

PREGLED TEHNOLOGIJA ELEKTRONIČKOG PAPIRA I PRETPOSTAVKE BUDUĆEG RAZVOJA E-PAPIRA

OVERVIEW OF THE ELECTRONIC PAPER TECHNOLOGIES AND PRESUMPTIONS OF FUTURE DEVELOPMENT OF E-PAPER

Darijo Čerepinko, Vesna Džimbeg-Malčić

Pregledni rad

Sažetak: Rad daje pregled postojećih tehnoloških rješenja elektroničkog papira i pregled njegove komercijalne upotrebe. Pregled najčešćih tehnoloških rješenja daje uvid u osnovne principe koje koristi svaka od spomenutih tehnologija. U zaključku rada daje se nekoliko mogućih smjerova daljnjeg razvoja tehnologije elektroničkog papira, ovisno o do sada istraženim mogućnostima i zahtjevima te o razvoju tržišta.

Ključne riječi: elektronički papir, tehnologija e-papira, perspektiva e-papira

Review article

Abstract: In this paper, a short overview of the present technological solutions of electronic paper and its commercial use is given. The authors are discussing technological solutions most widely used and the basic principles of each of the discussed technologies. In conclusion the authors discuss several possible development directions of the e-paper technology, depending on contemporary research and market demands.

Key words: electronic paper, e-paper technologies, e-paper perspectives

1. UVODNE NAPOMENE

1.1. Definicija elektroničkog papira

Elektronički papir, kao i sama tehnologija elektroničkog papira, još uvijek nije jasno definirana s obzirom na to da postoji mnogo metoda i tehnoloških rješenja elektroničkog papira. Heikenfeld i suradnici nude definiciju koja određuje minimalna zajednička svojstva koje bi proizvod trebao imati da bismo ga mogli nazvati elektroničkim papirom. Prema njima [1], elektronički papir je svaki onaj proizvod koji karakterizira tzv. 'tehnologija reflektirajućeg zaslona' bez unutrašnjeg izvora svjetlosti, a čiji je 'otisak' na zaslonu neosjetljiv na uvjete osvjetljenja ili kut gledanja, lagan je i zahtijeva relativno malo energije. Elektronički papir, prema istim autorima, oponaša optičke karakteristike konvencionalnog papira. Upravo nedostatak unutrašnjeg svjetla čini ga bitno različitim od zaslona koji kombiniraju LED, LCD, plazma ili neku drugu tehnologiju, pogotovo sa stajališta čitljivosti i preglednosti 'otiska' na zaslonu.

1.2. Tehnologije elektroničkog papira

Elektronički papiri po tehnici izrade dijele se na dva osnovna dijela. To su tzv. 'prednja i zadnja ploča' [2]. Zadnja ploča je zapravo tehnološko rješenje na koje se

postavlja prednja ploča koja sama po sebi sadrži elektronički papir, a koja služi tome da se osigura pristup energiji potrebnoj za funkcioniranje prednje ploče. Na istu zadnju ploču mogu se zapravo 'lijepiti' različite prednje ploče, a također istu prednju ploču moglo bi se postaviti na različite zadnje ploče. Kombinacije jednih i drugih ovise prije svega o zahtjevima i interesima komercijalnih proizvođača različitih uređaja koje koriste elektronički papir te neće biti predmet ovog rada. Ovaj rad isključivo će se baviti tehnologijom prednje ploče.

Danas je poznato nekoliko različitih tehnologija proizvodnje elektroničkog papira [2], odnosno 'prednjih ploča'. To su: gyricon, elektroforetska tehnologija (E Ink, SiPix, Bridgestone), elektrovlaženje (Liquivista), tehnologija elektrofluida (Gamma Dynamics), ChLCD – tehnologija kolesteričnih LCD-a (Fujitsu, Hitachi, Kent Display, Kodak, Nemoptic, ZBD Display), elektrokromatske tehnologije (Acreo, Aveso, Ntera, Siemens), tehnologija interferometrijskih modulatora (Qualcomm), tehnologija fotonskih kristala (Opalux), REED tehnologija (Zikon) i tehnologija bistabilnih LCD zaslona. Neke od spomenutih tehnologija već su u komercijalnoj upotrebi i koriste se u uređajima poput elektroničkih čitača, dok su druge još uvijek u fazi eksperimentalne upotrebe ili se tek pripremaju za tržište. U idućem poglavlju bit će predstavljene osnovne karakteristike i principi na kojima djeluju najvažnije od

