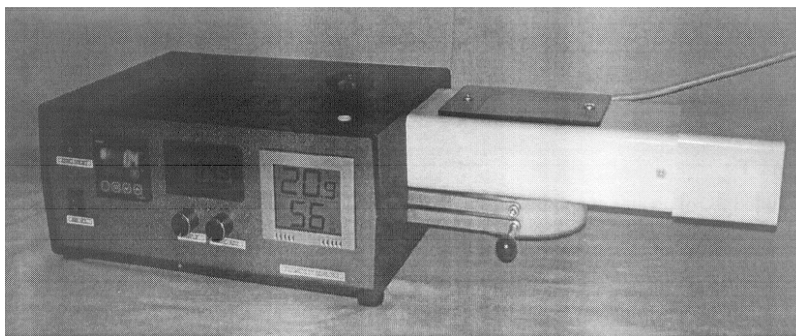
$$K = \frac{1}{S\Delta T} \cdot \frac{dQ}{dt}, \quad (56)$$

gde je dQ/dt (W) – brzina transporta toplote kroz pleteninu, S (m²) – površina uzorka i ΔT (K) – razlika između srednje temperature sistema i temperature okolnog vazduha.

Termička otpornost serije pletenina proizvedenih od končanih pređa na bazi konoplje ispitivana je upotrebom PERMETEST-a na način kako je opisano u narednom odeljku.

6.2.4.3 Ispitivanje propustljivosti vodene pare

Ispitivanja propustljivosti vodene pare vršena su na PERMETEST-u (Sensora Instruments, Češka) po proceduri nešto izmenjenoj u odnosu na standard ISO 11092 [243]. Izmene su se odnosile na primenu izotermičkih uslova merenja, koji su podrazumevali održavanje temperature u intervalu 20–22 °C što je odgovaralo ambijentalnoj temperaturi. Pored toga, umesto relativne vlažnosti paralelnog toka vazduha od 40 % ispitivanja su vršena pri relativnoj vlažnosti od 60-65 % (ambijentalna vlažnost) [244].



Slika 30. PERMETEST instrument [225]

PERMETEST uređaj, koji je prikazan na slici 30 [225], dizajniran je tako da predstavlja mali „model kože“. Merna glava ovog uređaja, sa površinom od poroznog metalnog sloja, pokrivena je polupropustljivom teflonskom membranom koja je propustljiva za vodenu paru ali ne i za tečnost. Na takav način je, iako se dozirnomo pumpom ubrizgava tečnost u mernu glavu, onemogućen transport tečnosti do tekstilnog materijala. Vlažna porozna površina merne glave izložena je struji vazduha. Toplotni fluks, nastao kao posledica isparavanja vode sa porozne površine, meri se specijalnim senzorom koji čini integralni

deo poroznog sloja. Posredstvom pojačivača signal se šalje digitalnom indikatoru električnog napona koji registruje napon u mV. S obzirom da su registrovane vrednosti napona (U) (mV) srazmerne toplotnom fluksu (q) ($W m^{-2}$) prema relaciji:

$$q = U \cdot S_s, \quad (57)$$

gde je S_s ($W m^{-2} mV^{-1}$) – osetljivost senzora, na displeju uređaja očitavaju se vrednosti toplotnog fluksa (q). U sledećem koraku uzorak tekstilnog materijala se fiksira tako da prekriva polupropustljivu površinu merne glave i po uspostavljanju stabilnog signala registruje se nivo napona koji karakteriše gubitke toplote u prisustvu tekstilnog materijala. Opisana procedura je ponovljena tri puta za svaku ispitivanu pleteninu. Na osnovu registrovanih vrednosti napona, odnosno toplotnog fluksa za ispitivane pletenine, i shodno standardu ISO 11092 izračunate su vrednosti otpornosti prema propuštanju vodene pare (R_{et}) ($m^2Pa W^{-1}$) prema relaciji:

$$R_{et} = (p_{vz} - p_v) \cdot \left(\frac{1}{S_s \cdot U_o} - \frac{1}{S_s \cdot U_s} \right) = C_{ref} (100 - \varphi) \cdot \left(\frac{1}{q_s} - \frac{1}{q_0} \right), \quad (58)$$

gde je p_{vz} (Pa) – parcijalni pritisak vodene pare u slučaju zasićenog vazduha na datoj temperaturi, p_v (Pa) – aktuelni parcijalni pritisak vodene pare, U_o i U_s – registrovani električni napon u mV za mernu glavu bez pletenine i u slučaju fiksiranja uzorka preko merne glave, φ (%) - relativna vlažnost vazduha, q_s i q_0 – srednja vrednost toplotnog fluksa u $W m^{-2}$ u prisustvu uzorka pletenine i bez njega. Konstanta C_{ref} se određuje kalibracijom uz upotrebu referentnog uzorka poznate otpornosti isparavanju ($R_{et} = 2,36 m^2Pa W^{-1}$):

$$C_{ref} = \frac{2,36}{(100 - \varphi) \cdot \left(\frac{1}{q_s} - \frac{1}{q_0} \right)}. \quad (59)$$

Polazeći od relacije (57) izračunat je i parametar – relativna propustljivost vodene pare (P_{wv}) (%) prema relaciji:

$$P_{wv} = \frac{U_s}{U_o} \cdot 100. \quad (60)$$

Opisana procedura se, uz izvesne modifikacije, primenjuje i u slučaju ispitivanja termičke otpornosti tekstilnog materijala. U ovom slučaju merna glava uređaja ostaje suva, pri čemu je neophodno da temperatura merne glave (t_h) bude za 10 °C viša od ambijentalne temperature (t_{ok}). I u ovom slučaju registruje se električni napon, odnosno toplotni fluks u prisustvu uzorka tekstilnog materijala i bez njega. Postupak je ponovljen tri puta za svaku ispitivanu pleteninu. Na osnovu srednjih vrednosti toplotnog fluksa u prisustvu uzorka pletenine (q_s) i bez njega (q_0) izračunate su vrednosti termičke otpornosti (R_t) ($m^2 K W^{-1}$) ispitivanih pletenina prema relaciji:

$$R_t = C_s(t_h - t_{ok}) \cdot \left(\frac{1}{U_s} - \frac{1}{U_0} \right) = C_s \cdot 10 \left(\frac{1}{q_s} - \frac{1}{q_0} \right), \quad (61)$$

pri čemu važi da je $t_h = t_{ok} + 10$ °C, a U_s i U_0 predstavljaju električne napone registrovane u slučaju merenja u prisustvu pletenine i bez nje. Postupkom kalibracije utvrđena je konstanta osetljivosti C_s prema relaciji:

$$C_s = \frac{0,0184}{10 \left(\frac{1}{q_s} - \frac{1}{q_0} \right)}, \quad (62)$$

gde je $R_t = 0,0184 m^2 K W^{-1}$ – termička otpornost referentnog uzorka.

6.2.5 Ispitivanje mehaničkih svojstava pletenina

Mehanička svojstva pletenina pri niskim opterećenjima ispitivana su na KES-FB sistemu (Kato Technical Co. Ltd., Japan). U okviru eksperimenta ispitivani su: kompresija (slika 31) i istežanje (slika 32) pletenina. Prema standardnoj proceduri, kako bi se postigao zadovoljavajući nivo preciznosti [246], za svako ispitivano svojstvo su vršena tri merenja po varijanti pletenine. Uslovi ispitivanja kompresionih karakteristika pletenina

podrazumevali su lateralnu kompresiju epruvete površine 2 cm^2 brzinom od 50 sec mm^{-1} u intervalu kompresije od $0,5 \text{ cN cm}^{-2}$ do 50 cN cm^{-2} .



Slika 31. KES-FB3 instrument za ispitivanje kompresije tekstilnih materijala [246]

Pri tome, uređaj registruje debljinu pletenine pri minimalnom ($0,5 \text{ cNcm}^{-2}$) T_0 i maksimalnom (50 cNcm^{-2}) T_m opterećenju, „crta“ kompresionu krivu, izračunava energiju kompresije (WC) (Jm^{-2}) pri maksimalnom kompresionom opterećenju (50 cNcm^{-2} ili 5 kPa), linearnost kompresije (LC), i relaksaciju ili elastični oporavak (RC) (%). Navedeni parametri definisani su sledećim relacijama:

$$WC = \int_{T_0}^{T_m} PdT , \quad (63)$$

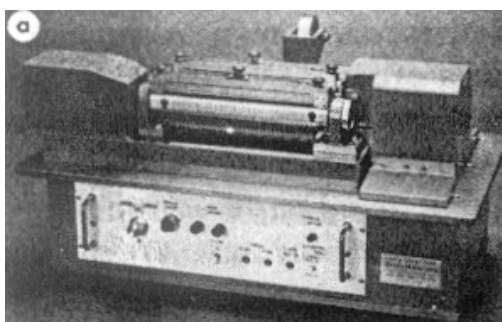
$$LC = \frac{WC}{0.5P_m(T_0 - T_m)} , \quad (64)$$

$$RC = \frac{WC'}{WC} , \quad (65)$$

gde je P_m – maksimalni pritisak (50 cN cm^{-2}) i WC' – površina koju zahvata kriva dekompresije. Pored navedenih parametara izračunata je i relativna kompresibilnost pletenina (EMC) prema relaciji:

$$EMC = 1 - \left(\frac{T_m}{T_0} \right) . \quad (66)$$

Ispitivanje sposobnosti istezanja pletenina rađeno je na epruvetama veličine 20 cm x 20 cm. Brzina istezanja je iznosila $0,2 \text{ mm s}^{-1}$, pri čemu se registruje istezanje (EMT) (%) epruvete pri maksimalnom naprežanju od 5 Ncm^{-1} i reprodukuje kriva istezanja u primenjenom rasponu opterećenja ($0-5 \text{ Ncm}^{-1}$). Na osnovu registrovanih podataka automatski se izračunavaju parametri koji karakterišu ponašanje materijala pri niskim opterećenjima: energija ili rad istezanja (WT) (Jm^{-2}) pri maksimalnom naprežanju (5 N cm^{-1}), izduženje pri maksimalnom opterećenju, linearnost istezanja (LT) i relaksacija ili elastični oporavak pri istezanju (RT) (%). S obzirom da su ispitivanja istezanja pletenina vršena u pravcu nizova i u pravcu redova, dobijene su po dve vrednosti prethodno navedenih parametara. Jedna vrednost se odnosi na deformaciona svojstva pletenina u pravcu nizova (vertikalno V) dok druga vrednost parametra karakteriše ponašanje pletenina u pravcu redova (horizontalno H). Konačna vrednost parametara izražena je kao njihova srednja vrednost.



Slika 32. KES-FB1 instrument za ispitivanje istezanja i smicanja tekstilnih materijala [246]

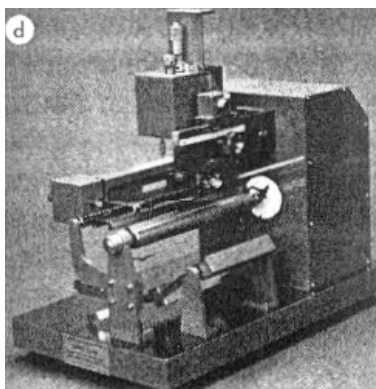
Za ocenu ponašanja pletenina pri višecikličnom kompresionom opterećenju upotrebljen je mehanički merač debljine tekstilnih materijala (TexTesT-306) sa kompresionom pločicom površine 64 mm^2 . Upotrebom ovog aparata omogućeno je ispitivanje kompresionih svojstava pletenina u širokom intervalu pritiska ($0,45 - 2560 \text{ cNcm}^{-2}$). Uzorci pletenine su kompresiono opterećivani i relaksirani u toku pet ciklusa počev od minimalnog opterećenja ($0,29 \text{ N}$), što je predstavljalo početnu debljinu uzorka tj. debljinu bez opterećenja (prema standardu SRPS F:S2.021) [197], preko njegovog progresivnog povećanja ($1,7; 4,12; 6,57$ i $11,48 \text{ N}$) do maksimalnog iznosa od $16,38 \text{ N}$. Po dostizanju maksimalnog kompresionog opterećenja nastavljeno je sa relaksacijom odnosno dekompresijom tako što su uzorci pletenina rasterećivani preko istih stupnjeva kako su prethodno bili opterećeni. Debljina pletenina je registrovana za svaki nivo kompresije i

dekompresije u toku pet ciklusa. Pri tome, za svaku pleteninu petociklična kompresija je ponavljana na pet različitih mesta na uzorku tako da svaka vrednost debljine pletenine na određenom stupnju kompresije ili dekompresije predstavlja srednju vrednost pet merenja. Relativna kompresibilnost pletenina (C_{pl}) (%) za svaki ispitivani ciklus određena je razlikom između inicijalne debljine (T_0) (mm) pletenine i njene debljine (T_{max}) (mm) pri maksimalnom opterećenju:

$$C_{pl} = \frac{(T_0 - T_{max})}{T_0} \cdot 100 \quad (67)$$

6.2.6 Ispitivanje površinskih svojstava pletenina

Za ocenu površinskih svojstava pletenina upotrebljen je KES-FB4 uređaj prikazan na slici 33.



Slika 33. KES-FB4 instrument za ispitivanje površinskih svojstava tekstilnih materijala
[246]

Ovim uređajem se determinišu parametri trenja i hrapavosti površine materijala prilikom njegovog kontakta sa čeličnom (klavirskom) žicom prečnika 0,5 mm. Ispitivanja površine materijala rađena su na epruvetama veličine 20 cm x 20 cm, pri brzini kretanja epruvete od 1 mms⁻¹ i uz maksimalni domet od 3 cm. Vertikalno opterećenje detektora hrapavosti površine iznosilo je 10 g dok je detektor trenja bio opterećen sa 20 g. Na osnovu registrovane krive trenja automatski se determiniše srednja vrednost statičkog i dinamičkog koeficijenta trenja površine materijala o čeličnu žicu MIU i srednje odstupanje MMD kao mera varijacije koeficijenta trenja (MIU). Parametar koji se determiniše na osnovu krive hrapavosti predstavlja geometrijsku hrapavost površine pletenine SMD (μm).

Treba imati u vidu da zbog uslova ispitivanja (opterećenje čelične žice izaziva savijanje štrčećih vlakana) determinisani parametar ne uključuje razlike u maljavosti površine pletenina. Međutim, upotrebljena sonda uspešno detektuje hrapavost uslovljenu strukturom pletenine i pređe. Površinska svojstva pletenina su ispitivana u vertikalnom i u horizontalnom pravcu pa su tako, navedeni parametri imali po dve vrednosti, jednu koja se odnosila na pravac nizova i drugu dobijenu pri ispitivanju u pravcu redova.

Skenirajućom elektronskom mikroskopijom (Scanning Electron Microscopy) izvršena je dodatna analiza površine pletenina sa aspekta maljavosti njihove površine.

7. REZULTATI I DISKUSIJA

7.1 Mehanička svojstva pređa

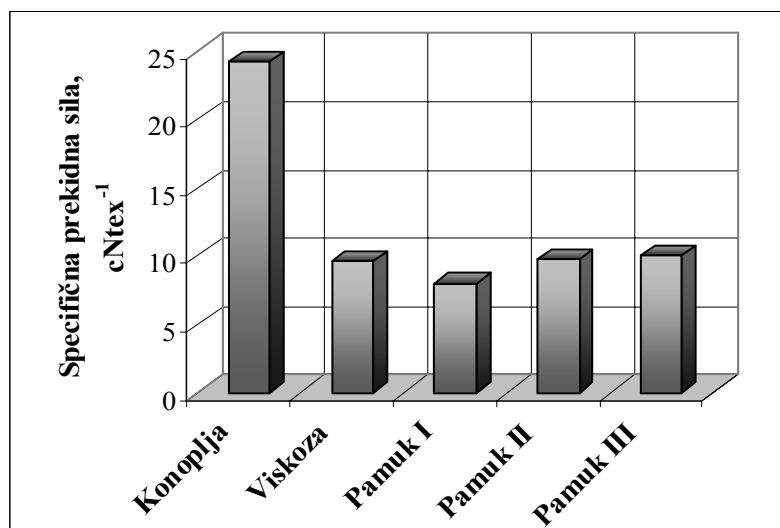
U tehnološkom procesu dobijanja pređe, u zavisnosti od uslova samog procesa, svojstava upotrebljenih vlakana, parametara strukture pređe i u skladu sa njenom namenom, pređi se obezbeđuju odgovarajuća mehanička svojstva. Mehanička svojstva pređa predstavljaju osnovnu determinantu njihovih energetske karakteristika, koje pak, kao resurs radne sposobnosti pređa, imaju značajan uticaj na deformativno ponašanje složenijih tekstilnih struktura. Eksperimentalno dobijeni rezultati prekidnih karakteristika pređa (prekidna sila i prekidno izduženje), kao i izračunate vrednosti prekidnih i energetske svojstava, omogućile su u okviru eksperimentalnog materijala analizu ponašanja pređa sa aspekta uticaja svojstava sirovina, strukture pređe i osobnosti procesa formiranja pređe. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog izduženja jednožičnih pređa, uz odgovarajuće mere varijacije 30 ponovljenih merenja, prikazane su u tabelama 11 i 12.

Tabela 11. Prekidna sila jednožičnih pređa

Vlakno	Prekidna sila, P_{pr} (N)				
	X_{sr}	σ	cV, %	X_{min}	X_{max}
Konoplja	11,57	1,56	13,47	8,68	14,83
Viskoza	4,26	0,69	16,20	2,84	5,10
Pamuk I	3,91	0,33	8,55	3,33	4,39
Pamuk II	4,70	0,30	6,31	4,06	5,14
Pamuk III	4,95	0,43	8,75	4,01	5,56

Imajući u vidu činjenicu da se vlakna konoplje ubrajaju u najjača prirodna vlakna ($50-90 \text{ cN tex}^{-1}$) [248], može se reći da je ispoljena vrednost prekidne sile pređe od konoplje, koja je više nego dvostruko veća od vrednosti prekidne sile viskozne i pamučnih pređa, sasvim očekivana. Za vrednosti prekidne sile preostalnih celuloznih pređa se može reći da su na komparativnom nivou, pri čemu se svakako, uočava trend porasta prekidne sile pamučne pređe sa porastom njene upredenosti. Relativno niske vrednosti prekidne sile pamučnih pređa mogu se pripisati njihovoj strukturi odnosno, gustini pakovanja vlakana. Naime, za razliku od viskozne i pređe od konoplje koje su proizvedene konvencionalnim postupkom (prstenasto pređenje, PP), pamučne pređe su proizvedene tehnologijom rotorskog pređenja (OE pređenje). Suštinska razlika između ove dve tehnike pređenja je u tome što se kod konvencionalnog pređenja pređa formira kondenzovanjem vlaknastog sloja, dok se rotorsko pređenje zasniva na suprotnom procesu – diskretizaciji vlaknastog produkta i formiranju pređe iz razjedinjene mase vlakana. Osobnosti ovih tehnika pređenja projektuju se na mehanička svojstva pređa upravo kroz način i gustinu pakovanja vlakana. Dobro poznata struktura konvencionalnih pređa podrazumeva prostiranje vlakana u obliku spiralnih navoja oko cilindričnih površina promenljivog prečnika prelazeći iz sloja u sloj čime je obezbeđeno uređeno i kompaktno grupisanje vlakana. U OE pređi vlakna se prostiru po spiralnim linijama oko koničnih površina, što dovodi do nedovoljnog međusobnog zakvačenja vlakana posebno pri malim upređanjima, a time i do nekoherentne strukture pređe. Specifična troslojna struktura ovakvih pređa, okarakterisana prisustvom srži u kojoj vlakna imaju upređanje blisko faktičkom, rastresitog sloja sa slabije upređenim vlaknima i ovojnih vlakana sa nasumičnim uglovima upređanja, uzrokuje nepotpuno iskorišćenje mehaničkih svojstava vlakana. Budući da su se ispitivane pređe odlikovale istom nominalnom finoćom, uz male varijacije faktičkih vrednosti, izračunate vrednosti specifične prekidne sile zadržavaju trend uočen kod eksperimentalno dobijenih vrednosti prekidne sile (slika 34).

Izuzev viskozne pređe, ispitivane pamučne pređe kao i pređa od konoplje ispoljile su niska prekidna izduženja, kako je prikazano u tabeli 12. Usled malog prekidnog izduženja vlakana konoplje (1-6 %) [248], aktuelno izduženje vlakana u pređi nije moglo značajnije da doprinese izduženju pređe od konoplje koja je okarakterisana najmanjom vrednošću prekidnog izduženja. Kod pamučnih pređa je uočen trend smanjenja prekidnog izduženja sa porastom upređanja.



Slika 34. Specifična prekidna sila jednožičnih pređa

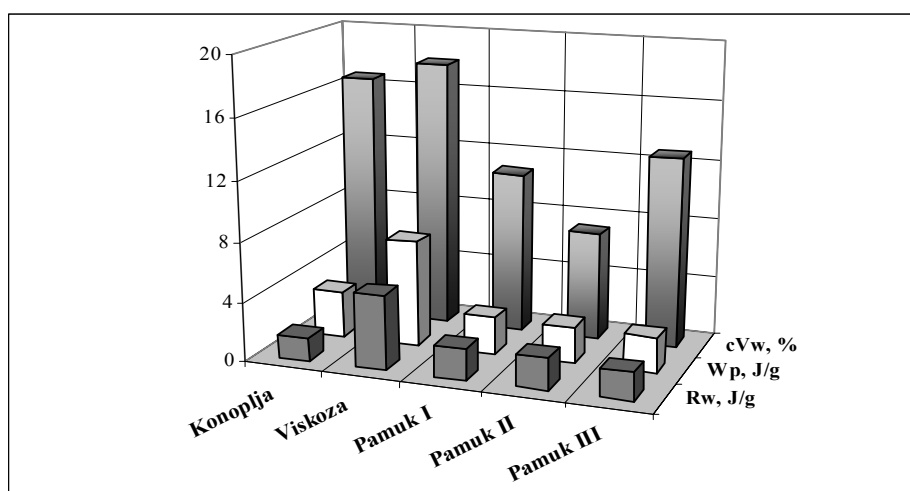
Polazeći od činjenice da se kohezija pređe ostvaruje frikcionim silama između komponentnih vlakana, zavisno od primenjene sile istezanja i upredenosti pređe prilikom njenog istezanja osim istezanja samih vlakana dolazi i do njihovog klizanja čime se povećava ukupno izduženje pređe. Proces klizanja vlakana u pređi uslovljen je prirodom vlakna, koeficijentom trenja površine vlakna ali i brojem i karakterom dodirnih tačaka između vlakana, što je definisano geometrijom i upredanjem pređe. Sa porastom broja uvoja pređe rastu frikционе sile između vlakana, čime raste otpor klizanju vlakana, što rezultuje smanjenom sposobnošću istezanja pređe do momenta kidanja.

Tabela 12. Prekidno izduženje jednožičnih pređa

Vlakno	Prekidno izduženje, E (%)				
	X_{sr}	σ	cV, %	X_{min}	X_{max}
Konoplja	1,77	0,17	9,79	1,42	2,04
Viskoza	14,80	1,159	7,80	12,60	16,40
Pamuk I	6,20	0,41	6,66	5,39	7,03
Pamuk II	4,92	0,18	3,59	4,56	5,21
Pamuk III	4,68	0,44	9,32	3,38	5,35

Izračunavanjem energetske svojstva pređa pruža se mogućnost ocene ponašanja pređa u pogledu energetske rezervi značajnih sa aspekta deformacionog ponašanja pređa u procesima dalje prerade i u toku njihove eksploatacije kroz složenije tekstilne strukture. Energetska svojstva pređe iskazana su parametrima – rad kidanja (W_p) (Jg^{-1}) i radna sposobnost (R_w) (Jg^{-1}), pri čemu veće vrednosti ovih parametara ukazuju na veći energetske potencijal pređe. Međusobni odnos ispitivanih jednožičnih pređa u pogledu ovih

parametara prikazan je na slici 35. Iako je rad kidanja određen specifičnom prekidnom silom i prekidnim izduženjem pređe (relacija 40), čini se da je prekidno izduženje, bar u okviru eksperimentalnog materijala, determinišući faktor rada kidanja. Tako je najveći rad kidanja zabeležen kod viskozne pređe okarakterisane značajno većim prekidnim izduženjem u poređenju sa ostalim ispitivanim pređama (tabela 12). Uprkos velikoj jačini pređe od konoplje malo prekidno izduženje pređe doprinelo je da vrednost rada kidanja bude dvostruko manja u odnosu na viskoznu pređu.



Slika 35. Energetska svojstva jednožičnih pređa

Kod ispitivanih varijanti pamučnih pređa, kod kojih je uočen porast jačine i smanjenje prekidnog izduženja sa upređanjem, dobijene su približne vrednosti rada kidanja uz prisutan blagi trend smanjenja vrednosti rada kidanja pređe sa porastom upređenosti kao posledica smanjenog izduženja pređe. Radna sposobnost pređe predstavlja kompleksniji pokazatelj njenog energetskog potencijala jer osim prekidnih karakteristika pređe obuhvata i varijacije ovih svojstava izraženo kroz koeficijent varijacije rada kidanja pređe (cVw) (%). Izračunate vrednosti koeficijenta varijacije rada kidanja (relacija 42) ilustrovane su na slici 35. Najveći koeficijent varijacije rada kidanja uočava se kod viskozne pređe usled velikih varijacija prekidne sile (16,20 %, tabela 11). Iako je to je uzrokovalo nižu vrednost radne sposobnosti viskozne pređe u odnosu na rad kidanja, ova pređa je zadržala primat u okviru ispitivanih pređa. Povećana vrednost koeficijenta varijacije prekidne sile pređe od konoplje (niža u odnosu na viskoznu pređu) odrazila se i na povećano variranje rada kidanja pređe. Zbog toga, iako je pređa od konoplje okarakterisana većom vrednošću rada kidanja u odnosu na pamučne pređe, taj odnos se menja u pogledu radne sposobnosti. Zahvaljujući najnižim vrednostima koeficijenata varijacije prekidnih karakteristika

pamučne pređe II (drugi nivo upredanja) i shodno tome najnižom vrednošću koeficijenta varijacije rada kidanja, ova varijanta pamučne pređe se odlikuje nešto povećanim energetske potencijalom u okviru ispitivanih varijanti pamučnih pređa. Ovo ukazuje na činjenicu da se regulisanjem torzionog napona, odgovornog za gustinu pakovanja vlakana i njihovu pokretljivost u pređi, mogu kontrolisati deformaciona svojstva pređe.

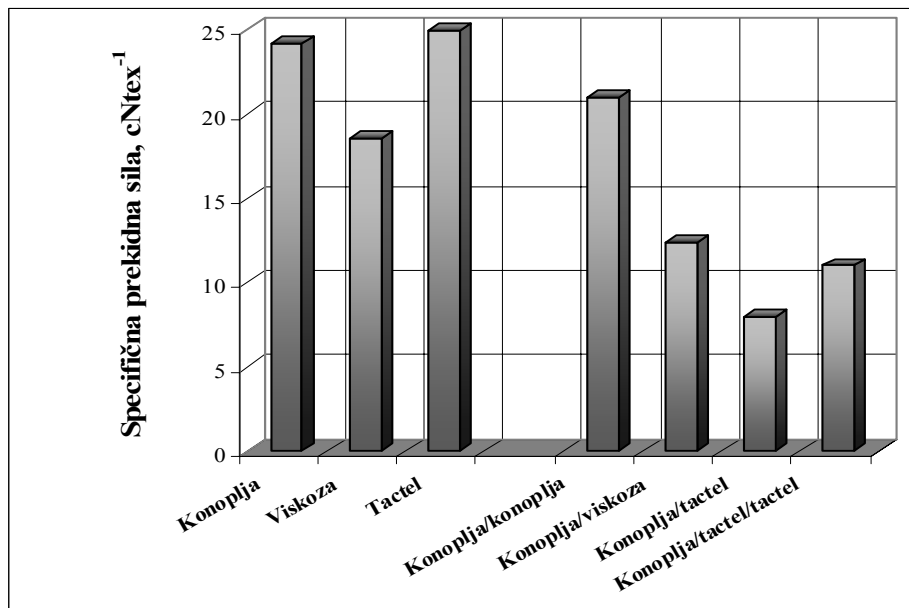
Rezultati ispitivanja prekidnih karakteristika druge grupe pređa u okviru eksperimentalnog materijala pružaju mogućnost analize uticaja vrste vlakana (viskoza. PA) i posebno, specifičnih svojstava proisteklih iz strukture primenjenih jednožičnih pređa (filament, teksturirani filament) na ponašanje končanih pređa na bazi konoplje u pogledu mehaničkih i energetskih svojstava. Na osnovu dobijenih vrednosti prekidne sile i prekidnog izduženja kao i odgovarajućih mera varijacije, prikazanih u tabelama 13 i 14, očigledno je da su končanjem različitih jednožičnih pređa dobijene hibridne strukture okarakterisane jedinstvenim svojstvima.

Tabela 13. Prekidna sila končanih pređa i njihovih jednožičnih komponenata

Sastav pređe	Prekidna sila, P_{pr} (N)				
	X_{sr}	σ	cV, %	X_{min}	X_{max}
Konoplja	11,57	1,56	13,47	8,68	14,83
Viskoza	5,75	0,59	10,25	4,91	6,77
Tactel	4,10	0,34	8,43	3,49	4,61
Konoplja/konoplja	20,05	0,22	11,0	16,28	23,84
Konoplja/viskoza	10,01	0,90	8,91	8,73	11,58
Konoplja/tactel	5,02	0,75	14,8	3,92	6,48
Konoplja/tactel/tactel	8,67	0,69	7,97	7,85	10,06

Kada se radi o prekidnoj sili, gotovo kod svih ispitivanih složenih pređa se zapaža sužavanje zone raspodele vrednosti jačine. Izuzetak predstavlja hibridna pređa nastala končanjem pređe od konoplje sa jednom poliamidnom niti. Ovo je verovatno posledica velike razlike u finoći jednožičnih komponenata (47,8 tex za konoplju i 16,4 tex za tactel), čime je sprečeno očekivano ujednačavanje debljine složene pređe usled dubliranja. Polazeći od činjenice da se radi o složenim pređama različite finoće, usled razlika u finoći jednožičnih komponenata, ocena jačine ovih pređa bila je moguća izračunavanjem njihovih specifičnih prekidnih sila. Na dijagramu na slici 36 su prikazane specifične prekidne sile složenih pređa i odgovarajućih jednožičnih niti i prvo što se uočava su niže vrednosti specifične prekidne sile složenih pređa u odnosu na sastavne komponente. Činjenica da je i končana homogena pređa od konoplje, suprotno očekivanom, ispoljila

jačinu nižu od jačine jednožične pređe ukazuje na nepodesne parametre procesa končanja ili na neadekvatno odabran odnos primarnog i sekundarnog upredanja. Naime, končanjem pređa u smeru suprotnom od smera primarnog upredanja komponente se raspredaju, a poprečni presek nastale složene strukture poprima oblik kruga, pri čemu se smanjuje ugao nagiba vlakana u odnosu na osu pređe.



Slika 36. Specifična prekidna sila končanih pređa i jednožičnih komponentata

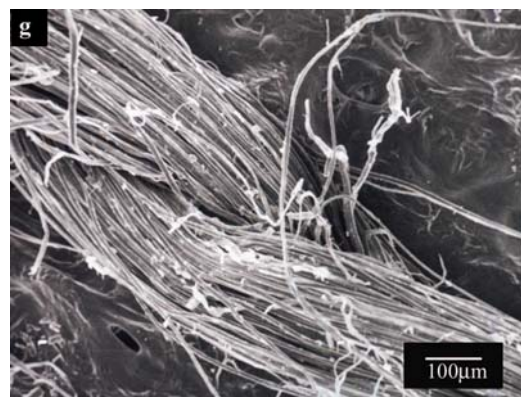
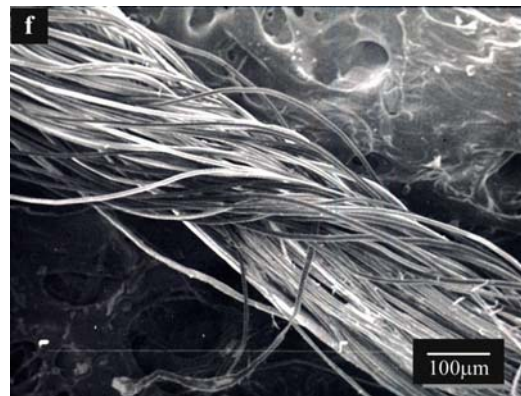
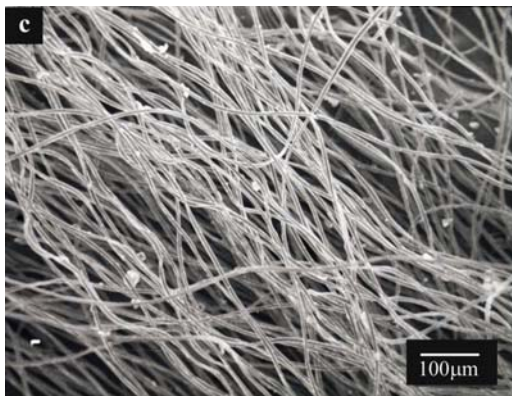
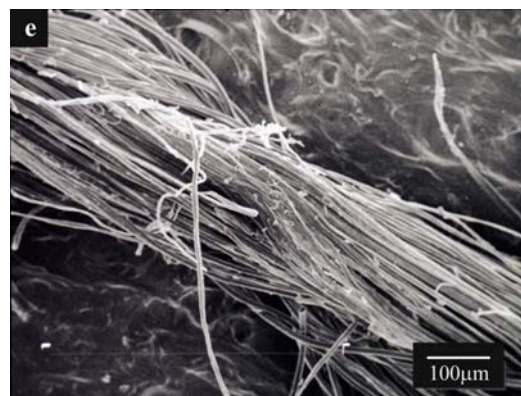
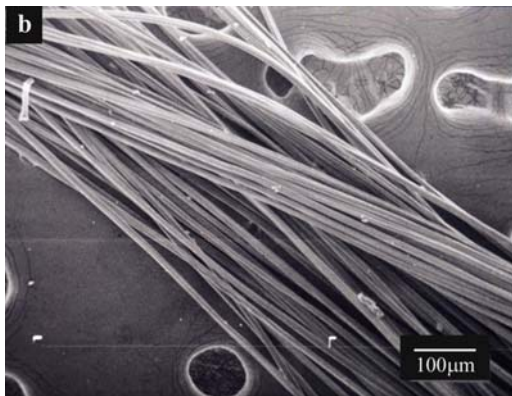
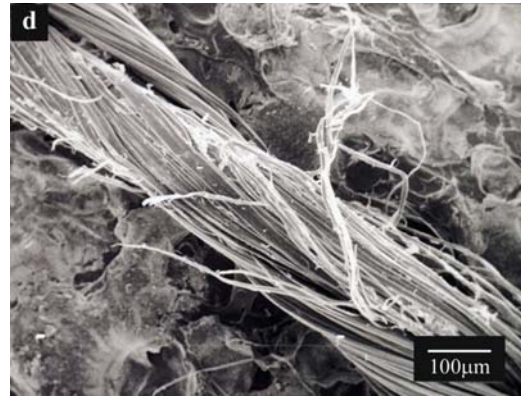
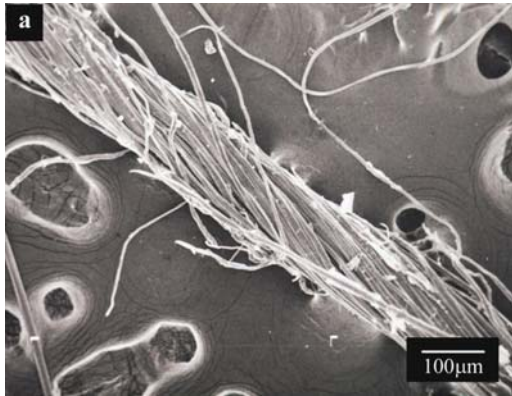
Istovremeno se usled spiralnog prostiranja komponentata povećava normalni pritisak u nastaloj strukturi što izaziva povećano trenje između vlakana a time i porast jačine pređe [249]. Na osnovu SEM mikrofotografije končane pređe od konoplje (slika 37) nameće se zaključak da je primenjeni odnos primarnog i sekundarnog upredanja izazvao periodično raspredanje vlakana u nastaloj strukturi. Većom pokretljivošću vlakana izazvanom delimičnim raspredanjem olakšano je njihovo klizanje i narušavanje kontinuiteta pređe pri nižim opterećenjima. Čini se da je efekat raspredanja komponentne pređe od konoplje u hibridnim strukturama još izraženiji pa je shodno tome, smanjenje jačine ovih složenih pređa u odnosu na jednožičnu pređu od konoplje još intenzivnije (slika 36). Treba imati u vidu da su prilikom ispitivanja za prekidnu silu uzimane one vrednosti pri kojima je dolazilo do kidanja jedne komponente, pri čemu je to uvek prvo bila pređa od konoplje. Uz ranije pomenutu veću varijabilnost prekidne sile konoplja/tactel pređe, na dijagramu (slika 36) se uočava i najmanja vrednost specifične prekidne sile ove pređe. SEM mikrofotografija (slika 37 e) potvrđuje da je u ovom slučaju došlo do najintenzivnijeg

raspredanja komponente od konoplje. Tako, poređenjem ove pređe sa konoplja/tactel/tactel pređom (slika 37 f) čini se da su obe složene pređe iste debljine. Iako se radi o složenoj pređi najmanje rezultujuće finoće, raspredanje vlakana konoplje dovelo je do formiranja rastresite strukture čime su značajno narušene kohezione sile između vlakana i na taj način oslabljena pređa. Veća pokretljivost vlakana nastala kao posledica njihovog rezultujućeg položaja u složenim pređama, prouzrokovala je povećanje prekidnog izduženja u odnosu na jednožičnu pređu od konoplje, kako končane pređe od konoplje tako i ispitivanih hibridnih pređa na bazi konoplje (tabela 14). Pri tome, koeficijent varijacije prekidnog izduženja složenih pređa smanjen je u odnosu na jednožičnu pređu od konoplje. Smanjenje jačine hibridnih pređa u odnosu na homogenu končanu pređu od konoplje uspostavlja obrnuti međusobni odnos sa aspekta prekidnog izduženja, što je očigledno posledica velike istegljivosti viskozne i/ili tactel komponente. Pored velike istegljivosti upotrebljenih filamenata, posebno tactela (tabela 14), pretpostavlja se da su frikционе sile uspostavljene između komponentata usporile potpuno prekidanje pređe od konoplje a da pri tome nisu sprečile pokretljivost vlakana konoplje.

Tabela 14. Prekidno izduženje končanih pređa i njihovih jednožičnih komponentata

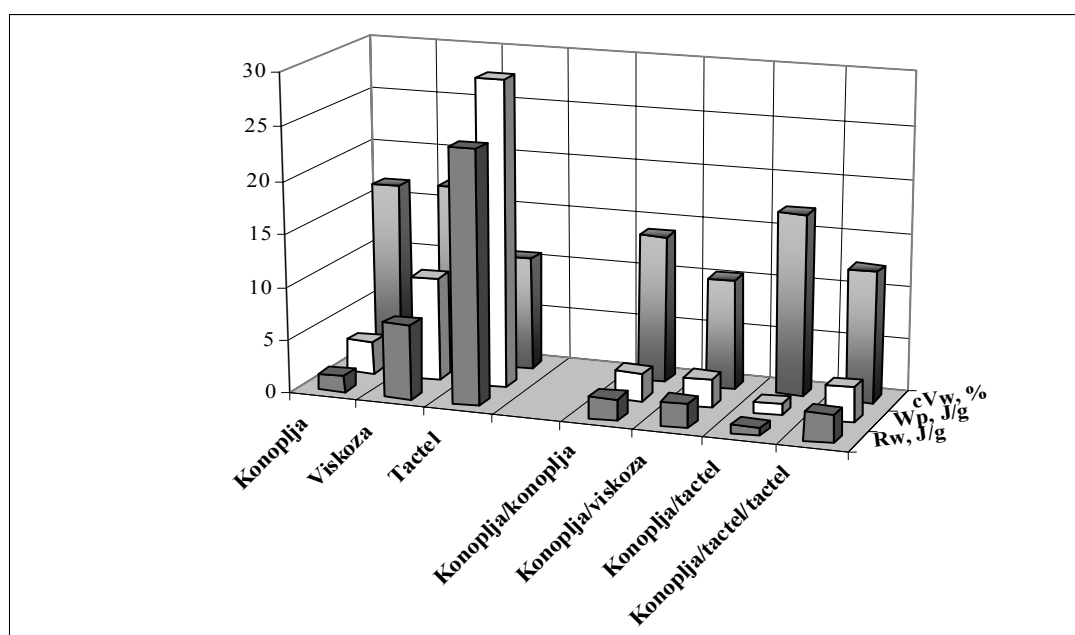
Sastav pređe	Prekidno izduženje, E (%)				
	X_{sr}	σ	cV, %	X_{min}	X_{max}
Konoplja	1,77	0,17	9,79	1,42	2,04
Viskoza	10,52	1,425	13,55	8,60	13,20
Tactel	23,17	1,52	6,55	21,06	24,88
Konoplja/konoplja	2,49	0,212	8,50	2,00	2,80
Konoplja/viskoza	4,36	0,227	5,20	4,00	4,80
Konoplja/tactel	2,58	0,22	8,50	2,20	2,80
Konoplja/tactel/tactel	6,00	0,57	9,42	5,20	7,00

Ovo je posebno izraženo kod hibridne pređe nastale končanjem jednožične pređe od konoplje sa dve niti tactela. Mikrofotografija (slika 37 f) potvrđuje da je formirana kompleksna struktura u kojoj je komponenta od konoplje „zaštićena“ nitima tactela smeštenim u spoljašnjim slojevima hibridne pređe. Izuzetak predstavlja hibridna pređa nastala končanjem pređe od konoplje i jedne niti tactela, čije je prekidno izduženje gotovo identično homogenoj končanoj pređi od konoplje uz ranije pomenuto primetno smanjenje prekidne sile ove hibridne pređe. Efekat sile trenja između komponentata hibridne strukture u ovom slučaju verovatno nije mogao da bude značajno izražen zbog velike razlike u finoći komponente od konoplje i teksturiranog filameta.



Slika 37. SEM mikrofotografije jednožičnih komponenta (a) konoplja, (b) viskoza - filament, (c) tachel, i končanih pređa (d) konoplja/viskoza, (e) konoplja/tachel, (f) konoplja/tachel/tachel i (g) konoplja/konoplja

Smanjenje prekidne sile končanih pređa u odnosu na jednožičnu pređu od konoplje uzrokovalo je snižavanje vrednosti rada kidanja končanih pređa (slika 38). Čak trostruko smanjenje rada kidanja uočeno je kod hibridne konoplja/tactel pređe. Izuzetak predstavlja hibridna konoplja/tactel/tactel pređa čije je povećano prekidno izduženje kompenzovalo smanjenu jačinu pređe i time vrednost rada kidanja održalo na nivou jednožične pređe od konoplje. Sa druge strane, povećana ravnomernost prekidnih karakteristika končanih pređa obezbedila je smanjenu varijaciju rada kidanja čime je poboljšana radna sposobnost ispitivanih končanih pređa u odnosu na jednožičnu pređu od konoplje. U tom smislu najbolje se pokazala hibridna pređa nastala končanjem pređe od konoplje sa dve niti tactela ispoljivši najveći energetski potencijal. Izuzetak predstavlja varijanta hibridne pređe sastavljene od pređe od konoplje i jedne niti tactela, čija je radna sposobnost dvostruko niža u odnosu na jednožičnu pređu od konoplje.

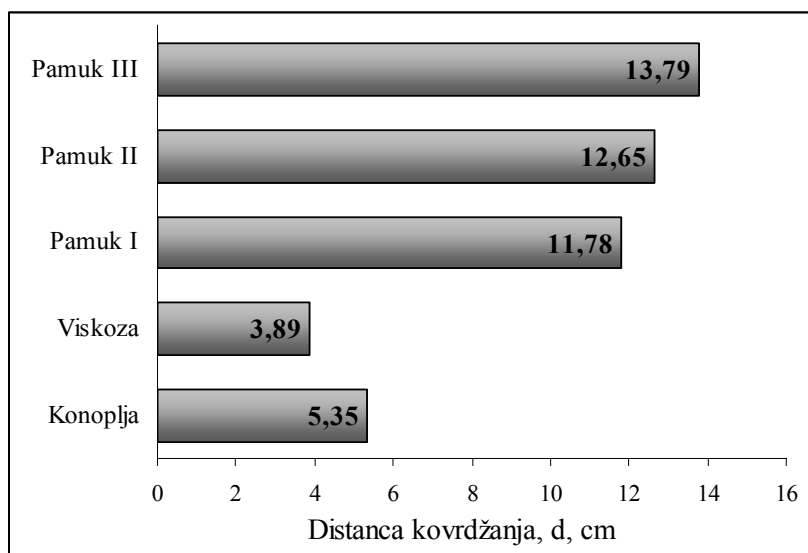


Slika 38. Energetska svojstva končanih pređa i jednožičnih komponentata

Budući da radna sposobnost pređe predstavlja kompleksnu ali pouzdanu ocenu kvaliteta, dovodi se u pitanje celishodnost proizvodnje i primene hibridne konoplja/tactel pređe. Povećana radna sposobnost ostalih končanih pređa dopušta zaključak da se, uprkos smanjenoj prekidnoj sili u odnosu na jednožičnu komponentu od konoplje, formiranje ovakvih složenih struktura može smatrati opravdanim sa aspekta upotrebnih svojstava.

7.2 Relaksaciona svojstva pređe

Različiti fizički i fiziko-hemijski procesi odgovorni za formiranje ravnotežnog stanja materijala nazivaju se relaksacioni procesi. Poznato je da proces relaksacije koji se dešava u pređi (linearnim upredenim agregatima vlakana) određuje uravnoteženost njene strukture, a time i ponašanje u narednim procesima i tokom eksploatacije tekstilnih materijala. Naime, kao posledica zaostalog torzionog napona pređe su u određenoj meri sklone raspredanju, što se smatra negativnom pojavom sa aspekta ponašanja pređa u narednim fazama prerade i upotrebe. Za ocenjivanje živosti ili sklonosti ka kovrdžanju jednožičnih i složenih pređa na bazi konoplje odabran je parametar - distanca kovrdžanja, s obzirom da se on pokazao najosetljivijim na uticaje raznih faktora (vrsta vlakana, struktura i upredenost pređe) [250]. Neuravnotežena pređa je usled velikog torzionog momenta „živa“ i u slobodnom stanju lako formira uvoje. Nasuprot tome, dobro izbalansirana struktura pređe sa minimumom zaostalog torzionog napona je „mrtva“ u slobodnom stanju tako da do formiranja prvih uvoja dolazi tek pri vrlo malom rastojanju između krajeva pređe. S obzirom da distanca kovrdžanja podrazumeva rastojanje između odsečaka pređe u momentu nastajanja prvih uvoja, sledi da će uravnoteženiju pređu karakterisati manja vrednost distance kovrdžanja.



Slika 39. Distanca kovrdžanja jednožičnih pređa

Dobijene vrednosti distance kovrdžanja viskozne, pamučne i pređe od konoplje (slika 39) upućuju na razlike u pogledu zaostalog torzionog momenta ovih pređa. Kako se radi o

nominalno identičnim pređama (finoća i upredenost), uočene razlike se mogu pripisati uticaju vrste vlakana odnosno, njihovim razlikama u krutosti na uvijanje. Rezultati distance kovrdžanja pamučnih pređa, koje su se međusobno razlikovale po upredenosti, potvrđuju uticaj ovog parametra na neuravnoteženost pređa. Statistička značajnost dobijenih rezultata potvrđena je analizom varijanse (ANOVA). Rezultat ovog testa sastoji se od srednjih vrednosti i varijansi ispitivanih uzoraka, vrednosti statistike (F), kritične vrednosti statistike (F_{crit}), kao i nivoa značajnosti (P) statistike F. ANOVA statistikom se porede srednje vrednosti eksperimentalnih rezultata, pri čemu se u slučaju kada je $F > F_{crit}$, uz uslov da je nivo značajnosti statistike (P) manji od praga značajnosti ($\alpha = 0.05$), zaključuje da uzorci ne potiču iz iste populacije, odnosno potvrđuje se uticaj testiranog faktora. Tabele 15 i 16 daju rezultate analize varijanse jednog faktora: vrste vlakana i upredenosti pređe.

