

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET**

ZAVRŠNI RAD

Bernard Strčić



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD

UTJECAJ TEMPERATURE NA ČITLJIVOST QR KODOVA OTISNUTIH TERMOKROMNIM BOJAMA

Mentor:
doc. dr. sc. Maja Stržić Jakovljević

Student:
Bernard Strčić

Zagreb, 2023.

SAŽETAK

Pametne oznake (*engl.* Smart Tags) su funkcionalni elementi koji prenose informacije i kombiniraju 2D barkodove sa senzorima okoline. Mogu se primijeniti na proizvode, poput paketa, na ekonomičan način bez značajnog povećanja cijene proizvoda. Jedna važna značajka pametnih oznaka je da se mogu aplicirati na proizvode na brzim pokretnim trakama, što ih čini prikladnima za korištenje s robom široke potrošnje. Ove su oznake osjetljive na uvjete okoline i mogu biti jedinstvene, što im omogućuje pružanje usluga s obzirom na dati kontekst. U kontekstu mobilnih uređaja, Smart Tag je mali bežični uređaj koji se može priključiti na fizičke objekte i pokrenuti radnje ili pružiti informacije kada je u blizini pametnog telefona ili drugog uređaja. Pametne oznake imaju različite primjene, uključujući upravljanje zalihama, praćenje lokacije i sigurnost.

Tehnologije koje omogućuju ove pametne oznake mogu koristiti 2D bar kodove, funkcionalne boje kao što su termokromne i fotokromne boje te tiskane vizualne indikatore. Za potrebe ovog rada 2D kodovi otisnuti su termokromnim bojama s različitim temperaturama aktivacije (T_A), u tehnici sitotiska. Otisnuti 2D kodovi aktivirani su u definiranom temperaturnom rasponu oko T_A te očitani skeniranjem mobilnog telefona. Kolorimetrijska svojstva termokromnih boja također će se mjeriti unutar ovog temperaturnog raspona. Cilj ovog rada je odrediti temperaturni raspon u kojem određena termokromna boja daje čitljive 2D kodove.

Ključne riječi: termokromne boje, QR kodovi, boje na bazi leuko bojila, aktivacijska temperatura, Smart Tags

ABSTRACT

Smart Tags are functional elements that transmit information and combine 2D barcodes with environmental sensors. They can be applied to products, such as packages, in an economical way without significantly increasing the price of the product. One important feature of Smart Tags is that they can be applied to products on high-speed conveyor belts, making them suitable for use with various consumer goods. These tags are sensitive to environmental conditions and can be unique, allowing them to provide services with respect to a given context. In the context of mobile devices, a Smart Tag is a small wireless device that can be attached to physical objects and trigger actions or provide information when it is in the vicinity of a smartphone or other device. Smart Tags have a variety of applications, including inventory management, location tracking, and security.

The technologies that enable these smart labels include 2D barcodes, functional inks such as thermochromic and photochromic inks, and printed visual indicators. This paper deals with the printing of 2D codes using thermochromic inks with different activation temperatures (T_A) by screen printing technique. The printed 2D codes will be exposed to a defined temperature range around T_A and read by scanning with a mobile phone. The colorimetric properties of thermochromic inks will also be measured within this temperature range. The aim of this paper is to determine the temperature range in which a certain thermochromic ink results in readable 2D codes.

Keywords: thermochromic inks, QR codes, leuco dyes, activation temperature, Smart Tags

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. KROMOGONE TISKARSKE BOJE	2
2.1. Vrste kromogenih boja	3
2.2. Termokromne boje	4
2.2.1. Boje na bazi tekućih kristala.....	6
2.2.2. Boje na bazi leuko bojila.....	9
2.3. Primjeri primjene termokromnih boja.....	10
2.3.1. Vlastiti prijedlozi primjene termokromnih boja.....	13
2.4. Optička svojstva tiskovnih podloga	14
3. QR kodovi	15
3.1. Povijest i primjena QR kodova	15
3.2. Podjela QR kodova s obzirom na korekcije grešaka.....	17
4. Eksperimentalni dio	18
4.1. Materijali i metode	18
4.1.1. Termokromne boje	18
4.1.2. Papiri za otiskivanje.....	20
4.1.3. Izrada tiskovne forme.....	21
4.1.4. Sitotisk i otiskivanje QR motiva	25
4.2. Zagrijavanje i očitavanje	27
4.2.1. Zagrijavanje uzoraka otisnutih termokromnom bojom.....	27
4.2.2. Aplikacije i njihovo sučelje za očitavanje 2D kodova.....	28
4.2.2.1. Prvi skener (QR & Barcode Scanner).....	29
4.2.2.2. Drugi skener (QR skener)	30
4.2.2.3. Treći skener (QR Barcode Scanner)	32
4.3. REZULTATI I RASPRAVA	33
4.3.1. Kodovi otisnuti s TC 15.....	33
4.3.2. Kodovi otisnuti s TC 31.....	35
4.3.3. Kodovi otisnuti s TC 47.....	36
4.4. Refleksijski spektri.....	37
5. ZAKLJUČAK.....	44
6. LITERATURA	45

1. UVOD

Razvojem tehnologije dobili smo mogućnost pristupa velikom broju informacija, bez obzira na vremensko i prostorno ograničenje. Odabrao sam primjenu termokromnih boja u QR kodu kao moguće rješenje problema i temu završnog rada.

Rad se sastoji od 3 cjeline, od kojih dvije tvore teorijski dio koji većinom opisuju termokromne boje i QR kodove te eksperimentalni dio gdje se one spajaju u jedno. Nakon uvoda slijedi općenito o termokromnim bojama, u ovoj cjelini prikazane su osnovne informacije o njima, njihova podjela i primjena te prednosti. Zatim u sljedećoj cjelini se nalazi QR sekcija, povijest i njihov razvoj. Nakon toga slijedi eksperimentalni dio, u kojem su boje i podloge, te postupci otiskivanja i skeniranja opisani i zbog čega su ti dijelovi važni. Isto tako, slikama je prikazano što se sve odvijalo prilikom eksperimentalnog dijela. Cjelina završava s usporedbama refleksijskih spektara i valnih duljina na svim podlogama.

Termokromne boje su vrsta boje koja mijenja boju kao odgovor na promjene temperature. Ove boje korištene su u različitim primjenama, uključujući ambalažu osjetljivu na temperaturu i indikatore temperature za potrošačke proizvode. QR kodovi (skr. za Quick Response codes), dvodimenzionalni su barkodovi koje mogu čitati kamere pametnih telefona ili skeneri QR kodova. QR kodovi postali su popularno sredstvo za pružanje pristupa digitalnim informacijama, kao što su URL-ovi web stranica i informacije o proizvodima. Kombinirajući tehnologije termokromnih boja i QR kodova, pametne oznake imaju potencijal za široku korist u granama trgovačke, medicinske, transportne i poljoprivredne industrije.

U ovom radu QR kodovi otiskivat će se termokromnim bojama (TC) različitih aktivacijskih temperatura. Reverzibilne TC boje kojima će se tiskati prelaze iz obojenog stanja u neobojeno na aktivacijskoj temperaturi (T_A). Na kraju, završava se raspravom o budućem potencijalu pametnih oznaka i bilo kojeg izazove ili ograničenja s kojima se treba pozabaviti. QR kodovi otisnuti TC bojama izlagat će se definiranim temperaturama, te će uz mjerenje vrijednosti valnih duljina i refleksije na različitim podlogama provjeravati čitljivost kodova.

Općenito, cilj ovog rada je utvrditi u kojem se temperaturnom rasponu pojedine TC boje otisnuti kod može nesmetano očitati te osvrnuti se i vlastitim primjerom prikazati primjenu istoga.

U današnje vrijeme termokromne boje su pronašle većinu svojih primjena kao upozorenja za potrošače, na primjer da je proizvod dovoljno hladan za piti. Osim toga, u lancima za opskrbu hranom, boje s tekućim kristalima korištene su u termometrima za hladnjake kako bi označili da je temperatura izvan željenog raspona. Reverzibilne termokromne boje mogle bi igrati ulogu upozoravajući potrošače da proizvod nije pohranjen na ispravnoj temperaturi. Oznaka bi se mogla promijeniti iz "Ja ću trajati dulje" kada je hladno do "spreman sam za jelo" na sobnoj temperaturi. Ako je ova vrsta oznake popraćena marketingom, koji objašnjava što bi potrošači trebali tražiti, to može pomoći dovesti do promjena ponašanja potrošača.

2. KROMOGENE TISKARSKE BOJE

Kromogene tiskarske boje karakterizira jedinstveno svojstvo promjene boje kao odgovor na različite podražaje iz okoline. Kromogeni materijal tako dolazi u izravnu interakciju s vanjskim čimbenicima koji djelovanjem na kromogeni materijal izazivaju reakciju promjene boje. Poznavanje svojstava kromogenog materijala i njegovog specifičnog odgovora na podražaje omogućuje nam da u stvarnom vremenu odredimo neke od fizikalnih tvari u kontaktu s kromogenim materijalom. Mikrokapule, koje su do 10 puta veće od konvencionalnih pigmenata u tiskarskim bojama, služe za zaštitu kromogenih materijala u tiskarskim bojama. One štite gradivne komponente termokromne tiskarske boje od djelovanja vanjskih utjecaja. [1]

Kromogene boje su vrsta boje koje mogu promijeniti boju kao odgovor na određene podražaje poput temperature, pH, električnog polja i drugih čimbenika. Ove se boje sastoje od dvije glavne komponente: kromogena i supstrata. Kromogen je kemijski spoj koji je bezbojan u normalnim uvjetima, ali će poprimiti boju kada je izložen određenom podražaju. Supstrat je materijal na koji se nanosi kromogen i time omogućuje promjenu boje.

Kromogene boje imaju širok raspon primjena, uključujući i medicinsko polje za označavanje tkiva ili stanica u svrhu istraživanja ili liječenja. Na primjer, kromogen se može primijeniti na uzorak tkiva, a zatim promijeniti boju kao odgovor na određeni podražaj, omogućujući liječnicima da bolje razumiju strukturu tkiva i lako identificiraju abnormalne stanice.[2] Kromogene boje također se koriste u industrijskom sektoru za označavanje i bojanje raznih materijala. Primjerice, kromogen se može nanijeti na plastiku i zatim promijeniti boju kao odgovor na određenu temperaturu. To proizvođačima omogućuje stvaranje plastičnih proizvoda s promjenjivim bojama, što može biti estetski privlačno i korisno za identifikaciju proizvoda.

Također su vrlo svestrane i mogu se prilagoditi različitim potrebama. Međutim, važno je imati na umu da kromogen može promijeniti boju samo kao odgovor na određeni podražaj, a da bi došlo do promjene boje mora se odabrati odgovarajući supstrat. Osim toga, kromogene boje može biti teško obojiti i zahtijevaju posebnu njegu i održavanje. Sve u svemu, kromogene boje nude jedinstven i koristan način za stvaranje materijala koji mijenjaju boju za različite primjene.

2.1. Vrste kromogenih boja

Kromogene boje dijelimo na to kako reagiraju na vanjske utjecaje i na to jesu li ponovo upotrebljive (reverzibilne ili ireverzibilne). Reverzibilne boje imaju sposobnost da se koriste višekratno s privremenom promjenom u boji, dok ireverzibilne boje imaju upravo suprotno: jednom kada se aktiviraju, ne vraćaju se u početno stanje, već ostaju „aktivirane“, odnosno u obojenom stanju. S obzirom na vanjske podražaje, kromogene boje možemo podijeliti na: termokromne (promjena boje pod utjecajem promjene temperature), fotokromne (promjena boje pod utjecajem energije fotona kojoj se boja izlaže), biokromne (promjena boje zbog biokemijske reakcije), piezokromne (promjena boje pod utjecajem promjene pritiska nad bojom), elektrokromne (promjena boje pod utjecajem promjene električnog polja) i halokromne (promjena boje pod utjecajem promjene pH vrijednosti). [1]

2.1. Termokromne boje

Termokromne boje reagiraju na promjenu temperature i mijenjaju boju u skladu s tim. To može biti promjena iz bezbojne u obojenu, iz obojene u bezbojnu ili iz jedne u drugu boju. Svaka termokromna boja ima određeni temperaturni raspon u kojem će se pojaviti promjena boje, koja se obično naziva točka aktivacije (T_A). Promjena boje može biti reverzibilna ili ireverzibilna. Postoje dva oblika termokromnih boja: tekući kristali i leuko boje. Leuko boje pružaju širi raspon boja i češće se koriste u pakiranjima proizvoda, dok su tekući kristali precizniji, ali ograničeni u dostupnosti boja. Obje vrste termokromnih boja obično su inkapsulirane radi lakšeg rukovanja.

Termokromne boje sastoje se od posebnih pigmenata koji se nazivaju leuko bojila, koji mogu proći reverzibilnu promjenu boje kada su izloženi promjenama temperature. Ti se pigmenti obično otape u otapalu, poput vode ili alkohola, kako bi se stvorila boja. Kada se boja nanese na površinu, a temperatura je unutar određenog raspona, leuko boje će proći kroz kemijsku reakciju koja uzrokuje promjenu boje. Točan temperaturni raspon i promjena boje mogu se kontrolirati vrstom i koncentracijom leuko boje koja se koristi u boji. Jedna od najčešćih primjena termokromnih boja su takozvani „prstenovi raspoloženja“, koji koriste upravo termokromnu boju koja se mijenja na temelju tjelesne temperature onoga tko ga nosi. Kako se tjelesna temperatura mijenja, mijenjat će se i boja prstena, dajući korisniku naznaku njegovog raspoloženja. Ove se boje također često koriste za odjeću, poput majica koje mijenjaju boju kada su izložene toplini ili hladnoći, te za objekte poput šalica i čaša koje mijenjaju boju kada se u njih natoči toplo ili hladno piće. Osim toga, termokromne boje imaju i praktičnu primjenu. Recimo, koriste se u medicinskim uređajima poput traka za temperaturu i toplomjera, gdje promjena boje označava temperaturu tijela ili predmeta. Također se koriste u ambalaži osjetljivoj na temperaturu, gdje promjena boje pokazuje je li proizvod bio izložen ekstremnim temperaturama koje mogu utjecati na njegovu kvalitetu ili sigurnost. [3]

Unatoč njihovoj brojnoj uporabi, postoje neka ograničenja i nedostaci u korištenju termokromnih boja. Jedno od glavnih ograničenja je da je promjena boje reverzibilna samo unutar određenog temperaturnog raspona. Ako je boja ireverzibilna, promjena boje postaje trajna i više se ne može vratiti u inicijalno stanje nakon što temperatura pređe određeni raspon. [1] Također, na promjenu boje može utjecati vrsta i

koncentracija upotrijebljene leuko boje, kao i vrsta otapala i površina na koju se boja nanosi. To može otežati postizanje dosljednih i pouzdanih promjena boja.

Termokromnost u grafičkoj industriji ima raznoliku primjenu zbog novog načina komuniciranja informacija krajnjem korisniku te se zato mehanizam termokromnosti primjenjuje u pogledu pametne ambalaže, sigurnosnog tiska, mnogih marketinških vizualnih predodžbi. Tiskarske boje s inkapsuliranim termokromnim složenim sustavima mogu imati različite temperature aktivacije (temperaturni raspon u kojem termokromne komponente aktivno reflektiraju vidljivu svjetlost određene valne duljine). Od složenih sustava koji se obuhvaćaju pod jedinstvenim nazivom - termokromne boje, najčešće se koriste leukobojava, dok se oni na bazi tekućih kristala koriste za proizvode gdje promjena temperature mora biti točno definirana. Termokromni materijali počeli su se pojavljivati u laboratorijima u 60-im godinama 20. stoljeća, bazirani su na tekućim kristalima i njihovo korištenje i zaštita bila su složeni procesi. Međutim, nakon što se pojavila mikrokapsulacija, termokromni materijali su se brzo počeli razvijati, što je rezultiralo pojavom termokromnih tiskarskih boja, papira i bojila. [4]

Prema CTI Quantitative Research, Mann Consultingu i drugim istraživanjima, značajan dio potrošača (čak njih 40%) često doživljava frustraciju temperaturom proizvoda koji kupuju, osobito kada se očekuje da će biti vruće ili hladno. Za rješavanje ovog problema može se koristiti upravo tehnologija termokromne boje. Također, kada se suoče s izborom između dva brenda koji im se jednako sviđaju, dvije trećine potrošača će se odlučiti za brend koji jamči tople ili niske temperature. Četiri je puta veća vjerojatnost da će zadovoljni potrošači preporučiti i vratiti se robnoj marki u usporedbi s nezadovoljnim kupcima. Nadalje, potrošači ne prave razliku između temperature proizvoda i cjelokupnog doživljaja robne marke. Na primjer, kada kupuju vruću kavu za van, ledeno hladno gazirano piće ili zdjelicu juhe, potrošači očekuju da temperatura odgovara opisu proizvoda.

