

Razvoj interaktivnih 2D kodova tiskanih termokromnim bojama

Pavić, Maja

Master's thesis / Diplomski rad

2012

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:139268>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-05**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET**

MAJA PAVIĆ

**RAZVOJ INTERAKTIVNIH 2D KODOVA
TISKANIH TERMOKROMNIM BOJAMA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2012.



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

MAJA PAVIĆ

RAZVOJ INTERAKTIVNIH 2D KODOVA TISKANIH TERMOKROMNIM BOJAMA

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
Izv. prof. dr. sc. Branka Lozo

Student:
Maja Pavić

Zagreb, 2012

Zahvale

Ovim se putem posebno zahvaljujem mentorici Izv.prof.dr.sc. Branki Lozo, te asistentici, znanstvenoj novakinji Maji Jakovljević, dipl.ing, na strpljenju i trudu, te velikoj pomoći prilikom pisanja rada. Također, posebne zahvale profesorici Bischof Vukušić i Zorani Kovačević, dipl.ing, na odvojenom vremenu i trudu prilikom izrade mikroskopskih snimaka, kao i kolegi Dagu Knepru na udijeljenom trudu i strpljenju prilikom izrade otisaka.

Posebna hvala mojim roditeljima na izuzetnoj pomoći i podršci tokom cjelokupnog studija.

SAŽETAK

Pojavom sve većeg broja noviteta na području interaktivnih medija, dolazi do pojave tzv. dvodimenzionalnih simbologija. Potreba za pohranom većeg broja informacija na manjem prostoru, prolazi razvoj, standardizaciju i porast primjene 2D bar kodova. Kao glavna problematika ističe se kombinacija primjene dvaju interaktivnih medija, termokromnih boja i dvodimenzionalnih kodova sa zadovoljavajućom čitljivosti kodova nakon ireverzibilne termokromne promjene. Za potrebe istraživanja odabrane su QR i DataMatrix simbologije kao dvije najzastupljenije u kombinaciji sa ireverzibilnom termokromnom bojom na bazi leuco bojila, čiji je indikator promjene obojenja temperatura od 65°C. Moguća primjena kombinacije spomenutih medija vidljiva je prvenstveno u ambalažnoj industriji, kao dodatak koji ne narušavajući estetiku ambalaže omogućuje dodatne informacije o proizvodu, te omogućuje adekvatno čuvanje proizvoda na propisanoj temperaturi, gdje se prilikom ne pridržavanja spomenutih uvjeta pojavljuje odgovarajuća promjena obojenja koja korisniku daje uvid u neadekvatne načine rukovanja za spomenuti proizvod. Cilj je dokazati ili opovrgnuti tezu o mogućoj kombinaciji korištenja dvaju spomenutih medija.

Ključne riječi

Interaktivni mediji

2D kodovi

Termokromne boje

SEM mikroskopija

SUMMARY

Development of interactive 2D codes printed with thermochromic dyes

A growing number of innovations in the field of interactive media resulted in development of two - dimensional symbology. The need for encoding more information in a smaller area has led to development, standardization and growing use of 2D bar codes. This paper aims at look into problems occurring in application two interactive media, thermochromic inks and two – dimensional codes, with good readability results after irreversible thermochromic change. In this research QR and Data Matrix symbologies were used in combination with irreversible leuco – based thermochromic ink with temperature of activation at 65° C. The combination of this two media could be applied in packaging industry, at the same time giving added value without compromising the package aesthetic and provides product storage at the required temperature. In case of inadequate storage or transport conditions certain color change appears, giving important information to the users. The aim of this paper is to examine the hypothesis about the possible use of this two interactive media.

Keywords

Interactive media

2D codes

Thermochromic inks

SEM microscopy

SADRŽAJ

1. UVOD

- 1.1. Izbor problema
- 1.2. Cilj i zadaci diplomskog rada

2. TEORIJSKI DIO

2.1. 2D KODOVI

- 2.1.1. Povijesni razvoj 2d kodova
- 2.1.2. Vrste 2d kodova
 - 2.1.2.1. QR kodovi
 - 2.1.2.2. DataMatrix kodovi
- 2.1.3. Generiranje kodova
- 2.1.4. Očitavanje kodova
- 2.1.5. Primjena 2d kodova

2.2. TERMOKROMNE BOJE

- 2.2.1. Boje na osnovi leuco bojila
- 2.2.2. Boje na osnovi tekućih kristala
- 2.2.3. Primjena termokromnih boja

2.3. SITOTISAK

3. EKSPERIMENTALNI DIO

- 3.1. Plan eksperimenta
- 3.2. Materijali
 - 3.2.1. Bojilo
 - 3.2.2. Papir
- 3.3. Otiskivanje tehnikom sitotiska
- 3.4. Mikroskopska analiza otisaka
- 3.5. Ispitivanje čitljivosti kodova

4. REZULTATI I RASPRAVA

5. ZAKLJUČAK

6. LITERATURA

1. UVOD

1.1. Izbor problema

Pojavom interaktivnih tiskanih medija koji svojim indirektno pohranjenim sadržajem na prvi dojam ostavljaju značajan utisak dolazi do razvoja tzv. dvodimenzionalnih simbologija čiji je primarni cilj pohrana značajnih količina informacija u svrhu dizajnerske privlačnosti i zauzimanja manjeg prostora na ambalaži kojeg bi klasična informacija zauzela u prvotnom izdanju. Kao glavna problematika ispituje se kombinacija dvaju interaktivnih medija koji svojim spojem daju uvod u mogućnost primjene definiranog noviteta. Konkretno, riječ je o spoju tzv. termokromnih boja korištenih za otiskivanje dvodimenzionalnih kodova za pohranu informacija, gdje se kao prvotni problem ovog ispitivanja javlja mogućnost čitljivosti kodova nakon termokromne promjene spomenute boje. Teorijski dio spominje osnovne karakteristike definirane 2D simbologije s posebnim osvrtom na dvije najzastupljenije vrste 2D kodova, QR kodove i DataMatrix kodove. Upravo zbog svoje značajne primjene za provođenje eksperimenta izabrane su gore navedene vrste, gdje je provedeno njihovo otiskivanje definiranom ireverzibilnom termokromnom bojom na nekoliko različitih tiskovnih podloga, korištenjem tehnike sitotiska.

1.2. Cilj i zadaci diplomskog rada

Cilj istraživanja odnosi se prvenstveno na prikaz višegodišnje globalne ekspanzije interaktivnih 2D kodova od samih početaka gdje se kao prvotna informacija spominje komunikacija na relaciji „pišem-čitam“, odnosno klasičan tekstualni oblik prijenosa informacija, pa sve do tzv. interaktivnih prijenosa informacija, u ovom slučaju 2D kodova. Također, cilj je utvrditi mogućnost primjene, kombinacije dva interaktivna medija, sa svrhom njihovog međusobnog funkcioniranja, čime se postavlja i hipoteza ovog rada, koja se odnosi na pitanje mogućnosti primjene dvaju inovativnih grafičkih elemenata, termokromnih leuco tiskarskih boja i 2D kodova sa konačnom čitljivošću 2D kodova nakon ireverzibilne promjene obojenja korištene boje.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. 2D KODOVI

2.1.1. Povijesni razvoj 2d kodova

Tokom povijesti korišteni su razni oblici i vrste komuniciranja te načina prijenosa informacija. Komunikaciju opisujemo prema tri glavne dimenzije: sadržaju, formi i cilju. Sadržaj komunikacije i sama forma, kreiraju poruke koje su usmjerene prema cilju, bilo da se radi o čovjeku, drugoj osobi ili nekom drugom entitetu poput tvrtke ili grupe. [1] Glavni cilj komunikacije je prijenos definirane informacije. Osnovna suhoparna komunikacija usmjerena je na tekstualne oblike izvještavanja i slanja određene poruke. Sami počeci komunikacije sežu u doba pračovjeka, a prvi tragovi komuniciranja se naziru u obliku pećinskih slika (Slika 1.) [2]



Slika 1. Pećinski crtež [3]

Crteži u pećinama nisu obični, već se radi o elementima autovizualne priredbe. To nisu još animirani crteži, ali se oni nadovezuju jedni na druge poput animacije. [3] Povijest tekstualne informacije seže u davnine, gdje se kao jednim od najstarijeg tekstualnog

prijenosa informacija smatra tekst na hebrejskom jeziku, koji je otkriven od strane Izraelskih arheologa, na području južno od Jeruzalema. Riječ je o 5 redova teksta napisanog crnom tintom na artefaktu od gline. Arheolozi sa Hebrejskog sveučilišta naveli su da je metodom aktivnog ugljika utvrđeno da je nađena keramika stara oko 3.000 godina, što znači da je tekst napisan 1.000 godina prije Kumranskih rukopisa. [4]

Diamond sutra smatra se prvom tiskanom knjigom u povijesti civilizacije, a datira točno iz 11. svibnja 868. Pisana je na kineskom jeziku, a otkrivena je na sjeveru Kine u hramu izgrađenom na stijeni Tun-huang. Riječ je o roli, smotku, dugačkom 16 stopa (Slika 2.) Tekst je budistički, a kvaliteta tiska iznimno visoka. Povjesničari smatraju da je pisana informacija u ovakvom obliku postojala odavno prije, ali ova knjiga predstavlja prvi takav dokument koji bilježi i datum realiziranja. [5]



Slika 2. Diamond sutra [6]

Odmicanjem vremena prijenos informacija doživljava brojne inovacije, poput uvođenja ineraktivnosti prilikom očitavanja osnovne informacije. Vrijeme povećane elektronizacije našeg društvenog sustava, donosi velike promjene u strukturi komuniciranja i prijenosa informacija. [7] U današnje vrijeme postoje brojni načini tzv. skrivenih informacija vidljivih u odgovarajućim uvjetima te uz pomoć adekvatnih uređaja koji omogućavaju njihovo dešifriranje. Svrha i uspješnost navedenog prijenosa informacija svoju primjenu osobito nalazi u područjima same

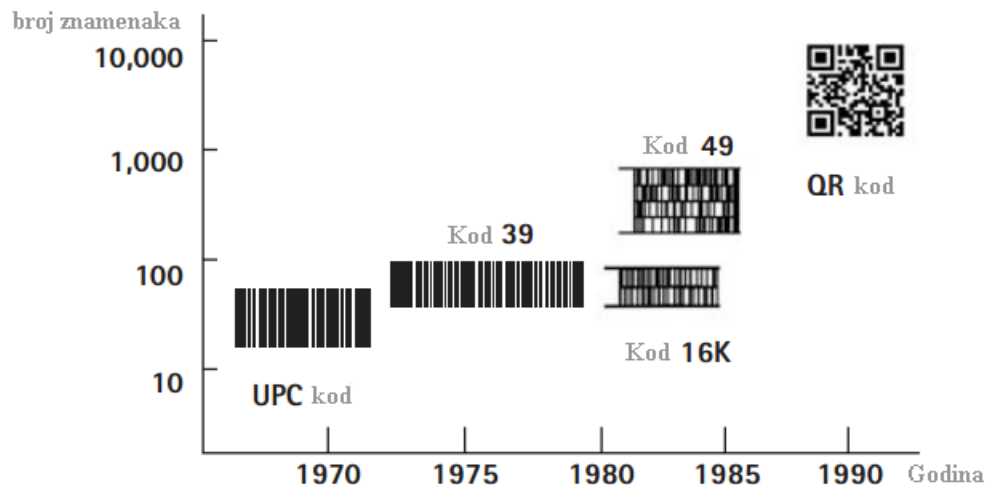
ambalaže, kako bi se spriječilo dodatno narušavanje njezinog estetskog izgleda velikim količinama teksta koji u konačnici može djelovati kontraproduktivno prilikom prodaje i privlačenja kupca. Kako bi se spriječile neželjene količine teksta koje su usmjerene na definiranje osnovnih informacija o proizvodu javljaju se tzv. barkodovi kao poseban vid sadržavanja osnovnih informacija o proizvodu. Klasičan EAN barkod (Slika 3.) sadrži podatke o zemlji porijekla robe, proizvođaču i samom proizvodu. EAN sistem predstavlja međunarodni sistem šifriranja, označavanja i identifikacije. U standardnom EAN 13 kodu uz 12 brojeva trinaesti broj je kontrolni broj. Svaki EAN bar kod sastoji se od graničnih linija na lijevoj i desnoj strani koda, te obaveznih "tihih zona", koje predstavljaju obaveznu svijetlu ili bijelu podlogu oko njega, kako skeniranje bar koda ne bi nailazilo na teškoće zahvaćajući nevažnu grafiku ili slova izvan koda. [8]



Slika 3. EAN barkod [9]

Razvojem mobilne komunikacije i interneta pojavljuje se sasvim novi oblik interaktivnog prijenosa informacija, nazvan 2D kodovi koji osim što pohranjuju veću količinu podataka od klasičnih barkodova, omogućavaju i primamljivost proizvoda te veću zainteresiranost budućeg korisnika. 2D kodovi danas predstavljaju vezu između fizičkog i digitalnog svijeta, te na taj način otisnuti medij postaje interaktivan, te kao takvi, 2D kodovi predstavljaju jako marketinško oruđe. [10] Mogućnost povezivanja fizičkog i digitalnog svijeta pomoću 2D kodova, stavlja pred marketinšku struku nove izazove za razvoj strategija u mobilnom marketingu. Razvoj koda u današnjem obliku započeo je 1948. godine u Philadelphiji na fakultetu Drexel Institute of Technology.

Svrha njegova razvoja bilo je automatsko očitavanje informacija o proizvodu prilikom predaje na blagajni. U tom su razdoblju Bernard Silver i Norman Joseph Woodland patentirali prvi kod koji je svojim izgledom podsjećao na „bikovo oko“ zbog brojnih crnih i bijelih koncentričnih krugova koji su ga sačinjavali. Zbog značajnog problema u očitavanju isti nije zaživio. [11] Tek se 1990. godine pojavljuje QR 2D kod koji se zajedno sa DataMatrixom klasificira u skupinu najzastupljenijih 2D kodova.



Slika 4. Razvoj 2D kodova [12]

2.1.2. Vrste 2D kodova

2D kodovi predstavljaju vrstu dvodimenzionalnih kodova sličnih barkodovima, čija je glavna razlika pohranjivanje znatnijeg broja informacija, te je samim time njihova primjena sve zastupljenija. Razliku od klasičnih barkodova čini pohranjivanje informacija, koji informacije pohranjuju samo u x smjeru, dok 2D kodovi informacije pohranjuju i u y smjeru, te je njihov kapacitet zapisa neusporedivo veći. [13] Okarakterizirani su izrazom veza između fizičkog i digitalnog svijeta. Predstavljaju vizualne simbole različitih oblika koji se sastoje od mreže kvadratnih, trokutastih ili geometrijskih likova drugih oblika, odnosno modula raspoređenih prema definiranom standardu, a u sebi sadrže kodirane podatke. Kodirani podaci mogu biti niz numeričkih ili alfanumeričkih znakova, te kao takvi mogu sadržavati tekst, poruku (SMS, MMS, email), web adresu, telefonski broj ili kontaktne podatke. Osnovna podjela 2D kodova

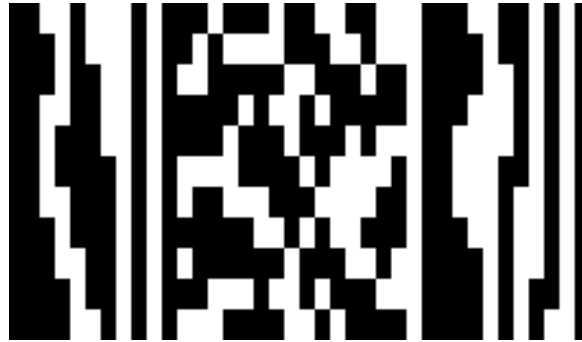
je na izravne i neizravne. Izravni sadrže podatke koji se učitavaju u mobilnom uređaju bez obaveznog spajanja na internet, dok neizravni u sebi sadrže samo referencu pomoću koje se pristupa odgovarajućem sadržaju. Kao glavna prednost izravnog modela navodi se da se sadržaj učitava direktno bez spajanja na internet, a ukoliko se radi o sadržaju koji iziskuje njegovo korištenje omogućuje korisniku da sam odluči želi li se povezati ili ne. Kao prednost neizravnog modela navodi se jednostavnije praćenje statistike o broju učitavanja u zadanom vremenskom periodu i lokaciji. Početak primjene ovih kodova javlja se u Japanu, odakle su se proširili Azijom, a zatim i na ostatak svijeta. [14] Postoji nekoliko podjela dvodimenzionalne simbologije, gdje se kao osnovna navodi podjela prema obliku i to na kodove u obliku stoga (engl. stacked, kao kolekcija linearnih simbola, složenih u određenu strukturu u više redova) i kodove u obliku matrice (engl. matrix, simbol se sastoji od svijetlih i tamnih krugova, kvadrata ili heksagonalnih elemenata). Dvodimenzionalni kodovi, razvijeni su prvenstveno iz razloga pohrane veće količine podataka, gdje za razliku od klasičnog linearnog koda pohranjuju 7000 numeričkih ili 4200 alfa-numeričkih znakova. Kao glavni nedostatak dvodimenzionalne simbologije navodi se potreba specijalnog čitača. [11] Dvodimenzionalni kodovi ne predstavljaju zamjenu za jednodimenzionalne kodove, već mogu nesmetano koegzistirati jedni uz druge. [14] Sadržaj koji ovi kodovi mogu pohraniti odnosi se prvenstveno na tekst, e-mail, podatke poslovnih kartica, SMS poruka, telefonski broj, URL (web adresa) itd. Kao kodovi u obliku stoga, javljaju se PDF 417, Codablock F, Code 49, Code 16K, Supercode, dok se u obliku matrice javljaju Aztec kod, QR kod, DataMatrix i MaxiCode, kao jedni od poznatijih.

Kodovi u obliku stoga:

PDF 417

PDF 417 (Slika 5.) je složena simbologija u obliku stoga izumljena od strane Ynjiun Wang 1991. godine. Elementi su poslagani u redove i odijeljeni stupcima. Struktura koda omogućava kodiranje između 1000 do 2000 znakova po simbolu s informacijama gustoće između 100 i 340 znakova. Može se očitati s modificiranim ručnim laserom ili CCD skenerom. PDF 417 dozvoljava puni ASCII set znakova, te može kodirati oko 2000 znakova na 4 kvadratna inča. Jedan PDF 417 može kodirati više od 1100 bajta,

1800 ASCII znakova, te 2700 brojki, ovisno o odabranoj vrsti strukturiranih podataka. Postoje nekoliko podvrsta PDF 417 koda: MicroPDF, MacroPDF i TruncatedPDF. [11] U sebi sadrži nekoliko razina zaštite od pogrešaka. Dimenzije njegove širine nisu striktno. Ovaj kod je slobodan za uporabu bez posebnih dozvola i licenci. [14]



Slika 5. PDF 417

Codablock F

Codablock F (Slika 6.) je složena simbologija s ICS Identcode-Sistemom. Izumio ga je Heinrich Oehlmann. Pojedinačni Codablock F simbol sadrži 1-22 redka. Broj znakova po retku je funkcija x-dimenzija simbola. Drugim riječima svaki redak može sadržavati varijabilnu količinu znakova. [15] Zdravstvena industrija ga koristi za male naljepnice koje sadržavaju određene sigurnosne podatke. Razvijen je kao proširena verzija koda 128. [17]



Slika 6. Codablock F

Code 49

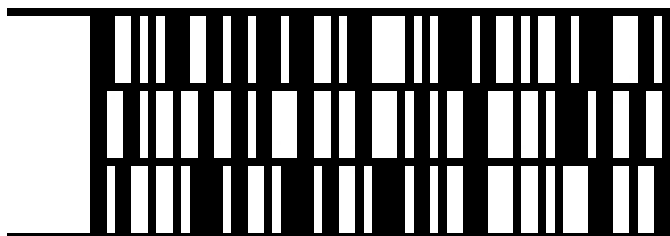
Code 49 (Slika 7.) je razvijen od strane Davida Allaisa 1987. godine, kako bi ispunio zahtjev za pohranom sve većeg broja podataka na malom mjestu. On to ostvaruje pomoću niza bar kod simbola postavljenih jedan pover drugoga. Svaki simbol može imati između 2 i 8 redaka. Očitavanje ovog koda, izvedivo je laserskim ili CCD skenerom, a otiskivanje standardnim tiskarskim tehnologijama. [15]



Slika 7. Code 49

Code 16k

Code 16k (Slika 8.) razvijen je od strane Ted Williamsa 1989. godine, kako bi se osiguralo jednostavno ispisivanje i dekodiranje simbologije sastavljene od više redaka. Williams je također razvio kod 128, na čijoj se strukturi temelji 16k. Kod je kontinuiran, promjenjive duljine. Očitavanje se vrši laserskim ili CCD skenerom, gdje se pritom redovi skeniraju bilo kojim redoslijedom.



