

Deformacijske karakteristike tkanine pri različitim smjerovima djelovanja jednoosnog vlačnog opterećenja

Prof. dr. sc. **Željko Penava**¹

Prof. dr. sc. **Diana Šimić Penava**²

Doc. dr. sc. **Željko Knezić**¹

¹Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

Zavod za projektiranje i menadžment tekstila

²Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet

Zavod za tehničku mehaniku

Zagreb, Hrvatska

e-mail: zeljko.penava@tff.unizg.hr

Prispjelo 20. 9. 2020.

UDK 677.017.4:539.32

Izvorni znanstveni rad

*U radu su prikazani rezultati eksperimentalnog istraživanja utjecaja različitih smjerova djelovanja jednoosnog vlačnog opterećenja na istezanja opterećenih dijelova uzorka tkanine i utjecaj na veličinu deformacije pri istom opterećenju. Za potrebe ovog rada provedena su mjerenja deformacije uzoraka sirove pamučne tkanine u platnenom vezu kod djelovanja vlačne sile do prekida i to uzoraka rezanih u smjeru potke (0°), u smjeru osnove (90°), te pod kutovima 15°, 26,56°, 30°, 45°, 60°, 63,44°, 75° u odnosu na potkine niti u tkanini. Na temelju eksperimentalno izmjerenih vrijednosti istezanja uzoraka tkanine izrađeni su dijagrami ovisnosti istezanja rubnih dijelova uzorka i središnjeg dijela uzorka tkanine u odnosu na ukupno istezanje uzorka tkanine. Rezultati istraživanja potvrđuju da složena priroda deformacijskih svojstava tkanine uzrokuje nejednačenost istezanja pojedinih dijelova uzorka. Tijekom vlačnog opterećenja tkanine, niti uzorka tkanine različito su postavljene u odnosu na stezaljke i na smjer djelovanja sile i stoga različito podnose primijenjeno opterećenje. Kod ove vrste tkanine zapaženo je da se srednji dio uzorka tkanine više istežu od rubnih dijelova uzorka kod uzoraka izrezanih pod kutom 26,56°, 30°, 45°, 60°, 63,44°, a za uzorke koji su rezani u smjeru potke (0°), u smjeru osnove (90°), te pod kutovima 15° i 75° u odnosu na potku krivulje istezanja rubnih dijelova uzorka i srednjeg dijela smještene su gotovo jedna pored druge, što ukazuje na jednoliku raspodjelu ukupnog istezanja u uzorku. **Ključne riječi:** pamučna tkanina, prekidna vlačna sila, prekidno istezanje, deformacija tkanine, anizotropija tkanine*

1. Uvod

Tkanine su tekstilni plošni proizvodi kod kojih se međusobno prepliću uzdužne (osnovine) i popreč-

ne (potkine) niti pod gotovo pravim kutom. U ovisnosti o vrsti veza osnovine i potkine niti se različito prepliću i imaju i različita svojstva. Pri projektiranju svojsta-

va tkanina, u prvom redu se treba zadovoljiti prikladnost za određenu namjenu, ali i estetski izgled te ekonomsku opravdanost u proizvodnji. Pažljivim projektiranjem

tkanina moguće je neželjene promjene oblika tkanine svesti na minimum uz istovremeno postizanje zadovoljavajućih fizikalno-mehaničkih svojstava. Tkanine mogu biti gotovi proizvod ili poluproizvoda, odnosno sirovina za izradu gotovog proizvoda, u oba slučaja trebaju se postići određeni (zahtijevani) standardi kvalitete, i uporabni i estetski. Najvažniji konstrukcijski elementi tkanine (vrlo važni u ocjeni kvalitete) su siroviniski sastav, vrsta i finoća pređe, gustoća tkanine, vez tkanine, raport boja, debljina tkanine, površinska masa i širina tkanine. Prilikom procesa tkanja i oplemenjivanja dolazi do deformacija pređe i tkanine, te do promjene fizikalno-kemijskih i vizualnih svojstava niti osnove i potke, odnosno tkanine. Deformaciju osnovinih niti u procesu tkanja nije moguće izbjeći, ali se može utjecati na njeno smanjenje. Deformacija osnovinih niti u procesu tkanja ovisi o nizu parametara tkanja među kojima su: brzina rada stroja, čistoća zijeve, visina zijeve, napetost osnove, gustoća tkanine, finoća pređe, vez, itd. Poznavanje fizikalno-mehaničkih svojstava tkanina jako je važno za razna područja primjene, a posebno kod primjene za kompozitne materijala u različitim industrijskim granama. Tkanine su posebna vrsta anizotropnih materijala koji imaju dvije međusobno okomite ravnine elastične simetrije i pripadaju skupini ortotropnih materijala. Složeni odnosi između naprezanja i deformacija (tj. produljenja) svojstveni su za tkanine. Naprezanja i deformacije vezani su funkcionalnom vezom koja ima fizikalni karakter i ovisi o otporu tkanine, njenoj unutarnjoj strukturi, promjeni oblika, promjeni krutosti koje su posebno izražene tijekom deformiranja. Funkcionalna veza između naprezanja i deformacija ne može se odrediti teorijski, već samo eksperimentalno, ispitivanjem uzoraka izrađenih od

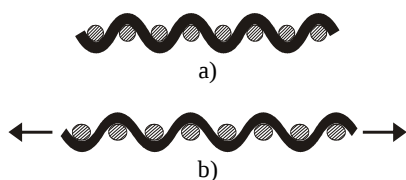
određenog materijala. Pokusima se utvrđuje veza između naprezanja i deformacija pri određenim uvjetima u obliku dijagrama. Svojstvo tkanine, odnosno veličina deformacije i oblik deformiranog uzorka (istezanje tkanine) je različito u različitim smjerovima, odnosno različito u ovisnosti o smjeru djelovanja vlačne sile (nagiba osi). Tkanina ima u većoj ili manjoj mjeri anizotropiju mehaničkih svojstava, odnosno, različita su svojstva tkanine pri promjeni kuta djelovanja vanjskog opterećenja. Za mnoge upotrebe je vrlo važno znati vrijednosti promjena mehaničkih svojstva kod istezanja tkanine pri djelovanju vlačne sile. Svojstva tekstila pri istezanju kada djeluje vlačna sila istražuju se eksperimentalno. Također je važno poznavanje geometrije i strukture tkanine kako bi se razumjelo njeno ponašanje u određenim uvjetima. U prošlosti su provedena mnoga istraživanja geometrija i struktura tkanina, koja se odnose na prostornu orijentaciju pređe u strukturi tkanine [1, 2]. Najčešće korišteni i najpoznatiji modeli za ispitivanje su Kempov, Olofssonov i Hearlov model [3-5]. Načela na kojima se zasnivaju ovi modeli i dalje se primjenjuju. Uvijek se pretpostavlja da je geometrijski oblik konstantan za svaki model vezne točke (osnovine ili potkine). Peirce je među prvim počeo proučavati mehanička svojstva tkanina pod djelovanjem vlačnog opterećenja [6]. U početku, istraživanja su uglavnom bila usmjerena na svojstva tkanina kada sile djeluju u glavnim smjerovima, odnosno smjer osnove i potke za tkanine. Kilby polazi od klasične teorije elastičnosti s pretpostavkom da je tkanina anizotropni materijal s dvije ravnine simetrije [7]. Određivao je vlačna svojstva tkanina u proizvoljnom smjeru djelovanja vlačne sile prikazujući ovisnost deformacije tkanine u odnosu na smjer djelovanja vlačne sile. Bassett je kori-

