



Univerzitet u Novom Sadu
Fakultet tehničkih nauka
Grafičko inženjerstvo i dizajn



Stefan Đurđević

**MODEL IDENTIFIKACIJE STANJA ZAŠTITNIH
ELEMENTA GRAFIČKE AMBALAŽE**

- doktorska disertacija -

Novi Sad, 2019.

*Ostajte ovdje!...Sunce tuđeg neba,
Neće vas grijat kô što ovo grije;
Grki su tamo zalogaji hljeba
Gdje svoga nema i gdje brata nije.*

Aleksa Šantić

IZJAVA

Ja, Stefan Đurđević izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da ova doktorska disertacija predstavlja isključivo rezultate mog rada u saradnji sa mentorom, da se temelji na mojim naučno-stručnim saznanjima i istraživanjima i da se oslanja na popisanu i navedenu literaturu.

Izjavljujem da nijedan deo ove doktorske disertacije nije napisan na nedozvoljen i neetičan način, preuzimanjem ili prepisivanjem iz bilo kojeg necitiranog rada, tuđih dela ili rezultata, koji bi bio u suprotnosti sa akademskom moralnošću.

Atorska prava su utvrđena zakonom i opštim aktima.

Izjavljujem da su istovetne štampana i elektronska verzija doktorske disertacije.

Izjavljujem da sam saglasan da se doktorska disertacija može staviti na trajan uvid u elektronskom obliku.

Potpis kandidata



КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	Монографска публикација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација
Аутор, АУ:	МСц Стефан Ђурђевић
Ментор, МН:	Проф. др Драгољуб Новаковић
Наслов рада, НР:	Модел идентификације стања заштитних елемената графичке амбалаже
Језик публикације, ЈП:	Српски
Језик извода, ЈИ:	Српски
Земља публикавања, ЗП:	Република Србија
Уже географско подручје, УГП:	А.П. Војводина
Година, ГО:	2019
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт
Место и адреса, МА:	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/прилога)	12/256/206/67/158/6
Научна област, НО:	Графичко инжењерство и дизајн
Научна дисциплина, НД:	Графичко инжењерство и дизајн
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Графичка амбалажа, паметна амбалажа, интелигентна амбалажа, заштитни амбалажни елементи, мобилне апликације
УДК	
Чува се, ЧУ:	У библиотеци Факултета техничких наука у Новом Саду
Важна напомена, ВН:	
Извод, ИЗ:	Основни циљ истраживања је развој модела идентификације заштитним елементима графичке амбалаже са сврхом препознавања стања роба и производа на основу промене стања идентификационог заштитног елемента графичке амбалаже. Додатни циљеви су развој новог универзалног идентификационог заштитног елемента графичке амбалаже помоћу којег се може идентификовати стање различитих производа осетљивих на различите параметре. У истраживању су унапређени и развијени различити заштитни елементи графичке амбалаже, као и различите технике препознавања заштитних елемената амбалаже. Коришћене су специјалне хроматске штампарске боје као заштитни елементи, идентификатори, боје за штампу електронику и различити материјали за израду графичке амбалаже као и други могући идентификатори који се могу аплицирати на амбалажу.
Датум прихватања теме, ДП:	
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	Председник: др Немања Кашиковић, ванредни професор
	Члан: др Сандра Дедијер, ванредни професор
	Члан: др Жељко Зељковић, доцент
	Члан: др Младен Станчић, доцент
	Члан, ментор: др Драгољуб Новаковић, редовни професор
	Потпис ментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic Publication
Type of record, TR :	Textual material, printed
Contents code, CC :	Ph.D. thesis
Author, AU :	MSc Stefan Đurđević
Mentor, MN :	Prof. Ph.D. Dragoljub Novaković
Title, TI :	Model for State Estimation of Smart Packaging Systems
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	A.P. Vojvodina
Publication year, PY :	2019
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/appendixes)	12/256/206/67/158/6
Scientific field, SF :	Graphic engineering and design
Scientific discipline, SD :	Graphic engineering and design
Subject/Key words, S/KW :	Graphic packaging, smart packaging, intelligent packaging, security packaging elements, mobile applications
UC	
Holding data, HD :	The Library of the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad
Note, N :	
Abstract, AB :	<p>The main objective of the research is to develop a model of graphic packaging security elements identification to recognize the condition of goods and products based on the change of the state of the graphic packaging identification element. Additional goals are the development of a new universal graphic packaging security identification element that can identify the state of different products sensitive to different parameters. Various security features of graphic packaging have been improved and developed, as well as different techniques for identifying the security features of packaging. Special chromatic printing inks were used as security features, identifiers, colors for printed electronics and various materials for graphic packaging, as well as other possible identifiers that could be applied to the packaging.</p>
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	
President:	Nemanja Kašiković, Ph.D., Associate Professor
Member:	Sandra Dedijer, Ph.D., Associate Professor
Member:	Željko Zeljković, Ph.D., Assistant Professor
Member:	Mladen Stančić, Ph.D., Assistant Professor
Member, Mentor:	Dragoljub Novaković, Ph.D., Full professor
	Mentor's sign

Zahvalnica

Posebnu zahvalnost dugujem mentoru profesoru Dragoljubu Novakoviću. Njegova nesebična pomoć zalaganje i bodrenje davalo mi je dodatnu snagu da se posvetim izradi ove doktorske disertacije. Za sve ovo vreme pružao mi je motivaciju i sugestije kako da uspem i imao podršku za mene

Veliku zahvalnost dugujem članovima komisije na korisnim sugestijama i nesebičnoj pomoći tokom izrade disertacije.

Želeo bih da iskažem posebnu zahvalnost kolegama Željku Zeljkoviću i Nemanji Kašikoviću na stručnoj pomoći nesebičnoj podršci i kolegijalnom razumevanju tokom izrade disertacije.

Zahvaljujem se porodici i prijateljima koji su mi dali veliku podršku da istrajem u radu.

Hvala svim kolegama sa departmana na pomoći i prijateljstvu tokom izrade disertacije.

REZIME

Proizvodnja grafičke ambalaže čini značajan deo grafičke industrije. U okviru nje se papir, karton, talasasti karton, aluminijske i polimerne folije i slični materijali oblikuju procesom štampe i završne grafičke obrade.

Zaštitna funkcija grafičke ambalaže je nekada predstavljala isključivo zaštitu od mehaničkih sila, klimatskih uslova, insekata i slično, a ostvarivala se putem barijernih svojstava materijala od kojeg je napravljena. Razvojem tehnologija grafička ambalaža prevazilazi svoje osnovne uloge, a u proizvodnji grafičke ambalaže se sve više koriste novi materijali i tehnologije. Poslednjih decenija postoji značajan broj rešenja razvijenih za zaštitu grafičke ambalaže. Ova rešenja čine zaštitni elementi grafičke ambalaže, a predstavljaju grupu dodatnih elemenata koji se određenim tehnološkim postupkom dodaju grafičkoj ambalaži u cilju unapređenja njenih funkcija. U grupu zaštitnih elemenata spadaju: štampani kodovi (barkod, QR kod i drugi), štampana elektronika i senzori (RFID, NFC i drugi), indikatori pametne ambalaže, boje i pigmenti (indikatori, senzori, adsorberi i emiteri materija za produženje i identifikaciju roka trajanja proizvoda), proširena realnost (pozivanje dodatnog sadržaja vezanog za proizvod putem mobilnih aplikacija za proširenu realnost).

Osnovni cilj istraživanja je razvoj modela identifikacije zaštitnim elementima grafičke ambalaže sa svrhom prepoznavanja stanja roba i proizvoda na osnovu promene stanja identifikacionog zaštitnog elementa grafičke ambalaže. Dodatni ciljevi su razvoj novog univerzalnog identifikacionog zaštitnog elementa grafičke ambalaže pomoću kojeg se može identifikovati stanje različitih proizvoda osetljivih na različite parametre. Očekivani rezultati treba da pokažu da novi univerzalni zaštitni element grafičke ambalaže povećava broj informacija o stanju proizvoda i primenljiv je na sve tipove proizvoda koji se pakuju u grafičku ambalažu. Očekuje se da će se predloženi model identifikacije bolje pokazati kao rešenje sa aspekta uniformnosti izgleda zaštitnog elementa, brzine očitavanja informacije, podržanim uređajima za očitavanje, primenljivosti na prodajnoj grafičkoj ambalaži u poređenju sa postojećim zaštitnim elementima ambalaže.

U istraživanju su unapređeni i razvijeni različiti zaštitni elementi grafičke ambalaže, kao i različite tehnike prepoznavanja zaštitnih elemenata ambalaže. Korišćene su specijalne hromatske štamparske boje kao zaštitni elementi, identifikatori, boje za štampanu elektroniku i različiti materijali za izradu grafičke ambalaže kao i drugi mogući identifikatori koji se mogu aplicirati na ambalažu.

Pored teorijskih ciljeva, rad je za cilj imao i industrijski primenljivo rešenje. Očekuje se da će razvijeni model za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže biti implementiran u realnim procesima koje će korisnici moći da koriste putem mobilnih aplikacija u realnom vremenu na mobilnom uređaju.

Proizvođači pametne ambalaže bi interes od ovog istraživanja pronašli u rezultatima ispitivanja svih pojedinačnih zaštitnih elemenata pa bi tako prema konceptu razvoja konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata mogli da formiraju rešenja koja bi bila primenjena u praksi. Prodavci bi koristili u najvećoj meri modele razvoja baza podataka kako bi se kroz povezivanje sa novim tehnologijama približili potrebama krajnjeg korisnika i kroz primenu atraktivnih rešenja privukli interesovanje za proizvode koje prodaju. Veliki interesi bi pronašli i krajnji korisnici jer bi kroz razvijene mobilne aplikacije putem mobilnih uređaja mogli da identifikuju stanje svih zaštitnih elemenata i na taj način bi se kroz prikazano rešenje povezo sistem proizvođača, prodavaca i kupaca kroz mobilne platforme

Ključne reči: grafička ambalaža, pametna ambalaža, inteligentna ambalaža, zaštitni ambalažni elementi, mobilne aplikacije

ABSTRACT

Graphic packaging production forms a significant part of the graphic industry. Within it, paper, cardboard, corrugated cardboard, aluminium and polymer films and similar materials are formed by the process of graphic finishing.

The protective feature of graphic packaging in the past used to be exclusively protection against mechanical forces, climatic conditions, insects etc., and was achieved through the barrier properties of the material of which it was made. With the development of technologies, graphic packaging goes beyond its primary roles, and new materials and technologies are increasingly used in the production of graphic packaging. In recent decades, there have been a significant number of solutions developed for graphic packaging protection. These solutions are the security features of graphic packaging and are the group of additional elements that are added to graphic packaging by a specific technological process in order to enhance its functions. The security components include: printed codes (barcode, QR code and others), printed electronics and sensors (RFID, NFC and others), smart packaging indicators, inks and pigments (indicators, sensors, adsorbers and emitters for identification and extension of product shelf life), augmented reality (inviting additional product-related content through mobile augmented reality apps).

The main objective of the research is to develop a model of graphic packaging security elements identification to recognize the condition of goods and products based on the change of the state of the graphic packaging identification element. Additional goals are the development of a new universal graphic packaging security identification element that can identify the state of different products sensitive to different parameters. Expected results should show that the new universal graphic packaging security element increases the amount of product status information and applies to all types of products that are packaged in graphic packaging. It is expected that the proposed identification model will prove better as a solution from the point of uniformity view of the security element appearance. Also, the speed of reading information, the supported reading devices, the applicability of the graphic packaging sales compared to the existing security elements of the packaging.

Various security features of graphic packaging have been improved and developed, as well as different techniques for identifying the security features of packaging. Special chromatic printing inks were used as security features, identifiers, colors for printed electronics and various materials for graphic packaging, as well as other possible identifiers that could be applied to the packaging.

In addition to theoretical objectives, the paper also aimed at an industrially applicable solution. The developed model for identifying the state of the graphic packaging security elements is expected to be implemented in real-world processes that users will be able to use through mobile applications in real-time on a mobile device.

Manufacturers of smart packaging would find interest in this research in the test results of all individual security elements, and thus, according to the concept of developing a conceptual solution for identifying the condition of security elements, could form solutions that would be applied in practice. Resellers would make the most of database development models to bring interest in the products they sell through the integration.

Keywords: graphic packaging, smart packaging, intelligent packaging, security packaging elements, mobile applications

Spisak slika

Slika 2.2.1:	Primeri aktivnih ambalažnih sistema.....	10
Slika 2.2.2:	Podela inteligentne ambalaže.....	16
Slika 2.2.3:	Primeri štampane elektronike i senzora inteligentne ambalaže.....	19
Slika 2.2.4:	Primeri indikatora boja i pigmenata inteligentne ambalaže.....	24
Slika 2.2.5:	Primeri AR aplikacija u ambalažnoj industriji.....	30
Slika 2.3.1:	Dizajn odštampane UHF RFID antene.....	34
Slika 2.3.2:	Mimaki JV3-160SP.....	35
Slika 2.3.3:	Tampon mašina.....	35
Slika 2.3.4:	Epson 4880.....	36
Slika 2.3.5:	Multimetar UNI-T UT30B.....	37
Slika 2.3.6:	Sony Ericsson Xperia mini pro.....	37
Slika 2.3.7:	LG E510 Optimus Hub.....	38
Slika 2.3.8:	Samsung N7100.....	39
Slika 2.3.9:	QR kodovi korišćeni u metodi prvog istraživanja [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].....	40
Slika 2.3.10:	Vremena očitavanja uzoraka sa podlogom od a) pamuka, b) poliestera, c) mešavine [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014]......	44
Slika 2.3.11:	Grafički prikaz odnosa stope očitavanja na virtuelnim uzorcima kod svih nivoa korekcije [Vučetić, Novaković, Pal, 2013]......	45
Slika 2.3.12:	Izgleda aproksimirane antene [Agošton, Novaković, 2009].....	47
Slika 2.3.13:	Poređenje površinskih specifičnih otpornosti pre i posle testova [Agošton, Novaković, 2009].....	49
Slika 2.3.14:	Uzorci [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].....	51
Slika 5.2.1:	NFC Ntag213.....	62
Slika 5.2.2:	Beacon tag.....	62
Slika 5.2.3:	Arduino starter kit.....	63
Slika 5.2.4:	Izgled korišćene mašine za homogenizaciju boje i veziva.....	65
Slika 5.2.5:	Izgled korišćene mašine za sito štampu [GRID, 2019].....	66
Slika 5.2.6:	Konica bizhub C224e.....	66
Slika 5.2.7:	Izgled multifunkcionalnog uređaja za sušenje uzoraka.....	67
Slika 5.2.8:	Industrijska pegla.....	68
Slika 5.2.9:	Izgled korišćenog uređaja za kontrolu kvaliteta filma.....	69
Slika 5.2.10:	Grindometar sa brušenim strugačem.....	70
Slika 5.2.11:	LEITZ-Orthoplan svetlosni mikroskop.....	70
Slika 5.2.12:	Izgled uređaja za merenje CIELab vrednosti.....	71
Slika 5.2.13:	Izgled uređaja SpectroDens Premium.....	72
Slika 5.2.14:	Fluke TiS45 Thermal Imager termovizijska kamera.....	72

<i>Slika 5.2.15:</i>	<i>Extech RH 520A.....</i>	<i>73</i>
<i>Slika 5.2.16:</i>	<i>Uređaj Eye One Basic Pro 2.....</i>	<i>74</i>
<i>Slika 5.2.17:</i>	<i>Uređaj za posmatranje uzoraka - Agile Radiant Controlled Light [Cherlyn, 2013]</i>	<i>75</i>
<i>Slika 5.2.18:</i>	<i>Samsung T220.....</i>	<i>76</i>
<i>Slika 5.2.19:</i>	<i>Apple iPhone X.....</i>	<i>77</i>
<i>Slika 5.2.20:</i>	<i>Samsung Galaxy S5.....</i>	<i>78</i>
<i>Slika 5.2.21:</i>	<i>Skica uređaja za montažu mobilnog telefona uz mogućnost podešavanja uglova.....</i>	<i>79</i>
<i>Slika 5.2.22:</i>	<i>Nyloprint Combination CW 22 x 30.....</i>	<i>79</i>
<i>Slika 5.2.23:</i>	<i>Test karta za analizu uticajnog faktora toplote</i>	<i>83</i>
<i>Slika 5.2.24:</i>	<i>Test karta za analizu hromatskih boja</i>	<i>84</i>
<i>Slika 5.2.25:</i>	<i>Skidanje većih pigmenata nožem, grindometar.....</i>	<i>87</i>
<i>Slika 5.2.26:</i>	<i>ΔE^*_{ab} i ΔE_{00} vrednosti razlike u boji usled varijacije vrednosti svetline a) plave boje b) žute boje [Dedijer,..Đurđević, 2017]</i>	<i>90</i>
<i>Slika 5.2.27:</i>	<i>ΔE^*_{ab} i ΔE_{00} vrednosti razlike u boji usled varijacije vrednosti tona a) plave boje b) žute boje [Dedijer,..Đurđević, 2017].....</i>	<i>90</i>
<i>Slika 5.2.28:</i>	<i>Mehanizam za montažu mobilnog uređaja uz podešavanja uglova i njegova pozicija u odnosu na monitor</i>	<i>91</i>
<i>Slika 5.2.29:</i>	<i>Primer generisanih QR kodova</i>	<i>92</i>
<i>Slika 6.1.1:</i>	<i>Primer grafika promene kvaliteta robe na osnovu promene razlike u boji tri različita proizvoda sa proteklim vremenom.....</i>	<i>94</i>
<i>Slika 6.1.2:</i>	<i>Promena izgleda robe koja prati promenu njegove svežine tokom vremena kao i promenu stanja indikatora koji detektuje promene</i>	<i>95</i>
<i>Slika 6.1.3:</i>	<i>Ambalažno rešenje koje od zaštitnih elemenata sadrži indikator svežine</i>	<i>95</i>
<i>Slika 6.1.4:</i>	<i>Segment razvijene HTML stranice aplikacije baze znanja o promenama stanja robe na osnovu promena stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.....</i>	<i>96</i>
<i>Slika 6.1.5:</i>	<i>Simulacija promene stanja svežine proizvoda sa proteklim vremenom.....</i>	<i>98</i>
<i>Slika 6.2.1:</i>	<i>Model identifikacije stanja zaštitnih elemenata</i>	<i>99</i>
<i>Slika 6.2.2:</i>	<i>Modul identifikacije štampanih kodova grafičke ambalaže.....</i>	<i>100</i>
<i>Slika 6.2.3:</i>	<i>Modul identifikacije štampane elektronike i senzora grafičke ambalaže</i>	<i>101</i>
<i>Slika 6.2.4:</i>	<i>Modul identifikacije indikatora boja i pigmenata pametne ambalaže</i>	<i>102</i>
<i>Slika 6.2.5:</i>	<i>Modul identifikacije stanja grafičke ambalaže pomoću proširene realnosti.....</i>	<i>104</i>
<i>Slika 6.3.1:</i>	<i>Baza podataka modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.....</i>	<i>105</i>
<i>Slika 6.4.1:</i>	<i>Primer algoritma očitavanja i povezivanja informacije o promeni stanja zaštitnog elementa i artikla.....</i>	<i>109</i>

Slika 6.4.2:	<i>Prikaz zaštitnog elementa: a) termohromatski sloj boje, b) fotohromatski sloj boje, c) izgled zaštitnog elementa kada je proizvod upotrebljiv, d) izgled zaštitnog elementa kada proizvod nije upotrebljiv.....</i>	<i>111</i>
Slika 6.4.3:	<i>Rezultati testiranja QR kodova uz pomoć QR Code čitača</i>	<i>112</i>
Slika 6.4.4:	<i>Šematski prikaz postupka kreiranja eksperimentalnog dela rada.....</i>	<i>114</i>
Slika 6.4.5:	<i>Prikaz dizajna ambalaže</i>	<i>115</i>
Slika 6.4.6:	<i>Izgled stranica pri očitavanju neotvorene i otvorene ambalaže proizvoda.....</i>	<i>115</i>
Slika 6.4.7:	<i>Izgled aplikacije „NFC Tools“ sa upisanom URL adresom [Đurđević, 2018a]</i>	<i>116</i>
Slika 6.4.8:	<i>Izgled aplikacije „MySQL Workbench“ pri dodavanju tabele [Đurđević, 2018a]</i>	<i>117</i>
Slika 6.4.9:	<i>Senzorsko rešenje za identifikaciju prisustva svetlosti unutar ambalaže</i>	<i>118</i>
Slika 6.4.10:	<i>Senzorsko rešenje za identifikaciju temperature unutar ambalaže</i>	<i>119</i>
Slika 6.4.11:	<i>Podешavanje URL adrese Beacon uređaja i očitavanje signala.....</i>	<i>122</i>
Slika 6.4.12:	<i>CIELab sistem boja i prikaz promene svetline tonova.....</i>	<i>123</i>
Slika 6.4.13:	<i>Pozicije referentnih vrednosti i vrednosti tela indikatora svežine na primeru indikatora</i>	<i>124</i>
Slika 6.4.14:	<i>Projektovanje RG vrednosti referentnih tačaka na dijagonalu.....</i>	<i>124</i>
Slika 6.4.15:	<i>Dijagonala promenljivosti boje indikatora sa početnim i krajnjim vrednostima.....</i>	<i>125</i>
Slika 6.4.16:	<i>Tonska karta za kontrolu stanja svežine proizvoda.....</i>	<i>127</i>
Slika 6.4.17:	<i>Mikrografska snimak konvencionalne cijan grafičke boje</i>	<i>128</i>
Slika 6.4.18:	<i>Mikrografska fotografija konvencionalne cijan grafičke boje u ImageJ programu</i>	<i>128</i>
Slika 6.4.19:	<i>Raspodela veličina čestica pigmenta konvencionalne cijan grafičke boje.....</i>	<i>129</i>
Slika 6.4.20:	<i>Mikrografska snimak fotohromatske magenta grafičke boje.....</i>	<i>130</i>
Slika 6.4.21:	<i>Mikrografska fotografija fotohromatske magenta grafičke boje u ImageJ programu</i>	<i>130</i>
Slika 6.4.22:	<i>Raspodela veličina čestica pigmenta fotohromatske magenta grafičke boje.....</i>	<i>131</i>
Slika 6.4.23:	<i>Mikrografska snimak termohromatske crne grafičke boje</i>	<i>132</i>
Slika 6.4.24:	<i>Mikrografska fotografija termohromatske crne grafičke boje u ImageJ programu</i>	<i>132</i>
Slika 6.4.25:	<i>Raspodela veličina čestica pigmenta termohromatske crne grafičke boje.....</i>	<i>133</i>
Slika 6.4.26:	<i>Eksperimentalna postavka za merenje uticajnog faktora toplote.....</i>	<i>134</i>
Slika 6.4.27:	<i>Spektralna kriva i karakteristike ambijenta.....</i>	<i>134</i>

Slika 6.4.28:	<i>Uparedni prikaz promene temperature tokom vremena za tekstilne uzorke odštampane plavom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm i 120 niti/cm</i>	138
Slika 6.4.29:	<i>Uparedni prikaz promene temperature tokom vremena za papirne uzorke odštampane plavom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja a) 54 niti/cm, b) 120 niti/cm i c) 180 niti/cm</i>	139
Slika 6.4.30:	<i>Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 1, odštampan plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm</i>	140
Slika 6.4.31:	<i>Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 2, odštampan plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm</i>	140
Slika 6.4.32:	<i>Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 3, odštampan plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm</i>	141
Slika 6.4.33:	<i>Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 4, odštampan plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm</i>	141
Slika 6.4.34:	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 1, odštampan plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm c) 180 niti/cm</i>	142
Slika 6.4.35:	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 2, odštampan plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm c) 180 niti/cm</i>	142
Slika 6.4.36:	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 3, odštampan plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm c) 180 niti/cm</i>	143
Slika 6.4.37:	<i>Uparedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za tekstilne uzorke odštampane plavom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm i 120 niti/cm</i>	148
Slika 6.4.38:	<i>Uparedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za papirne uzorke odštampane plavom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm, 120 niti/cm i 180 niti/cm</i>	149
Slika 6.4.39:	<i>Uparedni prikaz promene temperature tokom vremena za tekstilne uzorke odštampane žutom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm i 120 niti/cm</i>	151
Slika 6.4.40:	<i>Uparedni prikaz promene temperature tokom vremena za papirne uzorke odštampane žutom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm i 120 niti/cm</i>	152
Slika 6.4.41:	<i>Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 1, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm</i>	153
Slika 6.4.42:	<i>Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 2, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm</i>	154

<i>Slika 6.4.43:</i>	<i>Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 3, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm.....</i>	<i>154</i>
<i>Slika 6.4.44:</i>	<i>Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 4, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm.....</i>	<i>155</i>
<i>Slika 6.4.45:</i>	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 1, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm.....</i>	<i>155</i>
<i>Slika 6.4.46:</i>	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 2, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm.....</i>	<i>156</i>
<i>Slika 6.4.47:</i>	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 3, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm.....</i>	<i>156</i>
<i>Slika 6.4.48:</i>	<i>Uporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za tekstilne uzorke odštampane žutom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm i 120 niti/cm.....</i>	<i>160</i>
<i>Slika 6.4.49:</i>	<i>Uporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za papirne uzorke odštampane žutom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm i 120 niti/cm.....</i>	<i>160</i>
<i>Slika 6.4.50:</i>	<i>Razlika u boji u odnosu na prvu izmerenu vrednost za uzorke magenta termohromatske boje štampane gustinom tkanja sita a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm</i>	<i>163</i>
<i>Slika 6.4.51:</i>	<i>Poređenje uticaja ispitivanih gustina tkanja sita za sve ispitivane tekstilne uzorke magenta termohromatske boje.....</i>	<i>164</i>
<i>Slika 6.4.52:</i>	<i>Promene razlika u boji između dva uzastopna merenja u funkciji vremena hlađenja uzoraka magenta termohromatske boje za gustine tkanja sita a) 54 i b) 120 niti/cm.....</i>	<i>165</i>
<i>Slika 6.4.53:</i>	<i>Krive spektralne refleksije za magenta termohromatski tekstilni uzorak 1, odštampan sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm.....</i>	<i>165</i>
<i>Slika 6.4.54:</i>	<i>Krive spektralne refleksije za magenta termohromatski tekstilni uzorak 2, odštampan sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm.....</i>	<i>166</i>
<i>Slika 6.4.55:</i>	<i>Krive spektralne refleksije za magenta termohromatski tekstilni uzorak 3, odštampan sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm.....</i>	<i>166</i>
<i>Slika 6.4.56:</i>	<i>Krive spektralne refleksije za magenta termohromatski tekstilni uzorak 4, odštampan sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm.....</i>	<i>167</i>
<i>Slika 6.4.57:</i>	<i>Zavisnost vremena, temperature, vrste materijala i gustine tkanja sita uzoraka štampanih magenta termohromatskom bojom</i>	<i>168</i>
<i>Slika 6.4.58:</i>	<i>Termovizijski snimak magenta termohromatske boje drugog merenja uzorka 3 štampanog korišćenjem sita 54 niti/cm nakon 40 s hlađenja</i>	<i>169</i>

Slika 6.4.59:	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 1, odštampan termohromatskom crnom bojom sitom gustine tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm.....</i>	169
Slika 6.4.60:	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 2, odštampan termohromatskom crnom bojom sitom gustine tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm.....</i>	170
Slika 6.4.61:	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 3, odštampan termohromatskom crnom bojom sitom gustine tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm.....</i>	171
Slika 6.4.62:	<i>Uporedni prikaz promene temperature tokom vremena za papirne uzorke odštampane termohromatskom crnom bojom sitima gustine tkanja 43 niti/cm, 90 niti/cm i 165 niti/cm.....</i>	172
Slika 6.4.63:	<i>Uporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za papirne uzorke odštampane termohromatskom crnom bojom sitima gustine tkanja 43 niti/cm, 90 niti/cm i 165 niti/cm.....</i>	173
Slika 6.4.64:	<i>Koordinate sve tri termohromatske boje štampane sa obe gustine tkanja sita (svetliji tonovi 120 niti/cm, tamniji tonovi 54 niti/cm) na uzorcima a) Tekstil 1, b) Tekstil 2, c) Tekstil 3 i d) Tekstil 4.....</i>	174
Slika 6.4.65:	<i>Razlike u boji u odnosu na početne vrednosti za sve tri termohromatske boje na sva četiri materijala štampanih sa obe gustine tkanja sita.....</i>	175
Slika 6.4.66:	<i>RGB fotografije razlike u boji.....</i>	176
Slika 6.4.67:	<i>Primer termo snimka.....</i>	176
Slika 6.4.68:	<i>Zavisnost vremena i temperature na različitim materijalima štampanim sa sve tri boje sa dve gustine tkanja sita a) Tekstil 1, b) Tekstil 2, c) Tekstil 3, d) Tekstil 4.....</i>	177
Slika 6.4.69:	<i>Eksperimentalna postavka za ispitivanje uticajnog faktora vlažnosti.....</i>	178
Slika 6.4.70:	<i>Krive spektralne refleksije za Papir 1, odštampan sitom sa jednim nanosom bele hidrohromatske boje i gustinom tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm.....</i>	179
Slika 6.4.71:	<i>Krive spektralne refleksije za Papir 2, odštampan sitom sa jednim nanosom bele hidrohromatske boje i gustinom tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm.....</i>	179
Slika 6.4.72:	<i>Krive spektralne refleksije za Papir 3, odštampan sitom sa jednim nanosom bele hidrohromatske boje i gustinom tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm.....</i>	180
Slika 6.4.73:	<i>Uporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za papirne uzorke odštampane sitima gustine tkanja 43 niti/cm, 90 niti/cm i 165 niti/cm sa jednim nanosom bele hidrohromatske boje.....</i>	181
Slika 6.4.74:	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 1, odštampan sitom sa dva nanosa bele hidrohromatske boje i gustinom tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm.....</i>	181
Slika 6.4.75:	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 2, odštampan sitom sa dva nanosa bele hidrohromatske boje i gustinom tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm.....</i>	182

Slika 6.4.76:	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 3, odštampan sitom sa dva nanosa bele hidrohromatske boje i gustinom tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm</i>	183
Slika 6.4.77:	<i>Uporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za papirne uzorke odštampane sitima gustine tkanja 43 niti/cm, 90 niti/cm i 165 niti/cm sa dva nanosa bele hidrohromatske boje</i>	183
Slika 6.4.78:	<i>Eksperimentalna postavka prilikom merenja uticajnog faktora UV zračenja.....</i>	184
Slika 6.4.79:	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 1, odštampan magenta fotohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm.....</i>	185
Slika 6.4.80:	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 2, odštampan magenta fotohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm.....</i>	185
Slika 6.4.81:	<i>Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 3, odštampan magenta fotohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm.....</i>	186
Slika 6.4.82:	<i>Uporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za papirne uzorke odštampane magenta fotohromatskom bojom sitima gustine tkanja 43 niti/cm, 90 niti/cm i 165 niti/cm.....</i>	187
Slika 6.4.83:	<i>Grafički prikaz rezultata merenja QR kodova sa 6 alfa i 6 alfanumeričkih karaktera [Đurđević, 2017b].....</i>	188
Slika 6.4.84:	<i>Grafički prikaz rezultata ispitivanja QR kodova koji sadrže 6 numeričkih i 12 alfa karaktera.....</i>	190
Slika 6.4.85:	<i>Arhitektura aplikacije proširene realnosti [Vuforia, 2019b]</i>	193
Slika 6.4.86:	<i>Aplikacija za pametnu ambalažu u Unity programu [Đurđević, 2018a]</i>	193
Slika 6.4.87:	<i>Xcode, generisanje aplikacije.....</i>	194
Slika 6.4.88:	<i>Korisnički interfejs aplikacije.....</i>	194
Slika 6.4.89:	<i>Korisnički interfejs aplikacije razvijen u aplikaciji Sketch [Đurđević, 2018a].....</i>	195
Slika 6.4.90:	<i>Veze između kontrolera aplikacije povezanih u Xcode-u.....</i>	195
Slika 6.4.91:	<i>Razvijena aplikacija koja dodatne informacije o proizvodu prikazuje u 3D prostoru AR okruženja [Đurđević, 2017a]</i>	198
Slika 6.5.1:	<i>Prikaz formiranja konačne matrice opšteg primera zaštitnog elementa</i>	200
Slika 6.5.2:	<i>Gradijentna skala kreirana kao tonski prelaz između boje podloge i punog tona crne boje [Đurđević, 2015b]</i>	201
Slika 6.5.3:	<i>Test karta indikatora pametne ambalaže.....</i>	203
Slika 6.5.4:	<i>Izgled koda u toku testiranja delovanjem UV svetlom</i>	204
Slika 6.5.5:	<i>Varijacije promene stanja zaštitnog elementa.....</i>	204
Slika 6.5.6:	<i>Algoritam razvoja mobilne aplikacije.....</i>	205
Slika 6.5.7:	<i>Algoritam merenja stanja proizvoda putem mobilne aplikacije.....</i>	207
Slika 6.5.8:	<i>Primer konačnog izgleda koda kao i matrica prilikom očitavanja</i>	209

<i>Slika 6.5.9:</i>	<i>Aplikacija očitava barkod i različite klase proizvoda usled promene stanja zaštitnog elementa</i>	<i>210</i>
<i>Slika 6.5.10:</i>	<i>Raspored elemenata pametne nalepnice za zaštitnu, informativnu funkciju i identifikaciju roka trajanja proizvoda [Đurđević, 2015b]</i>	<i>211</i>
<i>Slika 6.5.11:</i>	<i>Algoritam razvoja rešenja.....</i>	<i>212</i>
<i>Slika 6.5.12:</i>	<i>Razlika u boji nakon digitalne konverzije u sive tonove</i>	<i>213</i>
<i>Slika 6.5.13:</i>	<i>Šema očitavanja temperature indikatora na osnovu konverzije dobijene slike, očitavanja gradijentne skale kreirane na osnovu karakteristika boje i temperature</i>	<i>214</i>
<i>Slika 9.1.1:</i>	<i>Mogućnost upotrebe modela: a) Dobijanje obaveštenja sa Beacon uređaja, b) Navođenje korisnika do proizvoda, c) AR tehnologija i skeniranje zaštitnog elementa, d) Informacije o proizvodu</i>	<i>225</i>

Spisak tabela

<i>Tabela 2.2.1: Poređenje jednodimenzionih i dvodimenzionih barkodova</i>	17
<i>Tabela 2.2.2: Poređenje broja dostupnih aplikacija i alata za razvoj najpoznatijih mobilnih platformi</i>	31
<i>Tabela 2.3.1: Karakteristike RFID UHF antene</i>	34
<i>Tabela 2.3.2: Karakteristike mašine Mimaki JV3-160SP</i>	35
<i>Tabela 2.3.3: Osnovne tehničke karakteristike korišćene mašine za tampon štampu</i>	36
<i>Tabela 2.3.4: Epson 4880 karakteristike</i>	36
<i>Tabela 2.3.5: Karakteristike multimetra UNI-T UT30B</i>	37
<i>Tabela 2.3.6: Karakteristike mobilnog uređaja Sony Ericsson Xperia mini pro</i>	38
<i>Tabela 2.3.7: Karakteristike mobilnog uređaja LG E510 Optimus Hub</i>	38
<i>Tabela 2.3.8: Karakteristike mobilnog uređaja Samsung N7100</i>	39
<i>Tabela 2.3.9: Metoda prvog istraživanja - veličine QR kodova, nivoi zaštite podataka i tekstilne podloge za štampu [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014]</i>	41
<i>Tabela 2.3.10: Vrednosti otpornosti pre testova [Agošton, Novaković, 2009]</i>	48
<i>Tabela 2.3.11: Vrednosti otpornosti nakon testova [Agošton, Novaković, 2009]</i>	48
<i>Tabela 5.2.1: Karakteristike tekstilnih materijala</i>	58
<i>Tabela 5.2.2: Karakteristike konvencionalne sito boje [NSGrafoProm, 2015]</i>	59
<i>Tabela 5.2.3: Sastav i osobine termohromatske boje na bazi vode [SFXC, 2011]</i>	60
<i>Tabela 5.2.4: Sastav i osobine hidrohromatske boje na bazi vode [SFXC, 2010]</i>	61
<i>Tabela 5.2.5: Karakteristike NFC Ntag213</i>	62
<i>Tabela 5.2.6: Karakteristike Beacon tag-a</i>	63
<i>Tabela 5.2.7: Arduino starter kit</i>	64
<i>Tabela 5.2.8: Osnovne tehničke karakteristike korišćenog uređaja za homogenizaciju boje i veziva</i>	65
<i>Tabela 5.2.9: Osnovne tehničke karakteristike korišćene mašine za sito štampu</i>	66
<i>Tabela 5.2.10: Konica bizhub C224e</i>	67
<i>Tabela 5.2.11: Osnovne tehničke karakteristike korišćenog multifunkcionalnog uređaja za sušenje otisaka</i>	67
<i>Tabela 5.2.12: Tehničke karakteristike industrijske pegle</i>	68
<i>Tabela 5.2.13: Osnovne tehničke karakteristike uređaja za kontrolu kvaliteta filma</i>	69
<i>Tabela 5.2.14: Karakteristike TQC grindometra</i>	70
<i>Tabela 5.2.15: Karakteristike svetlosnog mikroskopa LEITZ-Orthoplan</i>	71
<i>Tabela 5.2.16: Tehničke karakteristike uređaja za merenje CIELab vrednosti</i>	71
<i>Tabela 5.2.17: Tehničke karakteristike Spectrodens uređaja</i>	72
<i>Tabela 5.2.18: Karakteristike termovizijske kamere - Fluke TiS45 Thermal Imager</i>	73

<i>Tabela 5.2.19: Karakteristike merača relativne vlažnosti i temperature Extech RH 520A</i>	73
<i>Tabela 5.2.20: Karakteristike uređaja Eye One Basic Pro 2</i>	74
<i>Tabela 5.2.21: Karakteristike uređaja za posmatranje uzoraka Agile Radiant Controlled Light</i>	75
<i>Tabela 5.2.22: Monitor Samsung T220</i>	76
<i>Tabela 5.2.23: Karakteristike mobilnog uređaja Apple iPhone X</i>	77
<i>Tabela 5.2.24: Karakteristike mobilnog uređaja Samsung Galaxy S5</i>	78
<i>Tabela 5.2.25: Nyloprint Combination CW 22 x 30</i>	80
<i>Tabela 5.2.26: Vremena i temperature sušenja uzoraka</i>	86
<i>Tabela 6.1.1: Osobine zaštitnih elemenata prikazane preko ID elementa</i>	96
<i>Tabela 6.3.1: Koncept baze podataka o proizvodima</i>	105
<i>Tabela 6.3.2: Struktura tabele o zaštitnim elementima</i>	106
<i>Tabela 6.3.3: Struktura tabele o proizvodima</i>	106
<i>Tabela 6.3.4: Struktura tabele grupa proizvoda</i>	107
<i>Tabela 6.3.5: Struktura tabele podgrupe proizvoda</i>	107
<i>Tabela 6.3.6: Struktura tabele serija proizvoda</i>	108
<i>Tabela 6.3.7: Struktura tabele prodajna mesta</i>	108
<i>Tabala 6.4.1: Barkod baza podataka proizvoda proširena sa informacijama vezanim za zaštitne elemente čija promena stanja utiče na promenu stanja proizvoda</i>	110
<i>Tabela 6.4.2: Karakteristike čestica pigmenta cijan grafičke boje na osnovu softverske analize</i>	129
<i>Tabela 6.4.3: Karakteristike čestica pigmenta fotohromatske magenta grafičke boje primenom softverske analize</i>	131
<i>Tabela 6.4.4: Karakteristike čestica pigmenta termohromatske crne grafičke boje primenom softverske analize</i>	133
<i>Tabela 6.4.5: Prikaz srednjih vrednosti temperature za tekstilne uzorke plave termohromatske boje</i>	136
<i>Tabela 6.4.6: Prikaz srednjih vrednosti temperature za papirne uzorke plave termohromatske boje</i>	137
<i>Tabela 6.4.7: Prikaz vrednosti CIE L*a*b* koordinata i razlika boja za tekstilne uzorke odštampane plavom termohromatskom bojom</i>	144
<i>Tabela 6.4.8: Prikaz vrednosti CIE L*a*b* koordinata i razlika boja za papirne uzorke odštampane plavom termohromatskom bojom</i>	146
<i>Tabela 6.4.9: Prikaz srednjih vrednosti temperature za tekstilne uzorke štampane žutom termohromatskom bojom</i>	150
<i>Tabela 6.4.10: Prikaz srednjih vrednosti temperature za papirne uzorke</i>	150
<i>Tabela 6.4.11: Prikaz vrednosti CIE L*a*b* koordinata i razlika boja za tekstilne uzorke odštampane žutom termohromatskom bojom</i>	157
<i>Tabela 6.4.12: Prikaz vrednosti CIE L*a*b* koordinata i razlika boja za papirne uzorke odštampane žutom termohromatskom bojom</i>	158

<i>Tabela 6.4.13: Rezultati spektrofotometrijskih merenja za magenta termohromatsku boju tekstil 1.....</i>	<i>161</i>
<i>Tabela 6.4.14: Rezultati spektrofotometrijskih merenja za magenta termohromatsku boju tekstil 2.....</i>	<i>162</i>
<i>Tabela 6.4.15: Rezultati spektrofotometrijskih merenja za magenta termohromatsku boju tekstil 3.....</i>	<i>162</i>
<i>Tabela 6.4.16: Rezultati spektrofotometr. merenja za magenta termohromatsku boju tekstil 4.....</i>	<i>163</i>
<i>Tabela 6.4.17: Prikaz rezultata ispitivanja QR kodova koji sadrže 6 alfa i 6 alfanumeričkih karaktera [Đurđević, 2017b].....</i>	<i>188</i>
<i>Tabela 6.4.18: Prikaz rezultata ispitivanja QR kodova koji sadrže 6 numeričkih i 12 alfa karaktera.....</i>	<i>189</i>
<i>Tabela 6.4.19: Prikaz rezultata ispitivanja QR kodova koji sadrže 12 alfanumeričkih i numeričkih karaktera.....</i>	<i>191</i>
<i>Tabela 6.4.20: Prikaz rezultata ispitivanja QR kodova koji sadrže JPG sliku.....</i>	<i>192</i>

Spisak skraćenica

API	Application programming interface (Programski interfejs za aplikacije)
AR	Augmented reality (Proširena realnost)
BLE	Bluetooth Low Energy (Bluetooth tehnologija za komunikaciju emitovanjem malih paketa podataka)
CSS	Cascading Style Sheets (Kaskadni opisi stila)
EAN	European Article Number (Evropski broj artikla)
FRR	First-read rate (Analiza stope čitljivosti)
GS1	integrisani sistem globalnih standarda namenjenih za tačnu identifikaciju i prenos informacija koje se odnose na proizvode, sredstva, usluge i lokacije
GS1 ID key	GS1 identification key (GS1 identifikacioni ključ)
GTIN	Global Trade Item Number (Broj globalne trgovinske jedinice)
HMD	Head mounted display (3D vizir)
HTML	Hypertext Markup Language (Jezik za opis hiper teksta)
IRO	Integrirano razvojno okruženje
JPG	Joint Photographic Experts (format za fotografije)
MAP	Modified Atmosphere Packaging (Ambalaža sa modifikovanom atmosferom)
NFC	Near Field Communication (Komunikacija kratkog polja)
QR CODE	Quick Response Code (Dvodimenzionalni kod brzog odziva)
PDF	Portable Document Format (Standardni format za dokumenta)
RFID	Radio frequency identification device (Uređaj za identifikovanje putem radio frekvencija)
SfM	Real-time structure from motion (Struktura iz pokreta u realnom vremenu)
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping (Simultana lokalizacija i mapiranje)
TTI	Time-temperature indicator (Vremensko-temperaturni indikator)
UPC	Universal Product Code (Univerzalni kod proizvoda)
URL	Uniform Resource Locator (Jedinstveni lokator resursa)
URI	Uniform Resource Identifier (Jedinstveni identifikator resursa)
UV	Ultraviolet (Ultraljubičasto zračenje)
WSN	Wireless sensor network (Bežična senzorska mreža)
WEB	World Wide Web (Internet)
Wi-Fi	Bežična lokalna računarska mreža koja počiva na standardu IEEE 802.11

SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
1.1	Obrazloženje teme i okvir istraživanja.....	1
1.2	Pregled sadržaja disertacije.....	2
2	AKTUELNO STANJE U OBLASTI ISTRAŽIVANJA.....	3
2.1	Grafička ambalaža.....	3
2.1.1	Klasifikacija ambalaže.....	3
2.1.2	Ambalažni materijali.....	4
2.1.3	Nove ambalažne tehnologije.....	7
2.2	Pametna ambalaža.....	9
2.2.1	Aktivna ambalaža.....	9
2.2.1.1	Adsorberi.....	10
2.2.1.2	Emiteri.....	12
2.2.1.3	Adapteri.....	14
2.2.2	Inteligentna ambalaža.....	15
2.2.2.1	Štampani kodovi.....	16
2.2.2.2	Štampana elektronika i senzori.....	19
2.2.2.3	Pametni indikatori, boje i pigmenti.....	23
2.2.2.4	Proširena realnost.....	29
2.2.3	Pametni mobilni uređaji.....	31
2.2.3.1	Mobilne aplikacije.....	31
2.2.3.2	Tehnologije mobilnih uređaja za interakciju sa pametnom ambalažom.....	31
2.2.4	Tehnike štampe pametne ambalaže.....	32
2.3	Istraživanja prethodno sprovedena na departmanu od interesa za razvoj modela.....	34
2.3.1	Materijali i uređaji korišćeni u prethodno sprovedenim istraživanjima na departmanu od interesa za razvoj modela.....	34
2.3.2	Metode korišćene u prethodno sprovedenim istraživanjima na departmanu od interesa za razvoj modela.....	39
2.3.2.1	Metoda ispitivanja modula štampanih kodova.....	39
2.3.2.2	Metoda ispitivanja modula štampane elektronike.....	42
2.3.3	Rezultati prethodno sprovedenih istraživanja na departmanu od interesa za razvoj modela.....	43
2.3.3.1	Prethodna ispitivanja modula štampanih kodova.....	43
2.3.3.2	Prethodna ispitivanja modula štampane elektronike.....	47
2.3.4	Diskusija rezultata prethodno sprovedenih istraživanja na departmanu od interesa za razvoj modela.....	51
2.3.4.1	Ispitivanja modula štampanih kodova.....	52
2.3.4.2	Ispitivanja modula štampane elektronike.....	53
3	PREDMET, PROBLEM I CILJ ISTRAŽIVANJA.....	54
3.1	Predmet istraživanja.....	54
3.2	Problem i cilj istraživanja.....	55
4	HIPOTEZA ISTRAŽIVANJA.....	56

5	MATERIJALI I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	57
5.1	Plan i faze istraživanja	57
5.2	Razvoj metodologije istraživanja	58
5.2.1	Materijali.....	58
5.2.1.1	Karakteristike podloga korišćenih za štampu.....	58
5.2.1.2	Karakteristike boja korišćenih za štampu	58
5.2.1.3	Karakteristike korišćenih senzorskih elemenata i štampane elektronike	61
5.2.2	Uređaji	64
5.2.2.1	Priprema za štampu i štampa uzoraka.....	64
5.2.2.2	Merni instrumenti	68
5.2.2.3	Ostali uređaji	75
5.2.3	Softveri	80
5.2.3.1	Adobe Flash CS 6.....	80
5.2.3.2	Adobe Illustrator CC	80
5.2.3.3	Adobe Photoshop CC	80
5.2.3.4	3ds Max	81
5.2.3.5	EngView Package Designer.....	81
5.2.3.6	Xcode.....	81
5.2.3.7	Unity	81
5.2.3.8	Right Hemisphere Deep Exploration.....	82
5.2.3.9	Fluke SmartView.....	82
5.2.3.10	Payton.....	82
5.2.3.11	Matlab.....	82
5.2.3.12	ImageJ.....	82
5.2.4	Metode.....	83
5.2.4.1	Metoda pripreme za štampu i štampe uzoraka	83
5.2.4.2	Metoda analiziranja veličine čestica pigmenata grafičkih boja	86
5.2.4.3	Metoda razvoja baza.....	88
5.2.4.4	Metoda ispitivanja modula štampanih kodova.....	88
5.2.4.5	Metoda ispitivanja modula štampane elektronike	88
5.2.4.6	Metoda ispitivanja modula indikatora pametne ambalaže boja i pigmenata.....	89
5.2.4.7	Metoda ispitivanja modula proširene realnosti	91
6	REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	93
6.1	Razvoj baze znanja o promenama stanja robe na osnovu promena stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.....	94
6.2	Postavljanje globalnog modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže	98
6.2.1	Adaptacija	99
6.2.2	Registracija	99
6.2.3	Baza podataka	99
6.2.4	Prikaz rezultata.....	99
6.2.5	Modul identifikacije štampanih kodova grafičke ambalaže.....	100
6.2.6	Modul identifikacije štampane elektronike i senzora grafičke ambalaže	101

6.2.7	Modul identifikacije indikatora, boja i pigmenata pametne ambalaže	102
6.2.8	Modul identifikacije grafičke ambalaže proširenom realnošću.....	103
6.3	Razvoj koncepta baze podataka o proizvodima, zaštitnim elementima i prodajnim mestima	104
6.4	Istraživanja karakteristika postojećih rešenja zaštitnih elemenata	109
6.4.1	Istraživanja karakteristika štampanih kodova grafičke ambalaže	109
6.4.1.1	Barkod	109
6.4.1.2	QR kod.....	110
6.4.2	Istraživanja karakteristika štampane elektronike i senzora grafičke ambalaže.....	113
6.4.2.1	NFC	113
6.4.2.2	Senzori	118
6.4.2.3	Beacon-i.....	121
6.4.3	Istraživanja karakteristika indikatora, boja i pigmenata pametne ambalaže	122
6.4.3.1	Indikatori pametne ambalaže	122
6.4.3.2	Pametne boje	127
6.4.3.3	Termohromatske boje	134
6.4.3.4	Hidrohromatske boje	178
6.4.3.5	Fotohromatske boje	184
6.4.4	Istraživanja karakteristika grafičke ambalaže za potrebe proširene realnosti	187
6.4.4.1	Čitljivost QR kodova u proširenoj realnosti.....	187
6.4.4.2	Aplikacija za kontrolu svežine	192
6.5	Razvoj konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže	199
7	DISKUSIJA REZULTATA.....	216
7.1	Razvoj baze znanja o promenama stanja robe na osnovu promena stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže	216
7.2	Postavljanje globalnog modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže	216
7.3	Razvoj koncepta baze podataka o proizvodima, zaštitnim elementima i prodajnim mestima	216
7.4	Istraživanja karakteristika postojećih rešenja zaštitnih elemenata	216
7.4.1	Istraživanja karakteristika štampanih kodova	217
7.4.2	Istraživanja karakteristika štampane elektronike i senzora grafičke ambalaže.....	217
7.4.3	Istraživanja karakteristika indikatora, boja i pigmenata pametne ambalaže	217
7.4.4	Istraživanja karakteristika grafičke ambalaže za potrebe proširene realnosti	218
7.5	Razvoj konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže	219
8	ZAKLJUČAK	220
9	NAUČNI DOPRINOS ISTRAŽIVANJA I MOGUĆNOST PRIMENE U PRAKSI	224

10	LITERATURA	226
11	PRILOZI	239
11.1	PRILOG P1 - Spektrofotometrijska, kolorimetrijska i toplotna analiza svih uzoraka	239
11.2	PRILOG P2 - Termohromatska plava boja štampana na tekstu 1 gustinom tkanja 54 niti/cm.....	239
11.2.1	PRILOG P2.1 - Rezultati merenja uzoraka.....	239
11.2.2	PRILOG P2.2 - Srednje vrednosti rezultata merenja uzoraka.....	239
11.2.3	PRILOG P2.3 - CIE ΔE_{00} razlike u boji uzoraka	240
11.2.4	PRILOG P2.4 - Srednje vrednosti CIE ΔE_{00} razlike u boji uzoraka	240
11.3	PRILOG P3 - Termohromatska crna boja štampana na papiru 1 gustinom tkanja 90 niti/cm	240
11.3.1	PRILOG P3.1 - CIE ΔE_{00} razlike u boji uzoraka	240
11.3.2	PRILOG P3.2 - Rezultati merenja uzoraka.....	241
11.3.3	PRILOG P3.3 - Srednje vrednosti rezultata merenja uzoraka.....	241
11.3.4	PRILOG P3.4 - Srednje vrednosti CIE ΔE_{00} razlike u boji uzoraka	241
11.4	PRILOG P4 - Hidrohromatska bela boja štampana na papiru 1 gustinom tkanja 43 niti/cm	241
11.4.1	PRILOG P4.1 - Rezultati merenja uzoraka.....	241
11.4.2	PRILOG P4.2 - Srednje vrednosti rezultata merenja uzoraka.....	242
11.4.3	PRILOG P4.3 - CIE ΔE_{00} razlike u boji uzoraka	242
11.4.4	PRILOG P4.4 - Srednje vrednosti CIE ΔE_{00} razlike u boji uzoraka	242
11.5	PRILOG P5 - Fotohromatska magenta boja štampana na papiru 1 gustinom tkanja 43 niti/cm.....	242
11.5.1	PRILOG P5.1 - Rezultati merenja uzoraka.....	243
11.5.2	PRILOG P5.2 - Srednje vrednosti rezultata merenja uzoraka.....	243
11.5.3	PRILOG P5.3 - CIE ΔE_{00} razlike u boji uzoraka	243
11.5.4	PRILOG P5.4 - Srednje vrednosti CIE ΔE_{00} razlike u boji uzoraka	243
11.6	PRILOG P6 - Java kod razvijene Android aplikacije	244
12	BIOGRAFIJA SA BIBLIOGRAFIJOM.....	251

1 UVOD

1.1 Obrazloženje teme i okvir istraživanja

Pregledom i analizom istraživanja koja se bave zaštitnim elementima grafičke ambalaže javlja se potreba za istraživanjima usmerenim direktno na razvoj modela za identifikaciju svih postojećih rešenja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Trenutna rešenja za identifikaciju zaštitnih elemenata obuhvataju pojedine grupe zaštitnih elemenata i ne postoji način da se pomoću jedinstvenog modela odredi stanje zaštitnih elemenata koju se mogu koristiti kako pojedinačno tako i kombinovano na ambalažnim proizvodima i vrlo često je potrebno identifikovati više zaštitnih elemenata kako bi se precizno odredilo stanje robe koja je u takav ambalažni sistem upakovana. Zato je neophodno istražiti mogućnost identifikacije više zaštitnih elemenata pomoću jedinstvenog sistema za identifikaciju, a na taj način bi se otvorile nove mogućnosti da se upoređivanjem dobijenih rezultata stanja zaštitnih elemenata stvori model za identifikaciju preciznog stanja robe koja je upakovana u takav ambalažni sistem.

Posebna pažnja u okviru istraživanja biće posvećena inteligentnim ambalažnim sistemima koji sadrže zaštitne elemente štampane kodove, štampanu elektroniku i senzore, pametne indikatore, boje i pigmente i upotrebijenu tehnologiju proširene realnosti. Bitan razlog za upotrebu ovih tehnologija je što zaštitni elementi koji ih čine sadrže digitalnu informaciju o stanju zaštitnog elementa ili analognu informaciju koja se može digitalizovati mobilnim uređajem. Tako da je okviru istraživanja pored povezivanja digitalnih informacija vršena i digitalizacija odgovarajućih informacija koje su se dobijale kao odgovor zaštitnih elemenata na promenu stanja, a potom su nakon eksperimenata ove informacije pridružene u zajednički model. S obzirom da se upotreba mobilnih uređaja u sve većoj meri koristi za komunikaciju sa ambalažnim proizvodima i korisnici već uveliko koriste mobilne uređaje za očitavanje štampanih kodova, štampane elektronike sa ambalaže, kao i da čitaju dodatan sadržaj na ambalaži putem tehnologije proširene realnosti, sve je veća potreba za kreiranjem jedinstvenog modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

Još jedan od razloga za potrebama ovog istraživanja je što pametni indikatori, boje i pigmenti ne sadrže digitalnu informaciju čitljivu mobilnim uređajem, a već uveliko se koriste kao zaštitni elementi grafičke ambalaže. Zadatak ovog istraživanja je i stvaranje modela koji će eksperimentalno formiranom metodologijom informacije sa pametnih indikatora, boja i pigmenta pretvarati u digitalan sadržaj na osnovu kojeg će korisnik imati objektivnu informaciju o stanju zaštitnog elementa, a samim tim i o stanju upakovane robe u dati ambalažni sistem. Rešavanje ovog problema otežava postojanje mnoštva uticajnih parametara kao što su različite podloge za štampu zaštitnog elementa, boja, korišćeni parametri štampe i dr. Urađen je značajan broj istraživanja koji su ispitivali različite uticajne parametre na kvalitet štampe zaštitnih elemenata i na njihov uticaj na rezultate prilikom očitavanja mobilnim uređajem. Cilj koji je postignut je da se na osnovu datih rezultata može predvideti ponašanje zaštitnog elementa pre i nakon digitalizacije i da se sa odgovarajućim podešavanjima parametara mogu dobiti željeni rezultat pre i nakon digitalizacije uzoraka, a time i najveći kvalitet očitavanja stanja zaštitnog elementa.

Nepostojanje metodologije za ispitivanje karakteristika pametnih indikatora, boja i pigmenta kao zaštitnih elemenata grafičke ambalaže je još jedan problem istraživanja.

Unapređenjem procesa štampe ovih zaštitnih elemenata i definisanjem metodologije karakterizacije uticajnih parametara na promenu stanja ovih zaštitnih elemenata javlja se sve veća potreba za njihovim uključivanjem u procese grafičke proizvodnje i štampu pametnih indikatora. Karakterizacijom parametara štampe u značajnoj meri se može odgovoriti zahtevima tržišta, u isto vreme smanjujući troškove i vreme pripreme i proizvodnje zaštitnih elemenata.

Doprinos ovog istraživanja je u produbljivanju primene zaštitnih elemenata u novim tehnologijama pametnih mobilnih uređaja, odnosno u novim procesima grafičke proizvodnje.

1.2 Pregled sadržaja disertacije

Disertacija se tematski može podeliti u dve celine. Prva celina sadrži teorijske osnove i stanja u oblasti istraživanja, koje se završavaju izdvajanjem problema kroz definisanje predmeta i cilja rada i postavkom hipoteze koja je neophodna za razumevanje problematike istraživanja, a na osnovu kojih su oblikovani eksperimenti. Druga celina disertacije se bavi istraživanjem kroz prikaz metodologije i rezultata istraživanja.

Deo Aktuelno stanje u oblasti istraživanja (Poglavlje 2) je podeljen na tri oblasti. U svakoj od ovih oblasti razmatraju se okviri koji su u vezi sa istraživanjem problematike, sa osvrtom na ključne literaturne informacije i trenutna shvatanja u oblasti istraživanja.

Prva oblast posvećena je grafičkoj ambalaži uopšte, pri čemu je akcenat stavljen na njenu klasifikaciju, materijale od kojih može biti proizvedena, a posebno na nove ambalažne tehnologije koje su i osnova za kreiranje zaštitnih elemenata koji su predmet ove disertacije.

U sklopu druge oblasti, pokriven je pojam pametne ambalaže kao vrste nove ambalažne tehnologije. Posebna pažnja posvećena je sistemima aktivne i inteligentne ambalaže, pametnim mobilnim uređajima i tehnikama štampe zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Treća oblast predstavlja istraživanja koja su prethodno sprovedena na Departmanu za grafičko inženjerstvo i dizajn, a čija metodologija i rezultati su od interesa za razvoj modela identifikacije stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

Nakon teorijskih razmatranja definisani su predmet i cilj rada, a zatim je postavljena hipoteza istraživanja. U nastavku rada, odnosno istraživačkom delu disertacije, postavljena hipoteza je eksperimentalno testirana. Istraživački deo je konceptualno izdvojen na dva dela.

Prvi deo iznosi detaljan opis metodologije istraživanja (Poglavlje 5) sa definisanim planom rada i fazama istraživanja, opisanim korišćenim instrumentima, kao i metodama relevantnim za sprovođenje istraživanja.

U drugom delu prikazani su rezultati istraživanja (Poglavlje 6), njihova analiza i diskusija (Poglavlje 7), nakon čega su izvedeni relevantni zaključci (Poglavlje 8).

Na samom kraju rada dat je prikaz naučnog doprinosa istraživanja, kao i mogućnost primene predloženog modela u praksi (Poglavlje 9). Najznačajniji rezultati istraživanja i podaci od značaja za izvođenje eksperimenata koji, zbog svog obima, nisu mogli biti predstavljeni u sklopu istraživačkog dela, prikazani su u poglavlju Prilozi (Poglavlje 11).

2 AKTUELNO STANJE U OBLASTI ISTRAŽIVANJA

2.1 Grafička ambalaža

Grafička ambalaža predstavlja integraciju pojma grafički (*gr. graphein*) što znači pisati, crtati, slikati, reprodukovati; i pojma ambalaža (*fr. emballage*) koji označava imenicu omot. Ona predstavlja neoblikovan ili oblikovan materijal u koji se pakuje predmet ili roba, u cilju zaštite i bezbednijeg transportovanja, kao i zbog lakšeg rukovanja prilikom prometa ili upotrebe. Pod pojmom ambalaža podrazumeva se sve ono u šta je roba smeštena, ili materijal kojim je roba omotana. Uopšteno, ambalažu predstavljaju solidi različitog oblika i veličine, izrađeni od različitih materijala, a namenjeni za raznovrsne robe ili proizvode koji se u njih pakuju. Roba predstavlja materijalno ili nematerijalno dobro čije je osnovno svojstvo da zadovoljava određene ljudske potrebe. Može se razvrstati najčešće na osnovu tri fizička agregatna stanja na: robu u čvrstom, robu u tečnom i robu u gasovitom stanju. Proizvod je rezultat skupa međusobnih povezanih ili međusobno delujućih aktivnosti, koji pretvara ulazne u izlazne elemente [Novaković, 2013a].

Ambalaža mora zaštititi upakovani sadržaj od štetnog delovanja okoline, ali isto tako i okolinu od delovanja upakovanog sadržaja, naročito kada se radi o aromatičnim, otrovnim, eksplozivnim, zapaljivim i drugim opasnim materijama [Šumić, 2013].

Aktivan je činilac prodaje proizvoda koja svojim osobinama kao što su oblik, tekstura, i grafičko rešenje komunicira sa potrošačima i pomaže im u donošenju odluke o kupovini proizvoda [Vujković, 2005]. Osim toga, ambalaža treba da omogući udobno, jednostavno i lako korišćenje i da je u isto vreme atraktivna i savremena. Mora biti prilagođena kupovnoj moći potrošača, njihovoj potrošačkoj kulturi i navikama, i usklađena sa standardima i propisima [Nemet, 2009].

Pojam ambalaže se često greškom smatra sinonimom pojma pakovanje. Pakovanje predstavlja proces postavljanja robe u ambalažu, a može biti podeljeno zavisno od stepena automatizovanosti na manuelno, poluautomatizovano i automatizovano [Novaković, 2013a].

2.1.1 Klasifikacija ambalaže

Grafička ambalaža se može klasifikovati prema različitim kriterijumima. Prema nameni se klasifikuje na pojedinačnu, zbirnu i transportnu. Pojedinačna (komercijalna) ambalaža je namenjena krajnjem kupcu (kese, vreće, kutije itd.). Osnovna funkcija joj je da služi sve do trenutka dok se roba ne upotrebi. Često se naziva i prodajna ambalaža, iz čega se zaključuje da ovakva ambalaža treba da bude lepo dizajnirana, sa svrhom da privuče pažnju kupaca [Janković, Knežević, 1989].

Zbirna ambalaža je namenjena pakovanju većeg broja proizvoda manjih dimenzija u cilju čuvanja i lakšeg rukovanja proizvodima. Najčešće korišćeni materijali za izradu zbirne ambalaže su drvo i karton. Transportna ambalaža je namenjena osiguravanju manipulacije, transporta, skladištenja proizvoda i čuvanju od oštećenja u rukovanju. U zavisnosti od toga

kakav materijal transportuju (u zavisnosti od mase) mogu biti izrađene od metala, plastike, drveta. Predstavnik transportne ambalaže su palete [Janković, Knežević, 1989].

Prema načinu upotrebe grafička ambalaža se klasifikuje na povratnu (tekstilne vreće, sanduci, baloni) i nepovratnu (ambalaža od papira, kartona, plastičnih masa, stakla i dr.). Povratna ambalaža je ambalaža koja se vraća proizvođaču robe tj. može da se koristi više puta za pakovanje. Nepovratna ambalaža je ambalaža koja se koristi samo jednom za pakovanje i kupac je ne vraća proizvođaču već se ona reciklira ili deponuje [Janković, Knežević, 1989].

Grafička ambalaža se prema vrsti materijala od koje je izrađena klasifikuje na keramičku, kožnu, tekstilnu, drvenu, staklenu, papirnu, kartonsku, metalnu, plastičnu i kombinovanu.

