

Usporedba otpornosti računa na plavom i bijelom termičkom papiru

Kralj, Magdalena

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:024667>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD

Magdalena Kralj

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

Smjer: Dizajn grafičkih proizvoda

ZAVRŠNI RAD

USPOREDBA OTPORNOSTI RAČUNA NA
PLAVOM I BIJELOM TERMIČKOM PAPIRU

Mentorica:

izv. prof. dr. sc. Ivana Plazonić

Studentica:

Magdalena Kralj

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET

Getaldićeva 2

Zagreb, 11. 9. 2023.

Temeljem podnjetog zahtjeva za prijavu teme završnog rada izdaje se

RJEŠENJE

kojim se studentu/ici Barbari Bedi, JMBAG 0128065431, sukladno čl. 5. st. 5. Pravilnika o izradi i obrani završnog rada od 13.02.2012. godine, odobrava izrada završnog rada, pod naslovom: Zastupljenost ambalaže s FSC certifikatom na hrvatskom tržištu, pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Ivane Plazonić.

Sukladno čl. 9. st. 1. Pravilnika o izradi i obrani završnog rada od 13.02.2012. godine, Povjerenstvo za nastavu, završne i diplomske ispite predložilo je ispitno Povjerenstvo kako slijedi:

1. prof. dr. sc. Barbarić - Mikočević Željka, predsjednik/ica
2. izv. prof. dr. sc. Plazonić Ivana, mentor/ica
3. doc. dr. sc. Rudolf Maja, član/ica

Dekan
Prof. dr. sc. Klaudio Pap



SAŽETAK

Predmet istraživanja ovog rada je usporedba plavih termičkih papira i bijelih termičkih papira koji se svakodnevno upotrebljavaju za ispis računa u restoranima, na prodajnim mjestima, lutriji, itd. Termički papiri su papiri koji imaju termički aktivni premaz koji pod utjecajem topline pisača s termalnom glavom za ispis stvara određenu reakciju, odnosno omogućava ispis. Usporedba plavih i bijelih termičkih papira provodila se na temelju karakteristika neotisnutih papira poput gramature, debljine, glatkosti, spektrofotometrijskih vrijednosti i svjetline, te na otiscima odnosno računima iz dvije trgovine u Zagrebu ispitivanjem mehaničke stabilnosti (otiranja), kemijske stabilnosti (na vodu) i stabilnosti na svjetlost (starenja). Određivanje stabilnosti otisaka temeljila se na promjeni kolorimetrijskih vrijednosti papira i otisaka prije i nakon njihova izlaganja određenom tretmanu. Kolorimetrijske promjene boje papira i otisaka vidljivi su znak degradacije njihove kvalitete koja otiranjem, kontaktom s vodom te starenjem mogu biti više ili manje izražene.

Ključne riječi: Termički papir, karakteristike papira, otisci, starenje, otiranje, kemijska stabilnost

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
1.1.	Izbor problema za završni rad	1
1.2.	Cilj i zadaci završnog rada	2
2.	TEORIJSKI DIO	3
2.1.	Struktura termičkog papira	3
2.2.	Princip otiskivanja	6
2.3.	Upotreba termičkih papira	7
3.	EKSPERIMENTALNI DIO	9
3.1.	Plan i metodologija ispitivanja	9
3.2.	Materijali	11
3.3.	Korišteni uređaji	12
3.3.1.	<i>Analitička vaga</i>	12
3.3.2.	<i>Elektronički ručni mikrometar</i>	13
3.3.3.	<i>Uređaj za mjerenje glatkosti</i>	13
3.3.4.	<i>Spektrofotometar</i>	14
3.3.5.	<i>Uređaj za mjerenje svjetline</i>	14
3.3.6.	<i>Sušionik</i>	15
3.3.7.	<i>Tribometar Hanatek</i>	15
4.	REZULTATI I RASPRAVA	17
4.1.	Karakteristike termičkih papira	17
4.2.	Stabilnosti ispisanih termičkih papira (postojanost računa)	17
4.2.1.	<i>Stabilnost na vodu (kemijska stabilnost)</i>	17
4.2.2.	<i>Stabilnost na svjetlost</i>	20
4.2.3.	<i>Stabilnost na pritisak (mehanička stabilnost)</i>	23
5.	ZAKLJUČCI	25
6.	LITERATURA	26

1. UVOD

1.1. Izbor problema za završni rad

U današnjem svijetu uporaba termičkih papira je svakodnevna. Susret s njima je doslovno neizbježan jer su na njima ispisani računi koji se dobivaju u trgovinama pri svakoj kupnji, restoranima, kafićima, kioscima i bilo kakvim drugim prodajnim mjestima. Budući da se danas svijet sve više okreće prema ekološki prihvatljivijim rješenjima, tako se mogu pronaći i reciklirani termički papiri. Razlog odabira ove teme jest nedovoljna istraženost područja, interes prema provjeri istinitosti prezentiranja brojnih prednosti plavog termičkog papira u odnosu na bijeli.

U početku mi nije bilo poznato da su računi s kojima je susret svakodnevno zapravo ispis na termičkim papirima koji nastaje pod utjecajem topline, već sam smatrala da računi nastaju otiskivanjem tintom. Stoga mi je interes za temu istraživanja porastao jer mi je bilo fascinirajuće da je ispis računa zapravo promjena na površini papira pod utjecajem topline. Eksperimentalni pristup istraživanju mi je bio posebice privlačan iz razloga što su se provodila testiranja, promatranja i ispitivanja na neispisanom i ispisanom termičkom papiru. Reakcije pojedinog termičkog papira na određena ispitivanja, hoće li doći do promjena ili neće, te hoće li ukoliko dođe do promjena one biti vidljive prostim okom ili ne podizale su moj interes za tematiku ovog istraživanja.

Rad je uključivao i rad na terenu, što je značilo prikupljanje dovoljnog broja računa iz trgovina kako bi se eksperiment mogao provesti. Za potrebe ovog istraživanja prikupljeno je dvadeset plavih računa iz trgovine Lidl i dvadeset bijelih računa iz trgovine Konzum. Računi su se prikupljali dva tjedna prije početka provedbe eksperimenta kako bi bili približne starosti i što kraće izloženi utjecaju atmosferilija.

Plavi računi se već neko vrijeme koriste u svim trgovinama Lidla i ponekad u trgovinama Kauflanda, a glavni razlog orijentiranosti tih trgovina na korištenje plavih termičkih papira za ispis računa je velika pažnja posvećenosti zaštiti okoliša. Plavi papiri se predstavljaju kao reciklirani, odnosno napravljeni iz održivog razvoja, sadržavaju postojeće boje koje su otporne na svjetlost, ulje i kišu, što znači da je izdržljiv, odnosno slova na njemu ne mogu izbljediti [1], te se može reciklirati jer za razliku od bijelog ne sadrži bisfenolA (BPA). Osim toga, rola na koju je plavi papir namotan više nije od plastike što ga opet čini prihvatljivijim za okoliš. Te informacije se nalaze na poleđini plavog računa koji se izdaje prilikom svake kupovine u trgovinama Lidla te se na temelju njih doznalo za njegove glavne karakteristike.