Slika 8. Code 16k

SuperCode

SuperCode (Slika 9.) je izumio Ynjiun Wang 1994. Godine. Maksimalan broj podatkovnih znakova po simbolu na najnižoj razini korekcije iznosi 4083 alfanumeričkih znakova, 5102 brojke, ili 2546 bitova. SuperCode simboli sadržavaju kodne riječi za ispravljanje pogrešaka utemeljene na Reed Solomon algoritmu koji se može koristiti ne samo za otkrivanje pogreške već i za ispravljanje oštećenih kodnih riječi ili onih koje nedostaju. Prilikom generiranja koda, korisnik izabire jednu od 32 razine korekcije. [15]



Slika 9. SuperCode

Kodovi u obliku matrice

Aztec Code

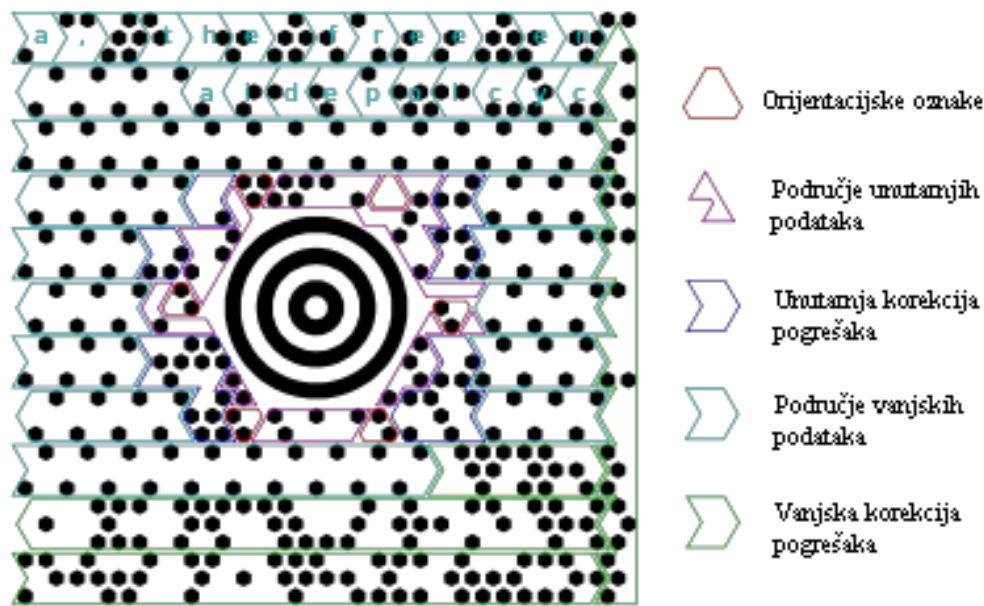
Izumio ga je Andy Longacre 1995. godine. Može kodirati od malih do velikih količina podataka s korisnički odabranim postotkom ispravljanja pogrešaka. Veličina simbola podešava se automatski ovisno o količini ulaznih podataka. Može pohraniti do 3067 alfanumeričkih znakova, 3832 numeričkih znakova, 1914 bitova. Najmanji Aztec kod poprima dimenzije 15x15 modula, a najveći 151x151 modul. Najmanji Aztec Code (Slika 10.) simbol kodira 13 numeričkih ili 12 alfanumeričkih znakova, dok najveći Aztec Code simbol kodira 3832 numeričkih ili 3067 alfanumeričkih znakova. [15]



Slika 10. Aztec Code

MaxiCode

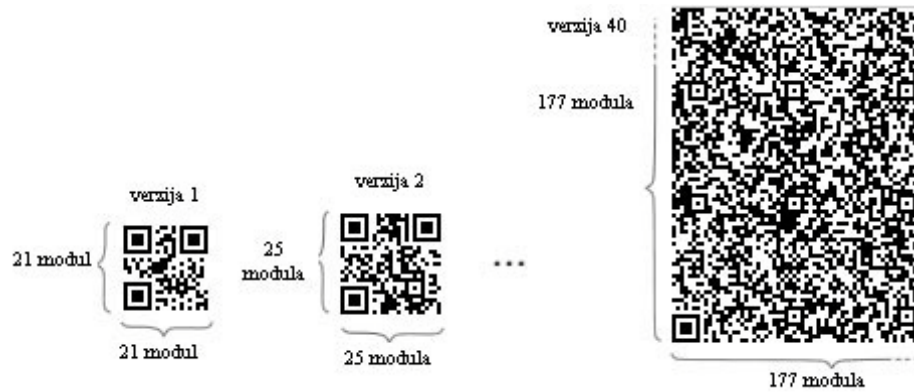
MaxiCode (Slika 11.) predstavlja strojno čitljiv simbol koji je patentiran od strane United Parcel Service. Pogodan je za praćenje i pošiljke paketa, što ukazuje na značajnu sličnost s jednodimenzionalnim klasičnim barkodom. Standardiziran je prema ISO/IEC 16023. MaxiCode simbol interno je nazvan „ptičje oko“ ili „UPS kod“. Pojavljuje se kao 1-inčni kvadratić sa nizom krugova u sredini, okružen pozadinom heksagonalnih točaka. Pohranjuje oko 93 znaka informacija. Prepoznatljivi koncentrični krugovi u sredini koda omogućavaju njegovo brzo lociranje i očitavanje, čija se velika primjena nalazi upravo u području ambalaže prilikom skladištenja, brojanja proizvoda i slično, gdje je omogućeno očitavanje koda bez obzira na njegov položaj. [17]



Slika 11. MaxiCode [17]

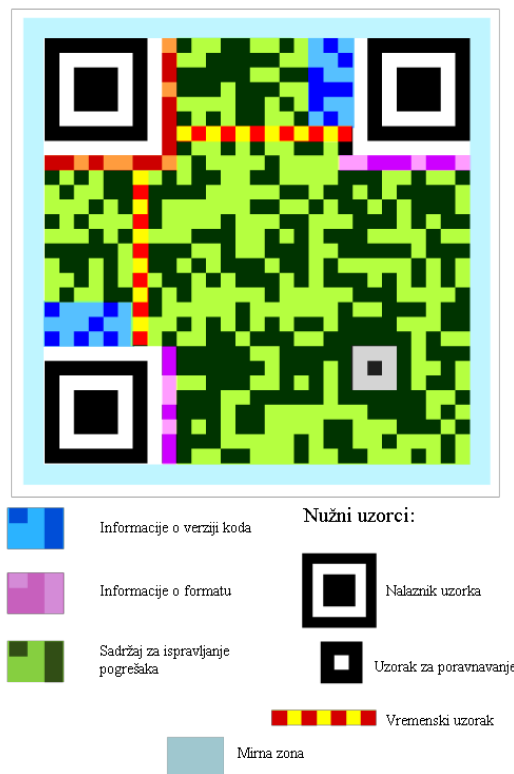
2.1.2.1. QR kodovi

QR kodovi predstavljaju jednu od najzastupljenijih vrsta dvodimenzionalne simbologije uz DataMatrix kodove. Patentirala ga je tvrtka Denso Wave 1994. godine. Omogućeno mu je pohranjivanje informacija u vertikalnom i horizontalnom smjeru što omogućuje pohranjivanje znatnije količine podataka. Sposoban je za rukovanje s raznim podacima poput jezika Kanji i Kana, Hiragana, brojeva i slova. [18] U novije vrijeme sustav je postao vrlo popularan izvan industrijske primjene zbog puno većeg kapaciteta za pohranu podataka od standardnih UPC barkodova. Ovi su kodovi dizajnirani u svrhu što bržeg očitavanja i pristupa sadržaju. [19] Na jedan simbol može biti kodirano do 7089 numeričkih znakova, 4296 alfanumeričkih, 2953 bitova, 1817 Kanji znakova. Verzije QR kodova se kreću od 1-40. QR kodovi su “najsnažniji” među današnjim formatima kodova. Svaka od tih verzija ima različite konfiguracije modula ili broj tih modula (modul u ovom slučaju predstavlja crne i bijele elemente koji sačinjavaju QR kod). “Konfiguracija modula” označava broj modula sadržanih u kodu počevši od Verzije 1 (21 x 21 modul) pa sve do Verzije 40 (177 x 177 modula) (Slika 12.)



Slika 12. Prikaz QR 2D koda ovisno o broju modula [18]

Strukturu koda čine 3 velika četverokuta (Slika 13.) koji se nalaze u uglovima koda i predstavljaju tzv. registracijske oznake koje omogućavaju pravilno očitavanje koda jer označavaju koja strana ide na vrh prilikom očitavanja skenerom. Crni i bijeli četverkutnici koji u konačnici predstavljaju kodne riječi i pozadinu koda sadržavaju i provjere grešaka kao i njihovu korekciju. [18]



Slika 13. Struktura QR koda [19]

QR kod sastavljen je od niza neophodnih elemenata koji omogućavaju njegovo pravilno korištenje, gdje se kao najvažniji elementi navode „nalaznici uzorka“ ili tzv. registracijske oznake koje omogućuju očitavanje koda, zatim uzorak za poravnavanje koji omogućuje ispravljanje kosina. Određena područja predstavljaju informacije za korisnika kako bi što jednostavnije bilo ustanoviti o kojoj je verziji koda riječ, zatim informacije o formatu te sadržaj za ispravljanje pogrešaka koji u konačnici omogućuje pravilno očitavanje koda u slučajevima znatnijeg oštećenja kodnih riječi. Odabir razine korekcije korisnik odabire pri generiranju koda, gdje mu je ponuđen odabir između 4 moguće razine koje se međusobno razlikuju po količini kodnih riječi koje je moguće obnoviti. Svrha je vidljiva u skladištenju i transportiranju ambalaže, gdje je zbog brojnih načina rukovanja s ambalažom moguće oštećenje same ambalaže, a time i koda koji se na njoj nalazi i definira odgovarajuće podatke.



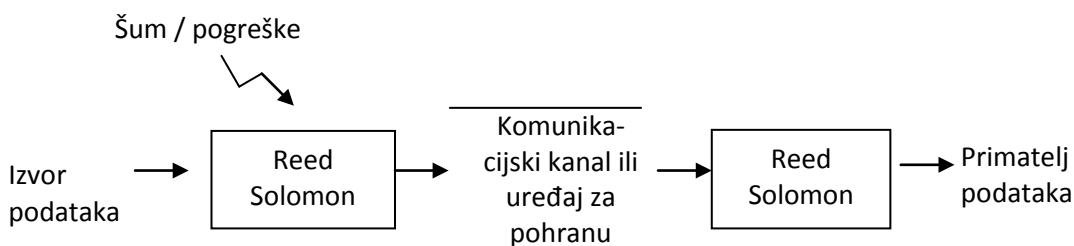
Slika 14. Primjer oštećenog QR koda [20]

Kako bi se izbjegla nečitljivost kodova nastala uslijed odgovarajućeg oštećenja, kod mora sadržavati jednu od četiri moguće razine korekcije definirane prilikom generiranja koda. Razlikuju se 4 razine korekcije L, M, Q i H (Tablica 1.)

Tablica 1. Razine korekcije [21]

RAZINA	KAPACITET KOREKCIJE GREŠAKA
L	7 % kodnih riječi / znakova može biti obnovljeno
M	15 % kodnih riječi / znakova može biti obnovljeno
Q	25 % kodnih riječi / znakova može biti obnovljeno
H	30 % kodnih riječi / znakova može biti obnovljeno

Razine korekcije funkcioniraju na principu Reed Solomon algoritma, kojeg su razvili članovi MIT Lincoln Laboratory Irving S. Reed i Gustav Solomon 1960. godine. Oni su na poseban način opisali sustavni način nadogradnje kodova koje mogu otkriti i ispraviti pogreške više slučajnih simbola. Reed Solomon kodovi se koriste za ispravljanje pogrešaka u mnogim sustavima uključujući: uređaje za pohranu, bežične ili mobilne komunikacije, satelitske komunikacije, digitalna televizija/DVB, visoko brzinski modemi poput ADSL-a, Xdsl-a i dr.



Shema 1. Prikaz Reed Solomon sistema [21]

Reed Solomon koder uzima blok digitalnih podataka i dodaje „suvišne“ bitove. Pogreške nastaju tijekom prijenosa ili pohrane zbog niza razloga (pr. šuma ili smetnji, ogrebotina na CD-u itd.). Reed Solomon dekoder obrađuje svaki blok i pokušava ispraviti pogreške i obnoviti izvorne podatke. Broj i vrsta pogrešaka koje mogu biti ispravljene ovise o karakteristikama Reed Solomon koda. Reed Solomon kodovi su podskup BCH kodova, te su linearni blok kodovi. Reed Solomon kod je naveden kao RS (n,k) sa s-bitnim simbolima. To znači da koder uzima k podatke svakog simbola s-

bita i dodaje paritetne simbole kako bi napravio n simbola kodne riječi. Ima n-k paritetnih simbola svakog s-bitu. Reed Solomon dekodirer može ispraviti do t simbola koje sadrže pogreške u kodnoj riječi gdje je $2t = n-k$.

Reed Solomon algebarski postupak dekodiranja može brisati i ispraviti pogreške. Brisanje se pojavljuje kada je položaj pogrešnog simbola poznat. Dekoder može ispraviti sve do t pogrešaka, a brisati sve do $2t$. Kada se dekodira kodna riječ moguća su tri ishoda:

1. Ako je $2s + r < 2t$ (s pogreške, r brisanja), onda će uvijek izvorno prenesene kodne riječi biti obnovljene
2. Inače, dekodirer će otkriti da ne može vratiti izvornu kodnu riječ i navesti će tu činjenicu.
3. Ili, dekodirer će dekodirati i obnoviti krivu kodnu riječ bez ikakvih oznaka

Vjerojatnost od svake navedene tri mogućnosti ovisi od vrste Reed Solomon koda, a i o broju i rasporedu pogrešaka.

Reed Solomon kodovi se temelje na specijalnom području matematike poznatom kao Galois područja ili konačna polja, te je kod Reed Solomon-a kodna riječ generirana posebnim polinomima. Sve važeće kodne riječi su točno djeljive s polinomom generatora.

Opći oblik polinoma generatora je:

$$g(x) = (x-a^i)(x-a^{i+1})\dots(x-a^{i+2t}) \quad [21] \quad [1]$$

A kodna riječ je konstruirana pomoću:

$$c(x) = g(x) \cdot i(x) \quad [21] \quad [2]$$

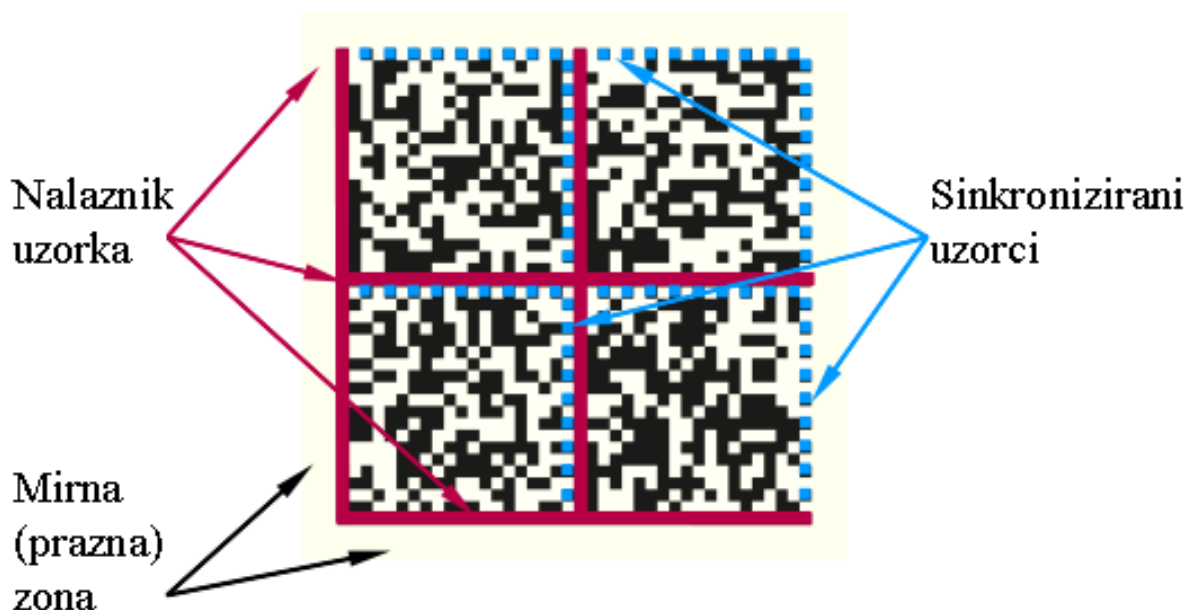
gdje je, $g(x)$ polinom generatora, $i(x)$ blok podataka, $c(x)$ važeća kodna riječ, pa se naziva primitivni element polja.

