

Promjene električne vodljivosti u području elastičnosti elektrovodljive pređe

Prof.dr.sc. **Željko Penava**, dipl.ing.
Dr.sc. **Željko Knezić**, dipl.ing.
Marija Kujundžić, mag.ing.techn.text.
Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet
Zavod za projektiranje i menadžment tekstila
Zagreb, Hrvatska
e-mail: zeljko.penava@ttf.hr
Prispjelo 31.1.2013.

UDK 677.072:677.017.57
Izvorni znanstveni rad

Tijekom proizvodnje, a posebno upotrebom e-tekstila, dolazi do mehaničkog utjecaja na ugrađene električne i elektroničke komponente, i to u prvome redu na vodiče od vodljive pređe što uzrokuje promjene njihovih električnih karakteristika. Istražene su promjene u električnoj vodljivosti vodljive pređe izložene silama opterećenja na istezanje. Mjerenja električne vodljivosti provedena su na duljini od jednog metra s odabranim silama istezanja koje se ciljano nalaze u području elastičnosti obiju ispitivanih pređa. Korišten je eksperimentalni uređaj kojim se pređa optereti određenom silom, nakon čega se mjeri struja kod konstantnog napona, a iz očitanih vrijednosti izračunava se električni otpor odnosno električna vodljivost. Istraživanje je provedeno na jednonitnoj i končanoj pređi jednakih karakteristika te je provedena usporedbena analiza utjecaja mehaničkog opterećenja pređe na električnu vodljivost.

Ključne riječi: električna vodljivost, elektrovodljiva pređa, istezanje, jednonitna pređa, končana pređa, sila opterećenja

1. Uvod

Kod elektroničkog tekstila (e-tekstil) naglasak se stavlja na besprijekornu integraciju između tkanine i električnih, te elektroničkih elemenata kao što su kabeli, mikroupravljački sklopovi, senzori itd. Unatoč obećavajućem napretku u ovom izazovnom novom području istraživanja, još uvijek postoji velik broj prepreka. Jedna od njih je i nedostatak jednostavne primjene u svakodnevicu jer je potrebno paziti da elektronika u odjeći ne naruši tekstilnu funkcionalnost i nosivost odjevnog predmeta.

Teška prilagodljivost specifičnim mehaničkim svojstvima tekstila, te nemogućnost pranja većine takvih tekstilija, smatra se najvećim problemima elektronike u tekstilu. Uz to, nošenjem i upotrebom takvog e-tekstila dolazi do mehaničkog djelovanja na elektroničke komponente, u prvome redu na ugrađene vodiče, čije se električne karakteristike zbog toga mijenjaju. Budući da je vlakno osnovni element svih tekstilnih struktura kao što su pređe, tkanine ili odjeća, glavni izazov u razvoju novih visokovodljivih vlakana je postizanje prihvatljivog kompromisa između

njegovih mehaničkih i električnih svojstava [1-4]. Mnoga sintetička vlakna koja se koriste za tekstilne tkanine su izolacijski materijali s električnim otporom većim od 1000 MΩ. To je puno više od željenog otpora za elektromagnetske zaštitne aplikacije i za elektrostatičke svrhe, a posve neprihvatljivo za vodiče. Električni otpor kod vodiča mora biti dovoljno nizak kako bi omogućio protok električne energije, odnosno prijenos podataka [5-7]. Postupak ugradnje elektronike u tekstil te način njenog povezivanja mora strogo slijediti karakteristike tekstilnih kompo-

nenata kao što su savitljivost, istezljivost, prilagodba obliku, perivost, nosivost i sl. Stoga je ovaj rad i usmjeren na istraživanje utjecaja mehaničkog djelovanja na elektrovodljivu pređu odnosno njene električne karakteristike radi utvrđivanja ponašanja električne vodljivosti unutar područja elastičnosti vodljive pređe.

2. Teoretski dio

Elektrovodljivi tekstil ima važnu ulogu u medicinskim i vojnim poljima, ali i na području mode, arhitekture i dizajna. Koristi se kao nadzorna odjeća, odjeća koja proizvodi energiju, kao uređaj za pohranu memorije, za grijanje i sl. Sastoji se najvećim dijelom od elektrovodljivih vlakana i pređe, kako bi se bez značajnijeg gubitka tekstilnih karakteristika tekstilu pridružile i zahtijevane električne karakteristike.

2.1. Elektrovodljiva vlakna i pređe

Općenito govoreći, tekstilni materijali izrađeni od organskih polimera savršeni su izolatori. Zbog slabe električne vodljivosti električni naboj se akumulira na površini organskih polimera. Stoga je na tekstilnim materijalima potrebno omogućiti prijenos električnog naboja sa svrhom njihovog pretvaranja u električne vodiče. Elektrovodljive pređe kategoriziraju se kao višefunkcionalne pređe koje imaju svojstva pređa od tekstilnih vlakana (filamena) te svojstva električne vodljivosti. Višefunkcionalne pređe se proizvode na dva načina: oblikovanjem elektrovodljivog plašta ili jezgre kao i običnim upredanjem niti. Kod oblikovanja plašta i jezgre pređa se u konačnici sastoji od vlakana termoplastičnog polimera u jezgrenom dijelu i metalnih vlakana u plaštu. Kod oblikovanja upredanjem, metalna vlakna i tekstilna vlakna se upredaju zajedno te dobivena nit bude elektrovodljiva zaslugom upredene metalne niti [8]. U međuvremenu je proizvodni postupak oblikovanja pređe u obliku elek-

trovodljivog plašta ili jezgre napredovao, pa se proizvode postupkom naslojavanja metala na površinu vlakana koja nisu vodiči. Njihova elektrovodljivost se određuje količinom metalnog pokrova. Ovim postupkom se postiže vrhunska elektrovodljivost za višefunkcionalne pređe.

