

## Elektrovodiči za pametne tekstile dobiveni 3D tiskom na tekstilnim supstratima: sile adhezije i fleksibilnost

Prof. Ger Brinks

Eliza Bottenberg, M.Sc.

Jennifer Hesse, Ing.

Richard Groeneveld, Ing.

Saxion UAS, Academy Creative Technology, Research group Smart Functional Materials

Enschede, Nizozemska

e-maila: g.j.brinks@saxion.nl

Prispjelo 5.10.2016.

UDK 677.017

Izlaganje na skupu

*Robusni i fleksibilni elektrovodiči, integrirani u tekstil preduvjet su nosive elektronike. Međutim, spajanjem vodiča u elektroničke komponente nastaju slabe točke koje sprječavaju širu upotrebu elektrovodiča u tekstilu. Svrha ovoga rada bila je načiniti čvrst spoj između tekstila i elektrovodljivog materijala kako bi se postigla koherentna struktura u kojoj bi se izbjegao nastanak točaka naprezanja. Proučene su performanse fleksibilnih materijala dobivenih pomoću tehnike 3D tiska na način da se postigne jače povezivanje tekstilnog supstrata i elektrovodljivog sustava, a da se pritom očuva fleksibilnost. Na tekstilne površine od mješavine PET/pamuk tiskano je više vrsta polimera sa svrhom postizanja veće adhezije polimera na tekstilni supstrat. Postignute spoznaje rezultat će novim mogućnostima na tržištu odjevnog i tehničkog tekstila. Potvrđena je mogućnost postavljanja fleksibilnih polimera na tekstil od mješavine PET/pamuka s izvrsnim svojstvima čvrstoće spoja (vezivanja) a da dobivena tekstilna struktura ima dostatnu fleksibilnost, potrebnu za upotrebu u odjevnim predmetima odnosno nosivim tekstilima.*

**Ključne riječi:** 3D tisak, čvrstoća spoja, fleksibilnost, elektrovodljivi tekstil, nosivi predmeti, elektronički tekstil

### 1. Uvod

Velik dio istraživanja tekstilne industrije koncentriran je na razvoj, proizvodnju i primjenu materijala za tehničke (inteligentne, nosive "pametne") tekstile. Fokus ovih istraživanja je na novim materijalima za postizanje nove funkcionalnosti. Ovi novi

\*Izlaganje na međunarodnoj konferenciji 8<sup>th</sup> INTERNATIONAL TEXTILE, CLOTHING & DESIGN CONFERENCE – Magic World of Textiles, 2.-5. 10. 2016., Dubrovnik, Hrvatska

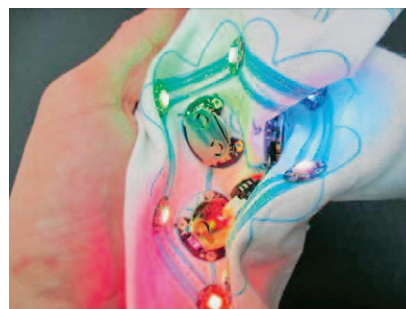
materijali postavljaju još veći zahtjev na industriju, budući da se mogu inkorporirati u tekstile samo ako su dostupna dovoljno duboka znanja o podesiranju i primjeni funkcionalnih materijala [1]. Budućnost pametnih ili nosivih tekstila je u potencijalu tehnologije gdje su polimeri integrirani u vlakna i materijale. To će omogućiti mekani inteligentni tekstilni proizvodi sa širokim spektrom funkcija i mogućnosti koja se danas nalaze u krutim elektroničkim proizvodima.

Istraživanja novih metoda proizvodnje je imperativ i prilika za tekstilnu industriju. Jedna od budućih proizvodnih mogućnosti tekstila i odjeće je 3D tisak, brzorazvijajuća tehnologija o kojoj treba voditi računa [2]. Postoji samo nekoliko primjera postavljanja polimera na tekstil upotrebom tehnike 3D tiska; ovo područje je još uvijek neistraženo [3, 4].

Pametni funkcionalni tekstili kao nosiva elektronika predstavljaju veliko područje za istraživanje i razvoj.

