Analiza hrapavosti površine tkanina

Rebeka Solomun, Ana Kalazić, Ana Palčić i Snježana Brnada*
Sveučilište u Zagrebu Tekstilno tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska
*Dopisni autor: sbrnada@ttf.unizg.hr

Prispjelo: 20. siječnja 2026.
Prihvaćeno: 18. veljače 2026.
UDK 677.017.2/.7:677.064

Ovaj je rad licenciran pod licencom
Creative Commons Attribution 4.0 International License

Izvorni znanstveni rad**

U radu se analizira površinska hrapavost tkanina kao složeno strukturno svojstvo koje proizlazi iz međudjelovanja konstrukcijskih parametara, geometrije veza i ortotropne prirode tkane strukture. Poseban naglasak stavljen je na objektivno kvantificiranje hrapavosti profila u različitim smjerovima mjerenja te na interpretaciju dobivenih rezultata u kontekstu strukturne simetrije i dijagonalne geometrije tkanina. Eksperimentalni dio proveden je na uređaju Fabric Touch Tester (FTT), pri čemu je analizirano sedam tkanina različitih vezova (platno, panama, rips, keper i atlas) proizvedenih od iste pamučne pređe kako bi se eliminirao utjecaj sirovinskog sastava. Mjerenja su provedena u smjeru osnove (0°), potke (90°) te u zakrenutim smjerovima (45° i 135°), čime je omogućena analiza ortotropnosti površinske hrapavosti. Dobiveni sirovi profili dodatno su filtrirani i statistički obrađeni, a hrapavost je kvantificirana primjenom parametra srednjeg kvadratnog odstupanja profila Rq. Rezultati pokazuju da, unatoč ortotropnoj prirodi tkanina, površinska hrapavost ne pokazuje strogo ortotropno ponašanje. Najviše vrijednosti parametra Rq uočene su u dijagonalnom smjeru od 45° kod svih analiziranih uzoraka, bez obzira na vrstu veza. Polarni dijagrami dodatno potvrđuju da strukturno simetrični vezovi ne jamče simetričnu raspodjelu hrapavosti profila. Dobiveni rezultati naglašavaju potrebu za višesmjernim mjerenjem hrapavosti tkanina te ukazuju na ograničenja interpretacije površinskih svojstava isključivo u glavnim konstrukcijskim smjerovima.

Ključne riječi: *tkanina; hrapavost površine; vezovi; ortotropnost*

Original scientific paper**

Analysis of the surface roughness of woven fabrics

This paper analyzes the surface roughness of woven fabrics as a complex structural property arising from the interaction of constructional parameters, weave geometry, and the orthotropic nature of the woven structure. Special emphasis is placed on the objective quantification of roughness profiles in different measurement directions and on the interpretation of the obtained results in the context of structural symmetry and the diagonal geometry of fabrics. The experimental part was conducted using the Fabric Touch Tester (FTT), where seven woven fabrics with different weave types (plain, basket, rib, twill, and satin) were analyzed. All fabrics were produced from the same cotton yarn to eliminate the influence of raw material parameters. Measurements were performed in the warp direction (0°), weft direction (90°), and in rotated directions (45° and 135°), enabling the analysis of orthotropic behavior of surface roughness. The obtained raw profiles were further filtered and statistically processed, and roughness was quantified using the root mean square deviation parameter Rq. The results show that, despite the orthotropic nature of fabrics, surface roughness does not exhibit strictly orthotropic behavior. The highest Rq values were observed in the diagonal direction of 45° for all analyzed samples, regardless of weave type. Polar diagrams further confirm that structurally symmetrical weaves do not guarantee symmetrical distribution of roughness profiles. The obtained results highlight the necessity of multidirectional roughness measurement and indicate the limitations of interpreting surface properties exclusively in the principal construction directions.