Kod takve, metalom naslojene pređe, vrlo fina metalizirana vlakna zamjenjuju jednu komponentu ili čak sve komponente pređe. Metalizirane pređe proizvode se u obliku filamena i kratkih vlasastih vlakana, te se prerađuju i obrađuju kao konvencionalna pređa. Od metala najbolju električnu vodljivost pokazuje srebro zbog odličnog svojstva električne vodljivosti i relativno niskog zajedničkog otpora u kombinaciji s običnim tekstilnim vlaknima [9-10]. Međutim, vanjski podražaji kao što su sile istezanja, trenje, toplina, vlaga i održavanje uzrokuju odvajanje srebrnih čestica od površine pa se njihova elektrovodljivost smanjuje. Zbog toga je ta pojava postala predmetom istraživačkog interesa [11]. Nažalost, razvoj novog, zamjenjivog i elektrovodljivog materijala je ne samo vrlo zahtjevan nego su takvi materijali u pravilu relativno skupi. Zato se elektrovodljive pređe koje koriste srebro uglavnom koriste u pametnoj odjeći (smart wear clothing) [12]. Iz svih navedenih razloga, mnogo je studija usmjereno na mjerenje električnih karakteristika elektrovodljivih pređa [13,14]. S druge strane, istraživanja koja istražuju uzroke promjena u električnoj vodljivosti odnosno otpornosti elektrovodljivih pređa zbog mehaničkih utjecaja, koji su jedan od osnovnih utjecajnih faktora, nisu naširoko provedena.

2.2. Električna vodljivost elektrovodljive pređe

Kod istraživanja električnih karakteristika e-tekstila, odnosno njegovih komponenata, nužno je određivanje osnovnih električnih parametara od kojih je, za ovo istraživanje, najvažnija električna vodljivost za zahtijevani radni napon (5 V) i kod određene

jakosti električne struje. Otpor (električni otpor) elektrovodljive pređe ovisi o duljini te pređe, temperaturi i njenoj napetosti.

Električna vodljivost (G) fizikalna je veličina definirana kao omjer jakosti električne struje i napona ukoliko su oni nepromjenljivi s vremenom (istosmjerna električna struja i napon), a obrnuto je proporcionalna električnom otporu. Ako se temperatura i vanjske prilike ne mijenjaju, otpor vodiča se definira kao konstantna veličina prema izrazu (1).

$$R = \frac{U}{I} = konst. \quad (1)$$

Električna vodljivost je obrnuto proporcionalna otporu i definira se izrazom (2):

$$G = \frac{I}{U} = \frac{1}{R} \quad (2)$$

pri čemu su: I - jakost električne struje (A), U - električni napon (V), R - električni otpor (Ω), G - električna vodljivost (S).

Vrijednost otpora može se dobiti mjerenjem napona na krajevima vodiča i jakosti struje kroz vodič. Svaki vodič predstavlja određeni otpor R i kada kroz njega teče struja I na njegovim krajevima (stezaljkama) pojavljuje se napon U koji predstavlja iznos pada napona na tom vodiču (otporu). Pad napona jednak je umnošku struje i iznosa otpora (Ohmov zakon) prema izrazu (3):

$$U_R = I \cdot R \quad (3)$$

U elektrotehnici postoje dva temeljna spoja otpora, serijski i paralelni. Kod serijskog spoja otpora, struja je u svakom mjestu strujnog kruga jednake jakosti, a ukupni pad napona na otporima jednak je naponu izvora odnosno umnošku jakosti struje i pojedinog otpora (4), odnosno ekvivalentnog (nadomjesnog) otpora za serijski spoj otpora (5):

$$U = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 \quad (4)$$

$$R = R_1 + R_2 \quad (5)$$

Kod paralelnog spoja otpora napon na otporima je jednak naponu izvora, dok

je struja kroz otpore jednaka izrazu (6). Izrazom (7) prikazan je ekvivalentni (nadomjesni) spoj otpora:

$$I_{R1} = \frac{U_{R1}}{R_1}; I_{R2} = \frac{U_{R2}}{R_2} \quad (6)$$

Ekvivalentni (nadomjesni) otpor paralelnog spoja otpora:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (7)$$

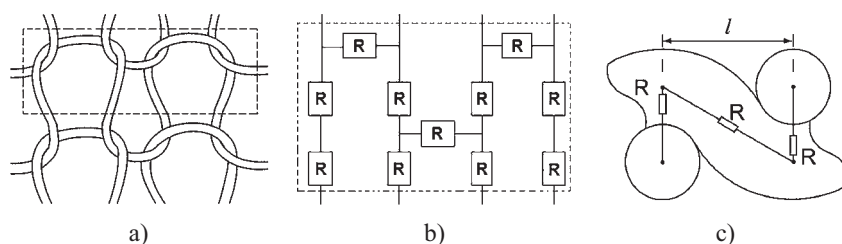
Elektrovodljivu pređu može se promatrati kao mnogo serijski spojenih elektroničkih elemenata - otpornika, a kada su niti priljubljene, zbog nepostojanja površinske izolacije dolazi do paralelnog spajanja tih otpornika čime se automatski smanjuje ukupni otpor takvog vodiča [15].

