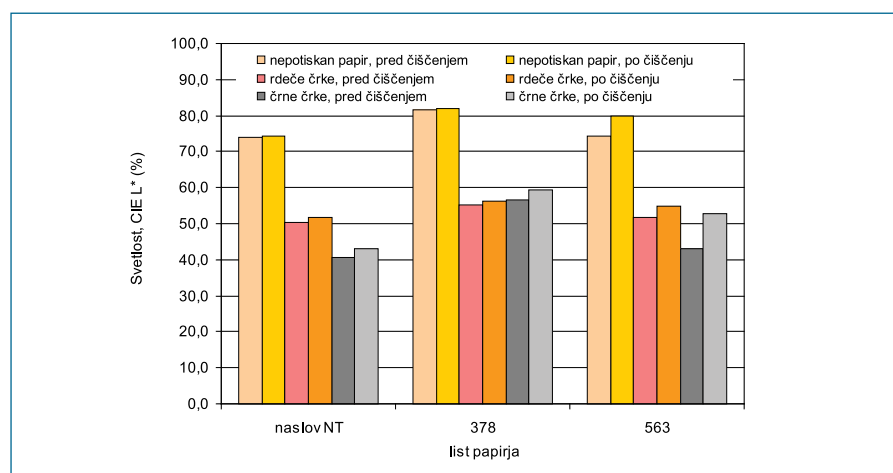


Slika 12: Dosežene vrednosti za optično gostoto tiska v črni in rdeči barvi, pred in po čiščenju.



Slika 13: Dosežene vrednosti za barvno-metrične lastnosti tiska, CIE L* (svetlost), pred in po čiščenju.

Svetlost črk v rdeči barvi je od 50 do 55 % in se s čiščenjem poveča do 2 %. Razlike v svetlosti črk v črni barvi so v območju od 40 do 60 % in se v postopku čiščenja povečajo. Po postopku čiščenja se pri vseh vzorcih črk povečajo vrednosti za svetlost in znižajo barvne vrednosti. Barvne vrednosti v rdečem in rumenem področju na črkah rdeče barve se precej spremenijo, medtem ko na črkah črne barve ni večjih razlik, kar kaže na večjo obstojnost. Rezultati potrjujejo, da je pri obnavljanju dragocenega tiskanega gradiva potrebno uporabljati konservatorsko restavratorske postopke, pri katerih se tiskovne lastnosti zapisov ne poslabšajo.

3 ZAKLJUČEK

Primerjalna analiza osnovnih fizikalnih lastnosti strukture in površine, ter optičnih in barvno-metričnih lastnosti izbranih pol papirja iz originala tiskane knjige »Dalmatinova Biblija« je pokazala, da so med listi papirja razlike v strukturi, ki se kažejo v gramaturi in voluminoznosti, kar vpliva na poroznost in gladkosti površine papirja. Papirji so ročne izdelave in potiskani v črni barvi, le na naslovnici je tisk tudi v rdeči barvi. Postopek ročne izdelave papirja je odvisen predvsem od kakovosti vlaken, naprave za oblikovanje, znanja in praktičnih veščin posameznika, ki izvaja oblikovanje papirnega lista.

Slabša kakovost papirja je ugotovljena na listih, ki so bili bolj izpostavljeni večkratni uporabi, to je listanju in branju. Kakovost odtisa v črni barvi dosega primerjalno s črkami rdeče barve višje vrednosti optične gostote odtisa. V postopku konservatorskega postopka mokrega čiščenja se izboljšajo lastnosti površine, optične in barvno-metrične lastnosti papirja, medtem ko se kakovost odtisa poslabša. Za ohranjanje kakovosti papirja in odtisa po zaključenem konservatorsko-restavratorskem postopku knjige predlagamo zaščitno embalažo arhivske kakovosti in hrambo v enakomernih klimatskih pogojih. Uporaba dragocenega izvoda naj bo dovoljena izjemoma le za nujne študijske namene in časovno omejeno razstavljanje.

4 LITERATURNI VIRI

1. BARRETT, T. D. Early European papers/ contemporary conservation papers. A report on research undertaken from fall 1984 through fall 1987. The paper conservator. Volume 13, 1989. Institute of Paper Conservation.
2. FELLER, R. L. Aspects of chemical research in conservation: the deterioration process. JAIC 1994, Volume 33, Number 2, Article 2, 91–99.
3. ČERNIČ LETNAR, M. in VODOPIVEC, J. Influence of Paper Raw Materials and Technological Conditions of Paper Manufacture on Paper Ageing, Restaurator 18, 1997, 73–91.