stio jednoosno vlačno opterećenje kao najrašireniji postupak ispitivanja i analize fizikalnih i mehaničkih svojstava tkanina [8]. Realnija predviđanja čvrstoće tkanine dali su Kovar i Pan [9, 10]. Zheng, Zouari i Thirwell bavili su se mjerenjem istezanja tkanina kod djelovanja vlačne sile u različitim smjerovima da bi promatrali strukturne promjene tkanina i odredili anizotropiju [11-13]. Veličine vlačnih sila i uzdužnih deformacija tekstilnih proizvoda pri promjeni kuta djelovanja (nagiba) vlačne sile su jako važne. Na početku je proporcionalan odnos između sile i istezanja. S daljnjim djelovanjem odnos između sile i istezanja više nije linearan [14]. Penava i sur. proučavali su utjecaj anizotropije tkanine na modul elastičnosti, Poissonov koeficijent, te na vrijednosti granične čvrstoće i prekidnog istezanja [15-17]. Ovisno o namjeni tkanine postavljaju se zahtjevi vezani uz primjenu određenih vrsta i finoća pređa, veza tkanine, sa svrhom postizanja određenih isteznih, toplinskih i drugih svojstava. Istezljivost tkanine je važno svojstvo, jer u mnogo slučajeva tkanina mora imati određeno istezanje u smjeru osnove, potke ili u oba smjera da bi zadovoljila određenu namjenu. U fazi projektiranja tkanine mora se predvidjeti i naći mogućnost djelovanja na elemente koji utječu na istezljivost tkanine. Tijekom korištenja, odjevni predmeti trebaju biti otporni na trajne deformacije. Posebna pozornost se odnosi na element utkanja i na parametre koji na njega djeluju, pri odabiru elemenata tkanine i tijekom procesa tkanja. Cilj ovog rada je određivanje svojstava tkanine u više smjerova djelovanja jednoosnog vlačnog opterećenja, odnosno određivanje istezanja pojedinih dijelova uzorka tkanine i utjecaj na veličinu deformacije pri istom opterećenju. Složena struktura tkanine značajno utječu na oblik i veličinu defor-

macije uzroka tkanine pri djelovanju vlačne sile i rezultira anizotropijom tih svojstava.

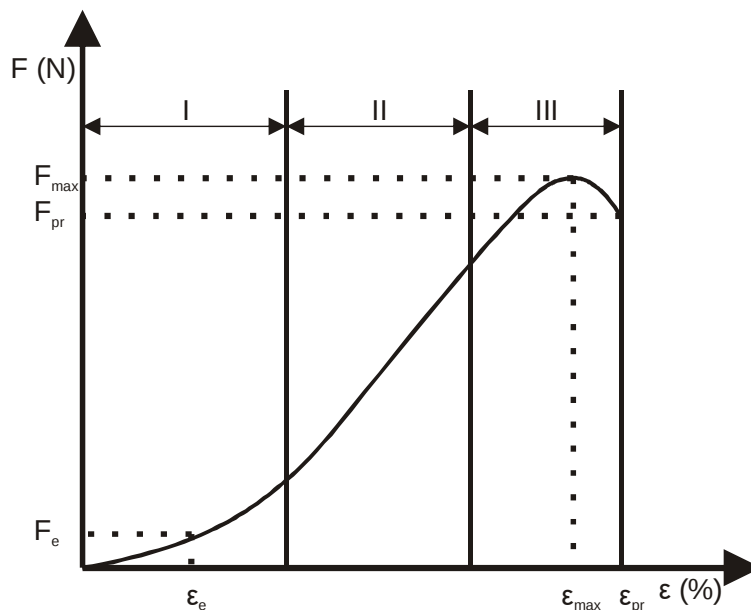
2. Istezljivost tkanina

Analizom strukturnih, geometrijskih i mehaničkih svojstava tkanine utvrđeno je da na istezljivost tkanine u najvećoj mjeri utječu svojstva istezljivosti pređe i utkanje. Istezljivost tkanine je vrlo važno svojstvo koje značajno utječe u konačnici na namjenu tkanine. Kako bi tkanina mogla zadovoljiti određenu svrhu potrebno je znati koliko je istezanje tkanine u smjeru osnove, potke ili u oba smjera, a često i više smjerova, odnosno za proizvoljni smjer djelovanja sile. Na temelju vrijednosti veličine prekidnog istezanja daje se ocjena o istezljivosti tkanine. Tkanina može imati veću ili manju istezljivost. Jednoosno istezanje uzorka tkanine se provodi na dinamometru. Kod istezanja tkanine djelovanjem vlačne sile javlja se i sila otpora, pa se može definirati otpor istezanju tkanine kod nekog stupnja istezanja (kod vlačnog opterećenja). U trenutku prekida, javlja se otpor prekidnom istezanju tkanine. Uzorak tkanine predstavlja dva sustava niti koje se međusobno križaju pod određenim kutom i koje se u tkanini nalaze u valovitom obliku (sl.1).



Sl.1 Izgled i položaj niti u:
a) neopterećenoj i b) opterećenoj tkanini

Zbog valovitosti niti pretpostavlja se da će se i svojstva tkanine prilikom opterećenja mijenjati kao posljedica istezljivosti samih niti. Istezanje tkanine po osnovi i potki sastoji se od područja koje nastaje uglavnom zbog ispravljanja valo-



Sl.2 Karakteristični oblik dijagrama sila – istezanje (F - ϵ) za tkaninu

vitosti niti (utkanje) i područja, koje nastaje zbog istezanja samih niti (pređa). Analizom elemenata tkanine, može se zaključiti da su utkanje i istezljivost niti proporcionalno povezani s istezljivosti tkanine. Odnos sile (F) i relativnog istezanja (ϵ) prikazuju se u obliku karakterističnog dijagrama naprezanja (F - ϵ) za tkaninu (sl.2).

Na dijagramu se nalazi nekoliko karakterističnih točaka:

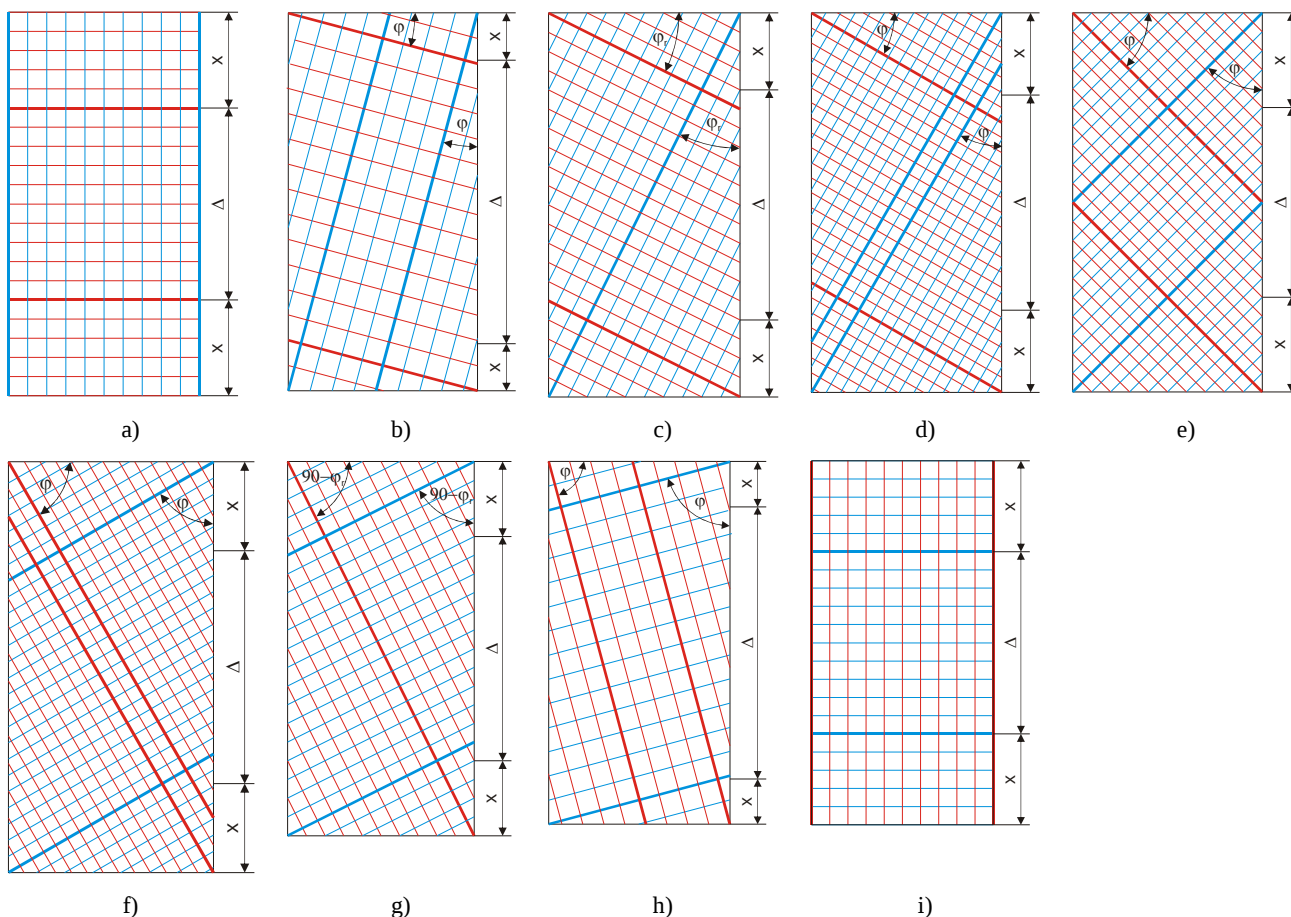
- F_{max} - maksimalna sila primijenjena na uzorak tkanine
- F_{pr} - krajnja sila neposredno prije prekida uzorka tkanine
- F_e - sila na granici elastičnosti
- ϵ_{max} - maksimalno istezanje uzorka tkanine pri djelovanju maksimalne sile
- ϵ_{pr} - istezanje uzorka tkanine do prekida
- ϵ_e - elastična deformacija

Iz dijagrama je vidljivo da mehanička svojstva tkanina pri vlačnom opterećenju nemaju uvijek linearnu ovisnost, nego ima područja nelinearnih ovisnosti. Područje I je nelinearno područje u kojem nastaje izravnavanje valovitosti niti, tj. predstavlja promjene valovitosti i inicijalno istezanje pređe.

Na početku djelovanja vlačnog opterećenja na tkanine, utkane niti u smjeru sustava osnove ili potke, se izravnavaju, čime se tkanina nelinearno isteže pri malom povećanju naprezanja (sila opterećenja). Nakon što su se niti osnove ili potke većim dijelom izravnale, u nastavku naprezanja, veći dio sile preuzimaju upravo niti koje se dalje istežu, a iznos sile je proporcionalan istezanju, odnosno, vlačnoj deformaciji. To je područje II linearne ovisnosti sile i deformacije. Područje III je nelinearno i prikazuje područje u kojem u tkanini dolazi do popuštanja veza između pojedinih vlakana u niti (pređi), budući da sile naprezanja prelaze vrijednosti sile trenja između niti u veznim točkama i između vlakana unutar niti (u pređi).

3. Uzdužna deformacija tkanine pri različitim smjerovima djelovanja sile

Identificirani obrasci deformacije u tkaninama pri istezanju, promjene u veličini i obliku uzorka predstavljaju zanimanje za dizajnere, tehnologe i druge stručnjake od-



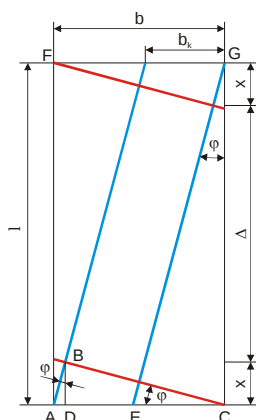
Sl.3 Shematski prikaz izrade uzoraka tkanine način određivanja kutova: a) $\varphi=0^\circ$, b) $\varphi=15^\circ$, c) $\varphi=\varphi_r=26,56^\circ$, d) $\varphi=30^\circ$, e) $\varphi=45^\circ$, f) $\varphi=60^\circ$, g) $\varphi=90^\circ-\varphi_r=63,44^\circ$, h) $\varphi=75^\circ$, i) $\varphi=90^\circ$

jevnje industrije. Složena priroda tkanina rezultira neujednačenosti produljenja pojedinih dijelova uzorka tkanine. Na sl.3 nalaze se shematski prikazi uzoraka tkanine pod različitim kutovima u odnosu na potku. Crvene linije označavaju osnovine niti, a plave linije potkine niti.

Na sl.4 nacrtan je shematski prikaz uzorka tkanine pod kutom od $\varphi=15^\circ$, gdje su: l - početna duljina uzorka, b - početna širina uzorka, φ - kut u odnosu na smjer potke, b_k - širina uzorka tkanine koja se istovremeno nalazi učvršćena u gornjoj i donjoj stezaljci.

Granični kut φ_r , sl.3c, odnosno $90^\circ-\varphi_r$, sl.3g, kod kojeg se polovica niti nalazi učvršćena u gornjoj stezaljci, a druga polovica niti u donjoj stezaljci računa prema izrazu:

$$\operatorname{tg} \varphi_r = \frac{b}{l} \quad (1)$$



Sl.4 Shematski prikaz uzorka tkanine pod kutom od 15°

Duljina rubnih dijelova uzorka tkanine $BD=x$, tj. udaljenost između ruba tkanine i sjecišta niti osnove i potke (točka B), odredit će se prema izrazima:

$$\overline{AB} = \overline{AC} \cdot \sin \varphi$$

$$\overline{BD} = \overline{AB} \cdot \cos \varphi$$

$$x = \overline{BD} = \overline{AC} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

Duljina srednjeg dijela uzorka tkanine Δ predstavlja udaljenost između gornje i donje linije i računa se prema izrazu:

$$\Delta = l - 2x \quad (3)$$

Širina uzorka tkanine koja se istovremeno nalazi učvršćena u gornjoj i donjoj stezaljci, b_k , dana je izrazom (4):

$$b_k = \overline{AE} = \overline{AC} - \overline{EC} = b - \overline{CG} \cdot \operatorname{tg} \varphi = b - l \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$b_k = \begin{cases} b - l \cdot \operatorname{tg} \varphi, & 0 \leq \varphi \leq \varphi_r \\ b - l \cdot \operatorname{tg}(90^\circ - \varphi_r), & (90^\circ - \varphi_r) \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

Za shematski prikaz uzorka tkanine u smjeru potke, sl.3a, sve niti potke nalaze se istodobno učvršćene u obje stezaljke. Za uzorak u smjeru osnove, sl.3i, sve niti osnove nalaze se istodobno učvršćene u obje stezaljke. U oba slučaja $b_k=b$ i sve niti su u istim uvjetima pri vlačnom opterećenju tkanine. Za kutove $0 < \varphi < \varphi_r$ je

$b_k < b$, sl.3b, i tada je samo jedan dio niti potke istodobno učvršćen u obje stezaljke. Za kutove $(90^\circ - \varphi_r) < \varphi < 90^\circ$ je $b_k < b$, sl.3h i tada je samo jedan dio niti osnove istodobno učvršćen u obje stezaljke. Za kutove $\varphi_r < \varphi < (90^\circ - \varphi_r)$, sl. 3d,e,f) niti jedna nit osnove i potke ne nalaze se istodobno učvršćene u obje stezaljke.

4. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu rada provedeni su pokusi na uzoracima sirove pamučne tkanine u platnenom vezu pri statičkom opterećenju. Pri tom ispitivanju određene su veličine vlačnih sila i pripadna istezanja, te su dobiveni podaci o prekidnim silama i istezanjima pri prekidu. U tu svrhu primijenjene su klasične metode i instrumenti za ispitivanje vlačnih svojstava tkanina. Eksperiment je proveden mjerenjem deformacije uzoraka tkanina kod djelovanja vlačne sile do prekida i to kada su uzorci rezani u smjeru osnove ($\varphi = 0^\circ$), u smjeru potke ($\varphi = 90^\circ$), te pod kutovima 15° , φ_r , 30° , 45° , 60° , $90 - \varphi_r$, 75° (15° , $26,56^\circ$, 30° , 45° , 60° , $63,44^\circ$, 75°) u odnosu na potkine niti u tkanini, sl.5.

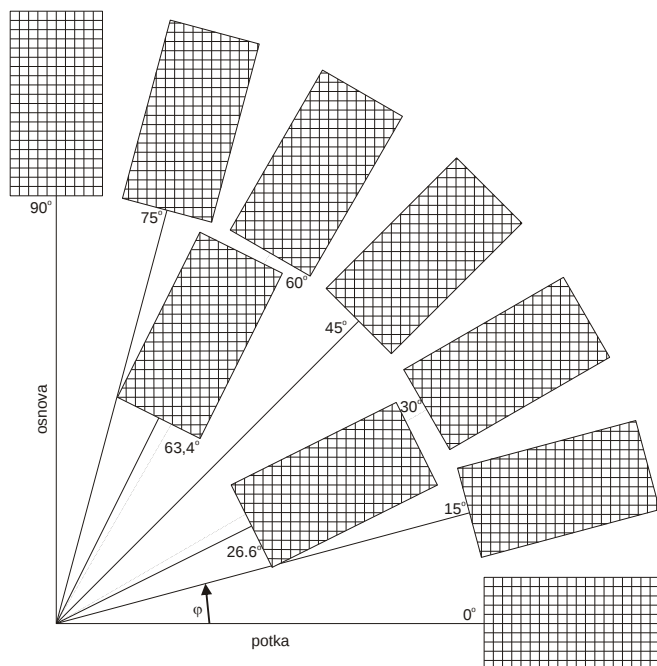
Provedenim eksperimentom želi se odrediti ovisnost smjera djelovanja vlačne sile na vrijednosti prekidnih sila, istezanja pri prekidu, odnosno odrediti koliko se istezanja pojedinih dijelova uzorka tkanine razlikuju, te odrediti vrijednosti i oblik deformacije pri istom opterećenju.

4.1. Uzorci tkanina i metode ispitivanja

Za potrebe ovog rada otkano je nekoliko metara pamučne tkanine u platnenom vezu. Za vrijeme tkanja svi parametri tkanja su držani konstantnim kao što je napetost osnove, broj okretaja glavne osovine stroja, brzina povlačenja

tkanine, te temperatura i vlaga okoline. Tkanje je izvršeno u tekstilnoj tvornici Čateks d.d.. Tkanina je otkana na zračno-mlaznom tkalački stroju OMNIplus 800 tvrtke Picanol na kojem je uz sljedeće parametre tkanja: broj okretaja glavne osovine 600 min^{-1} , finoća (gustoća) brda 160 zubi/10 cm, uvod osnove u brdo je 2 niti u jednu uzubinu brda, širina osnove u brdu je 160 cm, elektronsko popuštanje osnove i namatanje tkanine, uređaj za tvorbu zijeva (listovka), broj listova je 6, te uređaj s predodmatačima potke. Ispitivana tkanina otkana je iz sirove jednostruke škrobljene pamučne pređe za osnovu, nazivne finoće $T_{t0} = 30 \text{ tex}$, i uvojitosti $T_0 = 652 \text{ u/m}$ smjera Z, te sirove jednostruke pamučne pređe za potku, nazivne finoće $T_{tp} = 30 \text{ tex}$, i uvojitosti $T_p = 708 \text{ u/m}$ smjera Z. Ispitivana tkanina otkana je u platnenom vezu s gustoćom osnove (g_o) 24 niti/cm i gustoćom potke (g_p) 25 niti/cm. Ispitivana je sirova tkanina, odnosno tkanina bez dorade. Utkanje osnovinih niti (U_o) iznosilo je 3,85 %, a utkanje potkinih niti (U_p) iznosilo je 3,29 %. Glavni pokazatelj struk-

ture tkanine je površinska masa tkanine koja je iznosila $m = 149,94 \text{ g/m}^2$, a debljina tkanine iznosila je $d = 0,48 \text{ mm}$. Finoća pređe određena je gravimetrijskom metodom prema normi HRN ISO 2060:1994. Broj uvoja pređe određen je normom HR ISO 2061:2010. Gustoća tkanine ispitivana je prema normi HRN ISO 7211-2:1984. Određivanje debljina tkanine je definirano normom HRN ISO 5084:1996. Prije samog ispitivanja svi uzorci su kondicionirani sa standardnim uvjetima (relativna vlažnost zraka $65 \pm 4 \%$, temperatura $20 \pm 2^\circ \text{C}$). Najprije su na tkanini nacrtani pravokutnici $200 \times 50 \text{ mm}$ pod određenim kutovima u odnosu na potku, zatim je u sredini svakog pravokutnika nacrtan pravokutnik dužine $l = 100 \text{ mm}$ i širine $b = 50 \text{ mm}$ i na kraju od rubova unutarnjeg pravokutnika povučene su dvije linije na udaljenosti x koje su paralelne s kraćom stranicom pravokutnika, sl.5. Na sl.5 shematski je prikazan način uzimanja uzoraka pri različitim smjerovima, odnosno kutovima izrezivanja.



