

# Vlačna svojstva cjevastog pletiva

## Tensile Properties of Tubular Knitted Fabric

Znanstveni rad / Scientific paper

Željko Penava <sup>1,\*</sup>, Diana Šimić Penava <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz b. Filipovića 28a, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska

\*Korespondencija: zeljko.penava@tff.unizg.hr

### Sažetak

U radu su istražena vlačna svojstva cjevastog pletiva s ciljem utvrđivanja utjecaja promjera okruglih stezaljki na rezultate vlačnih ispitivanja. Ispitivano pletivo izrađeno je od poliamidne multifilamentne pređe uz dodatak elastanske pređe u desno-lijevom djelomično platirnom prepletu 1+1, čime je osigurana visoka elastičnost i izraženo nelinearno mehaničko ponašanje. Uzorci su izrađeni u cjevastom obliku s jednolikom strukturom duž cijele duljine. Vlačna ispitivanja provedena su na uređaju za ispitivanje otpornosti plošnih tekstilnih materijala na djelovanje vlačnog opterećenja, pri čemu je cjevasti uzorak opterećen preko dvije okrugle stezaljke uz obuhvat od 180°. Korištene su stezaljke promjera 10, 15, 35 i 50 mm, dok su ostali ispitni uvjeti održani konstantnima. Analizirane su krivulje sila–istezanje ( $F-\epsilon$ ), prekidna sila i istezanje pri prekidu. Rezultati pokazuju da povećanje promjera okruglih stezaljki dovodi do porasta izmjerene prekidne sile, uz istodobno smanjenje istezanja pri prekidu. Utvrđeno je da manji promjeri stezaljki uzrokuju povećanu lokalnu zakrivljenost i savijanje uzorka u zoni hvatanja, što dovodi do koncentracije naprezanja i ranije inicijacije loma. Suprotno tome, veći promjeri stezaljki omogućuju ravnomjerniji prijenos sile i mehanički odziv bliži idealnom aksijalnom vlačnom silom. Zaključeno je da promjer okruglih stezaljki predstavlja značajan eksperimentalni parametar koji utječe ne samo na krajnje vrijednosti vlačnih svojstava, već i na cjelokupni oblik krivulje sila–istezanje. Dobiveni rezultati pružaju osnovu za definiranje metodoloških smjernica za pouzdanije i reprezentativnije vlačno ispitivanje cjevastih pletiva.

**Ključne riječi:** cjevasto pletivo; vlačno ispitivanje; okrugle stezaljke; prekidna sila; prekidno istezanje

### Abstract

The tensile properties of tubular knitted fabrics were investigated in order to determine the influence of the diameter of the round clamps on the results of tensile tests. The tested knitted fabric was made of polyamide multifilament yarn with the addition of elastane yarn in double knit plated fabrics 1+1, which ensured high elasticity and pronounced nonlinear mechanical behavior. The samples were made in a tubular shape with a uniform structure along the entire length. Tensile tests were carried out on a device for testing the resistance of flat textile materials to tensile loading, where the tubular sample was loaded via two round clamps with a 180° coverage. Clamps with diameters of 10, 15, 35 and 50 mm were used, while other test conditions were kept constant. The force–elongation ( $F-\epsilon$ ) curves, breaking force and elongation at break were analyzed. The results show that increasing the diameter of the round clamps leads to an increase in the measured breaking force, while simultaneously reducing the elongation at break. It was found that smaller clamp diameters cause increased local curvature and bending of the sample in the gripping zone, which leads to stress concentration and earlier fracture initiation. Conversely, larger clamp diameters enable a more uniform force transfer and a mechanical response closer to the ideal axial tensile force. It was concluded that the diameter of the round clamps represents a significant experimental parameter that affects not only the final values of the tensile properties, but also the overall shape of the force–elongation curve. The obtained results provide a basis for defining methodological guidelines for more reliable and representative tensile testing of tubular knitted fabrics.

