

## Istraživanje utjecaja utkanja osnove i potke na Poissonov koeficijent tkanine

Prof.dr.sc. **Željko Penava**, dipl.ing.<sup>1</sup>

Prof.dr.sc. **Diana Šimić Penava**, dipl.ing.<sup>2</sup>

Mr.sc. **Marija Nakić**, dipl.ing.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet

Zavod za projektiranje i menadžment tekstila

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet

Zavod za tehničku mehaniku

Zagreb, Hrvatska

<sup>3</sup> Sveučilište u Mostaru

Mostar, Bosna i Hercegovina

e-mail: zeljko.penava@ttf.hr

Prispjelo 17.12.2013.

UDK 677.024:677.017

Izvorni znanstveni rad

*Zbog anizotropije tkanina Poissonov koeficijent se mijenja tijekom istezanja uzorka tkanine. U radu se istražuje utjecaj gustoće potke na veličinu Poissonovog koeficijenta kada na tkaninu djeluje jednoosna vlačna sila. Mjerenja prekidne sile i prekidnog istezanja provedena su na 5 uzoraka pamučnih tkanina s konstantnom gustoćom u smjeru osnove i različitim gustoćama tkanine u smjeru potke s konstrukcijski jednakim platnenim vezom. Uzorci se istežu vlačnom silom u smjeru potke i osnove. Na temelju različitih izmjerenih vrijednosti istezanja tkanine izračunava se Poissonov koeficijent osnove i potke. Istraživanja prikazana u ovom radu pokazala su da utkanje osnove i potke, te relativno suženje tkanine imaju značajan utjecaj na Poissonov koeficijent. S povećanjem gustoće tkanine u smjeru potke rastu vrijednosti Poissonovog koeficijenta kod svih tkanina. Rezultati provedenih ispitivanja pokazuju da postoji visoka korelacija između omjera utkanja i Poissonovog koeficijenta tkanina.*

**Ključne riječi:** *osnova, potka, tkanina, nabiranje, utkanje, Poissonov koeficijent*

### 1. Uvod

Fizikalna i mehanička svojstva tkanina određuju opseg njihovog krajnjeg korištenja u različitim primjenama. Zbog toga je važno što bolje razumijevanje parametara koji utječu na ponašanje tih materijala [1, 2]. Mehanička svojstva tkanina pod djelovanjem vlačnog opterećenja počela su se proučavati još 1937. godine [3]. Kilby [4] polazi od klasične teorije

elastičnosti s pretpostavkom da je tkanina anizotropni materijal s dvije ravnine simetrije. Koristio je jednostavan mrežasti model za tkanine i analizirao odnos naprezanja i deformacija u ravnini. Definirao je Poissonov koeficijent i mjerio vlačna svojstva tkanina u proizvoljnom smjeru djelovanja vlačne sile. Zamijetio je da postoji veza između Poissonovog koeficijenta, modula smicanja i mo-

dula elastičnosti tkanine. Utjecaj Poissonovog koeficijenta na određena mehanička svojstva tkanina kao što su drapiranje i posmik je naveden u literaturi [5-7].

Istraživači su određivali Poissonov koeficijent tkanine u smjeru osnove i potke na temelju geometrijskog modela tkanine i pritom isključili utjecaj Poissonovog koeficijenta pređe. Na taj način su došli do zaključka da Poissonov koeficijent u tkaninama

proizlazi iz interakcije između osnove i potke, a može se izraziti u smislu strukturnih i mehaničkih parametara sustava [8]. Zbog anizotropije tkanine, analiza utjecaja fizikalnih parametara tkanine na vrijednosti Poissonovog koeficijenta je korisna i daje bolje objašnjenje za određena ponašanja tkanina. Zbog posebnosti svojstava tekstila, odnosno tekstilnih tvorevina, točno i pouzdano mjerenje Poissonova koeficijenta je težak zadatak. Ovo inženjersko svojstvo su proučavali mnogi znanstvenici.

Bao i suradnici [9,10] su istraživali zašto se pri mjerenju Poissonovog koeficijenta, javljaju pogreške kada na tkaninu djeluje jednoosno vlačno opterećenje. Prethodno izmjerene eksperimentalne podatke su uspoređivali s teorijskim rezultatima. Također je proučavan utjecaj pređe i strukturnih parametara tkanina na Poissonov koeficijent. Precizno mjerenje Poissonovog koeficijenta tkanine je prilično teško zbog nedostatka pouzdanih eksperimentalnih tehnika [11]. Treloar i Thirwell [12] su mjerili i koristili Poissonov koeficijent u definiranju geometrijske deformacije u svojoj teorijskoj analizi. Oni su u svojim istraživanjima izračunavali promjenu debljine i volumena netkanih tekstilnih materijala za vrijeme deformacija.

Poissonov koeficijent tekstilnih materijala koji se upotrebljavaju u netkanom geotekstilu analizirao je Giroud [13]. U tom istraživanju je postavio teorijske jednadžbe za izračunavanje Poissonovog koeficijenta, kao funkcije deformacije. Hearle i suradnici [14, 15] su predložili svoju metodu mjerenja Poissonovog koeficijenta kod djelovanja jednoosnog vlačnog opterećenja. Mjerili su Poissonov koeficijent lijepljenih netkanih tekstila, te zaključili da je veličina bočne kontrakcije niska pri malim istezanjima, ali se povećava između 5 i 10 % istezanja.

Svrha ovoga rada je istražiti utjecaj utkanja osnove i potke na veličinu Poissonovog koeficijenta kad se tkanina isteže do prekida pod djelo-

vanjem jednoosnog vlačnog opterećenja. Izvest će se pokusi na istezanje uzorka tkanine pri statičkom opterećenju. Pri takvom ispitivanju dobije se najviše podataka o mehaničkim svojstvima tkanina.

## 2. Teorijski dio

Naprezanja i deformacije su vezani funkcionalnom vezom koja ima fizikalni karakter i općenito se može prikazati kao:

$$\sigma_{ij} = f(\varepsilon_{ij}), \quad \varepsilon_{ij} = f_1(\sigma_{ij}).$$

Funkcionalna veza između naprezanja i deformacija ne može se odrediti teorijski, već samo eksperimentalnim ispitivanjem uzoraka izrađenih od određenog materijala. Tkani, pleteni i netkani tekstilni materijali zadovoljavaju širok spektar namjena, te se sve više upotrebljavaju u raznim industrijskim granama i pri izradi kompozita. Tkanine su posebna vrsta anizotropnih, nehomogenih materijala koji se nazivaju elastičnim ortotropnim materijalima i imaju dvije osi ortotropije [16]. Određivanje i poznavanje mehaničkih svojstava tkanina je važan dio tekstilne znanosti.

Pokusima se utvrđuje veza između naprezanja i deformacija u obliku dijagrama u određenim uvjetima. Mehaničke karakteristike materijala pod nazivom konstante elastičnosti materijala su Poissonov koeficijent ( $\nu$ ), modul elastičnosti ( $E$ ) i modul posmika ( $G$ ). Mehaničke karakteristike tkanina uglavnom se istražuju unutar područja elastičnosti, znači u uvjetima niskih opterećenja [17-19]. Pritom treba paziti da mjerni sustav nema utjecaja na ispitni uzorak, pa se danas u tu svrhu koriste optičke metode odnosno mjerenja obradom snimljenog video materijala [20].

### 2.1. Nabiranje i utkanje pređe u tkanini

Duljina osnove uvijek je veća od duljine tkanine, zbog toga što se prilikom preplitanja s potkom stvaraju zaobilasci čija duljina umanjuje duljinu osnove u tkanini, tj. umanjuje duljinu tkanine. Nabiranje se može

opisati kao odstupanje pređe od pravocrtnog prostiranja prilikom preplitanja u tkanini. Nabiranje se izražava u postocima, a dobije se iz odnosa razlike duljine pređe u izravnanom (ispravljenom) stanju i razmaka krajeva iste duljine pređe kada je ona u tkanini.