4. MARCUS, R. T. The Measurement of Color, K. Nassau (Ed.), Color for Science, Art and Technology, Elsevier, Amsterdam, 1998, 31–96.
5. ČERNIČ, M. Dalmatinova biblija – karakterizacija lastnosti papirja: poročilo o rezultatih raziskave. Ljubljana: Inštitut za celulozo in papir, 2010. 22 f., ilustr.
6. ČERNIČ, M. in VODOPIVEC, J. Tiskana in poslikana knjiga 16. stoletja: lastnosti papirja in tiska. Teh. vseb. probl. klas. elektron. arh., 2011, zv. 10, 249–262.
7. VODOPIVEC, J., PLANINC, L., ČERNIČ, M. Analyses and conservation of a gouaches collection. V: SIMONČIČ, B. (ur.) et al., 5th International Symposium on Novelities in Graphics, Ljubljana, Slovenia, 2010. Symposium proceedings. Ljubljana: Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Textiles, 2010, 666–671.

dr. Marjeta ČERNIČ¹, dr. Jedert VODOPIVEC-TOMAŽIČ²,
¹Inštitut za celulozo in papir Ljubljana,
²Arhiv Republike Slovenije

DITP
 MODRA PRILOŽNOST
 ZA POSPEŠENI
 RAZVOJ PAPIRNIŠTVA
 Izmenjajte izkušnje na:
www.icp-lj.si/forum



DOLOČITEV OPTIMALNIH LASTNOSTI TISKOVNIH MATERIALOV ZA TISK ELEKTRONIKE

DEFINING OPTIMAL PROPERTIES OF PRINTING SUBSTRATES FOR PRINTED ELECTRONICS

Tjaša Vidmar¹, Tadeja Muck¹, Marta Klanjšek Gunde²

IZVLEČEK

Članek obravnava lastnosti tiskovnega materiala – papirja –, ki vplivajo na funkcionalnost odtisov pasivnih elektronskih elementov s tehniko sitotiska. Pripravljen je bil nabor različnih segmentov tiskovnih materialov (Pe:smart tipa 2, Pretex, Biogloss, Biomatt in Superprint), ki so se razlikovali po surovinski sestavi, površinski obdelavi in namembnosti. Ugotovljeno je bilo, da so najpomembnejše lastnosti termična obstojnost in površinske lastnosti tiskovnih materialov, in sicer hrupavost, vpojnost in poroznost (makro komponenta). Te pomembno vplivajo na zadovoljivo sintranje kovinskih delcev na površini tiskovnega materiala in posledično funkcionalnost tiskanih elektronskih struktur. Izpostaviti velja tudi mehanske lastnosti in pH tiskovnih materialov, ki opredeljujejo obstojnost odtisov.

Ključne besede: papir, lastnosti tiskovnih materialov, sitotisk, tiskana elektronika.

ABSTRACT

In presented work the properties of printing material – paper –, which influence on the functionality of passive screen-printed electronic components were investigated. A set of diverse printing materials was chosen, namely Pe:smart type 2, Pretex, Biogloss, Biomatt and Superprint. They varied in composition, surface treatment and appropriate applications. The obtained results indicated that thermal stability and surface properties of printing material, namely roughness, absorbency and porosity (macro component) are most relevant. The mentioned properties had substantial impact on sintering of metal particles on the surface of printing material. This was also affecting the functionality of printed electronic structures. Stability of prints was evaluated by mechanical properties and pH value.

Keywords: paper, paper properties, screen printing, printed electronics.

1 UVOD

Leta 1976 so Alan MacDiarmid, Hideki Sigava in Alan J. Heeger dopirali poliacetilen z jodom in tako dobili prvi prevodni polimer [1]. To je bil začetek tiskanih elektronskih sistemov. Od tedaj so sintetizirali veliko prevodnih in polprevodnih polimerov, primernih za tisk elektronskih sistemov. V zadnjem času se razvijajo tudi kompozitni polimeri, ki jim dodajajo kovinske delce (na primer Ag, Au, Ni, Cu, Pt in prevodni ogljik) in imajo značilnosti kovin [2]. Tiskana elektronika pomeni tiskanje pasivnih in aktivnih elektronskih elementov – vezij na običajne tiskovne materiale, kot so papir, plastika in tekstil, z uporabo klasičnih tehnologij tiska (sitotisk, fleksotisk, globoki tisk in ofsetni tisk) in digitalnih tehnik tiska, kot je kapljični tisk. Najpogostejši tiskovni materiali za tiskano elektroniko so polimerne folije, to je poliestrske (polietilen tereftalatna folija – PET, polietilen naftalat – PEN) in poliamidne (PA) folije. Okolju bolj prijazne so tiskane strukture na papirju, ki so poceni, lahke, upogljive in tanke (< 50 μm) [3]. Zaradi majhne teže in debeline je papir primeren za prenosne