Budući da se plavi termički papir predstavlja kao kvalitetan i postojan papir, nameće se pitanje je li uistinu bolji, otporniji i izdržljiviji od bijelog termičkog papira, što na kraju dovodi i do potrebe za usporedbom tih dvaju na hrvatskom tržištu dostupnih termičkih papira. Poznato je da se plavi termički papir već pri samom dodiru s ljudskom rukom te presavijanjem ošteti, odnosno vidljive su linije oštećenja pa papir izgleda kao da je izguben, dok kod bijelog termičkog papira to nije slučaj. Već ta početna pokazivanja otpornosti plavog termičkog papira prema samom fizičkom kontaktu dovode do znatiželje i željom za istraživanjem ove teme, budući da se upravo on predstavlja kao jako otporan. Iz tog razloga ne djeluje tako kvalitetno kao što se govori pa tako dolazi do ovog eksperimenta.

1.2. Cilj i zadaci završnog rada

Cilj završnog rada jest usporediti karakteristike plavog i bijelog termičkog papira koji se svakodnevno koriste, te pokazati je li plavi papir uistinu otporan i postojan u kontaktu sa svjetlosti i vodom, te je li mehanički stabilan. U tu svrhu određivat će se iste karakteristike na identičnim uređajima pri istim laboratorijskim uvjetima, a rezultati provedenih mjerenja prikazat će se kao srednja vrijednost 10 mjerenja.

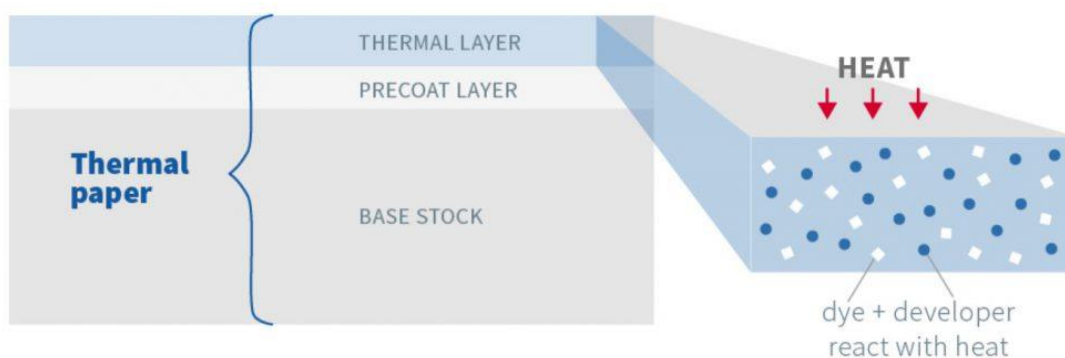
Pretpostavlja se da će bijeli termički papir biti stabilniji i postojaniji u odnosu na plavi iz razloga što plavi termički papir na prvi pogled ne djeluje kvalitetnije od bijelog. Osim toga, bijeli termički papir još uvijek znatno prevladava u uporabi u odnosu na plavi jer većina prodajnih mjesta upravo koristi bijeli termički papir za ispis računa. Ne zna se točno razlog zašto plavi termički papir nije u masovnijoj uporabi, no u slučaju da se plavi termički papir ne pokaže kao kvalitetan, to bi mogao biti jedan od razloga.

Ovim istraživanjem dobit će se bolji uvid u postojanost računa koji se izdaje na termičkom papiru. Utvrdit će se je li termički papir otporan na vodu i izlaganju svjetlosti, te razmaže li se otisak prilikom diranja papira ili isti ostaje postojan. Također, bitna je i kvaliteta ispisa na termičkom papiru koja se odnosi na to da su ispisani elementi jasni, čitljivi i što veće rezolucije. Osim toga vrlo je bitno da ispisani elementi ne izbljede s vremenom. Obilježje koje se također odnosi na termički papir jest to da je sveobuhvatan jer se može primjenjivati u raznim područjima, na razne načine.

2. TEORIJSKI DIO

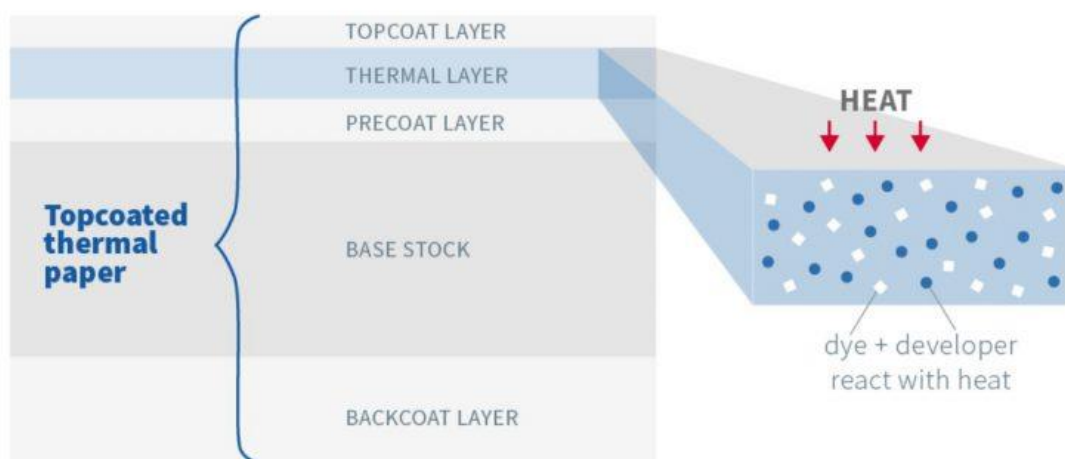
2.1. Struktura termičkog papira

Iako je izgledom vrlo sličan običnom bijelom papiru, termički papir je strukturno različit jer se sastoji od nekoliko slojeva te na površini sadrži posebnu vrstu premaza (Slika 1). To su bazični papir, predsloj i na vrhu se nalazi premaz koji reagira na toplinu. Prvi sloj termičkog papira je bazični papir posebno razvijen za tehnologiju termičkog papira, a na njega dolazi predsloj koji poboljšava toplinsku izolaciju, glatkoću, ujednačenost i učvršćivanje termičkog sloja. Najbitniji dio je termički sloj koji se sastoji do termokromnih boja na bazi leuco bojila koja nije odvojena mikrokapsulama, a kemijska reakcija je u "latentnom" stanju. Upravo su ona zaslužna za crnu boju koja se pojavi na termičkom papiru prilikom otiskivanja, a najvažnije komponente su joj pigment, razvijач i organske kiseline. Kristalno ljubičasti lakton (CVL), trifluoroalkil ftalidni sustav, fluoran, bezbojni benzoilmetilenski plavi (BLMB) ili spiropiranski sustav najčešće se kao bezbojne boje. Para-hidroksibenzojeva kiselina i njeni esteri (PHBB, PHB), salicilna kiselina, 2,4-dihidroksibenzojeva kiselina ili aromatski sulfon se upotrebljavaju kao razvijачi [2]. Jedan od najčešće korištenih razvijачa u ovim bojama je bisfenolA (BPA) ili njegova zamjena bisfenolS (BPS). S obzirom na to da je riječ o štetnoj kemikaliji njegova upotreba se pokušava smanjiti, stoga postoje i papiri bez BPA ili BPS premaza [3]. Svrha toplinskog sloja je proizvesti tekst ili slike s toplinskom reakcijom. U praksi, papir postaje crn u zagrijanim područjima zbog ovog sloja s kemikalijama poput boje, razvijачa i senzibilizatora. Senzibilizatori služe kako bi se prilagodila temperatura za stvaranje slike te pomažu u miješanju boja i razvijачa [4]. Promjenu boje uzrokuje sastav papira u doticaju s toplinom, pa izlaganje papira temperaturama iznad 70 °C premaz na papiru mijena boju.



