

Maja Klančnik, Brigita Rijavec, Matej Pivar, Deja Muck
Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, grafiko in oblikovanje,
Snežniška 5, 1000 Ljubljana, Slovenija

Vpliv substrata in nanosa tiskarske barve na delovanje RFID-anten

Influence of Printing Material and Printing Ink Layer on RFID Antenna Operation

Izvirni znanstveni članek/*Original Scientific Article*

Prispelo/Received 04-2018 • Sprejeto/Accepted 07-2018

Izvleček

Radiofrekvenčna identifikacija (RFID) nam omogoča brezkontakten hiter prenos podatkov prek elektromagnetnega valovanja na področju radijskih frekvenc. RFID-tehnologija označevanja v oblačilni in tekstilni industriji še ni tako pogosto uporabljena, vendar pa omogoča sledenje materiala oz. tekstilnih izdelkov od njihovega nastanka do prodaje, identifikacijo tekstilije in njeno zaščito pred krajo. V raziskavi smo prikazali možnost uporabe funkcionalnega sitotiska z električno prevodno tiskarsko barvo na osnovi srebrovih delcev za tisk pasivnih RFID-značk na tekstilni material. Za tisk smo uporabili dva tekstilna materiala; poliestrsko tkanino in liocelno vlaknovino ter primerjalno papir. Želeli smo preveriti, ali sta izbrana tekstilna materiala primerna za tisk elektronskih struktur, ki omogočajo delujoče pasivne UHF-RFID-značke. Kot referenčni tiskovni material, ki omogoča kakovosten odtis električno prevodnih struktur, smo uporabili papir. Odtisom prevodnih vzorcev na tekstilnih materialih in papirju smo merili električno prevodnost, ocenili kakovost odtisa, obstojnost proti drgnjenju in preverili obseg delovanja RFID-značk. Ugotovljeno je bilo, da je najboljša električna prevodnost odtisov dosežena na papirju, nekoliko slabše električno prevodni so odtisi na liocelni vlaknovini. Odtisnjene RFID-antene na liocelni vlaknovini delujejo v enako veliki oddaljenosti, tj. 150 cm od sprejemne antene čitalnika, kot odtisi na papirju. Na poliestrski tkanini se ni oblikoval tako enakomeren sloj električno prevodne tiskarske barve kot na liocelni vlaknovini, zato so odtisi slabše električno prevodni in odtisnjene RFID-antene delujejo na krajši oddaljenosti, le 60 cm od sprejemne antene čitalnika. Obstojnost površin odtisov RFID-anten proti obrabi je bila na vseh treh substratih slaba, saj se je barva prenesla z odtisov na drgnjene vzorce. Najslabše površinsko odporni so bili odtisi na liocelu.

Ključne besede: sitotisk, električno prevodna tiskarska barva, RFID-značka, poliester, liocel

Abstract

Radio Frequency Identification (RFID) enables non-contact quick and easy data transferring through electromagnetic waves in the radio frequency range. The technology of RFID tags in the clothing and the textile industry is not commonly used yet, however, it enables the tracing of materials or textile products from their creation to sale, the identification of textiles and their protection against theft. In the research, the possibility of using of functional screen printing technique with an electrically conductive printing ink based on silver particles for the printing of passive RFID tags on textile material is showed. For printing, the two textile materials; polyester woven fabric, lyocell nonwoven textile and comparatively paper were used. The suitability of the selected textile materials for the printing of electronic structures for working passive UHF-RFID tags was tested. As a reference printing material that enables a high-quality print of electrically conductive structures, paper was used. The electrical conductivity of conductive patterns printed on textile materials and paper was measured, the quality of the prints and their abrasion resistance were assessed and the read range of the RFID tags on different printing materials was checked. It was

Korespondenčna avtorica/Corresponding author:

Doc. dr. Maja Klančnik

E-pošta: maja.klancnik@ntf.uni-lj.si

Tekstilec, 2018, **61**(3), 162-170

DOI: [10.14502/Tekstilec2018.61.162-170](https://doi.org/10.14502/Tekstilec2018.61.162-170)

found out that the best electrical conductivity of the prints was achieved on paper and slightly less electrically conductive prints were on the lyocell nonwoven textile. The RFID antennas printed on lyocell had the same range of operation, i.e. 150 cm from the receiving antenna of the reader, as the prints on paper. On the polyester fabric, it was not formed such an uniform layer of electrically conductive printing ink as on the lyocell nonwoven textile, therefore the prints on polyester were less electrically conductive and the printed RFID antennas operated at a shorter distance, only 60 cm from the receiving antenna of the reader. The abrasion resistance of the surfaces of printed RFID antennas was poor on all printing materials, because the ink transferred from the prints to the rubbed samples; the worst surface-resistant were prints on the lyocell.

Keywords: screen printing, electrically conductive printing ink, RFID tag, polyester, lyocell

1 Uvod

Radiofrekvenčna identifikacijska (RFID) tehnologija deluje prek radijskih valov, ki jih RFID-značka pošilja ustrezni sprejemni napravi (čitalniku). Zato je tehnologija hitra in samodejna. Podatki, ki jih hrani RFID-značka, so v trenutku vidni na sprejemni napravi oziroma čitalniku [1]. RFID-tehnologija se lahko uporablja za registracijo delovnega časa, kot sistem plačevanja cestnin, za sledenje živali, za sledenje proizvodov od nastanka do prodaje, za identifikacijo dreves, lesenih predmetov, kot kartica za vstopanje oz. dostopanje do stvari in prostorov, za sledenje vozil, letalskih potnikov in bolnikov. Mogoče pa jo je uporabiti tudi v tekstilni in oblačilni industriji za sledenje in identifikacijo tekstilij ali kot zaščito proti kraji. Tako se že razvijajo RFID-značke, ki so pralne in bodo v bližnji prihodnosti lahko vključene v raznovrstne tekstilne materiale in posledično v tako imenovane pametne pralne stroje [2, 3]. RFID-tehnologija uporablja radijske valove na razmerno kratkih razdaljah. Za delovanje RFID-sistema uporabljamo LF, HF in UHF frekvenčne pasove. V