Doslovno je razvijeno na tisuće prototipova, ipak se još uvijek nije dogodio njihov veliki ulazak na tržište. Članak objavljen u okviru projekta Systex navodi sljedeće: “Ključne tržišne prepreke za razvoj i odgovarajuću komercijalizaciju primjene pametnih tekstila su tehničke, strateške i ekonomske prirode: nedostatak normative i propisa za nove proizvode, nedostatak inicijative za zajedničkim sudjelovanjem u razvoju proizvoda među partnerima u proizvodnom lancu, kao i nedostatak sredstava za mala i srednje velika poduzeća za razvoj novih proizvoda. Tehnološke barijere uključuju pouzdanost, izdržljivost (trajnost) i jednostavnost upotrebe; spor razvoj u području kao što je fleksibilnost elektronike, trajnost i snaga; te nepostojanje međusobne povezanosti komponenta. Poslovne barijere uključuju visoke troškove razvoja i proizvodnje; visoke malotržišne cijene što dovodi do slabijeg prihvaćanja kod potrošača, te premalo ljudskih resursa za provođenje razvoja novog proizvoda. Osim toga, treba se uzeti u obzir i nedostatak istinskog razumijevanja potreba potrošača, nezrelo poslovno okruženje i ograničen tržišni potencijal za pametne tekstile zbog jeftinijih alternativa” [5].

Upotreba robusnih i fleksibilnih elektrovodiča integriranih u tekstilne strukture, preduvjet je za nosivu elektroniku. Spojevi elektrovodiča u elektroničkim komponentama su slabe točke koje onemogućuju širu upotrebu vodiča u tekstilima, zapravo to je glavni razlog zašto elektronika ugrađena u tekstile nije postigla širu primjenu. Glavni razlog je što aktualni materijali za vodiče imaju jedan ili više nedostataka: nedovoljnu fleksibilnost (tako da tijekom naprezanja savijanjem dolazi do njihovog prekidanja), mehanička svojstva vodiča i tekstilnog materijala se toliko razlikuju da nastaju točke naprezanja koje dovode do slabog spoja, nedostatne čvrstoće spoja vodiča i tekstila koje dva različita materijala kreiraju u bliskom



Sl.1 Primjeri 3D tiskanih elektroničkih sklopova

kontakta i koja reagiraju različito na naprezanje.

3D tiskom ili polimernom depozicijom na tekstilima mogu se načiniti zanimljive aplikacije, posebno kod direktnog tiska elektronike, PCB, OLED i RFID-čipova, solarnih panela te zaslona. Direktni tisak elektrovodljivih staza može biti vrlo koristan i može otvoriti put ka izradi robusnih nosivih tekstila [6].

No primjena 3D tiska za funkcionalna svojstva na tekstilu nije trivijalna zbog mnogih interakcija i fenomena vezivanja/adhezije koje se javljaju na različitim sučeljima. Činjenica da su tekstili uglavnom fleksibilni, kompirani od raznih ili drugačijih polimernih materijala, raznih tekstilnih struktura i građa, načinjenih od pređa, vlakana, filamenata predstavlja pravi izazov u poznavanju fenomena sučelja. Dok se proces koji ima dominantan utjecaj u tim sučeljima potpuno ne shvati, procesiranje na industrijskoj razini je ograničeno na pokušaje i pogreške koje dovode do ne-generičkih i *ad hoc* rješenja koja ne mogu biti generalizirana do standardiziranih proizvodnih procesa. To je potrebno za industrijske procese većih razmjera [2, 7].

To znači da istraživanje polimerne depozicije na tekstilni materijal, polimera kao što je PLA s premazom od ugljika može biti prikladan način za postizanje ekonomičnosti i održivosti elektrovodljivih tekstila. Ako se mehanizam vezivanja polimera s temeljnim tekstilnim slojem može kontrolirati tijekom procesa proizvodnje bit će otvoren novi put za dobivanje elektrovodljivih mreža.

Izuzetno važan zahtjev za tekstile je fleksibilnost, a s tim vezano i svojstvo drapiranja. Drapiranje se definira kao karakteristika oblika ili načina na koji tekstilni materijal pada u naborima. Krutost savijanja i smična čvrstoća utječu na drapiranje [20]. Očito je to bitan parametar za primjenu u modne svrhe i za unutrašnje uređenje, no postoje i mnoge tehničke primjene gdje je drapiranje važno, npr. u području transporta (cerade). Polaganje funkcionalnih polimera može negativno utjecati na drapiranje dobivenih materijala, pa je zbog toga potrebno dobro poznavanje utjecaja na drapiranje, a to je jedan od predmeta istraživanja ovog istraživačkog projekta.