QR kodovi osim običnog teksta, mogu pohraniti i virtualnu posjetnicu, standardiziranu e-mail ili SMS poruku, pa čak i manju slikovnu ili zvučnu datoteku. Omogućavaju brzo usmjeravanje korisnika iz tiskanog materijala na određenu web stranicu putem slikanja

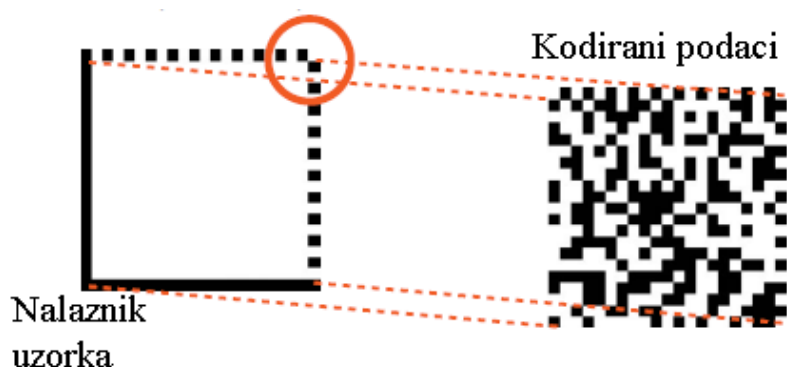
koda mobilnim uređajem koji sadrži adekvatne software za očitavanje. Omogućavaju i pohranjivanje podataka na mobilne uređaje za kasniju uporabu, gdje korisnik sam definira trenutak spajanja na internet. [21]

2.1.2.2. DataMatrix kodovi

DataMatrix kodovi (Slika 15.) uz QR kodove spadaju u dvije najzastupljenije vrste 2D kodova. DataMatrix je simbol četvrtastog oblika koji se sastoji od crnih i bijelih modula kvadratnog oblika, a može sadržavati do 2335 alfanumeričkih ili 3116 numeričkih znakova. Orijehtacija koda se određuje pomoću crnog ruba u obliku slova L. Veličina simbola ovisit će o količini podataka koje kod sadrži, što bi značilo da će veći broj podataka dati i veće ćelije. Jednako kao i QR kodovi sadrže korekciju pogrešaka što omogućuje očitavanje i djelomično oštećenog koda. Standardiziran je pod ISO standardom (ISO/IEC 16022:2006)10. [14] DataMatrix kod se sastoji od dva odvojena dijela, tzv. „nalaznika uzorka“ u obliku slova L i kodiranih podataka koji prate oblik slova L. Nalaznik uzorka definira oblik (kvadrat ili pravokutnik), veličinu, X-dimenziju, te broj redaka i stupaca u simbolu, a u konačnici omogućuje i identificiranje koda. Čvrsta tamna linija s lijeve strane predstavlja „L nalaznik uzorka“, te se prvenstveno koristi za određivanje veličine, orijentacije i kosine simbola. Desna strana nalaznika uzorka sastavljena je od naizmjeničnih crnih i bijelih elemenata, te se također koristi u svrhu definiranja veličine i izobličenja. Kodirani podaci se nalaze u matrici unutar „nalaznika uzorka“



Slika 15. Struktura DataMatrix koda [22]




Slika 16. Osnovni dijelovi DataMatrix koda [23]

Oko koda se nalazi tzv. „mirna zona“, gdje ne smije biti sadržan niti jedan grafički element koji može poremetiti čitanje koda. Ona posjeduje stalnu širinu jednaku X-dimenziji simbola na svakoj od sve 4 strane koda. Svaki DataMatrix simbol je sastavljen od određenog broja redaka i stupaca. DataMatrix može pohraniti 2335 alfanumeričkih znakova, 3116 brojeva. Maksimum je utemeljen na formi u obliku kvadarata koji je sastavljen od 144 redka i 144 stupca, podijeljenih na 36 regija od 22 redka i 22 stupca. Za DataMatrix kodove koji poprimaju oblik pravokutnika vrijedi maksimalni kapacitet od 72 alfanumerička znaka i 98 brojeva. Jednako kao i QR kodovi sadrže razine za korekcije eventualnih grešaka. Postoji nekoliko načina za utvrđivanje

oštećenja. Kao primjer, navodi se tzv. „provjera znamenke“ koja se koristi kod većine linearnih barkodova koji koriste algoritam za izračunavanje zadnje znamenke kodiranog broja. Provjera znamenke može potvrditi da li je niz kodiranih podataka ispravan prema definiranom algoritmu. Drugi primjer odnosi se na ponavljanje očitanih podataka u simbolu, što će uvelike pomoći u očitavanju čak i ako je simbol oštećen. Kodiranje podataka u DataMatrix simbolu može biti učinjeno pomoću više sigurnosnih razina. DataMatrix ECC 200 je jedina DataMatrix konfiguracija koja koristi Reed Solomon korekciju pogrešaka, gdje je pritom omogućeno definiranje mjesta oštećenja te u određenim slučajevima i uklanjanje pogreške. Reed Solomon korekcija pogrešaka izračunava komplementarne kodove i nadogradnju tokom stvaranja simbola. Rekonstruira izvorne podataka, preračunavanjem podataka iz komplementarnih kodova i dodataka. [23]

2.1.3. Generiranje 2D kodova

Prilikom odabira odgovarajuće simbologije koja će sadržavati definirani sadržaj korisnicima je omogućeno obavljanje postupka generiranja na nekoliko mogućih načina. Postoje razni alati za formiranje 2D kodova, bilo da se radi o besplatnim programima koji svojom instalacijom na računalo omogućuju navedeno, ili pak postoje brojni besplatni online generatori koji korisniku omogućuju individualno formiranje vlastitog koda sa skrivenom informacijom po želji. Na samom početku formiranja vlastite 2D simbologije, korisnik odabire vrstu sadržaja koji će ukodirati, gdje mu je ovisno o generatoru ponuđeno nekoliko mogućih opcija, poput ukodiranja željenog teksta, e-mail ili SMS poruke, URL-a određene web stranice, gdje je očitavanjem koda omogućen slijed na sadržaj koji nudi i sl. Nakon odabira simbologije, odnosno vrste 2D koda koji će sadržavati željene informacije, korisnik upisuje odgovarajući sadržaj te ovisno o budućoj primjeni koda definira i razinu korekcije koju će kod sadržavati. Kao osnovne postavke ovih programa omogućen je i odabir boje koda, kao i njegove pozadine, čime je na neki način omogućena i manja individualizacija prilikom kreiranja.

Select a Code Action:	Browse to a Website
Code Type:	<input checked="" type="radio"/> QR Code (recommended) <input type="radio"/> Data Matrix <input type="radio"/> Aztec Code (only ASCII chars) <input type="radio"/> Micro QR Code (only ASCII chars)
Web Site URL: *	http://
URL Shortening: (will use full url in case of error)	None
Error Correction Level: (only for regular QR Code)	Low
Block Size in Pixels:	10
Margin Size in Blocks:	1
Output Type:	Portable Network Graphics (PNG)
Foreground Color:	#000000 <input type="checkbox"/> Transparent
Background Color:	#FFFFFF <input type="checkbox"/> Transparent
<input type="button" value="Generate Code"/> <input type="button" value="Reset Form"/>	
Get Qrafter for iPhone and iPad, the complementary reader of this generator:	

Slika 17. Keremerkan online generator [24]

Keremerkan online generator (Slika 17.) omogućuje odabir simbologije, definiranog sadržaja, razine korekcije, boje koda i pozadine, veličinu koda kao i konačni slikovni format u kojem će se kod zabilježiti.

QR Code Barcode Generator






Barcode Properties

Code:

QR Code Version:

QR Code Error Correction Level:

QR Code Encoding:

Module Size (inches):

Quiet Zone Width (inches):

Top Margin (inches):

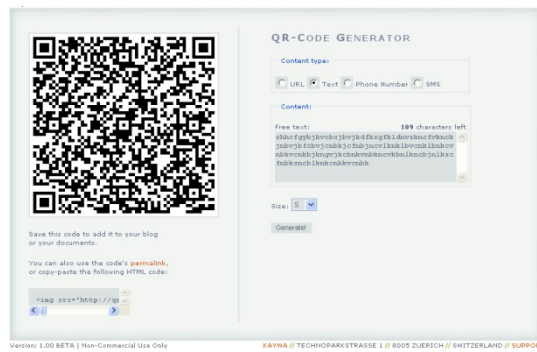
Bottom Margin (inches):

Image Format:

Slika 18. Primjer besplatnog QR 2D kod online generatora [25]

Slika 18. prikazuje generator QR 2D kodova tvrtke Raco Industries. Osim reguliranja razine korekcije omogućuje i odabir jedne od 40 verzija QR vrste koda, te veličine određenih zona koda. [26]

Slika 19. prikazuje besplatan internetski generator QR 2D kodova, koji kodira URL, tekst, telefonske brojeve i SMS poruke. Osim odabira generiranog sadržaja omogućuje i odabir veličine koda od S do XL.



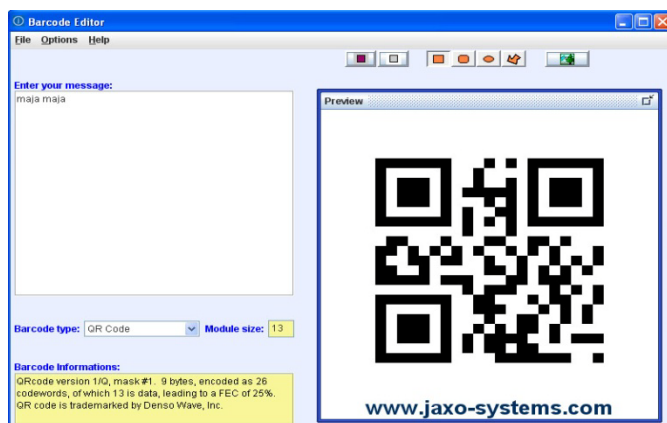
Slika 19. Primjer besplatnog QR 2D kod online generatora [27]

S ciljem sve veće individualiziranosti i marketinške privlačnosti proizvoda ili usluge koja se nudi, većina korisnika teži odgovarajućim novitetima prilikom kreiranja vlastitog rješenja. Kako bi korisnicima na što jednostavniji način bilo omogućeno kreiranje kodova s ciljem izražavanja vlastite osobnosti, formirani su i online generatori koji vrlo jednostavno omogućuju navedeno bez korištenja kompliciranih grafičkih programa.



Slika 20. Unitag QR generator [28]

Slika 20. prikazuje noviji vid kodnog izražavanja, usmjerenog u dizajnersko područje s kreativnim naglaskom izražavanja. Definirani generator omogućuje generiranje kodova na poseban način, s ciljem definiranja nove dimenzije. Korisnik odabire sadržaj koji će kodirati, te izgled pojedinih zona koda, kao i boje i sjene kojim će ga okarakterizirati. Brojne su opcije koje korisnicima bez znanja rada u grafičkim programima omogućuju kreativno izražavanje u ovom području uz i dalje zadovoljavajuću stavku čitljivosti koda. Osim spomenutih online generatora postoje i razni računalni generatori poput barshow-a čiji je rad omogućen instalacijom na računalo.



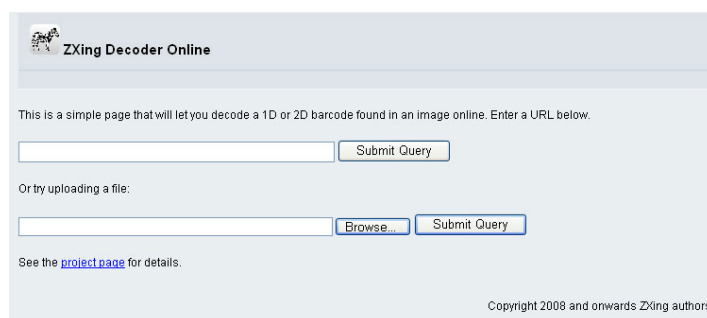
Slika 21. Primjer 2D code računalnog generatora

Navedeni generator (Slika 21.) omogućuje i promjenu obojenja koda te njegove pozadine. [26]

2.1.4. Očitavanje 2D kodova

U rasteru kvadratića krije se kodirana poruka koja može biti očitana na nekoliko mogućih načina. Prvi, te ujedno i najjednostavniji način skeniranja kodova odnosi se na brojne besplatne online dekodere, gdje je dovoljno samo učitavanje koda s definiranog prostora u računalu. Drugi način očitavanja odnosi se na softwere, čiji je rad omogućen instalacijom na računalo, obično, takvi programi nude i generiranje više vrsta simbologija. S obzirom da dvodimenzionalni kodovi svoju primjenu nalaze na ambalažama, u časopisima i sličnim mjestima, očitavanje kodova je omogućeno i brojnim aplikacijama koje, sadrže tzv. pametni telefoni.

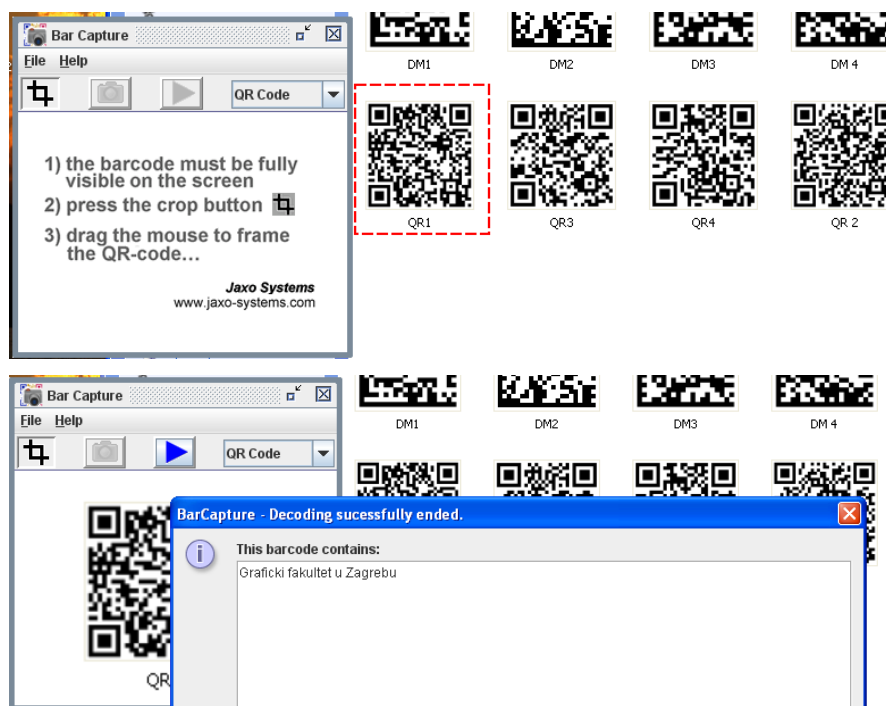
Očitavanje besplatnim online dekoderom:



Slika 22. Primjer besplatnog 2D kod online dekodera [29]

Slika 22. prikazuje najčešće korišteni te ujedno najjednostavniji online dekodirer gdje korisnik upućivanjem dekodera na odgovarajuće mjesto u računalu gdje se kod nalazi omogućuje očitavanje njegovog sadržaja. [26]

Očitavanje računalnim dekodirerom:



Slika 23. Primjer očitavanja QR 2D koda računalnim dekodirerom " Bar Capture "

Navedeni Bar Capture (Slika 23.) dekodirer, predstavlja alat za očitavanje kodova. Omogućuje odabir simbologije koja se očitava, bilo da se radi o QR, DataMatrix, EAN 13 ili EAN 8 kodu.

Očitavanje 2D kodova mobilnim uređajem:



Slika 15. Prikaz dekodiranja 2D koda i pristupa do internetske [30]

Kako bi očitavanje kodova bilo moguće mobilni uređaj mora biti povezan na internet te mora sadržavati softver i kameru. Kod se zatim obuhvati kamerom, dekodira i odvede nas na određenu web stranicu koja sadrži dodatne informacije o proizvodu (Slika 15.) Najviše mogućnosti rada pružaju isključivo pametni telefoni (smartphone). Upravo i najviše aplikacija za očitavanje postoji za jedan od najpopularnijih mobilnih uređaja na svijetu, iPhone. [31]

Osim navedenih čitača, postoji još mnoštvo sličnih u upotrebi, poput Kaywa Readera, Quickmarka koji funkcionira na principu zaslona mobilnog uređaja, I-Nigma Reader i slični.

2.1.5. Primjena 2d kodova

Razvojem sve funkcionalnije mobilne telefonije, dolazi do značajne ekspanzije širenja 2D kodova, čije je očitavanje omogućeno navedenim uređajima. Dvodimenzionalne simbologije predstavljaju značajan i praktičan način za distribuciju informacija, te ujedno izazivaju dozu znatiželjnosti na tržištu za koje su namijenjeni. Glavna odlika 2D kodova je pohrana većeg broja informacija na što manjem prostoru. Pojava 2D kodova seže u rane 90-te, ali njihovo šire usvajanje ostvarilo se ugradnjom foto kamera i softvera u mobilne uređaje kao preduvjet korisnicima da ih sami dekodiraju. Razvoj

mobilnih uređaja novijih generacija omogućava njihovu punu iskoristivost zbog mogućnosti spajanja na internet. Početak šire uporabe ima svoje korijene u Japanu odakle su se proširili Azijom, a zatim i ostatkom svijeta. Svoju značajnu primjenu nalaze u marketinškoj praksi, gdje se primjerice, nalaze na etiketama svjetski poznatih i cijenjenih kutjevačkih vina, te time čine prvu implementaciju korištenja QR kodova na vinskim etiketama u Republici Hrvatskoj. Navedeni primjer, u suštini moguće je povezati sa prvotnom namjenom ovih kodova, gdje se implementiraju zbog manjka prostora na ambalaži, te time omogućuju dodatne informacije koje u prvotnom obliku ne bi stale na ambalažu ili bi joj svojim postojanjem narušile estetiku. Primjenjuje ih i Privredna banka Zagreb koja korištenjem QR koda želi potvrditi poziciju tehnološkog lidera na domaćem bankarskom tržištu (Slika 16.)

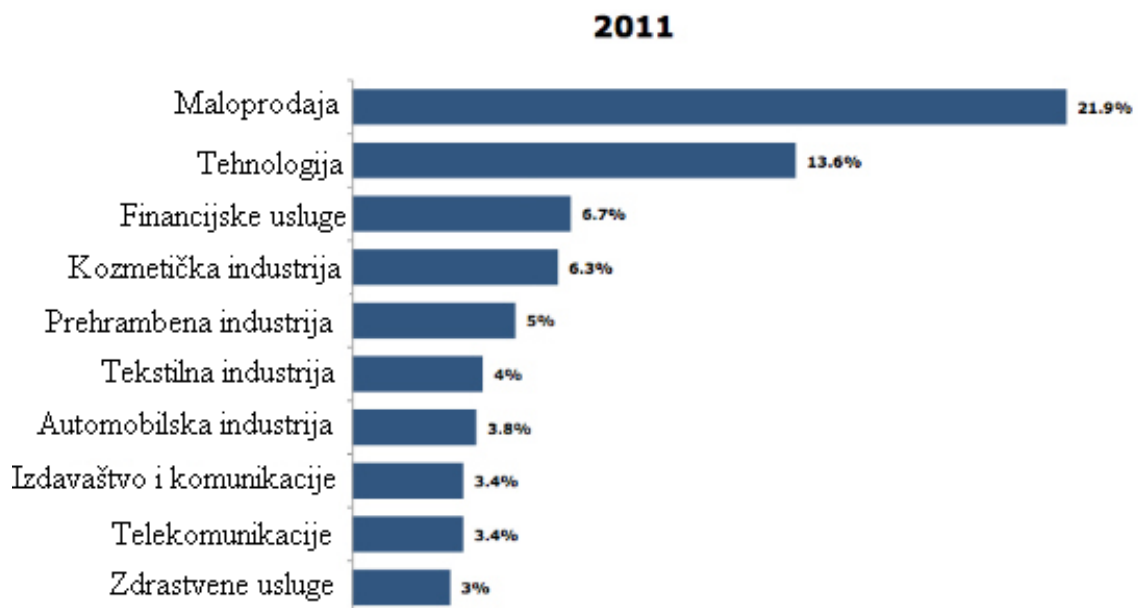


Slika 16. Primjena QR 2D koda [32]

Koriste ih razne tvrtke i područja diljem svijeta. Pojedine organizacije i vlade počinju koristiti 2D kodove u svrhu informativne kampanje. Primjerice, korištenje 2D kodova u medicinskoj, prehrambenoj, farmaceutskoj industriji, koriste se i na letcima, posterima, plakatima, kartama i sl. (Slika 17.) [26]



Slika 17. Primjena QR 2D kodova [33-35]



Dijagram 1. Primjena 2D kodova u raznim industrijama po zastupljenosti korištenja [36]

Prikazani podaci (Dijagram 1.) iz 2011. godine upućuju na najveću primjenu u maloprodajnoj industriji (29,9%), a slijede je tehnologija, financijske usluge i kozmetička industrija, dok prehrambena, tekstilna, automobilska industrija, te izdavaštvo, telekomunikacije i zdravstvene usluge bilježe podjednaki postotak

korištenja 2D kodova. Također, primjena 2D kodova se očituje i u poštanskoj industriji, gdje se upotrebljava za pohranu podataka poput dokaza o plaćenju poštarini, poštanskog broja prijemnog dostavnog ureda, adrese pošiljatelja i primatelja, načina rukovanja, te uputstva u vezi s rutom puta pošiljke i sl. Predviđeno je da se ovi podaci u obliku 2D barkoda ispisuju na naljepnicu koju se lijepi na pojedinačne pošiljke ili na vrećne nazivnice. [37] S ciljem postizanja kreativnosti i individualizacije u svojim rješenjima, zaštitnim znakovima i sl., tvrtke nastoje oformiti svoje vlastito rješenje, specifično za njihovu uslugu, a opet prepoznatljivo njihovom ciljanom tržištu, te se implementacijom raznih kombinacija boja i elemenata postiže neponovljivo rješenje karakteristično samo za njih. Najčešće se radi o implementaciji postojećih logotipa u već postojeću strukturu 2D koda (Slika 18.), gdje se prilikom kreiranja koda poseban osvrt ostvaruje na razine korekcije koje će kod sadržavati, s obzirom da će određeni dio kodnih riječi biti prekriven definiranim zaštitnim znakom, kod mora zadovoljavati i pitanje čitljivosti, što će biti omogućeno korištenjem adekvatne razine korekcije, gdje će na temelju postojećih simbola kod sam izračunati dio kodnih riječi koje nedostaju, odnosno onih koje su prekrivene definiranim zaštitnim znakom, te time omogućiti očitavanje koda.