Prema obliku grafička ambalaža se klasifikuje na rogljastu - ambalažu pravougaonog preseka (kutije, sanduci), ambalažu okruglog - ovalnog preseka (okrugle kutije, bačve) i kombinovanu ambalažu. Ukoliko nisu upoznati sa cenom proizvoda korisnici često na osnovu oblika ambalaže imaju pretpostavku o ceni proizvoda [Vladić, 2015a]. Rogljasta ambalaža sadrži pravougaone preseke sa rogljastim elementima nastaje različitim postupcima slepljivanja, šivenja i povezivanja. Zaobljena ambalaža sadrži elemente zaobljenja. Svoj zaobljeni oblik dobija u zavisnosti od vrste materijala od koga je napravljena. Kombinovana ambalaža predstavlja ambalažu koja u sebi sadrži i elemente rogljaste i elemente zaobljene ambalaže. Npr. plastična kutija sa rebrastim površinama sadrži orebrenja radi poboljšanja mehaničkih osobina ambalaže, a time se postiže estetsko poboljšanje i smanjuje se količina potrebnog materijala koji će pružiti dovoljnu mehaničku čvrstoću [Novaković, 2012].

Kada su u pitanju istraživanja uticaja oblika ambalaže na opredeljenja korisnika prilikom izbora proizvoda često je primenjena tehnologija „Eye tracking“ [Vladić, 2019].

Grafička ambalaža se prema osnovnoj funkciji klasifikuje na zaštitnu, skladišnu transportnu, prodajnu i upotrebnu.

Prema vrsti proizvoda ambalaža se klasifikuje na ambalažu: za prehrambene proizvode, za hemijsku industriju, za kozmetičku industriju, za farmaceutsku industriju, za industriju prerade metala, za industriju prerade nemetala, za tekstilnu industriju, za kožnu industriju i dr. [Novaković, 2012].

Prema zaštitnoj funkciji može se klasifikovati na osnovu zaštite od dinamičkog naprezanja, držanja i učvršćivanja predmeta, zaštite predmeta od trenja, popunjavanja praznog prostora u ambalaži, povećanja uglova i ivica, povećanja otpora na pritisak u ambalaži i dr.

Prema mogućnostima recikliranja može se klasifikovati na ambalažu koja se može reciklirati, ambalažu koja se reciklira mehaničkim putem, kidanjem, drobljenjem, mlevenjem i sl., ambalažu koja se reciklira hemijskim putem, biodegradacijom, rastvaranjem i sl. i ambalažu koja se ne može reciklirati.

Grafička ambalaža se prema uništivosti klasifikuje na ambalažu koja se može uništiti fizičkim ili hemijskim putem i ambalažu koja se ne može uništiti bez specijalnih postrojenja [Novaković, 2012].

2.1.2 Ambalažni materijali

Razvojem civilizacije i organizovanih ljudskih naselja, javlja se potreba za čuvanjem i transportovanjem hrane i ostalih dobara. Upravo ta potreba je uslovlila razvoj prvih oblika ambalaže u formi posuda i kutija, čija izrada je podrazumevala upotrebu tada dostupnih prirodnih materijala kao što su pruće i lišće raznoraznog drveća, školjke, tikve, životinjske kože, itd. Mnogo kasnije, zahvaljujući otkriću minerala, ruda i hemikalija, kao i razvoju raznih metala i gline, u upotrebu se uvode novi materijali kao što su tekstili, keramika, metali, razni premazi i određene vrste papira [Medium, 2013].

Ambalažnim materijalom se naziva bilo koja sirovina koja služi za izradu cele ili samo nekog dela ambalaže. Danas se pri izradi ambalaže upotrebljavaju različiti materijali: drvo, papir, karton, celofan, staklo, keramika, tekstil, lepenka, prirodna i sintetička guma i u poslednje vreme sve više plastične mase. Takođe, ovi materijali se upotrebljavaju i u različitim međusobnim kombinacijama, pa se tako se sve češće javlja kombinovana ambalaža, gde jedan materijal, na primer, štiti od mehaničkih oštećenja, dok je drugi namenjen hemijskoj zaštiti. Svaki od navedenih materijala ima određene prednosti koje treba poznavati da bi se u konkretnom slučaju izrade ambalaže odabrao najpovoljniji. Izbor adekvatnog ambalažnog materijala treba da bude u funkciji fizičkih i hemijskih svojstava samog upakovanog proizvoda [Novaković, 2012].

S obzirom da je upotreba zaštitnih elemenata grafičke ambalaže u najvećoj meri korišćena pri izradi ambalaže za prehrambene i farmaceutske proizvode, u nastavku su dati primeri ambalažnih materijala korišćenih pri pakovanju upravo ove kategorije proizvoda.

Dizajn i konstrukcija ambalaže igraju značajnu ulogu pri određivanju održivosti, odnosno roka trajanja upakovanog npr. prehrambenog proizvoda (namirnice). Pravi izbor materijala i tehnologija održavaju proizvod kvalitetnim i svežim tokom skladištenja i distribucije [Šumić, 2008].

Materijali koji se tradicionalno koriste za pakovanje prehrambenih proizvoda uključuju: staklo, metale (aluminijum, folije i laminate, beli lim i beskalajni čelik), papir, karton i plastike. Osim toga, više različitih vrsta plastika koriste se u krutoj i u elastičnoj (savitljivoj) formi. Današnja ambalaža za namirnice često je sastavljena od nekoliko materijala da bi se iskoristile funkcionalne i estetske prednosti svakog od materijala [Psodorov, Novaković, Đurđević, 2015, Šumić, 2008].

Upotreba papira i kartona za pakovanje prehrambenih proizvoda datira još iz XVII veka. Njegova upotreba naročito je porasla u drugom delu XIX veka. Papir i karton su materijali u obliku listova dobijeni od ispreplitane mreže celuloznih vlakana izolovanih iz drveta, korišćenjem sulfata i sulfita. Vlakna su zatim pretvorena u kašu i/ili izbeljena i tretirana hemikalijama, kao što su sredstva za jačanje u cilju dobijanja papirnog proizvoda. Papir i karton se obično upotrebljavaju za kartone za mleko, složive kutije, vreće i džakove, i papir za opšte pakovanje proizvoda. Toaletni papir, papirni tanjiri i kutijice su drugi primeri papirnatih i kartonskih proizvoda [Mars, Bugusu, 2007].

Za izradu ambalaže mogu se koristiti običan, specijalni i natron papir, talasasti, višeslojni karton i lepenka. Talasasta lepenka je ambalažni materijal sastavljen od više slojeva međusobno spletenog talasastog papira sa ravnim papirom. Zavisno od namene ambalaže, talasasti karton se može proizvesti od različitih vrsta papira. Za splepljivanje ravnih i talasastih slojeva koriste se vodeno staklo, skrobno lepilo i sintetička lepila [Cvetković, 2010, Šumić, 2008].

Za izradu metalne ambalaže koriste se različiti metali i legure. Ova vrsta ambalaže ima izvanredne fizičke osobine, a nedostatak nekih je nedovoljna hemijska otpornost, podložnost koroziji, veća masa i cena u odnosu na papirnu, drvenu, plastičnu i tekstilnu ambalažu. Metal pruža odličnu fizičku zaštitu i barijerne osobine, sposobnost oblikovanja i dekorativni potencijal, sposobnost reciklaže i prihvatljivost od strane potrošača. Najdominantniji metali od kojih se proizvodi ambalaža od metala su aluminijum i čelik [Šumić, 2008].

Drvo pripada grupi najstarijih materijala za ambalažu. Zbog karakteristika drveta usledile su adekvatne zamene za drvenu ambalažu i sve više se koriste lepenka, karton i sintetički materijali (plastične mase) kao alternativni materijali. Za drvo kao ambalažni materijal koristi se rezana građa jele, bukve, topole, hrasta, kao i furniri od bukve i topole. Od drveta se danas najčešće proizvodi transportna ambalaža raznih oblika i veličina, kao što su sanduci, bačve i slično. Drvena ambalaža se pojavljuje u različitim oblicima i po pravilu je nepovratna, odnosno za jednokratnu upotrebu [Cvetković, 2010].

Staklo ima široku primenu u izradi potrošačke i komercijalne ambalaže. Ima veliku hemijsku otpornost, ne stvara toksične proizvode, ne daje miris, otporno je na atmosferske uticaje i ne propustljivo za mikroorganizme, gasove i tečnosti. Osnovni nedostatak je laka lomljivost, relativno velika masa i slaba zaštita od uticaja sunčeve svetlosti. Osim za pojedine robe (kisela voda, osvežavajuća pića i sl.), ova ambalaža je po pravilu nepovratna. Staklo kao ambalažni materijal ima jako dugu istoriju u primeni pakovanja namirnica. Postoje verovanja da su se prvi predmeti od stakla za čuvanje hrane pojavili 3000 godina p.n.e. [Šumić, 2008].

Moderne tendencije razvoja staklene ambalaže obuhvataju smanjenje mase, oplemenjivanje solima i oblaganje staklenih boca plastičnim masama. Smanjenjem mase ambalaža ne sme izgubiti na mehaničkoj otpornosti. Smanjenje mase se može postići optimizacijom dizajna te unapređenjem proizvodnog procesa. Masa boce može se smanjiti i smanjenjem debljine dna i zidova te boljom raspodelom staklene mase. Težnja je da se proizvode boce samo s nužnim zadebljanjima i to samo na onim mestima na kojima su boce najopterećenije. Sve se veća pažnja posvećuje i hemijskom sastavu stakla, odnosno staklu s boljim mehaničkim svojstvima, jer boca od takvog stakla može imati tanje zidove, a samim time i manju masu [Ahvenainen, 2000; Šumić, 2008].

Tekstilna ambalaža se proizvodi od vlakana biljnog, životinjskog i sintetičkog porekla. Od ove ambalaže proizvode se uglavnom vreće različitih dimenzija, različite gustine tkanja sa različitim načinom vezivanja i zatvaranja, što je predmet posebnih standarda. Ova ambalaža je po pravilu nepovratna. Tekstilna ambalaža ne spada u grupu materijala interesantnih sa aspekta primene u aktivnoj i inteligentnoj ambalaži zbog osnovnih karakteristika ovog materijala, ali se zaštitni elementi mogu štampati na tekstilnim materijalima i kao takvi dodati u ili na ambalažu različitih materijala. Upotreba tekstila za izradu zaštitnih elemenata grafičke ambalaže je interesantna sa aspekta različitog reagovanja ovih materijala na fizičke, hemijske i biološke promene. Na taj način se mogu lako pratiti promene sadržaja upakovanog u ambalažu koja sadrži zaštitni element štampan na različitim vrstama tekstilnih materijala. Treba napomenuti da različiti tekstilni materijali različito reaguju na ove promene, pa se prilikom izrade zaštitnih elemenata mogu postići različiti željeni efekti i karakteristike zaštitnog elementa. Takođe, značajan faktor u eksploataciji tekstilnih proizvoda, a samim tim i tekstilne ambalaže predstavlja otpor na trljanje. Istraživanja su pokazala da trljanje materijala najviše utiče na boju na površini tekstilnog materijala, i to onih koji su štampani Ink Jet tehnikom štampe jer ovu štampu karakteriše tanak nanos boje na površini materijala [Kašiković, 2017].

Zahvaljujući svojim specifičnim osobinama, plastična ambalaža je vrlo brzo osvojila tržište. Ona se relativno lako proizvodi, sa malim utroškom energije i vremena, poseduje mogućnost postizanja specifičnih svojstava, najrazličitijih oblika i dimenzija (što nije uvek slučaj sa ostalim materijalima). Tipični oblici ambalaže od plastičnih masa su boce, gajbe, korpe, baloni, kante, burad i dr., a od folija se proizvode tube, vreće i sl. Po pravilu se koristi kao nepovratna ambalaža [Cvetković, 2010].

Kada je reč o štampi ambalaže od plastičnih masa, različiti su parametri koji utiču na kvalitet dobijenog otiska. U istraživanju uticajnih parametara na kvalitet otiska dobijenog tehnikom sito štampe na PVC folije dobijeni rezultati su pokazali da su motivi na otisku, vrsta podloge za štampu i boja najvažniji uticajni parametri [Kašiković, 2015].

Upotreba plastika za ambalažu namirnica je nastavila rast zahvaljujući niskoj ceni materijala i funkcionalnim prednostima, kao što su termozavarivanje, optička svojstva, i neograničene veličine i oblici. Prevazišla je upotrebu tradicionalnih materijala, kao što su staklo i beli lim. Višestruki tipovi plastika se koriste kao materijali za pakovanje namirnica uključujući poliolefin, poliestar, polivinilhlorid, polistiren, poliamid itd. Iako se više od 30 vrsta plastika koriste kao ambalažni materijali, poliolefini i poliestri su najzastupljeniji [Ahvenainen, 2000].

Razvoj novih materijala i potrebe racionalizacije procesa pakovanja doveo je do pojave novih oblika, odnosno kombinovane ambalaže koja je nastala spajanjem kartonske i

plastične ambalaže koja polako potiskuje konvencionalne oblike kartonske ambalaže. Ona se izvodi od kartonske podloge sa niskim bočnim stranicama u koju se slažu manje jedinice proizvodne ambalaže, preko kojih se postavlja navlaka od termoskupljajuće folije. Nakon zagrevanja, ova folija se skuplja za 30%, čime se dobija veoma kompaktna jedinica, sa daleko boljim mehaničkim osobinama u odnosu na kartonske kutije. Takođe, plastična folija pruža bolju zaštitu od vlage, krađe, doprinosi atraktivnosti ambalaže, a pri tome primena ove vrste ambalaže obezbeđuje niže logističke troškove. Proces primene ovog tipa ambalaže se po pravilu izvodi na automatizovanim mašinama [Ahvenainen, 2000].

Laminiranje ambalaže uključuje stapanje aluminijske folije sa papirnim ili plastičnim filmom u cilju poboljšanja barijernih svojstava. Iako lameliranje plastike omogućava termozavarivanje, a var nije potpuno nepropustan za vlagu i vazduh. Pošto je laminirani aluminijum veoma skup, obično se koristi za pakovanje visoko vrednih namirnica, kao što su dehidrirane supe, biljke i začini. Jeftinija varijanta laminirane ambalaže je metalizirani film. Metalizirani filmovi su plastike koje sadrže tanak sloj aluminijuma. Ovi filmovi imaju poboljšana barijerna svojstva prema vlazi, vazduhu i mirisima, a visoko reflektivna aluminijska površina je privlačna potrošačima. Savitljiviji od lameliranih, metalizirani filmovi se uglavnom koriste za pakovanje grickalica. Iako je pojedinačne komponente laminiranih i metaliziranih filmova tehnički moguće reciklirati, teškoće pri sortiranju i odvajanju materijala isključuju mogućnost ekonomično izvodljivog recikliranja [Marsh, Bugusu, 2007].

Za potrebe ambalaže se vrlo retko i u vrlo malom obimu koristi i ambalaža izrađena od drugih materijala, najčešće od keramike i porcelana [Marsh, Bugusu, 2007].

2.1.3 Nove ambalažne tehnologije

Ambalažna industrija se konstantno razvija i teži ka implementaciji novih tehnologija u cilju zadovoljenja sve većih potreba za proizvodnjom hrane koja će stići do potrošača u bezbednom stanju, a takođe i ispuniti sve standarde i očekivanja u pogledu kvaliteta [Novaković, 2014]. Inovacije u ambalažnim tehnikama dolaze sa vrlo striktnim zahtevima u pogledu bezbednosti hrane, produženjem roka trajanja, smanjenjem cene, ekološkim aspektima, zahtevima za hranom koja je minimalno prerađena, bez veštačkih dodataka, promenama u snabdevanju i distribuciji hrane i unapređenju kvaliteta procesa izrade ambalaže za hranu [Petrović, 2018]. Razvijaju se brojni načini tj. tehnologije kao što su aktivna i inteligentna ambalaža, pakovanje u modifikovanoj atmosferi i jestivi filmovi/premazi. Zajedničko za ove sisteme je to što ih jednim imenom nazivamo pametna ambalaža, a materijale od kojih su izgrađeni nazivamo pametni materijali.

Pametni materijali prema definiciji predstavljaju one materijale koji mogu da opažaju i reaguju na promene u svojoj okolini na predvidiv i koristan način [Parliament, 2008]. "Pamet" kod materijala se određuje na osnovu odnosa između njegovih svojstava, njegovog stanja i energije koja je na njega primenjena. Ukoliko ovaj odnos utiče na unutrašnju energiju materijala, menjajući molekularnu/kristalnu strukturu, kao i mikrostrukturu, onda će ulazna energija dovesti do promena svojstava materijala tj. materijal će apsorbovati ulaznu energiju i podleći promenama. Promena unutrašnje strukture je zajednička osobina svih pametnih materijala. Pametni sistemi (kao što je pametna ambalaža) se u odnosu na pametne materijale razlikuju po tome što su oni sačinjeni od senzora koji ima funkciju opažanja promena u okruženju, kontrolne grupe koja obrađuje prikupljene podatke i određuje tip akcije, i aktuatora koji izvršava željenu akciju. Ključnu ulogu kod ovakvih sistema imaju pametni materijali od kojih se izrađuju neke od njegovih komponenti [Ferrara et al., 2014].

Postoji mnogo grupa pametnih materijala, od kojih svaka od njih poseduje određena svojstva koja se mogu iskoristiti za razne visoko tehnološke i svakodnevne primene. Pod tim grupama se podrazumevaju [Talbot, 2003]:

- Hromatski materijali - ovoj grupi pripadaju materijali koji menjaju svoju boju usled promena u njihovom okruženju.
- Materijali sa memorijom oblika - ovaj efekat se opisuje kao proces kada materijal na određenoj temperaturi (temperatura transformacije ili memorije) menja svoj oblik ili pamti određeni oblik. Materijali koji mogu samo jednom da promene oblik ili da zapamte oblik se nazivaju jednostepeni materijali. Za razliku od njih, dvostepeni materijali mogu da zapamte dva oblika, od kojih je jedan karakterističan za temperaturu ispod, a drugi za temperaturu iznad temperature transformacije. U medicini se npr. koriste za stentove i funkcionišu tako što šire arterije i pospešuju protok krvi kada se zagreju do temperature tela.
- Piezoelektrični materijali - za ove materijale je karakteristično da mogu da promene svoj oblik ukoliko se kroz njih propusti struja. Isto tako, ukoliko im se oblik promeni usled delovanja neke sile, mogu da generišu električno polje. Glavna prednost ovih materijala je momentalna reakcija u promeni oblika ili generisanja struje, što im omogućava raznovrsnu primenu. Piezoelektrični materijali se najčešće upotrebljavaju kao aktuatori (kada menjaju oblik usled propuštanja struje - akustika, mlaznice Ink Jet štampača, optička vlakna, itd.), a takođe se mogu upotrebljavati i kao senzori (kada generišu električno polje - sistemi za prigušenje i detekciju zemljotresa u zgradama, sistemi za detekciju udara i aktiviranje vazдушnih jastuka u automobilima).
- Magnetostriktivni materijali - ovi materijali su veoma slični piezoelektričnim materijalima samo što se promena oblika kod njih ostvaruje u prisustvu magnetnog polja. Mogu se koristiti i kao aktuatori (kada se oblik menja usled delovanja magnetnog polja) i kao senzori (kada se usled promena oblika delovanjem neke sile stvara magnetno polje). Koriste se kod opreme za pozicioniranje, linearnih motora, slušnih aparata, ultrazvučnih čistača, hirurških alata i dr.
- Magnetno i elektro reološki materijali - ovi materijali su zapravo tečnosti koje menjaju svoja reološka svojstva pod dejstvom magnetnog, odnosno, električnog polja. Koriste se u građevinskoj, automobilskoj i vazduhoplovnoj industriji za stabilizaciju i amortizaciju vibracija.

Ovi kompleksni materijali predstavljaju rezultat interdisciplinarnog područja istraživanja. Zbog svoje relativno homogene prirode, pametni materijali se mogu proizvoditi u veoma malim dimenzijama, mikro i nano dimenzijama, što pruža mogućnost za njihovu integraciju u druge materijale, interakciju sa njihovim okruženjem, kao i ugradnje senzora, aktuatora i mikro elektromehaničkih sistema u svakodnevne predmete i njihovo okruženje, a čime se predmetima pridodaju sasvim nove funkcije i osobine kao što su osetljivost, interaktivnost i komunikativnost. Isto tako, omogućavaju unapređenje postojeće tehnologije tako što je pojednostavljuju, redukuju težinu i šansu za pojavom grešaka [Parliament, 2008, Ferrara et al., 2014].

Inovacione aktivnosti u polju ambalaže se sve više šire ka razvoju pametne ambalaže, ali kako bi primena pametne ambalaže bila dozvoljena neophodno je bilo urediti zakone i doneti određene odredbe. Prema Odredbi Evropske Unije o materijalima i predmetima koji dolaze u dodir sa hranom, koja je stupila na snagu 2004. godine (Regulation 1935/2004), dopušteno je uvođenje "aktivne" i "inteligentne" ambalaže [Cirillo et al., 2015].

2.2 Pametna ambalaža

U poslednjih nekoliko godina, industrija ambalaže je usled promena zahteva potrošača i tržišta, naročito u području hrane i pića, pretrpela značajne promene [FMSBlog, 2016]. Osnovni zadatak svake ambalaže za hranu jeste da je zaštiti od vode, svetlosti, kiseonika, kao i od hemijskih i mikrobioloških zagađenja. Stoga, ambalaža igra veoma važnu ulogu kada su u pitanju kvalitet i rok trajanja hrane [Otles, Yalcin, 2008]. Može se reći da je uloga tradicionalne ambalaže prema njenom sadržaju bila pasivna, odnosno, da je ta uloga podrazumevala ostvarivanje manjeg stepena interakcije ambalaže i njenog sadržaja. Iako je doprinos tradicionalne ambalaže na razvoj prvih sistema za distribuciju hrane ogroman, njena ograničenja po pitanju održavanja kvaliteta i produženja roka trajanja prehrambenih proizvoda dovode do toga da ona ne može da ispuni zahteve današnjeg kompleksnog društva. Kao odgovor na visoke zahteve tržišta i potrošača, a zahvaljujući naprednim tehnologijama, u upotrebu se uvodi pametna ambalaža [Han et al., 2013].

Pametna ambalaža zapravo predstavlja kombinovanu primenu pametnih materijala, nauke i ambalažne tehnologije. Ona pored vršenja osnovnih funkcija ambalaže ujedno doprinosi i poboljšanju nekih od njih. Sve tehnologije pametne ambalaže uključuju neke fizičke, hemijske ili biološke akcije kako bi promenile interakciju između ambalaže, proizvoda i njegovog okruženja, a radi postizanja željenog ishoda [Dawange et al., 2010].

Prema načinu delovanja, pametna ambalaža može da se podeli na aktivnu i inteligentnu ambalažu [LaManna, 2017].

“Pamet” kod pametne ambalaže može da se protumači na razne načine i pokriva niz funkcionalnosti u zavisnosti od proizvoda koji sadrži - hrana, piće, lekovi, kućni proizvodi, itd. Primeri trenutnih i budućih funkcija ambalaže za koje se smatra da su “pametne” jesu one ambalaže koje mogu da [Pavelkova, 2012]:

- zadrže integritet i aktivno učestvuju u sprečavanju kvarenja hrane (produženje roka trajanja hrane),
- poboljšavaju karakteristike proizvoda (izgled, ukus, miris, aroma, itd.),
- aktivno odgovore na promene u okruženju ambalaže ili samog proizvoda,
- prenose informacije korisniku o proizvodu, njegovoj istoriji ili nekim drugim uslovima,
- asistiraju pri otvaranju i prikazuju svoju zatvorenost,
- potvrde autentičnost proizvoda i sprečavaju krađu i dr.

2.2.1 Aktivna ambalaža

Pod aktivnom ambalažom se podrazumeva ambalaža u koju su inkorporirane aktivne supstance, koje mogu da se prenesu na upakovani proizvod ili u atmosferu oko upakovanog proizvoda (otpuštanje aktivnih materija), da vežu određene supstance iz vazdušnog prostora i na taj način doprinesu produžavanju roka upotrebe, odnosno održavanju kvaliteta upakovanog proizvoda [Holley, 2001]. Ona je tip ambalaže koja ima mogućnost da menja uslove unutar ambalaže kako bi zapakovanoj hrani održala kvalitet, produžila rok trajanja ili poboljšala sigurnosna ili senzorna svojstva.

Sistemi aktivne ambalaže (slika 2.2.1) se mogu klasifikovati kao [Han et al., 2013]:

- aktivni sistemi za apsorbovanje i uklanjanje (kiseonika, etilena, ugljen dioksida, vlage, mirisa, ukusa),

- aktivni sistemi za oslobađanje (emitovanje - ukusa, mirisa, enzima, antioksidanasa, konzervanasa, ugljen dioksida),
- sistemi sa materijama koje su integrisane u ili pričvršćene na sam ambalažni materijal (grejanje, hlađenje, antimikrobna svojstva).

U nastavku rada je data detaljna klasifikacija aktivnih ambalažnih sistema.



Adsorber etilena



Adsorber kiseonika



Adsorber vlage



Adsorber
ugljen-dioksida



Adsorber UV zraka



Susceptori

Slika 2.2.1: Primeri aktivnih ambalažnih sistema

2.2.1.1 Adsorberi

Adsorberi predstavljaju aktivne sisteme za apsorbovanje kiseonika, etilena, ugljen dioksida, vlage, mirisa, ukusa i drugih supstanci. U nastavku su data pojedinačna objašnjenja ovih aktivnih sistema.

Antimikrobni agensi

Antimikrobne supstance (agensi) pokazuju usporavajuće dejstvo na razmnožavanje mikroorganizama. Ovo dejstvo se zasniva na fizičkim, fizičko-hemijskim i biohemijskim reakcijama. Vrlo često se različiti pojedini efekti sumiraju, a ponekad je dovoljno blokirati i samo jedan stupanj neke reakcije u ćeliji mikroorganizama. Antimikrobne supstance se mogu hemijski vezati za površinu ambalaže koja dolazi u kontakt sa upakovanim proizvodom. Kada se antimikrobne supstance na površini aktiviraju, počinje ponovni rast mikroorganizama što ima za posledici kvarenje proizvoda. Pored toga, antimikrobne supstance se mogu inkorporirati u sloj višeslojne ambalaže, koji dolazi u kontakt sa upakovanim proizvodom. U toku skladištenja ambalaže ovaj sloj otpušta - dozira antimikrobnu supstancu na površinu upakovanog proizvoda i sprečava razvoj mikroorganizama [Jovanović, Džunuzović, 2011].

Adsorber kiseonika

Prisustvo kiseonika u ambalaži može da izazove ili ubrza oksidacione reakcije koje dovode do kvarenja hrane. Kiseonik omogućava razvoj aerobnih mikroorganizama i plesni. Oksidacione reakcije mogu dovesti do neželjenih pojava kao što su gubitak mirisa hrane, bezukusnost, nepoželjna promena boje ili smanjenje nutritivnih vrednosti.

Absorberi kiseonika su ubedljivo komercijalno najvažnija potkategorija aktivne ambalaže i na tržištu su u stalnom porastu u poslednjih nekoliko godina. Razvoj sistema absorpcije kiseonika je prvobitno bio baziran na samolepljivim etiketama, drugim lepljivim aplikacijama ili vrećicama koje su bile uključene u ambalažu sa hranom. Sledeći koncept, razvijen kasnije, je bio baziran na izradi aktivnih supstanci uključenih u sam materijal od kog je izrađena ambalaža, korišćenjem jednoslojnih ili višeslojnih materijala ili reaktivnih obloga u zatvaračima za flaše i tegle [Rooney, 2005].

Adsorber ugljen dioksida

Visok nivo ugljen dioksida je poželjan u određenim ambalažama hrane jer on usporava rast mikro organizama. Nasuprot tome, visok nivo ugljen dioksida nastao kao rezultat kvarenja hrane ili oksidacionih reakcija može prouzrokovati negativne efekte na kvalitet upakovanih prehrambenih proizvoda. Višak ovakvog ugljen dioksida se može ukloniti korišćenjem visoko propustljivih plastičnih elemenata čija se propustljivost povećava na višim temperaturama [Aaron, 2008]. Međutim predstavljanjem ambalaže sa modifikovanom atmosferom javlja se potreba za generisanjem različitih koncentracija ugljen dioksida kako bi se zadovoljili specifični zahtevi određene upakovane hrane. Kako je ugljen dioksid propustljiviji kroz plastični film nego kiseonik, mora se aktivno proizvoditi u nekim aplikacijama kako bi se održavala željena atmosfera unutar ambalaže. Problemi povezivani sa difuzijom gasova, isključivo ugljen dioksida nisu u potpunosti rešeni i predstavljaju važno područje za buduća istraživanja [Kemal, 2011].

Adsorber vlage

Promene kvaliteta proizvoda zbog vezivanja vlage su izraženija kod hidroskopskih proizvoda. Kod najvećeg broja prehrambenih proizvoda povećanje sadržaja vlage, pored ostalog, može da omogućiti i ubrzan razvoj neželjenih mikroorganizama [Jovanović; Džunuzović, 2011]. Adsorberi vlage pomažu održavanju optimalne relativne vlažnosti unutar ambalaže (za narezano voće i povrće, oko 85%), smanjenje gubitka vlažnosti i usporavanje viška vlage u unutrašnjosti ambalaže i porama gde može doći do rasta mikroorganizama. Ovi absorberi mogu da uklanjaju i iscedenu tečnost ili tečnost koja curi iz svežih proizvoda. Za hranu osetljivu na vlagu, višak vlage u ambalaži može izazvati štetne promene: na primer, kod praškastih proizvoda stvaranje vlažnih gromuljica, omekšavanje hrskavih proizvoda kao što su krekeri, i vlaženje higroskopskih proizvoda kao što su slatkiši. Nasuprot tome, prevelik gubitak vlage iz hrane može dovesti do isušivanja proizvoda. Adsorberi vlage pomažu kontroli prisutnosti vlage, čime se smanjuje rast mikroorganizama, uklanja otopljen vodu iz zamrznutih proizvoda i krv ili tečnosti iz mesnih proizvoda, sprečava se mogućnost stvaranja kondenzacije kod svežih namirnica [Vermeiren et al., 1999].

Adsorber etilena

Etilen je prirodni hormon biljaka proizveden procesom sazrevanja. On ubrzava respiraciju proizvoda, što dovodi do bržeg sazrevanja i kvarenja hrane. Uklanjanje etilena iz unutrašnjosti ambalaže pomaže produženju roka trajanja i svežine proizvoda. On utiče na klijanje, rast biljaka i njihovih plodova, njihovo sazrevanje i na kraju kvarenje. Smanjenjem količine etilena u prostoru oko na primer voća može se usporiti njegovo zrenje i kvarenje. Ovo se može ostvariti ili usporavanjem reakcije nastajanja etilena ili uklanjanjem već nastalog etilena u ambalaži ili prostoru u kome je skladištena. Pozitivan uticaj uklanjanja hormona zrenja - etilena iz atmosfere ambalažnog proizvoda koji naknadno sazrevaju (voće i povrće) pri transportu i lagerovanju omogućava da se branje voća i prikupljanje povrća može izvoditi i pri većem stepenu zrelosti [Jovanović, Džunuzović, 2011; Zagori, 1995].

Adsorber ukusa i mirisa

Miris i ukus su jedne od glavnih metoda detekcije koju potrošači koriste kako bi utvrdili da li je proizvod još uvek bezbedan za konzumiranje [Vermeiren et al., 1999]. Ukoliko proizvod izgubi kvalitetan miris ili ukus, potrošač konzumira hranu koja nije pogodna za konzumaciju. Interakcija ambalaže sa mirisom hrane je odavno poznata, posebno kroz nepoželjno mešanje sa sastojcima hrane. Adsorberi mirisa i ukusa se mogu koristiti za uklanjanje neželjenih mirisa i ukusa nastalih tokom oksidacionih i biohemijskih reakcija koje nastaju tokom kvarenja proizvoda. Kada se ambalaža otvori, ta jedinjenja se otpuštaju i prepoznaje ih potrošač. Komercijalno, vrlo je malo ovih vrsta adsorbera i oni trenutno nisu dozvoljeni u EU [Brody, Budny, 1995].

Adsorberi UV zraka

Zračenje sa talasnim dužinama manjim od 390 nm može kod nekih prehrambenih proizvoda da izazove na primer promenu boje, promenu ukusa ili razgradnju vitamina u upakovanom proizvodu. Za sprečavanje negativnog uticaja zračenja na postojanost proizvoda u ambalaži se inkorporiraju aditivi koji apsorbuju zrake navedenih talasnih dužina (UV-apsorberi) i tako sprečavaju promenu navedenih svojstava upakovanih proizvoda. Ambalaža sa UV-adsorberima se posebno koristi pri pakovanju viršli i drugih mesnih proizvoda, piva i voćnih sokova [Jovanović, Džunuzović, 2011]. Njihova uloga se pre svega ogleda u sprečavanju promene boje materijala ambalaže, promene ukusa proizvoda i razgradnje vitamina. Kao i drugi adsorberi i UV adsorberi neposredno utiču na produženje roka trajanja proizvoda. Primeri upotrebe su: meso i mesni proizvodi, začini, pivo, voćni sokovi itd. [Kemal, 2011].

2.2.1.2 Emiteri

Emiteri predstavljaju aktivne sisteme za oslobađanje (emitovanje) ukusa, mirisa, enzima, antioksidanasa, konzervanasa, ugljen dioksida i dr. U nastavku su data pojedinačna objašnjenja ovih aktivnih sistema.

Etanol emiteri

Antibakterijska aktivnost etanola (poznatijeg kao alkohol) je poznata i koristi se u medicinskim i farmaceutskim proizvodima. Etanol se pokazao kao pogodan za produženje roka trajanja hleba i drugih pečenih proizvoda, a primenjuje se prskanjem na površinu proizvoda pre samog pakovanja u ambalažu.

Novi način generisanja etanolske pare, nedavno razvijen u Japanu, baziran je na korišćenju sistema za oslobađanje etanola u vidu male kesice priložene unutar ambalaže za hranu. Etanol se adsorbuje na fini inertni prah koji je zatvoren u kesicu propustljivu za vodenu paru. Vлага se adsorbuje iz hrane pomoću inertnog praha i etanolska para je oslobođena i prožima kesicu sa prahom koja se nalazi unutar ambalaže. Ovaj sistem je odobren u Japanu, a pokazao je da se njime može produžiti rok trajanja različitih kolača i torti [Brody, Budny, 1995].

Emiter ugljen dioksida

Ugljen dioksid se može dodavati kako bi izazvao povoljne efekte, na primer, za suzbijanje rasta mikroorganizama u određenim proizvodima kao što su sveže meso, piletina, sir i peciva [Lopez-Rubio et al., 2004]. Ugljen dioksid se takođe koristi za smanjenje stopa razmene gasova kod svežih proizvoda [Labuza, 1996] i da prevaziđe raspadanje ambalaže ili

delimični vakum uzrokovan adsorberima kiseonika [Vermeiren et al., 1999]. Ugljen dioksid je dostupan u različitim oblicima, kao što su vlagom aktivirane bikarbonatne hemikalije u kesicama i upijajućim jastučićima.

Emiteri antioksidansa

Kiseonik može biti štetan za prehrambene proizvode jer može izazvati neprijatan ukus i miris i promenu boje na proizvodu. Proizvodi sa visokom količinom masti i ulja posebno su skloni oksidaciji, uključujući orahe, čips i prerađeno meso, pa se u ambalažu mogu ugraditi antioksidansi koji smanjuju stepen oksidacije. Velika količina antioksidansa se gubi tokom oslobađanja, ali ostatak apsorbuje hrana, pružajući određenu zaštitu. Ispitivanja su pokazala da na brzinu oslobađanja utiče tip hrane unutar ambalaže i to zavisno od sadržaja masti, alkohola i kiselina [Yam, 2009].

Emiteri konzervansa

Organske kiseline i njihovi derivati su dobro poznati konzervansi koji se koriste u pripremi hrane, a isto tako se mogu koristiti za ugrađivanje u ambalažni materijal [Yildirim et al., 2017].

Sumpor dioksid emiteri

Sumpor dioksid se prvenstveno koristi za kontrolu razvoja plesni i buđi u određenom tipu voća. Ozbiljni gubici paleta grožđa se mogu desiti osim ako se preduzmu mere predostrožnosti protiv razvoja plesni i buđi. Neophodno je držati grožđe u frižideru u kombinaciji sa nadimljavanjem niskim nivoom sumpor dioksida.

Nadimljavanje može biti sprovedeno u prodavnicama hladnog voća a isto tako uspešno i unutar kartonske ambalaže. Nadimljavanje kartonske ambalaže se sastoji od kombinacije brzo oslobađajućih i sporo oslobađajućih sistema, koji emituju malu količinu sumpor dioksida.

Kada temperatura unutar ambalaže grožđa raste do neadekvatno kontrolisane temperature, sporo oslobađajući sistem ne oslobađa brzo sav sumpor dioksid. Ovo može dovesti do neželjenih promena na grožđu i nepoželjnog izbeljivanja ovog voća. Dosta truda je uloženo u razvoj ovih sistema, koji postepeno oslobađaju sumpor dioksid i manje su osetljivi na visoke temperature i vlagu od onih koji su ranije korišćeni. Ovi sistemi imaju potencijal da budu korišćeni za sveže grožđe i prerađenu hranu kojoj je dozvoljeno da sadrži sumpor dioksid kao što su sušeno voće i vino [Yildirim et al., 2017].

Emiteri mirisa

Osnovni cilj uključivanja mirisa proizvoda u polimerni materijal je poboljšanje mirisa hrane kako bi privukli potrošače kada se ambalaža otvori, kao i da bi se izbalansirali štetni efekti gubitka mirisa. Aditivi za mirise, bilo sintetička ili prirodna esencijalna ulja, mogu se koristiti za dodavanje mirisa proizvodu ili za maskiranje neželjenih mirisa pogotovu polimerne ambalaže. Tehnologija uključuje kontrolisano, produženo oslobađanje aroma nakon prvog otvaranja ambalaže i nakon uzastopnih ponovnih otvaranja. Plastika mora biti u ravnoteži između adsorpcije i oslobađanja mirisa a to zavisi od nekoliko faktora koji se tiču karakteristika i plastike i korišćenog emitera mirisa. Ovo se mora pažljivo ispitati tokom dizajniranja ove aktivne komponente ambalaže [Prasad, Kochhar, 2014; Panagiotis, 2002; Koontz, 2006].

2.2.1.3 Adapteri

Ovaj vid aktivne komponente ambalaže ne adsorbuje niti otpušta supstance, već izaziva željene hemijske ili biološke promene na upakovanom proizvodu i/ili mikroorganizmima prisutnim u upakovanom proizvodu ili unutrašnjoj atmosferi ambalaže (npr. smanjuju rast mikroorganizama).

Ambalaža sa modifikovanom atmosferom

Modifikovana atmosfera predstavlja vodeću tehnologiju čuvanja prehrambenih proizvoda. Tehnologija ambalaže sa modifikovanom atmosferom (MAP - *Modified Atmosphere Packaging*) predstavlja primenu gasova prilikom pakovanja različitih proizvoda, u cilju održanja kvaliteta namirnica na putu od proizvođača do potrošača. Gasovi koji se za ove potrebe pretežno koriste su azot, ugljen dioksid i kiseonik [Messer, 2015; Mirković, 2013].

Pakovanje namirnica u ambalažu sa modifikovanom atmosferom je poseban tretman već gotovih proizvoda, koji štiti namirnice koje sadrže masti i aromatične materije od oksidacije, održava svežinu, i obezbeđuje duži rok trajanja proizvoda bez promene boje.

Svrha pakovanja u ambalažu sa modifikovanom atmosferom je produženje roka trajanja proizvoda, tako da se delovanje gasova posmatra u pogledu njihove sposobnosti da spreče ili uspore proces raspadanja namirnica prouzrokovan mikroorganizmima ili fizičko-hemijskim agensima, koji dubinski menjaju namirnicu čineći je nepodobom za konzumiranje [Mirković, 2013].

Ambalaža sa temperaturnom kontrolom

Aktivna ambalaža sa kontrolom temperature uključuje upotrebu inovativnih izolacionih materijala, limenki za samostalno zagrevanje i rashlađivanje. Samostalno zagrevanje i rashlađivanje ambalaže je pogotovu korisno za ambalažu za hranu i napitke.

Susceptori

U ambalažu za pakovanje namirnica se mogu inkorporirati i takozvani susceptori, koji konvertuju elektromagnetne zrake u toplotu na primer pri zagrevanju prehrambenih proizvoda u mikrotalasnim pećima [Jovanović, Džunuzović, 2011].

Susceptori pri zagrevanju u mikrotalasnoj pećnici konvertuju elektromagnetno zračenje u toplotu. Na principu vrtložne struje grejanja, elektromagnetni mikrotalasi prodiru u sloj aluminijuma. Na taj način dolazi do generisanja vrtložne struje dovoljno visokog električnog otpora i proizvod se zagreva.

Samozagrevajući i rashladni sistemi

Samozagrevajući ambalažni sistemi koriste kalcijum ili magnezijum okside i vodu za generisanje egzotermnih reakcija. Koriste se za plastične čaše za kafu, vojne namirnice, i ambalažu brze hrane. Uređaj za grejanje zauzima značajan deo zapremine, gotovo više od polovine zapremine ambalaže. Osnovni princip se zasniva na pritiskanju dugmeta na limenci, što oslobađa malu količinu vode koja pomešana sa oksidom izaziva egzotermnu reakciju koja zagreva proizvod.

Sistemi za hlađenje uglavnom su namenjeni bezalkoholnim napicima i pivu u limenkama. Ambalaža sa rashladnim sistemom uključuje isparavanje spoljašnjeg jedinjenja koje uklanja toplotu iz sadržaja (obično voda koja je isparila i adsorbovala se na površinu). Ambalaža sadrži dva dela. U gornjem delu, napitak je okružen pregradom u kojem se nalazi

vodeni gel. U donjem delu se nalazi desikant (hemijsko jedinjenje koje upija vodu) u vakuumu. Korisnik okreće donji deo boce kako bi prekinuo zapečaćen deo i pad pritiska uzrokuje da voda oko boce brzo isparava ka gornjem delu, hladeći proizvod. Voda je absorbovana od strane desikanta, i hladnjak adsorbuje toplotu sprečavajući da boca bude topla na dodir. Korak isparavanja smanjuje temperaturu napitka do 16°C. Na tržištu se mogu naći različite vrste ambalaže za pivo sa sistemima za samostalno hlađenje [Potter, 2008].

Sistemi za uklanjanje

Ovi sistemi služe za uklanjanje pojedinih supstanci iz atmosfere unutar ambalaže ili iz same hrane kako bi povećali kvalitet upakovane hrane. U nastavku je objašnjen primer jednog ovog sistema. S obzirom da živimo u društvu sa trendom zdravstvene svesti, postalo je poželjno uklanjanje određenih komponenti iz hrane, uključujući npr. laktozu i holesterol. Potencijalno, laktaza bi se mogla ugraditi u zid ambalažnog materijala za hidrolizu laktoze u mleku ili mlečnim proizvodima. Enzim koji redukuje holesterol pretvara holesterol u koprosterol i time smanjuje količinu apsorbovanog holesterola [Coles et al., 2013].

Ostali sistemi

U ostale sisteme ubrajamo one koji zbog specifičnosti svoje izrade ne mogu da se pridruže ni jednoj do sada objašnjenoj grupi adaptera. U nastavku je dat primer jestivih filmova/premaza koji spadaju u ovu grupu.

Jestivi zaštitni filmovi mogu da se definišu kao tanki sloj materijala koji potrošač može konzumirati, a svrha jestive ambalaže je da zaštititi proizvod od uticaja kiseonika i vlage tj. degradacije. Određeni proteini u funkciji jestive ambalaže mogu poslužiti kao nosači nekih organskih kiselina koji inhibiraju rast bakterija kao potencijalnih kontaminanata hrane. Osim toga film može biti antioksidans, ali i funkcionalni dodatak samom proizvodu [Ščetar, 2011].

Ovaj tip ambalaže se koristi i za mikroinkapsuliranje određenih supstanci (prvenstveno aroma) u cilju efikasnog i preciznog doziranja istih u hranu. Mikroinkapsuliranje predstavlja proces kojim materije, tečnosti ili čak gasovi mogu biti prisutne u mikroskopskim delovima formirajući tanak prekrivač oko supstanci [Nemet, 2009].

2.2.2 Inteligentna ambalaža

Inteligentnom ambalažom se smatra ona ambalaža koja ima mogućnost da opaža neke od osobina proizvoda koji okružuje ili okruženja u kojem se proizvod čuva, i da o njihovom stanju obavesti proizvođača, prodavca ili krajnjeg potrošača [Pavelkova, 2012].

Dakle, inteligentna ambalaža pruža korisniku informacije o stanju upakovane robe ili njenom okruženju zahvaljujući svojoj mogućnosti da detektuje, opaža i beleži promene [Biji et al., 2015]. Savremeni sistemi za obezbeđivanje kvaliteta i sigurnosti imaju zadatak da spreče kontaminaciju na taj način što će vršiti praćenje, snimanje i kontrolu kritičnih parametara tokom čitavog životnog ciklusa proizvoda, koji podrazumeva fazu nakon obrade i nastavlja se tokom njegovog perioda korišćenja od strane korisnika. Npr. jedan od najznačajnijih parametara za praćenje kvaliteta upakovane hrane je temperatura [Pavelkova, 2012]. Inteligentna ambalaža sadrži sisteme za nadgledanje stanja upakovane robe kako bi dala informaciju o kvalitetu robe tokom transporta i skladištenja. Za ostvarivanje inteligentnog svojstva ambalaže, mogu se koristiti tri inteligentna sistema [Gregor-Svetec, 2017]:

- nosači informacija - namenjeni za skladištenje, distribuciju i praćenje, a radi ostvarivanja što efikasnijeg protoka informacija u lancu snabdevanja (barkod, QR kod i druge vrste kodova; RFID i dr.) [Gregor-Svetec, 2017];

- senzori - uređaji za otkrivanje, lociranje i merenje fizičkog ili hemijskog svojstva na koje uređaj reaguje (biosenzori, senzori gasova i dr.) [Biji et al., 2015];
- indikatori (interni i eksterni) - supstance koje ukazuju na prisustvo, odsustvo ili koncentraciju druge supstance, ili stepen reakcije između dve ili više supstanci pomoću karakteristične promene, najčešće u boji (vremensko temperaturni indikatori, indikatori ugljen dioksida, oštećenja, svežine, kiseonika, itd.) [Biji et al., 2015].

Sistemi inteligentne ambalaže bilo da su zasnovani na indikatorima ili senzorima, prate određene aspekte upakovane robe i pružaju informaciju potrošaču [Robertson, 2006]. Potrošač dobija dodatne informacije o kvalitetu upakovane robe putem na primer vizuelnih indikatora, koji izmenom boje ukazuju na povremeno povećanje temperature hlađenog proizvoda i potrošaču pružaju informaciju o datumu do kojeg proizvod zadržava potrebni kvalitet i čime se povećava sigurnost [Jovanović, Džunuzović, 2011].

Prema Ghaani-ju realizacija inteligentne ambalaže deli se na tri glavne tehnologije: senzore, indikatore i prenosnike podataka. Ove tehnologije međusobno razlikuju se ne samo u „hardveru“ (fizičkom sastavu), nego i u količini i vrsti podataka koji se mogu preneti, kao i na koji način su podaci sakupljeni i distribuirani [Ghaani et al., 2016].

Razvojem tehnologije inteligentne ambalaže i tehnologije mobilnih uređaja kreirana je nova podela (slika 2.2.2) koja deli elemente inteligentne ambalaže na osnovu njihove primene na: barkodove/QR kodove, pametne indikatore, pigmente i boje, proširenu realnost i senzore/štampanu elektroniku [Eagle, 2018].



Slika 2.2.2: Podela inteligentne ambalaže

2.2.2.1 Štampani kodovi

Štampani kodovi su prenosnici podataka i čine protok informacija unutar lanca snabdevanja efikasnijim. Jedna od osnovnih funkcija prenosnika podataka je praćenje, automatizacija, zaštita od krađe ili falsifikovanja [McFarlane, Sheffi, 2003].

Upotreba ovih tehnologija ne samo da olakšava dobijanja informacija, već i omogućava upotrebu mobilnih uređaja za interakciju sa korisnicima ambalaže, mestima, predmetima i povećava upotrebljivost i korisnost ovih uređaja. Upotreba štampanih kodova znatno raste i razvija se, pogotovo u polju ambalaže. U početku, su korišćeni samo da bi se proizvodi pratili, ali sada je došlo do toga da je već razvijeno nekoliko novih koncepata koji integrišu fizički svet sa virtuelnim upravo putem štampanih kodova na ambalaži [Vasquez-Briseno et al, 2012]. Kodovi koji se štampaju konvencionalnim bojama su linijski bar-kodovi i dvodimenzionalni bar-kodovi (primer su QR kodovi).

Barkodovi



Bar-kod se za potrebe ambalaže kao simbol štampa direktno na ambalažni materijal ili na samolepljivu nalepnicu i takav identifikovani proizvod se transportuje do prodajnih ili mesta za skladištenje, gde se skenira prikladnom opremom i dekodira iz bar-koda u konkretnu i razumljivu informaciju tj. određeni podatak o proizvodu [Vidić, 2015].

Sam računar ne može da čita bar-kodove, tj. informaciju sadržanu u njemu. Zbog toga se podaci pri skeniranju prevode u podatke koje računar može da koristi. Uređaj koji „čita“ ili skenira bar-kod informacije i šalje ih u dekodirer naziva se bar-kod čitač ili bar-kod skener [Novaković, 2013a].

Barkodovi su jeftini, jednostavni za upotrebu i visoko rasprostranjeni. Koriste se kao olakšanje kontrole i evidencije zaliha, kao i informacija o proizvodu. Barkodovi se mogu podeliti na jednodimenzionalne i dvodimenzionalne. Osnovna razlika između njih je kapacitet skladištenja informacija. Podela barkodova je vršena na osnovu GS1 sistema standarda. GS1 sistem je integrisani sistem globalnih standarda namenjenih za tačnu identifikaciju i prenos informacija koje se odnose na proizvode, sredstva, usluge i lokacije. GS1 sistem je najšire primenjen sistem standarda u lancu snabdevanja u svetu. Zasnovan je na širokoj primeni efikasnih rešenja u lancu snabdevanja [GS1, 2019].

S obzirom da su barkodovi u širokoj primeni i van područja ambalažne industrije, u ovom istraživanju će biti dat naglasak na barkodovima koji se isključivo koriste pri označavanju ambalaže. U tabeli 2.2.1 vidimo poređenje tipova jednodimenzionalnih i dvodimenzionalnih barkodova koji se koriste za obeležavanje ambalaže [GS1, 2019], pored njih koriste se još i UPC jednodimenzionalni kodovi kao i Code-128 i Code-39.

Tabela 2.2.1: Poređenje jednodimenzionalnih i dvodimenzionalnih barkodova

Tip Oznaka	Jednodimenzionalni			Dvodimenzionalni	
	ITF-14	GS1-128	EAN-13	GS1 DataMatrix	GS1 QR Code
Slika					
Kapacitet	14 numeričkih znakova	48 alfanumeričkih znakova	13 numeričkih znakova	3116 numeričkih, 2335 alfanumeričkih znakova	7089 numeričkih, 4296 alfanumeričkih znakova
Višedirekcioni	Ne	Ne	Da	Da	Da
Dodatni tipovi informacija	Ne	Serijski brojevi, rok trajanja	Ne	Serijski brojevi, rok trajanja	Eksterne URL informacije
Primena	Ambalaža od talasaste lepenke	Logistika i transport	Skeniranje proizvoda na mestu prodaje	Metalna ambalaža	Informacije o proizvodu

Vrste jednodimenzionalnih barkodova su ITF-14 i GS1-128. Barkod GS1-128, se prethodno nazivao UCC/EAN-128, on može da nosi bilo koji od GS1 ID ključeva, kao i informacije poput serijskih brojeva, roka trajanja i dr. ITF-14 barkod može da sadrži samo GTIN (*Global Trade Item Number*) i pogodan je za štampanje na različitim površinama [GS1, 2019]. S obzirom da postoji nekoliko tipova barkodova koji se upotrebljavaju u ambalažnoj industriji nisu svi barkodovi neophodni za sve proizvode. U nastavku su dati primeri barkodova koji se upotrebljavaju.

UPC

UPC (*eng. Universal Product Code*) Univerzalni kod proizvoda su barkodovi koji se koriste za obeležavanje i skeniranje robe široke potrošnje na prodajnim mestima širom sveta, a posebno u Sjedinjenim Američkim Državama. Postoje dve varijacije UPC koda [Tackels, 2015]: UPC-A kod se sastoji od 12 brojeva i UPC-E kod od šest brojeva.

UPC kodovi su po karakteristikama najbliži EAN kodovima. Jedina razlika je u kapacitetu, jer UPC može da sadrži 12 ili 6 numeričkih simbola, čije karakteristike su slične evropskom GS1 standardu [Stewart, 2019].

CODE 128

U ambalažnoj industriji CODE 128 se koristi za logistiku i transport. Ovi mali, kompaktni kodovi obično se primenjuju samo za proizvode koji se ne prodaju fizički već putem internet prodaje. Na primer, ako prodavnica ekskluzivno prodaje proizvod putem internet prodavnice, proizvod sadrži kod 128 da bi se obezbedilo praćenje tokom dostave. Ovi kodovi su jedinstveni jer mogu sačuvati mnogo informacija u vidu slova i brojeva. Podržavaju svih 128 znakova ASCII skupa. Code-128 predstavlja preteču i zastarelu verziju GS1-128, (UCC/EAN-128) barkoda [Stewart, 2019].

Code 39

Code-39 predstavlja jednodimenzionalni barkod koji se sastoji od 43 alfanumerička simbola i koristi se pretežno u automobilske industriji i američkom Ministarstvu odbrane. Iako su ovo najčešće industrije koje to koriste, barkodovi Code 39 mogu se koristiti i u raznim industrijama kao što je i ambalažna. Kada je prvi put stvoren ovaj stil barkoda, mogao je koristiti samo 39 cifara ili znakova. Otuda i naziv. Sada može da koristi do 43 što ga čini sličnijim kodu 128 [Stewart, 2019].

EAN Codes

EAN kodovi su drugi stil barkoda koji se koristi za skeniranje proizvoda u trgovini tokom procesa odjave. Ovi se kodovi obično nalaze samo u Evropi, mada izgled im je vrlo sličan UPC kodu. Najveća razlika je njihova regionalna primena.

Kao i UPC, postoje dve glavne vrste EAN kodova. Prvi je najpopularniji, a to je EAN-13. On ima 13 cifara umesto UPC-ovih 12. Drugi je EAN-8, koja se takođe koristi za proizvode gde je prostor ograničen [Stewart, 2019].

Dvodimenzionalni barkodovi

Vrste dvodimenzionalnih barkodova su GS1 DataMatrix i GS1 QR Code. Dvodimenzionalni (2D) barkodovi su kvadratnog ili pravougaonog oblika i mogu imati obrasce kvadrata, tačaka, šestougla i drugih geometrijskih oblika. Jedan dvodimenzionalni barkod može da sadrži značajnu količinu informacija i može ostati čitljiv čak i kada se štampa u maloj površini ili je ugraviran na proizvod. Za razliku od jednodimenzionalnih, dvodimenzionalni imaju mnogo veći kapacitet skladištenja informacija, kao i funkciju višedirekcionog skeniranja [GS1, 2019].

Datamatrix

Data Matrix je popularan izbor dvodimenzionalnog barkoda zbog svoje sposobnosti ugrađivanja velike količine podataka u mali prostor olakšava uklapanje na dizajn ambalaže i samih proizvoda. GS1 Data Matrix simboli se čitaju 2D skenerima za čitanje slika ili video sistemima. Većina drugih skenera, koji ne čitaju dvodimenzionalne slike, ne mogu da čitaju

GS1 Data Matrix. Upotreba GS1 Data Matrix simbola treba da bude ograničena na nove primene u kojima se koriste skeneri koji čitaju sliku duž celog lanca snabdevanja. Jedan Data Matrix kod može sadržati do 3116 numeričkih znakova ili 2335 alfanumeričkih znakova [GS1, 2019].

QR Kodovi

QR kod (*eng. Quick Response Code*) je vrsta matričnog, dvodimenzionalnog koda. Dok su konvencionalni bar-kodovi u mogućnosti da skladište maksimalno oko 20 znakova, QR kod, može da sadrži od nekoliko desetina do nekoliko stotina puta više informacija. Upotreba QR kodova je sve veća pri komercijalnim uslugama, na primer, upotreba QR kodova kao vodič pri kupovini u velikim centrima za kupovinu. U ovom slučaju, QR kodovi se koriste za skladištenje informacija o proizvodima u radnjama, uključujući i geografske širine i dužine lokacije proizvoda. Kada uređaj prepozna kod, počinje komunikacija sa serverom za identifikaciju trenutne lokacije kupca, kao i da se daju određene informacije, tipa - najnovije akcije i promocije proizvoda, pronalaženje najkraćeg puta od njihovog trenutnog položaja do odredišta [Vasquez-Briseno et al, 2012].

Digimarc barkod

Digimarc barkod nudi široku primenljivost i veliki kapacitet podataka. Može sadržati iste podatke kao UPC/EAN simboli ili nositi slične podatke kao QR i matrični kodovi podataka. Predstavlja metodu za neprimetno dodavanje karakteristika ambalaži: slike, zvuka s podacima i dr. Njih otkrivaju omogućeni uređaji, kao što su telefoni, računari, skeneri barkoda i specijalna mašinska oprema za očitavanje [Digimarc, 2019].

2.2.2.2 Štampana elektronika i senzori

Štampana elektronika i senzori su grupa uređaja čija primena u ambalažnoj industriji doprinosi poboljšanju mogućnosti ambalaže u smislu smeštanja podataka, praćenja ambalaže, praćenja stanja proizvoda unutar ambalaže i dr. Uređaje koji spadaju u ovu grupu a koriste se u ambalažnoj industriji delimo na RFID, NFC, Beacon-e i senzore (slika 2.2.3).



RFID



NFC



BEACON

Senzor temperature
ThinFilm

Biosenzor



Senzor kiseonika

Slika 2.2.3: Primeri štampane elektronike i senzora inteligentne ambalaže

RFID

Značajan napredak u razvoju pametne ambalaže, ali i ambalaže uopšte ostvaruje se primenom tehnologije identifikacije pomoću radiofrekvenci (*engl. radio frequency identification device - RFID*) tehnologije. Ova tehnologija se sastoji u tome da se pri pakovanju proizvoda u ambalažu ugradi RFID oznaka u koji se npr. unese vreme pakovanja i relevantni programi. RFID oznake se nalaze obično na dnu ambalaže ili u okviru etikete na ambalaži. Uređaji koji očitavaju ili pišu informacije na RFID oznake signal prenose putem radio talasa. Na taj način se podaci mogu čitati i sa određene udaljenosti. Podaci o proizvodu ili celom lancu snabdevanja proizvoda se nalaze u mobilnoj bazi podataka. Prednosti ovog sistema su efikasnost i sledljivost u lancu snabdevanja i sigurnosna oznaka protiv falsifikovanja proizvoda. Pored dodeljenih opštih podataka o proizvodu, preko odgovarajućih senzora u čipu se permanentno skupljaju relevantne informacije o stanju kvaliteta jednog proizvoda, kao na primer o temperaturi, vlažnosti, sastavu gasne faze u pakovanju, itd., i pri prekoračenju unetim programom predviđenih vrednosti uključuje se alarm. Svi prikupljeni podaci iz čipa mogu se preko antene ugrađene u čip pomoću odgovarajućeg čitača preneti u kompjuter i dalje obrađivati [Schmidt, 2002]. Analizom podataka prenetih sa čipa u kompjuter moguće je reprodukovati „životni put proizvoda“ od pakovanja do upotrebe što će sigurno doprineti i smanjenju falsifikovanja npr. skupih farmaceutskih proizvoda. RFID tehnologija već olakšava optimizaciju skladištenja upakovanih proizvoda u magacine i hladnjače i njihovo dalje korišćenje. Očekuje se da će ova tehnologija uskoro potpuno zameniti primenu klasičnih barkodova za označavanje upakovanih proizvoda [Jovanović, Džunuzović, 2011].

NFC

NFC (*eng. Near Field Communication*) je tehnologija bežične komunikacije kratkog dometa. Može se uporediti sa tehnologijama kao što su 3G, 4G, Wi-Fi, s tim što NFC koristi drugu frekvenciju, dugi nivo električnog napajanja i komunikacioni protokol koji drugačije izvršava slanje i primanje informacija. NFC tehnologija je znatno doprinela razvoju ambalaže zbog lakšeg načina povezivanja sa kupcima, bržim transakcijama, i jednostavnoj razmeni podataka. S obzirom na nagli razvoj “Apple Pay” i “Android Pay” sistema za plaćanje putem NFC tehnologije, novi pametni telefoni kao standardnu opremu imaju NFC čitače [Petković, 2012].

Povezivanjem NFC tehnologije i inteligentne ambalaže, znatno se može povećati zadovoljstvo kupaca i povećati prodaja, ali svakako i bezbednost proizvoda od oštećenja i krađe. Sa NFC oznakama na ambalaži, kupac lako može da proveri u kakvom stanju je proizvod, da li je došlo do neke zloupotrebe ili kvarenja proizvoda kao i da pročita više informacija o samom proizvodu, proizvođaču ili radnji u kojoj kupuje [Petković, 2012].

Beacon-i

Beacon je jeftin predajnik koji koristi Bluetooth tehnologiju (BLE) za komunikaciju emitovanjem malih paketa podataka. Kao i tradicionalni Bluetooth, BLE prenosi podatke na maloj razdaljini i troši malo energije. Budući da BLE ima domet od oko 50 metara, idealan je za unutrašnje okruženje kao što su prodavnice, pa se koristi i u ambalažnoj industriji. Trgovci je već koriste za kupce u prodavnici, od slanja dobrodošlice na ulazu u radnju do ekskluzivnih ponuda dok pregledaju proizvode. Sve što je potrebno je da potrošač ima odgovarajuću mobilnu aplikaciju - obično je to službena aplikacija prodavca ili neka opšta aplikacija za kupovinu. Ono što je interesantno je da ukoliko korisnik ima na mobilnom uređaju dozvoljene notifikacije može informaciju dobiti i bez instaliranja posebne aplikacije [Blogger, 2016].

Senzori

Tehnologija senzora u ambalaži treba da obezbedi vidljivu indikaciju za dobavljača ili korisnika da li su namirnice i dalje sveže, ili da li je ambalaža oštećena, čuvana na odgovarajućim temperaturama u okviru lanca snabdevanja, ili je proizvod u ambalaži pokvaren. Ključni faktori u njihovoj upotrebi su cena, robusnost, kompatibilnost sa različitim ambalažnim materijalima. Nanosenzori za otkrivanje kontaminacije, falsifikovanja proizvoda, pokvarenosti i otkrivanja uzroka kvarenja proizvoda se aktivno razvijaju, a neki su već komercijalno dostupni [Nachay, 2007].

Senzori mogu da obezbede alternativu za dugotrajne, skupe i destruktivne analitičke tehnike koje se trenutno primenjuju za praćenje upakovanih prehrambenih proizvoda i njegovo okruženje u celom lancu snabdevanja, ali uprkos tome, postoje još neke prepreke koje je potrebno prevazići [Vanderroost et al, 2014]. Senzori uključuju komponentu i receptora i transduktora, dok indikatori prenose informaciju kroz direktnu vizuelnu promenu [Evangelyn, Wang, 2009]. Uređaji korišćeni da lociraju, detektuju ili odrede količinu proizvoda ili energije, daju signal za detekciju hemijske ili fizičke osobine na koje uređaj reaguje. Većina uređaja sadrži dva funkcionalna sklopa, prvi je receptor koji transformiše hemijsku ili fizičku informaciju u određeni oblik energije, drugi je pretvarač koji je uređaj koji transformiše ovu energiju u koristan analitički signal. Koncept markera se koristi za utvrđivanje merljivih (primarnih) ili sekundarnih fizičkih, hemijskih ili bioloških vrednosti. Precizne industrijske specifikacije, visoki troškovi razvoja i ispitivanja bezbednosti su uticali na ograničavanje komercijalne realizacije, iako se čine značajni koraci ka komercijalizaciji ovih zaštitnih elemenata [Taslim, 2012].

Senzori gasa

Senzori gasa odgovaraju u prisustvu gasovitih supstanci tako što se menjaju fizički parametri senzora, koji su nadgledani od strane nekog odvojenog uređaja [Kerry et al., 2006]. Optički senzori gasa su superiorniji od konvencionalnih elektrohemijskih senzora iz razloga što ne koriste kiseonik, na njih ne utiču elektromagnetne promene i postoji mogućnost za daljinsko merenje i merenje gasa i tečnosti. Instrumenti i materijali za senzore gasa, pogodni za inteligentnu ambalažu su sastavljeni od čvrstih materijala koji su bazirani na principu gašenja luminiscencije ili promenama upijanja kao rezultat direktne interakcije sa analitima [Han et al., 2013].