Prema testiranju potrošača, otkrivanje značajki na pakiranju može uvelike utjecati na namjeru kupnje, pri čemu je 75% potrošača izjavilo da bi vjerojatnije kupili proizvod koji uključuje takve značajke. Ova je ideja dobila najviše ocjene u kategoriji "sigurno/vjerojatno ću kupiti", pri čemu je 68% vjernih potrošača i 75% povremenih potrošača navelo da bi kupili.

Potrošači koji imaju snažnu emocionalnu povezanost s robnom markom obično troše dvostruko više godišnje u usporedbi sa samo zadovoljnim kupcima. Kako bi se stvorila emocionalna veza s potrošačima i potaknulo ponovno poslovanje, preporučeno je korištenje ambalaže koja izaziva iznenađenje i oduševljenje. U trgovini mješovitom robom, ako potrošač dotakne proizvod, vjerojatno će ga kupiti u 90% slučajeva.[5] Upotreba značajki koje se aktiviraju dodirrom na pakiranju proizvoda bi potaknula interakciju s kupcima i povećala vjerojatnost prodaje. Kako bi se ubrzao proces hlađenja pića, dvije trećine potrošača će ih staviti u hladnjak. Trigger tehnologija (ili tehnologija okidača/pokretanja) odnosi se na vrstu tehnologije koja aktivira ili pokreće događaj ili radnju kada su ispunjeni određeni uvjeti. U kontekstu potrošačkih proizvoda, tehnologija okidača može se koristiti za aktiviranje određenih značajki ili ponašanja kao odgovor na specifične podražaje, kao što je potrošačev dodir, lokacija ili drugi čimbenici okoline.[6] Korištenjem „trigger tehnologije“ i pametnih telefona potrošači mogu lako odrediti koliko će vremena trebati da se njihovo piće ohladi i postaviti podsjetnike da ga izvade.

2.2.1. Boje na bazi tekućih kristala

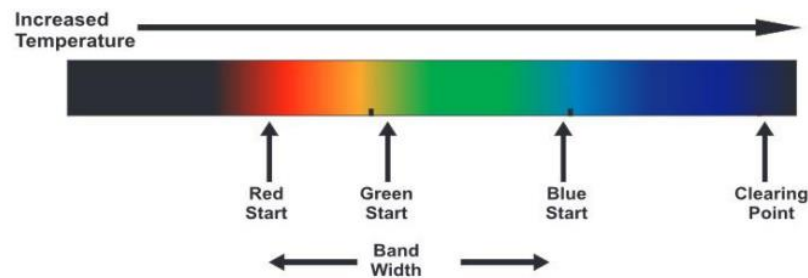
Termokromne boje na bazi tekućih kristala (*engl.* Thermochromic liquid crystal ink) se mijenjaju u boji pod utjecajem temperature. Njihove molekule se mogu međusobno izvijati i kretati, a povećanje temperature dovodi do promjene geometrije molekula i promjene boje kristala. Kada se temperatura smanji, kristali se vraćaju u svoju početnu boju. Tekući kristali reflektiraju svjetlost u uskom području valnih duljina, što se vidi kao prelijevanje boja od duljih valnih duljina (crvene) prema kraćim valnim duljinama (plave). Refleksija vidljivog svjetla događa se sve dok se ne dosegne kritična temperatura, nakon čega tekući kristali ponovno postaju transparentni.[7]

Termokromne boje na bazi tekućih kristala mogu biti otisnute na različitim materijalima, no kako bi se bolje vidjele, najčešće se promatraju nasuprot crnoj pozadini.

S obzirom na širinu pojasa, boje na bazi tekućih kristala dijele se na uskopojasne i širokopojasne. To su boje koje imaju definiran temperaturni raspon u kojem aktivno reflektiraju vidljivo svjetlo. Uskopojasni termokromni tekući kristali najčešće imaju

temperaturni raspon u kojem aktivno reflektiraju vidljivo svjetlo, od 0,5 °C do 4 °C, dok širokopojasni najčešće imaju raspon širine pojasa od 5 °C do 30 °C. [4]

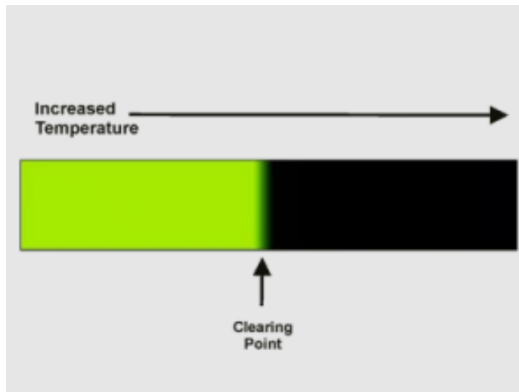
Postoje 3 glavna tipa reakcija termokromnih boja na bazi tekućih kristala. Prva je standardna crveno-zelena-plava (RGB) vrsta (slika 1). To su originalne TLC mješavine koje se koriste u proizvodnji naljepnica za termometre od kasnih 1970-ih. Obično se ispisuju na crnoj podlozi. U početku se prikazuju u crnom stanju ispod svoje temperaturne oznake, a zatim prolaze kroz dugine boje, jer se svjetlost reflektira na različitim valnim duljinama dok prolaze kroz svoje "tekuće kristalno" stanje. Na kraju se ponovno prikazuju kao crni kada je temperatura izvan raspona i potpuno su tekući u svom izotropnom stanju. Točnost im je do $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Ovi se TLC-ovi mogu koristiti za proizvodnju termometara s razlučivošću počevši od $0,5^{\circ}\text{C}$ za upotrebu u bolnicama.



Slika 1: TLC promjena boje po temperaturama [9]

Nakon što je grafika obrnuto otisnuta na prozirnu poliestersku podlogu, ti se TLC-ovi reproduciraju sitotiskom s obično 2 sloja za svaki event, a zatim se nanosi crna podloga i ljepilo prije rezanja.

Druga vrsta je *single colour below* (skraćeno SCB) (slika 2 i 3). Izvorno ih je razvio LCR Hallcrest kasnih 90-ih kako bi zadovoljio potrebu za lako razumljivim termometrom za hladnjake.[8] Kao rezultat toga, nova generacija indikatora temperature razvijena je pomoću ovih materijala, koji drastično mijenjaju boju iz obojenog stanja ispod nazivne vrijednosti u crno iznad nazivne vrijednosti. Točni su do $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Zbog promjene jedne boje, ovi su proizvodi lakši za čitanje nego tradicionalni RGB. Proizvode se na isti način kao i RGB proizvodi. Međutim, budući da moraju biti premazani oko 50% debljim od tipa RGB kako bi prikazali svijetle boje, to znači da je potreban treći ispis. Ovi jednobojni TLC-ovi mogu se proizvesti u zelenoj, plavoj i crvenoj boji (od kojih je najsvjetlija zelena).



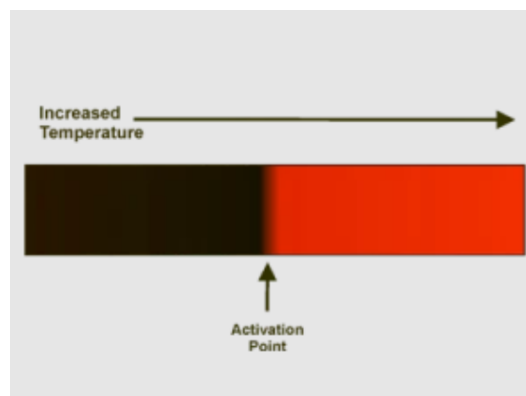
Slika 2: SCB promjena boje sa temperaturom[9]



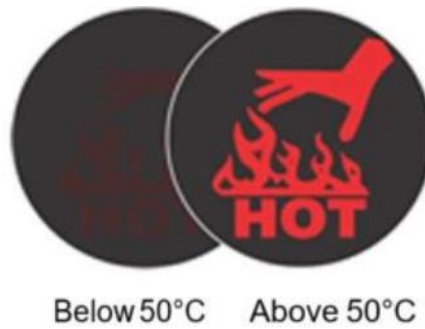
Slika 3: Tip TLC na termometrima hladnjaka koji prikazuje riječ "OK" kada je temperatura ispod 7,5°C [9]

Moguće je proizvesti temperature između 0°C i 75°C za SCB plavu i SCB crvenu te između 0°C i 100°C za SCB zelenu boju.

Treća i ujedno zadnja vrsta je *single colour above* (skraćeno SCA) vrsta. Oni su suprotni SCB vrsti, kao što se može vidjeti na slici dolje (slika 4), crno označava neaktivno stanje, dok obojeno označava stanje iznad x temperature. Razvijeni su kako bi se omogućila nova paleta proizvoda koji će se koristiti zbog zahtjeva kupaca da budu upozoreni kada temperature prijeđu temperaturu, a da ne padnu ispod nje (slika 5). Ovi materijali brzo mijenjaju boju od crne do obojenog stanja. Točnost im je do +/-1°C s preporučenom rezolucijom od 2°C u proizvodima za više događaja.[9]



Slika 4: SCA promjena boje sa temperaturom [9]



Slika 5: TLC koji se koristi u naljepnici koja prikazuje simbol upozorenja kada je temperatura iznad 50°C [9]



Slika 6: RGB TLC „termometar“ [9]

Zbog činjenice da dolazi do samo jedne promjene boje, ovi su proizvodi (slika 6) lakši za čitanje od tradicionalnih RGB i omogućuju korištenje više boja. Proizvode se na isti način kao i RGB proizvodi, no budući da moraju biti premazani oko 50% debljim od RGB tipa kako bi prikazali svijetle boje, to obično znači treći premaz sitotiska.

2.2.2. Boje na bazi leuko bojila

Termokromni materijali koji mijenjaju boju kao odgovor na promjenu temperature obično se sastoje od tri komponente: bojila, razvijaača boje i razvijaača otapala. Ove komponente pažljivo se miješaju kako bi se postigao željeni učinak. Promjena boje događa se kroz dva procesa; jedan između bojila i razvijaača, a drugi između otapala i razvijaača. U prvom procesu, reakcija između bojila i razvijaača se odvija na nižim temperaturama kada je otapalo u krutom stanju. Kako se temperatura povećava, otapalo prelazi u tekuće stanje i uzrokuje raspad kompleksa između bojila i razvijaača, čineći sustav bezbojnim. U drugom procesu (između otapala i razvijaača) smatra se najvažnijim za postizanje termokromnog efekta. Temperatura na kojoj se odvija proces obojenja i dekoloracije ovisi o temperaturi na kojoj se otapalo otapa i naziva se aktivacijska temperatura (T_A). Dok su termokromne tiskarske boje na bazi leuco boja dostupne s različitim T_A , većina aplikacija koristi tri standardna temperaturna raspona: hladno ($<15^\circ\text{C}$), temperatura ljudskog tijela, tj. dodira (oko 31°C) i vruće ($>43^\circ\text{C}$). Neke leuko

boje mogu se promijeniti iz jedne boje u drugu kombinacijom leuko boja i procesnih tiskarskih boja. Kako bi se postigli najbolji vizualni efekti, ove boje treba tiskati na bijeloj površini jer leuko boje apsorbiraju svjetlost. Ove se boje mogu tiskati na različite materijale, a uglavnom se koriste za sigurnosni tisak, baterije, testere itd. Kvaliteta leuko bojila može se smanjiti ako dođu u dodir s određenim otapalima ili ako su izložene vrlo visokim temperaturama.[4]

Boja nastaje kad kromogene skupine apsorbiraju upadnu svjetlost. Termokromne leuko boje trenutno se najčešće koriste u termokromnim bojama. Prema vrsti promjena, postoje termokromni sustavi koji su reverzibilni i ireverzibilni. Boja ireverzibilnih termokromnih sustava se uglavnom počinje mijenjati pri temperaturi od 65 °C i u potpunosti se razvije na 90°C. [4] Kada se jednom pojavi, boja će se promijeniti iz jedne u drugu boju, pri tom ostavljajući trajnu oznaku o promjeni temperature. Ovi termokromni sustavi na bazi ireverzibilnih boja najčešće se koriste u medicinske svrhe kao pokazatelji ispravno steriliziranih medicinskih proizvoda.

Pigment se miješa s vezivom kako bi se formirao u mikrokapsule koje čine boju na proizvodu čvrstom i stabilnom. Inkapsulacija je potrebna za zaštitu od vanjskih utjecaja. Mikrokapsule nisu netopive ni inertne kao konvencionalni pigmenti i njihova veličina je od 3 do 5 µm, što je 10 puta veće od veličine konvencionalnih pigmentnih čestica. Mikrokapsulacijom se dobivaju okrugle kapsule najčešće s melaminskom ovojnicom koja oblaže termokromni kompozitni materijal koji čini jezgru, pa su zbog toga termokromne boje osjetljive na mehanička oštećenja. [4]

2.3. Primjeri primjene termokromnih boja

Ispitivanjem različitih primjena termokromnih boja, cilj je pokazati svestranost i potencijalne prednosti ovih boja u svakodnevnim predmetima. Osim dodavanja funkcionalnog elementa, kao što je indikator temperature ili sustav upozorenja, termokromne boje također mogu poboljšati vizualnu privlačnost predmeta, čineći ga privlačnijim i potencijalno povećavajući njegovu utrživost. Bitno je napomenuti da sljedeći proizvodi nisu poredani po važnosti.

U prvoj primjeni, boja bi se mogla iskoristiti kao indikator topline, odnosno hladnoće čokolade. Termokromne boje mogu biti vrijedan dodatak pakiranju čokolade kako bi se osigurala kvaliteta i sigurnost čokolade. Otiskivanjem tih boja na materijal na pakiranje u odgovarajućem rasponu temperature, moguće je stvoriti vizualnu indikaciju temperature čokolade (slika 7). Na primjer, boje se mogu dizajnirati tako da se mijenjaju iz svijetloplave u bijelu na temperaturnom rasponu od otprilike 6, pa sve do 15 °C. Kada je čokolada ispod ili na početku tog raspona, boje bi bile svijetloplave, što znači da je čokolada pohranjena na sigurnoj i optimalnoj temperaturi. Međutim, ako se čokolada drži ili skladišti na višoj temperaturi, boje bi se promijenile u bijelu, signalizirajući korisniku da postoji opasnost da čokolada postane previše topla i potencijalno izgubi svoju kvalitetu. Ova upotreba dodaje jedinstven i vizualno privlačan element pakiranju, privlačeći pozornost na proizvod i potencijalno povećavajući njegovu privlačnost kupcima. [11]



Slika 7: Termokromna ambalaža na čokoladi [11]

Uporaba termokromnih boja u posjetnicama može stvoriti nezaboravno iskustvo za primatelje. Boje se mogu primijeniti na karticu na različite načine, kao što je ispis dizajna ili logotipa koji mijenja boju ovisno o temperaturi ili korištenjem termokromnih boja kao pozadinske boje za cijelu karticu. Posjetnica može biti otisnuta s informacijama o tvrtki koja je prije dodira sva crna, a mijenja boju iz potpuno crne u transparentnu kada se kartica dodirne i pređe preko nje rukom, stvarajući vizualno upečatljiv efekt (slika 8). [12]



Slika 8: Otkrivanje informacija na posjetnici putem topline ruku [12]

I za kraj, primjer upotrebe boje za stvaranje funkcionalnog i inovativnog elementa dizajna za kutije za pizzu. U ovoj primjeni, boje bi bile ispisane na vanjskoj strani kutije i mijenjale bi boju kao odgovor na temperaturu pizze unutra (slika 9). Na primjer, boje se mogu mijenjati iz crvene u nevidljivu na temperaturnom rasponu od 40-65 °C. [10] Kada je pizza vruća i unutar tog temperaturnog raspona, boje bi bile crvene, što pokazuje kupcu da je pizza na optimalnoj temperaturi za konzumaciju. Kako se pizza hladi i pada ispod oznake od 40 stupnjeva, boje postaju nevidljive, signalizirajući kupcu da pizza više nije vruća. Ova upotreba omogućuje kupcima jednostavno mjerenje temperature svoje pizze bez potrebe da je dodiruju ili koriste poseban termometar. Također dodaje jedinstven i vizualno privlačan element pakiranju.