Keywords: *woven fabric; surface roughness; weave types; orthotropy*

**Izlaganje na 18. znanstveno-stručnom savjetovanju „Tekstilna znanost i gospodarstvo", 27. siječnja 2026., Zagreb, Hrvatska

1. Uvod

Geometrija tkanine određuje način na koji se površinska hrapavost manifestira u smjeru osnove i potke. Razlike u gustoći niti, vrsti pređe, načinu preplitanja te morfologiji vlakana utječu na položaj vrhova i dolina reljefa na površini tkanine [1].

Kod ispitivanja površinske hrapavosti mjerenja se najčešće provode u smjeru osnove i potke, jer ti smjerovi slijede konstrukcijsku logiku tkane strukture, a mjerenjem hrapavosti u tim smjerovima dobiva se najreprezentativniji prikaz strukturne logike tkanine, budući da profilometar prati linijske karakteristike niti. Međutim, složenost strukturne interakcije osnove i potke dolazi do izražaja u zakrenutim smjerovima, najčešće pod kutovima od 45° i 135°. U tim smjerovima igla profilometra ne prelazi dominantno preko jednog sustava niti, već presijeca područja njihovih međusobnih dodira i raspodjele veza, odnosno njihove točke dodira i međusobne kontakte, što rezultira drugačijom raspodjelom mikrogeometrijskih nepravilnosti koja nije nužno predvidiva iz mjerenja u glavnim smjerovima. Zbog toga se ukupna hrapavost tkanine ne može u potpunosti interpretirati samo kroz glavne osi, već zakrenuti smjerovi daju dodatnu dimenziju razumijevanju površinske morfologije.

1.1. Ortotropna priroda tkanine

Ortotropnost označava svojstvo materijala da pokazuje različite fizikalne i mehaničke karakteristike u tri međusobno okomita smjera. Za razliku od izotropnih materijala, čija su svojstva jednaka u svim smjerovima, ortotropni materijali posjeduju tri ortogonalne osi simetrije duž kojih se njihovo ponašanje može opisati i predvidjeti.

U slučaju tkanina to znači da materijal posjeduje različita svojstva površine u smjeru osnove i potke, dok se u ostalim smjerovima ponašanje ne može svesti na jednostavno preklapanje tih dvaju glavnih smjerova. Tkanine pripadaju toj skupini jer je njihova struktura definirana sustavima niti osnove i potke, dok se debljinski smjer može zanemariti pri analizi površinskih svojstava [1]. Iako tkanine izrađene u platnenom vezu i njegovim izvedenicama mogu pokazivati visok stupanj strukturne simetričnosti, značajan udio tkanina ima asimetričnu i dijagonalno strukturiranu konstrukciju, kao što su keper i atlas vezovi [2]. Takve strukture uvode izraženu dijagonalnu geometriju koja može uzrokovati odstupanja od idealnog ortotropnog ponašanja.

Kod dijagonalno strukturiranih tkanina raspodjela površinskih nepravilnosti ovisi o međudjelovanju konstrukcijskih parametara oba sustava niti. Profil hrapavosti stoga ne ovisi samo o vrsti veza, već i o gustoći niti i strukturnoj konfiguraciji tkanine. Veća gustoća niti u pravilu rezultira manje izraženim vrhovima i ujednačenijom površinom, dok manja gustoća dovodi do izraženijih vrhova i veće asimetrije površinskog reljefa.

