

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET U ZAGREBU

ZAVRŠNI RAD

Marko Ivanković

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET U ZAGREBU

Smjer: Tehničko-tehnološki smjer

ZAVRŠNI RAD

Primjeri primjene termokromnih boja na bazi tekućih
kristala

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Branka Lozo

Student:

Marko Ivanković

Zagreb, 2016.

SAŽETAK

Termokromne boje mijenjaju obojenje pod utjecajem promjene okolne temperature, u području aktivacijske temperature same boje. Po vrsti nositelja obojenja termokromne boje se dijele na leukoboje i na boje na bazi tekućih kristala. Za razliku od termokromnih boja na bazi leukobojila, čija promjena tona boje može biti reverzibilna ili ireverzibilna, promjena tona boje kod boja na bazi tekućih kristala je uvijek reverzibilna. To znači da po prestanku djelovanja uzroka ton boje se vraća u prvobitno stanje i postupak se može ponoviti. Kod termokromnih boja na bazi tekućih kristala u temperaturnim područjima izvan aktivacijske temperature nema promjene obojenja, tj. to stanje je neobojeno.

U završnom radu predložiti će se razni primjeri primjene termokromnih boja na bazi tekućih kristala uz praktične prikaze i objašnjenja.

Ključne riječi: termokromne tiskarske boje, reverzibilnost, tekući kristali

ABSTRACT

Thermochromic printing inks change their color under the influence of the surrounding temperature, temperature activation region of the ink in the activation temperature of the paint itself. There are two types of thermochromic printing inks; leuco-dye and liquid crystal based. Unlike leuco-dye based printing inks which can change color reversibly or irreversibly, the color change of liquid crystals is almost always reversible. This means that the color is returned to its original condition after heating/cooling and the procedure can be repeated. Outside the activation region liquid crystal printing ink is colorless.

This thesis will propose various application examples with liquid crystal printing inks..

Keywords: Thermochromic printing inks, Temperature activation region, liquid crystals

Sadržaj	
1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1 Pametni materijali	2
2.2 Kromogeni materijali i boje	3
2.3 Termokromni materijali	4
2.4 Termokromne boje	5
2.4.1 Termokromne boje na bazi leukobojila	7
2.4.2 Termokromne boje na bazi tekućih kristala	10
2.5 Primjeri primjene termokromnih boja na bazi tekućih kristala	12
3. ZAKLJUČAK	27
4. LITERATURA	28

1. UVOD

Termokromne tiskarske boje koje mijenjaju svoje obojenje pod utjecajem vanjskih podražaja sve se više primjenjuju u grafičkoj tehnologiji i dizajnu. Daju proizvodima specifične karakteristike što im omogućava široka područja primjene. Termokromne tiskarske boje dijele se na termokromne boje na bazi leukobojila i termokromne boje na bazi tekućih kristala. Za obje podjele izuzetno je važna temperatura aktivacije, u kojoj dolazi do promjene obojenja. Kod termokromnih boja na bazi tekućih kristala u temperaturnom području izvan aktivacijske temperature stanje je neobojano. Razlika termokromnih boja na bazi tekućih kristala u odnosu na termokromne boje na bazi leukobojila je igra boja gdje svaka boja prikazuje različitu temperaturu, a promjena je uzrokovana ljudskom ili okolnom toplinom.

Kod termokromnih boja na bazi leukobojila promjena može biti reverzibilna i ireverzibilna, dok je kod termokromnih boja na bazi tekućih kristala ta promjena samo reverzibilna. Termokromne boje prije same upotrebe potrebno je mikrokapsulirati. Primjena termokromnih boja u današnje vrijeme je kod „pametne ambalaže“ gdje se koriste kao indikatori svježine i temperature raznih proizvoda. Osim kod pametne ambalaže primjenjuju se u području sigurnosnog tiska, kao dekoracije i sl. Termokromne boje na bazi tekućih kristala najviše se primjenjuju kao temperaturni indikatori primjerice kod prostorija, hladnjaka, indikatora tjelesne temperature pa sve do indikatora sa posebnom namjenom kao što je određivanje radijacije.

Svrha ovoga rada je istražiti i navesti razne primjere primjene termokromnih boja na bazi tekućih kristala u grafičkoj industriji i primjenu u drugim područjima.

2. TEORIJSKI DIO

2.1 Pametni materijali

Pametni materijali ili „inteligentni“ sustavi reagiraju ovisno o svojoj okolini, na koristan i predvidljiv način. Oni proizvodu uz zaštitne i dekorativne uloge daju i funkcionalni aspekt. Promjene koje se dešavaju mogu biti fizikalne, mehaničke ili kemijske [1]. Pametni materijali otvaraju nove načine komuniciranja, povezivanja i automatizacije u našim životima. Danas se takvi materijali primjenjuju u različite svrhe, pa tako na primjer, fotokromni materijali koriste se u lećama naočala koje mijenjaju obojenje stakla što je količina svjetla veća. Termokromni materijali mogu se koristiti kao pametna ambalaža, to su indikatori svježine i temperature proizvoda koji nam pokazuju da su se poštivali uvjeti skladištenja materijala osjetljivih na toplinu. Koriste se još kao sigurnosni tisak na čekove, ulaznice, razne recepte i u komercijalne svrhe [2]. Ovi materijali rezultat su istraživanja na različitim područjima i otvaraju nove mogućnosti primjene. Pametni materijali vrlo sporo ulaze u naš svijet, a jedan od problema je što ćemo ih teško naći u malim količinama, te što postoji vrlo malo informacija dostupnih do sad o tome kako funkcioniraju i kako se koriste.

Takvi materijali proizvodima daju zaštitnu funkciju, dekorativnost, veću funkcionalnost te veliku tržišnu vrijednost. Materijali nisu komplicirani, imaju jednu ili više karakteristika koje se kontrolirano mijenjaju u odnosu na vanjske podražaje, kao što su: temperatura, vlaga, pH i sl. [1].

Neki od pametnih materijala:

- piezoelektrični materijali – proizvode napon kada dođe do određenog podražaja. Dolazi do prostorne raspodjele električnog naboja koji rezultira električnim signalom,
- materijali sa memorijom za oblik – su materijali u kojima velike deformacije mogu biti izazvane putem temperature [1],

- pH osjetljivi polimeri – materijali koji mijenjaju volumen kada se pH vrijednost okoline promijeni [1],
- halokromni materijali – materijali koji mijenjaju boju promjenom kiselosti. Koriste se boje koje mijenjaju obojenje kod označavanja korozije metala [1],
- magnetni materijali – materijali koji promjenu svoje forme očituju pod utjecajem promjene magnetskog polja [1],
- fotomehanički materijali – materijali koji se mijenjaju pod utjecajem svjetla [1].