njih, s obzirom na to da su tehnologija fotonskih kristala, REED tehnologija i tehnologija bistabilnih LCD zaslona zapravo derivacije nekih od ranije spomenutih. Zato nema potrebe dodatno ih pojašnjavati, budući da se razlikuju uglavnom samo u materijalima iz kojih su izrađene, a ne u principima rada.

Ključni elementi za promatranje spomenutih tehnologija su, prema Neytsu[3], načini tzv. dizajna optike koji se mogu izvršiti na dva načina:

- a) utjecajem na 'koherentnu optiku' u neposrednoj blizini tankog emitivnog sloja filma
- b) utjecajem na svjetlosne valove koji ulaze i lome se kroz dubinske slojeve elektroničkog papira

2. OPTIČKI ZAHTEVI E-PAPIRA

Heikenfeld i suradnici definiraju tri osnovna zahtjeva [1] koje moraju zadovoljiti elektronički papiri kada je riječ o njihovim optičkim karakteristikama:

- 1) svjetlo mora u najvećoj mogućoj mjeri biti spregnuto uz piksel
- 2) svjetlo mora biti efikasno reflektirano unutar piksela
- 3) difuzno reflektirano svjetlo unutar piksela (optički gubitak) mora biti uspješno izbačeno

2.1. Smanjenje Fresnelove refleksije

Prvi zahtjev vezan je uz smanjenje tzv. Fresnelove refleksije do koje dolazi prilikom prolaza svjetla kroz slojeve različitog indeksa refrakcije, s obzirom na to da se spomenute refleksije smatraju optičkim gubitkom i to zbog dva razloga: uopće ne doprinose vidljivosti slike i velika je vjerojatnost da neće dosegnuti promatrača. Kako bi se izbjegao taj efekt, razvijeno je nekoliko tehničkih prilagodbi od kojih su neke već u komercijalnoj primjeni. Riječ je o višeslojnim 'oblogama' na različitim bazama, od tankog sloja antirefleksivnog filma do obloga od različitog materijala s niskim refraktivnim indeksom.

Heikenfeld i suradnici kao jednu od najboljih zaštita u ovom segmentu navode tzv. 'Moth Eye' sloj koji se sastoji od mnogo naizmjeničnih mikroslojeva koji imaju suprotne, odnosno kontrastne refraktivne indekse. Time dolazi do međusobnog interferencijskog poništavanja reflektiranog Fresnelovog svjetla. Osim njih, u upotrebi su još i slojevi od 'nanocijevi' i 'nanomreža' te različiti polimerni slojevi kojima je zajedničko svojstvo propuštanje najveće moguće količine svjetla do samog piksela. Polimerni slojevi korišteni u slučaju 'elektroničke kože', odnosno kolesteričnih LCD-a koje proizvodi Kent Displays, prema Heikenfeldu dosižu i do 97-postotnu propusnost.

2.2. Ravnanje konusa kuta gledanja

Heikenfeld ističe kako je za postizanje iskustva čitanja što sličnijeg čitanju s konvencionalnog papira potrebno osigurati polu-difuznu refleksiju svjetla, što se može osigurati 'izravnavanjem' konusa kuta gledanja unutar samog piksela. Kod ovog uvjeta površinska refleksija mora biti zrcalna i na vrlo uglačanim površinama jer kut refleksije mora biti jednak ulaznom kutu zraka svjetla. Eventualno može biti i difuzna, za grublje površine, ali u tom slučaju mora imati jako širok raspon različitih ulaznih kutova.