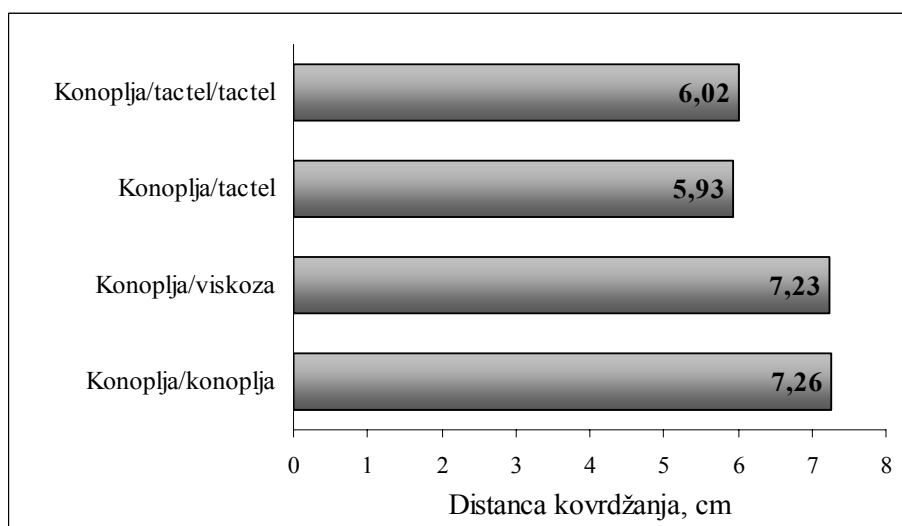
Tabela 15. Analiza varijanse jednog faktora (vrsta vlakana)

Anova: Single Factor						
Faktor: vrsta vlakana						
SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Konoplja	30	160.6	5.3533333	2.0101609		
Viskoza	30	116.7	3.89	0.560931		
Pamuk I	30	235.7	11.785	1.6539737		
ANOVA						
<i>Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between	801.82033	2	400.91017	291.26246	1.229E-36	3.1153658
Within	105.98717	77	1.3764567			
Total	907.8075	79				

Tabela 16. Analiza varijanse jednog faktora (upredanje pređe)

Anova: Single Factor						
Faktor: upredanje pređe						
SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Pamuk I	20	235.7	11.785	1.6539737		
Pamuk II	20	253	12.65	3.8289474		
Pamuk III	30	413.8	13.793333	4.7702989		
ANOVA						
<i>Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between	50.052262	2	25.026131	6.9140323	0.0018628	3.1337623
Within	242.51417	67	3.6196144			
Total	292.56643	69				

Poznato je da se končanjem relaksira struktura pređe, jer saopštavanjem sekundarnog upredanja u smeru suprotnom od smera upredanja jednožičnih komponenti dolazi do njihovog raspredanja; to dovodi do redukcije jednosmernog torzionog napona što po pravilu, smanjuje neuravnoteženosti pređe [251]. Pravilnim izborom odnosa primarnog i sekundarnog upredanja može se potpuno eliminisati torzioni moment u pređi čime se dobija apsolutno uravnotežena struktura [252]. Povećana distanca kovrdžanja končane homogene pređe (7,26 cm) u odnosu na jednožičnu pređu od konoplje (5.,5 cm) predstavlja potvrdu nedovoljne usklađenosti primarnog i sekundarnog upredanja. Takođe, prema poznatoj empirijskoj zavisnosti, koja karakteriše uslove dobijanja uravnoteženih pređa, prema kojoj upredenost končane pređe treba da iznosi dve trećine upredenosti jednožične pređe [253], sledi da bi pri končanju pređe od konoplje trebalo primeniti niže sekundarno upredanje. Pored distance kovrdžanja končane homogene pređe od konoplje na slici 40 su prikazane i dobijene vrednosti za hibridne pređe na bazi konoplje.



Slika 40. Distanca kovrdžanja končanih pređa na bazi konoplje

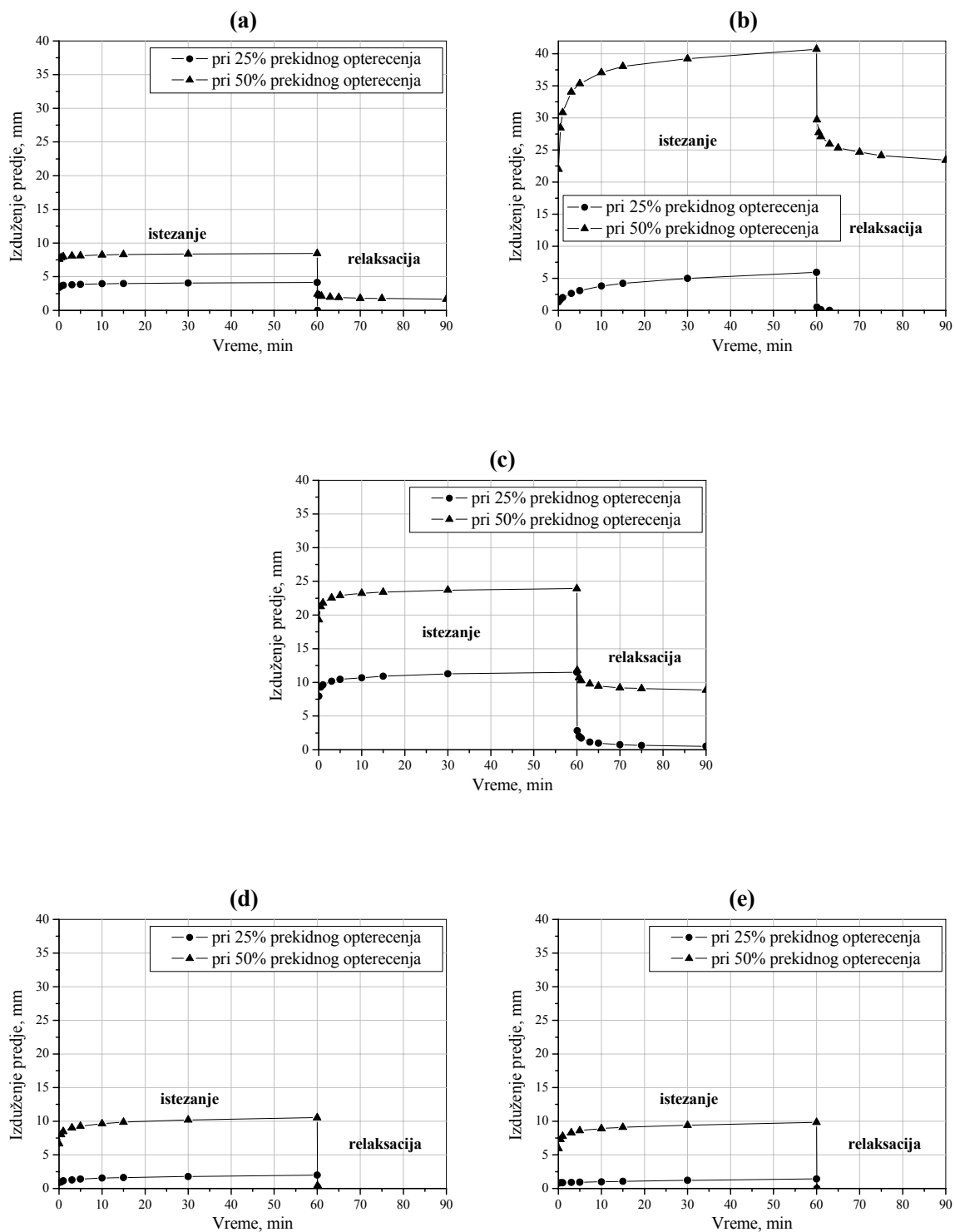
Prilikom formiranja hibridnih pređa pored pređe od konoplje sa izvesnom manjom neuravnoteženošću upotrebljene su filamentne pređe okarakterisane odsustvom torzionog napona, budući da je PA teksturirani filament neupreden a viskozni filament upreden malim brojem uvoja (tabela 6) koji nije uticao na pojavu reakcionih sila odgovornih za neuravnoteženost strukture. Kako je samo komponenta od konoplje bila okarakterisana izvesnim zaostalim torzionim momentom, čini se da je prisustvo druge uravnotežene komponente (ili komponenti) u hibridnoj strukturi, izuzev kada se radi o viskoznom

filamentu, doprinelo snižavanju distance kovrdžanja u odnosu na homogenu končanu pređu od konoplje. Sa druge strane, ispoljene statistički značajne razlike (ANOVA statistika, tabela 17) u neuravnoteženosti nehomogenih končanih pređa potvrđuju uticaj formirane hibridne strukture na relaksaciju torzionih napona.

Tabela 17. Analiza varijanse jednog faktora (struktura pređe)

Anova: Single Factor						
Faktor: struktura pređe						
SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Konoplja/viskoza	30	216.8	7.2266667	2.0854713		
Konoplja/tactel	30	177.8	5.9266667	1.5634023		
Konoplja/tac/tac	30	180.5	6.0166667	2.351092		
ANOVA						
<i>Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between	31.622	2	15.811	7.9055454	0.0007004	3.1012958
Within	173.999	87	1.9999885			
Total	205.621	89				

Za postizanje zadovoljavajućih upotrebnih svojstava pređa, pored stalno prisutnih unutrašnjih napona u pređi, veoma važnu ulogu ima i tzv. relaksacija deformacije pređe nastale pod dejstvom spoljašnjih sila. Relaksacija deformacije predstavlja vremenski zavistan proces nastanka i eliminacije sporopovratne (viskoelastične) deformacije. Rezultati ispitivanja relaksacionog ponašanja jednožičnih pređa pri aksijalnom istezanju prikazani su na slici 41 (a, b, c, d, i e). Uočava se međusobno različito ponašanje ispitivanih pređa u pogledu sposobnosti deformacije, relaksacije deformacije, kao i razlike u relaksacionim procesima u pređama pri različitim vrednostima aksijalnog opterećenja. Kako je i očekivano, povećanje aksijalnog opterećenja izazvalo je povećanje ukupne deformacije svih ispitivanih pređa, što je gotovo kod svih pređa dovelo do promena u relaksacionom ponašanju. U okviru jednožičnih pređa uporedivih nominalnih karakteristika (slika 41 a, b i c) za pređu od konoplje se, pored činjenice da je ispoljila najmanje istezanje za primenjene vrednosti opterećenja, može reći da je najmanje „osetljiva“ na vreme trajanja opterećenja. Drugim rečima, pređa od konoplje najbrže dostiže maksimalno istezanje pri datom opterećenju. Sa druge strane, najizraženije promene dužine sa vremenom trajanja opterećenja ispoljila je viskozna pređa uz istovremeno, najveći priraštaj istegljivosti sa udvostručenjem aksijalnog opterećenja pređe. Razlike u relaksacionim svojstvima se mogu pripisati prirodi vlakana i eventualno, izvesnim odstupanjima faktičkih karakteristika pređa u odnosu na nominalne vrednosti.



Slika 41. Relaksacione krive jednožičnih pređa pri aksijalnom istežanju (a) konoplja, (b) viskoza, (c) pamuk I, (d) pamuk II, (e) pamuk III

Kako je ranije već pomenuto, vlakna konoplje se odlikuju malom sposobnošću izduženja (prekidno izduženje je 1-6 %) što se svakako odrazilo na ukupno izduženje pređe. Interesantno je da je pri opterećenju pređa od 25 % prekidne sile pamučna pređa na prvom nivou upredanja ispoljila najveću istegljivost dok se pri opterećenju od 50 % taj odnos menja u korist viskozne pređe.

S obzirom da su vlakna u pređi uzdužno agregirana silama trenja, prilikom aksijalnog istezanja pređe osim istezanja samih vlakana i u zavisnosti od primenjenog opterećenja dolazi do međusobnog klizanja vlakana čime se povećava ukupno izduženje pređe [254]. Zbog rastresite strukture pamučne pređe, što je posledica tehnike pređenja (OE pređenje), oslabljene su sile trenja između vlakana čime je olakšano njihovo međusobno klizanje uprkos nešto povećanom broju uvoja [205]. Međutim, čini se da pri aksijalnom opterećenju pređa od 50 % prekidne sile značajno raste intenzitet klizanja vlakana u viskoznoj pređi, čime ona postaje najistegljivija. Pored prirode vlakna (koeficijent trenja, dodirna površina) mogući razlog povećanog istezanja može biti smanjeno faktičko upredanje pređe. Dijagrami na slici 41 (d i e) dodatno ilustruju uticaj upredanja na sposobnost aksijalnog deformisanja pređe. Uočeno je očekivano smanjenje izduženja pamučnih pređa sa porastom broja uvoja. Naime, dobro je poznato da, bez obzira na svojstva vlakana, upredanje pređe značajno određuje njenu sposobnost istezanja regulisanjem kohezivnih sila između vlakana [256].

Iako se na osnovu karakterističnih kriva izduženje-vreme mogu sagledati relaksacioni procesi pri aksijalnom istezanju pređa, u cilju kvantitativne ocene relaksacionog ponašanja ispitivanih jednožičnih pređa pristupilo se izračunavanju komponenata aksijalne deformacije pređa (relacija 43). Radi adekvatne komparacije deformacionog ponašanja pređa izračunata su i odgovarajuća relativna izduženja prema relaciji 45, kao i udeli relativnih komponenata izduženja prema relaciji 47. Intenzitet i dinamika aksijalne deformacije istezanja pređe predstavljaju bitne parametre dimenzione stabilnosti odevnih tekstilnih materijala što je značajno sa aspekta udobnosti nošenja odevnih predmeta. Posebno su za pletenine važna elastična svojstva budući da predstavljaju bitan preduslov za stabilnost oblika odevnog predmeta. U tom smislu, viskoelastična komponenta deformacije pređe, naročito ukoliko je period relaksacije dug, može značajno da utiče na dimenzionu stabilnost i sposobnost gužvanja pletenine. Ukoliko je upotrebljena pređa okarakterisana visokom vrednošću plastične deformacije, može se očekivati da se u kratkom vremenskom periodu razvije trajna deformacija praćena

lokalnim promenama dimenzija pletenine. Ovakve trajne promene dimenzija tekstilnih materijala sigurno utiču ne samo na taktilni komfor već i na toplotni komfor odeće uslovljavajući sposobnost tekstilnih materijala da prenose toplotu i propuštaju vazduh i vodenu paru. U tabelama 18 i 19 su pored apsolutnih i relativnih vrednosti ukupne deformacije jednožičnih pređa date i izračunate apsolutne i relativne vrednosti komponentata deformacije pri opterećenju od 25 % i 50 % prekidne sile. U okviru pređa uporedivih vrednosti upredanja najmanju sposobnost istezanja, za obe vrednosti opterećenja, ispoljila je pređa od konoplje, što svakako predstavlja limitirajući faktor kada se radi o transformaciji pređe u pleteninu kao i izvesnim aspektima komfora. Ipak, čini se da je ovaj nedostatak donekle kompenzovan činjenicom da je pri opterećenju od 25 % prekidne sile bila prisutna isključivo elastična komponenta deformacije (tabela 18) i u izvesnoj manjoj meri viskoelastična i plastična komponenta deformacije pri naprezanju pređe od 50 % prekidne sile (tabela 19).

Tabela 18. Komponente aksijalne deformacije istezanja jednožičnih pređa pri opterećenju od 25 % prekidne sile

Sastav pređe	Apsolutno izduženje, mm				Relativno izduženje, %			
	l_e	l_{ve}	l_p	l_{uk}	ϵ_e	ϵ_{ve}	ϵ_p	ϵ_{uk}
Konoplja	4,14	0	0	4,14	0,83	0	0	0,83
Viskoza	5,44	0,50	0	5,94	1,09	0,10	0	1,19
Pamuk I	8,68	2,30	0,52	11,50	1,74	0,46	0,10	2,30
Pamuk II	1,98	0	0	1,98	0,40	0	0	0,40
Pamuk III	1,42	0	0	1,42	0,28	0	0	0,28

Tabela 19. Komponente aksijalne deformacije istezanja jednožičnih pređa pri opterećenju od 50 % prekidne sile

Sastav pređe	Apsolutno izduženje, mm				Relativno izduženje, %			
	l_e	l_{ve}	l_p	l_{uk}	ϵ_e	ϵ_{ve}	ϵ_p	ϵ_{uk}
Konoplja	6,02	0,74	1,68	8,44	1,20	0,15	0,34	1,69
Viskoza	11,00	6,28	23,42	40,70	2,20	1,26	4,68	8,14
Pamuk I	12,12	2,96	8,86	23,94	2,42	0,59	1,77	4,78
Pamuk II	10,10	0,42	0	10,52	2,02	0,08	0	2,10
Pamuk III	9,84	0	0	9,84	1,97	0	0	1,97

Pri opterećenju od 25 % prekidne sile viskoelastična komponenta deformacije prisutna je kod istezanja viskozne pređe, dok ukupnu aksijalnu deformaciju pri istezanju pamučne pređe (pamuk I) sačinjavaju sve tri komponente deformacije. Udvostručenjem naprezanja pređe udvostručuje se i relativno izduženje pamučne pređe i pređe od konoplje, dok je

vrednost ukupnog izduženja viskozne pređe približno sedmostruko uvećana. Uočeno povećanje ukupnog izduženja ispitivanih pređa praćeno je povećanjem kako elastićne tako i viskoelastićne i plastićne komponente deformacije (tabela 18). Posebno se kod viskozne pređe uoćava znaćajno povećanje viskoelastićne i plastićne komponente deformacije. Oćigledno se sa povećanjem naprežanja pređe menja karakter deformacije ispitivanih pređa. Ńto je potvrćeno izraćunatim udelima komponenta deformacije prikazanim u tabeli 20. Pri nićem naprežanju ispitivanih pređa (25 % prekidne sile) dominira elastićna komponenta deformacije. Mećutim, pri opterećenju od 50 % prekidne sile elastićna komponenta deformacije ostaje dominantna jedino kod pređe od konoplje. Polovinu od ukupne deformacije pamućne pređe ćini elastićna komponenta, dok se u slućaju viskozne pređe uoćava najveći udeo trajne deformacije, Ńto se svakako odraćava na upotreba svojstva pletenine. Udeo viskoelastićne komponente deformacije u ukupnoj aksijalnoj deformaciji isrežanja je kod sve tri pređe zastupljen u najmanjoj meri.

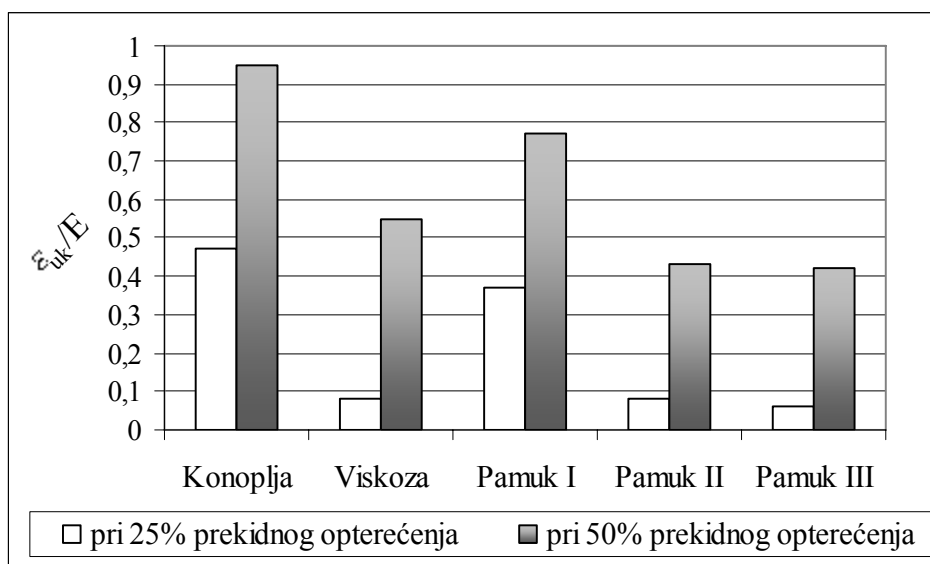
Tabela 20. Udeo relativnih komponenta izduženja u ukupnom relativnom izduženju pređe

Sastav pređe	Udeo relativnih komponenta izduženja					
	25 % P			50 % P		
	Δ_e	Δ_{ve}	Δ_p	Δ_e	Δ_{ve}	Δ_p
Konoplja	1	0	0	0,71	0,09	0,20
Viskoza	0,92	0,08	0	0,27	0,15	0,58
Pamuk I	0,75	0,20	0,05	0,51	0,12	0,37
Pamuk II	1	0	0	0,96	0,04	0
Pamuk III	1	0	0	1	0	0

Analiza deformacionog ponašanja pamućnih pređa razlićite upredenosti potvrdila je da upređanje pređe, pored ćinjenice da utiće na intenzitet istežanja, uslovljava i karakter deformacije pređe. Naime, dok je aksijalna deformacija pamućne pređe sa najnižom upređenošću (pamuk I) obuhvatala sve tri komponente deformacije, druge dve upređenije pređe su ispoljile iskljućivo elastićnu komponentu deformacije (tabela 20). Isti trend je zadrćan i sa povećanjem naprežanja pređe, pri ćemu je kod pamućne pređe sa drugim nivoom upređanja (pamuk II) minimalno zastupljena i viskoelastićna komponenta deformacije (tabela 20). Dobijeni rezultati ukazuju da je povećani broj uvoja pamućnih pređa II i III, smanjujući pokretljivost vlakana, onemogućio ireverzibilno mećusobno klizanje vlakana a time i trajnu deformaciju pređe. Ćini se da je smanjena pokretljivost vlakana u najupređenijoj pamućnoj pređi izazvala njenu „neosteljivost“ na povećanje opterećenja zbog ćega je ova pređa ispoljila iskljućivo elastićnu aksijalnu deformaciju pri

istezanju (tabela 20). Pored povećanja kohezionih sila između vlakana u pređi, pretpostavlja se da se sa povećanjem ugla nagiba vlakana prema osi pređe otežavaju i trajne deformacije unutar samih vlakana prilikom istežanja pređe.

Pored intenziteta i karaktera aksijalne deformacije jednožičnih pređa, na osnovu izračunatih odnosa ukupnog relativnog izduženja i prekidnog izduženja (ϵ_{uk}/E), ilustrovanih na slici 42, može se sagledati i dinamika istežanja pređa. Pri opterećenju pređe od 25 % prekidne sile značajniju deformaciju u odnosu na maksimalno moguće istežanje ispoljile su pamučna (pamuk I) i pređa od konoplje čija ukupna deformacija predstavlja gotovo polovinu prekidnog izduženja. Udvostručenjem opterećenja (50 % prekidnog opterećenja) pređa od konoplje se već skoro potpuno isteže, dok pamučna pređa dostiže tri četvrtine svoje maksimalno moguće deformacije. Pokazalo se da viskozna pređa najsporije dostiže maksimalno moguće istežanje, tako da pri naprezanju pređe sa 50 % prekidnog opterećenja ukupna deformacija predstavlja polovinu prekidnog izduženja. Smanjena pokretljivost vlakana usled povećanog broja uvoja pamučnih pređa II i III usporila je aksijalnu deformaciju istežanja ovih pređa koje su pri nižem opterećenju ispoljile neznatno izduženje u odnosu na prekidno izduženje, a pri naprezanju sa polovinom prekidnog opterećenja dostigle oko 40 % prekidnog izduženja što je gotovo upola manje u odnosu na pamučnu pređu I.

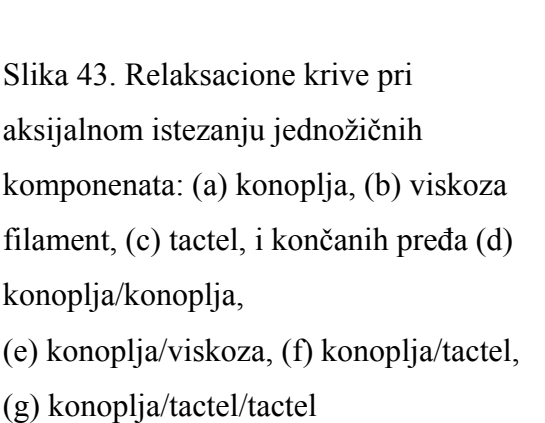
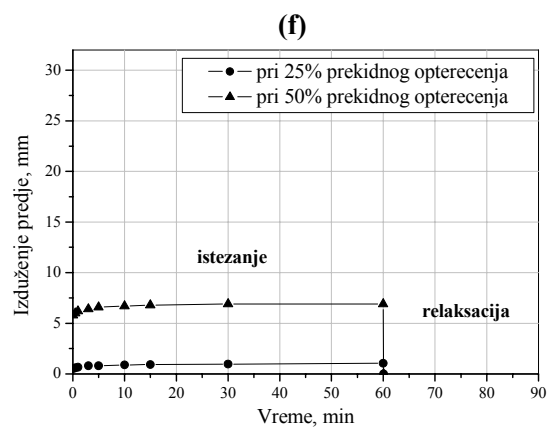
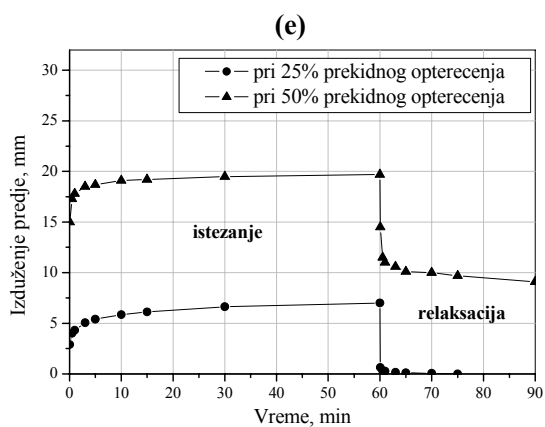
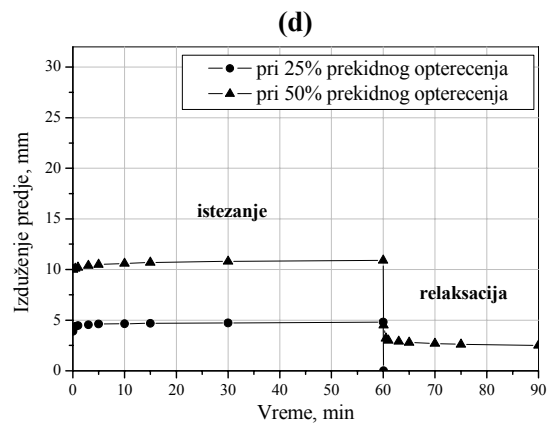
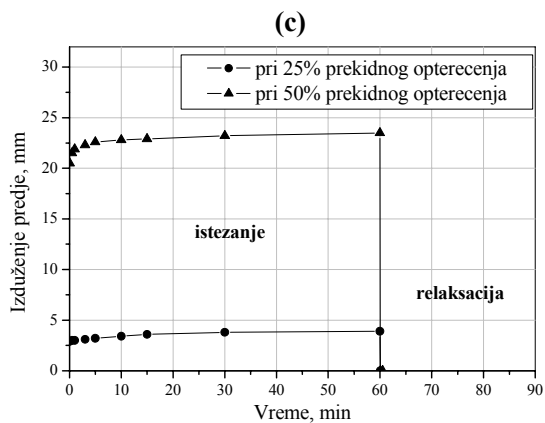
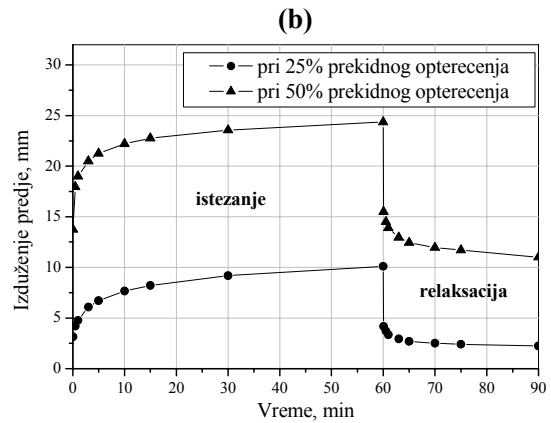
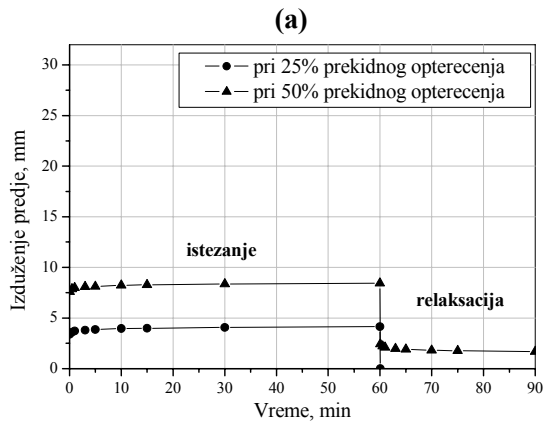


Slika 42. Odnos ukupnog relativnog izduženja i prekidnog izduženja jednožičnih pređa

Grupaciju končanih pređa čine homogena končana pređa od konoplje i hibridne končane pređe nastale kombinacijom različitih jednožičnih komponenata. Upotrebljene

jednožične komponente su se međusobno razlikovale u pogledu deformacionih i relaksacionih svojstava, što potvrđuju krive relaksacije prikazane na slici 43 (a, b i c). Očigledno je da se viskozni filament odlikuje znatnijom sposobnošću izduženja u odnosu na pređu od konoplje, posebno pri opterećenju od 50 % od prekidnog opterećenja, uz pojavu zaostale deformacije bez obzira na vrednost opterećenja. U uslovima nižeg naprezanja pređe, tactel (teksturirani PA) i pređa od konoplje se slično ponašaju, što podrazumeva približne vrednosti izduženja uz odsustvo zaostalih deformacija. Međutim, razlike se ispoljavaju sa udvostručenjem naprezanja pređe kada tactel postaje znatno istegljiviji uz zadržavanje isključivo elastične deformacije. Krive relaksacije jednožičnih komponentata ukazuju takođe, na razlike u pogledu vremenske zavisnosti aksijalne deformacije istezanja. Dok pređa od konoplje i tactel brzo dostižu maksimalno izduženje za date vrednosti opterećenja, viskozni filament je ispoljio veću „osteljivost“ na vreme trajanja naprezanja pređe.

Karakteristične krive relaksacije končanih pređa upućuju na činjenicu da su kombinacijom prethodno analiziranih jednožičnih komponentata dobijene složene pređe sa „novim“ deformacionim svojstvima nastalim kao rezultat uticaja pojedinačnih komponenti (slika 43 d, c, f i g). Operacija končanja je uzrokovala nešto povećanu sposobnost istezanja homogene složene pređe od konoplje (slika 43 d), što je u skladu sa povećanjem njenog prekidnog izduženja (tabela 14). Povećana sposobnost deformacije viskoznog filameta i tactela uzrokovala je povećanu istegljivost hibridnih pređa u odnosu na homogenu končanu pređu za obe vrednosti opterećenja. Izuzetak predstavlja konoplja/tactel pređa kod koje je došlo do smanjenja istegljivosti. S obzirom da je ova hibridna pređa formirana od dve komponente koje se međusobno značajno razlikuju po debljini (pređa od konoplje 50 tex i tactel 16 tex), pretpostavlja se da to može biti osnovni razlog za ispoljenu anomaliju. Verovatno da je primenjeno naprezanje pri operaciji končanja za tanku tactel komponentu bilo neadekvatno, čime je ona pretrpela mnogo veću deformaciju u poređenju sa pređom od konoplje. Povećana zategnutost tactel komponente u procesu formiranja končane strukture uzrokovala je njenu zategnutost u novonastaloj složenoj pređi, čime je sprečeno da tactel doprinese istegljivosti nastale hibridne pređe. Pored toga, prisustvo tactel komponente otežalo je međusobno klizanje vlakana konoplje što je dodatno uticalo na malu istegljivost konoplja/tactel hibridne pređe. Zahvaljujući odličnim svojstvima teksturiranog PA filameta (tactel) u pogledu elastičnog oporavka, hibridne pređe koje su sadržale tactel komponentu ispoljile su isključivo elastičnu deformaciju pri istezanju za obe vrednosti primenjenog opterećenja (slika 43 f i g). deformacijom (slika 43 e).



Slika 43. Relaksacione krive pri aksijalnom istezanju jednožičnih komponentata: (a) konoplja, (b) viskoza filament, (c) tactel, i končanih pređa (d) konoplja/konoplja, (e) konoplja/viskoza, (f) konoplja/tactel, (g) konoplja/tactel/tactel

Naime, dok je pri nižem opterećenju pređa od konoplje ispoljila brz elastični oporavak (slika 43 a), a viskozni filament u izvesnoj meri i trajnu deformaciju (slika 43 b), hibridna konoplja/viskoza pređa je okarakterisana delimično usporenom (viskoelastičnom) Kao rezultat superponiranja deformacionih svojstava komponente od konoplje i viskoznog filameta dobijena je hibridna struktura sa sposobnošću istežanja većom u odnosu na pređu od konoplje i smanjenom „osteljivošću“ na vreme trajanja opterećenja u poređenju sa viskoznom komponentom. Prethodni navodi su dodatno kvantifikovani izračunavanjem relativnih izduženja i komponenata deformacije jednožičnih komponenata i složenih pređa. U uslovima opterećenja od 25 % prekidne sile (tabela 21) viskozni filament je uz najveću sposobnost istežanja ispoljio i izvestan udeo viskoelastične i plastične deformacije za razliku od ostale dve upotrebljene pređe.

Tabela 21. Komponente aksijalne deformacije končanih pređa pri opterećenju od 25 % prekidne sile

Sastav pređe	Apsolutno izduženje, mm				Relativno izduženje, %			
	l_e	l_{ve}	l_p	l_{uk}	ϵ_e	ϵ_{ve}	ϵ_p	ϵ_{uk}
Konoplja	4,14	0	0	4,14	0,83	0	0	0,83
Viskoza	5,94	1,92	2,24	10,1	1,19	0,39	0,45	2,03
Tactel	3,90	0	0	3,90	0,78	0	0	0,78
Konoplja/ konoplja	4,80	0	0	4,80	0,96	0	0	0,96
Konoplja/ viskoza	6,36	0,64	0	7,00	1,27	0,13	0	1,40
Konoplja/ tactel	1,04	0	0	1,04	0,21	0	0	0,21
Konoplja/ tactel/tactel	9,60	0	0	9,60	1,92	0	0	1,92

S obzirom da se radi o filamentnoj pređi gde se ne može govoriti o međusobnom klizanju vlakana, pojava trajne deformacije ukazuje da je već pri opterećenju od 25 % prekidne sile došlo do nepovratnog premeštanja pojedinih veza ili čitavih makromolekulskih lanaca u monofilamentima. Sile trenja uspostavljene između komponenata u hibridnoj konoplja/viskoza pređi usporile su trajna premeštanja unutar makromolekula viskoze čime je sprečena plastična deformacija uz nastanak viskoelastične deformacije u manjoj meri. Iako je tactel komponenta u datim uslovima opterećenja ispoljila sposobnost istežanja tek na nivou pređe od konoplje, hibridna pređa nastala končanjem pređe od konoplje sa dve niti tactela je okarakterisana najvećim relativnim izduženjem. Može se pretpostaviti da niti tactela u ovoj složenoj pređi „trpe“ deformaciju u najvećoj meri. Nešto ranije je

diskutovana izuzetno mala istegljivost konoplja/tactel hibridne pređe. Udvostručenje opterećenja ispitivanih pređa dovelo je do očekivanog povećanog izduženja, kako jednožičnih komponenata tako i končanih pređa. Pri tome, podaci iz tabele 22 upućuju na izvesne promene u deformativnom ponašanju pređa izazvanim povećanjem opterećenja. Pod dejstvom dvostruko većeg opterećenja, relativno izduženje tactel pređe dostiglo je nivo viskoze uz zadržavanje sposobnosti brzog i potpunog elastičnog oporavka.

Tabela 22. Komponente aksijalne deformacije istezanja končanih pređa pri opterećenju od 50 % prekidne sile

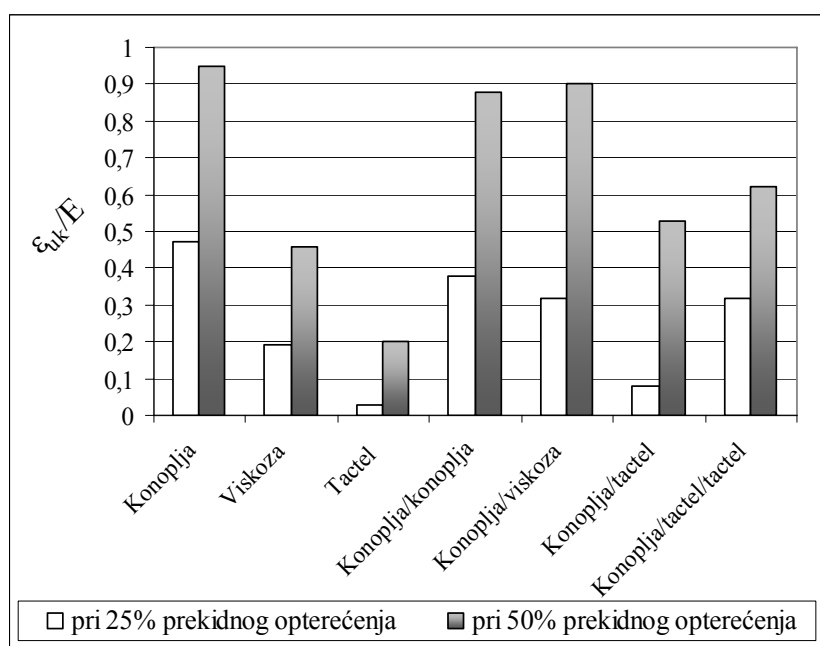
Sastav pređe	Apsolutno izduženje, mm				Relativno izduženje, %			
	l_e	l_{ve}	l_p	l_{uk}	ϵ_e	ϵ_{ve}	ϵ_p	ϵ_{uk}
Konoplja	6,02	0,74	1,68	8,44	1,20	0,15	0,34	1,69
Viskoza	8,85	4,50	11,00	24,35	1,77	0,90	2,20	4,87
Tactel	23,50	0	0	23,50	4,70	0	0	4,70
Konoplja/ konoplja	6,40	2,00	2,50	10,90	1,28	0,40	0,50	2,18
Konoplja/ viskoza	5,20	5,40	9,10	19,70	1,04	1,08	1,82	3,94
Konoplja/ tactel	6,90	0	0	6,90	1,38	0	0	1,38
Konoplja/ tactel/tactel	18,70	0	0	18,70	3,74	0	0	3,74

Nasuprot tome, kod viskoznog filameta dolazi do još intenzivnijih trajnih promena u strukturi viskoznog polimera. Zbog pogoršanja sposobnosti elastičnog oporavka viskozne komponente i pređe od konoplje sa povećanjem opterećenja došlo je do pogoršanja elastičnosti hibridne pređe nastale njihovom kombinacijom, što je potvrđeno i izračunatim udelima relativnih komponenata deformacije (tabela 23). Za razliku od skoro potpuno elastične deformacije ove pređe pri nižem opterećenju, sa udvostručenjem opterećenja gotovo polovinu ukupne deformacije čini trajna deformacija pređe. Kao i u uslovima nižeg opterećenja konoplja/tactel hibridna pređa je ispoljila najmanje relativno izduženje iz prethodno navedenih razloga. Iako su neka istraživanja pokazala da se končanjem popravljaju elastična svojstva pređa [252, 257], kod končane homogene pređe od konoplje je sa porastom opterećenja došlo do izvesnog kašnjenja u relaksaciji deformacije verovatno zbog međusobnog trenja jednožičnih komponenata. Tako je uz zadržavanje trajne deformacije na istom nivou smanjen udeo trenutnog elastičnog oporavka (tabela 23). U okviru grupe ispitivanih končanih pređa konoplja/tactel/tactel pređi se može dati prednost u pogledu sposobnosti deformacije i relaksacije napona nastalih aksijalnom deformacijom

istežanja. Zadovoljavajuća deformaciona i relaksaciona svojstva ove hibridne pređe postignuta su zahvaljujući odličnoj elastičnosti tactel pređe koja je sposobnost elastičnog oporavka zadržala i pri opterećenju koje iznosi polovinu vrednosti prekidne sile ove pređe (tabela 22).

Tabela 23. Udeo relativnih komponenata izduženja u ukupnom relativnom izduženju pređe

Sastav pređe	Udeo relativnih komponenata izduženja					
	25 % P			50 % P		
	Δ_e	Δ_{ve}	Δ_p	Δ_e	Δ_{ve}	Δ_p
Konoplja	1	0	0	0,71	0,09	0,20
Viskoza	0,59	0,19	0,22	0,36	0,19	0,45
Tactel	1	0	0	1	0	0
Konoplja/konoplja	1	0	0	0,59	0,18	0,23
Konoplja/viskoza	0,91	0,09	0	0,26	0,28	0,46
Konoplja/tactel	1	0	0	1	0	0
Konoplja/tactel/tactel	1	0	0	1	0	0



Slika 44. Odnos ukupnog relativnog izduženja i prekidnog izduženja jednožičnih komponenata i končanih pređa na bazi konoplje

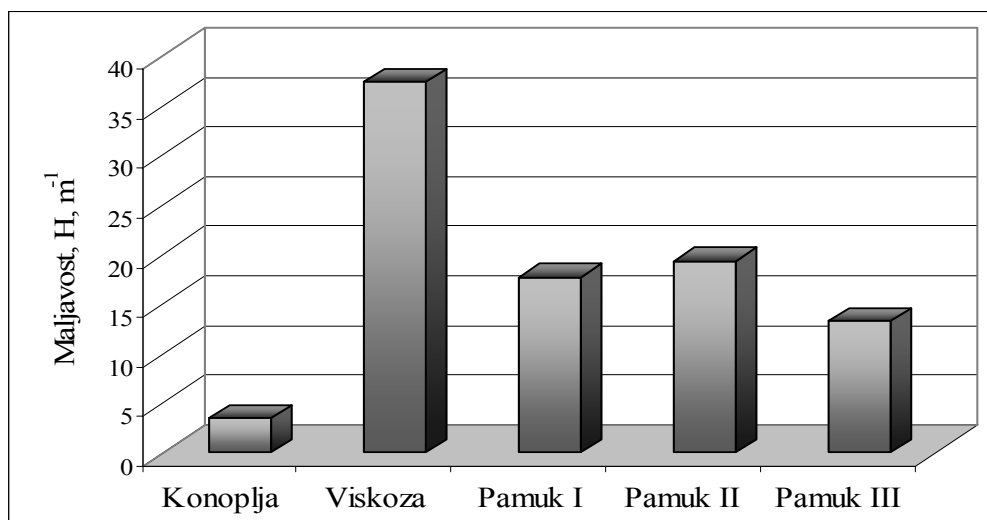
Odnos ukupnog relativnog izduženja i prekidnog izduženja (ϵ_{uk}/E) upućuje na činjenicu da su za izradu končanih struktura upotrebene pređe okarakterisane različitom

dinamikom deformacije istezanja (slika 44). Dok se pređa od konoplje pri opterećenju od 25 % prekidne sile isteže do polovine svog prekidnog izduženja, a viskozni filament za petinu maksimalno mogućeg izduženja, tadel se isteže neznatno. Isti redosled komponenata sa aspekta dinamike istezanja je zadržan i pri opterećenju od 50 % prekidne sile iako je sa udvostručenjem opterećenja do najvećeg priraštaja izduženja došlo kod PA filamenta (tadel). Činjenica da je pri opterećenju od 50 % prekidnog opterećenja tadel dostigao tek petinu svog prekidnog izduženja potvrđuje veliki potencijal u pogledu aksijalne deformacije istezanja. Tako, dok se pri nižem opterećenju konoplja/viskoza i konoplja/tadel/tadel pređa istežu u istoj meri u odnosu na maksimalno moguće izduženje, sa udvostručenjem opterećenja konoplja/viskoza pređa „troši“ značajan deo svoje sposobnosti deformacije (90%), a konoplja/tadel/tadel pređa dostiže 60% svog maksimalnog izduženja. Veliku osetljivost na promenu aksijalnog opterećenja pri istezanju pređe ispoljila je konoplja/tadel pređa koja je od neznatnog izduženja pri nižem opterećenju sa povećanjem opterećenja na 50 % prekidne sile dostigla polovinu svog maksimalnog izduženja. Rezultati koji se odnose na homogenu končanu pređu od konoplje navode na zaključak da je međusobna interakcija dve pređe od konoplje usporila deformaciju istezanja, što uz povećanje sposobnosti deformacije daje dodatni pozitivan predznak operaciji končanja. Pored toga, dobijeni rezultati su pokazali da formiranje hibridnih struktura končanjem konoplje sa različitim komponentama okarakterisanim različitim deformacionim i relaksacionim svojstvima predstavlja dobar način projektovanja zadovoljavajućih svojstava u pogledu komfora tekstilnih materijala odnosno udobnosti nošenja odeće. U okviru ispitivanih hibridnih pređa izdvaja se konoplja/tadel/tadel pređa kao struktura koja je ispoljila najbolje karakteristike u pogledu intenziteta, karaktera i dinamike aksijalne deformacije istezanja.

7.3 Površinska svojstva pređa

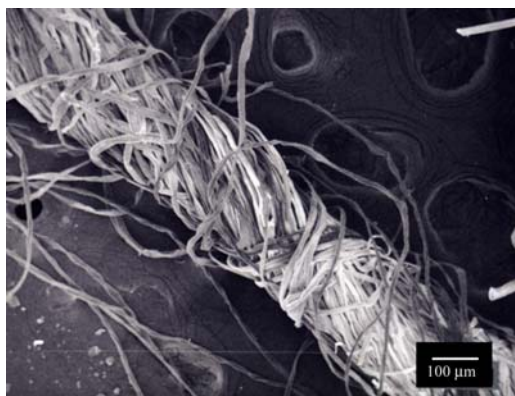
Maljavost pređe predstavlja osnovni pokazatelj geometrije površine pređe. Nivo prihvatljive maljavosti pređe uslovljen je pre svega, njenom namenom. Za pređu namenjenu za izradu pletenina dopušta se veći stepen maljavosti, međutim, treba imati u vidu svrhu odevnog tekstilnog materijala (npr. rublje, gornji odevni predmeti) kao i godišnje doba i klimatske uslove za koje je odeća namenjena. Naime, poznato je da karakter površine tekstilnog materijala u značajnoj meri određuje percepciju komfora, kako toplotnog tako i taktalnog, prilikom nošenja odeće. Sa druge strane, sigurno je da

geometrija površine pređe bitno određuje površinska svojstva tekstilnog materijala. Sprovedena ispitivanja površinskih svojstava jednožičnih i složenih pređa na bazi konoplje omogućila su analizu uticaja sirovinskog sastava i strukture pređe kako na geometriju površine tako i na stepen i karakter modifikovanja površine pređe u fazama koje slede. Jasan uticaj vrste vlakana na izgled površine pređe može se sagledati na osnovu rezultata prikazanih na slici 45.



Slika 45. Maljavost jednožičnih pređa

Viskozna pređa je okarakterisana najvećom maljavošću, zatim slede pamuk I i pređa od konoplje sa izuzetno malom maljavošću površine ($3,4 m^{-1}$). Pretpostavlja se da mala gipkost vlakana konoplje usporava migraciju vlakana prilikom formiranja pređe čime je sprečeno intenzivnije oslobađanje krajeva vlakana u površinskom sloju pređe. Polazeći od činjenice da je pamučna pređa formirana OE tehnikom pređenja, zbog čega je očekivana izražena geometrija površine pređe, urađena je dodatna vizuelna analiza SEM tehnikom (slika 46) koja je potvrdila prisustvo velikog broja vlaknastih „petlji“. Iako upotrebljeni uređaj nije mogao da registruje površinska vlakna kraća od 3 mm, činjenica je da su ona sastavni deo geometrije površine pamučne pređe.



Slika 46. SEM mikrofotografija jednožične pamučne pređe (I)

Smatra se da upredanje kao bitan parametar strukture pređe, pored strukture jezgra pređe bitno određuje i njena površinska svojstva. Generalno je prihvaćeno da se sa povećanjem upredenosti pređe smanjuje maljavost njene površine [124, 258, 259]. U okviru ispitivanih pamučnih pređa iskazana je negativna linearna zavisnost između upredenosti i maljavosti pređe sa koeficijentom korelacije $r = -0,70$. Uočena povećana maljavost pamučne pređe na srednjem nivou upredanja (pamuk II) se verovatno može pripisati specifičnostima tehnike OE pređenja i strukture OE pređe. Uočene razlike u maljavosti pređa u funkciji sirovinskog sastava i upredenosti pređe potvrđene su statistički analizom varijanse jedne promenljive (tabele 24 i 25).