Slika 1. Struktura termičkog papira [5]

Mogu se koristiti i dodatni premazi, nisu nužni, ali mogu pomoći pri postojanosti i otpornosti te zaštititi termičkog papira od vanjskih utjecaja. Kada je potrebna visoka trajnost slike za termalni tisak, tada se na termalni sloj nanosi sloj završnog premaza. Završni sloj štiti toplinski sloj od vode, ulja, otapala, vlage, ogrebotina itd. Također, stražnji sloj može biti premazan kako bi se poboljšala mogućnost ispisa i zaštita stražnje strane od ljepila (Slika 2).



Slika 2. Struktura termičkog papira s dodatnim premazom [5]

U sastav termičkih papira stavljaju se još i stabilizatori da se spriječi povratak boje u prvobitno stanje, odnosno da ne dođe do obezbojenja [6]. Osim toga, upotrebljavaju se za stabilizaciju sloja od leuco boja, razvijачa i senzibilizatora te sprječavaju njihovo odvajanje [7].

Termički papir počeo se koristiti još 60-ih godina [8], gdje je ubrzo tvrtka pod nazivom NCR Corp postala vodeća tvrtka u proizvodnji termičkog papira, međutim glavna mana je bila to što papir nije bio postojan, odnosno boja je jako brzo na njemu probljedila. Danas poznate tvrtke koje se bave izradom termičkog papira su *Koehler* (Njemačka), *Hansol* (Južna Korea), *Appvion* (Amerika), *OJI* (Japan) i *APP* (Indonezija) [9].

Termički papir ima mnoge prednosti za upotrebu kao što su lako održavanje, niske cijene i nije potrebno trošiti novac na tintu, budući da mu za ispis nije potrebna tinta. I upotreba termalnog pisača je također jednostavna, ne zahtijeva posebna održavanja, samo se stavi nova rola papira kad se stara potroši. Iako je riječ o vrsti papira, velika većina globalno korištenih termičkih papira se ne može reciklirati jer sadrže određene kemikalije koje

otežavaju ili u potpunosti onemogućavaju recikliranje takvog papira. Iznimka su ‘plavi’ termički papiri s oznakom FSC u čijoj se proizvodnji ne koriste iste kemikalije [10].

Ipak kao i svaki papir i termički papir je razgradiv, a potrebne su mu otprilike dvije godine da se u potpunosti razgradi [11].

Zbog svog specifičnog sastava termički papir ima vrlo visok stupanj reaktivnosti. Uvijek je dobro prije upotrebe proučiti rok trajanja termičkog papira, ali i pravilno skladištiti termički papir. Najbolje bi ih bilo čuvati na mjestima gdje nisu u stalnom doticaju sa svjetlošću i povišenom temperaturom. U takvim uvjetima papir može izdržati deset do dvadeset godina. Također, bilo bi ga dobro čuvati na sobnoj temperaturi, bez previše izlaganja toplini. Papir je preporučeno čuvati u prostorijama s postotkom vlažnosti od 25 do 50%, jer bi u suprotnom papir trunuo [11]. Kako bi se dobile role uobičajenih veličina (80 mm x 80 mm), prvo se naprave velike role, tzv. jumbo role (Slika 3), koje se režu na stroju za rezanje (Slika 4). Njihova širina može biti do 405 mm, a dužina čak do 12 000 mm [9].



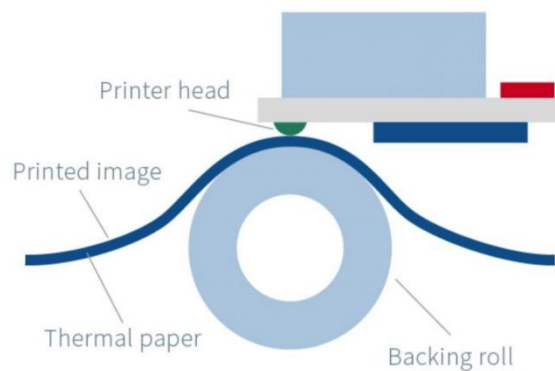
Slika 3. Jumbo rola [9]



Slika 4. Stroj za rezanje rola [12]

2.2. Princip otiskivanja

Termički papir je papir koji sadrži određene kemikalije koje nisu vidljive ljudskom oku, a njihova specifičnost je da stvaraju određenu vrstu reakcije na toplinu koja je vidljiva ljudskom oku, a to se konkretno odnosi na to da papir potamni. Budući da se radi o reakciji na toplinu, ovakvi papiri ne koriste tintu, toner ili spremnik s tintom nego se ispisuju toplinom termalnog pisača [5]. Drugim riječima, tekst ili slika nastaje u trenutku kada se toplina izravno prenese na termički papir, bez tiskarske tinte, odnosno kada odabrano područje termičkog papira prijeđe kroz termalnu ispisnu glavu (Slika 5). Što je veća toplinska osjetljivost papira, to će ispis biti kvalitetniji, odnosno veće rezolucije.



Slika 5. Shema procesa termalnog otiskivanja [5]

Termalni ispis se radi malim, kompaktnim termalnim printerima koji ne zahtijevaju puno održavanja. Dodatna prednost takvih POS aparata je ta što su vrlo jednostavni za uporabu, malih su veličina pa ne zauzimaju puno prostora, imaju malu potrošnju energije, ekonomični su i izdržljivi, vrlo su brzi u ispisivanju, sadržavaju LCD zaslon [13] i lagani su (Slika 6).



Slika 6. Primjer termalnog pisača računa za POS sustave [14]

Iako termalni pisači imaju mnoge prednosti, imaju i nekoliko nedostataka. Naljepnice koje su termalno ispisane mogu izbljediti nakon nekog perioda ili čak cijele pocrniti pod utjecajem svjetlosti i topline ukoliko nisu pravilno skladištene. U većini slučajeva ova vrsta tiska može koristiti samo jednu boju odjednom [15]. Kada se želi otisnuti neka druga boja, obično se koriste plava i crvena [16].

2.3. Upotreba termičkih papira

Zbog pouzdanosti i praktičnosti termički papir se naširoko primjenjuje u svakodnevnoj upotrebi kroz naljepnice, karte, račune te medicinske karte. Ovakvi papiri smatraju se jako ekonomičnima iz razloga što ta cijela tehnologija, uključujući i POS aparate imaju malu potrošnju energije te nije skupo njihovo održavanje.

Mala potrošnja energije i jednostavno održavanje glavni su razlozi njegove isplativosti, pa ne čudi da se koriste za razne formate i to se na prodajnim mjestima, zdravstvu, bankomatima, blagajnama i restoranima, koristi za prodaju ulaznica i karti te listića u lutriji [13]. U zdravstvu je posebice bitan ispis dokumenta visoke kvalitete te za ulaznice i lutriju zbog što točnijih i jasnijih ispisa na termalnim papirima. Također, financijska

izvješća te bankovne dokumente koje je potrebno duže čuvati zahtijevaju veću kvalitetu ispisa, zajedno sa potvrdama o plaćanju karticom [17]. Ipak glavna uporaba termičkih aparata je na POS aparatima. Tehnologija termalnog ispisa može se koristiti i za ispis naljepnica i letaka.