Senzori kiseonika

Tokom skladištenja hrane, aerobni mikroorganizmi se mogu umnožavati i omogućiti prisutnost kiseonika unutar ambalaže. Sposobnost detektovanja prisustva kiseonika unutar ambalaže, npr. za sveže meso, u ranoj fazi može upozoriti (svesnog) potrošača da je proizvod bio u ugroženim uslovima, čak i kada ne postoji vizuelna indikacija koja bi nam ukazala na to. Većina ovakvih sistema ambalaže prehrambenih proizvoda se oslanja na promenu boje senzora u zavisnosti od prisustva ili odsustva kiseonika. Ključni izazov je razvoj takvih senzora koji su ne toksični [Gutiérrez-Tauste et al., 2007]. Važno je i sačuvati zapis i ne dozvoliti senzoru da vrati indikaciju na bezbedan nivo ukoliko se kiseonik ukloni. Jedan komercijalizovani proizvod je „Ageless Eye“ koji je ružičast u odsustvu kiseonika a plav u njegovom prisustvu [MGC, 2019]. Napretkom u korišćenju nanočestica se očekuje da će se proizvoditi još osetljiviji sistemi koji brže reaguju i proizvode snažnije promene boje. Na primer, istraživači Univerziteta „Strathclyde“ su proizveli senzor kiseonika u obliku hidroksietil celuloznog polimernog filma, koji sadrži nanočestice titanijum dioksida i plave boje, indigo-tetrasulfonata. Nakon postavljanja u ambalažu senzor se izlaže UV zračenju i boja se fotobalansira (reakcijom katalizacije titanijum dioksidom) [Lee et al., 2005] i ostaje tako sve do izlaganja određenim

nivoom atmosferskog kiseonika, kada se naglo (kroz tri minuta) vraća u tamno plavu boju (čak i u mraku) [Mills et al., 2008]. Od nedavno se koristi nanokristalni SnO₂ kao senzor O₂ u kombinaciji sa glicerolom sa redoks bojom i hidroksietil celulozom. Ovaj sistem je fotoaktiviran kroz izlaganje UVB svetlu i ostaje izbeljen dok se ne izloži kiseoniku, nakon čega prelazi u plavu boju. [Mills, Hazafy, 2009]

Senzori temperature

Predstavljaju integrisane elemente na ambalaži sa električnom komunikacijom sa temperaturnim senzorom, antenom i baterijom, konfigurisani za obradu signala od senzora temperature. Primenjuju se u ambalaži za meso, ribu i mlečne proizvode, posebno u hladnjačama i smrznutim proizvodima. Komercijalni primer upotrebe je ThinFilm (Thin Film Electronics ASA, Norveška) [Dubin, 2017]. Dok proizvod putuje lancem distribucije, nalepnica identifikuje promene koji se javljaju izvan unapred definisanog temperaturnog opsega i komunicira sa informacijama na više načina. Posedovanje ovih informacija osigurava prodavcu na mestu prijema da je proizvod održavao tačan temperaturni opseg u celom lancu snabdevanja. Thinfilm popunjava tržišni jaz između spektra troškova i funkcionalnosti između oznaka na bazi hemijskih proizvoda na donjem kraju i senzora vremena i temperature na drugom. Nalepnica je veličine kreditne kartice, tanka je 1 mm, težine 7 g i fleksibilna, što omogućava primenu na zakrivljenim površinama ambalaže. Za nju nije potrebno posebno rukovanje, kao što je skladištenje u hladnom prostoru pre upotrebe, a ove nalepnice koriste tehnologiju štampane elektronike koja donosi ključne prednosti troškova i obima.

Oznaka je senzor temperature sa dva praga (visok i nizak prag temperature) koji se postavlja na primarnu ili sekundarnu ambalažu preko lepljive podloge. Pritiskom na dugme „start“ na etiketi se aktivira baterija etikete i uključuje „nalepnica“ neposredno pre ili na mestu primene.

Dok proizvod putuje kroz lanac snabdevanja, nalepnica identifikuje promene koje se javljaju izvan unapred određenog temperaturnog opsega i prenosi ove informacije na jedan od dva načina. Prvo, promene se vizuelno prikazuju na displeju etikete. Drugo, promene i povezani podaci (lokacija, datum, vreme) snimaju se dodirivanjem etikete pametnim telefonom ili čitačem koji podržava NFC. Podaci se mogu prikazati na pametnom telefonu/čitaču i takođe se čuvaju u oblaku što ukazuje da je na primeru ovog senzora upotrebljena i NFC tehnologija.

Etiketa sadrži i vizuelni indikator putem elektrohromatskog ekrana. Na taj način informacije mogu da vide zaposleni i partneri duž lanca snabdevanja, a menadžment/analitičari mogu im pristupiti i preko softvera putem interneta.

Prilikom štampe ovih senzora temperature koristi se tehnologija slična novinskoj štampi iz rolne, pa ke proizvodnja nalepnica brza i u velikim tiražima. Treba napomenuti da je ovaj senzor temperature za jednokratnu upotrebu, pa se postavlja pitanje njegovog recikliranja [Dubin, 2017].

Biosenzori

Kompaktni analitički uređaji koji detektuju prenos i zapisuju informacije u vezi sa biološkim reakcijama. Izvedba ovih senzora je specifična zavisno od ciljne analize, ali ovi senzori mogu da analiziraju stanje mikroba, hormona, enzima, antigena i dr. Da bi se biološki signal pretvorio u električnu informaciju (kao što je elektrohemijaska, optička) koristi se pretvarač [Taslim, 2012].

Mnoge platforme se razvijaju za detekciju biomolekula i mikroorganizama, a bazirane su na nanotehnologiji, međutim većina platformi je ugrađena u uređaje i zahteva uzimanje uzorka za utvrđivanje prisustva ciljanih molekula. Kada razmatramo ovakve sisteme za ambalažu prehrambenih proizvoda zaključujemo da su oni usmereni na otkrivanje rasta

mikroorganizama. Izazov za ovakve sisteme je da oni moraju biti u stanju da se integrišu u ambalažu, proizvode lako prepoznatljiv odgovor (kao na primer promena boje), i da budu jeftini za proizvodnju. Najčešće se prisustvo mikrobiološkog zagađenja detektuje indirektno preko merenja promene kompozicije gasova unutar ambalaže do koje dolazi usled rasta mikroorganizama, korišćenjem tehnologije senzora gasova. Druga mogućnost su sistemi zasnovani na zatvorenim biomolekulima (npr. fulereni, lipozomi ili silicijum u nanoporama) koji su povezani sa promenom boje, koja može biti razvijena za ovu svrhu, oni pružaju stabilnost detektoru molekula, i mogu biti ugrađeni u propustljivu membranu ambalažnog materijala, i ne zahtevaju dodatne faktore (npr. prethodnu obradu ili napajanje energijom). Jedan primer dolazi iz istraživanja na Tufts univerzitetu gde je predstavljen potencijal nanostrukturne svile kao platforma za biosenzore. Vlakna svile se mogu oblikovati u „sočiva“ i modifikovati sa različitim biomolekulima, koji kada se graniče sa metom (kao što su mikrobiološki proteini) menjaju oblik sočiva od svile rezultujući promenu boje. Pošto je svila biorazgradiva i jestiva, takvi senzori bi mogli biti uključeni u ambalažu za hranu [Lawrence et al., 2008].

Biosenzori poput provodnih polimera mogu takođe biti korišćeni za detekciju oslobođenih gasova tokom metabolizma mikroba [Rajesh, Kaneto, 2004; Retama, 2005; Ahuja et al., 2007]. Senzori su formirani kroz postavljanje nanočestica u izolacionu matricu, gde je promena otpornosti jednaka količini otpuštanih gasova. Takvi senzori su razvijeni za detektovanje nastanka patogena u hrani kroz kvantifikovanje prisutnosti bakterija [Arshak et al., 2007]. Npr. takvi senzori u kombinaciji sa neuronskom mrežom su pokazali kako se može vrednovati svežina pilećeg mesa [Galdikas et al. 2000].

Ostali senzori

U ovu grupu spadaju svi senzori koji do sada nisu navedeni a povezani su sa primenom u ambalažnoj industriji. Proizvodi mogu biti osetljivi na najrazličitije fizičke, hemijske i biološke promene i svi senzori koji imaju mogućnost da detektuju takve promene, a mogu se primeniti u ambalažnoj industriji i povezati sa poznatim sistemima za slanje informacija kao što su NFC, RFID, Bluetooth i dr. spadaju u kategoriju ostalih senzora pametne ambalaže.

2.2.2.3 Pametni indikatori, boje i pigmenti

Za razliku od senzora, indikatori (slika 2.2.4) ne daju kvantitativne informacije o količinama, kao na primer za koncentraciju ili temperaturu. Pored toga oni ne mogu da sačuvaju podatke o roku trajanja i uslovima čuvanja. Pametni indikatori pružaju trenutnu vizuelnu, kvalitativnu ili polu-kvantitativnu informaciju o prehrambenom proizvodu u pametnoj ambalaži pomoću promene boje, povećanjem intenziteta boje ili difuzije boje duž prave putanje. U većini slučajeva, osnovni uslov za indikator je da se boja ili intenzitet boje menja, pod uslovom da su difuzije nepovratne. U slučaju da se ovo ne desi, dolazi do prikaza pogrešne informacije. Pametni indikatori mogu biti indikatori gasa, svežine, vremensko - temperaturni indikatori i drugi [Kerr, Butler, 2008].



Indikator svežine



Indikator vreme - temperatura



Indikator ugljen dioksida



Termohromatska boja



Fotohromatska boja



Indikator temperature

Slika 2.2.4: Primeri indikatora boja i pigmentata inteligentne ambalaže

Indikatori vreme/temperatura

Vremensko - temperaturni indikatori (TTI) pružaju vizuelne informacije o promenama temperature tokom distribucije i skladištenja, što je posebno korisno kao upozorenje za temperaturne promene kod hladjenih ili smrznutih namirnica [Mohebi, Marquez, 2015].

Indikatori svežine

Indikatori svežine pružaju neposredne informacije o kvalitetu proizvoda kao rezultat porasta mikroorganizama ili hemijskih promena unutar prehrambenog proizvoda. Mikrobiološka koncentracija unutar prehrambenog proizvoda može se vizuelno odrediti nakon porasta koncentracije mikroba i njihove reakcije sa integrisanim indikatorima u okviru ambalaže. Indikatori svežine se takođe mogu koristiti za predviđanje roka trajanja kvarljivih proizvoda [Kerr, Butler, 2008; Kuswandi et al., 2013].

Indikatori gasova

Indikatori gasa obično pružaju kvalitativnu ili polu-kvalitativnu informaciju o izmenjenoj koncentraciji gasa (CO_2 , O_2 , vodena para, etanol i druge) kroz vizuelnu kolorimetrijsku promenu [Evangelyn, Wang, 2009].

Indikatori kiseonika

Ovaj indikator daje informaciju o prekoračenju dozvoljene količine kiseonika u ambalaži. Primenjen je u ambalaži za hranu sa kontrolisanom ili modifikovanom atmosferom. Tipični indikator kiseonika se sastoji od redoks boja (kao što je metilen plava), alkalnih jedinjenja (kao što je natrijum hidroksid) i redukcionih jedinjenja (kao što su redukcionni šećeri). Postoje i indikatori kiseonika bazirani na oksidacionim enzimima. Pored ovih glavnih komponenti, kao što su voda i alkohol i agensi (silika gel, polimeri, celulozni materijali, zeolit) se mogu dodati u indikator. Indikator može biti formiran u vidu etikete, odštampanog sloja, ili može takođe biti u vidu laminata u polimernom sloju ambalaže [Jovanović, Džunuzović, 2011].

Indikatori ugljen dioksida

Ovi indikatori daju informaciju o koncentraciji ugljen dioksida u modifikovanoj atmosferi ambalaže [Taslim, 2012]. U ambalaži sa modifikovanom atmosferom ugljen-dioksid se koristi u različitim koncentracijama radi usporavajućeg delovanja na razvoj mikroorganizama. Pomoću indikatora ugljendioksida može se precizno utvrditi da li ambalaža sa modifikovanom atmosferom i posle određenog vremena zaista sadrži početnu koncentraciju ugljen-dioksida. Opadanje početne koncentracije ugljen-dioksida može da ukazuje i na oštećenje ambalaže. Ako postoji oštećenje ambalaže, prvo dolazi do opadanja koncentracije ugljen-dioksida. Istovremeno u ambalažu prodire kiseonik, koji uslovljava porast aerobnih mikroorganizama, koji je praćen nastajanjem ugljen-dioksida. U takvim slučajevima indikatori ugljen-dioksida mogu pogrešno da ukazuju na oštećenje neoštećene ambalaže [Jovanović, Džunuzović, 2011].

Indikatori drugih gasova

Ovi indikatori rade na različitim principima zavisno od gasa čije prekoračenje u ambalaži detektuju. Vizuelnom kolorimetrijskom promenom identifikuju da je došlo do promene koncentracije gasa. U ovu grupu spadaju indikatori svih gasova izuzev indikatora kiseonika i ugljen dioksida. Predstavnik ove grupe je indikator azota.

Hromatske boje

Među hromatskim materijalima postoje različite kategorije čiji se nazivi formiraju iz naziva energije koja izaziva promene optičkih osobina materijala. Prema tome, hromatski materijali se mogu kategorizovati na [Ferrara et al., 2014] fotohromatske, termohromatske, elektrohromatske, hemohromatske, magnetohromatske, biohromatske, hidrohromatske i dr.

Materijali koji usled promena uslova u njihovom okruženju menjaju boju, nazivaju se hromatski materijali, a vrlo često se zbog svoje reverzibilne promene nazivaju i dinamični materijalima. U pojedinim primenama, zahteva se trajna promena boje (nepovratna promena) koju je takođe moguće postići sa određenim hromatskim materijalima. Danas je na tržištu pored mnogobrojnih prirodnih jedinjenja, dostupan i veliki broj sintetičkih jedinjenja koja imaju hromatske osobine [Ferrara et al., 2014].

Hromatske boje menjaju svoj apsorpcioni spektar indukovanom transformacijom svetlosti, temperature, pH vrednosti, vode, itd. [Hunger, 2003]. Poslednjih godina hromatske boje imaju sve veću primenu ne samo za marketing, dizajn i štampu, nego i kod pametne ambalaže, štampe zaštitnog elementa, itd. Hromatske boje mogu reagovati na sledeće uticaje: gama zračenje, UV zračenje, infracrveno zračenje, visoka ili niska temperatura, para, etilen oksid i drugi [SFXC, 2019].

Termohromatske boje

Termohromatska boja je specijalizovana hromatska boja koja se menja izlaganjem različitim temperaturama. Promena boje može biti nepovratna ili povratna. U zavisnosti od sastava, nepovratna termohromatska boja može biti nevidljiva sve dok se ne izloži određenoj temperaturi na kojoj se boja drugog intenziteta javlja. Nakon javljanja boje ona može ostati konstantna ili će se promeniti, ostavljajući permanentnu indikaciju promene temperature. Povratna termohromatska boja se menja pri zagrevanju/hlađenju i vraća se na svoj originalni ton boje kada se temperatura vrati u prvobitno stanje [Ghaani et al., 2016]. Ovi materijali svoju boju menjaju sa promenom temperature u njihovom okruženju. Npr. koriste se kod keramičkih šolja koje menjaju svoju boju kada se u njih sipa neki vruć napitak. Pošto je promena

reverzibilna, originalna boja šolje će se vratiti kada se njena temperatura spusti ispod temperature aktivacije boje.

Dakle, termohromatske boje se mogu podeliti na [WRAP, 2013]:

- reverzibilne - nakon što temperatura padne ispod aktivacijske tačke, ove boje se vraćaju u svoje prvobitno stanje (boju),
- ireverzibilne - nakon postizanja aktivacijske temperature, dolazi do trajne promene boje. Zbog toga je neophodno da se ove boje prilikom transporta i skladištenja čuvaju na propisanoj temperaturi kako ne bi došlo do neželjene aktivacije boje.

Kod termohromatske boje na bazi vode, kao i kod svih ostalih termohromatskih boja, kvalitet štampe zavisi od različitih faktora kao što su vrsta podloge, vreme sušenja i sl. Po završetku štampanja boja ima mat izgled [SFXC, 2019].

Termohromatske boje se prema sastavu mogu podeliti na boje na bazi tečnih kristala i leuko boje.

Termohromatske boje na bazi pigmenata (leuko boja)

Leuko boje omogućavaju upotrebu šireg spektra boja, ali je mnogo teže precizno odrediti temperaturu kojoj je izložena [Seeboth, Löttsch, 2008]. One se najčešće upotrebljavaju za otkrivanje slike ili drugih boja ispod, kada su aktivirane, robusnije su, jeftinije su i češće se upotrebljavaju u ambalažnoj industriji za razliku od boja sa tečnim kristalima, veći broj dostupnih boja je u ponudi.

Termohromatske boje na bazi tečnih kristala

Tečni kristali se koriste za termalne promene koje zahtevaju preciznost. Mana korišćenja tečnih kristala je ta da koriste manji spektar boja. Tečni kristali kada su aktivirani, menjaju boju kroz čitav vidljivi deo spektra, osetljiviji su od leuko boja i imaju ograničen broj dostupnih tonova.

Fotohromatske boje

Oba boje spadaju u grupu materijala koji menjaju boju sa promenama u intenzitetu svetlosti. Dobro poznat primer primene ovih materijala jesu fotohromatske naočare. Povećanjem intenziteta UV zračenja, stakla ovih naočara postaju tamnija i tako optimizuju svetlost koja prolazi kroz njih. Kada se intenzitet UV zračenja smanji, npr. u unutrašnjosti zgrade, stakla postaju manje zatamnjena i omogućavaju korisniku da bolje vidi kroz njih.

Primer fotohromatske boje je plastisol fotohromatska boja proizvođača SFXC. Ova fotohromatska boja je namenjena za štampu na materijalima sačinjenim od prirodnih vlakana. Ne sadrži ftalate. Ftalati su estri ftalne kiseline i alifatskih alkohola. To su isparljive tečnosti koje se dodaju plastici polimera za povećanje njihove pokretljivosti. Poznati su i kao plastifikatori ili omekšivači. Postoji 17 različitih tonova ove boje među kojima su: plava, cijan, žuta, crvena, crna, zelena, tamno plava, ljubičasta, braon, narandžasta, svetlo plava, ružičasta i zlatna. Kao i kod svih ostalih hromatskih boja, i kod ove boje kvalitet štampe zavisi od faktora kao što su vrsta podloge na kojoj se štampa, vreme sušenja i sl. [SFXC, 2019].

Fotohromatska boja omogućava da se pod specifičnim uslovima menja boja odštampanog materijala. Naime, nakon izlaganja odštampanog materijala direktnoj sunčevoj svetlosti u trajanju od minimum 15 sekundi, početno stanje tona se menja u jednu od 17 intenzivnih navedenih boja. Nakon što se odštampani materijal skloni sa sunčeve svetlosti, nakon 5 minuta boja se vraća u početno stanje [SFXC, 2019].

Hidrohromatske boje

Spadaju u podgrupu hemohromatskih boja kod kojih hemijske promene u okruženju dovode do promene materijala. Higrohromatske i hidrohromatske boje reaguju na prisustvo vode i visoke vlažnosti. To su boje na bazi vode a mogu se štampati sito štampom na papiru, plastici, filmu, tekstilu, kartonu i dr. Dok se suši boja postaje neprozirna. Neprozirnost se pojačava nanošenjem novih slojeva. U kontaktu sa vodom sloj boje ponovo postaje proziran [SFXC, 2019].

Ostale hromatske boje

U nastavku su objašnjene ostale hromatske boje koje se mogu upotrebiti u ambalažnoj industriji. Jedan od primera je i elektrochromatska boja kod koje prisustvo električnog polja izaziva promenu boje. Najpoznatiji primer upotrebe ovih materijala jesu samozatamnjujući automobilski retrovizori koji detektuju bljesak i automatski kompenzuju svoje osvetljenje, što je naročito bitno za noćnu vožnju. Elektrochromatski materijali su jedni od najsvestranijih hromatskih materijala zbog svoje jednostavne kontrole i mogućnosti kombinovanja sa drugim podražajima kao što su sila i temperatura. Hemohromatske boje su boje kod kojih hemijske promene u okruženju dovode do promene materijala. Kao podgrupe hemohromatskih materijala mogu da se navedu gasohromatske boje (promena boje usled kontakta sa vodonikom), halohromatske (promena boje usled promene pH vrednosti u okruženju), jonohromatske (promena boje usled reakcije između jona). Magnetohromatske boje su boje kod kojih promena boje nastupa usled varijacija u magnetnim poljima primenjenih na supstancu. Biochromatske boje su materijali razvijeni radi detekcije i izveštavanja o prisustvu patogena, promenom boje. Potencijalne primene biochromatskih materijala odnose se na kolorimetrijsku detekciju patogena radi sprečavanja trovanja hranom i bioterorizma. U poslednju kategoriju ovih boja smestili bi i hromatske materijale koji pripadaju materijalima u razvoju koji su osetljivi na specijalne podražaje kao što su radioaktivnost, snop elektrona ili infracrveno zračenje, ali i mehanochromatske / piezochromatske materijale kod kojih promenu boje materijala izaziva delovanje mehaničke sile [Kulčar, 2010].

Boje koje nestaju sa proteklim vremenom

Ovaj tip boja je u stanju da nestane u različitom vremenskom intervalu. Vreme nestajanja je određeno stopom difuzije kiseonika kroz poliakrilatni zaštitni sloj boje i temperature. Različiti poliakrilati imaju različite stope koeficijenata difuzije vazduha koji je u korelaciji sa promenom temperature poliakrilata. Ove boje se koriste za štampu vremensko temperaturnih indikatora za praćenje proteklog vremena i temperature.

Istraživači Y. Galagan i W. F. Su [Galagan, 2008] su proizveli boje koje nestaju sa vremenom koje se koriste za vremensko temperaturne indikatore. Boja je dobijena mešanjem redukovanih derivata antrahinona sa polimernim vezivom rastvorljivim u vodi (vododisperzioni polimer). Voda je obavezna komponenta u redukcionom procesu. Korišćena je hidroksipropilceluloza kao vezivo koje se rastvara u mešavini vode i alkohola.

Boju koja nestaje sa proteklim vremenom treba čuvati u okruženju bez kiseonika. Proizvodnja indikatora uključuje štampu i nanošenje zaštitnog sloja i ovaj proces se obavlja u okruženju bez kiseonika.

Ostali indikatori

U nastavku su opisani indikatori koji se koriste u ambalažnoj industriji, a ne pripadaju ni jednoj do sada navedenoj grupi indikatora.

Indikatori patogena

Ovaj indikator daje informaciju o mikrobiološkom statusu i primenjuje se na ambalaži za meso [Taslim, 2012]. Širok spektar infekcija prenosivih hranom nastavlja da se širi tokom vremena, dobro poznati patogeni se kontrolišu i eliminišu, a novi se i dalje pojavljuju. Oni su uzročnici bolesti prenosivih hranom. Većina tih bolesti nije uzrokovana poznatim patogenima, pa većinu patogena treba otkriti. Od poznatih patogena nastalih u hrani dominiraju oni koji su najskorije otkriveni. To nam govori da kako se sve više i više uči o patogenima oni moraju doći pod kontrolu [Yam, 2009].

Najpoznatiji patogeni koji nastaju u hrani su: ešerihija koli, salmonela i stafilokoka koje se mogu pronaći u različitim uzorcima hrane. Patogeni u hrani su dobar razlog za industriju hrane i mnoge potrošače da postanu svesniji problema. Potreba za brzom i preciznom detekcijom male količine patogena u hrani je suštinski korak u čuvanju bezbednosti potrošača. Indikatori patogena se koriste upravo u svrhu otkrivanja patogena. To su analitički indikatori korišćeni za otkrivanje supstanci, u ovom slučaju patogena, a zatim prenose tu informaciju u vidu signala koji se može kvantifikovati. Inteligentni sistem ima za cilj prihvatanje antitela na unutrašnjoj plastičnoj površini ambalaže za detekciju patogena [Yam et al., 2005].

Ako antitela dođu u kontakt sa ciljanim patogenom, ambalažni materijal će pokazati vizuelni trag kao upozorenje potrošaču. Ovaj inteligentni sistem bi jedino bio koristan kada je hrana zagađena sa veoma velikom koncentracijom patogena. Međutim, potrošač može da oboli i od samo male koncentracije patogena pa ovaj sistem inteligentne ambalaže može dati potrošaču lažni osećaj sigurnosti. Takođe, ovaj sistem radi samo za detekciju patogena na površini upakovane hrane, i neće upozoriti potrošača od potencijalne opasnosti patogena koji se stvara u unutrašnjosti proizvoda (hrane). Potreban je dug period da prođe dok indikatori patogena ne postanu komercijalno dostupni [Huff, 2008].

Indikatori oštećenja ambalažnog materijala

Ovaj indikator daje informaciju o oštećenju materijala ambalaže i najčešće se koristi kod ambalaže za konzervisanu hranu za bebe [Taslim, 2012].

Iako postoji mnogo istraživanja u oblasti samoobnovljivih polimera, malo je verovatno da će se u skorijoj budućnosti koristiti u ambalaži hrane. Ambalaža će stoga prednosti tražiti iz prisutnih materijala koji će inicirati da su barijerna svojstva narušena, kroz mehanička ili oštećenja temperaturom. U nekim slučajevima ovo se može postići korišćenjem tehnologije senzora kiseonika, koja indirektno otkriva prekid u materijalu ambalaže.

Nova istraživanja korišćenja različitih nanomaterijala mogu ponuditi rešenja koja se služe bojama. Na primer, fotonski kristali su se pokazali tako da menjaju boju zavisno od strukture, osobina koja se može iskoristiti kao indikator deformacije. Te strukture su uspešno sintetizovane u fleksibilne polimerne kompozite od strane istraživača na Sautempton i Darmstadt Univerzitetima [Pursiainen et al., 2005]. Druga rešenja uključuju diaceten, koji menja boju kao odgovor na mehaničko opterećenje ili temperaturne promene, fenomen koji se može stabilizovati i poboljšati kroz nanostrukturu polimera, na primer, zatvaranjem nanoporoznog silicijuma [Lu et al., 2001] ili nanokristala od uretana zamenjenog polidiacetenom [Wang et al., 2006].

Indikatori propustljivosti

Indikator propustljivosti daje informaciju na ambalaži tokom celog distributivnog lanca, a prikazan je na samu ambalažu. Uklanjanje kiseonika i visoka koncentracija ugljen dioksida povećavaju stabilnost proizvoda tako što sprečavaju rast aerobnih mikroorganizama mnogih kvarljivih proizvoda. Usled pucanja ambalaže zaštitna atmosfera će se pogoršati.

Kvarenje delovanjem mikroorganizama se povećava usled propuštanja ambalaže jer na taj način proizvod dolazi u dodir sa štetnim mikroorganizmima [Taslim, 2012].

Od kada je primećeno da kompozicija gasova unutar ambalaže, posebno održavanje niske koncentracije kiseonika igra važnu ulogu u održavanju kvaliteta mnogih prehrambenih proizvoda [Ahvenainen et al., 1997] mnogo istraživačkih napora je usmereno razvoju indikatora propustljivosti koji reaguju upravo na prodor kiseonika. Kod ovog tipa sistema za vizuelnu procenu kvaliteta, nanotehnologija može imati posebnu ulogu, npr. u izradi štamparskih boja na bazi nanočestica. Na primer, Mills i McGardy [Mills et al., 2008] su razvili boju za detekciju kiseonika koja sadrži svetloosetljive nanočestice koje su promenljive na ultraljubičastom svetlu [Chaudhry et al, 2010].

2.2.2.4 Proširena realnost

Proširena realnost (*eng. Augmented Reality*) skraćeno AR je termin koji opisuje korisnikovo viđenje sveta koje je prošireno kompjuterski generisanom animacijom, slikom, zvukom i tekstom. Ovaj koncept je sličan konceptu virtuelne realnosti, u kojoj se stvaran svet u potpunosti zamenjuje virtuelnim. Kod proširene realnosti digitalne informacije su postavljene preko stvarnog sveta. Prekrivene senzorne informacije mogu biti konstruktivne, kao dodatak na prirodno okruženje ili destruktivne, kao maskiranje ili modifikovanje prirodnog okruženja. Na ovaj način proširena realnost menja trenutnu percepciju prirodnog okruženja dok virtuelna realnost u potpunosti zamenjuje stvarno okruženje korisnika sa simuliranim. Proširena realnost se uglavnom vezuje za dva pojma mešovita realnost i realnost vođena računarom [Azuma, 1997].

AR ambalaža otvara brojne mogućnosti za maloprodaju da zainteresuje potrošača sa iskustvom u igranju igara, geografskom lokacijom da pomogne potrošačima da nađu proizvod, ili jednostavno budi im radoznalost. AR ambalaža donosi interaktivnu dinamiku koja nije bila dostupna ranije na ambalažama proizvoda.

Kvalitet AR sistema se određuje sa tim koliko stvarno sistem integriše augmentaciju sa stvarnim svetom. Softver mora da izračunava u realnom vremenu stvarne koordinate, nezavisno od kamere i slike koju kamera pruža. Taj proces se zove registracija slike i koristi različite metode računarske vizije, slično video praćenju. Stvarne koordinate predstavljaju X i Y koordinatne tačke u datom koordinatnom sistemu koji prekriva "realan svet", koji se takođe nalazi na koordinatama. Registracija slike ili postavljanje virtualnih objekata u ispravan položaj je veoma kompleksan proces jer različite metodologije praćenja imaju različite izvore grešaka, zbog problema sa brzinom toka dobijenih podataka putem kamere, sinhronizacije i kašnjenja u računanju, neusklađenosti između senzora i/ili pogrešnih algoritama registracije [Siltanen, 2012]. Ako se predmet ne kreće u realnom svetu, onda se njegove koordinate ne menjaju, međutim njegove skenirane koordinate će se menjati svaki put kada se menja pogled. Mnogi vidovi računarske vizije proširene realnosti su nasleđeni iz vizuelne odometrije, procesa određivanja položaja i orijentacije robota analiziranjem povezanih slika kamere [Azuma et al., 2001].

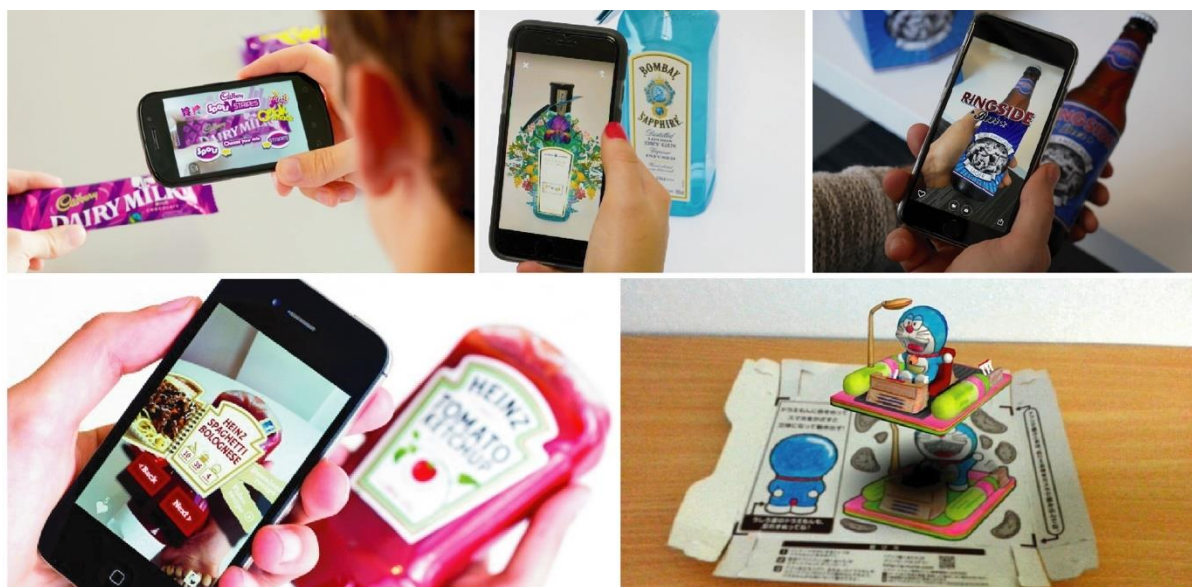
Obično ove metode se sastoje iz dve faze. Prva faza je otkrivanje tačaka od interesa, funkcionalnih markera ili optičkog toka na slici koju ciljamo (targetiramo). Ovaj korak može da koristi metode kao što su detekcija ugla, ivice, zaobljene ivice ili segmentacija slike. Druga faza vraća rezultate izmerenih koordinata i podataka dobijenih u prvoj fazi. Neke metode pretpostavljaju da su na sceni prisutni objekti sa predefinisanom, poznatom geometrijom. U nekim od tih slučajeva, neophodno je prethodno izračunati 3D strukturu same scene. Ako je deo scene nepoznat, istovremena lokalizacija i mapiranje (SLAM) mogu da mapiraju relativne pozicije. U slučaju da ne postoje informacije o geometriji scene, koristi se metoda podešavanje skupa, koja pripada tehnici struktura iz pokreta (SfM) [Azuma et al., 2001]. Struktura iz pokreta

je fotogrametrijska tehnika za procenu trodimenzionalnih struktura iz dvodimenzionalnih slikovnih sekvenci koje mogu biti povezane sa lokalnim signalima kretanja. U biološkom smislu, SfM se odnosi na fenomen pomoću kog ljudi i druga živa bića mogu da vide 3D objekat iz projiciranog 2D (retinalnog) objekta ili scene koja se kreće [Ullman, 1979]. Matematičke metode koje se koriste u drugoj fazi uključuju projektivnu (epipolarnu) geometriju, geometrijsku algebru, rotacionu reprezentaciju sa eksponencijalnom mapom, kalman i filtere čestica, nelinearnu optimizaciju, robusnu statistiku [Azuma et al., 2001].

Proširena realnost svojim razvojem menja sve aspekte poslovanja, uključujući i prehrambenu industriju i dizajn ambalaže. Sa stanovišta povećanja korisničkog iskustva prilikom upotrebe proizvoda sa AR ambalažom, proširena realnost može poboljšati percepciju i razumevanje stvarnog sveta od strane korisnika. Sa trenutnom informacijom koju pruža AR tehnologija zasigurno menja način komunikacije između proizvoda i korisnika [Vladić, 2015c]. Kompanije pokušavaju da poboljšaju održivost ambalaže svojih proizvoda kako bi produžili životni ciklus proizvoda i smanjili uticaj ambalaže na životnu sredinu. Ali u isto vreme postoji želja za kreiranjem jednostavne ambalaže koja se lako sastavlja i tu se može naći prva primena AR aplikacije. Kao primer može se uzeti ambalaža za proizvod firme IKEA, koji kada se skenira prikazuje animiranu instrukciju za montažu. Kako bi osigurali najbolje korisničko iskustvo, a imajući u vidu ograničenja hardvera za AR tehnologiju (mobilnih uređaja) potrebno je proučavati najbolji način praćenja objekata primenljiv na aplikaciju i hardver za koji je razvijamo [Vladić, 2016].

Dosadašnja istraživanja na temu primene AR tehnologije u prehrambenoj industriji i pri dizajnu pametne ambalaže, istraživala su prvenstveno primenu proširene realnosti na ambalažu kao osnovni komunikacijski alat koji omogućava razvoj poslovanja i povezivanje brendova sa svojim potrošačima [Lydekaityte, Tambo, 2018; Loijens, 2017; Scholz, Smith, 2016].

Postoje i mnogi primeri upotrebe AR tehnologije u ambalažnoj industriji (slika 2.2.5). Većina ovih rešenja se zasniva na korišćenju AR tehnologije u propagandne svrhe, pa se tako korišćenjem mobilnog uređaja sa instaliranom odgovarajućom AR aplikacijom može pročitati na ambalaži dodatni sadržaj.



Slika 2.2.5: Primeri AR aplikacija u ambalažnoj industriji

2.2.3 Pametni mobilni uređaji

Pametni uređaji, na primer mobilni telefon i tablet teže da budu multinamenski IT uređaji, koji funkcionišu kao portal za pristup setovima popularnih aplikacionih servisa koji se mogu koristiti lokalno na uređaju ili daljinskim putem preko servera [Poslad, 2011]. Prema obliku pametni uređaji se mogu veoma razlikovati. Zajedničke osobine su im da teže ka sve većoj mobilnosti i postaju personalni uređaji koji imaju jednog određenog korisnika.

Trend razvoja mogućnosti pametnih mobilnih uređaja je okrenut ka fizičkoj kontroli okruženja. Mobilni telefon, tablet ili pametni sat kao uređaji koje nosimo sa sobom često se koriste kao bežična veza za zahtevanje jednostavne kontrole instrukcijama za paljenje ili gašenje uređaja kojima se može pristupiti putem mreže (televizor, klima uređaj, garažna vrata, automobil). Ovakav tip kontrole uređaja zahteva postojanje tehničke mogućnosti kako mobilnog tako i objekta iz okruženja, potrebno je da uređaji sadrže odgovarajuće hardverske komponente koje komuniciraju putem odgovarajuće bežične veze („Infrared“, „Bluetooth“, „Wi-Fi“).

Drugi tip interakcije sa okruženjem je zasnovan na prikupljanju informacija dobijenih očitavanjem određenih kodova (QR kod, Barkod i drugi) putem kamere mobilnog uređaja.

S obzirom na mogućnosti povezivanja pametnog mobilnog uređaja sa tehnologijama koje su već podržane u pametnoj ambalaži, zaključuje se da postoji velika mogućnost za povezivanje jednih i drugih.

2.2.3.1 Mobilne aplikacije

Ukoliko postoje tehnički uslovi za ostvarenje komunikacije između mobilnog uređaja i pametne ambalaže pristupa se razvoju mobilnih aplikacija. Razvoj mobilnih tehnologija podstiče nove proizvođače da se takmiče sa postojećim firmama, a firmama za razvoj aplikacija da proizvode nove pametne aplikacije korišćenjem mobilne tehnologije [Price, Summers, 2006].

U tabeli 2.2.2 je prikazano poređenje najpoznatijih mobilnih platformi prema broju aplikacija koje korisnici mogu preuzeti [Ranger, 2015; Patel, 2014].

Tabela 2.2.2: Poređenje broja dostupnih aplikacija i alata za razvoj najpoznatijih mobilnih platformi

Naziv prodavnice aplikacija	Vlasnik	Platforma	Alat za razvoj aplikacija	Broj aplikacija
App Store	Apple	iOS	iOS SDK, Xcode	1.400.000 za iPhone 725.000 za iPad (Januar 2015)
Google Play	Google	Android	Android SDK, Android Studio	1.500.000 (Septembar 2014)

2.2.3.2 Tehnologije mobilnih uređaja za interakciju sa pametnom ambalažom

S obzirom na kompleksnost hardverskih komponenti mobilnih uređaja u nastavku rada će biti opisane samo one tehnologije koje su od koristi za interakciju mobilnih uređaja sa pametnom ambalažom. Ove komponente nisu detaljno opisane već je dat pregled njihove primene u ambalažnoj industriji.

Kamera

Danas gotovo svi mobilni uređaji poseduju kameru. Zavisno od uređaja kvalitet kamera se u velikoj meri razlikuje ali su gotovo sve kamere mobilnih uređaja na tržištu primenljive za identifikovanje štampanih kodova na ambalaži putem aplikacija za skeniranje kodova i podržavanje osnovne AR tehnologije. Međutim kada je u pitanju AR tehnologija, kvalitet kamere dolazi do izražaja pa tako samo pojedini mobilni uređaji mogu podržavati poslednje AR tehnologije u ovoj oblasti zbog potrebe da mobilni uređaj poseduje više od jedne kamere [Swider, McCann, 2019].

Bluetooth

Ovo je stara tehnologija mobilnih uređaja koja je do danas napredovala u pogledu kvaliteta i brzine prenosa podataka, kao i rastojanja na kom se može izvršiti prenos podataka. Veza između mobilnog uređaja i uređaja koji komunicira putem bluetooth tehnologije se jednostavno uspostavlja procesom uparivanja [Patkar, 2018]. U ambalažnoj industriji Beacon zaštitni element komunicira putem bluetooth tehnologije, ali i većina senzora i štampane elektronike se može povezati da informaciju šalje upravo putem bluetooth-a.

Wi-Fi

Tehnologija koja kao i bluetooth tehnologija napreduje u pogledu brzine prenosa, kvaliteta i rastojanja na kom se može izvršiti prenos podataka. Komunikacija se ostvaruje povezivanjem mobilnog uređaja na Wi-Fi predajnik koji konstantno šalje informacije u vidu zapisa sa odgovarajućeg senzora pametne ambalaže na koji je povezan [Martindale, 2019]. Ova tehnologija se najčešće koristi kako bi se uspostavila veza između mobilnog uređaja i eksternog UHF RFID ili WSN uređaja pomoću kojih se mogu mobilnim uređajem čitati i specifični senzori ili RFID oznake čije očitavanje mobilni uređaji ne podržavaju hardverski.

NFC

NFC čipovi se mogu ugraditi u proizvod ili pričvrstiti na proizvod preko nalepnice lepljenjem. NFC čip omogućava kupcima da samo dodirnu svoj pametni telefon na proizvod ili reklamni materijal kako bi bili direktno preusmereni na određenu stranicu kompanije ili preuzeli odgovarajuću informaciju sa senzora ili memorije. Pored toga, kompanije NFC čipove mogu koristiti za prikupljanje velikog broja informacija o klijentima i njihovu upotrebu proizvoda kompanije. Ukratko, NFC čipovi mogu otvoriti nove linije komunikacije sa kupcima i pružiti kupcima relevantan sadržaj, bez nekih praktičnih nedostataka hiperveza i QR koda. Jedina potrebna akcija korisnika je naslanjanje mobilnog uređaja na NFC čip na ambalaži. Međutim, kao i kod svake nove tehnologije i korišćenje NFC čipova nije bez rizika i predstavlja jedinstvene pravne izazove. Danas gotovo svi mobilni uređaji poseduju NFC čitač, a uređaji koji ne poseduju imaju mogućnost instalacije eksternog hardverskog NFC čitača na mobilni uređaj [Kimpel, Boxx, 2016].

2.2.4 Tehnike štampe pametne ambalaže

Za štampu zaštitnih elemenata grafičke ambalaže koriste se gotovo sve tehnike štampe s obzirom na raznolikost materijala na kojima se zaštitni elementi mogu štampati, ali i samih boja koje se koriste u štampi. Pre svega tu spadaju propusna štampa, digitalna štampa, flekso štampa, ofset štampa i dr. U nastavku su opisane najpoznatije tehnike za štampu zaštitnih elemenata grafičke ambalaže, ali i procesni parametri štampe koji utiču na kvalitet štampe a mogu se identifikovati sistemima za identifikaciju procesnih parametara [Zeljковиć, 2016].

Najpoznatija tehnika štampe komponenti pametne ambalaže je sito štampa. Sito štampa je postupak štampe u kom se boja protiskuje kroz štamparsku formu direktno na podlogu za štampu. Najveća prednost tehnike sito štampe je njena jednostavnost, kao i mogućnost štampe na raznovrsnim materijalima, oblicima i formatima. To je njeno područje primene učinilo veoma raznolikim, pa se tako koristi u komercijalne svrhe za štampu plakata, nalepnica, etiketa, postera, itd., zatim u području ambalaže za štampu papirnih i plastičnih kesa, staklene i plastične ambalaže. Takođe, koristi se i u industrijske svrhe za štampu keramičkih pločica, CD-ova, tekstila, elektronskih komponenata (štampane ploče, RFID) i dr. [Kipphan, 2001; Kulčar, 2010].

Osnovni elementi sito štamparskih uređaja su sito mreža, ram i zategnutost sito mreže. Sito mreža se najčešće izrađuje od plastičnih masa (najlon i poliestar) i to najčešće sa gustinom tkanja od 90 niti/cm do 120 niti/cm (mogu biti i od 10 niti/cm do 200 niti/cm). Parametri koji utiču na odabir sito mreže su podloga na koju se štampa, krupnoća zrna pigmenta štamparske boje, kao i stepen preciznosti koji je potrebno postići na otisku. Na kvalitet štampe pored gustine tkanja uticaj imaju i materijal od kojeg je mreža napravljena, način tkanja (monofilne, multifilne), debljina niti i razmak između mreže i podloge za štampu [Kašiković, 2013] (veći razmak - veća deformacija slike; najčešće od 9,5 mm do 12,7 mm; najbolje od 1,5 mm do 3 mm [Pavlović, 2015]). Od ramova, najčešće se koriste aluminijumski ramovi pravougaonog profila zbog dobre dimenzione stabilnosti i otpornosti na rastvarače i boje koje se koriste u procesu štampe. Sito mreža se na ram zateže silama između 17 N/cm² i 24 N/cm² i pričvršćuje jakim adhezivima [Kašiković, 2013].

Nakon pripreme sita, vrši se izrada šablona kojim se definišu štampajuće i neštampajuće površine. Za pravljenje šablona se uglavnom koriste fotopolimerne emulzije koje se na površinu sita nanose ručno ili mašinski (sa donje strane kako bi se izbegla mehanička oštećenja pod pritiskom rakel). Debljina sita i emulzije određuju debljinu sloja boje na odštampanom otisku koji može da se kreće u rasponu od 20 μm do 100 μm. Osvetljavanje fotopolimerne emulzije se vrši UV svetlom kroz čitljiv pozitiv film. Površine emulzije koje su osvetljene očvrstnu i predstavljaju neštampajuće površine, a neosvetljene površine se ispiraju vodom i predstavljaju štampajuće površine [Kipphan, 2001]. Na pripremljenu štamparsku formu se najpre nanosi boja za štampu koja se pomoću metalnog rakel ravnomerno raspoređuje po čitavoj površini sita, a zatim se sa gumenim rakelom protiskuje kroz štampajuće površine direktno na podlogu za štampu [Kašiković, 2013].

Parametri koji utiču na potrošnju boje su debljina šablona, materijal na koji se štampa, razmak između sita i materijala za štampu, specifična težina sitoštamparske boje, gustina tkanja sita, tvrdoća rakel kao i ugao pod kojim se rakel vuče po situ [Kašiković, 2013]. Svi ovi parametri igraju važnu ulogu prilikom štampe zaštitnih elemenata jer će potrošnja boje uticati u velikoj meri na cenu konačnog proizvoda, a debljina nanosa na karakteristike zaštitnog elementa. Kako bi se pratili uticajni parametri štamparskog procesa koriste se razvijene baze znanja [Zeljковиć, 2014].

Za razliku od štamparskog postupka pojam „digitalna štampa”, podrazumeva štamparsku sliku koja do ulaska u štamparsku mašinu ostane u digitalnoj formi i tek u mašini ponovo bude sastavljena u analognu štamparsku sliku [Novaković, 2013b].

Tehnika digitalne štampe najviše rasprostranjene za štampu zaštitnih elemenata grafičke ambalaže je Ink Jet tehnika pri čemu svi sistemi koji se koriste imaju svoje specifičnosti. Princip rada je isti, bez obzira koji grafički sistem je u pitanju, a to je da se eliminiše tradicionalni proces pripreme štamparske forme i da se u najkraćem vremenu dobija pravi i zadovoljavajući kvalitet otiska [Chen et al., 2004]. Digitalnom Ink Jet tehnikom se mogu štampati gotovo svi zaštitni elementi s obzirom na to kakav viskozitet boje zahteva ova tehnika štampe. Međutim najveću primenu pored ofset tehnike štampe nalazi i u štampi štampanih kodova kao zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

Već više desetina godina se za štampu ambalažnih materijala primenjuju naročito štamparski postupci visoke štampe (flekso štampa), ofset i duboka štampa. Štampa ambalaže zahteva stabilnost i funkcionalnost, neutralnost u pogledu mirisa (naročito važno npr. za pakovanja namirnica), spoljni utisak od "čisto svrsishodnog do najvišeg kvaliteta" [Kipphan, 2001].

U flekso štampi, radijalno deformisanje omogućava elastična mekana štamparska forma koja se sastoji od gume ili fotopolimera. Novija rešenja su od tvrdih i tankih (manje od 1 mm) štamparskih formi koje su zalepljene na kompresibilnu podlogu (folija ili sleeve) [Kipphan, 2001]. Ovom tehnikom štampe se najčešće štampa štampana elektronika, tačnije antene za RFID, NFC i druge čipove.

S obzirom na kompleksnost postupka izrade grafičke ambalaže, a posebno izrade zaštitnih elemenata grafičke ambalaže posebna pažnja se posvećuje ulaganju napora da se proces proizvodnje učini što manje štetnim po okolinu. S tim u vezi vršena su istraživanja količine emitovanih suspendovanih čestica iz grafičkih mašina, a došlo se do zaključka da količina ovih čestica zavisi isključivo od tiraža, organizacije operatera na mašini i frekvencije aktivacije grafičkog procesa tokom jednog sata [Adamović, 2018a].

2.3 Istraživanja prethodno sprovedena na departmanu od interesa za razvoj modela

U nastavku su prikazani materijali, uređaji, metode i rezultati istraživanja prethodno sprovedenih na Departmanu za grafičko inženjerstvo i dizajn a od interesa za razvoj modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata.

2.3.1 Materijali i uređaji korišćeni u prethodno sprovedenim istraživanjima na departmanu od interesa za razvoj modela

U okviru istraživanja su korišćene RFID antene firme Allami Nyomda Plc koje su objašnjene u nastavku, kao i sledeći uređaji: Ink Jet mašina Mimaki JV3-160SP, mašina za tampon štampu TSH print swiss 1-1010, digitalna Ink Jet mašina za štampu Epson 4880, multimetar UNI-T UT30B i mobilni uređaji (Sony Ericsson Xperia mini pro, LG E510 Optimus Hub i Samsung N7100).

RFID

U istraživanjima koja su korišćena kao osnova za razvoj modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata upotrebljene su RFID UHF antene firme „Allami Nyomda Plc” [ANY, 2019]. Primer antene je dat na slici 2.3.1. a karakteristike su date u tabeli 2.3.1.



Slika 2.3.1: Dizajn odštampane UHF RFID antene

Tabela 2.3.1: Karakteristike RFID UHF antene

Proizvođač	Allami Nyomda Plc.
Naziv	RFID UHF antena
Vrsta	Dipolna antena
Radna frekvencija	860 do 960 MHz

Mimaki JV3-160SP

Prilikom štampe uzoraka korišćena je i digitalna Ink Jet mašina Mimaki JV3-160SP koju karakteriše dvosmerno štampanje pri velikoj brzini i visok kvalitet otiska [DigitalPrinterInformation, 2013]. Omogućava štampu premaznih, etiketnih, transparentnih i sintetičkih medija do 5 metara širine. Na slici 2.3.2 je prikazana mašina, a njene tehničke karakteristike su date u tabeli 2.3.2 [Mimaki, 2013].



Slika 2.3.2: Mimaki JV3-160SP

Tabela 2.3.2: Karakteristike mašine Mimaki JV3-160SP

Proizvođač i model	Mimaki JV3-160SP
Dimenzije (š x d x v)	2660 x 750 x 1240 mm
Masa	185 kg
Glava za štampanje	4 glave za štampanje poređane u liniju
Štampa	1440 dpi

TSH print swiss 1-1010

Za potrebe eksperimenta korišćena je mašina za tampon štampu TSH print swiss 1-1010 (Slika 2.3.3) čije tehničke karakteristike su date u tabeli 2.3.3 [GRID, 2019].



Slika 2.3.3: Tampon mašina

Tabela 2.3.3: Osnovne tehničke karakteristike korišćene mašine za tampon štampu

Funkcija	Jednobojna mašina
Konfiguracija	Otvoren sistem
Veličina klišea	100 x 100 mm
Prečnik nanosa boje	70 mm
Sila pritiska	420 N (43 kg)
Brzina	2050 otisaka/sat
Radni pritisak	6 bara
Napajanje	220 V, 50-60 Hz, 30 W
Dimenzije (š x d x v)	560 x 330 x 530 mm
Masa	45 kg

EPSON 4880

U eksperimentu za štampu kodova na tekstilu korišćena je digitalna Ink Jet mašina za štampu Epson 4880 (Slika 2.3.4), čije karakteristike su date u tabeli 2.3.4 [Epson, 2019].



Slika 2.3.4: Epson 4880

Tabela 2.3.4: Epson 4880 karakteristike

Rezolucija štampe	2880 x 1440 dpi
Štampajuća površina	Tabak - 210 mm - 431,8 mm Rolna - 203,2 mm - 431,8 mm
Broj boja	8 boja
Glava za štampanje	180 mlaznica x 8 sa VSĐT

Multimeter UNI-T UT30B

Za potrebe merenja napona u RFID antenama u eksperimentima je korišćen multimeter UNI-T UT30B (slika 2.3.5) čije karakteristike su prikazane u tabeli 2.3.5 [Manualzz, 2019].



Slika 2.3.5: Multimetar UNI-T UT30B

Tabela 2.3.5: Karakteristike multimetra UNI-T UT30B

Maksimalni napon	600 Vrms
Električna struja	ø5 x 20-0,3 A 250 V
Radna temperatura	0°C - 40°C
Dimenzije	75 x 130 x 36 mm
Masa	150 g
Otpornost sondi	0,4 Ω

Mobilni uređaji

U nastavku rada su prikazane karakteristike korišćenih mobilnih uređaja u istraživanjima prethodno sprovedenim na departmanu, a od interesa za razvoj modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

Sony Ericsson Xperia mini pro

Za potrebe istraživanja korišćen je mobilni uređaj Sony Ericsson Xperia mini pro (slika 2.3.6) čije karakteristike su date u tabeli 2.3.6 [PDADB, 2013].



Slika 2.3.6: Sony Ericsson Xperia mini pro

Tabela 2.3.6: Karakteristike mobilnog uređaja Sony Ericsson Xperia mini pro

Model	Xperia mini pro SK17i
Dimenzije	92 x 53 x 18 mm
Procesor	Scorpion, 1000 MHz
Kamera	5 megapiksela, rezolucija 2592 x 1944 piksela
Ram memorija	512 MB
Operativni sistem	Android v2.3.4

LG E510 Optimus Hub

Za potrebe istraživanja korišćen je mobilni uređaj LG E510 Optimus Hub (slika 2.3.7) čije karakteristike su date u tabeli 2.3.7 [GSMarena, 2019a].



Slika 2.3.7: LG E510 Optimus Hub

Tabela 2.3.7: Karakteristike mobilnog uređaja LG E510 Optimus Hub

Model	Optimus Hub E510
Dimenzije	113,4 x 60,8 x 11,9 mm
Procesor	ARM V6, 800 MHz
Kamera	5 megapiksela, rezolucija 2592 x 1944 piksela
Ram memorija	512 MB
Operativni sistem	Android v2.3.4

Samsung N7100

Za potrebe istraživanja korišćen je mobilni uređaj Samsung N7100 (slika 2.3.8) čije karakteristike su date u tabeli 2.3.8 [GSMarena, 2019b].



Slika 2.3.8: Samsung N7100

Tabela 2.3.8: Karakteristike mobilnog uređaja Samsung N7100

Model	Samsung Galaxy Note II N7100
Dimenzije	51,1 x 80,5 x 9,4 mm
Procesor	Četvorojezgarni (4 performance core) @ 1,6 GHz, ARM Cortex A9
Kamera	8 megapiksela, f/2,6
Ram memorija	2 GB
Operativni sistem	Android 4.1.1 Jelly Bean

2.3.2 Metode korišćene u prethodno sprovedenim istraživanjima na departmanu od interesa za razvoj modela

U nastavku su prikazane metode korišćene u istraživanjima prethodno sprovedenim na Departmanu za grafičko inženjerstvo i dizajn a od interesa za razvoj modela identifikacije stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

2.3.2.1 Metoda ispitivanja modula štampanih kodova

Ova metoda je bazirana na ranije sprovedenim istraživanjima na Departmanu za grafičko inženjerstvo i dizajn i čini osnovu ispitivanja modula štampanih kodova. S obzirom da se kvalitet štampanih kodova najpreciznije meri njihovom čitljivošću, na departmanu su sprovedena istraživanja čitljivosti štampanih kodova [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014, Vučetić, Novaković, Pal, 2013, Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013]

Na uzorcima različitih materijala korišćena je metoda analize stope čitljivosti (*FRR - first-read rate*). Ova metoda daje merljive rezultate za posmatranje kako, i da li čitljivost štampanih kodova zavisi od veličine simbola, količine (gustine) informacija koje su kodirane, nivoa korekcije greške, određene udaljenosti, kao i uticaja vrste podloge [Grover et al., 2014].

Očitavanje se sprovodilo tako što je mereno vreme potrebno da kamera mobilnog uređaja fokusira, locira i dekodira štampani kod. Sa različitim udaljenostima očitavanja od 10 do 25 cm očitavanje je ponovljeno 50 puta za svaki kod, a za rezultat se izvodila srednja

vrednost merenja. Ukupan broj očitavanja i metod izračunavanja su preporučeni kao optimalni za uspešno merenje stope čitljivosti štampanih kodova FRR [Grover, et al., 2014]. Jednačina za izračunavanje stope čitljivosti štampanih kodova FRR (1) je data u nastavku:

$$FRR = \frac{\text{Broj uspešnih očitavanja}}{\text{Ukupan broj očitavanja (50)}} \quad (1)$$

Metod FRR preporučuje tri vremenska intervala očitavanja:

- očitavanje kraće od dve sekunde (< 2);
- očitavanje između dve i sedam sekundi ($2 < 7$);
- očitavanje preko sedam sekundi ($7 <$) što se smatra neuspešno očitanim kodom, bez obzira na mogućnost očitavanja u nekom trenutku [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

Posmatranje uzoraka i očitavanje je vršeno u uslovima konstantnog izvora svetlosti, u uređaju za posmatranje, Agile Radiant CVC5-2E, pod svetlosnim izvorom D50. Obezbeđena je konstantna udaljenost mobilnog uređaja od uzoraka i tačno definisan ugao očitavanja zahvaljujući mehanizmu za montažu mobilnog uređaja koji će biti naknadno objašnjen u poglavlju 5. Aplikacije koje su instalirane radi očitavanja QR kodova dostupne su na Google Play®-u za Android uređaje i na AppStore-u za Apple uređaje.

Prilikom generisanja kodova u sve tri metode su korišćeni različiti tipovi podataka, međutim u sva tri istraživanja je kao tip podataka WEB adresa korišćen link ka sajtu departmana (www.grid.uns.ac.rs). Primeri uzoraka za testiranje je prikazan na slici 2.3.9

Data metoda je razrađena kroz razvoj metodologije za tri različita istraživanja. U nastavku su prikazane specifičnosti metode svakog od istraživanja.



Slika 2.3.9: QR kodovi korišćeni u metodi prvog istraživanja [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014]

Metoda prvog istraživanja

U prvom istraživanju [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014] je vršeno očitavanje QR kodova kao štampanih kodova grafičke ambalaže. Testiranje čitljivosti QR koda je izvedeno na 324 različita uzorka [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

Prilikom generisanja kodova korišćeni su tri tipa različitih podataka (GPS koordinate, digitalna poslovna karta i WEB adresa), tri različite veličine kodova (mali (2,5 cm²), srednji (5 cm²) i veliki (10 cm²)) i 4 različita nivoa zaštite podataka (L, M, Q, H) (Tabela 2.3.9) [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

Tabela 2.3.9: Metoda prvog istraživanja - veličine QR kodova, nivoi zaštite podataka i tekstilne podloge za štampu [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014]

				Veličine kodova		
				Mala	Srednja	Velika
2,5 x 2,5 cm		5 x 5 cm		10 x 10 cm		
Tekstilne podloge						
Pamuk 100%		Poliestar 100%		Mešavina (60% pamuk i 40% poliestar)		
Nivo zaštite podataka						
L (7%)	M (15%)	Q (25%)		H (30%)		

Štampa kodova je rađena digitalnom Ink Jet mašinom za štampu Mimaki JV3-160SP na termo transfer foliju od belog mat PVC materijala proizvođača Flex. Debljina folije je iznosila 160 mikrona, a namenjena je za štampu na Eco solventnim i solventnim štampačima i transfer poliestar, akril, pamuk i sličnim tekstilnim materijalima. Prenos sa transfer folije na tekstil je izvršen uz pomoć mehaničke termo prese. U skladu sa preporučenim vrednostima od strane proizvođača folije podešeni su i parametri i uslovi za štampu. Temperatura prese na 160°C i vreme trajanja na 13 sekundi [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

Mobilnim uređajem Sony Ericsson Xperia mini pro pomoću aplikacije za detekciju QR kodova „Barcode scanner 1.4.1“, vršeno je očitavanje uzoraka. Aplikacija je otvorenog tipa i predstavlja univerzalnu aplikaciju za bar kod skeniranje koja omogućava pristup sadržaju skeniranjem kodova sa oglasa, publikacija, ambalaže, bilborda, i bilo kog drugog medijuma [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

Metoda drugog istraživanja

U drugom istraživanju [Vučetić, Novaković, Pal, 2013] su ispitivani uticajni parametri čitljivosti QR kodova štampanih tehnikom tampon štampe. Osnovni uticajni parametri čitljivosti QR kodova u ovom istraživanju su: veličina koda, tip podloge, nivo korekcije, zakrivljenost podloge odnosno koda. Generisana su četiri QR koda sa četiri različita nivoa zaštite podataka (L - nizak, ML - srednje-nizak, MH - srednje-visok, H - visok) sa podacima WEB adrese (<http://www.grid.uns.ac.rs/>). Za svaki uzorak je korišćeno pet različitih veličina kodova: od 1,3 cm² do 2,5 cm² sa korakom od 0,3 cm². Na ovaj način je omogućeno ispitivanje uticaja nivoa korekcije kodirane informacije i veličine simbola na čitljivost QR kodova štampanih tehnikom tampon štampe [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].

Kako bi se utvrdio uticaj tipa podloge uzorci su štampani na lakiranom drvetu, sjajnom premaznom papiru, plastici i keramici. Štampani su na jednobojnoj mašini za tampon štampu, TSH print swiss 1-1010 crnom bojom [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].

Uticaj zakrivljenosti površine je ispitan na izrađenim kalupima u osam različitih veličina prečnika: 10 mm, 15 mm, 22 mm, 30 mm, 38 mm, 46 mm, 54 mm i 62 mm. Uzorci su štampani na premaznom papiru, a pre očitavanja su bili lepljeni na pripremljene kalupe [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].

Mobilnim uređajem LG E510 Optimus Hub, sa „i-nigma“ aplikacijom vršeno je očitavanje uzoraka Za određivanje stope očitavanja (FRR) svaki uzorak je skeniran 50 puta, a udaljenost uređaja je bila približno 10 cm [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].

Potom se pristupilo testiranju pomoću virtuelnih uzoraka na kalupima formiranim u softveru 3D Studio Max. Prečnici kalupa su iznosili 21 do 30 mm u koraku od 1 mm. U programu Adobe Illustratoru je formirana slika sa QR kodom za svaki virtuelni objekat. Korišćena su sva četiri nivoa korekcije i veličina koda je iznosila 2,5 cm². Kako bi kasnije slike

mogle biti upotrebljene, na svaki objekat je primenjena mapa sa odgovarajućom slikom, a zatim je renderovan i sačuvan kao bitmapa. Očitavanje je vršeno sa udaljenosti od 20 cm na prirodnom dnevnom svetlu. Nakon pozicioniranja renderovane slike vršena su očitavanja deset veličina kalupa sa sva četiri nivoa korekcije, a svako očitavanje koje je trajalo ispod 5 sekundi je odbačeno kao neuspešno očitavanje [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].

Metoda trećeg istraživanja

U trećem istraživanju [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013] svaki QR kod je generisan pomoću aplikacije Goqr.me [Goqr.me, 2014], a prilikom generisanja kodova korišćeni su različiti nivoi zaštite podataka i to L (7%), M (15%), Q (25%) i H (30%). Kodovi su izrađeni u tri dimenzije 10 x 10 cm, 5 x 5 cm i 2,5 x 2,5 cm [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Kao i u prethodnim metodama istraživanja podaci koji su generisani na svim kodovima predstavljaju WEB adresu departmana (www.grid.uns.ac.rs). Testiranje čitljivosti je izvedeno na 60 različitih uzoraka, 5 vrsta tekstilnog materijala (keper, šifon, viskoza, trevira i saten). Štampa je izvedena korišćenjem digitalne Ink Jet mašine za štampu Epson 4880 [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Fiksiranje štampe se vršilo korišćenjem mehaničke termo prese Difol TP4040s. Tačna površinska masa tekstilnog materijala je izmerena korišćenjem tehničke vage Radwag PS 2100/C2 čija tačnost merenja iznosi $\pm 0,01$ g. Pre početka merenja vaga je kalibrisana i podešena na nultu vrednost [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Tokom očitavanja, uzorci su izloženi simulaciji svetla TL84 sa 4100K u uređaju za posmatranje, Agile Radiant CVC5-2E. Vreme očitavanja je razvrstavano u tri vremenska intervala (< 2 sec, $2-7$ sec i > 7 sec), a ispitivan je i uticaj udaljenosti mobilnog uređaja za očitavanje od samog QR koda putem analize stope čitljivosti FRR svakog od uzoraka [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Uzorci su očitavani pomoću mobilnog uređaja Samsung N7100 sa aplikacijom "QR Code Reader" [Google Play, 2014, Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

2.3.2.2 Metoda ispitivanja modula štampane elektronike

Metoda merenja uticaja okoline na UHF RFID antene

Ova metoda se sastojala od ispitivanja površinske specifične otpornosti štampanih UHF RFID antena [Agošton, Novaković, 2009], postavljanjem u različita okruženja koja simuliraju realne uslove u kojima bi se RFID tag mogao naći. Petnaest uzoraka sa po dve polovine antene u periodu od 11 časova izlagalo se temperaturi od -20°C sa relativnom vlažnošću od 88%. Zatim su uzorci kondicionirani na temperaturi od 21°C sa relativnom vlažnošću od 53%. Uzorci su se zatim izloženi temperaturi od 55°C u periodu od jednog sata jer se gotovi proizvodi češće nalaze na nižim temperaturama nego na višim, i razlog više je da ne dođe do zapaljenja uzoraka. U eksperimentima je korišćena UHF dipolna antena, sa standardnim dizajnom za upotrebu pri frekvencijama od 860 do 960 MHz a površinska specifična otpornost se merila pre i posle izlaganja termalnim promenama [Agošton, Novaković, 2009].