2.3. Eliminacija optičkih gubitaka i unutrašnje refleksije

Zbog refleksije unutar slojeva, određeni višak svjetla ostaje 'zarobljen' između slojeva pa je treći zahtjev za kvalitetu elektroničkog papira uspješno odstranjivanje viška tako reflektiranog svjetla kroz njegovu ponovnu difuznu refleksiju izvan piksela ili slojeva. To ponovno dovodi do gubitka određene količine svjetla (povećava se ovisno o svojstvu slojeva i o konstrukciji piksela), ali je neophodno za dobru čitljivost i kontrast. Heikenfeld i suradnici tvrde kako anti-refleksijski sloj i pojedini difuzni slojevi mogu poboljšati izbacivanje viška svjetla, ali kao najbolju opciju predlažu dodavanje još jednog sloja – pojačivača refleksije. Ističu kako mnogo toga ovisi o nizu faktora – od vrste osvjetljenja do položaja promatrača. Sloj za pojačavanje refleksije već je u upotrebi kod LCD zaslona, a sada se počinje koristiti i kod elektroničkih papira. Njegova glavna karakteristika je ta da se omjer zrcalne i difuzne refleksije, kao i distribucija reflektiranog svjetla, može regulirati površinskom hrapavošću, odnosno mikrošupljinama u samom sloju. Neyts[3] definira tri takve mogućnosti: jednodimenzionalne šupljinske strukture, hrapavost emitivnog sloja i hrapavost površina na dodiru slojeva sa supstratom, odnosno zrakom. O tome će više riječi biti u nastavku.

3. PREGLED TEHNOLOGIJA 'PREDNJIH PLOČA'

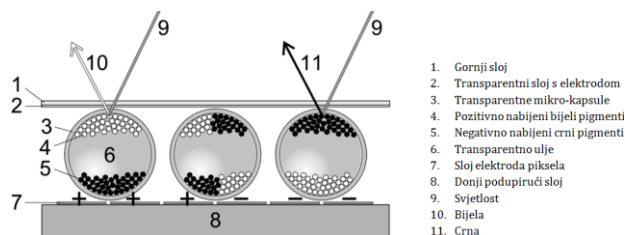
3.1. Gyricon

Prvi korak [4] u razvoj elektroničkog papira ostvario je još 70-ih godina 20. stoljeća Nick Sheridan iz Xeroxovog PARC-a (Palo Alto Research Center) koji je svoj proizvod nazvao Gyricon. On se sastojao od polietilenskih sfera širokih između 75 i 106 mikrometara, zapravo od tzv. janus čestica koje su s jedne strane bile negativno (obojane crno), a s druge pozitivno nabijene (bijele). Svaka sfera nalazila se u mjehuriću ulja da bi mogla slobodno rotirati, a sve sfere smještene su na transparentnu silikonsku podlogu. Promjenom napona, odnosno polariteta, mijenjao bi se i položaj sfere pa se tako mogla dobiti bijela, odnosno crna pozicija, što je u krajnjem slučaju određivalo boju pixela, tj. stvaralo je sliku na zaslonu. Taj pristup imao je dva nedostatka:

'papir' nije bio savitljiv, a 'otisak' nije bio ujednačene kvalitete jer Sheridan nikako nije mogao dobiti jednoličan izgled sfera. Zbog tehnoloških problema napuštena je spomenuta tehnologija, dok princip nije napušten, iako je 2008. japanska kompanija Soken Chemical & Engineering prikazala niz zidnih tapeta od elektroničkog papira baziranog na spomenutoj tehnologiji.

3.2. Elektroforezna tehnologija

Trebalo je proći gotovo dva desetljeća da se elektronički papir baziran na sličnom principu razvije za komercijalnu upotrebu. Joseph Jacobs iz M.I.T Media Laba počinje koristiti tzv. elektroničku tintu (e-ink) koja funkcionira na principu elektroforeze [5].