2.2 Kromogeni materijali i boje

Kromizam je proces u kojem dolazi do reverzibilne ili ireverzibilne promjene boje nekog spoja, a zasniva se u većini slučajeva na promjeni elektronskog stanja u molekuli [1]. Kromogeni materijali su oni koji mijenjaju svoja svojstva ovisno o određenim vanjskim podražajima na koji su osjetljivi. Najpoznatiji su prirodni i sintetički dobiveni kromogeni materijali. Postoji niz vanjskih utjecaja zbog kojih boje mijenjaju obojenje, a ovise o samoj vrsti boje i dijele se na:

- termokromne boje – mijenjaju obojenje pod utjecajem temperature,
- fotokromne boje – mijenjaju obojenje pod utjecajem svjetla,
- elektrokromne boje – mijenjaju obojenje promjenom električnog polja,
- piezokromne boje – osjetljive na pritisak,
- biokromne boje – promjena obojenja pod utjecajem biokemijske promjene.

Od svih boja najčešću primjenu imaju termokromne boje i fotokromne boje.

Osim podjele kromogenih boja po načinu promjene obojenja postoji i podjela boja po trajanju same promjene, a one se dijele na reverzibilne i ireverzibilne. Dok reverzibilne boje mijenjaju ton boje uslijed trajanja uzroka promjene, ireverzibilne boje zadržavaju promijenjen ton boje i nakon prestanka djelovanja uzroka.

Takve boje koriste se danas na cijelom nizu različitih grafičkih proizvoda, od ambalaža, zaštitnih dokumenata do komercijalnog tiska i tekstila.

Uloga boje je često ključan faktor u odabiru nekog proizvoda, pa takve boje promjenom svog obojenja proizvodu daju novu i veću vrijednost.

Kromogeni materijali su vrlo učinkoviti, ne zahtijevaju nikakvu opremu za kontrolu i provjeru. [1].

Kod tzv. „pametne ambalaže“ koriste se za izradu vremensko-temperaturnih indikatora (TTI - time and temperature indicators) i indikatora svježine (FI - freshness indicators) [4]. Koriste se i kod RFID tehnologije (Radio Frequency Identification) za izradu složenih etiketa kao nositelja većeg broja podataka o proizvodu, njegovom skladištenju, transportu i roku trajanja.

2.3 Termokromni materijali

Termokromni materijali spadaju u skupinu kromogenih materijala i do danas imaju najrašireniju primjenu, a mijenjaju obojenje prilikom izlaganja određenim temperaturama. Prvi put pojavljuju se sredinom 20-tog stoljeća, bazirani na tekućim kristalima. Tada je tehnologija termokromnih materijala bila potpuno nepoznata, pa je primjena bila komplicirana [2]. Termokromni materijali postepeno su se počeli razvijati, pa tako nastaju termokromne tiskarske boje. Dolazi do velikog zanimanja za termokromizam te su ubrzo bile otkrivene i druge skupine molekula koje imaju sposobnost promjene obojenja, boje na bazi leukobojila.

Najveći komercijalni uspjeh termokromne boje doživjele su 1970-te s tzv. prstenom raspoloženja (mood ring). Baziran na termokromnim materijalima na bazi tekućih kristala i mijenjaju obojenje ovisno o temperaturi prsta [1]. Prsten radi na temelju raspoloženja, tamno plave je boje ako smo sretni, a mijenja se u crnu ako prevladava zabrinutost ili stres [5].

Termokromni materijali primjenjuju se u različitim granama industrije i funkcionalni dio su proizvoda. Svoju primjenu našli su u prehrambenoj industriji kao indikatori svježine i temperature proizvoda. Isto tako i na ambalaži od piva ili vina kako bi ukazali na idealnu temperaturu za konzumiranje.

Primjenjuju se i u mliječnoj industriji, na ambalaži za mlijeko kao dokaz da je proizvod prikladno skladišten. Ukoliko se nalaze na ambalaži mogu sadržavati i dodatne informacije o proizvodu. U području sigurnosnog tiska koriste se kako bi se pojedine informacije sakrile i jednostavno utvrdio identitet. U komercijalne svrhe mogu se koristiti kao dekorativne šalice, zidne tapete, promotivne letke, nakit i slično. Pojavile su se i u tekstilnoj industriji gdje se na tekstil prenose tehnikom sitotiska, s obzirom da se tekstil od termokromnih vlaknaca još nije pojavio na tržištu. Nalaze se i na baterijama kao testeri koji se sastoje od otisnute strukture slojeva od kojih se jedan sloj bazira na električnoj provodnoj boji, a drugi na termokromnoj boji [1].

Termokromizam se može pojaviti u različitim vrstama polimera, kao termoplast, duroplast, gel, tiskarske boje, bojila i svih tipovi premaza. Ako je u sam polimer ugrađen termokromni aditiv on će izazvati termokromni efekt [1].

2.4 Termokromne boje

Termokromne boje svrstavaju se u skupinu kromogenih boja koje mijenjaju obojenje pod utjecajem vanjskih podražaja. Kod termokromnih boja vanjski podražaj je temperatura, a njihova primjena u grafičkoj industriji je sve veća. Termokromne boje dijele se u dva osnovna tipa, a to su boje na bazi tekućih kristala i leukobojila. Boje se razlikuju po mogućnosti promjene obojenja unutar vidljivog spektra, jednostavnosti primjene i točnosti indikacije temperature [6].

Temperatura aktivacije je granična temperatura pri kojoj dolazi do promjene obojenja/obezbojenja i jedini je parametar koji je dobiven od proizvođača. Ta temperatura je viša od početne akromatske temperature i niža od konačne akromatske temperature. Termokromne tiskarske boje s višom aktivacijskom temperaturom daju stabilnije i intenzivnije boje [1].