Tabela 24. Analiza varijanse jednog faktora (sirovinski sastav pređe)

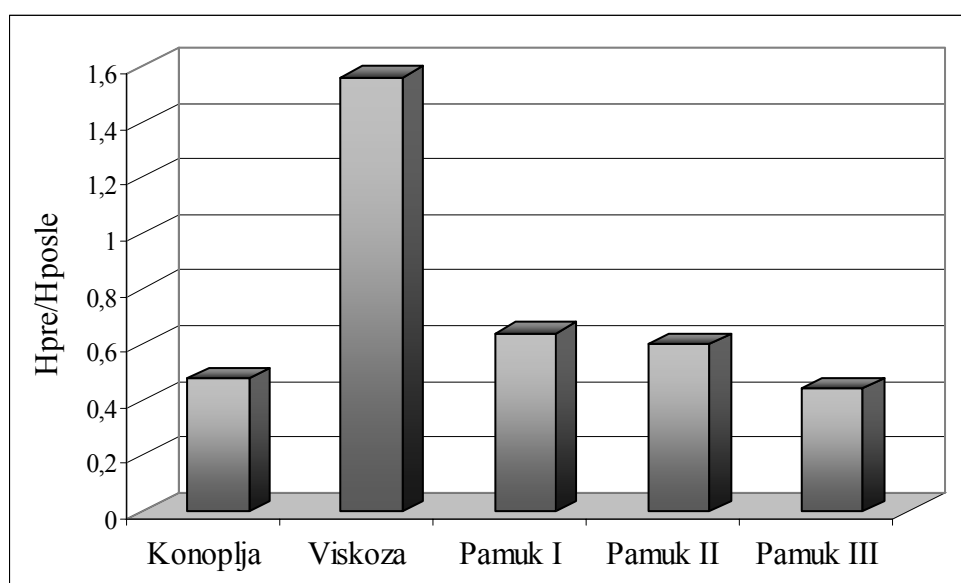
Anova: Single Factor						
Faktor: sirovinski sastav pređe						
SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Konoplja	30	102.64423	3.4214744	1.1544333		
Viskoza	30	1120.1923	37.339744	7.6807242		
Pamuk I	30	528.125	17.604167	5.3986245		
ANOVA						
<i>Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between	17410.907	2	8705.4537	1834.8153	7.334E-72	3.1012958
Within	412.77968	87	4.744594			
Total	17823.687	89				

Tabela 25. Analiza varijanse jednog faktora (upredenost pređe)

Anova: Single Factor				
Faktor: upredenost pređe				
SUMMARY				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
Pamuk I	30	528.125	17.604167	5.3986245
Pamuk II	20	385.36	19.268	2.7993432
Pamuk III	20	263.65	13.1825	2.1704303

ANOVA						
Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between	402.92872	2	201.46436	53.780381	1.17E-14	3.1337623
Within	250.98581	67	3.7460568			
Total	653.91453	69				

Poznato je da površina pređe lako podleže promenama usled trenja sa vodičima, i delovima mašina, kao i pri kontaktu sa drugim nitima u toku transformacije u složene tekstilne strukture. Evolucija maljavosti pređe u narednim fazama prerade može da ima uticaja na geometriju površine tekstilnog materijala a time i na svojstva komfora. Sprovedeno ispitivanje samoabrazije pređe u petlji omogućilo je definisanje sklonosti ispitivanih pređa ka „ranjavanju“ njihove površine. U tu svrhu upotrebljeni su parametri - odnos maljavosti pređe pre i posle samoabrazije u petlji (H_{pre}/H_{posle}) i gubitak mase pređe (A) (%). Slika 47 ilustruje očekivanu promenu maljavosti pređa izloženih samoabraziji.



Slika 47. Odnos maljavosti jednožičnih pređa pre i posle samoabrazije u petlji

Međutim, parametar ($H_{pre/posle}$) ukazuje da se pređe različitog sirovinskog sastava međusobno razlikuju ne samo po stepenu već i po smeru modifikovanja maljavosti. Najpodložnija promenama maljavosti je pređa od konoplje, dok se površina viskozne i pamučne pređe modifikuje u istoj meri ali u suprotnom smeru. Naime, prilikom samoabrazije kod pamučne pređe je, kao i kod pređe od konoplje, došlo do povećanja broja štrčećih vlakana. Čini se da je trenjem pređe o pređu došlo do izvlačenja krajeva vlakana konoplje na površinu pređe. Dodatnu mogućnost kod pamučne pređe predstavlja oslobađanje maskiranih krajeva vlakana usled trenja. Slobodni i duži krajevi vlakana formiraju dodatnu maljavost površine pamučne pređe. Različito ponašanje viskozne i pamučne pređe pri samoabraziji upravo se može pripisati razlikama u karakteru površine pređa formiranih različitim tehnikama pređenja. Tako se može reći da kod konvencionalno predene viskozne pređe dominira efekat „šišanja“ površine pređe usled samoabrazije.

Tabela 26. t-Test uparenih uzoraka za jednožične pređe: maljavost pre (variable 1) i posle (variable 2) samoabrazije

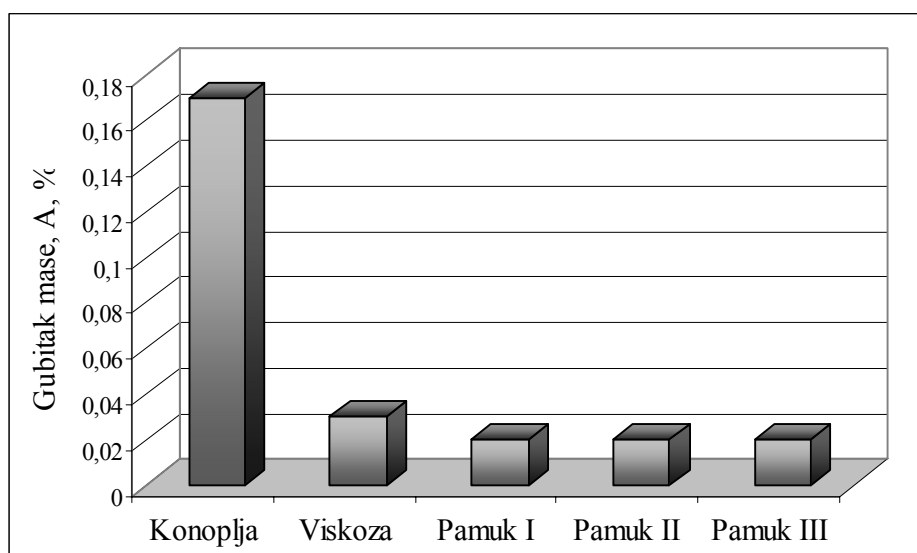
Konoplja Variable 1 Variable 2			Viskoza Variable 1 Variable 2		
Mean	3.41327	7.09832	Mean	37.2502	23.8209
Variance	1.1489	2.33046	Variance	7.64393	21.1642
Observations	30	30	Observations	30	30
Pearson Corre	0.09671		Pearson Corre	0.03581	
Hypothesized	0		Hypothesized	0	
df	29		df	29	
t Stat	-11.3492		t Stat	13.9262	
P(T<=t) one-t	1.7E-12		P(T<=t) one-t	1.1E-14	
t Critical one-t	1.69913		t Critical one-t	1.69913	
P(T<=t) two-t	3.5E-12		P(T<=t) two-t	2.2E-14	
t Critical two-t	2.04523		t Critical two-t	2.04523	

Pamuk I Variable 1 Variable 2			Pamuk II Variable 1 Variable 2			Pamuk III Variable 1 Variable 2		
Mean	17.562	27.474	Mean	19.268	32.187	Mean	13.1825	29.842
Variance	5.37276	5.05548	Variance	2.79934	2.51107	Variance	2.17043	2.76364
Observations	30	30	Observations	20	20	Observations	20	20
Pearson Corre	-0.06657		Pearson Corre	0.65565		Pearson Corre	-0.49187	
Hypothesized	0		Hypothesized	0		Hypothesized	0	
df	29		df	19		df	19	
t Stat	-16.2791		t Stat	-42.6646		t Stat	-27.4934	
P(T<=t) one-t	2E-16		P(T<=t) one-t	1.2E-20		P(T<=t) one-t	4.6E-17	
t Critical one-t	1.69913		t Critical one-t	1.72913		t Critical one-t	1.72913	
P(T<=t) two-t	4E-16		P(T<=t) two-t	2.5E-20		P(T<=t) two-t	9.2E-17	
t Critical two-t	2.0452296		t Critical two-t	2.09302		t Critical two-t	2.09302	

Odnos maljavosti različito upredenih pamučnih pređa pre i posle samoabrazije ističe najupredeniju pamučnu pređu (III) kao „najranjiviju“ i najmanje upredenu pređu (I) kao najmanje podložnu promeni maljavosti. U prvom momentu može se učiniti

začuđujućim da po pravilu, najkompaktnija (usled najveće upredenosti) pređa „dozvoli“ oslobađanje krajeva vlakana. Međutim, pored efekta otvaranja vlaknastih „petlji“, za koji se očekuje da je kod ove varijante pamučne pređe najslabiji, veruje se da do povećanja maljavosti dolazi usled kidanja vlakana na površini čiji su krajevi čvrsto zatvoreni unutar strukture pređe. Statistička analiza dobijenih rezultata maljavosti i stepena modifikacije površine pređa pomoću t-testa uparenih uzoraka pokazala je da evolucija maljavosti pređa izloženih samoabraziji nije slučajna (tabela 26).

Drugi kriterijum koji je poslužio za ocenu modifikovanja površinskih svojstava ispitivanih pređa – gubitak mase pređe (A) (%), ističe u prvi plan pređu od konoplje kao izuzetno „ranjivu“ u odnosu na ostale ispitivane pređe (slika 48).



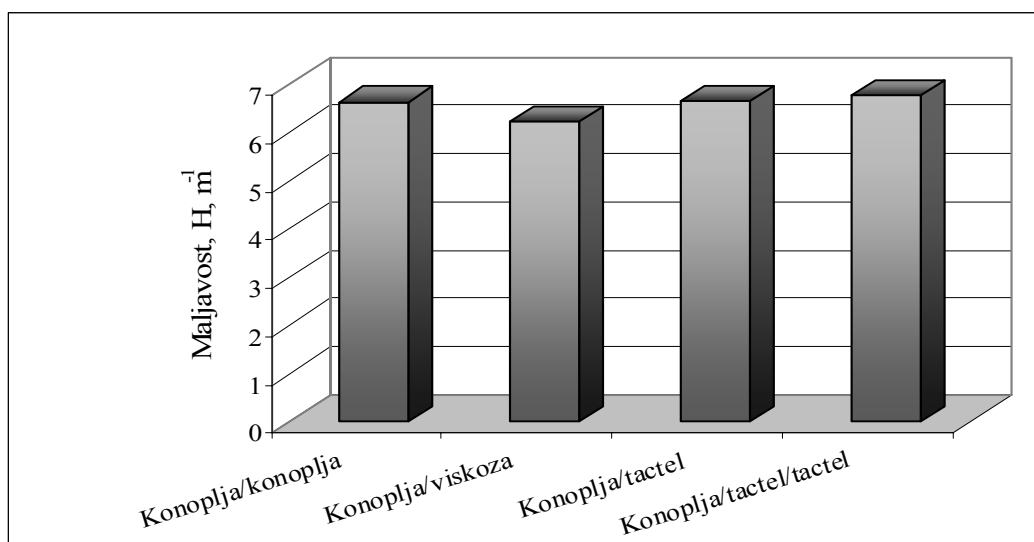
Slika 48. Gubitak mase pri samoabraziji jednožičnih pređa

To se, pre svega, treba pripisati uticaju karakteristika vlakana konoplje koja su poznata kao tvrda i sklona habanju. Nasuprot tome, pamučna vlakna su meka i otporna na habanje, po čemu prevazilaze ostala prirodna vlakna [248]. Značaj efekta koji svojstva vlakana imaju na gubitak mase pređe pri abraziji potvrđen je analizom varijanse (tabela 27). Činjenica da minimalne razlike koje su različito upredene pamučne pređe ispoljile u pogledu gubitka mase pri samoabraziji, nisu statistički značajne upućuje na zaključak da upredanje pređe, makar u primenjenom intervalu upredanja, ne uslovljava gubitke u masi pređa podvrgnutih samoabraziji.

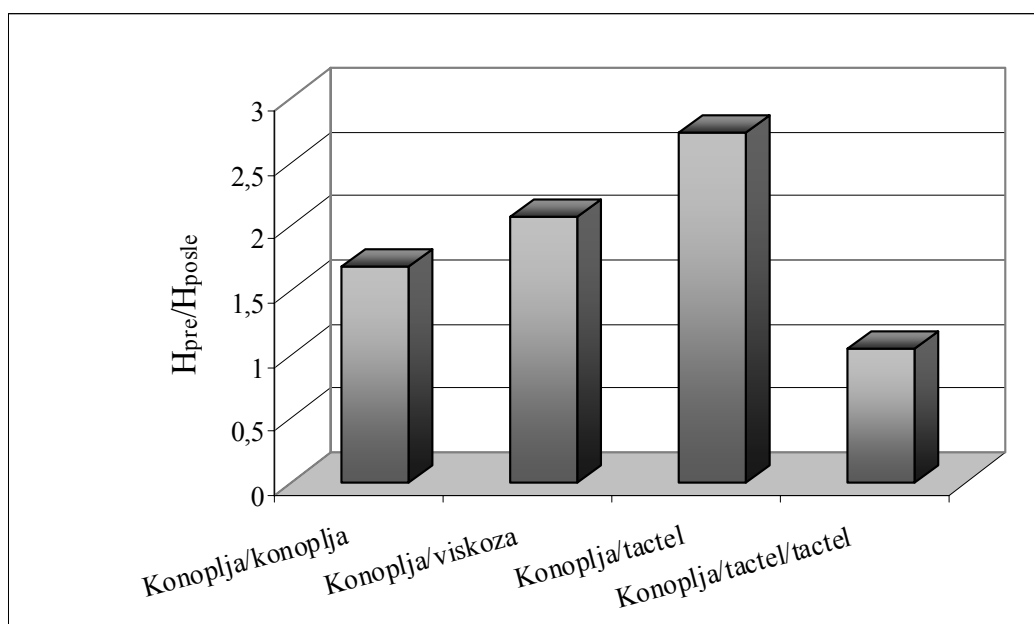
Tabela 27. Analiza varijanse jednog faktora (sirovinski sastav pređe)

Anova: Single Factor						
Faktor: sirovinski sastav pređe						
SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Konoplja	10	79.47	7.947	1.0144678		
Viskoza	10	1.66	0.166	0.0007822		
Pamuk I	10	10.45	1.045	0.00745		
ANOVA						
<i>Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between	363.18069	2	181.59034	532.67921	2.021E-22	3.3541308
Within	9.2043	27	0.3409			
Total	372.38499	29				

Ranije pomenuti visok stepen modifikovanja površine pređe od konoplje, kao i značajan gubitak mase pri abraziji pređe predstavljaju činjenice koje treba imati u vidu prilikom projektovanja strukture pređe. Jedan od mogućih načina anuliranja ovih nepoželjnih svojstava pređe od konoplje predstavlja operacija končanja. Istraživanja su pokazala da se končanjem smanjuje maljavost pređa i modifikuje evolucija maljavosti pređa pri samoabraziji [251, 260], što se objašnjava zatvaranjem strukture pređe, odnosno maskiranjem malja čija je dužina najmanje jednaka talasnoj dužini jednog uvoja složene pređe. Međutim, končanjem pređe od konoplje maljavost pređe se gotovo udvostručila ($6,64 \text{ m}^{-1}$). Povećanje maljavosti končane pređe od konoplje je verovatno posledica trenja pređe o delove mašina (vodiči, separatori, delovi vretena itd.) prilikom končanja, pri čemu se vlakna konoplje, podložna abraziji, oslobađaju na površini pređe. Iz istog razloga su i hibridne končane pređe ispoljile maljavost veću u odnosu na jednožičnu pređu od konoplje, na nivou maljavosti homogene končane pređe od konoplje (slika 49). Zapažene izvesne male varijacije u maljavosti ovih pređa, koje su se statističkom analizom pokazale kao slučajne, navode na zaključak da se formiranjem različitih hibridnih struktura nije značajno uticalo na posmatrani parametar površine pređe. Razloge treba tražiti u činjenici da su za izradu hibridnih pređa, pored pređe od konoplje, upotrebljene glatke filamentne niti za koje je karakteristično odsustvo maljavosti. Iako se pokazalo da se formiranjem hibridnih struktura nije značajno uticalo na maljavost površine, poređenjem maljavosti pre i posle samoabrazije u petlji ustanovljene su razlike u „ranjivosti“ končanih pređa na bazi konoplje (slika 50). Odnos maljavosti pre i posle samoabrazije (H_{pre}/H_{posle}) ovih pređa ističe konoplja/tactel pređu kao „najranjiviju“ i konoplja/tactel/tactel pređu kao najotporniju na habanje.



Slika 49. Maljavost končanih pređa na bazi konoplje



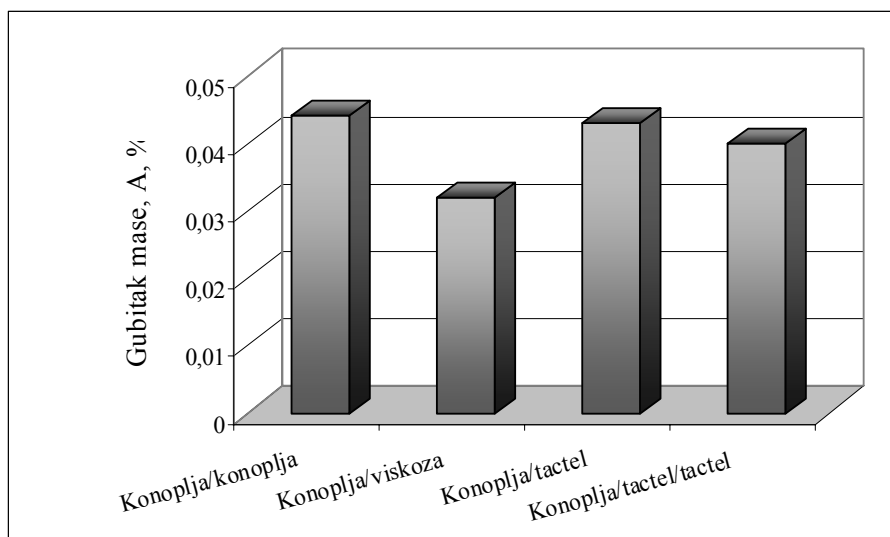
Slika 50. Odnos maljavosti končanih pređa na bazi konoplje pre i posle samoabrazije u petlji

Ovo se može objasniti činjenicom da je končanjem tanke niti tactela sa trostruko debljom pređom od konoplje omogućeno da veliki deo površine pređe od konoplje bude izložen habanju u zoni trenja. Nasuprot tome, čini se da su dve niti tactela pri končanju sa pređom od konoplje maskirale najveći deo njene površine sprečavajući tako habanje vlakana

konoplje. Generalno, na osnovu izračunatih odnosa maljavosti pređa pre i posle samoabrazije može se zaključiti da se končanjem promenio karakter evolucije površine pređa. Za razliku od jednožične pređe od konoplje, kod većine ispitivanih končanih pređa je promena izgleda površine usled samoabrazije išla u pravcu smanjenja maljavosti (slika 50). Ovakav efekat se može pripisati upravo uticaju operacije končanja kojom se deo površinskih vlakana zatvara u strukturu novoformirane pređe. Vlakna koja su ostala na površini pređe svojim drugim krajem su čvršće uklještena u končanoj strukturi, zbog čega se vlakna lakše prekidaju nego što se oslobađaju i izvlače. Hibridna pređa nastala končanjem pređe od konoplje sa dve niti tactela pokazala se neosetljivom na uticaj sila trenja pri samoabraziji (slika 50). Iz toga proističe da su dve niti tactela zauzele uglavnom površinske slojeve hibridne strukture sprečavajući habanje pređe od konoplje, što se može smatrati potvrdom diskusije o strukturi konoplja/tactel/tactel pređe u okviru mehaničkih svojstava (slika 37 f). Prethodni navodi proistekli iz eksperimentalnih rezultata potvrđeni su statističkom analizom (t-test uparenih uzoraka) prikazanom u tabeli 28.

Tabela 28. t-Test uparenih uzoraka za končane pređe: maljavost pre (variable 1) i posle (variable 2) samoabrazije

<i>Konoplja/konoplja Variable 1 Variable 2</i>			<i>Konoplja/viskoza Variable 1 Variable 2</i>		
Mean	6.66667	3.86091	Mean	6.23501	3.02615
Variance	7.88242	0.47859	Variance	7.33801	0.87111
Observations	10	10	Observations	21	21
Pearson Correlati	-0.09804		Pearson Correlati	-0.26271	
Hypothesized Mea	0		Hypothesized Mea	0	
df	9		df	20	
t Stat	3.00088		t Stat	4.76148	
P(T<=t) one-tail	0.00747		P(T<=t) one-tail	6E-05	
t Critical one-tail	1.83311		t Critical one-tail	1.72472	
P(T<=t) two-tail	0.01494		P(T<=t) two-tail	0.00012	
t Critical two-tail	2.26216		t Critical two-tail	2.08596	
<i>Konoplja/tactel Variable 1 Variable 2</i>			<i>Konoplja/tac/tac Variable 1 Variable 2</i>		
Mean	6.80456	2.48801	Mean	6.62327	6.42914
Variance	11.5757	0.35411	Variance	4.32734	1.68854
Observations	24	24	Observations	21	21
Pearson Correlati	0.0971		Pearson Correlati	-0.29947	
Hypothesized Mea	0		Hypothesized Mea	0	
df	23		df	20	
t Stat	6.22592		t Stat	0.32196	
P(T<=t) one-tail	1.2E-06		P(T<=t) one-tail	0.37541	
t Critical one-tail	1.71387		t Critical one-tail	1.72472	
P(T<=t) two-tail	2.4E-06		P(T<=t) two-tail	0.75082	
t Critical two-tail	2.06866		t Critical two-tail	2.08596	



Slika 51. Gubitak mase pri samoabraziji končanih pređa na bazi konoplje

Izračunati procentualni gubitak mase končanih pređa pri samoabraziji (slika 51) potvrdio je pozitivan efekat končanja na „ranjivost“ površine pređe. Naime, končanjem pređe od konoplje gubitak mase pređe je četverostruko smanjen, što je opet posledica „zatvaranja“ dela površinskih vlakana koja u novonastaloj složenoj strukturi formiraju jezgro pređe. Pored toga, končanjem se povećavaju sile trenja između vlakana čime se otežava njihovo izvlačenje i kidanje u kontaktu sa drugim odsečkom pređe. Isti efekat ublažavanja „ranjivosti“ površine pređe od konoplje uočen je i kod hibridnih pređa pri čemu je statističkom analizom utvrđeno da različite hibridne strukture nisu uslovile razlike u gubicima mase pređa. Iako su se upotrebljene filamentne pređe međusobno razlikovale (slabo upredeni viskozni i teksturirani poliamidni filament) i uprkos razlikama u broju komponentnih niti (dvo- i trožične pređe), one su na isti način ublažile „trošenje“ pređe smanjujući izloženost trenju vlakana konoplje u zoni kontakta sa drugim odsečkom pređe.

7.4 Sposobnost pletenina da prenose toplotu i propuštaju vazduh i vodenu paru

7.4.1 Propustljivost vazduha

Proces razmene vazduha između mikroklimе formirane odećom i čovekovog okruženja predstavlja bitan faktor njegovog doživljaja komfora. Pri tome, propustljivost vazduha od strane tekstilnog materijala je jedan od osnovnih parametara odgovornih za

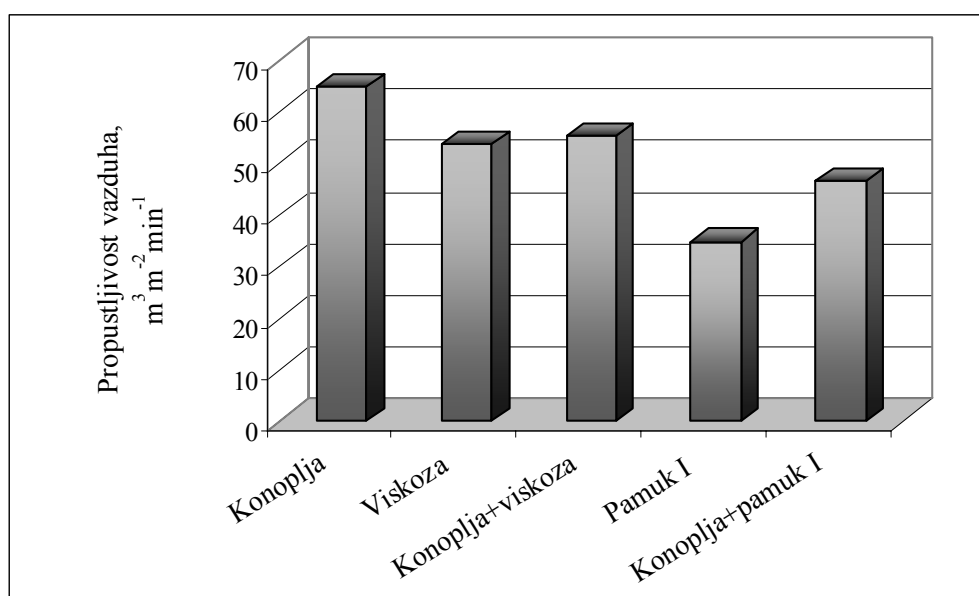
proces razmene vazduha. Smatra se da struktura tekstilnog materijala u najvećoj meri određuje njegovu sposobnost da propušta vazduh, pri čemu su ključni parametri debljina i poroznost materijala [156, 171-174]. Zahvaljujući činjenici da su upotrebljene pređe iste nominalne finoće, proizvedene DL pletenine su se odlikovale približnim vrednostima debljine i površinske mase. Izvesne male varijacije pripisuju se faktičkim karakteristikama pređa i različitom upredenošću pređa u okviru jedne grupe DL pletenina. Uprkos kontrolisanim uslovima izrade i gotovo identičnim strukturnim karakteristikama pletenina, one su se međusobno razlikovale u pogledu fizičkih svojstava kao što su gustina i poroznost materijala (tabela 29). Ovo potvrđuje činjenicu da su pored geometrije tekstilnih materijala njihova svojstva značajno uslovljena i strukturom pređa. Pored geometrije vlakana primenjena tehnika pređenja je takođe odgovorna za strukturu pređe preko efektivnosti pakovanja vlakana u pređu. Tako, u okviru grupe DL pletenina koje su se međusobno razlikovale po sirovinskom sastavu (1, 3-6), najveću poroznost (najmanju gustinu) ima pamučna pletenina pre svega zbog rastresite OE pamučne pređe koja u sebi sadrži veću količinu vazduha inkorporiranog između vlakana u poređenju sa konvencionalno predenom viskoznom i pređom od konoplje. Razlika u gustini viskozne pletenine i pletenine od konoplje može se pripisati uticaju tipa vlakana kao i parametara procesa konvencionalnog pređenja.

Tabela 29. Fizička svojstva DL pletenina

Sirovinski sastav		Debljina (mm)	Površinska gustina (cm ⁻²)	Površinska masa (g·m ⁻²)	Gustina (g·cm ⁻³)	Poroznost (%)
1	Konoplja + konoplja	0,916	75,4	360,4	0,398	74,0
2	Konoplja/konoplja	0,948	66,0	334,4	0,353	76,5
3	Viskoza + viskoza	1,048	78,0	367,1	0,353	76,5
4	Konoplja + viskoza	0,957	77,0	376,3	0,387	74,2
5	Pamuk I + pamuk I	1,163	72,0	387,3	0,327	78,2
6	Konoplja + pamuk I	1,047	71,5	366,4	0,353	76,4
7	Pamuk II + pamuk II	1,191	81,2	430,0	0,361	75,9
8	Konoplja + pamuk II	1,068	72,0	380,5	0,356	76,2
9	Pamuk III+ pamukIII	1,211	78,0	423,6	0,350	76,6
10	Konoplja + pamuk III	1,069	75,0	402,6	0,377	74,9

Iako su poroznost tekstilnog materijala i propustljivost vazduha u tesnoj vezi, njihova korelacija nije uvek jednostavna s obzirom da se radi o statičkom (poroznost) i dinamičkom (propustljivost vazduha) svojstvu. To potvrđuju i rezultati propustljivosti vazduha pletenina različitog sirovinskog sastava koji su prikazani na slici 52. Pamučna

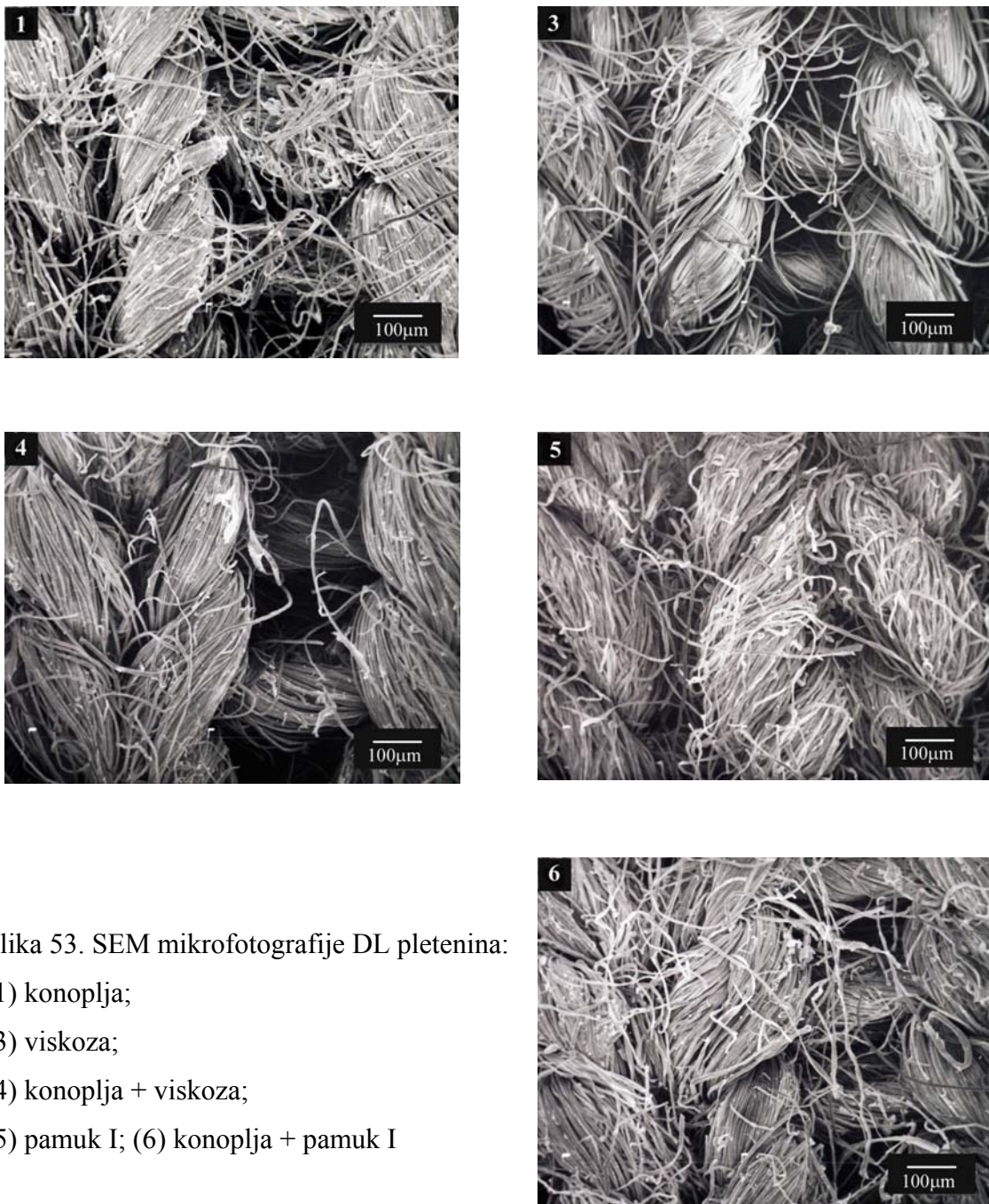
pletanina okarakterisana najvećom ukupnom poroznošću ispoljila je najmanju sposobnost propuštanja vazduha. Iako najmanje porozna, pletanina od konoplje je ispoljila najveću propustljivost vazduha. Polazeći od činjenice da ukupnu poroznost tekstilnog materijala čine međuprostori između vlakana u pređi i između pređa u tekstilnom materijalu, i imajući u vidu da su ranija istraživanja pokazala da se strujanje vazduha u najvećoj meri dešava između pređa [172, 180], nameće se potreba analize makroporoznosti pletanina koja je najodgovornija za slobodni tok vazduha kroz materijal.



Slika 52. Propustljivost vazduha DL pletanina različitog sirovinskog sastava

Dobijeni rezultati propustljivosti vazduha DL pletanina (slika 52) identičnih strukturnih karakteristika upućuju na činjenicu da je struktura pređe uticala na uočene razlike. SEM mikrofotografije ispitivanih pletanina su potvrdile uticaj geometrije jezgra i površine pređe na distribuciju pora u pleteninama (slika 53). Jasno je da su konvencionalno predene pređe od konoplje i viskoze, kompaktnije u odnosu na OE pamučnu pređu, omogućile veću „otvorenost“ pletanina od konoplje i viskoze (slika 53-1 i 3). Veća gustina pakovanja vlakana u ovim pređama smanjila je količinu vazduha unutar samih pređa, ali je omogućila veći međuprostor između niti u pleteninama čime su one postale propustljivije za vazduh. Smanjena propustljivost vazduha viskozne pletenine u odnosu na pletaninu od konoplje može se pripisati velikoj maljavosti viskozne pređe što je doprinelo zatvaranju pora u pletenini. Veća količina vazduha uključena u pamučnu pređu, iako je doprinela većoj ukupnoj poroznosti pamučne pletenine, nije mogla da doprinese strujanju vazduha kroz materijal. Upravo, rastresita struktura ove pređe doprinela je zatvaranju pora između pređa

u pletenini čime se smanjila njena makroporoznost ili otvorena slobodna površina (slika 53-5). Na mikrofotografijama pletenina kod kojih je pređa od konoplje dublirana sa viskoznom i pamučnom pređom (slika 53-4 i 6), uočava se povećanje otvorene slobodne površine u odnosu na homogenu viskoznu i pamučnu pleteninu, što se može pripisati uticaju kompaktne i glatke komponente od konoplje. Zato je propustljivost vazduha ovih pletenina (konoplja+viskoza, konoplja+pamuk I) veća u poređenju sa odgovarajućim homogenim varijantama (slika 52).



Slika 53. SEM mikrofotografije DL pletenina:

- (1) konoplja;
- (3) viskoza;
- (4) konoplja + viskoza;
- (5) pamuk I; (6) konoplja + pamuk I

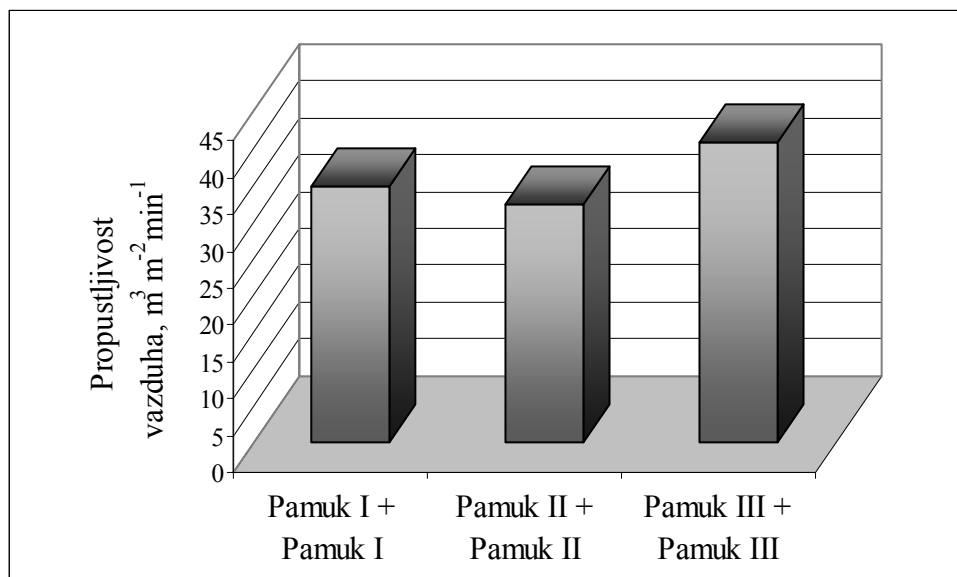
Sprovedena analiza uticaja geometrije jezgra i površine pređa, kao posledica uticaja vrste vlakana i tehnike pređenja, na propustljivost vazduha ispitivanih DL pletenina potvrđena je ANOVA statistikom (tabela 30).

Tabela 30. Analiza varijanse jednog faktora (tip pređe)

Anova: Single Factor				
Faktor: tip pređe				
SUMMARY				
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Konoplja	5	38800	7760	53000
Viskoza	5	32200	6440	623000
Konoplja/viskoza	5	33200	6640	333000
Pamuk I	5	20900	4180	12000
Konoplja/pamuk I	5	27900	5580	702000

ANOVA						
<i>Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between	35588000	4	8897000	25.81834	1.185E-07	2.8660814
Within	6892000	20	344600			
Total	42480000	24				

Polazeći od činjenice da je upredanje bitan parametar koji značajno determiniše geometriju jezgra i površine pređe, očekuje se da upredanje pređe može da utiče na otvorenu slobodnu površinu pletenine, odnosno na njenu propustljivost. Dobijeni rezultati propustljivosti vazduha pletenina izrađenih od pamučnih pređa različite upredenosti, prikazani na slici 54, upućuju na razlike u ponašanju ovih pletenina u pogledu posmatranog svojstva. Generalno bi se moglo očekivati da porast upredanja, čime se povećava gustina pakovanja vlakana u pređi [261, 262], vodi ka povećanju makroporoznosti pletenine (otvorene pore između niti u pletenini). U okviru ispitivanih pletenina, ona proizvedena od najupredenije pređe (pamuk III) ispoljila je najveću propustljivost vazduha. Međutim, najmanjom propustljivošću vazduha okarakterisana je pletenina izrađena od pamučne pređe sa srednjim nivoom upredenosti (slika 54). Evidentno je da je kompaktna struktura najupredenije pamučne pređe prouzrokovala povećan sadržaj makropora u pletenini uz adekvatno povećanje propustljivosti vazduha. Smanjena propustljivost vazduha pletenine izrađene od pamučne pređe srednje upredenosti u odnosu na pleteninu izrađenu od najmanje upredene pamučne pređe upućuje na činjenicu da su u ovom slučaju suprotstavljena dva faktora: struktura pređe i geometrija pletenine (broj makropora na jedinici površine i njihova veličina). Podaci iz tabele 29 ukazuju na izvesna odstupanja površinske gustine i poroznosti pamučnih pletenina (uzorci 5, 7 i 9), pre svega usled različite upredenosti pređa.



Slika 54. Propustljivost vazduha pletenina proizvedenih od različito upredenih pamučnih pređa

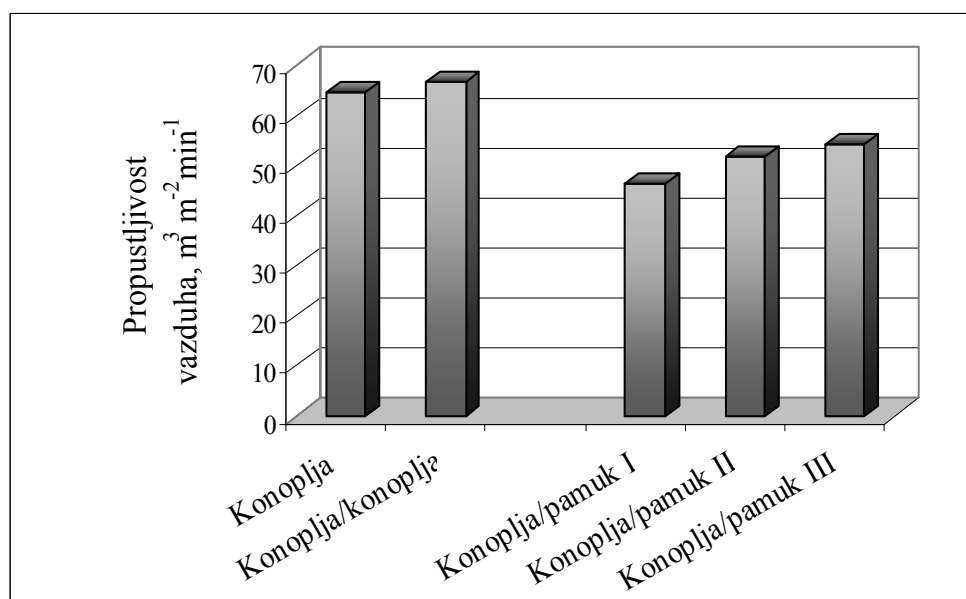
Očekuje se da povećan sadržaj torzionog napona sa povećanjem upređanja pamučnih pređa (slika 39) izazove distorziju petlji praćenu povećanjem njihove gustine po jedinici površine pletenine uz istovremeno povećanje debljine i površinske mase pletenine [263]. U okviru razmatranih pletenina (5, 7 i 9) uočeno je povećanje gustine petlji pletenine izrađene od pređe srednje upredenosti. Manja površinska gustina pletenine izrađene od najupredenije pamučne pređe verovatno je posledica njene smanjene savitljivosti i shodno tome, granice ispletivosti. Smanjena propustljivost vazduha pletenine izrađene od pamučne pređe srednje upredenosti (pamuk II + pamuk II) se stoga može objasniti povećanim brojem petlji po jedinici površine pletenine. Prema ranijim istraživanjima [176], sa povećanjem broja pora po jedinici površine smanjuje se njihova veličina čime se povećava otpor strujanju vazduha. Dodatno zatvaranje pora kod ove pletenine (7) prouzrokovano je i povećanom maljavošću pamučne II pređe (slika 45). Efekat upređanja pređa na propustljivost vazduha ispitivanih pletenina potvrđen je analizom varijanse eksperimentalnih podataka (tabela 31). Dubliranjem pređe od konoplje sa različito upredenim pamučnim pređama dobijene su tri varijante DL pletenina, od kojih je kod pletenine proizvedene od dublirane najupredenije pamučne pređe sa pređom od konoplje (pletanina 10) došlo do značajnijeg povećanja površinske gustine petlji uz smanjenje ukupne poroznosti pletenine (tabela 29, pletenine 6, 8 i 10). Iako je smanjenje ukupne poroznosti ove pletenine posledica smanjenja otvorene slobodne površine pletenine (usled povećane gustine petlji), nije došlo do snižavanja

sposobnosti propuštanja vazduha u odnosu na ostale dve varijante pletenina. Šta više, pletenina proizvedena od dublirane konoplja + pamuk III pređe je okarakterisana najvećom propustljivošću vazduha, kako je prikazano na slici 55.

Tabela 31. Analiza varijanse jednog faktora (upredenost pređe)

Anova: Single Factor						
Faktor: upredenost pređe						
SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Pamuk I	5	20900	4180	12000		
Pamuk II	5	19500	3900	65000		
Pamuk III	5	24500	4900	85000		
ANOVA						
<i>Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between	2661333.3	2	1330666.7	24.641975	5.636E-05	3.8852938
Within	648000	12	54000			
Total	3309333.3	14				

Najmanju propustljivost vazduha ispoljila je pletenina proizvedena od dublirane najmanje upredene pamučne i pređe od konoplje. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je u ovom slučaju upredanje pređe determinišući faktor propustljivosti vazduha pletenina, što je statističkom analizom i potvrđeno (tabela 32).



Slika 55. Propustljivost vazduha DL pletenina na bazi konoplje

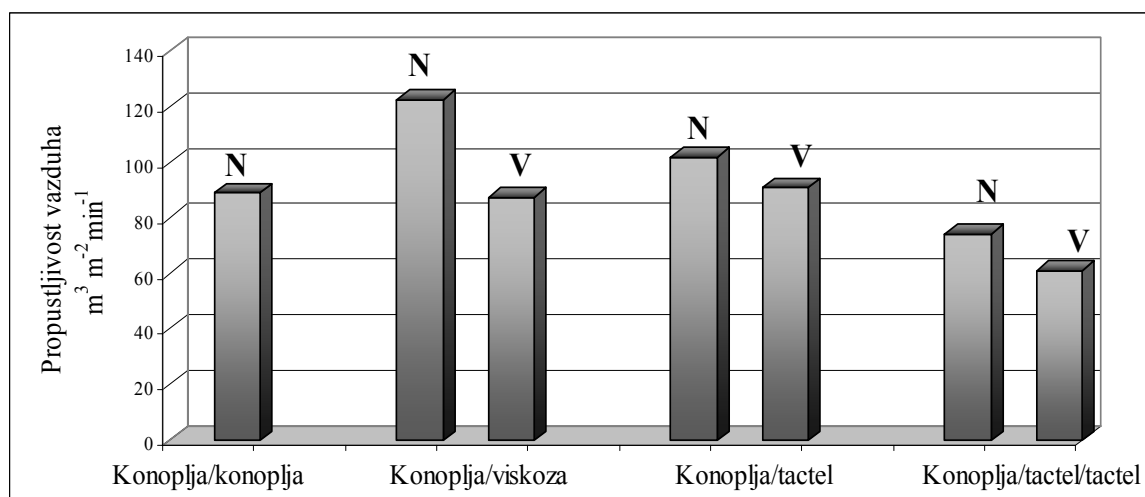
Tabela 32. Analiza varijanse jednog faktora (upredenost pređe)

Anova: Single Factor						
Faktor: upredenost pređe						
SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Konoplja/pamuk I	5	27900	5580	702000		
Konoplja/pamuk II	5	31100	6220	177000		
Konoplja/pamuk III	5	32700	6540	23000		
ANOVA						
<i>Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between	2389333.3	2	1194666.7	3.9733925	0.0474078	3.8852938
Within	3608000	12	300666.67			
Total	5997333.3	14				

Končanje, kao operacija koja modifikuje unutrašnju strukturu ali i površinu pređe, takođe je uticalo na propustljivost pletenine. Naime, propustljivost vazduha pletenine proizvedene od končane pređe od konoplje veća je u poređenju sa pleteninom za koju je upotrebljena dublirana pređa od konoplje (slika 55). F-testom je potvrđena statistička značajnost dobijenih rezultata ($65535 > 6,39$; $p \leq 0,05$). Poznato je da prilikom končanja pređa u smeru suprotnom od primarnog upredanja dolazi do njihovog delimičnog raspredanja. I pored toga sekundarno upredanje obezbeđuje koheziju končanoj pređi. Sa druge strane, dublirane pređe predstavljaju dve fizički zasebne linearne strukture i tek njihovim inkorporiranjem u pleteninu ostvaruje se međusobna kohezija uslovljena gustom vezivnih tačaka. Kompaktnija končana pređa od konoplje omogućila je veću otvorenu slobodnu površinu pletenine i veću propustljivost vazduha. DD pletenine izrađene od končanih pređa na bazi konoplje ispoljile su izvesne razlike u strukturnim karakteristikama (debljina i površinska masa) usled prisutnih varijacija u finoći končanih pređa ali su i posledica različitih svojstava upotrebljenih vlakana. Razlike prouzrokovane navedenim faktorima odrazile su se i na fizička svojstva pletenina (tabela 33). Međutim, u okviru ispitivanih DD pletenina na bazi konoplje pruža se mogućnost ocene uticaja specifičnosti hibridnih struktura pređa, proisteklih iz svojstava individualnih komponenata, na ponašanje pletenina. Iako se radi o tzv. rebrastim pleteninama, čija je struktura okarakterisana velikom površinskom gustom (gustom petlji), njihova poroznost je relativno velika (tabela 33). U okviru grupe pletenina manje površinske gustine konoplja/tactel pletenina se izdvaja najvećom poroznošću uprkos najmanjoj debljini i površinskoj masi. Ostale tri varijante pletenina okarakterisane su približnim vrednostima poroznosti, ali su ispoljile različitu propustljivost vazduha, kako je prikazano na slici 56.