Slika 9: Termokromna boja na kutiji za pizzu [10]

2.3.1. Vlastiti prijedlozi primjene termokromne boje na predmetima

U svojem prvom primjeru, termokromne boje bi se iskoristilo za stvaranje vizualno privlačne svijeće s dekorativnim elementom koji dodaje element iznenađenja i zabave (slika 10). Ovaj dizajn svijeće koristi jedinstvena svojstva termokromnih boja za stvaranje vizualno privlačnog i dekorativnog elementa. Svijeća je izrađena od čistog tj. prozirnog voska i ima termokromne boje umiješane u vosak u obliku zvijezda na rubovima svijeće. Kada je svijeća upaljena, toplina iz plamena uzrokuje promjenu boje, otkrivajući dizajn zvijezda. Kad se svijeća ugasi, boje se ohlade i vrte u svoju izvornu boju, skrivajući dizajn. Na primjer, boje se mogu promijeniti iz plave u zelenu kada se svijeća upali, a zatim natrag u plavu kada se svijeća ugasi. Općenito, ovaj proizvod kombinira funkcionalnost tradicionalne svijeće s dodanim elementom termokromnih boja, stvarajući jedinstven i vizualno privlačan proizvod. Međutim, na par stvari bi se trebalo paziti kod izrade ovakvog proizvoda. Kada se koriste termokromne boje u svijećama, važno je uzeti u obzir kompatibilnost s vrstom voska, količinom korištene boje i željenim temperaturnim rasponom za promjenu boje. Korištenje nekompatibilnih boja ili pak previše ili premalo boje može utjecati na performanse i izgled svijeće. Važno je odabrati pravu formulaciju i koristiti odgovarajuću količinu kako bi se postigao željeni učinak.



Slika 10: Primjena TCI na svijeći

Drugi primjer, indikator topline stolne svjetiljke (slika 11). Termokromne boje mogu se koristiti za stvaranje funkcionalnog i sigurnosnog dizajnerskog elementa za svjetiljke. Kombinacijom boja s naljepnicom koja se naljepi na glavu svjetiljke, moguće je stvoriti vizualni sustav upozorenja koji upozorava korisnika kada temperatura svjetiljke postane

previsoka. Na naljepnici se mogu tiskati termokromatske boje koje se mijenjaju od nevidljive do jarko crvene na aktivacijskoj temperaturi od 50 °C na više. Kada svjetiljka svijetli na sigurnoj temperaturi, naljepnica bi bila nevidljiva i ne bi privlačila pozornost. Međutim, ako se svjetiljka počne pregrijavati, naljepnica će promijeniti boju, upozoravajući korisnika na potencijalnu opasnost. Ovime termokromne boje dodaju svjetiljci funkcionalan i prikladan element, pomažući u sprječavanju nezgoda i opekлина uzrokovanih dodirivanjem pregrijane svjetiljke. Također služi kao vizualni podsjetnik korisniku da poduzme odgovarajuće mjere opreza pri korištenju svjetiljke.



Slika 11: Indikator temperature svjetiljke

2.4. Optička svojstva tiskovnih podloga

Važno je razumjeti razlike između opaciteta, transparentije i bjeline papira jer te karakteristike mogu značajno utjecati na način na koji se papir koristi i konačni izgled projekta. Ova svojstva mogu utjecati na prikladnost papira za različite zadatke i konačni izgled projekta. Razumijevanjem ovih razlika, pojedinci i tvrtke mogu donositi utemeljene odluke o tome koji su proizvodi od papira najprikladniji za njihove potrebe i mogu postići željene rezultate u svojim projektima.

Bjelina papira, odnosi se na količinu svjetlosti koja se reflektira od površine papira. Što je komad papira bjelji, to će reflektirati više svjetla. To može biti važno za ispis na papiru jer može utjecati na percipiranu svjetlinu boja na stranici.

Opacitet ili neprozirnost papira odnosi se na to koliko dobro komad papira može blokirati prolaz svjetlosti kroz njega. Općenito, što je komad papira neprozirniji, to će manje svjetla proći kroz njega. To može biti korisno za printanje, jer može spriječiti probijanje tinte na drugoj strani stranice.

Transparentnost ili prozirnost papira, s druge strane, odnosi se na to koliko je komad papira proziran. Što je komad papira prozirniji, to će više svjetla proći kroz njega. Ovo može biti korisno za aplikacije u kojima se želi vidjeti kroz papir, kao što su prozirne folije za grafoskop ili paus papir.

Prozirnost i neprozirnost su suprotne kvalitete. Prozirnost se odnosi na to koliko lako svjetlost može proći kroz materijal, dok se neprozirnost odnosi na to koliko dobro materijal blokira prolaz svjetlosti. Dakle, prozirni materijal će dopustiti puno svjetlosti da prođe, dok će neprozirni materijal blokirati većinu ili svu svjetlost.

3. QR KODOVI

3.1. Povijest i primjena QR kodova

QR kodovi, također poznati kao kodovi za brzi odgovor (eng. Quick response[QR]), dvodimenzionalni su kodovi koji se koriste u razne svrhe. Ovi se kodovi najčešće sastoje od crnih i bijelih kvadrata raspoređenih u određeni uzorak koji može čitati stroj pomoću skenera QR koda. QR kodove je 1994. izumio Denso Wave, podružnica tvrtke Toyote, za upotrebu u automobilske industriji.[13] Od tada su postali popularni u mnogim različitim područjima.

Jedna od glavnih prednosti QR kodova je što mogu pohraniti veliku količinu informacija na malom prostoru. Tradicionalni crtični kodovi mogu pohraniti samo ograničenu količinu podataka, obično samo broj ili kratki niz teksta. Nasuprot tome, QR kodovi mogu pohraniti do nekoliko stotina puta više podataka, uključujući tekst, URL-ove i druge vrste informacija. To ih čini korisnima za aplikacije u kojima je potrebno smjestiti puno podataka na malom području, kao što je naljepnica proizvoda ili posjetnica.

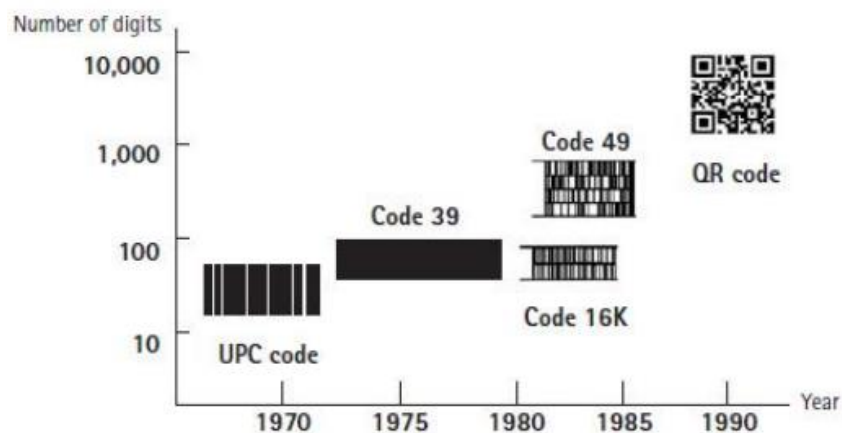
Još jedna prednost QR kodova je što ih je lako čitati i tumačiti. Tradicionalni crtični kodovi zahtijevaju poseban skener za čitanje i tumačenje podataka, dok QR kodove može čitati bilo koji uređaj s kamerom i odgovarajućim softverom (aplikacijom za skeniranje koja je već ugrađena na sam mobitel ili koja se preuzme iz trgovine za aplikacije). To ih čini dostupnima širokom rasponu korisnika. QR kodove također je lako generirati, budući da postoje mnogi online alati koji korisnicima omogućuju besplatno stvaranje vlastitih kodova. Ne samo to, već i neki QR skeneri imaju ugrađeno u aplikaciji da mogu generirati odmah kodove, tako da nije potrebno odlaziti na druge stranice.

QR kodovi se koriste u raznim aplikacijama, uključujući marketing, logistiku i sustave plaćanja. U marketingu se QR kodovi često koriste na pakiranjima proizvoda, reklamama i drugim materijalima kako bi pružili dodatne informacije (poput recepata koji ne stanu na pakiranje) ili kako bi kupcima omogućili interakciju s markom na novi način. U logistici se QR kodovi koriste za praćenje paketa i drugih artikala dok se kreću kroz opskrbni lanac. To omogućuje tvrtkama da prate lokaciju i status svojih proizvoda u stvarnom vremenu i da osiguraju njihovu dostavu na pravo mjesto u pravo vrijeme. U sustavima plaćanja, QR kodovi se koriste kako bi kupci mogli kupovati skeniranjem koda svojim mobilnim uređajem. To eliminira potrebu za fizičkim platnim karticama ili gotovinom i omogućuje praktičniji i sigurniji način obavljanja transakcija.[14]

QR kodovi su vrijedan alat za pohranu i prijenos informacija u kompaktnom i pristupačnom formatu. Naširoko se koriste u mnogim različitim područjima i pokazali su se korisnim i učinkovitim načinom kodiranja i dijeljenja podataka.

QR kodovi imaju dugu povijest koja seže u 1970-e (slika 12). Godine 1970. IBM je razvio UPC simbole koji su se sastojali od 13 brojeva koji su omogućili automatski unos u računala. Ovi se simboli i danas široko koriste u sustavima prodajnih mjesta. Godine 1974. razvijen je Code 39, kod koji je mogao kodirati približno 30 alfanumeričkih znakova. U 1980-ima razvijen je kod 16k i kod 49. QR kodovi razvijeni su 1994. i mogli su kodirati 7000 znakova, uključujući Kanji. Godine 2006. stvorena je međunarodna norma ISO/IEC 18004:2006 nakon što je Denson Wave odlučio ne koristiti svoja patentna prava. Ovaj je standard otvoren i razvojnim programerima

omogućuje stvaranje novih vrsta QR kodova koji se sada naširoko koriste u različite svrhe. [15]



Slika 12: 2D kodovi kroz godine [15]

3.2. Podjela QR kodova s obzirom na korekcije grešaka

QR kod se može prilagoditi kako bi obnovio podatke ako je oštećen ili nečitak. Korisnici imaju na raspolaganju četiri razine korekcije grešaka za odabir prema svojim potrebama. Veće razine poboljšavaju sposobnost korekcije grešaka, ali također se povećavaju količine podataka koda. Najčešće se koristi razina M, koja omogućuje korekciju od oko 15% oštećenja na QR kodu. Osim M razine, postoje još L, Q i H razina, počevši od 7%, preko 25%, pa sve do 30% kodnih znakova koji se mogu oštetiti, a da QR kod ostane čitljiv.

4. EKSPERIMENTALNI DIO

4.1. Materijali i metode

4.1.1. Termokromne boje

Glavni sastojak eksperimentalnog dijela bit će termokromne boje otisnute na podlogu, nakon čega će se provoditi ispitivanja o funkcionalnosti. Za eksperiment su poslužile sljedeće boje:



Slika 13: Termokromne boje koje su korištene za eksperimentalni dio [16]

Paket, od britanskog proizvođača SFXC (Special FX Creative)[16], sastoji se od 3 vrećice sa termokromnim bojama, a svaka ima svoju određenu aktivacijsku temperaturu. Plava termokromna boja se aktivira na 15°C, crna na 31°C te crvena na 47°C. Naravno, kako bi se boje mogle uopće aktivirati, uz svaku vrećicu boje dolazi vezivo. Na vrećicama je napisano da sadrže 25 ml sastava, što je za eksperimentiranje bilo dovoljno, ali ne bi bilo loše imati još kojih 10-15 ml zbog brze potrošnje same boje. Omjer miješanja veziva i boje je 1:1.



Slika 14: Miješanje TC 15 boje s vezivom

Iz gornje slike se može vidjeti da je boja miješana s oblim nožem u maloj plastičnoj čaši. Proces je trajao oko 3 minute kako bi se vezivo dobro umiješalo s bojom.



Slika 15: Količina TC boje koja se nanosila za tisak 12 QR kodova

Tablica 1: Osnovne informacije o korištenim termokromnim bojama

Termokromna boja (kratica TC)	Aktivacijska temperatura (T_A)	Obojenje
TC 15	15°C	Iz tamnoplave u blijedo svijetlo plavu
TC 31	31°C	Iz crne u svijetlo sivu
TC 47	47°C	Iz crvene u blijedu crvenu

4.1.2. Papiri za otiskivanje

Tiskovna podloga je osnovni dio na kojem će se vršiti eksperimentalni dio ovog istraživanja. QR kod mora biti otisnut na površinu koja će ga dobro prikazivati kada je u boja u aktivnom stanju (i obrnuto, mora biti nečitljiv kameri u neaktivnom stanju).

Korištene su četiri različite, komercijalno dostupne vrste papira: Navigator, Evercopy Plus, Paperzone Recyclingpapier Weissegrad i Favini Crush.

Tablica 2: Specifikacije papira korištenih u eksperimentalnom dijelu rada [17]

	Navigator	Evercopy Plus	Paperzone Recyclingpapier Weissegrad	Favini Crush
Reciklirani papir?	ne	ne	da	da
Gramatura	160 g/m ²	80 g/m ²	80 g/m ²	250 g/m ²
Debljina papira	170 μm	104 μm	94 μm	325 μm
Specifičan volumen	1.063 cm ³ /g	1.3cm ³ /g	1,351 cm ³ /g	1.3 cm ³ /g
Opacitet	97.58%	93.22%	97.02%	99.6%
Bjelina	151.35%	90.62%	61.11%	35.43%
Kratica	N 160	EPR 80	PRW 70	FC 250

Odabir različitih vrsta papira je uvelike pomoglo raznovrsnosti otisaka na njima, odnosno raznolikosti čitljivosti s istog. S obzirom na to da su dvije vrste papira nerecikliranog podrijetla, bit će zanimljivo uspoređivati funkcionalnost termokromne

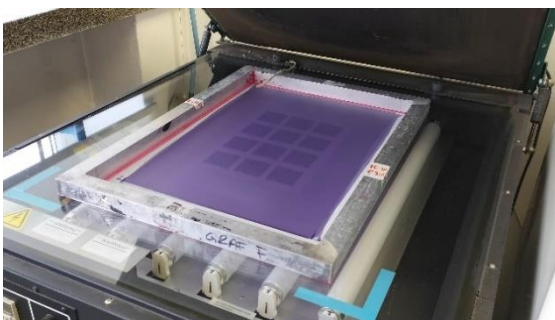
boje na njima. Kako bi se skratilo pisanje punog naziva papira, referirat će ih se s kraticama iz gornje tablice.

Opacitet i bjelina papirnatih podloga su bila izmjerena pomoću Techkon-a (Techkon GmbH, Njemačka). Debljina je određena mikrometrom DGTB001 Thickness Gauge (Enrico Toniolo, S.r.l., Milano, Italija). Mikroskopske slike uzoraka papira napravljene su pomoću mikroskopa Olympus BX51 (Tokio, Japan)[17].

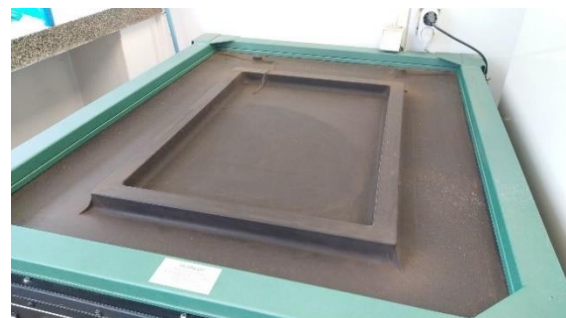
4.1.3. Izrada tiskovne forme

Fotoosjetljivi slojevi spadaju pod organske materijale koji se koriste za izradu tiskovnih formi, pa tako i u propusnom tisku. To su kemijski spojevi koji djelovanjem elektromagnetskog zračenja mijenjaju svoj kemijski sastav, tj. osvjetljavanjem izvorom zračenja dolazi do fotokemijske reakcije, te nastaje potpuno novi kemijski spoj.[18]

Kako bi se kodovi mogli otisnuti na papir, potrebno je napraviti tiskovnu formu kroz koju se može otisnuti termokromna boja. Prva stvar je izbor motiva koji će biti otisnut na podlogu, što je u ovom slučaju bio QR kod (slika 25). Slika se vektorizira pomoću programa poput Adobe Illustratora i sprema u .pdf formatu, a zatim je spremna da se otisne na transparentnu foliju pomoću laserskog pisača. Ti su filmovi korišteni za osvjetljavanje tiskovne forme u uređaju za osvjetljavanje (slika 16 i 17).