Slika 18. Individualizirani QR kodovi

2.2. TERMOKROMNE BOJE

Termokromne se tiskarske boje svrstavaju u grupaciju kromogenih boja, odnosno onih, koje mijenjaju obojenje kao reakciju na neki vanjski utjecaj, te svoju sve češću primjenu nalaze u područjima tzv. „pametne ambalaže“. Njihovo osnovno svojstvo bazirano je na termokromizmu, tj. mogućnosti promjene obojenja ovisno o promjeni temperature. [38]

Ovisno o vanjskom podražaju kromogeni materijali od kojih su takve boje sastavljene mijenjaju svoje obojenje. Njihova je podjela klasificirana ovisno o vrsti vanjskog podražaja koji dovodi do promjene obojenja, te stoga, razlikujemo fotokromne boje kod kojih do promjene obojenja dolazi uslijed utjecaja svjetla, elektrokromne boje, čija promjena obojenja nastaje uslijed promjene električnog polja u neposrednoj blizini, piezokromne boje kod kojih je podražaj pritisak, halokromne boje, kod kojih se promjena obojenja očituje uslijed promjene pH vrijednosti, biokromne boje koje mijenjaju obojenje pod utjecajem biokemijske reakcije i termokromne boje, korištene za potrebe apliciranja prethodno pripremljenih 2D kodova na odabrane podloge u ovom radu, kod kojih promjena obojenja nastaje promjenom temperature. Kao dvije najistaknutije, te ujedno i najkorištenije boje, spominju se upravo termokromne i fotokromne boje.

Termokromne se tiskarske boje po kriteriju uzroka promjene boje dijele na reverzibilne i ireverzibilne boje. Reverzibilne boje mijenjaju ton boje za vrijeme trajanja uzroka promjene, dok ireverzibilne boje zadržavaju promijenjeni ton boje i nakon prestanka djelovanja uzroka promjene boje. [39]

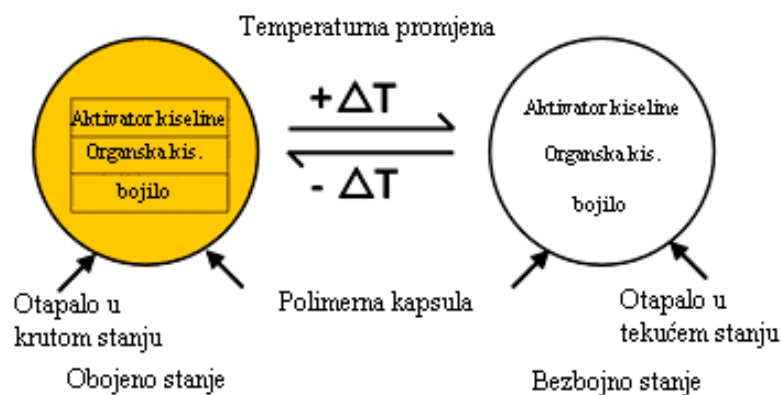
Termokromne tiskarske boje nalazimo u dva osnovna oblika i to kao leuco boje i boje na osnovi tekućih kristala.

2.2.1. Boje na osnovi leuco bojila

Leuco boje su sastavljene od velikih organskih molekula, čija je struktura utemeljena na nekoliko šesterokutnih prstenova ugljikovih atoma sa pomoćnim skupinama koje su na njih vezane. Ove vrste spojeva mogu apsorbirati određene valne duljine boje, prilikom spajanja strukture. To znači da atomi ugljika dijele jedan od svojih „rezervnih elektrona“ preko cijelog prstena, stvarajući strukturu sličnu onoj grafita. Spojeni sustav

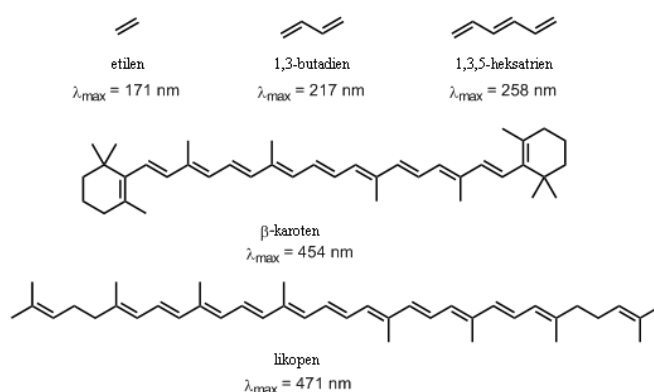
može apsorbirati određene boje u svjetlu. Leuco boje karakteriziraju dva stanja, u jednom struktura nije spojena i kao takva ne daje boju, dok je u drugom spojena, te kao rezultat dobivamo određenu boju (Slika 19.) U ovoj vrsti termokromnih boja, leuco spojevi su pomiješani sa otapalom koje je obično u krutom stanju. Laganim porastom temperature dolazi do topljenja otapala, te se otapa boja i slaba kiselina, čime dolazi do promjene u konjugiranu strukturu, što uzrokuje definiranu boju. Prilikom hlađenja boje, dolazi do odvajanja spojene strukture i samim time boja nestaje. [40]

Boje na osnovi tekućih kristala se koriste rjeđe jer zahtijevaju visoko specijalizirane tehnike ispisa i rukovanja. Takve boje karakterizira izraženija osjetljivost na temperaturne promjene, nego što je to slučaj kod leuco boja, što znači da se koriste u vrlo osjetljivim pokusima, gdje se koriste vrlo male promjene temperature. Leuco boje obično sadrže obojenje ispod odgovarajuće specificirane temperature, te nakon aktivacije postaju bezbojne odnosno transparentne. Pojedine leuco boje mijenjaju boju iz jedne u drugu, kao što je to slučaj korištene boje za potrebe ovog rada, gdje se obojenje mijenja iz transparentne boje u crnu. Leuco boje, ovisno o različitim temperaturama aktivacije nalazimo u intervalu od -15°C do 65°C , međutim, većina aplikacija je ograničena na tri standardne temperature, hladno (20°C), ljudski dodir (31°C) i toplo (43°C). Pigmenti leuco boja su mješavina bojila, organskih kiselina i otapala koji su mikrokapsulirani u zaštitnom sloju kako bi se zaštitio sadržaj od neželjenih učinaka okoliša. Aktivacijska temperatura predstavlja graničnu temperaturu gdje otapalo mijenja stanje iz krutog u tekuće, uzrokujući kontakt komponenata koje uzrokuju obojenje pri obojenom stanju te njihovu odvojenost pri neobojenom stanju.



Slika 19. Princip reverzibilne termokromne reakcije boja na bazi leuco bojila [41]

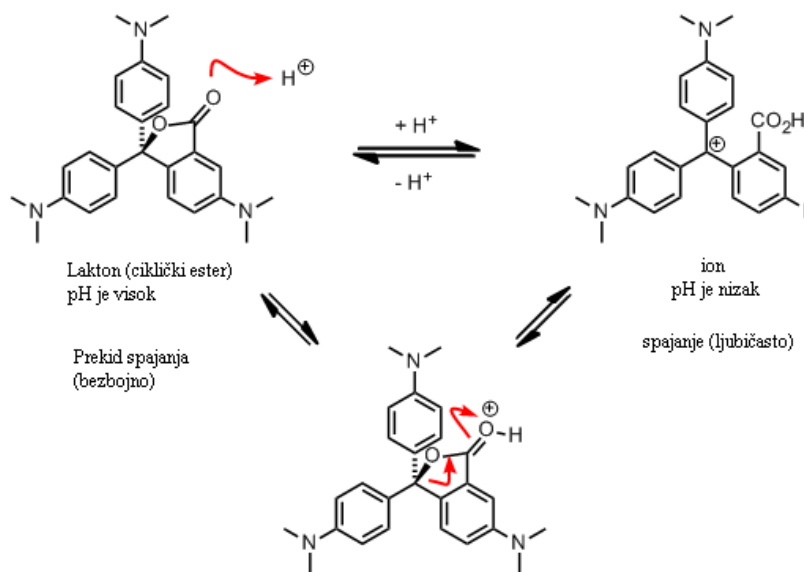
Ukoliko je temperatura ispod točke taljenja otapala komponente koje tvore boju su u neposrednom kontaktu, te se navedeno stanje definira kao obojeno stanje, a ukoliko je temperatura iznad točke taljenja otapala, komponente koje tvore boju su odvojene, te se navedeno stanje definira kao bezbojno stanje. Mikrokapsule nisu inertne i netopive, kao što je to slučaj kod običnih pigmentata. Veličina mikrokapsula se kreće između 3-5 μm , što je 10 puta veće od običnih čestica pigmentata. Obično se promjena boje počinje razvijati na 65°C do potpune promjene na 90°C , iako više temperature daju jaču i stabilniju promjenu boje. [42] Leuco boje se češće primjenjuju u tehnici sitotiska nego boje na bazi tekućih kristala. Leuco boje mogu biti otiskivane tehnikom ofsetnog tiska, letterpresa, flekstatiska i sitotiska, te kao takve mogu biti na bazi vode ili UV boje. Aspekt molekule koji tvori obojenje je prošireni pi-konjugirani sustav. Pi-veza apsorbira svjetlost. Samostalna pi-veza apsorbira svjetlost u UV dijelu spektra. Kako se pi-sustav sve više i više proširuje, valne duljine apsorbirane svjetlosti postaju sve dulje i dulje dok prošireni pi-sustav ne počne apsorbirati svjetlo u vidljivom spektru i molekula postaje obojena. Molekula će obično apsorbirati jednu valnu duljinu svjetlosti jače od drugih, te se ta valna duljina maksimalne apsorpcije označava kao λ_{max} . Likopen je crvena jer je λ_{max} u plavom području. Ona apsorbira svjetlost u plavom području, a reflektira u crvenom području. Ukoliko dođe do poremećaja proširenog konjugiranog sustava u sredini pi-sustava, prošireni pi-sustav postaje skraćen, a molekula potencijalno bezbojna. Stoga, većina široko korištenih termokromnih boja sadrži prošireni lako prekidajući konjugirani sustav. [43]



Slika 20. Lančani prikaz molekula sa maksimalnim valnim duljinama apsorpcije [43]

Pod skupinu leuco boja, spada tzv. CVL (Crystal violet lactone) boja. U čistom stanju je žućkasto kristalni prah, topljiv u polarnim ili nepolarnim organskim otapalima. Središnji

ugljik leuco forme je u tetraedalnoj konfiguraciji, gdje formira četiri kovalentne veze. [44] Kada je pH vrijednost visoka, lakton prekida spajanje koje bi se inače proširilo kroz sva tri aromatska prstena. Kada je pH vrijednost niska, lakton postaje protoniran te otvara karboksilne kiseline, ostavljajući iza sebe tercijarni benzenski ion. Taj ion omogućuje spajanje kroz sva tri aromatska prstena (Slika 21.) Proširenjem koje uzrokuje spajanje aromatskih prstenova λ_{max} se povećava u vidljivom području te se leuco boja pojavljuje u ljubičastom tonu.



Slika 21. Spajanje aromatskih prstenova [43]

Odabir leuco boje će ovisiti o tome koje je obojenje poželjno. [43] Termokromne sitotiskarske boje na bazi vode pružaju optimalnu trajnost zbog dva lako mješovita dijela tintnog sustava, čime se povećava mogućnost kontrole intenziteta boje, izvedba tiska i opacitet. U idealnom slučaju termokromna sitotiskarska boja pogodna je za tisak na papire i kartone. Prilikom primjene termokromne boje čija aktivacija će nastati uslijed djelovanja niske temperature, koriste se mat laminati kako bi se postigao optimalan efekt.

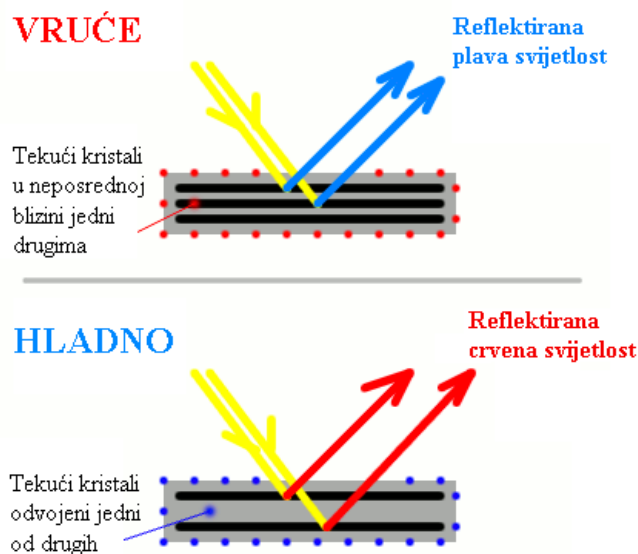
2.2.2. Boje na osnovi tekućih kristala

Kao glavni nedostatak boja na bazi tekućih kristala navodi se osjetljivost na male promjene u temperaturi što nije pogodno za primjenu u ambalažnoj industriji. Tekući kristali, u njihovom temperaturnom području započinju sa crnom bojom, prolaze kroz dugine boje, te se zatim ponovno vraćaju na crnu iznad njihovog temperaturnog raspona. Tekući kristali se primjerice primjenjuju za nakit koji mijenja boju od crne, kada je hladan, te u neku drugu boju kao posljedica zagrijavanja, a navodi se i primjena u termometrima.



Slika 22. Primjena termokromne boje na bazi tekućih kristala [45]

Boje na bazi tekućih kristala bilježe i skuplju cijenu od leuco boja. Tekući kristali su obično sastavljeni od velikih molekula. Karakterizira ih različitost jednog dijela molekule od drugog, te će negativni dijelovi molekule biti privučeni pozitivnim dijelovima. Prilikom zagrijavanja tekućih kristala dolazi do promjene njihove strukture, molekule se počinju brže kretati i dolazi do promjene njihovog smještaja. Termokromni tekući kristali prolaze kroz strukturu na određenoj temperaturi pri kojoj se svjetlost lomi i proizvodi određenu boju (Slika 23.) Dolazi do promjene boje kroz cijeli raspon spektra. To se događa zbog porasta temperature, uslijed čega će se slojevi molekula početi udaljavati, što uzrokuje lom svjetlosti, te dolazi do promjene boje koja prolazi kroz kristal.



Slika 23. Princip termokromnih tekućih kristala [46]

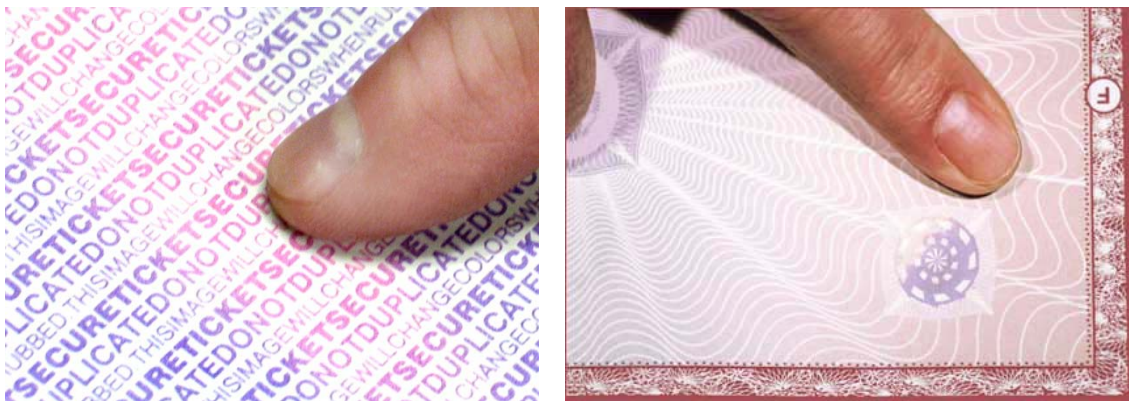
Upadne zrake svjetlosti dolaze u doticaj sa slojevima tekućih kristala (crne linije), te dolazi do refleksije. Izlazne zrake interferiraju kako bi se proizvela svjetlost određene boje, u ovom slučaju plava svjetlost. Boja reflektiranog svjetla ovisi o blizini kristalnih slojeva. Hlađenje tekućih kristala uzrokuje njihovo udaljavanje te se mijenja način na koji izlazne zrake interferiraju i stvara se crveno reflektirano svjetlo u navedenom slučaju (Slika 23.) [46]

2.2.3. Primjena termokromnih boja

Počevši s brojnim novitetima, kao što je primjerice nakit sa aplikacijom promjene obojenja 1970. godine, sve više i više proizvoda koristi navedenu karakterizaciju, a osobito su svoju primjenu našli u područjima tzv. „pametne ambalaže.“ [42]

Prilikom prodaje proizvoda, važnu ulogu predstavlja sama ambalaža u koju je proizvod smješten, te kao takva predstavlja ključni i najmoćniji parametar trgovanja. Vrlo često ambalažu nazivaju tzv. „tihim prodavaocem“. Proizvod ambalažom dobiva vizualno-informacijski identitet, te služi kao poveznica na relaciji proizvod-kupac. Pri usavršavanju navedene poveznice dizajneri se koriste različitim alatima i materijalima kako bi omogućili približavanje proizvoda kupcu. Termokromne boje predstavljaju

samo jedan u nizu parametara vizualno primamljivih kupcu. Aktivna i pametna ambalaža postaje vrlo popularna i široko zahtjevna u industriji ambalaže. Termokromne boje svoju primjenu nalaze na širokom području, primjerice kao sigurnosne značajke na brojnim potvrdama, dokumentima i vrijednosnicama (Slika 24.), međutim, primjena takvih boja kao trik za prodaju maloprodajnih proizvoda predstavlja isplativije tržište.



Slika 24. Primjena termokromne boje u sigurnosne svrhe [47]

Prilikom temperature od 32°C dolazi do laganog nestajanja boje, što bi konkretno značilo promjenu obojenja prilikom ljudskog dodira. Provjera je vrlo jednostavna, trljanjem na zaštićenom mjestu utvrđujemo autentičnost dokumenta. [47]

Aplikacije termokromnih boja moguće je pronaći i na šalicama, CD ambalaži i sl. (Slika 25.)



Slika 25. Primjena termokromne boje na šalicama [48]

Primjena interaktivnih termokromnih boja uvelike može povećati prodaju jer predstavlja inovaciju nad konkurencijom, te se najveća primjena ovih boja odnosi upravo na leuco

boje. Primjena termokromnih boja kao temperaturnih indikatora postaje vrlo popularna na limenkama, te između proizvođača piva diljem Europe koji se spomenutom inovacijom nastoje uzdići nad konkurencijom (Slika 25.-26.)