Tabela 33. Fizička svojstva DD pletenina na bazi konoplje

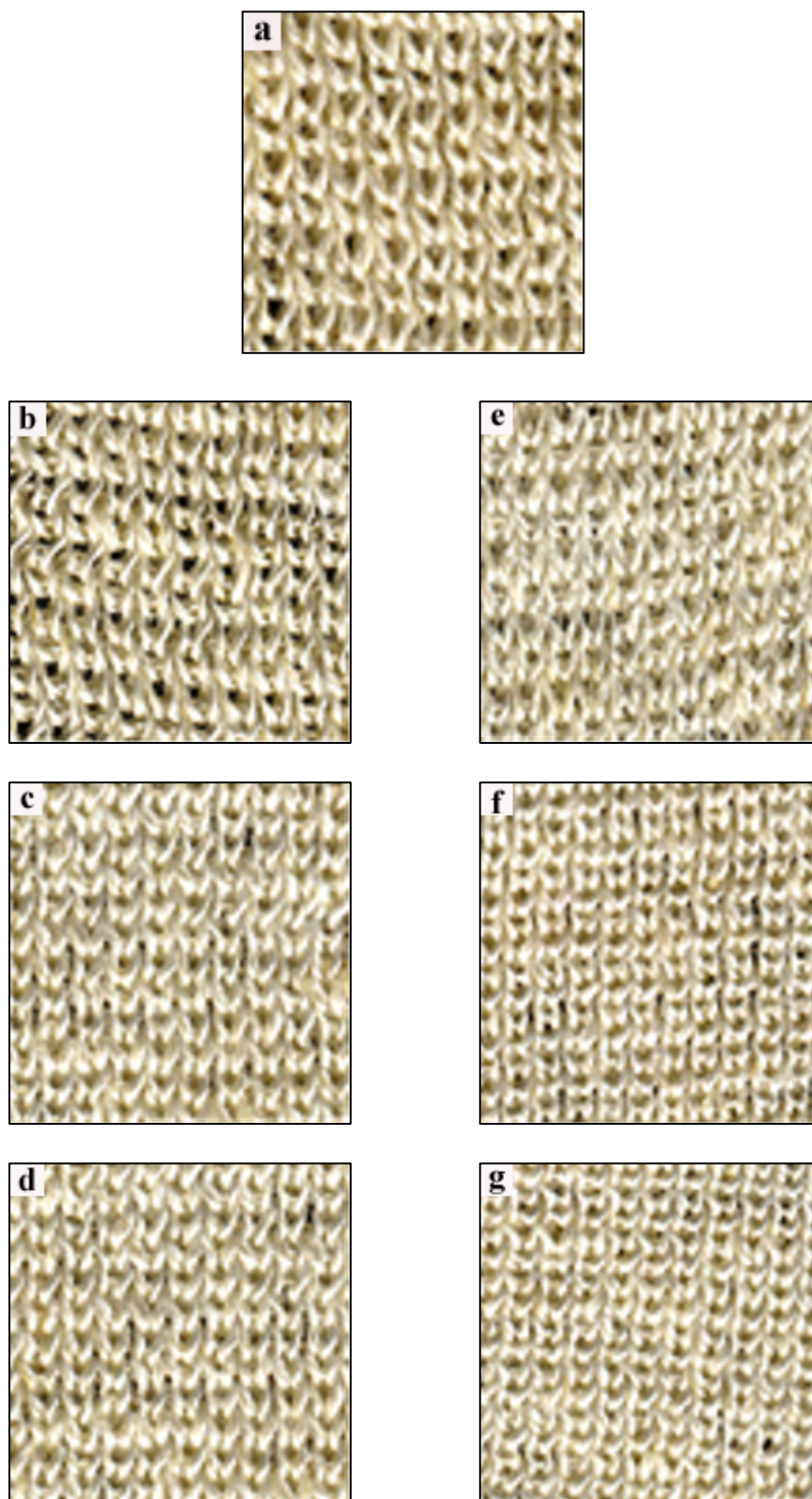
Sastav pređe		Debljina (mm)	Površinska gustina (cm ⁻²)	Površinska masa (g·m ⁻²)	Gustina (g·cm ⁻³)	Poroznost (%)
Konoplja/konoplja	N	1,649	132	429,1	0,260	82,6
Konoplja/viskoza	N	1,430	132	371,6	0,260	82,2
	V	1,523	192	430,8	0,283	81,1
Konoplja/tactel	N	1,218	132	273,6	0,225	84,1
	V	1,397	192	316,5	0,226	83,9
Konoplja/tactel/tactel	N	1,382	132	351,1	0,254	81,3
	V	1,486	216	468,1	0,315	76,8



Slika 56. Propustljivost vazduha DD pletenina na bazi konoplje

Najveću propustljivost vazduha ispoljila je konoplja/viskoza pletenina. Interesantno je da pletenina proizvedena od homogene končane pređe od konoplje, iako najdeblja i sa najvećom površinskom masom, nije najmanje propustljiva. Pored toga, konoplja/tactel pletenina sa najvećom ukupnom poroznošću nije okarakterisana najvećom propustljivošću vazduha. Ovo upućuje na zaključak da su se ispitivane DD pletenine međusobno razlikovale po makroporoznosti (prostor između pređa). Kvalitativna analiza makroporoznosti pletenina je to i potvrdila, što je ilustrovano na slici 57 a, b, c i d. Različita makroporoznost pletenina uprkos njihovoj istoj površinskoj gustini može se pripisati uticaju interne strukture končanih pređa. Uloga površinskih svojstava ovih pređa se može zanemariti s obzirom da su za izradu nehomogenih končanih pređa upotrebljeni

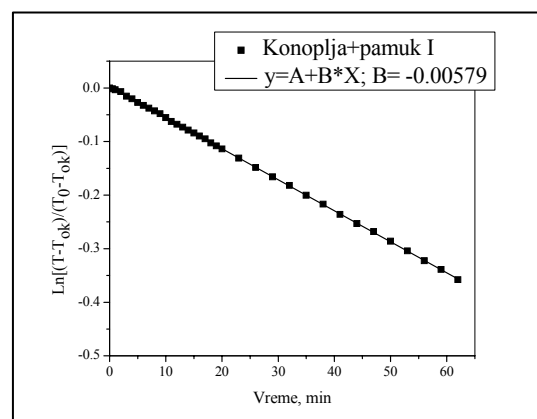
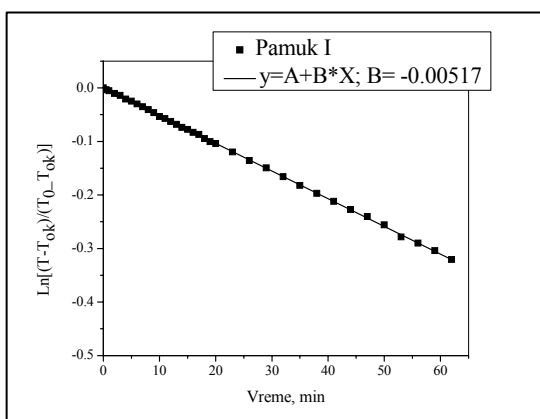
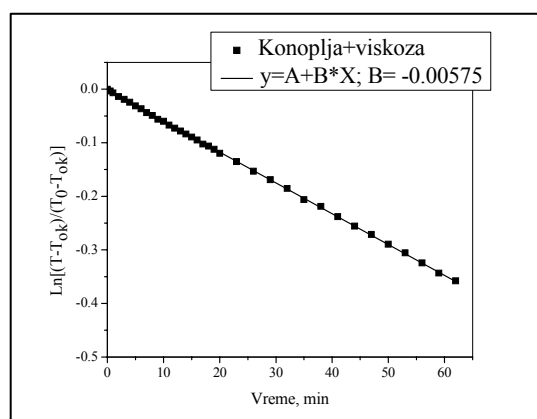
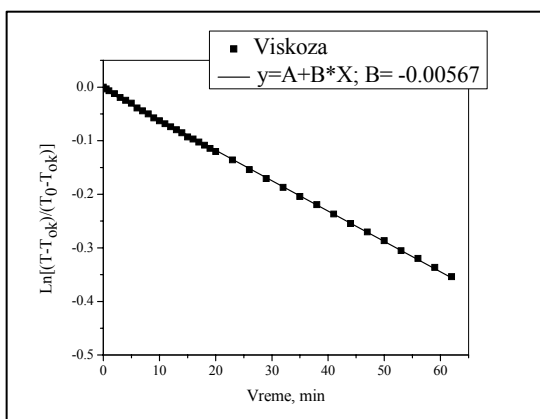
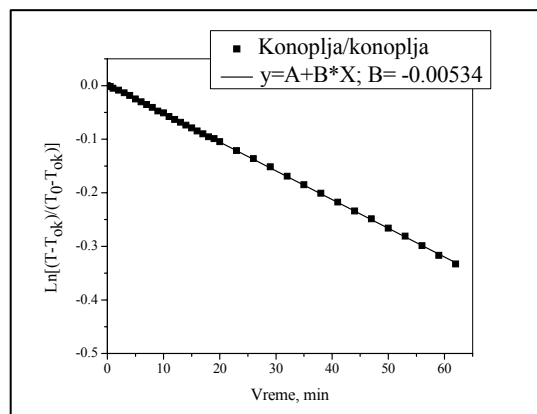
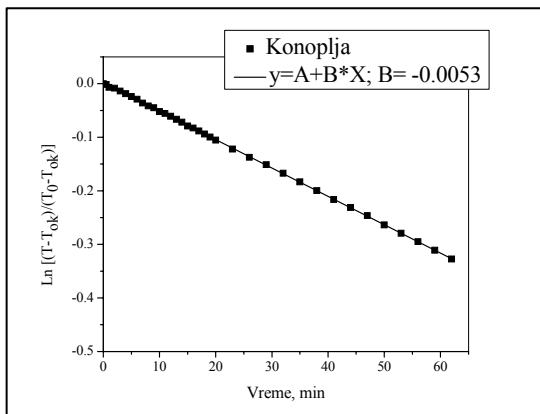
filamenti i pređa od konoplje okarakterisana minimalnom maljavošću (3 m^{-1}). Takođe je i končana homogena pređa od konoplje bila okarakterisana relativno glatkom površinom (6 m^{-1}). Slabo upredeni viskozni filament je omogućio formiranje kompaktne hibridne strukture pređe zbog koje se konoplja/viskoza pletenina odlikuje najvećom makroporoznošću (slika 57 b) i sposobnošću propuštanja vazduha. Najmanja propustljivost vazduha konoplja/tactel/tactel pletenine je posledica činjenice da su u hibridnu pređu uključene dve niti teksturiranog filameta zbog čega sadrži veću količinu vazduha. Iako je konoplja/tactel/tactel pređa realno okarakterisana većom finoćom od homogene končane pređe od konoplje (tabela 7), prostor koji ona zauzima u pletenini je veći čime se zatvaraju makro-pore u pletenini (slika 57 d) i otežava strujanje vazduha. Imajući u vidu da je hibridna pređa formirana končanjem pređe od konoplje sa jednom niti tactela najfinija, čini se da je najveća ukupna poroznost konoplja/tactel pletenine posledica interne strukture pređe ali i međuprostora unutar pletenine (slika 57 c), tako da je po propustljivosti ona između konoplja/viskoza i konoplja/konoplja pletenine. Sa porastom površinske gustine pletenina proizvedenih od nehomogenih končanih pređa uz očekivano smanjenje poroznosti uočavaju se izraženije međusobne razlike, pri čemu konoplja/tactel pletenina zadržava najveću poroznost (tabela 33). S obzirom da je sa povećanjem gustine petlji smanjena veličina makropora (slika 57 e, f i g), došlo je do smanjenja sposobnosti propuštanja vazduha kod V-varijanata pletenina i to u najvećoj meri kod konoplja/viskoza pletenine (slika 56). Najveći pad propustljivosti vazduha ove pletenine je verovatno posledica izrazitog smanjenja veličine makropora sa povećanjem broja petlji po jedinici površine, što je fotografijama i potvrđeno (slika 57 b i e).

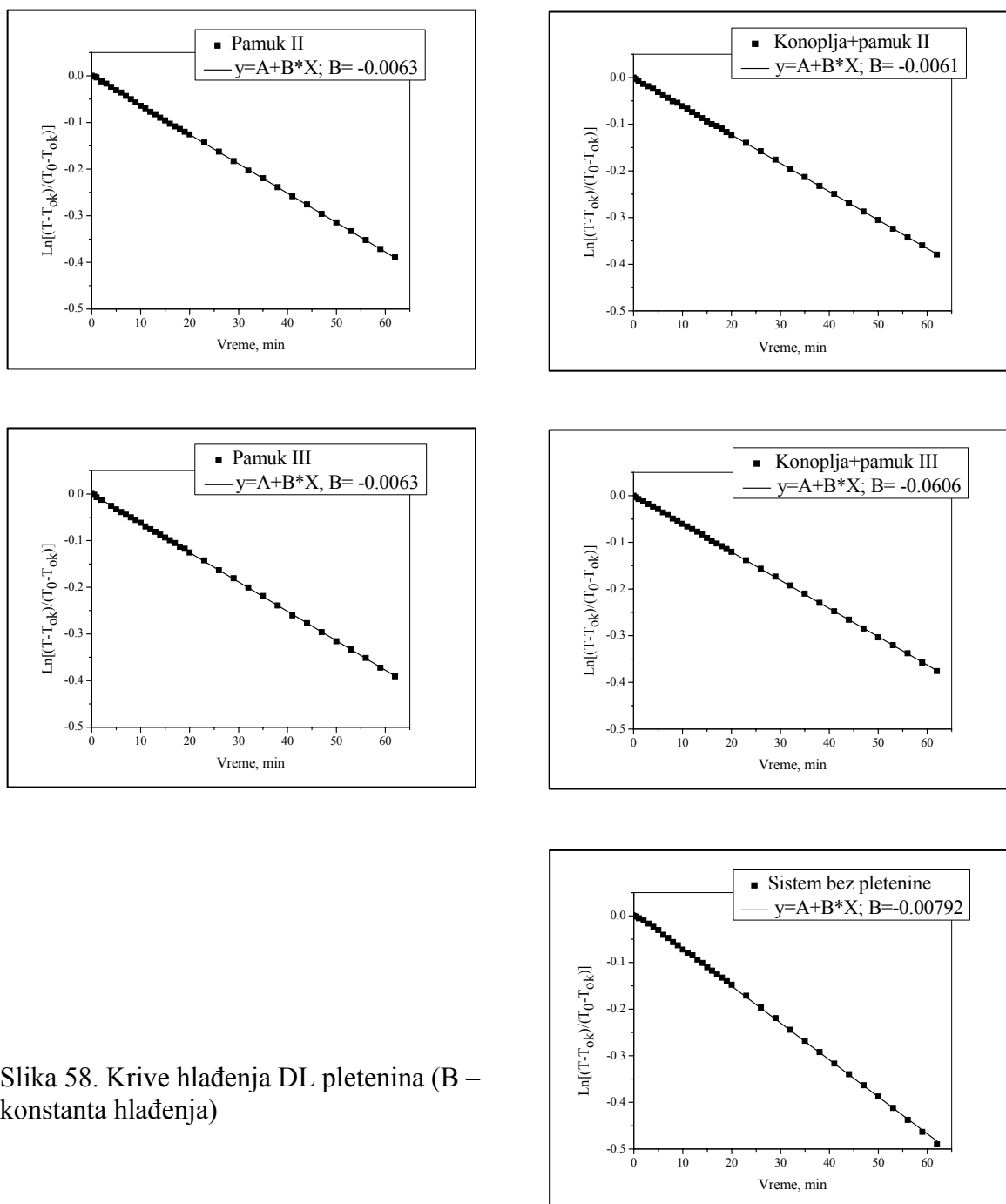


Slika 57. Fotografije DD pletenina manje gustine petlji: (a) konoplja, (b) konoplja/viskoza, (c) konoplja/tactel, (d) konoplja/tactel/tactel i veće gustine petlji: (e) konoplja/viskoza, (f) konoplja/tactel, (g) konoplja/tactel/tactel

7.4.2 Termička svojstva pletenina

Poznato je da je osnovna funkcija odeće da zaštiti čoveka od ekstremnih klimatskih uslova uz obezbeđivanje adekvatne razmene toplote tela i okruženja u cilju očuvanja termofiziološke ravnoteže čovekovog organizma. Očigledno je fenomen razmene toplote između čoveka i njegovog okruženja značajno uslovljen sposobnošću tekstilnog materijala da prenosi toplotu. Za razliku od sposobnosti propuštanja vazduha tekstilnog materijala, koja je u najvećoj meri uslovljena makroporoznošću strukture, sposobnost tekstilnog materijala da prenosi toplotu je pored svojih strukturnih i fizičkih svojstava uslovljena i svojstvima polimera i morfologijom vlakna, kao i strukturom i svojstvima pređe. Primenjeni eksperimentalni materijal je omogućio ocenu uticaja vrste vlakana i posebno gustine pakovanja vlakana u pređe na termičko ponašanje pletenina. Eksperimentalna procedura određivanja termičkih svojstava DL pletenina zasnivala se na merenju brzine hlađenja čvrstog tela zagrejanog do određene temperature koje je tekstilnim materijalom izolovano od okolnog vazduha. Na osnovu krive brzine hlađenja za svaku od ispitivanih pletenina linearnom ekstrapolacijom determinisane su konstante hlađenja koje ukazuju na razlike u ponašanju pletenina u pogledu prenosa toplote (slika 58). Radi poređenja na slici 58 je prikazana kriva brzine hlađenja i konstanta hlađenja za sistem bez pletenine. Veći nagib krive hlađenja, odnosno veća vrednost konstante hlađenja ukazuje na veću sposobnost materijala da propusti toplotu. Pri tome, za sve ispitivane pletenine ispoljena je izuzetno visoka linearna korelacija ($r = 0,999$) brzine i vremena hlađenja. Konstante hlađenja ispitivanih DL pletenina poslužile su za izračunavanje termičkog otpora i toplotne provodljivosti čije su vrednosti prikazane u tabeli 34. Iako se zna da prenos toplote kroz tekstilni materijal uključuje sva tri mehanizma prenosa toplote (kondukcija, konvekcija i radijacija), na osnovu strukturnih karakteristika DL pletenina (površinska masa, gustina) može se pretpostaviti da je osnovni mehanizam prenosa toplote kod ovih pletenina kondukcija [93]. Konvekcija toplote vazduhom se može očekivati u slučajevima većih otvorenih slobodnih površina između pređa u pletenini. Međutim, treba imati u vidu da se vazduh uključen u mikropore pletenine ponaša kao izolator budući da je toplotna provodljivost vazduha manja u odnosu na sve polimere za vlakna [94]. Prenos toplote radijacijom se u ovom eksperimentu može zanemariti s obzirom na primenjeni temperaturni režim.





Slika 58. Krive hlađenja DL pletenina (B – konstanta hlađenja)

Polazeći od činjenice da su ispitivane pletenine proizvedene u kontrolisanim uslovima, međusobne razlike u termičkom ponašanju se mogu pripisati uticaju gustine pakovanja vlakana u pređe kao i površinske geometrije upotrebljenih pređa. Naime, oba navedena faktora određuju distribuciju i veličinu pora u pleteninama regulišući tako proces prenosa toplote. U okviru DL pletenina različitog sirovinskog sastava, proizvedenih od pređa uporedivih nominalnih karakteristika (pletenine 1, 3-6 u tabeli 34), pletenina od konoplje je okarakterisana najnižom toplotnom provodljivošću, dok je najveću toplotnu

provodljivost ispoljila viskozna pletenina. Kompaktna struktura pređe od konoplje obezbedila je međusobni intimni kontakt vlakana konoplje čime je omogućena brza kondukcija toplote. Izražena makroporoznost pletenine od konoplje (slika 53-1), koja joj je omogućila veću propustljivost vazduha, ovde je mogla da doprinese prenosu toplote konvekcijom.

Tabela 34. Termička svojstva DL pletenina

Sirovinski sastav		Poroznost (%)	Termički otpor ($K W^{-1}$)	Toplotna provodljivost ($W m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Koef. prolaza toplote ($W m^{-2} K^{-1}$)
1	Konoplja + konoplja	74,0	$0,75 \pm 0,04$	$0,022 \pm 0,001$	24 ± 1
2	Konoplja/konoplja	76,5	$0,73 \pm 0,04$	$0,023 \pm 0,001$	24 ± 1
3	Viskoza + viskoza	76,5	$0,60 \pm 0,03$	$0,031 \pm 0,002$	29 ± 2
4	Konoplja + viskoza	74,2	$0,57 \pm 0,03$	$0,030 \pm 0,002$	31 ± 2
5	Pamuk I + pamuk I	78,2	$0,81 \pm 0,04$	$0,026 \pm 0,001$	22 ± 1
6	Konoplja + pamuk I	76,4	$0,56 \pm 0,03$	$0,034 \pm 0,002$	32 ± 2
7	Pamuk II + pamuk II	75,9	$0,39 \pm 0,03$	$0,054 \pm 0,004$	45 ± 3
8	Konoplja + pamuk II	76,2	$0,45 \pm 0,03$	$0,040 \pm 0,004$	37 ± 3
9	PamukIII + pamukIII	76,6	$0,39 \pm 0,03$	$0,053 \pm 0,004$	44 ± 3
10	Konoplja + pamuk III	74,9	$0,47 \pm 0,03$	$0,039 \pm 0,004$	36 ± 3

Iako se viskozna pletenina odlikovala većom poroznošću u odnosu na pleteninu od konoplje, maljava površina viskozne pređe doprinela je zatvaranju makropora u viskoznoj pletenini (slika 53-3), čime je potenciran prenos toplote kondukcijom. Pored toga, na osnovu postavki ranijih istraživanja [99], agregati vlakana paralelni toku toplote maksimalno doprinose ukupnoj kondukciji tekstilnog materijala. Međutim, činjenica je da se većina vlakana u tekstilnim materijalima može smatrati paralelnim površini materijala odnosno, upravim na tok toplote kroz materijal. Time je efekat kondukcije umanjen usled slojeva vazduha između vlakana. Jedino se kod tkanina i pletenina izrađenih od štapel pređa može govoriti o štrčecim vlaknima kao površinskom sloju paralelnih vlakana koji bi mogao značajnije da doprinese ukupnom prenosu toplote. S obzirom da je u okviru pređa upotrebljenih za izradu DL pletenina viskozna pređa okarakterisana izraženom maljavošću (slika 45), što je sigurno uzrokovalo formiranje površinskog sloja štrčecih vlakana na viskoznoj pletenini, može se smatrati da je to dodatno doprinelo najvećoj toplotnoj provodljivosti viskozne pletenine. Opisani efekat kod pletenine od konoplje nije mogao biti zastupljen s obzirom na slabo maljavu površinu pređe od konoplje. Veruje se da toplotna provodljivost pamučne pletenine predstavlja rezultat dva suprotstavljena efekta.

Velika pokrivna sposobnost OE pamučne pređe zatvaranjem makropora pletenine (slika 53-5) umanjila je konvekciju toplote, ali je i velikim sadržajem vazduha (najveća poroznost), uglavnom inkorporiranog u pređu, usporila prenos toplote kondukcijom. Sa druge strane, prisutna štrčeća i ovojna vlakna (karakteristična za OE pređe) su sigurno doprinela u određenoj meri ukupnoj toplotnoj provodljivosti pamučne pletenine. Zbog ovih suprotstavljenih fenomena toplotna konduktivnost pamučne pletenine je manja u poređenju sa viskoznom pleteninom (tabela 33). Termičko ponašanje pletenina proizvedenih od stručenih pređa različitog sirovinskog sastava predstavljaju rezultat uticaja vrste vlakana i geometrije pređa, pa su se termički otpor i toplotna provodljivost ovih pletenina razlikovale u odnosu na pletenine homogenog sirovinskog sastava (tabela 33). Tako, iako je poroznost konoplja+viskoza pletenine bila na nivou pletenine od konoplje, vrednost toplotne provodljivosti bliska je vrednosti za viskoznu pleteninu, što ukazuje na činjenicu da je došlo do preraspodele pora u pletenini čime je potencirana brža kondukcija toplote. Interesantno je da je konoplja+pamuk pletenina okarakterisana većom toplotnom provodljivošću u poređenju sa pamučnom pleteninom i pleteninom od konoplje. Čini se da je u ovom slučaju pamučna pređa doprinela zatvaranju strukture pletenine, što je delimično prouzrokovalo ubranu kondukciju (slika 53-6). Pređa od konoplje je svojim gusto pakovanim vlaknima smanjila ukupnu poroznost pletenine u odnosu na pamučnu pleteninu i dodatno potencirala prenos toplote kondukcijom.

Polazeći od činjenice da koeficijent prolaza toplote obuhvata prenos toplote putem sva tri mehanizma, izračunate vrednosti ovog parametra (tabela 33) poslužile su kao potvrda prethodne diskusije. S obzirom da je prenos toplote radijacijom kroz tekstilni materijal ovde zanemaren, koeficijent provodljivosti analiziran je sa aspekta kondukcije i konvekcije toplote. Iako je pamučna pletenina okarakterisana većom toplotnom provodljivošću u odnosu na pleteninu od konoplje, veća vrednost koeficijenta prolaza toplote pletenine od konoplje potvrđuje da se proces prenosa toplote u izvesnoj meri dešava konvekcijom kroz makropore ove pletenine. Vrednosti koeficijenta prolaza toplote pletenina izrađenih od dubliranih pređa različitog sirovinskog sastava (pletenine 4 i 6 u tabeli 33) ukazuju da je pređa od konoplje svojom kompaktnošću i glatkom površinom doprinela, u izvesnoj meri, konvekciji toplotne energije.

Imajući u vidu da je uprednost pređe jedan od osnovnih strukturnih parametara odgovornih za položaj i gustinu pakovanja vlakana u pređi, bitno pitanje na koje je trebalo naći odgovor u okviru sprovedenih istraživanja bilo je uloga upredanja pređe na termičko ponašanje pletenina. Kao što je već analizirano u poglavlju koje se odnosi na propustljivost

vazduha, izvesne razlike u osnovnim strukturnim karakteristikama DL pamučnih pletenina (tabela 8, pletenine 5, 7 i 9) proistekle različitim upredanjem pamučnih pređa odrazile su se na njihovu propustljivost. Iako se ne može govoriti o direktnoj analogiji između ovih svojstava (imajući u vidu različite mehanizme prenosa), rezultati termičkih svojstava ovih pletenina (tabela 33, pletenine 5, 7 i 9) potvrđuju uticaj upredanja pređe na termičko ponašanje pletenina. Pre svega, uočava se značajno povećanje toplotne provodljivosti pletenine izrađene od pamučne II pređe (pletenina 7) u poređenju sa pleteninom proizvedenom od najmanje upredene pamučne pređe (pletenina 5). Efekti koji su u pogledu propustljivosti vazduha kod pletenine 7 bili suprotstavljeni, ovde su se superponirali izazivajući povećanje toplotne provodljivosti. Povećanje gustine pakovanja vlakana sa porastom upredanja pamučne pređe ubrzalo je kondukciju toplote. Promene u strukturi pletenine (smanjena poroznost usled povećane gustine petlji), izazvane povećanim upredanjem i povećanom maljavošću pamučne II pređe, takođe su doprinele povećanju toplotne provodljivosti pamučne II pletenine. Polazeći od pretpostavke da je, usled povećane maljavosti pamučne II pređe u odnosu na pamučnu I pređu (slika 45), površinski sloj pamučne pletenine 7 bogatiji štrčećim vlaknima u odnosu na pamučnu pleteninu 5, smatra se da je i to doprinelo ubrzanju kondukcije toplote. Pamučna pletenina izrađena od najupredenije pamučne pređe (pletenina 9) ispoljila je termička svojstva na nivou pamučne pletenine 7 (tabela 31). Iako je sa povećanjem broja uvoja povećana kompaktnost strukture pređe i time ubrzana kondukcija toplote, čini se da je veća makroporoznost ove pletenine (9) u odnosu na pleteninu 7 (preciznije objašnjeno u odeljku o propustljivosti vazduha) onemogućila dalje povećanje termičke provodljivosti pletenine. Uticaj maljavosti pređe na ubrzanje kondukcije toplote u ovom slučaju je morao biti manje izražen, budući da se najupredenija pamučna pređa III odlikovala najmanjom maljavošću (slika 45).

Dubliranjem pređe od konoplje sa upredenijim pamučnim pređama (pamuk II i pamuk III) povećana je toplotna provodljivost pletenina (tabela 33, pletenine 8 i 10) u odnosu na konoplja+pamuk I pleteninu. Uprkos gotovo identičnoj ukupnoj poroznosti pletenina 6 i 8, povećana toplotna provodljivost druge pletenine ukazuje da je upotrebom upredenije pamučne pređe došlo do određenih promena u distribuciji pora u pletenini. Smanjena poroznost pamučne pređe ubrzala je kondukciju. Pored toga, makropore u pletenini su delom zatvorene maljama pamučne pređe II čime je takođe mogla biti potencirana kondukcija na račun prenosa toplote konvekcijom. Bliske vrednosti toplotne provodljivosti pletenina 8 i 10 su verovatno posledica niže maljavosti pamučne pređe III,

koja nije mogla da omogući efekat zatvaranja otvorenih pora u pletenini i da na taj način ubrza kondukciju toplote.

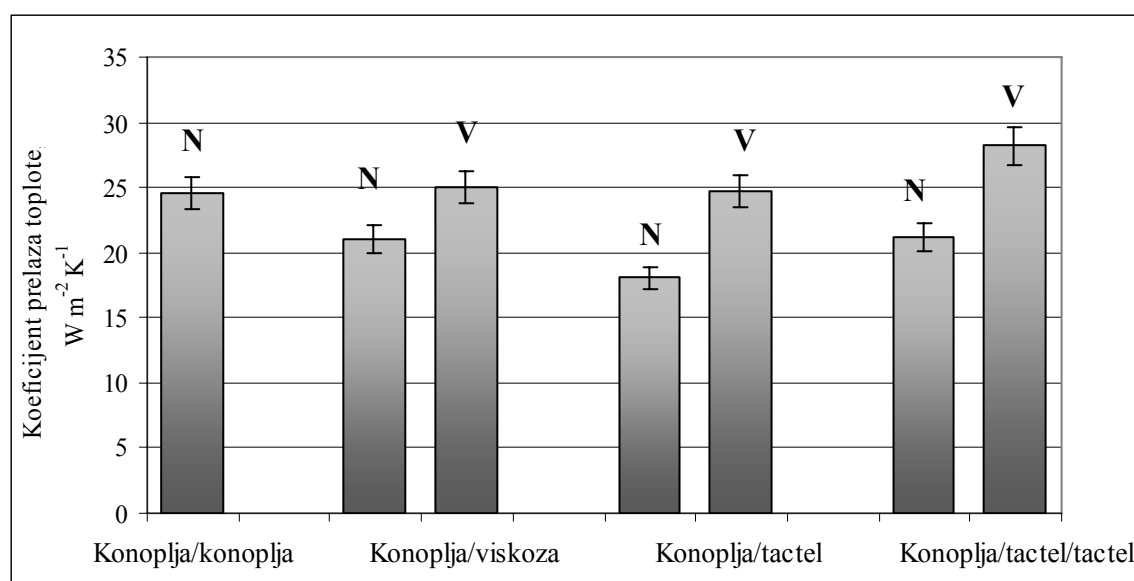
Analiza termičkih svojstava DL pletenina je ukazala na veliki uticaj gustine pakovanja vlakana u pređe i geometrije površine pređe na termičko ponašanje pletenina. Pretpostavlja se da končanje, kao jedan od mogućih načina da se utiče na orijentaciju i gustinu pakovanja vlakana kao i na površinska svojstva pređe, može da modifikuje termička svojstva pletenina. Vrednosti koeficijenta prolaza toplote za pletenine izrađene od dublirane pređe od konoplje i pletenine izrađene od končane konopljine pređe (tabela 34, pletenine 1 i 2) ukazuju da nije došlo do promena u ukupnom prenosu toplote. Izvesne male razlike u toplotnoj provodljivosti ovih pletenina eventualno upućuju na mogućnost da je upotrebom končane pređe došlo do promene u zastupljenosti mehanizama prenosa toplote. Naime, očekuje se da je končana pređa, koja je kompaktnija u odnosu na dubliranu pređu, ubrzala kondukciju toplote. Sa druge strane, kompaktnija pređa otvara mogućnost povećanja rastojanja između pređa u pletenini čime se potencira konvekcija toplote.

U okviru ispitivanja termičkih svojstava DD pletenina izrađenih od končanih pređa na bazi konoplje pošlo se od pretpostavke da termičko ponašanje pletenina može biti modifikovano specifičnim svojstvima složenih pređa. Imajući u vidu da su specifična svojstva hibridnih pređa rezultat uticaja strukturnih karakteristika komponentnih pređa i vrste upotrebljenih vlakana, analiza termičkog ponašanja DD pletenina bazirana je na uticaju navedenih parametara. Poređenjem vrednosti termičke otpornosti pletenine izrađene od homogene končane pređe od konoplje i pletenina od nehomogenih končanih pređa (N varijante) uočavaju se razlike koje su očigledno posledica specifičnih hibridnih struktura pređa (tabela 35). Poznato je da se sa porastom debljine tekstilnog materijala usporava prenos toplote. Ipak, iako najdeblja, pletenina izrađena od homogene končane pređe od konoplje, ispoljila je najmanju termičku otpornost. To se verovatno može objasniti velikom gustinom pakovanja vlakana konoplje u jednožičnoj pređi, što je dodatno potencirano u končanoj strukturi. Uvođenjem u složenu pređu viskoznog filameta, tanjeg u odnosu na pređu od konoplje, promenjen je ne samo sirovinski sastav i interna struktura već i rezultujuća finoća končane pređe. Zbog toga se konoplja/viskoza pletenina odlikuje većom otvorenom slobodnom površinom u poređenju sa konoplja/konoplja pleteninom (slika 57 b), što vodi ka pretpostavci da je u ukupnom prenosu toplote konvekcija zastupljena u većoj meri.

Tabela 35. Termička svojstva DD pletenina na bazi konoplje

Sastav pređe		Debljina (mm)	Površinska masa (g m ⁻²)	Poroznost (%)	Termička otpornost (m ² K W ⁻¹)
Konoplja/konoplja	N	1,649	429,1	82,6	0,041
Konoplja/viskoza	N	1,430	371,6	82,2	0,048
	V	1,523	430,8	81,1	0,040
Konoplja/tactel	N	1,218	273,6	84,1	0,055
	V	1,397	316,5	83,9	0,041
Konoplja/tactel/tactel	N	1,382	351,1	81,3	0,047
	V	1,486	468,1	76,8	0,036

Pored toga, na osnovu niže vrednosti koeficijenta prelaza toplote (slika 59) se može pretpostaviti da je toplotna provodljivost viskoznog filameta niža u odnosu na prirodno celulozno vlakno, što bi bilo u skladu sa navodima iz literature [94].



Slika 59. Koeficijent prolaza toplote DD pletenina na bazi konoplje

Konoplja/tactel/tactel pletenina je takođe ispoljila manju sposobnost prenosa toplote u odnosu na homogenu pleteninu od konoplje, pre svega zbog niže toplotne provodljivosti poliamidnog filameta (tabela 3) i prisutne veće količine vazduha unutar končane pređe. Iako je teksturirani filament izazvao „zatvaranje“ strukture pletenine, preraspodela vazdušnih depoa unutar končane pređe usporila je kondukciju toplote. Interesantno je da su konoplja/viskoza i konoplja/tactel/tactel pletenina ispoljile istu provodljivost toplote iako

su izrađene od hibridnih pređa različitih svojstava (slika 59). Najveći otpor toplotnom fluksu, iako najtanja, pružila je konoplja/tactel pletenina, što je posledica njene najveće ukupne poroznosti (tabela 35).

Sa povećanjem površinske gustine DD pletenina (V varijante) došlo je do porasta koeficijenta prelaza toplote (slika 59) usled smanjenja ukupne poroznosti i pre svega, makroporoznosti pletenina. Naime, veća gustina petlji na jedinici površine pletenine podrazumeva veći broj vezivnih tačaka čime se smanjuje veličina otvorenih pora i usporava konvektivni prenos toplote. Pored toga, veći broj vezivnih tačaka na jedinici površine pletenine, u kojima je intenziviran međusobni kontakt vlakana u končanim pređama, ubrzava kondukciju toplote.

7.4.3 Propustljivost vodene pare

Tradicionalno se celulozna vlakna smatraju komfornim pre svega zbog njihove hidrofilnosti i sposobnosti da propuštaju vlagu. Dobra sposobnost propuštanja vodene pare prirodnih celuloznih vlakana pripisuje se prisustvu lumena u njihovoj strukturi. Takođe se smatra da hidrofilna površina celuloznih vlakana ubrzava difuziju molekula adsorbovanih na njihovoj površini. Sa druge strane, ranija istraživanja su pokazala da geometrija tekstilnog materijala, pre svega njegova debljina i poroznost, može umnogome da definiše ponašanje materijala u pogledu propustljivosti vodene pare. Polazeći od činjenice da je difuzija vodene pare kroz vazduh gotovo trenutna, većina autora se slaže da je, pored ukupne poroznosti materijala, otvorena slobodna površina u materijalu od presudnog značaja. Na osnovu prethodno analiziranih svojstava ispitivanih pletenina već je potvrđeno da geometrija pređe u velikoj meri uslovljava kako ukupnu poroznost (ukupan sadržaj vazduha između vlakana u pređi i između pređa u pletenini) tako i makroporoznost (pore između pređa) pletenine. Tako se i u okviru ispitivanja propustljivosti vodene pare pletenina pošlo od pretpostavke da pređe svojom kapilarnošću (gustina pakovanja vlakana) i površinskim svojstvima mogu da predstavljaju značajan parametar i ovog svojstva. Budući da je eksperiment sproveden u stacionarnim uslovima (odsustvo temperaturnog gradijenta i konstantan gradijent koncentracije vlage), prilikom analize rezultata uzeti su u obzir mehanizmi prenosa vodene pare molekulskom difuzijom kroz vlakno, difuzijom po površini vlakna i difuzijom kroz otvorene pore pletenina. Rezultati ispitivanja propustljivosti vodene pare DL pletenina prikazani su u tabeli 36.

Tabela 36. Propustljivost vodene pare DL pletenina

Sirovinski sastav		Površinska gustina (cm ⁻²)	Gustina (g·cm ⁻³)	Poroznost (%)	R _{et} ^{a)} (m ² Pa W ⁻¹)	P _{wv} ^{b)} (%)
1	Konoplja + konoplja	75,4	0,398	74,0	1,787	53,0
2	Konoplja/konoplja	66,0	0,353	76,5	1,717	56,9
3	Viskoza + viskoza	78,0	0,353	76,5	1,505	59,2
4	Konoplja + viskoza	77,0	0,387	74,2	1,760	53,9
5	Pamuk I + pamuk I	72,0	0,327	78,2	2,119	50,3
6	Konoplja + pamuk I	71,5	0,353	76,4	2,048	51,2
7	Pamuk II + pamuk II	81,2	0,361	75,9	2,066	51,2
8	Konoplja + pamuk II	72,0	0,356	76,2	1,890	52,6
9	Pamuk III+ pamukIII	78,0	0,350	76,6	2,143	50,3
10	Konoplja + pamuk III	75,0	0,377	74,9	1,858	53,4

a) Otpornost materijala propuštanju vodene pare,

b) Relativna propustljivost vodene pare

Na osnovu rezultata termičkih svojstava i propustljivosti vazduha DL pletenina nije mogla biti uspostavljena direktna analogija, pre svega zbog različitih fenomena prenosa toplote i propuštanja vazduha kroz tekstilni materijal. Naime, dok je za strujanje vazduha kroz pletenine njihova makroporoznost bila od presudnog značaja, termičko ponašanje pletenina je pre svega bilo uslovljeno zapreminskim udelom vlakana u jedinici zapremine pletenine odnosno, gustinom pakovanja vlakana u pređi. Imajući vidu da se difuzija vodene pare dešava kroz i duž površine vlakna, odnosno pređe i kroz šupljine u pletenini, nije se mogla uočiti jednostavna analogija sa prethodno ispitivanim svojstvima pletenina. U okviru ispitivanih DL pletenina izrađenih od pređa istih nominalnih karakteristika (tabela 36, pletenine 1, 3 – 6) izdvaja se viskozna pletenina sa najmanjom otpornošću, odnosno najvećom relativnom propustljivošću vodene pare. Najmanju sposobnost da propušta vodenu paru ispoljila je pamučna pletenina koja, iako okarakterisana najvećom ukupnom poroznošću, ima najmanju otvorenu slobodnu površinu (slika 53-5). To je u skladu sa zaključcima većine autora da se difuzija vodene pare u najvećoj meri dešava kroz otvorene pore između pređa u tekstilnom materijalu. Distribucija pora u pamučnoj pletenini prouzrokovala je difuziju vodene pare naizmenično kroz gasovitu i polimernu fazu. Ograničenom difuzijom vlage unutar vlakna i izvan njega, usled znatno nižeg koeficijenta difuzije pamučnih vlakana (10^{-7} cm² s⁻¹) u odnosu na vazduh [145], usporen je proces difuzije vodene pare kroz materijal. Otpornost pletenine od konoplje propuštanju vodene pare je veća u odnosu na viskoznu pleteninu uprkos njenoj izraženijoj makroporoznosti zbog koje se odlikovala najvećom propustljivošću vazduha. Ovakav

rezultat ukazuje na mogućnost da je kod viskozne pletenine intenzivirana površinska difuzija adsorbovanih molekula vlage. To može biti posledica povećanja specifične površine pletenine usled izražene maljavosti viskozne pređe. Kod pletenine izrađene od stručene pamučne i pređe od konoplje povećanje relativne propustljivosti vodene pare u odnosu na pamučnu pleteninu je posledica „otvaranja“ strukture pletenine. Relativna propustljivost vodene pare konoplja/viskoza pletenine predstavlja rezultat uticaja geometrije viskozne i pređe od konoplje. Činjenica da je ova pletenina ranije ispoljila propustljivost vazduha i toplotnu provodljivost koje su bile bliske vrednostima viskozne pletenine, upućuje na eventualnu dominantnu ulogu geometrije površine viskozne pređe sa aspekta ispitivanih svojstava toplotnog komfora pletenina.

Rezultati otpornosti propuštanja vodene pare DL pletenina proizvedenih od različito upredenih pamučnih pređa ukazuju da promena gustine pakovanja vlakana i karakter površine pređe izazvane različitim upređanjem mogu da izazovu promene u ponašanju pletenina (tabela 36, pletenine 5, 7 i 9). Tako je pletenina izrađena od pamučne pređe srednjeg nivoa upredenosti (pletenina 7) ispoljila najmanju otpornost, odnosno najveću relativnu propustljivost vodene pare. Sa povećanjem broja uvoja pređe povećana je njena kompaktnost, međutim, zbog povećane površinske gustine petlji nije došlo do porasta makroporoznosti pletenine. Činjenica da je uprkos tome došlo do povećanja propustljivosti vodene pare se verovatno može objasniti povećanjem specifične površine pletenine kao posledice maljavosti pamučne pređe II (slika 45). U prilog tome ide i podatak o smanjenoj propustljivosti pletenine izrađene od najupredenije pamučne pređe (tabela 35, pletenina 9) u poređenju sa pleteninom 7, iako bi se usled veće gustine pakovanja vlakana u pređi i manje površinske gustine petlji očekivalo povećanje propustljivosti vodene pare pletenine 9. Kod pletenina proizvedenih od stručenih različito upredenih pamučnih pređa sa slabo maljavom pređom od konoplje (tabela 36, pletenine 6, 8 i 10) makroporoznost pletenine predstavlja odlučujući faktor difuzije vodene pare kroz materijal. Kod ovih pletenina se sa porastom makroporoznosti smanjuje otpor propuštanju vodene pare, tako da se, analogno propustljivosti vazduha, povećano upređanje pamučne komponente dubliranih pređa odražava pozitivno na sposobnost propuštanja vodene pare. Pozitivan efekat kompaktnosti pređe na propustljivost vodene pare pletenine zapaža se i kod pletenine izrađene od končane pređe od konoplje (pletenina 2), čija je relativna propustljivost veća u poređenju sa pleteninom izrađenom od dubliranih pređa od konoplje (pletenina 1).

DD pletenine izrađene od končanih pređa na bazi konoplje ispoljile su različitu sposobnost propuštanja vodene pare u zavisnosti od strukture složene pređe i površinske gustine petlji (tabela 37).

Tabela 37. Propustljivost vodene pare DD pletenina na bazi konoplje

Sastav pređe		Debljina (mm)	Gustina (g·cm ⁻³)	Poroznost (%)	R _{et} ^{a)} (m ² Pa W ⁻¹)	P _{wv} ^{b)} (%)
Konoplja/ konoplja	N	1,649	0,260	82,6	2,688	46,8
Konoplja/ viskoza	N	1,430	0,260	82,2	2,397	49,5
	V	1,523	0,283	81,1	3,170	42,4
Konoplja/ tactel	N	1,218	0,225	84,1	2,438	48,9
	V	1,397	0,226	83,9	2,223	52,4
Konoplja/tactel/ tactel	N	1,382	0,254	81,3	2,881	45,5
	V	1,486	0,315	76,8	2,882	44,6

a) Otpornost materijala propuštanju vodene pare,

b) Relativna propustljivost vodene pare

S obzirom da su za izradu končanih pređa pored slabo maljave pređe od konoplje upotrebljeni isključivo filamenti, očekuje se da efekat specifične površine pletenine odgovoran za površinsku difuziju vodene pare ne menja značajno ponašanje pletenina. Redosled ispitivanih DD pletenina (N varijante) u pogledu propustljivosti vodene pare poklapa se sa redosledom iskazanim pri ispitivanju propustljivosti vazduha, što navodi na zaključak da je otvorena slobodna površina pletenina ključni parametar propustljivosti vodene pare DD pletenina. Konoplja/viskoza pletenina, ranije već kvalitativno okarakterisana najvećom makroporoznošću (slika 57 b), ispoljila je najveću relativnu propustljivost vodene pare, dok je konoplja/tactel/tactel pletenina sa minimalnom otvorenom slobodnom površinom (slika 57 d) ispoljila najmanju sposobnost propuštanja vodene pare (tabela 37). Imajući u vidu činjenicu da su se končane pređe od kojih su izrađene DD pletenine međusobno razlikovale ne samo po strukturi već i po sirovinskoim sastavu, postavlja se pitanje da li je i u kolikoj meri vrsta upotrebljenih vlakana uticala na dobijene rezultate. Činjenica da se difuzija vodene pare dešava i kroz vlakna, za razliku od fenomena toka vazduha kroz tekstilni materijal, a da su pletenine ipak ispoljile slično ponašanje u pogledu propustljivosti vodene pare i vazduha, upućuje na zaključak da se efekat vlakana ogleda kroz gustinu pakovanja u končanoj pređi. Drugim rečima, prečnik končanih pređa ovde je uslovljen finoćom jednožičnih komponenata ali i geometrijom

vlakana. Tako, konoplja/viskoza i konoplja/tactel/tactel pletenina se međusobno razlikuju po otpornosti propuštanja vodene pare uprkos tome što su se konoplja/viskoza i konoplja/tactel/tactel končane pređe odlikovale gotovo identičnim finoćama i koeficijentima upredanja (tabela 7).

Povećanje površinske gustine petlji DD pletenina izrađenih od hibridnih končanih pređa (V varijante pletenina) dovelo je do očekivanog povećanja otpornosti pletenina propuštanju vodene pare jedino kod konoplja/viskoza pletenine (tabela 37). Naime, sa povećanjem gustine petlji povećava se debljina i gustina pletenina, odnosno udeo vlakana u jedinici zapremine pletenine, i smanjuje veličina otvorenih pora, čime se usporava difuzija vodene pare kroz materijal. Kako je kvalitativna analiza pokazala da se sa povećanjem gustine petlji u najvećoj meri smanjuje makroporoznost konoplja/viskoza pletenine (slika 57 b i e), kod nje se uočava značajno smanjenje relativne propustljivosti vodene pare (tabela 37). Kod preostalih DD pletenina izrađenih od hibridnih pređa može se govoriti o približnim vrednostima propustljivosti vodene pare za N i V varijante pletenina.

7.5 Mehanička svojstva pletenina

7.5.1 Kompresija pletenina

Mekoća ili sposobnost tekstilnih materijala da menjaju svoju debljinu već pri malim kompresionim opterećenjima predstavlja jedan od najvažnijih parametara taktilnog komfora. Svaki odevni tekstilni materijal odlikuje se izvesnom kompresibilnošću koja je uslovljena strukturom materijala, strukturom pređe i prirodom vlakana. S obzirom da tekstilni materijali nisu idealno elastični i da osim elastične trpe i viskoelastičnu i plastičnu deformaciju, može se govoriti i o njihovoj sposobnosti da u određenoj meri zadrže svoju polaznu debljinu (lateralnu dimenziju). Sposobnost elastičnog oporavka materijala je od velike važnosti za očuvanje mekoće materijala prilikom njegove eksploatacije u praksi (nošenje odeće). Budući da su svojstva materijala, koja se tiču toplotnog komfora, u velikoj meri uslovljena njegovom debljinom i poroznošću, svaka trajna promena debljine praćena promenom količine vazduha u materijalu nužno menja termička svojstva i permeabilnost materijala, što je nepoželjno sa aspekta očuvanja čovekove termofiziološke ravnoteže. Imajući u vidu činjenicu da su odevni tekstilni materijali najčešće izloženi višecikličnoj kompresiji (pokreti tela ili dejstvo vetra) od velikog praktičnog značaja je

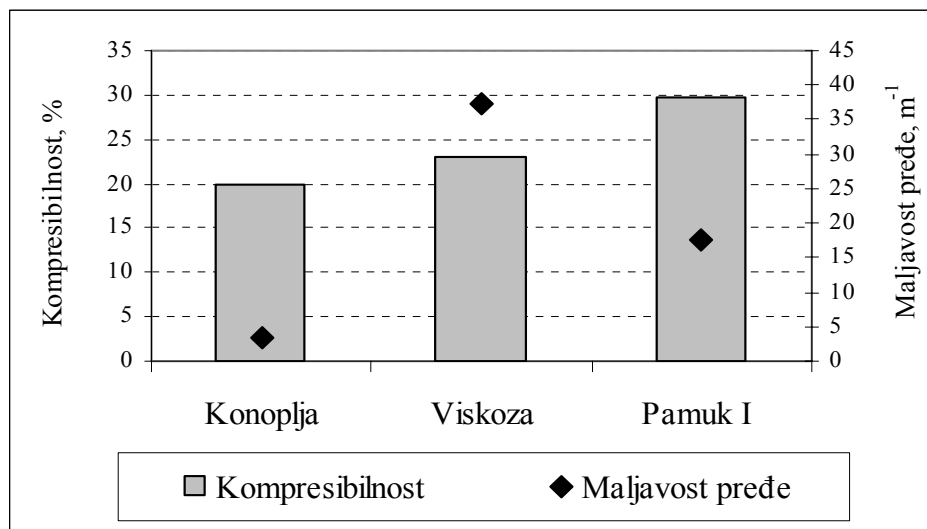
evaluacija ponašanja materijala pri višecikličnoj kompresiji. Gotovo identične strukturne karakteristike (debljina, dužina petlje) DL pletenina omogućile su analizu uticaja strukture pređa i prirode vlakana na kompresiono ponašanje pletenina. Rezultati prikazani u tabeli 38 upućuju na razlike u kompresibilnosti pletenina različitog sirovinskog sastava (pletenine 1, 3-6). Najmekša pletenina izrađena od pamučne pređe (5) praćena je viskoznom pleteninom i pleteninom od konoplje kao najmanje podložnoj kompresiji. Kompresibilnost pletenina izrađenih od dve različite pređe kretala se između vrednosti kompresibilnosti odgovarajućih pletenina homogenog sirovinskog sastava. Uočeni trend se zadržava kod svih sukcesivnih ciklusa kompresije (tabela 38).

