

# Primernost recikliranih papirjev za tisk UHF RFID anten

## *The suitability of recycled papers for printing UHF RFID antennas*

**Matej Pivar, Tadeja Muck, Diana Gregor Svetec**

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

E-Mails: matej.pivar@ntf.uni-lj.si ; tadeja.muck@ntf.uni-lj.si ; diana.gregor@ntf.uni-lj.si

---

**Povzetek:** Glavni namen raziskave je bil optimirati pogoje tiska pri izdelavi UHF RFID anten in iz nabora recikliranih papirjev izbrati tiste, ki bi bili najbolj primerni za tisk anten. V raziskavi so bili uporabljeni nepremazani in premazani reciklirani papirji ter prevodni tiskarski barvi dveh proizvajalcev. Tisk UHF RFID anten je bil izveden s polavtomatskim sitotiskarskim strojem. Lastnosti tiskovnih materialov in odtisov so bile določene s pomočjo referenčnih papirniških in grafičnih metod, izmerjene so bile električne lastnosti in delovanje UHF RFID anten. Ugotovljeno je bilo, da so reciklirani papirji primerni materiali za tisk elektronike in določene so bile lastnosti recikliranih papirjev, ki so pomembne za dobro interakcijo s prevodno tiskarsko barvo za uspešno funkcionalnost tiskane elektronike.

**Ključne besede:** reciklirani papir, RFID antena, sitotisk, tiskana elektronika.

**Abstract:** The main goal of the research was to optimize printing conditions for printing UHF RFID antennas and from different recycled papers select the most appropriate printing substrate. In the research coated and uncoated recycled papers and conductive printing ink from two producers were analysed. UHF RFID antennas were printed using semi-automatic screen printing device. Properties of printing substrates and prints were determined with the standardized testing methods for paper and graphic products, further electrical properties and operability of UHF RFID antennas were checked. The research has confirmed, that recycled papers could be applied as printing substrates for printed electronics. Characteristics of recycled papers, which are important for good interaction with the conductive printing ink and proper functionality of printed electronics were determined.

**Key words:** recycled paper, RFID antenna, screen printing, printed electronics.

---

## 1. Uvod

RFID ali radiofrekvenčna identifikacija je tehnologija, ki nam omogoča brezkontakten prenos podatkov preko elektromagnetnega valovanja na področju radijskih frekvenc. RFID antene so narejene z jedkanjem ali vročim tiskom, vse bolj pa se uveljavlja tiskana elektronika (1). Tiskana elektronika pomeni tiskanje pasivnih in aktivnih elektronskih struktur na toge in gibke tiskovne materiale, kot so papir, karton, plastika, tekstil, itd. z uporabo digitalnih in klasičnih tehnologij tiska (sitotisk, fleksotisk, globoki tisk, ofsetni tisk, kapljični tisk) (2). Začetki segajo v leto 1976, ko so iznašli prvi prevodni polimer (3). Večina konvencionalnih tiskarskih barv so izolatorji, njihova velika specifična upornost je posledica velike upornosti večine polimerov, medtem ko imajo prevodni polimeri nekatere električne lastnosti podobne kovinam. Primerni so za kapljični tisk, druge tehnike tiska pa predvsem uporabljajo prevodne tiskarske barve. Če v tiskarsko barvo dodamo kovinske prevodne delce, velikosti od 10 nm do 10  $\mu\text{m}$ , se ji električna upornost lahko zmanjša tudi za nekaj velikostnih redov in doseže se dovolj velika prevodnost (4).

Tehnologija tiskane elektronike se odlikuje po nizkih proizvodnih stroških izdelkov, tiskanih na fleksibilnih podlagah, ki pa v kakovosti (integracija, hitrost, življenjska doba) močno zaostajajo za konvencionalno elektroniko na rigidnih substratih (5). Zato je tehnologija zaenkrat primerna predvsem za razne izdelke za enkratno rabo, kot so RFID nalepke, E-časopisi in knjige. Tiskana elektronika omogoča tisk na različne vrste togih in fleksibilnih tiskovnih materialov kot so: polimerne folije, druga plastika, tekstilije, papir, keramika, itd. Odvisno od namena uporabe se za tiskano elektroniko uporabljajo različne vrste papirjev. Raziskave kažejo, da največ težav pri tisku na papir zaradi zmanjšanja prevodnosti povzroča visoka