Sl.5 Shematski prikaz smjerova (kutova) izrezivanja uzoraka

Za ovo ispitivanje izrezani su standardni uzorci dimenzija 200x50 mm, uklješteni u stezaljke uređaja na razmaku od 100 mm, te izloženi jednoosnom vlačnom opterećenju do postizanja prekida pri brzini povlačenja od 100 mm/min. Jednom podešena brzina nije se mijenjala, odnosno brzina pomicanja (povlačenja) donje stezaljke bila je jednaka za sve uzorke tkanine. Uzorci su izrezani u devet različitih smjerova, u smjeru potke ($\varphi=0^\circ$), smjer osnove ($\varphi=90^\circ$), te pod kutovima 15° , φ_r , 30° , 45° , 60° , 90° , φ_r , 75° (15° , $26,56^\circ$, 30° , 45° , 60° , $63,44^\circ$, 75°) prema potkinim nitima u tkanini. Smjer djelovanja vlačne sile tijekom izvođenja pokusa je uvijek jednak. Za svaki navedeni smjer rezanja uzorka tkanine, provedeno je pet mjerenja. Vlačna svojstva svih uzoraka ispitivana su prema HRN EN ISO 13934-1:2013 metodom ispitne trake na uređaju za mjerenje čvrstoće tkanina – kidalici, odnosno dinamometru. Za ispitivanje korišten je dinamometar Statimat M tvrtke "Textechno". Navedeni dinamometar Statimat M je potpuno automatizirani, mikroprocesorsko upravljani, statički dinamometar koji radi na načelu konstantne brzine deformacije.

Za precizno evidentiranje i mjerenje prostorne deformacije tkanine na uređaju za ispitivanje prekidne čvrstoće (dinamometar), na mjesto ispitivanog uzorka postavljena je šablona na papiru s rasterom od 1 x 1 mm, a cijeli proces istezanja uzorka do prekida je snimljen digitalnom video kamerom Sony HDR-CX210 koja je u tu svrhu postavljena na stativ ispred uređaja kako je prikazano na sl.6. Upotrijebljena je digitalna video kamera sa rezolucijom od 1920 x 1080 pixela, i brzinom snimanja (N_{sl}) 60 slika/s, te je povezana s računalom preko USB sučelja. Horizontalna udaljenost između kamere i uzorka tkanine je

takva da 1 mm na mreži odgovara 120 piksela na slici. Redni broj slike N pri određenom istezanju je prikazan izrazom (5):

$$N = \frac{\varepsilon \cdot l_0}{100} \cdot \frac{60}{v} \cdot N_{sl} \quad (5)$$

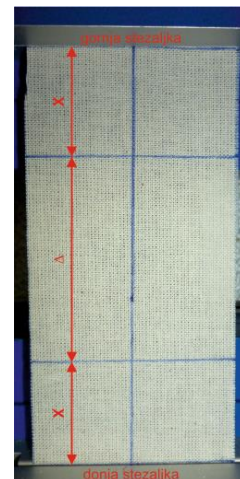
Sav snimljeni materijal je pohranjen na tvrdi disk računala u MPEG-4 formatu. Dinamometar i kamera su međusobno povezani posebnim sklopom za istovremeno uključivanje/isključivanje čime je u cijelosti osigurana egzaktnost video evidentiranja cijelog procesa istezanja tkanine do prekida. Fotografski prikaz mjerenja uzdužne deformacije uzorka tkanine do prekida prikazan je na sl.6.



Sl.6 Fotografski prikaz mjerenja uzdužne deformacije uzorka tkanine do prekida

Poprečna deformacija dobivena je nakon što su se svi uzorci snimili kamerom, a spomenuta raster šablona je omogućila brzu i točnu obradu video snimki s programom VirtualDub. Rasterske pojedinačne slike obrađene su u Adobe Photoshop programu. Istezanje dijelova uzorka tkanine (x i Δ) izmjereno su u programu Adobe Photoshop na tri mjesta po širini uzorka, na rubovima i u sredini uzorka (0, b/2 i b mm). Dimenzije tkanine su mjerene u pikselima, a promjena dimenzija je računata pomoću MS Excel programa.

Udaljenost između stezaljke (gornje ili donje) i prve paralelne označene linije je označena x . Δ predstavlja udaljenost srednjeg dijela uzorka tkanine koji se nalazi između dviju označenih paralelnih linija (sl.7).



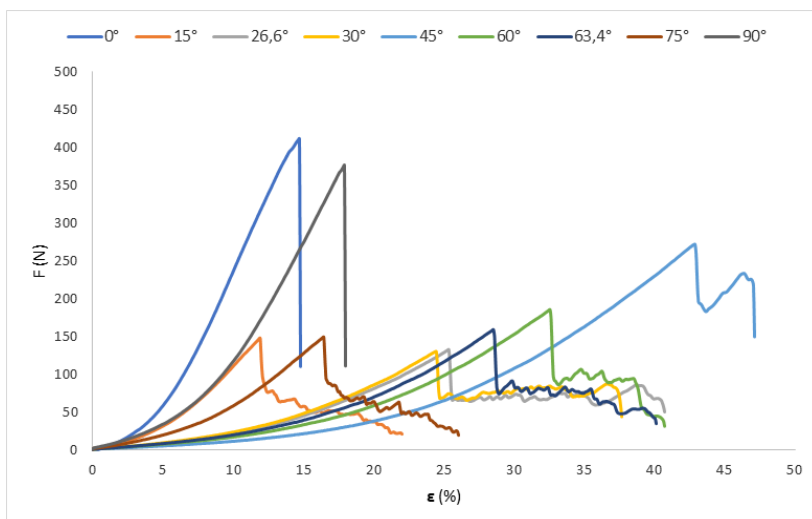
Sl.7 Uzorak tkanine učvršćen u stezaljke

4.2. Rezultati ispitivanja i rasprava

Pri djelovanju vlačne sile F mjeri se odgovarajuća uzdužna deformacija, tj. istezanje, ε . Srednje vrijednosti rezultata mjerenja djelovanja vlačne sile F i pripadnog istezanja ε za uzorke tkanina koji su izrezani pod kutovima 0° , 15° , φ_r , 30° , 45° , 60° , 90° , φ_r , 75° i 90° (15° , $26,56^\circ$, 30° , 45° , 60° , $63,44^\circ$, 75°) u odnosu na smjer potke prikazane su na F - ε dijagramu (sl.8).

Srednje vrijednosti maksimalne sile F_{max} , pripadnog maksimalnog istezanja ε_{max} i maksimalnog rada W_{max} nalaze se u tab.1.

Maksimalna sila istezanja tkanine ima najveću vrijednost kada su uzorci rezani u smjeru potke (0°). To je zato što je broj uvoja potke veći od broja uvoja osnove. Vrijednost sile tkanine kada su uzorci rezani u smjeru potke je 1,09 puta veća od vrijednosti maksimalne sile tkanine za uzorke rezane u smjeru osnove.



Sl.8 Dijagram sila – istezanje (F-ε) za uzorke tkanina

Vrijednosti sile tkanine postupno se smanjuju od smjera potke (0°), najmanju vrijednost imaju kada sila djeluje pod kutom 30° , zatim postupno rastu do kuta 45° i opet se smanjuju do kuta 75° , nakon čega vrijednosti maksimalne sile tkanine rastu do smjera osnove 90° (sl.8 i tab.1).

Vrijednosti istezanja tkanine, najmanje su kad vlačna sila djeluje u smjeru potke (0°), i pod kutom od 15° , zatim se povećavaju, kod kuta od 45° poprimaju najveću vrijednost, te se lagano smanjuju prema smjeru osnove (90°) gdje dostižu vrijednost koja je 1,21 puta veća od one u smjeru potke (0°). Najveće vrijednosti maksimalnog istezanja tkanine kada sila djeluje u dijagonalnom smjeru (45°) veće su 2,91 puta u odnosu na smjer potke (0°), a u odnosu na smjer osnove (90°) veće su 2,39 puta (sl.8 i tab.1).

Iz geometrije uzorka, koristeći izraze (2), (3) i (4) izračunate su veličine x , Δ , b_k i njihove vrijednosti nalaze se u tab.2 za sve smjerove rezanja uzoraka.

