

Bojana Hvala, Barbara Simončič in Tadeja Muck

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, Snežniška 5, 1000 Ljubljana

## Vpliv prisotnosti apreture in vode na delovanje pasivnih značk UHF RFID na različnih tkaninah

### *Influence of Finishing and Water on Functioning of Passive UHF RFID Tags on Different Fabrics*

Izvirni znanstveni članek/Original Scientific Paper

Prispelo/Received 04-2014 • Sprejeto/Accepted 05-2014

#### Izveček

Raziskava sega na področje uporabe interaktivne radiofrekvenčne identifikacijske tehnologije (RFID) pri označevanju tekstilij in oblačil. Namen raziskave je bil v realnem okolju proučiti vpliv prisotnosti apreture in vode na delovanje pasivnih ultravisokofrekvenčnih značk (UHF) RFID na različnih vrstah tkanin. Proučena je bila čitljivost značk na suhih in mokrih neapretiranih in apretiranih vzorcih bombažne in poliestrske tkanine. Uporabljena je bila vodo- in oljeodbojna nanokompozitna sol-gel apretura na podlagi fluoroalkil-funkcionalnega oligosiloksana, ki je bila nanesena tako na tkanino kot na značke. Izmerjena je bila frekvenca odčitavanja v odvisnosti od razdalje med značko RFID oziroma značkami, nameščenimi na tkaninah, in anteno čitalnika RFID. Ugotovljeno je bilo, da voda negativno vpliva na delovanje značk UHF RFID, saj le-ta radiofrekvenčno valovanje absorbira. Omočenje ima večji vpliv pri bombažni kot pri poliestrski tkanini. Značke, nameščene neposredno na prvi plasti tkanin, dosegajo najboljše rezultate. Namestitev treh značk zaporedoma druge za drugo med plasti tkanine povzroči vpliv senčenja, posledično pa se tudi zmanjšata število in točnost odčitavanja. Z nanosom vodo- in oljeodbojne apreture se vpliv omočenja zmanjša, posledično pa se izboljša odzivnost značk. Ugotovljeno je bilo tudi, da apretura pozitivno vpliva tako na čitljivost značk v bližnjem polju, to je povprečno maksimalno dolžino odčitavanja, kot na povečanje odzivnosti značk, če so le-te na tkaninah nameščene v obliki prekrivanja. Ključne besede: značka UHF RFID, standard Gen 2, vodo- in oljeodbojna apretura, bombažna tkanina, poliestrska tkanina

#### Abstract

*The research focuses on the area of interactive radio frequency identification technology (RFID) and its use in the tagging of textile and garments. The research aim was to take into consideration the influence of water and water-repellent finishing in a real environment on the operability of passive ultra-high frequency (UHF) RFID tags on different types of fabric. The tags reading rate on dry, wet, non-repellent and water-repellent finished cotton and polyester fabrics was studied. The water- and oil-repellent nanocomposite sol-gel finishing with fluorocarbon functional precursors was applied on fabrics as well as on tags. The reading frequency depending on the distance between an RFID tag or tags, respectively, fixed on fabrics and the reader antenna was measured. It was found that water has a negative impact on the reading rate of UHF RFID tags, since it absorbs the radio frequency waves. Wetting has a larger effect on cotton than on polyester fabrics. The tags positioned on the first fabric layer show the best results. The positioning of three tags successively one after another between layers of fabric causes a shadowing effect and reduction of reading rate and reading accuracy. With the application of the water and oil-repellent nanocomposite sol-gel finishing, the effect of wetting is reduced and consequently, tags responsiveness increases. It was also found out that finishing has a positive impact on the tag readability in the near field, i.e. on average the maximum reading length, as it has on the increase of tag responsiveness if they are positioned successively on the fabrics in the manner of overlapping.*

*Keywords: UHF RFID tag, Gen 2 standard, water- and oil-repellent finishing, cotton fabric, polyester fabric*

Korespondenčna avtorica/Corresponding author:

**prof. dr. Tadeja Muck**

Telefon: +386 1 200 32 84

E-pošta: tadeja.muck@gmail.com

*Tekstilec*, 2014, letn. 57(2), str. 153–163

DOI: 10.14502/Tekstilec2014.57.153–163

## 1 Uvod

Želja po hitrejšem, zanesljivejšem, varnejšem, bolj avtomatiziranem in poenotenem sistemu označevanja in sledenja različnih izdelkov presega uporabo doslej zelo uveljavljene črtne kode [1]. Tako se čedalje bolj uveljavlja tehnologija radijskofrekvenčne identifikacije, RFID, pri kateri identifikacija izdelkov poteka s pomočjo elektromagnetnega valovanja v območju radijskih frekvenc. Osnova tehnologije je značka, sestavljena iz integriranega vezja, čipa in antene. Značka omogoča komunikacijo in izmenjavo podatkov med sledenim izdelkom in čitalnikom v lokalnem in globalnem informacijskem sistemu [1, 2]. Odčitavanje značke poteka prek oddajanja signala čitalnika na določeni frekvenci, ki inducira napetost v znački. Značka nato posreduje zapisane podatke prek moduliranega signala [1, 3]. Čitalnik lahko hkrati komunicira z več značkami, teoretično z do 1000 značkami na sekundo z več kot 98-odstotno natančnostjo. Komunikacija med značko in čitalnikom je vezana na protokole in standarde [4], med zadnjimi so zelo pomembni standardi, ki jih opredeljuje EPCglobal [5].

Značke RFID delimo po frekvenčnih območjih delovanja [1, 2], in sicer na nizkofrekvenčne, LF (an. *Low Frequency*), visokofrekvenčne, HF (an. *High Frequency*) in ultravisokofrekvenčne, UHF (an. *Ultra High Frequency*), kot tudi glede na vir napajanja (aktivne, pasivne in polpasivne značke) [1, 2, 6, 7]. Pasivne značke so v primerjavi z aktivnimi manjše, lažje, cenejše, manj zahtevne za izdelavo in vzdrževanje in imajo daljšo življenjsko dobo. Njihov doseg je krajši in so občutljivejše na motnje kot aktivne značke. Uporabnost pasivnih značk je bolj razširjena, izdelava le-teh pa se seli na področje funkcionalnega tiska oziroma tiskane elektronike [6, 8].

Pasivne značke UHF RFID, ki delujejo na frekvencah 860–960 MHz [9], nimajo lastnega napajanja, energijo dobijo iz elektromagnetnega polja čitalnika [3]. Posledica tega je, da so občutljive na različne dejavnike, predvsem pa na prisotnost kovin in tekočin. Na delovanje vplivajo vrsta in oblika antene ter tudi pozicija čitalnika. Pri odčitavanju nastanejo problemi, če so značke medsebojno premalo oddaljene. Posledično se lahko zmanjša prejeta energija in z njo odzivnost značk. Zato je priporočena minimalna razdalja med značkami, da lahko odčitamo vse [9].