hrapavost, nehomogenost in različne dialektične lastnosti tiskovne podloge (6, 7, 8). Ker je papir tudi higroskopen material, je zelo dovzeten do tekočin. Pri tiskani elektroniki ni zaželeno, da papirji vpijejo večjo količino veziva in prevodnih kovinskih delcev tiskarske barve, saj bi to poslabšalo prevodnost odtisa (7). Ugotovili so, da je frekvenca delovanja tiskane elektronike (RFID) odvisna od interakcije prevodne barve in tiskovne podloge, njegove hrapavosti, poroznosti in dialektičnih lastnosti. Poleg naštetega trdijo, da je odvisno od lastnosti in zahtev izbrane tiskane elektronike potrebno izbrati temu primerne tiskarske barve in tiskovni material ter uporabiti primerno tehniko tiska (8, 9).

Namen naše raziskave je bil ugotoviti ali se reciklirani papirji lahko primerjajo z ostalimi tiskovnimi materiali za tisk elektronike in katere lastnosti recikliranih papirjev so najbolj pomembne za dobro interakcijo s prevodno tiskarsko barvo za doseganje uspešne funkcionalnosti tiskane elektronike.

## 2. Materiali in metode

### 2.1. Materiali

Za določitev optimalnih lastnosti tiskovnih papirjev za tisk RFID anten je bilo izbranih pet papirjev slovenskega proizvajalca, ki so se med seboj razlikovali po sestavi in deležu recikliranih vlaken, gramaturi in površinski obdelavi ter klejenosti. Preizkušeni so bili tiskovni papirji različne gramature (50 – 80  $\text{g/m}^2$ ), izdelani pretežno iz recikliranih vlaken (tabela 1).

Za tisk sta bili uporabljeni prevodni termo-sušiči sitotiskarski barvi dveh različnih proizvajalcev: CRSN2442 SunTronic Silver 280 proizvajalca SunChemical in DuPont 5064H, proizvajalca DuPont. Obe tiskarki barvi sta na osnovi srebrovih lusk in termoplastične smole.

Tabela 1. Opis vzorcev papirjev.

Vzorec	Vrsta	Simbol	Gramatura	Sestava - vrsta vlaken
V1	grafični	premazan	60 $\text{g/m}^2$	pretežno reciklirana vlakna v kombinaciji z mehanskimi vlakni in beljeno celulozo
V2	grafični	premazan	80 $\text{g/m}^2$	pretežno reciklirana vlakna v kombinaciji z mehanskimi vlakni in beljeno celulozo
V3	grafični	ne premazan	80 $\text{g/m}^2$	pretežno reciklirana vlakna v kombinaciji z mehanskimi vlakni in beljeno celulozo
V4	časopisni	ne premazan	60 $\text{g/m}^2$	pretežno reciklirana vlakna v kombinaciji z mehanskimi vlakni in beljeno celulozo
V5	časopisni	ne premazan	50 $\text{g/m}^2$	pretežno reciklirana vlakna v kombinaciji z mehanskimi vlakni

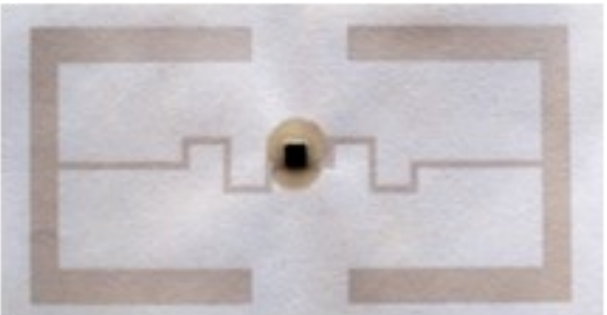
## 2.2. Tisk

Za tisk UHF RFID anten je bila uporabljena konvencionalna tehnika propustnega tiska ali t. i. sitotisk. Pri tisku RFID anten je zelo pomemben enakomeren nanos sloja barve na površini tiskovnega materiala, katerega dosežemo s pravilnimi nastavitvami parametrov tiska kot so: naklon in pritisk tiskovnega raklja (tiskarski nož), hitrost tiska, oddaljenost sita od tiskovnega materiala, lastnosti tiskarske barve, lastnosti sitotiskarske mrežice in drugih parametrov. Od vsega naštetega pa je najpomembnejša pravilna oblika tiskovnih elementov RFID antene. RFID antena mora biti oblikovana tako, da je prilagojena lastnostim čipa in s svojo impedanco ustreza zahtevam frekvenčnega območja, v katerem deluje. UHF RFID antena je dipolna antena in je natisnjena samo z eno prevodno plastjo. V raziskavi smo uporabili a) komercialno UHF RFID anteno in b) razvito na Oddelku za telekomunikacije na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani (slika 1).

a)



b)



**Slika 1.** RFID značke z natisnjenima UHF RFID antenama a) komercialna, b) dizajn antene: Leon Pavlovič, UL, Fakulteta za elektrotehniko.

