

Utjecaj gustoće tkanine na promjenu njene debljine kod vlačnog naprezanja

Prof. dr. sc. **Željko Penava**, dipl. ing.
Prof. dr. sc. **Diana Šimić Penava**, dipl. ing.¹
Doc. dr. sc. **Željko Knezić**, dipl. ing.
Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
Zavod za projektiranje i menadžment tekstila
¹Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet
Zavod za tehničku mehaniku
Zagreb, Hrvatska
e-mail: zeljko.penava@ttf.hr
Prispjelo 13.6.2016.

UDK 677.017.2
Izvorni znanstveni rad

Istraživan je utjecaj gustoće tkanine na promjenu njene debljine kada su uzorci izloženi djelovanju aksijalne-vlačne sile u smjeru osnove i u smjeru potke. Tijekom istezanja, debljina tkanine se mijenja u ovisnosti o veličini vlačne sile. U nastojanju da se što preciznije izmjeri dinamička promjena debljine tkanine, a istovremeno prikupe sve potrebne vrijednosti o promjeni vlačne sile, istezanja i površine na koju djeluje vlačna sila, projektirana je i konstruirana mjerna aparatura koja omogućava istovremeno mjerenje promjene debljine tkanine, bočnog suženja tkanine i pripadajućih vlačnih aksijalnih sila. Mjerenja promjene debljine, prekidne sile i prekidnog istezanja provedena su na pet uzoraka pamučnih tkanina s konstantnom gustoćom osnove i različitim gustoćama potke s konstrukcijski jednakim platnenim vezom. Na temelju dobivenih rezultata mjerenja, u radu su prikazani dijagrami odnosa dinamičke promjene debljine tkanine u odnosu na vlačnu silu i istezanje. Također je napravljena usporedba stvarnog i konvencionalnog radnog dijagrama naprezanja za tkanine. Istraživanja prikazana u ovom radu pokazala su da se s povećanjem vlačne sile povećava se i debljina tkanine za sve gustoće potke i gustoću osnove.

Ključne riječi: tkanina, debljina, gustoća tkanine u smjeru osnove, gustoća tkanine u smjeru potke, vlačna sila, istezanje

1. Uvod

Tkanina je tekstilni plošni proizvod s unaprijed projektiranim konstrukcijskim elementima. Jedan od konstrukcijskih elemenata tkanine je i debljina tkanine te njena unutrašnja geometrijska struktura. Pod utjecajem različitih parametara, ovi elementi tkanine su podložni promjenama. Debljina

tkanine ima važnu ulogu u ručnoj obradi, udobnosti, toplinskoj izolaciji, izvedbi i krajnjem korištenju tekstila.

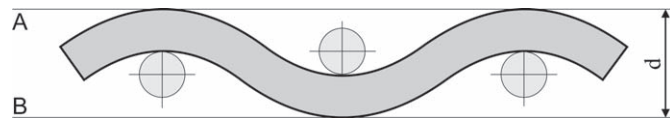
Promjena debljine tkanine ovisi o raznim faktorima koji utječu na oblikovanje tkanine u samom procesu tkanja. Također, debljina tkanine, ovisi i o pojedinim pripremnim fazama tkalačkog procesa. Promjene mnogih

faktora u procesu tkanja kao i u tkalačkoj pripremi i u procesu oplemenjivanja, utječu na promjenu debljine tkanine [1]. Promjena debljine tkanine, ovisno o utjecaju različitih parametara, je problematika koja je vrlo važna za teorijska i praktična rješenja kod konstrukcija tkanina projektiranih svojstava. Da bi se što bolje razjasnili utjecaji nekih određenih para-

metara na debljinu tkanine, kao što su promjena finoće pređe, promjena gustoće tkanine u smjeru osnove i potke, promjena napetosti osnovinih i potkinih niti tijekom tkanja, provedena su eksperimentalna ispitivanja promjene debljine tkanine.

Za mjerenje statičke debljine tkanina dostupne su mnoge različite metode. Statička debljina tkanine određuje se mjerenjem udaljenosti dviju paralelnih ploča između kojih se nalazi uzorak tkanine koji je pod određenim pritiskom koji se primjenjuje na pločama. Razvijeni su razni uređaji za mjerenje statičke debljine tkanina. Među prvima koji su se posvetili problemu statičkog određivanja debljine bili su G.B. Haven, H.F. Schiefer, F.T. Peirce i J.R. Womersley. Haven koristi mjerač debljine tkanine [2], Schiefer koristi kompresometar za mjerenje debljine i elastičnosti [3]. Peirce je je u svom radu postavio osnovna zapažanja i dao mnoge matematičke proračune, grafove za praktičnu primjenu, ali pod pretpostavkom da su niti osnove i potke u tkanini kružnog presjeka, tj. nije uzeto u obzir stlačivanje pređe tlačnim silama tijekom tvorbe vezne točke [4]. Također u svim promatranjima i postavljanjima problema, Peirce je polazio od toga da je debljina tkanine jednaka zbroju debljina osnove i potke i to kad bi niti bile idealno kružnog presjeka, što bi bio tek jedan od mnogo teoretski i praktički mogućih slučajeva. Prema tom radu debljina tkanine ostaje nepromijenjena čak i kada se promijene gustoće potke, što naravno ne odgovara realnom stanju strukture tkanine. Iz tih razloga cijela ta studija odstupa od realnih vrijednosti koje vladaju u tkanini. J.R. Womersley je uzeo u obzir da s promjenom napetosti niti dolazi i do određenih deformacija unutar same tkanine [5]. Kasnije su mnogi istraživači za mjerenje debljine koristili razne vrste testera za mjerenja debljine [6-9].

Mnoge druge tehnologije i metode, kao što su načela magnetskog induktiviteta [10], analiza slike [11] i me-



Sl.1 Poprečni presjek tkanine u platnenom vezu

tode koje koriste kondenzatore s paralelnim pločama [12] su također korištene za procjenu debljine tkanine. Navedene metode nisu pogodne za mjerenje dinamičke promjene debljine tkanine na licu mjesta, što predstavlja zapreku za proučavanje debljine tkanine u različitim mehaničkim uvjetima.

U procesu proizvodnje i korištenju, tkanine su često podvrgnute djelovanju aksijalnog vlačnog opterećenja. Vlačno naprezanje u tkanini uzrokuje promjenu debljine tkanine i produljenje (uzdužnu deformaciju) tkanine u smjeru djelovanja sile. Za što bolju analizu deformacije debljine tkanine razvijeni su neki modeli tkanina [13, 14].

Dinamička promjena debljine sirove tkanine i odnosi između deformacije zbog promjene debljine tkanine, uzdužne deformacije i vlačne sile, u ovom su radu, ispitani i istraženi pomoću posebno konstruiranog i izrađenog uređaja za mjerenje promjene debljine tkanine. Da bi se analizirala deformacija zbog promjene debljine tkanine računa se omjer između deformacije tkanine zbog promjene debljine i pripadne uzdužne deformacije. Taj odnos je prikazan pomoću karakteristične krivulje.

Svrha ovoga rada je odrediti utjecaj gustoće potke i osnove na dinamičku promjenu debljine tkanine kada se tkanina nalazi u aksijalnom stanju naprezanja u smjeru potke i u smjeru osnove. Također će se napraviti usporedba konvencionalnog i stvarnog dijagrama naprezanja.