1.2. Hrapavost površine tkanina

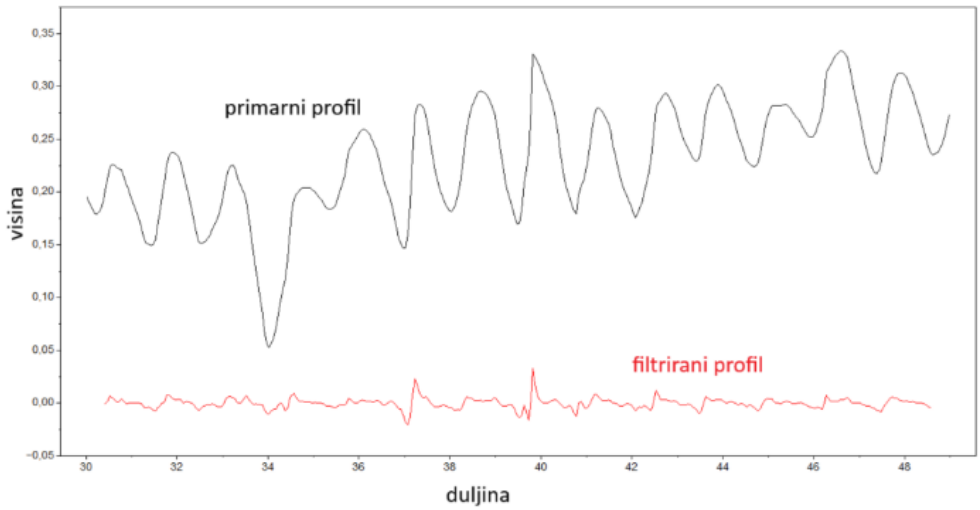
Površinska hrapavost definira se kao skup mikrogeometrijskih nepravilnosti na površini materijala koje su višestruko manje od dimenzije promatranog uzorka [3]. U inženjerstvu, kao i u tekstilnoj struci, hrapavost je važna jer utječe na optička, taktilna, mehanička i funkcionalna svojstva materijala. Kod tkanina se mikrostruktura hrapavosti formira hijerarhijski: najprije na razini vlakana, zatim u strukturi pređe, a konačno se, kao rezultat provezivanja osnove i potke, manifestira na razini površine tkanine. Stoga se parametri hrapavosti interpretiraju uzimajući u obzir specifičnosti tekstila, uključujući mikrogeometrijske i morfološke karakteristike strukture.

Profil hrapavosti predstavlja skup visinskih odstupanja u odnosu na srednju liniju površine. Svaku površinu potrebno je promatrati kao kombinaciju oblika, valovitosti i hrapavosti, pri čemu se hrapavost odnosi na visokofrekventne varijacije profila. Parametri hrapavosti razvrstavaju se prema vrsti profila te obuhvaćaju amplitudne, parametre valne duljine, hibridne i krivuljne parametre [3]. Kod tkanina se amplitudni parametri pokazuju najprikladnijima jer opisuju odnos vrhova i dolina te time neposredno odražavaju konstrukcijsku prirodu površine. U oznakama parametara najčešće se koristi prefiks R, koji označava hrapavost profila nakon provedbe filtriranja valnih duljina [4].

Grafički prikaz primarnog i filtriranog profila hrapavosti tkanine, dobiven uklanjanjem valnih duljina manjih od 0,5 mm, prikazan je na sl.1. Sirovi podaci dobiveni kontaktnim mjerenjem predstavljaju dvodimenzionalni skup vrijednosti koji ne daje vjerodostojan prikaz stvarne hrapavosti površine, pa je nužna njihova matematička obrada [5].

U prvom koraku uklanja se temeljni oblik površine, najčešće primjenom linije najmanjih kvadrata, kako bi se kompenzirala eventualna nagnutost ili nominalna zakrivljenost uzorka. Nakon toga provodi se filtriranje radi razdvajanja hrapavosti od ostalih komponenti profila: primjenom λs funkcije uklanjaju se kratkovalne nepravilnosti, dok se λc funkcijom odvaja hrapavost od valovitosti, pri čemu veće valne duljine predstavljaju valovitost, a manje hrapavost.

Standardi ASME B46.1-2019 te ISO 21920 i ISO 16610-31:2016 preporučuju primjenu Gaussovog filtra kao metode za precizno razdvajanje dugovalnih



Sl.1 Prikaz primarnog i filtriranog profila hrapavosti tkanine

i kratkovalnih komponenti profila. Tek nakon takve obrade dobiva se profil hrapavosti koji u potpunosti odgovara stvarnoj mikrostrukturi površine tkanine.