Razlika između duljine osnove i duljine tkanine naziva se utkanje po osnovi, a razlika između duljine potke i širine tkanine naziva se utkanje po potci. Utkanje je za različite tkanine različito i ovisi o vrsti prepleta, finoći potke i osnove, elastičnosti pređe, napetosti osnove i potke za vrijeme tkanja, gustoći osnovne i potke. Utkanje pređe se izražava u postocima, a dobiva se iz odnosa razlike duljine pređe u izravnanom stanju (duljina pređe prije tkanja)  $l$ , te duljine pređe kada je u tkanini (protkana pređa)  $p$ , prema duljina pređe prije tkanja.

Nabiranje i utkanje se definiraju prema navedenim izrazima [3]:

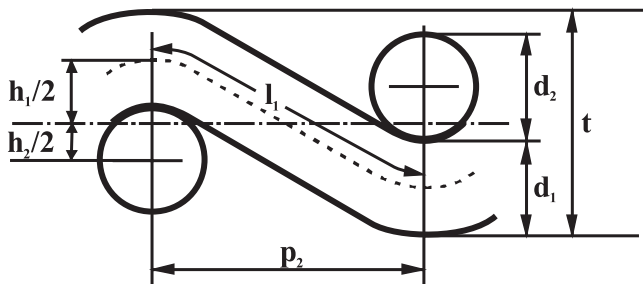
$$\text{nabiranje: } c = \frac{l-p}{p} \cdot 100 \% \quad (1)$$

$$\text{utkanje: } u = \frac{l-p}{l} \cdot 100 \% \quad (2)$$

gdje su  $l$  - duljina pređe prije tkanja,  $p$  - protkana duljina [3].

Na sl.1 prikazano je geometrijsko tumačenje pojave nabiranja pod pretpostavkom da su osnovina ( $d_1$ ) i potkina ( $d_2$ ) nit kružnog poprečnog presjeka. Amplituda nabiranja osnove ( $h_1$ ) i amplituda nabiranja potke ( $h_2$ ) je stupanj skretanja pređe od srednje ravnine tkanine. Također, na sl.1 debljina tkanine označena je slovom  $t$ .

Niti u tkanini se nalaze u nekom valovitom obliku. Zbog valovitosti može se pretpostaviti da će se i ponašanje tkanine kod istezanja po osnovi i potki sastojati od područja koje uglavnom nastaje zbog ispravljanja valovitosti niti (nabiranja) i područja koje nastaje zbog istezanja samih niti. Stoga se može reći da će konačno prekidno istezanje tkanine biti ovisno o veličini utkanja (valovitosti), te o mogućnosti da se to utkanje izravna, o čemu odlučuje podatnost drugog sustava niti.



Sl.1 Shema nabiranja pređe u tkanini

## 2.2. Određivanje nabiranja i utkanja pređe u tkanini

Postupak je takav da se iz tkanine poznate duljine pažljivo izvuku niti, te isprave uz određeno opterećenje i izmjere u ispravljenom stanju. Opterećenje ovisi o vrsti i finoći pređe. Ispravljena duljina pređe može se odrediti na temelju krivulje istežanja i opterećenja prikazane na sl.2. Ovaj način mjerenja je najtočniji.

Krivulja prikazana na sl.2 može se podijeliti na dva dijela: lučni dio *OB* i pravocrtni dio *BC* koji se nastavlja na lučni dio. Dio *OB* je s relativno niskim modulom u kojem nastaje izravnavanje valovitosti niti, tj. predstavlja uklanjanje nabiranja i inicijalno istežanje pređe. Točka *B* na krivulji sila-istežanje odvaja ravni dio *CD*. Točka *A* se dobije da se iz točke *D* povlači pravac koji je paralelan s osi sile na krivulju *OB*. Iz točke *A* povlači se paralela s osi istežanja i

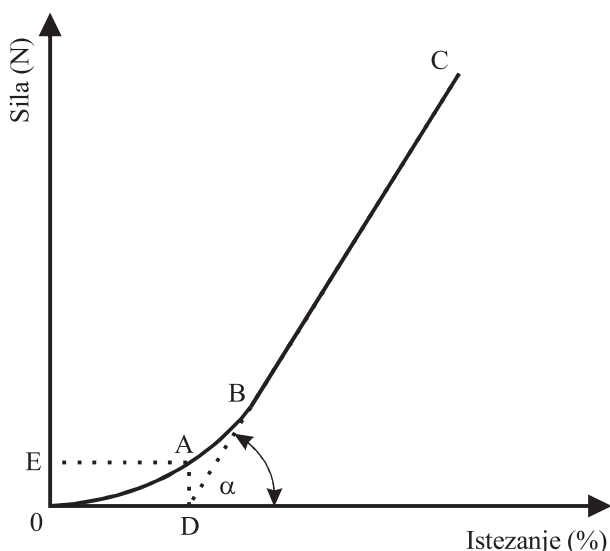
gdje ona siječe os sile nalazi se točka *E*. Sila koja odgovara točki *E* je potrebna veličina vlačne sile za uklanjanje nabiranja bez istežanja. U dijelu *BC* nastupa istežanje pređe. Iz oblika krivulje je vidljivo da istežanje zbog utkanja zauzima njen značajan dio i da se zapravo samo njegovom promjenom može znatnije utjecati na svojstva istežanja tkanine u slučaju iste pređe. Ako ne bi bilo nabiranja, odnos bi bio pravocrtan, po pravcu *DC*, pa zato udaljenost *OD* predstavlja izduženje pređe zbog uklanjanja nabiranja. Početna duljina *p* plus vrijednost *OD* daje duljinu pređe prije tkanja,  $l = p + OD$ . Nagib pravca *BC* se dobije izrazom (3):

$$\operatorname{tg} \alpha = F / \varepsilon = a \quad (3)$$

a pripadna jednadžba pravca je (4):

$$F(\varepsilon) = a \cdot \varepsilon + m \quad (4)$$

gdje je *m* odsječak na ordinatnoj osi.



Sl.2 Općenita krivulja sile opterećenja *F* i istežanja pređe  $\varepsilon$

Iz dijagrama na sl.2 se očita vrijednost *OD* koja predstavlja veličinu nabiranja *c*. Iz izraza (1) računa se duljina pređe kada je u tkanini (protkana pređa) *p* te se dobiva jednadžba (5):

$$p = \frac{l}{1+c} \cdot 100 \% \quad (5)$$

Uvrštavanjem izraza (5) u izraz (2) dobiva se utkanje *u* izraženo pomoću nabiranja (6):

$$u = \frac{c}{1+c} \cdot 100 \% \quad (6)$$

Iz izraza (2) se dobiva izraz (7):

$$u_{1e} = 1 - \frac{l_{1i}}{p_{2e}} \quad (7)$$

Indeks *l* odnosi se na uzdužni smjer (osnova), a indeks *2* na poprečni smjer (potka). Indeks *i* označava početno (inicijalno) stanje, a indeks *e* označava stanje pri određenom istežanju (elongaciji).

$u_{1e}$  - utkanje osnove pri određenom istežanju,

$l_{1i}$  - duljina stvarno utkane osnove za jednu potku u početnom stanju,

$p_{2e}$  - duljina protkane niti (udaljenost dviju susjednih niti potke) pri određenom istežanju.

Vrijednost  $l_{1i}$  se izračunava pomoću izraza (8):

$$l_{1i} = p_{2i} \cdot (1 - u_{1i}) = \frac{1 - u_{1i}}{g_{2i}} \quad (8)$$

gdje su:

$p_{2i}$  - udaljenost dviju susjednih niti potke u početnom stanju,

$g_{2i}$  - gustoća niti potke u početnom stanju,

$u_{1i}$  - utkanje osnove (kada sila djeluje u smjeru osnove) u početnom stanju, prije istežanja.

Uzdužna deformacija tkanine  $\varepsilon_e$  pri određenom istežanju prikazana je izrazom (9):

$$\varepsilon_e = \frac{g_{2i} - g_{2e}}{g_{2e}} \quad (9)$$

gdje je  $g_{2e}$  - gustoća niti potke pri određenom istežanju.