Slika 1. Shematski prikaz elektroforezne tehnologije

To je proces u kojemu otopljena tvar ili čestica određenog naboja putuje kroz viskozno sredstvo pod djelovanjem električnog polja prema jednoj od elektroda ovisno o prirodi njenog naboja, kada se kroz spomenuto sredstvo propusti istosmjerna električna struja. U slučaju elektroničke tinte, Joseph Jacobs i njegov tim uzeli su mikrokapsule veličine 100 mikrona pune stotinama bijelih pigmenta i plavom tintom. Kod elektroforeze promjena naboja utjecala bi na položaj čestica pigmenta. Ako bi naboj na transparentnoj elektrodi bio suprotan njihovom, čestice pigmenta u mikrokapsuli krenule bi prema elektrodi formirajući tako polja bijele boje. U suprotnom slučaju bijeli pigmenti tonuli bi na dno te bi se tako formirala polja plave, odnosno tamne boje. Korištenje mikrokapsula omogućilo je ispravljanje oba problema koja su mučila Sheridona: mikrokapsule su omogućavale kvalitetu i ujednačenost otiska, a ujedno su omogućile i stvaranje materijala koji su bili fleksibilni i savitljivi [6].

3.3. Elektrovlaženje

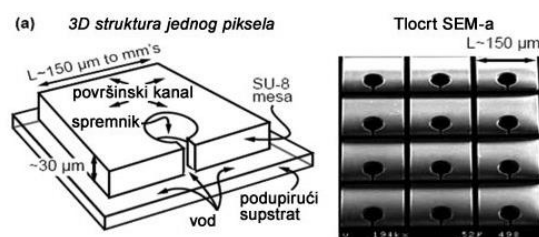
Sljedeći korak u razvoju elektroničkog papira dogodio se sredinom prvog desetljeća 21. stoljeća, točnije EWD zaslonima tvrtke Liquavista BV predstavljena 2006. godine. Riječ je o zaslonima na bazi tzv. električnog vlaženja (electrowetting) odnosno o tehnologiji baziranoj na elektrokemijskim svojstvima boje i vode i principima kakvi se koriste kod plošnog tiska kod kojeg su tiskovne površine oleofilne, odnosno oleofobne [7]. Tehnologija se bazira na tzv. 'optičkom slogu' koji se sastoji od pet ključnih elemenata – bijelog supstrata, transparentne elektrode, hidrofobnog izolacijskog sloja, bojila i vode – stiješnjenih između

dviije staklene ili površine od različitih polimernih supstrata. Kod ove tehnologije veličina piksela iznosi oko 200 μm , a površinska napetost sloja bojila je i do tisuću puta veća od gravitacijske sile, što jamči postojanost sloja boje. U nepobudenoj fazi sloj boje ravnomjerno je raspoređen na cijeloj površini hidrofobnog izolacijskog sloja. Promjenom polariteta transparentne elektrode moguće je ne promijeniti elektrokemijska svojstva hidrofobnog izolacijskog sloja pa on postaje hidrofilan. To dovodi do transparentnosti, odnosno do vidljivosti bijelog supstrata u temeljnom sloju sloja.

Ova tehnologija omogućava transmisivne, reflektivne i transrefleksivne zaslone, što je čini jedinom tehnologijom elektroničkog papira sličnom LCD tehnologiji. Također omogućava upotrebu boje, što je bio problem kod e-ink tehnologije, ali i brzu izmjenu slike, što otvara put za prikazivanje video-sadržaja koji je još jedan od nedostataka tehnologija temeljenih na elektroforezi [8]. Arhitektura zaslona bazirana je na jednom ili na tri sloja. Kod jednoslojne arhitekture sloja svaki piksel podijeljen je u tri 'podpiksela' s RGB filterom, dok kod troslojne imamo CMY slojeve [7]. U usporedbi s LCD tehnologijom, elektrovlaženje daje i do dva puta bolje rezultate kod konverzije boja, može se promatrati pod gotovo svim kutovima (za razliku od LCD-a) i odlično reagira na različite uvjete osvjetljenja [7]. Iako se očekivalo da se EWD zasloni nađu u komercijalnoj upotrebi tijekom 2011. godine (Samsung Electronics kupio je tvrtku Liquavista 2010.), to se još uvijek nije dogodilo.