**Keywords:** tubular knitted fabric; tensile testing; round clamps; breaking force; breaking elongation

## 1. Uvod

U posljednje vrijeme, iz više međusobno povezanih razloga, bilježi se sve šira primjena različitih tekstilnih elastičnih proizvoda, pri čemu posebno mjesto zauzimaju kompresijske čarape, kompresijska odjeća i funkcionalna obuća. Povećana uporaba ovih proizvoda povezana je s rastućim zahtjevima u području zdravstvene skrbi, sporta i svakodnevne udobnosti, gdje se naglašava potreba za kontroliranim mehaničkim svojstvima, prilagodljivošću tijelu korisnika te dugotrajnom funkcionalnošću. Elastična tekstilna rješenja omogućuju ostvarivanje ciljanog kompresijskog učinka, poboljšanje cirkulacije, smanjenje umora i povećanje biomehaničke potpore, što dodatno potiče razvoj i optimizaciju materijala i konstrukcija namijenjenih ovim primjenama [1–3]. Cjevasta pletiva predstavljaju posebnu skupinu pletenih tekstilnih struktura kod kojih je materijal proizveden u obliku cijevi bez bočnih šavova. Zbog takve geometrije i petljaste strukture, cjevasta pletiva

odlikuju se visokom elastičnošću, velikom sposobnošću deformacije i izraženim nelinearnim mehaničkim ponašanjem, što ih čini pogodnima za širok raspon tehničkih i medicinskih primjena, uključujući kompresijske proizvode, elastične rukavce, zaštitne elemente te nosive slojeve u medicinskim implantatima poput vaskularnih materijala [4–6]. Mehaničko ponašanje pletiva bitno se razlikuje od ponašanja tkanina i netkanih tekstila jer se deformacija u velikoj mjeri ostvaruje promjenom geometrije očica, njihovom rotacijom i ispravljanjem, dok se istezanje same pređe javlja tek pri većim razinama opterećenja [7–9]. Posebno izražena nelinearnost javlja se kod pletiva koja sadrže elastansku pređu, gdje u početnoj fazi deformacije dominira geometrijski mehanizam, dok u kasnijoj fazi elatan preuzima znatan dio opterećenja i uzrokuje nagli porast sile [10,11]. Pouzdana mehanička karakterizacija cjevastih pletiva predstavlja izazov, ponajprije zbog neadekvatnosti standardnih vlačnih ispitnih metoda razvijenih za ravne tekstilne uzorke. Primjena klasičnih ravnih stezaljki često zahtijeva rezanje cijevnih uzoraka u trake, čime se

narušava izvorna struktura pletiva, mijenja raspodjela naprezanja i uvode rubni efekti koji mogu značajno utjecati na rezultate ispitivanja [9,12]. Alternativni pristupi uključuju ispitivanje uzoraka u obliku zatvorene petlje ili prstena (engl. loop ili ring tensile test), pri čemu se zadržava cijevna geometrija uzorka i postiže realističnije stanje naprezanja [13–15].

Iako se loop test široko koristi za ispitivanje užadi, remenja i elastičnih tekstilnih struktura, utjecaj konstrukcijskih parametara ispitnog uređaja, osobito geometrije okruglih stezaljki, u literaturi je relativno slabo istražen. Poznato je da promjer stezaljke, kontaktna površina i zakrivljenost uzorka u zoni hvatanja mogu značajno utjecati na raspodjelu naprezanja, koncentraciju sile i inicijaciju loma [14,16]. Međutim, sustavne eksperimentalne analize koje kvantificiraju taj utjecaj za cjevasta pletiva gotovo su nepostojeće.