Iz izraza (9) dobije se vrijednost udaljenosti dviju susjednih niti potke  $p_{2e}$  pri određenom istežanju (10):

$$p_{2e} = \frac{1}{g_{2e}} = \frac{(1 + \varepsilon_e)}{g_{2i}} \quad (10)$$

Uvrštavanjem jednadžbi (8) i (10) u jednadžbu (7) dobije se izraz za

računanje utkanja osnove  $u_{1e}$  pri određenom istezanju:

$$u_{1e} = 1 - \frac{1 - u_{1i}}{1 + \varepsilon_e} \quad (11)$$

Utkanje potke  $u_{2e}$  pri određenom istezanju se izračunava prema izrazu (12):

$$u_{2e} = 1 - \frac{1 - u_{2i}}{1 + |s_e|} \quad (12)$$

gdje su:

$u_{2e}$  - utkanje potke pri određenom istezanju,

$u_{2i}$  - utkanje potke u početnom stanju, prije istezanja,

$s_e$  - suženje (kontrakcija) uzorka tkanine pri određenom istezanju.

Prema tome, utkanje pri određenom istezanju izračunava se pomoću vrijednosti utkanja u početnom stanju i vrijednosti istezanja, odnosno suženja tkanine.

### 2.3. Poissonov koeficijent tkanine

Poissonov koeficijent je temeljno mehaničko svojstvo materijala. On utječe na ponašanje materijala i pomaže boljoj interpretaciji ponašanja tekstila u praksi, te ga je važno znati pri izradi računalnih simulacija tkanina i odjeće. Poissonov koeficijent u tkaninama proizlazi iz interakcije između osnove i potke, a može se izraziti u smislu strukturnih i mehaničkih parametara sustava [21].

Za određivanje Poissonovog koeficijenta na tkaninama koriste se uređaji za mjerenje prekidne sile. Pri ispitivanju istezanja tkanine početna se duljina ispitivanog uzorka  $l_0$  povećava za  $\Delta l$ , čime se dobije konačna duljina uzorka tkanine  $l$ , a početna širina uzorka tkanine  $b_0$  se smanjuje za  $\Delta b$  i dobije se konačna širina uzorka  $b$ :

- apsolutna uzdužna deformacija (apsolutno istezanje):  $\Delta l = l - l_0$ , (13)

- apsolutna poprečna deformacija (apsolutno suženje):  $\Delta b = b - b_0$ . (14)

Pri istezanju poprečna deformacija je negativna (tkanina se sužava), tj. uzdužna  $\Delta l$  i poprečna deformacija  $\Delta b$  uvijek su protivnog predznaka. Relativna duljinska deformacija (relativno istezanje) je definirana izrazom (15):

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\% = \left( \frac{l}{l_0} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (15)$$

a relativna poprečna deformacija (relativno suženje) je definirano izrazom (16):

$$s = \frac{\Delta b}{b_0} \cdot 100\% = \left( \frac{b}{b_0} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (16)$$

Pokusima je pokazano da kod jednoosnog stanja naprezanja između relativne poprečne deformacije (okomito na smjer djelovanja sile) i relativne uzdužne deformacije (u aksijalnom smjeru) postoji odnos čija se apsolutna vrijednost zove Poissonov koeficijent -  $\nu$ . Njegovo fizikalno značenje prikazano je izrazom (17):

$$\nu = \left| \frac{s}{\varepsilon} \right| = \left| \frac{l_0}{b_0} \cdot \frac{b - b_0}{l - l_0} \right|, s = -\nu \cdot \varepsilon \quad (17)$$

Kod izotropnih, homogenih materijala Poissonov koeficijent je u intervalu od 0 do 0,5. Za tkanine su te vrijednosti različite od onih za standardne tehničke materijale, te se nalaze izvan navedenog intervala [22].

Kad vlačna sila djeluje samo u jednom smjeru tkanine, u tom smjeru je relativno istezanje tkanine  $\varepsilon$ , a u smjeru okomitom na smjer djelovanja sile je relativno suženje tkanine  $s$ . Kada se izračunate vrijednosti  $\varepsilon$  i  $s$ , prema izrazima (15) i (16), uvrste u izraz (17) dobije se Poissonov koeficijent tkanine  $\nu$ .

Zbog anizotropije tkanina Poissonov koeficijent se mijenja tijekom istezanja uzorka tkanine. Na sl.3 je prikazan dijagram karakteristične kri-

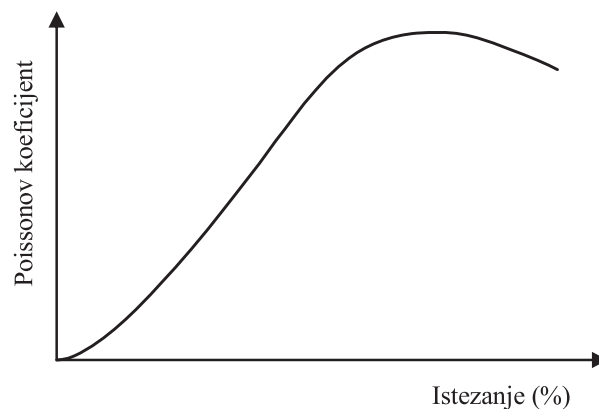
vuļje Poissonovog koeficijenta tkanina [1]. Oblik krivulje je rezultat unutarnjih interakcija u tkanini i prikazana krivulja se sastoji od dvije zone. Svaka zona je ishod od dva odvojena fizikalna procesa koji se odvijaju u strukturi tkanine. Prva zona obuhvaća područje od početka do najvišeg vrha (maksimalne vrijednosti) krivulje. Druga zona je od vrha do kraja krivulje.

### 3. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu rada mjerenjena su izduženja niti osnove, niti potke i pripadne vlačne sile, te izduženja tkanina i pripadne veličine vlačnih sila koje djeluju u smjeru osnove i u smjeru potke. Očitana su poprečna (bočna) suženja tkanina. U tu svrhu primijenjene su klasične metode i instrumenti za ispitivanje vlačnih svojstava tkanina. Pomoću rezultata ispitivanja je izračunat Poissonov koeficijent tkanine i omjer utkanja.

#### 3.1. Uzorci za ispitivanje

Ispitivanja su provedena na uzorcima pet pamučnih tkanina s konstantnom gustoćom tkanine u smjeru osnove (23 niti/cm) i s pet različitih gustoća tkanine u smjeru potke (18, 20, 22, 24 i 26 niti/cm), s konstrukcijski istim platnenim vezom od pamučne pređe za osnovu i potku iste finoće ( $Tt = 30$  tex) kako je prikazano u tab.1. Uzorci tkanina navedenih konstrukcijskih karakteristika otkani su



Sl.3 Dijagram Poissonovog koeficijenta tkanine



Tab.1 Karakteristike uzoraka ispitivanih pamučnih tkanina

Oznaka tkanine	Vez tkanine	Finoća osnove (tex)	Finoća potke (tex)	Gostoća tkanine po osnovi (niti/cm)	Gostoća tkanine po potki (niti/cm)	Plošna masa tkanine (g/m <sup>2</sup> )	Debljina tkanine (mm)
G18	platno	30	30	23	18	135	0,34
G20	platno	30	30	23	20	141	0,36
G22	platno	30	30	23	22	149	0,38
G24	platno	30	30	23	24	157	0,40
G26	platno	30	30	23	26	165	0,42

na tkalačkom stroju sa zračno-mlaznim unosom potke OMNIplus 800 tvrtke Picanol u tekstilnoj industriji Čateks d.d. Čakovec.

### 3.2. Rezultati određivanja utkanja

Na dinamometru se metodom ASTM D 3883 – 99 ispituje nabiranje niti osnove i niti potke u tkanini. Za svaki sustav niti provodi se pet mjerenja. Pri djelovanju vlačne sile  $F$  mjeri se odgovarajuća uzdužna deformacija, tj. istezanje  $\varepsilon$ . Srednje vrijednosti rezultata mjerenja djelovanja vlačne sile  $F$  i pripadnog istezanja  $\varepsilon$  za niti osnove prikazane su na  $F$ - $\varepsilon$  dijagramu sl.4, a za niti potke na dijagramu sl.5. Na svaku dobivenu krivulju istezanja niti osnove (sl.4) i na krivulju istezanja niti potke (sl.5) postavlja se pravac koji je tangenta na ravni dio krivulje. Jednadžbe pravaca (4) za niti osnove su dane u tab.2, a za niti potke u tab.3. Određuje se sjecište navedenih pravaca s apscisnom osi. Udaljenost ishodišta i dobivenog sjecišta predstavlja vrijednost nabiranja  $c_i$  u početnom stanju. Pripadne vrijednosti utkanja  $u_i$  u početnom stanju su izračunate pomoću izraza (6). Koeficijenti korelacije  $r$ , vrijednosti nabiranja  $c_i$  i utkanja  $u_i$  u početnom stanju za niti osnove su navedeni u tab.2, a za niti potke u tab.3.