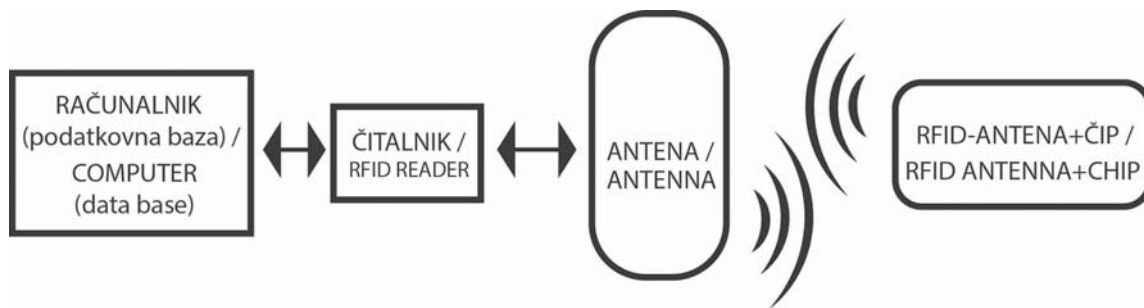
preglednici 1 so podane frekvence frekvenčnih pasov RFID-značk in njihova uporaba. UHF RFID-značka ima višjo frekvenco oddajanja in posledično večji doseg, zato bolje in hitreje prenaša podatke. Primerna je, ko gre za karton, les in tekstil [1]. Zaradi krajše valovne dolžine UHF radijskih valov signal oslabi in povzroča težave pri oddajanju valov skozi vodo in kovino. RFID-značke se med seboj razlikujejo glede na aktivnost in pasivnost. Aktivne RFID-značke imajo lastno baterijo, ki napaja omrežje okoli čipa, zato delujejo na večjih razdaljah. Baterije omogočajo prenos, komunikacijo in nadzor podatkov. Pasivne RFID-značke nimajo lastne baterije, zato morajo energijo za delovanje pridobiti iz elektromagnetnega polja med RFID-anteno in sprejemno anteno. V primerjavi z aktivnimi značkami delujejo na krajših razdaljah. Omogočajo le prenos podatkov. Polaktivne ali polpasivne RFID-značke imajo večino lastnosti pasivnih značk, vendar imajo lastno baterijo, ki pa je namenjena le za napajanje [1].

Podatki, shranjeni v RFID-znački (čipu), čakajo, da bodo prebrani. RFID-antena značke prejme signal elektromagnetne energije iz antene RFID-čitalnika

Preglednica 1: Frekvence RFID-značk in njihova uporaba [1, 4]

Table 1: Frequency of RFID tags and their application

Frekvenčni pas / Frequency band	Frekvenca / Frequency [kHz]	Doseg značk / Read range [m]	Uporaba / Application
LF Nizkofrekvenčni / Low frequency	100-500	do 0,5/up to 0.5	Nadzor dostopa v prostore, označevanje živali/Access control to premises, animal identification
HF Visokofrekvenčni / High frequency	13,56·10 ³	do 1/up to 1	Sledenje knjigam, pametne kartice, tranzitne vstopnice/Tracking books, smart cards, transit tickets
UHF Ultravisokofrekvenčni /Ultrahigh frequency	866 ·10 ³ -956 ·10 ³	do 6/up to 6	Elektronsko cestninjenje, nadzor parkirnega dostopa/Electronic toll collection, parking access control



Slika 1: Shematski prikaz delovanja pasivne RFID-antene

Figure 1: Schematic representation of passive RFID antenna working

(slika 1). Z uporabo energije iz njene baterije ali energije, pridobljene iz elektromagnetnega polja čitalnika, lahko RFID-antena značke pošlje radijske valove nazaj do čitalnika. Ta ujame radijski signal iz značke prek sprejemne antene in posreduje podatke v računalnik, ki ustrezno obdela in oblikuje informacije [1].

Funkcionalni tisk je tisk na substrat za dodajanje določene namembnosti oziroma funkcionalnosti samemu tisku. Zaradi svoje inovativnosti je funkcionalni tisk na področju tiskane elektronike, kamor spadajo tudi RFID-antene, trenutno hitro rastoča in razvijajoča se smer tiska v svetovnem merilu. Trenutno je vrednost trga za funkcionalni in industrijski tisk ocenjena na 64,2 milijarde evrov. Po navedbah svetovnega podjetja za nadzor trga Smithers Pira naj bi se trg do leta 2022 povečal skoraj za polovico, na 95,8 milijarde evrov) [5].

Tiskati je mogoče na veliko različnih materialov, kot so papir, različne folije, keramika, steklo, tekstil itd. Velika prednost funkcionalnega tiska v obliki tiskanja elektronike je v nizki ceni, pri čemer sta kakovost in trajnost še vedno dovolj visoki [6].