Slika 16: Uređaj za osvjetljavanje i sušenje



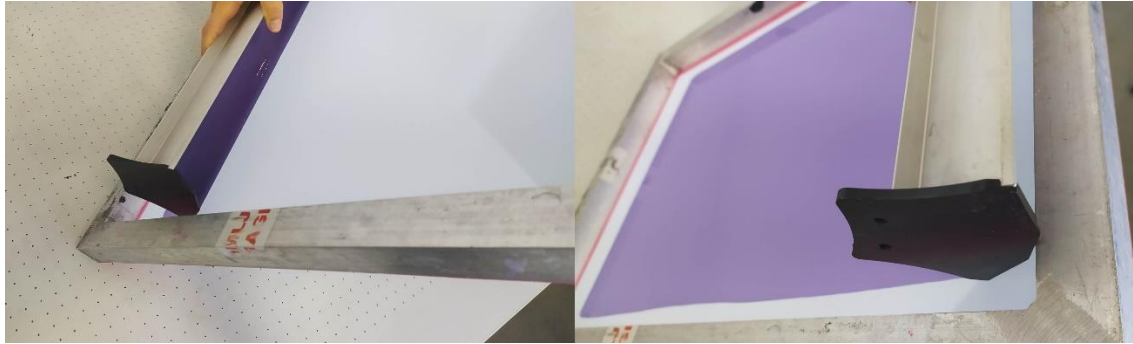
Slika 17: Sušenje i osvjetljavanje tiskovne forme

Uređaj (slika 16) ima dvije funkcije: osvjetljavanje tiskovne forme i sušenje tiskovne forme u komori ispod.

Motiv QR koda se prenosi na mrežicu tiskovne forme pomoću kopirnog predloška. Mrežica se prije toga mora očistiti sredstvom za odmašćivanje, isprati u vodi i osušiti, a zatim se pomoću lađice nanosi emulzijski sloj (slika 18). Emulzija se nanosi dva puta s rakelske strane sita i jednom s tiskovne strane (slika 19). Nakon nanosa, emulziju na mrežici treba osušiti. Tiskovna forma se dva puta stavlja u komoru za sušenje: prvi put da se osuši emulzijski sloj, a drugi put da se tiskovna forma osuši nakon razvijanja. Nakon što je osvjetljavanja UV zračenjem u periodu 2 minute kroz kopirni predložak, tiskovna forma se razvija s vodom u kadi za razvijanje, što uklanja dio emulzijskog sloja s mrežice koji nije bio osvjetljen (tj. ostao je topiv) te se dobiju tiskovni elementi. Dio emulzijskog sloja koji je bio osvjetljen postao je netopiv i predstavlja slobodne površine (sve ljubičasto na slika iznad 4.1.2). Nakon razvijanja, tiskovna forma se suši u komori za sušenje i spremna je za otiskivanje kada se osuši. Suhoća mrežice i emulzijskog sloja se provjeravala pomoću uređaja Humicheck za vrijeme sušenja. Da bi se izbjegao neželjeni utjecaj na kvalitetu formiranja motiva na tiskovnoj formi, mrežica i emulzijski sloj moraju biti potpuno suhi. Nakon provjere, QR motiv je spreman ručno otiskivanje.

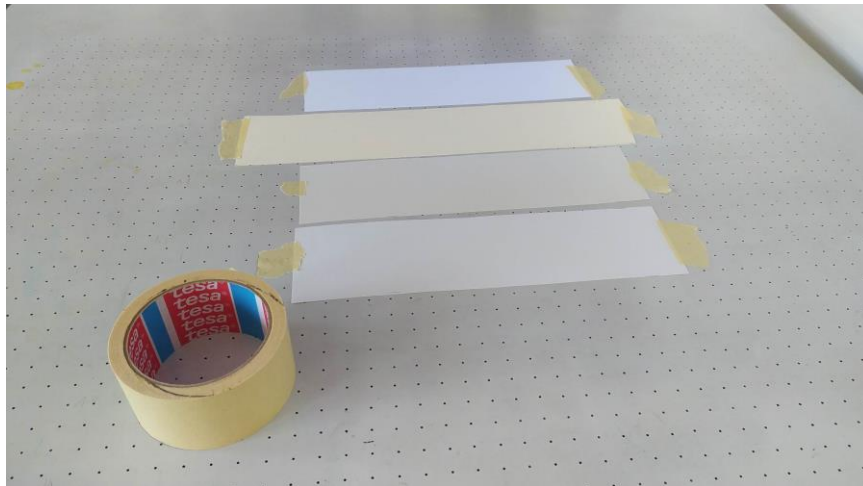


Slika 18: Emulzija u koritu



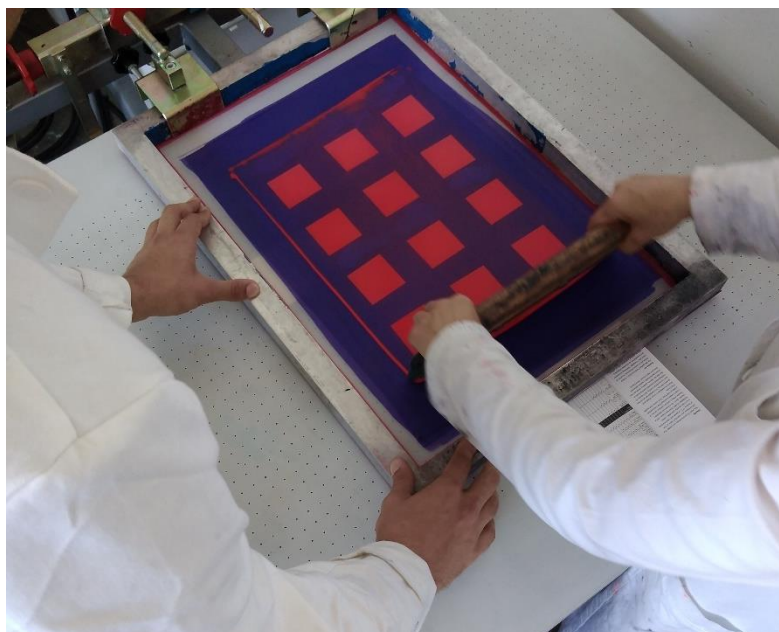
Slika 19: Premaz sita sa emulzijom

Prije nego što se krenu otiskivati QR kodovi, napravljeni su uzorci punog tona termokromne boje. Sito se sastoji od 12 kvadrata koji propuštaju boju, a sve što je ljubičasto ne. Količina boje koja se otiskivala je prikazana na slici 15, a kada se otisnulo, većina boje se pokupila i vratila u plastičnu čašu.



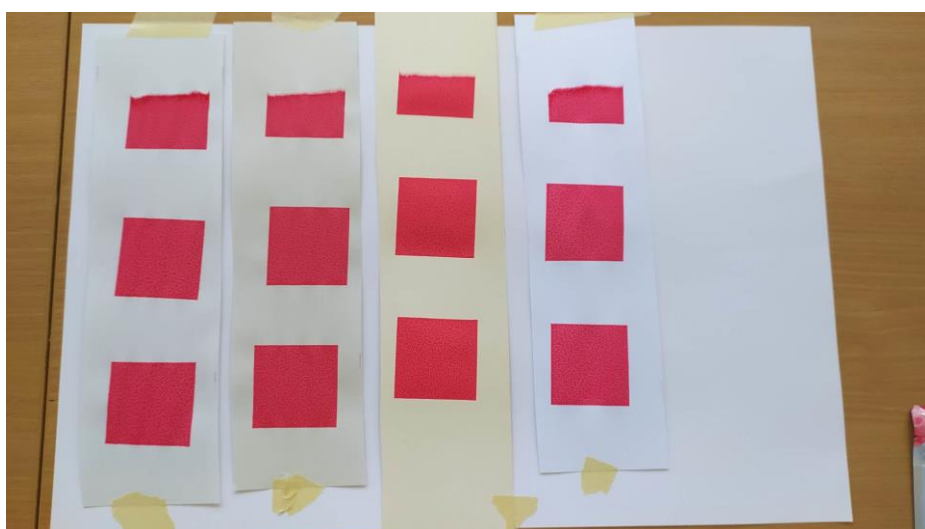
Slika 20: Papiri za otiskivanje na sitotiskarskom stolu

Papiri su osigurani (osim s vakuumom koji funkcioniра kroz rupice) s dva komada ljepljive trake na svakom kraju papira da se ne bi micali tijekom spuštanja sita, prevlačenja s rakelom te dizanja sita (slika 20). Nakon što su poravnati s otvorima, sito se spušta i vakuum se aktivira.



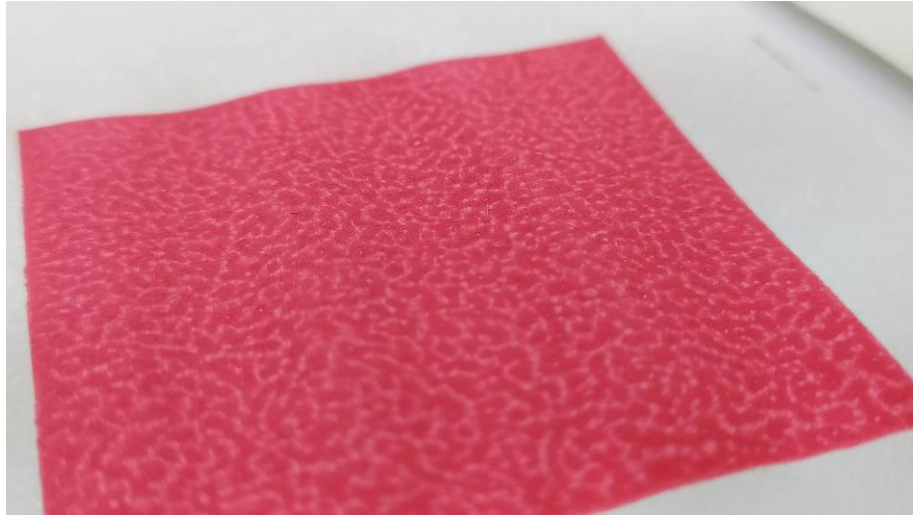
Slika 21: Protiskivanje boje rakelom

Prije nego što se prevuče boja sa rakelom (slika 21), važno je obratiti pozornost na dvije stvari: nanos boje i sila koja se stvara na rakel. Nanos boje je umjeren, nije potrebno stavljati puno boje jer, osim štednje, neće se sva protisnuti kroz sito, a ako se stavi premalo boje, neće se dobiti puni ton (slika 22). Isto je sa silom, premala sila i ton neće biti puni, prevelika sila i dolazi do rizika pucanja; neravnomjerno raspoređivanje sile (npr. s desnom rukom se vrši više sile nego lijevom) i doći će do toga da je otisak izraženiji na desnoj strani.



Slika 22: Puni ton na sva 4 papira

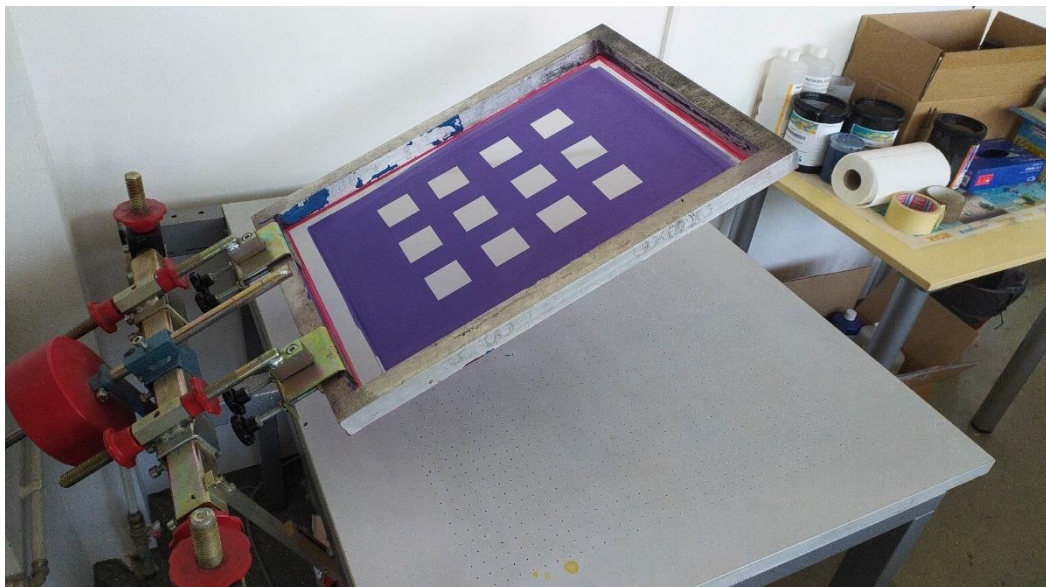
Zbog manjeg pritiska rakela pri samom vrhu, otisak nije sasvim otisnut do kraja. Međutim, neće predstavljati problema, pošto je otisnut dovoljan broj uzoraka za sva daljnja mjerenja i ispitivanja (slika 23).



Slika 23: Krupni plan punog tona

4.1.4. Sitotisak i otiskivanje QR motiva

Tiskovna forma zajedno sa termkromnom bojom koja se otiskuje je spremna, što znači da ju se samo mora prenijeti na papir.



Slika 24: Sitotiskarski stol i sito s uzorkom kvadrata (punog tona)

Sitotisak se sastoji od 3 komponente: mrežice (kroz koju se tiska boja), okvira (koji drži mrežicu napetom) i šablone (otvorena i zatvorena područja koja tvore uzorak). Mrežice za sitotisak se uglavnom sastoje od 30 do 200 niti po centimetru i napravljene su ispreplitanjem prirodnog (svila ili pamuk), sintetičnog (poliesterske PET ili poliamidne PA) ili metalnog sastava.[19] Ona koja je korištena u eksperimentalnom dijelu za puni ton ima sljedeća svojstva: Basic, 43 niti po centimetru, promjer niti je 80 mikrometara, bijela sitotiskarska mrežica, obično tkanje te napetost je 14,8 N/cm (slika 24).

Uređaj za manualno otiskivanje tvrtke Bochonow (Drucktisch 2000 50/70) koristio se za otiskivanje QR kodova. Tiskovna forma ima linijaturu od 77 linija po centimetru (SEFAR® PET 1500 77/195-55 PW). Otisnuti uzorci su se sušili na zraku 48 sati pri temperaturi od 25 ± 2 °C nakon tiskanja.



Slika 25: Uzorak QR koda koji se otiskuje [20]

Od 3 uzorka (slika 26), odlučeno je da će se tiskati uzorak na slici gore (slika 25), odnosno razina M, jer Q razina ima previše crnih elemenata koji nisu potrebni za eksperiment. Stranica s koje je izgeneriran QR kod (slika 25) nudi više opcija za generiranje različitih komponenti 2D kodova. Akcija koda može biti od najjednostavnijeg teksta (minimum je jedno slovo), preko web adrese i slanja SMS-a pa sve do zvanja na telefon te izrade vCarda. Stranica može generirati Dana Matrix, Aztec i Micro QR kod, od kojih se najčešće koristi prvi. Nakon što se odabere vrsta akcije i koda, zanimljivo je da se može izmjenjivati veličinu blokova u pikselima kako bi se smanjio, odnosno povećao kod. Veličina margine mora biti najmanje 1, jer QR kod mora imati „tihu zonu“ (*engl.* quiet zone). Boja, odnosno kontrast, je važan aspekt QR koda. Ako je kontrast premalen (pozadina i elementi na kodu su slične boje), velike su

šanse da se QR kod neće moći očitati. I na kraju, kod je moguće izvesti u 5 formata: PNG, PDF, TIFF, SVG i EPS.[20] Veličine koje su bile ponuđene za eksperimentalni dio od lijeva na desno su: 25% tolerancije na oštećenje (Q razina), 7% tolerancije (L razina) te 15% tolerancije (M razina). Tekst koji je napisan je na svima jednak (Lorem Ipsum is simply dummy text of the printing and typesetting industry. Lorem Ipsum has been the industry's standard dummy text ever since the 1500s, when an unknown printer took a galley of type and scrambled it to make a type specimen book.)[21]



Slika 26: Razine oštećenja QR kodova

4.2. Zagrijavanje i očitavanje uzoraka otisnutih termkromnim bojama

4.2.1. Zagrijavanje uzoraka otisnutih termkromnim bojama

Kako bi se QR otisak aktivirao na određenoj temperaturi, potrebno je imati tu temperaturu u prostoriji, odnosno u ovom slučaju na samom otisku na papiru koji je prislonjen na bakrenu pločicu koja se zagrijava na određenu temperaturu. Sustav temperaturne regulacije uzoraka ima bakrenu pločicu za postavljanje uzoraka (toplinska vodljivost bakra iznosi između 385 pa sve do 400 W/mK)[22]. Temperatura na površini mjerne pločice približno je jednaka temperaturi vode u sustavu temperaturne regulacije uzoraka samo kada je podešena temperatura približno jednaka temperaturi okolnog zraka. Ako se mjerenje provodi na vrlo niskim temperaturama (primjerice pri 0°C), stvarna temperatura površine mjerne pločice nekoliko je stupnjeva viša od temperature vode. Ako je okolna temperatura vrlo visoka (primjerice oko 80°C), stvarna temperatura površine mjerne pločice nekoliko je stupnjeva niža od temperature vode.[23]

4.2.2. Aplikacije i njihovo sučelje za očitavanje 2D kodova

Najvažniji dio eksperimenta je očitavanje – nakon odabira 4 različita papira, 3 termokromne boje koje se aktiviraju na različitim temperaturama može se početi skenirati otisak koda. Za skeniranje sam skinuo 3 aplikacije za skeniranje QR koda, te ih usporedio u tablici dolje (tablica 3).