Ono što ovu tehnologiju čini toliko efikasnom su brzina ispisa što je jako korisno kod količina ispisa koje su velike, glatkoća, tiši rad pri ispisu, niska cijena te kvaliteta ispisa. Još jedna velika prednost je ta da se mogu ispisati fotografije i kodovi u visokoj rezoluciji [18].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Plan i metodologija ispitivanja

Za ispitivanje su korištene dvije vrste termičkih papira, bijeli i plavi termički račun, te računi ispisani na njima. Na neotisnutim termičkim papirima određene su standardne karakteristike papira prema ISO standardima: gramatura (ISO 536:2019), debljina (ISO 534:2011), glatkost po Bekku (ISO 5627:1995), kolorimetrijske vrijednosti CIE L*a*b* i svjetlina (ISO 2469:2014). Za svaku pojedinu karakteristiku mjerilo se po deset uzoraka, potom su se izračunale srednja vrijednost i standardna devijacija.

Računi su podvrgnuti ispitivanjima postojanosti otisaka na vodu, na svjetlost i na otiranje. Prije ispitivanja svim su uzorcima izmjerene spektrofotometrijske vrijednosti kako bi se pomoću njih definirala stabilnost otisaka. Spektrofotometrijske vrijednosti su se mjerile na barkodovima i na slovima gdje je otisnutost površine papira bila najveća.

Kemijska stabilnost otisaka i papira na vodu ispitala se prema standardu ISO 2836:2004, otpornost na otiranje prema standardu BS3110, dok je ispitivanje stabilnosti na svjetlost načinjeno izlaganjem uzoraka prirodnoj sunčevoj svjetlosti na prozoru orijentiranom na južnu stranu svijeta (Slika 7) u pet različitih vremenskih perioda od 1, 7, 14, 21 i 28 dana, pri uvjetima temperature koja je kroz dan varirala (od 20,8 °C do 33 °C).

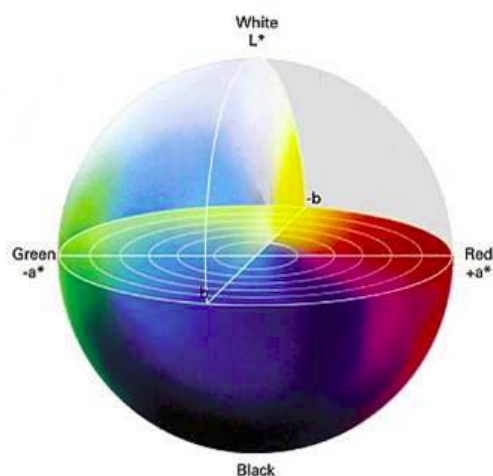


Slika 7. Postavljanje uzoraka na južnu stranu svijeta zbog ispitivanja stabilnosti na svjetlost

Kolorimetrijske razlike boje nakon sva tri tretmana (izlaganja uzoraka vodi, svjetlosti i pritisku) određivane su temeljem spektrofotometrijskih vrijednosti, te su uzorci i nakon navedenih tretmana ponovno podvrgnuti spektrofotometrijskoj analizi.

Spektrofotometrijske vrijednosti uzoraka određivane su spektrofotometrom SpectroEye (pri uvjetima standardnog osvjetljenja D50, status E i pod kutem promatranja od 2°). Srednje vrijednosti i standardna devijacija spektrofotometrijskih vrijednosti rezultat su deset mjerenja duž svakog uzorka.

Stabilnost uzoraka promatrana je temeljem kolorimetrijske razlike odnosno Euklidske razlike u boji uzoraka prije i nakon tretmana, gdje L^* predstavlja svjetlinu ($L^* = 0$ kod crne, a $L^* = 100$ kod bijele), a kromatičnost boje se definira u odnosu na neutralnu os čija je vrijednost 0 i to je CIE a^* koordinata za crvenu-zelenu, a CIE b^* za žutu-plavu (Slika 8) [19].



Slika 8. CIE $L^*a^*b^*$ sustav

Za kvantitativni izračun razlike u boji uzoraka poslije određenog tretmana koristimo formulu [20]:

$$\Delta E_{00}^* = \left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H} \right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H} \quad (1)$$

gdje su:

- $\Delta L'$ – razlika svjetline uzorka prije i poslije određenog tretmana
- $\Delta C'$ – razlika zasićenja uzorka prije i poslije određenog tretmana
- $\Delta H'$ – razlika tona uzorka prije i poslije određenog tretmana
- R_T – rotacijska funkcija
- K_L, K_C, K_H – faktori za varijacije u eksperimentalnim uvjetima
- S_L, S_C, S_H – funkcije težine za svjetlinu, kromatičnost i ton

U tablici 1 su prikazane vrijednosti odstupanja od vrijednosti referentne tj. početne boje uzorka iskazane kao ΔE^*_{00} te tolerancije prosječnog ljudskog oka na istu.

Tablica 1. Vrijednosti i tolerancije Euklidske razlike boja

ΔE^*_{00}	Razlika u boji
<1	prosječnom ljudskom oku nije vidljiva
1 – 2	primjećuje se, ali je vrlo mala
2 – 3,5	vidljiva, ali umjerena
3,5 – 5	dobro vidljiva, očita razlika
>5	vrlo dobro vidljiva, očigledna odstupanja

3.2. Materijali

Ispitivanja su provedena na dvije vrste termičkih papira koji se razlikuju u sastavu, a razlika je očita i na sam pogled zbog njihova obojenja. U laboratorijskim uvjetima prema ISO standardima određene su ranije navedene karakteristike. U nastavku uzorci će biti označeni kao: bijeli papir i plavi papir.

Računi ispisani na termičkim papirima čija je stabilnost i postojanost na vodu, svjetlost i pritisak analizirana u ovom istraživanju zatraženi su u poslovnica dvaju trgovinskih lanaca u Zagrebu (Slika 9). Računi su prikupljeni u periodu od dva tjedna prije početka istraživanja kako bi ispis bio što kvalitetniji i što manje izložen utjecajima atmosferilija prije ispitivanja.



a



b

Slika 9. Uzorak računa ispisanog na termičkom papiru: a) bijelom; b) plavom

3.3. Korišteni uređaji

3.3.1. Analitička vaga

Uređaj koji se koristio za mjerenje mase uzoraka pri određivanju gramature papira (izražene u mjernoj jedinici g/m^2) je analitička vaga KERN ABT 220-4NM (Slika 10).



Slika 10. Vaganje uzoraka za određivanje gramature papira

3.3.2. Elektronički ručni mikrometar

Za određivanje debljine papira (izražene u mjernoj jedinici mm) koristio se elektronički ručni mikrometar DGTB001 Thickness Gauge, Enrico Toniolo S.r.l (Slika 11). Raspon njegova mjerenja je od 0 do 10 mm s točnošću od 0.001 mm.



Slika 11. Određivanje debljine termičkih papira

3.3.3. Uređaj za mjerenje glatkosti

Glatkost papira (izražena u mjernoj jedinici sek) mjerila se prema Bekk metodi pomoću uređaja PTA line BEKK tester, PTI Austria GmbH čija točnost mjerenja iznosi 0,01 sek (Slika 12).