### 1.1 Aplikacije na področju tekstilstva

Na področju tekstilstva se čedalje bolj uporabljajo pasivne značke UHF RFID. Uporaba le-teh omogoča optimizacijo procesov logistike, sledenje izdelkov in točnost zalog v trgovinah, učinkovitejšo izrabo časa in zmanjšanje stroškov. V trgovinah Dilard Store [10], JC Penny [11] in Bloomingdales [12] so testirali uporabo pasivnih značk UHF RFID. Proučili so možnosti preprečevanja kraje, preverjanja stanja zalog ipd. Podjetja, kot so American Apparel [13], ITC [14], Eren Holding [15] in Seidensticker [16], že uporabljajo omenjeno tehnologijo. Ugotovili so, da se jim je povečala prodaja in predvsem zmanjšala izguba pri dobavi blaga. Učinkovitost delovne sile in izrabo delovnega časa so s pomočjo omenjene tehnologije testirali v podjetju iz Hongkonga. Tehnologijo RFID so integrirali na okrog 8000 šivalnih mestih, da lahko sledijo številu oblek, ki jih naredi posamezen delavec [17]. Eno vodilnih podjetij pri promoviranju tehnologije RFID, Metro Group, v svoji veleblagovnici Galeria Kaufhof uporablja navedeno tehnologijo za t. i. pametne police, ki vsebujejo podatke o velikosti in vrsti oblačil. Priložnost je tudi v interaktivnih ogledalih in zaslonih, ki predlagajo dodatke ali ujemajoče se izdelke k že izbranemu oblačilu [18]. Čedalje bolj se za namen sledenja perila in oblačil uveljavljajo tudi posebne značke RFID, ki so obstojne na pranje, kemično čiščenje in sušenje.

Na univerzi Arkansas so na inštitutu opravili raziskavo o možnostih za uporabo značk RFID na oblačilih in obutvi. Uporabljene so bile pasivne značke UHF Gen2 RFID, ki so jih namestili na različna oblačila in obutev, ki so po navadi prisotna v prodajalni. Za uspešno sledenje oziroma odčitavanje značk je zelo pomembno, kje na oblačilu je nameščena značka. Če je prisotnih več izdelkov skupaj, se zmanjša čitljivost značke zaradi senčenja [19]. V zadnjem času potekajo tudi intenzivne raziskave na področju tiska anten s prevodno tiskarsko barvo neposredno na netkanih tekstilijah [20]. Na trg prihajajo tudi t. i. pametne značke RFID, ki imajo na čipu vključene različne senzorje za komunikacijo v pametnih tekstilijah [21].

Podjetje NXC Semiconductors je izdelalo pralni stroj, ki samodejno prepozna in nastavi program z uporabo tehnologije komunikacije RFID in NFC (an. *Near Field Communication*) v bližnjem polju. Značke RFID omogočajo, da pametni pralni stroj pred začetkom pranja samodejno zazna vrsto tkanine in barvo [22].

### 1.2 Odčitavanje značk (Friisov zakon)

Razdalja odčitavanja sistema RFID v praznem prostoru, ki deluje na valovni dolžini  $\lambda$ , je odvisna od sevalne moči čitalnika  $P_{TX}^{rd}$ , ojačenja antene  $G_{rd}$  čitalnika in ojačenja antene značke  $G_{tag}$ . Moč  $P_{RX}^{tag}$  ki jo dobi značka na razdalji  $r$  od čitalnika, ponazorimo s Friisovo enačbo 1 [6]:

$$P_{RX}^{tag} = P_{TX}^{rd} G_{rd} G_{tag} \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (1)$$

Preneseno moč signala označimo s  $P_{TX}$ , prejeti signal  $P_{RX}$ , moč na čitalniku  $P^{rd}$  in moč na znački  $P^{tag}$ . Prav tako omenjena Friisova enačba velja za nasprotno smer, ko značka odda signal in ga čitalnik prejme. V tem primeru je moč povratnega moduliranega signala, ki ga prejme čitalnik, proporcionalna z  $r^{-4}$ . Maksimalna razdalja delovanja je odvisna od minimalne moči, ki je potrebna za »vzbuditev« pasivne značke  $P_{min}^{tag}$ , ki je šestkrat večja od minimalne moči čitalnika  $P_{min}^{rd}$ , potrebne za demodulacijo povratnega signala. Maksimalno območje delovanja v praznem prostoru  $R_{forward}$  je določeno z enačbo 2:

$$R_{forward} = \left( \frac{\lambda}{\pi r} \right) \sqrt{\frac{P_{TX}^{rd} G_{rd} G_{tag}}{P_{min}^{tag}}} \quad (2)$$

Primer ponazorimo s čitalnikom z močjo oddajanja  $P_{TX} = 500$  mW in značko z  $\lambda/2$  dipolno anteno z ojačenjem  $G_{tag} = 2,2$  dBi, ki se zbudi pri moči  $P_{min}^{tag} = \eta W$ . Maksimalno območje delovanja pasivne značke v praznem prostoru je za omenjeni primer 2,4 m. Doslej je bilo predpostavljeno popolno ujemanje antene in integriranega vezja značke, kar pomeni, da je koeficient prenosa  $\tau = 1$ . Na splošno je koeficient prenosa določen z naslednjo zvezo:

$$\tau = \frac{4R_{chip}R_{ant}}{|Z_{ant} + Z_{chip}|^2} \quad (3)$$

kjer je impedanca čipa  $Z_{chip}$  in antene  $Z_{ant}$  vsota upornosti  $R$  in reaktance  $X$ :  $Z = R + iX$ .

Koeficient prenosa je največji, ko sta reaktanci antene in čipa nasprotno enaki [6]. V tem primeru pride do popolnega ujemanja in je koeficient prenosa enak 1, v vseh drugih primerih pa je koeficient manjši.

### 1.3 Vpliv okolja in materialov na odčitavanje

Na učinkovito delovanje sistema poleg razdalje med čitalnikom in značko vpliva tudi usmerjenost tako antene značk kot antene čitalnika ter okolje, v katerem se sistem nahaja. Okolje in materiali lahko šibijo radiofrekvenčni signal in tako povzročajo probleme pri točnosti odčitavanja. Najpogostejši materiali, ki povzročajo težave tehnologiji RFID, so kovine in tekočine. Če se nahajajo med značko in čitalnikom, lahko zelo oslabijo signal [9]. Kovinski predmeti elektromagnetne valove odbijajo [6]. Negativen vpliv kovinske folije in kovin na odčitavanje značk je pojasnjen v literaturi [6, 23, 24].

Tekočina valovanje absorbira, kar močno otežuje odčitavanje. Molekule vode se obnašajo kot majhne dipolne antene. Vsaka antena UHF, ki je v neposredni bližini vode, bo izgubljala energijo in povzročila razglasitev antene [6, 9, 23, 24, 25]. Voda ima lahko večji vpliv kot aluminijasta folija tudi tedaj, ko je značka prekrita z njo [25].

### 1.4 Kolizija in senčenje

Če imamo en čitalnik in več značk, nastajajo problemi kolizije in senčenja med značkami. Prav tako medsebojna bližina značk vpliva na delovanje sistema zaradi premajhne medsebojne razdalje, posledica tega je senčenje. Dokazano je, da se s številom značk učinek senčenja povečuje, značke dobijo premalo energije, kar zmanjša število odčitavanj [9].

Ker je lahko v dosegu čitalnika več značk, mora ta znati sprejemati in obdelati več odzivov hkrati, po možnosti stotine v sekundi. Razvrščanje in posamezno izbiranje značk omogočajo algoritmi za izogibanje koliziji. Čitalnik lahko postavi določeno značko v stanje »spanja«, določene pa »zbudi« in tako prepreči vpliv neizbranih značk [2].

Namen naše raziskave je bil v realnem okolju proučiti vpliv vode, vrste tkanin in apreture na delovanje pasivnih značk UHF RFID. Proučena je bila čitljivost značk na suhih in mokrih ter apretiranih in neapretiranih vzorcih bombažne in poliestrske tkanine. Za apretiranje smo uporabili sol-gel nanokompozitne apreture s fluoroogljikovimi funkcionalnimi prekurzorji. Apertura je bila nanesena tudi na same značke. Beležili smo frekvenco odčitavanja v odvisnosti od razdalje med značko RFID oziroma značkami, nameščenimi na tkaninah, in anteno čitalnika.