Na sl.9 prikazane su ovisnosti uzdužne deformacije tj. istezanje rubnih dijelova (x) i središnjeg dijela (Δ) uzorka tkanine u odnosu na ukupno istezanje uzorka tkanine i to za različite kutove rezanja uzoraka. Prilikom djelovanja vlačne sile uzorci tkanine se istežu, ali

Tab.1 Srednje vrijednosti maksimalne sile ($F_{\max}$), maksimalnog istezanja ($\epsilon_{\max}$), maksimalnog rada ($W_{\max}$) za uzorke tkanina rezane u različitim smjerovima, odnosno kutovima φ u odnosu na smjer potke

Kut φ ($^\circ$)	$F_{\max}$ (N)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$W_{\max}$ (Ncm)
0	410,89	12,27	235,51
15	147,91	9,93	64,58
26,6	133,02	21,17	113,77
30	131,27	20,4	108,95
45	272,46	35,73	334,03
60	186,08	27,17	188,68
63,4	160,16	23,87	146,62
75	149,7	13,73	88,49
90	376,95	14,93	232,59

Tab.2 Vrijednosti duljina rubnih dijelova uzorka tkanine (x), duljina srednjeg dijela uzorka tkanine (Δ) i širina uzorka tkanine b_k uzoraka rezanih u različitim smjerovima

Kut φ ($^\circ$)	x (mm)	Δ (mm)	b_k (mm)
0	25	50	50
15	12,5	75	23,21
26,6	20	60	0
30	21,65	56,7	-
45	25	50	-
60	21,65	56,7	-
63,4	20	60	0
75	12,5	75	23,21
90	25	50	50

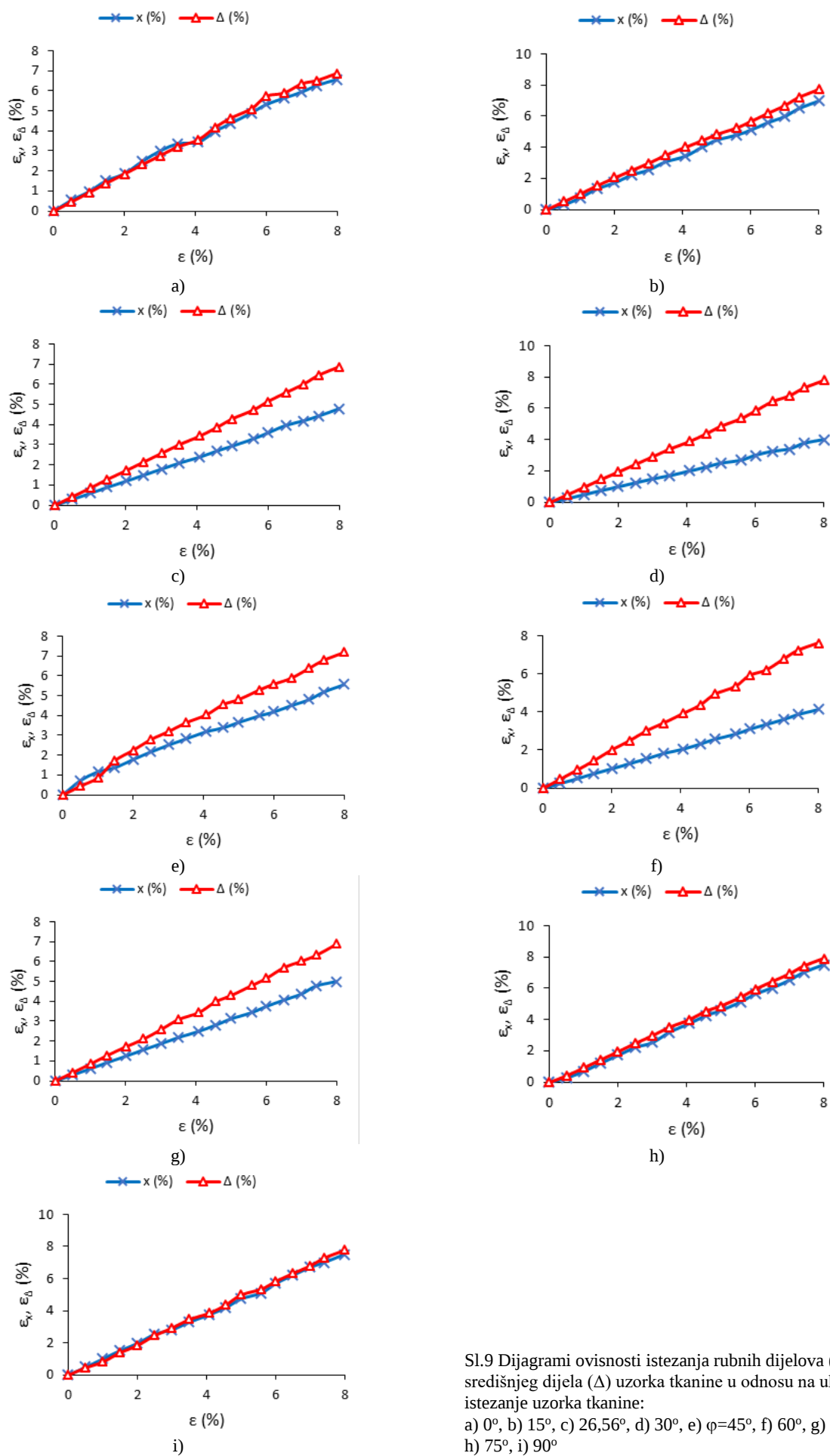
zbog različitih kutova rezanja uzoraka niti tkanine su u različitim položajima u odnosu na smjer djelovanja sile što uzrokuje pojavu gužvanja uzoraka tkanine pri

određenom kutu. Kawabata [18] je proučavao problem pojave gužvanja tkanine i naveo je da nakon kuta 8° tkanine imaju tendenciju gužvanja (izbočavanja). Zbog toga je na sl.9 prikazan dijagram odnosa istezanja dijelova uzoraka tkanine i ukupnog istezanja tkanine do kuta od 8° kada nastupa gužvanje tkanine.

Za uzorke izrezane pod kutom 0° i 90° , krivulje istezanja rubnih dijelova uzorka (x) i srednjeg dijela (Δ) smještene su gotovo jedna pored druge, što ukazuje na jednoliko raspodjelu ukupnog istezanja u presjecima uzoraka, sl.9a) i 9i). To je zato jer se sve niti, u jednom slučaju potke, a u drugom slučaju osnove nalaze učvršćene u obje stezaljke, dakle pod istim uvjetima su opterećene. Međutim, za uzorke rezane u smjeru potke u prvoj fazi istezanja (približno do 4 % ukupnog istezanja uzorka), rubni dio uzorka se deformira više, a srednji dio nešto manje. S daljnjim istezanjem, srednji dio počinje se deformirati nešto više od rubnog dijela, sl.9a). Za uzorke rezane u smjeru osnove, sl.9i), u prvoj fazi istezanja (približno do 2,9 % ukupnog istezanja uzorka), rubni dio uzorka se deformira više, a srednji dio nešto manje. S daljnjim istezanjem (opterećenjem), srednji dio počinje se deformirati neznatno više od rubnog dijela.