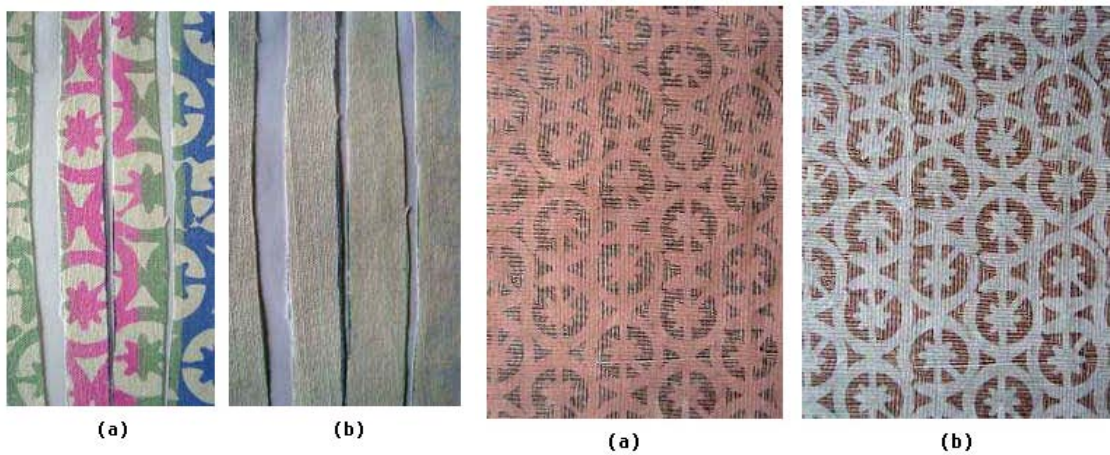
Slika 26. Primjena termokromne boje na boci od piva [49]



Slika 27. Primjena termokromne boje na limenci [50]

Veoma zanimljiva primjena termokromnih boja odnosi se upravo na tekstilnu industriju (Slika 28.), gdje tzv. pametni tekstil privlači mnogo pažnje u zadnjih nekoliko godina. Toplinski osjetljivi tekstil temelji se na fenomenu termokromizma tj. toplinski uvjetovanoj reverzibilnoj promjeni obojenja. Termokromni se pigmenti nalaze u obliku mikrokapsula, te su kao takvi nanešeni na tekstil primjenjujući odgovarajuću tehniku tiska. Sustav je sastavljen od komponenata koje su kapsulirane u krutu polimernu sferu, a to su pH osjetljivo bojilo (spiropiran ili fulgid) koja daje obojenje, zatim razvijач obojenja ili proton donor, najčešće slaba kiselina (derivat fenola) i pomoćno otapalo

(nehlapljiv, hidrofoban medij). Kao pomoćna otapala uglavnom se koriste ugljikovodici, masne kiseline, amidi i alkoholi. Pametni tekstil svoju primjenu uvelike nalazi u medicini implementiran kao sredstvo zdravstvene skrbi, konkretno, radi se o pametnim odjevnim predmetima i plahtama za praćenje kronično oboljelih pacijenata. [51]

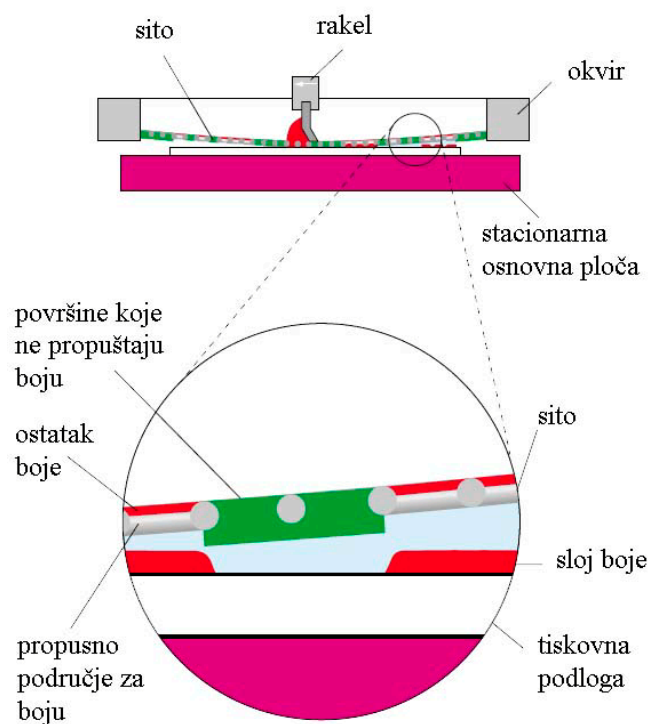


Slika 28. Primjena termokromnih boja na tekstu; a) prije promjene, b) poslije promjene [53]

Termokromne boje i pigmenti nude značajan potencijal za estetski i funkcionalan dizajn tekstila, na području pametnih materijala. [52]

2.1. SITOTISAK

Sitotisak predstavlja tehniku propusnog tiska kod koje se bojilo propušta kroz sito (mrežicu) s mogućnošću tiska na različite materijale. U Kini se još prije nove ere tiskalo na svilu, papir i keramiku, pomoću drvenih okvira na koje je bilo napeto sito od dugačke ženske kose, a kao bojilo koristile su se različite boje biljnog ili mineralnog porijekla. Razvio se iz tehnike šablonskog tiska. Kao glavna prednost ove tehnike, navodi se mogućnost realizacije grafičkih proizvoda nestandardnih oblika, zbog gipkosti tiskovne forme. [53] Tiskovnu formu predstavlja mrežica od nekog materijala, napeta na odgovarajući okvir poput sita. Zatvorene očice na mrežici predstavljaju slobodne površine i nepropusne su za boju, dok otvorene očice predstavljaju tiskovne elemente i propuštaju boju (Slika 29.) Kroz otvore na istoj mrežici, na tiskovnu podlogu se potiskuje posvuda isti nanos boje, pa se ovom tehnikom mogu tiskati samo jednotonske reprodukcije.



Slika 29. Princip sitotiska [54]

Za izradu mrežica za sitotisak upotrebljavaju se metali, tkanine od prirodnih vlakana i tkanine od sintetskih vlakana. Od metala se najčešće upotrebljavaju fosforna bronca

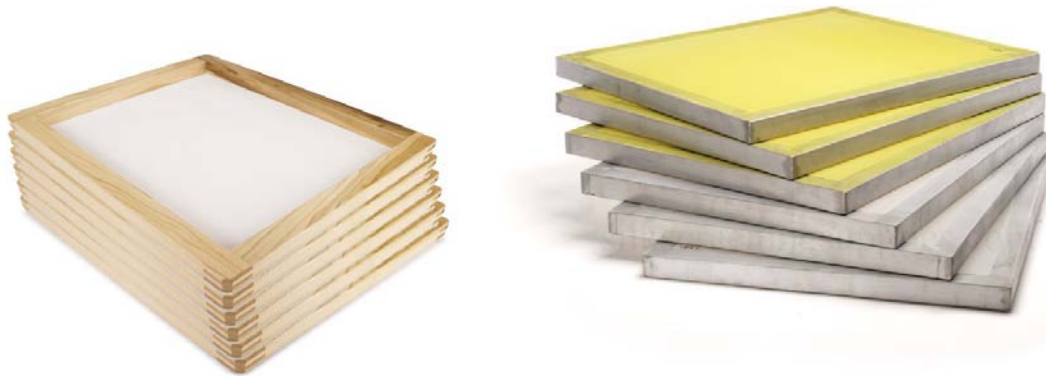
(Cu-Sn-P) i antikoroziivni čelik (Fe-Ni-Cr). Metalne mrežice se rjeđe upotrebljavaju, obično je to onda kada je potrebna veća čvrstoća mrežice pri tiskanju na keramiku i pri upotrebi boja koje sadrže oštar anorganski pigment. Od prirodnih vlakana upotrebljava se svila kojoj je glavna prednost elastičnost, pa se nakon istežanja vraća na prvobitnu dužinu, a pri eventualnim udarcima ne ostaju trajne deformacije. Kao glavni nedostatak svile navodi se dimenzionalna nestabilnost pri klimatskim promjenama. Mrežice izrađene od sintetskih vlakna imaju slična svojstva svilenim mrežicama, elastične su, pa dugo zadržavaju prvotne dimenzije i ne deformiraju se trajno uslijed udarca (Slika 30.) Otporne su prema mnogim kemikalijama koje se upotrebljavaju u sitotisku, a pri promjeni klimatskih uvjeta su stabilnije od svilenih mrežica. Osnovna karakteristika mrežice za sitotisak je finoća mrežice koja se izražava brojem niti po dužinskom centimetru, a kreće se u rasponu od 15 niti/cm² - 250 niti/cm². Kvaliteta mrežice ovisi o načinu tkanja (ispreplitanja). Postoje 3 vrste mrežica:

- a) Normalno tkanje – vertikalne niti su fiksne, dok su horizontalne niti isprepletene
- b) Tift tkanje – horizontalne niti su iste kao kod normalnog tj. isprepliću se, a vertikalne se niti ponavljaju, pa takve tkanine izdrže velike naklade.
- c) Mlinarsko tkanje – kombinacija prethodna dva



Slika 30. Poliesterska mrežica za sitotisak [55]

Okviri za sito su pravokutni, a formati im mogu biti različiti (Slika 31.) Izrađuju se od drva, metala ili plastičnih materijala. Drvo i plastični materijali podložni su izvijanju, te se zato daje prednost metalnim okvirima.



Slika 31. Okviri za sitotisk [56-57]

Za izradu kopije na situ koriste se manualni i fotomehanički postupci. Na svim slobodnim površinama na situ, očice se moraju zatvoriti, te se na ta mjesta na situ nanese materijal koji se uz mrežicu dobro prilijepi i ostane na njoj stalno u toku tiska. Na samom početku mrežica se mora očistiti i odmastiti, kako bi materijal koji se nanosi na slobodne površine dobro prijanjao uz mrežicu. Nakon toga, mrežica se ispere i osuši. Manualni postupci se dijele na direktne i indirektne. Kod direktnih postupaka, kopija se izrađuje na situ, a kod indirektnih na nekom posebnom materijalu, te se onda prenese na sito. Fotomehanički postupci izrade tiskovne forme također mogu biti direktni, indirektni i direktno-indirektni. Kod direktnog postupka sito se osloji kopirnom otopinom i nakon sušenja kopira se kroz fotografski predložak na kopirni sloj. U indirektnim postupcima kopirni predložak se kopira na fotoosjetljivu kopirnu foliju te se zatim kopija prenese na sito. Direktno-indirektni postupak predstavlja njihovu kombinaciju. [58]

Bojila koja se upotrebljavaju u sitotisku se klasificiraju u dvije skupine i to na boje za upojne podloge i boje za neupojne podloge. Boje za upojne podloge su pastozna bojila koja se prije upotrebe razrijeđuju kako bi se postigao odgovarajući viskozitet. Sve češće se kao razrijeđivač upotrebljava voda. Za neupojne podloge se upotrebljavaju dvokomponentna bojila, koja se miješaju neposredno prije otiskivanja, a sačinjava ih osnovna komponenta (80%) i katalizator (20%). Pojedine podloge zahtijevaju i

specijalnu obradu prije tiska u čiju grupaciju spadaju metali koji zahtijevaju skidanje svih masnih nakupina pastama za poliranje, plastični materijali koji zahtijevaju bombardiranje površine snopom elektrona kako bi se postigao zeta potencijal nakon čega je moguće otiskivanje i čelik koji zahtijeva eloksiranje tj. postizanje stabilnosti na visokim temperaturama. Kao komparativne prednosti sitotiska u odnosu na ostale tehnike tiska navodi se dimenzionalno „neograničen“ otisak, mogućnosti tiska na medije veće debljine, tisak na zakrivljene površine i generiranje nanosa boje od 10 μm .

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Plan eksperimenta

U svrhu dokazivanja teze o apliciranju 2D kodova primjenom termokromne boje s njihovim međusobnim funkcioniranjem i ujedno zadovoljavajućim rezultatom čitljivosti kodova, postavlja se plan eksperimenta usmjeren na pripremu potrebnih materijala u svrhu realizacije navedenog. U cilju realiziranja eksperimenta, odgovarajuće pripremljeni DataMatrix i QR 2D kodovi otiskivat će se termokromnom bojom na bazi leuco bojila tehnikom sitotiska. S razlogom definiranja i uvida u strukturu korištene boje, primjenit će se tehnika SEM mikroskopske analize korištene boje prije i poslije aktivacije na prethodno pripremljenim referentnim otiscima. Nakon adekvatne pripreme kodova, kao i stroja za tisak kodovi će se otisnuti na 4 različite tiskovne podloge (Carta Solida mat 250g, Kundstdruck sjajni 300g, Kundstdruck mat 350g, Munken Pure 150g) termokromnom bojom i UV procesnom crnom bojom koja će predstavljati tzv. referentne otiske u svrhu njihove međusobne usporedbe. Na samom početku definirana je teza o međusobnom funkcioniranju dvaju inovativnih medija, odnosno cilj je postići uzajamnu čitljivost kodova nakon ireverzibilne termokromne promjene obojenja. U svrhu provjere čitljivosti primjenjivat će se adekvatni čitači, kojima se u konačnici dokazuje ili opovrgava teza čitljivosti, odnosno međusobnog funkcioniranja dvaju korištenih medija. Plan eksperimenta usmjeren je i na krajnju mikroskopsku analizu rubnih karakteristika 2 odabrana elementa definiranih simbologija primjenom mikroskopa Leica EZ4D pri povećanju od 12,5x. Termokromni otisci usporedit će se sa referentnim otiscima otisnutima UV procesnom crnom bojom, te na temelju vizualne procjene utvrditi kvaliteta otisaka.

3.2. Materijali

3.2.1. Bojilo

U svrhu realiziranja eksperimenta primjenjivala se termokromna boja na bazi leuco bojila i UV procesna crna boja.

Termokromna boja na bazi leuco bojila

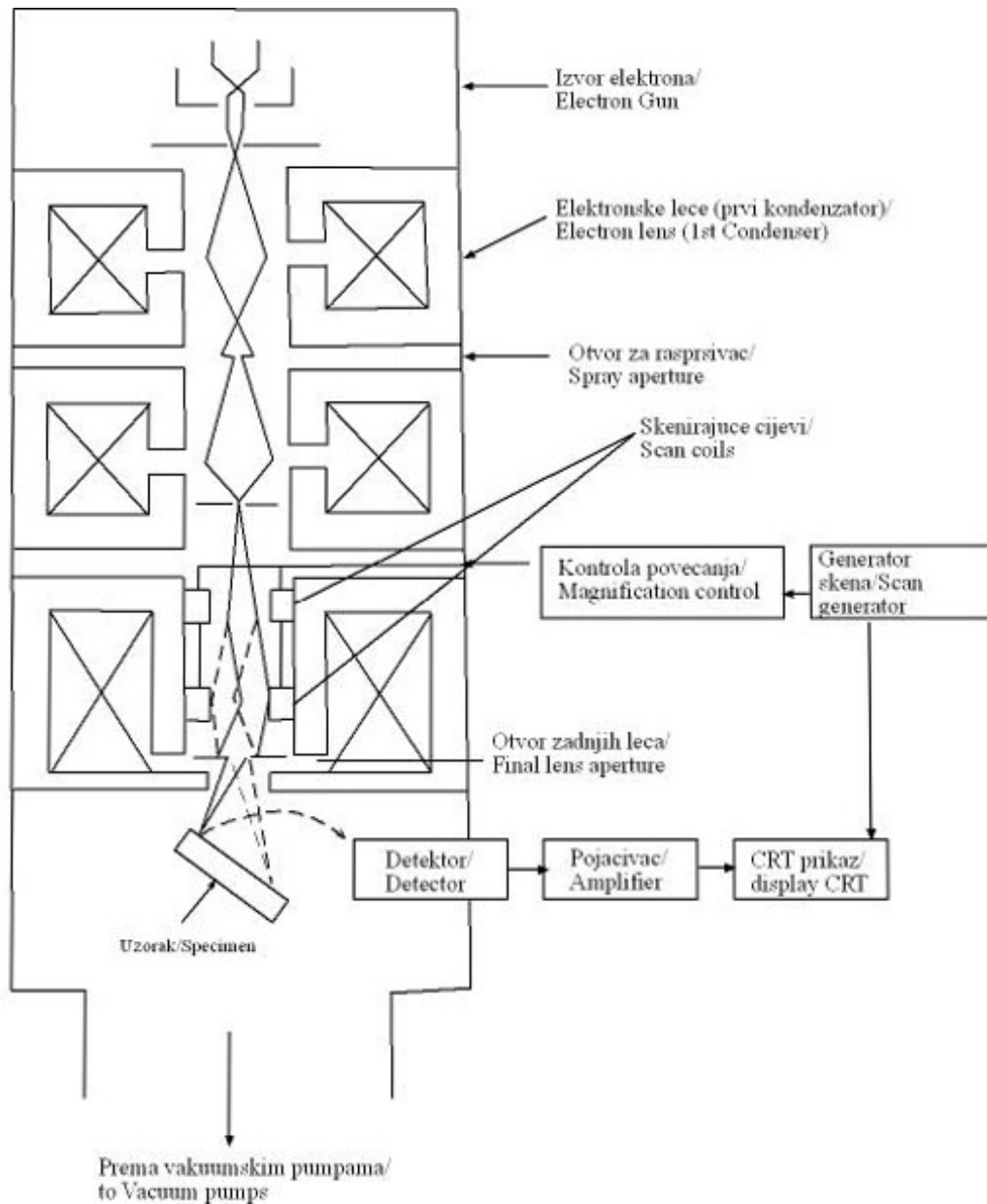
Za potrebe rada, primjenjivala se ireverzibilna termokromna boja, sa temperaturom aktivacije od 65°C. Definirana boja prilikom utjecaja spomenute temperature nepovratno mijenja obojenje iz transparentnog koje se na otisku manifestira kao sivo u crno obojenje. S ciljem uvida u strukturu boje, napravljena je adekvatna mikroskopska analiza SEM mikroskopom.

Godine 1942. Zworykin, Hilier i R. L. Snyder razvili su sasvim novu vrstu elektronske mikroskopije, Skenirajući elektronski mikroskop (SEM) (Slika 32.) Elektronske mikroskope nalazimo u dva osnovna oblika: Transmisijski elektronski mikroskop (TEM) i skenirajući elektronski mikroskop (SEM). Sličnost im je upravo u primjeni zrake elektrona, međutim, za stvaranje slike koriste različite mehanizme. TEM sliku oblikuje pomoću elektrona koji prolaze kroz uzorak dok SEM koji je i korišten za potrebe definiranja snimaka korištene termokromne boje pri različitim povećanjima sliku oblikuje detektirajući elektrone koji se odbijaju od vanjske površine uzorka. Slika koju vidimo na vizualnom ekranu indirektna je elektronskoj slici.



Slika 32. SEM – Skenirajući elektronski mikroskop

SEM, kao takav posjeduje i određene prednosti nad svjetlosnom mikroskopijom, a to su veća širina fokusa, bolja razlučivost, lakša manipulacija uzoraka, veće područje povećanja (20x do 100 000x), a u praksi čak i veće (50 000x do 1000 000x), mogućnost ispitivanja uzoraka s različitih aspekata.