Stoga je cilj ovog rada istražiti utjecaj promjera okruglih stezaljki na vlačna svojstva cjevastog pletiva izrađenog od poliamidne i elastanske pređe. Poseban naglasak stavljen je na analizu cjelokupnih krivulja sila-istezanje, prekidne sile i istežanja pri prekidu, kao i na razmatranje mehaničkih mehanizama koji stoje u pozadini uočenih razlika. Na temelju dobivenih rezultata predlažu se metodološke smjernice za pouzdanije i ponovljivije ispitivanje cjevastih pletiva.

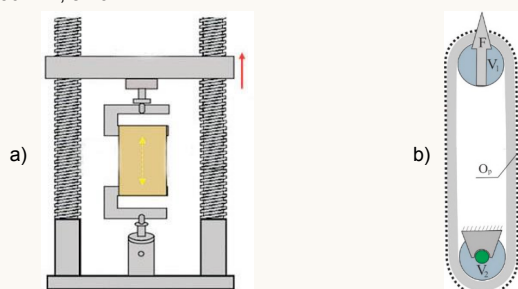
## 2. Eksperimentalni dio

### 2.1 Materijali i metodologija

Osnovne strukture uzoraka cjevastih pletiva izrađene su na čaraparskom automatu finoće E32 (Lonati, Italija), opremljenom s 400 igala. Za izradu platirnih pletiva korištene su dvije vrste pređe. Temeljna pređa bila je poliamidna multifilamentna nazivne finoće 60 dtex, dok je za platiranje korištena omotana elastanska pređa nazivne finoće 25 dtex. S navedenim pređama izrađeno je pletivo uz dubinu kuliranja od 700 upravljačkih jedinica. Dimenzije pletiva, uključujući duljinu i širinu, ovise o upotrijebljenoj finoći pređe i dubini kuliranja. Duljine izrađenih cjevastih uzoraka kretale su se u rasponu od 40 do 80 cm, dok je njihov opseg iznosio 22 cm. Uzorci su ciljano izrađeni tako da imaju ujednačenu strukturu duž cijele duljine, čime je omogućeno reprezentativno uzorkovanje za analizu i određivanje mehaničkih svojstava. Za izradu cjevastih pletiva s izraženijim kompresijskim učinkom, uz poliamidnu temeljnu pređu korištena je i elastanska pređa u djelomično platirnoj konstrukciji 1+1, pri čemu je u svaki drugi red, uz temeljnu pređu, upletena i elastanska pređa. Ovakva konstrukcija osigurava visoku elastičnost i izraženo nelinearno mehaničko ponašanje, osobito u smjeru redova očica, odnosno u poprečnom smjeru, što je karakteristično za cjevasta pletiva. Plošna masa pletiva iznosila je 125 g/m<sup>2</sup>, dok je izmjerena debljina pletiva bila 0,52 mm. širina ispitivanog uzorka korištenog u vlačnim ispitivanjima iznosila je 5 cm.

### 2.2 Ispitivanje vlačnih svojstava

Vlačna ispitivanja provedena su na univerzalnom ispitnom uređaju STATIMAT M (Textechno, Njemačka) mjerenjem sile i pomaka poprečne glave. Ispitivanja su provedena na cjevastom uzorku pletiva, pri čemu je cjevasti uzorak postavljen preko dvije okrugle stezaljke. Obuhvat uzorka oko svake stezaljke iznosio je 180°, dok je početni razmak osi stezaljki bio 50 mm, slika 1.

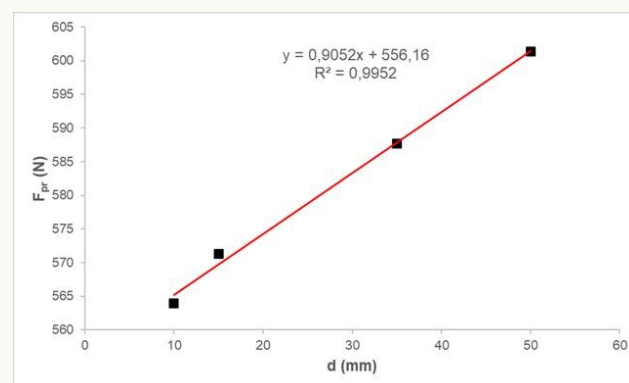


**Slika 1.** Osnovni model mjerenja istezanja i vlačne sile kod cjevastih pletiva: a) cjevasto pletivo istegnuto na kidalici, b) pletivo istegnuto preko valjaka kidalice, V1 i V2 – gornji i donji valjak kidalice, F – sila istezanja pletiva, Op – opseg istegnutog pletiva.