Termokromne boje prije upotrebe u procesu tiska potrebno je zaštititi od vanjskih utjecaja prevlakom od 3-5 mikrona mikrokapsulacijom. Mikrokapsulacija je najraširenija i najuspješnija metoda stabilizacije i zaštite tekućih kristala i leukobojila. Mikrokapsula se sastoji od dvije faze. U prvoj fazi tekući kristal ili leukobojilo nalazi se unutar kapsule i nositelj je termokromnog efekta. Drugu fazu čini materijal topiv u vodi te okružuje prvu fazu tvoreći zaštitni sloj oko nje [23]. Procesom mikrokapsulacije dolazi do miješanja prve i druge faze pri velikim brzinama kako bi se stvorilo ulje u vodenoj emulziji. Mikrokapsule koje su inertne, netopive i do 10 puta veće od pigmenata konvencionalne tiskarske boje. Povećavaju trajnost same boje, a samim time i trajnost cijelog otiska [23].

Promjena obojenja može biti reverzibilna ili ireverzibilna. Reverzibilna promjena je višekratna i povratna, što znači da materijal pod utjecajem temperature mijenja svoje obojenje, a nakon prestanka djelovanja temperature, obojenje se u kratkom vremenu vraća u prvobitno stanje. Ireverzibilne boje u početku mogu imati obojenje ali i ne moraju. Kada se izlože djelovanju visokih temperatura mijenjaju obojenje ili prvobitna boja postane intenzivnija. Nakon prestanka djelovanja temperature nema povratka sustava u prvobitno stanje [6-7].

Danas postoji nekoliko vrsta termokromnih tiskarskih boja kao npr.: boje na bazi otapala, boje na bazi vode i UV boje, koje se svojom formulacijom razlikuju prema tehnici tiska za koju su namijenjene. Za sad sitotisk daje najbolje rezultate, zbog debljine nanosa koji treba biti što veći jer je pokrivenost termokromnih boja slaba i potrebni su deblji nanosi boje. Prednost sitotiska je i otiskivanje na bilo koji materijal i format pa je područje primjene vrlo široko [23]. Mogu se aplicirati na gotovo sve podloge (papir, tekstil, drvo, metal, staklo i slično) koristeći tehnike tiska kao što su fleksografski tisak, duboki tisak, ofsetni tisak i sitotisk. Dostupnost boja na tržištu i njihova mogućnost primjene na različite podloge omogućile su i razvoj na području dizajna [2]. Termokromne boje su skuplje od običnih konvencionalnih boja. Postoje mnogobrojne tvrtke koje sve više koriste termokromne boje i tim bojama otiskuju svoje proizvode kako bi na taj način privukli pozornost potrošača i kako bi se njihovi proizvodi razlikovali od onih koji koriste konvencionalne tiskarske boje sa samo jednom statičnom bojom.

2.4.1 Termokromne boje na bazi leukobojila

Termokromne boje na bazi leukobojila trenutno se češće primjenjuju od boja na bazi tekućih kristala, a veliki izbor boja i pigmenata pruža mogućnost raznovrsne upotrebe. Nazivaju se još i dinamičkim bojama, jer se mogu naći u dva optička stanja, obojenom i neobojenom.

Sastavljeni su od velikih organskih molekula, a struktura molekula definirana je od nekoliko šesterokutnih prstena ugljikovih atoma sa pomoćnim skupinama koje su vezane za njih. Prilikom spajanja njihove strukture mogu apsorbirati pojedine valne duljine [11]. Termokromni organski materijali sastoje se od bojila (koloranti), razvijaača i otapala, a kako bi dobili željeni efekt komponente moraju biti pomiješane u točno određenim omjerima. Promjena boje očituje se u dvije reakcije, između bojila i razvijaača, te otapala i razvijaača. Reakcija bojila i razvijaača odvija se pri nižim temperaturama gdje se otapalo nalazi u krutom stanju. Povećanjem temperature stanje otapala se mijenja iz krutog stanja u tekuće stanje što uzrokuje raspad kompleksa bojila i razvijaača, otapalo i razvijaač prevladavaju i cijeli sustav prelazi u bezbojno stanje. Kada se cijeli sustav ohladi otapalo prelazi u kruto stanje, a razvijaač i bojilo ponovno se spoje te se boja ponovno vraća u prvobitno stanje. Reakcija između otapala i razvijaača je mnogo važnija za postizanje termokromnog efekta [1].

Cijeli proces promjene ovisi o temperaturi aktivacije. Na toj temperaturi otapalo prelazi iz krutog stanja u tekuće stanje i dolazi do promjene obojenja [1]. Temperature aktivacije se razlikuju od -15°C do 65°C , većina ih je ograničena na tri standardna temperaturna područja na hladno ($\sim 10^{\circ}\text{C}$), na temperaturu ljudskog tijela ($\sim 31^{\circ}\text{C}$) i na vruće ($\sim 43^{\circ}\text{C}$).

Leukobojila osim promijene obojenog stanja u bezbojno stanje, mogu promijeniti stanje iz jedne boje u drugu, promjenom temperature pojavljuju se dva tona boje, npr. ako su pomiješane boje plava i žuta to znači da na nižim temperaturama dolazi do zelene boje, a pri višim temperaturama dolazi do pojave žute boje. Preporuča se otiskivanje termokromnih boja na bazi leukobojila na što svjetliju tiskovnu podlogu, najbolje bijelu.

Danas se navedene boje koriste u raznim aplikacijama, materijalima i proizvodima, najčešći primjeri su sigurnosni tisak, baterije, razni testeri i slično. Trajnost leukobojila smanjuje se u slučaju da je boja u kontaktu sa nekim otapalima ili izložena vrlo visokim temperaturama [10].

Leukobojila mogu biti uključena u mnogo širem rasponu proizvoda.

Pojavile su se u Turskoj na prometnim znakovima na autocestama. Snježne pahulje na znakovima mijenjaju boju u plavo ispod temperature od 2°C, a potpuno plave ispod -1°C kako bi upozorile vozače na skliske uvjete na cestama. Primjena im nije baš velika, zamijenile su ih sitne lampice koje se koriste u Velikoj Britaniji, one su djelotvornije i bolje privlače pažnju u prometu. Postoje mnogi pokušaji za primjenu termokromnih boja u prometu [2].



Slika 1. Primjena leukobojila u prometu [2]

Jedna od najpoznatijih primjena termokromnih boja na leukobojila je na limenkama Coors Light piva. Na limenkama se nalazi planinski krajolik uz logotip tvrtke. Na sobnoj temperaturi planina je obojana u bijelo, a kada se limenka ohladi na optimalnu temperaturu za piće (7 stupnjeva Celzijusa) planina se oboji u živu, plavu boju. Ukoliko se pivo zagrije u ruci, obojenje planine se vraća u prvobitno stanje, a postupak promjene može se nekoliko puta ponoviti [8].