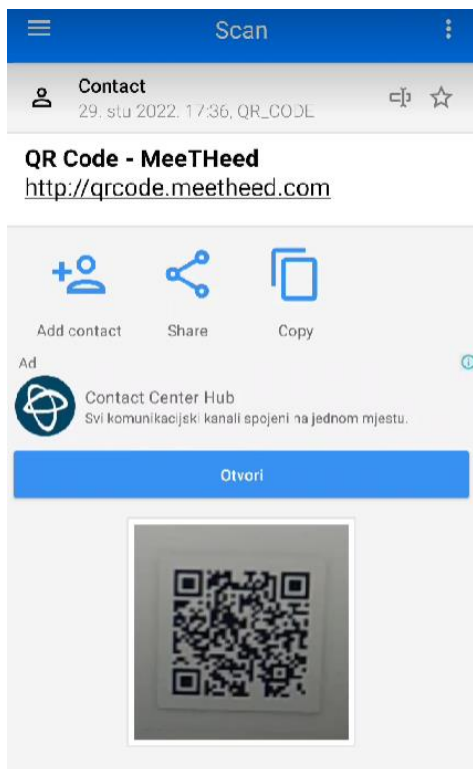
Tablica 3: Informacije o upotrijebljenim skenerima

IKONA APLIKACIJE ZA OČITAVANJE 2D KODOVA			
IME SKENERA	QR & Barcode Scanner	QR skener	Qr Barcode Scanner
VELIČINA APLIKACIJE	35,18 MB	18,64 MB	17,71 MB
BROJ PREUZIMANJA KORISNIKA	Više od 100 milijuna	Više od 100 milijuna	Više od 40 milijuna
DATUM OBJAVLJIVANJA	13.3.2015.	17.6.2016.	7.4.2011.
ZADNJE AŽURIRANO	20.10.2022	3.10.2022.	10.12.2021

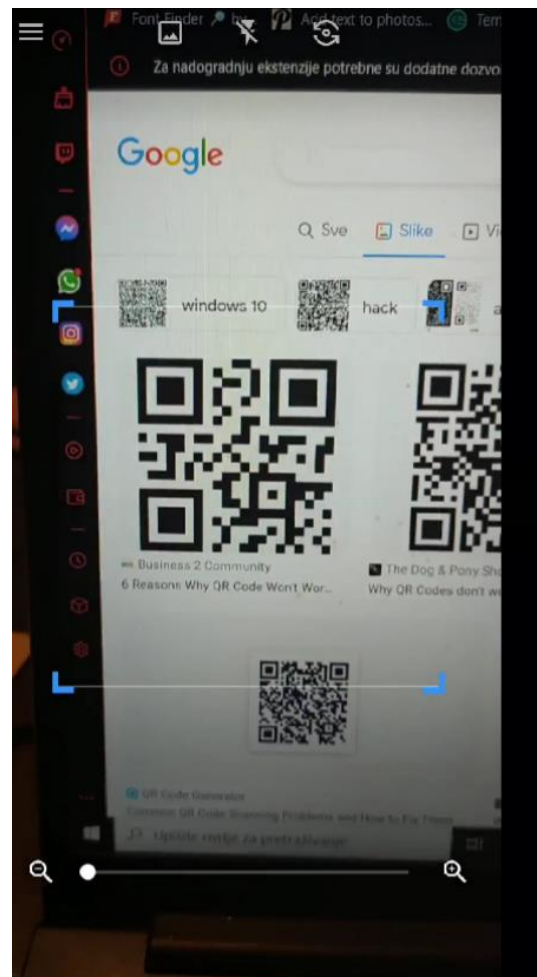
Sve 3 aplikacije se doimaju dobrima za očitavanje zbog toga što su: popularne, relativno male u veličini i predočavaju skeniranje QR koda u svojoj ikoni. Bila je i četvrta opcija, a to je QR skener koji se po zadanom nalazio na mobitelu, ali testiranjem nije radio, iako je QR kod bio dovoljno vidljiv. Kako bi se skratilo pisanje imena svakog skenera, na dalje će se referirati na njih kao prvi, drugi i treći skener, što će se kasnije u tekstu vidjeti.

4.2.2.1. Prvi skener (QR & Barcode Scanner)

Prvi skener (slika 28) je iznimno brz što se tiče skeniranja, brzo pronade kod i očitava ga. Od dodatnih opcija koje ga ističu, izdvojio bi sljedeće: zumiranje (korisnik se ne mora fizički približiti kako bi očitao kod na nekoj oglasnoj tabli, već ova opcija radi dobar posao), očitavanje kodova iz galerije (ako se ne učita odmah kod, nego se slika i ostavi u galeriji slika, aplikacija nudi opciju da se očitava sa slike), kreiranje svog koda unutar aplikacije (prednost je da se ne mora ići na druge stranice, već je sve tu). Jednom kada se skenira, ne preusmjerava se automatski na stranicu, nego pokazuje URL i ime stranice te opciju da se kopira (slika 27). Ostale opcije poput svjetiljke i povijesti skeniranja nisu loše, ali ne bi ih se svrstalo kao nešto što je posebno. Prikaz skenera je na slici 28.



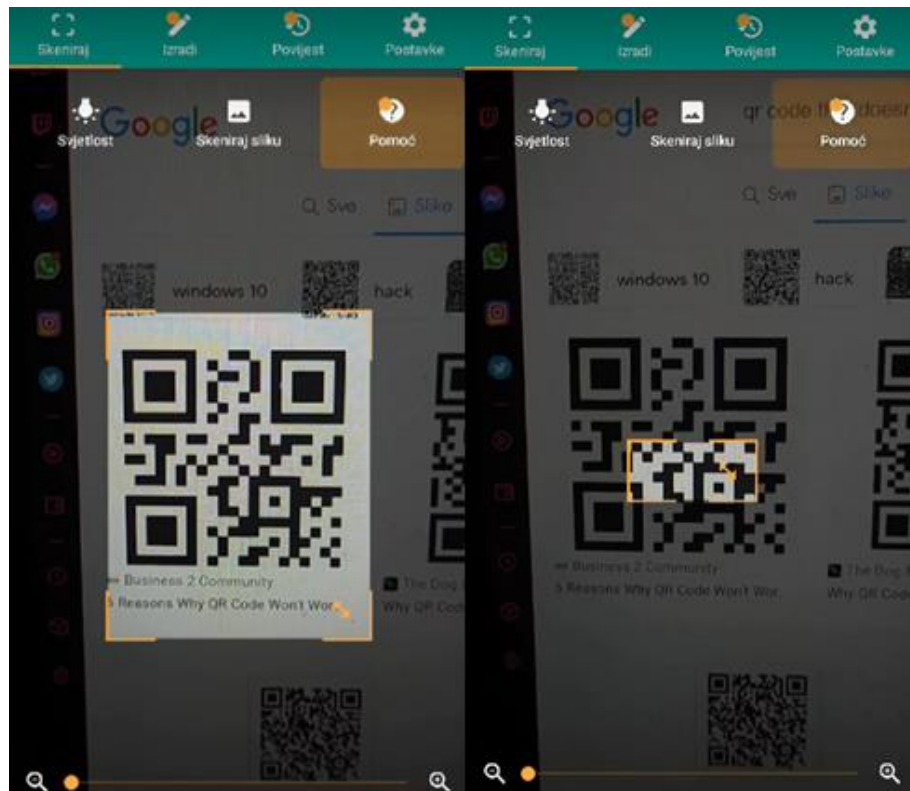
Slika 27: Prikaz očitano URL-a u aplikaciji



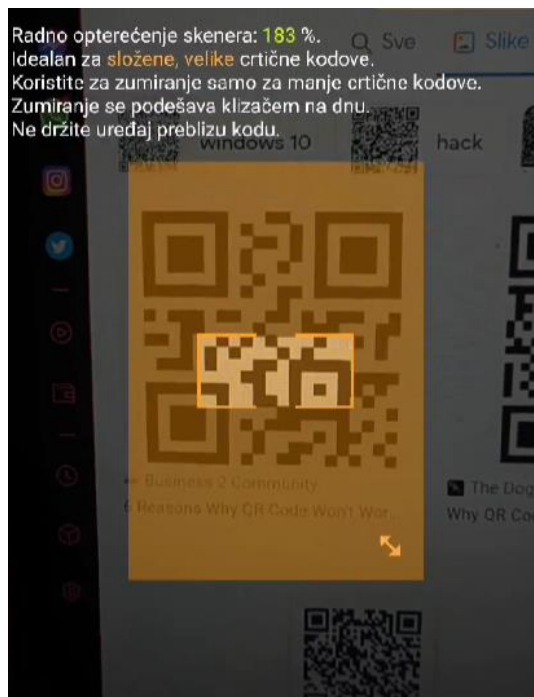
Slika 28: Izgled prvog skenera

4.2.2.2. Drugi skener (QR skener)

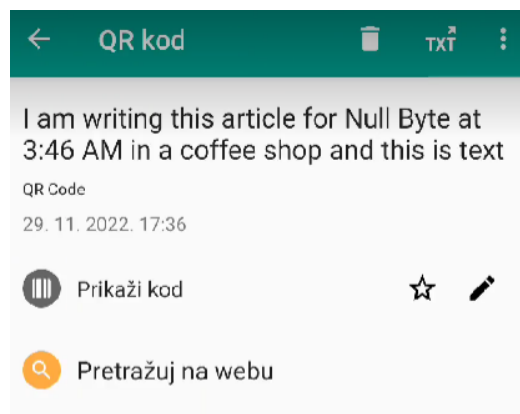
Drugi skener po redu se malo razlikuje od prvog. Ono što ga čini drukčijim je to što se može povećavati i smanjivati zona skeniranja (slika 29 i 30). Uglavnom se preporučuje da, što je kompleksniji QR kod, se skenira s većom zonom i obrnuto. Skener će i dalje raditi ako je zona veća od koda, ali ako je manja, neće očitati. Isto kao kod prošlog skenera, i ovaj može skenirati sliku iz galerije, može se izraditi QR kod. Kada skenira, isto kao i prošli skener, ne preusmjerava automatski, nego pokaže o kakvom sadržaju se radi (ako je tekst, onda je crno ispisano, a ako je link, onda je prikazan u boji aplikacije (tirkizna)) s trenutnim vremenom. Istaknuo bi malu stvar kod ovog skenera, a to je da se može favorizirati kod i dodati napomenu (slika 31).



Slika 29: Namještanje veličine okvira za skeniranje



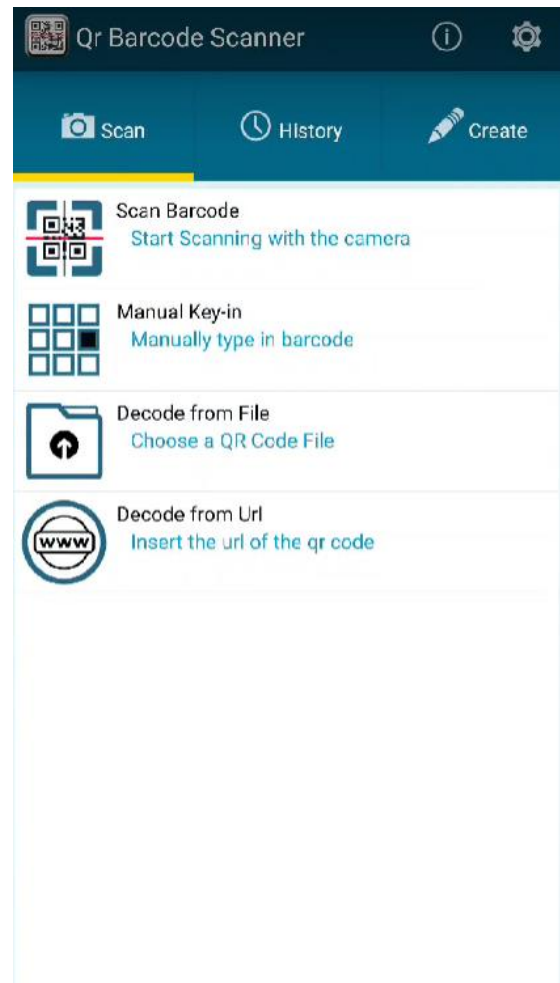
Slika 30: Skener uz povećanje/smanjivanje preporučuje za kakve kodove je veličina zone potrebna



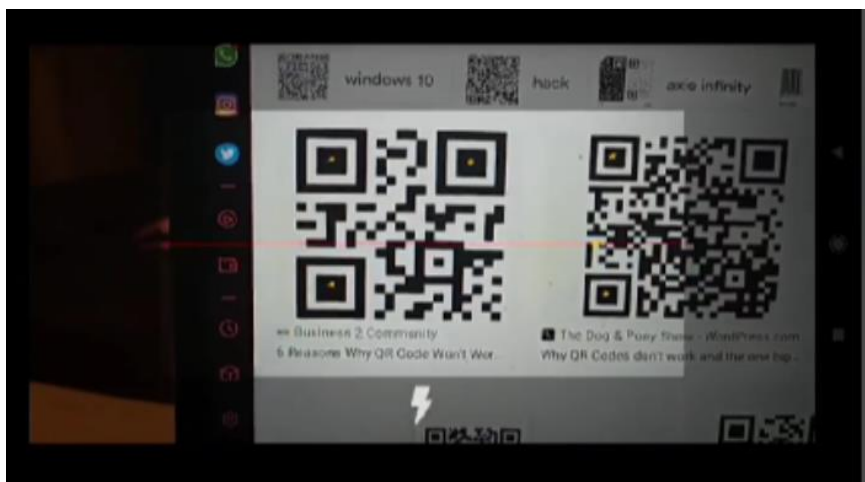
Slika 31: Favoriziranje i napomene u drugom skeneru

4.2.2.3. Treći skener (Qr Barcode Scanner)

Zadnji skener je ujedno i najstariji, a to se vidi po sučelju (slika 32). Ima opcije za skeniranje s kamere ili iz galerije, ali ima i manualno unošenje koda. Ono što se ističe kod ovog skenera je to da se ne može zumirati kad se skenira, a zadan način skeniranja je horizontalan, što je čudno jer se obično slika vertikalno. Za razliku od prethodna 2, ovaj skener je malo „življi“ jer aktivno traži točke skeniranja, što se može uočiti mali narančastim točkicama koje titraju na QR kodu (slika 33). Ponekad mu treba dulje da skenira, što je upravo kontra onome za što se QR kod zalaže – brzost pristupačnosti sadržaja. Ali, ako skener točno skenira i ima toliko preuzimanja, vrijedi ga isprobati i usporediti.



Slika 32: Sučelje trećeg skenera



Slika 33: Aktivne točkice na QR kodu

4.3. REZULTATI I RASPRAVA

Najbitniji dio jest očitavanje QR koda, tj. može li se očitati na specifičnim temperaturama. Na specifikaciji i ambalaži (slika 13) termokromne boje piše da se aktiviraju na 15, 31 i 47 stupnjeva Celzijevih, što znači da kada dosegnu i pređu te temperature, QR kodovi se ne vide. U teoriji bi značilo da ukoliko se posjeduje jedan od gore navedenih QR skenera, utoliko se QR kod može očitati ako je temperatura niža od aktivacijske temperature. U eksperimentalnom dijelu, rezultati se razlikuju od očekivanja. Kodovi su bili skenirani 3 puta, i ako su sva 3 puta pokazali točan rezultat, označeni su s kvačicom (✓). Polja s iksom (✗) označavaju kodove koji su ponekada bili skenirani i više od 3 puta, bilo zbog svjetlosti, pretjeranog pomicanja kamere ili nečeg trećeg, no očitavanje je bilo neuspješno. Eksperiment je proveden, ne samo na jednoj (aktivacijskoj) temperaturi, već je uzet raspon ispod i iznad aktivacijskih temperatura termokromnih boja. Termokromni rasponi mjerenja prikazani su u tablicama.