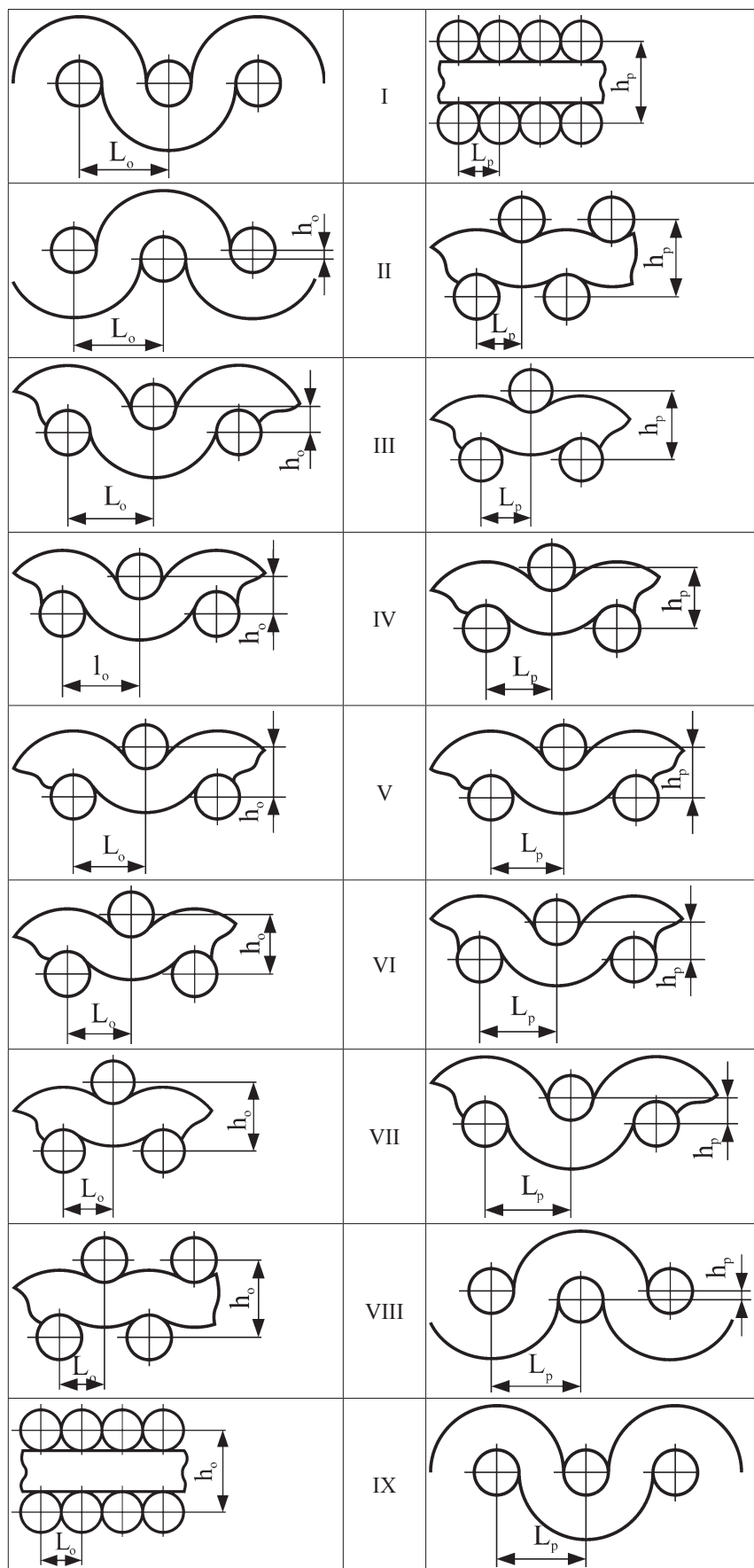
2. Debljina tkanine

Tekstilne plošne proizvode nije jednostavno opisati uobičajenim matematičkim modelima. Za razliku od materijala postojane strukture (npr. metala), u tekstilu nije lako točno iz-

mjeriti njegove dimenzije. Zbog podatnosti i lake promjenljivosti oblika tkanina neprestano je prisutno odstupanje od njezinog osnovnog geometrijskog oblika. Tkanina, kao tekstilni plošni proizvod odlikuje se specifičnim svojstvima koja proizlaze iz njeine karakteristične strukture. Teškoća je i u tome što je zbog složenosti strukture tkanina u mnogim slučajevima neophodno idealizirati generalne karakteristike promatranog materijala.

Debljina tkanine (d) je njena treća dimenzija koja je znatno manja od širine i dužine tkanine, ali je istodobno jako važna jer utječe na primjenu i glavne značajke tkanine. Debljina doradene tkanine ovisi o promjeru osnove (d_o) i potkine (d_p) pređe, gustoće osnovinih (g_o) i potkinih (g_p) niti, vrsti veza (konstrukcije), sirovinskog sastava, napetosti niti tijekom tkanja i vrsti oplemenjivanja [15, 16]. Debljina sirove tkanine (d_{st}) može biti veća ili manja od doradene tkanine, što ovisi o primijenjenim postupcima oplemenjivanja. Ako se tkanina u procesu oplemenjivanja valja ili čupavi, tada se njena debljina znatno povećava. Međutim, debljina se smanjuje kada se tkanina kalandrira ili preša. Pod debljinom tkanine podrazumijeva se najveća udaljenost između površine lica (A) i međusobno paralelne površine naličja (B) tkanine, (sl. 1). Debljina tkanine mjeri se u mm.

Ako se mijenja debljina pređe a ostali parametri se ne mijenjaju, tada je debljina tkanine u izravnoj ovisnosti o debljini osnovinih i potkinih niti. Međutim, s promjenom vrste veza (konstrukcije) tkanine može se u velikoj mjeri utjecati na njenu debljinu. Najmanja debljina je kod tkanina koje su tkane u platnenom vezu, dok je debljina veća kada se primijeni ke-



S1.2 Faze geometrijske dispozicije niti u strukturi jednostruke tkanine u platnom vezu prema Novikovu

perni, atlasni i ostali vezovi s manjim raportima. Najveća debljina se postiže kod primjene složenih vezova.

Debljina tkanine ovisi i o stupnju izvijenosti osnovinih i potkinih niti. Prema teoriji geometrijske dispozicije niti [17], raspored niti kružnog poprečnog presjeka u strukturi jednostruke tkanine otkane u platnom vezu, može se prikazati u jednoj od devet struktura “faza”, (sl.2). Pojam “faza” indikativan je za određeni oblik dispozicije niti, između dva ekstremna slučaja s jednakim nabi- ranjem i nedostatku nabiranja bilo osnove ili potke. Razmak između središta dviju osnovinih niti je L_o , a razmak između središta dviju potkinih niti je L_p .

Prva faza odnosi se na ekstremni slučaj kada je osnova za vrijeme tkanja jako zategnuta i osnovine niti ostaju ravne u jednoj ravnini, dok se potka istovremeno savija oko osnove. Debljina tkanine iznosi:

$$d = d_o + 2 \cdot d_p \text{ (mm)} \quad (1)$$

U devetoj fazi je obrnuta (suprotna) situacija: potka ostaje ravna, a niti osnove se savijaju oko potke u najvećoj mogućoj mjeri. Debljina tkanine iznosi:

$$d = 2 \cdot d_o + d_p \text{ (mm)} \quad (2)$$

Između prve i devete (isključujući petu fazu) faze osnova i potka se savijaju u različitim stupnjevima. Kod veće gustoće osnovinih niti potka je prinuđena više obilaziti oko njih zbog čega se dobije veća debljina tkanine. Kolika će biti debljina tkanine to će ovisiti o debljini pređa oba sustava niti, o međudjelovanju njihovih gustoća i napetosti osnovinih i potkinih niti za vrijeme procesa tkanja. Debljina tkanine za ove faze iznosi:

$$d > d_o + d_p \text{ (mm)} \quad (3)$$

Peta faza odgovara slučaju kada lukovi oba sustava niti leže u istoj ravnini pa je tada debljina tkanine jednaka sumi promjera osnovine i potkine niti. U ovoj fazi je visina pregiba (luka) osnove h_o jednaka visini pregi-

Tab.1 Dispozicija niti po fazama unutar strukture tkanine prema Novikovu

Dispozicija niti po fazama	Visina pregiba niti osnove h_o	Visina pregiba niti potke h_p	$K_h^N = h_o/h_p$	Debljina tkanine d / polumjer niti r
I	0·r	4·r	0	6
II	0.5·r	3.5·r	0.143	5.5
III	1·r	3·r	0.333	5
IV	1.5·r	2.5·r	0.6	4.5
V	2·r	2·r	1.666	4
VI	2.5·r	1.5·r	1	4.5
VII	3·r	1·r	3	5
VIII	3.5·r	0.5·r	7	5.5
IX	4·r	0·r	∞	6

Tab.2 Debljine gotovih tkanina

Vrste i namjena tkanina	Debljine gotovih tkanina (mm)	
	Najmanja	Najveća
Fine svilene tkanine za rublje	0,10	0,24
Fine pamučne tkanine za rublje	0,16	0,24
Lake pamučne i svilene tkanine za rublje i posteljinu	0,25	0,30
Pamučne i lanene tkanine za posteljinu	0,30	0,40
Čupavljene pamučne tkanine	0,40	0,60
Pamučne tkanine za odijela (finije)	0,40	0,80
Pamučne tkanine za odijela (grublje)	0,90	1,30
Lanene tkanine za odijela	0,50	0,60
Vunene tkanine za odijela	0,70	1,10
Vunene tkanine za zimske kapute (finije)	1,00	1,60
Vunene tkanine za zimske kapute (grublje)	2,60	3,20
Vunene tkanine za zimske kapute (čupavljene)	3,20	3,50

ba (luka) potke h_p . Debljina tkanine u ovoj fazi iznosi:

$$d = d_o + d_p \text{ (mm)} \quad (4)$$

Novikov je predložio određivanje razlike između svake faze u iznosu od polovice polumjera niti (0,5 r).

Dobivena je važna pretpostavka. Pri prijelazu na sljedeću fazu smanjenje visine pregiba niti osnove h_o jednaka je porastu visine pregiba niti potke h_p . Na primjer, za niti s jednakim promjerima osnove i potke $d_o = d_p$, visina pregiba niti osnove h_o povećava se za 0.5 r, a visina pregiba niti potke h_p smanjuje se za istu vrijednost. Prema tome, zaključuje se da je

$$d = d_o + d_p = h_o + h_p = 4 \cdot r \text{ (mm)} \quad (5)$$

Kao osnovno obilježje strukture tkanine Novikov je predložio uvođenje koeficijenta K_h^N koji je jednak omjeru visine pregiba osnove h_o i potke h_p .

Tab. 1 predstavlja, prema Novikovu, debljine tkanine i vrijednosti koeficijenta K_h^N visine pregiba u svih devet faza. Važno je naglasiti da je za prvu fazu koeficijent $K_h^I = 0/8 = 0$, a za devetu fazu $K_h^{IX} = 8/0 = \infty$. U prvoj fazi, niti osnove teorijski mogu zauzeti položaj jedna iznad druge, i slično u devetoj fazi takav položaj mogu zauzeti niti potke. Uočeno je, međutim, da je ta teorijska pretpostavka praktički nemoguća, jer niti osnove i potke u praksi ne mogu zauzeti takav položaj. Još jedan bitan nedostatak je cijeli broj koji označava faze.

Debljina tkanine kod drugih konstrukcijskih rješenja ovisi o odnosu gustoća osnovnih i potkinih niti, njihovim debljinama, sirovinskom sastavu, kao i o napetosti za vrijeme tkanja. U tab.2 nalaze se podaci o najmanjoj i najvećoj debljini tkanine za određenu vrstu i namjenu tkanine.

Za primjenu u praksi značajna je debljina gotove tkanine.