Za uzorke izrezane pod kutom od 45° prema potki u prvoj fazi istezanja (približno do 1,5 % ukupnog istezanje uzorka), rubni dio uzorka se deformira više, a srednji dio nešto manje (sl.9e). S daljnjim istezanjem, srednji dio počinje se deformirati više od rubnog dijela. S porastom ukupnog istezanja uzorka, dolazi do sve većeg istezanja srednjeg dijela u odnosu na rubne dijelove.

Za uzorke izrezane pod kutom 15° prema potki (sl.9b) i za uzorke izrezane pod kutom 75° prema potki (sl.9h) krivulje istezanja rubnih dijelova uzorka (x) i srednjeg dijela (Δ) su jako bliske.



S1.9 Dijagrami ovisnosti istezanja rubnih dijelova (x) i središnjeg dijela (Δ) uzorka tkanine u odnosu na ukupno istezanje uzorka tkanine:

a) 0° , b) 15° , c) $26,56^\circ$, d) 30° , e) $\varphi=45^\circ$, f) 60° , g) $63,44^\circ$, h) 75° , i) 90°

Krivulja istezanja srednjeg dijela uzorka tkanine stalno se nalazi iznad krivulje istezanja rubnih dijelova uzorka. Jedan dio niti potke nalazi se učvršćen istovremeno u obje stezaljke (sl.9b) odnosno jedan dio niti osnove nalazi se učvršćen istovremeno u obje stezaljke (sl.9h) što znači da se jedan dio niti uzorka nalazi pod istim uvjetima pri istezanju i to je glavni razlog jednolike raspodjele ukupnog istezanja tkanine.

Za uzorke izrezane pod kutom $26,56^\circ$ u odnosu na potku krivulja istezanja srednjeg dijela uzorka tkanine stalno se nalazi iznad krivulje istezanja rubnih dijelova uzorka (sl.9c). Kod tih uzoraka, niti potke nalaze se u zoni rastezanja uzorka i to tako da je jedna polovica niti potke pričvršćena samo s jednim krajem u gornjoj stezaljci, a druga polovica pričvršćena samo u donjoj stezaljci. Istezanje srednjeg dijela je znatno veće od istezanja rubnih dijelova i povećava se s ukupnim istezanjem tkanine. Kod ukupnog istezanja tkanine za $\varepsilon=8\%$, istezanje srednjeg dijela iznosi $\varepsilon_\Delta=6,9\%$, a istezanje rubova je $\varepsilon_x=4,8\%$.

Za uzorke izrezane pod kutom $63,44^\circ$ u odnosu na potku krivulja istezanja srednjeg dijela uzorka tkanine stalno se nalazi iznad krivulje istezanja rubnih dijelova uzorka (sl.9g). Kod tih uzoraka, niti osnove nalaze se u zoni istezanja uzorka i to tako da je jedna polovica niti osnove pričvršćena samo s jednim krajem u gornjoj stezaljci, a druga polovica pričvršćena samo u donjoj stezaljci. Istezanje srednjeg dijela je znatno veće od istezanja rubnih dijelova i povećava se s ukupnim istezanjem tkanine. Kod ukupnog istezanja tkanine za $\varepsilon=8\%$, istezanje srednjeg dijela iznosi $\varepsilon_\Delta=6,9\%$ a istezanje rubova je $\varepsilon_x=5\%$.

Za uzorke izrezane pod kutom 30° prema potki krivulja istezanja srednjeg dijela uzorka tkanine (Δ) stalno se nalazi iznad krivulje

istezanja rubnih dijelova uzorka (x), (sl.9d). Veličina istezanja srednjeg dijela uzorka značajno je veća od istezanja rubnih dijelova. Kod ukupnog istezanja tkanine za $\varepsilon=8\%$, istezanje srednjeg dijela $\varepsilon_\Delta=7,8\%$, a istezanje rubova iznosi $\varepsilon_x=4\%$.

Za uzorke izrezane pod kutom 60° prema potki krivulja istezanja srednjeg dijela uzorka tkanine (Δ) stalno se nalazi iznad krivulje istezanja rubnih dijelova uzorka (x), (sl.9f). Veličina istezanja srednjeg dijela uzorka značajno je veća od istezanja rubnih dijelova. Kod ukupnog istezanja tkanine za $\varepsilon=8\%$, istezanje srednjeg dijela $\varepsilon_\Delta=7,6\%$, a istezanje rubova iznosi $\varepsilon_x=4,1\%$.

5. Zaključak

Anizotropija i složena struktura tkanine značajno utječu na oblik i veličinu deformacije uzroka tkanine pri djelovanju vlačne sile. Vrijednosti izmjerenih maksimalnih sila i maksimalnog istezanja tkanina nesumnjivo direktno ovise o smjeru djelovanja sile opterećenje, odnosno kutovima djelovanja sile. U ovom radu su određene vrijednosti eksperimentalnim ispitivanjem uzoraka rezanih pod različitim kupovima u odnosu na smjer potke i oterecene vlačnim silama na dinamometru. Na temelju eksperimentalnih rezultata mjerenja dobivene su krivulje odnosa veličina vlačnih sila i pripadnih istezanja kod prekida za uzorke rezane u različitim smjerovima. Na osnovu analize dobivenih dijagrama sila-produkta pojedinih ispitivanih uzoraka tkanine u odnosu za ukupno istezanje tkanine može se zaključiti sljedeće:

Kod uzoraka koji su rezani pod kutom 0° i 90° jednolika je raspodjela ukupnog istezanja u presjecima uzoraka. Sve niti, u jednom slučaju potke, a u drugom slučaju osnove nalaze se istovre-

meno učvršćene u obje stezaljke, dakle opterećene su pod istim uvjetima. Krivulje istezanja rubnih dijelova uzorka i srednjeg dijela gotovo se poklapaju.

Za uzorke rezane pod kutom 45° , s porastom ukupnog istezanja uzorka, dolazi do sve većeg istezanja srednjeg dijela u odnosu na rubne dijelove uzorka. Za sve ostale kutove rezanja uzoraka krivulja istezanja srednjeg dijela uzorka tkanine stalno se nalazi iznad krivulje istezanja rubnih dijelova uzorka.

Za uzorke izrezane pod kutom 15° i 75° u odnosu na smjer potke krivulje istezanja rubnih dijelova uzorka i srednjeg dijela su jako slične. Kod njih zbog kuta rezanja jedan dio (jednak dio) niti potke odnosno osnove učvršćen je u obje stezaljke što uzrokuje sličnu ovisnost, odnosno raspodjelu ukupnog istezanja tkanine.

Kod uzoraka koji su rezani pod kutom $26,56^\circ$ u odnosu na potku, jedna polovica niti potke pričvršćena je samo u gornjoj stezaljci, a druga polovica niti potke pričvršćena je u donjoj stezaljci. Kod uzoraka koji su rezani pod kutom $63,44^\circ$ u odnosu na potku, jedna polovica niti osnove pričvršćena je samo u gornjoj stezaljci, a druga polovica niti osnove pričvršćena je u donjoj stezaljci. Za oba navedena kuta, istezanje srednjeg dijela je znatno veće od istezanja rubnih dijelova i povećava se s ukupnim istezanjem tkanine.

Za uzorke izrezane pod kutom 30° i 60° prema potki, veličina istezanja srednjeg dijela uzorka značajno je veća od istezanja rubnih dijelova.

Iako je ovim radom pokazano da se s promjenom smjera djelovanja sile (kuta) mijenja i vrijednost maksimalne sile i maksimalnog istezanja ispitivanih uzoraka pamučne tkanine platnenog veza, treba voditi računa da će različite unutrašnje geometrijske strukture tkanine imati različita svojstva.