Na sl.1 prikazan je primjer kako se pletivo izrađeno od elektrovodljive pređe na sl.1a, električki može i mora gledati kao mreža serijski i paralelno spojenih otpornika prikazanih shematski na sl.1b, dok sl.1c pojašnjava kako nastaje smanjenje elektrovodljivosti na mjestu spajanja dviju elektrovodljivih pređa (vezna točka) povećanjem otpora spojnog mjesta [16]. Ista pravila vrijede i za tkanine i vezne točke koje čine spojna mjesta u elektrovodljivim tkaninama.

Iz prikazanog primjera jasno je da zakonitosti paralelnog i serijskog spoja električnog otpora imaju izuzetno važnu ulogu u određivanju ukupnog električnog otpora u elektrovodljivim pređama.

3. Eksperimentalni dio

Tekstilne materijale koji se koriste u e-tekstilu mora karakterizirati mali električni otpor odnosno dobra električna vodljivost te nizak stupanj



Sl.1 Otpornički ekvivalent pletivu od elektrovodljive pređe.

a) pletivo od vodljive pređe; b) otpornički ekvivalent označenog dijela pletiva; c) otpori u veznoj točki

promjene spomenute elektrovodljivosti zbog mehaničkog utjecaja na tekstilni materijal. S te točke gledišta najvažniji parametar je elektrovodljivost tekstilne površine. U praksi postoje mnoge metode određivanja površinske električne vodljivosti. Kod plošnih proizvoda najboljom se pokazala metoda mjerenja na četiri točke u kvadratnom rasporedu. Kod tekstilnih niti otpor odnosno elektrovodljivost se mjere na dvije točke, uzduž niti. Naravno, pri identifikaciji električnih karakteristika kod tekstilnih materijala potrebno je voditi računa o utjecaju raznih vanjskih veličina na rezultate mjerenja. Stoga je cilj ovog eksperimenta ponajprije istražiti uzroke i posljedice promjena električne vodljivosti elektrovodljive pređe izložene mehaničkim opterećenjima, konkretno sili na istezanje.

3.1. Karakteristike i priprema uzoraka

Uzorci elektrovodljivih pređa koje su istraživane, pripremljeni su u prostoru ispitivanja na temperaturi od 22 °C i vlažnosti od 40 % tijekom 48 sati, a sami uzorci su bili u namocima oblika stošca. Karakteristike uzorka navedene su u tab.1.

Kao dio pripreme mjernog postupka na pripremljenim je pređama provedeno ispitivanje sljedećih parametara: finoće, debljine, uvojitosti, kao i njena prekidna sila i prekidno istezanje. Finoća pređe određivana je pomoću metode vitice ili povijesma, prema HRN ISO 2060:1994. Debljina pređe određena je uz pomoć mikroskopa. Uvojitost pređe određivana je korištenjem naponske metode na torziometru Twist tester tvrtke Mesdan Lab, prema HRN ISO 17202:2003. Vlačna svojstva svih uzoraka ispitivana su na dinamometru Statimat M njemačkog proizvođača Textechno, prema HRN ISO 2062:2009. Sva pripremna mjerenja su provedena na pet uzoraka i izračunate srednje vrijednosti su prikazane u tab.1. Ispitivanje prekidne sile i prekidnog istezanja je za ovo istraživanje provedeno u svrhu pravilnog određivanja sile opterećenja tijekom ispitivanja promjena električne vodljivosti uzoraka, što je nužno kako bi se ispitivanje zadržalo unutar granica elastičnosti pređe.

3.2. Mjerenje jakosti električne struje kroz pređu

Ispitivanje električne vodljivosti pređe u ovisnosti o sili opterećenja pro-

Tab.1 Karakteristike elektrovodljivih pređa

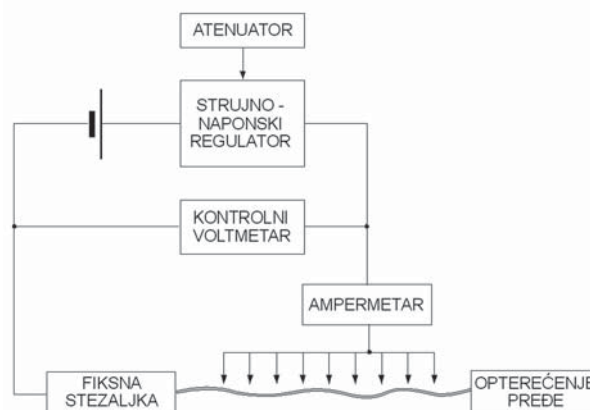
Vrsta pređe	Deklarirani sirovinski sastav	Finoća (tex)	Debljina pređe (mm)	Uvojitost (br. u/m)	Broj filamenata	Prekidna sila (cN)	Prekidno istezanje (%)	Deklarirana el. otpornost (Ω /m)
Jednonitna pređa	PA 6.6 posrebren	14	0,157	487	34	641,71	15,73	7k87-9k84
Končana pređa	PA 6.6 posrebren	14 x 2	0,241	295	34 x 2	1411,57	17,71	3k94-5k91