3.4. Tehnologija elektrofluida

Elektronički papir zasnovan na tehnologiji elektrofluida razvili su znanstvenici s Novel Devices Laboratorija Sveučilišta u Cincinnatiju [1]. Princip rada zasniva se na sličnim principima kao i elektrovlaženje, s tom razlikom da su pigmenti bojila disperzirani u vodenoj otopini smješteni u malenim spremnicima unutar područja svakog pojedinog piksela koja zauzimaju tek 5-10 posto površine piksela i praktički su nevidljivi golom oku. Bez upotrebe bilo kakve pobude, pod utjecajem 'Laplaceovog pritiska', pigment ostaje zadržan u spremniku. Pigmenti se pod naponom elektromehanički 'izvlače' iz spremišta i pokrivaju tzv. površinski kanal smješten između elektrode i hidrofobnog dielektrika, a odspajanjem napona pigment se u izrazito kratkom vremenu (1-10 ms) vraća natrag u spremnik.

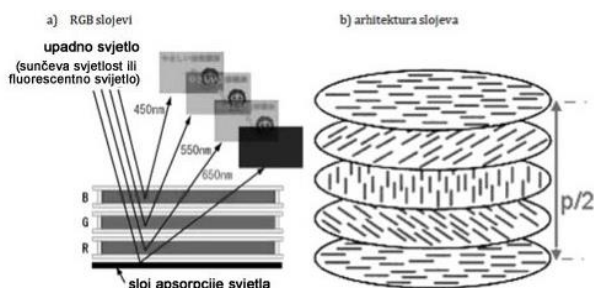


Slika 2. Elektrofluidni pikseli (prema NDL Research Lab, 2012.)

Ovom tehnologijom poboljšava se pokrivenost piksela bojom čak dva do tri puta u odnosu na elektrovlaženje pa dostiže između 80 i 95 posto pokrivenosti piksela. Također je u određenim varijantama moguće postizanje stabilne sive skale. Prednost je korištenje pigmenta disperziranih u bojilu na bazi vode, a mikrotehnološka rješenja pogodna su za različite oblike savitljivih elektroničkih papira. Ova tehnologija pogodna je i za višeslojne substraktivne sinteze te, baš kao i papiri temeljeni na elektrovlaženju, za prikaz video-sadržaja.

3.5. Tehnologija kolesteričnih LCD-a

Tehnologija kolesteričnih LCD-a počiva na primjeni tzv. kiralnih molekula koje su asimetrično građene, a razlika u odnosu na 'obične' molekule vidljiva je u optičkoj aktivnosti: jedan izomer zakreće ravninu polariziranog svjetla u lijevo, a drugi u desno [9]. Tekući kristali ovdje su formirani u slojeve unutar kojih nemaju određenu poziciju, ali imaju zajednički, generalni smjer, odnosno os u odnosu na koju su poravnati, a spomenuta os varira od sloja do sloja [10]. Na taj se smjer može utjecati promjenom termičkih uvjeta, tj. propuštanjem električne struje kroz pojedine slojeve, što uzrokuje zakretanje kristala.



Slika 3. Kolesterični LCD zaslon (preuzeto od a) Fujitsu, b) Wikipedia)

Spomenuta tehnologija još je u pokusnoj fazi, ali pojedini proizvođači predstavili su rješenja koja se mogu primijeniti na različitim podlogama (Kent Displays nazvali su svoju verziju 'Electronic skin [11]) i relativno su tanka, ali još uvijek su u najvećoj mjeri u pokusnoj fazi. Najveći problemi spomenute tehnologije su relativno malen kontrast i relativno sporo 'brisanje' starog i stvaranje novog 'otiska', što je čini neiskoristivom za složenije multimedijске sadržaje poput animacija ili videa. Posljednja istraživanja [12] pokazuju kako bi se i to u skorijoj budućnosti moglo promijeniti.