## 2.3. Metode preiskav

Lastnosti papirjev in odtisov so bile določene z referenčnimi papirniškimi in grafičnimi preiskavami. Med osnovnimi lastnostmi so bile določene gramatura po standardu ISO 536, debelina, gostota in specifična prostornina po standardu ISO 534 in vsebnost vlage po standardu ISO 287. Med površinskimi in optičnimi lastnostmi so bile določene ISO belina po standardu ISO 2470, neprosojnost po standardu ISO 2471, hrapavost in poroznost po metodi Bendtsen (ISO 8791-2, ISO 5636-3), hrapavost s profilometrom (ISO 4287), površinska absorpcija vode po Cobbu (ISO 535) in kapilarna vpojnost po Klemmu (ISO 8787). Določeni

sta bili še tiskarska penetracija po metodi IGT – W24 in površinsko drgnjenje (TAPPI T830). Pri določanju prirasta površine so bili odtisi skenirani pri 600 dpi ločljivosti. Prirast površine odtisa je bil določen v odstotkih, s primerjavo površine desetih idealnih linij s tiskovne forme in enakih linij na odtisu.

Upornost tiskane plasti prevodne barve je bila izmerjena z digitalnim multimetrom DT-8906 na posebnih testnih elementih (slika 2). Meritve so bile izvedene neposredno med kontakti 1-3 in 2-3. Ker upornosti v omih zaradi natančnosti meritev ni smiselno podajati, je potrebno iz upora  $R [\Omega]$  izračunati plastno upornost ( $R_{pl}$ ) v  $m\Omega / sq$ , pri kateri je potrebno upoštevati nominalno dolžino ( $L$ ) in širino upornika ( $W$ ) ter določiti nominalno število kvadratov po enačbi  $N_{sq} = L / W$ . Nominalno število kvadratov na razdalji med kontaktoma 2 in 3 znaša približno 10,3 kvadratov, na razdalji med kontaktoma 1 in 3 pa približno (28 – 34 kvadratov).



**Slika 2.** Testni element za merjenje upornosti.

Določen je bil ravninski sevalni diagram, kjer se podaja usmerjenost antene v dveh med seboj pravokotnih ravninah in sicer v horizontalni H ravnini in vertikalni E ravni. Horizontalna ravnina se nanaša na magnetno polje, vertikalna pa na električno polje. Iz izmerjenih prereзов smernega diagrama lahko izračunamo tudi smernost antene ( $D$ , directivity), ki je definirana kot razmerje gostote moči v smeri maksimuma smernega diagrama in gostote moči, ki bi jo pri enaki sevalni moči v isti točki oddajala antena. Celotno sevano moč antene pa dobimo z integracijo kvadrata absolutne vrednosti amplitudnega smernega diagrama v vseh smereh (za vse kote). Pred začetkom vsakega merjenja je potrebno določiti in poiskati smer v katero antena največ seva in na podlagi sevanja določiti ravnino in os rotacije antene. Pri merjenju smernega diagrama morata biti sprejemna in oddajna antena na dovolj veliki razdalji in postavljeni pod pravilnim kotom. Nato anteno zavrtimo v eni smeri za celoten krog  $360^\circ$  zapišemo meritve in preverimo, če smo res zadeli maksimum smernega diagrama. Meritve nato ponovimo še v drugi smeri in na podlagi rezultatov izrišemo polarni koordinatni sistem.



**Slika 3.** Oddajna in sprejemna antena za določanje smernega diagrama.

### 3. Rezultati in diskusija

Lastnosti tiskovnih materialov so podane v tabelah: osnovne lastnosti v tabeli 2 površinske in optične v tabeli 3, vpojnost in prepustnost v tabeli 4. Lastnosti odtisov izdelanih z dvema različnima prevodnima tiskarskima barvama, SunChemical (SC) in DuPont (DP) so podane na slikah 4 in 5. Slika 4 prikazuje drgnjenje, kot odstotek prenešene tiskarske barve iz odtisa na papir po določenem številu drgnjenj in prirast

površine odtisnjenih linij. Na sliki 5 je za obe tiskarski barvi podana plastna upornost odtisov.