1.3. Parametri hrapavosti površine

Postoji više parametara koji opisuju hrapavost površine, dva najčešća za tkanine koja najbolje reprezentiraju amplitudna odstupanja profila su *Ra* ili srednje aritmetičko odstupanje te *Rq* ili srednje kvadratno odstupanje. Odabir odgovarajućeg parametra ovisi o vrsti materijala i cilju analize, pri čemu je kod tekstilnih struktura potrebno uzeti u obzir specifičnosti njihove mikrogeometrije i morfologije površine.

Parametar *Ra* najčešće se koristi zbog jednostavnosti interpretacije. On predstavlja prosječnu udaljenost vrhova i dolina u odnosu na srednju liniju profila. Međutim, jedan od nedostataka je taj što *Ra* ne razlikuje vrhove od dolina, jer sve vrijednosti uzima apsolutno. Dvije površine različite mikrostrukture, ali s jednakim prosječnim amplitudama, mogu imati isti *Ra*, što ga čini ograničenim u detaljnoj analizi tekstila. Zbog toga parametar *Ra* ne daje potpunu informaciju o raspodjeli visina profila, osobito kod površina s izraženim lokalnim nepravilnostima.

Ra predstavljanjem aritmetičke sredine apsolutne ordinate $Z(x)$ na području ispitivanog profila daje sljedeću jednadžbu (1).

$$R_a = \frac{1}{L}\int_1^l |Z(x)dx| \qquad (1)$$

Parametar srednje kvadratno odstupanje profila, osjetljiviji je na veće izbočine jer se vrijednosti visinskih odstupanja kvadriraju [6]. Zbog toga bolje prikazuje realne razlike među površinama, što ga čini posebno korisnim u istraživanjima površine tekstila gdje visoka neravnoteža površine može ukazivati na specifične konstrukcijske efekte tkanja. U usporedbi s parametrom *Ra, Rq* snažnije naglašava utjecaj ekstremnih vrijednosti profila, koje su kod tkanina često povezane s položajem niti i njihovim kontaktima na površini. Uz to, *Rq* je značajan u procjeni optičkih svojstava, jer se refleksija i sjaj površine mogu statistički povezati s kvadratnim odstupanjima profila.

Rq je srednja vrijednost korijena kvadrata visina profila uzduž cijelog profila po osi x. Definirana je jednadžbom (2).

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l}\int_0^l Z^2(x)dx} \qquad (2)$$

2. Eksperimentalni dio

Cilj eksperimentalnog dijela rada je objektivno kvantificiranje površine hrapavosti tkanina pomoću uređaja Fabric Touch Tester (FTT) te na evaluaciju utjecaja konstrukcijskih parametara tkanina na geometriju površine, odnosno na dobivene rezultate hrapavosti profila. Istraživanje je usmjereno na analizu hrapavosti površine u različitim smjerovima mjerenja kako bi se ispitalo ponašanje tkanina u odnosu na njihovu ortotropnu strukturu.

2.1. Uzorci za ispitivanje

U provedenom istraživanju korištene su pamučne tkanine proizvedene na istom laboratorijskom tkalačkom stroju DW598, tvrtke Fanyuan Instrument, kako bi se izbjegle razlike u tehnološkim parametrima procesa tkanja (sl.2).

Za sve uzorke primijenjena je ista pređa u osnovi i potki, čime je potpuno uklonjen potencijalni sirovinski utjecaj na površinsku hrapavost tkanina. Korištena je jednostruka grebenana pređa iz 100 % pamuka, finoće 36 tex, s 505 uvoja po metru u S smjeru. Time je osigurano da uočene razlike u hrapavosti proizlaze isključivo iz konstrukcijskih karakteristika tkanina.