vedeno je na eksperimentalnom uređaju u Zavodu za projektiranje i menadžment tekstila na Tekstilno-tehnološkom fakultetu u Zagrebu. Uređaj je izrađen kao samostojeći, s ugrađenim stezaljkama i priključnicama za vanjsko napajanje, te priključkom za digitalni instrument kojim se očitavaju izmjerene vrijednosti jakosti struje. Na uređaju je ugrađen stabilizirani naponski regulator i kontrolni instrument za namještanje željenog konstantnog napona. Uređaj je shematski prikazan na sl.2.

Mjerenja električne vodljivosti ispitivanih pređa provedena su na duljini od jednog metra uz postavljanje sile opterećenja od 15, 50, 100 i 200 cN. Po svom iznosu navedene sile se nalaze u području elastičnosti obiju ispitivanih pređa i na taj način simuliraju opterećenja koja se kod pređe javljaju tijekom proizvodnih procesa i tijekom upotrebe u sklopu tkanine ili pletiva.

Uređajem se mjeri jakost struje kod konstantnog napona. Prvo se postavi osnovna duljina pređe i optereći silom od 15 cN čime se ujedno osigurava jednaka napetost niti na cijeloj mjerenoj duljini. Tijekom mjerenja se na svakih 10 cm duljine pređe postavlja potiskivač od izolacijskog materijala, čime se ostvaruje siguran galvanski kontakt ispitivane pređe s ugrađenim vodičem spojenim na stezaljku digitalnog instrumenta.

Stezaljka se drži u stalnom kontaktu, dok se istovremeno provjeri namješ-



Sl.2 Shematski prikaz uređaja za ispitivanje električne vodljivosti pređe

tena vrijednost napona (ista za sva mjerenja), te očita vrijednost jakosti struje na digitalnom instrumentu. Za mjerenje je upotrijebljen digitalni instrument UT20B. Mjerenje se na istom uzorku nakon toga ponavlja uz postavljanje veće sile opterećenja pređe.

4. Rezultati i rasprava

Korištenjem različitih metoda ispitivanja pređe te primjenom matematičkih i statističkih metoda provedena je obrada rezultata i njihova usporedba. Rezultati su prikazani tablično i grafički.

4.1. Ispitivanje električne vodljivosti jednonitne pređe

U tab.2 prikazane su vrijednosti jakosti struje očitane na digitalnom instrumentu pri konstantnom naponu od 5

V, uz izračun otpora kao omjera napona i jakosti struje te električne vodljivosti koja je obrnuto proporcionalna otporu na određenoj duljini jednonitne pređe, a prema izrazima (1) i (2).

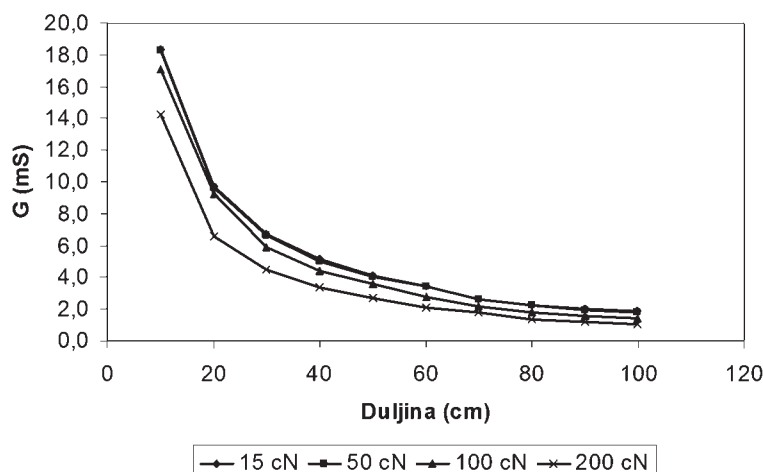
Iz izmjerenih i izračunatih rezultata prikazanih u tab.2 vidljivo je kako se povećanjem duljine pređe povećava i njen električni otpor, a smanjuju jakost struje i električna vodljivost.

Takvo ponašanje je prisutno kod svih postavljenih sila opterećenja (15 cN, 50 cN, 100 cN i 200 cN). Rezultati su prikazani i grafički na sl.3 i 4.