Pomoću multimetra UNI-T UT30B izmerena je otpornost, a u obzir je uzeta i otpornost sonde koja iznosi $0,4 \Omega$. Sonde su postavljane najdalje jedna od druge, na suprotnim krajevima antene. Od 15 numerisanih kutija dobijeno je 30 uzoraka jer je svaki deo antene smatran posebnim uzorkom. Inicijalna merenja su pokazala male varijacije u vrednostima [Agošton, Novaković, 2009].

Zatim su antene izložene temperaturi od -20°C sa vlažnošću od 88% u periodu od 11 sati. Kondicioniranje uzoraka na sobnoj temperaturi od 21°C je trajalo 5 sati. Nakon

kondicioniranja uzorci su izloženi temperaturi 55°C u multifunkcionalnom uređaju u periodu od jednog sata. Na kraju simulirajući sredinu u kojoj se može naći RFID tag na nekom proizvodu, površinska specifična otpornost je merena na mogućim niskim i visokim temperaturama [Agošton, Novaković, 2009].

Metoda merenja uticaja gustine štampe i trajanja sušenja na otpornost odštampanog elektroprovodljivog materijala

Ova metoda je formirana u cilju sprovođenja eksperimenta koji će nam obezbediti informacije o tome kako se elektroprovodljivi materijal (grafen) ponaša na PET podlozi nakon promene različitih parametara prilikom štampe i promenom trajanja sušenja. Kako bi se utvrdio uticaj dužine odštampanih linija na električnu otpornost metoda je sadržala štampu dva različita oblika [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Rastojanje između susjednih kapljica na podlozi i broj odštampanih slojeva su parametri koji su varirani prilikom štampe. Rastojanja su podešena na 5, 10, 15 i 20 μm , dok su vremena sušenja bila 10, 20 i 30 min na temperaturi od 120°C. Zbog nepostojanja standarda po kome se vrši testiranje provodnosti materijala u ovoj vrsti štampe elektronskih ploča ovi parametri su empirijski odabrani [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

2.3.3 Rezultati prethodno sprovedenih istraživanja na departmanu od interesa za razvoj modela

QR kod treba da obezbedi prenos dovoljnog broja podataka, ali i brzo i pouzdano očitavanje sadržaja. Kako bi postigli ove ciljeve, neophodno je utvrditi format i nivo zaštite QR koda koji bi dao očekivane rezultate čitljivosti. Testiranje čitljivosti QR kodova različitih veličina, sa različitim sadržajem i nivoom zaštite podataka predstavlja najbolji način provjere. Na osnovu tri različite metode detaljno objašnjene u okviru poglavlja metoda ispitivanja modula štampanih kodova izvedena su tri eksperimenta čiji rezultati su prikazani u nastavku [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

2.3.3.1 Prethodna ispitivanja modula štampanih kodova

Prvi eksperiment

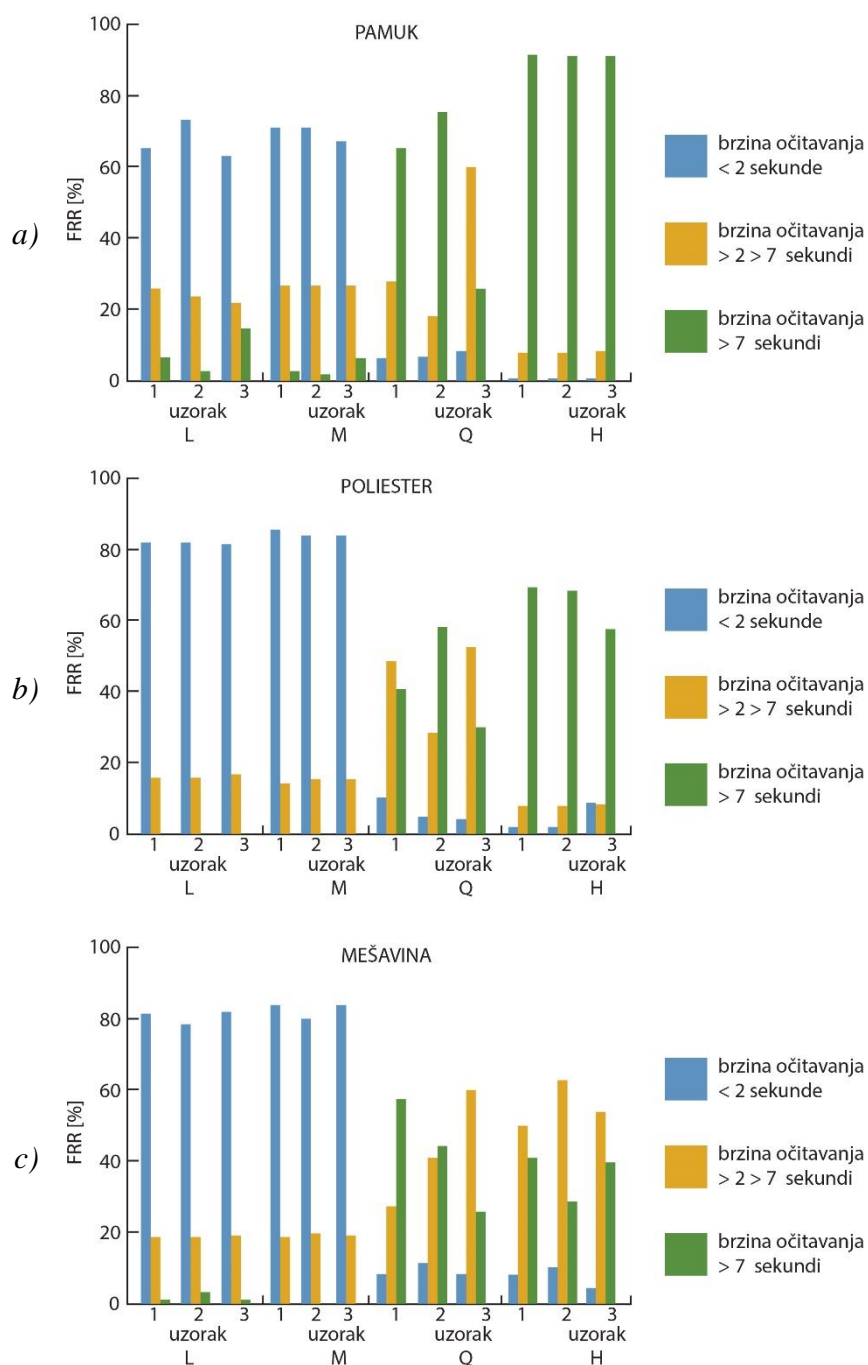
Nakon izvršenih merenja primenom faktora brzine očitavanja (FRR) dobijena su prosečna vremena potrebna za očitavanje svih 324 QR kodova. Iz rezultata se zaključuje da veća dimenzija koda pozitivno utiče na stopu očitavanja (FRR) posebno ako se uzme u obzir materijal na kome se štampa [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

Rezultati prvih očitavanja su pokazali da je čitljivost većih uzoraka (10 cm^2 i 5 cm^2) 100%, pa je u nastavku istraživanja rađeno ispitivanje samo malih (2,5 cm^2) uzoraka.

Iz dobijenih rezultata čitljivosti QR koda u zavisnosti od tekstilne podloge na malim uzorcima 2,5 cm^2 može se zaključiti da tekstilna podloga nema značajan uticaj na očitavanje. Sa najviše uspešno očitanih kodova svih nivoa ispravljanja greške izdvojio se poliestar [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

Na osnovu rezultata uticaja gustine kodiranih podataka na čitljivost QR koda zaključuje se da povećanjem gustine opada stepen čitljivosti. Veoma nisku stopu čitljivosti pokazali su QR kodovi uzoraka male veličine (2,5 cm^2) sa nivoom ispravljanja greške Q (25%) i H (30%), na svim tekstilnim podlogama i sa svim tipovima kodiranih podataka. Prilikom štampe manjih kodova treba imati u vidu da smanjenim odstojanjem mobilnog uređaja od uzorka postižu bolji rezultati, ali korišćena/preporučena udaljenost od 25 cm daje navedene rezultate [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

Na rezultatima očitavanja u svim vremenskim intervalima (slika 2.3.10), može se uočiti pad stope očitavanja sa povećanjem nivoa ispravljanja greške, na svim tekstilnim materijalima., Najbolji rezultati čitljivosti su postignuti na podlozi od poliestera (slika 2.3.10b) [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].



Slika 2.3.10: Vremena očitavanja uzoraka sa podlogom od a) pamuka, b) poliestera, c) mešavine [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

Kako bi se dobila kompletnija slika o čitljivosti QR kodova u daljem radu su vršena slična testiranja na kodovima štampanim drugim tehnologijama, na drugim materijalima, različitih boja podloge i kodova, i sa manjim odnosno većim oštećenjima [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

Drugi eksperiment

Rezultati provere čitljivosti kodova različitih veličina i nivoa korekcije na ravnoj površini svih podloga su pokazali da je stopa očitavanja iznosila 100% [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].

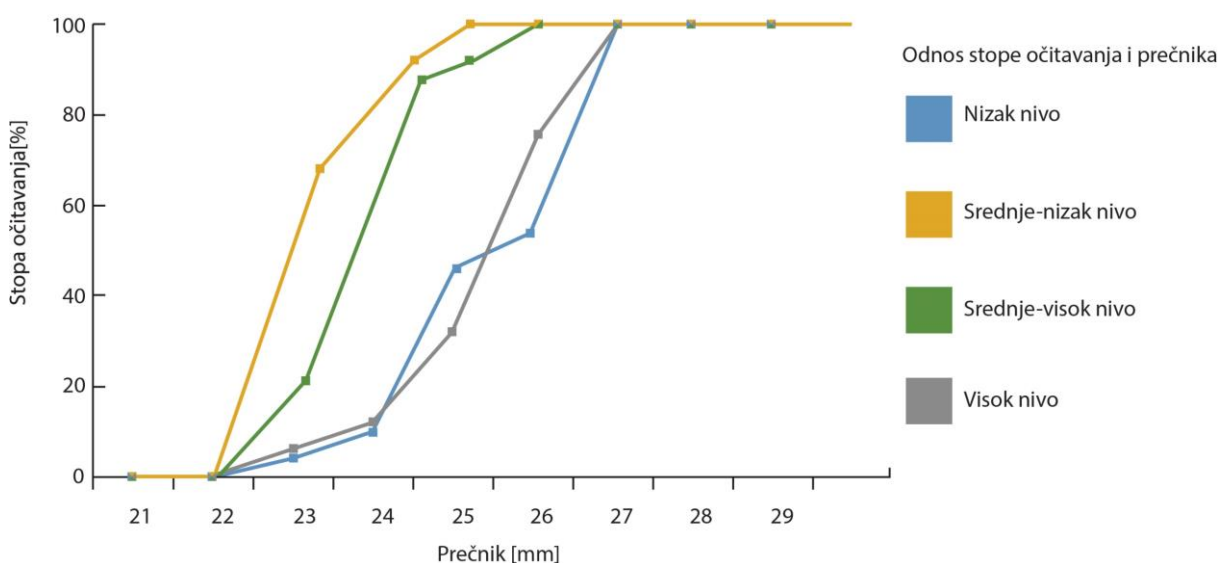
U istraživanju se posebna pažnja posvetila tome da li razlivanje boje utiče na čitljivost QR koda na podlozi. Kod uzoraka štampanih na plastici štampa je bila lošijeg kvaliteta, dok je na keramici dobijeni otisak bio zadovoljavajući. Na plastičnoj olovci očitavanje je bilo otežano zbog zakrivljenosti površine i gubitka podataka te je stopa očitavanja iznosila 0%, dok prilikom štampe na lakiranom drvetu otisak je bio zadovoljavajući i stopa očitavanja je iznosila 100%, [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].

Kod očitavanja fizičkih kalupa greške očitavanja su se javile na prečnicima od 22 mm i većim. Prilikom očitavanja na fizičkom kalupu prečnika 22 mm problemi u očitavanju su se javili kod veličine koda 2,5 cm² gde je uspešnost očitavanja iznosila ispod 30% skoro za svaki nivo korekcije [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].

Za prečnik 15 mm uspešno su očitani samo kodovi veličina 1,3 cm², 1,6 cm² i srednje visoki nivo korekcije kod 1,9 cm². Izuzev niskog nivoa korekcije, za prečnik 10 mm uspešno je očitana samo veličina 1,3 cm² [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].

Pokazalo se da stopa očitavanja QR kodova na zakrivljenim površinama zavisi od veličine koda i centralnog ugla kružnice, tj. veličine zakrivljenosti. Veličina zakrivljenosti mora biti manja što su dimenzije koda veće [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].

Na virtuelnim uzorcima je utvrđen minimalni prečnik na kome kod može biti očitani. Odnos stope očitavanja i prečnika je prikazan na slici 2.3.11 [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].



Slika 2.3.11.: Grafički prikaz odnosa stope očitavanja na virtuelnim uzorcima kod svih nivoa korekcije [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].

Najvišu stopu očitavanja su imali srednje-nizak i srednje-visok nivo korekcije. Kod niskog nivoa korekcije već kod prečnika od 25 mm, stopa očitavanja je manja od 50%. Proces očitavanja na prečniku od 25 mm i 26 mm je trajao nešto duže, jer je kameri trebalo više vremena za fokusiranje i detekciju koda. Stopa očitavanja je znatno uspešnija za srednje-nizak nivo korekcije. Kod prečnika 24 mm bilo je svega nekoliko bezuspešnih očitavanja pa je stoga i stopa očitavanja velika i iznosi 92%. Svi prečnici do 25 mm su očitani 100%, a kod prečnika 23 mm trebalo je više vremena za očitavanje, a stopa očitavanja je i dalje iznosila iznad 50%.

Kod prečnika 22mm uočljiv je nagli pad stope očitavanja. Stopa očitavanja počinje da opada već kod 25 mm kod srednje-visokog nivoa korekcije. Za 23 mm stopa očitavanja iznosi 22%, što je jako malo i neprihvatljivo da bi se moglo koristiti u realnim uslovima. Kod prečnika 22 mm i 21 mm ni za jedan nivo korekcije nema uspešnih očitavanja. Prilikom očitavanja kodova sa visokim nivoom korekcije 100% stopu očitavanja ima samo do prečnika 27 mm, nakon čega ona opada. Za 26 mm je i dalje prihvatljiva i iznosi 76% dok je već kod prečnika 25 mm stopa očitavanja 32%, što je nedovoljno. Za prečnike 24 mm i 23 mm srednja stopa očitavanja je ispod 15% i to je neprihvatljiv rezultat, a kod prečnika 21 mm i 22 mm nema uspešnih očitavanja. Zaključuje se da je stopa očitavanja najbolja kod srednje-niskog nivoa korekcije, kao i da se u obzir može uzeti i srednje-visoki nivo, dok niski i visoki nivo korekcije treba izbegavati [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].

Treći eksperiment

Kao i u prethodna dva istraživanja i u trećem eksperimentu su veličina koda, gustina kodirane informacije i materijal na kom su štampani identifikovani kao ključni faktori koji utiču na čitljivost QR kodova. Bez obzira na vrstu koda, tip osvetljenja, veličinu koda i nivo korekcije greške prilikom očitavanja koda koji je pravilno generisan i reprodukovan, uz pomoć kamere mobilnog uređaja, sa male udaljenosti (5 cm) stopa očitavanja (FRR) je iznosila 0%, [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Bez obzira na vrstu tekstilnog materijala i gustinu informacije, kodovima od 2,5 x 2,5 cm, sa udaljenosti očitavanja od 25 cm i 15 cm je značajno umanjen procenat očitavanja. Rezultate od 100% čitljivosti daju veći kodovi (10 x 10 cm i 5 x 5 cm) sa istom gustinom informacije, očitavani sa istih udaljenosti (25 cm i 15 cm), osim u slučajevima gde zbog vrste tekstilnog materijala reprodukcija koda nije u potpunosti uspešna [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Stopa čitljivosti sa obe udaljenosti kod uzoraka veličine 10 x 10 cm u sva četiri nivoa korekcije greške je identična. Odnosno po 100% za L, M i Q, a 80% za H nivo korekcije greške. Sličan trend se vidi i na uzorcima 5 x 5 cm s tim da je razlika u tome što se u ovom slučaju nivo korekcije greške M znatno bolje očitavao kod udaljenosti od 15 cm nego kod udaljenosti od 25 cm [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Kod uzoraka 2,5 x 2,5 cm kod različitih udaljenosti kamere i uzorka. može se uvideti identični procenat očitavanja L nivoa ispravljanja greške u oba slučaja i to je jedino što je identično u ovom području (uzoraka sa 2,5 x 2,5 cm) [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Uočljivo je da je stepen očitavanja M nivoa ispravljanja greške kod udaljenosti od 15 cm znatno veći u odnosu na udaljenost od 25 cm. Kod Q i H nivoa korekcije greške čitljivost je smanjena za nešto manje od 20% kod udaljenosti od 15 cm nego pri istim očitavanjima na udaljenosti od 25 cm [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Kao tekstilna podloga sa najviše uspešno očitanih kodova pokazao se keper zatim trevira, nakon trevire šifon i na samom kraju su saten i viskoza [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Za štampu QR kodova dimenzije 2,5 x 2,5 cm treba izbegavati saten jer je čitljivost kodova na tom materijalu 0% u oba slučaja rastojanja (25 cm i 15 cm). Na osnovu srednje vrednosti najkraćeg vremena očitavanja kodova od 2,5 x 2,5 cm na svim tekstilnim materijalima pri udaljenosti od 25 cm i 15 cm uočava se ogroman uticaj podloge na očitavanje uzoraka bez obzira na njihov nivo korekcije greške i na udaljenost mobilnog uređaja od podloge [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Ozbiljnu promenu u brzini očitavanja kodova moguće je primetiti na podlozi šifon gde kodovi sa nivoom ispravljanja greške Q imaju dominaciju pri udaljenosti podloge 25 cm od kamere, dok se pri istim uslovima na odstojanju od 15 cm uticaj smanjuje i do 70%. Isti slučaj

je i kod trevire gde je moguće primetiti značajan trend rasta FRR na udaljenosti 25 cm u odnosu na 15 cm udaljenosti uzoraka i kamere [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Pri očitavanju kodova sa sva četiri nivoa korekcije greške (L, M, Q i H) keper daje izuzetne rezultate. Saten kao materijal za štampu je vrlo nepouzdan za štampanje QR kodova. Kao i keper, šifon se takođe pokazao kao veoma pouzdan materijal za štampu jer je brzina očitavanja kodova u oba slučaja (15 cm i 25 cm) visoka pri svim veličinama koda i pri svim nivoima ispravljanja greške, osim kod veličina 2,5 x 2,5 cm, gde je prosečna brzina bila između dve i sedam sekundi. Trevira daje srednje prosečne (2-7 sekundi) rezultate merenja za mernu udaljenost od 15 cm. Viskoza daje rezultate merenja za mernu udaljenost od 15 cm vrlo slične kao i trevira, a to su prosečne vrednosti brzine očitavanja između dve i sedam sekundi. Pri merenju na rastojanju 25 cm, znatno se ističe brzina kraća od dve sekunde pri dimenzijama 10 x 10 cm i 5 x 5 cm, isključujući H nivo korekcije greške gde je kod nečitljiv. U slučajevima veličine koda 2,5 x 2,5 cm kod je gotovo nečitljiv [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

2.3.3.2 Prethodna ispitivanja modula štampane elektronike

Rezultati merenja uticaja okoline na UHF RFID antene

U istraživanjima uticaja okoline na UHF RFID antene korišćene su antene firme „Allami Nyomda Plc.” [ANY, 2019]. Antena sadrži donji manji procep između dva dela antene na kojem je mesto za čip. S obzirom da merenje površinske specifične otpornosti zavisi od dve dimenzije, širine i visine, bila je potrebna jedna aproksimacija prikazana na slici 2.3.12. Kasniji proračuni su urađeni sa pravougaonikom iste površine, i to tako da je njegova visina usvojena kao srednja vrednost visine podoblika originalne antene [Agošton, Novaković, 2009].



Slika 2.3.12: Izgleda aproksimirane antene [Agošton, Novaković, 2009]

Ove varijacije su prihvatljive i mogu se objasniti sa uobičajenim varijacijama u sito štampi, u kojoj nije moguće dovoljno precizno kontrolisati debljinu nanosa boje. Rezultati su prikazani u tabeli 2.3.10 [Agošton, Novaković, 2009].

Vrednosti u rezultatima merenja su se pokazali suprotne od očekivanih (tabela 2.3.11). Otpornost i površinska specifična otpornost su se smanjile nakon testova za 6,94%, (slika 2.3.13). Ova pojava direktno vodi ka boljim performansama RFID taga kroz povećanje provodljivosti antene. Očekivanja u vidu povećanja površinske specifične otpornosti i otpornosti, su poticala od toga da bi oksidacija na antenama i velika vlažnost uticali na provodljivost, što se nije dogodilo [Agošton, Novaković, 2009].

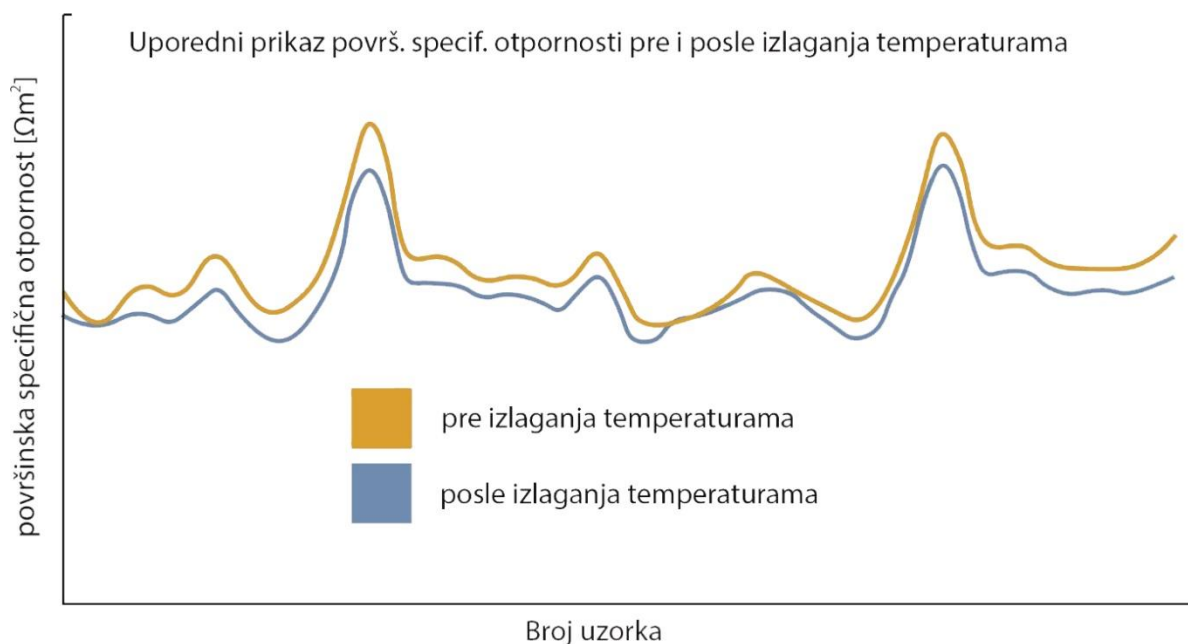
Moguće objašnjenje ovakvih neočekivanih rezultata se može pronaći u sličnom istraživanju Rudie Oldenzijl-a iz „Acheson Colloids“, u kom je detaljnije istražena UV provodljiva boja, gde su rezultati pokazali povećanje provodljivosti posle tretmana toplotom [Agošton, Novaković, 2009].

Tabela 2.3.10: Vrednosti otpornosti pre testova [Agošton, Novaković, 2009]

uzorak	Početna otpornost u Ω		Početna površinska specifična otpornost	
	levi	desni	levi	desni
1	13,1	12	0,6803	0,62137
2	11,8	11,9	0,61066	0,61602
3	13,2	12,5	0,68566	0,64816
4	13	13,8	0,67494	0,7178
5	14,5	13,3	0,75529	0,69101
6	12,5	12,4	0,64816	0,6428
7	12,6	12,1	0,65352	0,62673
8	14,8	14,9	0,77136	0,77672
9	19,8	19,4	1,0392	1,01777
10	14,6	15,2	0,76065	0,79279
11	14,4	14,9	0,74994	0,77672
12	13,6	14,1	0,70708	0,73387
13	13,7	14	0,71244	0,72851
14	13,4	14,2	0,69637	0,73922
15	14,5	15,3	0,75529	0,79815

Tabela 2.3.11: Vrednosti otpornosti nakon testova [Agošton, Novaković, 2009]

uzorak	Otpornost posle testova		Površ. specif. otporn. posle testova	
	levi	desni	levi	desni
1	12,3	11,1	0,63209	0,56781
2	11,9	12,1	0,61066	0,62137
3	12,3	12,4	0,63209	0,63744
4	12,1	13,2	0,62137	0,6803
5	13,3	13,1	0,68566	0,67494
6	11,6	11,9	0,59459	0,61066
7	11,4	11,4	0,58388	0,58388
8	13,8	14,1	0,71244	0,72851
9	18,2	18,3	0,94813	0,95349
10	13,7	14,1	0,70708	0,72851
11	13,6	14,1	0,70173	0,72851
12	13	13,2	0,66959	0,6803
13	13,1	13,3	0,67494	0,68566
14	12,5	13,2	0,6428	0,6803
15	13,8	13,8	0,71244	0,71244



Slika 2.3.13: Poređenje površinskih specifičnih otpornosti pre i posle testova [Agošton, Novaković, 2009]

Rezultati merenja uticaja gustine štampe i trajanja sušenja na otpornost odštampanog elektroprovodljivog materijala

U nastavku su prikazani rezultati merenja uticaja gustine štampe i trajanja sušenja na otpornost odštampanog elektroprovodljivog materijala. Kako bi se utvrdila stabilnost materijala na podlozi, kao i uticaj materijala na podlogu nakon sušenja pri zadatim parametrima štampe uzoraka prvo je štampan kvadrat veličine 10 x 10 mm. Kvadrat je štampan sa parametrima rastojanja kapljica od 5, 10, 15 i 20 μm jednoslojno, 10, 15 i 20 μm dvoslojno i 20 mm troslojno. Trajanje sušenja za svaki od navedenih parametara je iznosilo 10, 20 i 30 minuta na temperaturi od 120°C [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Na slici 2.3.14 (Uzorak 1), prikazan je uzorak jednoslojne štampe sa rastojanjem između kapljica od 20 μm . Na ovom uzorku nakon sušenja od 10 min postignuta je električna otpornost oko 900 Ω . Povećanjem vremena sušenja, povećavala se i električna otpornost [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Najbolji rezultat po pitanju električne otpornosti je bio nakon sušenja od 20 min pri jednoslojnoj štampi sa rastojanjem od 15 μm (slika 2.3.14, uzorak 2). Na ovom uzorku se vidi i prvi problem fizičke stabilnosti boje na podlozi, stvaranja „efekta kafenog prstena“ koji se javlja prilikom isparavanja rastvarača sa odštampane površine [Deegan et al., 1997]. Električna otpornost na ovom uzorku je iznosila oko 280 Ω [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Najmanja električna otpornost je ponovo bila nakon sušenja od 20 min i ona je iznosila oko 125 Ω , dok je „efekat kafenog prstena“ nešto jasniji pri smanjenju rastojanja između kapljica na 10 μm (slika 2.3.14, uzorak 3) prilikom jednoslojne štampe [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Najbolje rezultate po pitanju električne otpornosti prilikom eksperimenta dao je poslednji odštampani uzorak jednoslojne štampe prikazan na slici 2.3.14, uzorak 4. Parametar rastojanja između kapljica je iznosio 5 μm , dok je trajanje sušenja sa najboljim rezultatom bilo maksimalnih 30 min. Efekat „kafenog prstena“ je ponovo vidljiv, ali je otisak daleko konstantniji i otpornost je iznosila oko 28 Ω . Na slici 2.3.14 uzorak 4 se jasno vidi da je problem

prilikom štampe sa ovim parametrima da postoje velike šanse da dođe do razlivanja otiska [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Efekti „kafenog prstena“ su standardan slučaj kod dvoslojne štampe, odnosno pojavljuju se na svim uzorcima. Debljina prstena raste sa smanjenjem rastojanja između kapljica. Na slici 2.3.14, uzorak 5 je prikazan uzorak sa dvoslojnom štampom pri kojoj je rastojanje između kapljica 20 μm . Pri najdužem sušenju od 30 min dobijena je najmanja električna otpornost i njena vrednost je iznosila oko 150 Ω [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Smanjenjem rastojanja na 15 μm pri dvoslojnoj štampi električna otpornost se linearno smanjivala sa porastom dužine trajanja sušenja. Nakon 30 min. njena vrednost iznosila je oko 110 Ω dok su fizičke karakteristike odštampanog uzorka ostale iste. Uzorak je prikazan na slici 2.3.14, uzorak 6 [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Poslednji uzorak dvoslojne štampe sa rastojanjem između kapljica od 10 μm je prikazan na slici 2.3.14, uzorak 7. Na njemu se može primetiti konstantan oblik prstena kao i pravilan oblik odštampanog šablona. Najbolja električna otpornost je ponovo postignuta pri sušenju od 30 min. i ona iznosi oko 45 Ω [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

S obzirom da bi teško bilo rukovati uzorkom ukoliko bi bio štampan sa manjim rastojanjem, pre svega sa jednoslojnom štampom i rastojanjem od 5 μm , prilikom troslojne štampe rađen je eksperiment samo sa parametrom rastojanja između kapljica od 20 μm (slika 2.3.14, uzorak 8). Na ovaj način se uticalo na sprečavanje većeg razlivanja boje. Kao i na prethodnim uzorcima, „kafeni prsten“ je prisutan, a najmanja otpornost je ponovo postignuta pri najdužem trajanju sušenja od 30 min. i ona iznosi oko 70 Ω [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Drugi oblik je bio pravougaonik veličine 2 x 20 mm. Cilj je bio i simulacija štampe elektroprovodljivih linija, koje se najčešće koriste pri štampi elektronskih ploča i provera uticaja dužine odštampanih linija na otpornost i analiza fizičkih karakteristika materijala prilikom štampe ovog oblika [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Kako bi se utvrdio uticaj dužine odštampane linije na električnu otpornost merene su otpornosti po dužoj i kraćoj strani pravougaonika. Rađena je jednoslojna i dvoslojna štampa sa rastojanjem između kapljica od 10, 15 i 20 μm , dok su vremena trajanja sušenja takođe bila 10, 20 i 30 min [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Najbolji celokupni rezultat je bio prilikom sušenja od 20 min, gde je najmanja otpornost pri dužoj strani bila oko 1500 Ω , dok se pri kraćoj strani kretala između 200 i 250 Ω , prilikom jednoslojne štampe sa rastojanjem između kapljica od 20 μm [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Na slici 2.3.14, uzorak 9 se može primetiti da je fizički slika vrlo bleđa i nejasna. Najbolji rezultat je dobijen nakon sušenja od 30 min, gde je otpornost po dužoj strani bila oko 1150 Ω , dok je po kraćoj bila slična kao i na prethodnom uzorku i iznosila je oko 215 Ω . Prilikom smanjenja rastojanja između kapljica na 15 μm može se primetiti da je otisak fizički dosta jasniji na slici 2.3.14, uzorak 10 [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Uzorak štampan jednoslojno sa rastojanjem između kapljica od 10 μm i vremenom sušenja od 10 min prikazan je na slici 2.3.14, uzorak 11. Otisak je jasan, efekat „kafenog prstena“ je gotovo nevidljiv, a električna otpornost iznosi oko 430 Ω po dužoj strani, oko 50 Ω po kraćoj i konstantna je. Pri dužem sušenju pri pomenutim parametrima došlo je do stvaranja jasno vidljivog prstena čime je električna otpornost značajno porasla [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].



Slika 2.3.14: Uzorci [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014]

Prilikom dvoslojne štampe, uzorak štampan sa rastojanjem od $20\ \mu\text{m}$ (slika 2.3.14, uzorak 12) ponovo je dao najbolje rezultate, kako po pitanju fizičke stabilnosti prilikom sušenja u trajanju od 10 min, tako i po pitanju električne otpornosti. Po kraćoj strani električna otpornost je varirala između $80\ \Omega$ i $100\ \Omega$, dok je po dužoj strani iznosila oko $1000\ \Omega$ [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Kako fizički tako i po pitanju električne otpornosti kvalitet odštampanog otiska je značajno bolji smanjenjem rastojanja kapljica na $15\ \mu\text{m}$ prilikom dvoslojne štampe. Na slici 2.3.14, uzorak 13 se mogu primetiti jasne ivice odštampanog uzorka, električna otpornost po dužoj strani iznosi oko $540\ \Omega$, a po kraćoj oko $80\ \Omega$, efekta prstena gotovo da nema. Vreme sušenja je 30 min [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Na slici 2.3.14, uzorak 14 je prikazan dvoslojni uzorak štampan sa rastojanjem od $10\ \mu\text{m}$ i vremenom sušenja od 20 min. Jasno se može primetiti efekat „kafeni prsten“ koji se redovno javljao pri štampi kvadrata $10 \times 10\ \text{mm}$. Ipak, električna otpornost je ponovo manja nego na prethodnom uzorku i iznosi oko $275\ \Omega$ po dužoj, i oko $30\ \Omega$ po kraćoj strani [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

2.3.4 Diskusija rezultata prethodno sprovedenih istraživanja na departmanu od interesa za razvoj modela

U nastavku je predstavljena diskusija rezultata prethodno sprovedenih istraživanja na departmanu od interesa za razvoj modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Kako bi približili vezu ovih rezultata sa modelom u nastavku su diskutovani rezultati modula štampanih kodova i štampane elektronike.

2.3.4.1 Ispitivanja modula štampanih kodova

Prvi eksperiment

U prvom istraživanju su predstavljeni podaci o čitljivosti QR kodova. Kodovi različite sadržine, dimenzija i nivoa zaštite podataka su štampani na tri vrste tekstilnih podloga za štampu. Iz tog razloga su upravo ovi materijali poslužili prilikom izbora materijala u istraživanjima razvoja modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata, a s obzirom da su istraživanja čitljivosti na njima već kvalitetno sprovedena [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

Kodovi su štampani digitalnom Ink Jet mašinom za štampu, rezolucije 600 dpi na belu, mat termo foliju. Nakon štampe putem termo transfer prese reprodukovani su na bele tekstilne podloge. Očitavani su mobilnim uređajem sa Android operativnim sistemom u kabini za posmatranje uzoraka sa konstantnim izvorom dnevnog svetla: Merenje i predstavljanje rezultata je u skladu sa standardom tako da su dobijeni rezultati istraživanja od interesa za razvoj modela [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

Iz rezultata se zaključuje da na čitljivost QR koda direktno ne utiče broj karaktera koji se kodira, kao ni materijal na koji su reprodukovani, dok su se veličina koda i gustina generisanih informacija izdvojile kao ključne za čitljivost simbola QR koda. Ovaj zaključak nam omogućava da prilikom razmatranja različitih tekstilnih materijala u istraživanju polazimo od pretpostavke da će tip materijala u maloj meri uticati na čitljivost samih kodova [Vidaković, Novaković, Kašiković, 2014].

Drugi eksperiment

Nakon analize rezultata drugog eksperimenta se može zaključiti da sama tehnika tampon štampe i podloga na koju se štampa nema uticaja na čitljivost QR kodova zbog visokog nivoa korekcije greške. Dolazi se do zaključka da se QR kodovi mogu očitavati na zakrivljenim površinama u zavisnosti od veličine koda. Za manje kodove zakrivljenost površine može biti veća, dok za veće kodove je potrebna manja zakrivljenost površine i obrnuto. Eksperimentalno je utvrđeno da 23 mm predstavlja najmanju veličinu prečnika koja omogućava uspešno očitavanje. Dopuna ovom istraživanju bi mogla biti u vidu izrade materijalnih uzoraka sa direktnom štampom na istima jer se očekuje da bi rezultati bili i precizniji [Vučetić, Novaković, Pal, 2013].

S obzirom da u ambalažine oblike na koje su primenljivi zaštitni elementi grafičke ambalaže spadaju i zakrivljene površine, rezultati ovog istraživanja su izuzetno primenljivi prilikom izbora metode za štampu zaštitnih elemenata grafičke ambalaže u vidu QR ili novih oblika čitljivih kodova.

Treći eksperiment

U trećem istraživanju se utvrđivala stopa čitljivosti (FRR) QR kodova sa tekstilnog materijala u zavisnosti od različitih faktora: veličine koda, udaljenost QR koda od uređaja za očitavanje, nivoa korekcije greške i vrste podloge za štampu. Vrsta tekstilnog materijala i veličina koda su se izdvojile kao ključne za čitljivost QR kodova. Iz rezultata se svakako moglo zaključiti da je udaljenost od 25 cm mnogo efikasnija od druge ispitivane udaljenosti bez obzira na veličinu QR koda i njegov nivo ispravljanja greške [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Nivo ispravljanja greške se takođe pokazao kao veoma bitan parametar u okviru generisanja QR koda, ali i brzini njegovog očitavanja. Kao najbitniji faktor koji utiče ne samo na brzinu očitavanja QR kodova već i na sam kvalitet reprodukcije kodova na podlogu izdvojio se uticaj vrste podloge za štampu. Saten i viskoza su se loše pokazali s obzirom da je otisak bio prilično zamrljan, naročito pri manjim dimenzijama koda (5 x 5 cm i 2,5 x 2,5 cm). Uzorci

štampani na belom keperu, 100% pamuk su pokazali najviše vrednosti stope očitavanja (FRR) [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Na osnovu dobijenih rezultata zaključeno je da se veličina koda od 2,5 x 2,5 cm reprodukovana na tekstil pokazala nepouzdanom. Najbrže vreme očitavanja kodova je dobijeno u slučaju kada je QR kod bio veličine 5 x 5 cm, bez velikog uticaja udaljenosti od kamere kao i nivoa ispravljanja greške [Jurišić, Novaković, Kašiković, 2013].

Rezultati istraživanja primenu u razvoju modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata pronalaze u davanju sugestija za odabir veličine koda zaštitnog elementa pre postupka štampe. Takođe upozoravaju da za određen tip kodova veličina koda manja od preporučene može biti problematičan u postupku očitavanja.

2.3.4.2 Ispitivanja modula štampane elektronike

U okviru rezultata merenja uticaja okoline na UHF RFID antene mogućnost proširivanja ispitivanja bi podrazumevala štampu antena različitim tehnikama štampe (npr. ofset, sito i flekso) u laboratorijskim uslovima, i spajanje sa čipom [Agošton, Novaković, 2009].

Rezultati ovih istraživanja su izuzetno korisni za razvoj modela za identifikaciju zaštitnih elemenata grafičke ambalaže, s obzirom da rezultati pokazuju uticaj okoline na zaštitne elemente. Primena UHF RFID elemenata kao zaštitnih elemenata grafičke ambalaže bi se vezivala za postavljanje ovih antena povezanih na čipove sa podacima ili senzore na ili unutar ambalaže. S obzirom da senzori ambalaže služe da identifikuju promene u okolini ili unutar ambalaže i primenjuju se na ambalažne proizvode koji su upravo u promenljivom okruženju, dati rezultati su osnova za odabir parametara štampe i načina postavljanja zaštitnih elemenata na ambalažu.

Iz prikazanih uzoraka i rezultata testiranja u okviru istraživanja uticaj gustine štampe moglo bi se zaključiti da uprkos fizičkoj nestabilnosti prilikom formiranja otiska, štampom gušćeg sloja boje dobijaju se osetljivo bolji rezultati po pitanju električne otpornosti [Huang, 2011, Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Kvalitet štampe a samim tim i rezultati provodljivosti mogu biti zadovoljavajući ukoliko se štampa šablon u više prolaza ako Ink Jet štampač ne poseduje mogućnost povećanja gustine odštampanog uzorka u jednom prolazu. Jedan od problema na koji bi u budućnosti tehnolozi trebalo da obrate pažnju prilikom pripreme materijala, pogotovo kada se štampa na polimernim podlogama kao što su PET ili PI jesu ogrebotine na uzorcima nastale prilikom merenja električne otpornosti [Maričić, Novaković, Kašiković, 2014].

Rezultati ovog istraživanja primenu u razvoju modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata pronalaze u davanju sugestija za način štampe i trajanja sušenja prilikom štampe zaštitnih elemenata grafičke ambalaže proizvedenih od elektroprovodljivih materijala.

3 PREDMET, PROBLEM I CILJ ISTRAŽIVANJA

3.1 Predmet istraživanja

Grafička ambalaža ima veliki broj funkcija vezano za robu i to da je čuva od rasipanja, krađe i zagađenja, štiti od spoljašnjih uticaja, prilagođava se uslovima tržišta, prilagođava se zahtevima potrošača, označava sadržaj, prezentuje, identifikuje proizvod i proizvođača, odgovara uslovima lagera, transporta, odgovara uslovima distribucije, praktična je i jednostavna, uspeva zadovoljiti potrošača, različita je od konkurencije, odgovara propisima, odgovarajuća je tj. originalna, uklapa se u mašine za pakovanje, pomaže potrošaču u kupovini, čuva kvalitet i izgled proizvoda, propagira proizvod, održava osobine i specifičnosti proizvoda. Ove funkcije su posebno izražene kroz zaštitnu, skladišnu transportnu, prodajnu i upotrebnu funkciju [Novaković, 2013a].

Sa razvojem tehnika i tehnologija stvorili su se uslovi da grafička ambalaža unapredi svoje osnovne funkcije: zaštitnu, skladišnu transportnu, prodajnu i upotrebnu. Zaštitna funkcija grafičke ambalaže je nekada predstavljala isključivo zaštitu od mehaničkih sila, klimatskih uslova, insekata i slično, a ostvarivala se putem mehaničkih i barijernih svojstava materijala od kojeg je izrađena. Poslednjih decenija postoji značajan broj istraživanja usmerenih ka poboljšanju rešenja osnovnih funkcija grafičke ambalaže. Posebno značajna rešenja su vezana za zaštitne elemente grafičke ambalaže, koji predstavljaju posebnu grupu dodatnih elemenata koji se određenim tehnološkim postupkom dodaju grafičkoj ambalaži u cilju unapređenja zaštitne, informativne i drugih funkcija. U grupu zaštitnih elemenata se mogu svrstati: komponente aktivne ambalaže (adsorberi, emiteri i adapteri za produženje roka trajanja i svežine proizvoda i dr.) i inteligentne ambalaže (štampani kodovi, štampana elektronika, senzori, indikatori, boje i pigmenti, AR ambalaža za identifikaciju stanja proizvoda i dr.) [Petrović, 2010].

Komponente aktivne ambalaže deluju kao zaštitni elementi bez interakcije sa korisnikom. Dok zaštitni elementi inteligentne ambalaže daju subjektivnu informaciju o stanju proizvoda putem opažanja fizičke promene na zaštitnom elementu (najčešće u obliku zapreminske promene, promene boje ili migracije boje) ili objektivnu putem specijalnih uređaja za očitavanje (bar-kod, RFID čitači i drugi) [Violino, 2005].

Subjektivna informacija o stanju proizvoda može biti teška za razumevanje pa čak i korisnicima koji nemaju problema sa čulom vida, a specijalni uređaji za očitavanje zaštitnih elemenata su primenljivi samo za određenu grupu zaštitnih elemenata ambalaže, skupi su i zahtevaju posebnu obuku za rukovanje istim.

Predmet ovog istraživanja su postojeća rešenja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže kao komponenti pametne ambalaže, razvoj baze znanja o svim postojećim rešenjima zaštitnih elemenata i o promenama stanja robe na osnovu promene stanja zaštitnog elementa, istraživanje postojećih modela za identifikaciju, razvoj modela za identifikaciju stanja proizvoda kombinovanjem različitih tehnologija zaštitnih elemenata, pa samim tim i proširenje mogućnosti primene na veću bazu proizvoda, istraživanja fizičkih, hemijskih, mehaničkih i drugih uticaja na promenu stanja razvijenih zaštitnih elemenata,

razvoj i unapređenje softverskog rešenja za objektivnu identifikaciju stanja zaštitnih elemenata na osnovu rezultata istraživanja kao i razvoj univerzalnog modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

3.2 Problem i cilj istraživanja

Grafička ambalaža je neminovni pratilac svih grana industrije jer svojim funkcijama daje sve potrebne informacije o robi ili proizvodu. Neke od industrijskih grana imaju posebno izraženu primenu i ulogu grafičke ambalaže kao što je prehrambena i farmaceutska industrija. Za te potrebe su rađena značajna istraživanja u cilju poboljšanja osnovnih funkcija ambalaže. Danas poseban značaj pripada zaštitnim elementima u obliku identifikatora ambalaže koji ukazuju na stanje roba uz primenu mobilnih uređaja kojima raspolaže skoro svaki potencijalni kupac roba.

Pregled i analiza nedostataka prethodnih istraživanja koja definišu metode identifikacije stanja roba unutar grafičke ambalaže, ukazuju na aktuelnost odabrane teme i potrebu za razvojem novih unapređenih identifikacionih elemenata ambalaže i novih modela njihove identifikacije, sa implementacijom u nova okruženja (web okruženje, mobilna aplikacija, aplikacija proširene realnosti itd.). Drugim rečima, otvorena je potraga za savremenim rešenjem identifikacije stanja proizvoda putem grafičke ambalaže. Prikaz literaturnih izvora u poglavlju 10 predstavlja potvrdu aktuelnosti i podobnosti odabrane teme istraživanja.

4 HIPOTEZA ISTRAŽIVANJA

Analizom stanja prethodnih, eksperimentalno potvrđenih saznanja u oblasti zaštitnih elemenata grafičke ambalaže, postavljena je sledeća hipoteza:

Moguće je razviti model za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže koji će povećati broj objektivnih informacija o stanju proizvoda u odnosu na postojeća rešenja, a koji se može primeniti i prilagoditi za sve vrste roba i proizvoda koji se pakuju u grafičku ambalažu bez obzira na raznolikost faktora koji utiču na stanje proizvoda.

Osnovni cilj istraživanja je razvoj modela identifikacije zaštitnim elementima grafičke ambalaže sa svrhom prepoznavanja stanja roba i proizvoda na osnovu promene stanja zaštitnog elementa grafičke ambalaže. Dodatni ciljevi su razvoj novog univerzalnog zaštitnog elementa grafičke ambalaže pomoću kojeg se može identifikovati stanje različitih proizvoda osetljivih na različite parametre. Očekivani rezultati treba da pokažu da novi univerzalni zaštitni element grafičke ambalaže povećava broj informacija o stanju proizvoda i primenljiv je na sve tipove proizvoda koji se pakuju u grafičku ambalažu. Očekuje se da će se predloženi model identifikacije bolje pokazati kao rešenje sa aspekta uniformnosti izgleda zaštitnog elementa, brzine očitavanja informacije, podržanim uređajima za očitavanje, primenljivosti na prodajnoj grafičkoj ambalaži u poređenju sa postojećim zaštitnim elementima ambalaže.

U istraživanju će biti unapređeni i razvijeni različiti zaštitni elementi grafičke ambalaže, kao i različite tehnike prepoznavanja zaštitnih elemenata ambalaže. Koristiće se specijalne hromatske štamparske boje kao zaštitni elementi, identifikatori, boje za štampanu elektroniku i različiti materijali za izradu grafičke ambalaže kao i drugi mogući identifikatori koji se mogu aplicirati na ambalažu.

Pored teorijskih ciljeva, rad ima za cilj i industrijski primenljivo rešenje. Očekuje se da će razvijeni model za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže biti implementiran u realnim procesima koje će korisnici moći da koriste putem mobilnih aplikacija u realnom vremenu na mobilnom uređaju.

Kako bi se potvrdila postavljena hipoteza razvijena je metodologija istraživanja i urađena su eksperimentalna istraživanja.

5 MATERIJALI I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Nakon pregleda ranijih istraživanja na temu zaštitnih elemenata grafičke ambalaže definisan je plan sa fazama istraživanja, izabrani su materijali i metodologija za potrebe istraživanja i prikazane su i objašnjene metode korišćene u istraživanju. Metodologija je razvijena kroz prikaz korišćenih materijala (podloga, boja, senzorskih elemenata i štampane elektronike), uređaja (za pripremu i štampu uzoraka i mernih instrumenata) i softvera. Metode korišćene u istraživanju su metoda pripreme za štampu i štampe uzoraka, metoda analiziranja veličine čestica pigmenta grafičkih boja, metoda razvoja baza, metoda ispitivanja modula štampanih kodova, metoda ispitivanja modula štampane elektronike, metoda ispitivanja modula indikatora pametne ambalaže boja i pigmenta i metoda ispitivanja modula proširene realnosti.

5.1 Plan i faze istraživanja

Uspešno izvođenje istraživanja zahteva da se definišu tačan plan i faze sprovođenja istraživanja. Kako bi hipoteza bila potvrđena, a definisani ciljevi postignuti, eksperiment je podeljen u sledeće faze:

- Razvoj baze znanja o promenama stanja robe na osnovu promena stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže kroz:
 - pregled stanja u oblasti istraživanja,
 - razvoj baze znanja,
 - razvoj vizuelizacija i
 - razvoj na principima integracije u platforme za učenje na daljinu.
- Postavljanje globalnog modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata kroz razvoj:
 - modula identifikacije štampanih kodova grafičke ambalaže,
 - modula identifikacije štampane elektronike i senzora grafičke ambalaže,
 - modula identifikacije pametnih indikatora boja i pigmenta grafičke ambalaže,
 - modul identifikacije grafičke ambalaže proširenom realnošću.
- Razvoj koncepta baze podataka o proizvodima, zaštitnim elementima i prodajnim mestima.
- Istraživanja karakteristika postojećih rešenja zaštitnih elemenata:
 - štampanih kodova grafičke ambalaže,
 - štampane elektronike i senzora grafičke ambalaže,
 - pametnih indikatora boja i pigmenta grafičke ambalaže i
 - grafičke ambalaže za potrebe proširene realnosti.
- Razvoj konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

5.2 Razvoj metodologije istraživanja

U ovom poglavlju je izvršena karakterizacija svih materijala, metoda, uređaja i programskih paketa korišćenih u eksperimentalnom delu.

5.2.1 Materijali

Karakteristike materijala korišćenih za potrebe eksperimenta čine karakteristike podloga korišćenih za štampu (papirne i tekstilne podloge), karakteristike boja korišćenih za štampu (konvencionalne, termohromatske, fotohromatske i hidrohromatske), karakteristike korišćenih senzorskih elemenata i štampane elektronike.

5.2.1.1 Karakteristike podloga korišćenih za štampu

Za potrebe eksperimenta su korišćene papirne i tekstilne podloge za štampu čije karakteristike i oznake uzoraka su prikazane u nastavku.

Papirne podloge

Kao papirne podloge za štampu korišćeni su kunstdruk sjajni premazni papiri površinske mase 130 g/m² (Papir 1), 150 g/m² (Papir 2) i 300 g/m² (Papir 3).

Tekstilne podloge

Kao tekstilne podloge za štampu su korišćene četiri vrste tekstilnih materijala. Za svaki od tekstilnih materijala određeni su: površinska masa korišćenjem standarda ISO 3801:1977, gustina tkanine (EN 1049-2:1993), linearna gustina pređe iz tkanine (ISO 7211-5:1984) i sirovinski sastav (EN ISO 1833-1:2010). Karakteristike tekstilnih materijala su date u tabeli 5.2.1.

Tabela 5.2.1: Karakteristike tekstilnih materijala

Tekstilni materijal	Površinska masa [g/m ²]	Gustina tkanine [niti/cm]		Linearna gustina pređe iz tkanine [tex]		Sirovinski sastav	
		Osnova	Potka	Osnova	Potka	Vrsta	[%]
Tekstil 1	208	44	21	27,0 x 1	26,4 x 1	Pamuk	100
Tekstil 2	123	23	16	30,2 x 1	29,2 x 1	Pamuk Poliestar	98,6 1,4
Tekstil 3	81	39	25	8,1 x 1	18,2 x 1	Pamuk	100
Tekstil 4	120	52	28	13,6 x 1	12,6 x 1	Pamuk Poliestar	14,4 85,6

5.2.1.2 Karakteristike boja korišćenih za štampu

Za potrebe eksperimenta su korišćene konvencionalne, termohromatske, fotohromatske i hidrohromatske štamparske boje za sito štampu čije karakteristike su prikazane u nastavku.

Konvencionalna boja za sito štampu

Za potrebe eksperimenata korišćena je solventna sito štamparska boja Argon Manoukian 20.000 celloflex. Ova boja je polu-sjajna, bazirana na celulozi, a karakteriše je fleksibilnost, neprovidnost, brzo sušenje i adhezijska svojstva na širokom opsegu podloga. Koristi se za štampu na papiru, kartonu, koži, staklu, drvetu i prelakiranom metalu. Prilikom štampe boju je potrebno razrediti i promešati prema potrebama štampe. Neophodno je da se štampa obavi raketom sa odgovarajućim uglom oštrenja i da sito bude na dovoljnom rastojanju od podloge. Nakon štampe procesom isparavanja rastvarača otisak je suv za 10-15 minuta na sobnoj temperaturi. Otisak se može sušiti i u univerzalnim uređajima za sušenje toplim vazduhom na temperaturama 50-60°C u trajanju od 1 minuta, pa čak i kraće. Boja može da pokrije 40-50 m²/kg ukoliko se koristi gustina tkanja sita od 100 niti/cm. Preporučljive gustine tkanja sita na kojima se može štampati ovom bojom su od 43 do 120 niti/cm. Tvrdoća rakel noža bi trebala biti u opsegu 70-75 šora. Karakteristike konvencionalne boje su date u tabeli 5.2.2 [NSGrafoProm, 2015].

Tabela 5.2.2: Karakteristike konvencionalne sito boje [NSGrafoProm, 2015]

Ton boje	Plava
Podloge za štampu	Papir, karton, koža, staklo, drvo, prelakirani metali
Gustina tkanja [niti/cm]	43 do 120
Emulzija	ZERO - IN SV PLUS VIOLA, ZERO - IN SR-V
Rakel	Kvadratna ivica, Tvrdoća rakel 70-75 šora
Sušenje	Suvo na dodir na sobnoj temperaturi u roku od 15 minuta, ili na 50-60°C za nekoliko minuta
Čišćenje	SOLVENTE LAVAGGIO LQ 90.920

Termohromatska boja za sito štampu

Za štampu uzoraka korišćene su komercijalne plava, magenta, žuta i crna SFXC [SFXC, 2018] reverzibilna termohromatska leuko boja na bazi vode koja je namenjena za štampu tehnikom sito štampe na papirnim, kartonskim, tekstilnim i drugim upijajućim podlogama, i čija je temperatura aktivacije 31°C. Temperatura aktivacije predstavlja vrednost temperature pri kojoj dolazi do promene obojenja. Boja se isporučuje u vidu dve komponente (vezivo i pigment) koje treba pomešati u odnosu 50:50 [SFXC, 2011].

S obzirom da korišćena boja pripada grupi reverzibilnih boja, to znači da se ton boje menja sa povećanjem toplote, ali po prestanku delovanja toplote boja se vraća u prvobitno stanje. Efekat koji će se postići štampom termohromatskim bojama zavisi od više faktora: brzina štampe, vrsta podloge, vreme sušenja, temperatura sušenja i u slučaju tehnike sito štampe gustina tkanja sita. Otisak postiže potpuno obojenje oko 4°C ispod temperature aktivacije [SFXC, 2011].

S obzirom da je otpornost boje na pritisak i spoljašnje uticaje nizak, preporučuje se laminiranje, odnosno nanošenje zaštitnog sloja u vidu laka. Proces laminacije ili preštampavanje je moguć kako toplom tako i hladnom laminacijom, UV ofset procesom, UV flekso ili UV sito procesom. Ipak pre štampe proizvođač preporučuje da se boja ispita na uzorku materijala na kojem je štampa predviđena. Kod preštampavanja ofsetnim bojama preporučuje

se da ofset boja ne sadrži vosak. Za aplikacije gde se termohromatska boja aktivira na temperaturi ispod 20°C preporučuje se mat laminat, za boje koje se aktiviraju na visokim temperaturama iznad 20°C preporučuje se sjajni laminat [SFXC, 2011].

Ove boje su izuzetno podložne oštećenjima izazvanim UV zračenjem. Njihovo korišćenje se preporučuje isključivo u aplikacijama gde se očekuje minimalna izloženost UV svetlu. Može se koristiti UV zaštitni lak za usporavanje degradacije boje. Kod reverzibilnih termohromatskih boja pokazalo se da proces zagrevanja boje i hlađenja boje vremenski ne traje isto, što dalje uzrokuje da će se u slučaju boje koja je u kontinuitetu izložena temperaturi iznad 50°C početi gubiti intenzitet ispod temperature aktivacije [SFXC, 2011].

Po preporuci proizvođača nakon štampe na tekstilnim materijalima uzorke treba sušiti na temperaturi 160°C u periodu od 2 minuta. Boje se skladište na tamnom suvom mestu na temperaturama ne višim od 25°C [SFXC, 2011]. Karakteristike boje su date u tabeli 5.2.3.

Tabela 5.2.3: Sastav i osobine termohromatske boje na bazi vode [SFXC, 2011]

Sadržaj pigmenta u odštampanoj boji (%)	24±1,5
Veličina čestice pigmenta (µm)	90% manjih od 6 µm
Sadržaj čvrstih čestica (%)	45±3
Rastvarač	voda
Tip viskoziteta	pasta

Fotohromatska boja za sito štampu

U okviru eksperimenata korišćene su i boje kod kojih do promene obojenja dolazi pod uticajem UV zraka. Ton korišćene boje je magenta, a boja je namenjena za sito štampu. Kao i kod ostalih hromatskih boja, efekat štampe će zavisiti od nekoliko faktora uključujući vrstu podloge, temperaturu i gustinu tkanja sita. Na odštampanim uzorcima boji je potrebno 15 sekundi na direktnoj sunčevoj svetlosti kako bi se aktivirala, a za povratak u prvobitno stanje potrebno je 5 minuta. Ukoliko se vrši pranje tekstila štampanih fotohromatskom bojom potrebno je izbegavati izbeljivače na bazi hlora jer imaju negativan efekat na boju i skraćuju trajanje efekta promene boje. Boja je reverzibilna, a intenzitet promene na visokim temperaturama (50°C) je daleko niži u poređenju sa promenama boje koje se dešavaju na nižim temperaturama od 25°C [SFXC, 2013].

Fotohromatske boje su podložne oštećenju UV svetlom. Izlaganje UV zračenju će ih vremenom razgraditi. Očekivani vek trajanja zavisi od intenziteta i trajanja izlaganja UV svetlom. S obzirom da ometa svojstva ove boje ne preporučuje se korišćenje UV zaštitnog laka [SFXC, 2013].

Prilikom štampe preporučuje se korišćenje gustine tkanja sita između 90 i 150 niti/cm. Boja se od proizvođača isporučuje kao spremna za štampu, pa nije potrebno mešanje boje sa vezivom. Različiti tonovi boja se ne smeju mešati s obzirom da svaki ton boje ima specifičan sistem stabilizacije koji se ne sme menjati. Prilikom sušenja boje treba voditi računa da se boja ne može osušiti na vazduhu već je potrebno korišćenje multifunkcionalnog uređaja za sušenje, industrijske pegle ili uređaja za sušenje infra crvenim svetlom. Temperatura sušenja treba da iznosi između 150°C i 165°C s obzirom da niže temperature neće biti dovoljne da se boja u potpunosti zapeče i pokazivaće se problematičnim prilikom pranja materijala, dok više temperature negativno utiču na degradaciju boje [SFXC, 2013].

Pranje boje sa sita se vrši standardnim sredstvom za pranje sita (razređivačem). Boja se čuva na temperaturama između 10°C i 25°C i to što dalje od rastvarača i izvora UV svetla [SFXC, 2013].

Hidrohromatska boja za sito štampu

U eksperimentu je korišćena bela hidrohromatska reverzibilna boja na vodenoj bazi za sito štampu proizvođača SFXC. Boja se može koristiti za štampu na papiru, kartonu, plastici i drugim materijalima. Isporučena je u vidu jednodimenzionalnog sistema, tako da je jednostavna za upotrebu jer je nije potrebno mešati sa vezivom. Na odštampanom uzorku kada je suva boja je bela i neprovidna, kada se pokvasi postaje transparentna. Sa povećanjem nanosa ili broja štampanih slojeva povećava se neprovidnost boje, ali se utiče i na postignut efekat transparentnosti nakon kvašenja. Adhezija boje direktno zavisi od karakteristika podloge na kojoj se štampa. Nakon štampe boju je potrebno sušiti na temperaturi oko 130°C u trajanju od 3 minuta. Boja pokazuje izuzetno dobru otpornost na trljanje. Karakteristike su date u tabeli 5.2.4 [SFXC, 2010].

Tabela 5.2.4: Sastav i osobine hidrohromatske boje na bazi vode [SFXC, 2010]

Sadržaj pigmenata (%)	28±2
Sadržaj čvrstih čestica (%)	44±2
Rastvarač	voda
pH	8±2

Parametri štampe zavise od postizanja željenog opaciteta kada je uzorak suv, balansirano sa transparentnošću kada je mokar. Veća količina boje koja prolazi kroz sito prilikom štampe će uticati na povećanje pokrivenosti bojom, a samim tim i na njen opacitet. Za štampu ove boje se preporučuju gustine tkanja sita su od 70 do 90 niti/cm. Ukoliko se boja osuši na situ može doći do zapušavanja otvora što negativno utiče na kvalitet štampe, pa je nakon štampe važno dobro očistiti sito. Potrošnja boje korišćenjem sita od 70 niti/cm iznosi 30-35 g/m². U nekim slučajevima je potrebno štampati dva do tri prolaza kako bi se postigao željeni efekat. Boja se suši na vazduhu ili se za sušenje mogu koristiti IC lampe ili multifunkcionalni uređaji za sušenje toplim vazduhom. Umrežavanje boje se ostvaruje sušenjem na temperaturi 130°C u trajanju od 3 minuta [SFXC, 2010].

Boja se od proizvođača isporučuje kao spremna za štampu, pa nije potrebno mešanje boje sa vezivom. Ne sme se mešati sa bojama drugih sistema. Skladišti se na višim temperaturama od tačke mržnjenja i temperaturama ne preko 25°C. S obzirom da je boja na vodenoj bazi potrebno je čuvati je od isparenja, tako da prilikom skladištenja posuda u kojoj se nalazi mora biti dobro zatvorena [SFXC, 2010].

5.2.1.3 Karakteristike korišćenih senzorskih elemenata i štampane elektronike

Karakteristike materijala korišćenih senzorskih elemenata i štampane elektronike su date u nastavku. Istraživanja sa RFID uređajima su sprovedena prethodno na departmanu, a rezultati ovih istraživanja prikazani su u poglavlju 2.3, tako da su u istraživanjima karakteristika korišćenih senzorskih elemenata i štampane elektronike korišćeni NFC, Beacon i Arduino Starter Kit. Karakteristike ovih elemenata su prikazane u nastavku.

NFC

U istraživanjima su korišćeni NFC tagovi (Ntag213) proizvođača NXP Bullseye (slika 5.2.1), sa sledećim karakteristikama datim u tabeli 5.2.5.



Slika 5.2.1: NFC Ntag213

Tabela 5.2.5: Karakteristike NFC Ntag213

Naziv	Ntag213
Fizički kapacitet	180 bytes
Upotrebljiv kapacitet	144 bytes
Protokol	ISO14443A
Radna frekvencija	13,56 MHz
Rastojanje čitanja/pisanja	1 to 5 cm
Vreme čitanja/pisanja	1 to 2 ms
Radna temperatura	-20 do +55°C, vlažnost 90%
Broj brisanja	> 100000 puta
Vreme čuvanja podataka	> 10 godina
Broj čitanja podataka	100000 puta
Dimenzije	Prečnik 25 mm
Materijali	PVC+ samolepljivi sloj 0,1 mm

Beacon

Za potrebe istraživanja korišćen je Beacon tag FSC-BP104 proizvođača Feasycom (slika 5.2.2), sa sledećim karakteristikama datim u tabeli 5.2.6.



Slika 5.2.2: Beacon tag

Tabela 5.2.6: Karakteristike Beacon tag-a

Čipset	TI CC2640R2F
Standard	Bluetooth 5.0
Maksimalan broj emitovanja	10 slotova koji se mogu i ne moraju povezivati
Način nadogradnje	OTA (over the air update firmware), podržava iBeacon, Eddystone i AltBeacon u isto vreme
Napajanje	5 dBm (Maksimalno)
Podrška za operativne sisteme	iOS 7.0+, Android 4.3+
Android/iOS aplikacija za konfigurisanje	Da
Radna udaljenost	500 m (otvoren prostor)
Tip	PCB F oblik antene
Domet	3 dBi (Maksimalno)
Dijagram zračenja	Višegaoni
Napajanje	Baterija
Tip baterije	2 x AAA (LR03)
Trajanje baterije	2 do 3 godine (ADV Interval: 1000ms) 5 godina (Mod pripravnosti)
Materijal	ABS plastika
Boja	Bela
Veličina	Prečnik 61 mm, visina 18 mm
Masa	46,2 g
Zaštita	IP40
Radna temperatura	-20°C do +40°C

Arduino 2171188 The Starter Kit

Za potrebe istraživanja senzora korišćen je Arduino Starter Kit (slika 5.2.3), čije su karakteristike prikazane u tabeli 5.2.7.