3. Konvencionalni radni i stvarni radni dijagram materijala

Kada se tkanina isteže u jednom smjeru, ona se nastoji suziti (skupiti) u smjeru koji je okomit na smjer istezanja tkanine. Niti u smjeru djelovanja vlačne sile se izravnavaju, istežu, a u smjeru okomitom na smjer djelovanja sile, niti imaju dulji geometrijski put, tj. imaju veću amplitudu obilaska oko drugog sustava niti [18]. Budući da ne postoji ograničenje sile istezanja, valovitost (amplituda) niti u okomitom smjeru na smjer djelovanja sile se povećava. Posljedica ovog je smanjenje dimenzija širine tkanine [19-21]. Za vrijeme produljenja tkanine, mijenja se i debljina tkanine. Pri ispitivanju tkanine na istezanje početna se duljina ispitivanog uzorka l_0 povećava za Δl , čime se dobije konačna duljina uzorka tkanine l , a početna širina uzorka tkanine b_0 se smanjuje za Δb i dobije se konačna širina uzorka b . Početna debljina uzorka tkanine d_0 se mijenja za vrijednost Δd i konačna debljina uzorka je d .

Apsolutna uzdužna deformacija (apsolutno istezanje): $\Delta l = l - l_0$ (6)

Apsolutna poprečna deformacija (apsolutno suženje): $\Delta b = b - b_0$ (7)

Apsolutna promjene debljine:

$$\Delta d = d - d_0 \quad (8)$$

Relativna dužinska deformacija (relativno istezanje) je definirana kao:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\% = \left(\frac{l}{l_0} - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (9)$$

Relativna poprečna deformacija (relativno suženje) je definirana:

$$\varepsilon_s = \frac{\Delta b}{b_0} \cdot 100\% = \left(\frac{b}{b_0} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (10)$$

Relativna promjene debljine ε_d je definirana:

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d_0} \cdot 100\% = \left(\frac{d}{d_0} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (11)$$

Da bi se dobio dijagram koji karakterizira mehanička svojstva određenog

materijala neovisno o apsolutnim dimenzijama uzorka koji je podvrgnut rastezanju, dijagram rastezanja dobitven na dinamometru u koordinatnom sustavu $F-AI$ transformira se u koordinatni sustav (ili dijagram) $\sigma-\varepsilon$. Računsko ili nominalno naprezanje u uzorku određeno je izrazom:

$$\sigma = F / A_0, \quad (12)$$

gdje je $A_0 = b_0 \cdot d_0 = konst.$ početna površina poprečnog presjeka.

Tako dobiveni dijagram $\sigma-\varepsilon$ naziva se konvencionalni (nominalni) radni dijagram materijala, (sl.3). Računsko naprezanje se razlikuje od stvarnog naprezanja.

Budući da se pri rastezanju površina poprečnog presjeka uzorka mijenja, stvarno naprezanje je u uzorku:

$$\sigma^* = F / A, \quad (13)$$

gdje je A stvarna površina poprečnog presjeka koja odgovara određenoj vrijednosti sile F i dužinskoj deformaciji ε . Stvarna ili prirodna deformacija definirana je izrazom:

$$\varepsilon^* = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{1}{1-\psi},$$

gdje je $\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \quad (14)$

Na sredini duljine uzorka koji se isteže mjeri se pripadna širina b i pripadna debljina d .

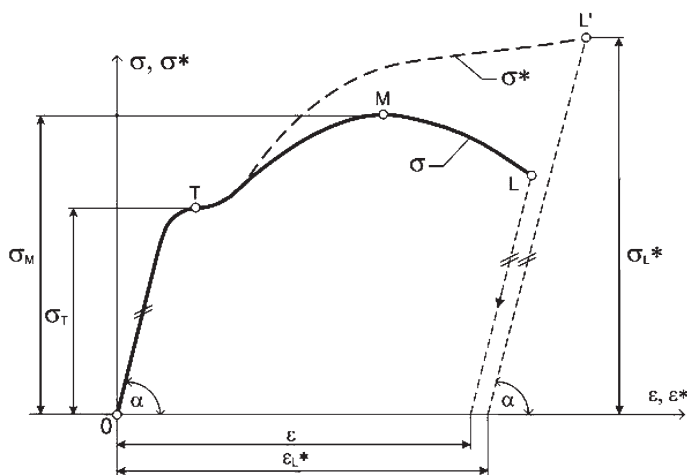
$$A = b \cdot d \text{ (mm}^2\text{)} \quad (15)$$

Do iznad točke T površina A i A_0 se neznatno razlikuju pa su naprezanja σ i σ^* gotovo jednaka.

Pri relativno malim deformacijama ($\varepsilon < 5\%$) nema razlike između običnog i stvarnog radnog dijagrama materijala ($\sigma^* \approx \sigma$, $\varepsilon^* \approx \varepsilon$). Na sl.3 puna crta prikazuje običan (konvencionalni) radni dijagram, a crtkana stvarni radni dijagram materijala.

4. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu rada provedena su mjerenja promjene debljine tkanine kada na uzorke tkanina djeluje vlačna sila do prekida. U tu svrhu projektiran je i izrađen novi



Sl.3 Karakteristični dijagram naprezanja i deformacija

Tab.3 Uzorci tkanina za ispitivanje

Oznaka uzorka	Finoća pređe (tex)		Gustoća niti (cm ⁻¹)		Plošna masa (g/m ²)	Početna debljina d ₀ (mm)			
	osnova	potka	osnova	potka					
U18	30,1	29,8	23,2	18,1	135,1	0,362			
U20				20,1			141,2		
U22				21,9				149,6	
U24				24,0					157,5
U26				26,2					

mjerni sustav za dinamičko mjerenje promjene debljine tkanine kada na uzorak djeluje vlačna sila. Uzorci su izrezani u smjeru potke i u smjeru osnove. Pri tom ispitivanju određene su veličine vlačnih sila, pripadna produljenja (istezanja), pripadne debljine tkanine i pripadna suženja. Pomoću dobivenih rezultata mjerenja dobiveni su dijagrami promjene debljine uzoraka tkanine u odnosu na istezanje i vlačnu silu. Promatra se utjecaj promjene gustoće potke i konstantne gustoće osnove na debljinu tkanine.

4.1. Uzorci za ispitivanje

Ispitivanja su provedena na uzorcima iz 5 pamučnih tkanina s konstantnom gustoćom osnove (23 niti/cm) kod pet različitih gustoća potke (18, 20, 22, 24 i 26 niti/cm), s konstrukcijski istim platnenim vezom od pamučne pređe za osnovu i potku iste nazivne finoće (Tt = 30 tex) kako je prikazano u tab.3. Uzorci tkanina navedenih konstrukcijskih karakteristika otkani su na tkalačkom stroju OMNIplus

800 tvrtke Picanol sa zračno-mlaznim unosom potke.

Finoća pređe određena je gravimetrijskom metodom prema normi ISO 2060:1994. Gustoća tkanine ispitivana je prema normi ISO 7211-2:1984. Debljine pređa izmjerene su na novokonstruiranoj aparaturi bez dodatnog pritiska uz masu potiskivača od 2 g. Na temelju mjerenja dobivena je srednja vrijednost debljine pređe za osnovu koja iznosi 0,182 mm, a debljina pređe za potku iznosi 0,181 mm. Početna debljina tkanine d_0 izmjerena je na novokonstruiranoj aparaturi uz pritisak od 2 cN/cm².

Prije samog ispitivanja svi uzorci su kondicionirani u uvjetima standardne atmosfere (relativna vlažnost zraka $65 \pm 4\%$, na temperaturi $20 \pm 2^\circ\text{C}$).

Za ovo ispitivanje izrezani su standardni uzorci dimenzija 300×50 mm, učvršćeni u stezaljke uređaja na razmaku od $l_0 = 200$ mm, te izloženi jednoosnom vlačnom opterećenju pri brzini povlačenja $v = 100$ mm/min do postizanja prekida.

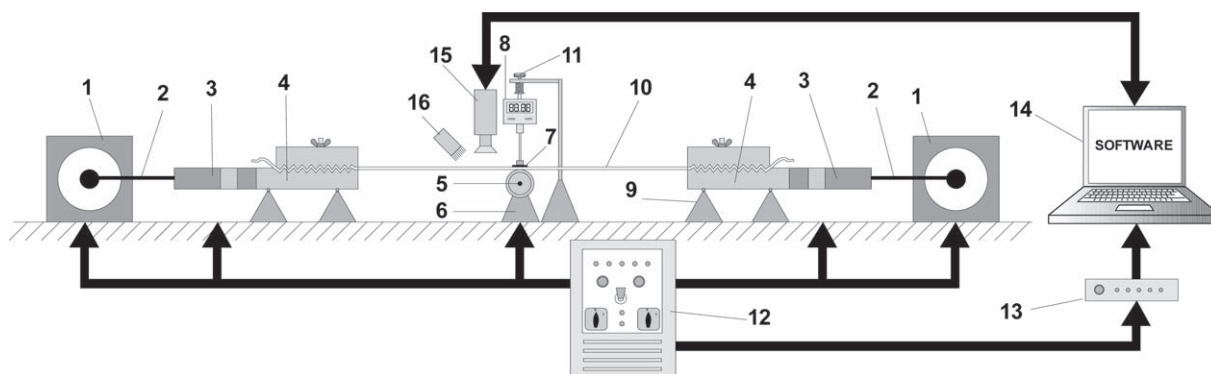
Uzorci su rezani u smjeru potke i u smjeru osnove. Za svaki navedeni smjer djelovanja vlačne sile na uzorke, provedeno je po pet mjerenja, a prosječne vrijednosti vlačne sile, pripadnog istezanja i debljine, prikazani su na dijagramima.