naprave in senzorje. Tiskana elektronski sistem je sestavljen iz tiskovnega materiala in večplastne strukture tiskarskih barv z različnimi električnimi lastnostmi. Posamezni sistem je lahko sestavljen iz aktivnih (diode in tranzistorji) ali pasivnih komponent (upori, kondenzatorji in tuljave) [4]. Aplikacije tiskane elektronike so: RFID, OLED zasloni, fleksibilne baterije, tranzistorji, fotonapetostne celice, spominske enote, pametna embalaža itd. [5]. Tiskana elektronika omogoča uporabo gibkih tiskovnih materialov, kar znižuje stroške proizvodnje in omogoča masovno izdelavo tankih, lahkih in mehansko prilagodljivih vezij. V primerjavi s klasično proizvodnjo čipov omogoča štirikrat večjo hitrost in nižjo ceno proizvodnje [5]. Tiskana (organska) elektronika ima nekaj slabosti, in sicer nizko stopnjo integracije in počasno preklapljanje. Tiskanih elektronskih produktov ne moremo primerjati s klasičnimi, saj ne moremo izdelati produktov z enakimi električnimi lastnostmi. Kljub temu ima tiskana elektronika velik pomen na področju sodobne embalaže, saj omogoča povečano interaktivnost – komunikativnost, dinamičnost

in funkcionalnost izdelkov. Tiskana elektronika je grafični izdelek prihodnosti, ker prinaša številne nove možnosti in področja uporabe elektronskih sistemov [4].

2 EKSPERIMENTALNI DEL

Za tisk preprostih elektronskih struktur je bil uporabljen nabor različnih tiskovnih materialov – papirjev, in sicer: Pe:smart tipa 2, Pretex, Biogloss, Biomatt in Superprint. Proizvajalci papirja so Next-level paper Felix Schoeller (Pe:smart type 2), Neenah Lahnstein (Pretex) in papirnica Vevče (Biogloss, Biomatt in Superprint). Na tiskovne materiale je bila s sitotiskarsko tehniko natisnjena triplastna struktura, sestavljena iz dveh prevodnih in vmesne dielektrične plasti. Pri našem raziskovanju smo se osredotočili le na prvo natisnjeno plast – prevodno plast. Raziskana je bila interakcija med tiskovnim materialom in prvo tiskano tiskarsko barvo oziroma prevodnim slojem. Prevodna plast je bila natisnjena v sitotiskarski tehniki s polavtomatskim sitotiskarskim strojem RokuPrint in prevodno tiskarsko barvo Electrodag PM-470. Omenjena tiskarska barva je namenjena tisku RFID anten



Slika 1: (a) 8-kratna povečava odtisov, natisnjenih s sitom 62-64 na tiskovnem materialu Pe:smart. (b) Odtis s prevodno tiskarsko barvo in sitom 62-64 na tiskovnem materialu Pe:smart. Svetlejši deli predstavljajo srebrove luske, temnejši pa vezivo tiskarske barve, ki pokriva srebrove luske.

na papirne in poliestrske tiskovne materiale. Sestavljena je iz srebrih lusk in termoplastične smole. Srebrove luske so heterogene velikosti (do 30 μm) in razporejenosti (slika 1).

Za doseganje najboljših prevodnosti tiskanih struktur mora biti urejenost srebrih lusk vzporedna, saj imajo le v tem primeru največ stikov. Tiskali smo z monofilamentnimi poliestrskimi nitmi (PET 1500) platnene vezave treh gostot (62-64, 77-55 in 120-34 niti/cm). Osredotočili smo se na sito 62-64, ker so rezultati merjenja plastne upornosti pokazali konstantno najboljše rezultate na vseh tiskovnih materialih. Teoretični barvni nanos s sitom 62-64 je bil 30,4 cm³/m².

Za relevantno določitev najpomembnejših lastnosti tiskovnega materiala so bile raziskane lastnosti, ki opredeljujejo tiskovno in tiskarsko prehodnost. V nadaljevanju so bile raziskane tudi termična stabilnost, mikroskopske lastnosti, prisotnost optičnih belil in kemijska struktura. Preučen je bil tudi vpliv termičnega in UV sevanja na degradiranje tiskovnega materiala.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

Izmed širokega nabora testiranj smo se osredotočili na rezultate najbolj ključnih lastnosti tiskovnih materialov, in sicer hrapavost, vpojnost, poroznost in termično stabilnost.