Slika 5.2.3: Arduino starter kit

Tabela 5.2.7: Arduino starter kit

Proizvođač	Arduino
Oznaka modela	2171188
Sadržaj	Knjiga projekata (170 strana), 1 Arduino Uno, 1 USB kabl, 1 Breadboard 400 points, 70 Solid core jumper kablova, 1 Drvena baza, 1 9 V priključak baterije, 1 Standardni jumper kabl (crni), 1 Standardni jumper kabl (crveni), 6 Fototranzistor, 3 Potenciometra 10000 Oma, 10 Tastera, 1 Senzor temperature [TMP36], 1 Senzor nagiba, 1 alfanumerički LCD (16 x 2 karaktera), 1 LED (beli), 1 LED (RGB), 8 LED (crveni), 8 LED (zelenih), 8 LED (žutih), 3 LED (plava), 1 DC motor 6/9 V, 1 Servo motor, 1 Piezo kapsula [PKM17EPP-4001-B0], 1 H-bridge motor drajver [L293D], 1 Senzor svetla [4N35], 2 Mosfet tranzistora [IRF520], 5 Kondenzatora 100 uF, 5 Dioda [1N4007], 3 Transparentna gela (R, G, B), 1 Traka sa pinovima (40 x 1), 20 otpornika 220 Oma, 5 otpornika 560 Oma, 5 otpornika 1 Kilo Oma, 5 otpornika 4,7 Kilo Oma, 20 otpornika 10 Kilo Oma, 5 otpornika 1 Mega Oma, 5 otpornika 10 Mega Oma

5.2.2 Uređaji

U nastavku su dati uređaji koji su korišćeni za potrebe eksperimenata. S obzirom na veliki broj upotrebljenih uređaja izvršena je podela u tri osnovne grupe: uređaji za pripremu štampe i štampu uzoraka, merni instrumenti i ostali uređaji.

5.2.2.1 Priprema za štampu i štampa uzoraka

Prilikom pripreme za štampu i štampe uzoraka korišćen je veliki broj različitih uređaja i mašina čije karakteristike su date u nastavku.

IKA KS 130 uređaj za homogenizaciju sa orbitalnim kretanjem

Za potrebe mešanja boje i veziva korišćen je uređaj sa orbitalnim kretanjem (slika 5.2.4), tehničke karakteristike su date u tabeli 5.2.8.



Slika 5.2.4: Izgled korišćene mašine za homogenizaciju boje i veziva

Tabela 5.2.8: Osnovne tehničke karakteristike korišćenog uređaja za homogenizaciju boje i veziva

Tip kretanja	orbitalno
Prečnik mešanja	4 mm
Dozvoljena masa (uključujući dodatke)	2,0 kg
Ulazna snaga motora	45 W
Izlazna snaga motora	10 W
Minimalna brzina	80 o/min
Opseg brzine	0-800 o/min
Displej brzine	LED
Tajmer	Da
Displej tajmera	LED
Opseg podesivosti vremena	5-50 min
Radni modovi	Tajmer i konstantan rad
Dimenzije (š x v x d)	270 x 98 x 316 mm
Masa	8,8 kg
Dozvoljena temperatura ambijenta	od 5 do 50°C
Dozvoljena relativna vlažnost	80%
Zaštita prema DIN EN 60529	IP 21
Napajanje	220-240 / 100-120 V
Frekvencija	50/60 Hz
Ulazna snaga	45 W

Screen Printing Machine S550

Prilikom štampe uzoraka korišćena je mašina za sito štampu Screen Printing Machine S550 (slika 5.2.5) [GRID, 2019]. Karakteristike mašine su date u tabeli 5.2.9.



Slika 5.2.5: Izgled korišćene mašine za sito štampu [GRID, 2019]

Tabela 5.2.9: Osnovne tehničke karakteristike korišćene mašine za sito štampu

Maksimalna dimenzija podloge za štampu	
- ravna	550 x 350 mm
- okrugla	170 x 350 mm
Maksimalna dimenzija okvira sita	750 x 430 x 32 mm
Brzina štampe	900 otisaka/čas
Vakumski prostor	590 x 400 mm
Radni pritisak	6 bar
Napajanje	230 V, 60 Hz
Snaga	40 W
Masa mašine	240 kg
Dimenzije (d x š x v)	790 x 870 x 1856 mm

Mašina za digitalnu štampu

Za potrebe štampe uzoraka korišćena je i digitalna mašina za štampu Konica bizhub C224e (slika 5.2.6), čije specifikacije su prikazane u tabeli 5.2.10.



Slika 5.2.6: Konica bizhub C224e

Tabela 5.2.10: Konica bizhub C224e

Tip štampe	Štampa u boji i crno bela štampa 22 str/min
Napajanje	120 V 12 A (60 Hz) / 1500 W ili manje
Dimenzije (d x š x v)	615 x 685 x 787 mm
Masa	84 kg
Vreme zagrevanja i prve kopije	≤ 18 s, u boji: ≤ 8,3 s, crno bela štampa: ≤ 6,9 s.
Rezolucija štampe / Količina strana	600 x 600 dpi / 1-9,999
Ulagajuća jedinica (Format podloge)	Maksimalno 28 x 43 cm (skeniranje/kopiranje), sa napuštanjem do 30 x 46 cm

Colo DRY53A

Za potrebe sušenja i zagrevanja uzoraka toplim vazduhom tokom eksperimenata korišćen je univerzalni uređaj Colo DRY53A (slika 5.2.7). Karakteristike uređaja su prikazane u tabeli 5.2.11.



Slika 5.2.7: Izgled multifunkcionalnog uređaja za sušenje uzoraka

Tabela 5.2.11: Osnovne tehničke karakteristike korišćenog multifunkcionalnog uređaja za sušenje otisaka

Zapremina	53 l
Napajanje	220 V, 50 Hz
Temperaturni opseg	od 5°C do 250°C
Temperaturna rezolucija	0,1°C
Temperaturna stabilnost	±1°C
Dozvoljena temperatura ambijenta	od 5°C do 40°C
Snaga	850 W
Police	2
Unutrašnje dimenzije (d x š x v)	400 x 350 x 350 cm

Industrijska pegla

Za potrebe zagrevanja uzoraka grejnom pločom korišćena je industrijska pegla (slika 5.2.8), čije karakteristike su date u tabeli 5.2.12.

Tabela 5.2.12: Tehničke karakteristike industrijske pegle

Napon	220 V / 110 V
Snaga	2000 W
Radna površina	380 x 380 mm
Dimenzije (d x š x v)	725 x 440 x 390 mm
Podešavanja	Merenje vremena, podešavanje temperature



Slika 5.2.8: Industrijska pegla

5.2.2.2 Merni instrumenti

Prilikom karakterizacije procesnih parametara i uzoraka korišćeni su sledeći merni instrumenti Viptronic Vipdens 150, TQC grindometar FM 100/2 sa brušenim strugačem, LEITZ-Orthoplan svetlosni mikroskop, HP200 spektrofotometar, Techkon SpectroDens Premium, Fluke TiS45 termovizijska kamera, merač relativne vlažnosti i temperature Extech RH 520A, Eye One Basic Pro 2, uređaj za posmatranje uzoraka - Agile Radiant Controlled Light, Samsung T220 monitor, Apple iPhone X, Samsung Galaxy S5, mehanizam za montažu mobilnog uređaja uz podešavanja uglova i Nyloprint Combination CW 22 x 30. Karakteristike ovih uređaja su date u nastavku rada.

Kontrola kvaliteta filma

Prilikom kontrole kvaliteta izrađenih test karti korišćen je uređaj Viptronic Vipdens 150 (slika 5.2.9) čije tehničke karakteristike su prikazane u tabeli 5.2.13.



Slika 5.2.9: Izgled korišćenog uređaja za kontrolu kvaliteta filma

Tabela 5.2.13: Osnovne tehničke karakteristike uređaja za kontrolu kvaliteta filma

Merni opseg optičke gustine	od 0,00 D do 6,00 D
Vreme merenja	0,9 s
Veličina mernog otvora	od 1 mm do 3 mm
Broj merenja pre zamene	40.000
Ekran	LCD
Ponovljivost	+/- 0,01 D
Linearnost u procentima	+/- 0,5%
Napajanje	4 baterije
Dimenzije (š x d x v)	144 x 83 x 41 mm
Masa	470 g

TQC grindometar FM 100/2 sa brušenim strugačem

Za potrebe eksperimenta korišćen je TQC grindometar FM 100/2 (slika 5.2.10) sa brušenim strugačem koji se koristi za kontrolu veličina čestica disperzije. Grindometar je precizni instrument za merenje disperzije (ili merenje veličine čestica) mnogih materijala (boja, lakova, pigmenta, punila, itd.). TQC grindometar je u skladu sa: ASTM D 1210, ASTM D 1316, JIS K 5600-2-5, ISO 1524, DIN EN 21524 i BS 3900-C6 standardima.

Grindometar i brušeni strugač su izrađeni od tvrdog nerđajućeg čelika i imaju preciznost od 2 μ m. Napravljen je od čeličnog bloka veličine 175 x 63 x 13 mm. Prednja strana ploče sadrži dva jednaka žleba čija se dubina smanjuje, po dužini, do nule. Dužina žleba označena je skalom u mikrometrima [Jamnicki, 2016].



Slika 5.2.10: Grindometar sa brušenim strugačem

Prema specifikaciji TQC grindometar odlikuju sledeće karakteristike date u tabeli 5.2.14.

Tabela 5.2.14: Karakteristike TQC grindometra

Materijal baze	Nerđajući čelik
Dimenzije baze	175 x 60 x 12 mm sa dužinom od 120 mm
Karakteristike baze	dvostruki žleb, jedan opsega od 0 do 100 μm i podelom od 10 μm , drugi sa PCU skalom sa podelom od 0 do 10) i Hegman (H) skalom (sa podelom od 0 do 8). Na PCU skali se vrši poređenje materijala sa poznatim uzorkom, dok skala H (Hegman) prikazuje rastojanje od najdubljeg kraja kanala.
Materijal strugača grindometra	Nerđajući čelik
Dimenzije strugača grindometra	75 x 38 x 8 mm
Standardi	ASTM D 1210, ASTM D 1316, JIS K 5600-2-5, ISO 1524, DIN EN 21524 i BS 3900-C6

Svetlosni mikroskop

Za potrebe eksperimenata korišćen je LEITZ-Orthoplan svetlosni mikroskop (slika 5.2.11) čije karakteristike su date u tabeli 5.2.15 [Overney, 2011].



Slika 5.2.11: LEITZ-Orthoplan svetlosni mikroskop

Tabela 5.2.15: Karakteristike svetlosnog mikroskopa LEITZ-Orthoplan

Dimenzije (d x š x v)	300 x 295 x 517 mm
Masa	17 kg
Interpolirana udaljenost	55-75 mm
Indeks vidnog polja	Do 28 mm
Opseg uvećanja objektivom	2,5x do 100x

Merenja CIELab vrednosti uređajem HP200

Korišćenjem uređaja HP200 (slika 5.2.12) u eksperimentalnom delu su određivane CIELab vrednosti. Tehničke karakteristike uređaja su prikazane u tabeli 5.2.16. Ovaj uređaj omogućava merenje kolorimetrijskih vrednosti na svim vrstama materijala (metal, plastika, staklo, papir, tekstil).



Slika 5.2.12: Izgled uređaja za merenje CIELab vrednosti

Tabela 5.2.16: Tehničke karakteristike uređaja za merenje CIELab vrednosti

Merna geometrija	d/8 difuzno osvetljenje i 8°
Osvetljenje/Standardni posmatrač	D65, D50, F11/10°
Prikaz	L, a, b, ΔL, Δa, Δb i ΔE/L, c, h
Otvor za merenje	prečnik 8 mm

Merenja spektralnih krivih uređajem Techkon SpectroDens Premium

Pomoću Techkon SpectroDens Premium uređaja (slika 5.2.13) u eksperimentu su na uzorcima određivane odgovarajuće spektralne krive. U tabeli 5.2.17 su prikazane tehničke karakteristike uređaja.



Slika 5.2.13: Izgled uređaja SpectroDens Premium

Tabela 5.2.17: Tehničke karakteristike Spectrodens uređaja

Geometrija merenja	0/45° optika prema DIN 5033
Spektralni opseg	od 400 nm do 700 nm sa korakom od 10 nm
Veličina mernog otvora	3 mm standardnog kružnog oblika, Opciono: 1,5 x 1,5 mm, 2,5 x 1 mm, 3 mm kružni sa UV-Cut filterom
Izvor svetla	Lampa sa plemenitim gasom, tip A iluminanta
Polarizacioni filter	Dvostruko ukršten, uključivanje i isključivanje po potrebi
Standardni posmatrač	A, C, D50, D65/2°, 10°
Filteri za optičku gustinu	DIN 16536, DIN 16536 NB, ISO/ANSI T, ISO/ANSI I, ISO E, Dmax
Ponovljivost	0,01 D 0,03 CIE ΔEab*
Međustrumentalno podudaranje	0,01 D 0,3 CIE ΔEab*

Termovizijska merenja

Kako bi se termovizijski odredila temperatura uzoraka tokom eksperimenta korišćena je termovizijska kamera Fluke TiS45 (slika 5.2.14). Tehničke karakteristike termovizijske kamere su date u tabeli 5.2.18.



Slika 5.2.14: Fluke TiS45 Thermal Imager termovizijska kamera

Tabela 5.2.18: Karakteristike termovizijske kamere - Fluke TiS45 Thermal Imager

Rezolucija senzora	160 x 120 (19200 piksela)
Vrsta fokusa	Manuelno izoštravanje
Minimalna distanca za fokus	0,15 m
Termička osetljivost	< 0,09°C
Temperaturno područje	od -20°C do +350°C
Tačnost merenja:	±2°C
Frekvencija osvežavanja	9 Hz
Pomoćne funkcije	Wi-Fi povezivanje

Merenje ambijentalnih uslova

S obzirom da ambijentalni uslovi tokom štampe i merenja utiču gotovo na sve korišćene zaštitne elemente grafičke ambalaže, uređajem Extech RH 520A (slika 5.2.15) je kontinualno praćena promena temperature, relativne vlažnosti i pritiska. U tabeli 5.2.19 su prikazane tehničke karakteristike uređaja.



Slika 5.2.15: Extech RH 520A

Tabela 5.2.19: Karakteristike merača relativne vlažnosti i temperature Extech RH 520A

Opseg merenja relativne vlage	10-95%
Opseg merenja temperature	od -28°C do +60°C
Tačnost merenja temperature	±1°
Tačnost merenja relativne vlažnosti	±3%
Ekran	Veliki grafički displej sa podesivom vertikalnom i horizontalnom rezolucijom
Senzor	Senzor na kablu dužine 1m, mogućnost produženja kabla
Prikaz temperature i vlažnosti	Simultani numerički i grafički prikaz temperature i vlažnosti sa prikazanim vremenom i datumom
Interna memorija	Interna memorija za snimanje do 49 000 merenja
Alarmi	Podesivi zvučni i vizuelni alarmi
Prenos podataka na PC	RS232 kabl RS232-USB adapter

Merenje osvetljenja

Reflektivno zračenje čiji izvori se nalaze u okruženju može negativno uticati na rezultate termovizijskih merenja, pa je za potrebe merenja karakteristika ambijentalnog osvetljenja prilikom eksperimenata korišćen uređaj Eye One Basic Pro 2 (slika 5.2.16). Karakteristike uređaja su prikazane u tabeli 5.2.20.



Slika 5.2.16: Uređaj Eye One Basic Pro 2

Tabela 5.2.20: Karakteristike uređaja Eye One Basic Pro 2

Kratkotrajna ponovljivost bele boje	Reflektansa: 0,1 ΔE_{94}^* (D50, 2°, 10 merenja svake 3 sekunde na beloj)
Merna geometrija	45°/0° optika osvetljenja prstenom, ISO 13655:2009
Veličina tačke osvetljenja	3,5 mm
Izvor svetla	Iluminant tipa A i UV LED
Uslovi merenja	<ul style="list-style-type: none"> • UV uključen - ISO 13655:2009 merni uslovi M0 • D50 - ISO 13655:2009 merni uslovi M1 • bez UV filtera - ISO 13655:2009 merni uslovi M2
Učestalost merenja u modu skeniranja	200 merenja/s
Minimalna debljina uzorka	3 mm na pozadinskoj tabli za merenje
Spektralni opseg i izveštaj	380-730 nm u 10 nm koraku
Podržani format profila	ICC
Otvor blende	Prečnik 4,5 mm
Dimenzije (d x š x v)	155 x 66 x 67 mm
Masa	245 g
Kalibracija	Manuelna ili eksterno referentno keramičko belo polje
Pozadina merenja	bela, ISO 13655:2009

Uređaj za posmatranje uzoraka

Za potrebe posmatranja uzoraka pod standardnim osvetljenjem korišćen je uređaj Agile Radiant Controlled Light (slika 5.2.17) čije su karakteristike date u tabeli 5.2.21 [Cherlyn, 2013].



Slika 5.2.17: Uređaj za posmatranje uzoraka - Agile Radiant Controlled Light [Cherlyn, 2013]

Tabela 5.2.21: Karakteristike uređaja za posmatranje uzoraka Agile Radiant Controlled Light

Proizvođač / Model	Agile Radiant Controlled Light 5 - Model CVC5-2E
Broj izvora svetla	5
U skladu sa standardom	BS 950/ISO 3664:2000/CIE
Izvori osvetljenja	Hladna bela - TL 84 (temp. 4100K), 2 x 18 W Topla bela - Volfram (temp. 2700K), 2 x 60 W Dnevno svetlo D65, Ra > 98 (temp. 6500K), 2 x 18 W Dnevno svetlo D50, Ra > 98 (temp. 5000K), 2 x 18 W Ultraljubičasto svetlo (temp. N/A), 1 x 18 W
Potrošnja energije	230 V / 50 Hz / 290 W

5.2.2.3 Ostali uređaji

U nastavku su prikazani ostali uređaji koji su korišćeni tokom eksperimenata. Ovi uređaji su postavljeni u posebnu grupu jer ne pripadaju uređajima za pripremu za štampu i štampa uzoraka a ni mernim uređajima.

Monitor za kontrolu proširene realnosti

Tokom eksperimenata u oblasti tehnologije proširene realnosti za prikaz targeta (slika za koje se vezuje pokretanje AR sadržaja) korišćen je monitor Samsung SyncMaster T220 (slika 5.2.18), sa sledećim tehničkim karakteristikama datim u tabeli 5.2.22.



Slika 5.2.18: Samsung T220

Tabela 5.2.22: Monitor Samsung T220

Naziv	Proizvođač	Samsung
	Model	T220
Gabariti	Dimenzije (š x d x v)	520 x 442 x 215 mm
Ekran	Tip	TFT
	Dijagonala	22 inča
	Rezolucija	1680 x 1050 px
	Osvetljenje	300 cd/m ²
	Kontrast	20000:1
	Vreme odziva	2 ms
	Ugao vidljivosti	170/160°
Ostalo	Ulaz	Analogni, DVI

Mobilni uređaji

Za potrebe eksperimenta upotrebljeno je dva mobilna uređaja. Njihove karakteristike su prikazane u nastavku rada.

Apple iPhone X

Za potrebe istraživanja korišćen je mobilni uređaj Apple iPhone X (slika 5.2.19) čije karakteristike su date u tabeli 5.2.23.



Slika 5.2.19: Apple iPhone X

Tabela 5.2.23: Karakteristike mobilnog uređaja Apple iPhone X

Naziv	Apple iPhone X
Masa	174 g
Dimenzije (d x š x v)	143,6 x 70,9 x 7,7 mm
Izrada	Staklo (napred), staklo (nazad), metal (detalji)
Zaštita	IP67 (bez prašine, potapanje do 1m)
Operativni sistem	iOS 12.4
Ekran	Super AMOLED (OLED), 2436 x 1125 px, 458 ppi gustina, 5,8 inča
Kamera 1	12 megapiksela, f/2,4, 52 mm, 1/3,4 inča, 1 μm (Nazad) PDAF, OIS,
Kamera 2	12 megapiksela, f/1,8, 28 mm, 1/3 inča, 1,22μm (Nazad) OIS, PDAF, 1080p FullHD@240 fps, 4K UHD@60 fps,
Blic	4x LED, dve nijanse
Memorija	3 GB RAM, 64 GB interne memorije
Čipset	Apple A11 Bionic (10 nm izrada)
Procesor	4 efficiency core Apple Mistral 2 performance core @ 2,39 GHz, Apple Monsoon
Povezivanje	A-GPS, GPS, Glonass, Galileo, QZSS, 4.5G LTE-A, Cat 12, LTE-A, 600/100 MBps, ping 5 ms, 3.75G HSPA+ r8, HSPA+, 42,2/5,76 MBps, ping 50 ms, podržava: LTE TDD, LTE FDD, Wi-Fi: A (54 MBps) B (11 MBps) G (54 MBps) N (450 MBps) AC (1300 MBps), NFC (0,4 MBps), Bluetooth 5.0 (2 MBps),
Senzori	Autentifikacija licem, Akcelerometar, Žiroskop, Senzor blizine, Kompas, Barometar

Samsung Galaxy S5

Za potrebe istraživanja korišćen je mobilni uređaj Samsung Galaxy S5 (slika 5.2.20) čije karakteristike su date u tabeli 5.2.24 [GSMarena, 2019c].



Slika 5.2.20: Samsung Galaxy S5

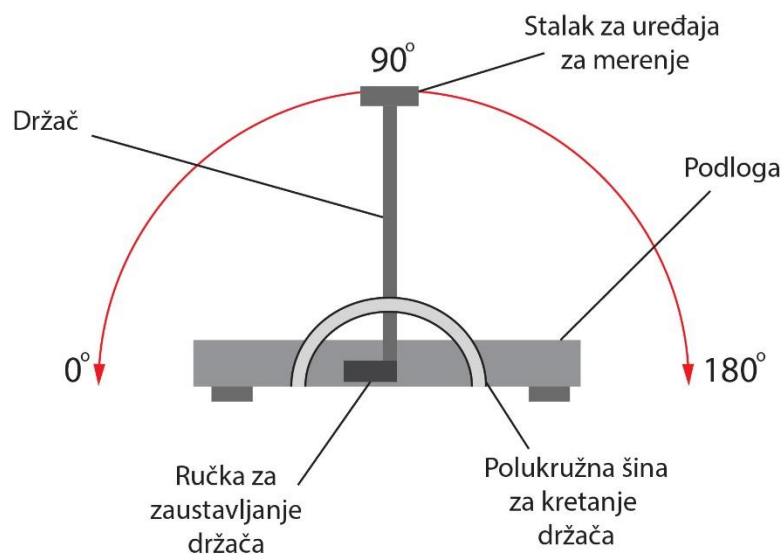
Tabela 5.2.24: Karakteristike mobilnog uređaja Samsung Galaxy S5

Naziv	Samsung Galaxy S5
Masa	145 g
Dimenzije (d x š x v)	142 x 72,5 x 8,1 mm
Izrada	Corning Gorilla Glass 3 (napred), plastika (nazad), plastika (detalji)
Zaštita	IP67 (bez prašine, potapanje do 1m)
Operativni sistem	Android 4.4.2 KitKat
Ekran	Super AMOLED (OLED), 1920 x 1080 px, 432 ppi gustina, 5,1 inča
Kamera	16 megapiksela, f/2,2, 31 mm, 1/2,6 inča, 1,12 μm (Nazad) PDAF
Blic	nazad: 1 x LED
Memorija	2 GB RAM, 16 GB interne memorije
Čipset	Qualcomm Snapdragon 801 (28 nm izrada)
Procesor	4 performance core @ 2,5 GHz, Qualcomm Krait 400
Povezivanje	GPS, Glonass, Beidou, A-GPS, 4G LTE, Cat 4, LTE, 150/50 MBps, ping 10ms 3.75G HSPA+ r8, HSPA+, 42,2/5,76 MBps, ping 50ms podržava: LTE FDD, LTE TDD, LTE Broadcast, Wi-Fi - A (54 MBps) B (11 MBps) G (54 MBps) N (450 MBps) AC (1300 MBps), Bluetooth 4.0 (1 MBps), NFC (0,4 MBps), IRDA ANT+
Senzori	Čitač otiska prsta, Akcelerometar, Žiroskop, Senzor blizine, Kompas, Barometar.

Mehanizam za montažu mobilnog uređaja uz podešavanja uglova

Za potrebe eksperimenata razvijen je uređaj za podešavanje ugla pod kojim će se mobilni uređaj nalaziti u odnosu na uzorak prilikom merenja čitljivosti ili digitalizacije uzoraka kamerom. Uređaj se sastoji od baze na koju je montiran mehanizam koji dopušta kretanje držača za mobilni uređaj po polukružnoj kontinualnoj putanji od 0 do 180°, a da pri tom kamera mobilnog uređaja ima konstantan pogled ka podlozi na kojoj je uzorak koji se meri. Skica uređaja je prikazana na slici 5.2.21. Osim dopuštenog kretanja, mehanizam omogućuje

zaustavljanje držača pod zahtevanim uglom. Takođe sadrži obeležene stepene radi lakšeg određivanja tačnog ugla pod kojim je zaustavljen držač.



Slika 5.2.21: Skica uređaja za montažu mobilnog telefona uz mogućnost podešavanja uglova

Uređaj za osvetljavanje UV zracima

Za potrebe ispitivanja uzoraka osetljivih na UV svetlo korišćen je uređaj Nyloprint Combination CW 22 x 30 (slika 5.2.22). Tehničke karakteristike su date u tabeli 5.2.25.



Slika 5.2.22: Nyloprint Combination CW 22 x 30

Tabela 5.2.25: Nyloprint Combination CW 22 x 30

Maksimalna veličina uzorka	220 x 300 mm
Napajanje	230 V, 50 Hz (1 Ph / N / PE) / 230 V, 60 Hz (1 Ph / N / PE)
Nominalna struja	9,5 A / 9,2 A
Nominalna snaga	2,1 kW
Masa	68 kg neto 85 kg bruto
Dimenzije (d x š x v)	800 x 620 x 675 mm

5.2.3 Softveri

U nastavku poglavlja su objašnjene karakteristike softvera korišćenih prilikom izrade i pripreme eksperimenata. Karakteristike su prikazane na takav način da u najkraćim crtama objašnjavaju korisne opcije i mogućnosti primene softvera prilikom sprovođenja istraživanja.

5.2.3.1 Adobe Flash CS 6

Uslov za razvoj svake aplikacije, pa tako i aplikacije baze znanja je programiranje. Programski jezici su najčešće kompleksni za razumevanje od strane osoba koje se bave drugim naučnim oblastima ili dizajnom. Pojedini softveri poseduju grafičke elemente ili biblioteke kodova za pojednostavljenje prilikom programiranja. Takve prednosti sadrži i program Adobe Flash sa programskim jezikom ActionScript 2.0 [Adobe Creative Team, 2013].

5.2.3.2 Adobe Illustrator CC

Softver namenjen za vektorsko crtanje koji u ovom istraživanju primenu nalazi prilikom pripreme test karti, dizajniranju pametnih zaštitnih elemenata grafičke ambalaže, kao i grafičkog dizajna ambalaže [Wood, 2019].

5.2.3.3 Adobe Photoshop CC

Programska aplikacija poseduje različite mogućnosti u pogledu rasterske obrade slike ili kreiranja novog rasterskog sadržaja. Ovaj softver je poslužio za osmišljavanje korisničkog interfejsa baze znanja, ali i korisničkog interfejsa mobilne aplikacije. Mogućnosti programa pogodne za izradu aplikacije su: rad sa slojevima, čuvanje slika u .PNG formatu, kreiranje tekstura.

U programu Adobe Photoshop, slika se može formirati korišćenjem slojeva. Oni se koriste za rad na individualnim delovima slike a da pri tome ne utiču jedan na drugi.

Visok kvalitet bez kompresije i osobina PNG formata da prikazuje transparentni deo slike su prednosti koje primenjuje razvijana baza znanja.

Osnovne alatke za obradu slike koje poseduje program Adobe Photoshop su svakako primenjene prilikom izrade aplikacije za bazu znanja. Konkretni primer primene je izrada tekstura za 3D modele [Faulkner, 2019].

5.2.3.4 3ds Max

Mogućnosti programa 3ds Max-a pogodne za eksperimentalni deo rada su: modelovanje 3D oblika, UVW koordinate i teksture, animacija i generisanje slika.

3ds Max obuhvata više različitih tipova modela i čak više načina za rad sa njima. Modelovati se može pomoću primitiva kao što su blokovi, kocke i sfere, ali i modelovanjem mreže poligona. Neke objekte je lakše modelovati korišćenjem jedne, a dok je druge objekte lakše modelovati korišćenjem druge metode [Murdock, 2011].

UVW koordinate i teksture za mapiranje definišu kako će mapa teksture biti usklađena sa objektom. Ove koordinate se izražavaju korišćenjem U,V i W dimenzija. Dimenzija U predstavlja horizontalni, V vertikalni pravac, a W predstavlja dubinu. Kada se primeni opcija za generisanje koordinata mape na novom objektu, 3ds Max pretpostavlja gde se ove koordinate trebaju naći.

3ds Max može biti korišćen za formiranje izuzetno realnih slika, ali i animacija koje zbog pokretljivosti slika bivaju još realnije [Murdock, 2011].

5.2.3.5 EngView Package Designer

Za potrebe projektovanja kutija koje sadrže zaštitne elemente za identifikaciju stanja robe korišćen je EngView softverski paket. Ovaj paket karakteriše mogućnost razvijanja alata potrebnih u kompletnom proizvodnom toku ambalažnog proizvoda. Tu se pre svega misli na crteže potrebne za izradu prototipa ambalaže, ali i crteže za izradu forme za izrezivanje kutija pri isecanju kutija na visoko produktivnim mašinama, naravno i izradu kontraformi koje se koriste pri proizvodnji kutija na ovakvim mašinama. Aplikacija nudi i mogućnost izvođenja crteža montaže za štampu kutija [EngView, 2019].

5.2.3.6 Xcode

Xcode je integrisano razvojno okruženje (IRO), koje je razvila kompanija Apple, a sadrži pakete alata za razvoj softvera za macOS, iOS, watchOS i tvOS operativne sisteme [Apple Inc., 2019].

Za generisanje razvijene mobilne aplikacije na iOS mobilni uređaj korišćen je Xcode verzije 9.4.1 [Apple Inc., 2019].

5.2.3.7 Unity

Unity predstavlja platformu i integrisano razvojno okruženje za razvoj 2D i 3D interaktivnih multimedijalnih aplikacija i igara za računare, konzole, mobilne uređaje i web sajtove, sa mogućnošću izvršavanja na preko 20 podržanih platformi. Jezgro Unity-a napisano je u C/C++ programskom jeziku, dok je Unity UI Editor napisan u jeziku C#. Za pristup najnižem sloju, odnosno jezgru i funkcijama Unity-a, dostupan je API za korišćenje u .NET Framework-u, i jezicima C#, Boo, ali i JavaScript. Za pisanje koda se standardno koristi Monodevelop, ali je moguće korišćenje bilo kog drugog okruženja, npr. Microsoft Visual Studio. Verzija koja je korišćena u ovom istraživanju ima oznaku 2018.1.0f2, ona u sebi ima integrisan dodatak za razvoj aplikacija proširene realnosti Vuforia [Petty, 2019].

5.2.3.8 Right Hemisphere Deep Exploration

Deep Exploration podržava oko trideset formata za 2D rasterske slike i oko trideset CAD formata vodećih proizvođača CAD aplikacija: PTC, Autodesk, Dassault Systems, UGS i drugih [Right Hemisphere, 2016].

Program podržava izvoženje u četrdeset vodećih formata za 2D i 3D grafiku. Mogućnost kreiranja PDF šablona za 2D i interaktivni 3D PDF dokument, kao i mogućnost publikovanja fajlova i prikaz 2D i animiranih 3D objekata na HTML stranicama. Kako bi generisali PDF dokument potrebno je ispuniti uslove za pravilan rad PDF modula. Modul zahteva instalaciju Microsoft DirectX minimum verzije 8.1. Adobe Reader 7.07, modula za PDF publikovanje, Designer Objects modula i PMI modula [Right Hemisphere, 2016].

5.2.3.9 Fluke SmartView

Ovaj softver je modularni paket alata koji omogućava pregled, optimizaciju i analizu infracrvenih slika. Softver je intuitivan i jednostavan za upotrebu, a nudi performanse za napredno izveštavanje i analizu. U istraživanju je ovaj program našao primenu prilikom termografske analize boja osetljivih na temperaturne promene [Fluke Corporation, 2019].

5.2.3.10 Payton

Pajton (*eng. Python*) je programski jezik visokog nivoa opšte namene. Podržava, u prvom redu imperativni, objektno-orijentisan i funkcionalni stil programiranja. Sintaksa jezika Pajton omogućava pisanje veoma preglednih programa [Python, 2019].

5.2.3.11 Matlab

MATLAB je okruženje za numeričke proračune i programski jezik četvrte generacije koji je razvila firma MathWorks. MATLAB omogućava lako manipulisanje matricama, prikazivanje funkcija i fitovanje, implementaciju algoritama, stvaranje grafičkog korisničkog interfejsa kao i povezivanje sa programima pisanim u drugim jezicima među kojima su C, C++, C#, Java, Fortran i Python. U ovom istraživanju Matlab primenu nalazi prilikom razvoja softvera za prepoznavanje svežine proizvoda na osnovu promene obojenja zaštitnog elementa, u konkretnom slučaju indikatora svežine [The MathWorks, 2019].

5.2.3.12 ImageJ

ImageJ je softver na bazi Jave za procesiranje slike razvijen na Nacionalnom institutu za zdravlje i u laboratoriji za optičku i računarsku tehniku na Univerzitetu Wisconsin [Schneider et al., 2012; Collins, 2007].

Softver ImageJ je korišćen za obradu rezultata metode analiziranja veličine čestica pigmenta grafičkih boja. Primenom ImageJ softvera za analizu slika, mikrografske snimci su konvertovani u mikrografske fotografije odgovarajuće grafičke boje.

5.2.4 Metode

U nastavku ovog poglavlja objašnjene su korišćene metode u eksperimentalnom delu rada u koje spadaju: metoda pripreme za štampu i štampe uzoraka, metoda analiziranja veličine čestica pigmenata grafičkih boja, metoda razvoja baza, metoda ispitivanja modula štampanih kodova, metoda ispitivanja modula štampane elektronike, metoda ispitivanja modula indikatora pametne ambalaže boja i pigmenata kao i metoda ispitivanja modula proširene realnosti.

5.2.4.1 Metoda pripreme za štampu i štampe uzoraka

U okviru istraživanja ispitivani su indikatori pametne ambalaže dobijeni štampom hromatskih boja na papirnim i tekstilnim materijalima. U nastavku je opisana metoda pripreme za štampu, u smislu pripreme test karte na računaru, izrade test karte i kontrole njenog kvaliteta putem mernog uređaja. Pored opisa pripreme za štampu opisani su i zajednički parametri korišćeni prilikom štampe svih uzoraka.

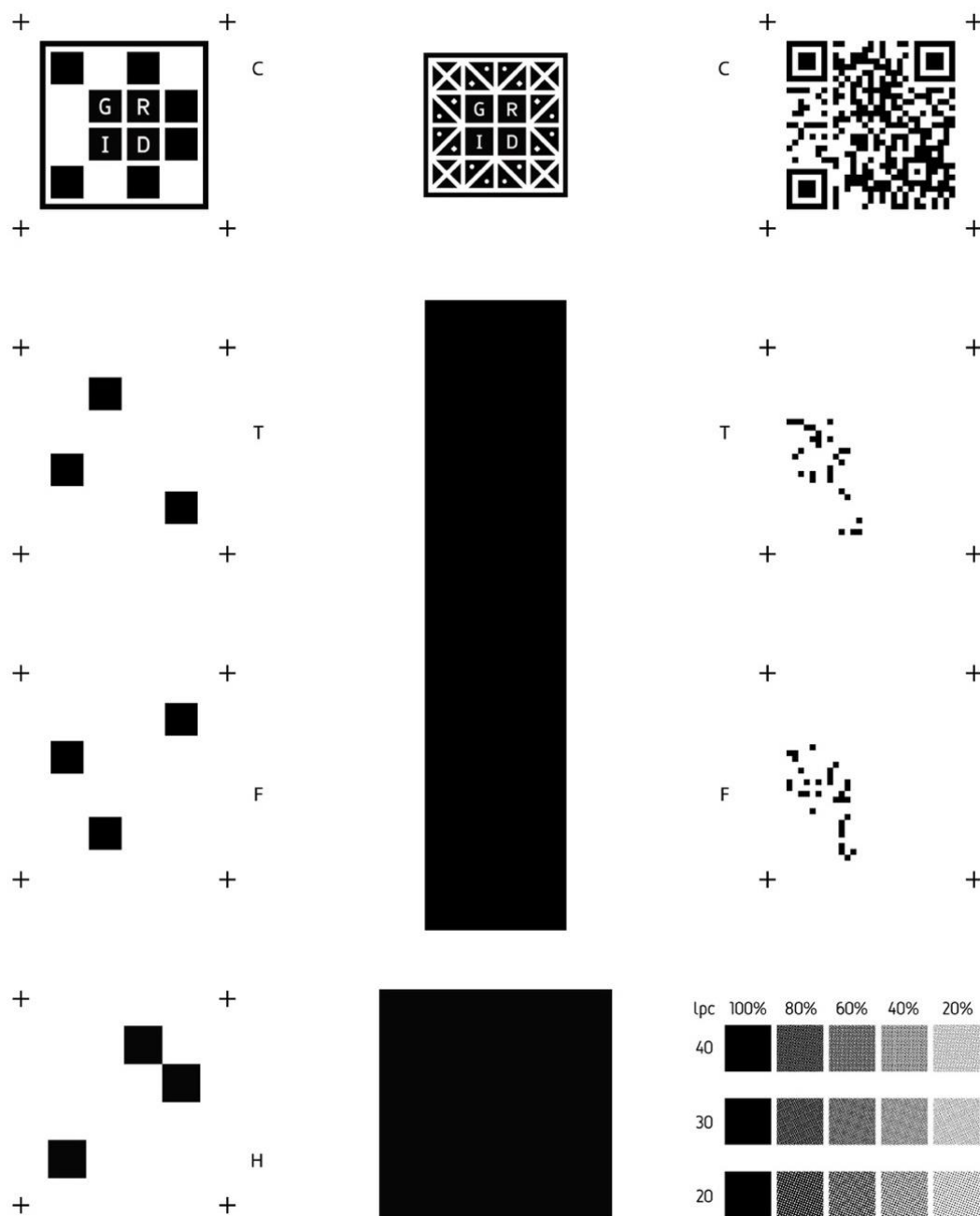
Priprema test karte

U okviru istraživanja razvijene su dve test karte. Obe test karte su pripremljene u softveru za vektorsko crtanje Adobe Illustrator CC. Na slici 5.2.23 je prikazan izgled mernih polja test karte formirane za analizu uticajnog faktora toplote prilikom eksperimenata sprovedenih nad uzorcima odštampanim termohromatskim bojama. Test karta je pripremana na formatu 210 x 297 mm. Ukupna površina mernih polja je iznosila 164 x 137 mm. Test karta se sastojala iz dva polja veličine 26 x 137 mm - za merenje razlike u boji i spektralnih krivih, i jednog polja za termovizijsku analizu veličine 100 x 100 mm. Sva tri polja su definisana kao pun ton.



Slika 5.2.23: Test karta za analizu uticajnog faktora toplote

Druga test karta za potrebe eksperimenta (slika 5.2.24) je takođe pripremljena u softveru za vektorsko crtanje Adobe Illustrator CC. Za razliku od test karte za analizu uticajnog faktora toplote, ova test karta je formirana za štampu svih tipova hromatskih boja i analizu svih uticajnih parametara.



Slika 5.2.24: Test karta za analizu hromatskih boja

Kao što se može primetiti na test karti sa leve strane se nalazi priprema za štampu pametnih kodova korišćenih u eksperimenti, prvo polje sa oznakom C predstavlja polje za štampu konvencionalnom bojom za sito štampu, polje T za štampu termohromatske boje, polje F za štampu fotohromatske boje i polje H za štampu hidrohromatske boje. Sva polja imaju oznake registra kako bi se prilikom štampe narednih prolaza podloga mogla pozicionirati. U srednjem delu test karte posmatrano od gore prema dole nalazi se polje za štampu koda čitljivog u aplikacijama proširene realnosti, polje za merenje razlike u boji i spektralnih krivih (dimenzija 30 x 135 mm), polje dimenzija 50 x 50 mm koje je služilo za štampu podloge koja je preštampana poljem za štampu koda čitljivog u aplikacijama proširene realnosti prilikom upotrebe hidrohromatske boje koja je bele boje i čije karakteristike su prethodno objašnjene. Sa desne strane test karte nalaze se polja za štampu QR koda štampanog kombinacijom konvencionalnih i pametnih boja. Polje C je polje za štampu konvencionalnom bojom, polje T

za štampu termohromatskom bojom i polje F za štampu fotohromatskom bojom. Poslednji deo test karte predstavlja polje za kontrolu mogućnosti rastriranja hromatskih boja sa različitim procentima pokrivenosti u razmaku od 20% i različitim linijaturama u vrednosti od 40, 30 i 20 lpc (linija po cm).

Razvijanje filma test karte

Test karte su razvijene na sjajnom pozitiv filmu ColorGate Screenfilm fotoosetljivog sloja Sericol Dirasol 915 linijature 50 lin/inču, pod uglom od 90°.

Osvetljavanje filma test karte

Filmovi su osvetljeni pomoću lasera Linotype Hell Linotronic 300 Red laser na radnoj temperaturi u trajanju od 120 s, razvijeni na mašini Esco Fot Gluns & Jensen sa temperaturom procesnih kupki 32°C u trajanju od 30 s i fiksirani na temperaturi 25°C u trajanju od 30 s. Oblik rasterske tačke na filmu je elipsa. Koncentracija procesne kupke je bila zadovoljavajuća jer se regeneracija vršila na vreme.

Zatezanje sita na ram

Za izradu sita korišćene su za prvu test kartu svilene mreže finoće niti T (debela vlakna), dimenzije 500 x 700 mm i tri različite monofilne gustine tkanja 54 niti/cm, 120 niti/cm i 180 niti/cm. Za izradu sita druge test karte takođe su korišćene svilene mreže finoće niti T (debela vlakna), dimenzije 500 x 700 mm. Dok su korišćene tri različite monofilne gustine tkanja 43 niti/cm, 90 niti/cm i 165 niti/cm. Tkanine su pričvršćene na aluminijumski ram dimenzija 580 x 840 mm. Sila zatezanja mreže sita na ramu je iznosila 21 N/cm², nakon zatezanja sila je iznosila 18 N/cm².

Osvetljavanje sita

Indirektnim postupkom na mrežu sita nanet je šablon debljine emulzije 0,3 mm za 43 i 54 niti/cm i 0,1 mm za 90, 120, 165 i 180 niti/cm i vremena sušenja 2 sata na temperaturi 35°C. Zatim je u vakumski sto za osvetljavanje sa lampama Black Light - Blue 18w f18w/blk-t8 Sylvania postavljen film na fotosloj koji je osvetljen u trajanju od 4 min na temperaturi 30°C.

Razvijanje sita

Odmah nakon osvetljavanja šablon je razvijen pranjem vodom u trajanju od 5 min i osušen u vodoravnom položaju za 20 min na temperaturi 35°C.

Homogenizacija boje i veziva

Procesu štampe je prethodila homogenizacija termohromatske boje koja je dvokomponentna i sastoji se od boje i veziva. Korišćenjem IKA KS 130 uređaja za homogenizaciju sa podešenom brzinom mešanja od 400 o/min u trajanju od 5 min, izvršena je homogenizacija termohromatske boje i veziva u odnosu 1:1.

Štampa uzoraka tehnikom sito štampe

Štampa svih papirnih i tekstilnih uzoraka je vršena tehnikom sito štampe. Korišćena je poluautomatska, jednobojna mašina za sito štampu Screen Printing Machine S550. U procesu štampe svih uzoraka udaljenost šablona od podloge je iznosila 4 mm, udaljenost nanosača boje od podloge 2 mm i udaljenost rakela od podloge 2 mm. Brzina kretanja nanosača boje je iznosila 150 mm/s, a povratna brzina rakela i nosača boje je takođe iznosila 150 mm/s.

Za postupak štampe je upotrebljen rakel sa uloškom od neoprena podsečenih ivica pod uglom od 45°, tvrdoće 80 šora tip A. Debljina uloška rakela je iznosila 5 mm, dužina uloška u odnosu na dršku je iznosila 25 mm. Masa rakela je iznosila 180 g na svakih 100 mm dužine, ukupna dužina rakela je iznosila 255 mm. Za nanošenje boje upotrebljen je metalni nanosač ugla nanošenja od 60°. Na mašini je izabran program rada koji karakteriše sledeće kretanje elemenata. U nultoj poziciji nanosač boje je spušten na sito, rakel je podignut. Sito se spušta do kontakta sa podlogom na kojoj se štampa. Rakel se spušta do kontakta sa sitom, a zatim se kreće po situ i vrši se štampa, nakon štampe rakel se podiže, a nanosač boje se spušta. Potom se podiže sito i nanosač boje se vraća u nultu poziciju nanoseći boju na sito. Postupak se ponavlja za štampu svakog narednog uzorka.

Sušenje uzoraka u multifunkcionalnom uređaju

Nakon štampe uzorci su sušeni toplim vazduhom u multifunkcionalnom uređaju Colo DRY53A. Zavisno od tipa boje i materijala na kojem su otisnuti uzorci korišćene su različite temperature, a vremena i temperature sušenja su prikazane u tabeli 5.2.26.

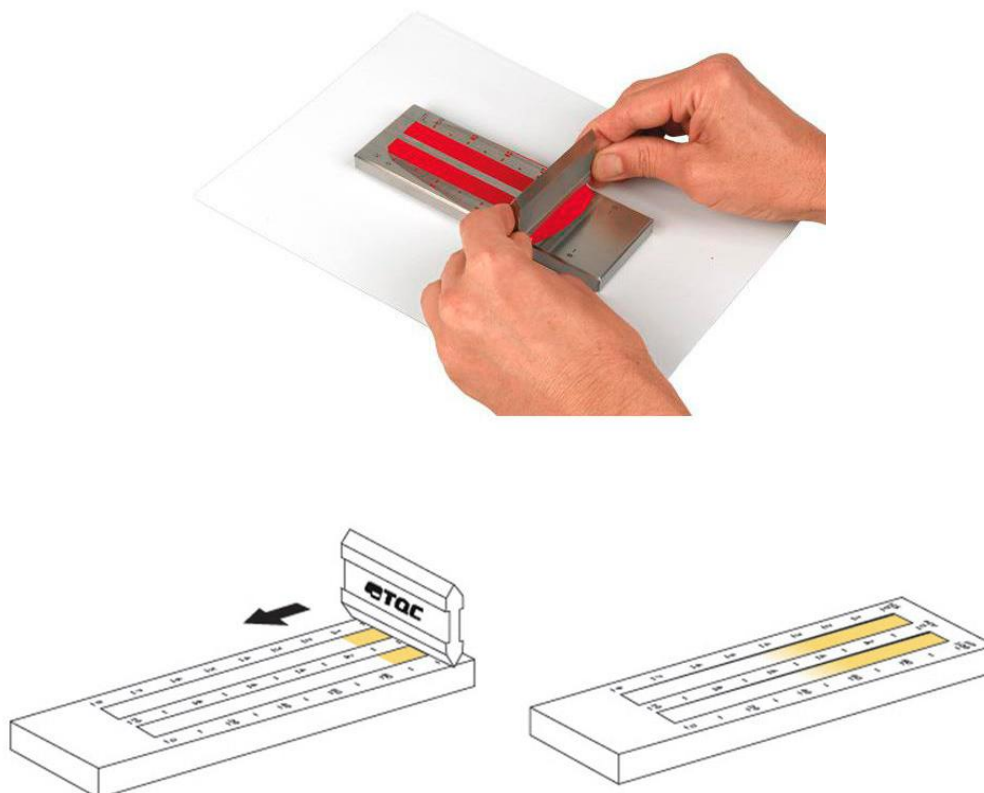
Tabela 5.2.26: Vremena i temperature sušenja uzoraka

Boja	Uzorak	Temperatura	Vreme
Konvencionalna	Tekstilni	160°C	120 s
	Papirni	160°C	60 s
Termohromatska	Tekstilni	160°C	120 s
	Papirni	160°C	60 s
Fotohromatska	Tekstilni	160°C	120 s
	Papirni	160°C	60 s
Hidrohromatska	Tekstilni	130°C	180 s
	Papirni	130°C	60 s

5.2.4.2 Metoda analiziranja veličine čestica pigmenata grafičkih boja

Za određivanje veličina čestica pigmenata u odabranim grafičkim bojama upotrebljen je TQC grindometar FM 100/2 sa brušenim strugačem (proizvođač TQC BV, Holandija).

Kod upotrebe grindometra, mala količina grafičke boje se nanese na dublji kraj žleba, a potom se čeličnim nožem, pod pravim uglom prevuče preko žleba. Nožem se skidaju svi pigmenti koji su veći od dubine žlebova (slika 5.2.25). Na onom delu žleba na kojem je došlo do skidanja boje određuje se veličina pigmenata. Duž kanala se mogu videti agregati pigmenata [Paint creek inspection, 2018].



Slika 5.2.25: Skidanje većih pigmenata nožem, grindometar

Prema definisanom postupku određivanja veličina čestica pigmenata procesnih grafičkih boja primenom grindometra mala količina grafičke boje je naneta na dublji kraj žleba grindometra, a potom je čeličnim strugačem, pod pravim uglom, prevučena preko žleba.

Za grindometarsku analizu izvučeni materijal grafičke boje je pregledan u naredne 3 sekunde, da bi se izbeglo neprecizno testiranje usled isparavanja boje. Takođe, izvučeni materijal odgovarajuće grafičke boje je pregledan pod uglom od 20 do 30° u odnosu na površinu grindometra.

Upotrebom grindometra se na brz način određuju veličine samo najvećih čestica pigmenata u mokroj disperziji grafičke boje, međutim, uređaj nije pogodan za određivanje prosečne raspodele veličina čestica pigmenata. U cilju analize raspodele veličina čestica pigmenata ispitivanih grafičkih boja upotrebljena je optička mikroskopija.

Mikrografski snimak analizirane grafičke boje dobijen je snimanjem osušenog sloja grafičke boje u grindometru primenom svetlosnog mikroskopa LEITZ-Orthoplan na svetlom polju pri uvećanju od 50x (za konvencionalnu cijan boju) i 200x (za crnu termohromatsku i magenta fotohromatsku boju). Primenom softverskog ImageJ programa za analizu slika, mikrografski snimci su konvertovani u mikrografske fotografije odgovarajuće grafičke boje. Takođe, ImageJ analizom su dobijeni sledeći parametri za čestice pigmenata: prečnik, broj, udeo, ukupan broj, prosečna veličina i ukupna površina čestica pigmenata grafičke boje, kao i procenat površine koju čestice pigmenata zauzimaju u odnosu na ukupnu površinu grafičke boje.

5.2.4.3 Metoda razvoja baza

Ova metoda je bazirana na pregledu dosadašnjih istraživanja na polju razvoja pametnih ambalažnih sistema i njihovih zaštitnih elemenata. Baza se razvija na taj način da bude proširiva novim rezultatima u oblasti istraživanja, kao i da se njenom sadržaju lako pristupa.

Za potrebe razvoja baze korišćeni su softveri koji su objašnjeni u poglavlju 5.2.3. Pored razvoja opšte baze znanja o promenama stanja robe na osnovu promena stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže, ovom metodom razvijane su i manje baze podataka o proizvodima, grupama proizvoda i prodajnim mestima. Primeri razvijenih baza ovom metodologijom su brojni, ali u tematskom smislu ističe se razvijena baza aktivne i inteligentne ambalaže [Đurđević, 2013]. Takođe brojni su koncepti postavljeni za budući razvoj baza znanja ali u tematskom smislu izdvaja se koncept razvoja baze znanja o indikatorima pametne ambalaže [Zeljkić, 2019].

5.2.4.4 Metoda ispitivanja modula štampanih kodova

Metoda ispitivanja modula štampanih kodova je zasnovana na istraživanjima koja su sprovedena na Departmanu za grafičko inženjerstvo i dizajn. Kao podloga za istraživanja sprovedena u okviru modula štampanih kodova poslužila su prethodna istraživanja o čitljivosti QR kodova kao i metodologija korišćena u istim.

Za ispitivanja barkodova kao zaštitnih elemenata korišćena je metoda razvoja baza podataka koja je prethodno objašnjena. Metoda ispitivanja QR kodova se zasnivala na primeni hromatskih boja u štampi QR kodova radi postizanja promenljivog sadržaja QR koda. Cilj je formiranje zaštitnog elementa koji je štampan u prvom prolazu sa konvencionalnom bojom digitalnom tehnikom štampe, u drugom prolazu sa termohromatskom bojom i u trećem prolazu sa fotohromatskom bojom sito tehnikom štampe.

Cilj ove metode je i definisanje podataka za formiranje QR koda sa informacijama o proizvodu koje su sadržane pored informacije o stanju proizvoda. Ovaj cilj se postiže korišćenjem metode razvoja baza.

5.2.4.5 Metoda ispitivanja modula štampane elektronike

Metoda ispitivanja modula štampane elektronike je zasnovana na istraživanjima koja su sprovedena na departmanu. Kao podloga za istraživanja sprovedena u okviru modula štampane elektronike poslužila su prethodna istraživanja o RFID sistemima, kao i metodologija korišćena u istim.

Metoda ispitivanja NFC elemenata

Ova metoda se zasniva na kreiranju novog koncepta ambalaže istraživanjem već postojećih rešenja i diskusija o načinu postavljanja NFC oznake na ambalažu na bezbedan i jasan način. Zatim su u postupku kreiranja dizajna ambalaže na kojoj će biti ugrađena NFC oznaka uzeti u obzir zaključci iz analiza postojećih primera da bi se došlo do novog rešenja [Jovičić, Novaković, Đurđević, 2016].

Potom se kreira web sajt za prikaz podataka o proizvodu, a NFC element je programiran da vodi na dati sajt. Programiranje NFC elemenata se vrši preko aplikacije „NFC Tools“.

Potom se web sajt poziva putem NFC elementa. Nakon prvog testa vrši se kreiranje baze podataka i povezivanje sa HTML stranicom.

5.2.4.6 Metoda ispitivanja modula indikatora pametne ambalaže boja i pigmentata

Razvijena je metodologija izvođenja eksperimenta za veliki broj različitih indikatora pametne ambalaže na osnovu zajedničkih osobina koje karakterišu njihove promene u postupku identifikacije. Metodologija je razvijena i za različite hromatske boje i pigmente koji su korišćeni u eksperimentu.

Metoda se sastojala iz sledećih koraka. Uzorci su izrađeni tehnikom sito štampe na štamparskom sistemu Screen Printing Machine S550. U postupku štampe su korišćena sita sa različitim gustinama tkanja (43, 54, 90, 120, 165 i 180 niti/cm), a kao podloge za štampu su korišćeni tekstilni materijali različitog sirovinskog sastava i površinske mase, čije karakteristike su prikazane u poglavlju 5.2.1, tabeli 5.2.1, kao i papirni materijali površinske mase od 130 g/m², 150 g/m² i 300 g/m².

Pomoću denzitometra Viptronic Vipdens 150 na korišćenom filmu su izmerene vrednosti Dmin i Dmax kako bi se pre samog izvođenja eksperimenta potvrdilo da li je film dobro razvijen. Tokom procesa homogenizacije i štampe boje, kao i eksperimenta mereni su ambijentalni uslovi: temperatura, pritisak i relativna vlažnost pomoću uređaja Extech RH520A.

Pomoću Techkon SpectroDens Premium (D50/2°, merna geometrija 0°/45°) određene su odgovarajuće spektralne krive tokom promene temperature, vrednosti UV zračenja ili vlažnosti, ali i CIELab vrednosti za papirne uzorke. Sfernim spektrofotometrom HP 200 izmerene su CIELab vrednosti tekstilnih uzoraka. Tokom merenja su bila prisutna sledeća podešavanja:

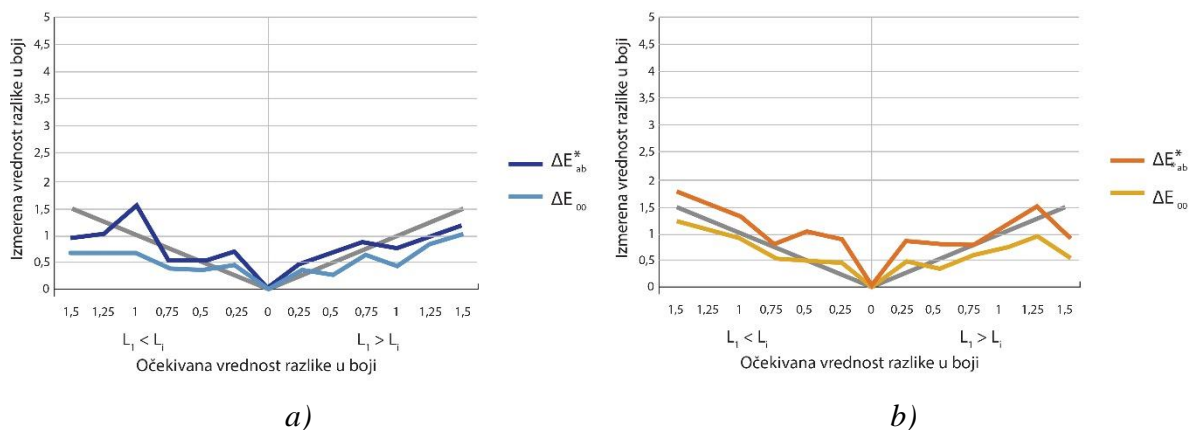
- merna geometrija d/8°,
- osvetljenje D65,
- standardni posmatrač 10°.

Termovizijska merenja su vršena pomoću termovizijske kamere Fluke TiS45, a slike su obrađivane u softveru Smart View.

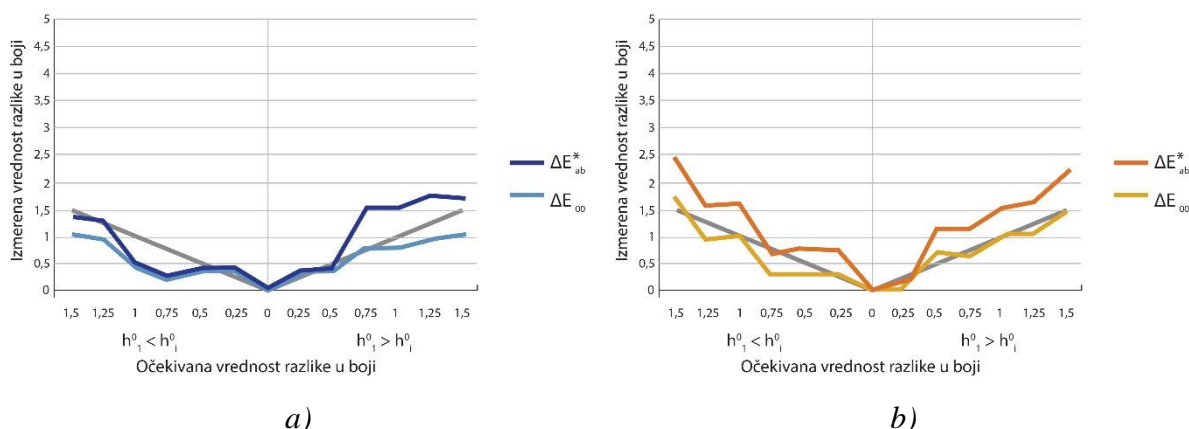
U cilju smanjenja reflektivnog zračenja čiji izvori se nalaze u okruženju termovizijsko merenje je potrebno vršiti u skoro zamračenom prostoru [Albatici, Tonelli, 2010]. Korišćenjem Eye One Pro uređaja (D65/10°, merna geometrija 45°/0°) izmerene su spektralne krive i karakteristike ambijentalnog osvetljenja. Eye One Basic Pro 2 je spektrofotometar usmerene geometrije koji omogućava merenje refleksije (na način merenja pojedinačnog uzorka ili u skenirajućem modu - automatsko detektovanje polja test karte) i emisije zračenja (sjaja i osvetljaja).

U cilju merenja razlika u boji uzoraka prethodno su izvršena istraživanja iz kojih se zaključilo se da iako je ΔE_{00} formula (2) davala nešto preciznije rezultate od ΔE^*_{ab} formule njihove performanse su prilično slične, ako se promeni vrednost svetline (L) ΔE^*_{ab} daje malo bolje performanse, ali je ograničena na opseg razlike u boji iznad 0,75. Međutim sa promenom tona boje (nijanse) blaga prednost se daje ΔE_{00} formuli (2) [Dedijer,..Đurđević, 2017].

Na slici 5.2.26 su prikazani rezultati kod kojih je razlika u boji dobijena promenom svetline, dok je na slici 5.2.27 prikazana razlika u boji dobijena promenom tona boje. Siva linija predstavlja idealnu reprodukciju boje.



Slika 5.2.26: ΔE^*_{ab} i ΔE_{00} vrednosti razlike u boji usled varijacije vrednosti svetline a) plave boje b) žute boje [Dedijer,..Đurđević, 2017]



Slika 5.2.27: ΔE^*_{ab} i ΔE_{00} vrednosti razlike u boji usled varijacije vrednosti tona a) plave boje b) žute boje [Dedijer,..Đurđević, 2017]

Poredeći dobijene rezultate očigledno je da je veća tačnost reprodukcije postignuta kada je razlika u boji dobijena promenom hromatičnosti (tona) boje, a samim tim i bolje rezultate će pokazati ΔE_{00} formula (2) [Dedijer,..Đurđević, 2017]. Za potrebe istraživanja razlika u boji u ovom istraživanju je korišćena ova formula [Luo et al., 2001].

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

U formuli (2) ΔE_{00} je vrednost razlike u boji, a ostali parametri se dobijaju računanjem koordinata L^* , a^* , b^* , gde L^* predstavlja ahromatsku vrednost, a a^* i b^* , redom, crveno-zeleni i žuto-plavi hromatski atribut [Stančić, 2016].

Proces merenja temperature se odvija na taj način da infracrveni senzori integrišu elektromagnetno IR zračenje u radnom opsegu talasnih dužina, i zatim generišu odgovarajući električni signal [Dawson, 2005]. Primena IR kamera u ovom eksperimentalnom istraživanju je naročito efikasna jer je koeficijent emisivnosti ispitivanih materijala, koji je određen eksperimentalno, dosta velik i kreće se od 0,89 do 0,95. Pored koeficijenta emisivnosti, kao

najznačajnijeg ulaznog parametra za merenje temperature, za povećanje tačnosti merenja temperature potrebno je još kao ulazne parametre u IR kameru uneti vrednosti relativne vlažnosti vazduha, ambijentalnu temperaturu i rastojanje između IR senzora i predmeta merenja.

Korišćenjem kamere mobilnog uređaja iPhone X digitalizovani su uzorci koji su postavljeni u Agile Radiant Controlled Light kabinu za posmatranje u kojoj je simulirano standardno osvetljenje D50 - 5000 K, fotografisanje se vršilo na svakih 10 s, a mobilni uređaj je bio postavljen pod uglom od 45° u odnosu na uzorak. Tokom fotografisanja bila je aktivna opcija AE/AF lock sa fokusom na centralom delu polja termohromatske boje.

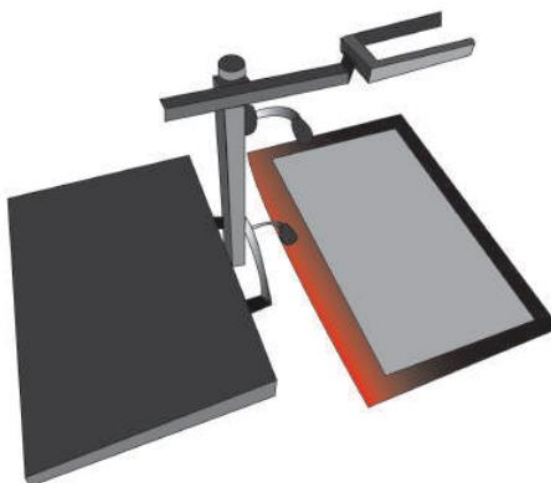
5.2.4.7 Metoda ispitivanja modula proširene realnosti

Metoda ispitivanja modula proširene realnosti se zasniva na ispitivanjima čitljivosti AR targeta koji služe za prepoznavanje pozicije na kojoj će se učitati sadržaj proširene realnosti [Vucelić, Novaković, Đurđević, 2017, Đurđević, 2017b].

Ova metoda je korišćena i u istraživanjima čitljivosti štampanih kodova u aplikacijama proširene realnosti [Vucelić, Novaković, Đurđević, 2017]. Za potrebe ovih ispitivanja generisana je posebna aplikacija proširene realnosti pomoću programa pod nazivom Unity sa dodatkom za proširenu realnost Vuforia. Formiran je 3D objekat (kocka) koji je postavljen na scenu zajedno sa targetima (kodovima) i koji je prilikom očitavanja svojim pojavljivanjem davao signal da je kod uspešno očitao [Đurđević, 2017b].