Funkcionalni tisk obsega vse od tiska etiket, ki nam omogočajo preverjanje temperature živil, pa do tiska čipov, uporabljenih v telefonih. Natisnemo lahko baterije, stikala, različne senzorce ali zaslone na dotik in s tem nadomestimo zahtevne in drage ter okolju neprijazne procese izdelovanja nešteto izdelkov [7]. Danes uporabljamo funkcionalni tisk tudi za tiskanje elektronike na tekstil. Takšen tekstil imenujemo (elektronski) e-tekstil in je vrsta pametnega tekstila, ki lahko sprejema oziroma reagira na dražljaje iz okolja; čipi lahko beležijo srčni utrip, temperaturo, lokacijo uporabnika itd. [8, 9].

Za tiskanje električno prevodnih vzorcev potrebujemo električno prevodno tiskarsko barvo, ki je ali na osnovi kovinskih oz. srebrovih delcev ali grafena [10]. Tiskarska barva mora imeti ustrezne reološke

lastnosti in odvisno od njih je z njo mogoče tiskati na površino tekstilnih materialov z različnimi tehnikami tiska kot so: globoki, flekso, sito in kapljični tisk [11]. Kot najboljše tehniki za tisk na tekstil sta se izkazala sitotisk in kapljični tisk [12]. Pri preučevanju tehnike sitotiska za tisk prevodnih elektronskih struktur na tkanine so ugotovili, da na tisk vpliva več dejavnikov, kot so: viskoznost barve, gostota (linijatura) sita in trdota rakla [13]. Bolj viskozna barva preprečuje razlivanje barve na površini tkanine in daje debelejši nanos barve. Z nižjo gostoto sita (manjše število niti/cm) naneseemo več tiskarske barve. Z mehkejšim raklom in z večjim številom potegov rakla dosežemo debelejši nanos tiskarske barve na tkanini. Debelejši nanos barve je koristen za ustrezno električno delovanje vzorca, vendar povzroča slabše mehanske obstojnosti odtisa [14]. V medicinske namene je bil razvit tudi poseben sistem sitotiska na tkanine, najprej s poliuretansko pasto, ki na tkanini tvori vmesni gladek sloj velike površinske energije, na katerega s srebрово tiskarsko barvo tiskajo prevodne vzorce in nanje nanesejo še sloj poliuretana za dodatno zaščito proti drgnjenju [15]. Ugotovljeno je bilo, da je sitotisk s tiskarskimi barvami na osnovi srebrovih delcev primeren za tisk RFID značk na tkaninah različnih tekstilnih materialov iz bombaža, viskoze, poliamida in iz poliestra v mešanicah z viskozo in bombažem, kjer so večjo obstojnost natisnjenih vzorcev na pranje dosegli še z zaščitnim termoplastičnim poliuretanskim slojem [16].

Namen naše raziskave je bil tehniko funkcionalnega sitotiska in z uporabo ustrezno električno prevodne tiskarske barve na osnovi srebrovih delcev na dveh različnih tekstilnih materialih, poliestrski tkanini in liocelni vlaknovini, natisniti delujočo RFID-anteno oz. izdelati pasivno UHF-RFID-značko. Kot referenco za primerjavo ustreznosti funkcionalnega tiska na

tekstilnem materialu smo za tisk RFID-antene uporabili papir, na katerem lahko dosežemo visoko stopnjo kakovosti odtisa. Pri tiskanju prevodne barve na tekstil je v primerjavi s papirjem problematična prepustnost tekstilnega materiala, ki lahko povzroči odtekanje nanosene barve in zato slabše električno prevodne odtise. Z ustrežno izbiro sita za izdelavo tiskarske šablone, z izborom ustreznega števila nanosov tiskarske barve, smo želeli optimizirati pogoje sitotiska za izdelavo električno prevodnih vzorcev anten. Prevodne odtise na izbranih tiskovnih materialih smo primerjali po kakovosti, električni prevodnosti in po površinskih obstojnostih, odtisnjene RFID-antene na različnih tiskovnih materialih pa tudi po obsegu delovanja.

2 Eksperimentalni del

2.1 Materiali

Tiskarska barva

Za tiskanje smo uporabili električno prevodno, termično sušečo tiskarsko barvo CRSN2442 SunTronic Silver 280 podjetja SunChemical z viskoznostjo 20–30 Pas, ki je namenjena za sitotisk na fleksibilni material. Uporabljena tiskarska barva je na osnovi srebrovih delcev in termoplastične smole ter vsebuje 69–71 % trdnih snovi [13].

Substrati

Za tisk smo uporabili:

- papir Color copy coated silk izdelovalca Mondi, ki je brezlesni, dvostransko svilnato premazan, z gramaturo 170 g/m² in CIE belino 139.
- 100-odstotno poliestrsko tkanino izdelovalca Velana, tovarna zaves, d. d., s ploščinsko maso 98,7 g/m², ki je bila pred tem obdelana z vodo- in oljeodbojno apreturo na osnovi fluorogljikovih polimerov.
- 100-odstotno liocelno vlaknovino izdelovalca Lenzing AG (Avstrija), s ploščinsko maso 50 g/m², ki pred tem ni bila obdelana.

2.2 Izdelava tiskarske šablone in tiskanje RFID-anten

Za izdelavo tiskarske šablone smo uporabili tri različna sita izdelovalca Grec, d. o. o. Sita so bila iz bele poliestrske (PET) tkanine iz monofilamentnih niti v platnovi vezavi, ki so se med seboj razlikovala po

število niti/cm in debelini niti (μm): 61–64, 77–55, 100–40. Sitotiskarske tkanine so bile napete na aluminijast okvir s silo 15 N.