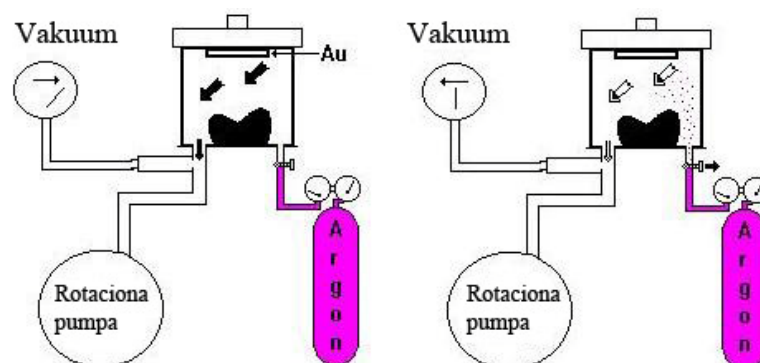


Shema 1. Osnovni dijelovi SEM-a [59]

S obzirom da se većina materijala svrstava u grupaciju loših vodiča električnog naboja, uzorci se moraju prethodno pripremiti s tankim slojem električnih vodljivih materijala, te se na taj način mogu ukloniti nabojni efekti. Proces nabijanja daje slabu kvalitetu i izobličenost slike te može unijeti smetnje koje mogu proizvesti nezadovoljavajuće rezultate. Za proces neparivanja se uglavnom koriste materijali poput zlata, platine i paladija koji u elementarnom stanju padaju na uzorak i povećavaju njegovu vodljivost. Kad se uređaj uključi i postave mali uzorci kojih je veličina oko 5x5 mm postiže se vakuum te nakon toga slijedi puštanje argona čija je uloga izbacivanje zlata i paladija u elementarnom obliku na uzorak. Ovisno o vremenu neparivanja dobit ćemo i odgovarajuću debljinu sloja na uzorku, gdje se pritom te dvije veličine odnose proporcionalno tj. što je duže neparivanje, dobit ćemo i deblji sloj uzorka (Slika 33.-34.)

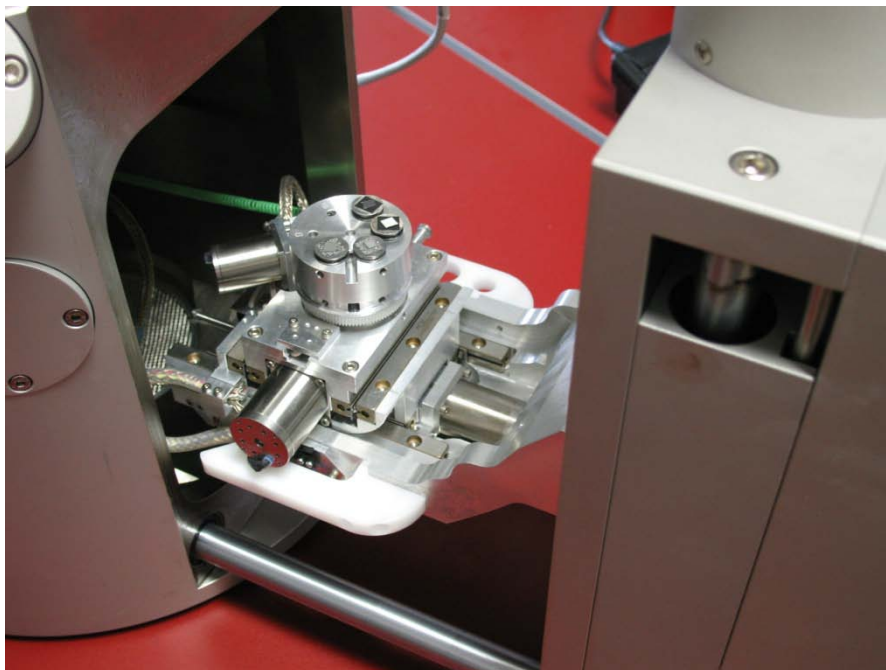


Slika 33. Uređaj za neparivanje



Slika 34. Uređaj za neparivanje [60]

Kruti uzorci podvrgnuti elektronskoj zruci u SEM-u izlažu se kompleksnoj interakciji s primarnom zrakom elektrona. Ta interakcija uzrokuje raznolikost signala koji mogu biti detektirani u SEM-u. Prilikom vizualne analize uzorka, možemo izabrati različite načine rada SEM-a i to pomoću: skupljanja i prikazivanja sekundarnih elektrona (SE), prethodno raspršenih elektrona (BSE), propuštenih elektrona (TE), kao i vodljivost uzorka. Informacije o kemijskom sastavu uzorka dobivamo primjenom analize karakterističnog X-zračenja i karakterističnih malih elektronskih spektara (Auger elektroni), a ponekad se može primijeniti i katodna luminescencija. Pažljivo pripremljeni uzorak postavlja se u komoru mikroskopa, gdje usko usmjereni snop elektrona pada na njegovu površinu te se pritom reflektiraju elektroni visoke energije koji se prikazuje kao varijacija svjetline na katodnoj cijevi (CRT).



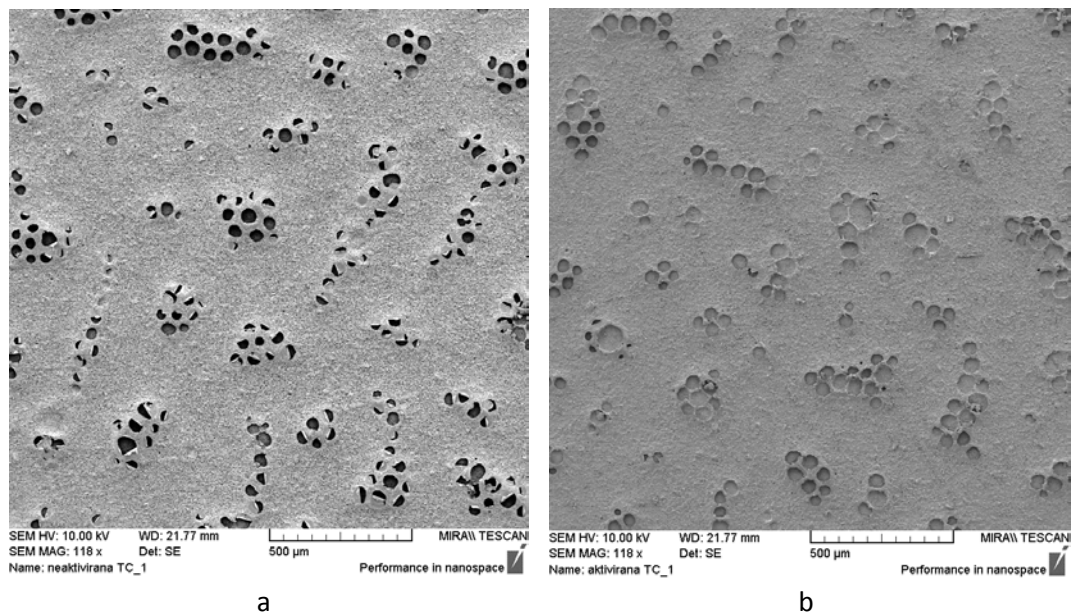
Slika 35 . Komora mikroskopa

Kao važnije primjene SEM-a navode se njegova upotreba u medicini, forenzici, metalurgiji, brojnim istraživanjima. Primjena SEM-a u medicini se manifestira u uspoređivanju uzoraka zdrave i nezdrave krvi te u promatranju uzoraka tkiva, kako bi se utvrdilo što je uzrok bolesti pacijenta. Forenzičari SEM koriste za ispitivanje dokaza te

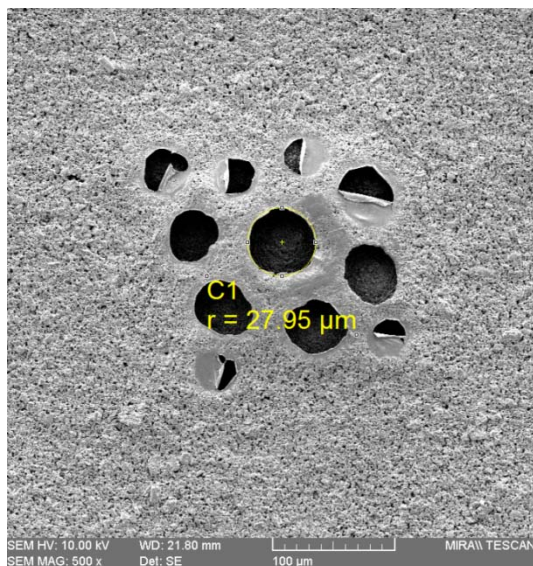
usporedbu metalnih fragmenata, boja i tinte, te adekvatno analiziranje kose i vlakna kojima se može utvrditi nevinost ili krivnja osobe. U metalnoj industriji SEM se upotrebljava za definiranje izdržljivosti materijala pri različitim klimatskim uvjetima. Brojni su sigurnosni razlozi iz kojih se proučava materijal prije same aplikacije u izradi zrakoplova, automobila, vlakova, brodova itd. Mnogo je različitih područja u znanstvenim istraživanjima u kojima SEM može naći svoju primjenu. Primjerice koristi se prilikom ispitivanja iznimno malih uzoraka. Biolozi ga koriste za vizualizaciju dubinske strukture biljnih ili životinjskih tkiva, keramičari ispituju mikroskopske kristale, a znanstvenici iz područja materijala pregledavaju strukturu metala, keramike, plastike, papira i sl.

Za potrebe ovog rada, SEM je korišten u svrhu vizualiziranja dubinske strukture termokromne boje prije i poslije aktivacije, kako bi se pobliže prikazala definirana promjena adekvatnih elemenata od kojih je spomenuta boja sastavljena. [61]

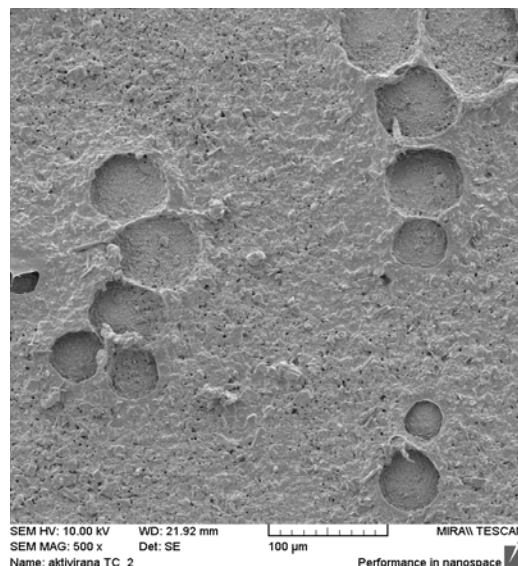
Usporedba aktivirane i neaktivirane boje pri različitim povećanjima:



Slika 36. Mikroskopsko povećanje od 500 µm neaktivirane i aktivirane termokromne boje

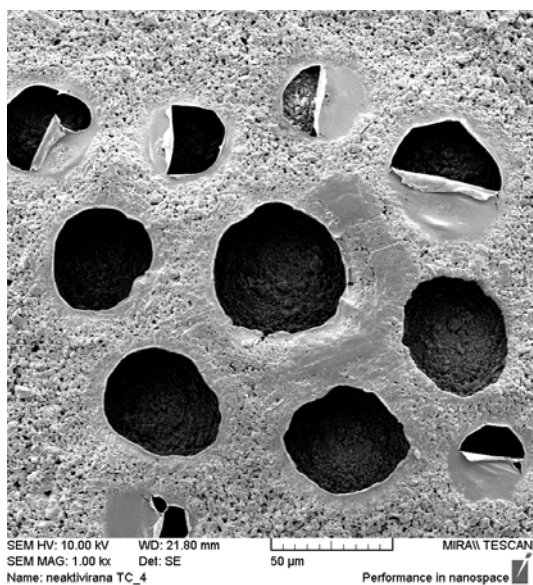


a

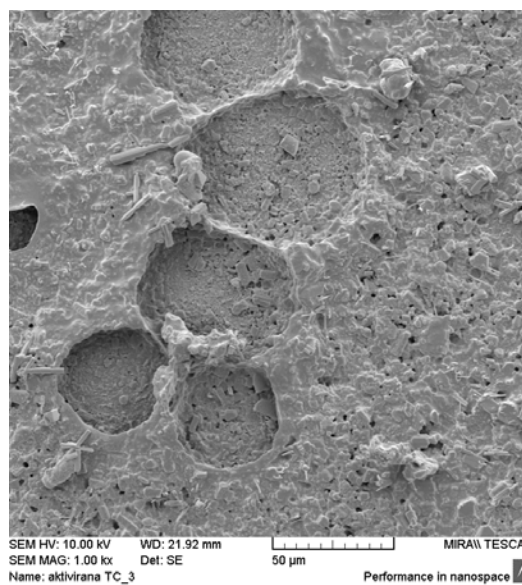


b

Slika 37. Mikroskopsko povečanje od 100 μm neaktivirane i aktivirane termokromne boje

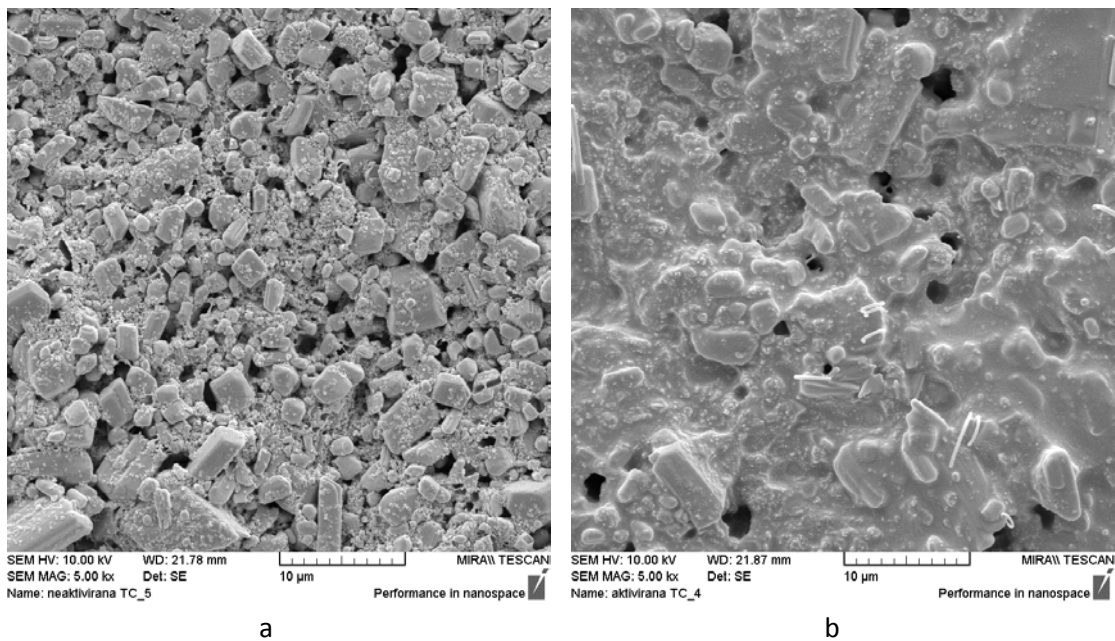


a

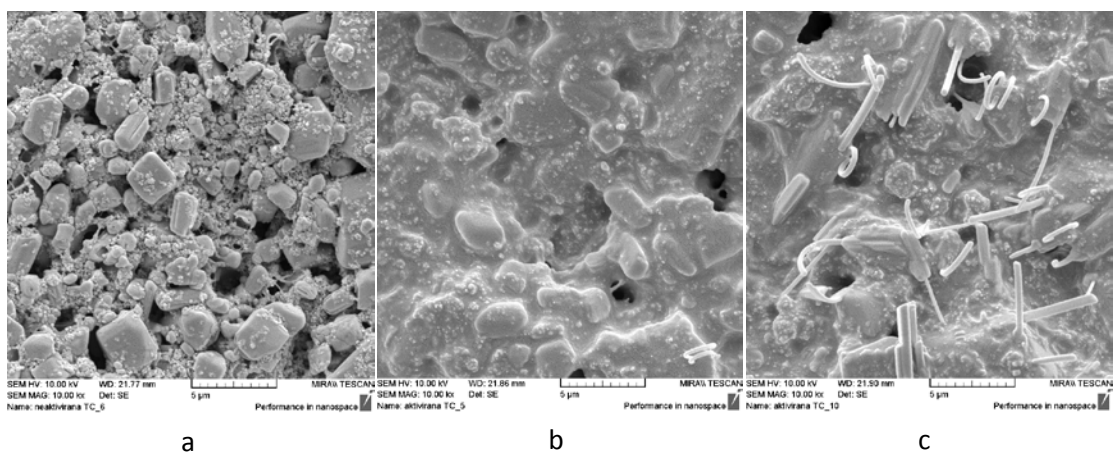


b

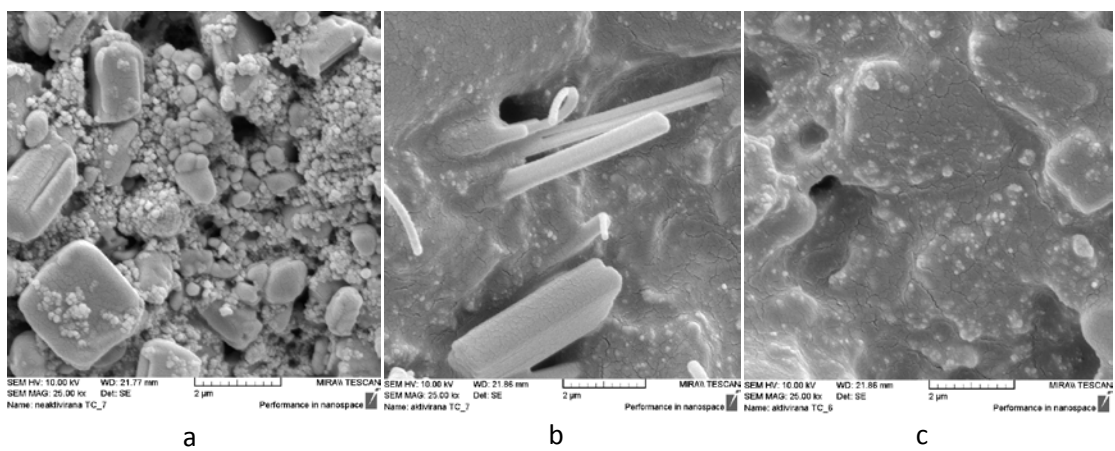
Slika 38. Mikroskopsko povečanje od 50 μm neaktivirane i aktivirane termokromne boje



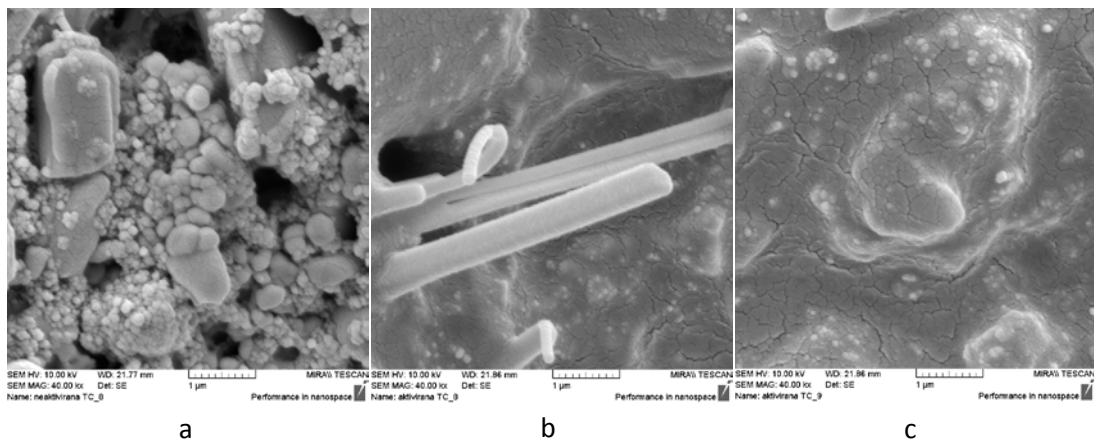
Slika 39. Mikroskopsko povečanje od 10 μm neaktivirane i aktivirane termokromne boje



Slika 40. Mikroskopsko povečanje od 5 μm neaktivirane i aktivirane termokromne boje



Slika 41. Mikroskopsko povečanje od 2 μm neaktivirane i aktivirane termokromne boje



Slika 42. Mikroskopsko povećanje od 1 μm neaktivirane i aktivirane termokromne boje

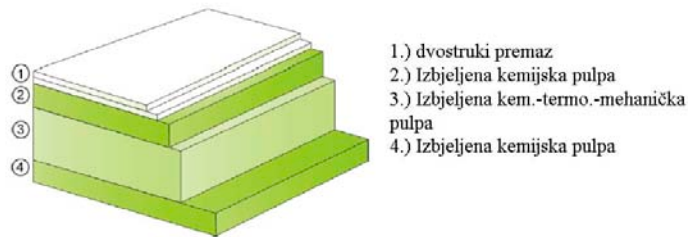
Na prikazanim mikroskopskim snimkama termokromne boje u neaktiviranom stanju (Slike 36.a-42.a) i aktiviranom stanju (Slike 36.b-39.b, Slike 40.b,c-42b,c), vidljiva je reakcija topljenja otapala, gdje se otapa boja i slaba kiselina, te dolazi do spajanja elemenata, što se u konačnici manifestira kao obojenje.