Za generisanje štampanih kodova upotrebljen je program pod nazivom Barcode Generator, zatim su kodovi postavljeni na web stranicu pod nazivom Vuforia Developer [Vuforia, 2019a] kako bi se testirala njihova upotrebljivost u ulozi targeta.

Za eksperiment su upotrebljeni mobilni uređaj (Samsung Galaxy S5), kompjuterski monitor (Samsung SyncMaster T220) za prikaz targeta (QR kodova) i mehanizam za montažu mobilnog uređaja uz podešavanja uglova (slika 5.2.28).

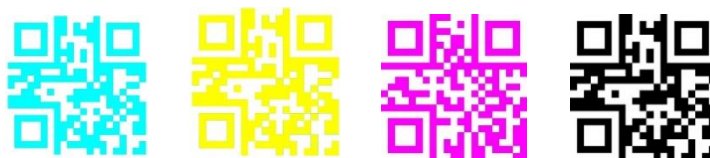


Slika 5.2.28: Mehanizam za montažu mobilnog uređaja uz podešavanja uglova i njegova pozicija u odnosu na monitor

U aplikaciju je ukupno uneto 90 QR kodova (targeta) u raznim varijacijama i za svaki je izvršeno podešavanje da prilikom očitavanja od strane Android uređaja treba da se pojavi 3D objekat, ispred svakog unetog targeta.

Merenje svakog prikazanog koda je izvršeno na više načina. Kontinualnim pomeranjem uređaja za podešavanje uglova merenja od 90° ka 180° i kontinualnim pomeranjem od 90° ka 0° uz praćenje kada će 3D objekat nestati sa ekrana mobilnog uređaja. Osim ovog načina izvršeno je i kontra ispitivanje odnosno ispitivanje kada će se pojaviti 3D objekat pri kretanju od 0° do 90° i od 180° do 90° . Očitavanje QR koda pomoću aplikacije proširene realnosti radi na principu pamćenja lokacije targeta tako da ukoliko je očitana neki kod pomoću telefona i onda prekriven objektiv kamere, a potom i otkriven, 3D objekat će se pojaviti iako je u međuvremenu promenjen ugao pod kojim je postavljena kamera u odnosu na monitor, a nezavisno od toga da li je zapravo u pitanju samo pamćenje pozicije koda koji više pod datim uglom nije čitljiv.

Primeri generisanih QR kodova su prikazani na slici 5.2.29.



Slika 5.2.29: Primer generisanih QR kodova

Pored metode ispitivanja čitljivosti QR kodova ispitivana je i čitljivost drugih vrsta AR targeta korišćenih za potrebe istraživanja. Metodologija je potpuno ista samo su kao targeti korišćeni drugi kodovi.

6 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Realizovana istraživanja su za cilj imala postavku i razvoj modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Model je sačinjen od četiri modula za identifikaciju postojećih zaštitnih elemenata. Svaki od modula je postavljen i razvijen na taj način da je njegovom upotrebom omogućena identifikacija posebne grupe zaštitnih elemenata. Modul za identifikaciju štampanih kodova ima za cilj da omogući identifikaciju isključivo štampanih kodova kao zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Modul za identifikaciju štampane elektronike i senzora ima za cilj da omogući identifikaciju štampane elektronike i senzora kao zaštitnih elemenata. Modul za identifikaciju pametnih indikatora, boja i pigmenata omogućuje identifikaciju indikatora pametne ambalaže, boja i pigmenata kao zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Modul za identifikaciju proširenom realnošću omogućuje identifikaciju zaštitnih elemenata na grafičkoj ambalaži čitljivih tehnologijom proširene realnosti.

U realizaciji ovog cilja realizovan je i određen broj podciljeva kojima se omogućava razvoj modela za identifikaciju zaštitnih elemenata grafičke ambalaže kroz:

- razvoj baze podataka o proizvodima koje štite zaštitni elementi pametne ambalaže,
- razvoj baze podataka o zaštitnim elementima grafičke ambalaže i
- razvoj novih rešenja zaštitnog elementa kombinovanjem više elemenata zaštite iz dva ili više različita modula.

U okviru postavljenog cilja sa podciljevima vršena su dodatna istraživanja u okviru svakog modula kako bi se proverile dodatne mogućnosti zaštitnih elemenata grafičke ambalaže koje se ostvaruju upotrebom kamere, Wi-Fi, bluetooth i NFC tehnologije pametnog mobilnog uređaja.

Dodatna istraživanja su realizovana kroz:

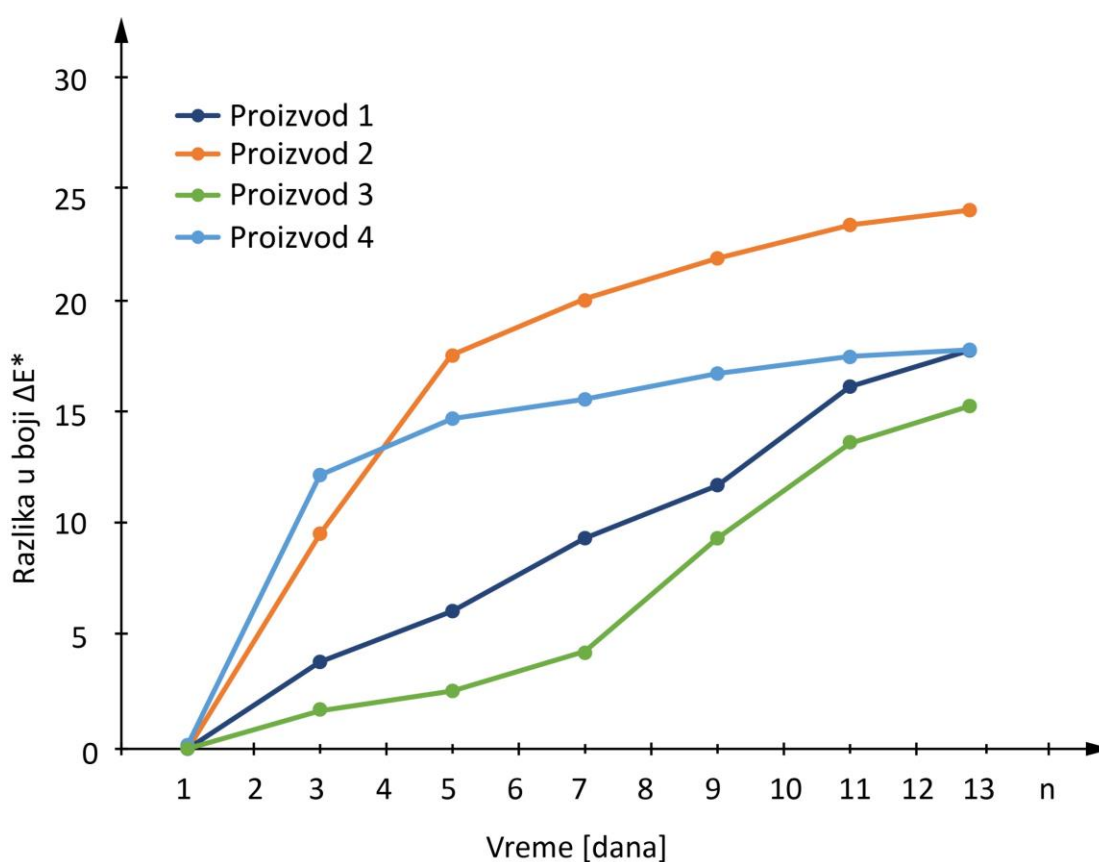
- istraživanja čitljivosti razvijenih rešenja zaštitnih elemenata,
- istraživanja promene stanja rešenja zaštitnih elemenata usled fizičkih, hemijskih i mehaničkih uticaja,
- formiranje matričnih i gradijentnih skala za klasifikovanje promene stanja zaštitnih elemenata i
- razvoj softverskih rešenja za identifikaciju promena stanja zaštitnih elemenata.

U radu je izvršen pregled i komparativna analiza dosadašnjih metoda korišćenih pri karakterizaciji zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Na osnovu rezultata istraživanja razvijen je koncept novih zaštitnih elemenata, razrađen je i implementiran novi model sa modulima, predstavljeni su rezultati, objektivna i subjektivna evaluacija dobijenih rezultata, izvođenje zaključka i mogućnosti primene dobijenih rezultata u praksi.

6.1 Razvoj baze znanja o promenama stanja robe na osnovu promena stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže

Na osnovu pregleda stanja u oblasti istraživanja razvijena je baza znanja o promenama stanja robe na osnovu promena stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Kako bi se izvršila komparacija stanja indikatora formirane su vizuelizacije koje pokazuju kako su povezani promena stanja robe i promena stanja odgovarajućih indikatora. Bazu znanja čine vizuelizacije čiji razvoj je prikazan u nastavku ovog poglavlja, one su koncipirane na takav način da su prilagodljive e-platformama za učenje na daljinu. Interaktivnost kroz vizuelizacije i široku primenu baze znanja može biti vredno sredstvo za poboljšanje efikasnosti u okruženjima za učenje na daljinu [Đurđević, 2015a].

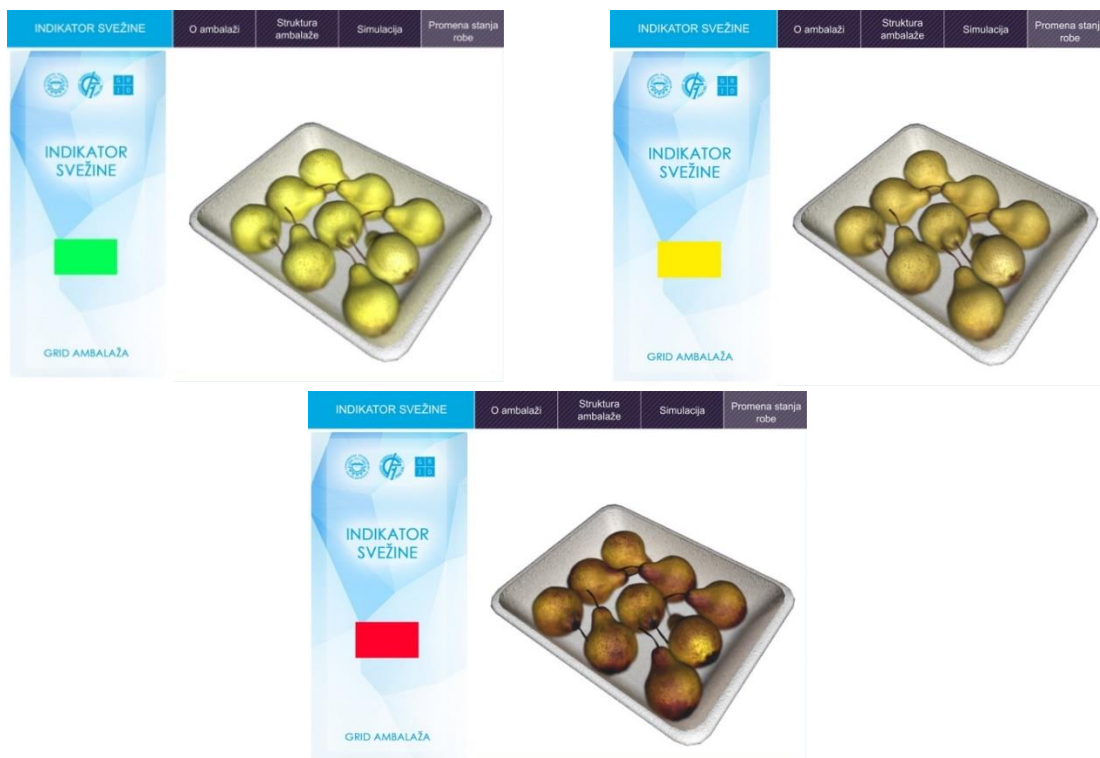
Na slici 6.1.1 je dat primer grafika promene kvaliteta robe sa proteklom vremenom, dok se na slici 6.1.2 može videti promena izgleda robe koja prati promenu njegove svežine tokom vremena kao i promenu stanja indikatora koji detektuje promene.



Slika 6.1.1: Primer grafika promene kvaliteta robe na osnovu promene razlike u boji tri različita proizvoda sa proteklom vremenom

Baza znanja inteligentne ambalaže sadrži linkove ka PDF fajlovima generisanim pomoću modula za generisanje 3D PDF fajlova.

Vizuelizacije promene stanja robe i zaštitnih elemenata predstavljaju osnovu za razvoj baze znanja o zaštitnim elementima, ali i osnovu za dalja istraživanja. Primenom vizuelizacija se postižu značajne uštede u pogledu smanjenja vremena za angažovanje stručnjaka u realnim sistemima [Vladić, 2015b].



Slika 6.1.2: Promena izgleda robe koja prati promenu njegove svežine tokom vremena kao i promenu stanja indikatora koji detektuje promene

S obzirom na različitost roba na koje su indikatori primenljivi kao i različitost ambalaža u koje ove robe mogu biti upakovane, formirana su univerzalna ambalažna rešenja za svaku grupu proizvoda, a razvijena u programu EngView Package Designer. Na slici 6.1.3 je prikazano jedno ambalažno rešenje koje od zaštitnih elemenata sadrži indikator svežine.



Slika 6.1.3: Ambalažno rešenje koje od zaštitnih elemenata sadrži indikator svežine

U tabeli 6.1.1 su prikazani primeri osobina zaštitnih elemenata prikazanih preko ID elementa, kao što se može videti tabela se može proširiti dodavanjem novih zaštitnih elemenata i novih osobina.

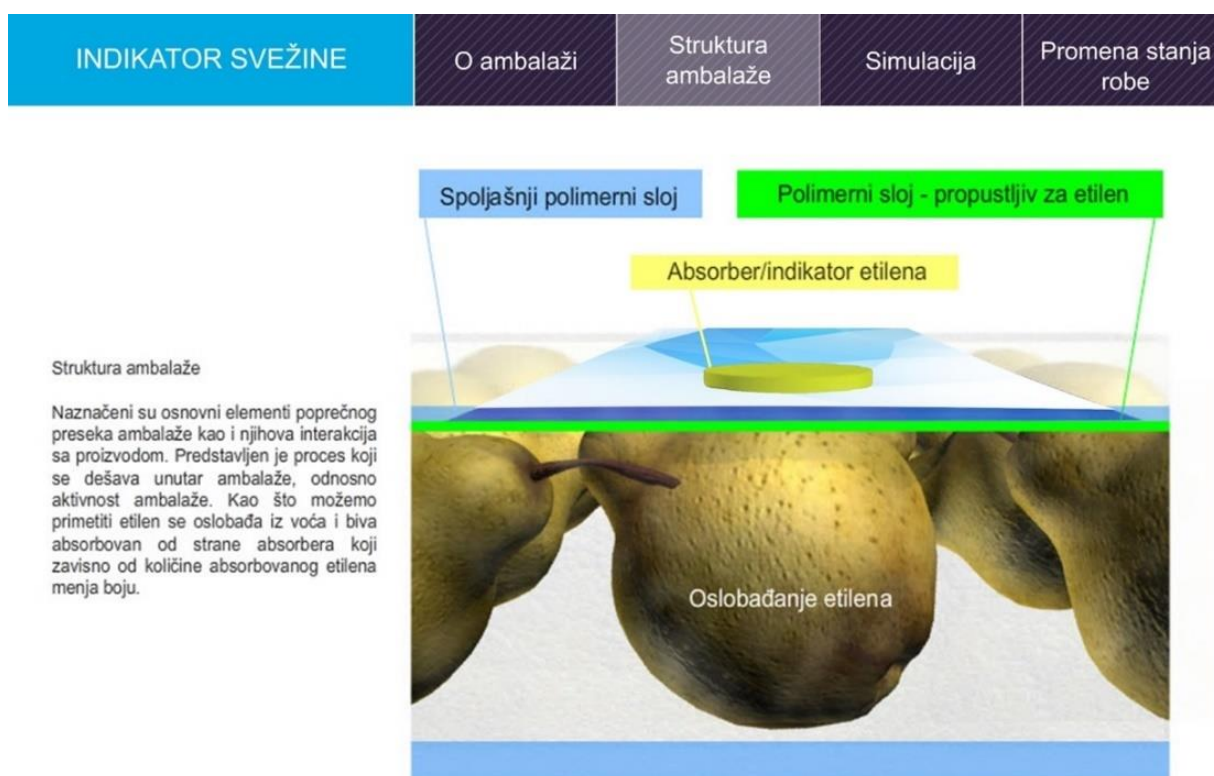
Tabela 6.1.1: Osobine zaštitnih elemenata prikazane preko ID elementa

ID_	Kapacitet informacije	Senzorska svojstva	Indikatorska svojstva	idr.
RFID	64-128 bita	Temperatura, vlažnost, idr.	Nema	...
NFC	64-128 bita	Temperatura, vlažnost, idr.	Nema	...
idr.

Aplikacija baze znanja je zasnovana na korišćenju ActionScript 2.0 koda. Finalni oblik aplikacije je HTML stranica (slika 6.1.4) jer je baza edukativnog karaktera, a html ekstenzija nam omogućava čitljivost na gotovo svim savremenim računarskim platformama koje poseduju internet pretraživač.

Analizom sistema pametne ambalaže i vizuelizacija promena stanja roba kroz istraživanje su stvoreni uslovi za formiranje interaktivne baze znanja o pametnoj ambalaži. U nastavku je dat pregled alata i postupaka za izradu baze. Baza je razvijena kombinacijom programskih alata Adobe Photoshop, Adobe Flash, Autodesk 3ds Max, EngView Package Designer i Right Hemisphere Deep Exploration. U poglavlju 5.2.3 su predstavljene mogućnosti korišćenja ovih programa za razvoj baze znanja o pametnoj ambalaži.

Razvijeno softversko rešenje strukturirano je tako da sadrži osnovna znanja, prostorne oblike, strukture i simulacije funkcionisanja predstavnika pojedinačnih grupa i ne daju se rešenja za sve sisteme već su oni razrađivani kao osnova za dalji razvoj i unapređenje. Koncept je baziran na upotrebi softvera za vizuelizaciju, animaciju i programiranje u cilju stvaranja edukativne aplikacije posebno za učenje na daljinu o pametnoj ambalaži koji je dostupan zainteresovanim korisnicima na svim kompjuterskim platformama.



Slika 6.1.4: Segment razvijene HTML stranice aplikacije baze znanja o promenama stanja robe na osnovu promena stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže

Primeri programskih kodova za potrebe baze znanja:

- Kod za zaustavljanje odgovarajućeg kadra:

```
stop();
```
- Kod za odlazak na odgovarajući kadar (primenjuje se na dugme iz navigacije):

```
on(press) { gotoAndPlay(broj kadra); }
```
- Kod za učitavanje spoljašnjeg SWF fajla (primenjuje se na dugme iz navigacije):

```
on(press) {  
  _root.createEmptyMovieClip("container", 1);  
  // Pozicija bloka u koji se učitava animacija  
  container._x = 0;  
  container._y = 0;  
  // Učitavanje eksterne SWF animacije  
  container.loadMovie("animacija.swf");  
}
```
- Brisanje spoljašnjeg SWF fajla pri povratku na glavni meni

```
container.removeMovieClip()
```

Postavka i razvoj modela baza znanja o promenama stanja robe na osnovu promena stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže je novi prilaz u predstavljanju i razvoju problema usvajanja znanja o području istraživanja koja su u ubrzanom razvoju. Metodologija razvoja je konceptualno postavljena i ona je integracija dizajna, sa elementima kreiranja ambalaže, data kroz simulaciju procesa. Vizuelizacija ponašanja ambalaže u realnim uslovima kroz prikaz, obradu i razvoj upotpunjuje osnovni cilj istraživanja.

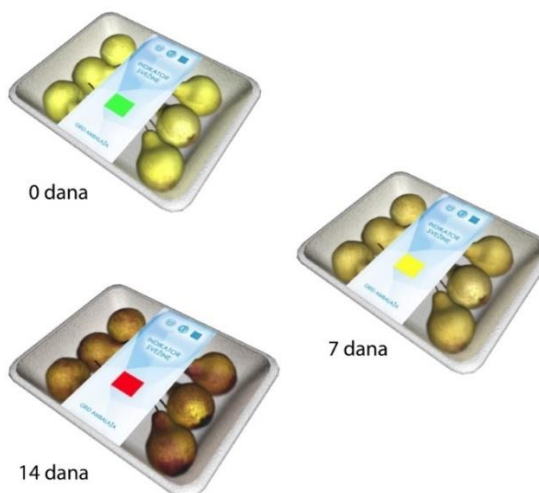
Softverski alati na osnovu kojih je baza kreirana spadaju u grupu najsavremenijih programskih alata sa perspektivom daljeg razvoja i integracije novih mogućnosti. Korišćeni softveri već sada prilično dobro se integrišu sa drugim softverskim alatima, preko raznih „plug-in-ova“ i nadogradnji. Pored fleksibilnosti izrade, baza zadržava svoju uniformnost interaktivne postavke u smislu izmenljivosti i proširivosti sadržaja, a publikovana kroz HTML platformu obezbeđuje dostupnost svim ciljanim korisnicima Internet pretraživača [Đurđević, 2015c].

Pametna ambalaža je inovativna tehnologija koja se intenzivno razvija poslednjih godina. Razlog razvoja ove vrste ambalaže je razmišljanje izvan same ambalaže. S druge strane da bi produžili rok trajanja, poboljšali kvalitet, unapredili bezbednost, davali informacije i upozorili na moguće problem razvijamo ovu tehnologiju.

Prehrambeni proizvodi su praćeni napretkom postojeće ambalaže, kao i primenom novih dostignuća iz oblasti ambalaže.

Sistematizacijom podataka vezanih za prisutna rešenja pametnih ambalažnih sistema i njihovih elemenata stvorena je osnova šireg razvoja baze znanja, a u cilju formiranja interaktivnosti ona je razrađena kroz softverske alate. Softversko rešenje je osnova za dalji razvoj i unapređenje, a sadrži i edukativnu funkciju. Baza znanja može biti dostupna širem krugu ljudi iz različitih istraživačkih sfera i time je stvorena mogućnost drugim istraživačima da daju doprinos iznalaženjem novih ili razrađivanjem postojećih rešenja [Đurđević, 2014b].

Na slici 6.1.5 je dat primer proizvoda upakovanog u ambalažu koja sadrži indikator svežine. Simulacija pokazuje promenu stanja indikatora sa proteklim vremenom. Prvi dan nemamo promenu boje, drugi dan boja se počinje menjati sve do poslednjeg dana kada je odlikuje potpuno drugi ton što ukazuje da je svežina proizvoda smanjena.



Slika 6.1.5: Simulacija promene stanja svežine proizvoda sa proteklom vremenom

6.2 Postavljanje globalnog modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže

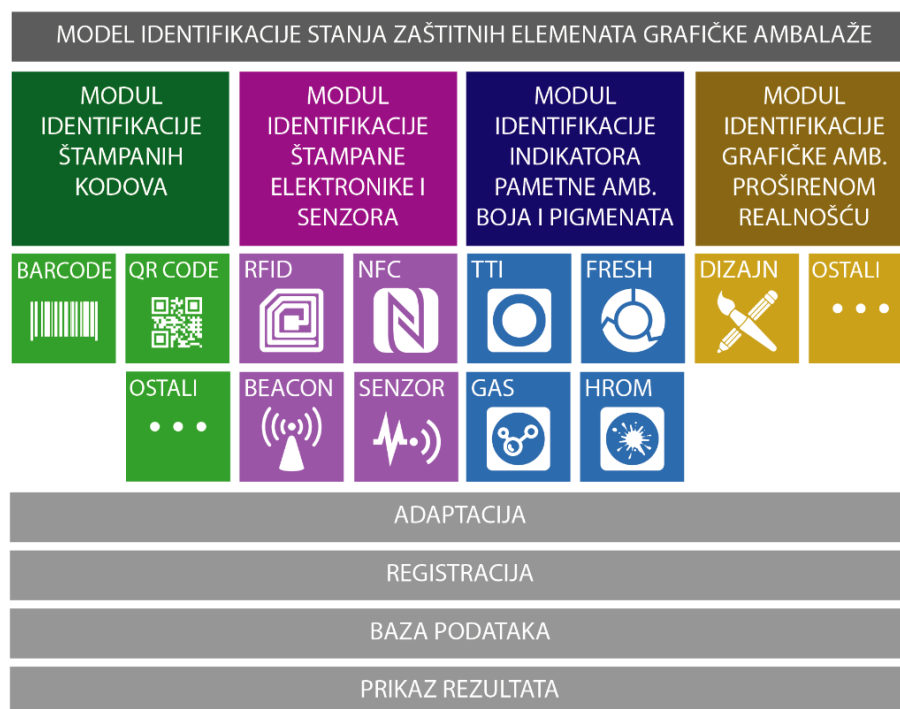
Globalni model za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže

Na osnovu prethodno definisanih podloga, koje su date u poglavlju stanje u oblasti istraživanja, postavljen je globalni model za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže sa posebnim osvrtom na razvoj modula, na bazi kojih su razvijena nova rešenja zaštitnih elemenata i savremen programski sistem za identifikaciju postojećih i novih rešenja mobilnim uređajima, a u cilju unapređenja procesa identifikacije.

Sa ovim se obezbeđuje proces identifikacije kvaliteta proizvoda upakovanih u grafičku ambalažu sa ciljem pružanja više informacija korisniku kao i bržeg i jednostavnijeg objektivnog identifikovanja kvaliteta proizvoda. Kod subjektivnog identifikovanja stanja zaštitnog elementa u kojem korisnik ambalaže direktno učestvuje u procenjivanju stanja na osnovu opažanja fizičke vizuelne promene na zaštitnom elementu kao što je npr. indikator svežine. Za razliku od subjektivnog, objektivno procenjivanje svim korisnicima daje istu informaciju o stanju svežine i ne zahteva od korisnika da direktno koristi čulo vida kako bi procenio stanje zaštitnog elementa već npr. korišćenje mobilnog uređaja čija kamera u kombinaciji sa odgovarajućim softverom daje informaciju u stanju zaštitnog elementa. Na slici 6.2.1 dat je prikaz modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

Postavljeno rešenje je primenljivo na sva postojeća rešenja zaštitnih elemenata. Model identifikacije zaštitnih elemenata je najkompleksnije postavljeni model koji povezuje najveću bazu znanja o zaštitnim elementima sa konceptom baze znanja o svim proizvodima koji poseduju zaštitne elemente, a čine ga sledeći moduli:

- Modul identifikacije štampanih kodova grafičke ambalaže,
- Modul identifikacije štampane elektronike i senzora grafičke ambalaže,
- Modul identifikacije indikatora pametne ambalaže, boja i pigmenata i
- Modul identifikacije grafičke ambalaže proširenom realnošću.



Slika 6.2.1: Model identifikacije stanja zaštitnih elemenata

Ono što karakteriše model je to da je tok informacije koja prolazi od zaštitnog elementa do prikaza rezultata uniforman i može se podeliti u četiri osnovne faze: adaptacija, registracija, baza podataka i prikaz rezultata.

6.2.1 Adaptacija

Adaptacija je korak u kome se prilagođava mobilni uređaj i pronalazi zaštitni element na ambalaži. Kako bi se identifikovao proizvod potrebno je prvobitno pronaći zaštitni element na ambalaži fizičkom pretragom ili prilagoditi mobilni uređaj posebnim dodacima za očitavanje zaštitnih elemenata.

6.2.2 Registracija

Registracija je korak koji se vrši nakon pokretanja aplikacije na mobilnom uređaju. U ovom koraku se vrši skeniranje ili očitavanje zaštitnog elementa tehnologijama mobilnog uređaja (kamera, bluetooth, Wi-Fi, NFC, GPS i dr.), Rezultat ovog koraka su informacija ili informacije u vidu numeričkog ili alfanumeričkog koda spremne za slanje u bazu podataka.

6.2.3 Baza podataka

Baza podataka je korak u kome se dobijeni kod ili kodovi zavisno od količine informacija koje se prikupljaju identifikacijom pretražuju u bazama podataka i nakon provere šalju na prikaz rezultata.

6.2.4 Prikaz rezultata

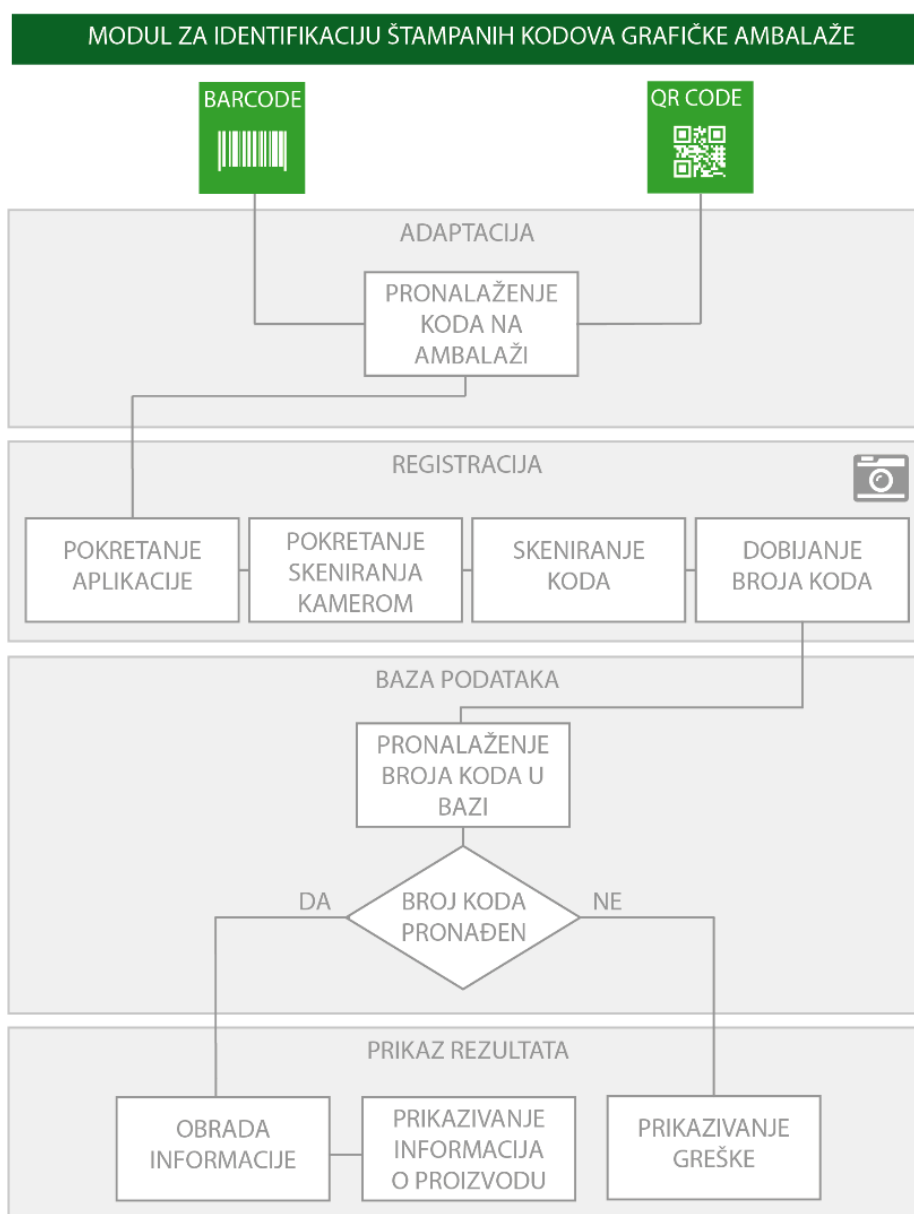
Prikaz rezultata je korak u kome mobilni uređaj obrađuje informacije iz baze podataka kako bi prikazao stanje zaštitnog elementa, a samim tim i stanje konkretnog proizvoda, ili identifikovao da se dati kod ne nalazi u bazi podataka prikazom greške.

6.2.5 Modul identifikacije štampanih kodova grafičke ambalaže

Modul identifikacije štampanih kodova grafičke ambalaže (slika 6.2.2.) je razvijen na principima gradnje aplikacija za očitavanje štampanih kodova. U koraku adaptacije nije potrebna upotreba podataka za očitavanje zaštitnih elemenata. Zaštitni element čini generisani jednodimenzionalni barkod ili dvodimenzionalni QR kod. Tipovi kodova koji se koriste za potrebe grafičke ambalaže, a čitljivi su putem ovog modula su dati u poglavlju 2.2.2.1.

Mobilna tehnologija potrebna za realizaciju koraka registracije je kamera mobilnog uređaja. Baza podataka može biti lokalna (u aplikaciji na memoriji telefona) ili u oblaku (na server računaru).

Baza sadrži opšte informacije o proizvodu, i te informacije se prikazuju u vidu tekstualne informacije što predstavlja korak prikaza rezultata. Greška prilikom prikaza rezultata bi mogla biti posledica greške prilikom registracije uzrokovane slabijim kvalitetom kamere mobilnog uređaja, ili greške u bazi podataka zbog neunošenja informacije o proizvodu.



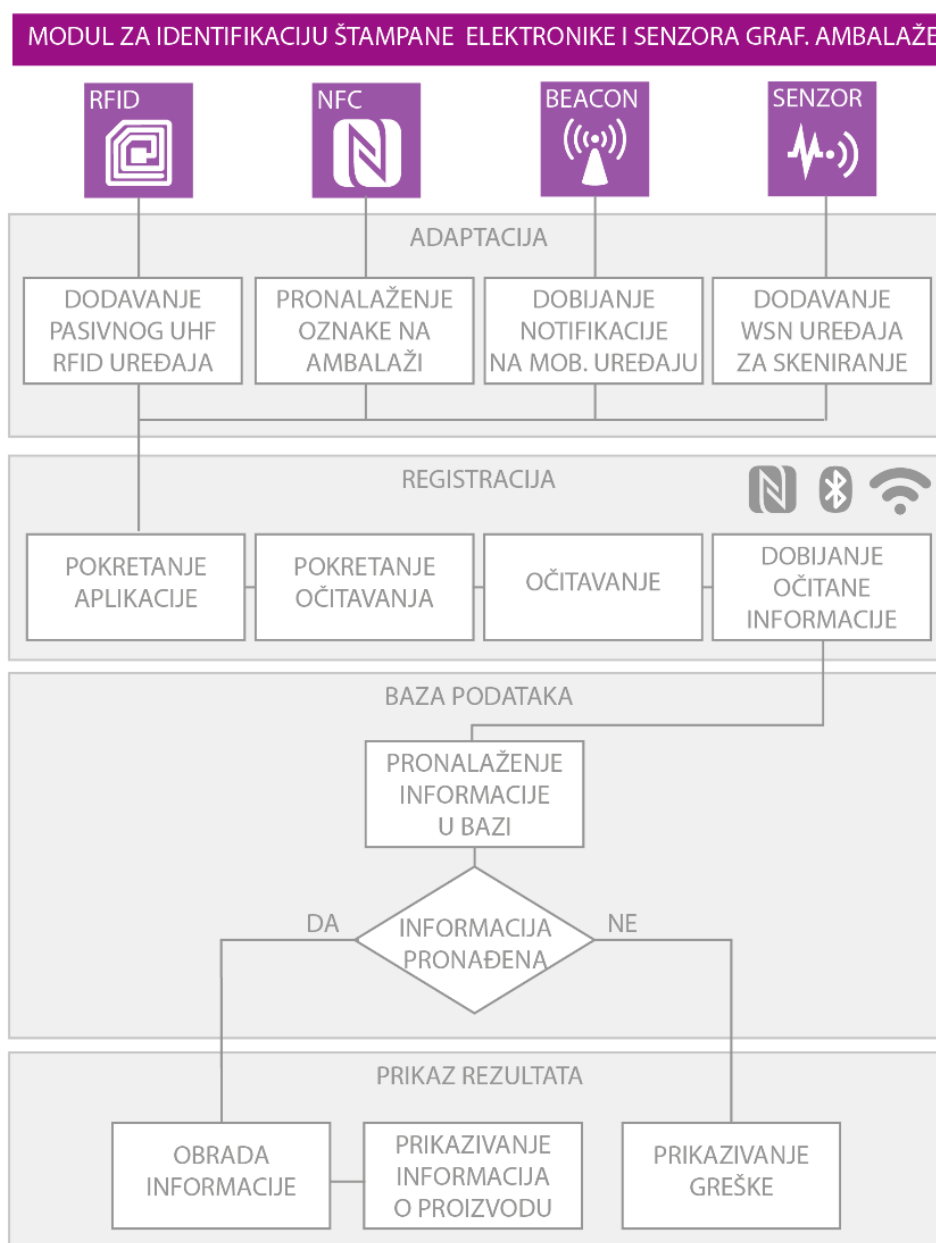
Slika 6.2.2: Modul identifikacije štampanih kodova grafičke ambalaže

6.2.6 Modul identifikacije štampane elektronike i senzora grafičke ambalaže

Modul identifikacije štampane elektronike i senzora grafičke ambalaže (slika 6.2.3) je razvijen na principima gradnje aplikacija za očitavanje štampane elektronike.

Ukoliko mobilni uređaj ne podržava tehnologiju štampane elektronike koja se očitava, u koraku adaptacije potrebna je upotreba dodatka za očitavanje zaštitnih elemenata. Ti dodaci mogu biti: pasivni UHF RFID čitač, WSN uređaj za skeniranje i dr. Zaštitni element čini RFID, NFC, Beacon ili senzor. Tipovi štampane elektronike koji se koriste za potrebe grafičke ambalaže, a prilagodljivi su algoritmu modula za identifikaciju štampanih kodova grafičke ambalaže dati su u poglavlju 2.2.2.2.

Mobilne tehnologije potrebne za realizaciju koraka registracije su NFC, Bluetooth i Wi-Fi. Baza podataka može biti lokalna (u aplikaciji na memoriji telefona) ili u oblaku (na server računaru).

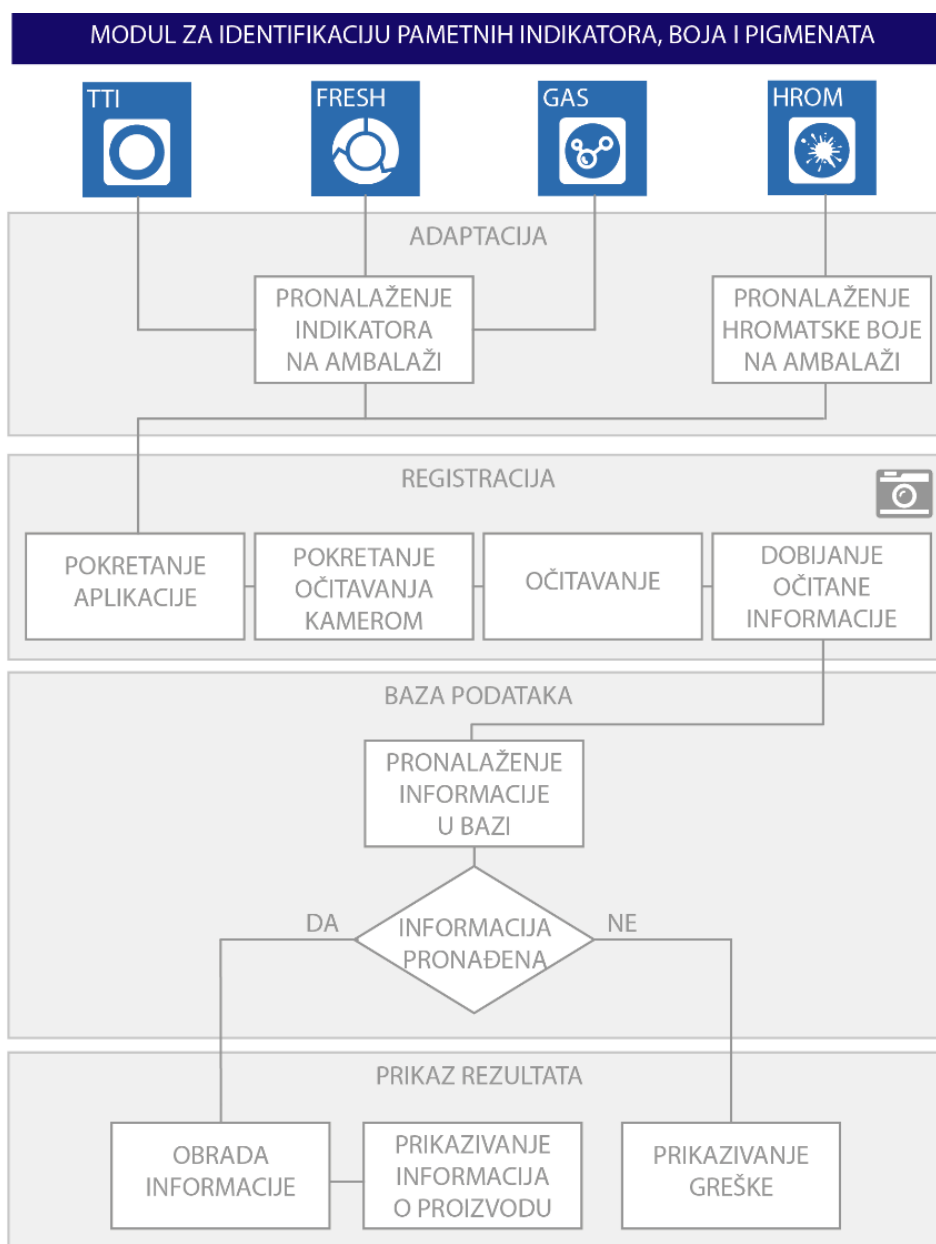


Slika 6.2.3.: Modul identifikacije štampane elektronike i senzora grafičke ambalaže

Baza sadrži opšte informacije o proizvodu, i te informacije se prikazuju u vidu tekstualne informacije što predstavlja korak prikaza rezultata ili dinamičke informacije o geografskoj lokaciji, promeni temperature, vlažnosti, osvetljenja i dr. Greška prilikom prikaza rezultata bi mogla biti posledica greške prilikom registracije uzrokovane nepravilno povezanim dodatkom ili greška u bazi podataka zbog neunošenja informacije o proizvodu ili nemogućnosti da se pristupi serveru na kome su informacije.

6.2.7 Modul identifikacije indikatora, boja i pigmentata pametne ambalaže

Modul identifikacije indikatora, boja i pigmentata pametne ambalaže (slika 6.2.4) je razvijen na principima očitavanja tona boja indikatora boja i pigmentata. U koraku adaptacije za očitavanje zaštitnih elemenata nisu potrebni dodatni uređaji. Tipovi indikatora boja i pigmentata koji se koriste za potrebe grafičke ambalaže, a čitljivi su putem ovog modula su dati u poglavlju 2.2.2.3.



Slika 6.2.4: Modul identifikacije indikatora boja i pigmentata pametne ambalaže

Mobilna tehnologija potrebna za realizaciju koraka registracije je kamera mobilnog uređaja. Baza podataka može biti lokalna (u aplikaciji na memoriji telefona) ili u oblaku (na server računaru).

Baza sadrži informacije o promeni stanja proizvoda na osnovu registrovanog tona boje indikatora. Te informacije se prikazuju u vidu tekstualne i brojčane informacije (procenta svežine proizvoda) što predstavlja korak prikaza rezultata o promeni vremena, temperature, vlažnosti, svežine, UV i dr. Greška prilikom prikaza rezultata bi mogla biti posledica greške prilikom registracije uzrokovane nekvalitetnom kamerom ili greška u bazi podataka zbog neunošenja informacije o proizvodu ili nemogućnosti da se pristupi serveru na kome su informacije.

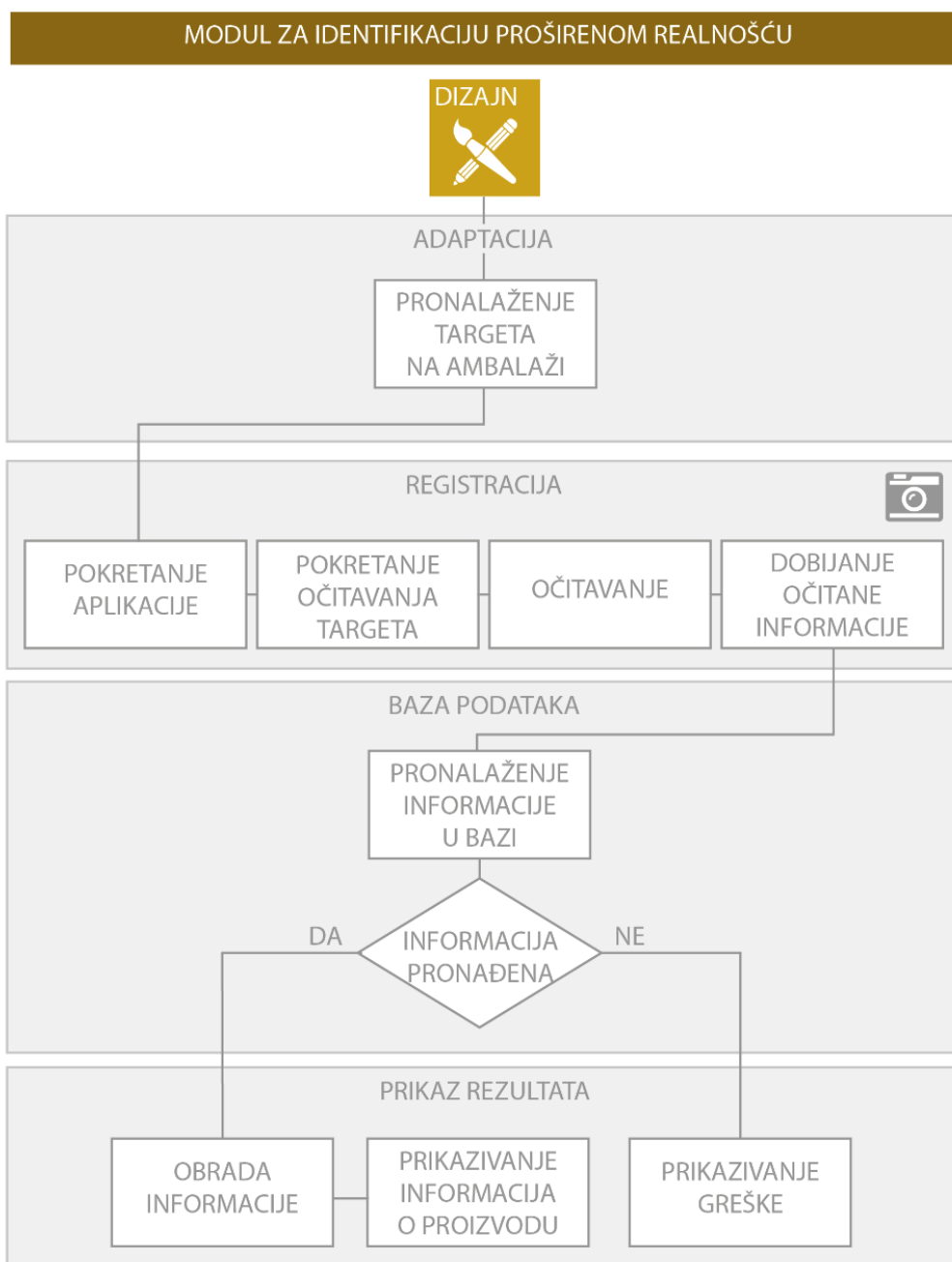
6.2.8 Modul identifikacije grafičke ambalaže proširenom realnošću

Modul identifikacije grafičke ambalaže proširenom realnošću (slika 6.2.5) je razvijen na principima gradnje aplikacija proširene realnosti.

U koraku adaptacije nije potrebna upotreba dodatka za očitavanje zaštitnih elemenata. Zaštitni element čini celokupan dizajn ambalaže kao jedinstveno originalno rešenje od strane proizvođača. Štampani dizajn ambalaže može biti oplemenjen upotrebom dodatnih zaštitnih elemenata kao što su hologrami dobijeni lentikularnom štampom. Za postizanje kvalitetnog lentikularnog zaštitnog elementa neophodno je znanje u dobijanju preciznog lentikularnog tabaka, potrebno je znati usaglasiti tabak i rezoluciju štampe, kao i sklonost radu u programima kojima se dobija generisana lentikularna slika [Ćirković, Novaković, Đurđević, 2014]. Ovakvi posebni štampani elementi bi se mogli pridružiti modulu identifikacije grafičke ambalaže proširenom realnošću jer su mobilnim uređajem čitljivi upravo tehnologijom proširene realnosti.

Mobilna tehnologija potrebna za realizaciju koraka registracije je kamera mobilnog uređaja, a zavisno od nivoa primenjene tehnologije proširene realnosti aplikacija za identifikaciju može zahtevati uređaje koji su opremljeni sa jednom ili minimum dve kamere. Baza podataka je korak koji najviše zavisi od primenjene tehnologije proširene realnosti, može biti lokalna (u aplikaciji na memoriji telefona) i u oblaku (na server računaru).

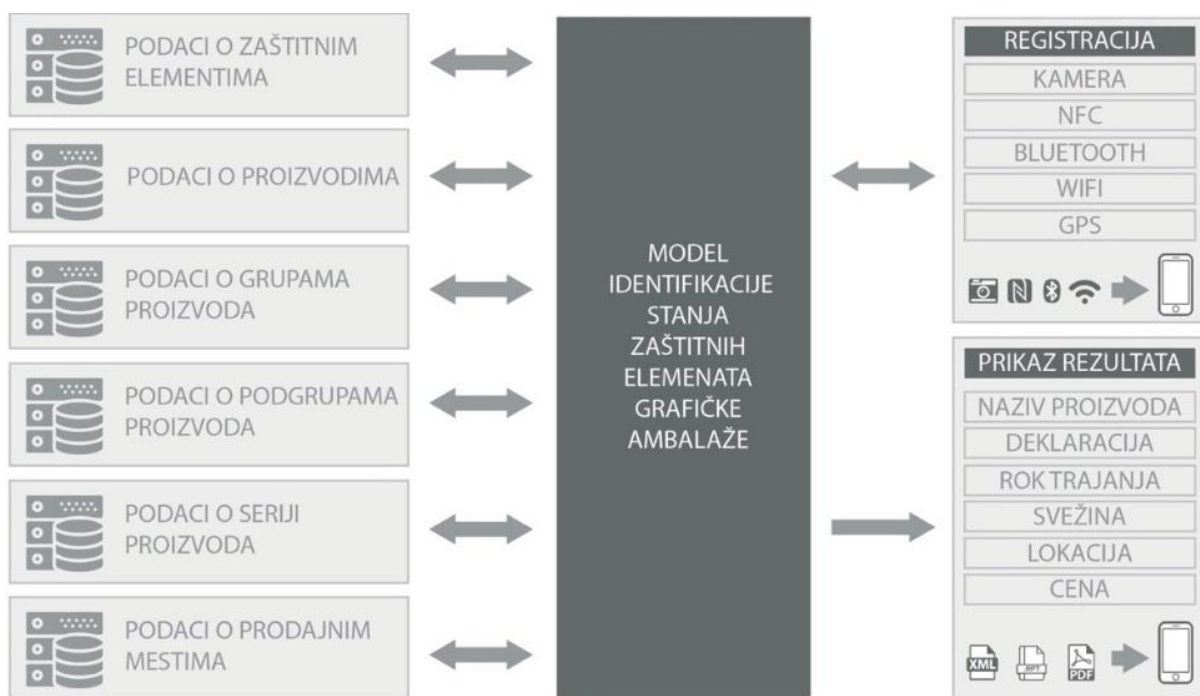
Baza sadrži targete - digitalne slike sadržaja (dizajna) koji mora biti prepoznat na ambalaži kako bi se aktivirala informacija koju taj digitalni sadržaj povezuje. Ta informacija se prikazuje u vidu tekstualne informacije, 2D ili 3D sadržaja koji se pojavljuju u prostoru posmatrane ambalaže naravno virtuelno na ekranskom prikazu što predstavlja korak prikaza rezultata. Greška prilikom prikaza rezultata bi mogla biti posledica greške prilikom registracije uzrokovane slabijim kvalitetom kamere mobilnog uređaja, ili greške u bazi podataka zbog neunošenja targeta ili nedovoljnog kvaliteta targeta (digitalne slike koje se prepoznaju tehnologijom proširene realnosti moraju ispuniti određene zahteve u smislu kompleksnosti sadržaja). Ukoliko target nije dovoljno kompleksan, čitanje će biti nemoguće ili neprecizno.



Slika 6.2.5: Modul identifikacije stanja grafičke ambalaže pomoću proširene realnosti

6.3 Razvoj koncepta baze podataka o proizvodima, zaštitnim elementima i prodajnim mestima

Koncept veze modela identifikacije stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže sa bazom podataka je dat na slici 6.3.1.



Slika 6.3.1: Baza podataka modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže

Bitno mesto u modelu identifikacije stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže ima baza podataka o zaštitnim elementima, proizvodima i prodajnim mestima. U tabeli 6.3.1 dat je prikaz koncepta - tabela baze podataka o proizvodima za potrebe razvoja modela identifikacije stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

Tabela 6.3.1: Koncept baze podataka o proizvodima

Koncept baze podataka	
Naziv tabele	Sadržaj tabele
tbl_Zaštitni_Elementi	podaci o zaštitnim elementima
tbl_Proizvodi	opšti podaci o proizvodu
tbl_Grupe_Proizvoda	podaci o grupama proizvoda - svaki proizvod se svrstava u jednu grupu
tbl_Podgrupe_Proizvoda	podaci o podgrupama proizvoda - svaki proizvod se svrstava u jednu podgrupu
tbl_Serijski_Proizvoda	podaci o seriji proizvoda - prema danu/smeni proizvodnje
tbl_Prodajna_Mesta	podaci o prodajnim mestima (opšte informacije i GPS koordinate)
idr.	...

U tabeli 6.3.2 dat je prikaz koncepta - tabela baze podataka o zaštitnim elementima za potrebe razvoja modela identifikacije stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

Tabela 6.3.2: Struktura tabele o zaštitnim elementima

Tabela tbl_Zaštitni elementi		
Naziv Polja	Tip polja	Opis
Id_zaštitnog elementa	Long Integer	Svaki zaštitni elemenat ima jedinstvenu vrednost za ovo polje. Koristi se kao primarni ključ.
Modul_zaštitnog elementa	Tekst dužine 20	npr. Modul za identifikaciju štampane elektronike
Naziv_zaštitnog elementa	Tekst dužine 100	Npr. Barcode
Naziv_slike_zaštitnog elementa	Tekst dužine 50	Ime file-a sa slikom proizvoda
Napomena	Memo	U ovom polju se može uneti tekst proizvoljne dužine vezano za zaštitni element

Da bi imali potrebne informacije o proizvodu potrebno je formirati bazu podataka sa svim relevantnim podacima. U nastavku se daje prikaz strukture tabele o proizvodima (Tabela 6.3.3).

Tabela 6.3.3: Struktura tabele o proizvodima

Tabela tbl_Proizvodi		
Naziv Polja	Tip polja	Opis
Id_proizvoda	Long Integer	Svaki proizvod ima jedinstvenu vrednost za ovo polje. Koristi se kao primarni ključ.
Šifra_proizvoda	Tekst dužine 20	npr. A10.01.00001 A20.002.0001
Naziv_proizvoda	Tekst dužine 100	Npr. Krema za ruke
Naziv_slike_proizvoda	Tekst dužine 50	Ime file-a sa slikom proizvoda
Jedinica_mere	Tekst dužine 10	Npr. kom
Id_grupe	Long Integer	Veza sa tabelom Grupa proizvoda
Id_podgrupe	Long Integer	Veza sa tabelom Podgrupe proizvoda
BarCode	Tekst dužine 13	EAN 13 barkod
MasaNeto	Double	Neto masa proizvoda u gramima
MasaBruto	Double	Bruto masa proizvoda u gramima
Količina_Sekundarna_ambalaža	Double	Količina proizvoda koja se pakuje u sekundarnu ambalažu
Količina_Tercijalna_ambalaža	Double	Količina proizvoda koja se pakuje u tercijalnu ambalažu
Rok_trajanja1	Tekst dužine 255	Rok trajanja proizvoda iskazan u Rok_trajanja1_jm
Rok_trajanja1_jm	Tekst dužine 255	Dan, Mesec ili Godina
Nutritivne_vrednosti	Tekst dužine 255	Informacije o nutritivnim vrednostima proizvoda
Deklaracija	Tekst dužine 255	Deklaracija proizvoda
Napomena	Memo	U ovom polju se može uneti tekst proizvoljne dužine vezano za proizvod

Polje Rok_trajanja1 je podatak koji omogućava da se proveri ispravnost proizvoda nezavisno od datuma roka trajanja tako što se na datum proizvodnje proizvoda doda rok trajanja1 i proveri sa tekućim datumom da li je rok istekao.

Šifra proizvoda se formira na bazi šifre grupe i šifre podgrupe, na bazi koje se tačno može utvrditi kojoj grupi tj. podgrupi proizvoda pripada. Primer formiranja šifre proizvoda:

```
Šifra_grupe_proizvoda. Šifra_podgrupe_proizvoda.0001
....
Šifra_grupe_proizvoda. Šifra_podgrupe_proizvoda.9999
```

Iz gore navedenog primera se vidi da u jednoj podgrupi proizvoda može da se nalazi 9999 proizvoda.

U tabeli 6.3.4 je dat pregled strukture tabele grupa proizvoda.

Tabela 6.3.4: Struktura tabele grupa proizvoda

Tabela tbl_Grupe_Proizvoda		
Naziv Polja	Tip polja	Opis
Id_grupe	Long Integer	Svaki grupa ima jedinstvenu vrednost za ovo polje. Koristi se kao primarni ključ.
Šifra_grupe_proizvoda	Tekst dužine 100	npr. A10 A20 ili 01, 02
Naziv_grupe_proizvoda	Tekst dužine 100	npr. farmaceutski
Napomena	Memo	U ovom polju se može uneti tekst proizvoljne dužine vezano za grupu proizvoda

U ovoj tabeli se može uneti neograničen broj grupa proizvoda kao npr.

- farmaceutski,
- prehrambeni,
- itd.

U tabeli 6.3.5 je dat pregled strukture tabele podgrupe proizvoda.

Tabela 6.3.5: Struktura tabele podgrupe proizvoda

Tabela tbl_Podgrupe_Proizvoda		
Naziv Polja	Tip polja	Opis
Id_grupe	Long Integer	Svaki podgrupa ima jedinstvenu vrednost za ovo polje. Koristi se kao primarni ključ.
Šifra_podgrupe_proizvoda	Tekst dužine 10	npr. A10.001 A10.002 ... A10.999
Naziv_podgrupe_proizvoda	Tekst dužine 100	npr. krema za ruke
Napomena	Memo	U ovom polju se može uneti tekst proizvoljne dužine vezano za podgrupu proizvoda

U ovoj tabeli se može uneti neograničen broj podgrupa proizvoda za svaku unetu grupu proizvoda kao npr.

- farmaceutski F01.001 do F01.999 čime je omogućeno da svaka grupa može imati do 999 podgrupa
- itd.

U tabeli 6.3.6 je dat pregled strukture tabele serija proizvoda. U ovoj tabeli se može uneti neograničen broj serija proizvoda.

Tabela 6.3.6: Struktura tabele serija proizvoda

Tabela tbl_Serija_Proizvoda		
Naziv Polja	Tip polja	Opis
Id_proizvoda	Long Integer	Svaka serija proizvoda ima jedinstvenu vrednost za ovo polje. Koristi se kao primarni ključ.
Id_serije_proizvoda	Long Integer	Označava seriju jednog proizvoda koji je proizveden istog dana/smene/.....
Opis_serije_proizvoda	Tekst dužine 100	Opisuje seriju jednog istog proizvoda
Datum_proizvodnje	Date	Prikazuje datum proizvodnje serije jednog istog proizvoda
Rok_trajanja	Date	Prikazuje rok trajanja serije jednog istog proizvoda
Upotrebljiva_serija	YesNo	Na bazi provere podataka u polju Rok_trajanja1 iz tbl_Proizvodi i datuma proizvodnje automatski se cela serija može staviti da je neupotrebljiva
Neupotrebljiva_serija_opis	Tekst dužine 255	Opis zašto je serija neupotrebljiva
Napomena	Memo	U ovom polju se može uneti tekst proizvoljne dužine vezano za seriju proizvoda

U tabeli 6.3.7 je dat pregled strukture tabele prodajna mesta. U ovoj tabeli se može uneti neograničen broj prodajnih mesta.

Tabela 6.3.7: Struktura tabele prodajna mesta

Tabela tbl_Prodajna_Mesta		
Naziv Polja	Tip polja	Opis
Id_naziv_prodajnog_lanca	Long Integer	Svaki prodajni lanac ima jedinstvenu vrednost za ovo polje. Koristi se kao primarni ključ.
Id_naziv_prodajnog_mesta	Tekst dužine 100	Svaki prodajno mesto ima jedinstvenu vrednost za ovo polje. Koristi se kao primarni ključ.
Adresa_prodajnog_mesta	Tekst dužine 100	Označava adresu prodajnog mesta
Id_lokacija_prodajnog_mesta	Long Integer	Označava geografsku lokaciju prodajnog mesta
Opis_prodajnog_mesta	Tekst dužine 255	Opisuje prodajno mesto, npr. apoteka
Radno_Vreme	Tekst dužine 100	Radno vreme objekta
Neradni_dani	Tekst dužine 100	Neradni dani
Proizvodi_na_akciji	Long Integer	Oznake proizvoda na akciji
Napomena	Memo	U ovom polju se može uneti tekst proizvoljne dužine vezano za prodajno mesto

6.4 Istraživanja karakteristika postojećih rešenja zaštitnih elemenata

U nastavku su prikazana istraživanja fizičkih, hemijskih, mehaničkih i drugih uticaja na promenu stanja postojećih rešenja identifikatora. Takođe vršena su istraživanja karakteristika štampanih kodova, štampane elektronike i senzora, indikatora, boja i pigmenata, i grafičke ambalaže za potrebe proširene realnosti. Bitan segment istraživanja čine istraživanja vezana za karakteristike indikatora boja i pigmenata kroz uticaj toplote na promenu stanja temperaturnih indikatora, UV zračenja na promenu stanja UV indikatora i uticaj vlažnosti na promenu stanja hidrohromatskog indikatora. Ova istraživanja su u najvećoj meri korišćena u razvoju konačnog modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

6.4.1 Istraživanja karakteristika štampanih kodova grafičke ambalaže

Istraživanja štampanih kodova grafičke ambalaže su bazirana na istraživanjima jednodimenzionalnih i dvodimenzionalnih kodova koji se upotrebljavaju u grafičkoj ambalaži. Karakteristike koje su ispitivane su u uskoj vezi sa njihovom interakcijom sa mobilnim uređajima u smislu njihove čitljivosti, načina štampe i podataka koje nose.

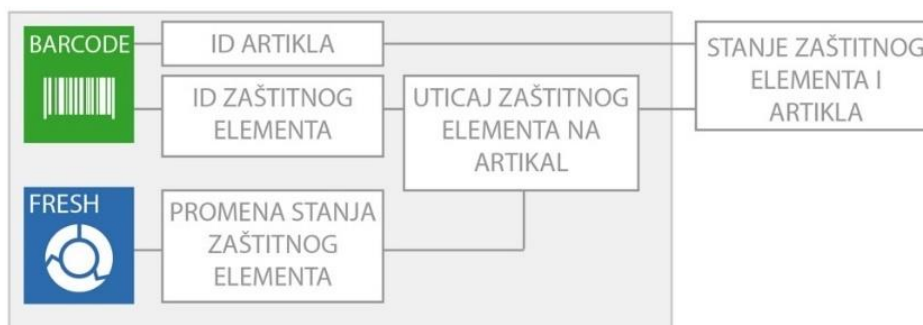
6.4.1.1 Barkod

U okviru istraživanja barkoda kao zaštitnog elementa grafičke ambalaže naglasak istraživanja se bazirao na podacima koje barkod u sistemu pametna ambalaža-mobilni uređaj može da nosi. Čitljivost barkodova nije ispitivana s obzirom na jednostavnost ovog sistema i na to da je očitavanje ovog zaštitnog elementa deo svakodnevnice.

„Open Product Data“ projekat predstavlja razvoj sveobuhvatnog izvora otvorenih podataka barkoda [OpenProductData, 2019]. Trenutno ova baza podataka broji više miliona proizvoda, može joj se pristupiti putem interneta kroz mobilne aplikacije ili preko izvornog koda koji se može preuzeti sa njihovog sajta putem Open Data Commons Open Database licence (ODbL).

U okviru istraživanja se pristupilo razvoju baze podataka informacijama koje nose barkodovi na postojećim proizvodima. Istraživanje je pokazalo da je moguće razviti novu bazu ili proširiti postojeće baze podataka sa informacijama o promeni stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže koji će uticati na promenu kvaliteta ili roka trajanja proizvoda.

U nastavku je primer algoritma očitavanja takve informacije (slika 6.4.1).



Slika 6.4.1: Primer algoritma očitavanja i povezivanja informacije o promeni stanja zaštitnog elementa i artikla

Primer baze podataka je dat u tabeli 6.4.1 pri čemu se primećuje da se na osnovu ID artikla koji se poziva očitavanjem barkoda mogu povezati podaci ne samo vezani za zaštitne elemente grafička ambalaže koji utiču na promenu stanja ambalaže već i druge informacije o samom proizvodu (tabela 6.3.3).