Čista sita smo obojestransko osvojili z diazo fotopolimerno emulzijo Fotecoat 1010 (SAATI S.p.A), ki je primerna za tisk z vsemi vrstami sitotiskarskih barv. Po sušenju, smo osvojena sita UV-osvetlili skozi digitalno pripravljeno kopirno predlogo, prikazano na sliki 2, na kateri so bile preproste linije različnih debelin (0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 3 mm in 5 mm) in vzorec RFID-antene, ki je prerisana komercialna antena. Neosvetljeni deli fotoemulzije na tiskovnih površinah so se nadalje iz sita izprali.

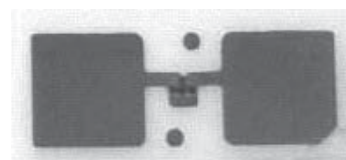


Slika 2: Kopirni predlogi, izdelani v Adobe Illustrator
Figure 2: Templates made in Adobe Illustrator

S tako izdelano tiskarsko šablono smo tiskali prevodno tiskarsko barvo na izbrane substrate s tehniko ročnega sitotiska. Najprej odtise preprostih linij, ki smo jih potrebovali za analizo tiskarske in tiskovne prehodnosti, nato pa smo na substrate odtisnili še RFID-antene. Tiskarsko barvo smo nanašali z enkratnim, dvakratnim in trikratnim nanosom. Uporabili smo rakel s kvadratno obliko, ki omogoča dobro ostrino tiska. Upoštevali smo kot tiskanja 75°, ki zagotavlja dobro prehajanje barve skozi sito na tiskovni material. Odtise smo vroče sušili 10 minut v IR-sušilnem tunelu pri temperaturi 150 °C.

2.3 Namestitev čipa in izdelava RFID-značke

Na odtisnjene vzorce RFID-anten smo po sušenju namestili čipe (slika 3) izdelovalca NXP Semiconductors, ki skrbijo za delovanje RFID-značke. Čipe smo pritrdili v sredino natisnjene RFID-antene (slika 4) z dvokomponentnim električno prevodnim lepilom izdelovalca Epoxy Technology Inc.



Slika 3: NXP-čip
Figure 3: NXP chip



Slika 4: Natisnjena RFID-antena s čipom
Figure 4: Printed RFID antenna with chip

2.4 Metode raziskav

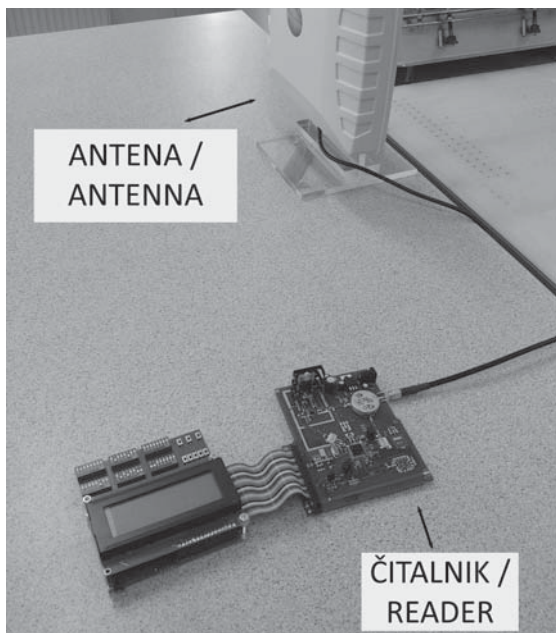
Na izbranih substratih smo vizualno ocenili kakovost odtisov, izmerili njihovo električno prevodnost in površinsko obstojnost proti drgnjenju ter preizkusili delovanje izdelanih RFID-značk.

Merjenje električne prevodnosti

Za merjenje električne prevodnosti odtisov smo uporabili multimeter DVM 1200 izdelovalca Velleman, kjer smo iz meritev električne upornosti (v enotah Ω m) izračunali električno prevodnost (v enotah S/m).

Testiranje odpornosti odtisa proti drgnjenju

Preizkušanje odpornosti površine odtisov proti drgnjenju smo izvajali na testni napravi za drgnjenje odtisov RT-01 podjetja Labthink, kjer smo uporabili vzorec odtisa v velikosti 200 mm x 76 mm, ki smo ga drgnili z velikostjo vzorca 270 mm x 51 mm, da smo dobili protiodtis, s 500 hodi s frekvenco 1,8 Hz in 2-kilogramsko utežjo.



Slika 5: Sprejemna antena in čitalnik RFID-značke
Figure 5: Receiving antenna and reader of RFID tag

Testiranje delovanja natisnjene RFID-značke

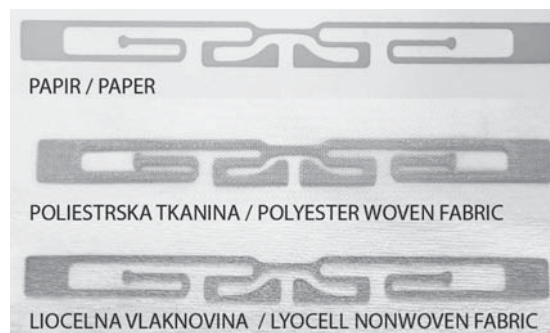
Delovanje dokončno izdelanih RFID-značk smo testirali z IDS RFID-čitalnikom (slika 5). To je naprava, sestavljena iz sprejemne antene, ki sprejme signal, in čitalnika, ki podatke razbere ter jih posreduje naprej v računalnik, ta pa potem podatke pretvori. Delovanje RFID-značke smo merili na odtisih, ki so pokazali najboljšo električno prevodnost in sicer tako, da smo merili moč sevanja RFID-značke (v enotah dBm) od razdalje 50 cm pa do razdalje 150 cm od sprejemne antene.