Sl.2 Laboratorijski tkalački stroj DW598 tvrtke Fanyuan Instrument

Uzorci tkanina izrađeni su u sedam različitih vezova (tab.1), s varijacijama gustoće osnove i potke, kako bi se obuhvatio širi raspon strukturnih konfiguracija i njihova moguća povezanost s promjenama površinskih svojstava. Odabirom različitih vezova omogućena je usporedba površinske hrapavosti tkanina s jednostavnom i dijagonalno naglašenom geometrijom.

Tab.1 Karakteristike uzoraka za ispitivanje

Oznaka uzorka	Vez	Gustoća osnove / potke [niti/cm]
P1/1	P1/1	24/24
Pa2/2	Pa2/2	22/22
R1/1(2+2)	R1/1(2+2)	22/20
K1/3S	K1/3S	18/18
K2/2S	K2/2S	20/20
A1/4(2) 20	A1/4(2)	22/23
A1/4(2) 24	A1/4(2)	22/24

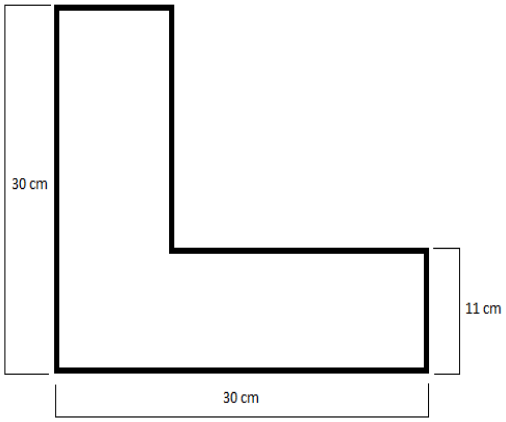
2.2. Metodologija ispitivanja

Određivanje profila hrapavosti

Površinska hrapavost tkanina analizirana je uređajem za ispitivanje udobnosti / opipa tkanina Fabric Touch Tester (FTT), prikazanim na sl.3, koji simultano mjeri kompresijska, termalna, savojna i površinska svojstva materijala. Prije ispitivanja, uzorci su pripremljeni na odgovarajući način za preciznu FTT analizu. Od svake tkanine pripremljeni su uzorci dimenzija prikazanoj na sl.4. u smjeru osnove i potke, zatim u zakrenutim smjerovima, pod kutom od 45° u odnosu na



Sl.3 Uređaj za ispitivanje udobnosti / opipa tkanine (Fabric Touch Tester – FTT)



Sl.4 Dimenzije uzoraka za FTT ispitivanja

smjer osnove. Time je na FTT uređaju svaki uzorak ispitan u smjeru pod kutom od (usporedno sa osnovom) 0°, 90°, 45° i 135°. Na taj je način omogućena usporedba profila hrapavosti u različitim smjerovima mjerenja za isti uzorak tkanine.