U ispitivanju su korištene četiri varijante okruglih stezaljki promjera 10, 15, 35 i 50 mm, čime je omogućena sustavna analiza utjecaja promjera stezaljke uz zadržavanje svih ostalih ispitnih uvjeta konstantnima. Za potrebe ovog rada autori su konstruirali i napravili okrugle stezaljke različitih promjera.

## 3. Rezultati i diskusija

Dijagram ovisnost vrijednosti prekidne sile cjevastog pletiva  $F_{pr}$  o promjeru  $d$  poprečnog presjeka okrugle stezaljke prikazan je na slici 2.



**Slika 2.** Dijagram ovisnosti prekidne sile pletiva  $F_{pr}$  i promjera  $d$  okrugle stezaljke.

Promjer stezaljke se mijenja u rasponu od 10 do 50 mm. U promatranom rasponu uočava se jasan, gotovo savršeno linearan porast prekidne sile s povećanjem promjera okrugle stezaljke. Kod najmanjeg promjera stezaljke  $d=10$  mm, vrijednost pripadne prekidne sile iznosi 564 N, a za stezaljku koja ima najveći promjer  $d=50$  mm, vrijednost prekidne sile je približno 601 N. Linearna regresija dala je koeficijent determinacije  $R^2=0,9952$  i to upućuje na izrazito snažnu korelaciju između promjera okrugle stezaljke i izmjerene prekidne sile ukazuje na snažan utjecaj geometrije stezaljki na izmjerene mehaničke vrijednosti pletiva.

U ovom eksperimentu je pokazano da povećanje promjera poprečnog presjeka okrugle stezaljke za 10 mm dovodi do povećanja prekidne sile od približno 9 N. Dakle, vrijednost prekidne sile raste s povećanjem promjera okrugle stezaljke. To ne znači da dolazi do očvršćivanja materijala (pletiva) s porastom promjera stezaljki. Ima više razloga zašto vrijednost prekidne sile raste s povećanjem promjera poprečnog presjeka okrugle stezaljke.

Radius zakrivljenosti okrugle stezaljke u zoni nalijeganja uzorka pletiva utječu na zakrivljenost uzorka pletiva. Stezaljke malog radijusa zakrivljenosti poprečnog presjeka (10 i 15 mm) uzrokuju veliku lokalnu zakrivljenost uzorka pletiva. Zbog toga se u blizini stezaljke pojavljuje normalno naprezanje od zajedničkog djelovanja savijanja i aksijalne vlačne sile. Dolazi do lokalne koncentracije naprezanja što uzrokuje preranu pojavu prekida uzorka pletiva iako materijal nije dostigao svoju vlačnu čvrstoću.