4.3.1. Kodovi otisnuti s TC 15

Papir:	Navigator 100 g/m ²											
	T(°C)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
čitač												
	1.	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	2.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3.	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Slika 34: Očitavanje sa N 160 papira na TC 15

Papir:	Crush reciklirani 250 g/m ²											
	T(°C)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
čitač												
	1.	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	2.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3.	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Slika 35: Očitavanje sa FC 250 papira na TC 15

Papir:	Weisse reciklirani 80 g/m ²												
	T(°C)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
čitač													
1.		✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
2.		✓	✓	✓	✓	✓	✓	*	✓	✓	✓	✓	
3.		✓ (2/3 točno)	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
								* -teško i puno vremena, ali je uspio očitati					

Slika 36: Očitavanje sa PRW 70 papira na TC 15

Papir:	Evercopy Plus 80 g/m ²											
	T(°C)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
čitač												
1.		✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
2.		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.		✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Slika 37: Očitavanje sa EPR 80 papira na TC 15

Napomena, kod PRW 70 (slika 36), na 16 stupnjeva, drugom QR skeneru je trebalo više vremena, ali je na kraju uspio očitati. Uzrok smetnji nije poznat, s obzirom da je prije i nakon očitavao normalno. Što se tiče trećeg skenera, on je uspio očitati 2 od 3 puta točno na temperaturi od 10 stupnjeva, a taj pogrešan put je izbacio nasumične brojke. Iz rezultata se može očitati da kod termokromne boje od 15 °C drugi skener očitava na svim temperaturama, međutim, trebao bi se zaustaviti na aktivacijskoj temperaturi ili barem stupanj-dva nakon nje. Prvi i treći skener su se zaustavili nešto prije, ali to se može pripisati visokim ljetnim temperaturama tijekom ispitivanja (pa se granica spustila), zbog toga što je eksperimentalni dio bio proveden sredinom srpnja. Osim vrućeg vremena, izazovno je bilo pozicionirati i fiksirati uzorak s QR kodom, a da toplina prstiju ne prijeđe na njega. Ovi faktori se moraju uzeti u obzir kod očitavanja otisnutih kodova (slika 34, 35, 36 i 37). Drugi skener nije trebao uspjati skenirati na toplijim temperaturama, dok je treći nešto manje bio uspješniji od prvog skenera.

4.3.2. Kodovi otisnuti s TC 31

Situacija kod termokromne boje od 31 °C je isto iznenađujuća. Kao što je prije bilo navedeno, nakon što se prijeđe aktivacijska temperatura, QR kod ne bi smio biti čitljiv skeneru. Iz tablica (slika 38, 39, 40 i 41) se vidi da su i prvi i drugi skener radili gotovo bez problema, čak i očitavali nakon 31. stupnja (s tim da im je EPR 80 radio probleme). Kao problem za prijašnju boju, navedeno je da je bilo toplije u prostoriji zbog vremena, ali za ovu boju, to ne bi smjelo utjecati. Što se tiče grešaka kod skenera, treći ima problema s očitavanjem. Jako je bio inkonzistentan kada je očitavao EPR 80, svaku treću temperaturu nije uspio očitati.

Papir:	Navigator 100 g/m ²													
	T(°C)	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
čitač														
	1.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗

Slika 38: Očitavanje sa N 160 papira na TC 31

Papir:	Crush reciklirani 250 g/m ²													
	T(°C)	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
čitač														
	1.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Slika 39: Očitavanje sa FC 250 papira na TC 31

Papir:	Weisse reciklirani 80 g/m ²													
	T(°C)	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
čitač														
	1.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3.	✓	✓	50/50*	✓	✓	✓	**	✓	✓	✓	✓	✗	✗
								** teško počeo očitavati						

Slika 40: Očitavanje sa PRW 70 papira na TC 31

Papir:	Evercopy Plus 80 g/m ²											
	T(°C)	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
čitač												
	1.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3.	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗	(✓	✓ 50/50	✗

Slika 41: Očitavanje sa EPR 80 papira na TC 31

Žuto označena polja označavaju da je skener sporije radio, tj. nije instantno pokazao rezultate, već nakon par sekundi. Narančasta polja označavaju da je skener jedino uspio skenirati kod ako je mobitel bio u horizontalnom položaju, a ne okomitom. Oznakom 50/50 su označena polja koja su nekad dobro skenirala, a drugi put ili nisu ili su krivo izbacivali rezultate, ukratko, skener je imao poteškoće s pravilnim radom.

4.3.1. Kodovi otisnuti s TC 47

Na kraju je došla termokromna boja s aktivacijskom temperaturom od 47 stupnjeva (slika 42, 43, 44 i 45). Bar je tako pisalo na ambalaži. Za početak, temperatura bakrene pločice je stavljena na 42 stupnja, te se povećavala. Kako se povećavala, tako se kodovi nisu mogli očitati, iako su trebali doći do brojke 47. Moguća su dva razloga: papir (kao što je to bilo u slučaju na slici 41) ili kamera mobitela. Drugi skener je opet većinom „dominirao“ u skeniranju.

Papir:	Navigator 100 g/m ²											
	T(°C)	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
čitač												
	1.	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	2.	✓	✓	✓	✓	✓ *	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	3.	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

*(pod određenim kutem)

Slika 42: Očitavanje sa N 160 papira na TC 47

Papir:	Crush reciklirani 250 g/m ²											
	T(°C)	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
čitač												
	1.	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	2.	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	3.	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Slika 43: Očitavanje sa FC 250 papira na TC 47

Papir: Weisse reciklirani 70 g/m ²												
T(°C)		42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
čitač												
	1.	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	2.	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	3.	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Slika 44: Očitavanje sa PRW 70 papira na TC 47

Papir: Evercopy Plus 80 g/m ²												
T(°C)		42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
čitač												
	1.	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	2.	✗	✓	✓	✓ *	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	3.	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
										*počinje biti spor		

Slika 45: Očitavanje sa EPR 80 papira na TC 47

Termokromna boja od 47 stupnjeva se malo drugačije ponaša na FC 250 papiru. Ni jedan skener nije uspio očitati kako treba, iako je ispod aktivacijske temperature, upućujući na to da vjerojatno nije idealna podloga na koju bi se otiskivao QR kod.

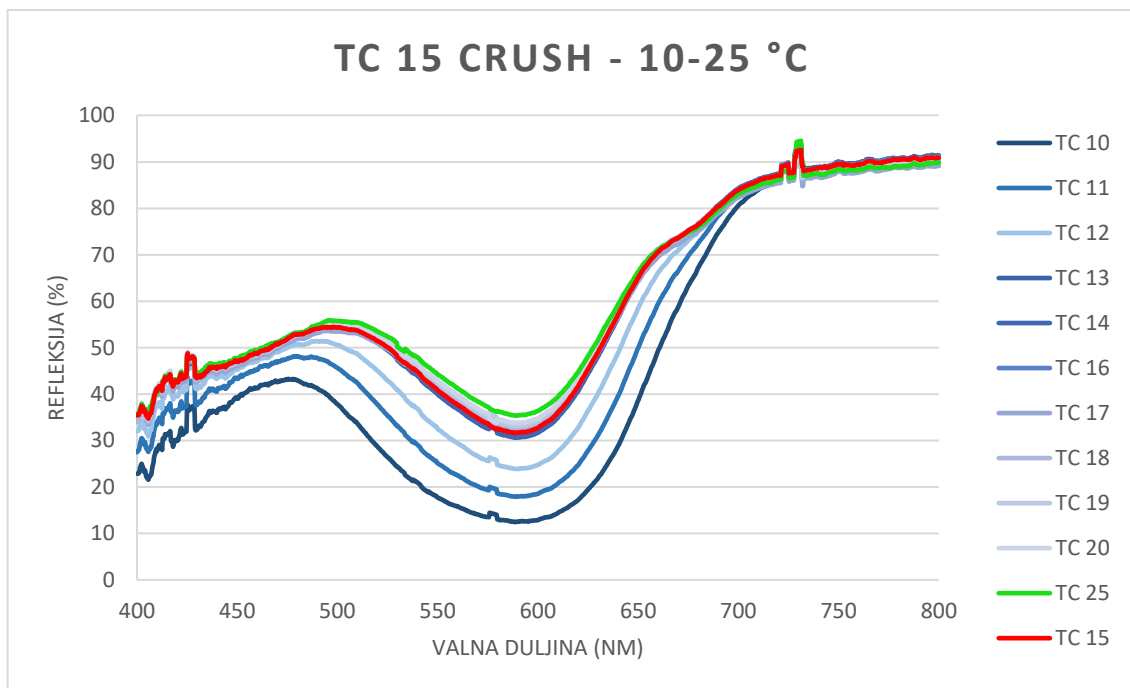
4.4. Refleksijski spektri

Kao u prošlom poglavlju, u svakom dijagramu, spektri refleksije se mjere na definiranoj temperaturi, u temperaturnom rasponu od 5 °C ispod i 5 °C iznad aktivacijske temperature svake termokromne boje. Crvena linija označava aktivacijsku temperaturu kako bi se lakše raspoznala u nizu plavih. Zelena linija je maksimalna temperatura na kojoj se testirao uzorak. Dijagram pokazuje sličan trend izmjerenih uzoraka. Kako temperatura raste, to rezultira višim spektrima refleksije i povećanjem svjetline. Upravo ove dinamičke promjene od termokromne boje utječu na čitljivost QR kodova ispisanih njima, što je prikazano na slikama od 34 do 45 u prošlim poglavljima.

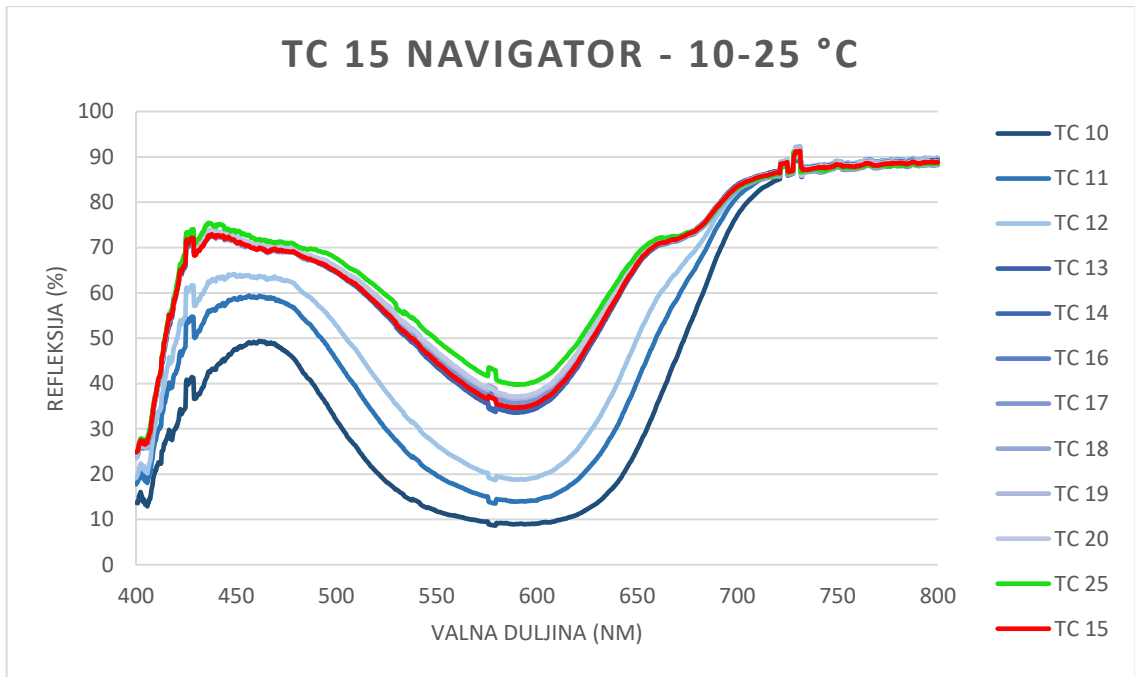
Refleksijski spektar na aktivacijskoj temperaturi od 15 °C na svim papirnatim podlogama (slika 46, 47, 48 i 49) pokazuje veću međusobnu razliku između uzoraka mjerenih na nižim temperaturama (10, 11 i 12 °C). Ostale temperature rezultiraju prilično uskim područjem izmjerenih spektara refleksije, preklapajući se s aktivacijskim temperaturama uzoraka za sve podloge. Sličan učinak može se primijetiti za termokromnu boju od 31°C koja je tiskana na EPR 80 i PRW 70 papirima

(slika 52 i 53), gdje su spektri refleksije uzoraka izmjereni na 26, 27 i 28 °C više odvojeni od ostatka uzoraka, dok većina preklapa uski raspon spektara. Uzorci tiskani s termokromnom bojom od 31°C na N 160 i FC 250 papirima pokazuju relativno ravnomjernu distribuciju spektra refleksije, ali aktivacijska temperatura se gotovo potpuno preklapa sa susjednim temperaturama.

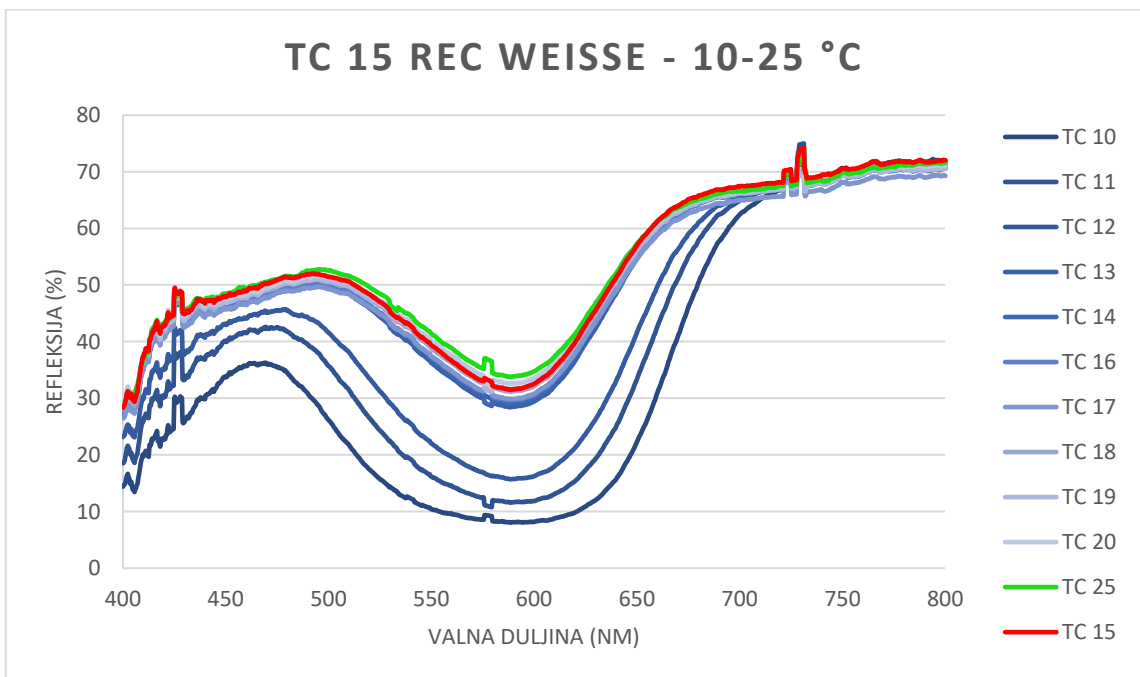
Najjasnije međusobne razlike između uzoraka izmjerenih unutar definiranog temperaturnog raspona prikazane su na slikama 54, 55, 56 i 57, za uzorke otisnute s termokromnom bojom na 47°C, uz manju iznimku supstrata na papiru EPR 80. Ovi rezultati usko su povezani s čitljivošću QR kodova tiskanih sa termokromnom bojom, što je objašnjeno u prošlom poglavlju.