3.1 HRAPAVOST TISKOVNIH MATERIALOV

Na podlagi vizualne ocene (slika 2) vidimo, da ima Pe:smart izrazito homogeno in gladko površino na zgornji, tiskovni A strani. Veliko stopnjo hrapavosti na izrisu površinskega profila in topografije kažeta tudi Pretex in Superprint. Za tiskovna materiala Biogloss in Biomatt je bilo ugotovljeno, da imata podobno površinsko strukturo. Pri tem je treba poudariti, da je Biogloss sijajen, Biomatt pa matiran tiskovni material. Rezultate slikovne analize potrjujejo tudi rezultati merjenja hrapavosti po Bendtsenu in indeks neenakomernosti, ki so prikazani v preglednici 1.

Preglednica 1: Hrapavost po Bendtsenu in indeks neenakomernosti na zgornji A strani tiskovnih materialov.

Lastnosti/Tiskovni material	Pe:smart	Pretex	Biogloss	Biomatt	Superprint
Hrapavost po Bendtsenu [ml/min]	6	246	21	64	234
Indeks NU [I]	18,1	102,9	93,8	48,3	107,6

Večja vrednost indeksa neenakomernosti in hrapavosti po Bendtsenu pomeni hrapavo in nehomogeno površino tiskovnega materiala.

3.2 VPOJNOST TISKOVNIH MATERIALOV

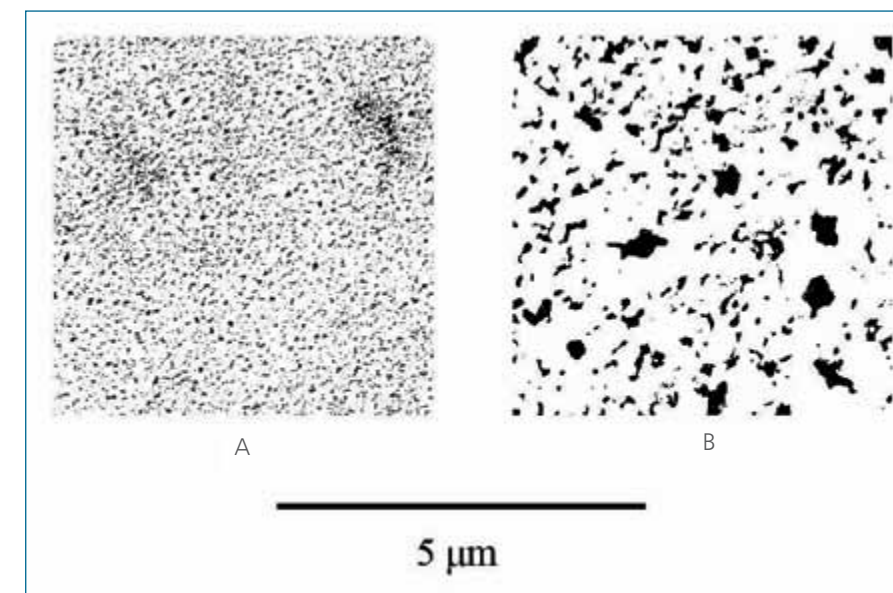
Hrapavost in vpojnost lahko močno vplivata na prevodnost tiskane plasti, in sicer zaradi slabše oziroma težje nadzorovane porazdelitve prevodnih delcev v suhem tiskanem sloju [7]. Pričakovali smo, da bo imel tiskovni material z večjo hrapavostjo tudi večjo vpojnost. Rezultati meritev površinske vpojnosti po Cobbu in stičnega kota so to ovrgli (preglednica 2). Izkazalo se je, da ima največjo površinsko vpojnost po Cobbu Pe:smart (14,9 g/m²). Drugi najbolj vpojen tiskovni material po Cobbu je Superprint (8,7 g/m²), nato mu sledijo še Biomatt (7,3 g/m²), Biogloss (5,1 g/m²) in Pretex (4,8 g/m²). Glede na rezultate meritev stičnega kota z obema tekočinama, to je prečiščeno vodo in formamidom, dosegajo Pe:smart (A stran), Biogloss in Biomatt dobro močenje (θ < 90°), Pretex mejno močenje (θ ≈ 90°) in Superprint slabo močenje (θ > 90°) površine s tekočino. Stični kot tiskovnih materialov je prikazan na sliki 3.