Slika 12. Mjerenje glatkosti papira

3.3.4. Spektrofotometar

Za mjerenje CIE L*a*b* vrijednosti uzoraka (Slika 13) prije i nakon svih tretmana, za određivanje stabilnosti na vodu, svjetlost i otiranje korišten je X-Rite SpectroEye spektrofotometar (Slika 9). Mjerenja su se odvijala pri uvjetu standardnog osvjetljenja D50 i pri kutu promatranja od 2°. SpectroEye spektrofotometar mjeri faktor refleksije u određenom rasponu valnih duljina koji iznosi 380 do 730 nm, a iznos njegove optičke razlučivosti je 10 nm. Da bi se dobio što bolji uvid u stabilost samog termičkog papira te postojanost i otpornost ispisa na njima u formi računa, mjerenja su se vršila na više određenih dijelova (u području bez otiska, u području otisnutim slovima te u području otisnutim barkodom). Za svako to područje mjerilo se po desetak odnosno dvanaest uzoraka. Razlog tomu je što papir nije identičan u svakom dijelu, već su tu brojne varijacije pa je potrebno napraviti više mjerenja kako bi se dobila što približnija srednja vrijednost mjerenja uz što manju standardnu devijaciju.



Slika 13. Mjerenje CIE L*a*b* vrijednosti uzoraka

3.3.5. Uređaj za mjerenje svjetline

Svjetlina (ISO Brightness) uzoraka se mjerila pomoću uređaja PCE-WNM 100 WHITENESS METER pod osvjetljenjem LED 457 nm (Slika 14).



Slika 14. Mjerenje svjetline uzoraka

3.3.6. Sušionik

Sušenje uzoraka nakon određivanja kemijske stabilnosti, 24 satnog stajanja između 4 namočena filter papira u destiliranoj vodi pod opterećenjem od 1 kg, provedeno je u sušioniku Memmert UNB 400 (Slika 15) pri temperaturi od 40 °C u trajanju od 30 minuta.



Slika 15. Sušenje uzoraka nakon tretmana određivanja kemijske stabilnosti

3.3.7. Tribometar Hanatek

Određivanje mehaničke stabilnosti odnosno otpornosti otisaka prema otiranju vršilo se na uređaju Hanatek RT4 Rub and Abrasion Tester (Slika 16).



Slika 16. Otiranje uzoraka

To je uređaj koji služi za određivanje otpornosti suhog otiska pri čemu se prati skidanje sloja boje tijekom trenja do kojeg dolazi zbog trljanja između ispitivanog otiska i nekog drugog materijala. Kao materijal o koji se trljao ispitivani otisak na termičkom papiru korišten je fotokopirni papir čije su karakteristike prethodno određene i sumirane u tablici 2.

Tablica 2. Karakteristike fotokopirnog papira korištenog kao kontra papira pri ispitivanju otiranja uzoraka

gramatura (g/m^2)	$83,11 \pm 0,78$
debljina (mm)	$0,10 \pm 0,00$
glatkost (sek)	$41,14 \pm 1,35$
svjetlina (ISO Brightness)	$87,77 \pm 0,13$
L*	$93,96 \pm 0,06$
a*	$3,29 \pm 0,02$
b*	$-10,58 \pm 0,12$

Uzorci računara u određenim područjima (s barkodom i slovima) izrezani su na krugove promjera 50 mm, a fotokopirni papir na krugove većih dimenzija promjera 115 mm. Tijekom ispitivanja ispitivani uzorak (otisak) i bijeli fotokopirni papir smješteni su na diskovima pri čemu se pomoću utega regulira tlak na način da se utezi različitih masa postave na gornji disk. Boja s računara koja se uslijed trljanja skida s površine prenosi se na bijeli fotokopirni papir, pri tlaku 0.5 i 2.0 p.s.i. (engl. *poundpersquareinch*), što u SI sustavu iznosi 3.5, i 13.8 kPa. Nakon 50 okretaja/otiranja uređaj se zaustavlja.

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Karakteristike termičkih papira

Prema ISO standardima određene standardne karakteristike termičkih papira prikazane su u tablici 3. Svaka pojedina karakteristika papira određivana je i mjerena na deset uzoraka istog papira te su rezultati prikazani kao srednja vrijednost uz pripadajuću standardnu devijaciju.

Tablica 3. Karakteristike termičkih papira

Karakteristike	Vrsta termičkog papira	
	Bijeli	Plavi
gramatura (g/m^2)	45.22 ± 0.33	47.90 ± 0.97
debljina (mm)	0.05 ± 0.00	0.05 ± 0.00
glatkost (sek)	100.98 ± 3.04	26.22 ± 5.93
svjetlina (ISO Brightness)	83.88 ± 0.23	39.68 ± 0.51
L*	94.78 ± 0.24	63.84 ± 0.82
a*	0.02 ± 0.08	-3.84 ± 0.04
b*	-1.85 ± 0.13	-10.21 ± 0.23

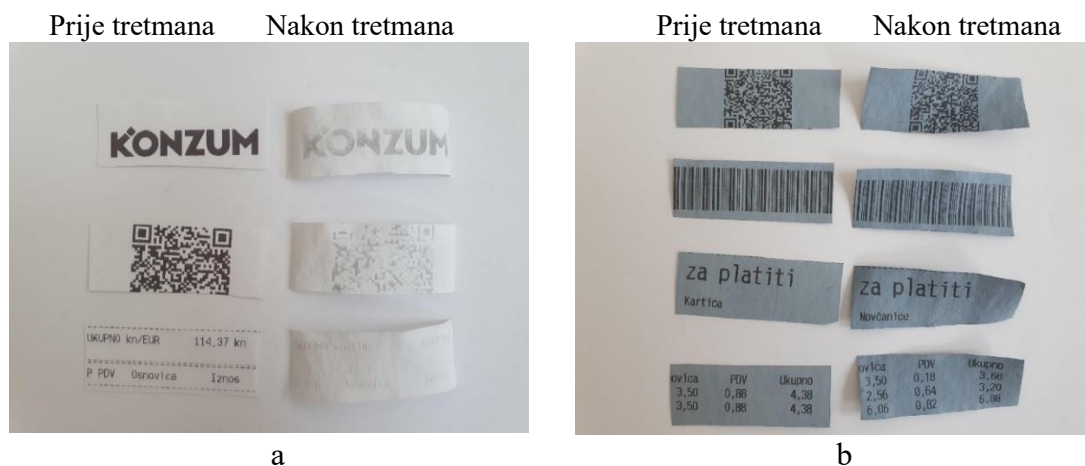
Iz rezultata prikazanih u tablici 3, vidljivo je kako su obje vrste termičkog papira jednake gramature i debljine. Očekivano su zbog obojenja po kojima su i nazvani bijeli i plavi termički papir različite svjetline te kolorimetrijskih CIE L* a* b* vrijednosti. Bijeli papir je daleko svjetliji i nižih vrijednosti kromatičnosti boja CIE a* i CIE b* (bližih neutralnoj osi koja ima vrijednost nula), dok je plavi papir smanjene svjetline i velike vrijednosti kromatičnosti boje na CIE b* koordinati za žutu-plavu. Iznenađujuća karakteristika po kojoj se analizirane vrijednosti termičkih papira uvelike razlikuju je glatkost, naime vrijednost glatkoće određena je po Bekku te je za bijeli termički papir skoro 4 puta veća nego za plavi.