3 Rezultati z razpravo

3.1 Vizualna ocena kakovosti odtisa

Tisk na papir nam je bil osnova za primerjavo ustreznosti tiska na tekstil. Pri tekstilnem materialu je problematična njegova prepustnost za tiskarsko barvo in je zato po pričakovanjih odtis na papirju boljši.

Prva napaka, ki smo jo opazili na tekstilnem materialu, je bil zamik oz. neskladje pri večkratnem nanosu barve na obeh vrstah tekstilnega materiala. Tekstilnih substratov nam zaradi prožnosti materiala ni uspelo popolnoma fiksirati na sitotiskarsko mizo, prav tako je bil material rahlo naguban, kar je povzročilo zamik odtisa oz. napako neskladja, ki jo lahko vidimo na sliki 6.

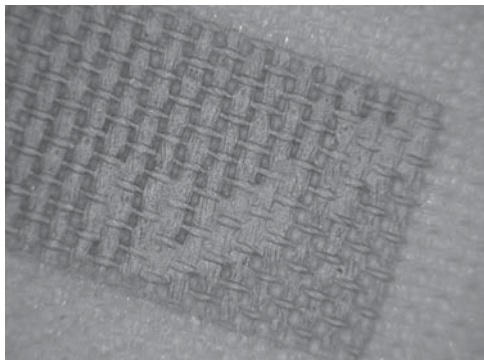


Slika 6: Odtisi RFID-antene na papirju in tekstilnih materialih

Figure 6: Prints of RFID antenna on paper and textile materials

Druga vidna napaka se je pokazala kot slab odtis, predvsem na poliestrski tkanini, zaradi prepustnosti tkanine, kar je razvidno na sliki 7, ki je bila zajeta z digitalno lupo. Tukaj opazimo majhne luknjice med vezavo tkanine, kjer je barva pronicala skozi materi-

al na podlago. Napaka ni le vizualno moteča, temveč lahko povzroči tudi, da končna RFID-značka ne deluje.



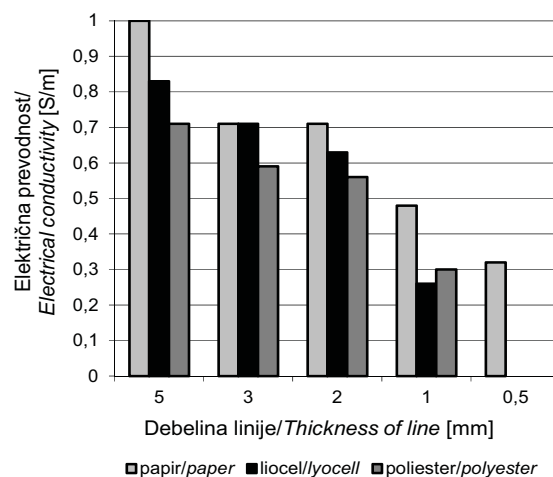
Slika 7: Slab odtis na tkanini zaradi prepuščanja barve

Figure 7: Poor print on polyester fabric due to ink rendering

3.2 Električna prevodnost odtisov

Meritve električne prevodnosti nam dajo pomemben podatek o prevodnosti tiskarske barve oz. natisnjene vzorca, ki je pri tisku RFID-antene pomemben dejavnik za pravilno delovanje značke. Na papirju so po pričakovanjih vse odtisnjene linije (od 0,5 do 5 mm) prevajale električni tok. Pri obeh tekstilih je bila prevodnost dokaj dobra, le na večini odtisov linije najmanjše debeline (0,5 mm) je bila prevodnost nična ali pa zelo slaba.

Kot najboljše električno prevodni odtisi so se izkazali vzorci linij, natisnjenih s sitom 61 niti/cm z enkratnim nanosom tiskarske barve in sicer na vseh treh tiskovnih materialih, na katere smo namestili tudi NXP-čipe in naprej merili razdaljo delovanja izdelane RFID-značke. Iz grafičnega prikaza na sliki 8 je razvidno, da je električna prevodnost vseh linij (od 0,5 do 5 mm), odtisnjenih na papirju, najboljše, sledijo odtisi na liocelni vlaknovini in najslabše prevodni so odtisi na poliestrski tkanini. Liocelna vlaknovina omogoča oblikovanje enakomernejšega sloja tiskarske barve kot poliestrska tkanina, kjer se zaradi tkane strukture ne ustvari neenakomeren sloj barve, zato odtisi slabše prevajajo električni tok. Pri odtisnjenih linijah debeline 3 mm in 2 mm se prevodnost na liocelu približa prevodnosti, doseženi na papirju, zmanjša pa se tudi razlika v prevodnosti s poliestrom. Pri najmanjši odtisnjeni debelini linije, 0,5 mm, na poliestru in liocelu pa je prevodnost nična in je dosežena le na papirju.