Svrha rada bila je načiniti čvrstu vezu između tekstilne podloge i elektrovodljivog materijala tako da se izbjegnu prethodno navedene razlike i dobije koherentna struktura u kojoj će se izbjeći točke naprezanja (slabe točke). Zbog toga su proučavane performanse fleksibilnih materijala s 3D tiskanim aplikacijama, odnosno s položenim polimerima, na način da se postigne intenzivno vezivanje tekstilnog supstrata i elektrovodljivog sustava. To je također značilo da se trebao razviti i odgovarajući novi proces tiska funkcionalnog polimera. Upotrijebljena je temeljna tehnika 3D tiska modeliranjem nanošenjem taline.

Preliminarni uradci prikazani su na sl.1. Dodatno se željelo proširiti znanja i know-how 3D tiska i omogućiti primjenu ove tehnologije za depoziciju, odnosno polaganje funkcionalnih polimera na tekstile na takav na-

čin da procesni parametri budu jasni i razumljivi, te da se može dobiti gotov proizvod s prethodno određenim svojstvima [8]. Zbog toga je posebna pažnja bila usmjerena na optimiziranje adhezije 3D tiskanih polimera na tekstilne površine, uz zadržavanje fleksibilnosti tekstilnog materijala.

U prethodnim istraživanjima je utvrđeno da je moguće tiskati polimere na tekstile, ali njihova adhezija na tekstilnim materijalima nije bila dovoljno dobra. Zbog toga su različiti polimeri tiskani na površinu tekstilnog materijala od mješavine PET/pamuk kako bi se ovaj problem riješio te postigla bolja adhezija polimera na tekstilnim površinama.

Ove spoznaje otvorit će nove mogućnosti na tržištu odjevnog i tehničkog tekstila. Baldan je u opsežnom pregledu opisao mehanizme vezivanja. U ovom radu se pretpostavilo da će mehanički model povezivanja u najvećoj mjeri biti mehanizam vezivanja položenog polimera na tekstilni supstrat.

Ova pretpostavka se bazira na ranijim analizama viskoznosti taline u kombinaciji s poroznošću supstrata te površinskom energijom supstrata i polimera, u kojima je utvrđeno da viskoznost ima veći utjecaj (odnosno viskoznost je prevladavajući čimbenik na penetraciju nakon koje slijedi brzo skrutnjivanje taline, dovodeći do

sidrenja (učvršćenja) polimerne mase unutar poroznog tekstilnog materijala [2, 9, 10].

Raspravljat će se o utvrđenim vrijednostima čvrstoća veza različitih polimera i tekstilnog supstrata od mješavine PES/pamuka i rezultirajućim fleksibilnostima tih konstrukcija. Glavni zaključak je da je moguće postići fleksibilno polaganje (depoziciju) polimera na mješavinu PES/pamuk s izvrsnim svojstvima čvrstoće vezivanja, odnosno dodatnim svojstvom fleksibilnosti za upotrebu u nosivim tekstilima. Radi boljeg razumijevanja fenomena vezivanja 3D tiska na tekstilu, započelo se s nizom komercijalno dostupnih nevodljivih polimera. Prikazat će se primjena u modelu elektroničkog elektrovodljivog sustava.

## 2. Materijali i metode

Istraživanje je provedeno na 3D printeru FDM (modeliranje nanošenjem taline) Cartesio, Mauk CC, sa 400×200 mm grijanom podlogom za tisk i s E3D V5 ekstruderom, koji ima mogućnost tiskanja fleksibilnih polimera poprečnog presjeka od 1,75 mm. Ovim sustavom je moguće primijeniti mali pritisak između taline i supstrata. U tab.1 su zbirno prikazani materijali koji su upotrijebljeni i neka njihova karakteristična svojstva za

provedbu eksperimenta tiska, uz prikaz i parametara tiska.