4.2. Stabilnosti ispisanih termičkih papira (postojanost računa)

4.2.1. Stabilnost na vodu (kemijska stabilnost)

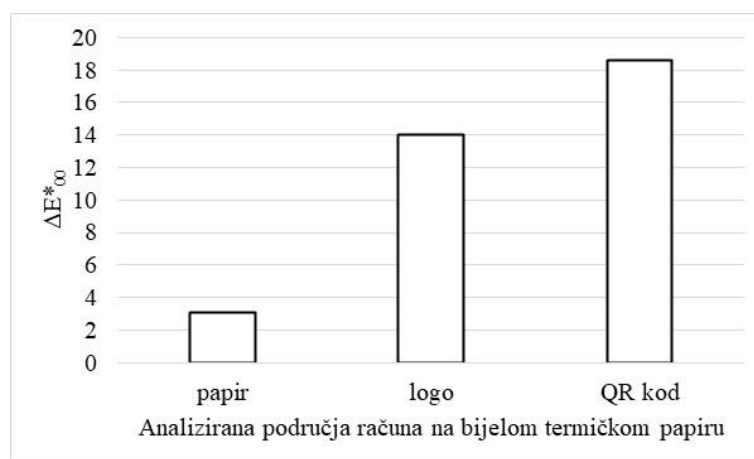
Nakon načinjenog testiranja kemijske stabilnosti obje vrste uzoraka na vodu, uočene su već prostim okom velike razlike u stabilnosti otiska na bijelom i plavom termičkom papiru (Slika 17). Vidljivo je kako ispis na bijelom termičkom papiru gotovo nestaje u

područjima ispisa slova i brojki, dok se ispis u području QR koda i loga trgovine koji su ispisani masivnije još uvijek nazire. Ispis na plavom termičkom papiru na svim promatranim područjima računa (QR kod, barkod, slova i brojke) je postojan i ne narušene kvalitete za čitljivost.

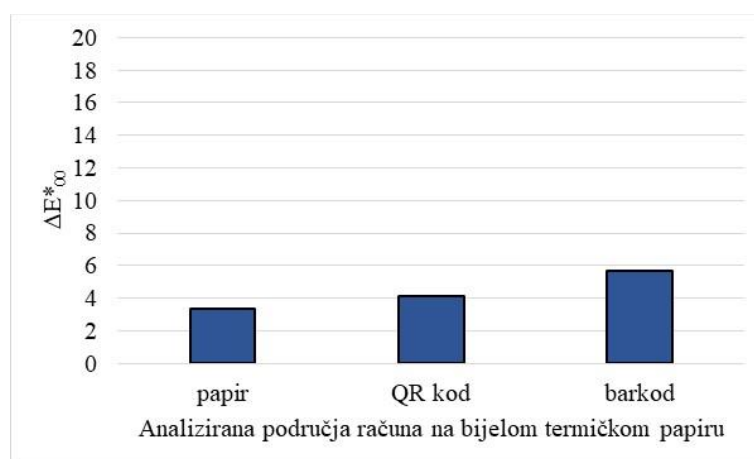


Slika 17. Slike uzoraka prije i nakon tretmana s destiliranom vodom: a) račun na bijelom termičkom papiru; b) račun na plavom termičkom papiru

Kemijska stabilnost je promatrana na nekoliko područja unutar istog ispisanog termičkog papira odnosno izdanog računa trgovine s obzirom da računi dolaze iz dvije različite trgovine čime se već u startu razlikuju po veličini slova i brojki, QR koda, loga i barkoda, a kod ispisanih područja je važno da su što veća radi mjernog uređaja. Stoga je na računu na bijelom termičkom papiru praćen utjecaj destilirane vode na područjima bez ispisa (papir), te na logu trgovine i na QR kodu, a rezultati promjene u boji tih područja u odnosu na početna ne tretirana iskazani su na slici 18 kao Euklidska razlika u obojenju (ΔE^*_{00}). Razlike u obojenju nakon tretmana računa na plavom termičkom papiru izmjerene su za područje bez ispisa (papir), te na QR kodu i barkodu, a rezultati su prikazani na slici 19.



Slika 18. Utjecaj destilirane vode na kemijsku stabilnost računa ispisanom na bijelom termičkom papiru



Slika 19. Utjecaj destilirane vode na kemijsku stabilnost računa ispisanom na plavom termičkom papiru

Iako su rezultati ΔE^*_{00} pokazali kako je stabilnost bijelih i plavih papira na vodu zapravo podjednaka (vrijednost ΔE^*_{00} za bijeli papir iznosila je 3,09, a za plavi 3,34), stabilnost ispisa na njima u kontaktu s vodom se drastično razlikuje. Neovisno o području ispisa na računu, odnosno vrsti ispisa informacije (QR kod, barkod, logo), ispis na plavom termičkom papiru je daleko stabilniji i za najtanje ispise ne prelazi vrijednost ΔE^*_{00} od 5,6. Na računu na bijelom termičkom papiru u području QR koda izmjereno je najveće odstupanje od početnih kolorimetrijskih vrijednosti te je vrijednost izračunate ΔE^*_{00} dosegla čak 18,6.

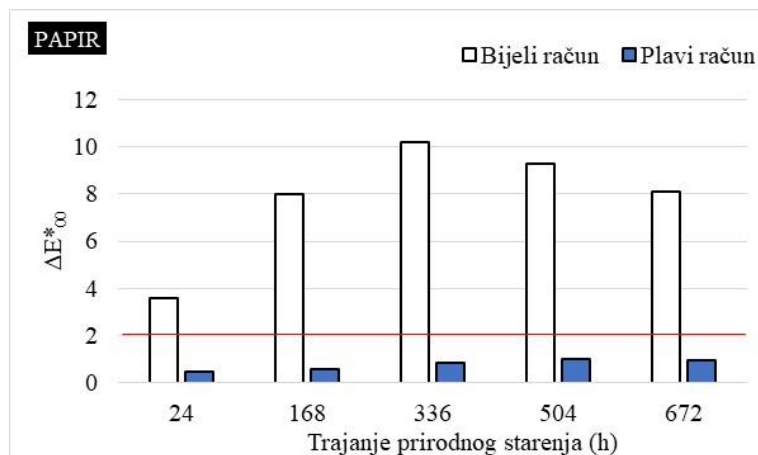
4.2.2. Stabilnost na svjetlost

Slično kao i nakon tretmana s vodom, i nakon izlaganja uzoraka sunčevoj svjetlosti došlo je do promjena koje su vidljive prostim okom koje su daleko izraženije na računu ispisanom na bijelom termičkom papiru (Slika 20). Na slici se vidi postupna degradacija, odnosno kako je papir stario, s obzirom na to koliko dana je pojedini uzorak bio izložen sunčevoj svjetlosti.