Tabela 38. Kompresibilnost DL pletenina

Sirovinski sastav		Kompresibilnost, C_{pl} (%)				
		1. ciklus	2. ciklus	3. ciklus	4. ciklus	5. ciklus
1	Konoplja + konoplja	20,0	7,6	6,8	6,3	5,7
2	Konoplja/konoplja	23,1	11,2	9,9	9,5	8,9
3	Viskoza + viskoza	22,9	10,6	9,4	8,5	8,0
4	Konoplja + viskoza	20,6	10,5	9,6	9,0	8,8
5	Pamuk I + pamuk I	29,7	16,4	15,6	15,2	15,1
6	Konoplja + pamuk I	25,3	13,3	12,1	11,0	10,7
7	Pamuk II + pamuk II	27,8	15,9	14,0	13,7	13,4
8	Konoplja + pamuk II	23,1	12,2	9,8	9,3	9,0
9	Pamuk III+ pamukIII	29,8	13,5	13,3	12,7	12,5
10	Konoplja + pamuk III	25,0	12,6	11,1	10,8	10,0

Rezultati upućuju na zaključak da su mekoća i elastičnost vlakana značajno uticali na sposobnost kompresije pletenina. Naime, slabo elastična i tvrda vlakna konoplje sigurno su odredila najmanju kompresibilnost pletenine od konoplje. Pamučna i viskozna vlakna odlikuju se mekim opipom, te su pamučna i viskozna pletenina ispoljile veću sposobnost kompresije. Razlike u kompresibilnosti ove dve pletenine upućuju na površinska svojstva pređe kao potencijalni faktor kompresije pletenine. Naime, tekstilni materijali izrađeni od štapel pređa mogu se okarakterisati troslojnom strukturom – unutrašnji relativno nestišljivi sloj i dva spoljna sloja [131, 264]. Srednji ili unutrašnji deo predstavlja gusto jezgro koje se sastoji od agregata vlakana organizovanih u pređe i izvesne male 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. Drugim rečima, može se očekivati da će pletenina sa izraženijom maljavošću površine biti mekša tj. odlikovaće se većom kompresibilnošću. Time su u

direktnu vezu dovedeni maljavost pređe i sposobnost kompresije (mekoća) materijala. Na slici 60 su prikazani kompresibilnost pletenina homogenog sirovinskog sastava (za prvi ciklus kompresije) i maljavost upotrebljenih pređa.



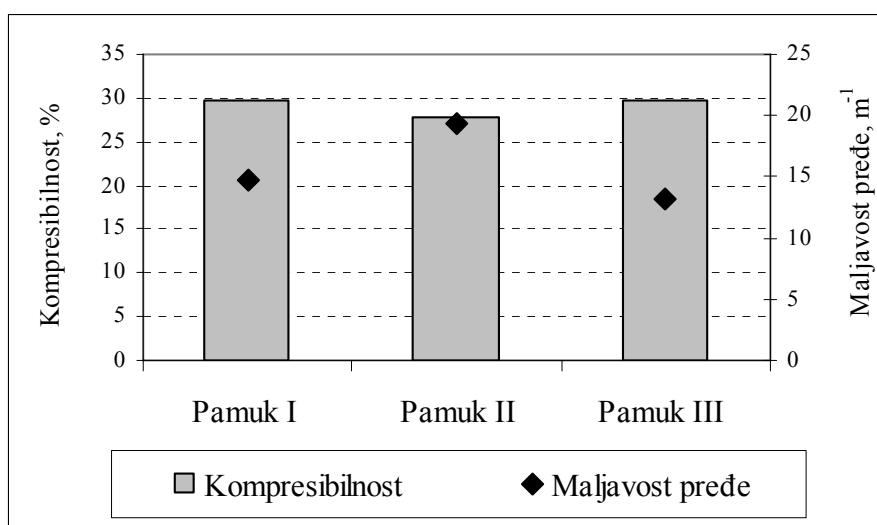
Slika 60. Kompresibilnost nekih DL pletenina i maljavost upotrebljenih pređa

Može se pretpostaviti da su zbog izuzetno male maljavosti pređe od konoplje spoljašnji slojevi pletenine siromašni vlaknima, što je doprinelo njenoj najmanjoj kompresibilnosti. Najmaljavija viskozna pređa sigurno je doprinela formiranju stišljivih spoljašnjih slojeva viskozne pletenine povećavajući njenu mekoću. S obzirom da je maljavost viskozne pređe značajno povećana u odnosu na ostale dve pređe, moglo bi se očekivati da viskozna pletenina ispolji najveću kompresibilnost. Poznato je međutim, da OE tehnika pređenja obezbeđuje rastresitu strukturu pređe sa razvijenom površinom koja se uglavnom sastoji od petlji vlakana. Iako upotrebljeni uređaj za registrovanje maljavosti pređe nije mogao da registruje na OE pamučnoj pređi petlje visine do 3 mm, one su ipak doprinele povećanju mekoće pamučne pletenine.

Razlika u kompresibilnosti pletenina izrađenih od dublirane pređe od konoplje i končane konopljine pređe (tabela 38, pletenine 1 i 2) ukazuje da modifikovanje strukture pređe uvođenjem sekundarnog upredanja menja kompresiono ponašanje pletenine. Moglo bi se očekivati da će kompaktnija končana pređa, u kojoj je pokretljivost vlakana smanjena usled povećanih frikcionih sila, izazvati smanjenje kompresibilnosti pletenine. Međutim, činjenica je da je pletenina izrađena od končane pređe od konoplje ispoljila veću kompresibilnost (tabela 38). Poređenjem strukturnih karakteristika pletenina 1 i 2 (tabela 9) zapaža se znatno manja površinska gustina petlji pletenine 2, što je posledica smanjene

savitljivosti končane pređe od konoplje. Manji broj petlji na jedinici površine pletenine podrazumeva manji broj vezivnih tačaka pređa. Činjenica da se na mestima ukrštanja smanjuje pokretljivost pređe u pletenini i vlakana u pređi objašnjava povećanje sposobnosti kompresije pletenine 2 okarakterisane manjom površinskom gustinom petlji.

Kompleksni uticaj strukture pređe na kompresibilnost pletenine potvrđuju i rezultati kompresibilnosti grupe pletenina izrađenih od pamučnih pređa različite upredenosti (tabela 38, pletenine 5, 7, i 9). S obzirom da povećanje broja uvoja pređe podrazumeva smanjenu pokretljivost vlakana, očekivano smanjenje kompresibilnosti uočeno je kod pletenine izrađene od pamučne pređe srednjeg nivoa upređanja (pletanina 7) za razliku od pletenine 9 (najupredenija pamučna pređa), koja je ispoljila kompresibilnost blisku pamučnoj pletenini izrađenoj od najmanje upredene pamučne pređe. Kako se upređanjem osim geometrije jezgra menjaju i površinska svojstva pređe, rezultati kompresibilnosti pletenina dovedeni su u vezu sa maljavošću upotrebljenih pamučnih pređa (slika 61). Iako je izrađena od najmaljavije pamučne pređe (pamuk II), pletanina 7 je ispoljila najmanju kompresibilnost, što navodi na zaključak da je unutrašnja struktura pređe ovde bila od presudnog značaja.

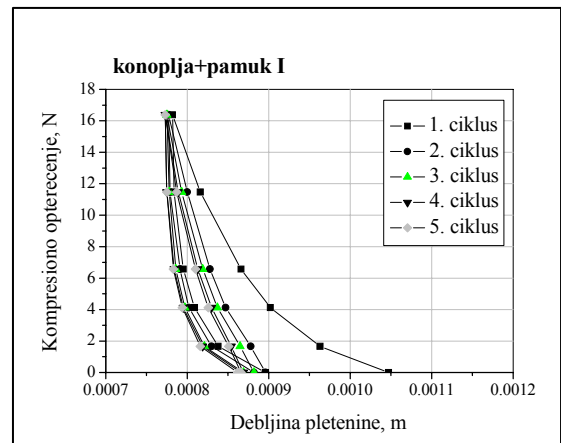
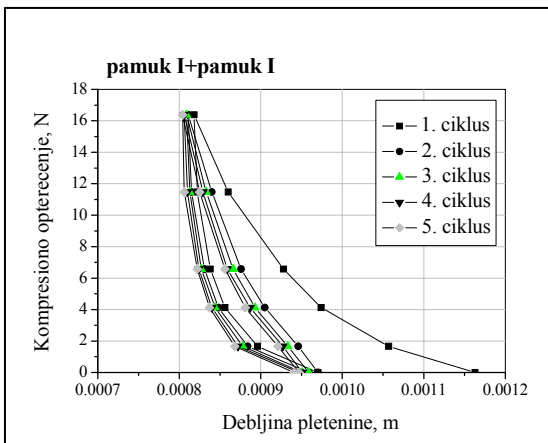
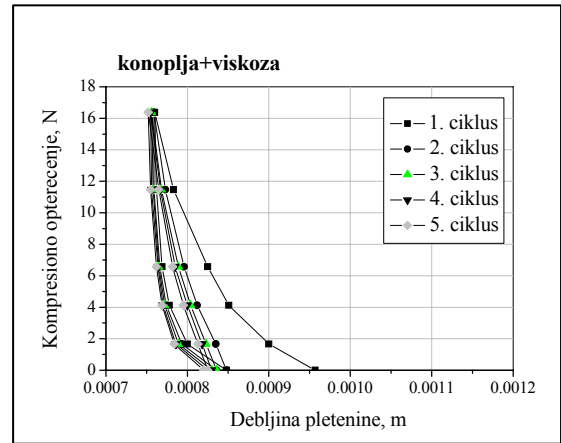
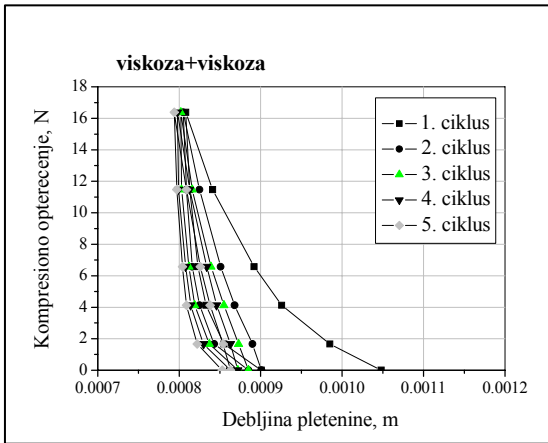
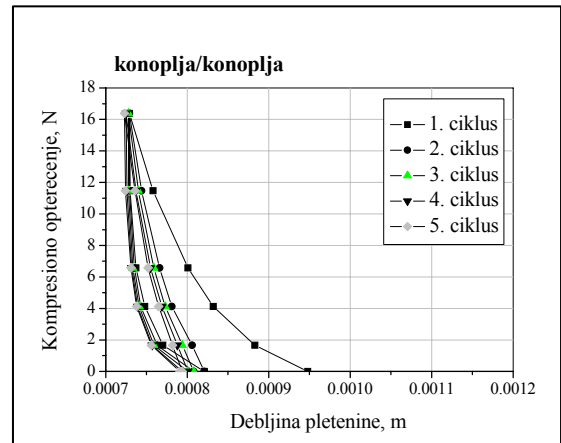
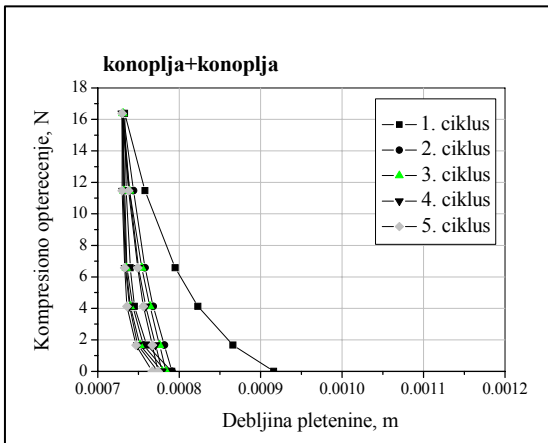


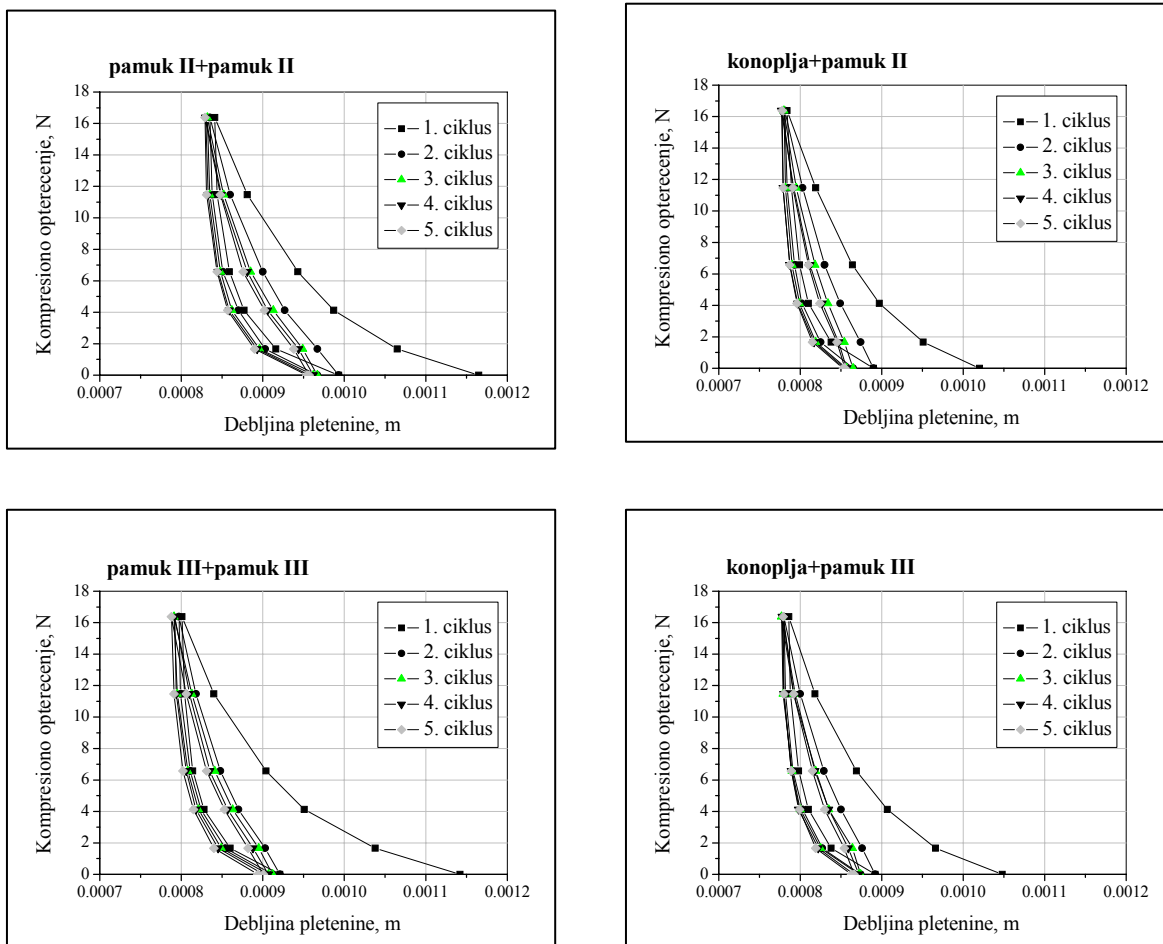
Slika 61. Kompresibilnost pamučnih DL pletenina i maljavost različito upređenih pamučnih pređa

Pozitivan uticaj povećane maljavosti srednje upredene pamučne pređe na kompresibilnost pletenine 7 anuliran je povećanom gustinom petlji ove pletenine (tabela 9), odnosno povećanim brojem vezivnih tačaka u kojima je smanjena pokretljivost strukturnih elemenata pletenine. Jos jednu potvrdu da su se varijacije u strukturnim karakteristikama pletenina, uslovljene različitom upređenošću pamučnih pređa, odrazile na sposobnost

kompresije pletenina predstavlja činjenica da je pletenina izrađena od najupredenije pamučne pređe ispoljila porast kompresibilnosti u odnosu na pleteninu 7 (pamuk II + pamuk II). Smanjenje površinske gustine petlji pletenine 9 (tabela 9), usled smanjene savitljivosti najupredenije pamučne pređe, dovelo je do povećanja pokretljivosti vlakana i pređa u pletenini, odnosno do povećanja kompresibilnosti. Isti trend je zapažen i kod pletenina izrađenih od dubliranih pređa kod kojih je komponenta od konoplje kombinovana sa različito upredenim pamučnim pređama (tabela 38, pletenine 6, 8 i 10).

Podaci u tabeli 38 ukazuju na činjenicu da se pri višecikličnom opterećenju kompresibilnost pletenina smanjuje sa svakim sledećim ciklusom, što ukazuje na pojavu trajnih - plastičnih deformacija u pletenini. Kompresione krive konstruisane na osnovu registrovanih promena debljine pletenina pri njihovom cikličnom opterećenju i rasterećenju u toku pet ciklusa, prikazane na slici 62, omogućuju precizniju analizu fenomena lateralne kompresije. Kompresione krive ilustruju nelinearnu zavisnost promene debljine pletenine sa porastom kompresionog opterećenja, izuzev na početku kompresionog ciklusa kada se pri manjim vrednostima opterećenja debljina pletenina linearno menja sa opterećenjem, što odgovara elastičnoj deformaciji do granice proporcionalnosti. Sa daljim povećanjem kompresionog opterećenja smanjuje se kompresibilnost pletenina što se može objasniti njihovom troslojnom strukturom. U ovoj fazi kada zavisnost debljine pletenine i kompresionog opterećenja prestaje da bude linearna, dolazi do međusobnog trenja i klizanja vlakana praćeno smanjenjem količine vazduha. Treća faza kompresije u kojoj dolazi do malih promena debljine pletenine sa porastom kompresionog opterećenja podrazumeva lateralnu kompresiju samih vlakana. Činjenica da su ispitivane DL pletenine ispoljile razlike u nagibu kriva kompresije potvrđuje ranija tumačenja vezana za geometriju površine pletenina. Drugim rečima, kod pletenina sa izraženijom maljavošću površine uočava se veća promena debljine, odnosno takve pletenine su kompresibilnije (tabela 38). Kao rezultat klizanja i trajnog premeštanja vlakana tokom kompresije, relaksacija pletenine se ne dešava istom brzinom niti istim intenzitetom kao pri kompresiji. Otuda je faza dekompresije pletenina okarakterisana pojavom histerezisa. Odstupanje od linearnosti kompresionih kriva kao i prisutan histerezis ukazuju na prisustvo viskoelastičnih i plastičnih deformacija pri kompresiji pletenina. Kompresione krive potvrđuju da se opisani fenomen kompresije dešava u svakom sukcesivnom kompresionom ciklusu.





Slika 62. Kompresione krive pri petocikličnoj kompresiji DL pletenina

Pored toga, kod svih ispitivanih DL pletenina uočavaju se značajne promene debljine 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 preklopile. Kao rezultat nepovratnog klizanja i premeštanja vlakana sa svakim narednim ciklusom kompresije uvećava se sloj gusto pakovanih agregata vlakana sa minimalnom količinom vazduha. Zbog toga se smanjuje sposobnost kompresije pletenina (tabela 38) koja je međutim, praćena i smanjenjem udela viskoelastične i plastične deformacije. Iako se ukupna deformacija pletenina smanjuje sa svakim narednim kompresionim ciklusom, histerezis kompresije se zadržava kao posledica trenja između vlakana i viskoelastične prirode samih vlakana. Kompresione krive DL pletenina ukazuju ne samo na smanjenje površine histerezisnih petlji sa ponavljanjem ciklusa kompresije već i na razlike između pletenina u pogledu ispoljenog histerezisa. Uočene razlike su kvantitativno ocenjene izračunavanjem površine histerezisa pletenina za svaki ciklus kompresije (tabela 39).

Tabela 39. Viskoelastični i plastični rad kompresije DL pletenina

Sirovinski sastav		WC, x10 ⁻⁴ J				
		1. ciklus	2. ciklus	3. ciklus	4. ciklus	5. ciklus
1	Konoplja + konoplja	8,29	2,56	2,17	1,97	1,94
2	Konoplja/konoplja	9,17	3,80	3,11	2,82	2,58
3	Viskoza + viskoza	10,10	4,23	3,36	3,18	2,85
4	Konoplja + viskoza	8,85	3,69	2,91	2,75	2,50
5	Pamuk I + pamuk I	13,00	5,65	4,82	4,54	4,41
6	Konoplja + pamuk I	10,30	4,60	3,95	3,36	3,12
7	Pamuk II + pamuk II	12,11	5,81	4,58	4,35	4,13
8	Konoplja + pamuk II	9,41	4,66	3,31	2,93	2,76
9	Pamuk III+ pamukIII	13,60	4,51	4,12	3,74	3,66
10	Konoplja + pamuk III	10,40	4,59	3,38	3,47	3,05

Izračunate vrednosti potvrdile su ranije navode o smanjenju viskoelastične i plastične defamacije pletenina sa ponavljanjem ciklusa kompresije. Polazeći od činjenice da je površina histerezisa kompresije proporcionalna radu viskoelastične i plastične deformacije, uočene razlike između pletenina mogu se posmatrati sa aspekta sposobnosti elastičnog oporavka. Pri tome, veća površina histerezisne petlje, odnosno veći rad viskoelastične i plastične deformacije znači manju sposobnost elastičnog oporavka pletenine. Najveći rad kompresije „najmekše“ pamučne pletenine (tabela 39, pletenina 5) ukazuje da je, pretrpevši najveću viskoelastičnu i plastičnu deformaciju, ona ispoljila najmanju sposobnost elastičnog oporavka. Nasuprot tome, može se reći da je najmanja kompresibilnost pletenine od konoplje delom kompenzovana najvećom ispoljenom sposobnošću elastičnog oporavka. Redosled pletenina u pogledu elastičnog oporavka zadržava se tokom petociklične kompresije.

Vrednosti viskoelastičnog i plastičnog rada kompresije pletenina izrađenih od dublirane pređe od konoplje i končane konopljine pređe (tabela 39, pletenine 1 i 2) potvrđuju trend da „mekše“ pletenine trpe veće trajne deformacije. Slično se dešava i kod pletenina izrađenih od različito upredenih pamučnih pređa (tabela 39, pletenine 5, 7 i 9), pa je pletenina 7, koja je ispoljila najveću kompresibilnost, okarakterisana najmanjom sposobnošću elastičnog oporavka. Takođe, u okviru DL pletenina nehomogenog sirovinskog sastava kod kojih je pređa od konoplje dublirana sa različito upredenim pamučnim pređama (tabela 39, pletenine 6, 8, i 10), pletenina 8, koja se odlikovala najmanjom kompresibilnošću, ispoljila je najbolji elastični oporavak.

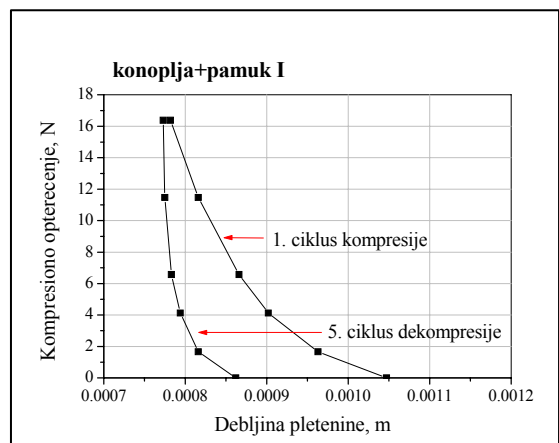
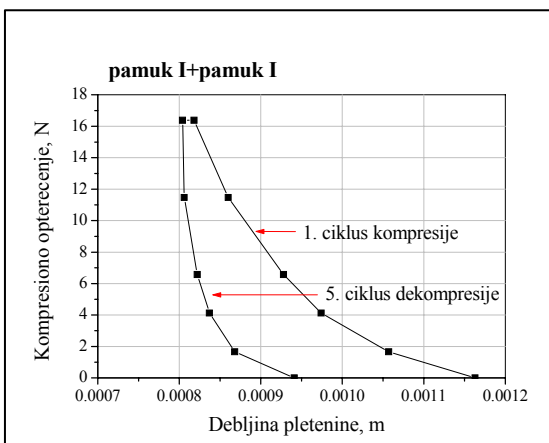
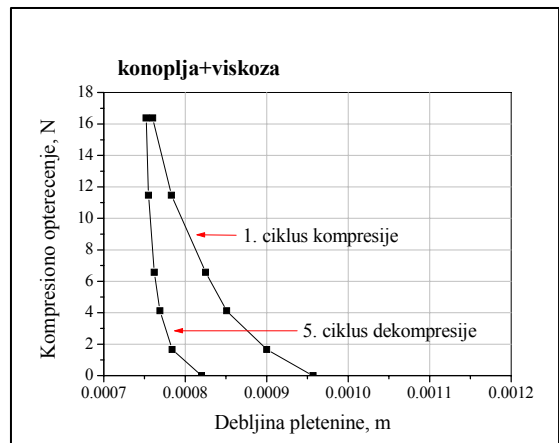
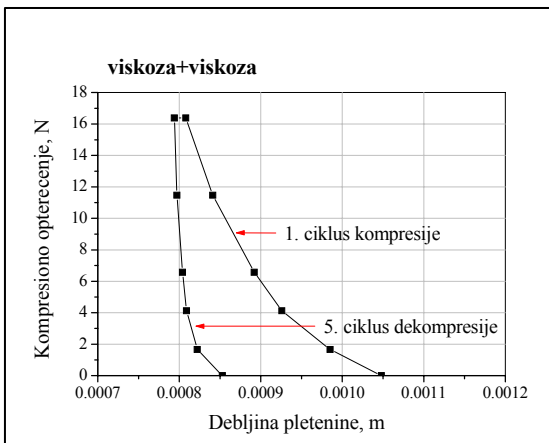
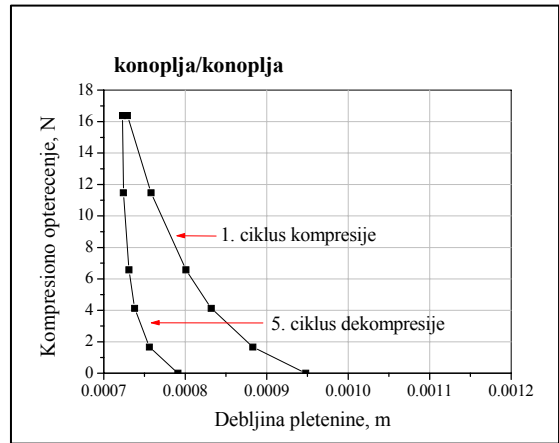
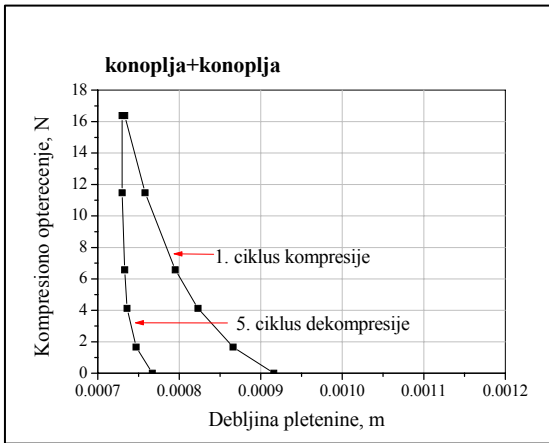
Kvantitativna analiza histerezisa kompresije omogućena je konstruisanjem specifičnih dijagrama formiranih od krive kompresije prvog ciklusa i relaksacione krive petog kompresionog ciklusa. Ovako konstruisani dijagrami, prikazani na slici 63 omogućili su određivanje komponenata viskoelastične i plastične deformacije pletenina. Proračun komponenata deformacije baziran je na konceptu energije deformacije. Naime, fenomen kompresije uključuje energiju utrošenu na kompresiju pletenine, energiju oslobođenu pri relaksaciji i gubitak energije usled neelastičnih deformacija u pletenini [231]. U tom smislu, histerezisna petlja formirana na opisan način predstavlja gubitak energije pri petocikličnoj kompresiji DL pletenina. Izračunavanjem površine koju zahvata histerezis dobijene su vrednosti tzv. nepovratnog rada petociklične kompresije ili rada plastične deformacije pletenine (WC_p). Razlika između ukupnog viskoelastičnog i plastičnog rada kompresije (WC), koji predstavlja zbir viskoelastičnih i plastičnih radova kompresije svih pet ciklusa prikazanih u tabeli 40, i nepovratnog rada petociklične kompresije (WC_p) determiniše rad viskoelastične deformacije petociklične kompresije pletenine (WC_{ve}). Na bazi ovih vrednosti izračunati su procentualni udeli viskoelastične (D_{ve}) i plastične (D_p) komponente deformacije, koji su prikazani u tabeli 40.

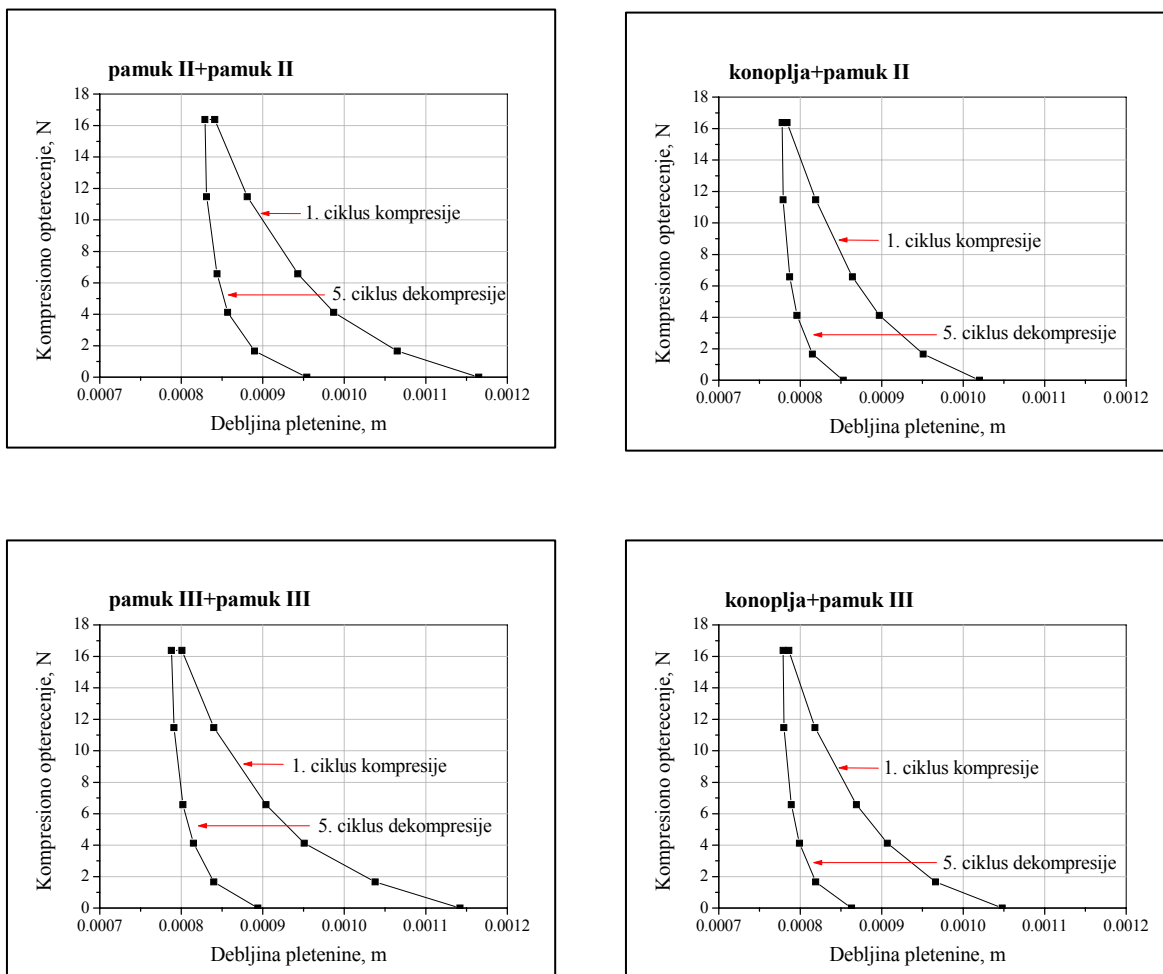
Tabela 40. Kompresiono ponašanje DL pletenina

Sirovinski sastav	WC^a , $\times 10^{-4}$ J (1+2+3+4+5)	WC_p^b , $\times 10^{-4}$ J (1-5)	WC_{ve}^c , $\times 10^{-4}$ J	D_p^d , %	D_{ve}^e , %
1 Konoplja + konoplja	16,93	9,55	7,38	56,41	43,59
2 Konoplja/konoplja	21,48	10,62	10,86	49,44	50,56
3 Viskoza + viskoza	23,72	13,60	10,12	57,33	42,67
4 Konoplja + viskoza	19,70	9,43	10,27	47,87	52,13
5 Pamuk I + pamuk I	32,42	16,00	16,42	49,35	50,65
6 Konoplja + pamuk I	25,33	12,50	12,83	49,35	50,65
7 Pamuk II + pamuk II	30,98	14,94	16,04	48,22	51,78
8 Konoplja + pamuk II	23,07	11,61	11,46	50,33	49,67
9 Pamuk III+ pamuk III	29,63	15,96	13,67	53,86	46,14
10 Konoplja + pamuk III	24,89	12,20	12,69	49,02	50,98

^{a)} Ukupan rad viskoelastične i plastične deformacije za pet ciklusa kompresije,

^{b)} rad plastične deformacije petociklične kompresije, ^{c)} rad viskoelastične deformacije petociklične kompresije, ^{d)} plastična deformacija, ^{e)} viskoelastična deformacija





Slika 63. Histerezis petociklične kompresije DL pletenina

Može se uočiti da su u okviru ispoljenih viskoelastičnih i plastičnih deformacija ispitivanih DL pletenina pri višecikličnoj kompresiji udeli komponenata deformacije približno jednaki. Nešto povećanu sklonost da se nepovratno deformišu ispoljile su pletenina od konoplje i viskozna pletenina. Kod pletenine od konoplje je to verovatno posledica male elastičnosti vlakana konoplje. Veruje se da je izrazita maljavost viskozne pređe uzrokovala da u okviru viskoelastičnih i plastičnih deformacija kod viskozne pletenine dođe do najvećih trajnih promena debljine. Naime, čini se da veliki broj vlakana u površinskom sloju viskozne pletenine, koja su podložna savijanju, lakše formiraju gušće agregate vlakana povećavajući unutrašnji nestišljivi sloj pletenine.

Prethodno razmatrana troslojna struktura pletenine i shodno tome, trofazni proces kompresije pletenine primenjivi su kada se radi o pleteninama izrađenim od štapel pređa. Međutim, kompresija pletenina izrađenih od filamentnih pređa se može opisati kao

dvofazni proces zbog odsustva štrčećih vlakana na površini pletenine [130]. Ovakav dvofazni proces podrazumeva trenje između monofilamenata u tačkama kontakata i lateralnu kompresiju samih monofilamenata. Kako su ispitivane DD pletenine proizvedene od končanih pređa u kojima je jedna štapel komponenta (pređa od konoplje) kombinovana sa filamentom/ima, pretpostavlja se da je proces kompresije uslovljen nastalim hibridnim strukturama složenih pređa. Rezultati kompresibilnosti DD pletenina prikazani u tabeli 41, su to i potvrdili.

Tabela 41. Kompresibilnost DD pletenina na bazi konoplje

Sastav pređe		Kompresibilnost, C_{pl} (%)				
		1. ciklus	2. ciklus	3. ciklus	4. ciklus	5. ciklus
Konoplja/ konoplja	N	42,2	22,9	22,4	20,8	19,6
Konoplja/ viskoza	N	44,7	23,8	22,0	19,9	19,1
	V	39,7	25,3	24,0	23,8	21,3
Konoplja/ tactel	N	48,8	26,7	21,3	18,9	18,5
	V	46,8	27,1	23,4	22,4	22,1
Konoplja/tactel/ tactel	N	48,2	28,6	24,4	22,4	20,7
	V	38,7	22,2	19,0	18,5	18,2

U okviru DD pletenina niže površinske gustine petlji (N varijante) pletenine izrađene od hibridnih pređa ispoljile su kompresibilnost veću u odnosu na pleteninu izrađenu od homogene končane pređe od konoplje. Najniža vrednost kompresibilnosti pletenine izrađene od končane konopljine pređe prouzrokovana je kompaktnom strukturom i malom maljavošću končane pređe. Pletenine izrađene od hibridnih pređa nisu mogle imati razvijene stišljive površinske slojeve, pa je očigledno da je uvođenje filamentne komponente u složenu pređu doprinelo povećanju kompresibilnosti pletenine potenciranjem međusobnog trenja i klizanja monofilamenata unutar hibridne pređe. Pri tome, viskozni filament sastavljen od gusto pakovanih glatkih monofilamenata u manjoj meri je doprineo povećanju mekoće konoplja/viskoza pletenine u odnosu na pletenine izrađene od hibridnih pređa u koje je uključen tactel. Visoko voluminozna tactel komponenta, koja je uključivala veliku količinu vazduha između „zgužvanih“ monofilamenata, značajno je doprinela povećanju kompresibilnosti pletenina.

Pletenine sa većom gustinom petlji (V varijante) izrađene od hibridnih pređa ispoljile su manju sposobnost kompresije u odnosu na odgovarajuće pletenine niže površinske gustine petlji (tabela 41). Povećanjem broja kontaktnih tačaka pređe smanjila se pokretljivost hibridne pređe i njenih komponentata. Pored toga, veći broj petlji na

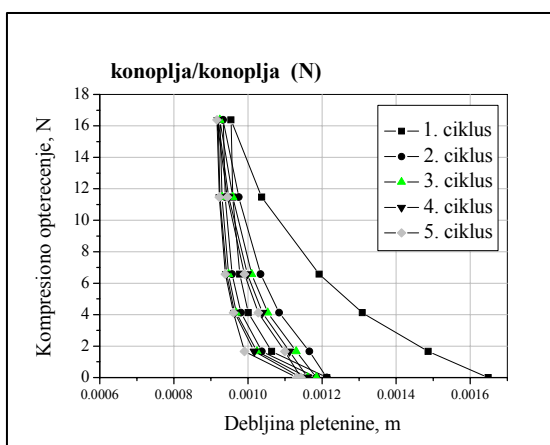
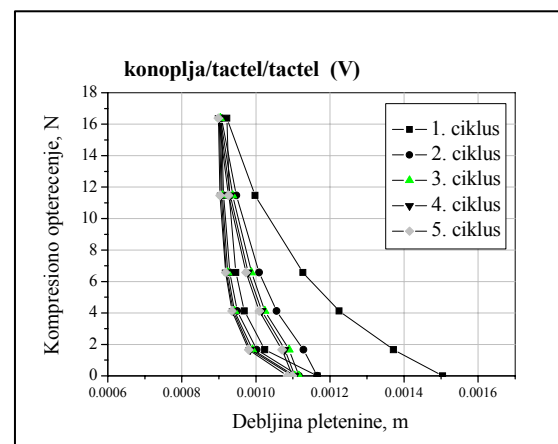
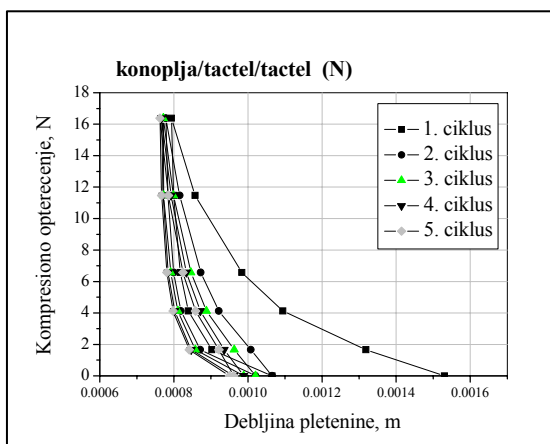
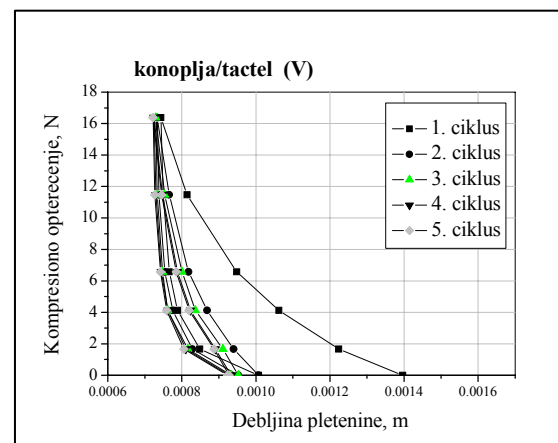
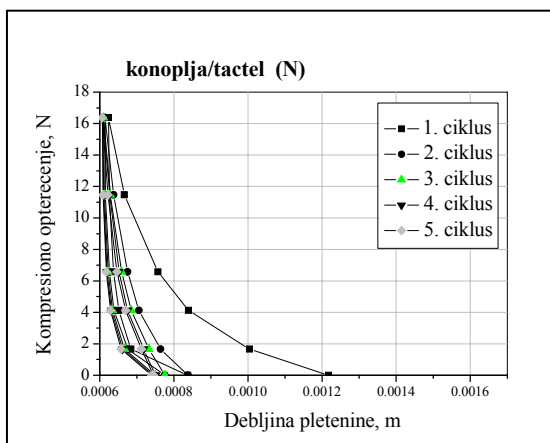
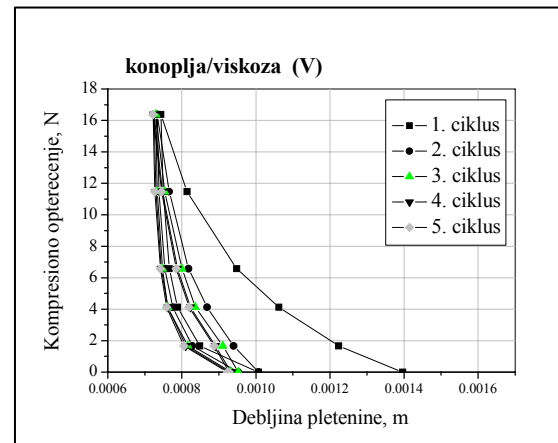
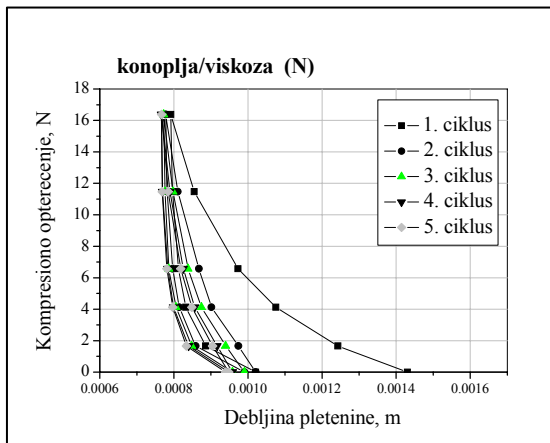
jedinici površine pletenine podrazumeva veću gustinu pakovanja vlakana i pređa u pletenini a time i smanjenje poroznosti, što takođe vodi ka smanjenju kompresibilnosti.

Kompresione krive petociklične kompresije DD pletenina, prikazane na slici 64, ilustruju činjenicu da se najveće promene debljine pletenine dešavaju u prvom ciklusu kompresije. Sa ponavljanjem ciklusa promene debljine su sve manje pa se kompresione krive četvrtog i petog ciklusa kompresije gotovo preklapaju, što ukazuje na smanjenje kompresibilnosti pletenina. Pored toga, sužavanje histerezisne petlje sa ponavljanjem ciklusa ukazuje da se tokom višeciklične kompresije pletenine pored elastične smanjuju i viskoelastična i plastična deformacija pletenine. Izračunate vrednosti kompresibilnosti DD pletenina za pet uzastopnih ciklusa kompresije (tabela 41) potvrdile su da se mekoća pletenina u izvesnoj meri gubi pri višecikličnom kompresionom opterećenju. Izračunavanjem površine histerezisne petlje za svaki ciklus kompresije potvrđeno je smanjenje viskoelastične i plastične deformacije pletenina sa svakim narednim ciklusom (tabela 42). Kako je površina histerezisa proporcionalna radu viskoelastične i plastične deformacije pletenine, izračunate vrednosti omogućuju međusobno poređenje DD pletenina u pogledu sposobnosti elastičnog oporavka.

Tabela 42. Viskoelastični i plastični rad kompresije DD pletenina na bazi konoplje

Sastav pređe		WC, $\times 10^{-4}$ J				
		1. ciklus	2. ciklus	3. ciklus	4. ciklus	5. ciklus
Konoplja/ konoplja	N	31,62	10,04	8,20	7,15	6,93
Konoplja/ viskoza	N	25,50	8,77	6,79	5,58	4,96
	V	26,00	10,60	8,79	8,19	7,15
Konoplja/ tactel	N	20,80	6,86	4,94	4,30	3,85
	V	27,40	8,75	6,85	5,67	5,65
Konoplja/tactel/ tactel	N	27,60	9,92	7,62	6,65	5,70
	V	26,30	10,50	7,76	7,40	6,90

Za razliku od ispitivanih DL pletenina kod kojih su se pletenine okarakterisane manjom kompresibilnošću odlikovale većom sposobnošću elastičnog oporavka, kod DD pletenina se ne uočavaju slične relacije. Naime, DD pletenina izrađena od homogene končane pređe od konoplje okarakterisana najmanjom kompresibilnošću ispoljila je i najmanju sposobnost elastičnog oporavka. Veća sposobnost elastičnog oporavka pletenina izrađenih od hibridnih pređa na bazi konoplje, uz njihovu veću kompresibilnost, navodi na zaključak da su kompleksne strukture složenih pređa nastale končanjem pređe od konoplje sa viskoznim ili tactel filamentom doprinele povećanju udela elastične deformacije pletenina.