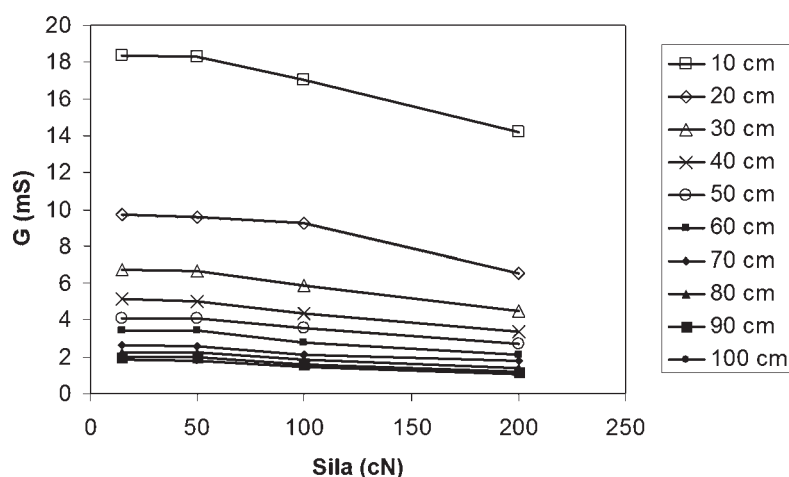
Dijagrami ovisnosti električne vodljivosti o duljini jednonitne pređe prikazane na sl.3 pokazuju smanjenje električne vodljivosti s porastom duljine pređe. Kako je sa sl.3 vidljivo, ovo smanjenje je eksponencijalno ka-

Tab.2 Izmjereni rezultati jakosti struje (I) te izračun električnog otpora (R) i električne vodljivosti (G) za jednonitnu pređu

Sila (cN)	15			50			100			200		
	I (mA)	R (Ω)	G (mS)	I (mA)	R (Ω)	G (mS)	I (mA)	R (Ω)	G (mS)	I (mA)	R (Ω)	G (mS)
Dužina (cm)												
10	91,7	54,5	18,3	91,4	54,7	18,3	85,3	58,6	17,1	71,1	70,3	14,2
20	48,6	102,9	9,7	48,0	104,2	9,6	46,1	108,5	9,2	32,8	152,4	6,6
30	33,6	148,8	6,7	33,3	150,2	6,7	29,3	170,6	5,9	22,4	223,2	4,5
40	25,6	195,3	5,1	25,0	200,0	5,0	21,9	228,3	4,4	16,7	299,4	3,3
50	20,6	242,7	4,1	20,3	246,3	4,1	17,9	279,3	3,6	13,6	367,6	2,7
60	17,1	292,4	3,4	17,0	294,1	3,4	13,8	362,3	2,8	10,6	471,7	2,1
70	13,1	381,7	2,6	13,0	384,6	2,6	10,7	467,3	2,1	8,9	561,8	1,8
80	11,2	446,4	2,2	11,1	450,5	2,2	9,1	549,5	1,8	6,9	724,6	1,4
90	10,0	500,0	2,0	9,8	510,2	2,0	8,0	625,0	1,6	5,8	862,1	1,2
100	9,2	543,5	1,8	8,9	561,8	1,8	7,2	694,4	1,4	5,2	961,5	1,0



Sl.3 Dijagrami ovisnosti svojstava električne vodljivosti (G) o duljini za jednonitnu pređu



Sl.4 Dijagrami ovisnosti svojstava električne vodljivosti (G) o sili opterećenja jednonitne pređe

raktera i primjetno kod svih primijenjenih sila opterećenja pređe. Kod svih postavljenih sila opterećenja uočava se nagli pad vodljivosti na

kraćim duljinama (do 60 cm), dok na većoj duljini vodljivost gotovo linearno blago opada.

Krivulje na sl.4 prikazuju odnos električne vodljivosti i sile opterećenja za svaku mjerenu duljinu na pređi. Kod ovih odnosa zamjetno je da s povećanjem sile opterećenja i duljine mjenog uzorka električna vodljivost značajnije opada s porastom duljine nego s povećanjem sile opterećenja. Na krivuljama je također vidljivo kako s povećanjem sile opterećenja iznad 50 cN dolazi do primjetnog pada električne vodljivosti pređe, dok se s porastom duljine mjenog uzorka iznad 60 cm, električna vodljivost samo blago smanjuje.

4.2. Ispitivanje električne vodljivosti končane pređe

U tab.3 prikazane su vrijednosti jakosti struje očitane na digitalnom instrumentu pri konstantnom naponu od 5 V te rezultati izračuna električnog otpora i električne vodljivosti na određenoj duljini končane elektrovodljive pređe.

Iz izmjerenih i izračunatih rezultata u tab.3 vidljivo je da s povećanjem duljine končane pređe jakost struje opada, a električna vodljivost se smanjuje. S obzirom na postavljene sile opterećenja (15 cN, 50 cN, 100 cN, 200 cN) također je zamjetan pad vrijednosti kod mjerenja jakosti struje i električne vodljivosti, što je pojava ekvivalentna rezultatima dobivenim kod jednonitne pređe. Vrijednosti električne vodljivosti s obzirom na duljinu, kao i u odnosu na postavljene

Tab.3 Izmjereni rezultati jakosti struje (I) te izračun električnog otpora (R) i električne vodljivosti (G) za končanu pređu