3.6. Elektrokromatske tehnologije

Ova tehnologija zasniva se [13] na provodljivim polimerima koji su u svojoj provodljivoj fazi optički transparentni i izrazito su stabilni. Karakterizira ih mogućnost promjene boje, ovisno o stanju oksidacije, odnosno redukcije materijala. Elektronički papiri temeljeni na ovoj tehnologiji sastoje se od najmanje dva sloja vodiča, zatim od elektrokromatskog sloja i sloja

elektrolita smještenog na sloju nosaču (ili bez sloja u slučaju transparentnih elektrokromatskih zaslona), najčešće bijelom, kako bi se omogućio kontrast između podloge i obojenog sloja. Karakteristika slojeva napravljenih spomenutom tehnologijom je relativno visok kontrast i bogata paleta boja, pogotovo kada se koristi nasuprot bijele podloge zbog apsorpcije dijela svjetlosnog spektra (slično kao kod pigmenta koji se koriste kod standardnog tiska). Tehnologija izrade elektrokromatskog sloja varira od fleksografskih materijala (Acreo) do nanočestica na bazi metalnih oksida (Ntera) ili bipiridinskih soli (Siemens). Slojeve elektrokromatskog elektroničkog papira moguće je proizvesti u veličini od samo 100 mikrona, što ih čini izrazito pogodnima za različite forme roll-up elektroničkih papira i za primjenu na različitim podlogama.

3.7. Tehnologija interferometrijskih modulatora

Tehnologija interferometrijskih modulatora (IMOD)[14] bazirana je na principima Fabry-Perotovog etalona kod kojeg interferencija zraka svjetlosti na etalonu može proizvesti različite optičke efekte. Kod IMOD elektroničkih papira, Fabry-Perotov princip koristi se za dobivanje obojenja. Uređaj se sastoji od samostojeće promjenjive membrane i tankog sloja filma položenih na transparentni sloj nosač. Membrana i film u ovom slučaju funkcioniraju kao etalon, odnosno kao zrcala optički rezonantne šupljine uzrokujući optički efekt. Promjena boje reflektirajuće zrake svjetlosti postiže se promjenom dubine rezonantne šupljine tako da se tanki sloj filma – koji je u ovom slučaju vodič – stavi pod napon. To uzrokuje promjenu u veličini membrane pod utjecajem elektrostatskih sila, a što potom uzrokuje refleksiju različitih valnih duljina. Sama tehnologija je bistabilna, a počiva na svojstvu primijenjenih materijala da zadrže pobuđeno stanje do neke nove pobude. To omogućuje stabilnost otiska, a s druge strane brzina promjene dubine optički rezonantne šupljine/membrane događa se u desetini mikrosekunde, što je dovoljno brzo za reprodukciju dinamičkih elemenata, odnosno za video-materijal ili animaciju.

4. PERSPEKTIVE RAZVOJA E-ČITAČA; PRIMJENA E-PAPIRA

Posljednje dvije godine na tržištu su se pojavili uređaji pod nazivom e-čitači (Kindle Fire, Nook Color). Oni ne koriste tehnologiju elektroničkog papira već, kao i druga konkurencija (iPad, Samsung Galaxy, Motorola Xoom...), zaslone bazirane na LCD tehnologiji. Pogodni su za reprodukciju različitih multimedijjskih sadržaja te je velika vjerojatnost da će u budućnosti rasti njihov tržišni udio, u odnosu na konvencionalne tiskovine i e-čitače bazirane na postojećim tehnologijama elektroničkog papira. Stoga Heikenfeld [1] predviđa cijeli niz drugih tehnoloških rješenja u kojima se može koristiti elektronički papir: elektroničke naljepnice i etikete (npr.

za označavanje u trgovinama), različite elektroničke znakove, bilboarde te niz fleksibilnih, odnosno uvijajućih proizvoda za različite namjene. Bez obzira na pretpostavke, ostaje činjenica kako je primjena elektroničkog papira danas još uvijek u najvećoj mjeri vezana uz elektroničke čitače, što pokazuju i njihovi tržišni udjeli.