Preglednica 2: Površinska vpojnost po Cobbu in stični kot na zgornji A strani tiskovnih materialov

Lastnosti/Tiskovni material	Pe:smart	Pretex	Biogloss	Biomatt	Superprint
Cobb ₆₀ [g/m ²]	14,9	4,8	5,1	7,3	8,7
stični kot [°]	52	95	68	68	107
	56	96	71	72	110

Preglednica 3: Poroznost po Bendtsenu in makroporoznost na zgornji A strani tiskovnih materialov

Lastnosti/Tiskovni material	Pe:smart	Pretex	Biogloss	Biomatt	Superprint
Poroznost po Bendtsenu [ml/min]	6	246	21	64	234
Število por/μm	63	8	8	7	/



Slika 4: Makroporoznost A strani površine tiskovnih materialov, (A) Pe:smart in (B) Pretex.

3.3 POROZNOST TISKOVNIH MATERIALOV

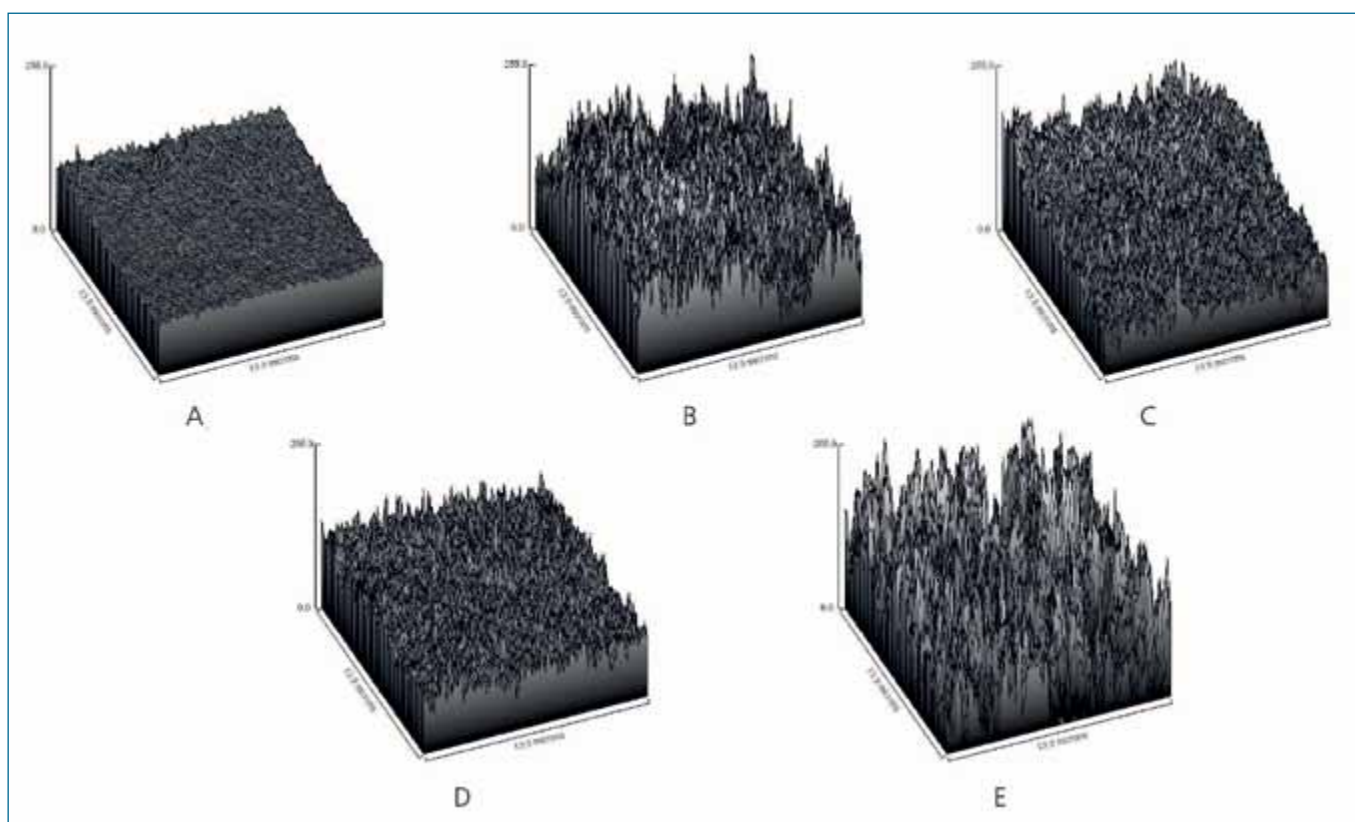
Poroznost tiskovnega materiala je pomembna, ker nam poda podatek o vpojnosti tiskovnega materiala in preko tega vpliva na gostoto in porazdelitev funkcionalnih delcev v suhi tiskani plasti. Velikost por ne sme biti prevelika in mora biti prilagojena velikosti prevodnih