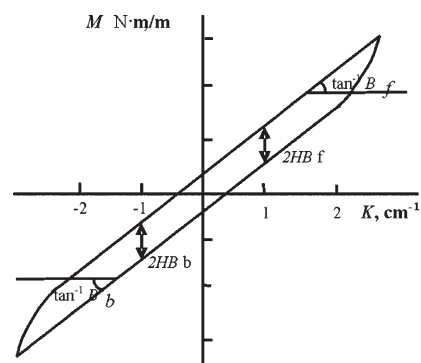
Tehnološki parametri sustava za sve eksperimente tiska su bili sljedeći: promjer mlaznica 0,6 mm, visina sloja 0,2 mm, gustoća punjenja 80 %, ispuna uzorka pravocrtna.

Tekstilni supstrat na kojem je proveden tisak polimera bio je tkanina od mješavine 65/35 poliester/pamuk, površinske mase 170 g/m<sup>2</sup>. Poroznost je mjerena primjenom autoporozimetra TRI Princeton (SAD), kut kvašenja i dinamički dodirni kut mjereni su mjernim instrumentom Data-Physics 200. Optička poroznost je mjerena pomoću spektrofotometra Perkin Elmer Lambda 900 UV/VIS/NIR.

Ispitivanje svojstava krutosti provedeno je na uređaju Pure bending tester KES-FB2, Katotech co LDT, No. 8512–84. Na tekstilnim uzorcima su tiskane vrpce, u smjeru osnove i u smjeru potke dimenzija 55 x 3 mm. Od ovih je vrpca načinjeno po 5 uzoraka širine 0,5 cm na kojima su provedena mjerenja krutosti savijanja, odnosno određene krivulje savijanja. Kod svih ispitivanih uzoraka dobivene su tipične krivulje savijanja. Upotrebom dobivenih grafova i oblika krivulja izračunate su histereze. Koeficijent krutosti savijanja B je dobiven iz prosjeka dobivenih krivulja, kao što se može vidjeti na sl.2 [11]. Na sl.2 se mogu uočiti izračunati parametri za histereze, 2HB. Neki uzorci su pokazali takvu krutost da se stvarna mjerenja nisu mogla provesti.

Tab.1 Upotrijebljeni materijali i njihova svojstva

Br.	Sastav	Elastičnost (podaci dobavljača)	Temp. ekstrudera (°C)	Temp. podloge za tisk (°C)	Brzina ekstruzije (mm/s)
1	Poli(mliječna kiselina)	Nefleksibilna	250	60	50
2	Termoplastični kopolimer (TPC Flex 65)	Srednje fleksibilan	240	50	50
3	Termoplastični poliuretane (Ninjaflex®)	Fleksibilan (1000 % istezanje)	235	80	30
4	Termoplastični poliuretane (Filaflex®)	Fleksibilan (700 % istezanje)	250	60	30
5	Termoplastični elastomer (na bazi ulja uljene repice TPU)	Srednje fleksibilan	220	50	30
6	Modificirani stiren-butadien (Bendlay®)	Srednje fleksibilan	235	55	50



Sl.2 Tipična KES krivulja histereze savijanja [11]

Ispitivanja vlačnih svojstava, odnosno vlačne sile odvajanja provedeno je na kitalici Testometric™ M350-20 CT. U svim ispitivanjima brzina pomične stezaljke bila je 500 mm/min, radna jedinica tip '6/1000. Duljina uzoraka bila je 50 mm, a ispitivanja su provedena u smjeru osnove i u smjeru potke.

Parametri interakcije su izračunati u skladu s metodama koje je opisao Van Krevelen [12] i iscrpno objasnio u jednom ranijem radu [13]. Ukupni koeficijent topljivosti  $\delta t$  izračunat je primjenom jednadžbe (1) [12]:

$$\delta t = \sqrt{E_{coh} / V} \quad (1)$$

Za ovu analizu izračunata je molarna konstanta privlačnosti  $F$  ( $J/cm^3$ )<sup>1/2</sup> mol<sup>-1</sup>) na temelju grupnog doprinosa, što se upotrijebilo za izračune parametara polarnosti, disperzije i vezivanja vodikovim vezama, prema sljedećim jednadžbama:

$$\delta p = \frac{\sqrt{\Sigma Fp^2}}{Va} \quad (2)$$

$$\delta d = \frac{\Sigma Fd}{Va} \quad (3)$$

$$\delta h = \sqrt{\frac{\Sigma Eh}{Va}} \quad (4)$$

Osim toga vrijedi sljedeća jednadžba:

$$\delta t^2 = \delta d^2 + \delta p^2 + \delta h^2 \dots \quad (5)$$

gdje je  $V$  - molarni volumen konstitutivnih monomer,  $\delta d$ ,  $\delta p$ ,  $\delta h$ , i  $\delta t$  - interakcijski parametri disperzije, polarnosti, vodikovih veza i ukupne topljivosti, koji su mjera vrste i veličine privlačnih sila između polimera, te su direktno vezani za energiju kohezije  $E_{coh}$ , konstantu polarnih  $Fp$  i disperzivnih sila  $Fd$  privlačenja te energiju kohezije pod utjecajem nastanka vodikovih veza  $Eh$ .

Površinska napetost izračunata je primjenom Sugden Parachor jednadžbe:

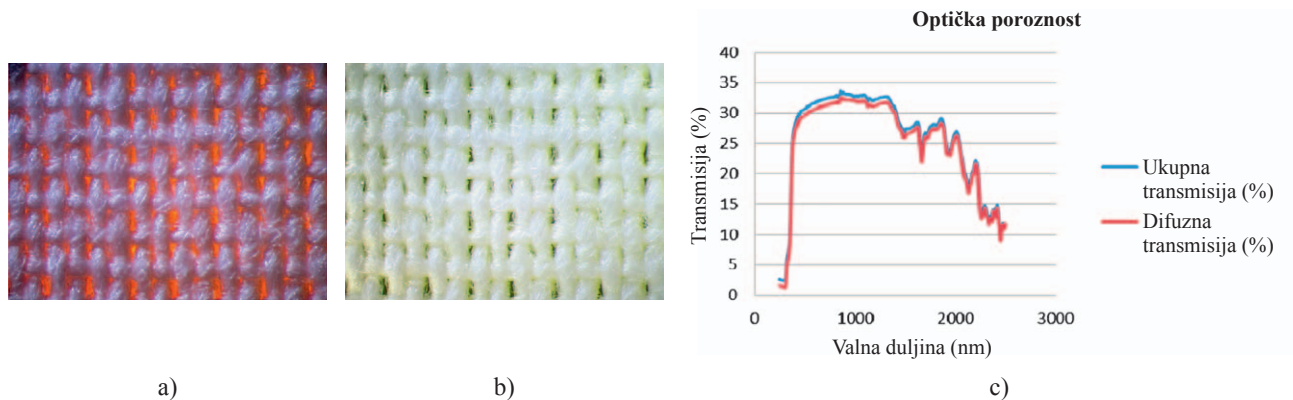
$$\gamma = \left( \frac{Ps}{Va} \right)^4 \quad (6)$$