Sila (cN)	15			50			100			200		
	Dužina (cm)	I (mA)	R (Ω)	G (mS)	I (mA)	R (Ω)	G (mS)	I (mA)	R (Ω)	G (mS)	I (mA)	R (Ω)
10	171,0	29,2	34,2	170,0	29,4	34,0	168,0	29,8	33,6	166,0	30,1	33,2
20	97,5	51,3	19,5	97,3	51,4	19,5	96,8	51,7	19,4	92,3	54,2	18,5
30	68,5	73,0	13,7	68,0	73,5	13,6	67,5	74,1	13,5	62,0	80,6	12,4
40	53,1	94,2	10,6	51,6	96,9	10,3	50,1	99,8	10,0	46,3	108,0	9,3
50	44,0	113,6	8,8	43,0	116,3	8,6	41,5	120,5	8,3	37,1	134,8	7,4
60	36,1	138,5	7,2	35,3	141,6	7,1	34,5	144,9	6,9	31,2	160,3	6,2
70	31,0	161,3	6,2	30,5	163,9	6,1	29,1	171,8	5,8	26,5	188,7	5,3
80	27,5	181,8	5,5	26,9	185,9	5,4	25,8	193,8	5,2	23,4	213,7	4,7
90	24,5	204,1	4,9	24,1	207,5	4,8	23,2	215,5	4,6	20,3	246,3	4,1
100	22,0	227,3	4,4	21,2	235,8	4,2	20,5	243,9	4,1	18,2	274,7	3,6

sile opterećenja končane pređe prikazani su na sl.5 i 6.

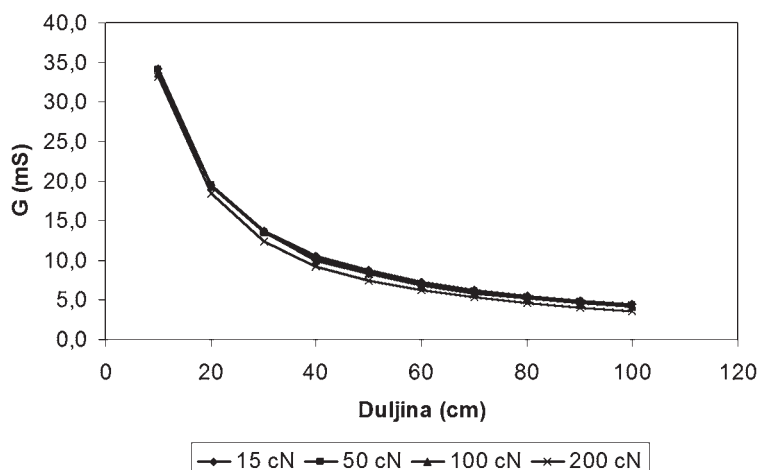
Na sl.5 prikazane su vrijednosti električne vodljivosti u odnosu na duljinu končane pređe za svaku od postavljениh sila opterećenja. Krivulje pokazuju smanjenje električne vodljivosti s porastom duljine pređe kod svih sila opterećenja. Vidljivo je da, za razliku od jednonitne pređe, kod končane pređe znatno manji utjecaj na smanjenje električne vodljivosti imaju povećanja sile opterećenja.

Dijagramima na sl.6 prikazan je odnos električne vodljivosti i sile opterećenja za svaku mjerenu duljinu na končanoj pređi. Prikazane krivulje upućuju na zaključak kako električna vodljivost samo blago opada s povećanjem sile opterećenja, a smanjenje električne vodljivosti je značajnije s povećanjem duljine mjenog uzorka pređe.

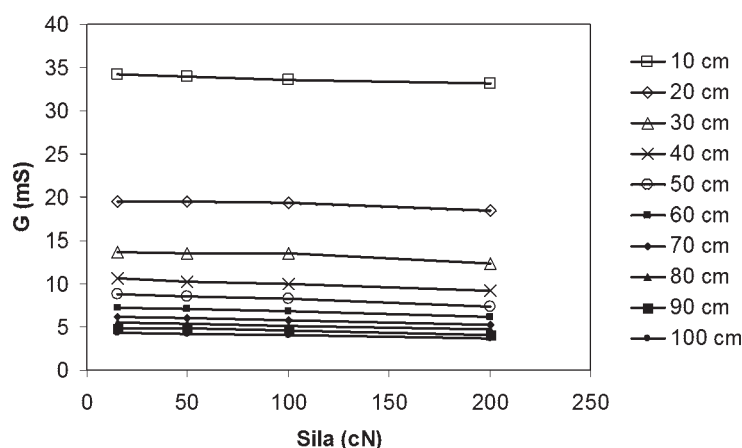
4.3. Rasprava usporednih rezultata električne vodljivosti jednonitne i končane pređe

Usporedbom tabličnih podataka jednonitne i končane elektrovodljive pređe vidljivo je da končana pređa ima gotovo dvostruko veću električnu vodljivost odnosno dvostruko manji električni otpor. Ta pojava potaknula je na provedbu korelacijske analize povezanosti vrijednosti električne vodljivosti kod jednonitne s istim vrijednostima kod končane pređe, i to za svaku od primijenjenih sila opterećenja.