Perspektivu elektroničkih čitača treba promatrati kroz dvije tehnološke opcije:

- a) monokromatske čitače
- b) čitače u boji

Spomenute uređaje treba promatrati i kroz funkcionalnu perspektivu kao monofunkcionalne i multifunkcionalne (multimedijske) uređaje.

Predviđajući budućnost monokromatskih uređaja (prvi monokromatski e-čitač sa značajnim komercijalnim uspjehom bio je Amazonov Kindle), Heikenfeld i suradnici njihov najveći nedostatak vide u relativno teškom dostizanju SNAP (Specifications for Newsprint Advertising Production) [15] i SWOP (Specifications for Web Offset Publications) [16] standarda, koje uspijevaju dostići tek pojedini proizvodi bazirani na elektroforetskim i elektrokromatskim tehnologijama [1], i to do 60, odnosno tek 75 posto. Dodatni problem predstavlja crno-bijeli kontrast koji je kod dijela uređaja još uvijek ispod standarda zahtijevanih od konvencionalnog tiska (IMOD, kolesterični LCD). Ostaje činjenica da su prikazani 'otisci' na svim tipovima monokromatskih e-čitača po SNAP i SWOP karakteristikama još uvijek ispod zaslona baziranih na LCD i sličnim tehnologijama. Heikenfeld ističe kako postoji cijeli niz mogućih unapređenja i kako u njihovo istraživanje i razvoj i dalje treba ulagati [1].

Kod čitača u boji Heikenfeld ističe da je, osim u slučaju čitača baziranih na troslojnoj kolesteričnoj LCD tehnologiji, njihova kvaliteta još prilično neistražena i nedokazana, a najveći nedostaci su joj siromašan gamut boja i, kao i kod monokromatskih uređaja, relativno teško dostizanje SNAP kolor standarda. Kod aditivne sinteze boja (RGB i RGBW) dobivene boje su izrazito smanjenog intenziteta u odnosu na konvencionalni tisak, pa mogućnost dobrog prikaza boje treba više tražiti u tehnologijama koje koriste supstraktivnu sintezu (CMY), u ovom slučaju prije svega troslojnim kolesteričnim LCD te svim tehnologijama baziranim na horizontalnom transponiranju. U praksi ni jedna od spomenutih nije pokazala ni približno slične rezultate kao konkurentne LCD, OLED i druge slične tehnologije.

Kada se govori o namjeni uređaja, tj. o funkcijama koje korisnici od njih traže, za sada je malo vjerojatno da će elektronički čitači uspjeti nadmašiti različite tablete i druge slične mobilne uređaje. Kao uređaj za čitanje knjiga, e-čitač pokazao se kao izvrsna opcija unatoč relativno lošijim karakteristikama u odnosu na konvencionalni papir kada je posrijedi otisak, odnosno

optičke kvalitete [1]. S druge strane pokazao se izvrsnim u pohrani i mogućnostima korištenja samog sadržaja – uveo je niz funkcija koje tiskana izdanja nemaju – što dokazuje i njegov komercijalni uspjeh. Postoji nekoliko različitih istraživanja koja pokazuju kako su elektronički čitači još uvijek prvi izbor kada je riječ o čitanju književnih djela, odnosno fikcije [17], ali ne i kad je riječ o korištenju za akademske ili druge slične svrhe te za prikaz multimedijskih sadržaja. Razloge tome prije svega treba tražiti u većoj kvaliteti drugih dostupnih mobilnih uređaja poput tableta ili čak mobilnih pametnih telefona. Dodatni problem je i to što e-čitači bazirani na elektroničkom papiru prilikom reprodukcije multimedijskih sadržaja troše puno više energije i izlaze iz definicije tzv. low energy consuming uređaja.