$\gamma$  - energija površine, a  $Ps$  tzv. molarna Sugden Parachor konstanta

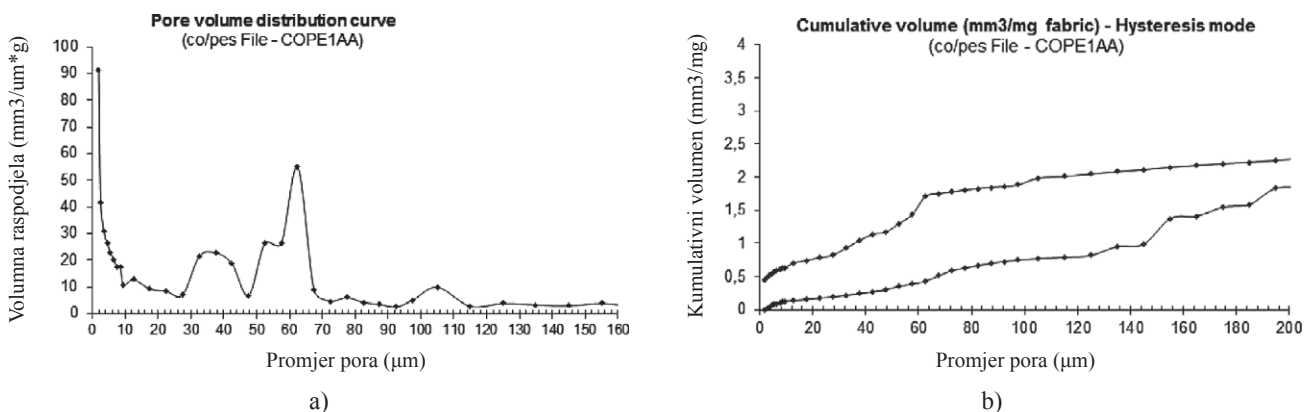
### 3. Rezultati i rasprava

Na sl.3 je prikazan porozni izgled uzoraka. Faktor otvorenosti je mjera količine prostora dostupnog za penetraciju taline polimera unutar materijala. Najčešće se određuje pri 280 nm. Uzorcima koji su upotrijebljeni u ovom istraživanju faktor otvorenosti bio je 1,2 % s ukupnom transmisijom od 2,65 %.

Analizom vremena kvašenja (prođora) utvrđeno je vrijeme od 533 ms, s početnim dinamičkim dodirnim kutom ( $\theta$ ) od 75°. Na sl.4 je dan prikaz raspodjele vrijednosti veličina pora uzoraka, te je vidljivo da su pore između pređa u rasponu od 30 do 70



Sl.3 Porozni izgled upotrijebljenih tekstilnih supstrata: a) najveća ekspozicija, b) niža ekspozicija i c) vrijednosti transmisije



Sl.4 Poroznost upotrijebljenih tekstilnih supstrata: a) volumna raspodjela pora, b) kumulativni volumen pora

Tab.2 Ispitivanja svojstava savijanja (sva ispitivanja su provedena na 5 paralelnih uzoraka)

Br.	Sastav	Debljina sloja (mm)	Krutost savijanja, B 10 <sup>-2</sup> , (gf.cm <sup>2</sup> /cm)		Histereza savijanja, 2HB 10 <sup>-2</sup> (gf.cm/cm)	
			osnova	potka	osnova	potka
Ref.	Neobrađeni supstrat PES/pamuk	0	1.0 +/- 0.2	0.4 +/- 0.2	1.3 +/-0.3	Too low
1	Poli(mliječna kiselina) (PLA)		Prekrut			
2	Termoplastični kopolimer (TPC Flex 65)	0.75 +/-0.14	5.3+/-8.0	45.3+/-18.7	4.9+/-6.8	11.8+/-6.8
3	Termoplastični poliuretani (Ninjaflex®)	0.62 +/-0.03	9.6 +/- 2.0	7.8 +/- 1.0	4.6+/-0.8	3.2+/-0.6
4	Termoplastični poliuretani (Filaflex®)	0.66 +/-0.06	14.5+/-4.4	10.3+/-1.6	5.3+/-1.0	4.0+/-0.5
5	Termoplastični elastomer (na bazi ulja uljene repice TPU)	0.62 +/-0.03	8.9 +/-0.6	20.6 +/-3.5	10.4+/-1.6	7.9+/-1.9
6	Modificirani stiren-butadien (Bendlay®)	0.82 +/-0.03	144 +/-36.5	135+/-35.6	previše kruto, tiskana vrpca se odvaja	

Tab.3 Ispitivanja odvajanja otisnutih vrpca (sva ispitivanja su provedena na 5 paralelnih uzoraka)

Br.	Sastav	Maksimalna sila odvajanja (N)		Maksimalna duljina odvajanja (%)	
		osnova	potka	osnova	potka
1	Poli(mliječna kiselina) (PLA)	75+/-14	63+/-4	23+/-3	33 +/-6
2	Termoplastični kopolimer (TPC Flex 65)	24+/-9	11+/-2	27+/-2	30+/-2
3	Termoplastični poliuretani (Ninjaflex®)	43+/-7	58+/-9	42+/-6	33+/-3
4	Termoplastični poliuretani (Filaflex®)	363+/-31	49+/-15	16+/-2	16+/-3
5	Termoplastični elastomer (na bazi ulja uljene repice TPU)	28+/-19	18+/-5	26+/-4	28+/-1
6	Modificirani stiren-butadien (Bendlay®)	30+/-4	4+/-2	24+/-3	22+/-3

