

Promjena električnih karakteristika elektrovodljive niti zbog djelovanja sile

Izv. prof. dr. sc. **Željko Knezić**, dipl. ing.¹

Ivanka Hrgarek, mag. ing. techn. text.²

Prof. dr. sc. **Siniša Fajt**, dipl. ing.³

Prof. dr. sc. **Dubravko Rogale**, dipl. ing.¹

Prof. dr. sc. **Željko Penava**, dipl. ing.¹

Prof. dr. sc. **Snježana Firšt Rogale**, dipl. ing.¹

¹Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

Zagreb, Hrvatska

²Finesa Consora d.o.o.,

Donje Ladanje, Hrvatska

³Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva

Zagreb, Hrvatska

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

Prispjelo 20. 12. 2021.

UDK 677.017.57:537.311

Izvorni znanstveni rad*

U radu je prikazano istraživanje utjecaja djelovanja sile na vrijednosti električnog otpora elektrovodljivih niti te na njihovo produljenje. Mjerenja su provedena na mjernom sustavu razvijenom na Sveučilištu u Zagrebu Tekstilno-tehnološkom fakultetu. Istražene su promjene u električnom otporu elektrovodljive niti izložene vlačnim istezanje. Istraživanje je provedeno na jednonitnoj i končnoj pređi istog sirovinskog sastava, različite konstrukcije, različita broja filamenata i različite finoće. Eksperimentalno su dobivene vrijednosti koje ukazuju da se električni otpor elektrovodljive niti mijenja ovisno o broju filamenata, konstrukciji niti, finoći i veličini sile kojom se napinje nit.

Ključne riječi: promjena napetosti, elektrovodljiva pređa, električna vodljivost, istezanje

1. Uvod

Za ugradnju u pametnu i inteligentnu odjeću razvijaju se vlakna, pređe i tekstilne plošne tvorevine koje kontrolirano mijenjaju svojstva promjenama veličine električnog napona ili struje [1].

U strukturi pređa mogu se formirati mikropore koje mijenjaju oblik i dimenzije s promjenama napona. Pozitivan polaritet napona otvara pore prema van tako da omogućava strujanje zraka i kapljica tekućine, tvoreći kapilarni efekt potpomognut konusnim oblikom pora. Negativan polaritet otvara na sličan način pore prema unutra. Promjenama vrijednosti napona moguće je utjecati na dimenzije pora na način da veće

vrijednosti napona omogućavaju jača širenja pora, odnosno njihov veći promjer. Na opisani način može se regulacijama napona ostvarivati aktivna toplinska zaštita pametne i inteligentne odjeće. Postoje i folije koje imaju mogućnost mijenjanja boje na temelju promjena vrijednosti napona, ugrađene u tekstilne plošne tvorevine. Ti efekti se mogu koristiti kao pokazivači, za signalizaciju, identifikaciju na radnoj odjeći i

*Izlaganje na 14. znanstveno-stručnom savjetovanju „Tekstilna znanost i gospodarstvo”, 26. siječnja 2022., Zagreb, Hrvatska

slično. Kod sustava niti potke i osnove priključuju se na upravljačke uređaje, a kombinacijama napona na sjecištima niti, odnosno u veznim točkama mijenja se njihova boja. Time se dobiva koordinatni sustav veznih točaka, sličan točkastim zaslonima računalnih prikaznih naprava (npr. LCD). Takav sustav može se koristiti kao fleksibilni računalni zaslon za prikaz podataka izravno na tkaninama, odnosno odjeći.

Volumen vlakna ili folija također se može mijenjati u skladu s promjenama vrijednosti napona. Vlakno bez napona ima svoj standardni promjer, a dovođenjem 1-3 V) njegov promjer povećava se do 30 %. Ovo svojstvo može se koristiti za pojačanje toplinske zaštite odjevnog predmeta: u hladnom ambijentu povećao bi se promjer vlakna, a time i ukupna debljina tekstilnih plošnih tvorevina. Povećanjem debljine povećala bi se i toplinska izolacijska svojstva odjeće. Svojstvo promjene volumena može se koristiti i za npr. brtvljenje spojeva rukavica i rukava te nogavica i cipela na radnoj odjeći i obući. Takva zaštitna odjeća oblači se u beznaponskom (opuštenom) stanju, a brtvljenje spojeva postiže se uključivanjem napona. Opisanim promjenama volumena izmjeničnim uključivanjem napona može se ostvariti ventiliranje odjeće za odvođenje topline ili vodene pare pri fiziološki nepovoljnim radnim uvjetima ili aktivnostima [2-4].