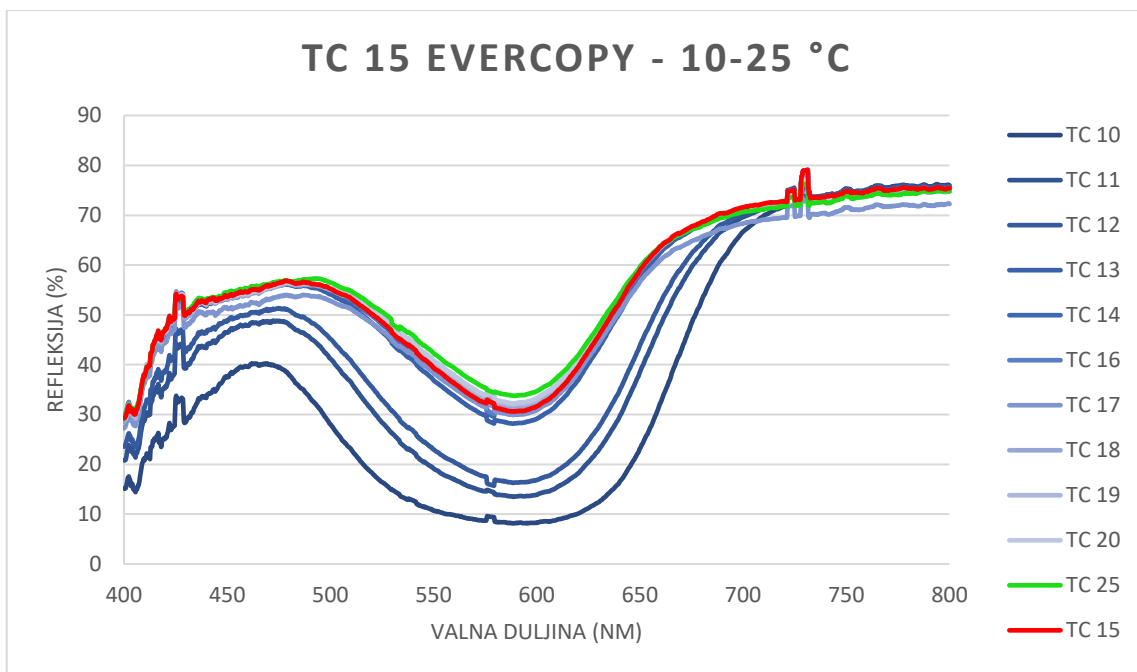
Slika 46: Dijagram refleksijskih spektara TC 15 otisnute na FC 250



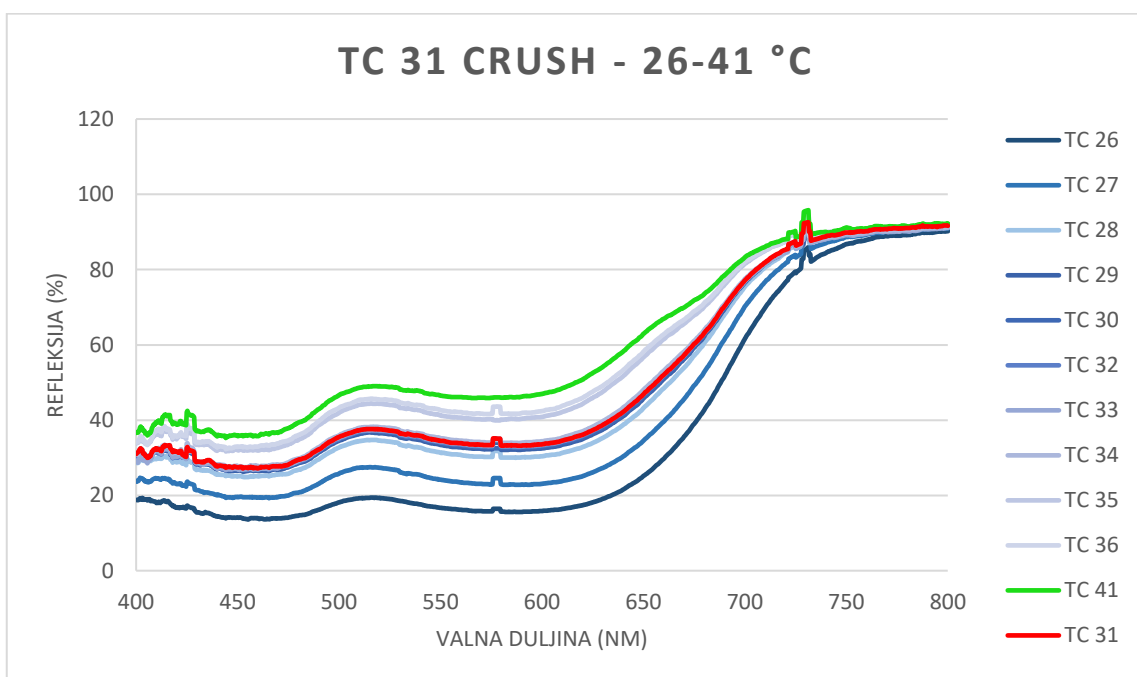
Slika 47: Dijagram refleksijskih spektara TC 15 otisnute na N 160



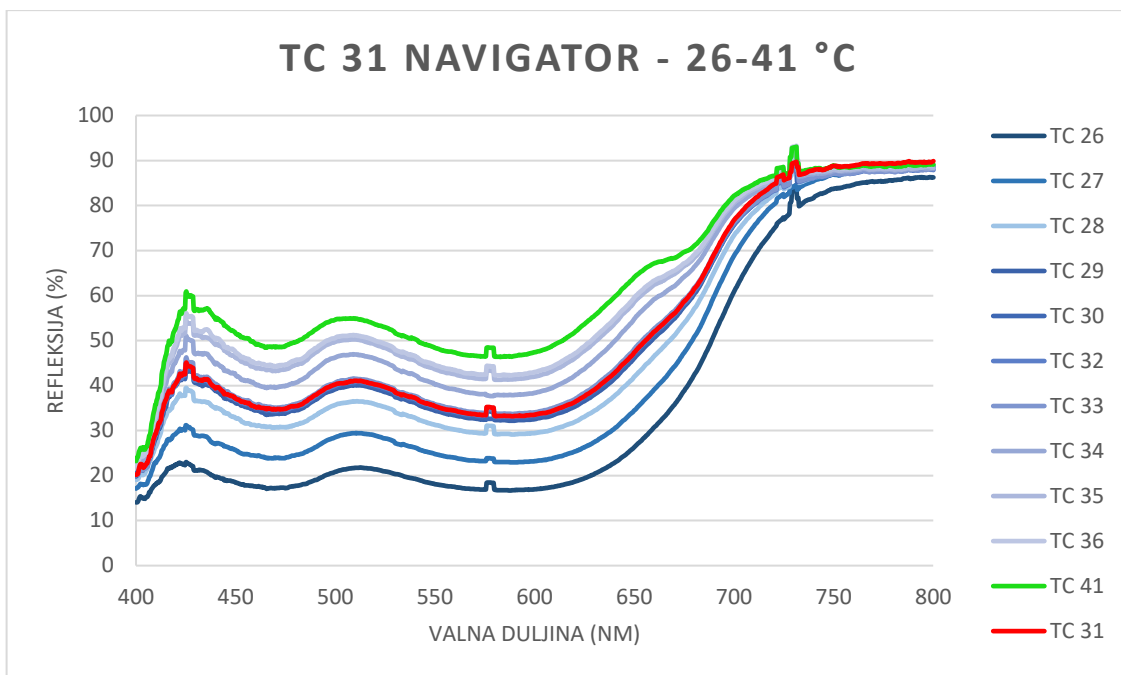
Slika 48: Dijagram refleksijskih spektara TC 15 otisnute na PRW 70



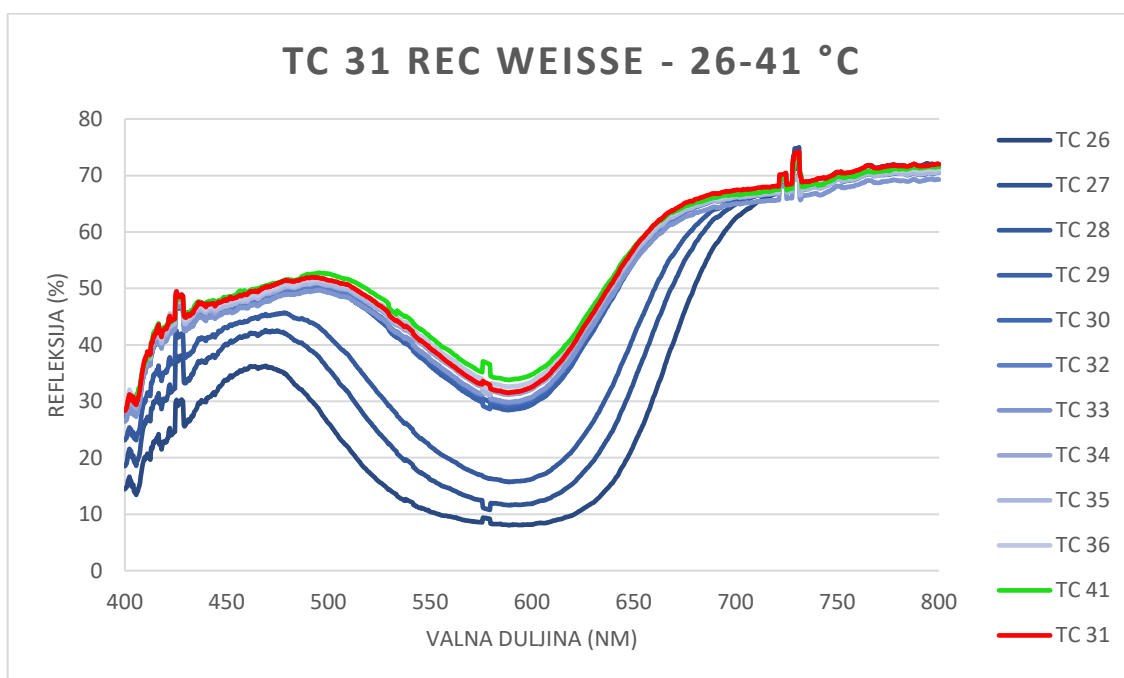
Slika 49: Dijagram refleksijskih spektara TC 15 otisnute na EPR 80



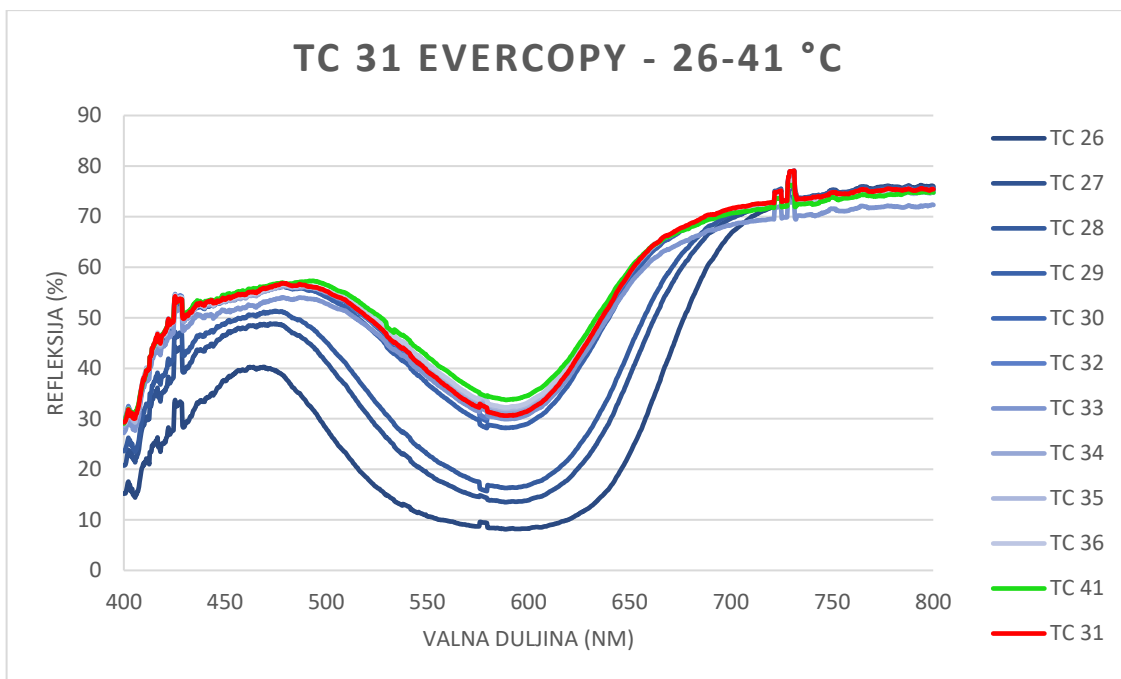
Slika 50: Dijagram refleksijskih spektara TC 31 otisnute na FC 250



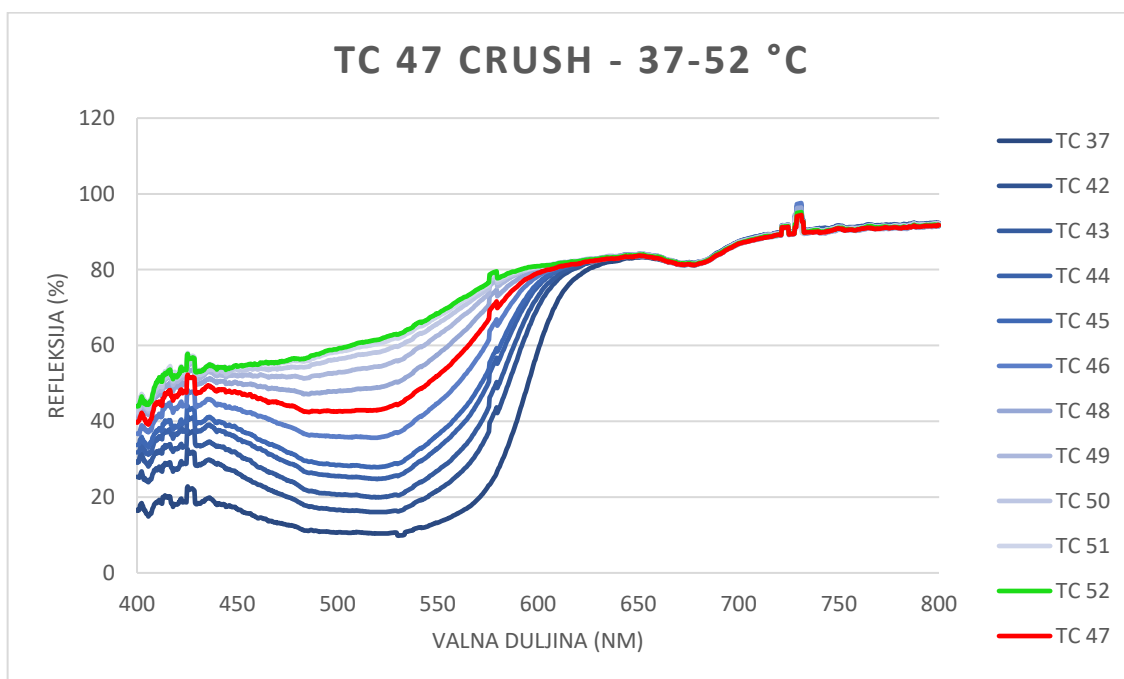
Slika 51: Dijagram refleksijskih spektara TC 31 otisnute na N 160



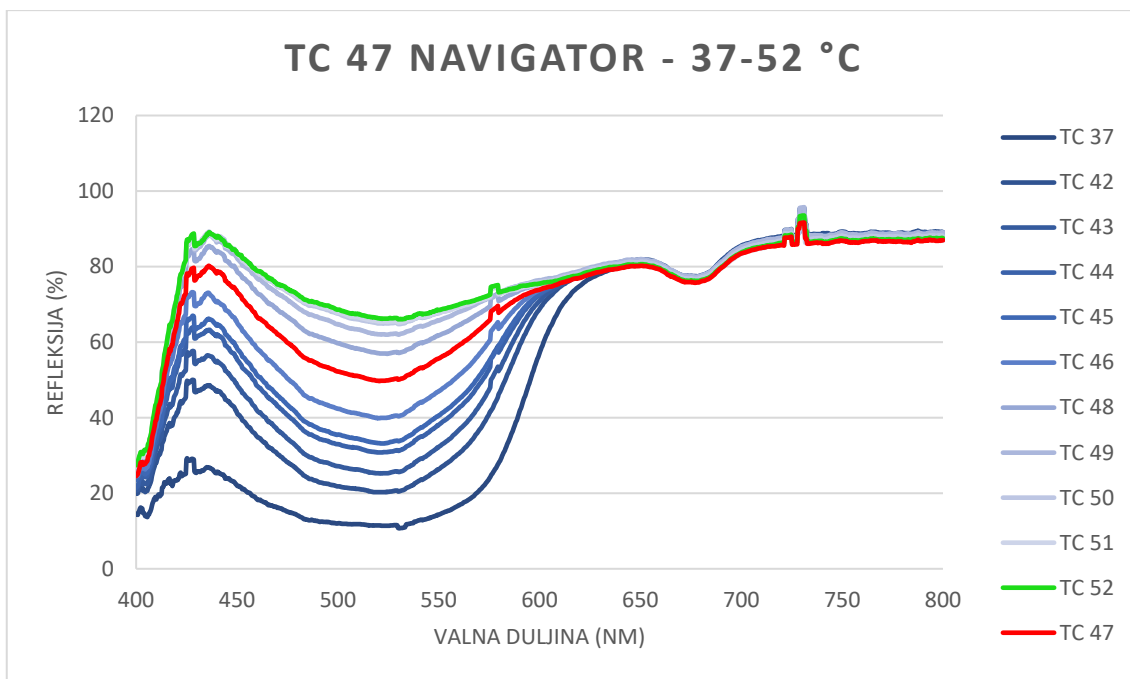
Slika 52: Dijagram refleksijskih spektara TC 31 otisnute na PRW 70