Tabala 6.4.1: Barkod baza podataka proizvoda proširena sa informacijama vezanim za zaštitne elemente čija promena stanja utiče na promenu stanja proizvoda

Tabela tbl_Proizvod		
Naziv Polja	Tip polja	Opis
Id_proizvoda	Long Integer	Svaki proizvod ima jedinstvenu vrednost za ovo polje. Koristi se kao primarni ključ.
Šifra_proizvoda	Tekst dužine 20	npr. A10.01.00001 A20.002.0001
Naziv_proizvoda	Tekst dužine 100	Npr. Krema za ruke
Naziv_slike_proizvoda	Tekst dužine 50	Ime file-a sa slikom proizvoda
Jedinica_mere	Tekst dužine 10	Npr. kom
Id_grupe	Long Integer	Veza sa tabelom Grupa proizvoda
Id_podgrupe	Long Integer	Veza sa tabelom Podgrupe proizvoda
BarCode	Tekst dužine 13	EAN 13 barkod
MasaNeto	Double	Neto masa proizvoda u gramima
MasaBruto	Double	Bruto masa proizvoda u gramima
Količina_Sekundarna_ambalaza	Double	Količina proizvoda koja se pakuje u sekundarnu ambalažu
Količina_Tercijalna_ambalaza	Double	Količina proizvoda koja se pakuje u tercijalnu ambalažu
Rok_trajanja1	Tekst dužine 255	Rok trajanja proizvoda iskazan u Rok_trajanja1_jm
Rok_trajanja1_jm	Tekst dužine 255	Dan, Mesec ili Godina
Nutritivne_vrednosti	Tekst dužine 255	Informacije o nutritivnim vrednostima proizvoda
Deklaracija	Tekst dužine 255	Deklaracija proizvoda
Zaštitni element grafičke ambalaže	Tekst dužine 255	U ovom polju se unose imena zaštitnih elemenata grafičke ambalaže koji utiču na promenu stanja proizvoda
Uticaj zaštitnih elemenata	Tekst dužine 255	U ovom polju se unosi način na koji utiče promena stanja zaštitnog elementa u smislu koje vrednosti promene spadaju u bezbednu zonu promene stanja
Napomena	Memo	U ovom polju se može uneti tekst proizvoljne dužine vezano za proizvod

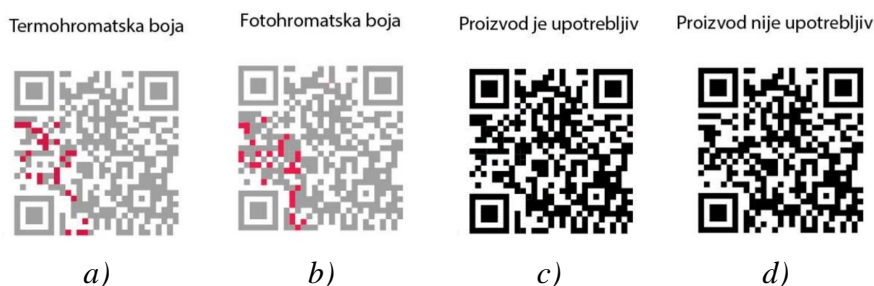
6.4.1.2 QR kod

U okviru aktuelnog stanja u oblasti istraživanja prikazani su rezultati čitljivosti QR kodova kao zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Ovi rezultati su osnova za odabir parametara štampe QR kodova konvencionalnim bojama i tehnikama štampe. Sa ciljem da se statična informacija koja se može očitati sa QR koda pretvori u promenljivu (dinamičku) informaciju pristupilo se istraživanjima upotrebe hromatskih boja prilikom štampe segmenata QR kodova.

Na taj način se otvara mogućnost da se formira QR kod koji daje jednu informaciju pre aktivacije hromatskih boja i drugu informaciju nakon aktivacije hromatskih boja na kodu. Oba QR koda se mogu čitati sa QR kod čitačem na mobilnom uređaju koji predstavlja opšte prihvaćenu besplatnu aplikaciju.

Prilikom razvoja rešenja kreirana su dva QR koda koji linkom vode do različitih URL adresa na kojima se nalaze informacije o stanju proizvoda. Jedan link vodi ka adresi na kojoj se nalazi HTML stranica sa informacijom da je proizvod upotrebljiv (<http://gridsvr.no-ip.org/gridftp/SmartPack/u.html>), drugi link vodi ka HTML stranici na kojoj se nalazi informacija da proizvod nije upotrebljiv (<http://gridsvr.no-ip.org/gridftp/SmartPack/n.html>). Nakon generisanja QR kodova pristupa se analiziranju polja jednog i drugog koda i pravi se slika zajedničkih polja. Na osnovu slike zajedničkih polja formira se površina za štampu konvencionalnom bojom. Sledeći korak je analiziranje razlika polja QR koda koji nosi informaciju da je proizvod upotrebljiv i slike zajedničkih polja na osnovu čega se formira polje za štampu hromatskom bojom koja u neaktivnom stanju poseduje obojenje. U slučaju ovog istraživanja to je termohromatska boja (slika 6.4.2a). Sledeći korak je analiziranje razlika polja QR koda koji nosi informaciju da proizvod nije upotrebljiv i polja slike zajedničkih polja na osnovu čega se formira polje za štampu drugom hromatskom bojom koja u aktivnom stanju poseduje obojenje. U slučaju ovog istraživanja to je fotohromatska boja (slika 6.4.2b).

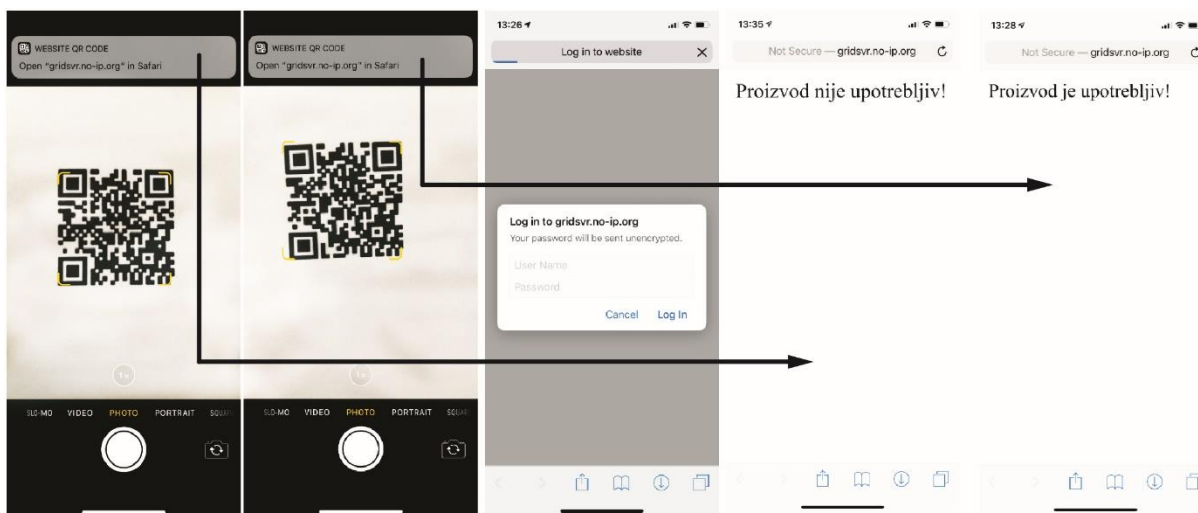
Stanje koda sa neaktivnim bojama označavaće da je proizvod ispravan i upotrebljiv (slika 6.4.2c), dok stanje koda sa aktivnim bojama predstavlja uticaj visoke temperature i UV zraka na proizvod i samim tim označavaće da proizvod nije upotrebljiv (slika 6.4.2d).



Slika 6.4.2: Prikaz zaštitnog elementa: a) termohromatski sloj boje, b) fotohromatski sloj boje, c) izgled zaštitnog elementa kada je proizvod upotrebljiv, d) izgled zaštitnog elementa kada proizvod nije upotrebljiv

Nakon testiranja čitljivosti ovih kodova metodom ispitivanja modula štampanih kodova prikazanom u okviru aktuelnog stanja u oblasti (slika 6.4.3), zaključeno je da je ovo rešenje primenljivo i da su rezultati čitljivosti u skladu sa prikazanim rezultatima u datim istraživanjima, te da su faktori kao što je veličina koda, podloga i dr. na isti način uticali na čitljivost ovih kodova.

Ograničenja po pitanju upotrebe ovakvog tipa zaštitnih elemenata bi se ogledala u tome da kodovi mogu da sadrže maksimalno dva različita uticajna parametra pri čemu oba moraju biti ispunjeni kako bi kod prikazivao tačno stanje.



Slika 6.4.3: Rezultati testiranja QR kodova uz pomoć QR Code čitača

Podaci za formiranje QR Code-a u bazi podataka

U nastavku je prikazano formiranje QR kodova na osnovu podataka iz baza prikazanih u poglavlju 6.3. QR kod može da se formira na dva načina tako da se pristupi relevantnim podacima iz baze:

- unosom podataka u vidu teksta ili
- unosom podataka u vidu URL adrese.

U slučaju unosa podataka u vidu teksta polje treba da sadrži samo Id_serije_proizvoda na bazi koga se mogu dobiti svi relevantni podaci o proizvodu:

- o seriji proizvoda iz tabele tbl_Serija_Proizvoda direktno čitajući podatke na bazi Id_serije_proizvoda gde se dobijaju podaci o Datum_proizvodnje kao i Rok_trajanja proizvoda (tabela 6.3.6),
- o opštim podacima za izabrani proizvod iz tabele tbl_Serija_Proizvoda učita se podatak Id_Proizvoda na bazi koga se čitaju podaci na bazi tbl_Proizvodi kao što su: Rok_trajanja1, Šifra_proizvoda, Naziv_proizvoda, Nutritivne_vrednosti, Deklaracija i dr.,
- na bazi podatka Rok_trajanja u tabeli tbl_Serija_Proizvoda može se proveriti upotrebljivost proizvoda - ukoliko se ustanovi da je istekao rok trajanja u bazu podataka u tabelu tbl_Serija_Proizvoda u polje Upotrebljiva_serija se upiše No, na taj način se cela serija označava da je neupotrebljiva, u polju Neupotrebljiva_serija_opis se unosi informacija da je istekao rok trajanja i
- na bazi podatka Rok_trajanja1 iz tabele tbl_Proizvodi i podatka o datumu proizvodnje (polje Datum_proizvodnje u tabeli tbl_Serija_Proizvoda) može se proveriti upotrebljivost proizvoda i u slučaju da nije upotrebljiva isto se upisuje vrednost No u polje Upotrebljiva_serija (tabela 6.3.3).

U slučaju unosa podataka u vidu URL adrese polje treba da sadrži web adresu baze podataka o proizvodu u sledećem opštem formatu:

```
web_adresa %p1 %p2 ... %pn
```

gde su:

```
web_adresa -      web_adresa baze podataka o proizvodima
```


`%p1 %p2 ... %pn` - parametri za pozivanje web aplikacije: podaci o proizvodu %p1, podaci o seriji proizvoda %p1, itd.

U prvoj fazi je dovoljno da se koristi jedan parametar koji bi predstavljao `Id_serije_proizvoda` na bazi koga se automatski učitavaju podaci o konkretnoj seriji proizvoda iz tabele `tbl_Serija_Proizvoda`, po potrebi i svi podaci o proizvodu iz tabele baze `tbl_Proizvodi`.

6.4.2 Istraživanja karakteristika štampane elektronike i senzora grafičke ambalaže

6.4.2.1 NFC

Kao rezultat istraživanja na temu upotrebe NFC elemenata kao zaštitnih elemenata grafičke ambalaže sastavljena je šema postupka kreiranja i programiranja NFC zaštitnog elementa. Kreiran je koncept nove ambalaže, HTML stranica sa sadržajem do kojeg vodi NFC zaštitni element.

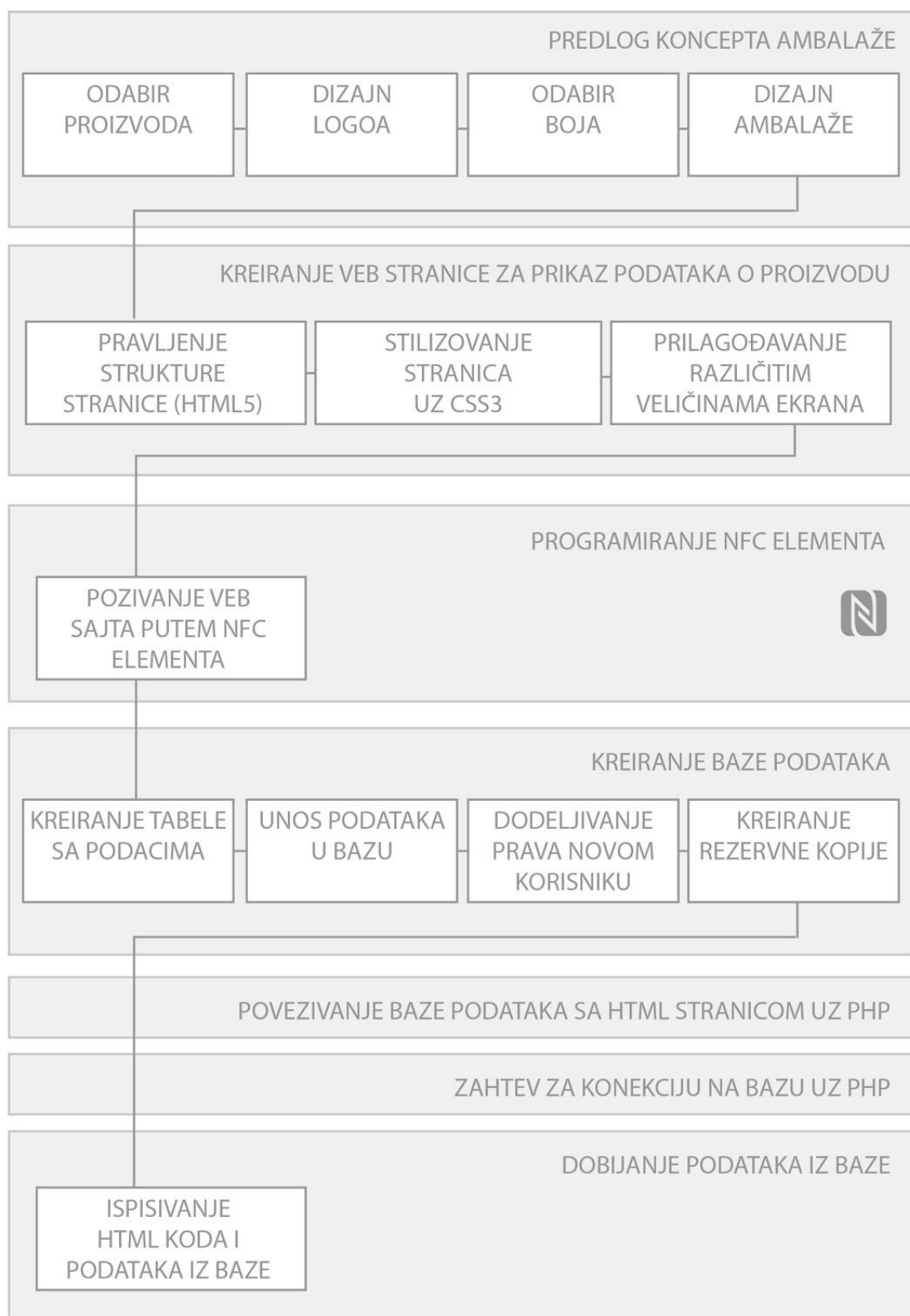
Prvi korak u kreiranju novog koncepta ambalaže je istraživanje već postojećih rešenja i diskusija o načinu postavljanja NFC oznake na ambalažu na bezbedan i jasan način. Sledi kreiranje dizajna ambalaže, zatim pravljenje web sajta koji sadrži informacije o proizvodima. Za pisanje koda korišćeni su HTML5, CSS3 i ceo sajt je prilagodljivog dizajna. Programiranjem NFC elemenata u adekvatnim aplikacijama prvo je upisan zahtev na oznaku, a zatim se omogućava da se očitava pametnim mobilnim uređajem [Jovičić, 2016].

Zatim je napravljena baza podataka koja sadrži više proizvoda, a na kraju, uz skriptni jezik PHP napisana je skripta kojom se baza podataka povezuje sa HTML stranicom i skripta preko koje se dobijaju podaci iz baze. Na slici 6.4.4 je prikazana šema ovog postupka.

Korak predloga koncepta ambalaže se sastoji iz četiri podkoraka, odabir proizvoda, dizajn logoa, odabir boja i dizajn ambalaže. Pri postupku kreiranja dizajna ambalaže na kojoj će biti na neki način ugrađena NFC oznaka uzeti su u obzir zaključci iz analiza postojećih primera da bi se došlo do novog što boljeg rešenja. Cilj je bio umanjiti bilo kakvu mogućnost zloupotrebe ili krivotvorenja, i u isto vreme osmisliti kvalitetno dizajnersko rešenje ubacivanja NFC oznake na ambalažu. Za primer ambalaže kreirano je rešenje koje je prikazano na slici 6.4.5. Strukturni i grafički dizajn ambalaže su kreirani korišćenjem EngView Package Designer-a, Adobe Illustrator-a i Adobe Photoshop-a.

Sledeći korak u izradi rešenja predstavlja kreiranje web sajta za prikaz podataka o proizvodu. Da bi se sastavio web sajt koji bi prikazivao podatke o proizvodu prilikom čitanja NFC elemenata na inteligentnoj ambalaži, upotrebljen je jezik za kreiranje osnovne strukture stranice, a to je HTML jezik, koji služi za opisivanje onoga što se vidi na web stranici, uključujući tekst, slike i njihov međusobni raspored.

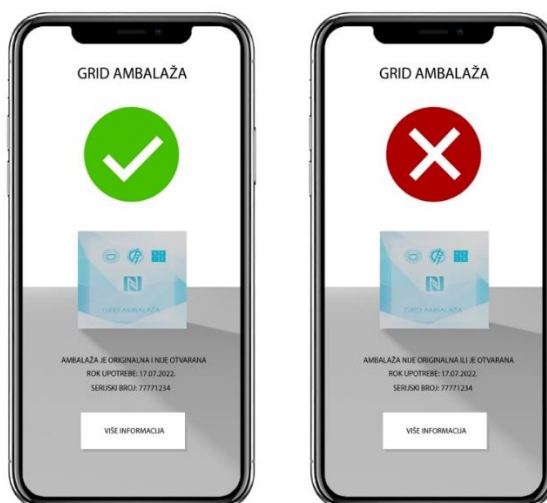
Definisanjem elemenata na stranici uz HTML, njihovim stilizovanjem uz CSS i poštovanjem principa dobrog dizajna, napravljena je početna strana za proizvod, gde se prikazuje da je ambalaža proizvoda originalna i nije otvarana, slika 6.4.6.



Slika 6.4.4: Šematski prikaz postupka kreiranja eksperimentalnog dela rada



Slika 6.4.5: Prikaz dizajna ambalaže



Slika 6.4.6: Izgled stranica pri očitavanju neotvorene i otvorene ambalaže proizvoda

U nastavku je dat deo HTML koda i objašnjeni su njegovi najvažniji delovi. Prva HTML stranica, koja bi se otvarala očitavanjem sa NFC oznake sadrži nekoliko osnovnih podataka i sliku proizvoda.

```

<h1>GRID Ambalaža</h1>
<p class="tekst"> Ambalaža proizvoda je originalna i nije otvarana. <br>
<span> Rok upotrebe:</span> 17. 07. 2022.<br>
<span> Serijski broj:</span> 77771234<br> </p>
```

U datom primeru se mogu videti dva selektora koji služe daljem stilizovanju preko CSS-a, a to su selektor klase i ID selektor. Element `<h>` služi da označi tekst koji je naslov. Element `<p>` služi da označi pasus. Koristi se za definisanje blokova teksta. Element `` služi za stilizovanje kratkih delova teksta koji se razlikuju od ostatka teksta. Element `` (`img` od `image`) služi da bi referencirali neku rastersku sliku, a samim tim naredili pregledaču da je prikaže.

Dalje, da bi se stranica u potpunosti formatirala, dobile željene dimenzije elemenata, boje i oblici, korišćeni su CSS stilovi koji će se pridružiti HTML stranici da bi se upotpunio celokupan izgled [Đurđević, 2018a].

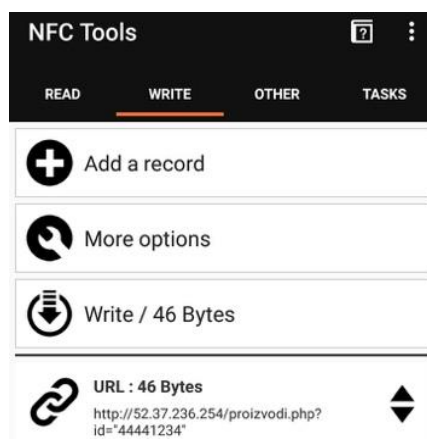
```
div.slika-d {
width:650px;
height:554px;
float:right;
background-image:url (images/11.png) ;
background-repeat:no-repeat; }
```

Slikama je zadata visina i širina, pozicija i određeno im je da se ne ponavljaju, pošto je to predefinisano svojstvo. „Float” je CSS svojstvo koje omogućava da element pomerimo iz normalnog toka dokumenta. Takođe, da bi se sav sadržaj korektno prikazivao na uređajima različitih veličina ekrana kao što su mobilni telefoni, tableti i računari, svi elementi su uz pomoć tehnika prilagodljivog dizajna (*eng. responsive design*) prilagođeni različitim veličinama ekrana.

Sledeći korak je činilo programiranje NFC elementa koje se vrši preko aplikacija koje su namenjene za to. Preko aplikacije je moguće snimiti mnoge informacije koje će biti kompatibilne sa bilo kojim NFC uređajem. Najčešća upotreba NFC oznaka je za programiranje određenih zadataka u cilju automatizacije aktivnosti koje se ponavljaju. Na primer, moguće je programirati oznaku tako da se samo prislanjanjem telefona smanjuje ili povećava zvuk, osvetljenje, alarm, uključuje ili isključuje internet i slično. Pored toga, moguće je vršiti i neke kompleksnije izmene.

Svojstvo koje je iskorišćeno za potrebe ovog eksperimenta je pozivanje web sajta. Za potrebe rada odabrane su dve aplikacije „NFC Tools“ koja se pokazala kao najbrža, sa specifikacijama koje su potrebne za ovaj rad i zbog pozitivnih recenzija drugih korisnika. Pomoću nje moguće je programirati željene opcije. Druga aplikacija koja je korišćena da bi se programirane opcije izvršile je „NFC Tasks“ [Đurđević, 2018a].

U konkretnom slučaju pozivanja neke web stranice putem NFC aplikacije, izabrana je opcija za dodavanje URL/URI tj. adrese koja vodi ka resursu na mreži, slika 6.4.7.

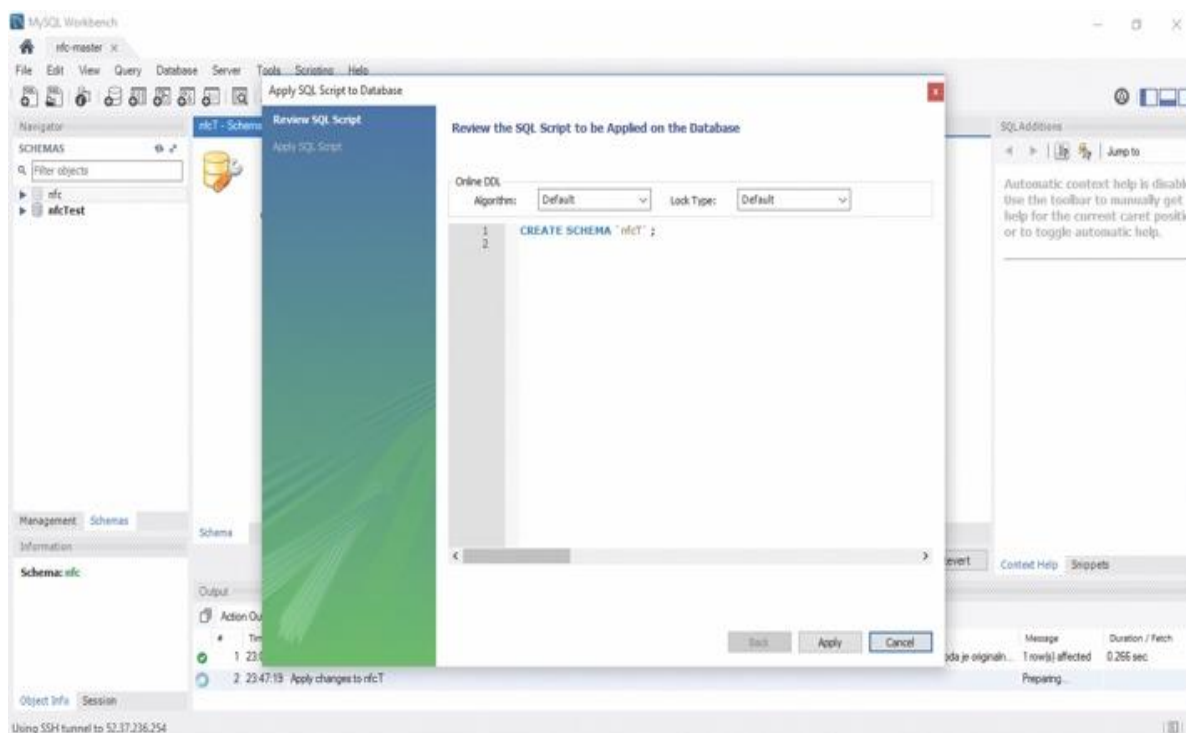


Slika 6.4.7: Izgled aplikacije „NFC Tools“ sa upisanom URL adresom [Đurđević, 2018a]

Po pokretanju aplikacije, izabrana je opcija write>add a record>URL/URI i u označeno polje je uneta adresa: `http://52.37.236.254/proizvodi.php?id=77771234`. Za web server korišćen je HTTP server „Apache”, verzija 2.4. Nakon toga, potrebno je bilo približiti NFC oznaku uređaju na koji su uneti podaci i automatski ih kopirati na memoriju oznake. Kada

je NFC oznaka programirana, potrebno je bilo upotrebiti neku aplikaciju koja će da čita te upisane instrukcije. Kao što je već napomenuto, u ovom slučaju izabrana je aplikacija „NFC Tasks“ koja je kompatibilna sa aplikacijom koja upisuje informacije. Dakle, kada mobilni uređaj pročita podatke koji su programirani na NFC oznaku, pomoću ove aplikacije će i da izvrši zadate instrukcije, konkretno, da otvori web stranicu koja je upisana.

U nastavku eksperimenta kreirana je baza podataka o proizvodima. Kreiranje baze je bilo moguće uraditi na više načina. U slučaju ovog eksperimenta povezivanje sa serverom baze podataka se odvijalo pomoću alata „MySQL Workbench“. Korišćeni su kredencijali „root“ korisnika koji ima najviša prava nad serverom baze podataka. Kada je baza napunjena podacima, slika 6.4.8, ostaje da se napravi rezervna kopija, kako bi u slučaju neželjene/slučajne izmene ili brisanja mogli lakše da se povrate potrebni podaci. Nakon što je baza kreirana, kreiran je i korisnik koji nema privilegije root korisnika.



Slika 6.4.8: Izgled aplikacije „MySQL Workbench“ pri dodavanju tabele [Đurđević, 2018a]

Kada NFC oznaka pristupa web sajtu, posredstvom PHP-a izvršava se jedan SELECT upit u bazu podataka kojim se dobijaju potrebni podaci na osnovu unetog ID odnosno serijskog broja proizvoda. Prema tome, potrebno je napraviti korisnika koji ima prava samo na SELECT upit. Time se preduzimaju neophodne mere bezbednosti, u slučaju da zlonamerni korisnik/napadač, dođe do kredencijala iz PHP fajla mogao bi samo da izlista artikle iz baze podataka i ne bi mogao da napravi nikakvu štetu (izmenu, brisanje, upisivanje u bazu).

U nastavku razvoja rešenja izvršeno je povezivanje baze podataka sa HTML stranicom. Kako se određeni podaci web sajta za prikaz podataka o proizvodu prilikom čitanja NFC elementa, nalaze u bazi podataka, potrebno je napraviti spregu između statičkih strana pisanih u HTML-u i same baze. U ovom slučaju korišćen je skriptni jezik PHP koji ima mogućnost povezivanja na bazu i mogućnost prikaza podataka iz baze podataka. U trenutku kada korisnik poseti PHP stranicu, web server automatski obrađuje PHP kod na osnovu kojeg određuje šta će prikazati korisniku. U nastavku je prikazan deo PHP koda za povezivanje baza sa HTML stranicom:

```
<?php
// Kreiranje konekcije
$conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
// Proveravanje konekcije
if ($conn->connect_error) {
die("Connection failed: " . $conn->connect_error); }
?>
```

Deo PHP koda stranice „proizvodi.php” preko koje se dobijaju podaci iz baze:

```
require_once('db_connect.php');
$id = $_GET['id'];
if (isset($id)) {
```

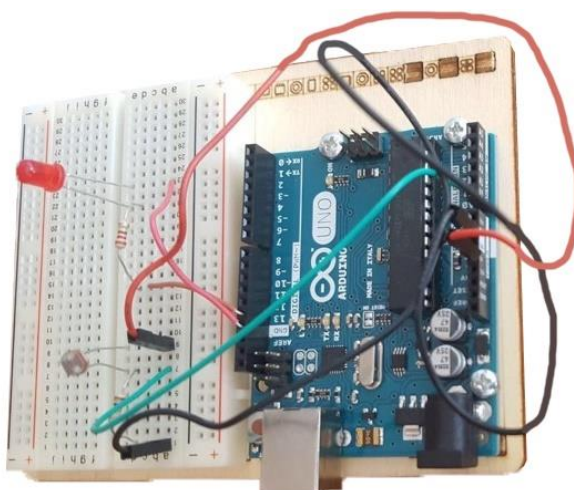
Promenljivu \$id dobijamo GET metodom odnosno iz samog linka. Klijent, što smo mi, posredstvom web pretraživača, klikom na neki link ili upisom adrese u pretraživač (u ovom slučaju pozivanjem linka NFC oznakom), serveru se šalje zahtev nekom od metoda kojima se potražuju podaci od njega. U konkretnom slučaju, serveru se šalje GET metod, u kom je sadržano polje ID iz baze podataka, na osnovu kojeg se bazi prosleđuje SELECT upit, a server baze podataka vraća podatke, koji se preko PHP-a ispisuju na stranici.

Dobijeni rezultati su pokazali da je moguće povezati ambalažne proizvode sa NFC oznakom putem mobilnog uređaja i baze podataka. Rezultati prikazuju i detaljno uputstvo kako je moguće to i izvesti.

6.4.2.2 Senzori

U okviru istraživanja senzorskih elemenata razvijen je koncept dva senzorska rešenja za primenu u ambalažnoj industriji. Rešenja su bazirana na korišćenju Arduino Starter Kit komponenti.

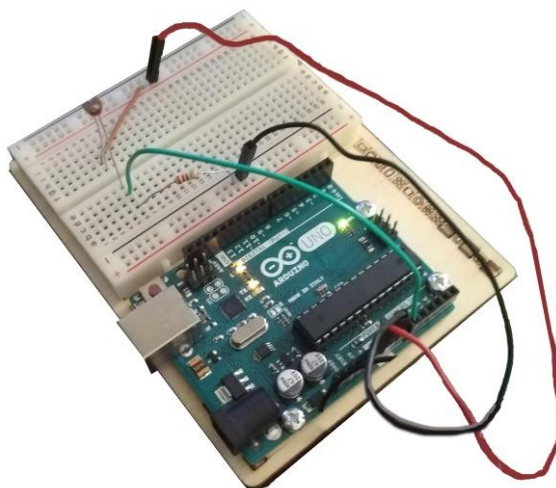
Prvo senzorsko rešenje (slika 6.4.9) je zasnovano na prepoznavanju određene količine svetlosti pa bi ovakvo rešenje primenu pronašlo kao indikator otvaranja ili oštećenja ambalaže npr. transportnih kutija.



Slika 6.4.9: Senzorsko rešenje za identifikaciju prisustva svetlosti unutar ambalaže

Drugo razvijeno rešenje je bazirano na primeni indikatora temperature, pa bi se pomoću istog mogla identifikovati temperatura unutar ambalaže (slika 6.4.10).

S obzirom da su rešenja zasnovana na primeni Arduino komponenti, integrisanjem komponenti otvara se mogućnost razvoja rešenja manjih gabarita a time i eventualnoj primeni ovih rešenja i u primarnoj ambalaži. Komunikacija između senzorskih komponenti i mobilnog uređaja je prethodno objašnjena u ovom poglavlju.



Slika 6.4.10: Senzorsko rešenje za identifikaciju temperature unutar ambalaže

Proces uz pomoć kojeg su napravljeni uređaji za prikaz informacija o toploti i količini svetlosti koja utiče na ambalažu je objašnjen u nastavku. Oba uređaja rade na sličnom principu, koristeći različite senzore (toplota i svetlost) Arduino početnog seta (eng. *Arduino Starter Kit*). Rešenja prikazuju samo delić onoga što bi se moglo u budućnosti osmisliti koristeći druge tipove senzora.

Za hardverski deo eksperimenta potrebni su Arduino ploča, prototipska ploča, otpornici, LED dioda, Svetlosni i toplotni senzori, kablovi za povezivanje i izvor struje (baterija ili USB kabl). Kako bi olakšalo situaciju i učinilo uređaj kompaktnijim i lakše prenosivim, i Arduino ploča i prototipska ploča su pričvršćene za drvenu ploču. Kako bi uređaj mogao uopšte da funkcioniše, potrebno je da svi elementi koji se postave i dodaju zatvaraju strujno kolo. Da bi se ovo postiglo koristi se prototipska ploča. Ova ploča na sebi sadrži mnogobrojne utičnice koje su označene (od a-j, 1-30 i +,-) kako bi korisniku olakšalo rukovanje sa njom. Bitno je znati da su utičnice koje su označene brojevima povezane provodnim materijalom. Na primer, ako spojimo dva elementa na utičnice kolone 5, oni će biti povezani bez ikakvih dodatnih kablova ili elemenata. Po istom principu funkcionišu i redovi koji su označeni „+“ i „-“. Ovi redovi se koriste da se iz Arduino ploče dovedu napajanje i uzemljenje u prototipsku ploču. Ovo je potrebno uraditi kako bi elementi zakačeni za prototipsku ploču mogli funkcionisati.

Kako bi uređaj mogao da funkcioniše, potrebno mu je napajanje. Arduino dobija napajanje pomoću USB kabla koji je zakačen za PC računar ili pomoću baterije od 9 V koja se dodatno kači za samu ploču što u ambalaži pronalazi veću mogućnost za primenu.

Kada je izvor napajanja definisan, bilo je potrebno dovesti napajanje i do prototipske ploče kako bi svi zakačeni elementi mogli da funkcionišu. Ovo se postiže pomoću provodnog kabla koji je sa jedne strane prikačen za utičnicu u Arduino ploči, a sa druge u jednu od kolona na prototipskoj ploči. Utičnica na Arduino koja služi za ovo je 5 V.

Kolona u kojoj je zakačen provodni kabl je tako dobila struju i u jednu od utičnica te kolone je bilo potrebno prikačiti jedan kraj svetlosnog senzora. Drugi kraj svetlosnog senzora je bio prikačen u utičnicu druge kolone. Kako svi elementi provode struju, na taj način je sada i druga kolona dobila struju.

Kako količina struje može biti prevelika za sam uređaj, bilo je potrebno kontrolisati je. Za ovo služi otpornik. Jedan kraj otpornika je bio zakačen za utičnicu gde je drugi kraj senzora, a drugi kraj se kačio za još jednu, dodatnu kolonu.

Iz ove, treće kolone, kako bi se zatvorilo strujno kolo, bio je priključen provodni kabl koji vodi nazad na Arduino ploču, u utičnicu GND, koja predstavlja uzemljenje.

Kako bi se vrednosti koje senzori očitavaju mogle prikazati na PC računaru u Arduino softveru, još jedan provodni kabl je bio prikačen. Jedan kraj je bio u koloni gde je jedan kraj svetlosnog senzora, a drugi u Arduino ploči, u utičnici A0. Utičnice A0-A5 predstavljaju mesta analognog inputa, mogu da prime informaciju i da je prikažu na kompjuteru ili na nekom dodatnom elementu (npr. LCD ekranu).

Za LED diodu koja služi kao indikator kada na ambalažu deluje neadekvatna svetlost ili temperatura, napravljeno je dodatno malo strujno kolo. Jedan provodni kabl je zakačen jednim krajem za Arduino ploču, na utičnicu 13. Drugim krajem se struja dovodi u kolonu na prototipskoj ploči. Sledeće je postavljen provodnik kako bi regulisao količinu struje koja prolazi kroz kolo, jednim krajem u utičnicu gde je dovedena struja, a drugim u novu kolonu. U toj novoj koloni je postavljena LED dioda. LED dioda ima posebne krajeve za napajanje i za uzemljenje, tako da je kraj za napajanje prikačen u ovoj koloni, a za uzemljenje na novoj. Na kraju, provodni kabl je prikačen na kolonu gde je uzemljenje LED diode i vodi nazad na Arduino ploču, u utičnicu GND. U slučaju kada se koristi toplotni senzor umesto svetlosnog, procedura sastavljanja uređaja je ista osim što toplotni senzor ima 3 pina umesto 2. Srednji pin služi da se u njegovu kolonu zakači provodni kabl koji vodi u utičnicu A0, za očitavanje informacija. Ovim procesom je uređaj sastavljen ali ne može da funkcioniše bez programskog koda.

Najbitniji deo Arduino ploče je kompjuterski deo. Ovaj deo je u stanju da primi veću količinu programskog koda i naredbi koje omogućavaju ploči da izvršava puno različitih i kompleksnih funkcija. Softver u kom se Arduino ploča programira zove se Arduino IDE. Programski kod se učitava u ploču putem USB kabla.

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) je aplikacija koje je napisana u programskom jeziku Java. Koristi se za pisanje i učitavanje programa i komandi na ploče koje su kompatibilne sa Arduinom, ali u nekim slučajevima može se koristiti i za ploče drugih proizvođača. Ova aplikacija je „open source“ i može se besplatno preuzeti sa Arduino sajta.

Posle instalacije softvera, pokreće se opcija File > New koja služi za otvaranje novog „sketch-a“. Ovako se nazivaju prozori u kojima se kucaju kodovi.

Kada se otvori novi sketch, primećuje se da u fajlu postoji kod koji je automatski učitani u softveru. Pisanje koda za Arduino podrazumeva da se piše 3 „bloka“. U delu „void setup()“ se upisuje deo koda koji služi da definiše neke parametre pisanog programa i ovo je komanda koja se pokreće jedanput tokom izvođenja koda. U delu „void loop()“ se upisuje deo koda koji će Arduino ploča izvršavati više ili beskonačno puta. U ovom delu će se obično nalaziti glavni deo koda. Treći blok zapravo nema svoj definisani deo već se piše pre dva void dela. U tom delu koda definišemo promenljive i zadajemo vrednosti nekim parametrima ukoliko je to potrebno.

U nastavku je prikazan deo koda potreban za funkcionisanje senzora toplote.

```
const int temperaturePin = 0;

void setup () {
  Serial.begin(9600);

  void loop() {
    float voltage, degreesC;
```

```
voltage = getVoltage(temperaturePin);
degreesC = (voltage - 0.5) * 100.0;
Serial.print("voltage: ");
Serial.print(voltage);
Serial.print(" deg C: ");
Serial.println(degreesC);

delay(1000);
}
float getVoltage(int pin) {
return (analogRead(pin) * 0.004882814);
}
```

U nastavku je prikazan deo koda potreban za funkcionisanje senzora svetlosti.

```
#define lightSensor A0

void setup () {
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
int lightLevel = analogRead (lightSensor);
Serial.println(lightLevel);
delay(1000);
}
```

6.4.2.3 Beacon-i

U okviru istraživanja vezanih za primenu Beacon tehnologije razvijena je metodologija kreiranja informacije koja se šalje putem ove tehnologije. Postupak se sastojao iz više koraka, a u nastavku je objašnjen.

Nakon aktiviranja Beacon uređaja potrebno je otvoriti mobilnu aplikaciju za kreiranje sadržaja na Beacon uređaju. Aplikacija se naziva FeasyBeacon [FeasyBeacon, 2019] i nalazi se na Google Play i AppStore prodavnici. Aplikacija prepoznaje aktivne Beacon uređaje u okolini. Izborom opcije Settings i ukucavanjem podrazumevane početne šifre uređaja „0000“, nakon pristupanja opcijama za podešavanje moguće je promeniti naziv Beacon uređaju kako bi se mogao prepoznati ambalažni proizvod za koji je ovaj Beacon povezan. Moguće je promeniti podrazumevanu šifru kako bi se izbegla mogućnost da korisnici promene sadržaj za koji je Beacon povezan. Nakon izbora opcije za dodavanje tipa Beacon-a, moguće je izabrati četiri opcije:

UID - daje mogućnost unošenja 128 znakova,

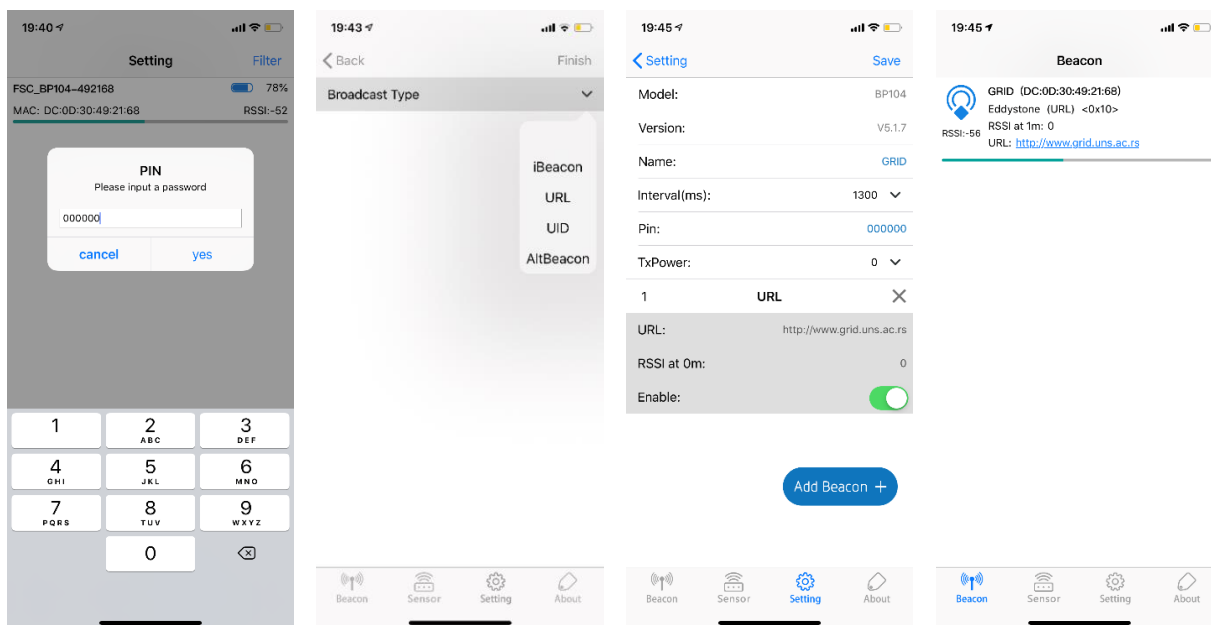
URL - omogućava unos web adrese koja je povezana sa datim proizvodom koji sa uređaja Beacon šalje informaciju.

iBeacon - Apple standard koji dozvoljava mobilnim aplikacijama da pretražuju signale sa Beacon uređaja u fizičkom svetu i reaguju na njih trenutno putem notifikacije.

AltBeacon - opšti protokol koji definiše format poruke koja se šalje kao reklama na mobilne uređaje u blizini.

Nakon aktiviranja URL opcije potrebno je pokrenuti deo u aplikaciji za pretraživanje Beacon signala ili neku drugu aplikaciju za očitavanje Beacon signala kao što je npr. aplikacija „Physical Web“ [PhysicalWeb, 2019] koja putem Eddystone protokola omogućava da se link koji je unet u URL adresu očita u aplikaciji. Na slici 6.4.11 je prikazan deo ekrana za unošenje URL adrese kao i deo ekrana za pretraživanje Beacon signala.

Treba napomenuti da se data tehnologija može koristiti i za odašiljanje bilo koje druge informacije koja se može pokupiti sa senzora unutar ambalaže, pa je dato istraživanje u uskoj vezi sa istraživanjima vezanim za Arduino senzore i u daljim istraživanjima se može razmatrati njihovo povezivanje u integrisan sistem za davanje informacija o proizvodu unutar pametne ambalaže opremljene sensorima i Beacon uređajem.



Slika 6.4.11: Podešavanje URL adrese Beacon uređaja i očitavanje signala

6.4.3 Istraživanja karakteristika indikatora, boja i pigmenata pametne ambalaže

U nastavku su prikazana istraživanja vezana za karakteristike indikatora boja i pigmenata pametne ambalaže. Istraživanja su sprovedena na indikatorima pametne ambalaže, termohromatskim, hidrohromatskim i fotohromatskim bojama.

6.4.3.1 Indikatori pametne ambalaže

Kontrola svežine upakovanog proizvoda je glavni zadatak indikatora pametne ambalaže. Jasno je da primena savremene tehnologije otvara velike mogućnosti za dalji razvoj, ali najčešće na samom početku primene vodi ka povećanju cene koštanja krajnjeg proizvoda. Trenutno prisutna rešenja elemenata za ovu namenu se nalaze u obliku pametnih nalepnica koje se apliciraju na grafičku ambalažu. Pametne nalepnice npr. mogu činiti indikatori vremena i temperature (TTI), koji informaciju o promeni vremena i temperature identifikuju promenom boje tela indikatora usled različitih fizičkih i hemijskih uticaja [Đurđević, 2015d].

Cilj istraživanja indikatora pametne ambalaže je razvoj baze znanja o indikatorima i njihovim tehnološkim parametrima i načinu identifikacije kroz razvoj aplikacije za objektivno ocenjivanje parametara stanja proizvoda na osnovu digitalne obrade slike dobijene putem kamere savremenih mobilnih uređaja.

Prilikom razvoja rešenja uzeti su u obzir sledeći promenljivi parametri:

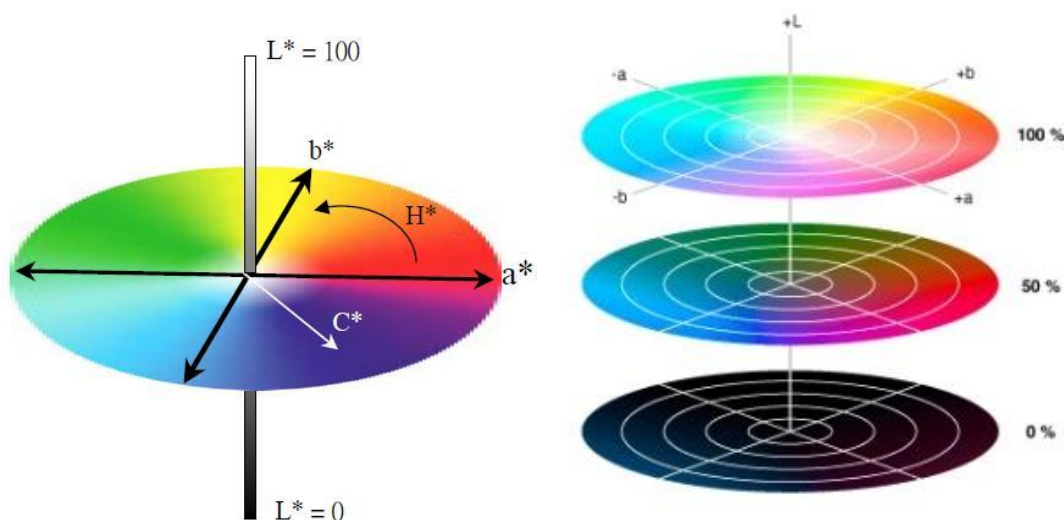
- Rezolucija fotografije načinjene pametnim uređajem,
- Fokus kamere, udaljenost kamere od nalepnice koja se fotografishe i
- Zakrivljenost fotografije, nesavršenost pozicije kamere tokom fotografisanja.

Nakon analize ovih parametara zaključuje se da je potrebno postaviti na ambalaži referencu za fotografisanje kao i referencu na ekranskom prikazu koja će dovesti kameru u odgovarajuću poziciju i nakon toga izvršiti fotografisanje.

Jasno je da mobilni uređaji razumeju boje na nivou RGB sistema. Prilikom svake detaljne analize razlike u boji koristi se CIELab sistem i pojam razlike u boji ΔE . Postoje pokušaji prilagođavanja mobilnih uređaja (pametnih telefona) da zabeležene fotografije preslikavaju iz RGB sistema u CIELab. Rešenja su koncipirana na:

- priključivanju dodatnih uređaja na mobilni telefon [NIXSENSOR, 2015] i
- kalibraciji uređaja pomoću test karti [Techkon, 2015].

S obzirom da telo indikatora vremena i temperature sa promenom svežine boju menja između dve vrednosti, na primer crvene i zelene. Pretpostavlja se da bi za potrebe merenja razlike između boja svođenje na dvodimenzionalni prostor boja bilo zadovoljavajuće. To bi značilo da se u okviru CIELab sistema isključuje (neutralizuje) vrednost svetline. Prelazi se u 2D prostor koji je definisan površinom CIELab sistema koja definiše ton uzorkovane boje (slika 6.4.12).



Slika 6.4.12: CIELab sistem boja i prikaz promene svetline tonova

Kao što je već napomenuto promena boje indikatora se zasniva na promeni tona tela indikatora od vrednosti jedne do vrednosti druge referentne tačke. Ton indikatora definisan u RGB sistemu je relativan i zavisi od sledećih faktora [Đurđević, 2015d]:

- spoljašnjeg osvetljenja kome je izložen uzorak,
- dodatnog osvetljenja uređaja (blic kamere),
- kvaliteta štampe referentnih tačaka indikatora,
- karakteristika podloge na kojoj se štampaju referentne tačke i
- karakteristika materijala koji je korišćen kao telo indikatora.

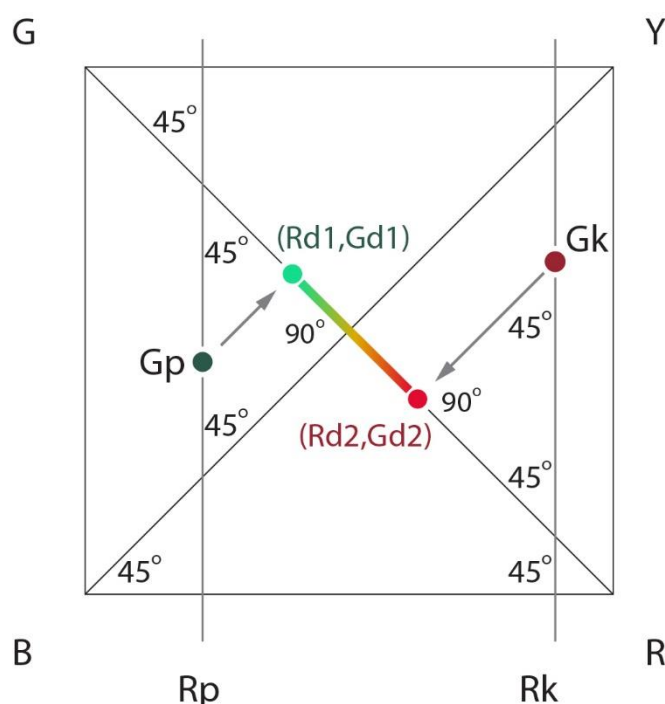
Na primeru indikatora (eO)[®] TTI [Ytally, 2008] promena boje indikatora je u okviru gradijentnog prelaza između zelene i crvene boje. Dati primer indikatora je predmet za postavljanje konceptualnog rešenja objektivne identifikacije svežine pomoću softverskog rešenja [Đurđević, 2015d].

Osnova razvoja sistema za identifikaciju stanja indikatora pametne ambalaže je formiranje gradijentne skale za analizu svežine. Prilikom definisanja polazne i krajnje tačke gradijentne skale vodilo se referentnim tačkama na indikatoru (Slika 6.4.13).



Slika 6.4.13: Pozicije referentnih vrednosti i vrednosti tela indikatora svežine na primeru indikatora

Kamera uređaja beleži ove tačke i uzima tačno definisani bezbedan krug piksela koji aproksimacijom daje referentnu RGB vrednost. Za polaznu tačku naznačićemo tu vrednost kao (R_p, G_p, B_p) , a za vrednost krajnje tačke naznačićemo tu vrednost kao (R_k, G_k, B_k) . Ove vrednosti se projektuju na dijagonalu koju obrazuju R i G vrednosti. Kako bismo RGB vrednost sveli na RG vrednost potrebno je da projektujemo uzorkovanu vrednost na dijagonalu i isključimo vrednost B (slika 6.4.14).



Slika 6.4.14: Projektovanje RG vrednosti referentnih tačaka na dijagonalu

Nakon geometrijske analize dolazi se do matematičkih relacija za projektovanje RG uzorkovanih vrednosti na dijagonalu prikazanih u formulama (3,4) [Đurđević, 2015d].:

$$R_d = (R + (255 - R_u - G_u)) / 2 \quad (3)$$

$$G_d = (G + (255 - R_u - G_u)) / 2 \quad (4)$$

Promenljive u formulama (3,4) su prikazane u nastavku:

Rd - Vrednost pozicije crvenog kanala projektovane tačke na RG dijagonali (ima vrednost između 0 i 255),

Gd - Vrednost pozicije zelenog kanala projektovane tačke na RG dijagonali (ima vrednost između 0 i 255),

Ru - Uzorkovana vrednost crvenog kanala i

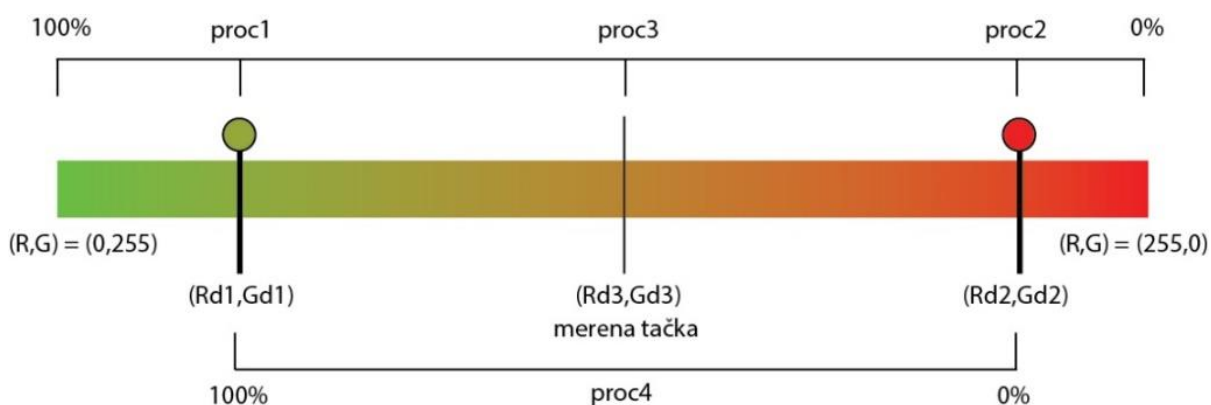
Gu - Uzorkovana vrednost zelenog kanala.

Formule su proistekle iz činjenice da je pomeraj Rp i Gp vrednosti u odnosu na polazne jednak visini jednakokrakog trougla, s obzirom da su uglovi 45° , što se vidi na slici 6.4.14.

Nakon projektovanja referentnih tačaka biće utvrđene njihove pozicije na dijagonali, a sledeći korak bi bilo projektovanje uzorkovane boje indikatora na skalu. Ta boja bi se svakako nalazila između datih referentnih vrednosti, a zadatak bi bio odrediti procentualno gde se nalazi projekcija tačke u odnosu na projekcije referentnih tačaka.

Na ovaj način su napomenuti faktori koji utiču na definisanje RGB vrednosti zanemareni jer jasno je da će sve tri tačke koje se uzorkuju biti izložene istim uslovima i da će upravo dati uslovi uticati na svaku od tačaka.

Jedini faktor koji može uticati na merenje može biti spektralna karakteristika boje koja se meri i osobina svake boje da reflektuje određeni spektar, a da difunduje drugi deo spektra. Pretpostavka je da će ova osobina boje na podlozi uticati na pomeraj dijagonale, ali da neće u velikoj meri uticati na kvalitet određivanja pozicije boje indikatora koja se meri. Pretpostavka je bazirana na činjenici da će se i ta boja ponašati drugačije sa promenom svoje boje tokom vremena i u određenom trenutku spektralne karakteristike ove boje će biti približnije spektralnim karakteristikama zelene boje, a pri prolasku polovine dijagonale te karakteristike će više odgovarati crvenoj boji, jer će i sama uzorkovana boja biti „crvenija“ (slika 6.4.15.).



Slika 6.4.15: Dijagonala promenljivosti boje indikatora sa početnim i krajnjim vrednostima

U nastavku je prikazan kod za definisanje procenta svežine. Prilikom definisanja koda u programu Matlab prvo je kreirana funkcija kojom će program izračunavati procenat u odnosu na celu dijagonalu. Na taj način se može definisati procenat početne i krajnje referentne tačke, a između njih kreirati novi opseg svežine čiji će se procenat kretati od 0 do 100. Funkcija predstavlja primenu matematičke relacije za projektovanje tačaka na dijagonalu za merenje svežine [Đurđević, 2015d].

```
function [ Ro,Go,proc ] = transliranje( Ri, Gi )
Ro=Ri+(255-Ri-Gi)/2;
Go=Gi+(255-Ri-Gi)/2;
```

```
proc=100-Ro/255*100;
end
```

S obzirom da će se nakon svođenja referentne početne i krajnje tačke na RG vrednost one u najvećem broju slučajeva naći udaljeno od tačaka $(R, G) = (0, 255)$ i $(R, G) = (255, 0)$ potrebno je bilo kreirati funkciju koja će u obzir uzimati upravo te vrednosti kao početne i krajnje.

```
function [ Rd1,Gd1,Rd2,Gd2,Rd3,Gd3, proc1, proc2, proc3, proc4 ] =
transliranje( Rdi1, Gdi1, Rdi2, Gdi2, Rdi3, Gdi3 )
Rd1=Rdi1+(255-Rdi1-Gdi1)/2;
Gd1=Gdi1+(255-Rdi1-Gdi1)/2;
Rd2=Rdi2+(255-Rdi2-Gdi2)/2;
Gd2=Gdi2+(255-Rdi2-Gdi2)/2;
Rd3=Rdi3+(255-Rdi3-Gdi3)/2;
Gd3=Gdi3+(255-Rdi3-Gdi3)/2;
proc1=100-Rd1/255*100;
proc2=100-Rd2/255*100;
proc3=100-Rd3/255*100;
proc4=(proc3-proc2)*100/proc1-proc2;
end
```

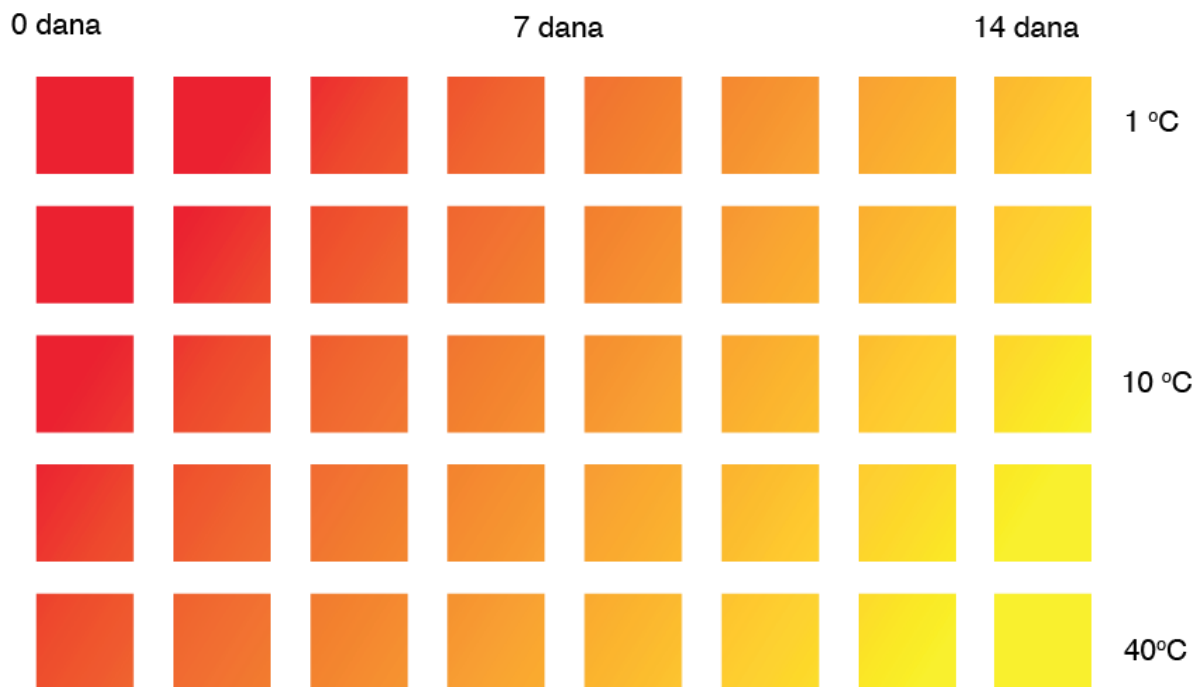
U ovoj funkciji figurišu sledeće promenljive:

- Rd1 - Vrednost R kanala zelene referentne tačke na dijagonali (od 0 do 255),
- Gd1 - Vrednost G kanala zelene referentne tačke na dijagonali (od 0 do 255),
- Rd2 - Vrednost R kanala crvene referentne tačke na dijagonali (od 0 do 255),
- Gd2 - Vrednost G kanala crvene, referentne tačke na dijagonali (od 0 do 255),
- Rd3 - Vrednost R kanala tela indikatora čija se vrednost poredi na dijagonali (od 0 do 255),
- Gd3 - Vrednost G kanala tela indikatora čija se vrednost poredi na dijagonali (od 0 do 255),
- Proc1 - procenat zelene referentne tačke (od 0 do 100), ovaj procenat je dobijen u odnosu na početak i kraj dijagonale posmatrano od crvene boje $(R, G)=(255 \text{ do } 0)$,
- Proc2 - procenat crvene referentne tačke (od 0 do 100), ovaj procenat je dobijen u odnosu na početak i kraj dijagonale posmatrano od crvene boje $(R, G)=(255, 0)$,
- Proc3 - procenat tela indikatora (od 0 do 100), ovaj procenat je dobijen u odnosu na početak i kraj dijagonale posmatrano od crvene boje $(R, G)=(255, 0)$ i
- Proc4 - procenat tela indikatora (od 0 do 100), ovaj procenat je dobijen u odnosu na tačke $(Rd1, Gd1)$ i $(Rd2, Gd2)$. Kao što se može videti iz formule prilikom proračuna su korišćene vrednosti proc1, proc2 i proc3 (Slika 6.4.15).

Za jedan ovakav sistem dat je primer tonske karte za kontrolu stanja proizvoda, treba napomenuti da je indikator osetljiv i na proteklo vreme i na povišenje temperature (slika 6.4.16).

Rezultat istraživanja je postavljanje šeme razvoja mobilne aplikacije korišćene pri razvoju aplikacije za identifikaciju stanja svežine proizvoda unutar ambalaže koju odlikuje prisustvo savremenih rešenja TTI indikatora. Razumevanje šeme je osnova za pravilan razvoj ideje prilikom projektovanja aplikacije za mobilne uređaje [Đurđević, 2014a]. Programerski deo aplikacije se analizira kroz prikaz ulaznih parametara o kojima se mora razmišljati prilikom izrade aplikacije koja za komunikaciju sa objektom iz okruženja koristi kameru mobilnog uređaja. Prikazani su faktori koji utiču na promenljivost parametara boje uzorkovane slike indikatora unutar RGB sistema boja i postavljaju mogućnosti prevazilaženja varijabilnosti.

Prikazana je razvijena gradijentna skala za ocenu vrednosti boje TTI indikatora u odnosu na referentne vrednosti boje indikatora kod potpuno svežeg i neupotrebljivog proizvoda. Osnova razvoja gradijentne skale je formiranje matematičke relacije za projektovanje uzorkovanih vrednosti tri boje na dijagonalu koje formiraju gradijent između dve boje. Prikazan je razvijen programski kod za definisanje procenta svežine na osnovu boje indikatora pametne ambalaže.



Slika 6.4.16: Tonska karta za kontrolu stanja svežine proizvoda

6.4.3.2 Pametne boje

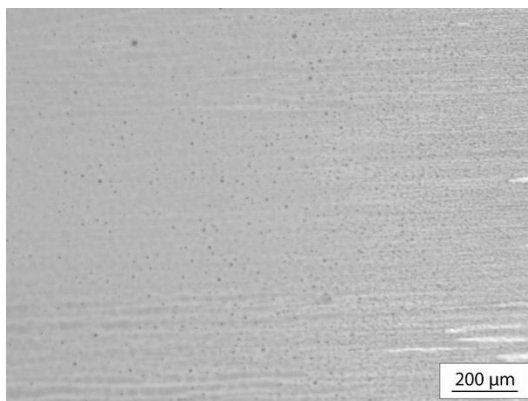
U nastavku rada su prikazani rezultati istraživanja pametnih boja koje se koriste za štampu identifikacionih zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Zbog obima rezultati merenja svih uzoraka su dati u elektronskom obliku u prilogu 1.