U tekstilna vlakna, koja su po prirodi uglavnom izolatori, mogu se na razne načine ugrađivati električni vodiči, a na primjer, u tekstilne plošne tvorevine mogu se ugraditi električni vodljive metalne folije. Primjena elektrovodljivih vlakana i folija može biti u obliku prijemnih i odašiljačkih antena u odjeći. Vodiči unutar tekstilnih vlakana mogu poslužiti i za izvođenje vrlo laganih, tankih i nevidljivih električnih i elektroničkih sabirnica za napajanje svih

ugrađenih uređaja i za prijenos podataka između njih [5].

Električni vodljiva vlakna i folije mogu se koristiti i kao električni grijачi ugrađeni izravno u niti tkanina ili pletiva. Protjecanjem električne struje elektrovodljiva vlakna i folije mogu razvijati toplinu zbog svog otpora, koja se podešavanjem vrijednosti napona može regulirati te tako pomoći održavanju tjelesne temperature u hladnijim uvjetima okoliša [1].

2. Eksperimentalni dio

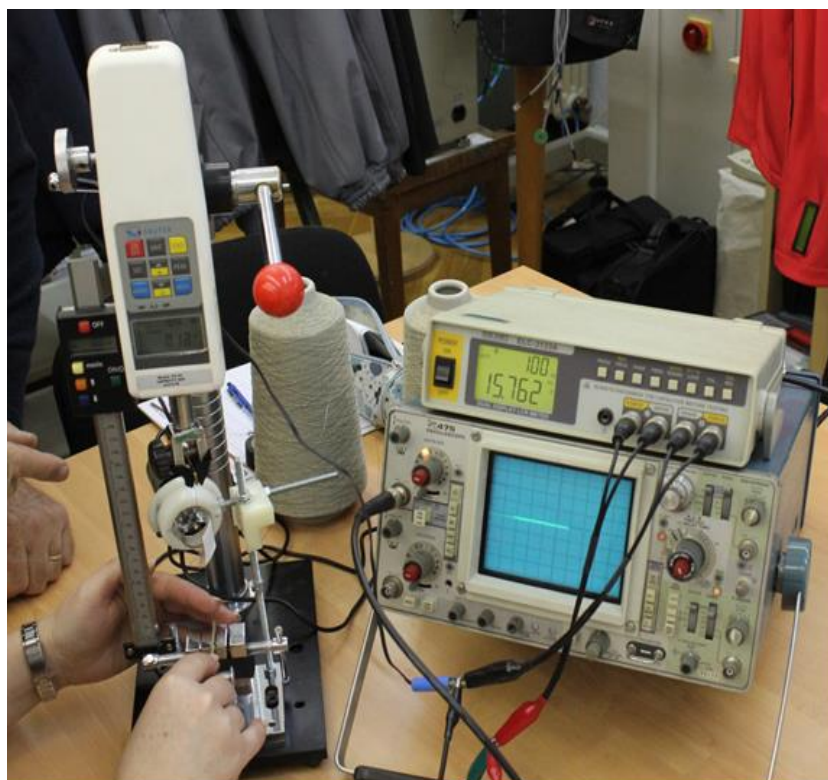
Provedena su mjerenja električnog otpora i produženja niti pri opterećenju određenom silom, a za tu potrebu, u sklopu HRZZ projekta IP-2018-01-6363, konstruiran je inovativan mjerni sustav prikazan na sl.1.

Mjerni sustav se sastoji od mehaničke naprave za ostvarivanje napetosti elektrovodljive niti s digitalnim dinamometrom, digitalnog instrumenta za mjerenje produlje-

nja elektrovodljive niti uslijed djelovanja određene sile, laboratorijskog digitalnog mjernog instrumenta ESCORT ELC-3133A za mjerenje vrijednosti električnog otpora elektrovodljivih niti stegnutih u električki izoliranim stezaljka dinamometra i računala za pohranu i obradu izmjerenih podataka te računalna podrška u radu s kamerom.

2.1. Materijali i metode

Elektrovodljive niti korištene u radu nose oznaku Statex SHIELDDEX® Yarn. Nabavljene su od tvrtke Shieldex Trading Inc. Elektrovodljive niti su poliamidne niti presvučene srebrom koji ima antibakterijska svojstva te su toplinski i električno vodljive. Korištene su tri različite elektrovodljive niti oznaka 117/17Z, 117/17x2 i 235/36x2. Sve tri elektrovodljive niti izrađene su od poliamida (PA 6.6) visoke čvrstoće i presvučene su s srebrom čistoće 99 %.