Heikenfeld ističe [1] kako je trenutak u kojem će postojati prenosivi, savitljivi i povezani uređaji od električnog papira bliska budućnost koju je već moguće nazrijeti, ali da postoji još nekoliko važnih problema koje prije toga treba riješiti – prije svega u cijeni tehnologije, a zatim i u kvaliteti 'otisaka', kao i brzini izmjene te potrošnji energije. Smatra i da će se s vremenom smanjivati broj dostupnih tehnologija koje će moći postići i komercijalni uspjeh i/ili primjenu, ali u ovom je trenutku teško reći koje tehnologije bi to mogle biti s obzirom na to da se mnoge još uvijek u eksperimentalnim fazama primjene.

5. LITERATURA

- [1] Heikenfeld, J.; Drzaic, P.; Yeo, J-S.; Koch, T. : 'A critical review of the present and future prospects for electronic paper', *Journal of the Society for Information Design*, 19/2, 2011., str. 130
- [2] E-paper Technologies Reference Guide; <http://www.epapercentral.com/epaper-technologies-guide>; pristupljeno u ožujku 2012.
- [3] Neyts, K.: 'Microcavity effects and the outcoupling of light in displays and lighting applications based on thin emitting films'; *Applied Surface Science*, No. 244, 2005.
- [4] Crowley, Joseph M.; Sheridan, Nicholas K.; Romano, L.: 'Dipole moments of gyron balls', *Journal of Electrostatics*, Vol. 55, no. 3-4, 2002., str. 247-259
- [5] Jacobson, J.; Comiskey, B.; Turner, C.; Albert, J.; Tsao, P.: 'The Last Book', *IBM System Journal* Vol. 36, No. 3, 1997., str. 457-463
- [6] Gelinck G. H. al.: 'A rollable, organic electrophoretic QVGA display with field-shielded pixel architecture', *J. Soc. Info. Display*, Vol. 14(2), 2006., str. 113-118
- [7] Feenstra, J.; Hayes, R.: *Electrowetting Displays*, Liquavista BV, 2009. (<http://www.liquavista.com/files/LQV0905291LL5-15.pdf>; pristupljeno u travnju 2012.)
- [8] Zyga, L.: 'Oil-based color pixels could let you watch videos on e-paper', *PhysOrg*; 2010.,

- (<http://phys.org/news199330889.html>; pristupljeno u travnju 2012.)
- [9] Generalić, E.: 'Kiralne molekule'; Englesko-hrvatski kemijski rječnik & glosar; KTF, Split, 2011., (<http://glossary.periodni.com>; pristupljeno u travnju 2012.)
- [10] Yang, D.-K., West, J. L., Chien, L.-C. i Doane, J. W.: 'Control of reflectivity and bistability in displays using cholesteric liquid crystals', *Journal of Applied Physics*, Vol. 76, No 2., 1994.
- [11] Nozawa, T.: 'Entire Surface of Handset Becomes LCD Display', *Nikkei Electronics*, 2009., (http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20090609/171529/; pristupljeno u travnju 2012.)
- [12] McConneym, M. et. al: 'Liquid Crystals: Thermally Induced, Multicolored Hyper-Reflective Cholesteric Liquid Crystals'; *Advanced Materials*, Vol. 23, No. 12., 2011.
- [13] E-paper Technologies Reference Guide; <http://www.epapercentral.com/epaper-technologies-guide>; pristupljeno u travnju 2012.
- [14] IMOD Technology Overview (white paper) (2009); Qualcomm MEMS Technologies Inc.
- [15] http://www.snapquality.com/uploads/SNAP_2011_V_3.pdf; pristupljeno u svibnju 2012.
- [16] <http://www.idealliance.org/specifications/swop>; pristupljeno u svibnju 2012.
- [17] Clark, D.T., Goodwin, S.P., Samuelson, T. i Coker, C.: 'A qualitative assessment of the Kindle e-book reader: results from initial focus groups'; *Performance Measurement & Metrics*; Vol. 9, No. 2; 2008., str. 118–129.

Kontakt:**Darijo Čerepinko**

Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, HR – 42000 Varaždin
darijo.cerepinko@velv.hr

Vesna Džimbeg Malčić

Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Getaldićeva 2, HR – 10000 Zagreb
vesna.dzimbeg.malcic@grf.hr