## 2 Eksperimentalni del

### 2.1 Uporabljeni materiali

#### Značka RFID in čitalnik

V raziskavi smo uporabili specialno pasivno značko UHF RFID izdelovalca Global Tag Srl., imenovano Laundry tag (v nadaljevanju značka). Značka je namenjena za označevanje tekstilij in je odporna na sto zaporednih pranj in kemičnih čiščenj. Je linearna, dipolna značka, ki deluje v skladu s standardom EPC-global Class1 Generacija 2. Deluje na frekvenčnem območju 860–960 MHz. Temperaturno območje delovanja je zelo široko, in sicer od  $-20$  do  $+85$  °C. Njena velikost je  $43 \times 9$  mm, teža pa le 0,2 g.

Pri merjenju smo uporabili čitalnik Motorola MC9090 G RFID-Mobile, ki ima vgrajeno horizontalno linearno polarizirano anteno in deluje na UHF-frekvenci od 865,7 do 867,5 MHz in ima izhodno moč 0,5 W oziroma 27 dBm.

#### Tkanine in apreturno sredstvo

Čitljivost značk smo proučili na neapretiranih in apretiranih suhih in mokrih tkaninah iz 100-odstotnih bombažnih vlaken (bombažna tkanina) in 100-odstotnih poliestrskih vlaken (poliestrska tkanina). V preglednici 1 so zbrani podatki o ploščinskih masah uporabljenih tkanin.

Za apretiranje tkanin in značk smo uporabili vodo- in oljeodbojni prekursor sol-gel (FAS), ki je kemijsko fluoroalkil-funkcionaliziran oligosiloksan (Dynasylan F 8815, Evonic Industries, Nemčija).

### 2.2 Apretiranje tkanin in značk

Za apretiranje smo pripravili 10-odstotno vodno raztopino FAS in jo na tkanini nanesli s škropljenjem tako, da so se tkanine popolnoma omočile z apreturno kopeljo. Še mokre apretirane tkanine smo nato prekrili s polivinilkloridno folijo in pustili odležati 24 ur. Sledili sta sušenje na zraku in kondenziranje v sušilniku pri  $150$  °C (5 minut). Apreturo smo na značke nanesli tako, da smo značke za 24 ur

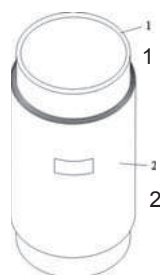
potopili v 10-odstotno raztopino FAS, nato pa sta sledili sušenje in kondenziranje na enak način kot pri apretiranju tkanin.

### 2.3 Način izvedbe meritev

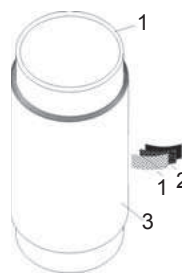
Meritve smo izvedli na neapretiranih in apretiranih suhih in mokrih tkaninah. Mokre tkanine smo pripravili v pralnem stroju, kjer smo jih pred tem 15 minut prali v hladni vodi brez pralnega praška, nato pa vodo izčrpali in tkanine centrifugirali pri 900 vrtljajih/min. Po vsakem pranju smo tkanine tehtali.

Tkanino smo prepognili tako, da smo dobili osem slojev v velikosti približno  $45 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ . Nato smo tkanino z lepilnim trakom namestili na kartonski valj. Na tkanino na kartonskem valju smo namestili značke, in sicer na dva načina:

- posamezna značka je bila nameščena neposredno na prvi plasti tkanine (slika 1) in
- tri značke so bile nameščene zaporedoma druga za drugo (prekrivanje) tako, da je bila prva značka na tretji plasti tkanine, druga na peti in tretja na sedmi plasti tkanine (slika 2).



Slika 1: Posamezna značka, nameščena neposredno na prvi plasti tkanine, ki ima osem plasti; 1 – kartonski valj, 2 – tkanina z značko

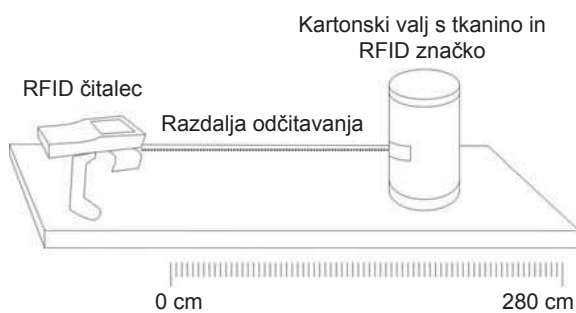


Slika 2: Tri značke, nameščene zaporedoma druga za drugo (prekrivanje) med tkanino, ki ima osem plasti; prva značka je na tretji plasti tkanine, druga na peti in tretja na sedmi plasti tkanine; 1 – kartonski valj, 2 – namestitev treh značk v tkanini, 3 – osem plasti tkanine

Preglednica 1: Ploščinska masa tkanin

| Tkanina     | Ploščinska masa ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) |       |            |       |
|-------------|---|-------|------------|-------|
|             | neapretirana                              |       | apretirana |       |
|             | suha                                      | mokra | suha       | mokra |
| Bombažna    | 129,3                                     | 209,6 | 132,1      | 193,2 |
| Poliestrska | 65,2                                      | 81,4  | 62,9       | 78,9  |

Kartonski valj s tkanino in značkami smo namestili na leseno mizo tako, da je bil v neposredni bližini antene čitalnika (medsebojna razdalja je bila 0 cm). Razdaljo med čitalnikom in značko smo povečevali s korakom po 2 cm do 280 cm (slika 3). Merili smo frekvenco odčitavanja (število odčitanih značk na sekundo) v odvisnosti od razdalje med značko in anteno čitalnika. Meritve smo izvedli v realnem okolju, kjer so bile prisotne radiofrekvenčne motnje (kovinski in drugi elementi, naprave, lesena miza, kartonski valj, tkanina ipd.). Vsaka posamezna meritve je bila ponovljena trikrat, kot rezultat pa so podane povprečne vrednosti vseh treh meritev. Maksimalna vrednost frekvence oziroma števila odčitanih značk je bila 9 značk/s.



Slika 3: Merilno okolje. Značka, nameščena na optimalnem položaju dosega antene.