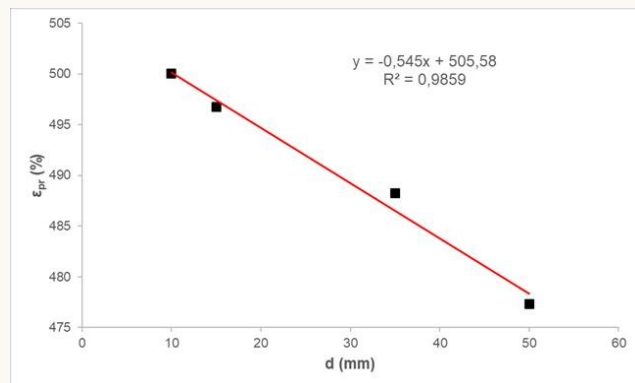
Prijenos sile sa stezaljke na pletivo ima važnu ulogu na otpornost uzorka pletiva na istežanje. Kod većih promjera poprečnog presjeka stezaljke ( $d=35$  i  $50$  mm), veće je kontaktno područje između uzorka i stezaljke. Time se postiže stanje bliže idealnom opterećenju aksijalnom vlačnom silom, pri kojem lom nastaje u mjernom području, a ne u blizini stezaljke. Kada se uzorak opterećuje vlačnom silom, na dodirnoj (kontaktnoj) površini između stezaljke i uzorka se pojavljuju se tlačna naprezanja koja su raspodijeljena na većoj površini i prijenos sile je postupniji i homogeniji.

Smanjenje utjecaja lokalnog oštećenja se postiže s većim promjerima poprečnih presjeka stezaljki. Veće stezaljke omogućuju da pletivo „radi kao struktura“, a ne kao element savijen preko ruba. Manji promjeri okrugle stezaljke pojačavaju trenje i mikro-oštećenja očica u zoni hvatanja i mijenjaju realnu raspodjelu naprezanja u pletivu.

Dobivena linearnost između izmjerenih vrijednosti prekidne sile cjevastog pletiva i promjera okruglih stezaljki je dokazana i vrijedi u ispitivanom rasponu promjera (10–50 mm). To ne mora nužno značiti da

će se taj trend nastaviti izvan tog raspona, ali je za očekivati da će za još veće promjere okruglih stezaljki njezin utjecaj biti zanemariv. Za promjere stezaljki 35 i 50 mm izmjerene vrijednosti prekidnih sila su bliže stvarnoj vrijednosti prekidne sile cjevastog pletiva, dok su za promjere okruglih stezaljki  $d=10$  i 15 mm izmjerene vrijednosti prekidne sile manje od stvarnih vrijednosti. Dakle, promjer poprečnog presjeka okrugle stezaljke važan je eksperimentalni parametar.

Dijagram ovisnost vrijednosti prekidnog istezanja cjevastog pletiva  $\epsilon_{pr}$  o promjeru  $d$  poprečnog presjeka okrugle stezaljke prikazan je na slici 3.



**Slika 3.** Dijagram ovisnosti istezanja pri prekidu  $\epsilon_{pr}$  i promjera  $d$  okrugle stezaljke.

U promatranom rasponu promjera okrugle stezaljke od 10 mm do 50 mm uočava se linearno smanjenje istezanja s povećanjem promjera okrugle stezaljke. Vrijednosti prekidnog istezanja i promjera okrugle stezaljke su obrnuto proporcionalne. Pri najmanjem promjeru okrugle stezaljke  $d=10$  mm,  $\epsilon_{pr}$  iznosi približno 500 %. Kod okrugle stezaljke koja ima najveći promjer kružnog presjeka  $d=50$  mm, dolazi do smanjenja  $\epsilon_{pr}$  i ono iznosi približno 477 %.

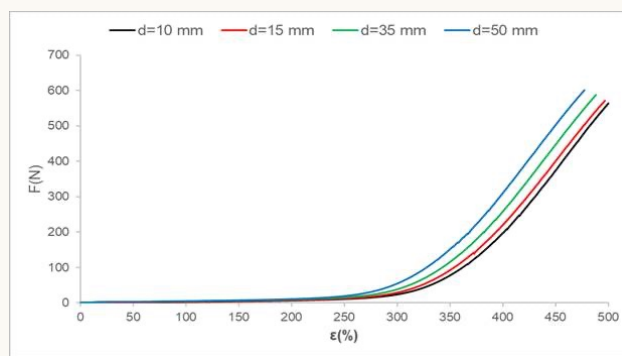
Koeficijent determinacije je  $R^2=0,9859$  i to upućuje na snažnu korelaciju između promjera okrugle stezaljke i izmjerenog istezanja pri prekidu. Povećanjem promjera stezaljke za 10 mm, istezanje pri prekidu se smanjuje za približno 5,5 %.