Slika 2. Primjena leukobojila na limenkama [8]

Naš najpoznatiji pivski brand Ožujsko prošle je godine na svoju ambalažu postavio etiketu izrađenu pomoću termokromnih boja na bazi leukobojila, koja pokazuje kada je idealna za konzumiranje. Termokromna etiketa reagira na temperaturu, tijekom hlađenja postupno mijenja obojenje iz bijele u plavu, gdje je na sobnoj temperaturi etiketa bijela, a na temperaturi od 7 stupnjeva Celzijusa ta etiketa mijenja obojenje u plavu kako bi signalizirao potrošaču da je pivo idealno ohlađeno. Etiketa je već puštena u komercijalnu primjenu [15].



Slika 3. Ožujsko termokromna etiketa [15]

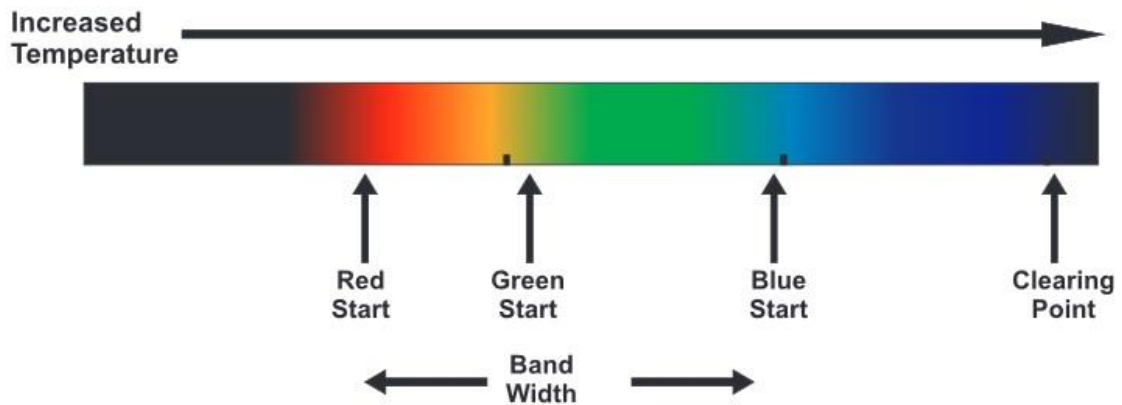
2.4.2 Termokromne boje na bazi tekućih kristala

Termokromne boje na bazi tekućih kristala mogu biti otisnute na raznim materijalima poput plastike, poliestera, PVC-a te papira i kartona. Za bolji vizualni efekt termokromne boje na bazi tekućih kristala preporuča se promatranje nasuprot crnoj pozadini.

Tekući kristali su zapravo ono što im ime govori, materijal koji u određenom trenutku ima svojstvo tekućine, a u određenom trenutku struktura materijala je kristalna, kruta. Pogledamo li kroz mikroskop tekući kristal možemo vidjeti fluid koji pokazuje teksture. Tekući kristali ovise o uvjetima okoline. Pošto su kristali krutine njihove molekule se ne mogu gibati. Tekući kristali pokazuju isti geometrijski red, ali pošto su tekući njihove molekule se mogu gibati, međusobno izvijati. Pri nižim temperaturama tekući kristali su u kristalnom obliku, kruti, a pri niskim temperaturama ne reflektiraju svjetlo i pojavljuju se u crnoj boji. Postepenim zagrijavanjem dolazi do promjene boje iz crne kroz gotovo cijeli spektar boja. Kada temperatura raste dolazi do narušavanja geometrijskog reda. Prostor između molekula kristala se mijenja tako da mogu reflektirati svjetlo drugačije, a posljedica toga je promjena valne duljine reflektiranog svjetla i kristali mijenjaju obojenje. Hlađenjem se molekule vraćaju na svoje prvobitne položaje, pa se i samo obojenje vraća u početnu boju [1,2].

Promjena kontinuiranog spektra boja ovisi o određenom rasponu temperature i valne duljine, kako je prikazano na slici 6. Temperaturni raspon u kojem termokromni tekući kristali aktivno reflektiraju vidljivi dio spektra naziva se širina pojasa (*bandwidth*) ili raspon igre boja (*colour play interval*). Termokromni tekući kristali porastom temperature prolaze kroz svoju širinu pojasa reflektirajući vidljivo svjetlo od dužih valnih duljina (crvena) pa sve do kraćih valnih duljina (plava) sve dok ne dosegnu do njihove temperaturne točke prekida. Temperaturna točka prekida (*clearing point*) odgovara temperaturi na kojoj termokromni boje na bazi tekućih kristala prestaju reflektirati boje u vidljivom dijelu spektra. Širina pojasa definirana je kao temperaturni raspon između početne crvene boje i temperature plave točke (temperaturne točke prekida) [2]. S obzirom na širinu pojasa postoje dva tipa termokromnih boja na bazi tekućih

kristala, a to su uskopojasni tip i širokopojasni tip. Uskopojasni termokromni tekući kristali imaju širinu pojasa u kojem aktivno reflektiraju vidljivo svjetlo od 0.5°C do 4°C . Primjenu su našli u medicinskim i industrijskim granama. Kod širokopojasnog tipa termokromnih boja na bazi tekućih kristala taj raspon je od 5°C do 30°C .