**Tabela 2.** Rezultati meritev osnovnih lastnosti papirjev.

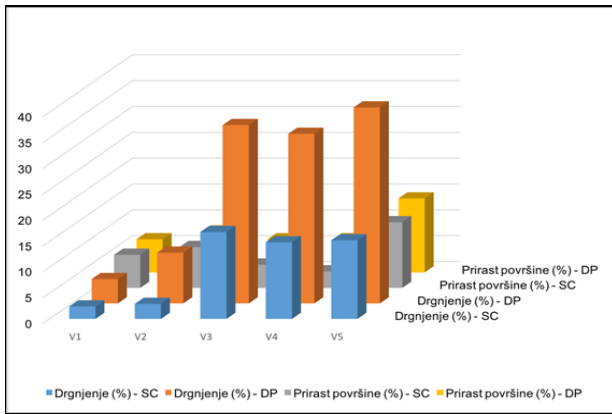
	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	Debelina (μm)	Gostota (kg/m <sup>3</sup> )	Vlaga (%)
V1	59,7	62	965	2,5
V2	80,2	75	1069	2,8
V3	79,9	127	630	2,8
V4	60,2	80	735	3,7
V5	53,5	65	823	3,5

**Tabela 3.** Rezultati meritev površinskih in optičnih lastnosti papirjev (A/B stran).

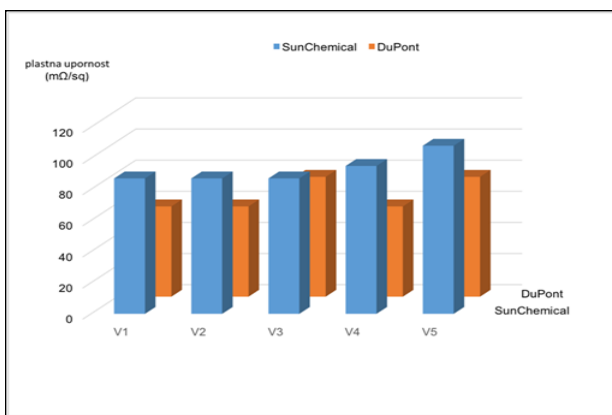
	Hrapavost (ml/min)	Hrapavost (μm)	ISO belina (°)	Neprosojnost (°)
V1	69 / 65	2,3 / 2,4	82,2 / 82,5	96,4
V2	60 / 60	2,1 / 2,1	81,5 / 82,4	99,4
V3	1009 / 1016	5,5 / 5,6	85,8 / 85,7	99,1
V4	152 / 205	3,5 / 3,6	74,6 / 74,1	96,1
V5	109 / 161	3,0 / 3,8	65,1 / 65,1	96,8

**Tabela 4.** Rezultati meritev vpojnosti in prepustnosti papirjev (MD/CD smer oz. A/B stran).

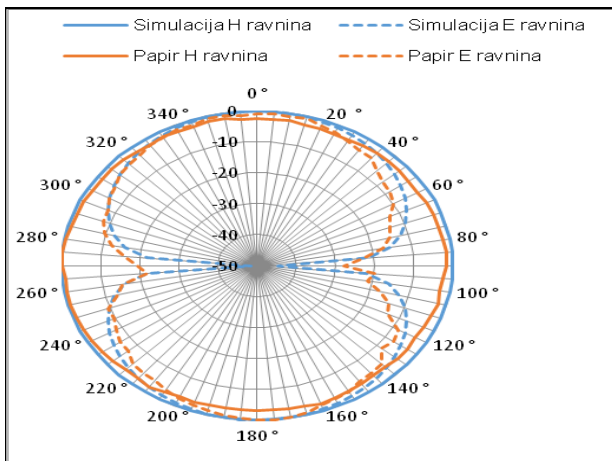
	Poroznost (ml/min)	Kapilarna vpojnost (mm)	Površinska absorpcije (g/m <sup>2</sup> )	Tiskarska penetracija (°)
V1	pod 10	9 / 8	nad 45	10,2 / 9,6
V2	pod 10	9 / 9	nad 45	9,8 / 9,5
V3	200	0 / 0	14,8	23,7 / 22,7
V4	103	14 / 12	nad 45	15,9 / 15,4
V5	177	15 / 11	nad 45	14,6 / 14,3



**Slika 4.** Drgnjenje in prirast površine odtisa izdelanega s prevodnima tiskarskima barvama SunChemical (SC) in DuPont (DP).