Priprema i statistička obrada podataka

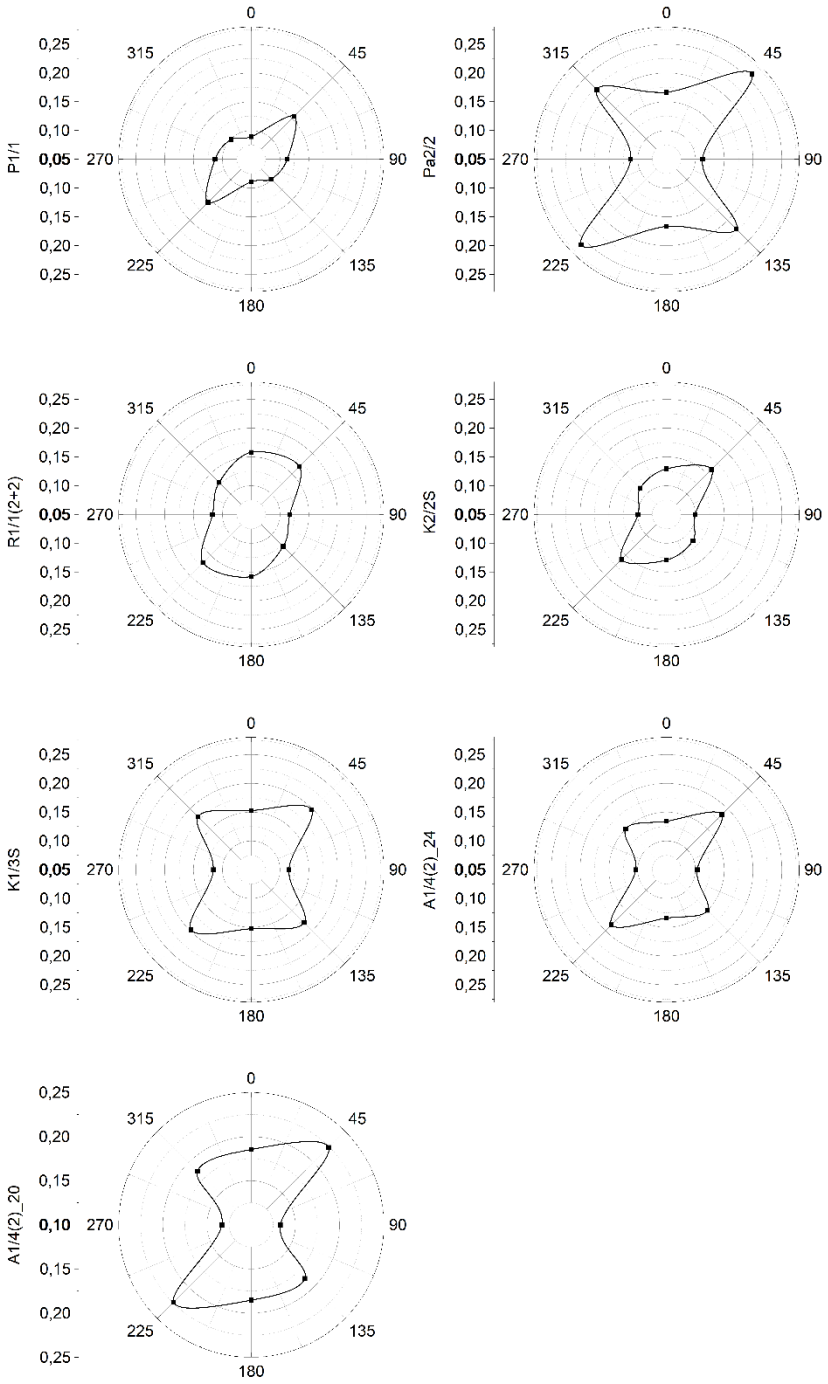
Priprema i obrada podataka temelji se na .xls datotekama koje generira FTT uređaj, pri čemu su u istraživanju korišteni samo podaci hrapavosti. Rezultati se razvrstavaju prema smjeru mjerenja na horizontalni i vertikalni, a uz smjer osnove i potke, uzorci su ispitani i u zakrenutim smjerovima pod kutom od 45° i 135°. Time je dobiven dodatni smjer analize kojim se može provjeriti hipoteza o različitoj raspodjeli hrapavosti kao posljedici ortotropne prirode tkanina.

FTT uređaj ne mjeri hrapavost od samog početka pomaka, zbog čega je iz analize bilo potrebno isključiti podatke u rasponu od 0 do 30 mm te iznad 49 mm, budući da u tim zonama mjerni kontakt nije

aktivan. Na taj su način uklonjeni dijelovi profila koji ne predstavljaju stvarnu površinu tkanine. Preostali podaci razvrstani su u intervale s pomakom od 0,05 mm radi homogenizacije profila i osiguravanja ujednačene statističke obrade. Razvrstavanje je provedeno jednako za sve uzorke i sve smjerove mjerenja kako bi se osigurala međusobna usporedivost rezultata. Za svaki uzorak kompilirana su provedena mjerenja te izračunata aritmetička sredina u pojedinom smjeru promatranja. Tako dobiveni skupovi podataka uneseni su u program OriginPro gdje su formirani primarni profili hrapavosti za svaki smjer (0°, 90°, 45° i 135°). Na temelju obrađenih profila izračunat je parametar *Rq* za svaki smjer, koji je dalje korišten u analizi i interpretaciji rezultata.