Sl.1 Mjerni sustav za mjerenje električnog otpora i produženja niti pri opterećenju određenom silom

Nit oznake 117/17Z je jednostruka i ima 17 filamenata, njezina finoća nakon presvlačenja srebrom iznosi 142 dtex. Nit oznake 117/17x2 je dvostruka i ima 2 puta po 17 filamenata, ukupno 34 filamenta, njezina finoća nakon presvlačenja srebrom iznosi 295 dtex. Nit oznake 235/36x2 je dvostruka i ima 2x36 filamenata, njezina finoća nakon presvlačenja srebrom iznosi 604 dtex.

Kako bi se odredila obilježja veznih komponenti u pametnoj i inteligentnoj odjeći izvedena su mjerenja promjene otpora prolasku električne struje i povećanja vrijednosti duljine na tri elektrovodljive niti uslijed napinjanja određenim silama. U tab.1 prikazane su korištene elektrovodljive niti i njihove karakteristike.

Mjerenja se provode na način da se povećava sila napinjanja elektrovodljive niti i pri tome se očitava vrijednost električnog otpora i veličina produljenja uzorka u

određenom trenutku djelovanja te sile. Uzorak elektrovodljive niti uz predopterećenje 0,1 N stavlja se u stezaljke između kojih je udaljenost 150 mm. Pomoću mehaničke naprave za ostvarivanje promjene udaljenosti između stezaljki povećava se napetost elektrovodljive niti. Na digitalnom pokazivaču očitava se veličina produljenja ispitivanog uzorka. Vrijednosti električnog otpora i produljenja niti očitavaju se počevši sa silom od 1 N, u koracima po 1 N, pa sve do prekida niti. Nakon svakog očitavanja ispitivani uzorak se rasterećuje (uzorak se olabavi vraćanjem stezaljki u početni položaj na razmak od 150 mm). Promjene električnog otpora očitavaju se ommetrom koji je spojen na krajeve ispitivanog uzorka elektrovodljive niti. Djelovanja sile i postavljanje u početni položaj provodi se u jednakim vremenskim intervalima.




3. Rezultati i rasprava

Izmjerene su vrijednosti električnog otpora i produljenja pri djelovanju određene sile na elektrovodljive niti. Utjecaj djelovanja određene sile na vrijednosti električnog otpora elektrovodljivih niti prikazan je na sl.2, a na produljenja pri djelovanju određene sile na elektrovodljive niti na sl.3.

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da se djelovanjem sile na elektrovodljive niti mijenja vrijednost električnog otpora. Za istu razliku veličine sile (od 1 do 5 N) uočljiva je veća promjena električnog otpora (oko 100 Ω) konstrukcijski jednostavnijeg uzorka (117/17Z), a najmanja promjena električnog otpora (od 2 do 3 Ω), pri istoj promjeni djelujuće sile (od 1 do 5 N), kod končanog uzorka elektrovodljive niti (235/36x2).

Razvidno je da su končane niti elastičnije, imaju manji električni otpor i manje promjene električ-

Tab.1 Korištene elektrovodljive niti i njihove karakteristike

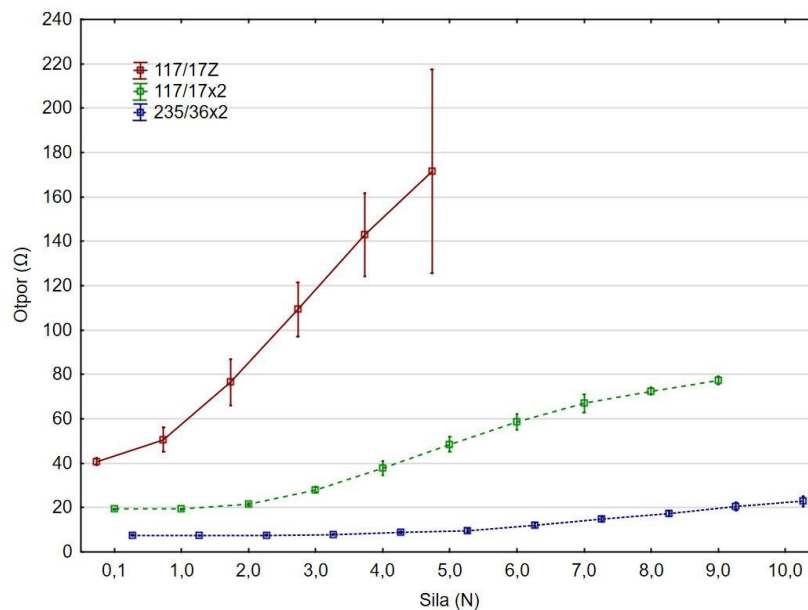
Oznaka uzorka	117/17Z	117/17x2	235/36x2
Izgled uzorka			
Materijal	Poliamid 6.6. - multifilament		
Nanos	Srebro čistoće 99 %		
Čvrstoća	> 55 cN/tex	44 ±5 cN/tex	> 55 cN/tex
Otpor	< 500 Ω /m	< 300 Ω /m	< 80 Ω /m