4.2. Aparatura za mjerenje promjene debljine tkanine

U svrhu ovog istraživanja osmišljen je, projektiran i izrađen mjerni uređaj za praćenje i mjerenje dinamičkih promjena debljine uzorka tkanine kada na uzorak djeluje uzdužna vlačna sila. Pomoću ovog mjernog sustava uzorak tkanine se isteže i optere-

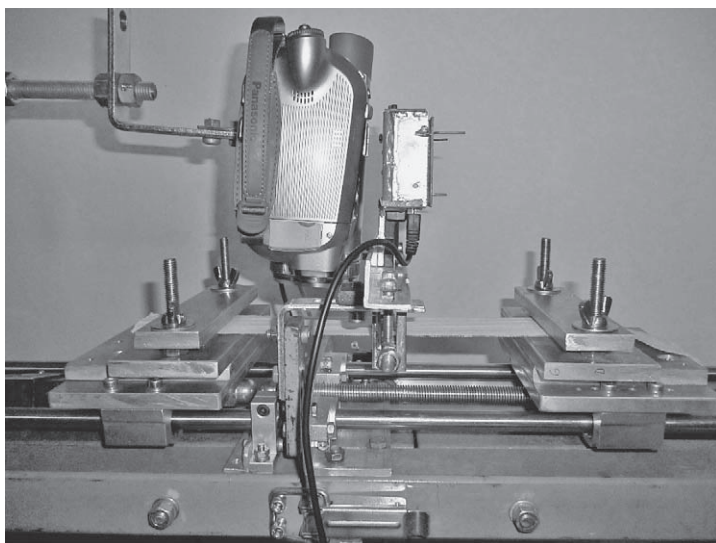
ćuje konstantnom brzinom povlačenja sve do trenutka prekida uzorka. Shematski prikaz mjernog sustava prikazan je na sl.4a, a fotografija mjernog sustava je na sl.4b. Konstruirani mjerni sustav potpuno je automatiziran, računalno upravljani i radi na principu konstantne brzine povlačenja. Maksimalna mjerna rezolucija povlačenja (istezanja) je 3.5 μm . Ispitni uzorak tkanine (10) učvršćen je između pokretnih stezaljki za tkaninu (4). Stezaljke se povlače elektromotornim pogonom (1) preko prijenosnog sustava (2) konstantnom brzinom, a kreću se na kugličnim vodilicama stezaljki (9). Objje stezaljke su pokretne da bi se tijekom ispitivanja

uvijek mjerila debljina tkanine na istoj poziciji. Mjerni pretvornik sile (3) spojen je na stezaljku s jedne strane, a s druge preko prijenosno pogonskog sustava (2) stezaljku pokreće motor (1). Korišten je mjerni pretvornik sile za područje do 200 N. Rad motora (1) je kontroliran pomoću računala preko jedinice za kontrolu i napajanje (12) s kojim je moguće i ručno upravljanje. Na sredini mjernog uzorka nalazi se digitalni debljinomjer (8) s potiskivačem (7) koji naliježe na uzorak tkanine. Promjer potiskivača iznosi 2.54 cm, a površina potiskivača je 5.07 cm^2 . Točnost mjerenja debljine je 0.001 mm. Puno mjerno područje debljinomjera je od



1 - elektromotor, 2 - prijenosno pogonski sustav, 3 - mjerni pretvornik sile, 4 - stezaljke za tkaninu, 5 - referentna osovina debljinomjera, 6 - nosač sustava za mjerenje debljine, 7 - ticalo debljinomjera, 8 - digitalni debljinomjer, 9 - kuglične vodilice stezaljki, 10 - ispitni uzorak tkanine, 11 - podešavanje sile potiska debljinomjera, 12 - jedinica za napajanje i kontrolu s ručnim upravljanjem, 13 - PC računalo sučelje s A/D pretvornikom, 14 - PC računalo, 15 - digitalna videokamera, 16 - izvor svjetlosti

Sl. 4a Shematski prikaz mjernog sustava za mjerenje debljine tkanine pri istezanju



Sl.4b Mjerni sustav za mjerenje debljine tkanine pri istezanju

0 do 25.4 mm. Potiskivač naliježe na tkaninu ispod koje se na tom mjestu nalazi referentna osovina debljinomjera (5) učvršćena na nosač sustava za mjerenje debljine (6). Primijenjeni digitalni debljinomjer sadrži i sklop za podešavanje sile potiska (11). Cijeli sustav je preko računalnog sučelja s A/D pretvornikom (13) spojen na PC računalo (14) i upravljani preko serijske veze. Cijeli proces istezanja i bočnog suženja tkanine do prekida snima uz izvor svjetlosti (16) i s digitalnom videokamerom (15) koja je preko računala spojena s dinamometrom.

4.3. Metoda mjerenja bočnog suženja tkanine do prekida

Za precizno evidentiranje i mjerenje prostorne deformacije tkanine na mjernom sustavu za ispitivanje, na mjesto ispitivanog uzorka postavljen je predložak na papiru s rasterom od 1×1 mm, a cijeli proces istezanja uzorka do prekida je snimljen digitalnom video kamerom Panasonic NV-GS500 koja je u tu svrhu postavljena na stalku iznad uzorka kako je prikazano na sl. 4b. Upotrijebljena je digitalna video kamera s rezolucijom od 720×576 piksela, i brzinom snimanja od 25 slika/s, te je povezana s računalom preko IEEE 1394 (FireWire) sučelja. Vertikalna udaljenost između kamere i uzorka tkanine je takva da 1 mm na mreži odgovara 10 piksela na slici. Mjerenja su provedena uz izvor bijele svijetlosti pod kutom od 45° . Sav snimljeni materijal je pohranjen na tvrdi disk računala u MPEG-2 formatu. Širina svakog uzorka mjerila se na njegovoj sredini kako bi se osigurala što veća točnost izmjerenih poprečnih deformacija. Dinamometar i kamera su međusobno povezani posebnim sklopom za istovremeno uključivanje/isključivanje čime je u cijelosti osigurana egzaktnost video evidentiranja cijelog procesa istezanja tkanine do prekida [22].

Poprečna deformacija dobivena je nakon što su se svi uzorci snimili ka-

merom, a video snimke obrađene u programu Adobe Premiere. Rasterske pojedinačne slike obrađene su u Adobe Photoshop programu. Dimenzije tkanine su mjerene u pikselima, a promjena dimenzija je računata pomoću Microsoft Excel programa.

5. Prikaz rezultata i rasprava

Tijekom ispitivanja uzoraka, snimaju se i bilježe vrijednosti vlačne sile, istezanja, promjene dinamičke debljine i kontrakcije uzorka. Tipične krivulje tih vrijednosti prikazane su na slikama u nastavku, kada sila djeluje u smjeru osnove i potke.

Microsoft Excel softver je korišten za statističku analizu podataka gdje je $p < 0.05$ za pet mjerenja. Dijagrami (F- ϵ) srednjih vrijednosti rezultata ispitivanja djelovanja vlačne sile F i pripadne uzdužne deformacije (relativnog istezanja) ϵ na uzorcima tkanina kada sila djeluje u smjeru potke prikazani su na sl.5, a kada sila djeluje u smjeru osnove prikazani su na sl.6.

Na sl.5 vidljivo je da kada sila djeluje u smjeru potke, s porastom gustoće potke rastu vrijednosti prekidnih sila i pripadnih istezanja pri prekidu uzorka tkanine.

Kada sila djeluje u smjeru osnove, s porastom gustoće potke kod iste vrijednosti istezanja, smanjuju se vrijednosti vlačnih sila, odnosno kod iste

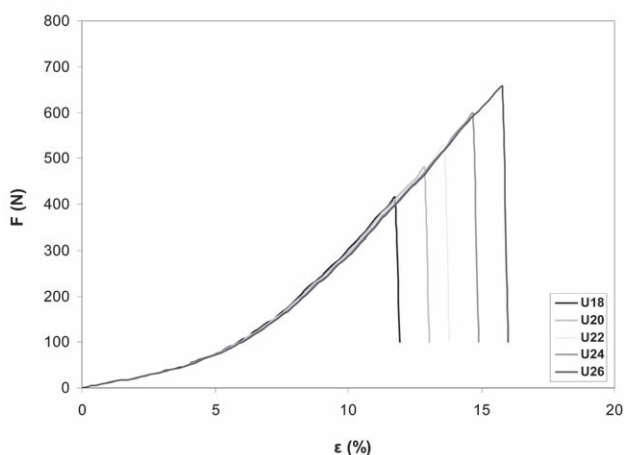
sile vrijednosti istezanja se povećavaju, (sl.6).

Prije početka djelovanja vlačne sile, izmjerene su početne debljine uzorka tkanina d_0 . Međutim, nakon provedenih mjerenja očito je da debljina tkanine jako ovisi o veličini istezanja, tj. o vlačnoj sili. Zbog djelovanja vlačne sile u smjeru osnove ili potke na uzorke tkanina, tkanina se isteže pa zbog unutarnje interakcije potkinitih i osnovinih niti dolazi do promjene dinamičke debljine tkanine. Debljina tkanine se mijenja zbog djelovanja vlačne sile koja isteže uzorke tkanina.

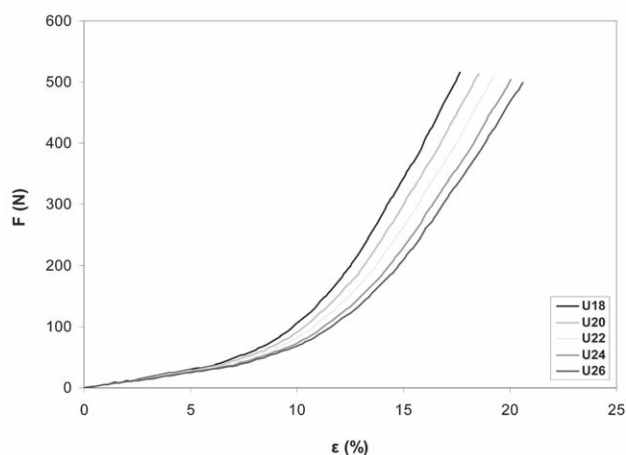
Očitavanjem vrijednosti debljine uzorka tkanine d nakon djelovanja sile, relativna promjena debljine ϵ_d računa se prema izrazu (11), a relativna promjena duljine ϵ prema izrazu (9).