3. Rezultati i rasprava

Na polarnim dijagramima uzorka (sl.5) uočava se odstupanje od očekivane simetrije parametra hrapavosti, pri čemu je najuočljivije povećanje vrijednosti



Sl.5 Prikaz koeficijenta profila hrapavosti *Rq* u glavnim i zakrenutim osima simetrije

u smjeru od 45°, što sugerira odstupanje od tipičnog ortotropnog ponašanja materijala. Naime, tkanine se u dvoosnom sustavu promatranja smatraju strukturama s dvije glavne osi simetrije: smjerom osnove, označenim kao 0°, te smjerom potke, označenim kao 90°. U tim se glavnim smjerovima obično nalaze ekstremi ključnih mehaničkih svojstava tkanina, poput vlačnih i rasteznih svojstava. Međutim, kada se analizira hrapavost površine, odnosno kvadratno odstupanje profila hrapavosti (*Rq*), uočava se značajno odstupanje od ovog očekivanog.

Takvo ponašanje upućuje na činjenicu da se površinska hrapavost tkanina ne ponaša kao klasično ortotropno svojstvo, već pokazuje izraženu ovisnost o smjeru mjerenja. Polarni dijagrami omogućuju vizualni prikaz te ovisnosti i jasno ukazuju na asimetričnu raspodjelu hrapavosti u ravnini tkanine.

Svi analizirani uzorci pokazuju najviše vrijednosti *Rq* upravo pri kutu od 45°, dok se minimumi najčešće nalaze u smjeru potke (90°). Ovakav trend nije moguće povezati samo sa simetrijom vezova, jer se dijagonalno usmjereni maksimumi javljaju i kod tkanina sa simetričnim konstrukcijama. Ovi rezultati potvrđuju da konstrukcijska simetrija veza ne podrazumijeva nužno i simetriju površinskih svojstava prikazanih u polarnim dijagramima.

Najlogičnije objašnjenje nalazi se u uvojitosti pređe, koja je uvijek zakrenuta u istome smjeru. Zbog nje, površina tkanine poprima izraženiju mikroreljefnu strukturu u dijagonalnom smjeru, što dovodi do povećanja hrapavosti upravo pod kutom od 45° u odnosu na glavne osi. Time se dodatno potvrđuje da se ukupna hrapavost tkanine ne može u potpunosti interpretirati samo kroz smjer osnove i potke, već zakrenuti smjerovi daju dodatnu dimenziju razumijevanju površinske morfologije.

Kako bi se dobila potpunija slika utjecaja konstrukcije i uvojitosti pređe na polarni raspored hrapavosti, u budućim istraživanjima bilo bi potrebno provesti mjerenja s finijom podjelom kutova. Time bi se omogućila detaljnija interpretacija odstupanja i preciznija identifikacija utjecaja strukture tkanine na njezina površinska svojstva.

4. Zaključak

Iako se tkanine mogu promatrati kao plošne strukture s dvjema glavnim osima simetrije u smjeru osnove i potke, rezultati provedenog istraživanja pokazuju da svojstvo površinske hrapavosti ne slijedi strogo tu ortotropnu logiku. Najviše vrijednosti parametra hrapavosti Rq uočene su u dijagonalnom smjeru od 45°, i to kod svih analiziranih uzoraka, neovisno o vrsti veza i njegovoj konstrukcijskoj simetriji. Time se potvrđuje da konstrukcijska simetrija tkanine ne podrazumijeva nužno i simetričnu raspodjelu površinskih svojstava.