Složena deformacijska svojstva i priroda tkanina daje različite vrijednosti istezanja u određenim smjerovima djelovanja opterećenja. Istezljivost tkanine je važno svojstvo. Deformacijska svojstva tkanine je važno poznavati, ne samo za optimiranje produktivnosti tkalačkog stroja nego i za postizanje najboljih svojstava i dugotrajnosti konačnog proizvoda, čak i u ekstremnim uvjetima.

Literatura:

- [1] Dastoor P. et al.: Computer-assisted structural design of industrial woven fabrics part III: modelling of fabric uniaxial/biaxial load-deformation, *Journal of the Textile Institute* 85 (1994.) 2, 135-157
- [2] McBride T. M., Julie, C.: Unit-cell geometry in plain-weave fabrics during shear deformations, *Composites science and technology* 57 (1997) 3, 345-351
- [3] Kemp A.: An extension of Peirce's cloth geometry to the treatment of non-circular threads, *Journal of the Textile Institute Transactions* 49 (1958) 1, T44-T48
- [4] Olofsson B.: 49—A General Model Of A Fabric As A Geometric-Mechanical Structure, *Journal of the Textile Institute Transactions* 55 (1964) 11, T541-T557
- [5] Hearle J. W., W. J. Shanahan: 11—An Energy Method For Calculations In Fabric Mechanics Part I: Principles Of The Method. *Journal of the Textile Institute* 69 (1978) 4, 81-91
- [6] Peirce F. T.: The geometry of cloth structure, *Journal of the Textile Institute* 28 (1937) T45-T96
- [7] Kilby W. F.: Planar Stress-strain Relationship in Woven Fabrics, *Journal of the Textile Institute* 54 (1963) T9-T27
- [8] Bassett R. J. et al.: Experiment Methods for Measuring Fabric Mechanical Properties: a Review and Analysis, *Textile Research Journal* 69 (1999) 11, 866-875
- [9] Kovar R., B. S. Gupta: Study of the Anisotropic Nature of the Rupture Properties of a Plain Woven Fabric, *Textile Research Journal* 79 (2009) 6, 506-516
- [10] Pan N.: Analysis of woven fabric strengths: prediction of fabric strength under uniaxial and biaxial extensions, *Composites Science and Technology* 56 (1996) 311-327
- [11] Zheng J.: Measuring Technology of the Anisotropic Tensile Properties of Woven Fabrics, *Textile Research Journal*, 78 (2008.) 12, 1116-1123
- [12] Zouari R. et al.: Experimental and numerical analyses of fabric off-axes tensile test, *The Journal of The Textile Institute*, 101 (2010.) 1, 58-68
- [13] Thirwell B.E., L.R.G. Treloar: Non-Woven Fabrics. Part VI: Dimensional and Mechanical Anisotropy, *Textile Research Journal* 35 (1965) 9, 827-835
- [14] Shanahan W. J. et al., Characterizing the Elastic Behavior of Textile Fabrics in Complex Deformations, *Textile Research Journal* 48 (1978) 9, 495-505
- [15] Penava Ž. et al.: Determination of the Elastic Constants of a Plain Woven Fabrics by Tensile Test in Various Directions, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 22 (2014) 2, 57-63
- [16] Penava Ž. i sur.: Predviđanje granične čvrstoće i prekidnih istezanja za tkanine pri djelovanju vlačne sile u proizvoljnim smjerovima, *Tekstil* 67 (2018.) 7-8, 167-175
- [17] Penava Ž. i sur.: Istraživanje utjecaja utkanja osnove i potke na Poissonov koeficijent tkanine, *Tekstil* 63 (2014.) 7-8, 217-227
- [18] Kawabata S. et al.: Application of Objective Measurement, *International Journal of Clothing Science and Technology* 48 (1990.) 2, 18-25

SUMMARY

Deformation characteristics of woven fabric under different directions of uniaxial tensile loading

Ž. Penava¹, D. Penava Šimić², Ž. Knezić¹

The paper presents the results of an experimental study of the effect of the uniaxial tensile loading under different directions on the elongation of a woven fabric sample, i.e. the influence on the amount of deformation. Deformation measurements of sample of raw plain weave cotton fabric were carried out under tensile force until breakage with the samples cut in the weft direction (0°), in the warp direction (90°), and at angles of 15°, 26,56°, 30°, 45°, 60°, 63,44°, 75° in relation to the weft yarns in the fabric. Based on the experimentally measured elongation values of the fabric samples, diagrams of the elongation of the edge and central parts of the fabric samples in relation to the total elongation were created. The research results confirm that the complex nature of the fabric leads to different deformation properties in different test directions. When conducting the test, the threads of the fabric sample were placed differently (at different angles) in relation to the clamps and to the direction of the force, therefore they reacted differently to the applied load. From the above results, it can be observed that in this type of fabric, the central part of the fabric sample is always more elongated than the edge parts of the fabric except for the samples cut in the weft direction (0°), in the warp direction (90°), and at angles of 15° and 75° in relation to the weft. In these samples, the elongation curves of the edge areas of the sample and the central area almost overlap, i.e. their deformation behavior is uniform.

Keywords: woven cotton fabric, tensile force at break, elongation at break, fabric deformation, fabric anisotropy

University of Zagreb

¹Faculty of Textile Technology

²Faculty of Civil Engineering

Zagreb, Croatia

e-mail: zeljko.penava@ttf.unizg.hr

Received September 20, 2020

Verformungseigenschaften von Gewebe unter einachsiger Zugbelastung in verschiedenen Richtungen

Der Fachartikel stellt die Ergebnisse einer experimentellen Untersuchung der Auswirkung einer einachsigen Zugbelastung in verschiedenen Richtungen auf die Dehnung einer Stoffprobe vor, d.h. den Einfluss auf das Ausmaß der Verformung. Die Verformungsmessungen an einer Probe eines rohen Baumwollgewebes in Leinwandbindung wurden unter Zugkraft bis zum Bruch durchgeführt, wobei die Proben in Schussrichtung (0°), in Kettrichtung (90°) und in Winkeln von 15°, 26.56°, 30°, 45°, 60°, 63.44°, 75° in Bezug auf die Schussfäden im Gewebe geschnitten wurden. Auf der Grundlage der experimentell gemessenen Dehnungswerte der Gewebeproben wurden Diagramme der Dehnung der Rand- und Mittelteile der Gewebeproben im Verhältnis zur Gesamtdehnung erstellt. Die Forschungsergebnisse bestätigen, dass die komplexe Beschaffenheit des Gewebes zu unterschiedlichen Verformungseigenschaften in verschiedenen Testrichtungen führt. Bei der Durchführung des Tests waren die Fäden der Stoffprobe in Bezug auf die Klemmen und die Krafrichtung unterschiedlich angeordnet (in verschiedenen Winkeln) und reagierten daher unterschiedlich auf die einwirkende Belastung. Aus den obigen Ergebnissen geht hervor, dass bei dieser Art von Gewebe der mittlere Teil der Gewebeprobe immer länglicher ist als die Randbereiche des Gewebes, außer bei den Proben, die in Schussrichtung (0°), in Kettrichtung (90°) und in einem Winkel von 15° und 75° im Verhältnis zum Schuss geschnitten wurden. Bei diesen Proben überschneiden sich die Dehnungskurven der Randbereiche der Probe und des zentralen Bereichs nahezu, d. h. ihr Verformungsverhalten ist einheitlich.