Graf izvedbe meritev je prikazan na sliki 4. Iz slike je razvidno bližnje polje ali povprečna maksimalna dolžina odčitavanja brez interference (pri najvišji

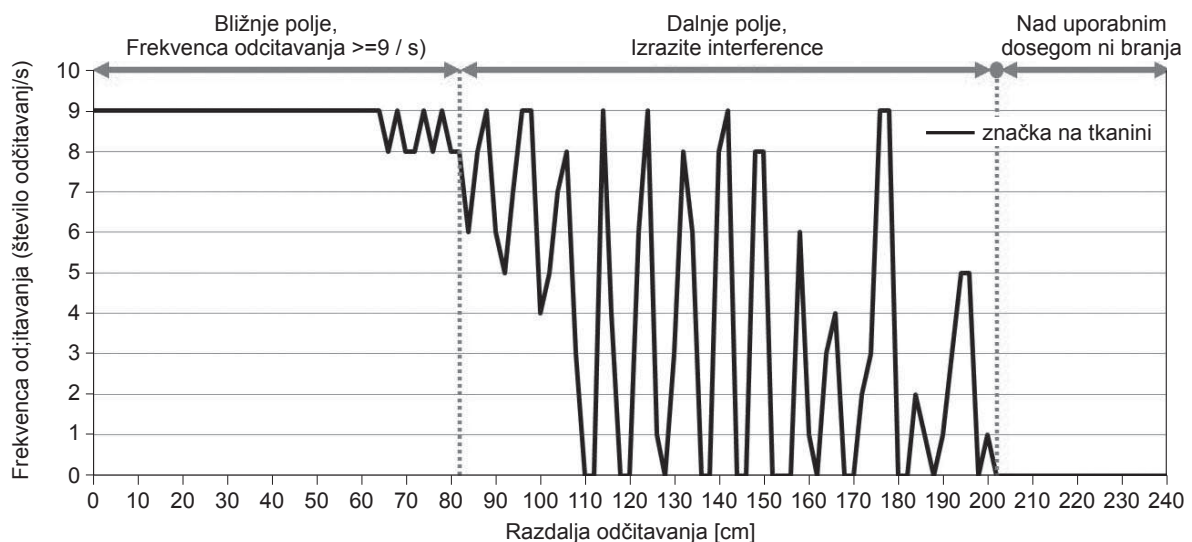
frekvenci odčitavanja 9 značk/s), daljno polje, kjer je razviden pojav izrazite interference s periodo, ki se lahko spreminja (npr. od  $\lambda/4$  do  $\lambda/2$  in značka je ali pa ni zaznana oziroma odčitana) do območja nad uporabnim dosegom, kjer ni branja (končna dolžina odčitavanja značk). Najpomembnejše je za kakovostno odčitavanje bližnje polje, torej povprečna maksimalna dolžina odčitavanja brez interference.

### 3 Rezultati z razpravo

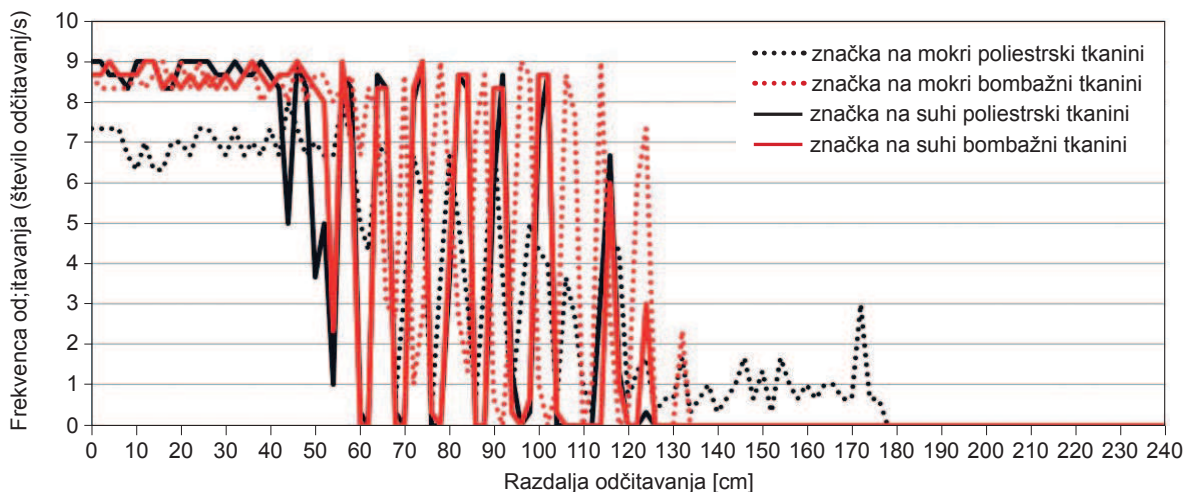
#### 3.1 Značka na prvi plasti tkanine

Na sliki 5 so predstavljeni rezultati meritev odzivnosti neapretirane značke, nameščene neposredno na prvi plasti neapretirane bombažne in poliestrske tkanine (slika 2). Iz slike je razvidno, da okolje, kjer so prisotne radiofrekvenčne motnje, vpliva na čitljivost značk. Zaradi motenj ni dosežena najdaljša razdalja odčitavanja (2 m), ki je navedena v specifikaciji značk. Najdaljša razdalja odčitavanja 1,8 m je dosežena le pri mokri poliestrski tkanini ob prisotni očitni interferenci.

Iz slike 5 je razvidna podobna odzivnost značke na suhi bombažni in poliestrski tkanini. Končna dolžina mogočega odčitavanja značk je skoraj enaka, do približno 125 cm. Medtem ko omnočenje bombažne tkanine nima večjega vpliva na čitljivost značke, pa se pri poliestrski tkanini slika čitljivosti spremeni.



Slika 4: Prikaz frekvence odčitavanja značke na tkanini v odvisnosti od razdalje med značko in anteno čitalnika



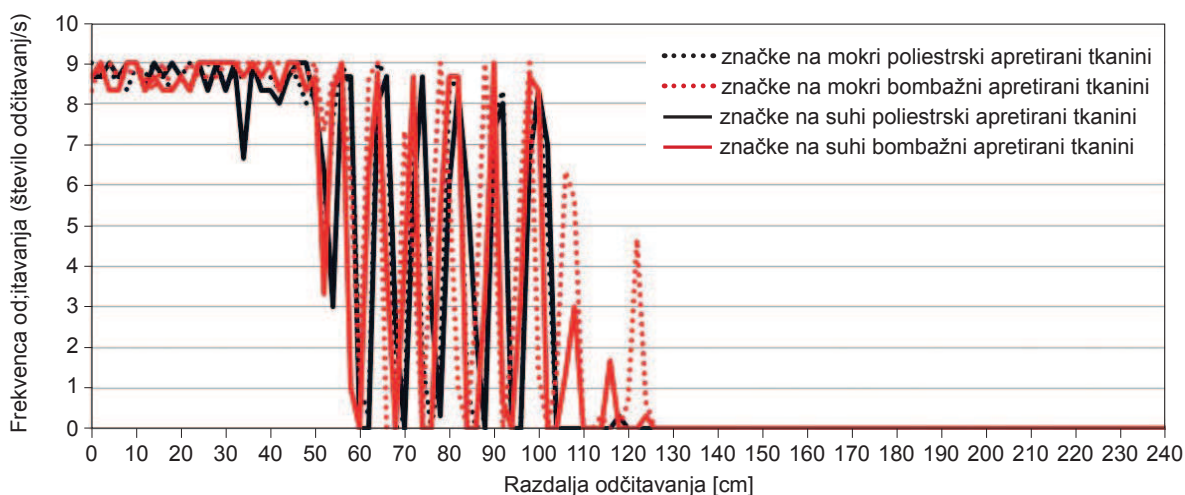
Slika 5: Frekvenca odčitavanja značk v odvisnosti od razdalje med značko in anteno čitalnika na mokri in suhi poliestrski ter bombažni tkanini

Omočenje poliestrske tkanine ima namreč negativen vpliv, saj se zmanjša najvišja frekvenca odčitavanja z 9 na 7–8 značk/s. Opazna pa je večja dolžina končnega odčitavanja, ki se pri poliestrski tkanini poveča za 50 cm.