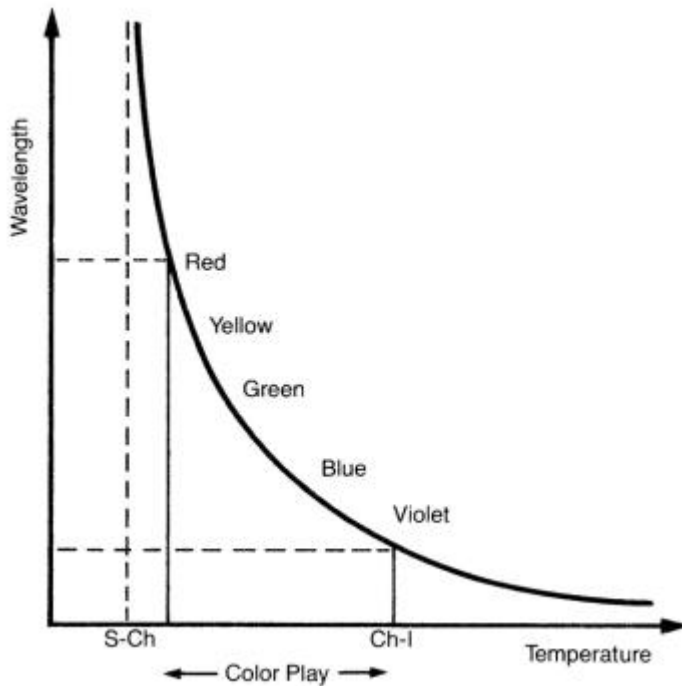


Slika 4. Širina pojasa i raspon boja [25]

Slika 5. prikazuje crnu gitaru otisnutu termokromnom bojom na bazi tekućih kristala koja se aktivira prilikom prislanjanja ruke na nju. Svaka boja predstavlja različitu temperaturu, a rezultat toga je igra boja te se postupak može iznova ponavljati [17].



Slika 5. Primjena termokromnih boja na bazi tekućih kristala [17]



Slika 6. Odnos valne duljine i temperature kod termokromnih boja na bazi tekućih kristala [3]

2.5 Primjeri primjene termokromnih boja na bazi tekućih kristala

Materijali su vrlo osjetljivi te imaju veliki broj potencijalnih aplikacija, no većina je još uvijek povezana sa promjenom temperature, odnosno temperaturno su osjetljivi i to je najvažnije svojstvo materijala. Brojni zahtjevi za materijale navode se u raznim literaturama godinama, no nisu svi bili uspješno komercijalizirani [3]. Trenutni primjeri primjene termokromnih boja na bazi tekućih kristala su sljedeći:

- temperaturni indikatori za sobe, hladnjake, kupaonice, akvarije
- temperaturni indikator upozorenja,
- testeri za baterije i druge napone,
- termometri za čelo,
- testovi za drogu, temperaturne naljepnice za uzorak urina,

- detektori za otkrivanje raka, dijagnoza bolesti krvožilnog sustava,
- kiropraktičke aplikacije,
- oglašavanje i promocije,
- dekoracije, nakit, tkanine,
- kemijski i plinski indikatori. [3]

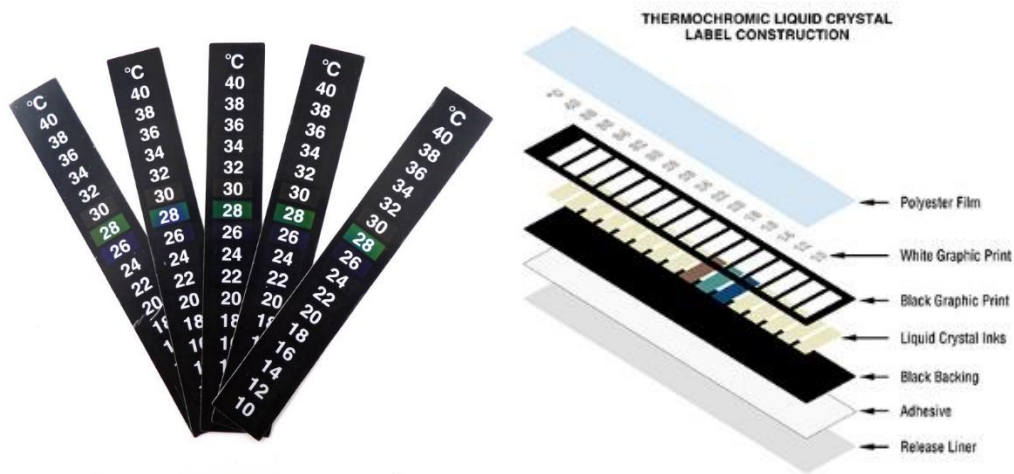
Termokromne boje na bazi tekućih kristala zbog svojih jedinstvenih svojstava koriste se samo ako se mogu lako kontrolirati i ako su materijali napravljeni tako da se mogu predvidljivo ponašati za određeno vremensko razdoblje. Sama konzistencija tekućih kristala na radnim temperaturama varira između ulja i viskozne paste.

Koriste se kao temperaturni indikatori na mnogim aplikacijama. Većina takvih aplikacija sadrži tanki film od tekućih kristala između transparentnog polimera i crno apsorbirane podloge. Koristi se metoda ispisa termokromnih boja na bazi tekućih kristala na podlogu, a nakon toga se nanosi crna boja na površinu već suhe termokromne boje, a promjena se promatra sa donje strane podloge.

Termokromne boje na bazi tekućih kristala kao i premazi mogu biti otisnuti na različite površine, samo je poželjno da su one crne boje. Podloge mogu biti otisnute i crnom bojom prije samog premaza termokromne boje na bazi tekućih kristala. Ako se termokromne boje na bazi tekućih kristala koriste na prednjem licu potreban je dodatni lak koji djeluje kao zaštitni sloj, a koji pokazuje otpornost od UV zračenja te daje dodatnu otpornost na abraziju. Najnovija tehnička dostignuća u nekoliko različitih područja rezultirali su značajnim poboljšanjem u kvaliteti i dugovječnosti termokromnih boja na bazi tekućih kristala [3].

Temperaturni indikatori (Slika 7) otisnuti termokromnim bojama na bazi tekućih kristala ne moraju nužno biti u obliku trake, mogu se pojaviti i u drugim raznim oblicima i veličinama. Temperaturni indikatori pokazuju promjenu temperature

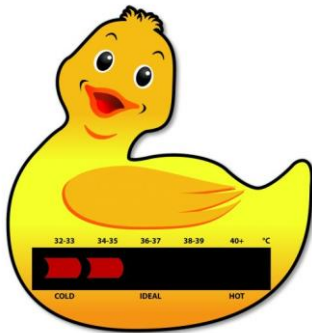
uz pomoć boje, a mogu se koristiti za praćenje promjene temperaturnog toka. Jeftini su, sigurni i jednostavni za korištenje.