Tab.4 Parametri interakcija različitih polimera

	$\delta t$ (J/cm <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup> Van Krevelen	$\delta d$ (J/cm <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup>	$\delta p$ (J/cm <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup>	$\delta h$ (J/cm <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup>	$\delta t$ (J/cm <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup> Hofrijzer/ Van Krevelen	$\gamma$ mN/m
Poliuretani	27.7	17.1	6.9	7.9	20.1	51
Stiren-butadien	17.6	17.2	0.8	0	17.2	38
Poli(mliječna kiselina)	17.2	16.1	15.7	9.5	24.4	75
PET/celuloza (65/35)	18.3	17.5	10.1	15.1	26.0	57.8

$\mu\text{m}$ , a unutar pređe manje od 5  $\mu\text{m}$ . Nema pora većih od 110  $\mu\text{m}$ .

Na temelju dobivenih rezultata očito je da je PLA prekrut za 3D tisak slojeva na tekstilnim materijalima, odnosno za nosive tekstile. Također je utvrđeno da je modificirani stiren-butadien (Bendlay®) manje pogodan. Sa stajališta fleksibilnosti poliuretani i termoplastični kopolimer (TPC Flex 65) su najpogodniji polimeri za nosive aplikacije.

Rezultati odvajanja otisnutih vrpca ispitivanih polimera na tekstilnim supstratima prikazani su u tab.3.

Iz rezultata prikazanih u tab.3 može se uočiti da PLA pokazuje dobra svojstva vezivanja na tekstilni supstrat od PES/pamuka. Sve tri varijante poliuretana također pokazuju dobra svojstva čvrstoće vezivanja za tekstilni supstrat, sve osim Ninjaflex uzoraka imaju veće vrijednosti vezivanja u smjeru osnove.

To se može povezati time da tisak u smjeru osnove ima više dostupnih pora unutar pređe, budući da su niti u pređi orijentirane u smjeru pređe i da talina polimera može imati tendenciju penetracije u međuprostor unutar pređe zbog blagog pritiska koji nastaje tijekom tiska. Moglo bi se reći da se niti ponašaju kao manje barijere koje potiskuju talinu u pređu.

U tab.4 su prikazani parametri interakcija za različite tipove polimera.

Tekstilni supstrat nije jako otvoren i ima ograničene veličine pora, što je prikazano na sl.3 i 4. Traba biti jasno da je glavni mehanizam vezivanja taline polimera na tkani tekstilni supstrat putem penetracije u pore, nakon čega slijedi skrtnjivanje u nutar pora (mehanizam blokiranja). Međutim, u ovim relativno tankim 3D konstrukcijama može se očekivati i određeni utjecaj karakteristika površine i fizikalno-kemijskih svojstva upotrijebljene tkanine.

Na temelju relativno niske površinske energije stiren-butadiena moglo se očekivati njegovo slabije vezivanje na ispitivani tekstilni supstrat, u odnosu na druge ispitivane polimere, što se i potvrdilo.

Pored mehanizam blokiranja i na temelju kapaciteta stvaranja polarnih i vodikovih veza, polimeri s više naboja, PLA i PUR mogu postići veće čvrstoće vezivanja, što se i potvrdilo.

#### 4. Zaključak

Zaključno se može ustvrditi da su poliuretanski polimeri najprikladniji

za postizanje fleksibilnog tiska elektrovodljivih staza na tekstilu za nosivu primjenu. Rezultati su bazirani na jednom tipu tekstilnog supstrata odnosno tkanini od mješavine PES/pamuk. Sljedeća istraživanja provest će se na više vrsta tkanina od pamuka i mješavina PES/pamuk. (Prevela A. Vinčić)