Iz sl.4 i tab.2 vidljivo je da s porastom gustoće potke u tkanini dolazi do porasta nabiranja i utkanja niti osnove zbog većeg broja prelazaka niti osnove preko niti potke na jedinici duljine.

Iz sl.5 i tab.3 vidljivo je da se nabiranje i utkanje niti potke povećava,

Tab.2 Jednadžbe pravaca  $F(\varepsilon)$ , koeficijenti korelacije  $r$ , nabiranja  $c_i$  i utkanja  $u_i$  niti osnove

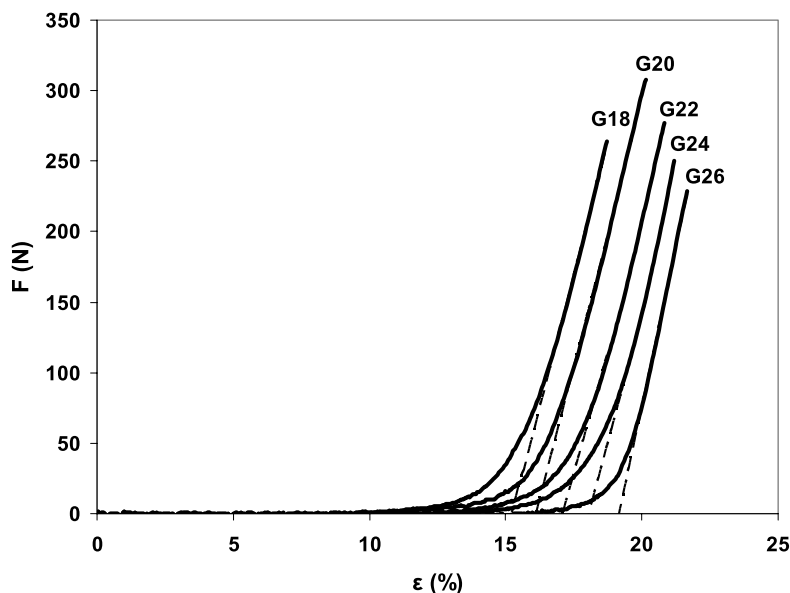
	G18	G20	G22	G24	G 26
$F(\varepsilon)$	$74,8 \cdot \varepsilon - 1138,8$	$74,4 \cdot \varepsilon - 1197,2$	$68,2 \cdot \varepsilon - 1164,8$	$71,7 \cdot \varepsilon - 1293,9$	$90,0 \cdot \varepsilon - 1725,8$
$r$	0,9980	0,9969	0,9930	0,9769	0,9081
$c_i$ (%)	15,23	16,09	17,07	18,04	19,16
$u_i$ (%)	13,21	13,86	14,58	15,28	16,08

Tab.3 Jednadžbe pravaca  $F(\varepsilon)$ , koeficijenti korelacije  $r$ , nabiranja  $c_i$  i utkanja  $u_i$  niti potke

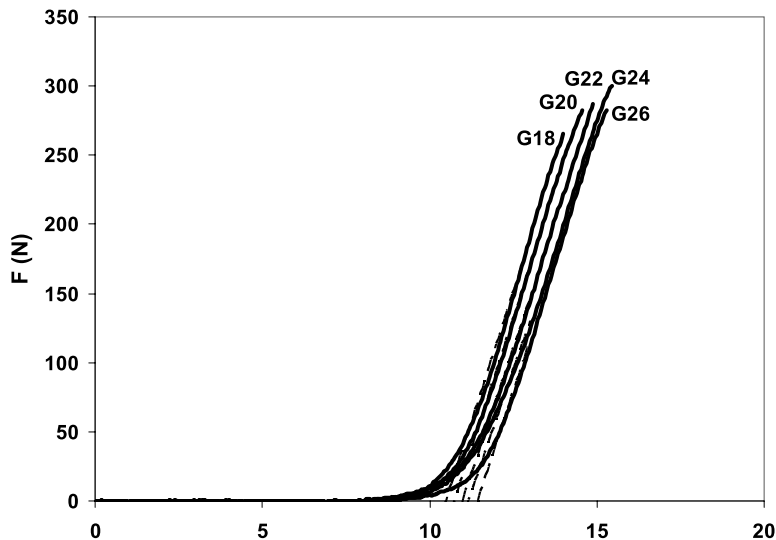
	G18	G20	G22	G24	G26
$F(\varepsilon)$	$74,8 \cdot \varepsilon - 784,4$	$74,9 \cdot \varepsilon - 804,3$	$72,4 \cdot \varepsilon - 794,8$	$70,4 \cdot \varepsilon - 785,0$	$74,0 \cdot \varepsilon - 845,3$
$r$	0,9931	0,9979	0,9967	0,9968	0,9975
$c_i$ (%)	10,48	10,74	10,98	11,15	11,43
$u_i$ (%)	9,49	9,70	9,89	10,03	10,25

premda je broj prelazaka niti potke preko niti osnove uvijek isti na jedinici duljine (23 niti/cm). Razlog tome treba tražiti u povećanoj napetosti osnove za vrijeme tkanja. Nabiranje

i utkanje niti potke postupnije se povećava i ima manje vrijednosti od nabiranja i utkanja niti osnove. U tab.2 i 3 izračunati su koeficijenti korelacije ( $r$ ) između tangentnog



Sl.4 Dijagram sila – istezanje ( $F$ -  $\varepsilon$ ) za određivanje nabiranja niti osnove



Sl.5 Dijagram sila – istezanje (F-ε) za određivanje nabitosti niti potke

pravca DC i ravnog dijela krivulje BC prema sl.2. Koeficijenti korelacije ( $r > 0,99$ ) potvrđuju vrlo visoku povezanost rezultata između ravnog dijela krivulje i postavljenog tangentnog pravca.

### 3.3. Metoda mjerenja istezanja i bočnog suženja tkanine do prekida

Za ispitivanje prekidne sile i prekidnog istezanja provedeno je po 5 mjerenja na dinamometru za svaki uzorak tkanine. Vlačna svojstva svih uzoraka ispitivana su prema standardu ISO 13934-1:1999 metodom ispitne trake na dinamometru za tkanine Statimat M njemačkog proizvođača "Textechno", prikazan na sl.6. Navedeni dinamometar Statimat M je potpuno automatizirani, mikroprocesorski upravljani, statički dinamometar koji radi na načelu konstantne brzine deformacije. Prije samog ispitivanja svi uzorci su kondicionirani u uvjetima standardne atmosfere (relativna vlažnost zraka  $65 \pm 2 \%$ , na temperaturi  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Za ovo ispitivanje izrezani su standardni uzorci dimenzija  $350 \times 50 \text{ mm}$ , uklješteni u stezaljke uređaja na razmaku od  $l_0 = 200 \text{ mm}$ , te izloženi jednoosnom vlačnom opterećenju pri brzini povlačenja  $v = 100 \text{ mm/min}$  do postizanja prekida. Za precizno