Dobiveni rezultati ukazuju na to da se analiza hrapavosti ograničena isključivo na smjer osnove i potke ne može smatrati potpunom, jer dominantne promjene hrapavosti nisu usmjerene samo u glavne konstrukcijske smjerove, već se manifestiraju različito ovisno o smjeru mjerenja. Polarni dijagrami jasno pokazuju asimetričnu raspodjelu parametra *Rq* u ravnini tkanine, čime se naglašava izražena smjerna ovisnost ovog svojstva.

Posebno se ističe utjecaj uvojitosti pređe, koja je u svim analiziranim uzorcima orijentirana u istome smjeru te time doprinosi izraženijoj mikroreljefnoj strukturi površine u zakrenutim smjerovima. Upravo ta kombinacija konstrukcijskih parametara i geometrije pređe dovodi do povećanja hrapavosti u dijagonalnoj orijentaciji, što pokazuje da se raspodjela hrapavosti ne može jednoznačno povezati isključivo s tipom veza.

Rezultati ovog istraživanja stoga naglašavaju važnost višesmjernog pristupa mjerenju površinske hrapavosti tkanina. Uključivanje dijagonalnih smjerova omogućuje realniju interpretaciju površinskih svojstava te preciznije povezivanje izmjerenih parametara s konstrukcijskim karakteristikama strukture. Takav pristup doprinosi objektivnijem vrednovanju mikrogeometrije površine i boljem razumijevanju ponašanja tkane strukture u ravnini materijala.

Kako bi se dodatno razjasnio doprinos konstrukcije i uvojitosti pređe na polarni raspored hrapavosti, buduća istraživanja trebala bi uključiti mjerenja s finijom podjelom kutova. Time bi se omogućila detaljnija analiza smjerne raspodjele parametara hrapavosti i preciznija interpretacija odnosa između strukture tkanine i njezinih objektivno izmjerenih površinskih karakteristika.

Objava rada proizašla je iz provedbe institucionalnog istraživačkog projekta „Istraživanje i razvoj održivih, funkcionalnih tekstilnih komponenti za kompozite nove generacije“, FUNK-TEX, TTF-IIP-06, koji financira Europska unija – NextGenerationEU.

Funded by the European Union
NextGenerationEU

Istraživanja su provedena u Laboratoriju za napredne materijale i napredne tehnologije te u Laboratoriju za istraživanje i razvoj tkanina i projektiranje kolekcija.

Izjava o korištenju alata UI: Pri izradi rada korišten je alat UI za strukturiranje vlastitog teksta i provjeru pravopisa.

L i t e r a t u r a :

[1] Kalazić, A.; Brnada, S.; Bušac, T.; Pušić, T. Quantitative Analysis of the Impact of Finishing and Washing Processes on the Roughness of Polyester Fabric. *Polymers* **2024**, 16, p. 2199. https://doi.org/10.3390/polym16152199

[2] Beyene, K.A.; Kumelachew, D.M. An investigation of the effects of weave types on surface roughness of woven fabric. *Textile Research Journal* **2022**, 92(13-14), 2276-2284. https://doi.org/10.1177/00405175211010683

[3] HRN EN ISO 4287:2008/A1:2010: Geometrijske specifikacije proizvoda (GSP) - Tekstura površine: Metoda snimanja profila - Nazivlje, definicije i parametri teksture površine - Amandman 1: Broj izbrojenih izbočina (ISO 4287:1997/Amd 1:2009; EN ISO 4287:1998/A1:2009)

[4] Studij dizajna, Osnove strojarskih konstrukcija: Hrapavost tehničkih površina, Dostupan na: https://elemstroj.fsb.hr/pdf/design/2007/hrapavost_tehnickih_povrsina.pdf, Pristupljeno: 10/08/2025.

[5] Digital metrology: „3 Steps to Understanding Surface Texture“, Dostupan na: https://digitalmetrology.com/tutorials/3-steps-to-understanding-surface-texture/, Pristupljeno: 15/08/2025.

[6] Li, C.; Kattawar, G.W.; Yang, P. Effects of surface roughness on light scattering by small particles. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* **2004**, 89(1-4), pp. 123-131. https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2004.05.016