Slika 7. Primjeri temperaturnih indikatora primjenom termokromnih boja na bazi tekućih kristala [25]

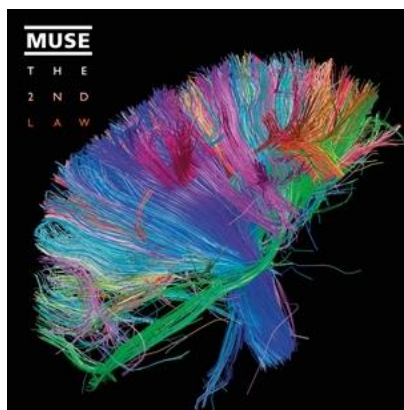
Tolerancija iznosi $\pm 1^{\circ}\text{C}$ od prikazane temperature, uz izuzetak kod medicinskih proizvoda (termometara za čelo i testova na droge) koji imaju toleranciju od $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ od pokazanih temperatura.

Temperaturni indikatori za hladnjak napravljeni su od termokromnih boja na bazi tekućih kristala. Prati temperaturu hladnjaka od -2°C do 12°C , sa jasno označenim bojama. Zelena boja predstavlja stvarnu i realnu temperaturu hladnjaka. Uz zelenu pojavljuju se plava boja koja se nalazi ispod stvarne i smeđa boja koja se nalazi iznad stvarne temperature. Ako se pojavljuju dvije boje plava i smeđa, stvarna temperatura je onda temperatura između te dvije boje. Točnost je $\pm 1^{\circ}\text{C}$ [24].



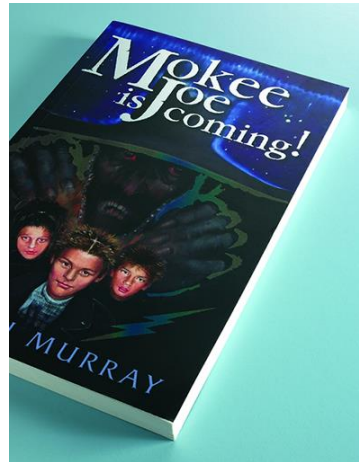
Slika 8. Primjena termokromnih boja na bazi tekućih kristala u dječjim kupaonicama (lijevo), primjena kao indikatori za hladnjak (desno) [24]

Engleska rock grupa Muse željeli su temperaturno osjetljivu ambalažu za svoj album pod nazivom „The 2nd Law“. Prije toga ovakvi efekti termokromnih boja na bazi tekućih kristala koristili su se više za umjetnička djela. Kutijica se sastoji od otisnute termokromne boje na bazi tekućih kristala i zaštitne folije preko nje, kako bi dodatno zaštitila ambalažu. Rezultat toga je revolucionarna ambalaža izvedena od termokromne boje na bazi tekućih kristala, namijenjena za glazbene albume [18].



Slika 9. Primjena termokromne boje na bazi tekućih kristala na ambalaži [18]

Slika 10. Prikazuje korice knjige „Mokee Joe is coming!“ autora P. Murray-a otisnute su termokromnom bojom na bazi tekućih kristala. Motiv na koricama dodirrom ljudske ruke mijenja obojenje i pojavljuje se igra boja gdje svaka boja predstavlja različitu temperaturu. Postupak se može iznova ponoviti.



Slika 10. Termokromne boje na bazi tekućih kristala mogu se koristiti i za izradu korica nekih knjiga [19].

Tester za baterije koristi termokromne boje na bazi tekućih kristala. Takvi testeri izrađeni su od sloja termokromne boje na bazi tekućih kristala i sloja vodljive boje. Prolaskom struje kroz tanki sloj provodljive boje stvara se otpor i nastaje toplina. Mala količina struje može izazvati otpor na najmanjoj površini termokromne boje, no što se područje površine širi potrebno je sve više struje za promjenu boje. Nakon vodljive boje na nju dolazi sloj obične boje koja zapravo predstavlja dizajn koji ukazuje da je baterija dobra. Dizajn može biti bilo što, u većini slučajeva to su slike, no može biti i tekst. Obične boje ne utječu na interakciju između vodljive boje i termokromne boje na bazi tekućih kristala. Na kraju samog testera dolazi zadnji sloj, termokromni sloj. Na testeru za baterije, termokromni sloj je crn kada se ohladi. Dodirrom baterije na vodljivoj boji na stražnjem djelu baterije stvara se veza između pozitivnog i negativnog sloja. Kada je struja generirana jasno će se pokazati termokromna boja, pokazujući dizajn izveden običnom bojom

Danas na raspolaganju postoje testeri koji se nalaze na baterijama, a pokazuju nam dugotrajnost baterije pritiskom na dvije male točkice koje se nalaze na samoj bateriji. Time smo zatvorili krug između baterije i testera, a struja teče kroz provodljive niti i stvara toplinu, a samim time i promjenu boje testera [17].



Slika 11. Testeri za baterije primjenom termokromnih boja na bazi tekućih kristala [17]

Termokromna etiketa na bazi tekućih kristala može se upotrijebiti za određivanje količine plina u spremnicima. Etiketa sa termokromnim svojstvima može približno odrediti temperaturnu razliku između dva područja, pa služi za određivanje razine butana ili propana u spremnicima, količinu pjene u vatrogasnim aparatima i sličnim proizvodima. Trake su samoljepljive, a sačinjene su od sloja poliestera i zaštitnog filma. Trake su širine 450 mm x 20 mm i režu se na veličinu samog spremnika. Revezibilnog su svojstva, pa se mogu koristiti više puta, ali nisu podložne velikim temperaturama. Kako bi utvrdili razinu plina u spremnicima ili razinu pjene u aparatima postavljamo trake vertikalno na površinu spremnika, te dovedemo toplinu na trakicu korištenjem sušila za kosu ili tople vode sve dok traka ne promjeni potpuno boju od početne crne pa sve do čiste crvene. Razina plina ili pjene se očituje na mjestu gdje je promjena boje iz početne crne u krajnju crvenu [19].



Slika 12. Primjena termokromnih boja na bazi tekućih kristala na vatrogasnim aparatima [19]

Termokromne boje na bazi tekućih kristala svoju su primjenu našli i kao indikatori koji pokazuju idealnu temperaturu vina. Dokazano je da vino uvijek ima bolji okus kad se poslužuje na idealnoj temperaturi. Termokromni indikator se nalazi oko boce vina na dijelu koji je čist, suh i udaljen od etikete. Kada je vino dovoljno ohlađeno na indikatoru pokazat će se trenutna temperatura. Ako se trenutna temperatura podudara sa temperaturom za određenu vrstu vina, vino je spremno za korištenje. Temperaturni indikator je jednostavan i siguran, brzo i jednostavno pokazuje temperaturu, mogućnost korištenja više puta. Potrebno je indikator čuvati na suhom i mračnom mjestu, izbjegavati UV zračenja te visoke temperature (ispod -5°C i iznad 40°C) [24].