Slika 64. Kompresione krive pri petocikličnoj kompresiji DD pletenina na bazi konoplje

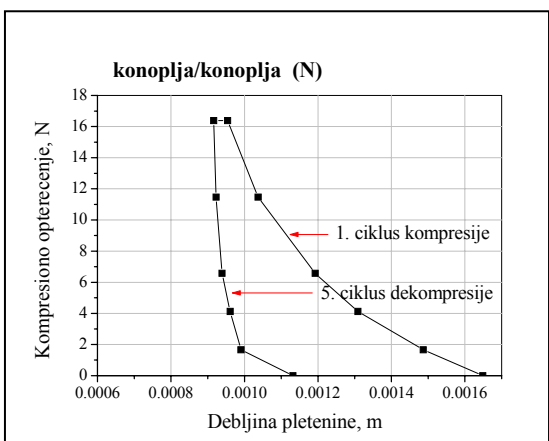
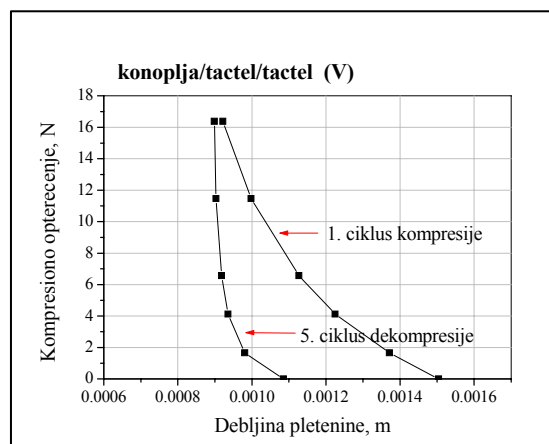
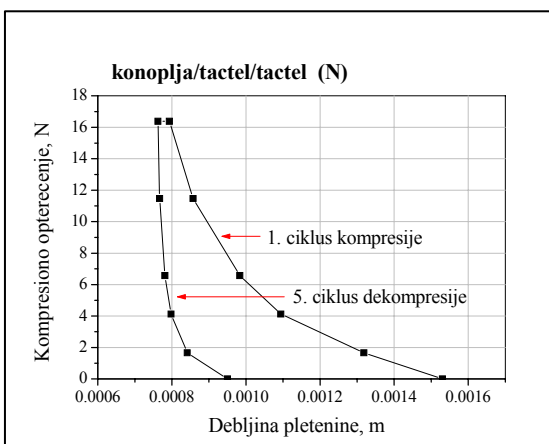
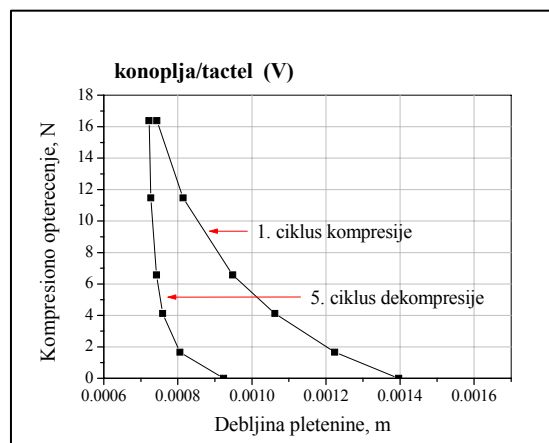
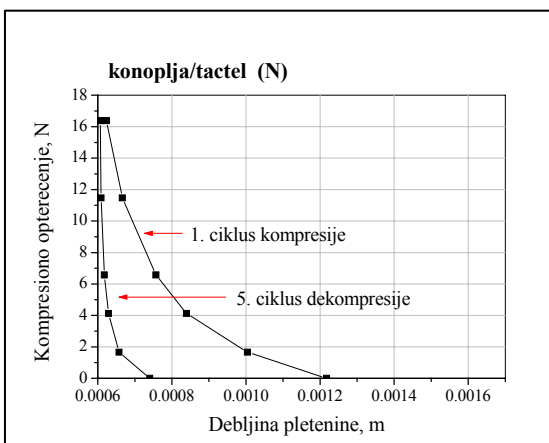
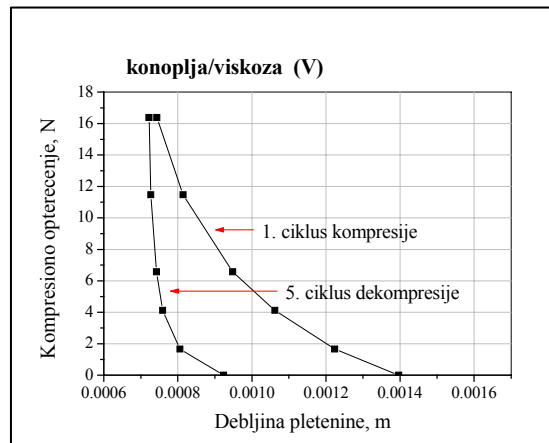
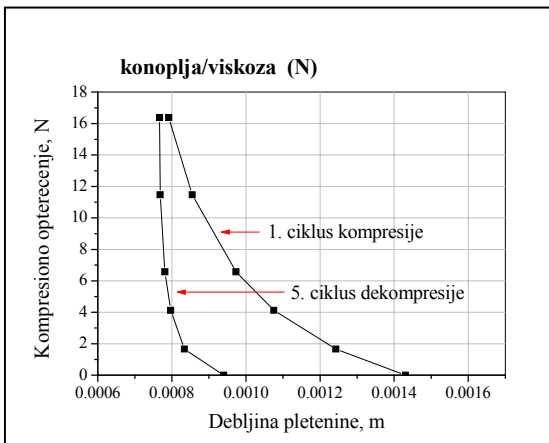
Komponente viskoelastične i plastične deformacije DD pletenina su određene uz pomoć specijalno konstruisanih dijagrama, kako je ranije opisano. Dijagrami prikazani na slici 65 poslužili su za izračunavanje rada nepovratne deformacije petociklične kompresije (WC_p) DD pletenina. Oduzimanjem ove vrednosti od ukupnog rada viskoelastične i plastične deformacije za pet ciklusa kompresije (WC) dobijen je rad viskoelastične deformacije petociklične kompresije (WC_{ve}) DD pletenina. Izračunate vrednosti ovih parametara kao i procentualni udeli viskoelastičnih i plastičnih komponenata deformacije date su u tabeli 43. Za razliku od DL pletenina kod kojih je uočena približno jednaka zastupljenost viskoelastične i plastične deformacije, kod DD pletenina se zapaža veće učešće komponente plastične deformacije (60%) u ukupnoj viskoelastičnoj i plastičnoj deformaciji pletenine. Činjenica da je isto procentualno učešće komponenata viskoelastične i plastične deformacije uočeno kod svih DD pletenina (N varijante) navodi na zaključak da je to posledica istih strukturnih karakteristika pletenina nego uticaja upotrebljenih pređa. Sa druge strane, čini se da je elastična deformacija pri kompresiji pletenina bila više uslovljena elastičnošću upotrebljenih vlakana. Mala elastičnost vlakana konoplje je verovatno osnovni razlog što se pletenina izrađena od homogene končane pređe od konoplje odlikovala najmanjom kompresibilnošću i najmanjom sposobnošću elastičnog oporavka.

Tabela 43. Kompresiono ponašanje DD pletenina na bazi konoplje

Sastav pređe		$WC^a)$, $\times 10^{-4}$ J (1+2+3+4+5)	$WC_p^b)$, $\times 10^{-4}$ J (1-5)	$WC_{ve}^c)$, $\times 10^{-4}$ J	$D_p^d)$, %	$D_{ve}^e)$, %
Konoplja/ konoplja	N	63,94	38,92	25,02	60,87	39,13
Konoplja/ viskoza	N	51,60	31,30	20,30	60,66	39,34
	V	60,73	33,60	27,13	55,33	44,67
Konoplja/ tactel	N	40,78	24,60	16,18	60,32	39,68
	V	54,32	32,30	22,02	59,46	40,54
Konoplja/tactel/ tactel	N	57,50	34,50	23,00	60,00	40,00
	V	58,86	31,50	27,36	53,52	46,48

a) Ukupan rad viskoelastične i plastične deformacije za pet ciklusa kompresije,

b) rad plastične deformacije petociklične kompresije, c) rad viskoelastične deformacije petociklične kompresije, d) plastična deformacija, e) viskoelastična deformacija



Slika 65. Histerezis petociklične kompresije DD pletenina na bazi konoplje

Kod DD pletenina veće površinske gustine petlji (V varijante) došlo je do izvesnog smanjenja udela plastične deformacije u odnosu na odgovarajuće N varijante pletenina, što je verovatno posledica slabije pokretljivosti strukturnih elemenata (vlakana, monofilamenata, hibridnih pređa) u pletenini.

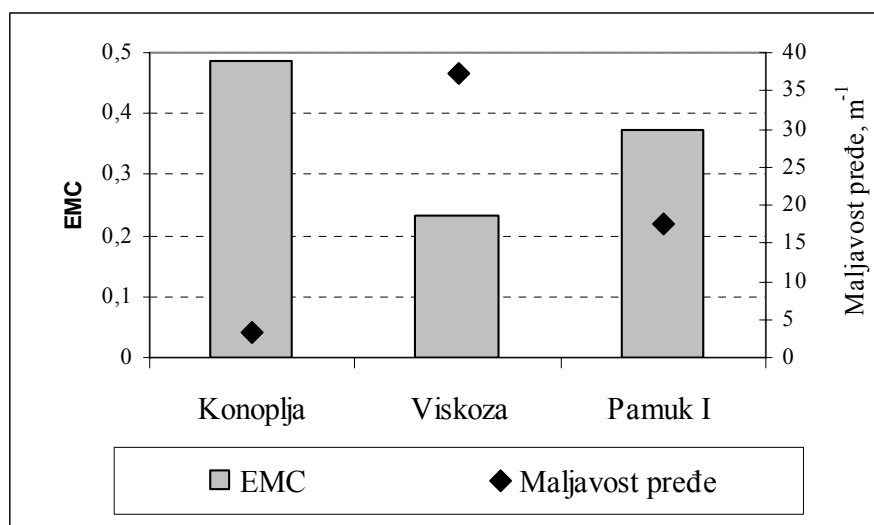
Poznato je da senzacija koju tekstilni materijal izaziva u kontaktu sa kožom može da varira u zavisnosti od izvesnih parametara, kao što su fiziološko stanje organizma, klimatski uslovi, sadržaj vlage u materijalu, površina ili intenzitet kontakta materijala i kože. Ispitivanje kompresionog ponašanja materijala pri malim opterećenjima daje mogućnost ocene njegovog opipa u funkciji komfora. Naime, u praksi je poznato da tekstilni materijali mogu da ispolje različito kompresiono ponašanje u zavisnosti od intenziteta kompresione sile [232]. U tabeli 44 su prikazani parametri koji karakterišu kompresiono ponašanje DD pletenina na bazi konoplje pri niskim opterećenjima. U okviru DL pletenina koje su se međusobno razlikovale po sirovinskom sastavu (1, 3-6), najveće vrednosti rada kompresije po jedinici površine pletenine (WC) i relativne kompresibilnosti (EMC) ispoljila je pletenina od konoplje, praćena pamučnom i viskoznom pleteninom. Vrednosti ovih parametara pletenina kod kojih je pređa od konoplje dublirana sa pamučnom ili viskoznom pređom kretale su se između vrednosti parametara odgovarajućih pletenina homogenog sirovinskog sastava. Za dobijene rezultate se ne može reći da su očekivani s obzirom na opšte prihvaćenu činjenicu da površinski slojevi tekstilnog materijala značajno doprinose njegovoj kompresibilnosti.

Tabela 44. Kompresiono ponašanje DL pletenina pri niskim opterećenjima

Sirovinski sastav	WC (N·m m ⁻²)	EMC	RC (%)	LC
1 Konoplja + konoplja	0,608	0,488	32,29	0,280
2 Konoplja/konoplja	0,505	0,462	31,48	0,310
3 Viskoza + viskoza	0,230	0,232	44,05	0,347
4 Konoplja + viskoza	0,349	0,308	37,94	0,382
5 Pamuk I + pamuk I	0,476	0,374	37,71	0,330
6 Konoplja + pamuk I	0,485	0,424	40,29	0,313
7 Pamuk II + pamuk II	0,482	0,370	36,65	0,332
8 Konoplja + pamuk II	0,456	0,429	39,78	0,283
9 Pamuk III+ pamukIII	0,497	0,377	39,60	0,329
10 Konoplja + pamuk III	0,498	0,463	36,76	0,274

Imajući u vidu nisku maljavost pređe od konoplje i shodno tome, relativno glatku površinu pletenine od konoplje bilo bi očekivana i njena manja kompresibilnost. Takođe, viskozna

pletenina je okarakterisana najmanjom relativnom kompresibilnošću uprkos maljavnoj viskoznoj pređi i površinskom sloju bogatom vlaknima, kako je ilustrovano na slici 66.



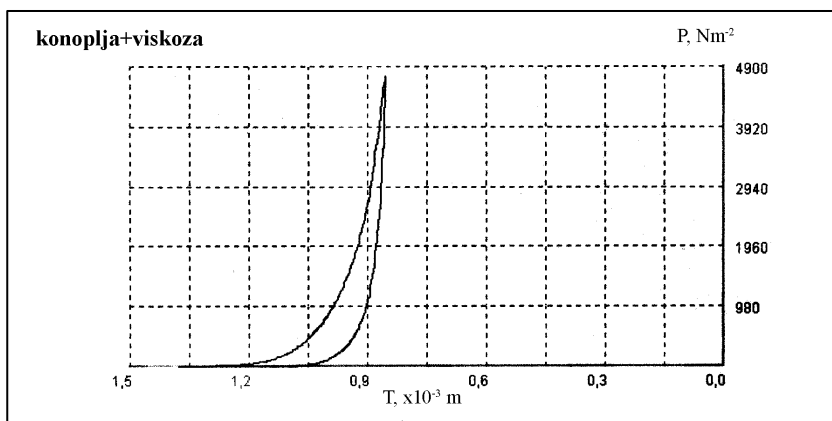
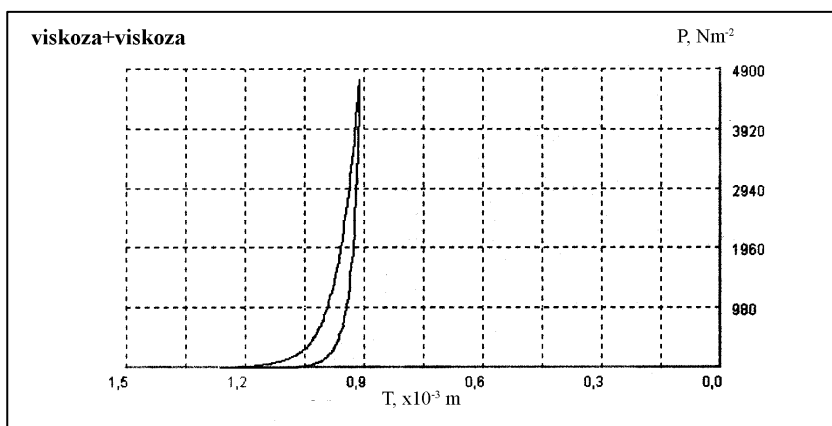
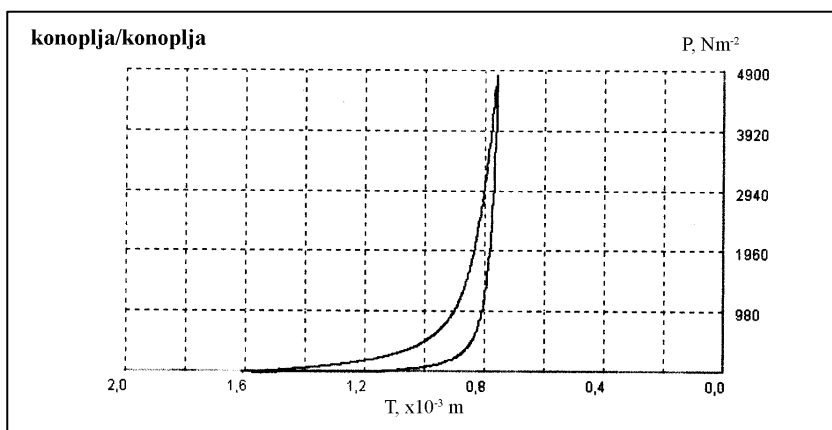
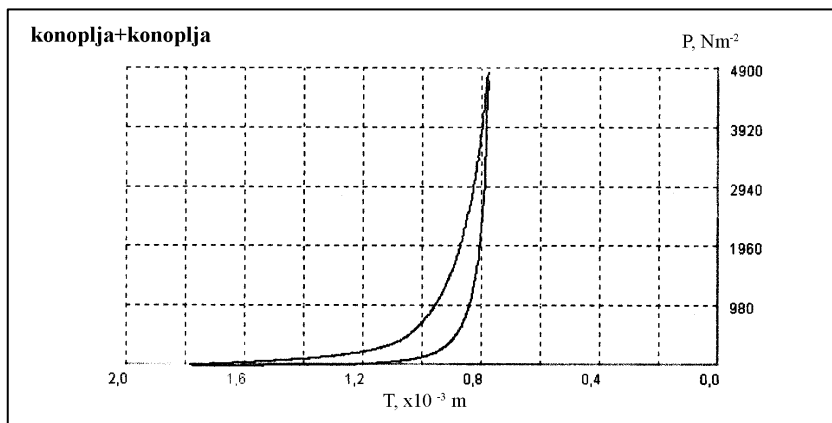
Slika 66. Relativna kompresibilnost (EMC) DL pletenina i maljavost upotrebljenih pređa

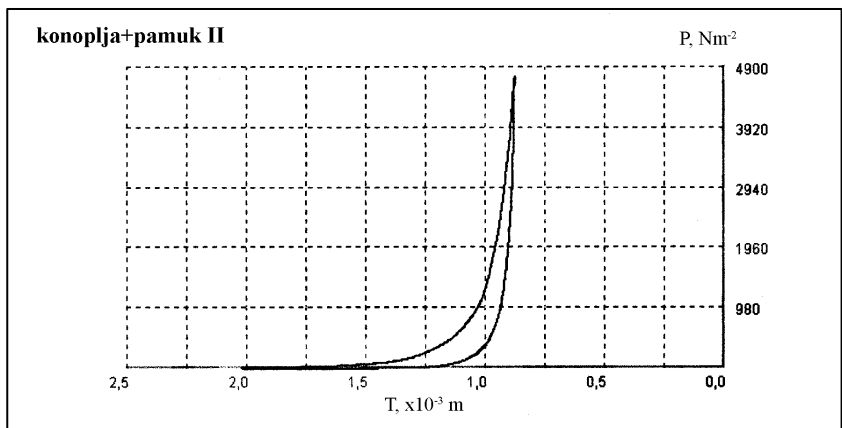
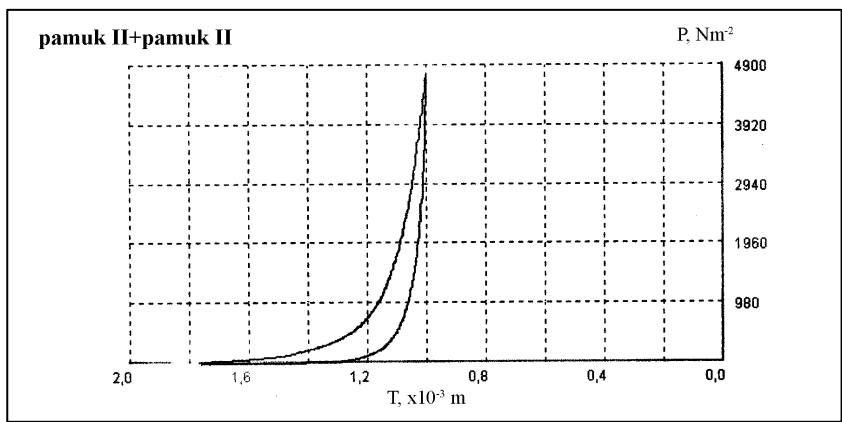
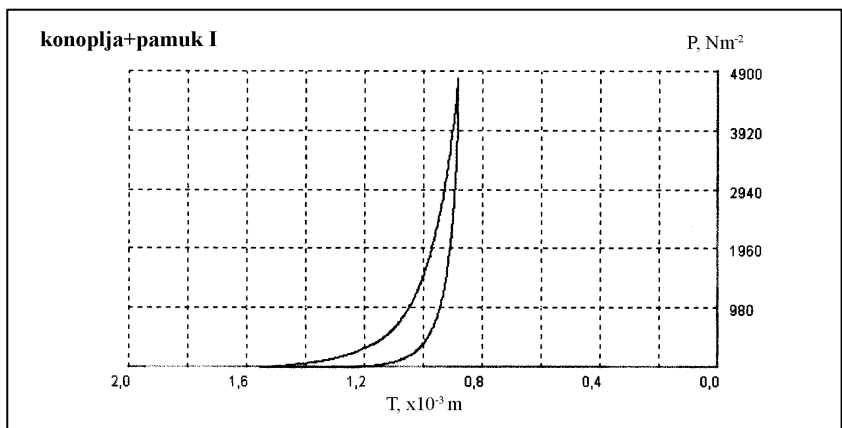
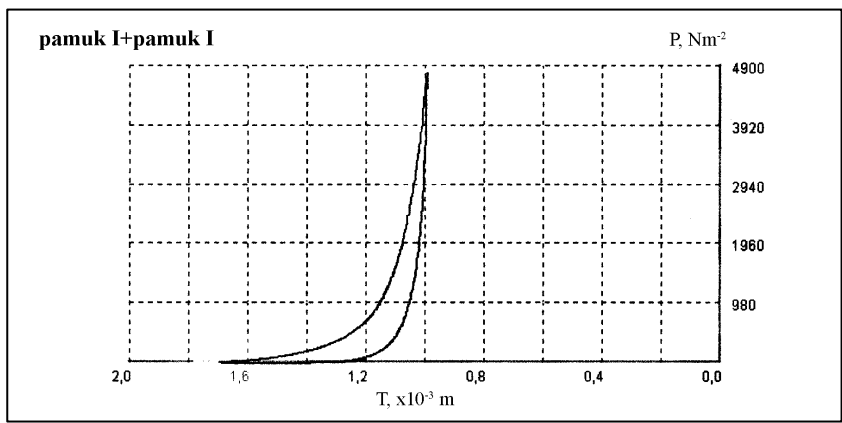
Prema ranije opisanom trofaznom procesu kompresije tekstilnog materijala, prvo se sabijaju štrčeća vlakana da bi u drugoj fazi, kada kompresione sile nadjačaju frikционе sile između vlakana i pređa, došlo do fundamentalne promene u procesu kompresije. Posle savijanja štrčećih vlakana u drugoj fazi dolazi do „prave“ kompresije kada vlakna međusobno klize i premeštaju se a debljina materijala se nelinearno redukuje sa porastom kompresionog opterećenja. U slučaju idealno elastičnog tekstilnog materijala debljina bi se linearno smanjivala sa opterećenjem i parametar koji karakteriše linearnost kompresione krive (LC) imao bi vrednost 1. „Glatka“ pletenina od konoplje je okarakterisana najnižom vrednošću LC (tabela 44), što ukazuje na najnelinearniji karakter kompresije ove pletenine. Otuda proizilazi da, usled odsustva površinskih vlakana, pod dejstvom kompresionih sila dolazi do klizanja vlakana u unutrašnjem sloju pletenine, što doprinosi povećanju vrednosti relativne kompresibilnosti pletenine od konoplje. Pored toga, čini se da rastresita struktura OE pamučne pređe omogućava lakše klizanje i premeštanje vlakana unutrašnjeg sloja pletenine čime se povećava vrednost parametra EMC.

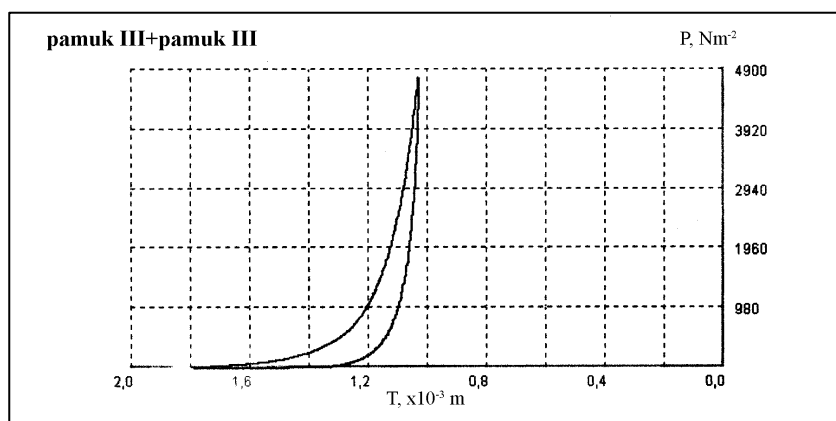
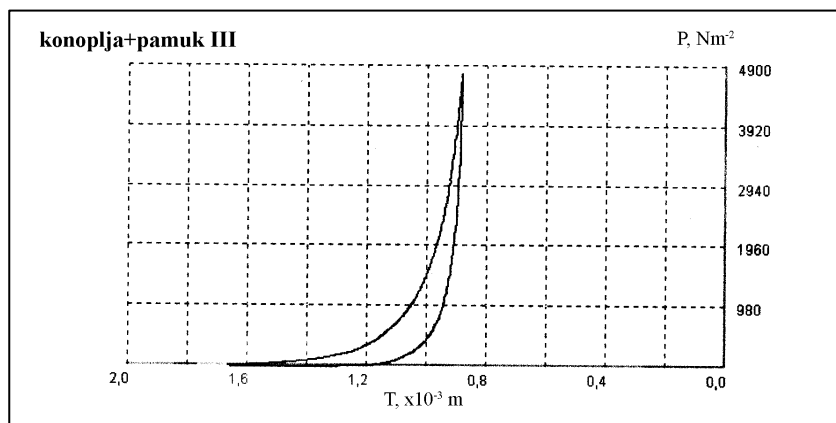
Iako olakšano međusobno klizanje i premeštanje vlakana pri kompresiji doprinosi kompresibilnosti materijala, što je od značaja sa aspekta taktilnog komfora, treba imati u vidu da su ovi procesi u određenoj meri nepovratnog karaktera. Permanentne promene debljine tekstilnog materijala utiču ne samo na očuvanje njegove „mekoće“ već i na transportna svojstva značajna sa aspekta termofiziološkog komfora. Histerezis koji su

ispoljile ispitivane pletenine potvrđuje prisustvo trajne deformacije pri kompresiji pletenina (slika 67). Kako je sposobnost elastičnog oporavka materijala obrnuto proporcionalna površini histerezisne petlje, manja površina histerezisa upućuje na bolji elastični oporavak pletenine. Kvantitativna ocena sposobnosti relaksacije pletenina omogućena je parametrom – elastični oporavak (RC) datim u tabeli 44, pri čemu veća vrednost parametra ukazuje na veću sposobnost elastičnog oporavka pletenine. Zahvaljujući velikoj maljavosti površine viskozna pletenina je ispoljila je najbolji elastični oporavak pretrpevši najmanje trajne promene u debljini. Naime, veliki broj štrčćih viskoznih vlakana je pružajući otpor savijanju doprineo efektu „opruge“. Na taj način je u određenoj meri kompenzovana smanjena kompresibilnost viskozne pletenine. Sa druge strane, značajno redukovana sposobnost elastičnog oporavka pletenine od konoplje dovodi u pitanje njenu prednost iskazanu kroz parametre WC i EMC.

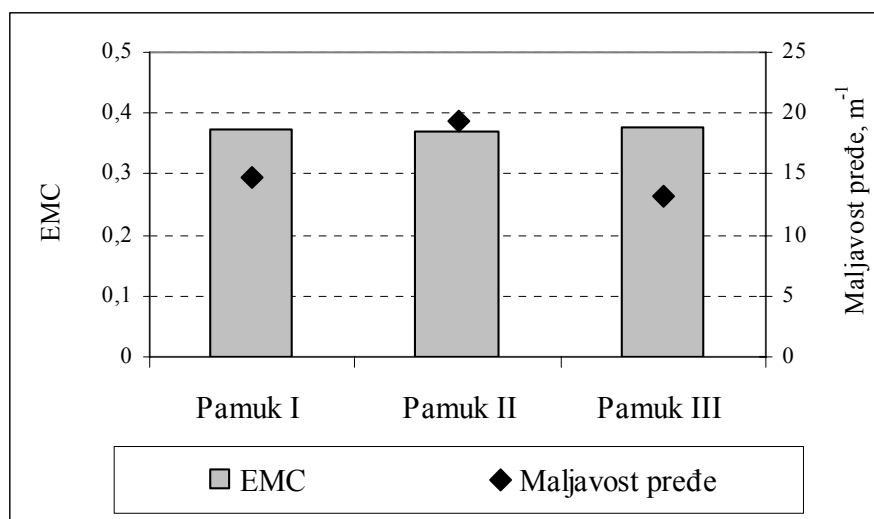
Iako su rezultati ispitivanja kompresije pletenina pri niskim opterećenjima ukazali na razlike u kompresionom ponašanju pletenina u poređenju sa kompresijom pri visokim opterećenjima, pokazalo se da površinska svojstva pređa svakako utiču na kompresiona svojstva pletenina, kako na sposobnost kompresije tako i na sposobnost elastičnog oporavka materijala. Maljavost končane pređe od konoplje nije značajno promenjena u odnosu na jednožičnu komponentu ali je svakako povećana kompaktnost jezgra pređe. Uprkos tome, pletenine izrađene od dublirane i končane pređe od konoplje (tabela 44, pletenine 1 i 2) ispoljile su zanemarljive razlike u kompresionom ponašanju ($P(0,49) > \alpha(0,05)$). Pletenine izrađene od različito upredenih pamučnih pređa, koje su se međusobno razlikovale i po maljavosti površine, ispoljile su gotovo identičnu relativnu kompresibilnost EMC (tabela 44, pletenine 5, 7 i 9), kako je ilustrovano na slici 68. Ovo navodi na zaključak da je kompresibilnost pletenina izrađenih od različito končanih pamučnih pređa pri malim opterećenjima prvenstveno bila određena njihovom strukturom a ne strukturom komponentnih pređa. Takođe, gotovo identične vrednosti linearnosti kompresione krive i bliske vrednosti elastičnog oporavka ovih pletenina ukazuju na činjenicu da karakter deformacije pletenina nije bio uslovljen geometrijom jezgra i površine pređe. ANOVA statistika je pokazala da su ispoljene razlike u vrednostima parametra RC slučajnog karaktera ($P(0,328) > \alpha(0,05)$). Slični zaključci se mogu izvesti i na osnovu parametara kompresionog ponašanja pletenina izrađenih od dubliranih pređa u kojima je pređa od konoplje kombinovana sa različito upredenim pamučnim pređama (tabela 44, pletenine 6, 8 i 10), što je i potvrđeno analizom varijanse ($P(0,598) > \alpha(0,05)$).







Slika 67. Kompresione krive DL pletenina pri malim kompresionim opterećenjima (KES – FB3)



Slika 68. Relativna kompresibilnost (EMC) pamučnih DL pletenina i maljavost različito upredenih pamučnih pređa

7.5.2 Istezanje pletenina

Pored toga što su podložnije kompresiji, pletenine se u poređenju sa tkaninama odlikuju i većom elastičnošću i sposobnošću relaksacije. Zbog toga pletenine značajno doprinose komforu kroz povećanu elastičnost odeće i smanjen pritisak na kožu, čime se doprinosi slobodi pokreta čovekovog tela. Naime, čovekova koža se zavisno od intenziteta aktivnosti rasteže u manjoj ili većoj meri, što zahteva komotnost i klizavost odeće i elastičnost tekstilnog materijala [193]. Sposobnost istezanja pletenina je rezultat kompleksne interakcije mnogih faktora, kao što su svojstva vlakana, geometrija pređe i pletenine. Pored činjenice da je elastičnost materijala u tesnoj vezi sa udobnošću nošenja odeće, sposobnost relaksacije aksijalne deformacije istezanja važna je i sa aspekta zadržavanja početnih dimenzija materijala, kako bi se što manje uticalo na promene toplotnog komfora. Pri tome, stepen istezanja kao i relaksacija pletenine uslovljeni su distribucijom napona u pređi i pletenini. S obzirom da su se ispitivane DL pletenine odlikovale gotovo identičnim strukturnim karakteristikama, testiranje aksijalne deformacije istezanja ovih pletenina na KES-FB1 uređaju omogućilo je analizu uticaja sirovinskog sastava i strukture pređa na elastičnost i relaksaciju pletenina. U tabeli 45 su dati parametri koji definišu ova svojstva: rad istezanja (WT) koji odražava pokretljivost odevnog predmeta pri deformaciji, istegljivost (EMT) koja definiše izduženje pri dvoosnom istezanju, relaksacija (RT) koja predstavlja elastični oporavak deformacije istezanja i linearnost krive istezanja (LT). S obzirom da je istezanje pletenina ispitivano u horizontalnom i u vertikalnom pravcu, odnosno u pravcu redova i u pravcu nizova, u tabeli 45 su prikazane vrednosti parametara aksijalne deformacije pletenina pri dejstvu sile u horizontalnom (H) i vertikalnom (V) pravcu kao i srednje vrednosti ovih parametara (Xsr). U okviru ispitivanih DL pletenina izrađenih od pređa uporedivih karakteristika (pletenine 1, 3-6) parametri WT i EMT ukazuju na razlike u sposobnosti deformacije pletenina pri istezanju. Budući da su se pletenine odlikovale maksimalno mogućim sličnim strukturnim svojstvima, pretpostavlja se da je mobilnost pređa prilikom istezanja pletenina bila uslovljena sopstvenom sposobnošću aksijalne deformacije istezanja. Zbog toga se razlike u izduženju pletenina mogu pripisati različitoj sposobnosti istezanja viskozne, pamučne i pređe od konoplje. Naime, u okviru poglavlja o relaksacionim svojstvima pređa ukazano je na različitu sposobnost istezanja viskozne, pamučne i pređe od konoplje (tabela 12), što je u najvećoj meri posledica različitog izduženja viskoznih, pamučnih i vlakana konoplje.

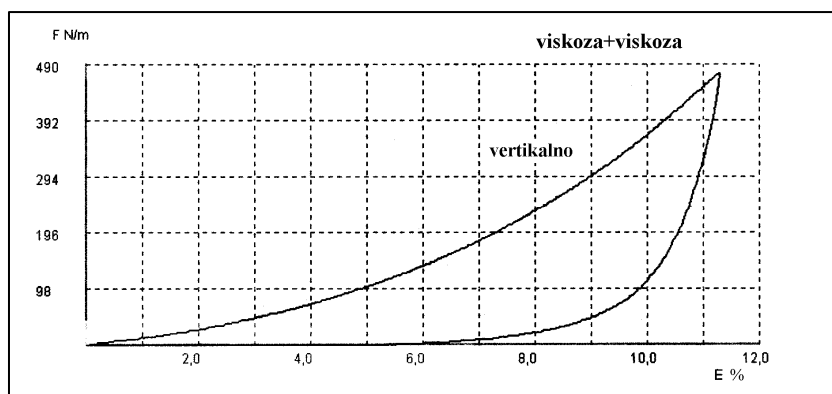
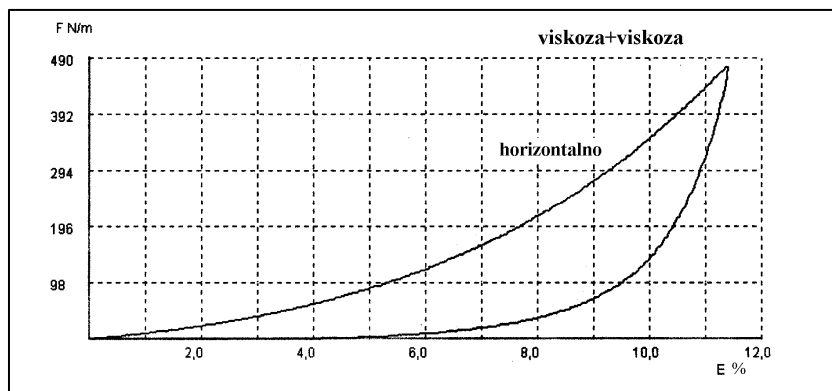
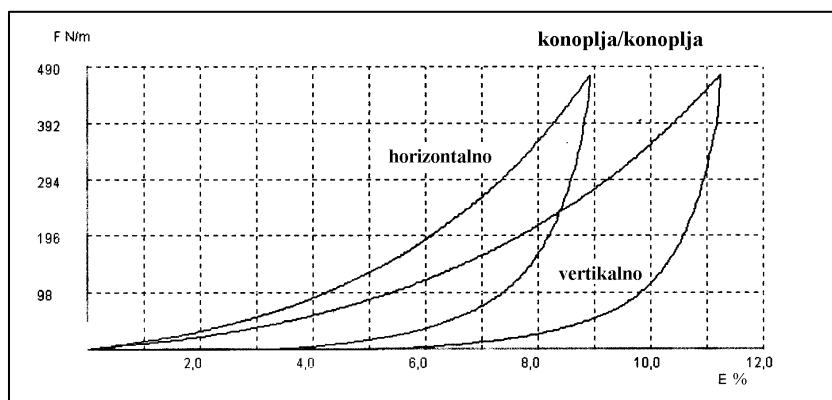
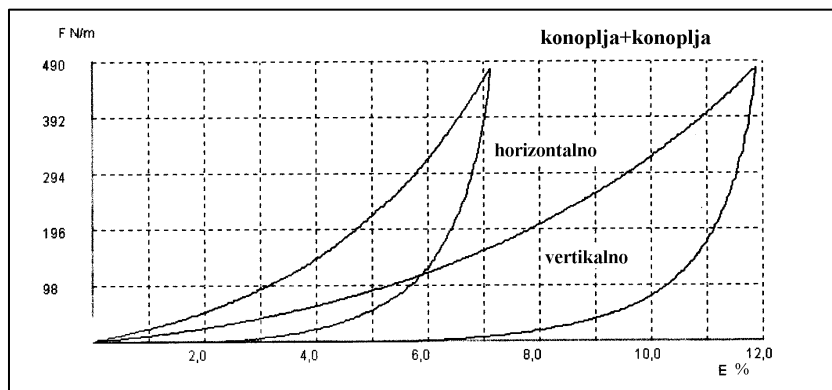
Tabela 45. Istezanje DL pletenina pri niskim opterećenjima

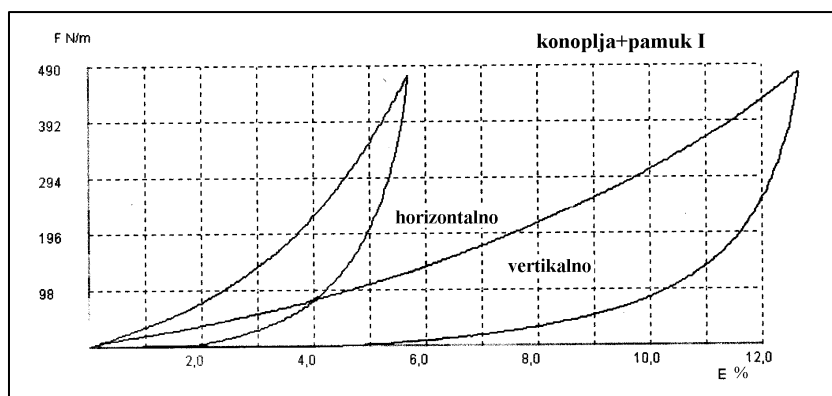
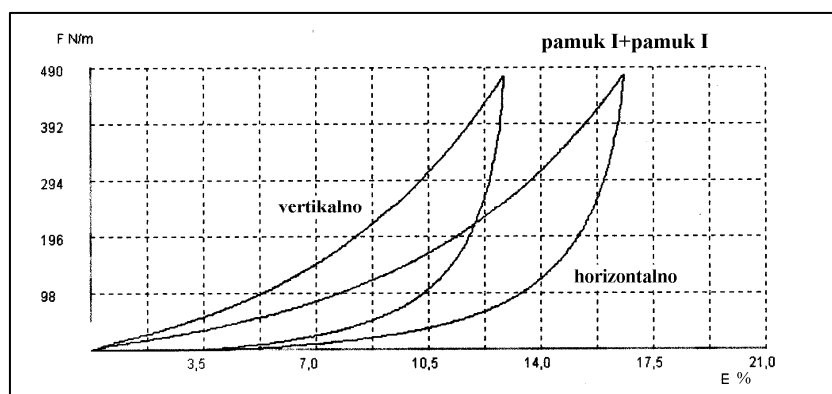
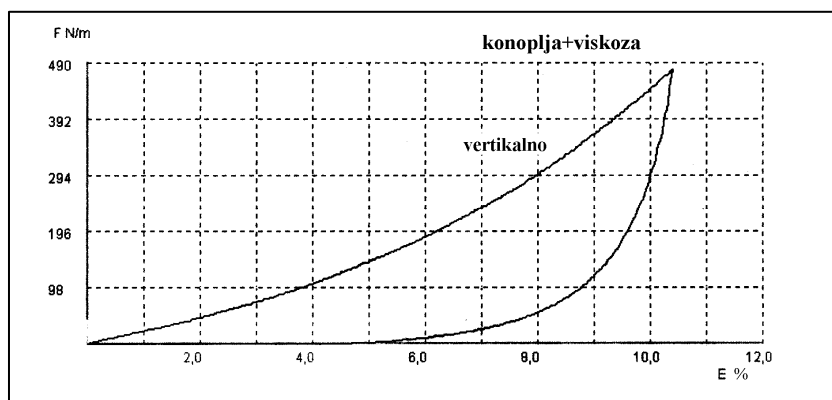
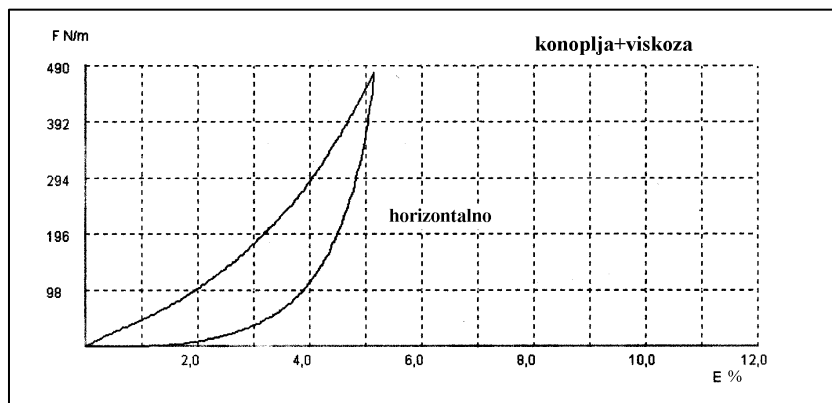
Sirovinski sastav		WT (N·m m ⁻²)			EMT (%)			RT (%)			LT		
		H	V	Xsr	H	V	Xsr	H	V	Xsr	H	V	Xsr
1	Konoplja + konoplja	19,11	11,47	15,29	11,90	7,12	9,51	25,90	37,61	31,75	0,655	0,657	0,656
2	Konoplja/konoplja	17,15	13,62	15,39	11,20	8,93	10,07	26,29	34,89	30,59	0,625	0,623	0,624
3	Viskoza + viskoza	17,74	17,72	17,73	11,40	11,30	11,35	33,43	24,61	29,02	0,635	0,676	0,656
4	Konoplja + viskoza	9,12	19,11	14,12	5,15	10,40	7,78	41,94	26,15	34,04	0,723	0,750	0,736
5	Pamuk I + pamuk I	21,76	25,68	23,72	12,90	16,60	14,75	34,68	37,86	36,27	0,688	0,631	0,660
6	Konoplja + pamuk I	23,23	9,41	16,32	12,70	5,69	9,19	30,66	44,79	37,72	0,746	0,675	0,711
7	Pamuk II + pamuk II	23,72	19,80	21,76	13,10	12,40	12,75	33,68	41,58	37,63	0,739	0,652	0,695
8	Konoplja + pamuk II	21,07	11,86	16,46	11,80	7,20	9,50	30,23	44,63	37,43	0,729	0,672	0,701
9	Pamuk III+ pamuk III	22,44	29,30	25,87	14,20	19,40	16,80	34,72	36,52	35,62	0,645	0,616	0,631
10	Konoplja + pamuk III	20,19	19,31	19,75	12,40	12,20	12,30	31,14	36,55	33,85	0,665	0,646	0,655

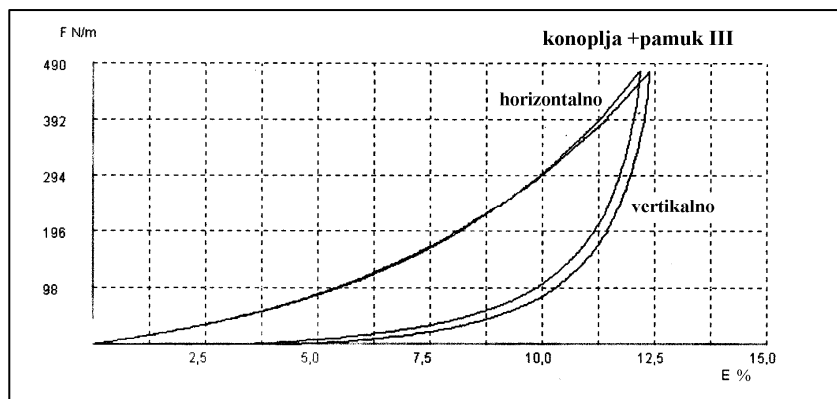
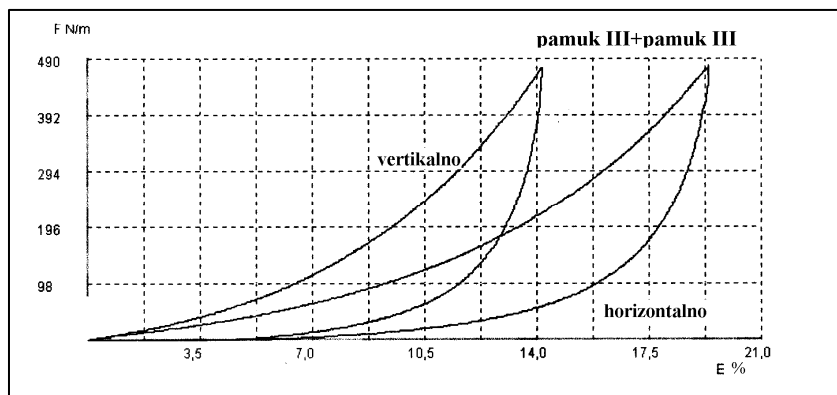
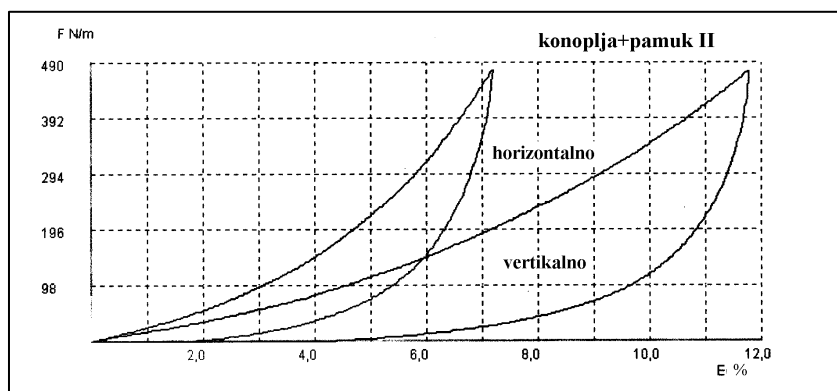
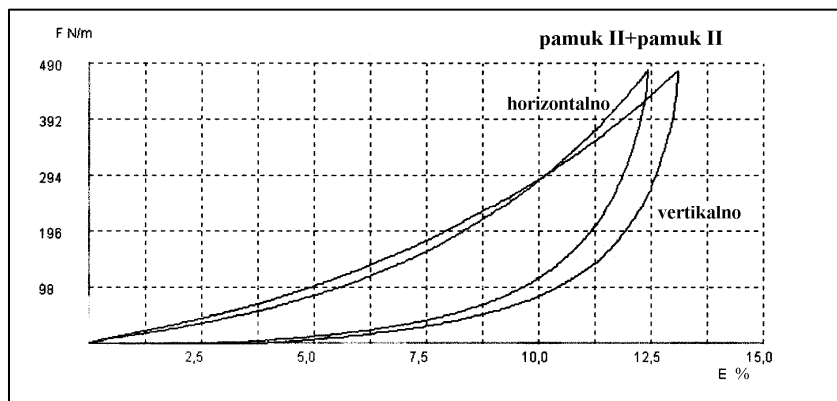
H – horizontalno; V – vertikalno; Xsr – srednja vrednost

Kako je istezanje pletenina vršeno u uslovima niskih opterećenja, deformaciono ponašanje pletenina dovedeno je u vezu sa elastičnošću i relaksacijom pređa pri 25 % prekidnog opterećenja. Najveće izduženje ispoljila je pamučna pletenina praćena viskoznom i pleteninom od konoplje (tabela 45). Isti redosled u pogledu relativnog izduženja ispoljile su pamučna, viskozna i pređa od konoplje pri 25 % prekidnog opterećenja (tabela 18). Vrednosti izduženja pletenina izrađenih od dubliranih pređa kod kojih je pređa od konoplje kombinovana sa viskoznom ili pamučnom pređom, upućuju na zaključak da je pređa od konoplje predstavljala limitirajući faktor izduženja ovih pletenina. Najvećoj sposobnosti istezanja pamučne pletenine je verovatno u izvesnoj meri doprinela nešto smanjena površinska gustina ove pletenine (tabela 9), čime je omogućena lakša pokretljivost pređa.