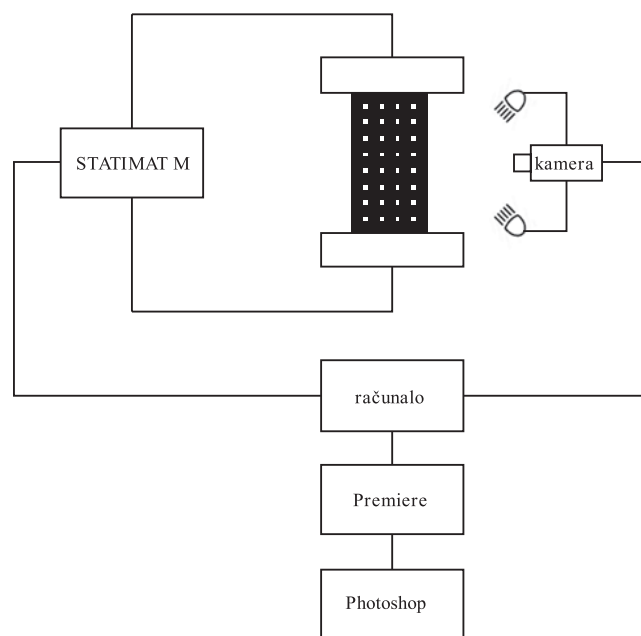
evidentiranje i mjerenje prostorne deformacije tkanine na uređaju za ispitivanje prekidne čvrstoće, na mjesto ispitivanog uzorka postavljena je šablona na papiru s rasterom od  $1 \times 1 \text{ mm}$ , a cijeli proces istezanja uzorka do prekida je snimljen digitalnom video kamerom Panasonic NV-GS500 koja je u tu svrhu postavljena na stativ ispred uređaja kako je prikazano na sl.6. Upotrijebljena je

digitalna video kamera s rezolucijom od  $720 \times 576$  piksela, i brzinom snimanja  $N_{sl} = 25$  slika/s, te je povezana s računalom preko IEEE 1394 (FireWire) sučelja. Horizontalna udaljenost između kamere i uzorka tkanine je takva da  $1 \text{ mm}$  na mreži odgovara 10 piksela na slici. Za mjerenja su se koristila 2 izvora bijele svjetlosti koja međusobno zatvaraju kut od  $90^\circ$ . Broj slika  $N$  pri određenom istezanju je prikazan izrazom (18):

$$N = \frac{\varepsilon \cdot l_0}{100} \cdot \frac{60}{v} \cdot N_{sl} \quad (18)$$

Sav snimljeni materijal je pohranjen na tvrdi disk računala u MPEG-2 formatu. Širina svakog uzorka izmjerena je na tri mjesta ( $1/4$ ,  $2/4$  i  $3/4$  duljine i širine uzorka) kako bi se osigurala što veća točnost izmjerenih poprečnih i uzdužnih 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.

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



Sl.6 Shematski prikaz određivanja uzdužne i poprečne deformacije tkanine do prekida

merom, a spomenuta rasterska šablona je omogućila brzu i točnu obradu video snimki programom Adobe Premiere. Rasterske pojedinačne slike obrađene su u Adobe Photoshop programu (sl.6). Dimenzije tkanine su mjerene u pikselima, a promjena dimenzija je računata pomoću Microsoft Excel programa.

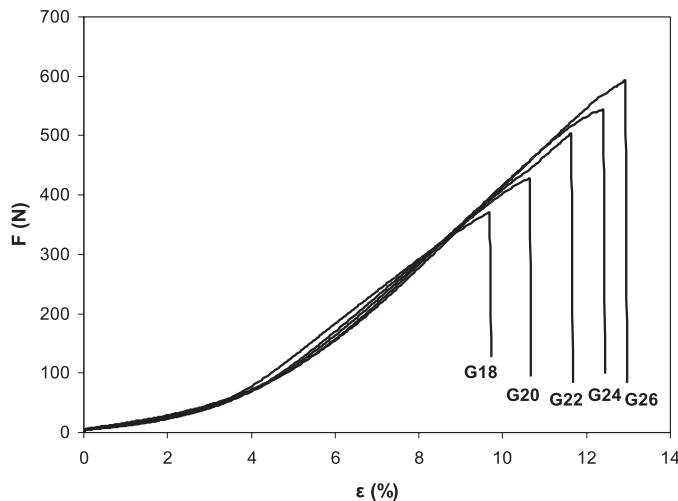
#### 4. Rezultati ispitivanja i rasprava

Dijagrami srednjih vrijednosti rezultata ispitivanja djelovanja vlačne sile  $F$  i pripadne uzdužne deformacije (istezanja)  $\epsilon$  na uzorcima tkanina kada sila djeluje u smjeru potke prikazani su na sl.7, a kada sila djeluje u smjeru osnove prikazani su na sl.8.

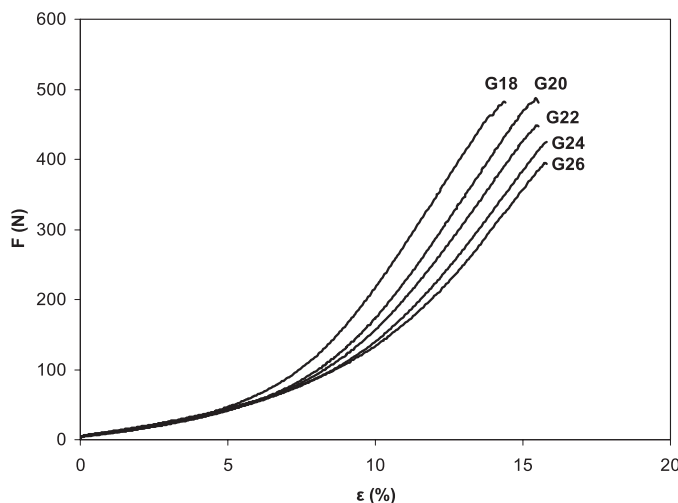
Na sl.9 je prikazan je uzorak ispitane tkanina G20 (gustoća 20 niti/cm) kada vlačna sila djeluje u smjeru potke.

Širina uzorka tkanina je  $b_0=500$  piksela (engl. pixels) što je ekvivalentno  $b_0=50$  mm. Očitavanjem vrijednosti širine uzorka tkanine  $b$  nakon djelovanja sile, relativna poprečna deformacija (relativno suženje) izračunava se prema izrazu (16). Kada sila djeluje u smjeru potke, utkanje niti potke postupno se smanjuje. Posljedica izravnavanja utkanja niti potke je porast pritiska na niti osnove. Taj pritisak stvara dodatne deformacije na niti osnove i stimulira istovremenu i kontinuiranu razmjenu utkanja niti potke i osnove, te dolazi do povećavanja utkanja niti osnove. Dokaz ove unutarnje interakcije je suženje tkanine u poprečnom smjeru, tj. smjeru koji je okomit na smjer istezanja. Ova pojava uzrokuje gubitak pravokutnog oblika uzorka, tj. dolazi do suženja uzorka tkanine.

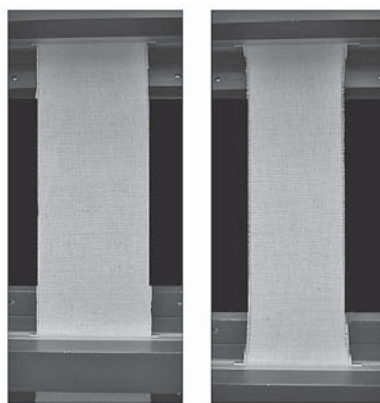
Dijagram na sl.10 prikazuje karakterističnu krivulju kontinuirane promjene relativnog suženja  $s$  (%) uzorka tkanina u odnosu na njezino relativno istezanje  $\epsilon$  (%) kada sila djeluje u smjeru potke. Na sl.11 je prikazana karakteristična krivulja relativnog poprečnog suženja uzorka tkanine u odnosu na njezino relativ-



Sl.7 Dijagram sila – istezanje ( $F-\epsilon$ ) kada sila djeluje u smjeru potke



Sl.8 Dijagram sila – istezanje ( $F-\epsilon$ ) kada sila djeluje u smjeru osnove