Slika 13. Primjena termokromnog indikatora na bazi tekućih kristala na vinu [24]

Dizajneri Erin Haxne i Nuno Ferreira dizajnirali su „Please Touch“ jastuk primjenom termokromnih boja na bazi tekućih kristala koji je osjetljiv na toplinu i mijenja obojenja kada dođe u kontakt s ljudskim tijelom. Kada bi se jastuk dodirnuo, zagrlio ili kad bi se naslonili na njega otisak u novoj boji pojavio bi se na toj površini koja je bila u kontaktu ljudskim tijelom. Otisak se neće dugo zadržati, nestaje nakon nekoliko sekundi i može se ponovno koristiti [20].



Slika 14. Primjeri primjene termokromnih boja na bazi tekućih kristala na tekstilu [20]

Termokromne boje na bazi tekućih kristala svoju primjenu našli su i u drvenoj industriji. Dizajneri su ih koristili za izradu namještaja (stolovi, klupe, naslonjači i sl.). Stol u kompletu sa klupom izrađeni su od drveta, a prebojani su slojem termokromne boje na bazi tekućih kristala. Aktiviraju se toplinom ljudskog tijela te na mjestima gdje je bilo kontakta dolazi do promjene obojenja. Materijal je osjetljiv na temperaturu iznad 35°C, a nakon nekog vremena boja se vraća u početnu crnu boju [21].



Slika 15. Primjeri namještaja prebojanog termokromnim bojama na bazi tekućih kristala [21]

Ležaj i stolac otisnuti su termokromnom bojom na bazi tekućih kristala, ispod koje se nalazi antikni motiv. Motiv postaje vidljiv tek kada dođe u doticaj sa toplinom ljudskog tijela. Nakon korištenja namještaja ostaje uzorak koji će nestati nakon promjene temperature.

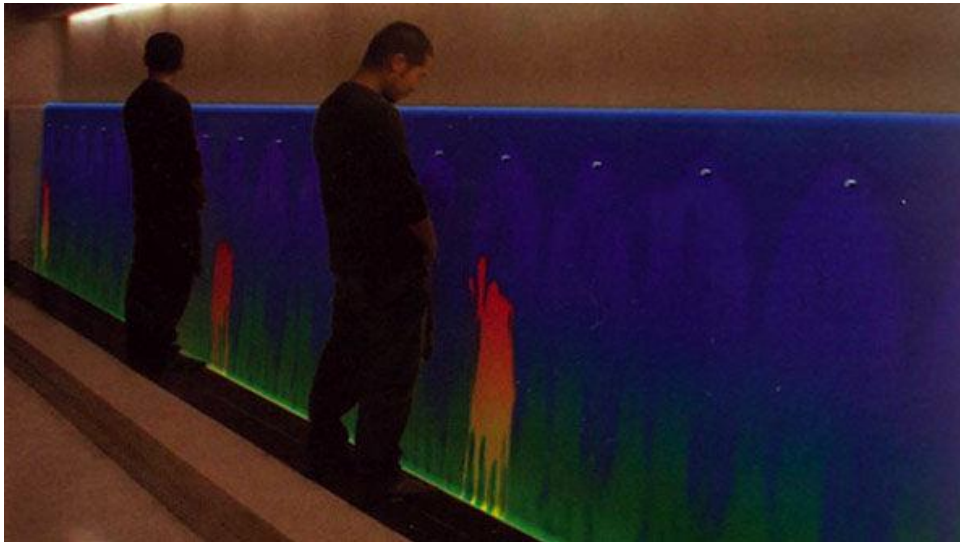


Slika 16. Stolac i ležaj otisnuti sa termokromnim bojama na bazi tekućih kristala [22]



Slika 17. Namještaj sa termokromnim bojama na bazi tekućih kristala

Nešto malo drugačiji primjer predstavlja termokromni pisoar izrađen od materijala koji mijenja obojenje ovisno o temperaturi koja dolazi u doticaj sa njim, a njegov dizajn pomoći će muškarcima da se koncentriraju na jednom mjestu i izbjegavanje stvaranja nereda u prostorijama wc-a [22].



Slika 18. Posebno dizajniran pisoar sa termokromnim bojama na bazi tekućih kristala [22]

U upotrebi u razni satovi, narukvice, prstenje, maske za mobilne uređaje, podmetači za kompjuterski miš izrađeni od termokromnih boja na bazi tekućih kristala. Kao i svi ostali primjeri, mijenjaju obojenje promjenom topline ljudske ruke [22].



Slika 19. Maske za mobilne uređaje izrađene pomoću termokromnih boja na azi tekućih kristala [22]



Slika 20. Diesel narukvica izrađena od termokromnih boja na bazi tekućih kristala [22]



Slika 21. Primjena termokromnih boja na bazi tekućih kristala na podmetaču za miša [24]

Termokromne boje na bazi tekućih kristala mogu se primijeniti i kao razne dekoracije u kućanstvu, arhitekturi i sl. Keramička skulptura hobotnice (Slika 22) je potpuno crna na sobnoj temperaturi. Povećanjem temperature dolazi do promjene obojenja uzrokujući igru boja. Služi za dekoraciju kućanstva.



Slika 22. Skulptura hobotnice izrađene od termokromne boje na bazi tekućih kristala [18]

Klupa (Slika 23) izrađena od termokromnog materijala na bazi tekućih kristala. Prilikom dolaska u kontakt sa toplinom ljudskog tijela ostaje uzorak koji nakon nekog vremena nestane.



Slika 23. Termokromne boje na bazi tekućih kristala u umjetnosti [18]

Primjena termokromnih boja u kućanstvu predstavlja nam Slika 24. na kojoj je stolna lampa. Radi na principu kao i prethodni primjeri. Dok je predmet ugašen crne je boje. Zagrijavanjem predmeta pojavljuje se promjena obojenja gdje svaka boja predstavlja drugačiju temperaturu (igra boja).



Slika 24. Primjena termokromne boje na bazi tekućih kristala na stolnoj lampi [18]

Inspirirani čudesnom Aurorom Borealis, dizajneri su izradili tuš kabinu od termokromnih pločica na bazi tekućih kristala, dimenzija 4 x 4 cm koje su na sobnoj temperaturi crne boje. Prilikom dolaska u kontakt sa toplom vodom dolazi do promjene obojenja kroz cijeli spektar boja.