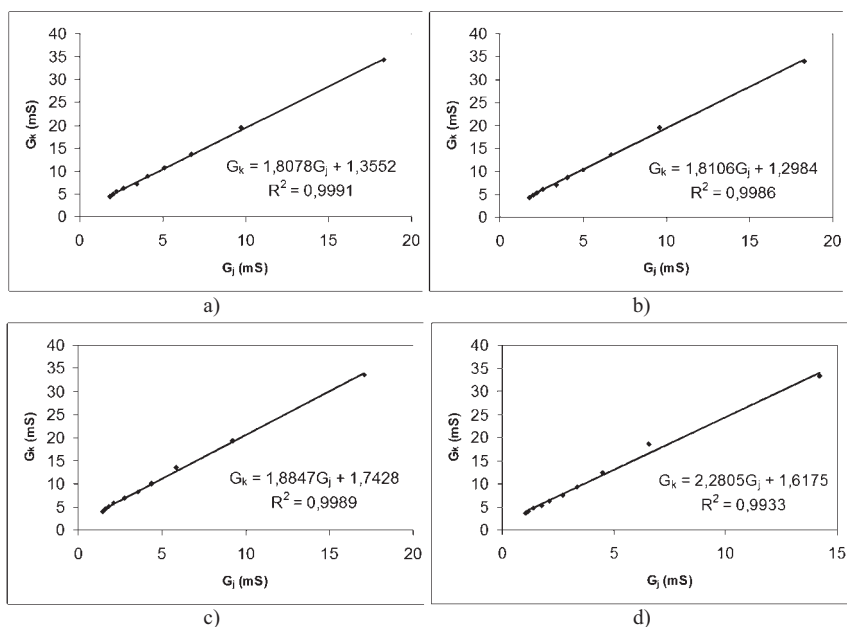
Na sl.7 dijagramima su prikazane korelacijske analize odnosa električne vodljivosti kod jednonitne pređe s električnom vodljivošću kod končane pređe, i to za četiri različite sile opterećenja. Prema položaju točaka na dijagramu i korelacijskih koeficijenata vidljiv je visok stupanj linearnosti ovog odnosa, i to kod svih primijenjenih opterećenja. Uvidom u dijagrame, kao i temeljem korelacijskih koeficijenata može se primijetiti smanjenje navedene ovisnosti razmjerno porastu sile opterećenja na pređu. To se može objasniti činjenicom da se jed-



Sl.5 Dijagrami ovisnosti svojstava električne vodljivosti (G) o duljini končane pređe



Sl.6 Dijagrami ovisnosti svojstava električne vodljivosti (G) o sili opterećenja končane pređe



Sl.7 Dijagrami ovisnosti električne vodljivosti jednonitne pređe (G_j) i končane pređe (G_k) kod različitih sila opterećenja: a) 15 cN; b) 50 cN; c) 100 cN; d) 200 cN

nonitna pređa ponaša kao niz serijski spojenih otpornika, dok je kod končane taj niz udvostručen i ispresijecan paralelnim spojevima. Jedan od uzroka je svakako i karakteristična veća otpornost končane pređe na djelovanju vlačnih sila.

5. Zaključak

Jedan od najvećih problema e-tekstila kao i inteligentne ili pametne odjeće je električna vodljivost niti koja se mijenja pod mehaničkim utjecajima tijekom nošenja i pranja odjeće. Iz tog razloga stalno je prisutan izazovni problem pronalaska rješenja koje će taj utjecaj minimizirati. Provedenim istraživanjima i analizom rezultata mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Ispitivana elektrovodljiva pređa pokazala je svojstva dobre fleksibilnosti, čvrstoće, ali ipak promjenjivu električnu vodljivost kod mehaničkog opterećenja.
- S obzirom na duljinu pređe elektrovodljiva končana pređa ima veću elektrovodljivost odnosno manji električni otpor od jednonitne vodljive pređe.
- Zajedničku karakteristiku končane i jednonitne pređe predstavlja naglo smanjenje električne vodljivosti s duljinom, a to smanjenje je posebno izraženo na manjim duljinama (do 60 cm).
- I kod končane i kod jednonitne pređe električna vodljivost se eksponencijalno smanjuje, kako u ovisnosti o duljini tako i u ovisnosti o sili opterećenja.
- Sporastom sile opterećenja smanjuje se ovisnost električne vodljivosti kod jednonitne u odnosu na končanu pređu, jer ukončavanjem nastaju serijsko-paralelni spojevi nizova „otpornika“ čime se značajno povećava ukupna elektrovodljivost končane pređe.

- Kako se kod ovakvih pređa radi o relativno velikim otporima za elektrovodljivi element, jedno od prihvatljivih rješenja za smanjivanje promjena u električnoj vodljivosti, te njenim povećavanjem na većim duljinama predstavlja ukončavanje dviju ili više elektrovodljivih niti zajedno.

Valja očekivati da će se eksperimentalna mjerna oprema primijenjena u ovim istraživanjima, metode mjerenja te prikazani izmjereni i izračunati rezultati moći koristiti kao osnovna informacija u daljnim istraživanjima poboljšanja kapaciteta elektrovodljivih pređa za prijenos signala i napajanja, kao i kod namjene i poboljšanja značajki pametnog tekstila.