Kada sila djeluje u smjeru potke, odnos između vlačne sile F i pripadajuće relativne promjene debljine ϵ_d uzorka tkanine prikazan je na sl.7. Kada sila djeluje u smjeru osnove, odnos između vlačne sile F i pripadajuće relativne promjene debljine ϵ_d uzorka tkanine prikazan je na sl.9.

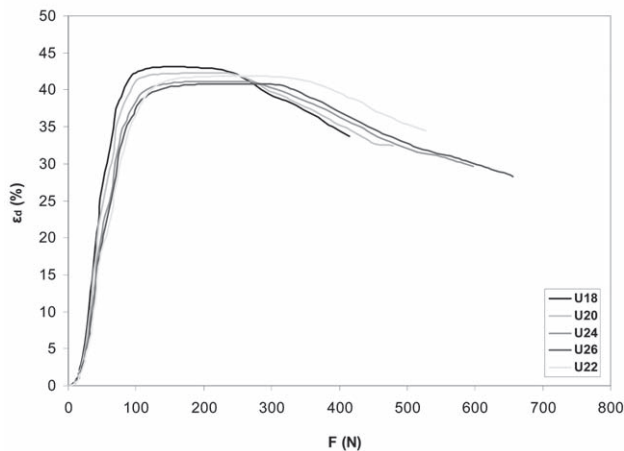
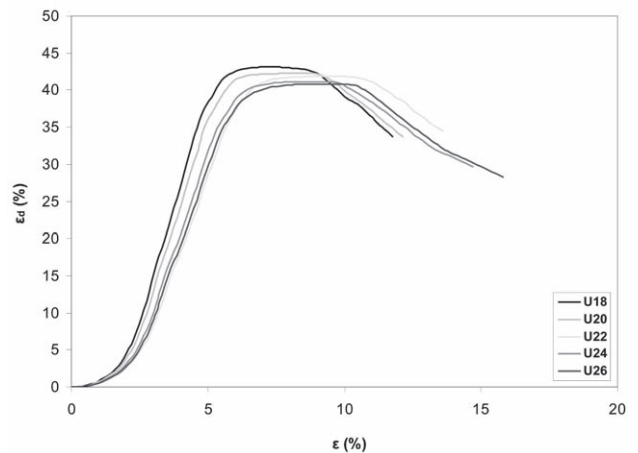
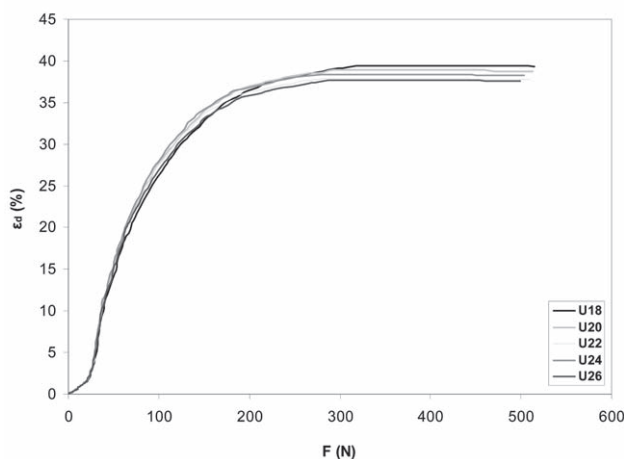
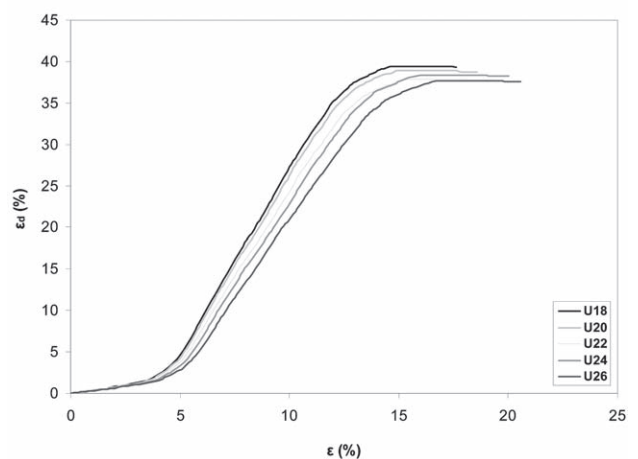
Krivulja (ϵ_d - ϵ) prikazuje tipičan nelinearni odnos između relativne promjene debljine i pripadnog relativnog istezanja kada sila djeluje u smjeru potke, (sl.8). Na sl.10 prikazan je ϵ_d - ϵ dijagram kada sila djeluje u smjeru osnove.



Sl.5 Dijagram sila – relativno istezanje (F- ϵ) kada sila djeluje u smjeru potke



Sl. 6 Dijagram sila – relativno istezanje (F- ϵ) kada sila djeluje u smjeru osnove

Sl.7 Krivulja ovisnosti vlačna sila – relativna promjena debljine (F - ϵ_d) kada sila djeluje u smjeru potkeSl.8 Dijagram (ϵ_d - ϵ) relativna promjene debljine - relativno istezanje kada sila djeluje u smjeru potkeSl.9 Krivulja ovisnosti vlačna sila – relativna promjena debljine (F - ϵ_d) kada sila djeluje u smjeru osnovneSl.10 Dijagram (ϵ_d - ϵ) relativna promjene debljine - relativno istezanje kada sila djeluje u smjeru osnovne

Krivulja relativne promjene debljine tkanine u ovisnosti o vlačnoj sili i istezanju može se podijeliti u četiri zone, (sl.7-10). U prvoj zoni relativna promjena debljine tkanine se blago povećava. U drugoj zoni je nagli porast relativne promjene debljine tkanine i ona gotovo linearno raste s vlačnom silom i istezanjem. U toj zoni izravnava se utkanje niti i počinje njeno istezanje. U trećoj zoni postiže se maksimalna relativna promjena debljine tkanine koja je gotovo konstantna s prirastom sile i prirastom istezanja. U četvrtoj zoni uz daljnji porast sile i istezanja dolazi do blagog smanjenja relativne promjene debljine tkanine.

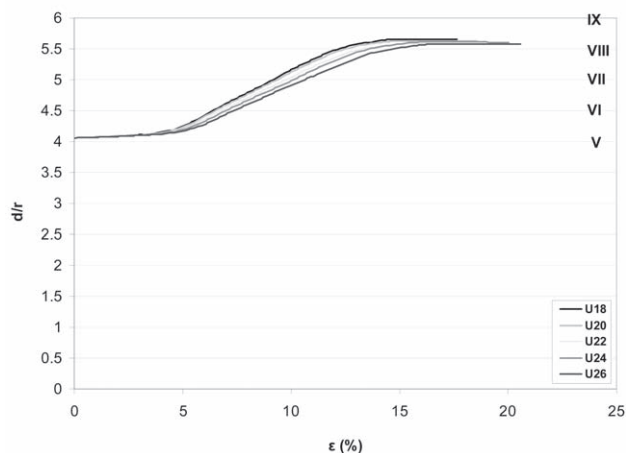
Na početku istezanja uzorka, kada vlačna sila djeluje u smjeru potke, u

prvoj zoni je relativna promjena debljine tkanine jako mala i blago se povećava zbog frikcijskog otpora na savijanje niti, (sl.7). Prva zona je dulja u dijagramu ovisnosti ϵ_d - ϵ (sl.8), nego u dijagramu ϵ_d - F , (sl.7).

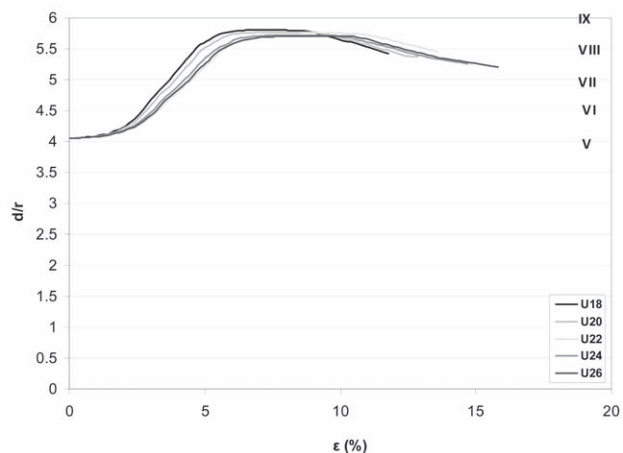
U drugoj zoni kada sila djeluje u smjeru potke, utkanje niti potke postupno se smanjuje, (sl.7 i 8). Kao posljedica izravnavanja utkanja niti potke je porast pritiska na niti osnovne. Taj pritisak stvara dodatne deformacije na niti osnovne i stimulira istovremenu i kontinuiranu razmjenu utkanja niti potke i osnovne, te dolazi do povećavanja utkanja niti osnovne. Dokaz te unutarnje interakcije je suženje tkanine u poprečnom smjeru, tj. smjeru koji je okomit na smjer istezanja, te dolazi do promjene debljine

tkanine. Niti potke se međusobno približavaju i izravnavaju (postaju pravci), a istodobno niti osnovne povećavaju svoju valovitost. Zbog te pojave dolazi do gubitka pravokutnog oblika uzorka, tj. na sredini dolazi do suženja uzorka tkanine. To rezultira s porastom debljine tkanine. Relativna promjena debljine tkanine se jako mijenja i raste, te dostiže svoj maksimum.