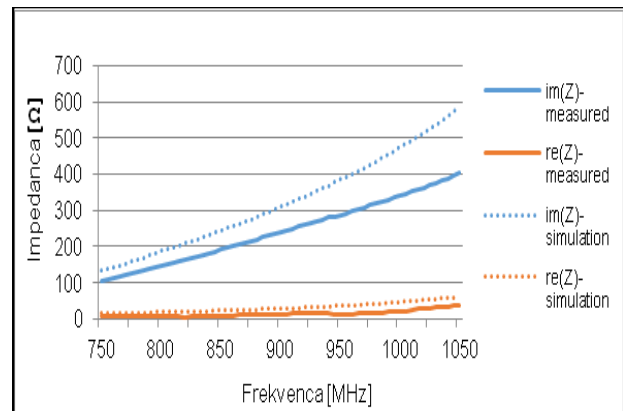
**Slika 5.** Plastna upornost odtisa izdelanega s prevodnima tiskarskima barvama SunChemical (SC) in DuPont (DP).



**Slika 6.** Smerni diagram UHF RFID antene natisnjene na nepremazanem papirju.

Rezultati raziskave so pokazali, da so za nemoteno in uspešno delovanje RFID značk z natisnjenimi antenami najpomembnejše električne lastnosti antene, njihova oblika in kakovost spajanja elektronskega vezja. Navedene ugotovitve izvirajo iz rezultatov meritev električne prevodnosti, smernega diagrama, impedance antene in meritev preverjanja končnega delovanja anten.

Ugotovljeno je bilo, da se prevodnost odtisa ob enakih pogojih tiska in sušenja tiskarske barve spreminja tako z vrsto papirja kot z vrsto barve. Razlike med prevodnima barvama so posledica v njihovih različnih lastnosti in pogojev sušenja, razlike med tiskovnimi papirji pa so posledica različnega navzemanja barv. Zato je za doseganje dobrih prevodnih lastnosti odtisa pomembno, da so površinske lastnosti recikliranih tiskovnih papirjev prilagojene posamezni tiskarski barvi. Pomemben dejavnik pri doseganju dobre prevodnosti odtisa je tiskarska penetracija, ki nam opredeljuje hitrost vpijanja tiskarske barve v papir.



**Slika 7.** Primerjava simulirane in izmerjene impedance antene.

Od hitrosti vpijanja je posledično odvisna debelina končnega sloja prevodne barve na odtisu, kar posledično določa prevodnost tiskanih prevodnih linij, oziroma antene. Večja ko je debelina odtisa, večja je električna prevodnost linij (antene) in posledično ima antena večjo moč oddajanja in sprejemanja signalov RFID čitalcu. Ugotovljeno je bilo, da vzorci, ki počasneje vpijajo barvo, dosegajo debelejši nanos barve in imajo posledično nižjo plastno upornost odtisa. Pomembna lastnost pri doseganju dobre prevodnosti je tudi navzemanje barve kot posledica površinskih lastnosti hrapavosti, poroznosti in vpojnosti recikliranih papirjev. Hrapavost in poroznost površine tiskovnega papirja vplivata na električno prevodnost samo do meje, ko še barva ni popolnoma posušena. Vzorci, ki imajo nekoliko večjo hrapavost in poroznost, dosegajo tudi nekoliko višje vrednosti električne upornosti. Ko pa se barva dokončno posuši, se te vrednosti na odtisih ne glede na hrapavost precej izenačijo. Zato je pred tiskom anten vedno potrebna optimizacija pogojev sušenja za vsako posamezno barvo in za vsak tiskovni papir posebej. Zaradi prehitre tiskarske penetracije in neustreznih površinskih lastnosti papirja, lahko pride do slabše odpornosti odtisa proti abraziji. Preveliko površinsko drgnjenje oz. preslaba adhezija lahko postopno poslabša električno prevodnost odtisa in ob prekinitvi prevodnih linij pride do nedelovanja anten. Zato je pomembno, da je odtis čim bolj odporen na