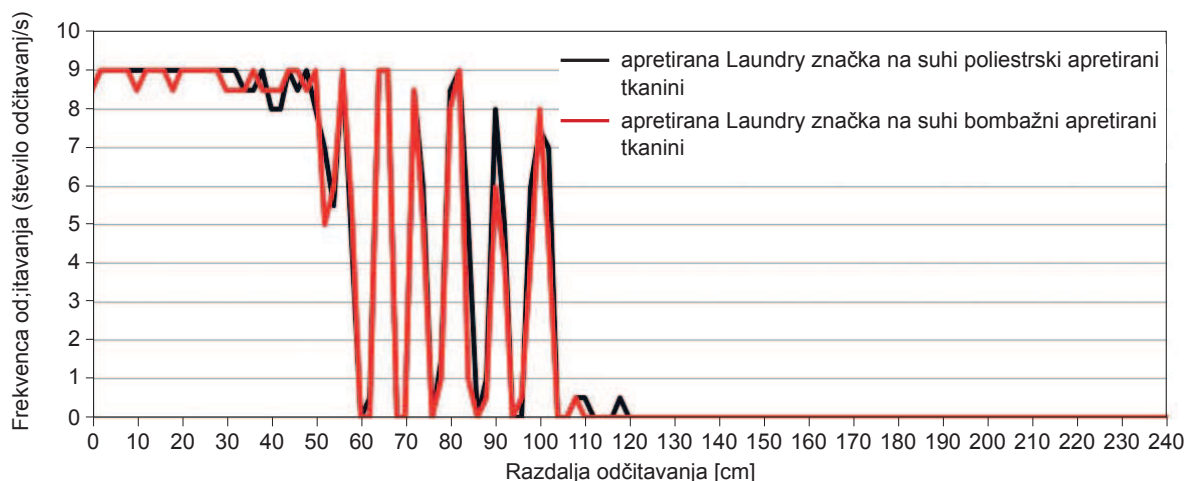
Na sliki 6 so predstavljeni rezultati meritev odzivnosti neapretirane značke, nameščene neposredno na prvi plasti apretirane bombažne in poliestrske tkanine. Iz rezultatov ugotovimo, da prisotnost apreture na bombažni suhi ali mokri tkanini ne vpliva na čitljivost značke. Prav tako je čitljivost značke na suhi apretirani poliestrski tkanini zelo podobna čitljivosti, dobljeni na neapretirani tkanini. Ugoden vpliv prisotnosti apreture pa lahko

opazimo pri mokri poliestrski tkanini, saj v bližnjem polju ni zaznan padec najvišje frekvence odčitavanja. Se pa končna dolžina odčitavanja nekoliko zmanjša v primerjavi z moko neapretirano poliestrsko tkanino (slika 5).

Meritve frekvence odčitavanja, opravljene z apretirano značko (slika 7), pokažejo, da apretura na znački ugodno vpliva na kakovostno odčitavanje v bližnjem polju oziroma na povprečno maksimalno dolžino odčitavanja, saj je interferenca manj očitna. Končna dolžina mogočega odčitavanja apretiranih značk je enaka na bombažni in poliestrski tkanini (približno 100 cm) (slika 7) in malo krajša kot pri odčitavanju neapretiranih značk (slika 5).



Slika 6: Frekvenca odčitavanja značk v odvisnosti od razdalje med značko in anteno čitalnika na mokri in suhi poliestrski ter bombažni apretirani tkanini



Slika 7: Frekvenca odčitavanja v odvisnosti od razdalje med apretirano značko in anteno čitalnika na suhi bombažni in poliestrski apretirani tkanini

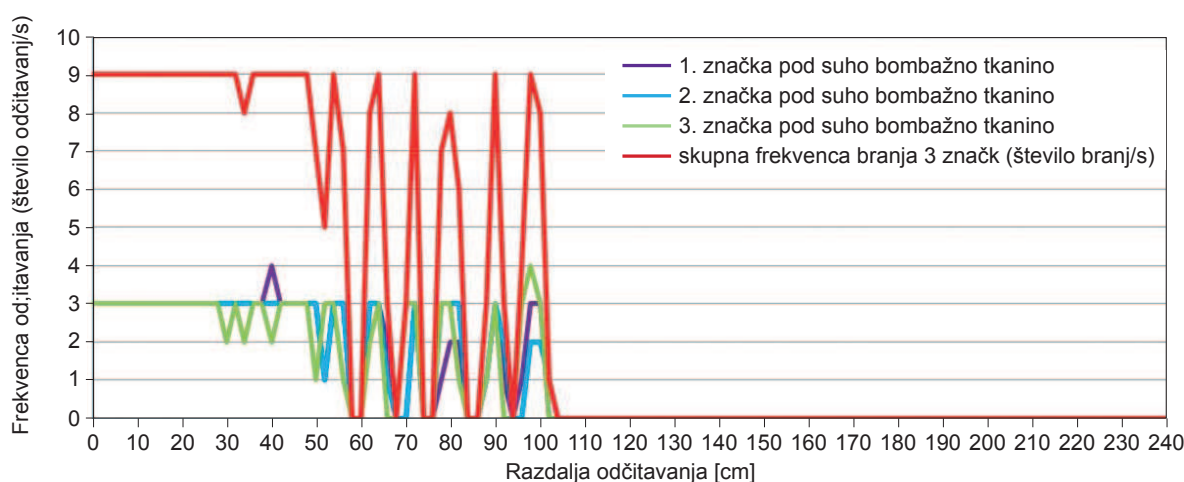
### 3.2 Značke, nameščene zaporedoma s prekrivanjem plasti tkanin

Z namestitvijo značk zaporedoma s prekrivanjem (slika 2) smo želeli simulirati naravno okolje, npr. v trgovini, kjer so obleke zložene na policah ali obešene na obešalnikih zaporedoma.

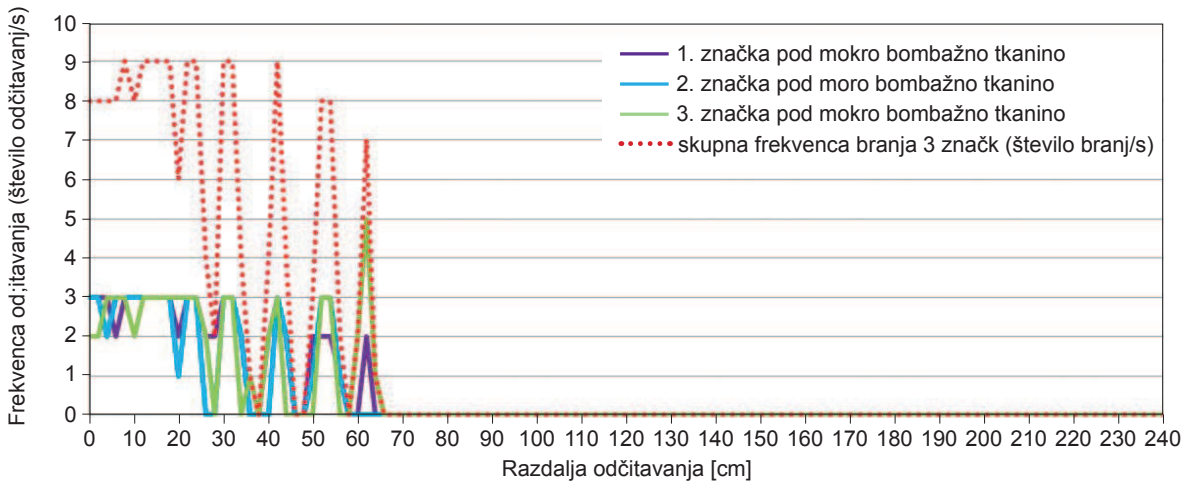
Na slikah od 8 do 15 so prikazani rezultati meritev treh značk na suhih in mokrih neapretiranih in apretiranih bombažnih in poliestrskih tkaninah, kjer je vsaka od značk odčitana trikrat do maksimalne dolžine odčitavanja 100 cm. Če so značke nameščene zaporedoma druga za drugo (prekrivanje), nastane tako imenovani vpliv senčenja, zaradi katerega nastajajo problemi z učinkovitostjo odčitavanja. Zmanjša se energija, ki jo prejmejo značke, kar povzroči zmanjšanje števila in točnosti odčitavanja. Prebrane

so sicer vse tri značke, nekoliko pa se zmanjša povprečna maksimalna dolžina odčitavanja brez interference in končna razdalja odčitavanja.