U trećoj zoni je prisutan prirast sile i istezanja uz konstantnu relativnu promjenu debljine tkanine, (sl.7 i 8). To se objašnjava time da su se niti potke potpuno izravnale i bočno približile jedna drugoj, tj. nema više praznog prostora za daljnje bočno sužavanje bez bitne deformacije pređe. Prestanak bočnog suženja tkanine može



Sl.11 Odnos debljine tkanine (d) i polumjera (r) pređe prema Novikovu, te relativnog istezanja kada sila djeluje u smjeru osnove



Sl.12 Odnos debljine tkanine (d) i polumjera (r) pređe prema Novikovu, te relativnog istezanja kada sila djeluje u smjeru potke

nastati iz dva razloga: prvo, zbog prestanka izravnivanja utkanja pređe u smjeru istezanja tkanine, i drugo, zbog strukture tkanine. Ako i postoji mogućnost daljnjeg suženja tkanine, to se ne može dalje odvijati jer nema daljnjeg postojanja prostora između susjednih niti u tkanini, pa ne može doći do suženja tkanine. Tkanina još može podnijeti istezanje, ali se debljina ne može dalje povećavati.

U četvrtoj zoni dolazi do osipanja krajnjih niti iz uzorka tkanine i njenog popuštanja. Dosegnuvši kraj izravnivanja utkanja niti, vrijednosti relativne promjene debljine se smanjuju (padaju). Sila i istezanje rastu, a relativna promjena debljine tkanine se smanjuje dok ne dođe do prekida tkanine, (sl.7 i 8).

Sve gore navedeno vrijedi i u slučaju kada sila djeluje u smjeru osnove, (sl.9 i 10).

Kada sila djeluje u smjeru potke, (sl.7 i 8), u prvoj zoni vrijednosti vlačne sile su u intervalu od $F=0$ N do $F=30$ N, a vrijednosti relativnog istezanja se kreću od 0 do 2 %. U tom području relativna debljina tkanine blago raste od nule do vrijednosti $\epsilon_d=2,5$ %. Nakon toga u drugoj zoni relativna debljine tkanine ϵ_d naglo raste. Vrijednosti vlačne sile rastu od $F=30$ N do $F=110$ N, a vrijednosti relativnog istezanja se povećavaju od 2 do 6 %. Za $\epsilon_d > 2,5$ % relativna debljine tkani-

ne ϵ_d povećava svoju vrijednost i kod sile oko $F=110$ N i relativnog istezanja $\epsilon=6\%$ dostiže svoju maksimalnu vrijednost koja se nalazi u rasponu $\epsilon_d=40-43$ %. U trećoj zoni dostignuta je najveća prosječna vrijednost relativne debljine tkanine i njezina prosječna vrijednost iznosi $\epsilon_d=41,5$ % koja je konstantna u području u kojoj vrijednosti vlačne sile rastu od $F=110$ do 260 N, a vrijednosti relativnog istezanja od 6 do 9,5 %. Pri daljnjem porastu sile i relativnog istezanja, u četvrtoj zoni relativna debljina tkanine od svoje najveće srednje vrijednosti $\epsilon_d=41,5$ % se brže smanjuje do prekida tkanine.

Tkanine različitih gustoća potke dostižu približno iste maksimalne vrijednosti relativne debljine tkanine kod gotovo jednakih sila i relativnih istezanja. Iz toga proizlazi da gustoća potke ne utječe na promjenu debljine tkanine kada je izložena djelovanju vlačne sile u smjeru potke.

Kada sila djeluje u smjeru osnove, (sl.9 i 10), u prvoj zoni vrijednosti vlačne sile su u intervalu od 0 do 20 N, a vrijednosti relativnog istezanja se kreću od 0 do 4 %. U tom području relativna debljina tkanine blago raste od nule do vrijednosti $\epsilon_d=1,5$ %. Nakon toga u drugoj zoni relativna debljine tkanine ϵ_d naglo raste. Vrijednosti vlačne sile rastu od $F=20$ N do $F=190$ N, a vrijednosti relativnog

istezanja se povećavaju od 1,5 do 14 %. Relativna debljine tkanine ϵ_d povećava svoju vrijednost i kod sile oko $F=190$ N i relativnog istezanja $\epsilon=14\%$ dostiže svoju maksimalnu vrijednost koja se nalazi u rasponu $\epsilon_d=37-39$ %. U trećoj zoni dostignuta je najveća prosječna vrijednost relativne debljine tkanine i njezina prosječna vrijednost iznosi $\epsilon_d=38$ % koja je konstantna u području u kojoj vrijednosti vlačne sile rastu od 190 do 513 N, a relativnog istezanja od 14 do 20 %. Pri daljnjem porastu sile i relativnog istezanja u četvrtoj zoni relativna debljina tkanine od svoje najveće srednje vrijednosti $\epsilon_d=38$ % neznatno se smanjuje do prekida tkanine.

Kada sila djeluje u smjeru osnove (sl.11), odnos debljine tkanine i polumjera pređe (d/r) na početku mjerenja iznosi 4,1 što odgovara V. fazi po Novikovu. U području relativnog istezanja od 5 do 13,2 % odnos d/r linearno raste s relativnim istezanjem i kod $\epsilon=7,2$ % je odnos $d/r=4,5$, što odgovara VI. fazi. Za $\epsilon=9,4$ %, odnos $d/r=5$ i to je VII. faza. Za $\epsilon=14,5$ %, odnos $d/r=5,5$ i to je VIII. faza. U IX. fazi odnos d/r dostiže maksimalnu vrijednost koja kod $\epsilon=17,1$ % iznosi 5,8.

Kada sila djeluje u smjeru potke, (sl.12), odnos debljine tkanine i polumjera pređe (d/r) na početku mjerenja iznosi 4,1 što odgovara V fazi po No-

vikovu. U području relativnog istežanja od $\epsilon=1,8\%$ do $\epsilon=5,7\%$ odnos d/r linearno raste s relativnim istežanjem i kod $\epsilon=3,1\%$ je odnos $d/r=4,5$ što odgovara VI. fazi. Za $\epsilon=4,23\%$, odnos $d/r=5$ i to je VII. faza. Za $\epsilon=5,45\%$, odnos $d/r=5,5$ i to je VIII. faza. U IX fazi odnos d/r dostiže maksimalnu vrijednost koja kod $\epsilon=7,2\%$ iznosi 5,8. Kada d/r dostigne maksimalnu vrijednost (IX. faza) dolazi do blagog pada odnosa debljine tkanine i polumjera prede.

5.1. Određivanje konvencionalnog i stvarnog σ - ϵ dijagrama tkanina

Da bi se za ispitane tkanine nacrtao stvarni dijagram napreznja-relativno produljenje mora se osim kontinuirane promjene debljine, izmjeriti i kontinuirana promjena širine poprečnog presjeka tkanine. Pri mjerenju na tkaninu djeluje vlačna sila u smjeru potke i u smjeru osnove.

Širina uzoraka tkanina je $b_0=500$ piksela (eng. pixels) što je ekvivalentno $b_0=50$ mm. Očitavanjem vrijednosti širine uzorka tkanine b nakon djelovanja sile, relativna poprečna deformacija (relativno suženje) računa se prema izrazu (10).

Dijagram na sl.13 prikazuje karakterističnu krivulju kontinuirane promjene relativnog suženja ϵ_s (%) uzorka tkanina u odnosu na njezino relativno istežanje ϵ (%) kada sila djeluje u smjeru potke. Na sl.14 je prikazana

karakteristična krivulja relativnog suženja uzorka tkanina u odnosu na njezino relativno istežanje kada sila djeluje u smjeru osnove.

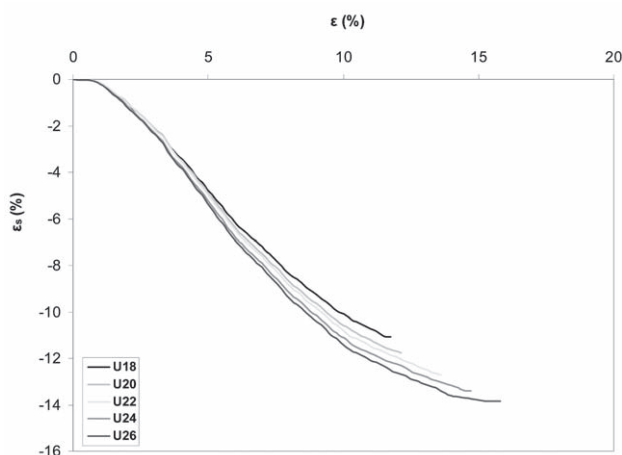
S povećanjem gustoće potke, povećava se broj niti koji ulazi u zahvat stezaljki dinamometra. To znači da je povećan broj točaka pritiska na niti osnove i taj pritisak postaje sve izraženiji, a dolazi i do povećanja utkanja niti osnove. Stoga se očekuje da, kada sila djeluje u smjeru potke, kod istog relativnog istežanja ϵ , tkanina s najvećom gustoćom potke ima najveće relativno suženje ϵ_s zbog najveće napetosti osnove prilikom tkanja, a tkanina s najmanjom gustoćom potke ima najmanje relativno suženje zbog najmanje napetosti osnove prilikom tkanja (sl.13). Od ishodišta do vrijednosti istežanja $\epsilon=4\%$ i do vrijednosti relativnog suženja tkanine $\epsilon_s=-3,5\%$ (sl.13) je linearan odnos između istežanja i relativnog suženja zbog linearnosti odnosa sile i istežanja na sl.5 od ishodišta do vrijednosti sile $F=50$ N i do istežanja $\epsilon=4\%$. Za vrijednost istežanja veće od 4% i relativnog suženja $\epsilon_s=-3,5\%$ njihov odnos više nije linearan (sl.13) zbog nelinearnosti sile i istežanja za vrijednosti $F>50$ N i $\epsilon>4\%$ (sl.5).