Krive izduženja DL pletenina prikazane na slici 69 potvrdile su očekivanu nelinearnost deformacije, kao i pojavu zaostalih deformacija indikovano histerezisom. U slučaju idealno elastičnog materijala parametar koji definiše linearnost krive istezanja (LT) bio bi jednak 1. Odstupanje parametra LT od maksimalne vrednosti ukazuje na veliku istegljivost materijala već u početnoj fazi naprezanja, što se se smatra prednošću sa aspekta komfora odevnog predmeta [265]. DL pletenine koje su se međusobno razlikovale po sirovinskom sastavu ispoljile su približne vrednosti parametra LT (tabela 45, pletenine 1, 3 i 5). Nešto više vrednosti parametra LT za konoplja/viskoza i konoplja/pamuk pleteninu u odnosu na pletenine homogenog sirovinskog sastava upućuju na zaključak da je kombinovanjem različitih pređa u pletenini došlo do izvesnog „ometanja“ deformacionih procesa. Relaksacija izduženja pletenina, odnosno elastični oporavak po prestanku dejstva aksijalne sile na pleteninu može se oceniti na osnovu površine histerezisne petlje koju formiraju krive istezanja i relaksacije. Energija koju pletenina apsorbuje pri naprezanju u određenoj meri se oslobađa pri relaksaciji. Preostali deo predstavlja energiju utrošenu na zaostalu deformaciju materijala. Elastični oporavak aksijalno deformisanog materijala pri istezanju predstavljen parametrom RT je kvantitativna mera oslobođene energije pri relaksaciji. U tom smislu, veća vrednost parametra RT podrazumeva veću sposobnost elastičnog oporavka materijala. U okviru DL pletenina homogenog sirovinskog sastava izrađenih od pređa uporedivih karakteristika, pamučna pletenina je okarakterisana najvećom vrednošću parametra RT, dok je viskozna pletenina ispoljila najmanju sposobnost relaksacije (tabela 45, pletenine 1, 3 i 5).







Slika 69. Krive istezanja DL pletenina

Kao posledica smanjene istegljivosti pletenine od konoplje, ona je ispoljila nešto bolji elastični oporavak u poređenju sa viskoznom pleteninom, što je u skladu sa rezultatima drugih autora [266]. Međutim, najistegljivija pamučna pletenina ispoljila je i najveću sposobnost relaksacije aksijalne deformacije istezanja. Objašnjenje možda treba tražiti u činjenici da se ova pletenina odlikovala nešto manjom površinskom gustinom petlji (tabela 8). Naime, manji broj vezivnih tačaka pređa po jedinici površine pletenine verovatno je omogućio povratni karakter klizanja pređa pri istezanju pamučne pletenine. Otežana deformacija pletenina pri istezanju izrađenih od dubliranih različitih pređa, reflektovana kroz niže vrednosti parametara WT i EMT i više vrednosti parametra LT, prouzrokovala je povećanje njihove sposobnosti elastičnog oporavka (tabela 45, pletenine 4 i 6).

Parametri istezanja DL pletenina izrađenih od dubliranih pređa od konoplje i od končane konopljinje pređe ukazuju na neznatne razlike u njihovom ponašanju pri istezanju pri niskim opterećenjima (tabela 45, pletenine 1 i 2). Pletenina izrađena od končane pređe od konoplje je ispoljila nešto veću sposobnost istezanja i nešto manju linearnost krive istezanja. Međutim, zbog nešto smanjene sposobnosti relaksacije ove pletenine ne može joj se pripisati prednost sa aspekta komfora. Drugim rečima, u pogledu sposobnosti aksijalne deformacije pletenine od konoplje, može se reći da operacija končanja nije imala presudni uticaj. Sličan zaključak se može izvesti i kada se radi o intenzitetu upredanja pređa. Naime, iako su se različito upredene pamučne pređe odlikovale različitom sposobnošću izduženja (tabela 18), na osnovu parametara koji karakterišu aksijalnu deformaciju pletenina nije mogla biti uočena značajna korelacija strukture pamučnih pređa i deformacionog ponašanja pletenina (tabela 45, pletenine 5, 7 i 8). Naime, pletenina izrađena od najupredene pamučne pređe, okarakterisane najmanjim relativnim izduženjem (tabela 18), ispoljila je najveću sposobnost istezanja. Minimalnim istezanjem se odlikovala pletenina izrađena od pamučne pređe srednje upredenosti. U pogledu relaksacije aksijalne deformacije pamučne pletenine su ispoljile približne vrednosti elastičnog oporavka. Ranije pomenuto smanjenje izduženja pletenina izrađenih od dubliranih različitih pređa (pletenina 4 i 6) uočena je i kod pletenina 8 i 10. Na osnovu izloženog može se zaključiti da je aksijalna deformacija pletenina u većoj meri uslovljena sirovinskim sastavom pređa nego njihovom strukturom.

7.6 Površinska svojstva pletenina

Površinska svojstva tekstilnih materijala su od izuzetnog značaja sa aspekta taktilnog komfora, posebno za materijale koji su u direktnom kontaktu sa kožom. Poznato je da je čulni doživljaj materijala uslovljen mehaničkim nadražajima usled kompresionih sila i sila trenja i u zavisnosti od izazvanih nadražaja materijal se percipira kao mek, hrapav, gladak i slično. Pored toga, karakter površine materijala određuje i čovekov doživljaj toplotnog komfora, budući da geometrija površine materijala, koja je u neposrednom kontaktu sa kožom, može da utiče na formiranje toplotnog fluksa kroz materijal uslovljavajući njegov „termički“ (toplo/hladno) opip. Treba pomenuti da, pored frikcionih svojstava tekstilnih materijala, njihova debljina i kompresibilnost takođe predstavljaju relevantne parametre opipa.

Objektivna evaluacija taktilnih svojstava ispitivanih DL pletenina izvršena je pomoću KES-FB4 uređaja koji uspešno reprodukuje trenje pri dodiru tekstilnog materijala prstima. Ovaj uređaj definiše površinska svojstva tekstilnih materijala parametrima kao što su MIU koji predstavlja srednju vrednost statičkog i dinamičkog koeficijenta trenja između tekstilnog materijala i čelika, srednje odstupanje ovog parametra (MMD) i geometrijska hrapavost (SMD). Pri tome, treba reći da parametar SMD predstavlja pouzdanu indikaciju neravnomernosti površine materijala uzrokovanu njegovom strukturom kao i strukturom komponentne pređe. Međutim, metoda ispitivanja onemogućuje evaluaciju tekstilnih površina u pogledu njihove maljavosti [191]. Rezultati površinskih svojstava DL pletenina iskazani kroz opisane parametre prikazani su u tabeli 46. U tabeli su date vrednosti parametara površine pletenina u horizontalnom (H) i vertikalnom (V) pravcu kao i srednje vrednosti ovih parametara (X_{sr}). Poznato je da je koeficijent trenja površine tekstilnog materijala uslovljen svojstvima upotrebljenih vlakana, strukturom pređe, geometrijom materijala i primenjenim postupcima dorade [265, 267]. Eksperimentalni materijal je omogućio ocenu uticaja vrste vlakana i strukture pređe na koeficijent trenja pletenina. Koeficijent trenja gotovo svih ispitivanih DL pletenina bio je veći u horizontalnom pravcu u odnosu na vrednosti MIU u vertikalnom pravcu (tabela 46). Izuzetak predstavlja konoplja/pamuk III pletenina. Dijagrami na slici 70 dodatno ilustruju amplitudu koeficijenta trenja na dužini uzorka od 2 cm, pri čemu siva linija predstavlja pravac nizova (V) a crna linija pravac redova (H) pletenine.

Tabela 46. Površinska svojstva DL pletenina

Sirovinski sastav		MIU			MMD			SMD (μm)		
		H	V	Xsr	H	V	Xsr	H	V	Xsr
1	Konoplja + konoplja	0,255	0,192	0,224	0,0469	0,0137	0,0303	27,956	5,501	16,728
2	Konoplja/konoplja	0,232	0,189	0,211	0,0336	0,0145	0,0240	27,976	7,404	17,690
3	Viskoza + viskoza	0,215	0,194	0,205	0,0417	0,0175	0,0296	28,021	12,341	20,181
4	Konoplja + viskoza	0,200	0,184	0,192	0,0531	0,0228	0,0379	31,494	8,020	19,757
5	Pamuk I + pamuk I	0,230	0,216	0,223	0,0503	0,0108	0,0305	23,763	6,484	15,124
6	Konoplja + pamuk I	0,213	0,181	0,197	0,0551	0,0162	0,0357	31,140	6,237	18,688
7	Pamuk II + pamuk II	0,247	0,181	0,214	0,0438	0,0165	0,0301	26,188	8,901	17,544
8	Konoplja + pamuk II	0,205	0,191	0,198	0,0785	0,0200	0,0493	29,930	8,307	19,119
9	Pamuk III+ pamuk III	0,288	0,221	0,254	0,0401	0,0525	0,0262	18,932	5,304	12,118
10	Konoplja + pamuk III	0,232	0,246	0,239	0,0474	0,0137	0,0305	27,583	5,768	16,676

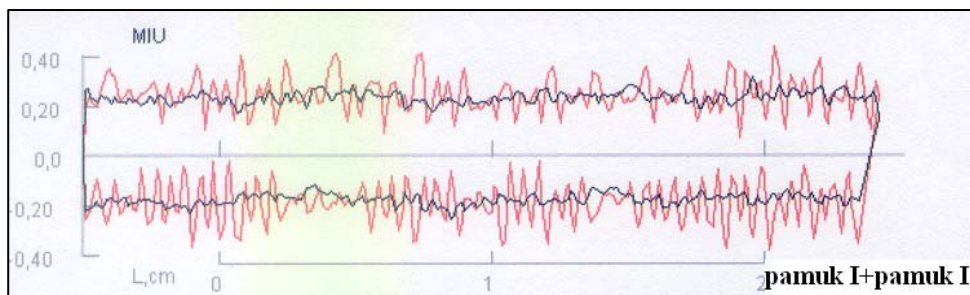
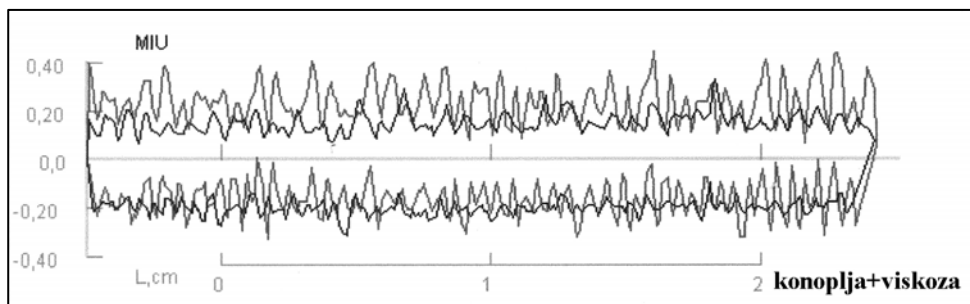
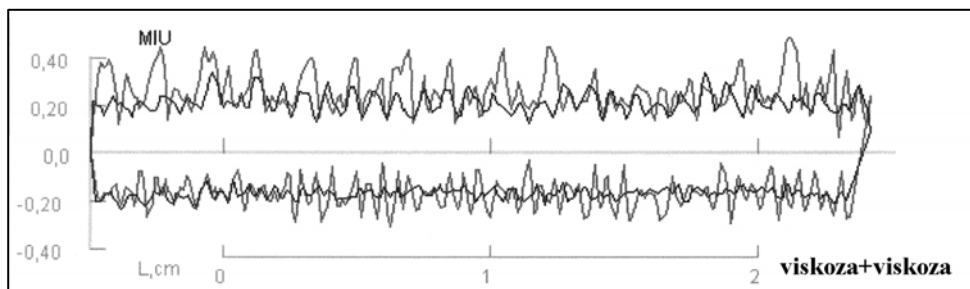
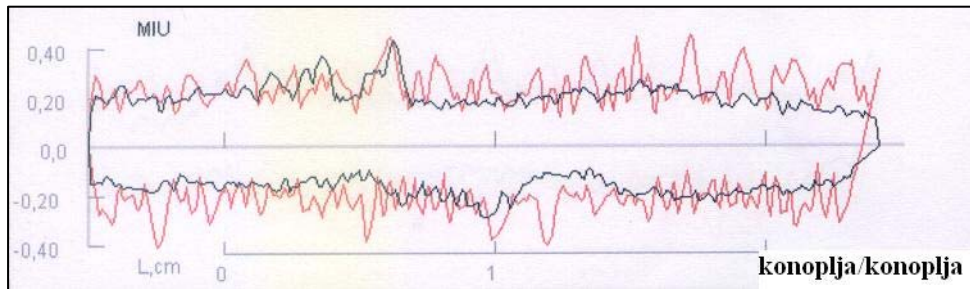
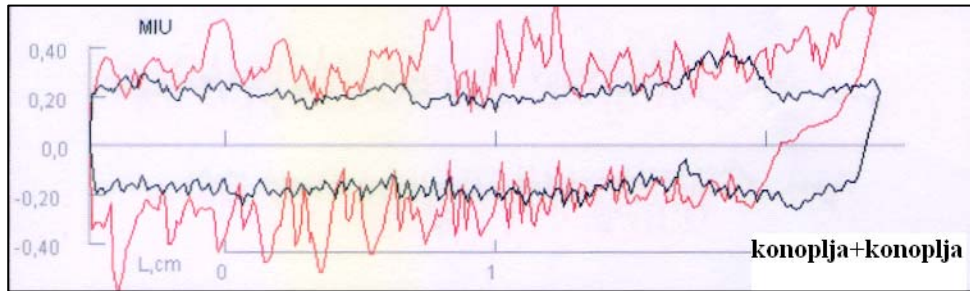
H – horizontalno; V – vertikalno; Xsr – srednja vrednost

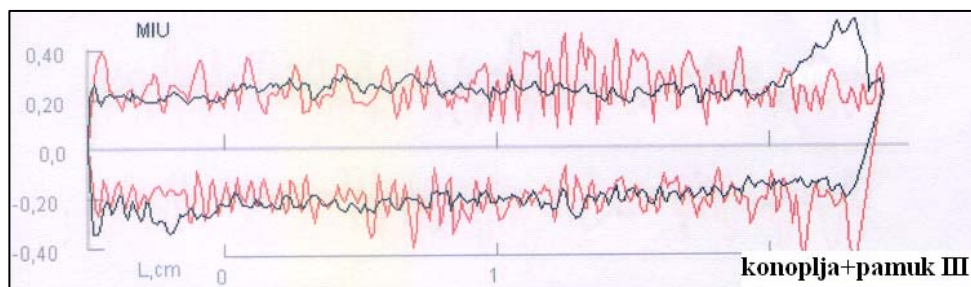
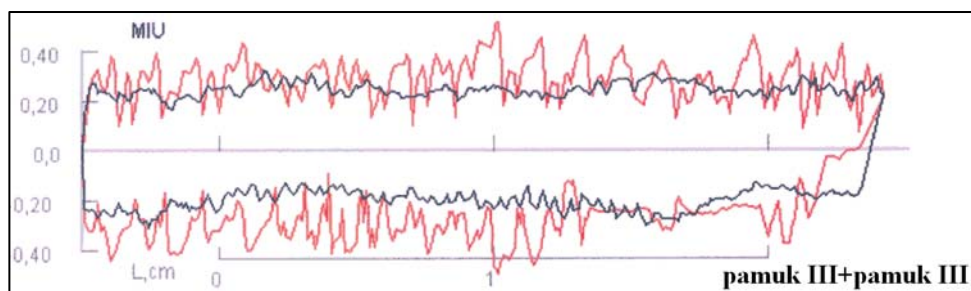
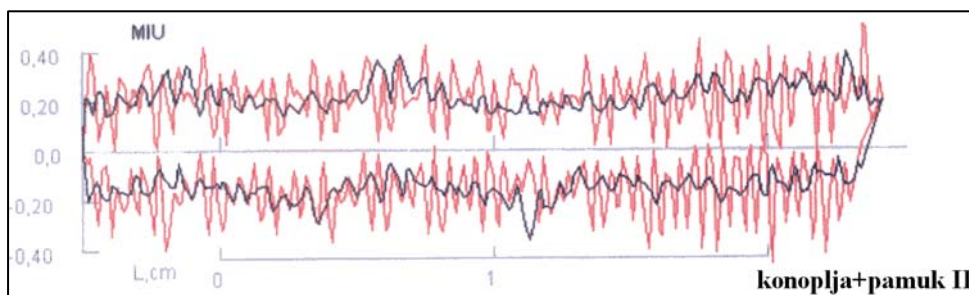
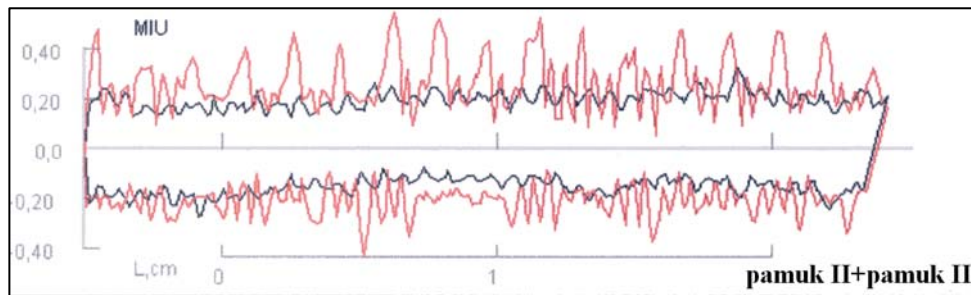
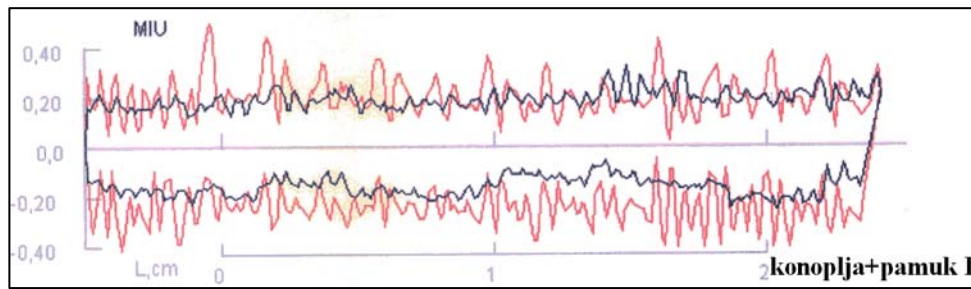
U okviru ispitivanih DL pletenina homogenog sirovinskog sastava uočavaju se približne vrednosti koeficijenta trenja (tabela 46, pletenine 1, 2, 3 i 5), iako su za izradu ovih pletenina upotrebljene pređe različitog sirovinskog sastava (pamučna, viskozna i pređa od konoplje) i koje su se odlikovale i različitom geometrijom jezgra i površine pređe. Ovakvi rezultati navode na zaključak da su za bliske vrednosti koeficijenata trenja ovih pletenina odgovorne njihove gotovo identične strukture. Analizom varijanse (ANOVA) je potvrđeno da su ispoljene razlike u vrednosti parametra MIU slučajnog karaktera ($P(0,28) > \alpha(0,05)$). U slučaju pletenina kod kojih je pređa od konoplje kombinovana sa viskoznom ili pamučnom pređom (tabela 46, pletenine 4 i 6), došlo je do izvesnog smanjenja koeficijenta trenja u odnosu na homogene pletenine, što bi se moglo pripisati činjenici da su dublirane pređe različitih površinskih svojstava.

DL pletenine izrađene od pamučnih pređa različite upredenosti ispoljile su izvesne manje razlike u vrednostima parametra MIU (tabela 46, pletenine 5, 7 i 9). Ipak, analiza varijanse jednog faktora potvrdila je statističku značajnost ispoljenih razlika (tabela 47), čime je potvrđen uticaj upredanja pređe na koeficijent trenja pletenina. Smanjenje koeficijenta trenja uočeno je i kod pletenina kod kojih je pređa od konoplje kombinovana sa različito upredenim pamučnim pređama (tabela 46, pletenine 6, 8 i 10). Ovo govori u prilog ranije pomenutom mogućem uzroku smanjenja parametra MIU kada se kombinuju pređe različitih površinskih svojstava. Kada se radi o varijaciji parametra MIU, vrednosti srednjeg odstupanja MMD ukazuju na veću ujednačenost parametra kod pletenina homogenih po sirovinskom sastavu (tabela 46). Kombinovanje pređa različitog sirovinskog sastava dovelo je do povećanja parametra MMD, što ukazuje na veću neravnomernost koeficijenta trenja površine pletenina nehomogenog sirovinskog sastava.

Tabela 47. Analiza varijanse jednog faktora (upredenost pređe)

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Pamuk I	3	0.669	0.223	7.3E-05		
Pamuk II	3	0.643	0.2143333	7.033E-05		
Pamuk III	3	0.762	0.254	0.000133		
ANOVA						
Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between	0.0026096	2	0.0013048	14.165259	0.0053384	5.1432528
Within	0.0005527	6	9.211E-05			
Total	0.0031622	8				





Slika 70. Koeficijent trenja površine (MIU) DL pletenina (siva linija: pravac nizova (V), crna linija: pravac redova (H))

Karakteristična struktura DL pletenina prouzrokovala je da pletenine ispolje znatno veću geometrijsku hrapavost u pravcu redova, odnosno u horizontalnom pravcu (tabela 46). Dijagrami na slici 71 potvrđuju značajno veću amplitudu geometrijske hrapavosti DL pletenina na celoj ispitivanoj dužini (2 cm) u pravcu redova (siva linija) u odnosu na pravac nizova (crna linija). Srednje vrednosti parametra SMD ukazale su na različitu geometrijsku hrapavost DL pletenina homogenog sirovinskog sastava (tabela 46, pletenine 1, 3 i 5). Statistička analiza (ANOVA) potvrdila je statističku značajnost dobijenih rezultata (tabela 48).

Tabela 48. Analiza varijanse jednog faktora (svojstva vlakana)

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Konoplja	3	50.185	16.728333	1.0441103		
Viskoza	3	60.544	20.181333	0.4662303		
Pamuk I	3	45.371	15.123667	0.0249343		
ANOVA						
<i>Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between	40.078156	2	20.039078	39.157307	0.0003604	5.1432528
Within	3.07055	6	0.5117583			
Total	43.148706	8				

S obzirom da se radi o pređama identičnih nominalnih karakteristika (finoća, upredanje), dobijeni rezultati navode na zaključak da je maljavost viskozne pređe i pletenine uzrokovala veću geometrijsku hrapavost viskozne pletenine. Naime, pretpostavlja se da je veliki broj malja na površini viskozne pletenine pružajući otpor savijanju pod pritiskom čelične žice izazvao povećanje geometrijske hrapavosti. Mala sposobnost kompresije viskozne pletenine pod dejstvom malih kompresionih opterećenja (tabela 44) predstavlja potvrdu ove tvrdnje. Kombinovanjem pređe od konoplje sa viskoznom ili pamučnom pređom došlo je do povećanja geometrijske hrapavosti konoplja/viskoza i konoplja/pamuk pletenina u odnosu na pleteninu od konoplje. To se možda može objasniti nesavršenim pakovanjem pojedinačnih komponenti u dubliranoj pređi prilikom njene transformacije u pleteninu. Pletenina izrađena od končane pređe od konoplje ispoljila je nešto povećanu geometrijsku hrapavost u poređenju sa pleteninom kod koje su pređe od konoplje „samo“ dublirane (tabela 46, pletenine 2 i 1). Polazeći od činjenice da se končanjem smanjuje pokretljivost vlakana u pređi i povećava kompaktnost strukture, pretpostavlja se da je

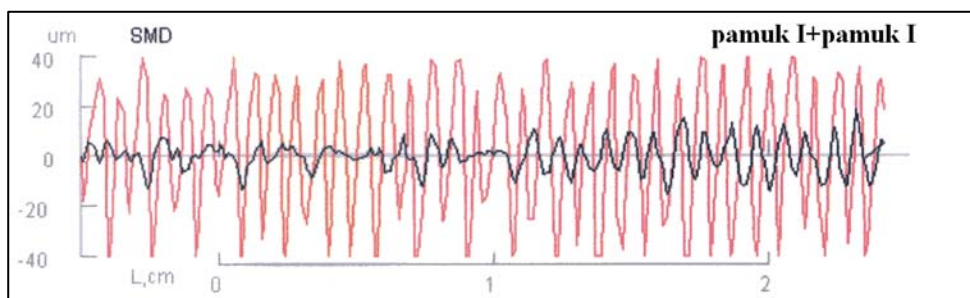
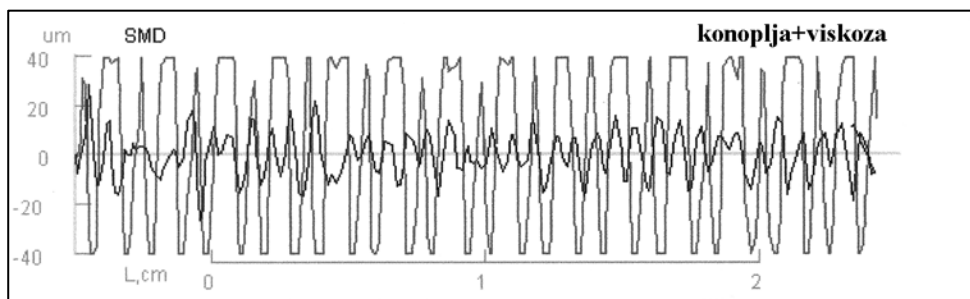
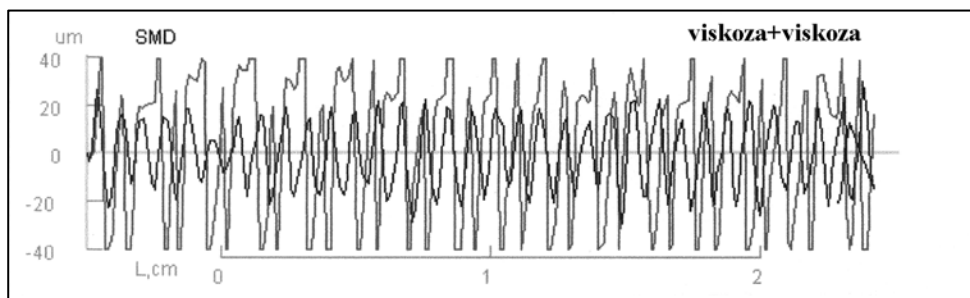
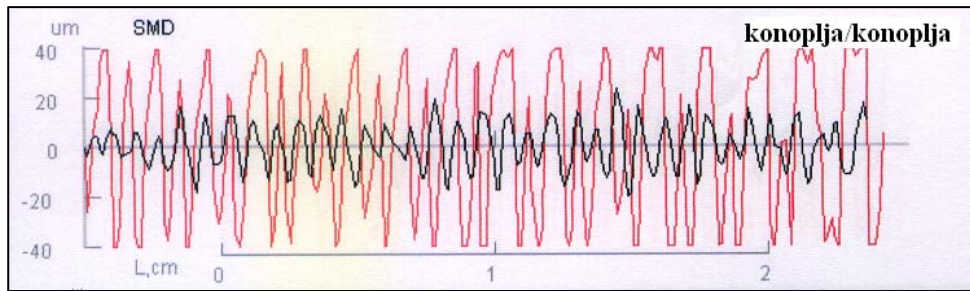
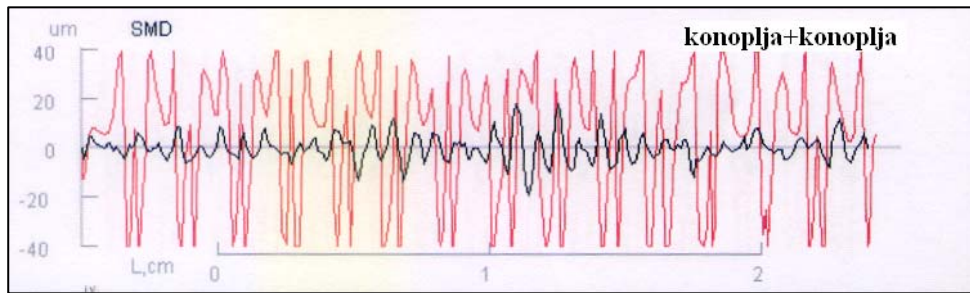
smanjena savitljivost končane pređe od konoplje uzrokovala povećanje geometrijske hrapavosti pletenine.

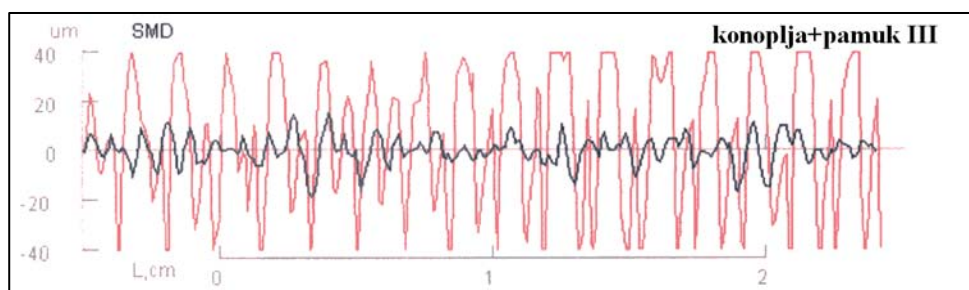
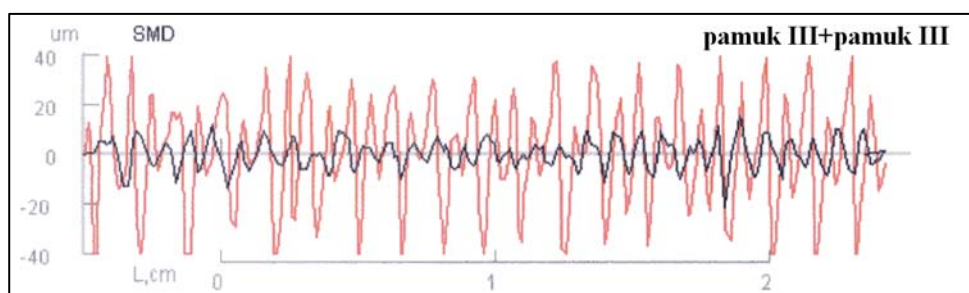
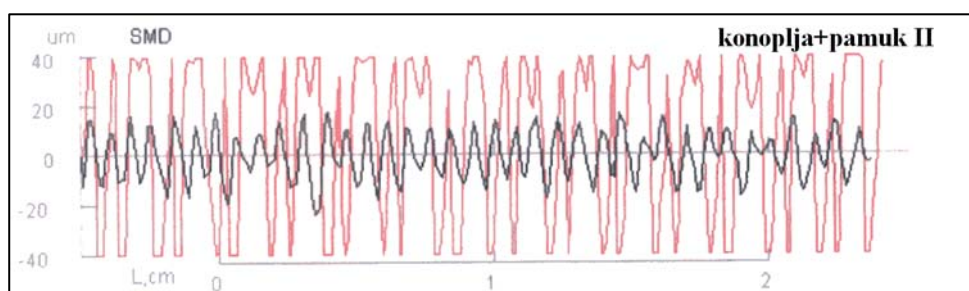
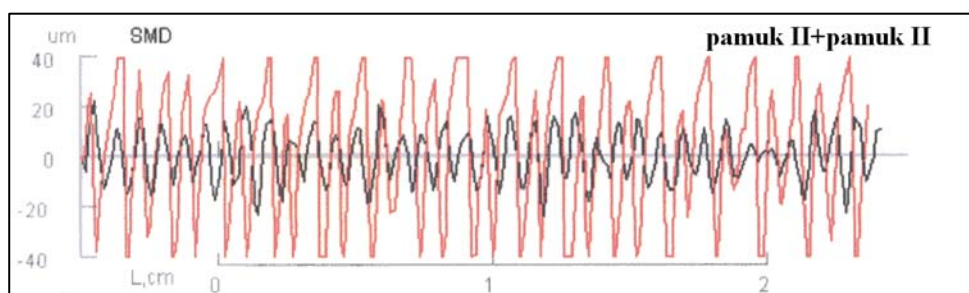
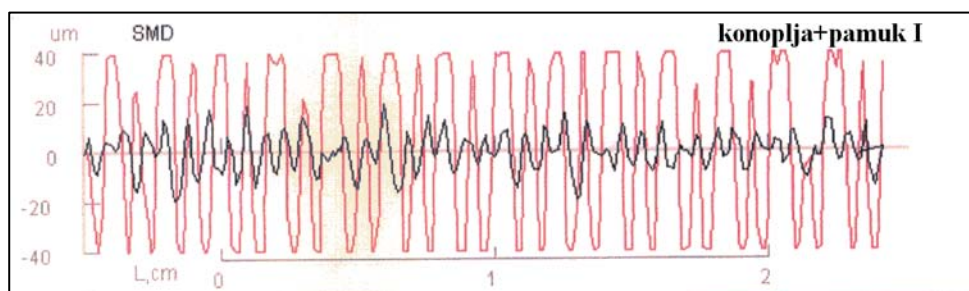
Pletenine izrađene od pamučnih pređa različite upredenosti okarakterisane su različitim geometrijskom hrapavošću (tabela 46, pletenine 5, 7 i 9). Promene u geometriji pređe do kojih dolazi sa povećanjem upredanja izazvale su promene u ponašanju pređa prilikom njihove transformacije u pletenine. Dobijeni rezultati parametra SMD potvrdili su da je pored varijacija u strukturnim karakteristikama došlo i do varijacija geometrije površine pletenina. Statistička značajnost uočenih razlika u geometriji površine pletenina izrađenih od različito upredenih pamučnih pređa potvrđena je analizom varijanse (tabela 49). Pri tome, korelaciona analiza je pokazala da su razlike u parametru SMD posmatranih pletenina u mnogo većoj meri uslovljene različitim maljavošću pamučnih pređa ($r = 0,98$) nego njihovim upredanjem ($r = -0,55$). Ipak, treba imati u vidu da je različita maljavost pamučnih pređa upravo uzrokovana njihovom upredenošću.

Tabela 49. Analiza varijanse jednog faktora (upredenost pređe)

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Pamuk I	3	45.371	15.123667	0.0249343		
Pamuk II	3	52.633	17.544333	0.0417693		
Pamuk III	3	36.353	12.117667	0.6703573		
ANOVA						
<i>Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between	44.344374	2	22.172187	90.245667	3.33E-05	5.1432528
Within	1.474122	6	0.245687			
Total	45.818496	8				

Uticaj koji upredanje i maljavost pređe imaju na geometriju površine pletenine potvrđen je rezultatima parametra SMD pletenina kod kojih je pređa od konoplje dublirana sa različito upredenim pamučnim pređama (tabela 46, pletenine 6, 8 i 10). Statistička analiza (ANOVA) je pokazala da uočene razlike u geometrijskoj hrapavosti ovih pletenina nemaju slučajni karakter (tabela 50).





Slika 71. Geometrijska hrapavost (SMD) DL pletenina (siva linija: pravac nizova (V), crna linija: pravac redova (H))

Tabela 50. Analiza varijanse jednog faktora (upredenost pređe)

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Konoplja/pamuk I	3	56.064	18.688	0.130039		
Konoplja/pamuk II	3	57.357	19.119	0.200268		
Konoplja/pamuk III	3	50.028	16.676	0.400491		
ANOVA						
<i>Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between	10.202	2	5.101077	20.940439	0.0019677	5.1432528
Within	1.4616	6	0.2435993			
Total	11.664	8				

8. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Eksperimentalni materijal, koji je primenjen u okviru ovih istraživanja, omogućio je analizu osnovnih svojstava komfora pletenina sa aspekta uticaja strukture i svojstava pređa. Razlike u strukturi i svojstvima jednožičnih pređa bile su uslovljene svojstvima vlakana, primenjenom tehnikom predenja ili intenzitetom upredanja. U okviru druge grupe končanih pređa, operacijom končanja su struktura i svojstva jednožičnih komponenata modifikovani u pravcu dobijanja jedinstvenih svojstava proisteklih iz osobnosti upotrebljenih tekstilnih sirovina i jednožičnih komponenata. Za ispitivanje su odabrana ona svojstva pređe za koja se očekivalo da mogu imati uticaja na pojedino ili više svojstava komfora. Ispitivana su mehanička, relaksaciona i površinska svojstva pređa.

U pogledu mehaničkih svojstava, odnosno prekidnih i energetske karakteristika jednožične i končane agrocelulozne pređe ispoljile su specifičnosti u zavisnosti od vrste vlakana, osobnosti procesa formiranja pređe, kao i strukture pređe uslovljene različitim upredanjem jednožičnih pređa ili specifičnim svojstvima proisteklim iz strukture komponenata končanih pređa na bazi konoplje. Jednožična pređa od konoplje okarakterisana najvećom specifičnom prekidnom silom i najmanjim prekidnim izduženjem, ispoljila je energetska svojstva relativno bliska svojstvima pamučne pređe. Delimično raspredanje pređe od konoplje u končanim strukturama dovelo je do snižavanja specifične prekidne sile i do povećanja prekidnog izduženja, čime je povećan potencijal končanih pređa na bazi konoplje sa aspekta komfora. Povećana radna sposobnost ovih pređa opravdava njihovu upotrebu i sa ekonomskog stanovišta.

U okviru relaksacionih svojstava ispitivana je neuravnoteženost pređe, kao mera zaostalog torzionog napona, i sposobnost aksijalne deformacije istezanja i relaksacije deformacije pređe. Pokazalo se da je neuravnoteženost jednožičnih agroceluloznih pređa uslovljena vrstom vlakana i intenzitetom upredanja pređe, pri čemu je pređa od konoplje ispoljila zadovoljavajuću uravnoteženost strukture u pogledu zaostalog torzionog napona. Pored toga, rezultati su pokazali da je jedinstvena struktura hibridnih pređa na bazi konoplje odgovorna za stepen relaksacije torzionog napona u njima.

Intenzitet, karakter i dinamika aksijalne deformacije istezanja jednožičnih pređa bili su određeni prirodom vlakana i upredenošću pređe koja uslovljava pokretljivost vlakana. Može se reći da su izvesni nedostaci pređe od konoplje vezani za najmanju sposobnost istezanja, delimično kompenzovani elastičnim karakterom deformacije, koja se

zadržava i pri opterećenju od 50 % prekidne sile. Ispitivanja u okviru grupe končanih pređa na bazi konoplje potvrdila su da su, končanjem pređa okarakterisanih različitim intenzitetom, karakterom i dinamikom istezanja, dobijene složene linearne strukture sa jedinstvenim deformacionim i relaksacionim svojstvima. Uočeno je povećanje sposobnosti izduženja končanih pređa u odnosu na jednožičnu pređu od konoplje, uz neznatne ili male razlike u karakteru i dinamici aksijalne deformacije, što govori o većem potencijalu ovih pređa sa aspekta taktilnog komfora.

Površinska svojstva pređa su ocenjena pokazateljima koji se odnose na geometriju površine pređe – maljavost i sklonost površine pređe ka „ranjavanju“ – gubitak mase pređe pri samoabraziji (A) i odnos maljavosti pređe pre i posle samoabrazije ($H_{pre/posle}$). Pokazalo se da faktori kao što su svojstva vlakana, primenjena tehnika pređenja i intenzitet upredanja utiču na geometriju površine jednožičnih pređa. Kao posledica niže elastičnosti vlakana konoplje pređa je okarakterisana gotovo glatkom površinom, dok je sklonost habanju vlakana konoplje uzrokovala veliku „ranjivost“ površine pređe od konoplje. U okviru sprovedenih ispitivanja se pokazalo da su upredanje i maljavost pređe obrnuto proporcionalne veličine. Međutim, uočena podložnost pređa ka povećanju maljavosti pri samoabraziji potencirana je sa porastom intenziteta upredanja pređe. U ispitivanom intervalu upredanja nije dokazan uticaj upredenosti pređe na gubitak mase pri samoabraziji. Specifična svojstva vlakana konoplje izazvala su povećanje maljavosti končane pređe od konoplje, koja je ipak okarakterisana niskom maljavošću. Uvođenje filamentne komponente u hibridnu strukturu končanih pređa na bazi konoplje nije značajno uticalo na evoluciju geometrije površine ovih pređa. Pozitivan efekat končanja na „ranjivost“ površine pređe iskazan je kroz gubitak mase pri samoabraziji, pri čemu različite hibridne strukture nisu uslovile različite vrednosti ovog parametra.

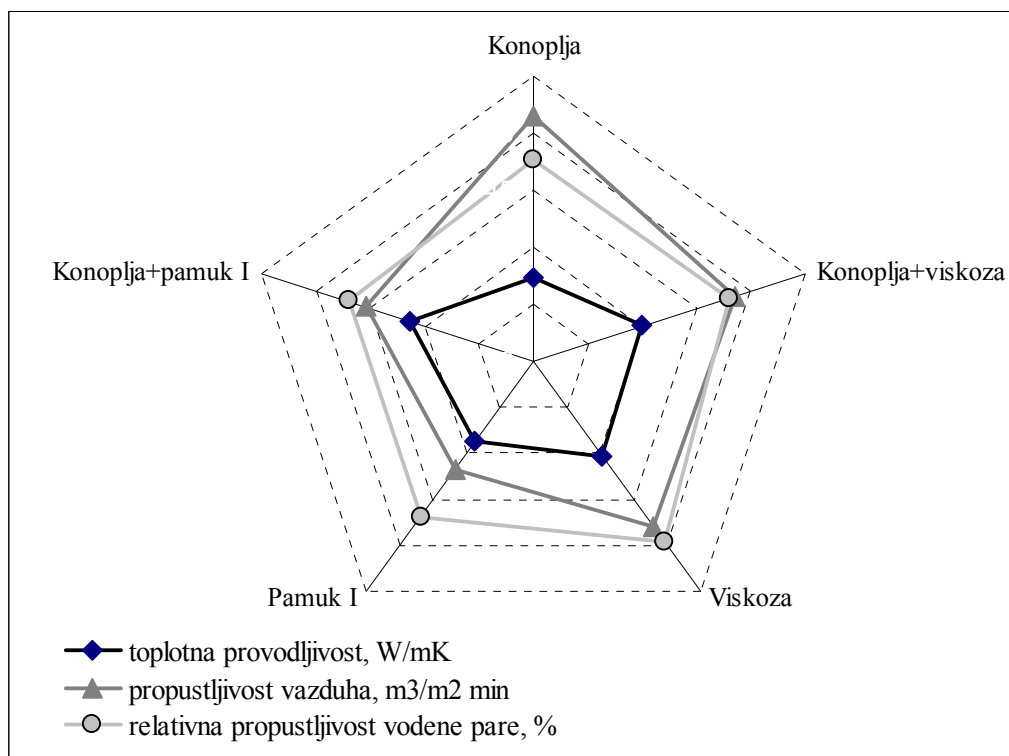
Rezultati dobijeni ispitivanjem sposobnosti pletenina da prenose toplotu i propuštaju vazduh i vodenu paru ukazali su na značajan uticaj parametara pređa, kao što su gustina pakovanja vlakana u pređi i geometrija površine pređe kao posledica uticaja vrste vlakana, tehnike pređenja, intenziteta upredanja ili interne strukture končanih pređa određene svojstvima upotrebljenih komponenata. Pokazalo se da navedeni parametri pređa značajno uslovljavaju raspodelu i veličinu pora u pleteninama, odnosno njihovu makroporoznost koja se smatra odgovornom za sposobnost pletenina da propuštaju vazduh. Smanjenjem propustljivosti vazduha sa povećanjem površinske gustine DD pletenina eksplicitno je potvrđen srazmerno proporcionalni odnos propustljivosti vazduha i makroporoznosti pletenina. Kao posledica kompaktne strukture i glatke površine pređe od

konoplje, pletenina od konoplje je usled povećane makroporoznosti ispoljila najveću propustljivost vazduha.

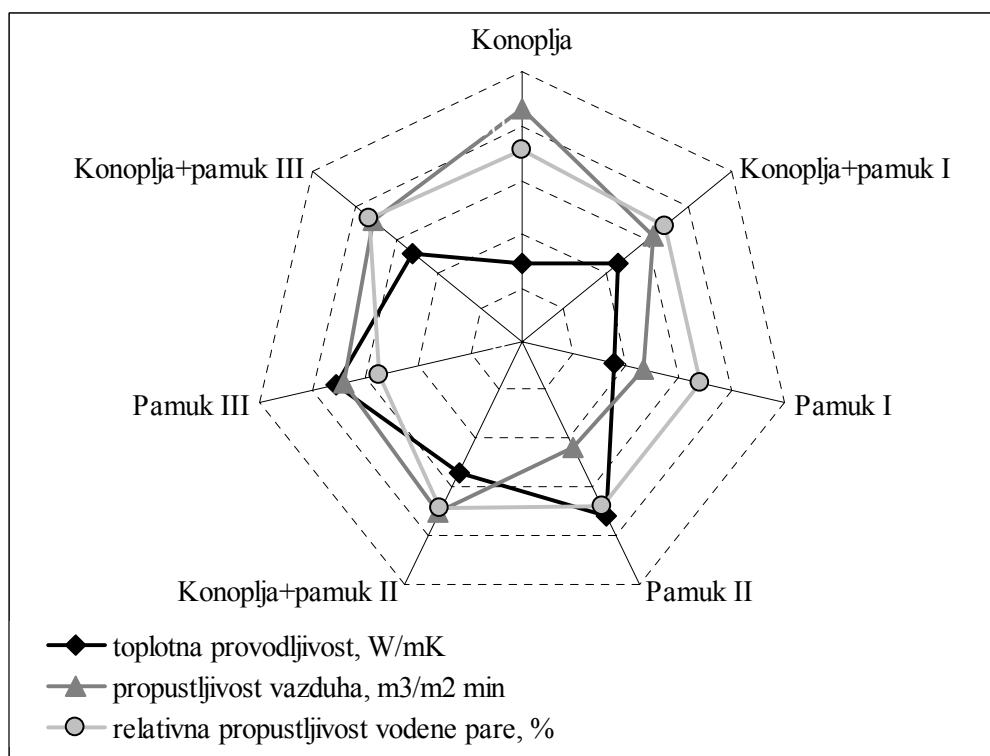
Rezultati ispitivanja termičkih svojstava pletenina su pokazali da strukturni parametri pređe u značajnoj meri određuju prenos toplote kroz pletenine. Naime, struktura jezgra i površine pređe uslovljavajući veličinu i raspodelu pora u pleteninama utiče na zastupljenost pojedinih mehanizama prenosa toplote. Tako je kompaktno jezgro pređe od konoplje ubrzalo kondukciju toplote, dok je relativno glatka površina pređe doprinela konvekciji toplote kroz makropore pletenina. Kada je reč o površinskoj gustini pletenina, kao jednom od bitnih strukturnih parametara, pokazalo se da je sa povećanjem površinske gustine DD pletenina došlo do porasta koeficijenta prolaza toplote usled smanjenja ukupne poroznosti i pre svega, makroporoznosti pletenina. Takođe se pokazalo da su termička svojstva ovih pletenina uslovljena specifičnim svojstvima končanih pređa na bazi konoplje proisteklim iz osobenosti upotrebljenih vlakana i komponentnih pređa.

Rezultati propustljivosti vodene pare potvrdili su da se difuzija vodene pare kroz pletenine dešava u najvećoj meri kroz makropore. Kod DL pletenina izrađenih od jednožičnih agroceluloznih pređa se pokazalo da je maljavost pređe imala gotovo presudnu ulogu na brzinu difuzije vodene pare intenzivirajući površinsku difuziju adsorbovanih molekula vlage. Zbog toga pletenina od konoplje, iako okarakterisana najvećom poroznošću, nije ispoljila najveću propustljivost vodene pare. Uticaj upredanja pređe na difuziju vodene pare ogledao se kroz definisanje maljavosti pređe za dati broj uvoja. Kod DD pletenina je uočena analogija u pogledu propustljivosti vazduha i vodene pare, zbog čega se nameće zaključak da interna struktura končanih pređa na bazi konoplje predstavlja osnovni parametar propustljivosti vodene pare iskazan kroz makroporoznost pletenina. S obzirom da su komponente ovih pređa filamentni i relativno glatki pređa od konoplje, efekat specifične površine pletenina nije mogao biti značajno izražen kod DD pletenina.

Nehomogeni sirovinski sastav jednog broja ispitivanih pletenina ostvaren je korišćenjem dubliranih pređa kod kojih je pređa od konoplje kombinovana sa viskoznom ili pamučnom pređom. Činjenica da je sposobnost prenosa energije i mase ovakvih pletenina na komparativnom nivou u odnosu na pletenine homogenog sirovinskog sastava, kako je ilustrovano na slikama 72 i 73, ukazuje na zaključak da se mešanje različitih tekstilnih sirovina može uspešno ostvariti operacijom dubliranja u cilju modifikovanja svojstava komfora pletenina u željenom pravcu.