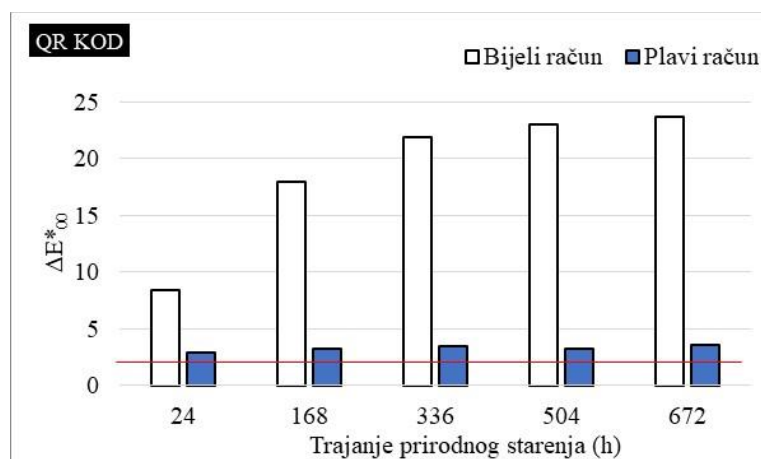
Slika 20. Utjecaj perioda izlaganja uzoraka svjetlosti (0, 1, 7, 14, 21 i 28 dana) na stabilnost računa ispisanih na: a) bijelom papiru; b) plavom papiru

Kako bi se potvrdile vizualne razlike tijekom starenja, izmjerene su i kolorimetrijske vrijednosti istih područja računa mjerenih i prije tretmana starenja (neispisani dio papira, QR kod, barkod, logo). Razlike u obojenju analiziranih područja računa ispisanih na bijelom i plavom termičkom papiru prikazani su na slikama 21-24.



Slika 21. Utjecaj vremena izlaganja svjetlosti na stabilnost neotisnutog dijela računa ispisanog na bijelom i plavom termičkom papiru

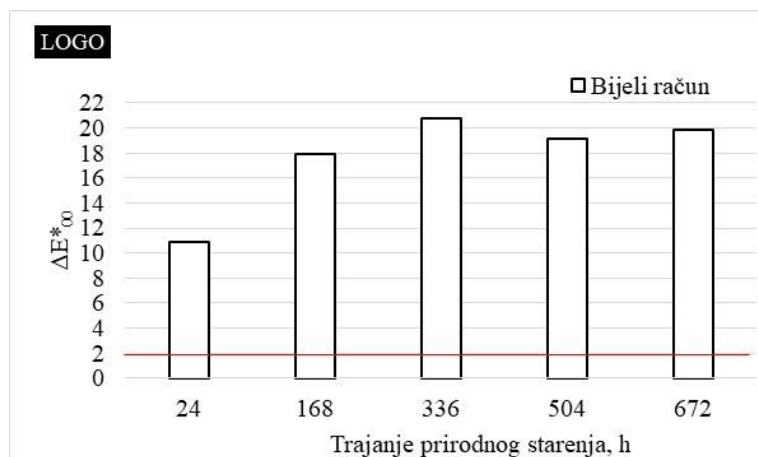
Promjene uzrokovane djelovanjem sunčeve svjetlosti i temperature kroz svih 28 dana starenja nisu ostavili vidljive tragove na plavom termičkom papiru ($\Delta E^*_{00 \max}$ vrijednost =1). Naime najveća razlika kolorimetrijskih vrijednosti plavog termičkog papira izmjerena je nakon 21 dana, odnosno 504 sati starenja, te daljnjom prolongacijom izlaganja papira sunčevoj svjetlosti degradacija se nije nastavila već je papir pokazao stagnaciju. Bijeli termički papir je daleko nestabilniji od plavog pod utjecajem sunčeve svjetlosti već nakon 1 dana doseže vrijednost ΔE^*_{00} 3,6 što je već na oko prosječnom promatraču dobro vidljiva razlika u boji. Daljnjim izlaganjem svjetlosti ova vrsta termičkog papira naglo degradira i najveću degradaciju pokazuje nakon 14 dana starenja odnosno 336 sati ($\Delta E^*_{00 \max}$ vrijednost =10.2). Nastavak izlaganja istim uvjetima starenja nije doveo do daljnje degradacije.



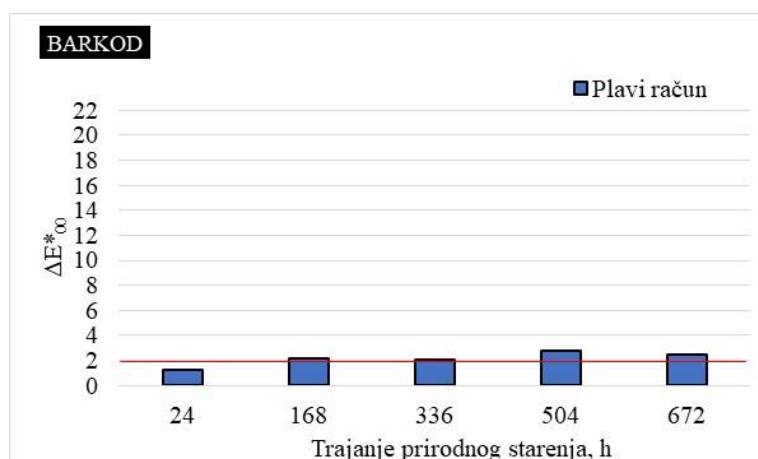
Slika 22. Utjecaj vremena izlaganja svjetlosti na stabilnost računa ispisanog na bijelom i plavom termičkom papiru u području QR koda

I ispis na plavom termičkom papiru pokazuje daleko bolju stabilnost od ispisa na bijelom termičkom papiru. Usporedbom stabilnosti ispisanog QR koda na plavom i bijelom termičkom papiru vidljivo je kako vrijeme trajanje izlaganja uzorka svjetlosti nema utjecaj na pojačanu degradaciju. Promjenu u obojenju koju QR kod na plavom termičkom papiru pokazuje nakon prvih 24 sata izlaganja ($\Delta E^*_{00} = 3$) zapravo zadržava kroz svih 28 dana starenja, što kod QR koda ispisanog na bijelom termičkom papiru nije slučaj. U prva 24 sata QR kod ispisan na bijelom termičkom papiru pokazuje vrijednost ΔE^*_{00} od 8,4. Svaki sat izlaganja dovodi do daljnje degradacije QR koda, te nakon 672 sata starenja vrijednost ΔE^*_{00} doseže 23,66.

I kod otisnutih slova (logo na bijelom termičkom računu) i linija (barkod na plavom termičkom računu) vidljive su slične promjene. Velike su razlike u obojenju loga na bijelom termičkom papiru već nakon 24 sata izlaganja sunčevoj svjetlosti i degradacija se nastavlja daljnjim izlaganjem (Slika 23), dok barkod na plavom termičkom papiru (Slika 24) pokazuje veliku stabilnost te kolorimetrijske razlike u boji kroz svih 28 dana izlaganja nisu pokazale prosječnom promatraču vidljive razlike ($\Delta E^*_{00} \sim 2$).