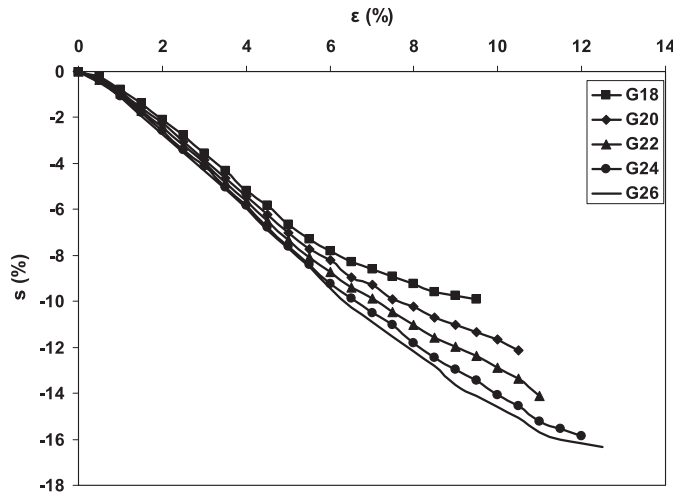
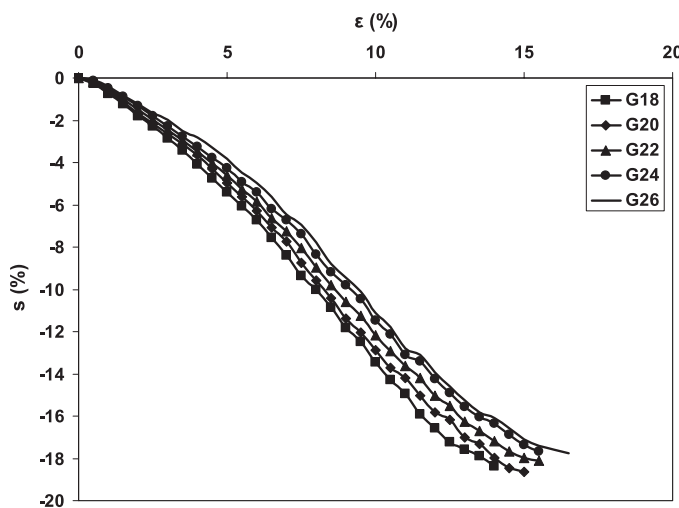


Sl.9 Tkanina G20 kada sila djeluje u smjeru potke: a) kod 0% istezanja, b) kod 10% istezanja

no istezanje kada sila djeluje u smjeru osnove.

S povećanjem gustoće tkanine u smjeru 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 istezanja  $\epsilon$ , tkanina s najvećom gustoćom potke ima najveće relativno suženje  $s$  zbog najveće napetosti osnove prilikom tkanja, a tkanina s najmanjom gustoćom potke ima najmanje relativno suženje zbog najmanje napetosti osnove prilikom tkanja (sl.10). Od ishodišta do vrijednosti istezanja (4 %) i do vrijednosti relativnog suženja tkanine (-6 %) je gotovo linearan odnos između istezanja i relativnog suženja zbog linearnosti odnosa sile i istezanja na

Sl.10 Dijagram relativnog suženja tkanine  $s$  (%) kada sila djeluje u smjeru potkeSl.11 Dijagram relativnog suženja tkanine  $s$  (%) kada sila djeluje u smjeru osnove

sl.7 od ishodišta do vrijednosti sile  $F=80$  N i do istezanja 4 %. Za vrijednost istezanja većih od 4 % i relativnog suženja većih od -6 % njihov odnos više nije linearan (sl.10) zbog nelinearnosti sile i istezanja za vrijednosti  $F>80$  N i  $\varepsilon>4$  % (sl.7).

Kada sila djeluje u smjeru osnove, s obzirom na to da je gustoća tkanine u smjeru osnove za sve uzorke konstantna tj. broj niti koji se nalazi u zahvatu stezaljki dinamometra je konstantan, što znači da ukupan broj veznih točaka u uzorku raste i kod najveće gustoće tkanine u smjeru potke je najveći, čime tkanina ima najmanje praznog prostora, te je zbog toga relativno suženje najmanje. Za tkaninu s najmanjom gustoćom potke

(G18) je najveće relativno suženje kod svake vrijednosti istezanja (sl.11). Od ishodišta do vrijednosti istezanja  $\varepsilon=5$  % i do vrijednosti relativnog suženja tkanine  $s=-5,8$  % (sl.11) je linearan odnos između istezanja i relativnog suženja zbog linearnosti odnosa sile i istezanja na sl.8 od ishodišta do vrijednosti sile  $F=60$  N i do istezanja  $\varepsilon=5$  %. Za vrijednosti istezanja  $\varepsilon>5$  % i relativnog suženja  $s>-5,8$  % odnos istezanja i relativnog suženja više nije linearan (sl.11) zbog nelinearnosti sile i istezanja za vrijednosti  $F>60$  N i  $\varepsilon>5$  % (sl.8).

Iz dijagrama na sl.10 i 11 je vidljivo da je na početku istezanja suženje tka-

nine vrlo malo. Nakon toga, s povećanjem istezanja, naglo se povećavaju i vrijednosti suženja tkanine.

Pomoću vrijednosti relativnog suženja  $s$  i relativnog istezanja  $\varepsilon$ , koje su prikazane dijagramom na sl.10, izračunavaju se vrijednosti Poissonovog koeficijenta tkanine  $\nu$  kada sila djeluje u smjeru potke pomoću izraza (17). Krivulja promjene vrijednosti Poissonovog koeficijenta  $\nu$  kada sila djeluje u smjeru potke u ovisnosti o relativnom istezanju tkanine je prikazana dijagramom na sl.12.

Vrijednosti relativnog suženja  $s$  i relativnog istezanja  $\varepsilon$  koje su prikazane dijagramom na sl.11 uvrste se u izraz (17) i izračunaju se vrijednosti Poissonovog koeficijenta tkanine  $\nu$  kada sila djeluje u smjeru osnove. Krivulja promjene vrijednosti Poissonovog koeficijenta  $\nu$  kada sila djeluje u smjeru osnove u ovisnosti o relativnom istezanju tkanine je prikazana dijagramom na sl.13.

Oblik krivulje Poissonovog koeficijenta tkanine je rezultat unutarnjih interakcija u tkanini. Na oblik krivulje Poissonovog koeficijenta (sl.12 i 13) utječe promjena vrijednosti relativnog suženja tkanine koje su prikazane na sl.10 i 11. Krivulja Poissonovog koeficijenta sastoji se od dviju zona. Prva zona obuhvaća područje od početka do najvišeg vrha krivulje. Kada sila djeluje u smjeru potke, najveća vrijednost Poissonovog koeficijenta je kod relativnog istezanja tkanine između 5 i 6 % (sl.12). Kada sila djeluje u smjeru osnove, najveća vrijednost Poissonovog koeficijenta je kod relativnog istezanja tkanine oko 12 % (sl.13). Druga zona je od najvišeg vrha krivulje do kraja granice istezanja, tj do prekida. U ovoj zoni, krivulja Poissonovog koeficijenta opada i to predstavlja završetak bočnog suženja tkanine unatoč istezanju uzorka.

Povećanje gustoće potke uzrokuje povećanje maksimalne vrijednosti Poissonovog koeficijenta tkanine kada sila djeluje u smjeru potke (sl.12). Kada sila djeluje u smjeru osnove vrijednosti Poissonovog koeficijenta



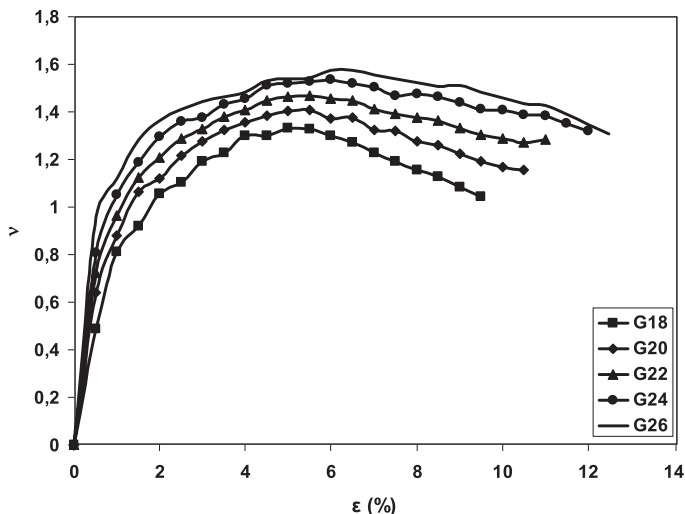
tkanine se smanjuju s povećanjem gustoće potke (sl.13).