Dva su razloga zašto se vrijednost prekidnog istezanja smanjuje s promjerom okrugle stezaljke. Lokalna zakrivljenost i savijanje uzorka pletiva utječu na njegovu veličinu istezanja. Kod manjih promjera stezaljki (10 i 15 mm) uzorak pletiva ima veću zakrivljenost na dodirnoj površini s okruglom stezaljkom. Tu se pojavljuje dodatna komponenta deformacije od savijanja. Dio izmjerenog istezanja potječe od geometrijskog ispravljanja očica i zakrivljenih dijelova, a ne isključivo od istezanja materijala zbog djelovanja aksijalne vlačne sile. Zbog toga se bilježe veće vrijednosti istezanja, ali one nisu u potpunosti reprezentativne za stvarnu aksijalnu deformaciju cjevastog pletiva.

Kod stezaljki koje imaju veći promjer poprečnog presjeka (35 i 50 mm), zakrivljenost uzorka u dodirnoj površini je manja. Utjecaj savijanja na ukupno normalno naprezanje se smanjuje, a deformacija (istezanje) se pojavljuje prvenstveno zbog aksijalne vlačne sile. Prekid uzorka nastupa pri manjem ukupnom istezanju, ali pri većoj sili i približava se idealnom aksijalnom istezanju. To znači da se s porastom promjera okrugle stezaljke smanjuje "umjetno" povećanje istezanja povezano s geometrijom hvatanja.

Dijagrami iz slike 2. i slike 3 se međusobno nadopunjuju. Vrijednost prekidne sile raste s povećanjem promjera okrugle stezaljke, a vrijednost prekidnog istezanja se smanjuje s porastom promjera okrugle stezaljke. Dakle, manji promjeri okruglih stezaljki dovode do ranije pojave loma, ali uz veće vrijednosti ukupnog istezanja (zbog savijanja i geometrijskog "izravnavanja"). Veći promjeri okruglih stezaljki omogućuju da se pletivo isteže bliže realnom vlačnom režimu, pa prekid nastupa pri većoj vrijednosti aksijalne vlačne sile, ali pri manjoj vrijednosti istezanja. Dobiveni rezultati potvrđuju da geometrija učvršćivanja ima veliki utjecaj i na silu i na istezanje pletiva do prekida.

Na slici 4. prikazana je ovisnost srednjih vrijednosti vlačne sile i pripadnog istezanja cjevastog pletiva za četiri promjera okruglih stezaljki  $d=10, 15, 35$  i 50 mm



**Slika 4.** Ovisnost srednjih vrijednosti vlačne sile  $F$  i pripadnog istezanja cjevastog pletiva  $\epsilon$  za četiri promjera okruglih stezaljki  $d=10, 15, 35$  i 50 mm.

Za sve promjere okruglih stezaljki uočava se tipičan nelinearan odnos sile i istezanja s tri prepoznatljive zone.

U zoni I je gotovo linearan odnos vrijednosti vlačne sile i pripadnog istezanja. Sila raste vrlo sporo uz veliko istezanje. Ta zona je  $\epsilon \approx 0-210$  %. U zoni II ( $\epsilon \approx 210-350$  %) odnos sile i istezanja nije više linearan. Nagib krivulje se povećava, a očice se postupno ispravljaju i brži je prirast vrijednosti sile. U zoni III ( $\epsilon > 350$  %) dolazi do naglog porasta sile sve do prekida uzorka pletiva. U toj zoni je opet linearan odnos sile i istezanja.