Slika 23. Utjecaj vremena izlaganja svjetlosti na stabilnost računa ispisanog na bijelom termičkom papiru u području loga (slova)

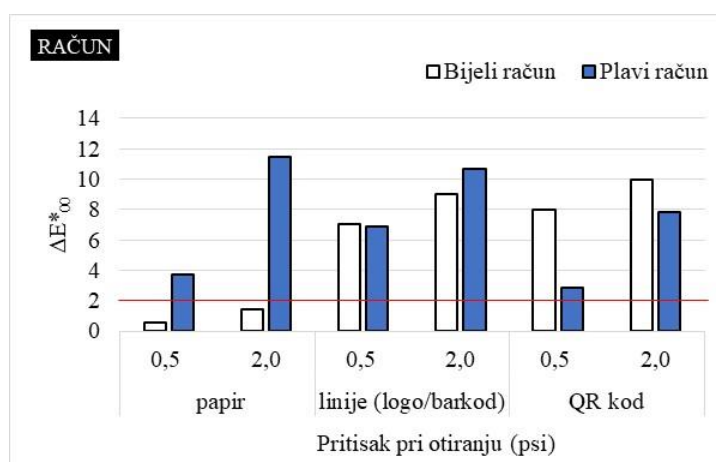


Slika 24. Utjecaj vremena izlaganja svjetlosti na stabilnost računa ispisanog na plavom termičkom papiru u području barkoda (linije)

4.2.3. Stabilnost na pritisak (mehanička stabilnost)

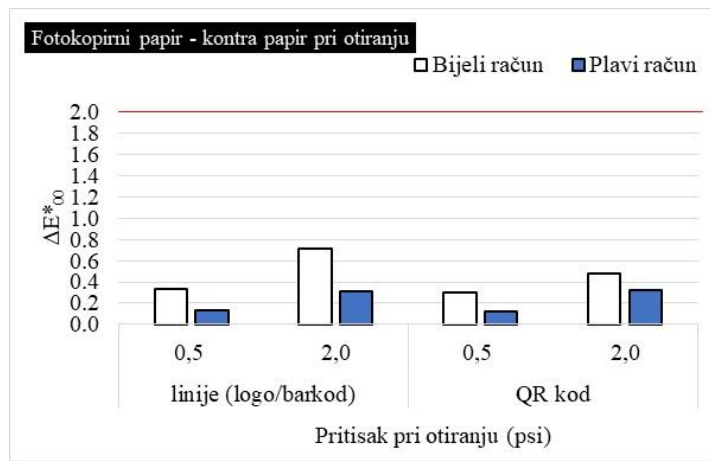
Test otpornosti termičkog papira na otiranje ukazuje kako je sam neotisnuti bijeli račun stabilniji od plavog što se već i u startu prije svih analiza vidjelo trljanjem računa između dva prsta. Međutim iznenađujuće je da sam ispis u bilo kojem dijelu računa je stabilniji na otiranje od ispisa na bijelom termičkom papiru (Slika 25).

Na područjima računa ispisanih linijama, pod manjim pritiskom (0,5 psi) veća je vrijednost ΔE^*_{00} na bijelom termičkom papiru, dok pri većem pritisku (2,0 psi) promjena kolorimetrijskih vrijednosti otiska je izraženija na plavom termičkom papiru. Što se tiče područja računa ispisanog na termičkim papirima s barkodom, i pod većim i pod manjim pritiskom manja je promjena kolorimetrijskih vrijednosti kod plavog računa odnosno otisak je stabilniji.



Slika 25. Utjecaj pritiska pri otiranju na mehaničku stabilnost računa ispisanog na bijelom i plavom termičkom papiru u različitim područjima

Kako bi se dodatno utvrdila mehanička stabilnost računa ispisanih na bijelom i plavom termičkom papiru, analiziran je i prijenos boje na kontra papir pri otiranju (fotokopirni papir) čiji su rezultati prikazani na slici 26. Utvrđeno je kako je prijenos boje s oba termička računa minimalan i nezamjetan. Ipak nešto veći prijenos boje pri otiranju pokazuje bijeli termički papir u odnosu na plavi.



Slika 26. Prijenos otiska na fotokopirni papir prilikom tretmana otiranja računa ispisanih na bijelom i plavom termičkom papiru

5. ZAKLJUČCI

Prema izvedenim mjerenjima i testiranjima, zaključak je kako je plavi termički papir stabilniji od bijelog termičkog papira, pa tako i računi ispisani na njima. Kod provjere starenja računa ispisanih na plavom i bijelom termičkom papiru, plavi termički papir se pokazao boljim jer je pod utjecajem svjetlosti otisak na bijelom termičkom papiru vidno izbledio, što kod otiska na plavom termičkom papiru nije slučaj. Jedva zamjetan utjecaj svjetla na račune ispisane na plavom termičkom papiru je u području QR koda. Računi na bijelom termičkom papiru su vrlo neotporni na vodu. Naime, nakon kontakta s vodom račun na bijelom termičkom papiru gotovo u potpunosti nestaje, dok je na plavom i dalje prisutan. Iako sam bijeli termički papir pokazuje bolju otpornost na otiranje od plavog, računi otisnuti na plavom termičkom papiru su stabilniji na otiranje te dolazi do manjeg prijenosa boje prilikom otiranja nego kod otiska na bijelom termičkom papiru.

Iz svega toga zaključuje se da je plavi termički papir stabilniji, a ispis na njemu otporniji prema svjetlosti, vodi i otiranju, u usporedbi s bijelim termičkim papirom.

6. LITERATURA

1. <https://tvrka.lidl.hr/press-centar/pressreleases/2022/eko-bon>, 8.5.2023.
2. <http://hr.android-pssystem.com/info/what-it-is-thermal-printer-paper-42185305.html>, 5.7.2023.
3. <https://www.choosepaper.org/the-science-behind-thermal-paper/>, 5.7.2023.
4. <https://www.kioskmarketplace.com/blogs/top-5-reasons-to-use-thermal-paper-for-printing/>, 5.7.2023.
5. <https://www.jujothermal.com/technical-guide/thermal-paper-technology/>, 28.8.2023.
6. https://www.chemistryviews.org/details/ezone/11146606/How_Does_Thermal_Paper_Work/, 28.8.2023.
7. https://www.thebusinessgoals.com/thermal-paper-roll-business-plan/?utm_content=cmp-true, 18.7.2023.
8. <https://astuteresearch1.wordpress.com/2023/05/04/interesting-facts-about-thermal-paper/>, 5.7.2023.
9. <https://pandapaperroll.com/how-to-produce-thermal-paper-rolls/>, 26.5.2023.
10. <https://www.jutarnji.hr/planet/plavi-racun-otporan-je-na-suncevu-svijetlost-ne-sadrzi-kemikalije-i-lako-se-reciklirira-15105561>, 8.5.2023.
11. <https://telemarkcorp.com/what-is-thermal-paper-receipt-and-how-does-it-work/>, 10.5.2023.
12. <https://hr.ruihaimachinery.com/slitting-machine/paper-roll-slitting-machine/thermal-paper-roll-slitting-machine.html>, 18.7.2023.
13. <https://www.chtips.com/computer-fundamentals/characteristics-of-thermal-printers/>, 5.7.2023.
14. <https://b2b.eurotrade.hr/pisac-epson-tm-t88vi-551-pos-usbbluetooth-mrezni-c31ce94551-proizvod-16812/>, 2.09.2023.
15. <https://www.cdw.com/content/cdw/en/articles/hardware/what-is-a-thermal-printer-how-does-it-work.html>, 5.7.2023.
16. <https://www.gflesch.com/blog/thermal-printer-paper>, 28.8.2023.
17. <https://www.kioskmarketplace.com/blogs/top-5-reasons-to-use-thermal-paper-for-printing/>, 14.6.2023.
18. <https://www.techopedia.com/definition/17325/thermal-paper>, 14.6.2023.
19. <http://silverstripe.fkit.hr/kui/assets/Uploads/Osvrti-683-685.pdf>, 28.8.2023.
20. M. R. Luo, G. Cui, B. Rigg, Color Research & Application, 26(5) (2001), 340-350, doi: 10.1002/col.1049