Razmatranjem jednadžbe Poissonovog koeficijenta, relativno suženje postaje konstantno kada se završi bočno suženje tkanine. Osim toga, uzorak se i dalje produljuje za vrijednost  $\varepsilon$ . Stoga jednadžba Poissonovog koeficijenta poprima novi oblik, koji je opći oblik recipročne funkcije. Matematički, granica ove jednadžbe je nula. U praksi, zbog prekida uzorka, ovaj uvjet se nikad ne pojavljuje. Međutim, uzimajući u obzir značenje Poissonovog koeficijenta koji predstavlja odnos između poprečne i uzdužne deformacije materijala, ako poprečna deformacija ne zauzima mjesto u tom omjeru, Poissonov koeficijent nema praktično značenje.

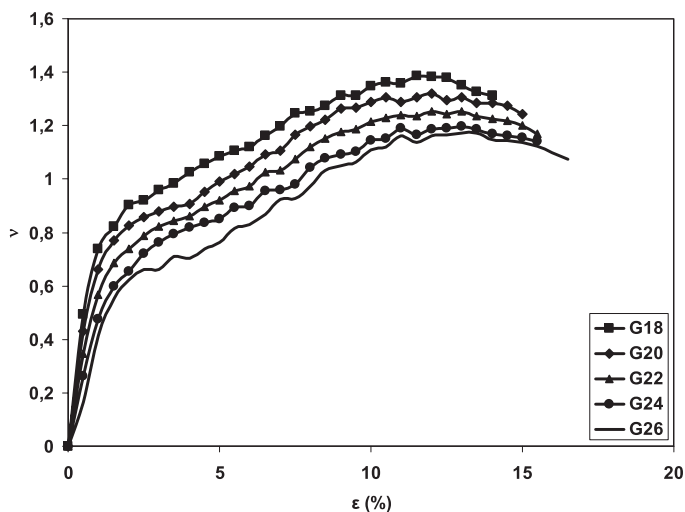
Prestanak bočnog suženja tkanine može nastati iz dva razloga. Prvo, zbog prestanka izravnavanja utkanja pređe u smjeru istezanja tkanine, i drugo, zbog strukture tkanine. Ako i postoji mogućnost daljnjeg suženja tkanine, to se ne može dalje odvijati jer ne postoji prostor između susjednih niti u tkanini, pa ne može doći do suženja tkanine.

Najviši vrh krivulje (maksimalna vrijednost) Poissonovog koeficijenta se pojavljuje oko utkanja niti potke. U praksi je to nešto viša vrijednost od vrijednosti utkanja potke. To je zato jer nakon zone izravnavanja utkanja postoji blago dodatno poprečno suženje tkanine. Ta pojava nastaje uglavnom zbog promjene poprečnog presjeka pređe što se javlja kao posljedica povećanja napetosti u nitima pređe kod njihovog istezanja. Oblik poprečnog presjeka pređe prelazi iz eliptičnog u gotovo kružni oblik. Taj utjecaj je mali i završava vrlo brzo nakon daljnjeg istezanja.

Zbog toga što se uzorak isteže u smjeru potke, utkanje potke se postupno smanjuje sve dok ne dostigne krajnju vrijednost utkanja pređe. Nakon potpunog izravnavanja pređe potke, vrijednosti utkanja postaju negativne, što predstavlja izduženje izravnanje pređe. U isto vrijeme, dolazi do povećanja utkanja osnove.



Sl.12 Poissonov koeficijent tkanine v kada sila djeluje u smjeru potke



Sl.13 Poissonov koeficijent tkanine v kada sila djeluje u smjeru osnove

Definiran je omjer utkanja  $O_u$ . To je bezdimenzionalna veličina koja se definira izrazom (19):

$$O_u = \frac{u_1}{u_2} = \frac{l_2 \cdot (l_1 - p_2)}{l_1 \cdot (l_2 - p_1)} \quad (19)$$

gdje su:

$u_1$  - utkanje u uzdužnom smjeru,

$u_2$  - utkanje u poprečnom smjeru.

Dijagram odnosa vrijednosti omjera utkanja  $O_u$  i pripadajućeg istezanja  $\varepsilon$

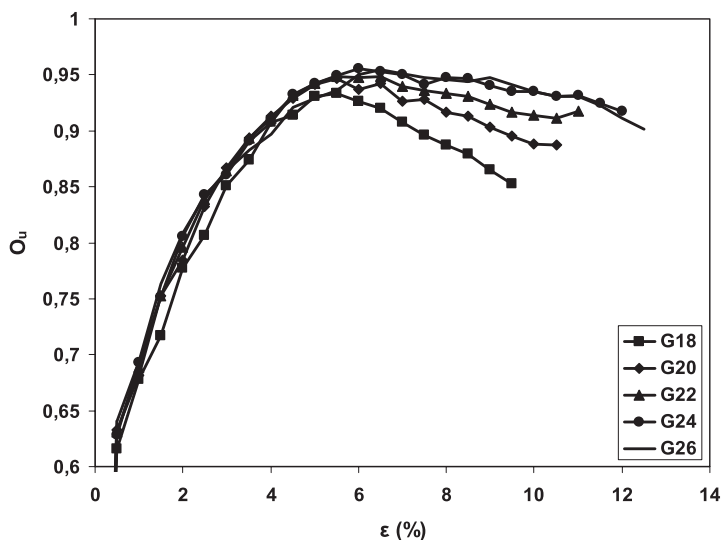
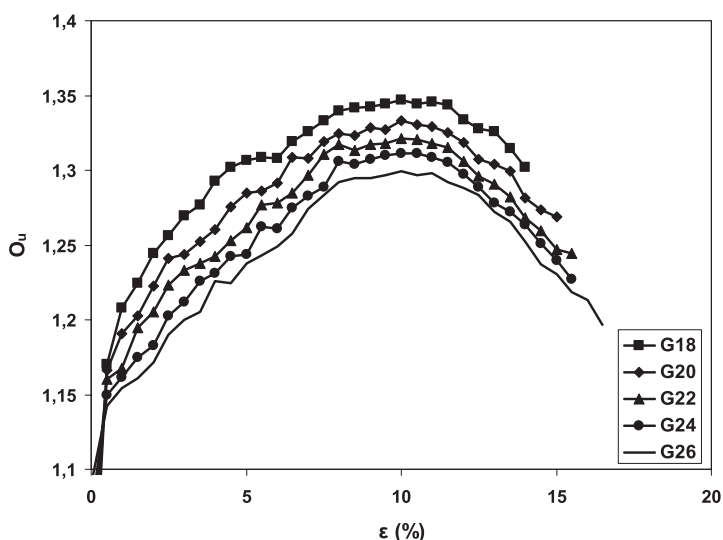
kada sila djeluje u smjeru potke je prikazan na sl.14.

Dijagram odnosa vrijednosti omjera utkanja  $O_u$  i pripadajućeg istezanja  $\varepsilon$  kada sila djeluje u smjeru osnove je prikazan na sl.15.

Izračunati su koeficijenti korelacije  $r_o$  između vrijednosti Poissonovog koeficijenta  $v$  i omjera utkanja  $O_u$  kada sila djeluje u smjeru osnove. Također su izračunati koeficijenti korela-

Tab.4 Koeficijenti korelacije  $r_o$  i  $r_p$  između vrijednosti Poissonovog koeficijenta  $v$  i omjera utkanja  $O_u$

	G18	G20	G22	G24	G26
$r_o$	0,806	0,778	0,754	0,731	0,701
$r_p$	0,958	0,971	0,978	0,983	0,982

Sl.14 Omjer utkanja  $O_u$  niti kada sila djeluje u smjeru potkeSl.15 Omjer utkanja  $O_u$  niti kada sila djeluje u smjeru osnove

cije  $r_p$  između vrijednosti Poissonovog koeficijenta  $\nu$  i omjera utkanja  $O_u$  kada sila djeluje u smjeru potke. Vrijednosti koeficijenta korelacije  $r_o$  i  $r_p$  za sve ispitane tkanine su prikazani u tab.4 i pokazuju vrlo visoku povezanost dobivenih rezultata.