površinsko drgnjenje. V raziskavi se omenjeni pojav pokaže predvsem pri vzorcih z visoko tiskarsko penetracijo, ki so nepremazni, polno klejeni in imajo večjo hrapavost ter poroznost. Na ostalih vzorcih je pojav bistveno manj opazen. Pri tisku tudi ne sme priti do prevelikega razlivanja barv oz. do povečanja prirasta prevodnih linij na odtisih anten (angl. bar gain). Preveliko razlivanje lahko spremeni tehnične karakteristike antene do te mere, da antena ne bo prilagojena svoji impedanci (razliki med izmenično napetostjo in tokom v električnem krogu) in ne bo delovala. Pri papirjih za tisk RFID anten, pa je zelo pomembna tudi lastnost navzemanja vlage, ki posledično vpliva na spremembo dielektričnih lastnosti papirja. Zaradi visoke dielektrične konstante se lahko spremeni kapaciteta natisnjene antene in nastanejo težave pri sprejemanju in oddajanju signalov iz značke. V raziskavi uporabljeni reciklirani tiskovni papirji dosegajo zelo dobre dielektrične lastnosti primerne za tisk RFID anten. Raziskave sevanja antene oz. meritve smernega diagrama pa so pokazale, da reciklirani papirji tudi ne vplivajo na sevanje antene, saj se izmerjene vrednosti sevanja v primerjavi s simuliranimi vrednostmi ne razlikujejo za več kot 4dBm in so ustrezne za navedeno vrsto anten.

#### 4. Zaključki

V raziskavi so bile preučevane lastnosti petih recikliranih tiskovnih papirjev, ki vplivajo na funkcionalnost natisnjenih RFID anten. Raziskava je bila usmerjena v iskanje tistih ključnih lastnosti recikliranih papirjev, ki omogočajo tisk UHF RFID anten s tehniko sitotiska in zadovoljivo odpornost odtisa oziroma natisnjene antene na mehansko obrabo. Ugotovljeno je bilo, da imajo poroznost, vpojnost in tiskarska penetracija pomemben vpliv na kakovost odtisa, ki pa je predvsem odvisen od tiskarske barve. Rezultati raziskave so pokazali, da so reciklirani tiskovni papirji povsem primerni za tisk RFID anten. Upravičeno lahko pričakujemo pogostejšo uporabo recikliranih papirjev, ne samo v vsakdanjem življenju, ampak tudi na bolj zahtevnih tehnoloških področjih, kot je na primer tisk elektronike.

#### Literatura

- Gregor-Svetec, D.; Pivar, M.; Muck, T. Properties of recycled papers important for printable antennas. *Cellulose Chem. Technol.* **2015**, 49 (7-8), 701-708.
- Vidmar, T.; Muck, T.; Klanjšek-Gunde, M. Določitev optimalnih lastnosti tiskovnih materialov za tisk elektronike. *Papir* **2011**, 39, 43-46.
- Heeger, A. J. Semiconducting and metallic polymers: the fourth generation of polymeric materials. *Synthetic Metals* **2002**, 125, 23-42.
- Das, R. N.; Lin, H.; Papatomas, K. I.; Lauffer, J. M.; Card, N.; Markovich, V. R. Printable Nanocomposites for Advanced Organic Packaging. *Proceedings 57<sup>th</sup> Electronic Components and Technology Conference*, Reno, **2007**, 316-322.
- Blayo, A.; Pineaux, B. Printing Processes and Potential for RFID Printing. *Joint sOc-EUSAI conference*. Grenoble, **2005**, 27-30.
- Wood, L.; Hrehorova, E.; Joyce, T.; Fleming, P.; Joyce, M.; Pekarovicova, A.; Bliznyuk, V. Paper Substrates and Inks for Printed Electronics. *Pira Ink on Paper Symposium*. Atlanta **2009**, 7.
- Trnovec, B.; Stanel, M.; Hahn, U.; Hübler, A.C.; Kampa, H.; Sangl, R.; Foster, M. Coated paper for Printed Electronics. *Professional Papermaking* **2009**, 48-51.
- Zichner, R.; Siegel, F.; Baumann, R. R. Communication Quality of printed UHF RFID Transponder Antennas. *Institute for Electronic Nano Systems – Fraunhofer, Institute for Print and Media Technology, Chemnitz University of Technology, Germany*. **2011**, 7p.
- Klauk, H. *Organic electronics : materials, manufacturing and applications*. Weinheim : Wiley-VCH, **2008**, 163-178.