Kada sila djeluje u smjeru osnove, s obzirom na to da je gustoća osnove za sve uzorke konstantna tj. broj niti koji se nalazi u zahvatu stezaljki dinamometra je konstantan. To znači da ukupan broj veznih točaka u uzorku

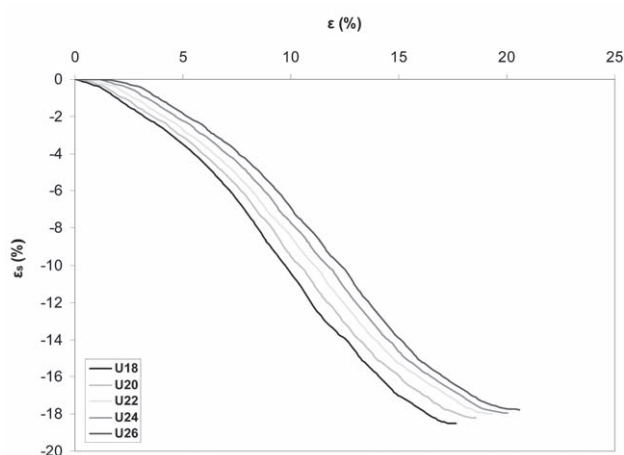
raste i kod najveće gustoće potke je najveći, čime tkanina ima najmanje praznog prostora između niti, te je zbog toga relativno suženje najmanje. Za tkaninu s najmanjom gustoćom potke (U18) je najveće relativno suženje kod svake vrijednosti istežanja (sl.14). Od ishodišta do srednje vrijednosti relativnog suženja tkanine $\epsilon_s=-3,8\%$ (sl.14) je linearan odnos između istežanja i relativnog suženja zbog linearnosti odnosa sile i istežanja na sl. 6 od ishodišta do srednje vrijednosti sile $F=31,4$ N i do istežanja $\epsilon=6,2\%$. Za vrijednosti istežanja $\epsilon>6,2\%$ i relativnog suženja $\epsilon_s=-3,8\%$ odnos istežanja i relativnog suženja više nije linearan (sl.14) zbog nelinearnosti sile i istežanja za vrijednosti $F>31,4$ N i $\epsilon>6,2\%$ (sl.6).

Iz dijagrama na sl.13 i 14 je vidljivo da je na početku istežanja suženje tkanine vrlo malo. Nakon toga, s porastom istežanja, vrijednosti-suženja tkanine značajnije rastu.

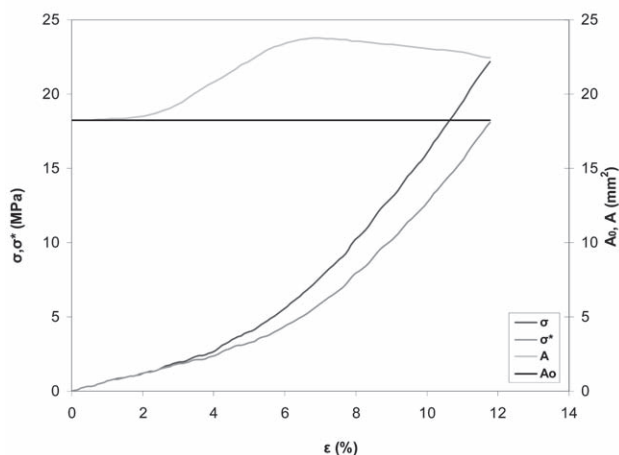
Kod konvencionalnog dijagrama normalna napreznja se računaju ne uzimajući u obzir kontinuiranu promjenu površine poprečnog presjeka na koju djeluje vlačna aksijalna sila. Inicijalna površina presjeka A_0 je konstantna i jednaka umnošku početne debljine i početne širine uzorka. Tijekom istežanja uzorak se sužava, a debljina raste, dakle mijenja se površina presjeka.



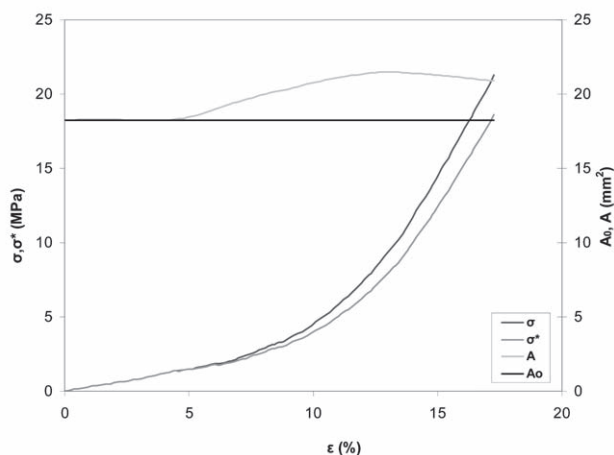
Sl.13 Dijagram relativnog suženja tkanine ϵ_s (%) kada sila djeluje u smjeru potke



Sl.14 Dijagram relativnog suženja tkanine ϵ_s (%) kada sila djeluje u smjeru osnove



Sl.15 Konvencionalni i stvarni radni dijagram naprezanja i deformacije kada sila djeluje u smjeru potke za tkaninu U22



Sl.16 Konvencionalni i stvarni radni dijagram naprezanja i deformacije kada sila djeluje u smjeru osnove za tkaninu U22

Kada sila djeluje u smjeru potke, (sl. 15), do relativnog istezanja $\epsilon=2,02\%$ početna i stvarna površina imaju istu vrijednost $A_0=A=18,25\text{ mm}^2$. U tom području se konvencionalni i stvarni radni dijagram naprezanja poklapaju, a kod $\epsilon=2,02\%$ naprezanja iznose $\sigma=\sigma^*=1,22\text{ MPa}$. Za područje relativnog istezanja od 2,02 do 2,57 % stvarna površina blago raste od $A=18,25\text{ mm}^2$ do $A=18,87\text{ mm}^2$. U tom području istezanja dijagrami stvarnog i konvencionalnog naprezanja se gotovo podudaraju. Pri istezanju od $\epsilon=2,57\%$ stvarna površina se povećala u odnosu na početnu površinu za 3,4 %. Kod istezanja $\epsilon=2,57\%$ računsko naprezanje iznosi $\sigma=1,57\text{ MPa}$, a stvarno naprezanje $\sigma^*=1,52\text{ MPa}$. Dakle, stvarno naprezanje se je smanjilo u odnosu na računsko za -3,2%. Nakon relativnog istezanja $\epsilon=2,57\%$ stvarna površina A se naglo povećava i linearno raste s relativnim istezanjem do njegove vrijednosti $\epsilon=6,98\%$ gdje stvarna površina ima svoju najveću vrijednost i iznosi $A=23,78\text{ mm}^2$. Pri tome je $\sigma=7,62\text{ MPa}$, a $\sigma^*=5,85\text{ MPa}$. Maksimalna stvarna površina A se u odnosu na početnu površinu A_0 povećala za 30,3 %, a stvarno naprezanje σ^* se je u odnosu na računsko naprezanje σ smanjilo za -19,4 %. U intervalu ϵ od 6,98 do 7,35 % stvarna površina A je konstantna i zadržava

va svoju maksimalnu vrijednost $A=23,78\text{ mm}^2$. Nakon toga stvarna površina A se blago smanjuje. Kako se mijenja vrijednost stvarne površine, vrijednosti stvarnog i konvencionalnog dijagrama naprezanja se sve više razlikuju i krivulje se međusobno udaljavaju. Do relativnog istezanja $\epsilon=3,85\%$ (sl.5), vrijedi linearan odnos između vlačne sile i istezanja i u tom području se primjenjuje Hookeov zakon. Kod tog istezanja razlika između σ i σ^* iznosi 13,2 %. Dakle u području u kojemu se primjenjuje Hookeov zakon može se s dovoljnom točnosti računati samo računsko naprezanje σ iz konvencionalnog (radnog) dijagrama.

Kada sila djeluje u smjeru osnove (sl.16), do relativnog istezanja $\epsilon=5\%$ početna i stvarna površina imaju istu vrijednost $A_0=A=18,25\text{ mm}^2$. U tom području se konvencionalni i stvarni radni dijagram naprezanja poklapaju, a kod $\epsilon=5\%$ naprezanja iznose $\sigma=\sigma^*=1,49\text{ MPa}$. Za područje relativnog istezanja od 5 do 12,3 % stvarna površina ima blagi linearni porast od $A=18,25\text{ mm}^2$ do $A=21,47\text{ mm}^2$. U tom području istezanja dijagrami stvarnog i konvencionalnog naprezanja se gotovo podudaraju. Kod istezanja $\epsilon=12,3\%$ računsko naprezanje iznosi $\sigma=7,95\text{ MPa}$, stvarno naprezanje je $\sigma^*=6,77\text{ MPa}$, a stvarna površina dostiže svoju maksimalnu vri-

jednost i iznosi $A=21,47\text{ mm}^2$. Maksimalna stvarna površina A u odnosu na početnu površinu A_0 se povećala za 17,6 %, a stvarno naprezanje σ^* se je u odnosu na računsko naprezanje σ smanjilo za -19,4 %. U intervalu od $\epsilon=12,3\%$ do $\epsilon=14,5\%$ stvarna površina A je konstantna i zadržava svoju maksimalnu vrijednost $A=21,47\text{ mm}^2$. Nakon toga stvarna površina A se blago smanjuje.