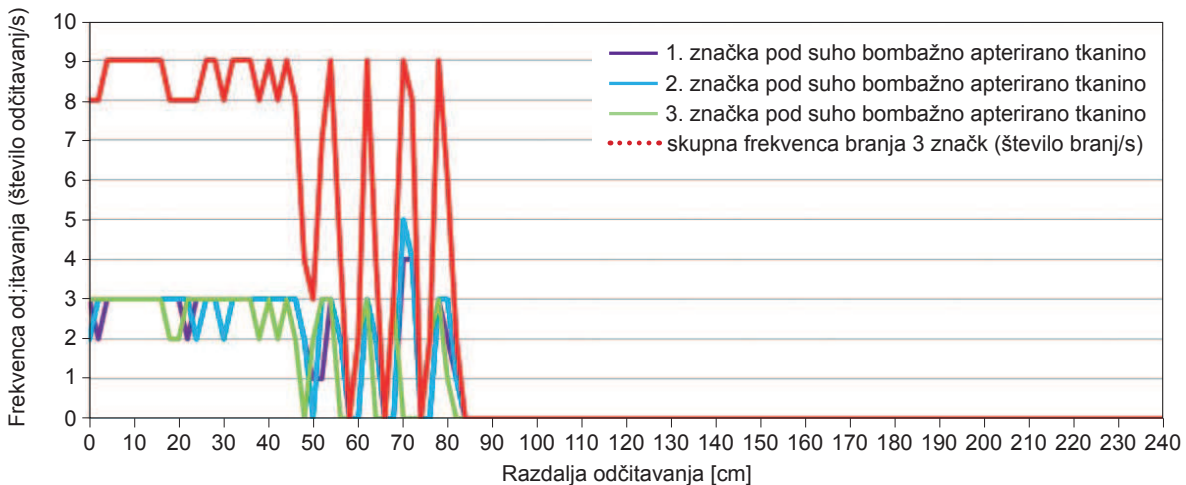
Omočenje bombažne tkanine občutno zmanjša povprečno maksimalno dolžino odčitavanja (s 50 na 25 cm) in končno dolžino (s 100 na 70 cm) mogočega odčitavanja značk (slika 9). Iz teh rezultatov je razvidno, da voda negativno vpliva na odčitavanje značk, saj absorbira valovanje, kar otežuje odčitavanje. Bombažna vlakna so zelo vpojna in dobro omočljiva, kar kažejo tudi meritve ploščinske mase (preglednica 1). Iz primerjave slik 9 in 11 ugotovimo, da se z nanosom nanokompozitne sol-gel aperture vpliv omočenja tkanine na odčitavanje značke zmanjša in da prisotnost aperture izboljša rezultate odčitavanja.



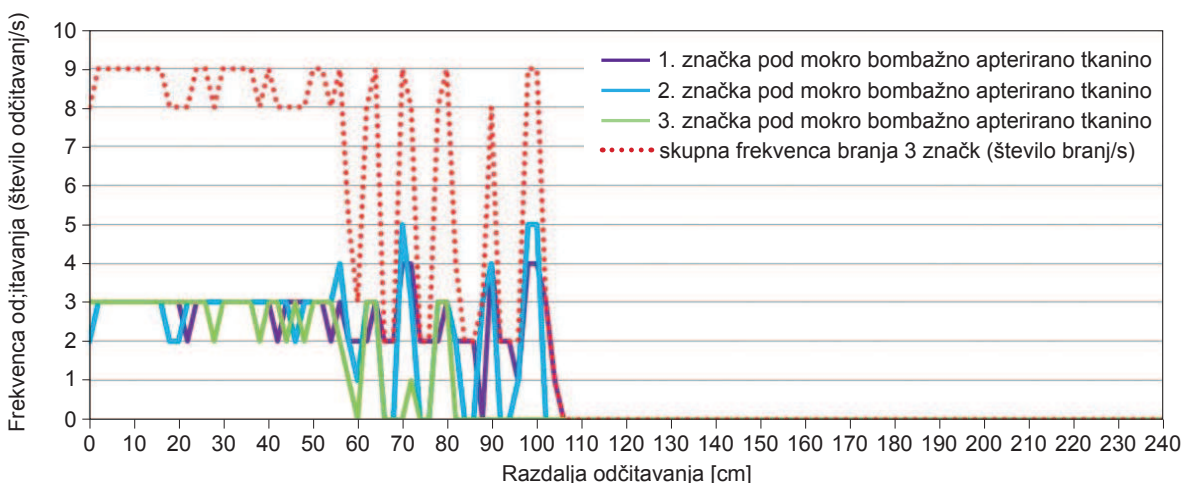
Slika 8: Skupna frekvenca in posamezne frekvence odčitavanja v odvisnosti od razdalje branja med tremi značkami, nameščenimi s prekrivanjem na suhi bombažni tkanini



Slika 9: Skupna frekvenca in posamezne frekvence odčitavanja v odvisnosti od razdalje branja med tremi značkami, nameščenimi s prekrivanjem na mokri bombažni tkanini

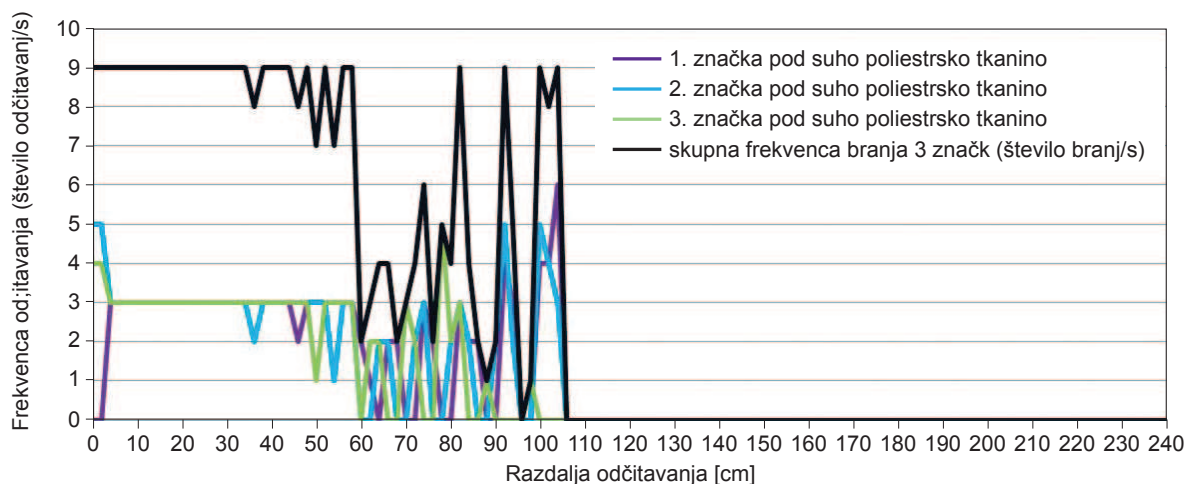


Slika 10: Skupna frekvenca in posamezne frekvence odčitavanja v odvisnosti od razdalje branja med tremi značkami, nameščenimi s prekrivanjem na suhi apertirani bombažni tkanini