Promjer poprečnog presjeka okrugle stezaljke ima značajan utjecaj na veličinu i odnos sile i pripadnog istezanja cjevastog pletiva. Što je promjer stezaljke veći, to je veći nagib tangente na krivulju u završnoj fazi deformacije. U zoni I krivulje su gotovo preklapljene, bez obzira na promjer okruglih stezaljki. U ovoj zoni deformacije dominira reorijentacija i otvaranje očica u uzorku pletiva. Utjecaj promjera stezaljke je mali jer su vrijednosti sile još niske i dodirna površina uzorka i stezaljke još nije kritična.

U zoni II i III krivulje  $F-\epsilon$  za veće promjere stezaljki ( $d=35$  i 50 mm) nalaze se iznad krivulja za  $d=10$  i 15 mm kroz gotovo cijeli raspon istezanja. To znači da za isto istezanje pletivo razvija veću silu kada se ispituje s većim promjerima okruglih stezaljki. Za okrugle stezaljke s manjim promjerima poprečnih presjeka dobivaju se manje vrijednosti prekidnih sila pri istom istezanju.

Kod manjih promjera poprečnih presjeka okruglih stezaljki dio deformacija (istezanja) nastaje zbog savijanja i geometrijskog prilagođavanja uzorka u dodirnoj površini s stezaljkom. Kod većih promjera deformacija (istezanje) nastaje prvenstveno zbog djelovanja aksijalne vlačne sile.

Krivulje  $F-\epsilon$ , slika 4., za veće promjere okruglih stezaljki su strmije, i prekid uzorka nastupa pri većoj sili, ali manjem istezanju. Tu se smanjuje utjecaj savijanja i lokalnih koncentracija naprezanja. Za manje promjere okruglih stezaljki, krivulje  $F-\epsilon$  položene su i veće su vrijednosti prekidnog istezanja, ali prekid uzorka nastupa pri manjoj vrijednosti prekidne sile.

## 4. Zaključak

Izbor promjera poprečnih presjeka okruglih stezaljki značajno utječe na pouzdanost i reprezentativnost vlačnih ispitivanja cjevastih pletiva, te se pri interpretaciji rezultata mora uzeti u obzir geometrija učvršćivanja, a ne samo struktura pletiva. Povećanje promjera okruglih stezaljki dovodi do porasta izmjerene vrijednosti prekidne sile cjevastog pletiva, pri čemu veći promjeri 35 i 50 mm daju stabilnije i reprezentativnije rezultate. Oni omogućuju ravnomjerniji prijenos sile s okrugle stezaljke na pletivo, smanjuju normalna naprezanja od savijanja i rezultiraju prekidom uzorka pletiva unutar mjernog područja. Manji promjeri okruglih stezaljki imaju povećanu lokalnu zakrivljenost koja uzrokuje lokalnu koncentraciju naprezanja u području hvatanja, što dovodi do prerane pojave prekida uzorka. Tada su dobivene vrijednosti vlačne čvrstoće manje od stvarne vlačne čvrstoće pletiva. Promjer okruglih stezaljki ne utječe samo na izmjerenu vrijednost prekidne sile, već i na veličinu prekidnog istezanja

pri čemu se s povećanjem promjera bilježi gotovo linearan pad izmjerene istezanja. Povećanjem promjera okruglih stezaljki smanjuje se utjecaj savijanja i geometrijskih karakteristika uzoraka pletiva, i ispitivanje uzorka približava se idealnom opterećenju aksijalnom vlačnom silom cjevastog pletiva. Promjer okruglih stezaljki utječe na cjelokupni mehanički odgovor cjevastog pletiva, a ne samo na krajnje vrijednosti prekidnih sila i istezanja pri prekidu. Krivulje sila-istezanje cjevastog pletiva pokazuju tipičan nelinearan mehanički odgovor s tri karakteristične deformacijske zone. Iako je kvalitativni oblik krivulja