3.2.2. Papir

Za potrebe otiskivanja korištene su 4 vrste papira:

- a) *Carta Solida mat 250 g/m²*
- b) *Kundstdruck sjajni 300 g/m²*
- c) *Kundstdruck mat 350 g/m²*
- d) *Munken Pure 150 g/m²*

a) *Carta Solida mat 250 g/m²*



Slika 43. Struktura papira Carta Solida

Tablica 2. Karakteristike papira Carta Solida 250 g/m²

Carta Solida 250 g/m ²				
Debljina	Sadržaj vlage	Glatkost	Svjetlina	Sjajnost
0.415 mm	7.5 %	1 μm	91%	48%

b) *Kundstdruck sjajni 300 g/m²*

Tablica 3. Karakteristike papira Kundstdruck sjajni 300 g/m²

Kundstdruck sjajni 300 g/m ²					
Svjetlina	Sjajnost	Opacitet	Rel. vlaga (23°C)	pH vrijed.	Spec. volumen
98	68	99	50	>7	0,76

c) *Kundstdruck mat 350 g/m²*

Tablica 4. Karakteristike papira Kundstdruck mat 300 g/m²

Kundstdruck mat 350 g/m ²					
Svjetlina	Hrapavost	Opacitet	Rel. vlaga (23°C)	pH vrijed.	Spec. volumen
100	1,9	99,5	50	>7	0,99

d) *Munken Pure 150 g/m²*

Kvalitetan tisak zahtijeva i kvalitetnu tiskovnu podlogu. Nepremazana površina Munken Pure papira i njegova žućkasta nijansa omogućuju prirodan i ekskluzivan izgled. Munken Pure je razvijen za offsetni tisak, međutim, pogodan je i za otiskivanje u tehnikama poput fleksotiska, digitalnog tiska, inkjet-a, laserskog tiska, kserigrafije i sl.

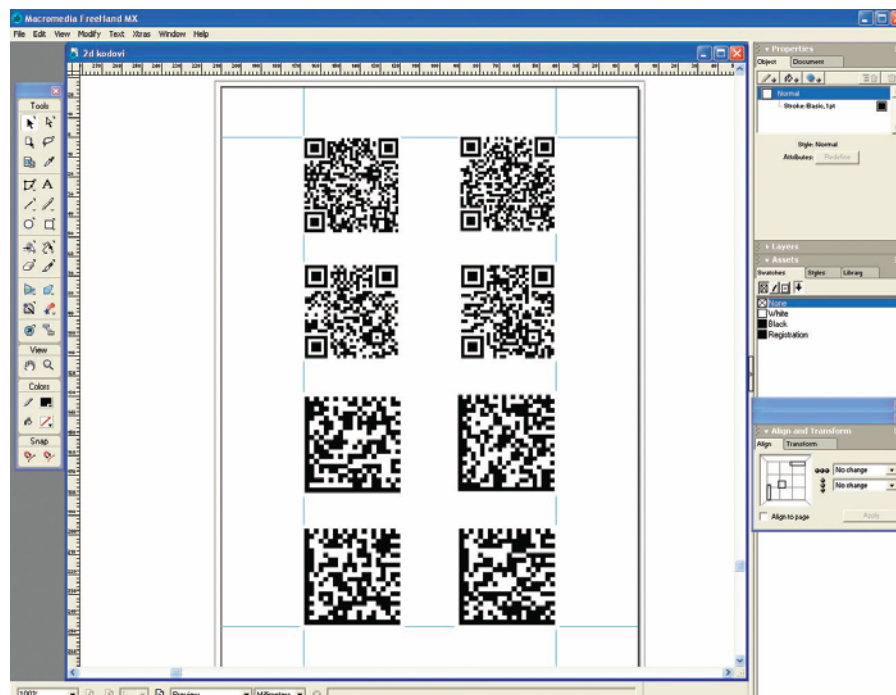
U tablicama 2.-4. prikazane su osnovne karakteristike korištenih tiskovnih podloga.

3.3. Otiskivanje tehnikom sitotiska

Prilikom izrade eksperimenta koji se odnosi na otiskivanje prethodno odabranih simbologija QR i DataMatrix 2D kodova definirano je nekoliko koraka koji pridonose njegovom realiziranju u konačnici, a odnosi se na pripremu dokumenta za tisak, pripremu stroja, te sam proces otiskivanja tehnikom sitotiska.

Priprema dokumenta za tisak

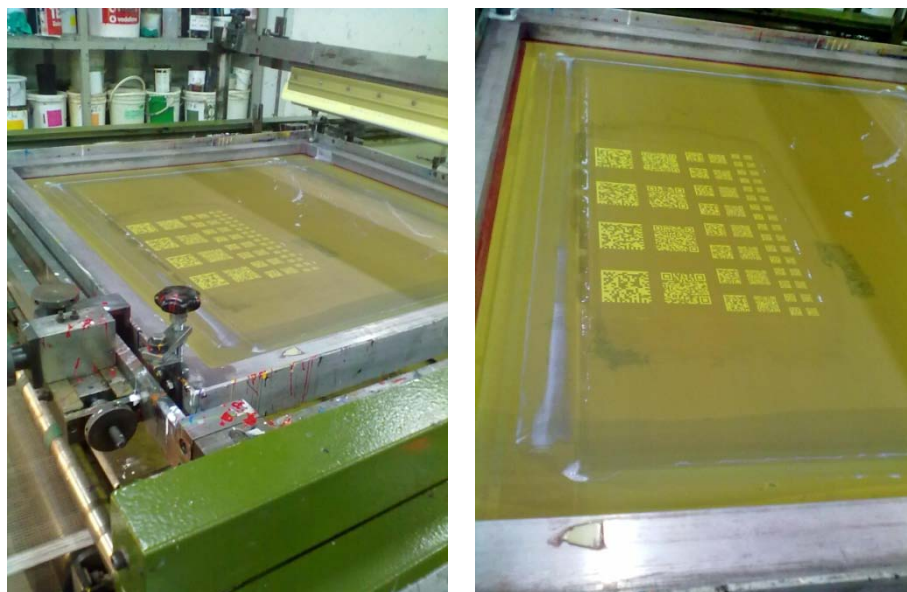
Za realiziranje ove faze odabran je program Freehand MX. (Slika 44.) Kodovi su posloženi u 3 različite veličine 5x5 cm, 2,5x2,5 cm i 1,3x1,3 cm. Na adekvatan način pripremljen je odgovarajući .pdf za tisak. Kodovi su posloženi na format 35x25 cm.



Slika 44. Priprema dokumenta za tisak

Priprema sitotiskarskog stroja

Proces tiska izveden je na cilindričnom automatskom stroju za sitotisak koji tiska do B2 formata (500x707 mm) (Slika 45.)



Slika 45. Otiskivanje kodova

Nakon definiranja .pdf dokumenta, slijedi osvjetljavanje na film, sito se presvlači emulzijom koja predstavlja jedan od nekoliko faktora kojima se može utjecati na debljinu nanosa boje. Nanos boje i količina nanešene emulzije odnose se međusobno proporcionalno, tj. s većom količinom emulzije veći je i nanos boje. Na količinu bojila moguće je utjecati i rakelom te gustoćom tkanine na situ. Nakon što se nanijela emulzija, na nju se stavlja film, vrši osvjetljavanje i razvijanje vodom, te u konačnici retuširanje, ukoliko ima nepravilnosti. Korištena je emulzija Kiwocol Poly-Plus S (Slika 46.) Emulzija je nanešena u 1/1 omjeru, tj. jednom sa svake strane.



Slika 46. Kiwocol Poly-Plus S emulzija [62]

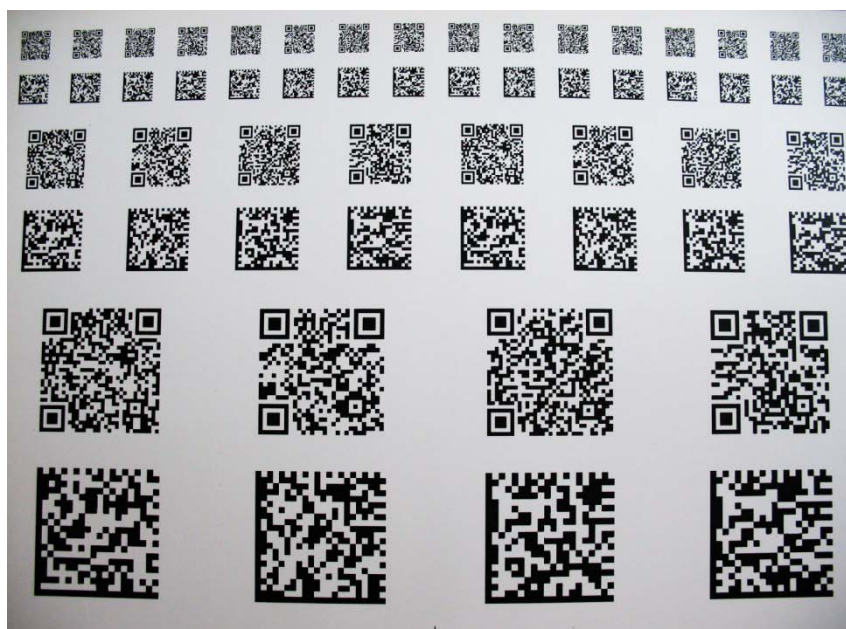
Kiwocol Poly-Plus S je visokokvalitetna diazo-fotopolimerna emulzija. Izuzetna kopirna svojstva čine je idealnim izborom za rad s finim detaljima. Karakteriziraju je izuzetna mehanička svojstva. Nanašanje emulzije može se obaviti ručno ili strojno, gdje je preporučljivo strojno nanašanja iz razloga većeg broja reproduciranja. Izlaže se ultraljubičastoj svjetlosti na valnoj duljini od 350-420 nm. Najbolje rezultate daju metal-halogenidne lampe. Sito je snimano sa osvijetljenim filmom na Agfa Accuset osvjtljivaču. Korištena je svila na situ od 180 l/cm.

Tablica 5. Karakteristike korištene svile na situ

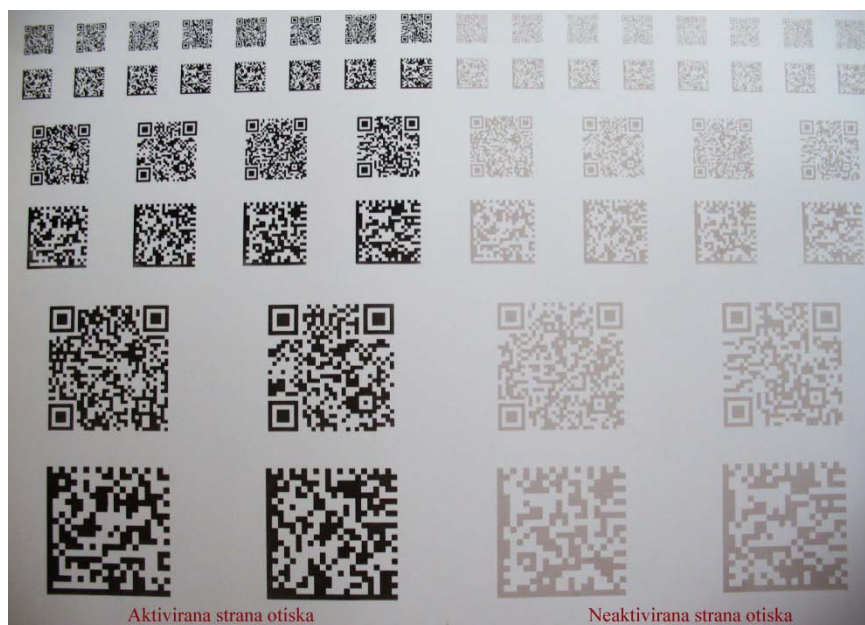
SVILA 80l/cm				
Otvor mrežice	Promjer niti	Otvoreni prostor	Debljina mrežice	Težina mrežice
22 μm	27 μm	15,10%	43 μm	31 g/m ²

Dobiveni otisci

Kodovi su otiskivani UV crnom (procesnom) bojom (Slika 47.) i ireverzibilnom termokromnom bojom na bazi leuco bojila (Slika 48.), gdje je naknadno aktivirana polovica otiska.



Slika 47. Otisak UV crnom bojom (referentni otisak)



Slika 48. Otisak termokromnom bojom

Za potrebe eksperimenta odabran je slučaj otiskivanja čistom termokromnom bojom, kako bi se provela adekvatna usporedba sa UV procesnom crnom bojom. U slučaju velikih naklada, postavlja se pitanje isplativosti korištenja čiste termokromne boje, s obzirom na njezinu višu cijenu, te je s obzirom na navedeno postavljena teza o mogućoj razrijeđenosti boje, a da pritom kodovi daju zadovoljavajuće rezultate čitljivosti, te ujedno i zadovoljavajuću kvalitetu otiska, te se kao jedna od mogućih kombinacija uzima omjer 100g boje + 20g vode. Spomenuti omjer za velike naklade daje zadovoljavajuću kvalitetu otiska, te čitljivost kodova, a isplativost je vidljiva u cilju značajnije uštede boje.


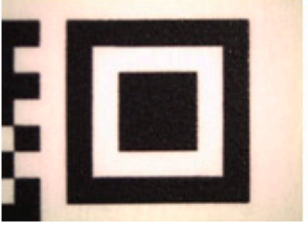
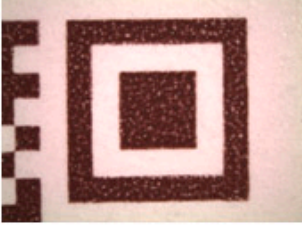
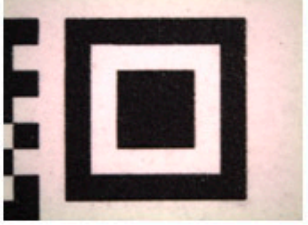


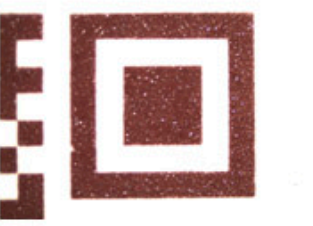

3.4. Mikroskopska analiza otisaka

Prilikom realiziranja segmenta mikroskopske analize otisaka, otisnutih ireverzibilnom termokromnom bojom i otisaka otisnutih UV procesnom crnom bojom odabran je laboratorijski mikroskop Leica EZ4D (Slika 49.), kojim su napravljene snimke rubnih dijelova dviju odabranih simbologija s otisaka, pri povećanju od 12,5x. Na temelju vizualne procjene napravljena je i adekvatna usporedba otisaka.

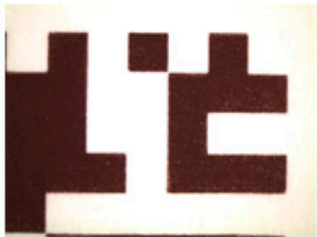


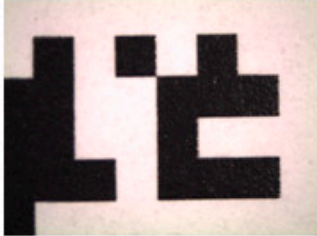
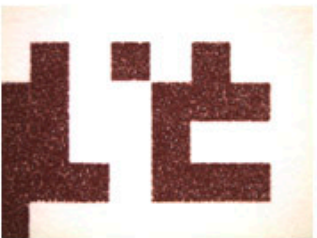

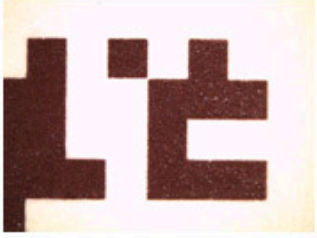



Slika 49. Mikroskop Leica EZ4D [63]

Tablica 5. Usporedba QR elemenata na korištenim tiskovnim podlogama

Vrsta papira	Otisak termokromnom bojom	Otisak UV procesnom crnom bojom
<i>Carta Solida mat 250 g/m²</i>		
<i>Kundst Druck sjajni 300 g/m²</i>		
<i>Kundst Druck mat 350 g/m²</i>		
<i>Munken Pure mat 150 g/m²</i>		

Tablica 6. Usporedba DataMatrix elemenata na korištenim tiskovnim podlogama

Vrsta papira	Otisak termokromnom bojom	Otisak UV procesnom crnom bojom
<i>Carta Solida mat 250 g/m²</i>		
<i>Kundstáruck sjajni 300 g/m²</i>		
<i>Kundstáruck mat 350 g/m²</i>		
<i>Munken Pure mat 150 g/m²</i>		

Na temelju vizualne procjene otisaka, otisnutih termokromnom bojom i UV procesnom bojom na 4 različite podloge, utvrđena je značajna razlika u kvaliteti otiska uzrokovana različitim formulacijama dvije primijenjene boje. Kao mogući uzrok, navodi se razlika u veličini pigmenata. Veličina mikrokapsula kod termokromne boje se

kreće između 3-5 μm , dok se kod klasične boje najčešće upotrebljava veličina pigmenata od 0.1-1.0 μm . S obzirom na vizualnu procjenu vidljiva je i slabija pokrivenost termokromne boje uzrokovana upravo različitom formulacijom boje. Na kvalitetu otiska utjecala je i struktura korištenih tiskovnih podloga. Ne ulazeći u kemijsku analizu, vizualnom procjenom utvrđuje se da nabolje rezultate po pitanju kvalitete otiska daje Carta Solida mat 250 g/m^2 .

3.5. Ispitivanje čitljivosti kodova

Glavna, te ujedno i temeljna funkcija dvodimenzionalnih simbologija je pohrana informacija na malom prostoru, te ujedno i prijenos informacija, omogućen njihovom čitljivošću prilikom očitavanja. Brojni su faktori koji utječu na navedeni parametar, a kao najvažnije valja napomenuti tiskovne podloge na kojima su otisnuti, formulacije primjenjenih boja, kao i čitači kojima se omogućava virtualni ulazak u svijet informacija koje nude.

Za potrebe eksperimentalnog dijela ovog rada odabrane su QR i DataMatrix simbologije, otisnute na 4 različite tiskovne podloge (Carta Solida 250 g/m^2 , Kundstdruck sjajni 300 g/m^2 , Kundstdruck mat 350 g/m^2 , Munken Pure 150 g/m^2), dvjema različitim bojama (ireverzibilna termokromna boja i UV crna procesna boja). Očitavanje kodova izvršeno je barkod čitačem instaliranim na mobilni uređaj, te dvjema čitačima Bar Capture i Quickmark čiji je rad omogućen instalacijom na računalo. Za potrebe izvedbe ispitivanja čitljivosti računalnim čitačima kodovi su prethodno skenirani.