delcev v tiskarski barvi. Ti delci ne smejo prodreti v pore, saj morajo ostati v tiskani plasti. Navadno je pri večji poroznosti tiskovnih materialov večja prevodnost tiskanih plasti. Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti. Iz preglednice 3 je razvidno, da imata največjo poroznost po Bendtsenu Superprint (889 ml/min) in Pe:smart (10 ml/min). Pri teh rezultatih je treba poudariti, da je metoda določanja poroznosti po Bendtsenu nenatančna pri zelo gladkih in zaprtih površinah tiskovnih materialov. Rezultati slikovne analize kažejo, da ima največje število por Pe:smart na A strani, to je 63 makro por na μm.

Na sliki 4 je slikovni prikaz dveh tiskovnih materialov, ki imata različno velike in razporejene pore. Pe:smart ima majhne in enakomerno razporejene pore, medtem ko ima Pretex velike in neenakomerno razporejene pore. Sklepamo lahko, da bo imela tiskana struktura na Pe:smart boljše porazdelitev funkcionalnih delcev in tudi večjo prevodnost.

3.4 TERMIČNA STABILNOST TISKOVNIH MATERIALOV

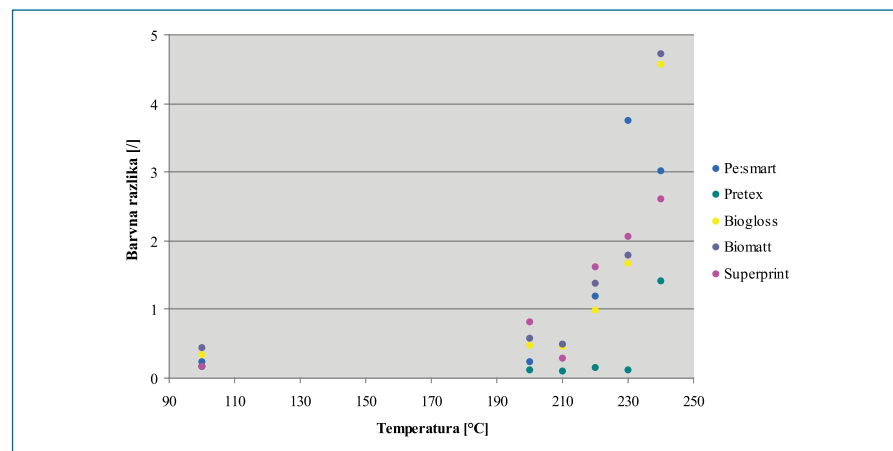
Poleg hrapavosti, vpojnosti in poroznosti tiskovnega materiala je za tisk elektronskih struktur pomembna tudi termična stabilnost. Le pod določenimi termičnimi vplivi funkcionalni delci tvorijo dovolj visoke prevodnosti. To smo določili s pomočjo barvnih razlik ΔEab*. Rezultati termične stabilnosti tiskovnih materialov so prikazani na sliki 5.



Slika 2: Grafični prikaz topografije površine tiskovnih materialov na A strani: (A) Pe:smart, (B) Pretex, (C) Biogloss, (D) Biomatt in (E) Superprint



Slika 3: Stični kot najbolj in najmanj vpojnega tiskovnega materiala z vodo na A strani po 30-sekundni izpostavitvi.



Slika 5: Termična stabilnost tiskovnih materialov.

Za uporabo drugih tiskarskih barv, ki za utrjevanje potrebujejo višje temperature sušenja, smo določili tudi kritično temperaturo IR sušenja tiskovnih materialov. To smo določili z vrednostjo barvne razlike, ki preseže vrednost $\Delta E_{ab}^* > 1$. Kritična temperatura IR sušenja za Pe:smart, Biomatt in Superprint je 220 °C. Za Biogloss je kritična temperatura IR sušenja 230 °C, za Pretex pa 240 °C. Iz slednjega sklepanja, da bi Pretex in Biogloss omogočala še višje in še bolj zahtevne pogoje izdelave tiskanih elektronskih struktur.