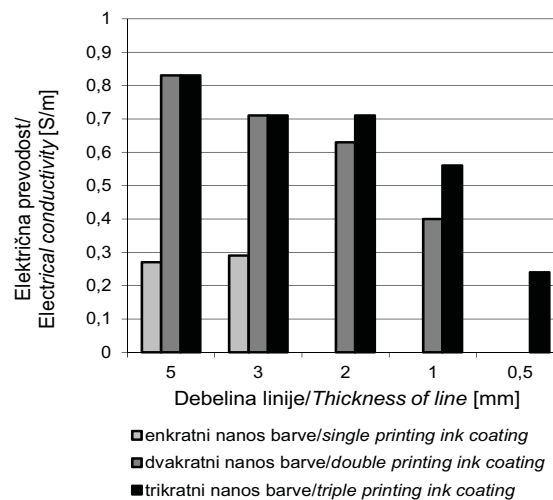


Slika 8: Električna prevodnost vzorcev različno debelih linij, odtisnjenih s sitom gostote 61 niti/cm na treh materialih

Figure 8: The electrical conductivity of samples of lines of different thicknesses printed with a mesh count of 61 threads per cm on three materials

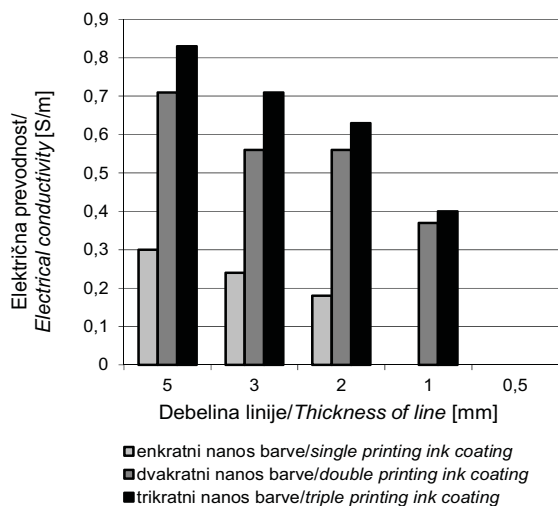
Na električno prevodnost odtisnjenih vzorcev pa ne vpliva le izbran substrat, temveč tudi izbrana gostota sita in število nanosov tiskarske barve.

Na sliki 9 lahko vidimo odvisnost električne prevodnosti natisnjenih vzorcev s sitom gostote 100 niti/cm od števila nanosov barve na poliestrski tkanini.



Slika 9: Odvisnost električne prevodnosti vzorcev linij različnih debelin, natisnjenih s sitom gostote 100 niti/cm, od števila nanosov tiskarske barve na poliestrski tkanini

Pri enkratnem nanosu barve imajo minimalno prevodnost le linije debeline 5 mm in 3 mm, pri dvakratnem nanosu barve je prevodnost veliko boljše, vendar linija debeline 0,5 mm ne prevaja električnega toka. Pri trikratnem nanosu barve prevajajo vse debeline linij. Na sliki 10 vidimo odvisnost električne prevodnosti natisnjenih vzorcev s sitom gostote 77 niti/cm od števila nanosov barve na poliestrski tkanini. Na poliestrski tkanini tudi trikratni nanos barve s tem sitom ni omogočil prevodnosti linije, debele 0,5 mm.

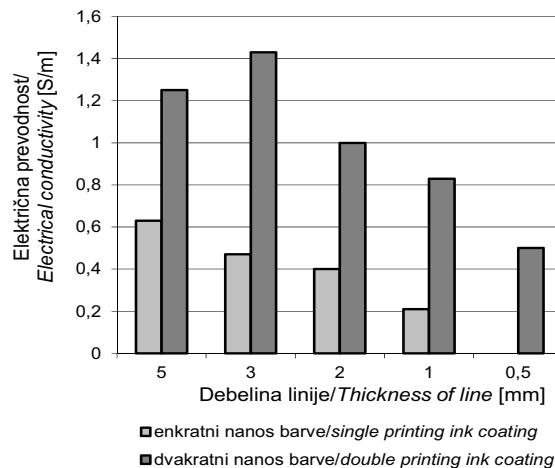


Slika 10: Odvisnost električne prevodnosti vzorcev linij različnih debelin, natisnjenih s sitom gostote 77 niti/cm, od števila nanosov tiskarske barve na poliestrski tkanini

Figure 10: Dependence of the electrical conductivity of samples of lines of different thicknesses printed with a mesh count of 77 threads per cm from the number of printing ink coatings on the polyester fabric

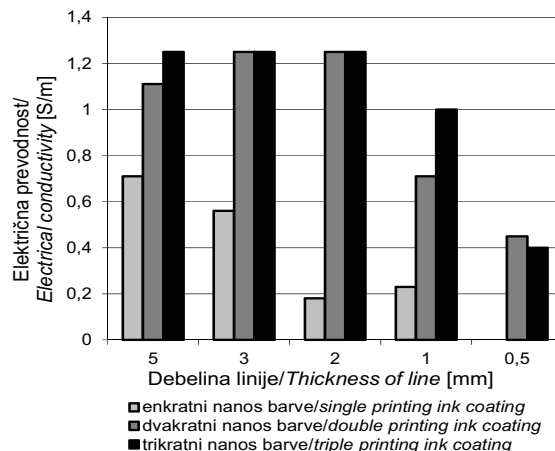
S sitom gostote 100 niti/cm na liocelni vlaknovini nismo naredili trikratnega nanosa barve, zato lahko med seboj primerjamo le prevodnosti linij pri enkratnem in dvakratnem nanosu barve (slika 11). Pri enkratnem nanosu barve je prevodnost bistveno slabša kot pri dvakratnem nanosu, pri najmanjši debelini linije 0,5 mm pa le z enkratnim nanosom barve prevodnosti ne dosežemo.

Tudi s sitom gostote 77 niti/cm na liocelni vlaknovini (slika 12) pri enkratnem nanosu barve pri tisku 0,5 mm debele linije prevodnosti ne dosežemo. Dvakratni nanos barve je omogočil dovolj veliko električno prevodnost linij. Pri linijah, debelih 3 mm in 2 mm, že z dvakratnim nanosom barve dosežemo enako veliko električno prevodnost kot s trikratnim nanosom.