#### Literatura:

- [1] Brinks G.J. et al: The added value of 3D polymer deposition on textiles, Proceedings of the 13th Autex world textile conference, May 2013, Dresden Germany (2013)
- [2] McKinsey Global Institute, Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy, May 2013
- [3] Hesse J. et al: Adhesion of 3D printed polymers on textiles, Proceedings of the 15th Autex World Textile Conference 2015, June 10-12, 2015, Bucharest, ROMANIA, (2015)
- [4] Tao X.: Handbook of Smart Textiles, Springer Science+Business Media Singapore, ISBN 978-981-4451-45-1, Singapore (2015)
- [5] Byluppala M.M.R. et al: Systex Vision paper, FP7-ICT-2007.3.6-224386; issued 18 February 2011. Available from <http://www.innovatiezuid.nl/roadmaps/3d-printing>. Accessed: 2016-02-15
- [6] Dutschk V. et al: "Fundamental" and "Practical" Adhesion in polymer-fiber systems, Mechanics of Composite Materials 34 (1998) 4, 309-320, ISSN 0191-5665
- [7] Brinks G.: Will 3D Printing revolutionise the textile industry?, Textile International Forum and exhibition, Taipei, 6 October 2015, (2015)
- [8] Baldan A.: Adhesion phenomena in bonded joints, International Journal of Adhesion & Adhesives 38 (2012) 2, 95-116, ISSN 0143-7496
- [9] Gooijer H.: Flow resistance of textile materials, PhD thesis, University of Twente, May 1998, ISBN 90-36511240, (1998)
- [10] Naujokaityte L. et al: Comparative analysis of fabrics' bending behaviour testing methods, *Tekstil* 56 (2007.) 6, 343-349, ISSN 0492-5882
- [11] Van Krevelen D.W. & Te Nijenhuis, K.: Properties of polymers 4th ed., Elsevier publication, ISBN 978-0-08-054819-7, (2009)
- [12] Brinks G. et al: The case of latex removal for carpet and artificial turf recycling, Proceedings of the 14th Autex World Textile Conference, May 26th to 28th 2014, Bursa, Turkey, (2014)
- [13]

### SUMMARY

#### Conductors for smart textiles by 3d printing on textile substrate: adhesion forces and flexibility

*G. Brinks, E. Bottenberg; J. Hesse, R. Groeneveld*

Robust and flexible conductors, integrated into textiles is a prerequisite for wearable electronics. However, connecting conductors to electronic components creates a weak spot that hampers the widespread use of conductors in textiles. Our goal was to create intense contact between textiles and conducting material to create one coherent structure that will avoid the existence of stress points. We studied the performance of flexible materials applied through 3D printing in a way that intense bonding between textile substrate and the conducting system could be achieved, while maintaining flexibility. Different polymers were printed on PET/Co surfaces with the aim to increase the adhesion of the polymer onto the textile surface. This knowledge will bring new possibilities into the clothing and technical textile market. We showed that it is possible to deposit flexible polymers on PET/Co blends with excellent bonding strength, while the resulting textile structure has sufficient flexibility for use in wearable textiles.

**Key words:** 3D printing, bonding strength, flexibility, conductive textile, wearables, electronic textiles

*Saxion UAS, Academy Creative Technology, Research group Smart Functional Materials*

*Enschede, The Netherlands*

*e-maila: g.j.brinks@saxion.nl*

*Received October 5, 2016*

#### Leiter für mittels 3D-Druck auf das Textilsubstrat hergestellte intelligente Textilien (Smart Textiles): Adhäsionskräfte und Flexibilität

Die in Textilien eingebaute, robuste und flexible Leiter sind eine Voraussetzung für tragbare Elektronik. Jedoch schafft der Anschluss von Leitern an elektronische Bestandteile eine Schwachstelle, die den weit verbreiteten Gebrauch von Leitern in Textilwaren behindert. Ziel war es, einen intensiven Kontakt zwischen Textilware und elektrisch leitendem Material zu schaffen, um eine kohärente Struktur zu erstellen, in der die Entstehung von Spannungspunkten vermieden wird. Die mittels 3D-Druck gewonnene Leistung von flexiblen Materialien wurde so untersucht, dass eine intensive Bindung zwischen dem Textilsubstrat und dem leitenden System erreicht werden konnte, während die Flexibilität beibehalten wurde. Verschiedene Polymere wurden auf PET /Baumwollsubstrate aufgedruckt, um die Haftung des Polymers auf der Textiloberfläche zu erhöhen. Diese Kenntnisse werden dazu führen, dass neue Möglichkeiten sowohl auf dem Bekleidungsmarkt als auch auf dem Markt für technische Textilien erschlossen werden können.