nog otpora, jer neprekidno postoje paralelni spojevi uslijed dodira površinski vodljivih slojeva (sljubljanja) pojedinih monofilamenata (končanjem ih se više drži na okupu). Ovo se može objasniti činjenicom da se jedna nit ponaša kao niz serijski spojenih otpornika, dok je kod končane niti taj niz udvostručen i ispresijecan paralelnim spojevima [6-8].

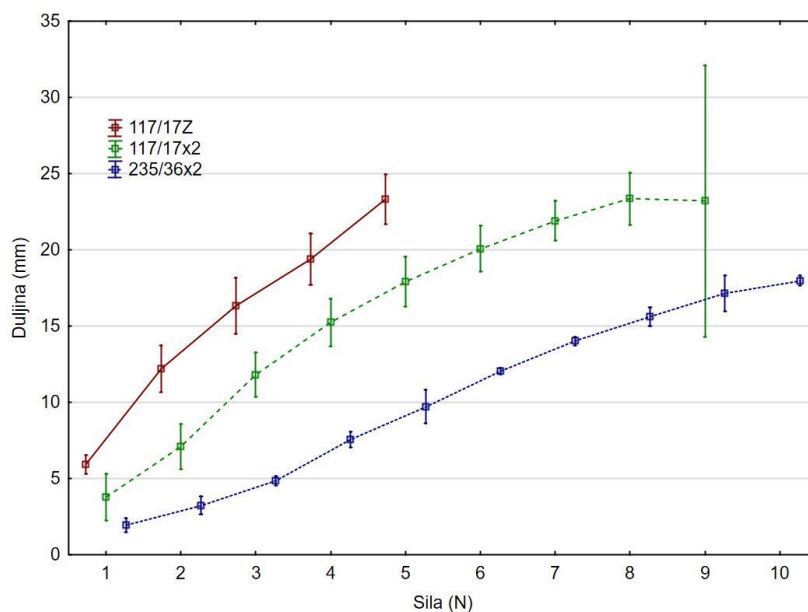
5. Zaključak

Jedan od najvećih problema inteligentne odjeće pa tako i pametnog tekstila je električni otpor niti koji se mijenja pod mehaničkim utjecajima tijekom nošenja i pranja odjeće. Zbog toga je stalno prisutan izazov za pronalaznje rješenja problema koje će taj utjecaj minimizirati.

U radu je prikazan utjecaj djelovanja sile na vrijednosti električnog otpora elektrovođljivih niti te na njihovo produljenje. Utvrđeno je da se elektrovođljive niti mogu koristiti kao ožičenja i sabirnice u pametnoj i inteligentnoj odjeći. Isto tako utvrđeno je da elektrovođljive niti pokazuju specifično ponašanje spram konvencionalnih žičanih vodova, odnosno izoliranih žica i višežilnih kabela. To se ogleda u činjenici da se električni otpor mijenja s istezanjem niti što je čest slučaj u odjevnim predmetima. Spomenuta promjena električnog otpora nije zanemariva već poprima razmjerno veliku vrijednost od početnih par desetaka Ω pa do nekoliko stotina Ω , ovisno o konstrukciji elektrovođljive niti. Spomenutim istraženim obilježjima valjalo bi posvetiti primjerenu pozornost pri konstruiranju i tehničkom oblikovanju pametne i inteligentne odjeće.