sličan za sve promjere okruglih stezaljki, uočene su jasne razlike u razinama sile i nagibu krivulja. Veći promjeri stezaljki omogućuju približavanje idealnom aksijalnom vlačnom opterećenju uzorka pletiva, dok manji promjeri uvode pojavu normalnog naprezanja od savijanja i utjecaj geometrije uzorka koji dovode do povećanja vrijednosti istezanja i smanjenja vrijednosti sile od njihovih realnih vrijednosti u uzorku. Dobivene spoznaje su manje značajne za klasične odjevne predmete koji blago kompresijski djeluju na ljudsko tijelo, a veoma su značajne za tehnička pletiva koja se opterećuju do prekida.

## Literatura

- [1] Jovanović, T., Penava, Ž. & Vrljićak, Z.: Impact of the Elastane Percentage on the Elastic Properties of Knitted Fabrics under Cyclic Loading, *Materials*, 15 (2022) 19, 6512
- [2] Lozo, M. et al.: Z.: Parametri strukture pletiva finih ženskih čarapa s elastanskom niti, Zbornik radova 11. znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo, Ercegović Razić, S., Glogar, M. & Novak, I. (ur.), Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb (2018) 98-103, 2584-6450
- [3] Lozo, M., Penava, Ž., Lovrićević, I. & Vrljićak, Z.: The Structure and Compression of Medical Compression Stockings, *Materials*, 15 (2022) 1, 1-15
- [4] Spencer, D. J.: *Knitting Technology*, Woodhead Publishing, Cambridge, (2001)
- [5] Hearle, J. W. S.; Grosberg, P.; Backer, S.: *Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics*, John Wiley & Sons Inc, 0471366692, New York, (1969)
- [6] Ramakrishna, S. et al.: Application of the Model of Leaf and Glaskin to Estimating the 3D Elastic Properties of Knitted-Fabric-Reinforced Composites, *Journal of The Textile Institute*, 91 (2000) 1, 132–150
- [7] Kawabata, S.: *The Standardization and Analysis of Hand Evaluation*, Textile Machinery Society of Japan (2nd Ed.), Osaka, (1980)
- [8] Ramakrishna, S.; Hull, D.: Tensile Behaviour of Knitted Carbon-Fibre-Fabric/Epoxy Laminates—Part II: Prediction of Tensile Properties, *Composites Science and Technology*, 50 (1994) 2, 249–258
- [9] Azim, A. Y. M. et al.: Effect of Elastane on Single Jersey Knit Fabric Properties – Physical & Dimensional Properties, *International Journal of Textile Science*, 3 (2014) 1, 12–16
- [10] Postle, R.; Carnaby, G. A.; de Jong, S.: *The Mechanics of Wool Structures*, Ellis Horwood: Chichester, 1988.
- [11] Pan, N.: Relationship Between Grab and Strip Tensile Strengths for Fabrics with Roughly Linear Mechanical Response, *Textile Research Journal*, 73 (2003) 2, 187–194
- [12] Truong, V. D.; Lee, D. H.; Kim, D. J.: Effects of different grips and surface treatments of textile on measured direct tensile response of textile reinforced cementitious composites, *Composite Structures*, 278 (2021), 114689
- [13] ASTM D5035-11: Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, (2011)
- [14] ASTM D6775-13: Standard Test Method for Breaking Strength and Elongation of Textile Webbing, Tape and Braided Material, ASTM International: West Conshohocken, PA, (2013)
- [15] ISO 13934-1:2013: Textiles — Tensile properties of fabrics — Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, (2013)
- [16] ISO 2307:2019: Fibre ropes — Determination of certain physical and mechanical properties; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, (2019)

## Zahvala

Istraživanje je dio istraživačkih aktivnosti institucionalnog projekta FUNK-TEX (TTF-IIP-06), financiranog sredstvima programa Europska unija - NextGenerationEU kroz Mehanizam za oporavak i otpornost.