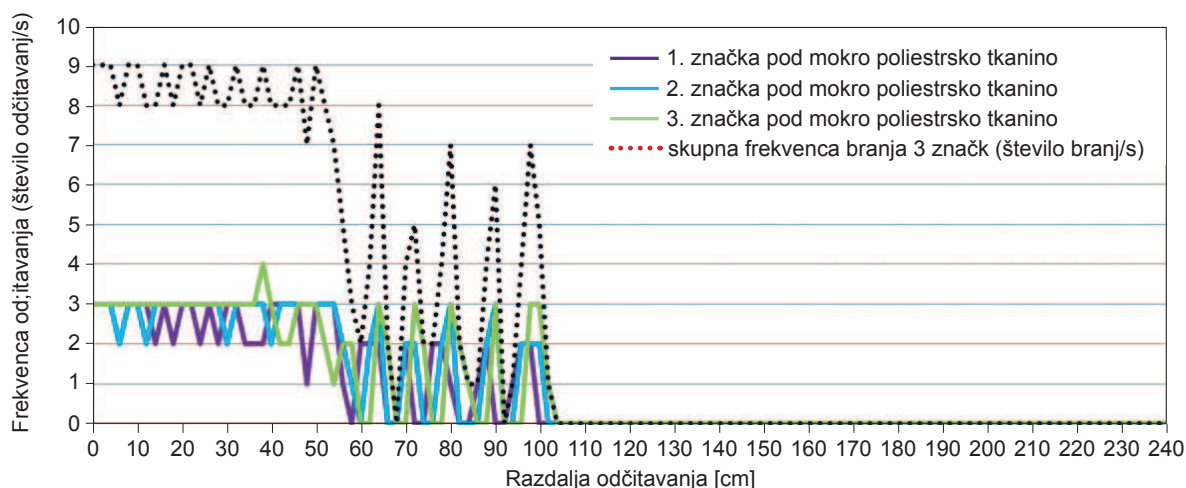


Slika 11: Skupna frekvenca in posamezne frekvence odčitavanja v odvisnosti od razdalje branja med tremi značkami, nameščenimi s prekrivanjem na mokri apertirani bombažni tkanini

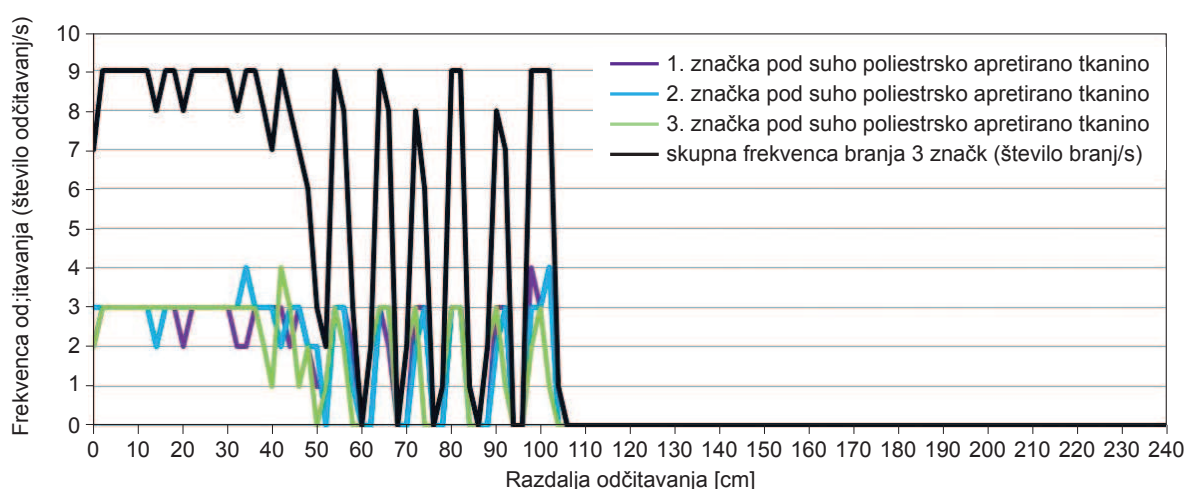




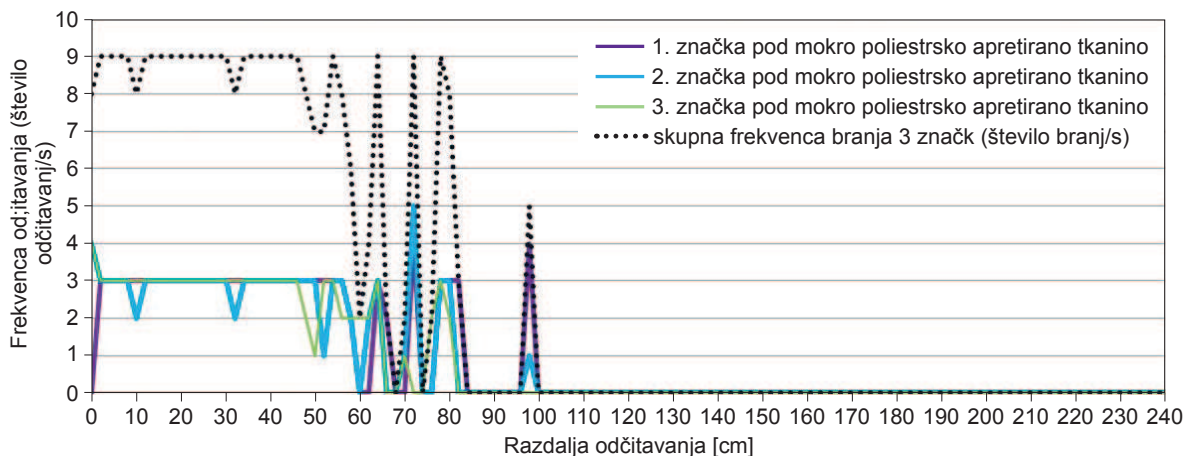
Slika 12: Skupna frekvenca in posamezne frekvence odčitavanja v odvisnosti od razdalje branja med tremi značkami, nameščenimi s prekrivanjem na suhi poliestrski tkanini



Slika 13: Skupna frekvenca in posamezne frekvence odčitavanja v odvisnosti od razdalje branja med tremi značkami, nameščenimi s prekrivanjem na mokri poliestrski tkanini



Slika 14: Skupna frekvenca in posamezne frekvence odčitavanja v odvisnosti od razdalje branja med tremi značkami, nameščenimi s prekrivanjem na suhi apretirani poliestrski tkanini



Slika 15: Skupna frekvenca in posamezne frekvence odčitavanja v odvisnosti od razdalje branja med tremi značkami, nameščenimi s prekrivanjem na mokri apretirani poliestrski tkanini

Iz slik 10 in 11 je razviden zelo ugoden vpliv apreture na odzivnost značk, še posebno pri mokri bombažni apretirani tkanini. Pri mokri apretirani bombažni tkanini je oblika grafa podobna kot pri suhi neapretirani tkanini. Prisotnost vode na poliestrski tkanini ni v tolikšni meri vplivala na čitljivost značk kot pri bombažni tkanini (slika 13). Maksimalna in končna dolžina odčitavanja ostajata nespremenjeni (60 cm in 100 cm). Apertura kaže ugoden vpliv tako pri suhi kot pri mokri tkanini, le malo se zmanjša maksimalna dolžina odčitavanja (sliki 14, 15).