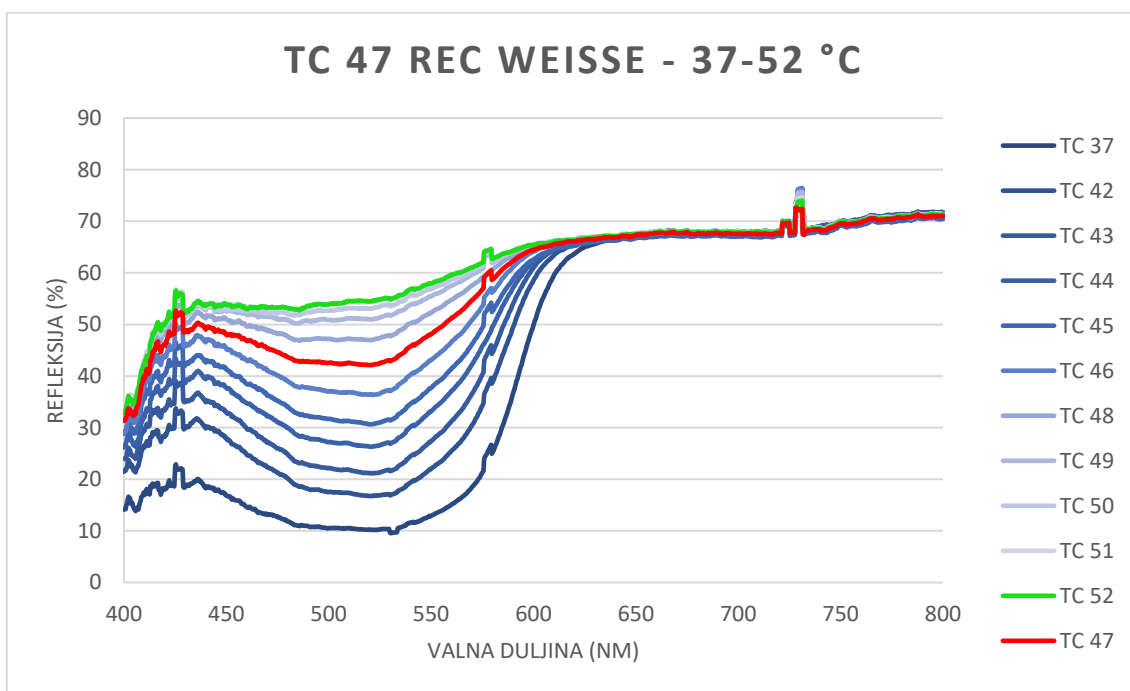
Slika 53: Dijagram refleksijskih spektara TC 31 otisnute na EPR 80



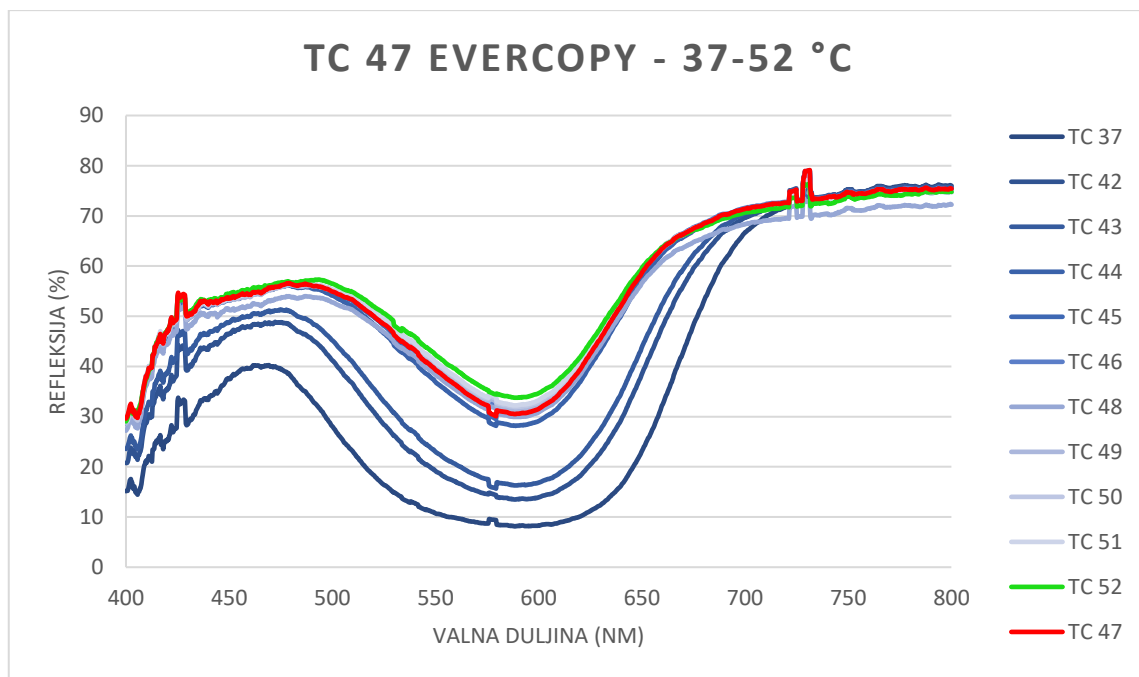
Slika 54: Dijagram refleksijskih spektara TC 47 otisnute na FC 250



Slika 55: Dijagram refleksijskih spektara TC 47 otisnute na N 160



Slika 56: Dijagram refleksijskih spektara TC 47 otisnute na PRW 70



Slika 57: Dijagram refleksijskih spektara TC 47 otisnute na EPR 80

5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi koji temperaturni raspon određene termokromne boje omogućuje čitljivost 2D kodova u predloženim pametnim oznakama (*engl.* Smart Tags). Rezultati su pokazali da predložene aplikacije za QR kodove tiskane termokromnim bojama nisu funkcionalne za ispitane boje TC 15 i TC 31. Komponenta Smart Tag sustava kroz TC boje nije ispunila kriterij promjene boje unutar određenog temperaturnog raspona, što je negativno utjecalo na čitljivost QR kodova. Međutim, termokromna boja TC 47 djelomično je zadovoljila kriterije funkcionalnosti, kako je vidljivo u slučajevima N 160 i EPR 80 papira. Svaki faktor koji utječe na funkcionalnost Smart Tag sustava treba biti poznat i ponovljiv kako bi se ostvarila njegova svrha. Osim toga, u obzir treba uzeti utjecaj sobne temperature i temperature pakiranog proizvoda, kao faktore koji utječu na funkcionalnost aplikacije. Treba također uzeti u obzir debljinu tiskovne podloge i eventualna barijerna svojstva ambalaže s ovom vrstom pametnih oznaka. Potrebna je detaljna prilagodba i ispitivanje svih elemenata koji čine Smart Tagove kako bi se ostvarila njihova potpuna funkcija. Razumijevanje

funkcionalnih sposobnosti materijala za Smart Tagove moglo bi dovesti do češće komercijalne upotrebe pametnih oznaka u budućnosti. Faktori kao što su kvaliteta kamere na mobitelu i performanse aplikacije za skeniranje koda također utječu na sposobnost očitavanja informacija s pametnih oznaka, stoga ih je potrebno uzeti u obzir u budućim istraživanjima.

6. LITERATURA

- [1] https://moodle.srce.hr/2021-2022/pluginfile.php/6264768/mod_resource/content/1/Kromogene%20tiskarske%20boje%20tekst.pdf, pristup 11.11.2022.
- [2] <https://patents.google.com/patent/JP6130438B2/en>, pristup 15.12.2022
- [3] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/thermochromic-dye>, pristup 12.12.2022.
- [4] Rahela Kulčar, Kolorimetrijska analiza i parametri stabilnosti UV - termokromnih boja, doktorska disertacija, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2010., dostupno na: <https://eprints.grf.unizg.hr/1428/1/Doktorski%20rad%20Kulcar%20Rahela.pdf>, pristup 3.12.2022.
- [5] <https://www.ctiinks.com/thermochromic-ink-food-branding>, pristup 5.12.2022.
- [6] <https://www.efficacy.com/definitions/trigger-marketing/>, pristup 26.12.2022.
- [7] <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/3059/thermochromic-colors-in-textiles>, pristup 5.12.2022.
- [8] <https://spotsee.io/technologies/liquid-crystal-formulations>, pristup 15.12.2022.
- [9] <https://www.lcrhallcrest.com/liquid-crystal-formulation-types/>, pristup 15.12.2022.
- [10] <https://www.ctiinks.com/thermochromic-ink>, pristup 5.12.2022.
- [11] <https://www.foodanddrinktechnology.com/news/28635/cti-introduces-thermochromic-packaging-inks/>, pristup 8.12.2022.

- [12] <https://www.hhgrfx.com/special-effects-screen-printing-uv-coating-blog/thermochromic-printing-reveal-video/>
- [13] <https://www.castlepress.com/page/qr-codes-what-are-they>, pristup 11.12.2022.
- [14] <https://onix-systems.com/blog/how-to-implement-qr-code-for-payments> , pristup 11.12.2022.
- [15] <https://www.proquest.com/docview/1923728384>
- [16] <https://www.sfxc.co.uk/pages/about-us> , pristup 20.12.2022.
- [17] Strižić Jakovljević, M., Mahović Poljaček, S., Tomašegović, T., Vesel, A. & Gunde, M.K. (2022) Readability of 2D codes considering the activation temperature of thermochromic printing inks in smart tags
- [18] Gojo M., Mahović Poljaček S. (2013). Osnove tiskovnih formi, Sveučilište u zagrebu, Grafički fakultet, Zagreb
- [19] https://moodle.srce.hr/2021-2022/pluginfile.php/6159067/mod_resource/content/1/MTT%20predavanje7a.pdf , pristup 27.12.2022.
- [20] <https://keremerkan.net/qr-code-and-2d-code-generator/> , pristup 31.12.2022.
- [21] <https://www.lipsum.com> , pristup 30.12.2022.
- [22] <https://collegedunia.com/exams/thermal-conductivity-of-copper-propertiestesting-methods-application-physics-articleid-941> , pristup 9.12.2022.
- [23] Strižić Jakovljević, M.,(2018) Termokromne tiskarske boje na bazi tekućih kristala, pristup 12.12.2022.

Popis slika

Slika 1. TLC promjena boje po temperaturama [9]

Slika 2. SCB promjena boje sa temperaturom [9]

Slika 3. Tip TLC na termometrima hladnjaka koji prikazuje riječ "OK" kada je temperatura ispod 7,5°C [9]

Slika 4. SCA promjena boje sa temperaturom [9]

Slika 5. TLC koji se koristi u naljepnici koja prikazuje simbol upozorenja kada je temperatura iznad 50°C [9]

Slika 6. RGB TLC „termometar“ [9]

Slika 7. Termokromna ambalaža na čokoladi [11]

Slika 8. Otkrivanje informacija na posjetnici putem topline ruku [12]

Slika 9. Termokromna boja na kutiji za pizzu [10]

Slika 10. Primjena TCI na svijeći (vlastita slika)

Slika 11. Indikator temperature svjetiljke (vlastita slika)

Slika 12. 2D kodovi kroz godine [15]

Slika 13. Termokromne boje koje su korištene za eksperimentalni dio [16]

Slika 14. Miješanje TC 15 s vezivom (vlastita slika)

Slika 15. Količina TC boje koja se nanosila za tisak 12 QR kodova (vlastita slika)

Slika 17. Sušenje i osvjetljavanje tiskovne forme (vlastita slika)

Slika 18. Emulzija u koritu (vlastita slika)

Slika 19. Premaz sita sa emulzijom (vlastita slika)

Slika 20. Papiri za otiskivanje na sitotiskarskom stolu (vlastita slika)

Slika 21. Protiskivanje boje rakelom (vlastita slika)

- Slika 22. Puni ton na sva 4 papira (vlastita slika)
- Slika 23. Krupni plan punog tona (vlastita slika)
- Slika 24. Sitotiskarski stol i sito s uzorkom kvadrata (punog tona) (vlastita slika)
- Slika 25. Uzorak QR koda koji se otiskuje [20]
- Slika 26. Razine oštećenja QR kodova (vlastita slika)
- Slika 27. Prikaz očitanoog URL-a u aplikaciji (vlastita slika)
- Slika 28. Izgled prvog skenera (vlastita slika)
- Slika 29. Namještanje veličine okvira za skeniranje (vlastita slika)
- Slika 30. Skener uz povećanje/smanjivanje preporučuje za kakve kodove je veličina zone potrebna (vlastita slika)
- Slika 31. Favoriziranje i napomene u drugom skeneru (vlastita slika)
- Slika 32. Sučelje trećeg skenera (vlastita slika)
- Slika 33. Aktivne točkice na QR kodu (vlastita slika)
- Slika 34. Očitavanje sa N 160 papira na TC 15 (vlastita slika)
- Slika 35. Očitavanje sa FC 250 papira na TC 15 (vlastita slika)
- Slika 36. Očitavanje sa PRW 70 papira na TC 15 (vlastita slika)
- Slika 37. Očitavanje sa EPR 80 papira na TC 15 (vlastita slika)
- Slika 38. Očitavanje sa N 160 papira na TC 31 (vlastita slika)
- Slika 39. Očitavanje sa FC 250 papira na TC 31 (vlastita slika)
- Slika 40. Očitavanje sa PRW 70 papira na TC 31 (vlastita slika)
- Slika 41. Očitavanje sa EPR 80 papira na TC 31 (vlastita slika)
- Slika 42. Očitavanje sa N 160 papira na TC 47 (vlastita slika)
- Slika 43. Očitavanje sa FC 250 papira na TC 47 (vlastita slika)
- Slika 44. Očitavanje sa PRW 70 papira na TC 47 (vlastita slika)

Slika 45. Očitavanje sa EPR 80 papira na TC 47 (vlastita slika)

Slika 46. Dijagram refleksijskih spektara TC 15 otisnute na FC 250 (vlastita slika)

Slika 47. Dijagram refleksijskih spektara TC 15 otisnute na N 160 (vlastita slika)

Slika 48. Dijagram refleksijskih spektara TC 15 otisnute na PRW 70 (vlastita slika)

Slika 49. Dijagram refleksijskih spektara TC 15 otisnute na EPR 80 (vlastita slika)

Slika 50. Dijagram refleksijskih spektara TC 31 otisnute na FC 250 (vlastita slika)

Slika 51. Dijagram refleksijskih spektara TC 31 otisnute na N 160 (vlastita slika)

Slika 52. Dijagram refleksijskih spektara TC 31 otisnute na PRW 70 (vlastita slika)

Slika 53. Dijagram refleksijskih spektara TC 31 otisnute na PRW 70 (vlastita slika)

Slika 54. Dijagram refleksijskih spektara TC 47 otisnute na FC 250 (vlastita slika)

Slika 55. Dijagram refleksijskih spektara TC 47 otisnute na N 160 (vlastita slika)

Slika 56. Dijagram refleksijskih spektara TC 47 otisnute na PRW 70 (vlastita slika)

Slika 57. Dijagram refleksijskih spektara TC 47 otisnute na EPR 80 (vlastita slika)

Popis tablica

Tablica 1. Osnovne informacije o korištenim termokromnim bojama

Tablica 2. Specifikacije papira korištenih u eksperimentalnom dijelu rada

Tablica 3. Informacije o upotrijebljenim skenerima