Slika 11: Odvisnost električne prevodnosti vzorcev linij različnih debelin, natisnjenih s sitom gostote 100 niti/cm, od števila nanosov tiskarske barve na liocelni vlaknovini

Figure 11: Dependence of the electrical conductivity of samples of lines of different thicknesses printed with a mesh count of 100 threads per cm from the number of printing ink coatings on the lyocell nonwoven textile



Slika 12: Odvisnost električne prevodnosti vzorcev linij različnih debelin, natisnjenih s sitom gostote 77 niti/cm, od števila nanosov tiskarske barve na liocelni vlaknovini

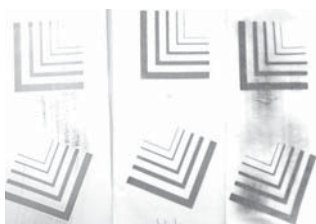
Figure 12: Dependence of the electrical conductivity of samples of lines of different thicknesses printed with a mesh count of 77 threads per cm from the number of printing ink coatings on the lyocell nonwoven textile

3.3 Površinska odpornost odtisov

S površinsko odpornostjo odtisa na drgnjenje lahko ocenimo sposobnost odtisa, da pri dodelavi, pakiranju in uporabi, ko prihaja v stik z drugimi površinami in materiali, še vedno ohranja svojo kakovost. Površinska odpornost odtisa je zelo pomembna pri

funkcionalnem tisku RFID-anten, saj s poškodovanjem površine natisnjene vzorca lahko izgubimo njegovo električno prevodnost, ki je za delovanje RFID-značke bistvenega pomena.

Za ugotavljanje odpornosti odtisa proti drgnjenju smo uporabili testni aparat, ki posnema drgnjenje po površini odtisa z vzorcem enakega materiala, iz dobljenega nasprotnega odtisa na vzorcu enakega materiala pa smo vizualno ocenili površinsko odpornost odtisa (slika 13). Izkazalo se je, da je odpornost odtisov na vseh treh substratih slaba, saj se je barva z odtisov na vseh materialih prenesla na drgnjene vzorce. Izmed vseh uporabljenih materialov so imeli odtisi na papirju najboljšo odpornost proti drgnjenju z najmanjšim prenosom barve, najslabšo odpornost pa odtisi na liocelni vlaknovini, kjer je bilo na nasprotnih odtisih občutno več prenesene barve kot pri drugih dveh materialih.



Slika 13: Drgnjeni odtisi po testu površinske odpornosti, prvi z leve je vzorec na papirju, srednji je na poliestrski tkanini, tretji je na liocelni vlaknovini

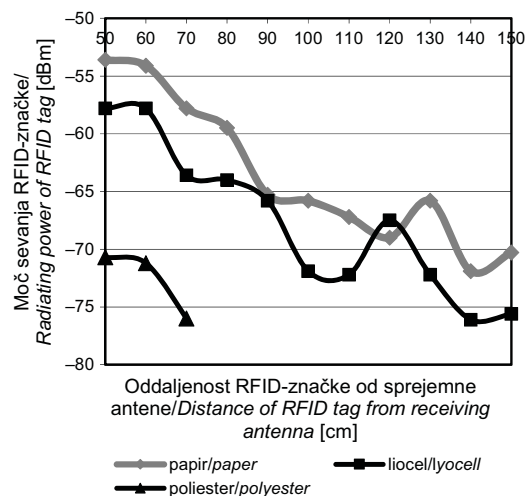
Figure 13: Rubbed prints after the abrasion resistance test, the first one on the left is a sample on paper, the middle one is on polyester fabric, the third one is on lyocell nonwoven textile

Po opravljenem testu površinske odpornosti proti drgnjenju smo vizualno ocenili še testirane odtise električno prevodnih linij na tiskovnih materialih (prikazani na sliki 13). Odtisi na papirju so bili po testu drgnjenja vidno poškodovani. Odtisi na poliestrski tkanini so bili videti nepoškodovani, vendar se je na njihove nasprotne odtise vidno prenesla barva. Na liocelni vlaknovini pa je bila vidna tako poškodba odtisa kot tudi same tekstilije, kar dodatno dokazuje najslabšo površinsko odpornost.

3.4 Delovanje RFID-značke

Izdelane RFID-značke so na vseh treh materialih delujoče kljub slabi električni prevodnosti obeh tekstilnih materialov pri tanjših debelinah linij. RFID-značka na poliestrski tkanini deluje le do 60 cm oddaljenosti od sprejemne antene (slika 14). Že meritve električne

prevodnosti odtisnjenih RFID-anten (slika 8) so pokazale, da vzorec barve, odtisnjen na liocelni vlaknovini, veliko bolje prevaja električni tok kot na poliestrski tkanini in se po prevodnosti tudi najbolj približa odtisom na papirju. RFID-značka, natisnjena na liocelu, deluje na oddaljenosti 150 cm od sprejemne antene čitalnika in dosega enako razdaljo delovanja kot RFID-značka na papirju (slika 14).



Slika 14: Odvisnost moči sevanja RFID-značke na treh substratih od oddaljenosti sprejemne antene

Figure 14: Dependence of the radiating power of the RFID tag on three printing materials from distance of the receiving antenna

4 Sklep

Pri funkcionalnem sitotisku RFID-anten z električno prevodno tiskarsko barvo na osnovi srebrih delcev smo ugotovili, da najboljše rezultate v električni prevodnosti odtisov na vseh treh substratih dosežemo z najbolj prepustnim sitom, ki ima 61 niti/cm, kjer je dovolj že enkratni nanos tiskarske barve.