#### 4 Sklepi

Z raziskavo smo proučili vpliv prisotnosti apreture in vode na odzivnost pasivnih značk UHF RFID, katerih uporaba se čedalje bolj širi na področje označevanja tekstilij in oblačil. Raziskave smo opravili v realnem okolju, kjer so bile prisotne radiofrekvenčne motnje. Iz rezultatov raziskave lahko sklenemo:

- čitljivost značk je dobra ne glede na pogoje merjenja,
- radiofrekvenčne motnje vplivajo na zmanjšanje razdalje odčitavanja,
- najboljša čitljivost je dosežena pri značkah, nameščenih neposredno na prvi plasti tkanine,
- če so značke nameščene zaporedoma druga za drugo, se pojavi vpliv senčenja, zaradi katerega je oteženo njihovo odčitavanje,
- voda negativno vpliva na odčitavanje značke, saj absorbira valovanje,
- omočenje ima večji vpliv pri bombažni kot pri poliestrski tkanini,

- prisotnost vodo- in oljeodbojne nanokompozitne apreture zmanjša omočljivost tkanin in s tem izboljša rezultate odčitavanja značke.

Z raziskavo smo dokazali, da nanokompozitna vodo- in oljeodbojna sol-gel apertura ugodno vpliva na delovanje pasivnega sistema UHF RFID.

#### Viri

1. OGRINC, Bernard. *RFID v sistemih sledenja proizvodov : diplomsko delo*. Ljubljana, 2006, 63.
2. BALOH, Marko. *Analiza vpliva materialov pri označevanju živil z nalepkami RFID : diplomsko delo*. Ljubljana, 2011, 49.
3. BREZNER, Renato. *Uporaba radiofrekvenčne identifikacije (RFID) v Slovenski vojski : diplomsko delo*. Celje, 2009, 48.
4. HUNT, V. Daniel, PUGLIA, Albert, PUGLIA, Mike. *RFID – A Guide to Radio Frequency Identification*. New Jersey : A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2007, [dostopno na daljavo], [citirano 22. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <ftp://tor.ntu-kpi.kiev.ua/pub/pershin/LIBRARY/BOOKS%20AND%20GOST/BOOKS/\_ENGLISH/RFID%20A%20Guide%20To%20Radio%20Frequency%20Identification.pdf>.
5. GS1 Slovenija. Vse o nas [dostopno na daljavo], [citirano 1. 6. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.gs1/1/vse-o-nas.aspx>.
6. BOGATAJ, Urška, MAČEK, Marijan, MUCK, Tadeja, KLAJNŠEK GUNDE, Marta. Readability and modulated signal strength of two different UHF RFID tags on different packaging.

- Packaging technology and science*, 2012, **25**(7), 373–384, doi: DOI: 10.1002/pts.988.
7. Grafika študijsko gradivo [dostopno na daljavo], [citirano 17. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <[http://www2.grafika.ntf.uni-lj.si/uploads/media/03\\_RFID.pdf](http://www2.grafika.ntf.uni-lj.si/uploads/media/03_RFID.pdf)>.
  8. KAVČIČ, Urška, PIVAR, Matej, ĐOKIĆ, Miloje, GREGOR-SVETEC, Diana, PAVLOVIČ, Leon, MUCK, Tadeja. UHF RFID tags with printed antennas on recycled papers and cardboards. *Materiali in tehnologije*, 2014, **48**(2), 261–267.
  9. BOLIĆ, Miodrag, SIMPLOT-RYL, David, STOJ-MENOVIĆ, Ivan. *RFID Systems: Research Trends and Challenges*. John Wiley & Sons Ltd., 2010, 543.
  10. HARDGRAVE, C. Bill. Item-level RFID for apparel: The dillards initiative, 2009, [dostopno na daljavo], [citirano 29. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://itri.uark.edu/91.asp?download=Yes>>.
  11. MILES, S. Rebecca. Item-level for apparel/footwear: The JC Penney RFID initiative, 2010, [dostopno na daljavo], [citirano 29. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://itri.uark.edu/91.asp?download=Yes>>.
  12. O'CONNOR, Mary Catherine. Bloomingdale's tests item-level RFID, 2009, [dostopno na daljavo], [citirano 29. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.rfidjournal.com/article/view/5160/1>>.
  13. SWEDBERG, Claire. American apparel adds RFID to two more stores, 2010, [dostopno na daljavo], [citirano 29. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.rfidjournal.com/article/view/7313/1>>.
  14. WESSEL, Rhea. Indian conglomerate ITC focuses on RFID expansion, 2008, [dostopno na daljavo], [citirano 29. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.rfidjournal.com/article/articleview/4449/1/1/>>.
  15. O'CONNOR, Mary Catherine. RFID trims costs for retailer of Lacoste, CK, Burberry, 2009, [dostopno na daljavo], [citirano 29. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.rfidjournal.com/article/view/4626/1>>.
  16. Roll out of avery dennison RFID solution for shirtmaker seidensticker, 2009, [dostopno na daljavo], [citirano 29. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.ibmd.averydennison.com/about/news-rfid-solution-for-seidensticker.asp>>.
  17. SWEDBERG, Claire. Crystal group uses RFID tags to track garment production, 2007, [dostopno na daljavo], [citirano 29. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.rfidjournal.com/article/view/3788/1>>.
  18. RFID Profile: Metro Groups Galeria Kaufhof, [dostopno na daljavo], [citirano 29. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <[http://www.impinj.com/Applications/Case\\_Studies.aspx#](http://www.impinj.com/Applications/Case_Studies.aspx#)>.
  19. CROMHOUT, B. David, HARDGRAVE, C. Bill, ARMSTRONG J. Deborah. RFID Item-level tagging for apparel/footwear: feasibility study, 2008, 6, 7.
  20. SUBSTRATES: Background [dostopno na daljavo], [citirano 29. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://people.ccmr.cornell.edu/~cober/MSE5420/page2/files/iNEMISubstrateFlex0808.pdf>>.
  21. SCHILTHUIZEN, Steven. Smart textiles enabled by nanotechnology, RFID and sensor technology, 2009, [dostopno na daljavo], [citirano 29. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.scint.nl/docs/Smarttextilesscint.pdf>>.
  22. RFID world, fabric detection possible in new RFID enabled smart washing machine, 2012, [dostopno na daljavo], [citirano 29. 5. 2012]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.rfidworld.ca/fabric-detection-possible-in-new-rfid-enabled-smart-washing-machine/808>>.
  23. SINHG, S. P., McARTNEY, M., SINGH, Jay, CLARKE, R. RFID research and testing for packages of apparel, consumer goods and fresh produce in the retail distribution environment. *Packaging Technology and Science*, 2008, **21**(2), 91–102, doi: 10.1002/pts.782.
  24. Mc CARTHY, Ultan, AYALEW, Gashaw, BUTLER, Francis, McDONNELL, Kevin, WARD, Shane. The effects of item composition, tag inlay design, reader antenna polarization, power and tranponder orientation on the dynamic coupling efficiency of backscatter ultra high frequency radio frequency identification. *Packaging Technology and Science*, 2009, **22**(4), 241–248, doi: 10.1002/pts.849.
  25. CLARKE, Robert, TWEDE, Diana, TAZELAAR R. Jeffrey, BOYER K, Kenneth. Radio frequency identification (RFID) performance: The effect of tag orientation and package contents. *Packaging Technology and Science*, 2006, **19**(1): 45–54, doi: 10.1002/pts.714.