4 SKLEPI

V raziskavi so bile preučene ključne lastnosti tiskovnih materialov, ki pomembno vplivajo na tiskane elektronske strukture. Za določanje ključnih lastnosti sta bili postavljeni dve merili, in sicer funkcionalnost tiskanih elektronskih struktur in obstojnost odtisov. Pri prvem merilu smo za ključne lastnosti tiskovnih materialov

določili hrapavost, vpojnost, poroznost in termično stabilnost, medtem ko so pri obstojnosti odtisa pomembne pH in mehanske lastnosti tiskovnih materialov. Poleg tega je pri tisku treba upoštevati tudi temperaturo in relativno zračno vlažnost. Omenjeni lastnosti imata velik pomen pri obnašanju tiskovnega materiala skozi grafični proces. Ugotovili smo, da tiskovni material pod vplivom povišane temperature in UV sevanja degradira. Poznavanje lastnosti tiskovnih materialov v ekstremnih pogojih, ki jih zahteva tiskana elektronika, je nujno potrebno za razlago medsebojnih vplivov tiskovnega materiala in električno funkcionalne tiskarske barve. Ker so pogoji tiska električno funkcionalnih struktur precej drugačni od klasičnih, tovrstni podatki praktično niso dosegljivi. Zato je poznavanje teh lastnosti in razumevanje njihovih vplivov na električne lastnosti tiskanih struktur prvi korak k masovni proizvodnji optimalno učinkovitih elektronskih struktur.

LITERATURA

- [1] HEEGER, A. J. Semiconducting and metallic polymers: the fourth generation of polymeric materials. *Synthetic Metals*, 2002, vol. 125, str. 23–42.
- [2] FRIEND, R. Polymers show they're metal. *Nature Materials*, 2006, vol. 441, 37 str.
- [3] SIEGEL, A., PHILLIPS, S., DICKEY, M., LU, N., SOU, Z. in WHITESIDES, G. Foldable printed circuit boards on paper substrates. *Advanced functional materials*, 2008, let. 20, 8 str. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.200901363/pdf>>.
- [4] Printed electronics. V *Wikipedia: the free encyclopedia* [dostopno na daljavo]. Obnovljeno 23. 5. 2011 [citirano 16. 9. 2011]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://en.wikipedia.org/wiki/Printed_electronics>.
- [5] *Organic and Printed Electronics*: [brošura]. Frankfurt, Organic Electronics Association, 2009, 92 str.
- [6] HODGSON, A. *The role of paper in the future in printed electronics* [dostopno na daljavo]. Alan Hodgson Consulting [citirano 16. 9. 2011]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.copadd07.ethz.ch/papers/3.pdf>>.
- [7] WOOD, L., HREHOROVA, E., JOYCE, T., FLEMING, P., JOYCE, M., PEKAROVICOVA, A., in BLIZNYUK, V. Paper substrates and inks for printed electronics. V *PiraPaper* [dostopno na daljavo], 2009, 7 str. [citirano 16. 9. 2011]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.wmich.edu/pci/faculty/P>>.

mag. Tjaša Vidmar¹, dr. Tadeja Muck¹,
dr. Marta Klanjšek Gundel²
¹Univerza v Ljubljani,
¹Naravoslovnotehniška fakulteta,
Snežniška 5, Ljubljana
²Kemijski inštitut, Hajdrihova 19, Ljubljana

tesa® Vodotopni Lepilni Trakovi
odličnost lepljenja v proizvodnji papirja

Izjemna kakovost in rešitve v vseh procesih pri izdelavi papirja postavljajo tesa izdelke v sam vrh pri papirni industriji v svetovnem merilu.



tesa tape d.o.o.
A tesa Company

tesa tape d.o.o.
Pot k sejmišču 30
1231 Ljubljana - Črnuče
tel.: +386 (0)1 560 24 09
www.tesa.si



POVZETKI IZ TUJE STROKOVNE LITERATURE

ABSTRACTS FROM FOREIGN EXPERT LITERATURE



Konfokalna/dvofotonska mikroskopija: učinkovito orodje za strukturno analizo, kvantitativno določitev in raziskave