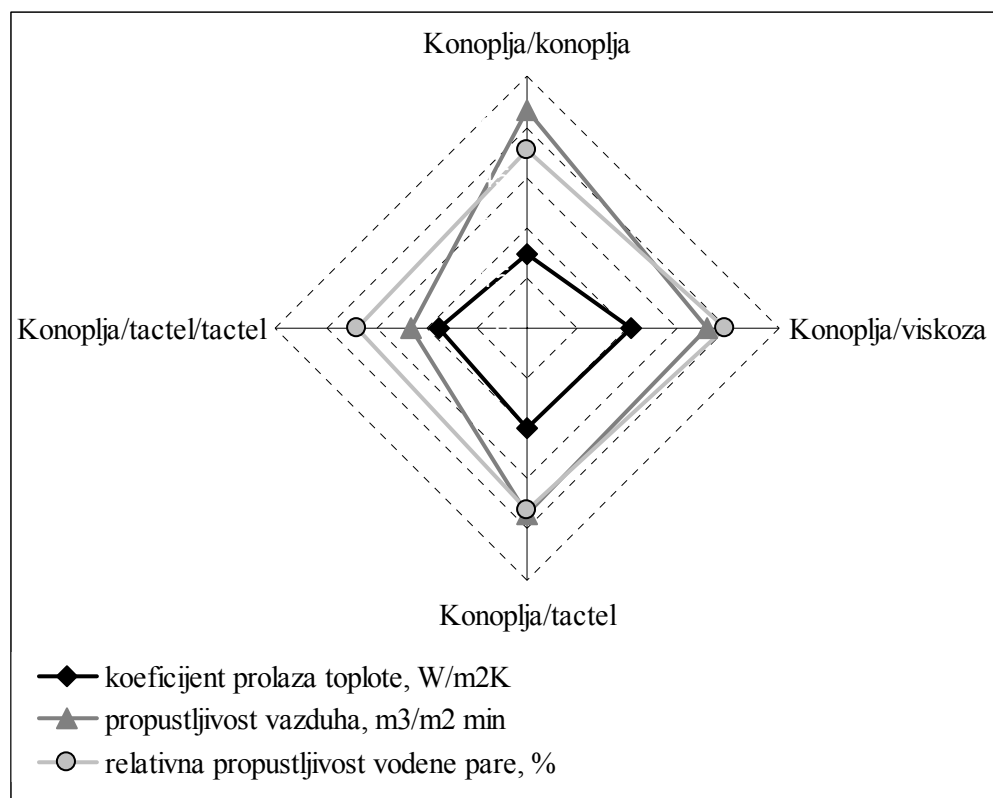


Slika 72. Spособnost DL pletenina različitog sirovinskog sastava da prenose toplotu i propuštaju vazduh i vodenu paru



Slika 73. Spособnost DL pletenina različitog sirovinskog sastava i upredenosti da prenose toplotu i propuštaju vazduh i vodenu paru

Multiparametarski grafikon na slici 73 potvrđuje da upređanje pređe, regulišući gustinu pakovanja vlakana u pređi i maljavost pređe, predstavlja bitan parametar toplotnog komfora pletenina. Mešanjem različitih tekstilnih sirovina operacijom končanja, pri čemu je osim kombinovanja tekstilnih vlakana omogućeno i kombinovanje pređa različitih strukturnih parametara i svojstava, nastaju složene hibridne pređe sa jedinstvenim svojstvima. Rezultati ispitivanja sposobnosti DD pletenina na bazi konoplje da prenose toplotu i propuštaju vazduh i vodenu paru (slika 74) potvrdili su da ove pređe na originalan način modifikuju svojstva komfora pletenina.



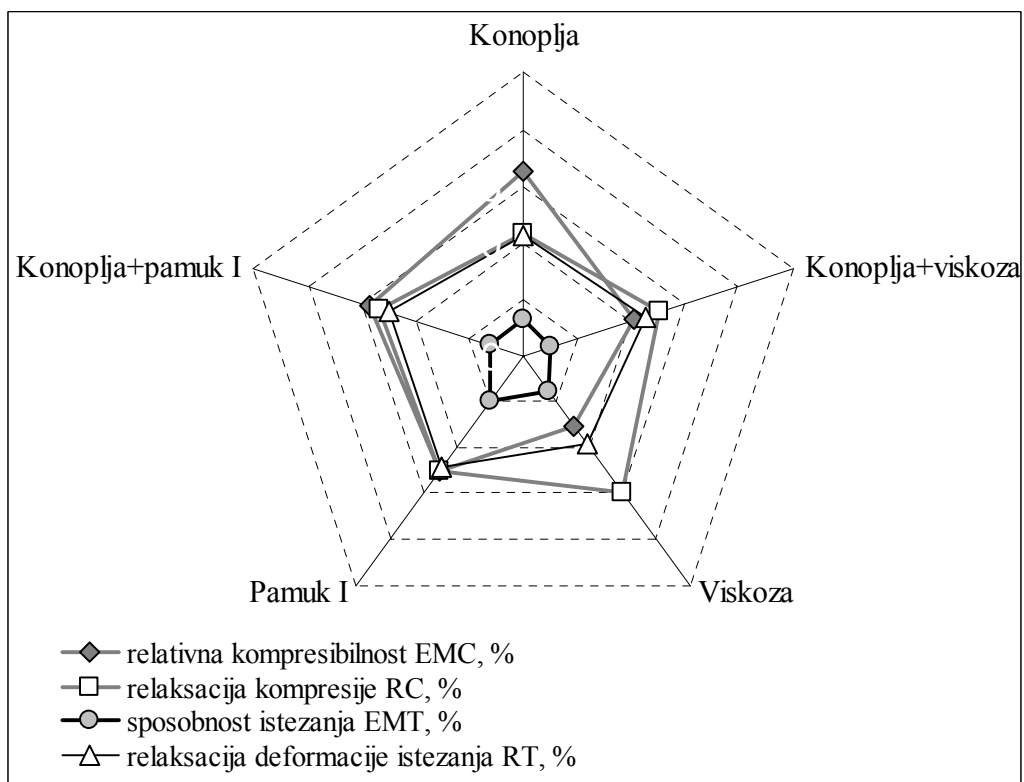
Slika 74. Sposobnost DD pletenina na bazi konoplje da prenose toplotu i propuštaju vazduh i vodenu paru

Ispitivanjem mehaničkih (kompresija, istezanje) i površinskih svojstava (koeficijent trenja površine, geometrijska hrapavost) pletenina odgovornih za taktilni komfor ustanovljeno je da različiti parametri pređa utiču na određena ispitivana svojstva pletenina. U uslovima višeciklične kompresije pokazalo se da su pored svojstava vlakana, kod DL pletenina izrađenih od štapel pređa površinski slojevi pletenina u velikoj meri odgovorni za njihovu sposobnost kompresije, čime je maljavost pređe eksplicitno potvrđena kao važan parametar kompresibilnosti. Kompleksan uticaj strukture pređe na

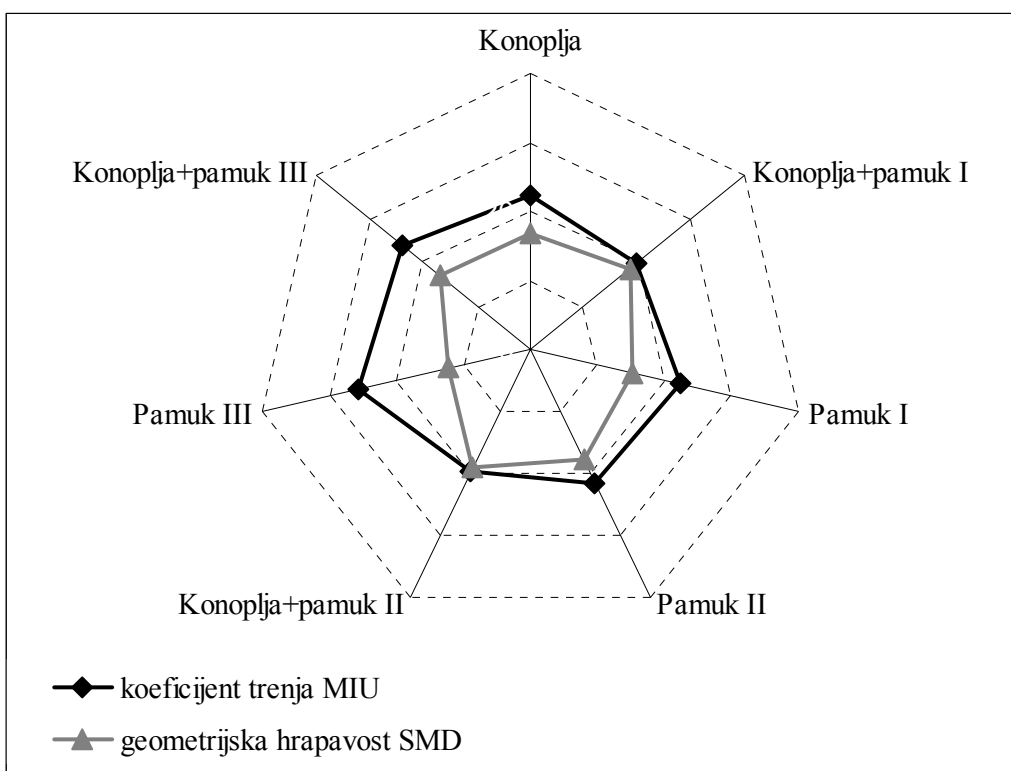
kompresibilnost pletenina ogledao se i kroz promenu pokretljivosti vlakana u pređi usled končanja ili promene intenziteta upredanja, čime se menjaju i površinska svojstva pređe. Sposobnost elastičnog oporavka DL pletenina, koja je od izuzetnog značaja sa aspekta toplotnog i taktalnog komfora, obrnuto je proporcionalna kompresibilnosti pletenina. Tako je pletenina od konoplje okarakterisana najmanjom kompresibilnošću (usled male elastičnosti vlakana konoplje i niske maljavosti pređe) ispoljila najbolji elastični oporavak. Kod DD pletenina izrađenih od končanih pređa uvođenje filamentne komponente u hibridne pređe na bazi konoplje izazvalo je povećanu kompresibilnost kao i veću sposobnost elastičnog oporavka u odnosu na pleteninu izrađenu od homogene končane pređe od konoplje. Polazeći od specijalno konstruisanih dijagrama i kvantitativne analize histerezisa kompresije izračunati procentualni udeli komponenata deformacije ukazali su na približno jednaku zastupljenost viskoelastične i plastične komponente deformacije DL pletenina i veće učešće komponente plastične deformacije (60%) kod DD pletenina, što je verovatno posledica strukturnih karakteristika pletenina. Pored toga, uticaj vrste vlakana i strukture pređe na zastupljenost komponenata deformacije zapažen je kod DL pletenina izrađenih od jednožičnih pređa.

Rezultati ispitivanja kompresije pletenina pri niskim opterećenjima ukazali su na razlike u kompresionom ponašanju pletenina u poređenju sa kompresijom pri visokim cikličnim kompresionim opterećenjima uz zadržavanje trenda da se pletenine sa nižom kompresibilnošću odlikuju boljom sposobnošću relaksacije. Površinska svojstva pređa utiču na kompresibilnost pletenina i pri niskim kompresionim opterećenjima. Međutim, pokazalo se da pokretljivost vlakana u pređi, uslovljena končanjem ili intenzitetom upredanja, ne predstavlja značajan faktor kompresionog ponašanja pletenina pri niskim opterećenjima. Sposobnost istezanja pređa predstavlja bitan parametar aksijalne deformacije istezanja pletenina, pri čemu je istegljivost pređe u pletenini u većoj meri uslovljena sposobnošću istezanja vlakana i strukturnim karakteristikama pletenine nego strukturom, odnosno upredanjem same pređe. Budući da svojstva vlakana utiču na formiranje geometrije površine pređe, pa time i na kompresibilnost pletenina, kao i na njihovu sposobnost istezanja, mešanje različitih vlakana operacijom dubliranja pređa dovelo je do modifikovanja mehaničkih svojstava pletenina (slika 75).

Bliske vrednosti koeficijenta trenja pletenina, izrađenih od pređa čija je geometrija bila uslovljena vrstom vlakana i primenjenom tehnikom pređenja, navode na zaključak da je za koeficijent trenja površine pletenina odgovorna isključivo njihova geometrija.



Slika 75. Neki parametri mehaničkih svojstava DL pletenina različitog sirovinskog sastava



Slika 76. Površinska svojstva DL pletenina različitog sirovinskog sastava i upredenosti

Multiparametarski grafikon na slici 73 potvrđuje da upredanje pređe, regulišući gustinu pakovanja vlakana u pređi i maljavost pređe, predstavlja bitan parametar toplotnog komfora pletenina. Mešanjem različitih tekstilnih sirovina operacijom končanja, pri čemu je osim kombinovanja tekstilnih vlakana omogućeno i kombinovanje pređa različitih strukturnih parametara i svojstava, nastaju složene hibridne pređe sa jedinstvenim svojstvima. Rezultati ispitivanih sposobnosti DD pletenina na bazi konoplje da prenose toplotu i propuštaju vazduh i vodenu paru (slika 74) potvrdili su da ove pređe na originalan način modifikuju svojstva komfora pletenina. Međutim, pokazalo se da upredanje pređe predstavlja značajan parametar koeficijenta trenja pletenina (slika 76). Varijacija koeficijenta trenja površine pletenina ukazuje na veću ujednačenost površine pletenina homogenog sirovinskog sastava. Povećanje kompaktnosti strukture pređe povećanjem upredenosti ili končanjem pored promena u strukturnim svojstvima dovode do promene geometrije površine pletenina. Pored toga, evolucija maljavosti izazvana promenom intenziteta upredanja, različitim svojstvima vlakana ili primenjenom tehnikom pređenja takođe uslovljava geometrijsku hrapavost pletenina.

9. ZAKLJUČAK

Sprovedena istraživanja upućuju na sledeće zaključke:

1. Pređe od konoplje, kao i hibridne pređe na bazi konoplje su u pogledu energetskih karakteristika, neuravnoteženosti i sposobnosti relaksacije ispoljile vrednosti komparativne svojstvima pređa izrađenih od dobro poznatih komfornih vlakana (pamuk i viskoza). Neelastična i tvrda vlakna konoplje uzrokovala su nisku maljavost pređe od konoplje, koja je međutim, obezbedila pleteninama zadovoljavajuća svojstva komfora. Pletenina od konoplje je okarakterisana najvećom propustljivošću vazduha a u pogledu termičkih svojstava i propustljivosti vodene pare odlikuje se vrednostima u intervalu vrednosti koje su ispoljile viskozna i pamučna pletenina. Takođe, pletenine izrađene od dubliranih i končanih pređa na bazi konoplje ispoljile su zadovoljavajuća mehanička i površinska svojstva.
2. Iako se prenos toplote i propuštanje vazduha i vodene pare kroz tekstilne materijale dešava različitim mehanizmima, dobijeni rezultati ukazuju da gustina pakovanja vlakana u pređi i maljavost pređe predstavljaju značajne parametre toplotnog komfora uslovljavajući raspodelu pora u pleteninama. Takođe je potvrđeno da su za regulisanje geometrije jezgra i površine pređe u velikoj meri odgovorni svojstva vlakana, primenjena tehnika pređenja i intenzitet upredanja. Specifična interna struktura hibridnih pređa nastala kao rezultat svojstava vlakana i komponentnih pređa bitno uslovljava toplotni komfor pletenina regulišući njihovu otvorenu slobodnu površinu.
3. Sa stanovišta taktalnog komfora pletenina može se zaključiti da različiti strukturni parametri pređa utiču na određene parametre mehaničkih i površinskih svojstava pletenina. Maljavost pređe je u velikoj meri odgovorna za kompresibilnost i geometrijsku hrapavost pletenina. Intenzitet upredanja i končanje pređa, regulišući pokretljivost vlakana u pređi, utiču na kompresibilnost pletenina pri većim kompresionim opterećenjima, geometrijsku hrapavost i koeficijent trenja površine pletenina. Iako upredanje značajno uslovljava aksijalnu deformaciju istezanja pređe, nije dokazan eksplicitan uticaj upredanja pređe na sposobnost istezanja pletenina.
4. Sprovedena istraživanja upućuju na zaključak da tehnologija pređenja, kao jedna od najranijih faza proizvodnje odevnih tekstilnih materijala pruža značajne mogućnosti u smislu projektovanja željenih svojstava komfora tekstilnih materijala. Mešanje različitih tekstilnih sirovina operacijom dubliranja pređa homogenog sirovinskog

sastava se pokazalo kao vrlo efikasan način modifikovanja svojstava komfora tekstilnih materijala u željenom pravcu. Rezultati ispitivanih svojstava komfora pletenina izrađenih od končanih pređa na bazi konoplje ukazuju na još jedan mogući način mešanja vlakana konoplje sa „nekomfortnim“ sintetičkim vlaknima, tako da se iskorišćavanjem internih svojstava pojedinačnih komponenti omogući dobijanje tekstilnih materijala zadovoljavajućih svojstava komfora.

5. Rezultati ispitivanja pređa i pletenina u primenjenim eksperimentalnim uslovima ukazuju da se vlakna konoplje mogu smatrati komfortnim vlaknima imajući u vidu termofiziološki i taktilni aspekt komfora. Rezultati dobijeni u okviru ovog rada predstavljaju dobru osnovu za dalja istraživanja potencijala koje pruža tehnologija pređenja u pravcu poboljšanja svojstava komfora tekstilnih materijala od konoplje, pri čemu se nameću dva prilaza. Jedan prilaz bi se zasnivao na primeni novih varijeteta pređa okarakterisanih drugačijim strukurnim parametrima (finoća, upredanje) i svojstvima proisteklim iz različitih postupaka pređenja (konvencionalnih i novih). Kao drugi pravac istraživanja nameće se potreba preciznog definisanja svojstava komfora tekstilnih materijala na bazi konoplje, odnosno uspostavljanje preciznih postupaka modifikovanja svojstava materijala kako bi se zadovoljili specifični zahtevi zavisno od namene odevnog predmeta (rublje, sportska odeća, modna odeća itd.) i klimatskih uslova okruženja.

LITERATURA

1. J. Kišgeci, Konoplji hvala, Nolit Beograd, NIP Novi Sad, 1994
2. U. Stankovic Elesini, *Tekstilec* **42** (5-6) (1999) 182-190
3. J. Berenji, Naučni skup „Renesansa konoplje“, Novi Sad, Zbornik radova **27** (1996) 87-99
4. M. Erceg, Naučni skup „Renesansa konoplje“, Novi Sad, Zbornik radova **26** (1996) 149-164
5. Canadian Textile Journal 112(5) (1995) 13-15
6. http://www.hemptraders.com/properties_of_hemp_textile_prop.php
7. <http://www.greendesign.net/bonews>
8. W. Grzebisz, B. Chudzinski, J.B. Diatta, P. Barlog, *Natural Fibres* **41** (1997) 111-117
9. J. Mankowski, L. Grabowska, P. Baraniecki, *Fibres Text. Eastern Eur.* **3**(2) (1995) 40-41
10. P. Baraniecki, L. Grabowska, J. Mankowski, *Natural Fibres* **39** (1995) 79-84
11. W. Cierpucha, J. Mankowski, W. Rynduch, *Fibres Text. Eastern Eur.* **7**(4) (1999) 22-23
12. W. Cierpucha, R. Kozlowski, J. Mankowski, J. Wasko, T. Mankowski, Proceedings of the 3rd World Textile Conference AUTEX 2003, Gdansk, Poland (2003) 16-24
13. A. Thygesen, Phd Thesis, Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark (2006)
14. J. Militky, V. Bajzik, D. Kremenakova, Proceedings of the 1st World Textile Conference AUTEX 2001, Povoia de Varzim, Portugal (2001) 150-157
15. J. Wiener, V. Kovačič, P. Dejlova, *Autex Res. J.* **3**(2) (2003) 58-63
16. W. Cierpucha, R. Kozlowski, J. Mankowski, J. Wasko, T. Mankowski, *Fibres Text. Eastern Eur.* **12**(3) (2004) 13-18
17. W. Cierpucha, J. Mankowski, W. Rynduch, R. Kaniewski, P. Baraniecki, Proceedings of World Textile Congress on Natural and Natural Polymer Fibres, Huddersfield, UK (1997) 56-67
18. B. E. Pallesen, T. L. Andersen, *Journal of Industrial Hemp* **7**(1) (2002) 61-82
19. B. E. Pallesen, Proceedings of the 3rd International Symposium Bio resource Hemp 2000 and other Fibre Plants, Wolfsburg (2000)
20. Y. Chen, L. Sun, I. Negulescu, Q. Wu, G. Henderson, *Journal of Industrial Hemp* **12**(1) (2007) 27-45

21. <http://www.dongpinghemp.com>
22. K. Asanovic, S. Stanković, Glasnik hemičara i tehnologa Republike Srpske **44** (2003) 605-612
23. S. Stanković, K. Asanović, Glasnik hemičara i tehnologa Republike Srpske **44** (2003) 613-619
24. R. Brazis, J. Czekalski, D. Kozakiewicz, M. Michalak, M. Stasiak, Fibres Text. Eastern Eur. **8**(2) (2000) 35-38
25. <http://www.agric.gov.ab.ca/crops/special/hemp/symposia5.html>
26. S. Milosavljević, T. Tadić, S. Stanković, Tekstilna industrija **51** (2003) 7-14
27. A. F. Luk'yanchikov, Tekstil'naya Promishlennost' **2** (1969) 23
28. Lična komunikacija S. Stanković, (W. Cierpucha, J. Mankowski, W. Rynduch, Ways of utilisation of domestic monoaeious hemp by textile industry)
29. Lična komunikacija S. Stanković, (J. Mankowski, W. Rynduch, W. Cierpucha, The cottonized hemp-fibre as a component of blended yarns)
30. K. M. Nebel, Journal of the International Hemp Association **2**(1) (1995) 6-9
31. N. Sedelnik, Fibres Text. Eastern Eur. **12**(1) (2004) 58-60
32. J. Czekalski, D. Kozakiewicz, M. Michalak, M. Stasiak, Fibres Text. Eastern Eur. **8**(3) (2000) 22-23
33. W. Tao, J.P. Moreau, T.A. Calamari, Tappi J. **78**(8) (1995) 165-169
34. R. W. Kessler, R. Kohler, Chemtech **26**(12) (1996) 34-42
35. J. Mussig, R. Martens, H. Harig, Textile Asia **29** (1998) 39-50
36. M. Adrassy, Proceedings of the 1st ITC&DC Conference, Dubrovnik, Croatia (2002) 20-24
37. R. Šurina, M. Andrassy, E. Pezelj, Proceedings of 37th International Symposium on Novelties in Textiles, Ljubljana, Slovenia (2006)
38. G. Buschle-Diller, C. Fanter, F. Loth, Text. Res. J. **69**(4) (1999) 244-251
39. MAFF UK Project: Hemp for Europe – Manufacturing and Production Systems, Research and Development – Final Report, September, 2000
40. Ekspress - Informatsiya TP **2** (1974) 4-7
41. Ekspress - Informatsiya TP **17** (1974) 15-17
42. Ekspress - Informatsiya TP **6** (1973) 6-9
43. W. Cierpucha, J. Mankowski, W. Rynduch, Fibres Text. Eastern Eur. **3**(2) (1995) 28-29

44. W. Cierpucha, W. Rynduch, J. Mankowski, *Fibres Text. Eastern Eur.* **4**(3-4) (1996) 158-160
45. C. Sirghie, *Proceedings of XI CORTP, Iasi, Romania* (1997) 212-215
46. N. Sedelnik, *Fibres Text. Eastern Eur.* **7** (1999) 22
47. J. Czekalski, T. Jackowski, I. Krucinska, *Fibres Text. Eastern Eur.* **8**(2) (2000) 24-27
48. W. Cierpucha, Z. Czaplicki, J. Mankowski, J. Kolodziej, S. Zareba, J. Szporek, *Fibres Text. Eastern Eur.* **14**(5) (2006) 80-83
49. M. R. Radetic, P. Jovancic, D. Jovic, T. Topalovic, N. Puac, Z.Lj. Petrovic, *Fibres Text. Eastern Eur.* **15**(4) (2007) 93-96
50. <http://www.hemptraders.com/index.php>
51. W. Cierpucha, J. Mankowski, J. Wasco, T. Mankowski, S. Zareba, J. Szporek, *Fibres Text. Eastern Eur.* **10**(2) (2002) 32
52. Y. Li, *The Science of Clothing Comfort, Textile Progress*, **31** (1/2), The Textile Institute, Manchester, UK, 2001
53. K. L. Hatch, *Textile Science*, West Publishing Company, New York, NY, USA, 1993
54. Y. Li, *Textile Asia* **29**(7) (1998) 29-33
55. K. Slater, *J. Textile Inst.* **77** (1986) 157-171
56. B. K. Bahera, S. M. Ishtiaque, S. Chand, *J. Text. Inst.* **88** (1997) 255
57. B. P. Saville, *Physical Testing of Textiles*, The Textile Institute, Woodhead Publishing Ltd. Cambridge, GB, 1999
58. N. R. S. Hollies, A.G. Custer, C. J. Morin, M.E. Howard, *Text. Res. J.* **49** (1979) 557-564
59. N. R. S. Hollies, *Text. Res. J.* **54** (1984) 544-548
60. H. M. Elder, S. Fisher, K. Armstrong, G. Hutchison, *J. Text. Inst.* **75** (1984) 37-46
61. H. M. Elder, *Fabric Stiffness*, *J. Text. Inst.* **75** (1984) 307-311
62. M. S. Byrne, A.P.W. Garden, A.M. Fritz, *J. Text. Inst.* **84** (1993) 275-288
63. S. Coren, L.M. Ward, *Sensation and Perception*, Harcourt Brace Jovanovich, New York, NY, USA, 1989
64. M. Zimniewska, R. Kozlowski, M. Muzyczek, M. Florysiak, *FAO International Conference „Bast Fibrous Plants for Healthy Life”*, Banja Luka, October 24-28, 2004, CD-ROM, Session III-3
65. http://www.seas.harvard.edu/courses/es96/spring1997/web_page/health/thermreg.htm

66. K. C. Parsons, *Ann. Occup. Hyg.* **43** (1999) 297-308
67. G. Havenith, I. Holmer, K. Parsons, *Energy and Buildings* **34** (2002) 581-591
68. H. B. Hardy, J. W. Ballou, O. C. Wetmore, *Text. Res. J.* **23** (1953) 1-10
69. G. Havenith, *Ann. Occup. Hyg.* **43** (1999) 289-296
70. R. T. Ogulata, *Fibres Text. Eastern Eur.* **15** (2007) 67-72
71. C. Huizenga, Z. Hui, E. Arens, *Build. Environ.* **36** (2001) 691-699
72. J. Toftum, A. S. Jorgensen, P. O. Fanger, *Energy and Buildings* **28** (2002) 1-13
73. I. Atmaca, A. Yigit, *J. Therm. Biol.* **31** (2006) 442-452
74. I. Kandjov, *J. Therm. Biol.* **23** (1998) 117-121
75. E. Arens, H. Zhang, C. Huizenga, *J. Therm. Biol.* **31** (2006) 53-59
76. G. A. Selkirk, T. M. Mc Lellan, *J. Appl. Physiol.* **91** (200) 2055-2063
77. H. Zhang, E. Arens, C. Huizenga, T. Yu, *J. Therm. Biol.* **26** (2001) 401-408
78. ISO-EN 7730: Moderate thermal environments - determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for human thermal comfort, International Standard Organization, Geneva, 1995
79. N. Pan, J-H. He, J. Yu, *Textile Res. J.* **77** (2007) 205-213
80. J. Huang, *J. Therm. Biol.* **31** (2006) 461-466
81. A. P. Gagge, A.C. Burton, H. C. Bazett, *Science* **94** (1941) 428-430
82. M. A. Morris, *Textile Res. J.* **25** (1955) 766-773
83. X. Qian, J. Fan, *Ann. Occup. Hyg.* **50** (2006) 833-842
84. G. Havenith, R. Heus, W.A. Lotens, *Ergonomics* **33** (1990) 67-84
85. A. H. Woodcock, *Textile Res. J.* **32** (1962) 628-633
86. E. A. McCullough, *J. Therm. Biol.* **18** (1993) 405-407
87. G. Havenith, I. Holmer, E. A. D. Hartog, K. C. Parsons, *Ann. Occup. Hyg.* **43** (1999) 339-346
88. P. W. Gibson, *Textile Res. J.* **63** (1993) 749-764
89. R. L. Barker, *Int. J. Cloth. Sci. Technol.* **14** (2002) 181-200
90. A. Das, S. M. Ishtiaque, *JTATM*, **3**(4) (2004) 1-7
91. M. Matusiak, *Proceedings of the 7th World Textile Conference AUTEX 2007*, Tampere, Finland (2007)
92. H. N. Yoon, A. Buckley, *Textile Res. J.* **54** (1984) 289-298
93. K. L. Hatch, S. S. Woo, R. L. Barker, P. Radhakrishnaiah, N L. Markee, H. I. Maibach, *Textile Res. J.* **60** (1990) 405-412
94. B. V. Holcombe, B. N. Hoshke, *Textile Res. J.* **53** (1983) 368-374

95. B. Đorđević, V. Valent, S. Šerbanović, Termodinamika i termotehnika, Građevinska knjiga, Beograd, 1987
96. M. J. Pac, M. A. Bueno, M. Renner, Textile Res. J. **71** (2001) 806-812
97. N. Ucar, T. Yilmaz, Fibres Text. Eastern Eur. **3**(47) (2004) 34-38
98. B. Farnworth, Textile Res. J. **53** (1983) 717-725
99. H. Bogaty, N. Hollies, M. Harris, Textile Res. J. **27** (1957) 93-110
100. Z. Abdel-Rehim, M. M. Saad, M. El-Shakankery, I. Hanafy, Autex Res. J. **6** (2006) 148-161
101. I. Frydrych, G. Dziworska, J. Bilaska, Fibres Text. Eastern Eur. **10** (2002) 40-44
102. M. Matusiak, Fibres Text. Eastern Eur. **14** (2006) 98-102
103. S. Jovanović, K. Jeremić, Karakterisanje polimera, TMF, Beograd, 2007
104. A. Yamanaka, S. Abe, M. Tsutsumi, T. Kitagawa, H. Fujishiro, K. Ema, Y. Izumi, S. Nishijima, J. Appl. Polym. Sci. **100** (2006) 2196
105. N. Sombatsompop, A. K. Wood, Polym. Test. **16** (1997) 203
106. K. S. Kleinschek, S. Strnad, V. Ribitsch, Polym. Eng. Sci. **39**(8) (1999) 1412
107. N. Sedelnik, Fibres Text. Eastern Eur. **12** (2004) 58-60
108. N. Ozdil, A. Marmarali, S. D. Kretzschmar, Int. J. Therm. Sci. **46** (2007) 1318-1322
109. A. Marmarali, H. Kadogly, P. Celik, N. Oglakciogly, T. B. Ute, M. E. Ureyen, Proceedings of the 7th World Textile Conference AUTEX 2007, Tampere, Finland (2007)
110. G. Ozcelik, A. Cay, E. Kirtay, Fibres Text. Eastern Eur. **15** (2007) 55-58
111. L. Schacher, D. C. Adolphe, J.Y. Drean, J. Cloth. Sci. Technol. **12** (2000) 84-95
112. J. E. Werden, M. K. Fahnstock, R. L. Galbraith, Textile Res. J. **29** (1959) 640-651
113. B. Farnworth, P. A. Dolhan, Textile Res. J. **55** (1985) 627-630
114. G. E. R. Lamb, M. Yoneda, Textile Res. J. **60** (1990) 378-383
115. G. E. R. Lamb, K. D. Morris, Textile Res. J. **60** (1990) 261-265
116. G. F. Fonesca, J. R. Breckenridge, Textile Res. J. **35** (1965) 221-227
117. J. R. Martin, G. E. R. Lamb, Textile Res. J. **57** (1987) 721-727
118. R. A. L. Miguel, J. M. Lucas, A. M. Manich, M. J. S. Silva, M. L. Carvalho, Proceedings of the 5th World Textile Conference AUTEX 2005, Portorož, Slovenia (2005) 821-827
119. F. T. Pierce, W. H. Rees, J. Textile Inst. **37** (1946) T181-T204
120. G. J. Morris, J. Textile Inst. **44** (1953) T449-T476
121. S. K. Obendorf, J. P. Smith, Textile Res. J. **56** (1986) 691-696

122. I. Tarakcioglu, A. Cay, Proceedings of the 7th World Textile Conference AUTEX 2007, Tampere, Finland (2007)
123. A. Koblyakov, Laboratory Practice in the Study of Textile Materials, Mir Publisher, Moscow, 1989
124. A. M. Manich, A. Barella, Yarn hairiness: a further update, Tex. Progress, **31**(4) The Textile Institute, Manchester, UK, 2001
125. G. F. Fonesca, J. R. Breckenridge, Textile Res. J. **35** (1965) 95-103
126. R. M. Perkins, Textile Res. J. **49** (1979) 202-208
127. I. Shalev, R. L. Barker, Textile Res. J. **53** (1983) 475-482
128. Y. M. Lee, R. L. Barker, Textile Res. J. **57** (1987) 123-132
129. O. Jirsak, T. Sadikoglu, B. Ozipek, N. Pan, Textile Res. J. **70** (2000) 121-128
130. R. Postle, J. Text. Inst. **62** (1971) 219-231
131. S. De Jong, J. W. Snaith, N. A. Michie, Textile Res. J. **56** (1986) 759-767
132. A. M. Schneider, B. V. Holcombe, Textile Res. J. **61** (1991) 488-494
133. M. Matsudaira, Q. Hong, J. Cloth. Sci. Technol. **6** (1994) 37-43
134. S. Sukigara, H. Yokura, T. Fujimoto, Textile Res. J. **73** (2003) 310-315
135. H. J. Hoge, G. F. Fonseca, Textile Res. J. **34** (1964) 401-410
136. A. M. Schneider, B. N. Hoschke, Textile Res. J. **62** (1992) 61-66
137. B. Farnworth, Textile Res. J. **56** (1986) 653-665
138. A. K. Haghi, J. Ther. Anal. Cal. **76** (2004) 1035-1055
139. M. Wallace, JTATM **2**(3) (2002)
140. B. Das, A. Das, V. K. Kothari, R. Fanguiero, M. De Araujo, Autex Res. J. **7** (2007) 194-216
141. L. Fourt, M. Harris, Textile Res. J. **17** (1947) 156-233
142. L. Fourt, R. A. Craig, M. B. Rutherford, Textile Res. J. **27** (1957) 362-368
143. M. E. Whelan, L. E. MacHattie, A. C. Goodings, Textile Res. J. **25** (1955) 197-223
144. B. Das, A. Das, V. K. Kothari, R. Fanguiero, M. De Araujo, Autex Res. J. **7** (2007) 100-110
145. M. M. Adler, W. K. Walsh, Textile Res. J. **54** (1984) 334-343
146. Y. Li, B. V. Holcombe, Textile Res. J. **62** (1992) 211-217
147. Y. Li, Z. Luo, Textile Res. J. **69** (1999) 760-768
148. J. A. Wehner, B. Miller, L. Rebenfeld, Textile Res. J. **58** (1988) 581-592
149. K. Min, Y. Son, C. Kim, Y. Lee, K. Hong, Int. J. Heat Mass Transfer **50**(25-26) (2007) 5292-5304

150. H. Cao, D. H. Branson, S. Peksoz, J. Nam, C. A. Farr, *Textile Res. J.* **76** (2006) 587-595
151. H. Long, *Int. J. Cloth. Sci. Techn.* **11** (1999) 198-205
152. T. Tzanov, R. Betcheva, I. Hardalov, *Int. J. Cloth. Sci. Technol.* **11** (1999) 189-197
153. B. Das, A. Das, V. K. Kothari, R. Fanguiero, M. De Araujo, *Proceedings of the 6th World Textile Conference Autex 2006, NC State University, USA (2006)*
154. R. N. DeMartino, Y. N. Yon, A. Buckley, *Textile Res. J.* **54** (1984) 602-612
155. N. R. S. Hollies, R. N. DeMartino, Y. N. Yon, A. Buckley, C. L. Becker, W. Jackson, *Textile Res. J.* **54** (1984) 544-548
156. S. Benltoufa, F. F. Ghith, M. Cheikhrouhou, *Proceedings of the 6th World Textile Conference Autex 2006, USA (2006)*
157. Z. Qingyong, Y. Li, *Int. J. Heat Mass Transf.* **46** (2003) 5099-5111
158. J. C. Barnes, B. V. Holcombe, *Textile Res. J.* **66** (1996) 777-786
159. R. M. Rossi, R. Gross, *Textile Res. J.* **74** (2004) 1-6
160. J. E. Ruckman, *Int. J. Cloth. Sci. Technol.* **9** (1997) 10-22
161. T. Fukazava, H. Kawamura, Y. Tochiara, T. Tamura, *Textile Res. J.* **73** (2003) 774-780
162. Y. J. Ren, J. E. Ruckman, *Int. J. Cloth. Sci. Techn.* **16** (2004) 335-347
163. K. Murata, *Int. J. Heat Mass Transfer* **38**(17) (1995) 3253-3262
164. S. Motakef, M. A. El-Maher, *Int. J. Heat Mass Transfer* **29**(10) (1986) 1503-1512
165. J. Fan, Z. Luo, Y. Li, *Int. J. Heat Mass Transfer* **40** (2000) 2989-3000
166. A. H. Woodcock, *Textile Res. J.* **32** (1962) 719-723
167. Y. Li, Q. Zhu, *Textile Res. J.* **73** (2003) 515-524
168. C. Mizutani, Y. Tsujii, N. Bertoniere, *Textile Res. J.* **69** (1999) 559-564
169. K. L. Harter, S. M. Spivak, K. Yeh, *Textile Res. J.* **51** (1981) 345-355
170. V. A. Agapov, E. N. Pyatnickaya, *Tekstil'naya Promishlennost'* (1) (1991) 57-58
171. P. Zhang, R. H. Gong, Y. Yanai, H. Tokura, *Textile Res. J.* **72** (2002) 83-89
172. L.W. Rainard, *Textile Res. J.* **16** (1946) 473-480
173. S. Backer, *Textile Res. J.* **18** (1948) 650-658
174. B. Wilbik-Halgas, R. Danych, B. Wiecek, K. Kowalski, *Fibres Text. Eastern Eur.* **14** (2006) 77-80
175. S. Backer, *Textile Res. J.* **21** (1951) 703-714
176. A. C. Goodings, *Textile Res. J.* **34** (1964) 713-724
177. J. E. Booth, *Principles of Textile Testing*, Temple Press Books Ltd, London, 1966

178. R. M. H. Kullman, C. O. Graham, G. F. Ruppenicker, *Textile Res. J.* **51** (1981) 781-786
179. A. M. Manich, M. Marti, R. M. Sauri, M. D. de Castellar, J. Carvalho, *Textile Res. J.* **76** (2006) 86-93
180. P. Gibson, D. Rivin, C. Kendrick, H. Schreuder-Gibson, *Textile Res. J.* **69** (1999) 311-317
181. P. Zhang, R. H. Gong, Y. Yanai, H. Tokura, Proceedings of the 1st World Textile Conference AUTEX 2001, Povoá de Varzim, Portugal (2001)
182. J. E. Ruckman, *Int. J. Cloth. Sci. Technol.* **9** (1997) 23-33
183. P. Gibson, M. Charmachi, *Int. Comm. Heat Mass Transfer* **24** (1997) 709-724
184. J. Wehner, B. Miller, L. Rebenfeld, *Textile Res. J.* **57** (1987) 247-256
185. P. Zhang, R.H. Gong, Y. Yanai, H. Tokura, *Int. J. Cloth. Sci. Techn.* **14** (2002) 229-306
186. M. M. Sweeney, D. H. Branson, *Textile Res. J.* **60** (1990) 371-377
187. R. N. Demartino, H. N. Yoon, A. Buckley, C.V. Evins, R. B. Averell, W. W. Jackson, D. C. Schultz, C. L. Becker, H. E. Booker, and N. R. S. Hollies, *Textile Res. J.* **54** (1984) 447-458
188. A. R. Gwosdow, J. C. Stevens, L. G. Berglund, J. A. Stolwijk, *Textile Res. J.* **56** (1986) 574-580
189. R. K. Garnsworthy, R. L. Gully, P. Kenins, R. J. Mayfield, R. A. Westerman, *J. Neurophysiology* **59** (1988) 1083-1097
190. D. G. Martens, K. C. McAlister, *Textile Res. J.* **32** (1962) 658-665
191. D. P. Bishop, *Text. Progress*, **26**(23), The Textile Institute, Manchester, UK, 1996
192. J. L. Hu, W. X. Chen, A. Newton, *J. Text. Inst.* **84** (1993) 354-363
193. W. Kirk, S. M. Ibrahim, *Textile Res. J.* **36** (1966) 37-47
194. D. G. Mehrtens, K. C. Alister, *Textile Res. J.* **32** (1962) 658-665
195. G. Winakor, C. J. Kim, L. Wolins, *Textile Res. J.* **50** (1980) 601-610
196. H. N. Yoon, L. C. Sawyer, A. Buckley, *Textile Res. J.* **54** (1984) 357-365
197. R. L. Barker, P. Radhakrishnaiah, S. S. Woo, K. L. Hatch, N. L. Markee, H. I. Maibach, *Textile Res. J.* **60** (1990) 490-494
198. R. H. Brand, *Textile Res. J.* **34** (1964) 791-804
199. A. M. Fritz, *Text. Asia* **21** (1990) 144
200. W. S. Howorth, *J. Text. Inst.* **55** (1964) T251-T255
201. R. Postle, R. C. Dhingra, *Textile Res. J.* **59** (1989) 448-455

202. Textile Terms and Definitions, The Textile Institute, Manchester, UK, 10th edition 1995
203. V. H. Dawes, J. D. Owen, J. Text. Inst. **62** (1971) 245
204. N. R. S. Hollies, J. Text. Inst. **80** (1989) 1-18
205. K. Slater, J. Text. Inst. **77** (1986) 157-171
206. D. Alimaa, T. Matsuo, M. Nakajima, M. Takahashi, Textile Res. J. **70** (2000) 985-990
207. F. T. Peirce, J. Text. Inst. **21** (1930) T377-T416
208. S. Kawabata, M. Niwa, J. Text. Inst. **80** (1989) 19-29
209. T. J. Mahar, R. C. Dhingra, R. Postle, Textile Res. J. **57** (1987) 357-369
210. N. G. Ly, Textile Res. J. **59** (1989) 17-25
211. R. C. Dhingra, D. Liu, R. Postle, Textile Res. J. **59** (1989) 357-368
212. R. K. Garnsworthy, R. L. Gully, P. Kenins, R. A. Westerman, J. Neurophysiology, **59** (1988) 1116-1127
213. M. Matsudaira, J. D. Watt, G. A. Carnaby, J. Text. Inst. **81** (1990) 288-299
214. H. M. Elder, J. Text. Inst. **75** (1984) 307-311
215. H. M. Elder, S. Fisher, K. Armstrong, G. Hutchison, J. Text. Inst. **75** (1984) 307-311
216. W. S. Howorth, J. Text. Inst. **55** (1964) T251-T260
217. H. M. Elder, S. Fisher, K. Armstrong, G. Hutchison, J. Text. Inst. **75** (1984) 37-46
218. N. L. Markee, K. L. Hatch, H. I. Maibach, R. L. Barker, P. Radhakrishnaiah, S. S. Woo, Textile Res. J. **60** (1990) 561-568
219. A. M. Schneider, B.V. Holcombe, L. G. Stephens, Textile Res. J. **66** (1996) 515-520
220. Y. Li, B.V. Holcombe, R. De Dear, Textile Res. J. **66** (1996) 587-594
221. L. Hes, Int. J. Cloth. Sci. Technol. **11** (1999) 105-115
222. M. Yoneda, S. Kawabata, J. Text. Mach. Soc. Jpn. **31** (1985) 79-85
223. L. Hes, I. Dolezal, J. Text. Mach. Soc. Jpn. **37** (1989) 124-128
224. L. Hes, P. Offermann, I. Dvorakova, Proceedings of the 1st World Textile Conference AUTEX 2001, Povo de Varzim, Portugal (2001)
225. A. A. Yazdi, J. Amirbayat, Int. J. Cloth. Sci. Technol. **12** (200) 311-330
226. R. M. Hoffman, Textile Res. J. **18** (1948) 141-148
227. W. J. Hamburger, Textile Res. J. **18** (1948) 102-113
228. H. F. Schiefer, Textile Res. J. **3** (1933) 388-403
229. J. H. Dillon, Textile Res. J. **17** (1947) 207-213
230. B. B. Robinson, Textile Res. J. **8** (1938) 310-3

231. K. R. Fox, F. T. Schwarz, *Textile Res. J.* **11** (1941) 227-237
232. K. R. Fox, F. T. Schwarz, *Textile Res. J.* **12** (8) (1942) 2-7
233. L. F. Beste, R. M. Hoffman, *Textile Res. J.* **20** (1950) 441-453
234. H. Mark, *Textile Res. J.* **16** (1946) 361-368
235. K. L. Hatch, N. L. Markee, H. I. Maibach, *Textile Res. J.* **60** (1990) 490-494
236. SRPS ISO 2060 Pređa u namotajima - Određivanje linearne gustine – Metoda povesma (1994)
237. SRPS ISO 2061 Tekstil – Određivanje uvoja u pređi - Metoda direktnog brojanja (1994)
238. ISO 2062 Tekstil – Pređa u namotajima – Određivanje prekidne sile i prekidnog izduženja pojedinačnih niti (1993)
239. K.I. Koritskiy, *Inzhernoe proektirovanie tekstilnih materiyalov*, Legkya Industria, Moskva, 1971
240. T. Tadić, *Doktorska disertacija, TMF, Univerzitet u Beogradu* (1989)
241. *Textilprufmaschinen, Zweigle G555, Instruction Manual*
242. ISO 9237 *Textiles – Determination of the permeability of fabrics to air* (1995)
243. ISO 11092 *Textiles – Physiological effects – Measurement of the thermal and water-vapour resistance*
244. *Sensora Instruments & Consulting, Manual of use of the instrument version 2005 with digital indication of heat flow*
245. I. Dolezal, L. Hes, *Proceedings of 2003 IEEE International Symposium of Industrial Electronics, Rio de Janerio, Brasil* (2003)
246. T. J. Mahar, R. C. Dhingra, R. Postle, *Textile Res. J.* **57** (1987) 357-369
247. SRPS F: S2.021 Tekstil – Metražna roba – određivanje debljine
248. R. S. Jovanović, *Celulozna prirodna i hemijska vlakna*, Građevinska knjiga, Beograd, 1989
249. H. Kleinhansl, *Textil Praxis International* (1) (1978) 402-405
250. S. Milosavljevic, T. Tadic, *J. Text. Inst.* **86**(4) (1995) 676-681
251. S. Stanković, *Magistarska teza, TMF, Univerzitet u Beogradu* (1997)
252. M. G. Narsian, *J. Text. Inst.* **65**(1) (1974) 41-47
253. E. Oxtoby, *Spun Yarn Technology*, Butterworths, London , 1987
254. M. M. Platt, *Textile Res. J.* **20** (1950) 519-538
255. P. R. Lord, *Text. Res. J.* **41**(9) (1971) 778-784

256. G. N. Zaderiy, Osnovnye tekhnologicheskie protsesy v pryadenii, Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta, St. Petersburg, 1987
257. S. Milosavljevic, T. Tadic, T. Mihajlidi, S. Stankovic, Pakistan Textile Journal **57**(12) (1998) 45-49
258. M. H. Mohamed, P. R. Lord, H. A. Saleh, Textile Res. J. **45**(5) (1975) 389-395
259. K. P. R. Pillay, N. Viswanathan M. S. Parthasarathy, Textile Res. J. **45**(5) (1975) 366-372
260. S. Milosavljević, T. Tadić, S. Stanković, Hemijska vlakna, (1-4) (1995) 13-17
261. A. Barella, Text. Res. J. **20** (1950) 249-258
262. J. W. S. Hearle, B. S. Gupta, Text. Res. J. **35** (1965) 788-795
263. P. R. Lord, M. H. Mohamed, D. B. Ajgaonkar, Text. Res. J. **44**(6) (1974) 405-414
264. P. M. Taylor, D. M. Pollet, Textile Res. J. **72**(11) (2002) 983- 991
265. B. K. Behera, Autex Res. J. **7**(1) (2007) 33-47
266. C .D. Kane, U. J. Patil, P. Sudhakar, Textile Res J. **77**(8) (2007) 572-582
267. E. Bertaux, M. Lewandowski, S. Derler, Textile Res. J. **77**(6) (2007) 387-396

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Станковић, Снежана Б.

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Утицај структуре пређа на бази агроцелулозних влакана на њихову даљу текстилну трансформацију и употребна својства

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

Потпис

У Београду, 27.01.2014.

Станковић Снежана

Прилог 2.

Изјава о коришћењу

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

Утицај структуре пређа на бази агроцелулозних влакана на њихову даљу текстилну трансформацију и употребна својства

која је моје ауторско дело.

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

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (*Creative Commons*) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис

У Београду, 27.01.2014.

Светозар Марковић