Slika 25. Primjeri primjene termokromnih boja na bazi tekućih kristala [18]

Termokromne boje na bazi tekućih kristala svoju primjenu našli su na nešto drugačijim primjerima od prethodnih i to na obući. Samo neki od primjera su papuče sa uzorkom cvijeta i tenisice poznate marke Vans. Papuče imaju motiv cvijeta koji mijenja obojenje kada dođe u dodir sa ljudskom nogom. Promjena se odvija sve do prestanka nošenja, tada se motiv vraća u prvobitnu, crnu boju. Kod tenisica je malo drugačiji princip. Tenisice mijenjaju obojenje zbog vanjskog utjecaja topline, a i same topline stopala. Na sobnoj temperaturi tenisice su crne boje, a tokom nošenja pojavljuje se igra boja gdje svaka boja označava drugu temperaturu.



Slika 26. Primjena termokromnih boja na bazi tekućih kristala na obući [18]

Drveni gušter izrađen je od drveta obojan termokromnom bojom na bazi tekućih kristala. Ljudskim dodiranjem događa se promjena obojenja kroz cijeli spektar boja. Nestankom topline boja predmeta vraća se u početnu crnu boju, postupak se može ponoviti nekoliko puta.



Slika 27. Primjena termokromnih boja na bazi tekućih kristala na drvenom predmetu [18]

Slika poznatog pjevača Boba Marley-a naslikana je termokromnim bojama na bazi tekućih kristala. Povećanjem temperature podloge dolazi do promjene pojedinih dijelova na slici. Gubitkom topline motiv se vraća u početnu boju, a postupak se može ponoviti više puta.



Slika 25. Primjena termokromnih boja na bazi tekućih kristala na platnu [18]

3. ZAKLJUČAK

Na osnovi istraživanja koja su provedena može se zaključiti da termokromne boje na bazi tekućih kristala za sad imaju relativno malu primjenu u grafičkoj tehnologiji u odnosu na druga područja. U grafičkoj tehnologiji, kao što su primjeri primjene na koricama glazbenog albuma i korice knjige pokazali koriste se kao jedinstvena dizajnerska rješenja. Van grafičke tehnologije primjena im je raznovrsnija i veća. Od dekorativnih predmeta u kućanstvu, slikarstva, obuće, sve do primjene u arhitekturi. Najveću primjenu imaju kao temperaturni indikatori za različite namjene. Termokromne boje na bazi tekućih kristala sve se više upotrebljavaju na raznim proizvodima kod kojih mora biti zabilježena i najmanja temperaturna promjena te se ta tehnologija razvija i napreduje iz dana u dan. Očekuje se njihova šira primjena na gotovo svim proizvodima gdje su potrebna precizna temperaturna očitavanja.

4. LITERATURA

- [1] Kulčar R., (2010). Kolorimetrijska analiza i parametri stabilnosti UV-termokromnih boja, doktorska disertacija, Grafički fakultet
- [2] Tomašegović D., (2015). Spektrofotometrijsko određivanje kolorimetrijskih karakteristika termokromnih boja na bazi leukoboja
- [3]***
http://www.hallcrest.com/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?Command=Core_Download&EntryId=280&language=en-US&PortalId=0&TabId=163 Handbook of Thermochromic liquid crystal technology, LCR Hallcrest, 2014
- [4]*** <http://materijali.grf.unizg.hr/media/Kromogene%20tiskarske%20boje.pdf>
Predavanje iz kolegija primjena i ispitivanje grafičkih materijala, Grafički fakultet
- [5]*** <http://entertainment.howstuffworks.com/question443.html> 17.05.2016
- [6]*** <http://materijali.grf.unizg.hr/media/Termokromne%20boje%20pp.pdf>
Predavanja iz kolegija Primjena i ispitivanje grafičkih materijala, 2011/2012, Grafički fakultet
- [7]*** <http://materijali.grf.unizg.hr/media/PGM%20vjezba%203%20Termokromne%20tiskarske%20boje.pdf> Vježbe kolegija Primjena i ispitivanje grafičkih materijala, 2014/2015 Grafički fakultet
- [8]*** <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/othergadgets/thermochromic-ink.htm> 20.05.2016.
- [9] Kulčar R., Klanjšeg M., Knešaurek N., (2012). Dynamic Colour Possibilities and Functional Properties of Thermochromic Printing Inks
- [10]*** <http://www.dyes-pigments.com/leuco-dyes.html> 20.05.2016
- [11] Čuljak A. (2014). Utjecaj boje podloge na efekt termokromnih boja na bazi tekućih kristala, završni rad, Grafički fakultet
- [12]*** <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/othergadgets/thermochromic-ink1.html> 10.06.2016.

- [13]*** <http://www.yankodesign.com/2009/02/05/not-too-hot-not-too-cold-just-right/> 05.08.2016
- [14]*** <https://www.pastemagazine.com/articles/2014/08/the-coolest-heat-sensitive-coffee-mugs.html> 05.08.2016.
- [15]*** <http://www.get4u.hr/hr/novosti/savrseno-ohladeno-ljeto-uz-novu-zujinu-termoetiketu> 10.08.2016.
- [16]*** <http://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/question423.html> 10.08.2016.
- [17]*** <http://www.movingcolor.net/> 15.08.2016.
- [18]*** <http://modo.co.uk/projects/muse> 15.08.2016.
- [19]*** <http://lcrhallcrest.com/thermosmart/downloads/pdf/Thermosmart%20Liquid%20Level%20Indicator%20Strip%20Leaflet.pdf> 20.08.2016.
- [20] <http://www.trendhunter.com/trends/interactive-pillows-please-touch-pillow-by-erin-hayne-nuno-goncalves-ferrei> 20.08.2016.
- [21]*** <http://www.feeldesain.com/thermochromic-furniture.html> 25.08.2016.
- [22] Žirovčić T. Primjeri upotrebe termokromnih boja, završni rad, Grafički fakultet
- [23] Vuksanović A. (2016) Razvoj termokromnih boja sa specifičnim optičkim efektom, diplomski rad, Grafički fakultet
- [24]*** <http://www.colourchanging.com.au/> 27.08.2016.
- [25]*** <http://www.hallcrest.com/color-change-basics/faq> 27.08.2016.