## 5. Zaključak

U ovom radu je promatran utjecaj utkanja osnove i potke na Poissonov koeficijent tkanine. Zbog anizotropije tkanina, Poissonov koeficijent nije konstantan, već se mijenja pri svakom izduženju tkanine. Ponašanje i oblik krivulje Poissonovog koefi-

cijenta tkanine koja je izložena vlačnom djelovanju, tj. izduženju, uglavnom ovisi o ponašanju tkanine u smjeru okomitom na izduženje. Poissonov koeficijent najprije se povećava nelinearno i nakon što dostigne najvišu vrijednost se smanjuje. Ove dvije odvojene zone predstavljaju dva različita procesa u deformaciji tkanine. Prva zona predstavlja način poprečnog suženja tkanine zbog longitudinalnog istezanja. Druga zona pokazuje prestanak bočnog suženja tkanine i tkanina se izdužuje bez daljnje kontrakcije.

Uočeno je da postoji vrlo visoki koeficijent korelacije između odnosa utkanja osnove i potke i Poissonovog koeficijenta tijekom izduženja tkanine. Istezanjem tkanine u smjeru u kojem se mijenja gustoća niti (u ovom slučaju niti potke), tkanine s većom gustoćom niti potke imaju veće vrijednosti Poissonovog koeficijenta. Dobiveni rezultati pokazuju da postoji ovisnost između omjera utkanja i Poissonovog koeficijenta za osnovu i potku. Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da treba nastaviti istraživanje Poissonovog koeficijenta osnove i potke za sve tkanine.

## Literatura:

- [1] Nazanin E.S., S. Siamak, H.V. Mohammad: Effect of Fabric Structure and Weft Density on the Poisson's Ratio of Worsted Fabric, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* 8 (2013) 2, 63-71
- [2] 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
- [3] Peirce F. T.: The geometry of cloth structure, *Journal of the Textile Institute* 28 (1937.), T45-T96
- [4] Kilby W.F.: Planar Stress-strain Relationship in Woven Fabrics, *Journal of the Textile Institute* 54 (1963.) T9-T27
- [5] Chen B., M. Govindaraj: A Physically Based Model of Fabric Drape Using Flexible Shell Theory, *Textile Research Journal* 65 (1995) 6, pp324-330
- [6] Chen B., M. Govindaraj: A Parametric Study of Fabric Drape, *Textile Research Journal* 66 (1996) 1, pp 17-24
- [7] Leaf G.A.V.: Analytical Plain Weave Fabric Mechanics and the Estimation of Initial Shear Modulus, *Journal of the Textile Institute* 92 (2001) 3, pp 70-79
- [8] Lloyd D.W. et al.: An Examination of a "Widejaw" Test for the Determination of Fabric Poisson Ratio, *Journal of the Textile Institute* 68 (1977.) 299-302
- [9] Bao L. et al.: Error Evaluation in Measuring the Apparent Poisson's

- Ratios of Textile Fabrics by Uniaxial Tensile Test, *Sen'i Gakkaishi* 53 (1997.) 1, 20-26
- [10] Bao L. et al.: Determining the Apparent Shear Rigidity of Textile Fabrics by Uniaxial Tensile Test, *Sen'i Gakkaishi* 53 (1997.) 4, 139-145
- [11] Bassett R.J. et al.: Experiment Methods for Measuring Fabric Mechanical Properties: a Review and Analysis, *Textile Research Journal* 69 (1999) 11, 866-875
- [12] Thirwell B.E., L.R.G. Treloar: Non-Woven Fabrics. Part VI: Dimensional and Mechanical Anisotropy, *Textile Research Journal* 35 (1965) 9, pp827-835
- [13] Giroud J.P.: Poisson's Ratio of Unreinforced Geomembranes and Nonwoven Geotextiles Subjected to Large Strains, *Geotextiles and Membrane* 22 (2004) pp 297-305
- [14] Hearle J.W.S., P. Grosberg, S. Backer: *Structural Mechanics of Fiber, Yarn and Fabrics*, Volume 1, Wiley-Interscience, New York, 1969
- [15] Hearle J.W.S., V. Ozsanlav: Studies of Adhesive-Bonded Non-Woven Fabrics, Part II: The Determination of Various Parameters for Stress Prediction, *Journal of the Textile Institute* 70 (1979) 10, pp439-451
- [16] Lekhnitskii S.G.: *Theory of Elasticity of an Anisotropic Elastic Body*, Mir Publishers, Moscow, 1981
- [17] Penava Ž., D. Šimić: Analysis of the elastic constants of woven fabrics for at random chosen extension directions, *Tekstil* 61 (2012) 7-12, 169-179
- [18] Penava Ž., D. Šimić Penava, Ž. Knezić: Determination of the Elastic Constants of a Plain Woven Fabrics by Tensile Test in Various Directions, *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 22 (2014) 57-63
- [19] Zouari R. et al.: Experimental and numerical analyses of fabric off-axes tensile test, *Journal of the Textile Institute* 101 (2010) 1, 58-68
- [20] Postle R. et al.: *The Mechanics of Wool Structures*, Ellis Horwood Limited Publishers, Chichester, UK, 1988., ISBN 0-7458-0322-9
- [21] Sun H.: On the Poisson's ratios of a woven fabric, *Composite Structures* 68 (2005.) 4, 505-510
- [22] Alfrević I.: *Uvod u tenzore i mehaniku kontinuuma*, Golden marketing, Zagreb, 2003., ISBN: 953-242-130-7

## SUMMARY

### Investigation of warp and weft take-up influence on Poisson's ratio of woven fabric

Ž. Penava<sup>1</sup>, D. Šimić Penava<sup>2</sup>, M. Nakić<sup>3</sup>

Due to the anisotropy of woven fabrics Poisson's ratio changes over the fabric sample stretching. This paper examines the impact of the weft density on the value of the Poisson's ratio when uniaxial tensile force acts on the woven fabric. Measurements of breaking force and breaking elongation 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. Samples are stretched with tensile force in the weft and warp direction, and based on different measured values of fabric stretching, warp and weft Poisson's ratio is calculated. Investigations which are presented in this paper have shown that warp and weft take-up, and relative stretching of fabrics have a significant impact on the Poisson's ratio. By increasing the weft density, the values of Poisson's ratio for all fabrics are also increased. Results of the implemented tests show that there is a high correlation between the take-up ratio and Poisson's ratio of woven fabrics.

**Key words:** warp, weft, woven fabric, crimp, take-up, Poisson's ratio

<sup>1</sup>University of Zagreb, Faculty of Textile Technology

<sup>2</sup>University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering  
Zagreb, Croatia

<sup>3</sup>University of Mostar

Mostar, Bosnia and Herzegovina

e-mail: zeljko.penava@ttf.hr

Received December 17, 2013

### Die Untersuchung des Einflusses des Einwebens von Kett- und Schussfadens auf die Poissonzahl des Gewebes

Aufgrund der Gewebanisotropie ändert sich die Poissonzahl während der Dehnung des Gewebemusters. Der Artikel beschreibt die Untersuchung der Schussdichte auf die Größe der Poissonzahl, wenn einachsige Zugkraft auf das Gewebe einwirkt. Messungen der Reisskraft und Reissdehnung wurden auf 5 Baumwollgewebemustern mit konstanter Kettendichte und verschiedenen Schussdichtern und derselben Leinwandbindung durchgeführt. Die Muster werden mit Zugkraft in die Richtung der Kette und des Schusses gedehnt. Aufgrund der unterschiedlich gemessenen Werten der Gewebedehnung wird die Poissonzahl der Kette und des Schusses gerechnet. Die in diesem Artikel gezeigten Untersuchungen haben gezeigt, dass das Einweben der Kette und des Schusses und relative Verengung des Gewebes bedeutenden Einfluss auf die Poissonzahl ausüben. Durch die Erhöhung der Dichte des Schusses wachsen Poissonzahl-Werte für alle Stoffe. Die Ergebnisse der durchgeführten Prüfungen zeigen, dass es eine hohe Korrelation zwischen dem Verhältnis des Einwebens und der Poissonzahl des Gewebes herrscht.