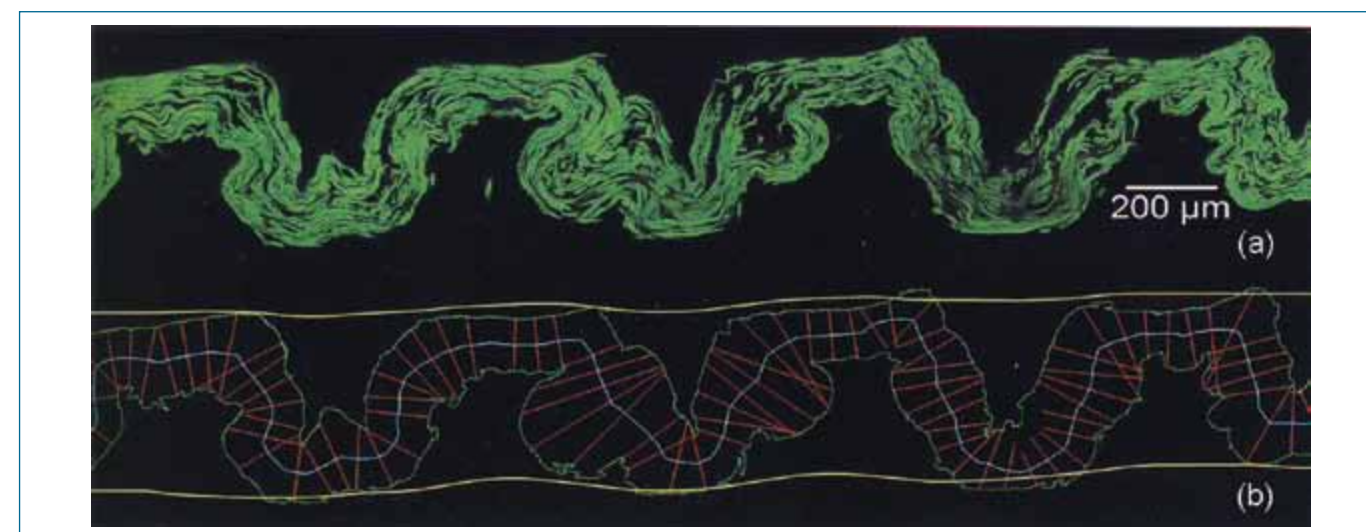
Confocal/two-photon microscopy: a powerful technique for structural analysis, quantification and developments

IPW 3-4 (2011) str. 11–14

Izdelki iz celuloznih vlaken so običajno kompleksni, neurejeni, porozni materiali. Njihove strukturne lastnosti, značilnosti vlaken in procesne spremenljivke so trije osnovni dejavniki, ki vplivajo na uporabnost končnega izdelka.

Čprav so lastnosti vlaken in procesne spremenljivke v pretežni meri merljive količine, je še malo znanega o strukturnih karakteristikah zaradi pomanjkanja ustreznih metod za njihovo določanje. V članku je predstavljena kombinacija

konfokalne dvofotonske mikroskopije in slikovne analize, ki omogoča kvalitativno in kvantitativno opredelitev strukture in različnih komponent v specialnih papirnih izdelkih.

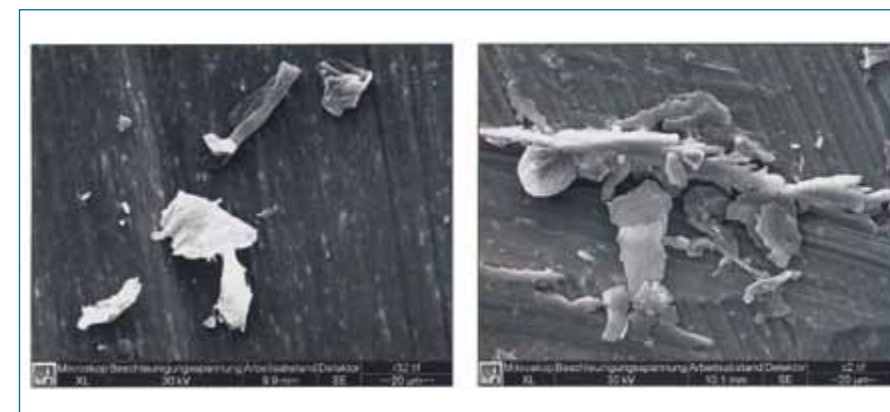


Slika: CLSM prečni presek krep papirja

Uporaba zvočnih valov za natančno določitev prašnih delcev, ki se izločajo iz površine papirja

Acoustic waves for precise determination of particulate matter emitted from paper surfaces

A. Kornherr, P. Achatz, G. Drexler, IPW 6 (2011) str. 13–16



Slika: Večji prašni delci iz vzorcev papirja na kovinski podlagi

Papir je zelo kompleksen material, ki ga sestavlja vlakninski matriks z vključkom anorganskih, pigmentnih delcev in različnih aditivov. Takšen kompozit lahko izloča fragmente vlaken, delce polnil, ostanke aditivov in podobno, in sicer v primeru, da je izpostavljen mehanskemu stresu. Ta pojav je znan kot prašenje. Nova »ANDT« metoda omogoča test prašenja v kontroliranih pogojih z uporabo zvočnih valov, pri katerem določamo celokupno koncentracijo delcev, porazdelitev njihove velikosti, kakor tudi strukturne in kemijske karakteristike