Pri primerjavi treh tiskovnih materialov za tiskanje RFID-anten smo ugotovili, da najboljše rezultate glede tiskovne kakovosti dosega papir, ki mu po dobri električni prevodnosti in v enakem obsegu delovanja RFID-značke (do razdalje 150 cm od sprejemne antene čitalnika) sledi liocelna vlaknovina. Kot najslabši tiskovni material pa se je v prevodnosti in obsegu delovanja odtisnjene RFID-antene izkazala poliestrski tkanina, ki je pri samem tisku prepustila preveč električno prevodne tiskarske barve, da bi vzorec RFID-antene obdržal električno prevodnost, doseženo na

liocelni vlaknovini oz. papirju. RFID-značka na poliesterški tkanini je tudi zato delovala na 2,5-krat krajši razdalji kot na liocelni vlaknovini in papirju. Najbolj problematično je tiskanje najtanjših linij (0,5 mm), kjer je bila električna prevodnost pri enkratnem nanosu tiskarske barve na obeh tekstilnih materialih nična, vendar smo dokazali, da jo lahko povečamo z večkratnim nanosom tiskarske barve.

Površinska obstojnost odtisov prevodnih linij oz. RFID-anten proti drgnjenju je bila na vseh treh tiskovnih materialih slaba, saj se je barva prenašala na drgnjene vzorce, odtisi na papirju in liocelni vlaknovini pa so bili po drgnjenju tudi vidno poškodovani. Dokazali smo, da odtisnjene RFID-značke uspešno delujejo tudi na tekstilnem materialu. Liocelna vlaknovina se je sicer izkazala kot boljši tekstilni tiskovni material, na njej so bili odtisi le nekoliko slabše električno prevodni kot odtisi na papirju, vendar pa imajo slabšo površinsko odpornost kot odtisi na poliesterški tkanini.

Viri

- MUCK, Tadeja, BOGATAJ, Urška. RFID tehnologija sedanjosti in prihodnosti. *Grafičar*, 2009, **15**(6), 20-25.
- RFID/NFC enabled smart washing machine detects fabric, supports remote maintenance [dostopno na daljavo]. *ENP Newswire*, 2012 *March 1* [citirano 24. 2. 2018]. Dostopno na svetovnem spletu: <<https://nxp-rfid.com/rfidnfc-enabled-smart-washing-machine-detects-fabric-supports-remote-maintenance>>.
- WANG, Shiqi, CHONG, Ngai Lok, VIRKKI, Johanna, BJÖRNINEN, Toni, SYDÄNHEIMO, Lauri, UKKONEN, Leena. Towards washable electrotextile UHF RFID tags: reliability study of epoxy-coated copper fabric antennas [dostopno na daljavo]. *Hindawi Publishing Corporation, International Journal of Antennas and Propagation*, **2015** [citirano 24. 2. 2018], article ID 424150, 1-8. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://dx.doi.org/10.1155/2015/424150>>.
- KLEIST, Robert A., CHAPMAN, Theodore A., SAKAI, David A., JARVIS, Brad S. *RFID labelling. Smart labelling concepts and application for the consumer packaged supply chain*. 2. izdaja. Irvine, CA : Printronix,, 2005, 30 str.
- Smithers Pira forecasts functional and industrial printing market to grow to \$114.8 billion by 2022 [dostopno na daljavo]. *Smithers Pira* [citirano 31. 8. 2017]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.smitherspira.com/news/2017/august/functional-and-industrial-print-market-growth>>.
- Functional printing market [dostopno na daljavo]. *Electronic marker* [citirano 19. 8. 2017]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://electronicsmaker.com/functional-printing-market>>.
- VRABIČ BRODNJAK, Urška, MUCK, Deja, GABRIJELČIČ TOMC, Helena, KARLOVITS, Igor, GREGOR-SVETEC, Diana, STAREŠINIČ, Marica. Printed smart labels in packaging. V *Printed electronics: technologies, applications and challenges*. Uredila Kylian Yvon in Nathan Fabrice. New York : Nova Science Publishers, 2017, str. 1-80.
- NURSE, Jon. Smart fabric inks: printing technology onto future fashions [dostopno na daljavo]. *Futureworlds*, 2015 [citirano 2. 9. 2017]. Dostopno na svetovnem spletu: <<https://futureworlds.com/smart-fabric-inks-printing-technology-onto-future-fashions/>>.
- DUFFY, Kaylie. Smart fabric sensors make wearables look good [dostopno na daljavo]. *Mdtmag*, 2015 [citirano 2. 9. 2017]. Dostopno na svetovnem spletu: <<https://www.mdtmag.com/article/2015/01/smart-fabric-sensors-make-wearables-look-good>>.
- KLANČNIK, Maja, GABRIJELČIČ TOMC, Helena, GREGOR-SVETEC, Diana, STAREŠINIČ, Marica, RIJAVEC, Tatjana. Electrically conductive textile materials and printing inks for wearable technology. V *Printed electronics: technologies, applications and challenges*. Uredila Kylian Yvon in Nathan Fabrice. New York : Nova Science Publishers, 2017, str. 81-126.
- HONARVAR, Mozhdeh Ghahremani, LATIFI, Masoud. Overview of wearable electronics and smart textiles. *Journal of Textile Institute*, 2016, **108**(4), 631-652, doi: 10.1080/00405000.2016.1177870.
- SUH, M. E-textiles for wearability: review of integration technologies [dostopno na daljavo]. *Textile World*, April 20, 2010 [citirano 19. 7. 2017]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.textileworld.com/textile-world/features/2010/04/e-textiles-for-wearability-review-of-integration-technologies>>.
- Technical information leaflet CRSN2442 thermal drying silver conductive ink. Sun Chemical, september 2009, str. 2-6.