*Slika 50. Odabrani kodovi za ispitivanje čitljivosti
Termokromni otisak (a), Otisak UV crnom (b)*

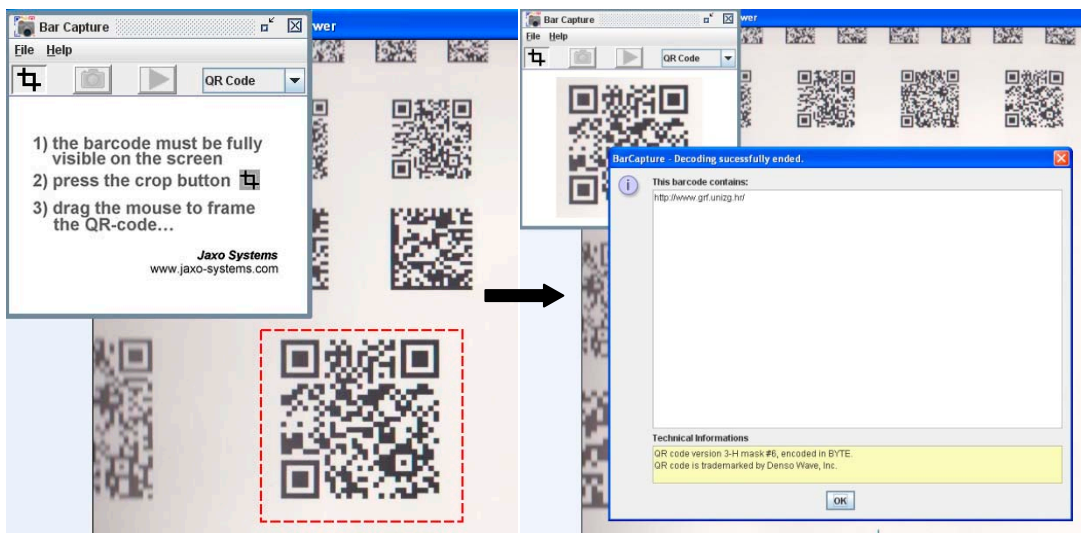
Ispitivanje čitljivosti kodova



Slika 51. Ispitivanje čitljivosti kodova barkod čitačem instaliranim na mobilni uređaj



Slika 52. Ispitivanje čitljivosti kodova Quickmark barkod čitačem instaliranim na računalo



Slika 53. Ispitivanje čitljivosti kodova Bar Capture čitačem instaliranim na računalo

4. REZULTATI I RASPRAVA

Na temelju provedenog istraživanja, gdje je na samom početku definirana hipoteza o mogućoj primjeni dvaju interaktivnih medija, ireverzibilnih termokromnih boja i 2D kodova sa konačnom zadovoljavajućom čitljivosti kodova dolazimo do nekoliko temeljnih zaključaka. Eksperimentalni dio, sastavljen je od SEM analize termokromne boje, procesa dobivanja otisaka tehnikom sitotiska, usporedbe QR i DataMatrix elemenata otisnutih termokromnom bojom i onih otisnutih UV crnom procesnom bojom, primjenjujući mikroskop Leica EZ4D, te na kraju ispitivanje čitljivosti 2D kodova.

SEM analiza ireverzibilne termokromne boje

S ciljem vizualne usporedbe unutarnje strukture termokromne boje na bazi leuco bojila prije i poslije aktivacije, napravljeno je nekoliko SEM snimaka pri različitim povećanjima, gdje je uočljiva reakcija topljenja otapala i spajanje elemenata u aktiviranom stanju boje, što u konačnici vizualno definiramo kao nastalo obojenje.






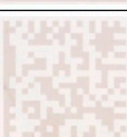

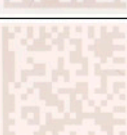
Usporedba QR i DataMatrix elemenata na korištenim tiskovnim podlogama

Za potrebe izrade spomenutih snimaka, korišten je laboratorijski mikroskop Leica EZ4D, gdje je pritom odabran isti element QR i DataMatrix koda, kako bi se omogućila vizualna usporedba otisaka dviju različitih boja.









Vidljiva je značajna razlika u kvaliteti otiska uzrokovana različitim formulacijama dviju primjenjenih boje. Ne ulazeći u kemijsku analizu otisaka, smatra se da je mogući uzrok razlika u veličini pigmenata, gdje pritom termokromnu boju karakterizira i slabija pokrivenost kao i neujednačena aktiviranost boje, čime otisak poprima nejednaki ton.

Rezultati ispitivanja čitljivosti









Tablica 7. Rezultati ispitivanja čitljivosti kodova na kodovima otisnutim termokromnom bojom prije termokromne promjene

Vrsta papira	Vrsta koda		Mobile Barcode Scanner		Quick mark		Bar Capture	
	QR	DataMatrix	QR	DataMatrix	QR	Datamatrix	QR	DataMatrix
Carta Solida mat 250 g/m ²			-	-	-	-	+	+
Kundstdruck sjajni 300 g/m ²			-	-	-	-	+	+
Kundstdruck mat 350 g/m ²			-	-	-	-	+	+
Munken Pure 150 g/m ²			-	-	-	-	+	+

Tablica 8. Rezultati ispitivanja čitljivosti kodova na kodovima otisnutim termokromnom bojom poslije termokromne promjene

Vrsta papira	Vrsta koda		Mobile Barcode Scanner		Quick mark		Bar Capture	
	QR	DataMatrix	QR	DataMatrix	QR	Datamatrix	QR	DataMatrix
Carta Solida mat 250 g/m ²			+	+	-	-	+	+
Kundstdruck sjajni 300 g/m ²			+	+	-	-	+	+
Kundstdruck mat 350 g/m ²			+	+	-	-	+	+
Munken Pure 150 g/m ²			+	+	-	-	+	+

Tablica 9. Rezultati ispitivanja čitljivosti kodova na kodovima otisnutim UV crnom procesnom bojom

Vrsta papira	Vrsta koda		Mobile Barcode Scanner		Quick mark		Bar Capture	
	QR	DataMatrix	QR	DataMatrix	QR	Datamatrix	QR	DataMatrix
Carta Solida mat 250 g/m ²			+	+	+	+	+	+
Kundstdruck sjajni 300 g/m ²			+	+	+	+	+	+
Kundstdruck mat 350 g/m ²			+	+	+	+	+	+
Munken Pure 150 g/m ²			+	+	+	+	+	+

Na temelju zaključaka iz vizualne usporedbe QR i DataMatrix elemenata utvrđena je poveznica sa rezultatima ispitivanja čitljivosti gdje u potpunosti zadovoljavajuće rezultate daju otisci otisnuti UV crnom procesnom bojom. Kao kvalitetom prihvatljiviji otisak otisnut UV crnom procesnom bojom daje i bolje rezultate čitljivosti kodova. Na samom početku kao cilj istraživanja navodi se pretpostavka o mogućoj primjeni dvodimenzionalnih simbologija u kombinaciji sa termokromnim bojama, gdje se kao glavna pretpostavka spominje nečitljivost kodova prije termokromne promjene, kao i njihova čitljivost nakon termokromne promjene, odnosno, procesa realizacije obojenja. Provedenim istraživanjem, potvrđena je hipoteza s početka rada, koja je definirana kao glavna problematika istraživanja. Od triju primjenjenih čitača, najbolje rezultate daje Bar Capture, a potpunu nečitljivost kodova prije i poslije aktivacije termokromne boje daje Quickmark čitač. S obzirom da se najveća primjena kodova odnosi upravo na ambalažu, najbitnije rezultate predstavlja mobilni barkod čitač koji potvrđuje pitanje čitljivosti prije termokromne promjene i poslije termokromne promjene, odnosno nečitljivost kodova prije promjene i njihovu čitljivost poslije promjene u oba slučaja primjene QR i DataMatrix kodova.

5. ZAKLJUČAK

Povijest komuniciranja seže u razdoblje života pećinskih ljudi. Prijenos informacija predstavlja vid komunikacije između skupine ljudi, bilo da se radi o tekstu, slici, simbolima ili u vrijeme današnjice video materijalu, te raznim interaktivnim multimedijalnim prijenosima informacije. Tokom godina razvili su se tzv. dvodimenzionalni kodovi koji svojim postojanjem na ambalaži, letcima, posterima, tiskovinama omogućuju korisniku dodatne informacije o proizvodu, kao i uvod u interaktivan svijet povezanosti ambalaže i multimedijalnih sadržaja vezanih uz proizvod. Uvođenjem spomenutih medija dolazi do značajne zainteresiranosti, te intrigantnosti sadržaja koji je sakriven, bilo da se radi o poveznicama sa web sadržajem ili suhoparnim tekstualnim informacijama. Poseban uspjeh vidljiv je u individualiziranosti kodova, formiranjem vlastitog idejnog rješenja, gdje pritom firme nastoje u spomenuti vid interakcije unijeti dio sebe, kao i svoje profesionalnosti, pa nastoje od kodova za širenje informacija formirati logotipe koji predstavljaju njihovo zaštitno lice a omogućuju i informacije za zainteresirano tržište. Također, postoje različiti mediji koji svojom kombinacijom primjene daju itekako zadovoljavajuće rezultate. Jedan od veoma zanimljivih interaktivnih medija odnosi se upravo na primjenu termokromnih boja koje prilikom izlaganja adekvatnoj temperaturi mijenjaju svoje obojenje, povratno ili nepovratno. Istraživanjem je dokazana moguća primjena dvodimenzionalnih simbologija u kombinaciji sa ireverzibilnim termokromnim bojama, gdje kodovi prije termokromne promjene u slučajevima očitavanja mobilnim uređajem daju negativne rezultate čitljivosti zbog nedovoljnog kontrasta otiska i podloge, a poslije termokromne promjene daju pozitivne rezultate. Moguća primjena spomenute kombinacije vidljiva je u područjima pametne ambalaže sa posebnim načinima rukovanja, konkretno, čuvanja na preporučljivoj temperaturi, primjerice, hrane i lijekova, gdje se manifestiranjem termokromne promjene korisnika upućuje na neadekvatno rukovanje, tj. u ovom slučaju 2D kod iz stanja nevidljivosti prelazi u stanje vidljivosti, što korisniku daje do znanja da nešto nije u redu, a očitavanjem koda omogućio bi se pristup informacijama o daljnjem ponašanju s proizvodom. Dvodimenzionalne simbologije predstavljaju vid interakcije u razvoju, koji svojom primjenom obuhvaćaju sve veće tržište i privlače sve više zaintrigiranih korisnika.

6. LITERATURA

1. <http://hr.wikipedia.org/wiki/Komunikacije> - Komunikacije, 20.04.2012.
2. <http://fmk05308.wordpress.com/2008/11/16/povijest-komunikacije/> - Povijest komunikacije, 22.04.2012.
3. <http://gorannecin.rs> - Pećinski ljudi su gledali filmove, 22.04.2012.
4. [http://www.ezadar.hr/clanak/izrael-pronaden-najstariji-tekst-na-hebrejskom - Arheološko otkriće](http://www.ezadar.hr/clanak/izrael-pronaden-najstariji-tekst-na-hebrejskom-Arheolosko-otkricje), 23.04.2012.
5. <http://materijali.grf.unizg.hr/media/PRVE%20TISKANE%20KNJIGE-1.pdf> – Prve tiskane knjige, 29.04.2012.
6. <http://www.rightreading.com/printing/gutenberg.asia/gutenberg-asia-6-china-blockbook.htm> - Gutenberg and the Koreans, 04.05.2012.
7. <http://fmk05308.wordpress.com> - Komunikacija danas, 07.05.2012.
8. <http://www.poslovniforum.hr/tp/barcode.asp> - EAN barkod, 07.05.2012.
9. <http://www.barcodeisland.com/ean13.phtml> - EAN-13 background information, 10.05.2012.
10. <http://toni.podmanicki.com/blog/2d-kodovi/> - 2D kodovi – QR Code, Microsoft Tag, DataMatrix..., 11.05.2012.
11. <http://materijali.grf.unizg.hr/media/2D%20kodovi.pdf> – Povijest kodova, 13.05.2012.
12. <http://www.qrcodetalk.com/history-of-qr-code/> - History of QR Code, 13.05.2012.
13. http://www.belisce.hr/novine/novine_948.pdf - Povećanje interaktivnosti tiskanih medija, 23.06.2010.
14. https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:xFQmCrIRy9cJ:hrcak.srce.hr/file/105087+primjena+kodova+u&hl=hr&gl=hr&pid=bl&srcid=ADGEESjk7yX1_BzYIW0dteW137b8vpOGeeHIOyMv-8deraH1NLkG1OrY3AzXiHHQFpkkofhxaMZZHWoywv0feBkpPv4UUvwjYaUUvwjYa4VvJp3ozrx6ppc32iztWL1RrKv_Pb_xeR1b&sig=AHIEtbQBj45jDovz6ZQ3o6vF-xZbrCnACA – Primjena 2D kodova u marketinškoj praksi, 20.05.2012.

15. <http://www.adams1.com/stack.html> - Specifications For Popular 2D Codes, 24.06.2010.
16. <http://www.tec-it.com/en/support/knowledge/symbologies/barcode-overview/2d-barcodes/Default.aspx> - Barcode Symbologies, 20.05.2012.
17. <http://en.wikipedia.org/wiki/MaxiCode> - MaxiCode, 21.05.2012.
18. <http://www.mobile-barcodes.com/about-qr-codes/> - About QR Codes, 21.05.2012.
19. <http://www.qrcodesarecool.com/qr-codes-structure/> - A look at QR Code Structure, 21.05.2012.
20. http://en.wikipedia.org/wiki/QR_code - QR Code, 22.05.2012.
21. http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/pscico-guyb/realworld/www/reedsolomon/reed_solomon_codes.html - Reed Solomon Codes, 01.07.2010.
22. <http://jpgraph.net/download/manuals/chunkhtml/ch26.html> - Principle of DataMatrix barcodes, 01.06.2012.
23. http://www.gs1.org/docs/barcodes/GS1_DataMatrix_Introduction_and_technical_overview.pdf - GS1 DataMatrix, 03.06.2012.
24. <http://keremerkan.net/qr-code-and-2d-code-generator/> - QR Code and 2D Code Generator, 10.06.2012.
25. www.racoindustries.com – Raco Industries, 12.06.2012.
26. Maja Pavić, (2010). Čitljivost QR 2D kodova s obzirom na oštećenja koda, završni rad, Grafički fakultet u Zagrebu
27. www.qrcode.kaywa.com – QR Code, 03.07.2010.
28. <http://www.unitaglive.com/qrcode> - Unitag QR Code generator, 06.07.2012.
29. <http://zxing.org/w/decode.aspx> – Zxing Decoder Online, 13.07.2010.
30. <http://blackbirdpublishers.com/170/is-your-qr-code-easy-to-scan/> - Is your QR Code easy to scan, 16.07.2012.
31. <http://planb.tportal.hr teme/67272/QR-kodovi.html> – QR kodovi, 16.07.2012.
32. <http://www.profitiraj.hr/financije/osobne-financije/informacije-o-pbz-uslugama-od-sada-i-preko-qr-koda/> - Informacije o PBZ uslugama od sada i preko QR koda, 16.07.2012.

33. <http://interactiveblend.com/blog/interactive/qr-codes/> - QR Codes: The future of marketing, 17.07.2012.
34. <http://theinspirationroom.com/daily/2010/find-red-in-canada/> - M&Ms Find red in Canada, 18.07.2012.
35. <http://vancouveropera.blogspot.com/2010/10/behind-vos-qr-code.html> - Behind Vo`s QR Code, 20.07.2012.
36. <http://www.marketingcharts.com/print/2d-code-usage-in-print-ads-ballooned-in-2011-21283/> - 2D Code usage in print ads ballooned in 2011, 20.07.2012.
37. http://www.prometna-zona.com/postanski-tehnologija-002dvodimenzionalni_barkodovi.php - Dvodimenzionalni barkodovi, 23.07.2012.
38. <http://en.wikipedia.org/wiki/Thermochromism> - Thermochromism, 24.07.2012.
39. <http://materijali.grf.unizg.hr/media/Kromogene%20tiskarske%20boje.pdf> – Kromogene tiskarske boje, 25.07.2012.
40. <http://suite101.com/article/colourchanges-with-temperature-a16244> - Colour-changes with temperature, 26.07.2012.
41. <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/9/804/thermochromic-colors-in-textiles3.asp> - Thermochromic colors in textiles, 24.07.2012.
42. http://www.create.uwe.ac.uk/norway_paperlist/kulcar.pdf - Thermochromic inks – dynamic colour possibilities, 24.07.2012.
43. <http://www.chemistry-blog.com/2011/08/02/coors-light-cold-activated-bottles-how-does-it-work/> - Coors light cold activated bottles how does it work, 24.07.2012.
44. http://en.wikipedia.org/wiki/Crystal_violet_lactone - Crystal violet lactone, 25.07.2012.
45. <http://egotvonline.com/2010/12/29/fad-tastic-mood-rings/> - Fad tastic-mood rings, 26.07.2012.
46. <http://www.explainthatstuff.com/thermochromic-materials.html> - Thermochromic color-changing materials, 01.08.2012.
47. http://www.protectedpaper.com/category_s/17.htm - Security technologies, 01.08.2012.

48. <http://www.sciencephoto.com/media/3737/enlarge> - Thermo-chromic mug changing colour, 02.08.2012.
49. <http://www.drinkpromo.com/on-packaging.html> - Labels and packaging, 02.08.2012.
50. <http://www.ctiinks.com/> - Chromatic Technologies Inc., 03.08.2012.
51. http://www.t-pot.eu/docs/Unizg_12_Djurasevic.pdf - Thermo-chromic medical textiles, 24.07.2012.
52. <http://www.aic-color.org> – Journal of the International Colour Association, 03.06.2012.
53. <http://www.studij dizajna.com/tkosc/tisak.pdf> - Osnove tiska, 22.07.2012.
54. Helmut K. (2001). Handbook Of Print Media-Technologies and production methods, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany
55. <http://www.wiremesh-rs.com/products/Polyester-Printing-Mesh-350883.html> - Polyester Printing Mesh, 22.07.2012.
56. <http://www.calibratedsps.com/screenprint/screen-printing-supplies/shop-tools/screen-room-/18-x-20-wood-screen-printing-frame.html> - Wood screen printing frame, 24.07.2012.
57. <http://www.calibratedsps.com/screenprint/screen-printing-supplies/pre-press-supplies/frames/25-x-36-aluminum-screen-printing-frame.html> - Aluminium screen printing frame, 26.07.2012.
58. Olga K. (1985). Kemigrafija, Viša grafička škola, Zagreb
59. <http://scixchange.missouri.edu/blog-post/afm-an-introduction-part-iii/> - Science news from mizzou, 29.07.2012.
60. <http://www.mtixtl.com/desk-topplasma-sputtering-coater-for-metallic-coating-with-vacuum-pump-and-gold-target-15m-max-sampl.aspx> - Mini plasma sputtering coater with vacuum pump & gold target, 30.07.2012.
61. http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope - Scanning electron microscope, 25.07.2012.
62. <http://www.kiwo.com/Product%20pages/Diazo%20Photopolymer%20emulsions.html> – Kiwocol Poly-Plus Diazo-Photopolymer Emulsions, 01.08.2012.

63. <http://www.leica-microsystems.com/products/light-microscopes/education/life-science/details/product/leica-ez4-d/> - Educational Stereo Microscope with Integrated LED Illumination and Digital 3 MP Camera Leica EZ4D, 01.08.2012.