Do relativnog istezanja $\epsilon=7,16\%$ (sl.6) vrijedi linearan odnos između vlačne sile i istezanja i u tom području se primjenjuje Hooke-ov zakon. Kod tog istezanja razlika između σ i σ^* iznosi 7 %. Dakle u području u kojemu se primjenjuje Hookeov zakon može se s dovoljnom točnosti računati samo računsko naprezanje σ iz konvencionalnog (radnog) dijagrama.

Kada sila djeluje u smjeru osnove manja je razlika između stvarne i početne površine presjeka, pa se dijagrami stvarnog i konvencionalnog naprezanja bolje podudaraju.

6. Zaključak

Istraživanja promjene debljine tkanine pod utjecajem vlačnih sila koje djeluju u smjeru osnove i u smjeru potke, provedena su na uzorcima tkanine poznate konstantne nazivne finooće pređe, konstantne gustoće osno-

ve i promjenjive gustoće potke. Mjerenja dinamičke promjene debljine tkanine provedena su na novokonstruiranom mjernom uređaju koji istodobno bilježi sve potrebne vrijednosti o promjeni vlačne sile, istežanja, bočnog suženja i površine na koju djeluje vlačna sila.

Međusobno ispreplitanje dvaju sustava niti, osnove i potke, uvjetuje da zbog ostvarivanja određene gustoće tkanine, a pod utjecajem sila u osnovi i potki, nastaje određena deformacija oblika presjeka pređe. Ta deformacija može se najlakše uočiti i mjeriti kroz parametar debljine tkanine. Intenzivnost promjene debljine ovisi o mnogobrojnim konstrukcijskim elementima pređe i tkanine kao i o tehnološkim uvjetima nastajanja tkanine. Pri tome se tkanina svojom unutarnjom građom suprotstavlja utjecaju vanjskih sila i to traje sve do odležavanja tkanine, kada dolazi do uravnoteženja sila te tkanina poprima svoje konačne parametre. Rezultati ispitivanja pokazali su da se s porastom aksijalnih vlačnih sila na tkaninu njezina debljina povećava za sve gustoće potke i gustoću osnove. Iz toga proizlazi da gustoća osnove i promjena gustoće potke ne utječe na promjenu maksimalne debljine tkanine kada je izložena djelovanju vlačne sile u smjeru potke i u smjeru osnove.

U području u kojemu se primjenjuje Hookeov zakon može se s dovoljnom točnošću računati samo računski naprezanja σ iz konvencionalnog (radnog) dijagrama. U tom području maksimalna razlika između stvarnog i računskog naprezanja iznosi 7 % kad vlačna sila djeluje u smjeru osnove, a kad sila djeluje u smjeru potke razlika je 13,2 %.

Literatura:

- [1] Olofsson B.: A general model of a fabric as a geometric-mechanical structure, *Journal of the Textile Institute Transactions* 55 (1964) 11, 541-557
- [2] Haven G. B.: New Fabric Thickness-Measurer, *Textile Research Journal* 3 (1933) 5, 229-237
- [3] Schiefer H.F.: The compressometer: An instrument for evaluating the thickness, compressibility and compressional resilience of textiles and similar materials, *Textile Research Journal* 10 (1933) 1, 505-513
- [4] Peirce F.T.: Geometry of Cloth structure, *The Journal of the Textile Institute* 28 (1937) 1, T45-T96
- [5] Womersley J.R.: The Application of Differential Geometry to the Study of the Deformation of Cloth under Stress, *The Journal of the Textile Institute* 28 (1937) T 97
- [6] Seaman R.E.: The measurement of fabric thickness, *Textile Research Journal* 23 (1953) 4, 262-266
- [7] Kenyon D.: Determination of the crimps in plain-weave nylon fabric, *Journal of the Textile Institute Transactions* 53 (1962) 1, T38-T44
- [8] Fan J. et al.: A portable tester for nondestructively measuring fabric properties. *Textile research Journal* 72 (2002) 1, 21-26
- [9] Dhoot N.S. et al.: Effect of fabric weaves on compressional behaviour of woven fabric, *Indian Journal of Fibre & Textile Research* 39 (2014) 1, 79-82
- [10] Majumdar A., S.S. Saha: A novel fabric thickness and compression tester using magnetic inductance principle, *Journal of the Textile Institute* 99 (2008) 4, 359-362
- [11] Kang T.J. et al.: Automatic structure analysis and objective evaluation of woven fabric using image analysis, *Textile Research Journal* 71 (2001) 3, 261-270
- [12] Raychaudhuri B.: Fuzzy electronic determination of the thickness of fabrics, *J. Text. Assoc* 63 (2003) 6, 295-297
- [13] Stuart I.M.: Variation of woven fabric length and thickness with regain, *Textile Research Journal* 41 (1971) 1, 5-10
- [14] Xiao X. et al.: Through-thickness permeability modelling of woven fabric under out-of-plane deformation, *Journal of Materials Science* 49 (2014) 21, 7563-7574
- [15] Lowe L.: Graphical Relationships in Cloth Geometry for Plain, Twill, and Sateen Weaves, *Textile Research Journal* 24 (1954) 12, 1073-1083
- [16] Hamilton I.B.: General system of woven-fabric geometry, *The Journal of the Textile Institute* 55 (1964) 1, T66-T82
- [17] Damjanov G.B. et al.: Stroenie tkani i sovremennye metody ee proektirovaniya, *Legkaja i piševaja promyšlennost, Moskva, 1984, (na ruskom)*
- [18] Kawabata S., M. Niwa: Fabric Performance in Clothing and Clothing Manufacture, *The Journal of the Textile Institute* 80 (1989) 1, 19-50
- [19] Sun H.: On the Poisson's ratios of a woven fabric, *Composite Structures* 68 (2005.) 4, 505-510
- [20] Šimić Penava D. et al.: Influence of Coating on the Poisson's Ratio of Woven Fabrics, *Applied Mechanics and Materials* 827 (2016) 27-30
- [21] Penava Ž. i sur.: Utjecaj pripreme slikarskog platna na modul elastičnosti i prekidna svojstva pri djelovanju vlačne sile, *Tekstil*, 64 (2015.) 1-2, 1-12
- [22] Penava Ž. i sur.: Istraživanje utjecaja utkanja osnove i potke na Poissonov koeficijent tkanine, *Tekstil* 63 (2014.) 7-8, 217-227

SUMMARY

Influence of woven fabric density on its thickness subjected to tensile stress

Ž. Penava, D. Šimić Penava¹, Ž. Knezić

This paper investigates the impact of fabric density on the thickness change of the fabric when the samples are exposed to uniaxial tensile forces in the warp and in the weft direction. During stretching, the fabric thickness is changing depending on the value of the tensile force. In an effort to be as precise as possible to measure dynamic thickness changes of the fabric, and simultaneously collect all the required values about the change of the tensile force, extension and the area on which tensile force acts, new measuring apparatus are designed and manufactured. This measuring apparatus allows the simultaneous measurement of dynamic thickness of fabric, the fabric contraction and related tensile axial forces. Measurements of dynamic thickness of fabric, breaking force and breaking extension during stretching process were carried out on five samples of cotton woven fabric with a constant warp density and different weft densities with the same structural plain weave. Based on the experimentally obtained values, the paper presents diagrams of the relationship between dynamic changes in the thickness of the fabric in relation to the tensile force and extension. Also, the comparison is made between real and conventional operating stress diagram for the fabrics. The researches presented in this paper have shown that an increase in the tensile force increases the thickness of the fabric for all weft densities and warp densities.

Keywords: woven fabrics, dynamic thickness, warp density, weft density, tensile force, extension

University of Zagreb, Faculty of Textile Technology

¹*University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering
Zagreb, Croatia*

e-mail: zeljko.penava@ttf.hr

Received June 13, 2016

Einfluss der Gewebedichte auf die Veränderung seiner Dicke unter Einwirkung von Zugspannung

Dieser Artikel untersucht die Auswirkung der Gewebedichte auf die Gewebedickenänderung, wenn die Proben uniaxialen Zugkräften in Kett- und + Schussrichtung ausgesetzt werden. Während der Dehnung ändert sich die Gewebedicke in Abhängigkeit vom Zugkraftwert. Im Bemühen, um genauere dynamische Gewebedickenänderungen zu messen und gleichzeitig alle erforderlichen Werte von der Zugkraftänderung, der Dehnung und des auf die Zugkraft wirkenden Bereichs zu sammeln, werden neue Messvorrichtungen entworfen und angefertigt. Diese Messvorrichtung ermöglicht die gleichzeitige Messung der dynamischen Gewebedicke, des Gewebeeinsprungs und der damit verbundenen axialen Zugkräfte. Messungen der dynamischen Gewebedicke, der Bruchkraft und der Bruchdehnung während des Dehnungsprozesses wurden auf fünf Proben des Baumwollgewebes mit einer konstanten Kettichte und unterschiedlichen Schußdichten bei der gleichen strukturellen Leinwandbindung durchgeführt. Basierend auf den experimentell gewonnenen Werten zeigt der Artikel Verhältnisdiagramme zwischen dynamischen Änderungen in der Gewebedicke in Bezug auf Zugkraft und Dehnung. Es wurde auch ein Vergleich zwischen dem realen und konventionellen Spannungs-Dehnungs-Diagramms von Geweben durchgeführt. Die in diesem Artikel dargestellten Untersuchungen zeigen, dass eine Erhöhung der Zugkraft die Gewebedicke bei allen Schußdichten und der Kettichte erhöht.