Sl.2 Utjecaj djelovanja određene sile na vrijednosti električnog otpora elektrovođljivih niti



Sl.3 Utjecaj djelovanja određene sile na vrijednosti produljenja elektrovođljivih niti

Zahvala



Ovaj rad je djelomično poduprla Hrvatska zaklada za znanost kroz projekt IP-2018-01-6363 "Razvoj i toplinska svojstva inteligentne odjeće (ThermIC)", kao i Sveučilište u Zagrebu kroz istraživačku potporu TP11/21 "Parametri ultrazvučnog spajanja polimernih materijala".

Literatura

- [1] Firšt Rogale S. i sur.: Inteligentna odjeća, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN 978-953-7105-52-5, Zagreb (2014)
- [2] Knezić Ž. et al: The Impact of Elongation on Change in Electrical Resistance of Electrically Conductive Yarns Woven into Fabric,

- Materials 14 (2021) 3390, 1-18
- [3] Rogale D., S. Firšt Rogale: Visokotehnološki izvori električne energije ugrađeni u obuću i odjeću, *Koža i obuća* 66 (2017) 4, 8-14
- [4] Firšt Rogale S., D. Rogale, G. Nikolić: Intelligent clothing: first and second generation clothing with adaptive thermal insulation properties, *Textile research journal* 88 (2018) 19, 2214-2233
- [5] Penava, Ž., M. Milenković, Ž. Knezić: Povezivanje i spajanje elektronike u e-tekstilu, *Zbornik radova 5. međunarodnog znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo*, ISSN 1847-2877, Ujević, D.; Penava, Ž. (ur.), Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb (2012), 301-308
- [6] Penava, Ž., Ž. Knezić, M. Kujundžić: Promjene električne vodljivosti u području elastičnosti elektrovodljive pređe, *Tekstil* 62 (2013) 5-6, 207-214
- [7] Chawla, S., M. Naraghi, A. Davoudi: Effect of twist and porosity on the electrical conductivity of carbon nanofiber yarns, *Nanotechnology* 24 (2013) 25, 1-9
- [8] Penava, Ž., Ž. Knezić, D. Bonefačić: Utjecaj uvojitosti na električnu vodljivost elektrovodljive pređe, *Zbornik radova 11. znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo*, Ercegović Ražić, S.; Glogar, M. I.; Novak, I. (ur.), ISSN 1847-2877, Zagreb, siječanj 2018., Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb (2018), 62-67

SUMMARY

The change of the electrical characteristics of the electrically conductive thread due to the action of force

Ž. Knezić¹, I. Hrgarek², S. Fajt³, D. Rogale¹, Ž. Penava¹, S. Firšt Rogale¹

The paper presents research on the influence of force on the values of the electrical resistance of electrically conductive threads and on their elongation. The measurements were carried out on the measuring system developed at the Faculty of Textile Technology. Changes in the electrical resistance of electrically conductive threads exposed to the tensile load forces were investigated. The research was conducted on monofilament and threadlike yarn of the same raw material composition, different construction, different number of monofilaments and different fineness. Experimentally obtained values indicate that the electrical resistance of an electroconductive thread changes depending on the number of monofilaments, the construction of the thread, the fineness and the magnitude of the force used to tension the thread.

Key words: tension change, electrically conductive yarn, electrical conductivity, elongation

¹University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Zagreb, Croatia

²Finesa Consora d.o.o., Donje Ladanje, Croatia

³University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing, Zagreb, Croatia

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

Received December 20, 2021

Die Veränderung der elektrischen Eigenschaften eines elektrisch leitenden Fadens durch Krafteinwirkung

In dem Beitrag werden Forschungsarbeiten über die Auswirkung von Kraft auf den elektrischen Widerstand und die Dehnung von elektrisch leitfähigen Fäden besprochen. Die Messungen wurden mit einem an der Fakultät für Textiltechnik entwickelten System durchgeführt. Untersucht wurden die Veränderungen des elektrischen Widerstands von elektrisch leitenden Fäden, die Zugbelastungen ausgesetzt sind. Die Untersuchungen wurden an Einfach- und Zwirngarnen gleicher Rohstoffzusammensetzung, unterschiedlicher Konstruktion, unterschiedlicher Anzahl von Monofilamenten und unterschiedlicher Feinheit durchgeführt. Der elektrische Widerstand eines elektrisch leitenden Fadens variiert je nach Anzahl der Monofilamente, der Struktur des Fadens, der Feinheit und der Höhe der Kraft, die zum Spannen des Fadens aufgebracht wird, wie experimentelle Ergebnisse zeigen.