Literatura:

- [1] Rogale D., Z. Dragčević: Inteligentna odjeća - izazov za odjevnu tehnologiju 21. stoljeća, *Tekstil* 50 (2001.) 3, 107-121
- [2] Rogale D. i sur.: Nove tehnologije u proizvodnji inteligentne odjeće, *Tekstil* 52 (2003.) 8, 380-390
- [3] Çeken F. et al.: The electromagnetic shielding properties of copper and stainless steel knitted fabrics/ Svojstva zaštite od elektromagnetskog zračenja pletiva od bakrenih i nehrđajućih čeličnih žica, *Tekstil* 60 (2011.) 7, 321-328/329-337
- [4] Herzberg C. i sur.: Nova zaštitna odjeća za rad pod visokim naponom, *Tekstil* 52 (2003.) 8, 391-394
- [5] Penava Ž. et al.: Povezivanje i spajanje elektronike u e-tekstilu, 5. međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje tekstilna znanost i gospodarstvo, Zagreb, (2012) 301-306
- [6] Priniotakis G. et al.: Electrochemical Impedance Spectroscopy for Quality Control Testing of Textile Electrodes/Elektrokemijska impedancijska spektroskopija za ispitivanje kvalitete

tekstilnih elektroda, *Tekstil* 53 (2004.) 11, 543-547

- [7] Vorbach D. i sur.: Električki vodljiva liocelna vlakna za uske tkanine, *Tekstil* 52 (2003.) 9, 474-477
- [8] Amberg M. et al.: Electro-mechanical Behavior of Nanoscale Silver Coatings on PET Fibers, *Plasma Processes and Polymer* 5 (2008.) 9, 874-880
- [9] Tao X.: Smart fibres, fabrics and clothing, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK, 2001, ISBN 1-85573-546-6
- [10] McCann J., D. Bryson: Smart clothes and wearable technology, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK, 2009, ISBN 978-1-84569-357-2
- [11] Gibbs P., H.H. Asada: Wearable Conductive Fiber Sensors for Measuring Joint Movements, *Proceedings ICRA'04. International Conference on Robotics & Automation, IEEE* 5 (2004), 4753-4758
- [12] Cho J.W., J.S. Choi: Relationship between Electrical Resistance and Strain of Carbon Fibers upon Loading, *Journal of Applied Polymer Science* 77 (2000) 9, 2082-2087
- [13] Tao X.: Wearable electronics and photonics, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK, 2005, ISBN 1-85573-605-5
- [14] Vassiliadis S.: Electronics and Computing in Textiles, Ventus Publishing ApS, Denmark, 2012, ISBN: 978-87-403-082-0
- [15] Liwen L. et al.: Research and Application of the Property of Conductive Knitted Fabrics, *Modern Applied Science* 3 (2009) 11, 84-88
- [16] Banaszczyk J. et al.: Infrared thermography of electroconductive woven textiles, *Quantitative InfraRed Thermography Journal* 6 (2009) 2, 163-173

SUMMARY**Changes of electrical conductivity in the elasticity of electrically conductive yarns***Ž. Penava, Ž. Knezić, M. Kujundžić*

During production, especially by the use of e-textiles, comes to mechanical effect on the built-in electrical and electronic components, primarily on the conductors of conductive yarn causing changes of their electrical properties. The changes in the electrical conductivity of conductive yarns subjected to stretching forces load are investigated. Electrical conductivity measurements were carried out on the length of one meter with selected stretching forces which are aimed in area of the elasticity of the both tested yarns. Yarn is loaded with a certain force of experimental device, after which the current is measured at a constant voltage. Electrical resistance or electrical conductivity are calculated from read off values. The study was carried out on the single yarn and threadlike yarn of the same characteristics. Comparative analysis of the effect of mechanical load on the electrical conductivity of the yarn was conducted.

Key words: electrical conductivity, conductive yarn, stretching, single yarn, threadlike yarn, loading force

*University of Zagreb, Faculty of Textile Technology
Department of Textile Design and Management
Zagreb, Croatia
e-mail: zeljko.penava@ttf.hr*

Received January 31, 2013

Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit in der Elastizität von elektrisch leitfähigen Garnen

Während der Produktion, insbesondere durch die Verwendung von e-Textilien, kommt es zur mechanischen Einwirkung auf die eingebauten elektrischen und elektronischen Komponenten, vor allem auf die Leiter aus leitfähigen Garnen, was Veränderungen in ihren elektrischen Eigenschaften verursacht. Die Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit des leitfähigen Garnes, das der Dehnungskraft ausgesetzt wird, wurden untersucht. Elektrische Leitfähigkeitsmessungen wurden auf der Länge von einem Meter mit gewählten Dehnkräften, die sich gezielt im Bereich der Elastizität von beiden getesteten Garnen befinden, durchgeführt. Eine Versuchseinrichtung, die das Garn mit einer bestimmten Kraft belastet, wurde eingesetzt, wonach der Strom bei einer konstanten Spannung gemessen wird, und aus den Messwerten werden elektrischer Widerstand und elektrische Leitfähigkeit berechnet. Sowohl ein Einfachgarn als auch ein Zweifachzwirn mit denselben Eigenschaften wurden untersucht. Danach wurde eine Vergleichsanalyse der Einwirkung der mechanischen Garnbelastung auf die elektrische Leitfähigkeit durchgeführt.