Grindometarska analiza grafičkih boja

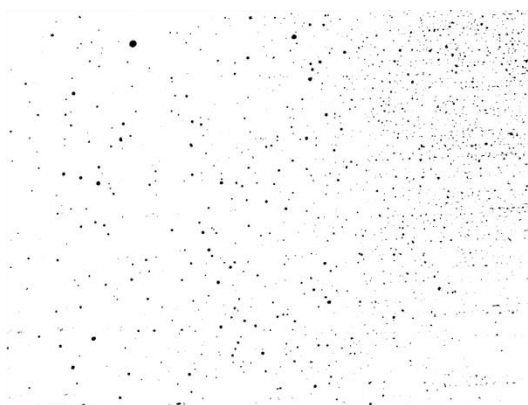
Rezultati grindometarske analize veličina čestica pigmenata ispitivanih grafičkih boja pokazuju da su najveće čestice konvencionalne cijan grafičke boje prečnika između 10 i 15 μm , dok su prečnici najvećih čestica fotohromatske magenta i termohromatske crne grafičke boje od 15 do 20 μm i manje od 5 μm , redom.

Optička mikroskopska analiza konvencionalne cijan grafičke boje

Mikrografske snimke konvencionalne cijan grafičke boje i mikrografske fotografije dobijene u ImageJ programu prikazani su na slikama 6.4.17 i 6.4.18, redom. Rezultati pokazuju da čestice pigmenata cijan grafičke boje imaju okruglu geometriju.



Slika 6.4.17: Mikrografski snimak konvencionalne cijan grafičke boje



Slika 6.4.18: Mikrografska fotografija konvencionalne cijan grafičke boje u ImageJ programu

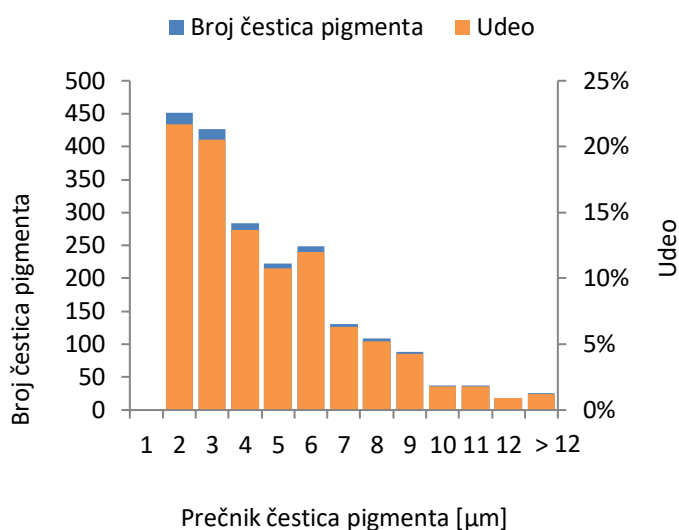
Na osnovu mikrografske fotografije obrađene u ImageJ programu dobijene su sledeće karakteristike (tabela 6.4.2): prečnik, broj, udeo, ukupan broj (Nčp), prosečna veličina i ukupna površina (Pčp) čestica pigmenta konvencionalne cijan grafičke boje, kao i procenat površine koju čestice pigmenta zauzimaju u odnosu na ukupnu površinu cijan grafičke boje (%Pčp/Pboje).

Na osnovu softverske analize mikrografske fotografije dobijena je raspodela veličina čestica pigmenta konvencionalne cijan grafičke boje, koja je prikazana na slici 6.4.19. Dobijeni rezultati raspodele veličina čestica pigmenta konvencionalne cijan grafičke boje pokazuju da u uzorku boje nisu prisutne čestice pigmenta sa prečnikom manjim od 1 μm. Raspodela veličina čestica pokazuje da 85% čestica pigmenta konvencionalne cijan boje ima prečnike u intervalu od 1 do 7 μm. Kriterijum za odabir intervala prečnika detektovanih čestica je udeo frakcije pojedinačnih prečnika veći od 5%. Tako, 22% čestica imaju prečnik u interval od 1 do 2 μm, dok 20% čestica je sa prečnikom u intervalu od 2 do 3 μm. Takođe, 14% čestica poseduje prečnik u intervalu od 3 do 4 μm, 11% u intervalu od 4 do 5 μm, 12% u intervalu od 5 do 6 μm i 6% u intervalu od 6 do 7 μm.

U odnosu na ukupan broj (2080) čestica pigmenta konvencionalne cijan grafičke boje 15% čestica ima prečnike veće od 7 μm. Kako su udeli frakcija pojedinačnih prečnika navedenih čestica u intervalu od 1 do 5%, dobijeni rezultati pokazuju da su čestice prečnika većeg od 7 μm aglomerati osnovnih čestica pigmenta date boje. Takođe, i softverski određena prosečna veličina čestica (10,77 μm) pigmenta konvencionalne cijan boje ukazuje na aglomerizaciju manjih čestica pigmenta.

Tabela 6.4.2.: Karakteristike čestica pigmenta cijan grafičke boje na osnovu softverske analize

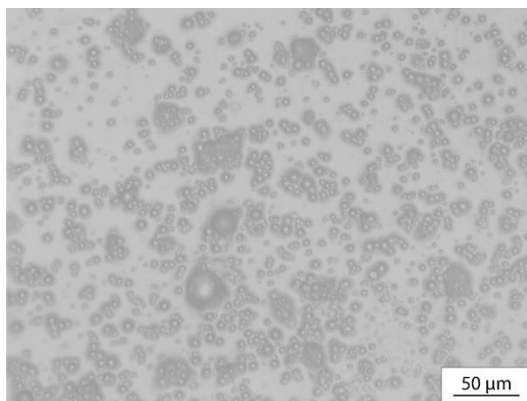
Prečnik (μm)	Broj čestica	Udeo (%)
1	0	0
2	451	22
3	427	20
4	284	14
5	223	11
6	249	12
7	131	6
8	108	5
9	89	4
10	37	2
11	37	2
12	19	1
> 12	25	1
Nčp	2080	100
Prosečna veličina čestica pigmenta (μm)	10,77	
Pčp (μm^2)	22393,19	
Pčp/Pboje (%)	1,17	



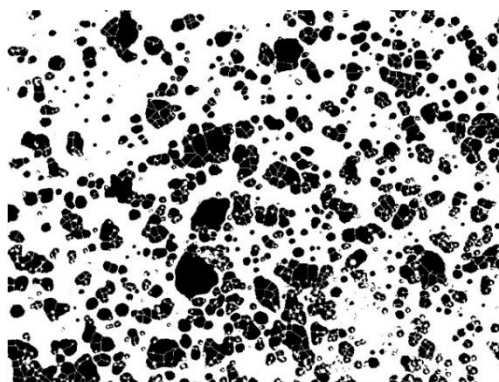
Slika 6.4.19: Raspodela veličina čestica pigmenta konvencionalne cijan grafičke boje

Optička mikroskopska analiza fotohromatske magenta grafičke boje

Mikrografski snimak i fotografija magenta fotohromatske grafičke boje su prikazani na slikama 6.4.20 i 6.4.21, redom. Analiza mikrografskog snimka i njene fotografije pokazuje da sitnije čestice pigmenta fotohromatske magenta grafičke boje imaju okruglu, dok krupnije čestice imaju nepravilnu geometriju što ukazuje na aglomerizaciju čestica pigmenta.



Slika 6.4.20: Mikrografski snimak fotohromatske magenta grafičke boje



Slika 6.4.21: Mikrografska fotografija fotohromatske magenta grafičke boje u ImageJ programu

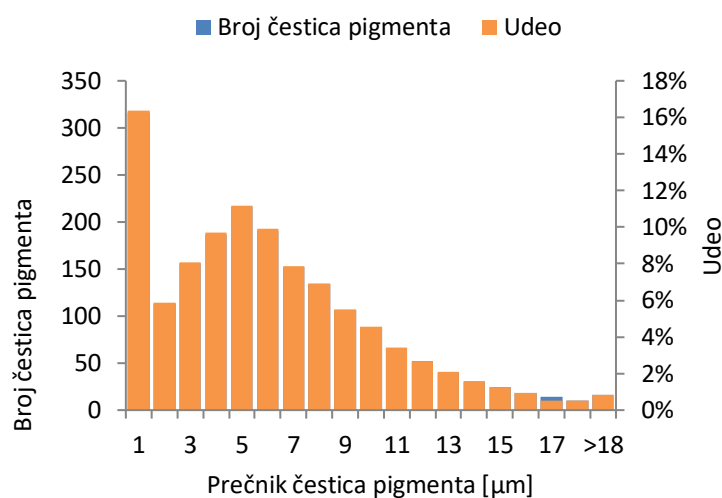
Prečnik, broj, udeo, ukupan broj (Nčp), prosečna veličina i ukupna površina (Pčp) čestica pigmenta fotohromatske magenta grafičke boje, kao i procenat površine koju čestice pigmenta zauzimaju u odnosu na ukupnu površinu fotohromatske magenta grafičke boje (%Pčp/Pboje) dobijeni su na osnovu obrade mikrografske fotografije u ImageJ programu (tabela 6.4.3).

Raspodela veličina čestica pigmenta fotohromatske magenta grafičke boje (slika 6.4.22) pokazuje da 76% čestica pigmenta imaju prečnike u interval od 1 do 8 μm . Kriterijum za odabir intervala prečnika detektovanih čestica je veći od 5% udela frakcije pojedinačnih prečnika. Najveći broj čestica sa udelom od 16% ima prečnike u intervalu do 1 μm . Čestice pigmenta sa veličinom prečnika od 4 do 5 μm su zastupljene 11%, dok su čestice sa prečnicima od 3 do 4 μm i 5 do 6 μm zastupljene sa po 10%. Sa udelom od 8% su zastupljene čestice pigmenta sa prečnicima u intervalu od 2 do 3 μm i 6 do 7 μm . Čestice pigmenta sa prečnicima od 7 do 8 μm su zastupljene samo 7% do su sa najmanjim udelom od 6% čestice prečnika od 1 do 2 μm .

U odnosu na ukupan broj (1929) čestica pigmenta fotohromatske magenta grafičke boje, 24% čestica imaju prečnike veće od 8 μm . Takođe, udeli frakcija pojedinačnih prečnika navedenih čestica, u interval od 0,5 do 5%, pokazuju da su čestice prečnika većeg od 8 μm aglomerati osnovnih čestica pigmenta date boje. Takođe, i prosečna veličina čestica pigmenta fotohromatske magenta boje (21,75 μm) potvrđuje aglomerizaciju osnovnih čestica.

Tabela 6.4.3: Karakteristike čestica pigmenta fotohromatske magenta grafičke boje primenom softverske analize

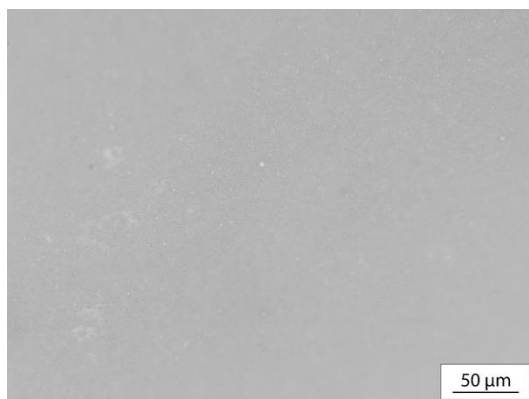
Prečnik (μm)	Broj čestica	Udeo (%)
1	316	16
2	113	6
3	156	8
4	187	10
5	216	11
6	191	10
7	152	8
8	134	7
9	106	5
10	88	5
11	66	3
12	52	3
13	40	2
14	30	2
15	24	1
16	18	1
17	14	0,5
18	10	0,5
> 18	16	1
Nčp	1929	100
Prosečna veličina čestica pigmenta (μm)	21,75	
Pčp (μm^2)	41965,56	
Pčp/Pboje (%)	34,71	



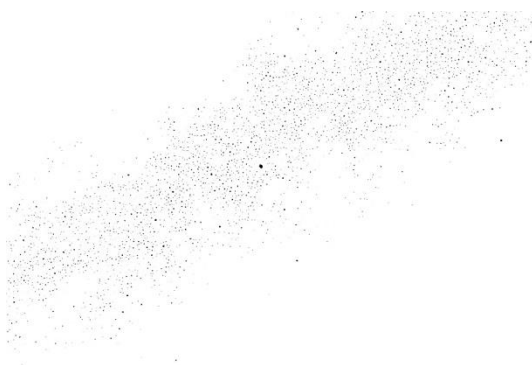
Slika 6.4.22: Raspodela veličina čestica pigmenta fotohromatske magenta grafičke boje

Optička mikroskopska analiza termohromatske crne grafičke boje

Mikrografski snimak termohromatske crne grafičke boje i mikrografska fotografija dobijena u ImageJ programu prikazani su na slikama 6.4.23 i 6.4.24, redom. Čestice pigmenata termohromatske crne grafičke boje imaju okruglu geometriju.



Slika 6.4.23: Mikrografski snimak termohromatske crne grafičke boje



Slika 6.4.24: Mikrografska fotografija termohromatske crne grafičke boje u ImageJ programu

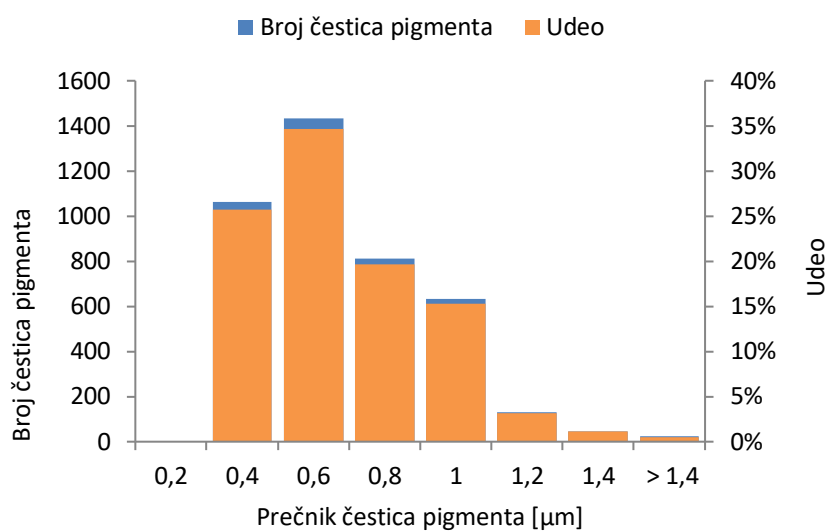
Na osnovu obrade mikrografske fotografije u ImageJ programu (tabela 6.4.4) dobijeni su sledeći parametri: prečnik, broj, udeo, ukupan broj (Nčp), prosečna veličina i ukupna površina (Pčp) čestica pigmenata termohromatske crne grafičke boje, kao i procenat površine koju čestice pigmenata zauzimaju u odnosu na ukupnu površinu termohromatske crne grafičke boje (%Pčp/Pboje).

Raspodela veličina čestica pigmenta termohromatske crne grafičke boje (slika 6.4.25) pokazuje da 96% čestica pigmenta imaju prečnike od 0,2 do 1 μm. Najveći broj čestica pigmenta sa udelom od 35% ima prečnike u intervalu od 0,4 do 0,6 μm. Čestice pigmenta sa veličinom prečnika od 0,2 do 0,4 μm su zastupljene 26%. Sa udelom od 20% su zastupljene čestice pigmenata sa prečnicima u intervalu od 0,6 do 0,8 μm. Čestice pigmenata sa prečnicima od 0,8 do 1 μm su zastupljene 15%.

Tabela 6.4.4: Karakteristike čestica pigmenta termohromatske crne grafičke boje primenom softverske analize

Prečnik (μm)	Broj čestica	Udeo (%)
0,2	0	0
0,4	1064	26
0,6	1435	35
0,8	812	20
1	631	15
1,2	131	3
1,4	45	1
> 1,4	22	1
Nčp	4140	100
Prosečna veličina čestica pigmenta (μm)		
	0,17	
P_{čp} (μm^2)		
	694,12	
P_{čp}/P_{boje} (%)		
	0,58	

Čestice pigmenta termohromatske crne grafičke boje podležu aglomeraciji u izuzetno malom stepenu, jer samo 4% čestica ima prečnike veće od 1 μm . Takođe, i prosečna veličina (0,17 μm) čestica pigmenta cijan boje potvrđuje nizak stepen aglomeracije osnovnih čestica.

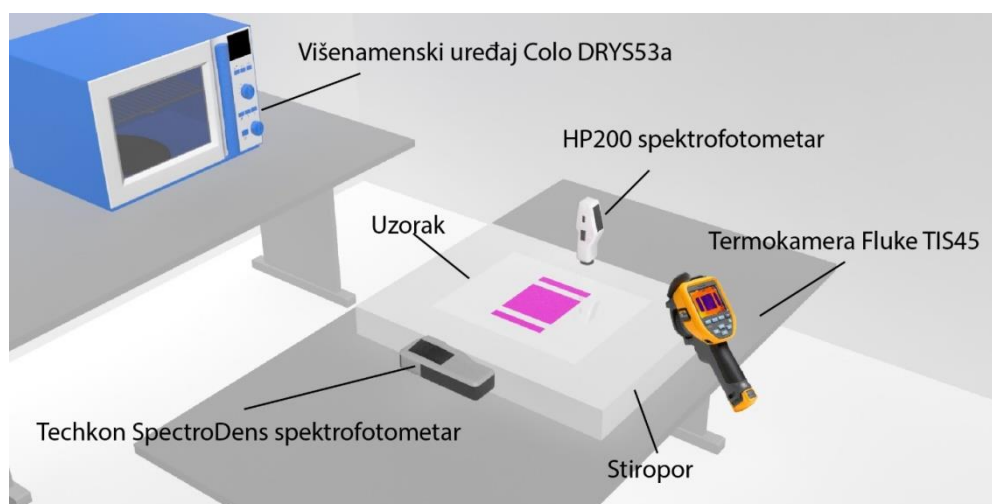


Slika 6.4.25: Raspodela veličina čestica pigmenta termohromatske crne grafičke boje

6.4.3.3 Termohromatske boje

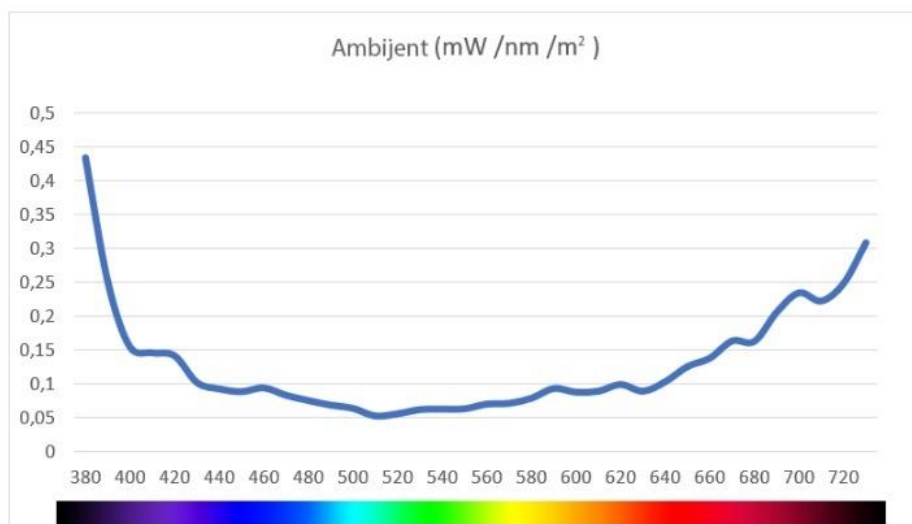
Eksperimentalno je praćen uticaj promene temperature na promenu optičkih karakteristika materijala odštampanih tehnikom sito štampe, pri čemu su eksperimenti zahtevali postupnost i obuhvatili su merenja i određivanje relevantnih podataka koji su neophodni za preciznije definisanje uticajnog faktora toplote.

Prilikom merenja uticaja faktora toplote bila je prisutna sledeća eksperimentalna postavka (slika 6.4.26).



Slika 6.4.26: Eksperimentalna postavka za merenje uticajnog faktora toplote

S obzirom da utiče na rezultate termovizijskih merenja, izmeren je intenzitet osvetljenja u laboratoriji, a iznosio je u proseku 5,4 luksa dok je temperatura boje bila 4594,5 K (odgovara standardnom osvetljenju D50). Merenje je vršeno dva puta, a potom je kriva dobijena iz srednjih vrednosti merenja predstavljena na slici 6.4.27.



Slika 6.4.27: Spektralna kriva i karakteristike ambijenta

U vidljivom delu spektra osvetljenje je gotovo uniformno što potvrđuje da su uslovi u kojima je vršeno merenje bili povoljni i kontrolisani.

Pomoću denzitometra Viptronic Vipdens 150 na filmu su izmerene vrednosti $D_{min} = 0,055$ i $D_{max} = 2,7$ koje potvrđuju da je film kvalitetno razvijen.

Tokom procesa homogenizacije, štampe boja i merenja bili su prisutni sledeći ambijentalni uslovi: temperatura $22 \pm 2^\circ\text{C}$, pritisak 101 ± 1 kPa i relativna vlažnost $40 \pm 2\%$.

Nakon izrade uzoraka, ispitane su termovizijske, spektrofotometrijske i kolorimetrijske osobine odštampanih termohromatskih boja, i to za plavu, žutu i magenta boju nakon njihove aktivacije na odgovarajućoj temperaturi, dakle, u procesu hlađenja. Crna boja je ispitana pre aktivacije u postupku njenog zagrevanja od vrednosti temperature 8°C do vrednosti ambijentalne temperature. Po završetku ispitivanja, izvršena je obrada i analiza dobijenih rezultata sa ciljem uspostavljanja korelacije između parametara u koje spadaju termovizijske osobine, spektralne refleksije boje, razlike boja, gustina tkanja sita i podloge za štampu.

Nakon zagrevanja uzoraka u trajanju od 3 minuta u višenamenskom uređaju Colo DRY53A na temperaturi 50°C , plavi, žuti i magenta uzorci su hlađeni do vrednosti temperature 24°C . Tokom hlađenja tekstilnih uzoraka merenja su vršena na svakih 10 s, dok su papirni uzorci mereni na svakih 5 s. Kako bi se umanjio uticaj prenosa toplote sa uzorka na podlogu na kojoj se meri, uzorci su postavljeni na podlogu od stiropora (10 cm debljine). Tokom hlađenja uzoraka merene su CIELab vrednosti, kao i razlike u boji za svaki uzorak u odnosu na prvi uzorak i između svakog narednog uzorka (npr. drugog u odnosu na prvi). Razlika u boji je izračunata korišćenjem ΔE_{00} formule [Luo et al., 2001].

Nakon hlađenja uzoraka u trajanju od 1 minuta u rashladnom uređaju čija temperatura je iznosila 8°C , papirni uzorci crne boje su se prirodnim putem zagrevali do vrednosti ambijentalne temperature 30°C . Tokom zagrevanja uzoraka merenja su vršena na svakih 5 s. Kako bi se umanjio uticaj prenosa toplote sa podloge na uzorak, uzorci su postavljeni na podlogu od stiropora (10 cm debljine). Tokom zagrevanja uzoraka merene su CIELab vrednosti za sve uzorke crne boje, kao i razlike u boji za svaki uzorak u odnosu na prvi uzorak i između svakog narednog uzorka (npr. drugog u odnosu na prvi). Razlika u boji je izračunavana korišćenjem ΔE_{00} formule [Luo et al., 2001].

Pored vrednosti koordinata boje i razlika u boji, za magenta boju je izračunat i prikazan i Pirsonov koeficijent korelacije (r) i odgovarajući stepen određenosti (r^2) između svetline boje i boje na svakih 10 s merenja.

Nakon datih merenja pristupilo se merenjima spektralnih krivih. Pomoću ovih analiza pratilo se kako će svojstva materijala i izbor gustine tkanja sita na različitim temperaturama merenja uticati na reflektivnost površine odštampane termohromatskim bojama.

Sa proteklim vremenom se smanjivala refleksija površine plavih, žutih i magenta uzoraka. To je rezultat toga da sa vremenom uzorak prelazi iz bezbojnog u obojeno stanje, pa veća količina obojenih čestica pokriva površinu i zbog toga dolazi do upijanja veće količine svetlosti. Refleksija površine crne boje se međutim povećavala sa proteklim vremenom s obzirom da je vremenom uzorak prelazio iz intenzivno obojenog stanja u manje intenzivno obojeno stanje.

Kako bi se uniformisalo označavanje uzoraka u nastavku je dato objašnjenje oznaka na slikama: BOJA_MATERIJAL_GUSTINA TKANJA. Oznake boja su definisane na sledeći način: B - plava termohromatska boja, Y - žuta termohromatska boja, M - magenta termohromatska boja, K - crna termohromatska boja, W - jedan nanos bele hidrohromatske boje, W2 - dva nanosa bele hidrohromatske boje i FM - magenta fotohromatska boja. Oznake materijala su definisane na sledeći način: T1 - Tekstil 1, T2 - Tekstil 2, T3 - Tekstil 3, T4 - Tekstil 4, P1 - Papir 1, P2 - Papir 2 i P3 - Papir 3. Oznake gustina tkanja sita su definisane na način da broj oznake predstavlja gustinu tkanja sita i izražen je u jedinici mere niti/cm.

Ispitivanje termohromatske plave boje

Na osnovu izvršenog termovizijskog ispitivanja, dobijene su vrednosti temperature za sve ispitivane uzorke. Srednje aritmetičke vrednosti dobijenih rezultata su predstavljene u tabelama 6.4.5 i 6.4.6 za obe vrste materijala, dok su njihovi grafički prikazi predstavljeni na slikama 6.4.28 i 6.4.29. Cilj ove analize je bio da se utvrdi kakav uticaj na promenu temperature tokom vremena imaju različite podloge za štampu i različite gustine tkanja sita.

Tabela 6.4.5: Prikaz srednjih vrednosti temperature za tekstilne uzorke plave termohromatske boje

Gustina tkanja sita [niti/cm]	Vreme [s]	Temperatura [°C]			
		Tekstil 1	Tekstil 2	Tekstil 3	Tekstil 4
54	0	38	35,1	31,3	34,2
	10	34,8	31,9	28,7	31
	20	32,9	30,6	27,9	29,7
	30	31,6	29,8	27,7	29,1
	40	30,9	29,3	27,5	28,7
	50	30,3	29	27,3	28,3
120	0	38,5	35,5	31,4	33,8
	10	34,8	32,1	28,7	30,4
	20	33,1	30,8	28	29,3
	30	31,9	30,1	27,8	28,6
	40	31,2	29,8	27,4	28,2
	50	30,7	29,5	26,9	28

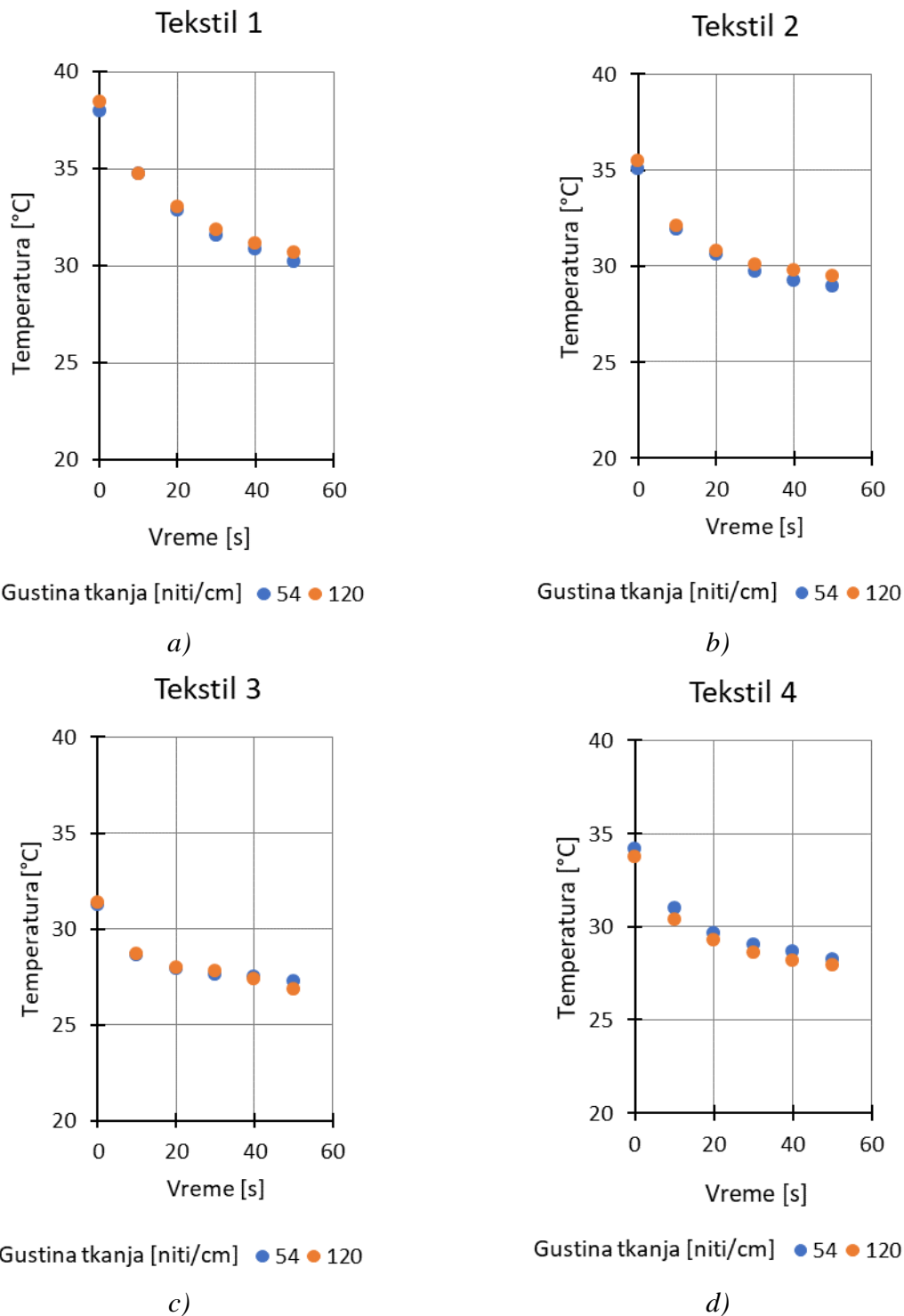
Na uporednom grafičkom prikazu temperatura za tekstilne uzorke, predstavljenom na slici 6.4.28, primetno je da maksimalna i minimalna zabeležena temperatura nije ista za sve uzorke. Isto tako, primetno je da se promene temperature tokom vremena ne odvijaju ravnomerno, već da su najveće promene u temperaturi zabeležene u prva tri intervala ispitivanja, dakle do 30 s, a nakon toga se odvijaju ujednačeno i postepeno. Tekstil 1 odštampan sitom gustine tkanja 120 niti/cm se odlikuje najvećom zabeleženom temperaturom od svih ostalih uzoraka, i iznosi 38,5°C, dok je kod Tekstila 2 ona nešto manja i iznosi 35,5°C za otisak dobijen sitom 120 niti/cm. Tekstil 3 karakterišu vrednosti temperature čija je razlika, gledajući gustinu tkanja sita, veoma slična osim za poslednje ispitivanje. Temperatura od 31,4°C predstavlja maksimalnu zabeleženu temperaturu za dati uzorak. Tekstil 4, posmatrajući stepen promena temperature tokom vremena, svoju sličnost deli sa tekstilom 2, s tim da kod tekstila 4 maksimalna zabeležena temperatura od 34,2°C pripada otisku koji je dobijen sitom gustine tkanja 54 niti/cm. Ako se uporede gustine tkanja sita, odnosno, zabeležene temperature na uzorcima koji su njima odštampani, uočljivo je da maksimalne temperature za Tekstile 1 i 2 odgovaraju otiscima dobijenim sitom gustine tkanja 120 niti/cm. Slična situacija je i kod tekstila 3, osim za poslednja dva ispitivanja, kada su zabeležene maksimalne temperature pripadale otisku dobijenim sa sitom 54 niti/cm. Kod Tekstila 4, maksimalne zabeležene temperature za svaki interval ispitivanja su odgovarale uzorcima dobijenim sitom 54 niti/cm.

Tabela 6.4.6: Prikaz srednjih vrednosti temperature za papirne uzorke plave termohromatske boje

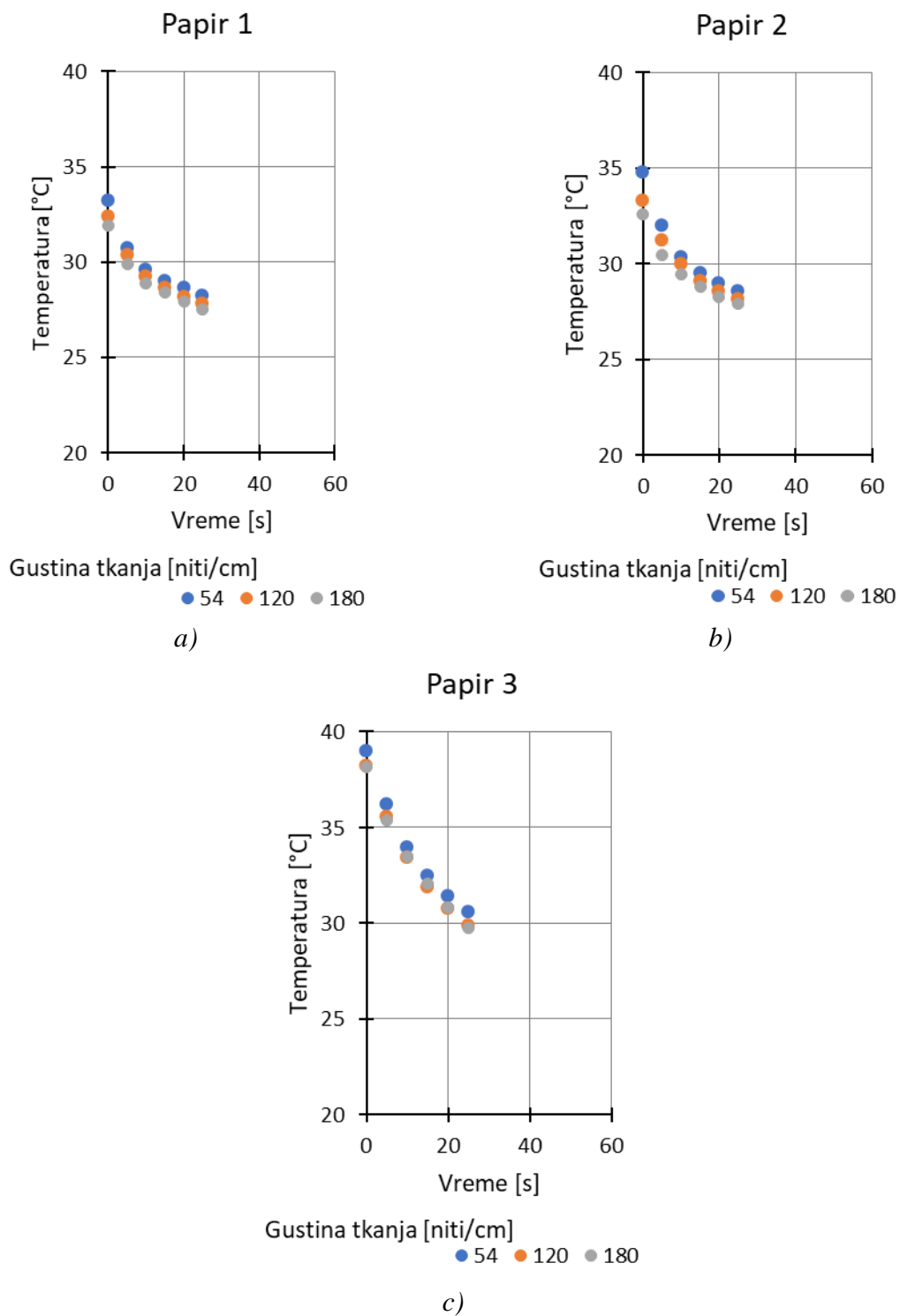
Gustina tkanja sita [niti/cm]	Vreme [s]	Temperatura [°C]		
		Papir 1	Papir 2	Papir 3
54	0	33,2	34,8	39
	5	30,7	32	36,2
	10	29,6	30,4	34
	15	29	29,5	32,5
	20	28,7	29	31,4
	25	28,2	28,6	30,6
120	0	32,4	33,3	38,2
	5	30,4	31,3	35,6
	10	29,3	30	33,4
	15	28,7	29,1	31,9
	20	28,2	28,6	30,7
	25	27,8	28,1	29,9
180	0	31,9	32,6	38,2
	5	29,9	30,5	35,4
	10	28,9	29,5	33,5
	15	28,4	28,8	32
	20	27,9	28,3	30,8
	25	27,5	27,9	29,8

Sa grafičkog prikaza dobijenih vrednosti temperature za papirne materijale, predstavljenog na slici 6.4.29, jasno je uočljivo da različiti uzorci imaju različito ponašanje na temperaturi, odnosno, da im maksimalne i minimalne temperature nisu iste, kao ni stepen promene temperature tokom vremena. Za prikazane uzorke se može videti da su se najveće promene temperature dogodile između prvog i drugog, i drugog i trećeg ispitivanja, a nakon toga je usledio ravnomeran pad temperature. Maksimalna zabeležena temperatura za Tekstil 1 je 33,2°C, za otisak koji je dobijen sitom 54 niti/cm. Tekstil 2 ima maksimalnu zabeleženu temperaturu koja iznosi 34,8°C za otisak koji je dobijen sitom 54 niti/cm.

Kod Papira 1, 2 i 3 je takođe primetno da su za svako ispitivanje najveće vrednosti temperature zabeležene kod otisaka koji su dobijeni sitom 54 niti/cm, i da sa povećanjem gustine tkanja sita, ona opada. Na Papiru 3 je zabeležena najveća vrednost temperature od 39°C. Takođe, za Papir 3 se može videti da su vrednosti temperature za otiske koji su dobijeni pomoću sita 120 niti/cm i 180 niti/cm veoma slične za čitav ciklus ispitivanja, kao i da su u pojedinim intervalima ispitivanja te vrednosti bile nešto veće za uzorke otisnute sitom 180 niti/cm od onih koji su otisnuti sitom 120 niti/cm. Uzorci otisnuti sitom gustine tkanja 54 niti/cm u poređenju sa uzorcima dobijenim sa preostale dve gustine tkanja sita su zabeležili maksimalne vrednosti temperature za čitav ciklus ispitivanja.



Slika 6.4.28: Uporedni prikaz promene temperature tokom vremena za tekstilne uzorke odštampane plavom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm i 120 niti/cm

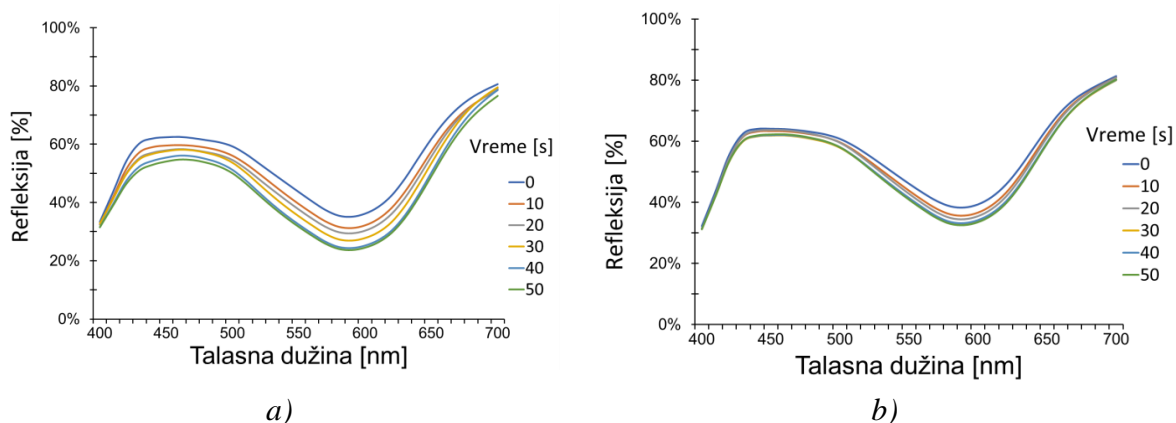


Slika 6.4.29: Uporedni prikaz promene temperature tokom vremena za papirne uzorke odštampane plavom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja a) 54 niti/cm, b) 120 niti/cm i c) 180 niti/cm

Cilj ove analize je bio da se utvrdi kakav uticaj na promenu temperature tokom vremena imaju različite podloge za štampu i različite gustine tkanja sita.

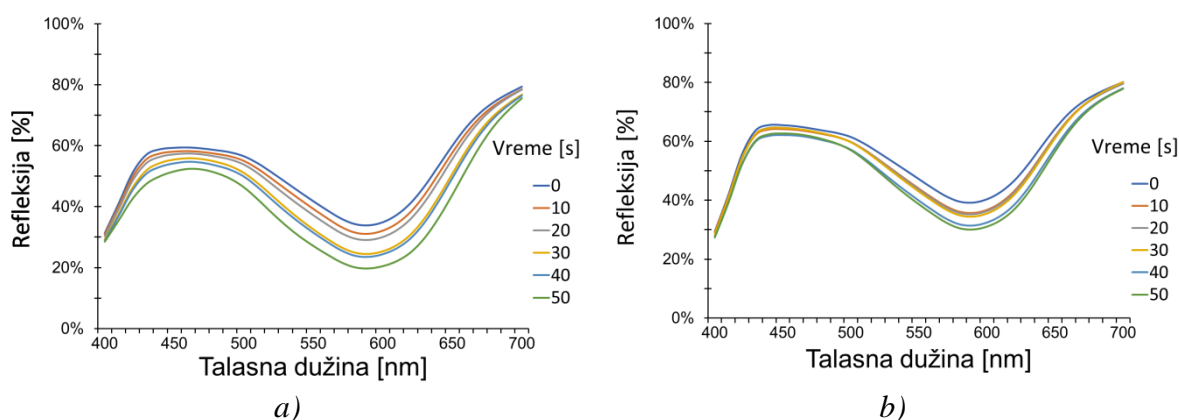
Spektrofotometrijska analiza

Spektrofotometrijskim ispitivanjem uzoraka, dobijene su vrednosti spektralnih podataka čije su srednje vrednosti predstavljene u obliku krivih spektralne refleksije, koje su prikazane na slikama 6.4.30-6.4.36, a čijom analizom će se utvrditi kako promena temperature tokom vremena utiče na promenu stepena refleksije za opseg talasnih dužina vidljivog dela spektra od 440 nm do 510 nm [Dedijer, 2016] koji zapravo pripada plavoj boji, pri čemu je u obzir uzet i uticaj različitih materijala za štampu i gustina tkanja sita.



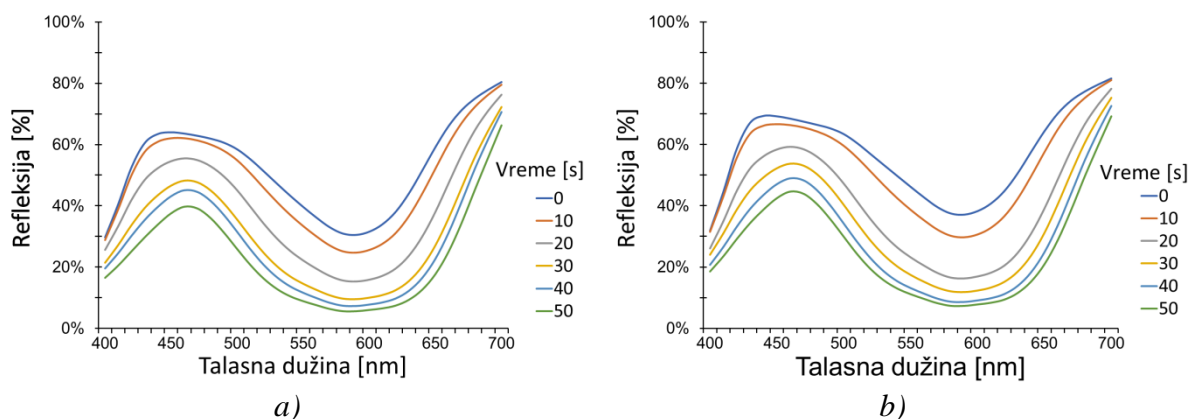
Slika 6.4.30: Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 1, odštampam plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

Sa slike 6.4.30, na kojoj su prikazane krive spektralne refleksije za tekstilne uzorke 1 koji su odštampam sitom gustine tkanja 54 niti/cm, odnosno, 120 niti/cm, može se primetiti da uzorak sa slike 6.4.30a ima maksimalni procenat refleksije od 62,53% koji je zabeležen na talasnoj dužini 460 nm, dok uzorak sa slike 6.4.30b ima nešto veći procenat refleksije koji iznosi 64,08% za talasnu dužinu 450 nm. Ukupna razlika u procentu refleksije između prvog i poslednjeg ispitivanja je veća za uzorak koji je odštampam sitom 54 niti/cm, i ona iznosi 7,79%, dok je za uzorak koji je dobijen sitom 120 niti/cm ta razlika minimalna, i iznosi 1,81%.



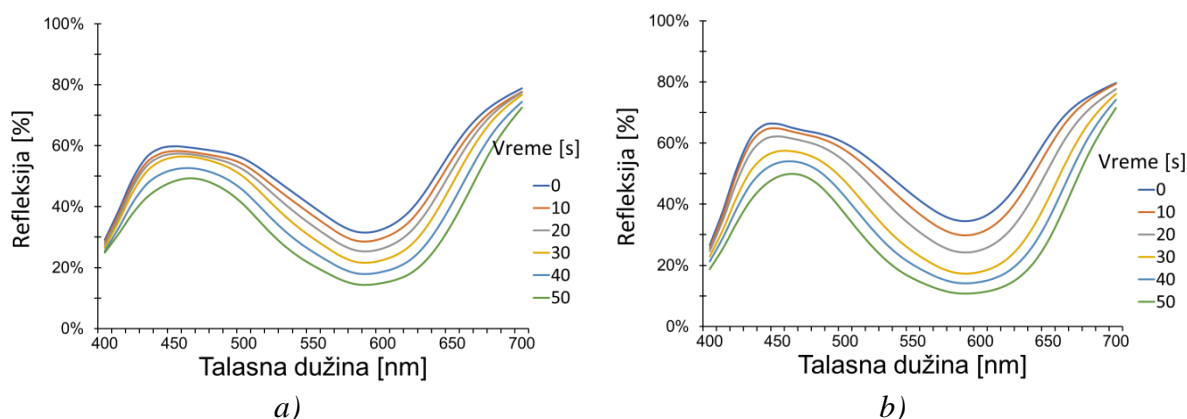
Slika 6.4.31: Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 2, odštampam plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

Tekstilni uzorci 2, prikazani na slici 6.4.31a za sito 54 niti/cm i 6.4.31b za sito 120 niti/cm, imaju krive koje su veoma slične tekstilnim uzorcima 1, s tim da je razlika u procentima nešto manja za uzorak sa slike 6.4.31a, i iznosi 7,02%, odnosno, veće za uzorak sa slike 6.4.31b, gde iznosi 2,86%, pri čemu je maksimalni zabeleženi procenat refleksije za otisak dobijen sitom 54 niti/cm 59,43% za 460 nm, a za otisak dobijen sitom 120 niti/cm 65,54% za 440 nm.



Slika 6.4.32: Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 3, odštampan plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

U poređenju sa tekstilnim uzorcima 1 i 2, na tekstilnim uzorcima 3, prikazanim na slici 6.4.32a i 6.4.32b se mogu primetiti značajne razlike u procentima refleksije gledajući čitav ciklus ispitivanja. Za tekstilni uzorak koji je odštampan sitom gustine tkanja 54 niti/cm ona iznosi 27,39%, dok za drugi uzorak koji je odštampan sitom gustine tkanja 120 niti/cm ona iznosi 24,71%. Maksimalne zabeležene vrednosti stepena refleksije za uzorak sa slike 6.4.32a iznosi 65,49% na talasnoj dužini 450 nm, a za uzorak sa slike 6.4.32b, on iznosi 69,34% za talasnu dužinu 440 nm.

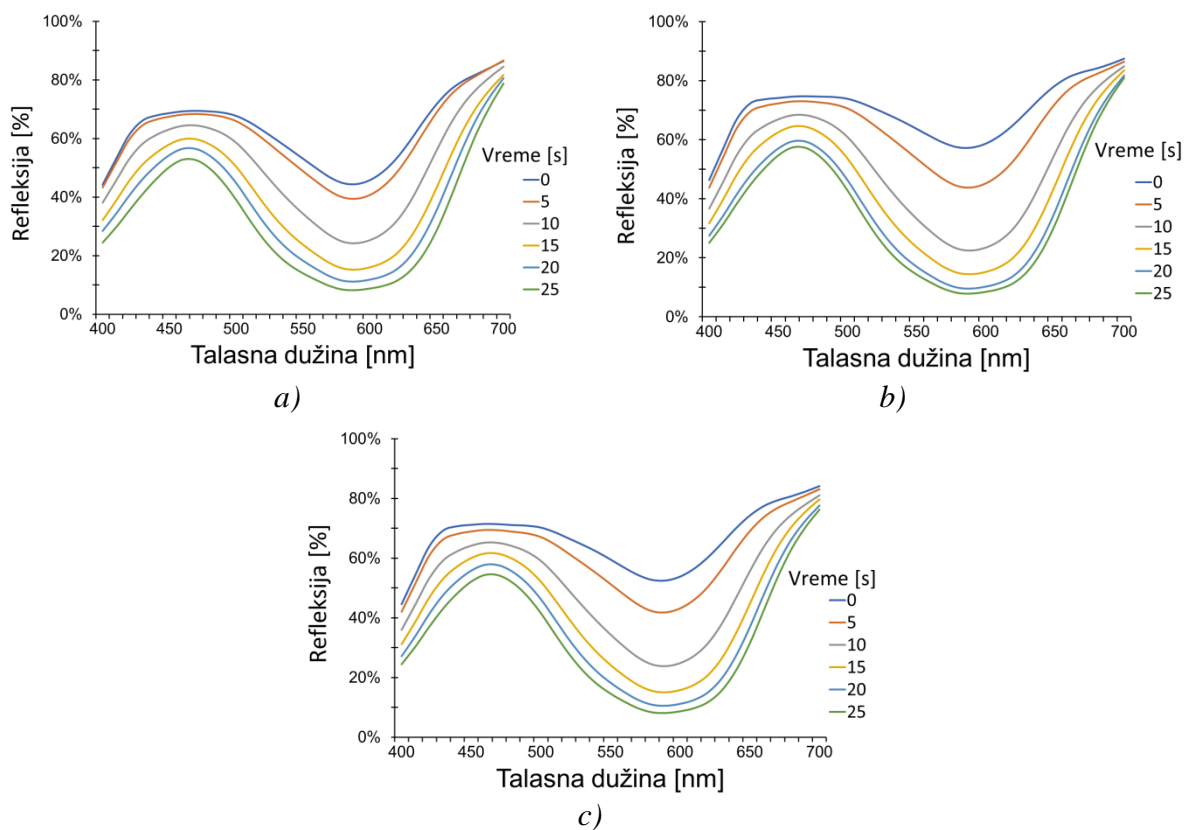


Slika 6.4.33: Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 4, odštampan plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

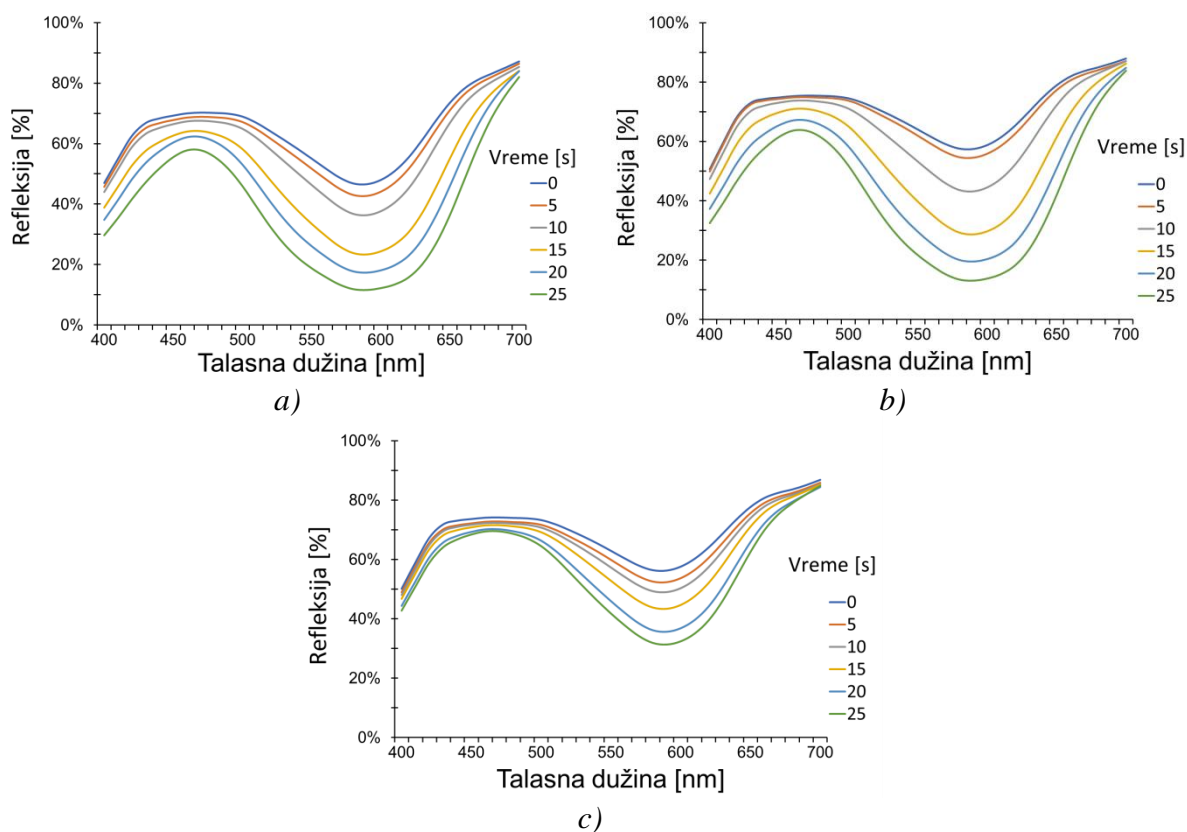
Tekstilne uzorke 4 karakterišu maksimalne vrednosti refleksije zabeležene na 450 nm, a koje iznose 59,82% za otisak dobijen sitom 54 niti/cm, i 66,31% za otisak dobijen sitom 120 niti/cm. Razlika u procentima refleksije je u poređenju sa prethodnim slučajevima sada manja za uzorak sa slike 6.4.33a, za koji iznosi 10,5%, dok je za uzorak sa slike 6.4.33b veća, i iznosi 16,37%.

Na slici 6.4.34 su predstavljene krive spektralne refleksije za papirne uzorke 1 koji su odštampani sitima gustine tkanja 54 niti/cm, 120 niti/cm i 180 niti/cm, respektivno.

Maksimalni procenti refleksije su zabeleženi na talasnoj dužini 470 nm za uzorke sa slika 6.4.34a i 6.4.34b, i oni iznose 69,44% i 74,72%, dok je za uzorak sa slike 6.4.34c on zabeležen na 460 nm, i iznosi 71,48%. Razlike u procentu refleksije koje su ostvarene između prvog i poslednjeg ispitivanja iznose 16,65%, 17,36% i 17,09%, gledajući uzorke odštampane sitom od najmanje ka najvećoj gustini tkanja.

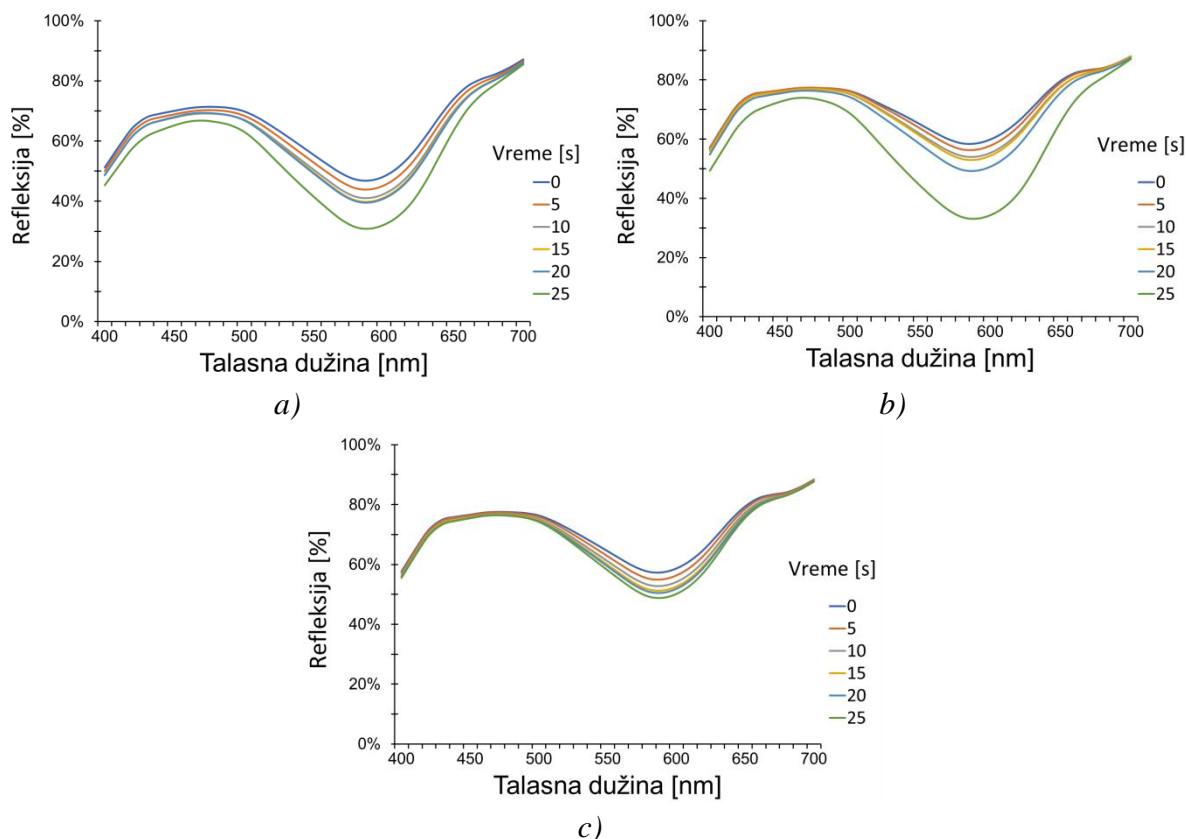


Slika 6.4.34: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 1, odštampam plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm c) 180 niti/cm



Slika 6.4.35: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 2, odštampam plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm c) 180 niti/cm

Papirni uzorci 2 imaju zabeležene maksimalne procenat refleksije na talasnoj dužini 470 nm, i iznose 70,25% za uzorak odštampan sitom 54 niti/cm, zatim 75,46% za uzorak odštampan sitom 120 niti/cm, i na kraju 74,16% za uzorak odštampan sitom 180 niti/cm. Najveća razlika u procentu refleksije između prvog i poslednjeg ispitivanja iznosi 12,45%, i pripada uzorku sa slike 6.4.35a, u sredini je razlika od 11,79% koja je dobijena za uzorak sa slike 6.4.35b, dok najmanja razlika odgovara uzorku sa slike 6.4.35c, i iznosi 4,67%.



Slika 6.4.36: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 3, odštampan plavom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm c) 180 niti/cm

Od svih papirnih uzoraka, na papirnim uzorcima 3 su dobijene najmanje razlike u procentu refleksije. Za uzorak sa slike 6.4.36a ona iznosi 4,55%, za uzorak sa slike 6.4.36b je 3,36%, a za uzorak sa slike 6.4.36c, ona iznosi 1,05%. Maksimalne vrednosti spektralne refleksije za ove uzorke su zabeležene na 470 nm, i iznose 71,37% za uzorak dobijen sitom 54 niti/cm, 77,29% za uzorak dobijen sitom 120 niti/cm, i 77,58% za uzorak dobijen sitom 180 niti/cm.

Kao što se može videti na slikama 6.4.30-6.4.36, na kojima su predstavljene srednje vrednosti krive spektralne refleksije za tekstilne i papirne uzorke koji su štampani sitima različite gustine tkanja, svi uzorci imaju približno isti oblik spektralne krive, s tim da se maksimalni i minimalni procenat spektralne refleksije razlikuju od uzorka do uzorka, kao i njihove promene tokom vremena tj. hlađenja.

Posmatrajući spektralne krive svih ispitivanih uzoraka, može se primetiti da je kod uzoraka koji su odštampani sitom veće gustine tkanja, maksimalni procenat refleksije veći, i da je razlika u procentu refleksije između prvog i poslednjeg ispitivanja manja.

Kolorimetrijska analiza

Kolorimetrijskim ispitivanjem su dobijene vrednosti CIE L*, a* i b* koordinata za koje su u procesu obrade podataka izračunate srednje aritmetičke vrednosti za svaki ispitivani uzorak, a koje su potom iskorišćene za izračunavanje apsolutne razlike boja. Cilj ove analize je da se utvrdi kako se boja menjala tokom vremena, i kakav uticaj na istu imaju različite podloge za štampu i različite gustine tkanja sita. Srednje CIE L*, a* i b* vrednosti kao i izračunata razlika boja između trenutnog ispitivanja i prvog ispitivanja za dati uzorak, kao i između trenutnog ispitivanja i njemu prethodnog ispitivanja za isti uzorak, su tabelarno predstavljene u tabeli 6.4.7 za tekstilne uzorke, i u tabeli 6.4.8 za papirne uzorke. Grafički prikazi apsolutne razlike boja za obe vrste materijala su predstavljeni na slikama 6.4.37 i 6.4.38.

Tabela 6.4.7: Prikaz vrednosti CIE L*a*b* koordinata i razlika boja za tekstilne uzorke odštampane plavom termohromatskom bojom

Uzorak	Gustina tkanja sita [niti/cm]	Vreme [s]	L*	a*	b*	ΔE^* (u odnosu na prvo ispitivanje)	ΔE^* (u odnosu na prethodno ispitivanje)
Tekstil 1	54	0	76,50	5,86	-13,92	0,00	0,00
		10	71,68	6,60	-18,85	6,93	6,93
		20	67,61	7,43	-22,94	12,76	5,83
		30	66,35	8,03	-24,52	14,83	2,07
		40	65,40	8,08	-26,01	16,56	1,73
		50	61,72	8,50	-28,95	21,25	4,69
	120	0	83,42	4,25	-11,16	0,00	0,00
		10	80,80	4,54	-14,34	4,14	4,14
		20	80,10	4,96	-14,92	5,08	0,94
		30	79,46	5,19	-15,84	6,21	1,13
		40	78,51	5,40	-16,37	7,25	1,04
		50	77,64	5,67	-17,95	9,03	1,78
Tekstil 2	54	0	76,48	5,99	-13,95	0,00	0,00
		10	72,51	6,72	-16,95	5,07	5,07
		20	71,29	6,87	-17,78	6,54	1,47
		30	65,74	8,12	-23,57	14,58	8,04
		40	62,45	8,67	-26,67	19,13	4,55
		50	51,91	10,36	-34,72	32,54	13,41
	120	0	80,72	5,04	-12,25	0,00	0,00
		10	78,17	5,45	-14,86	3,68	3,68
		20	77,90	5,56	-16,05	4,77	1,09
		30	76,83	5,88	-16,70	5,98	1,20
		40	76,21	6,12	-17,19	6,78	0,80
		50	74,31	6,48	-18,20	8,87	2,09

Uzorak	Gustina tkanja sita [niti/cm]	Vreme [s]	L*	a*	b*	ΔE^* (u odnosu na prvo ispitivanje)	ΔE^* (u odnosu na prethodno ispitivanje)
Tekstil 3	54	0	74,05	7,00	-18,41	0,00	0,00
		10	63,71	9,46	-30,12	15,82	15,82
		20	56,99	10,14	-35,41	24,29	8,47
		30	49,49	11,59	-39,57	32,74	8,45
		40	46,51	12,01	-39,95	35,32	2,58
		50	45,53	12,22	-40,46	36,43	1,11
	120	0	78,61	6,16	-17,03	0,00	0,00
		10	66,62	9,47	-30,59	18,41	18,41
		20	58,03	10,13	-36,71	28,76	10,35
		30	53,20	11,25	-39,80	34,51	5,75
		40	49,16	11,41	-40,38	37,95	3,45
		50	48,25	11,49	-40,64	38,83	0,87
Tekstil 4	54	0	72,19	6,73	-16,16	0,00	0,00
		10	68,20	7,44	-20,30	5,93	5,93
		20	65,99	7,83	-22,34	8,96	3,03
		30	63,39	8,28	-25,14	12,74	3,78
		40	59,03	8,63	-29,45	18,84	6,10
		50	53,71	9,43	-33,03	25,18	6,34
	120	0	79,53	5,36	-14,58	0,00	0,00
		10	76,79	6,50	-18,37	4,82	4,82
		20	69,62	8,01	-25,97	15,34	10,52
		30	63,41	8,74	-31,51	23,64	8,30
		40	59,84	9,40	-34,09	28,02	4,38
		50	55,63	9,99	-35,98	32,43	4,41

Tabela 6.4.8: Prikaz vrednosti CIE $L^*a^*b^*$ koordinata i razlika boja za papirne uzorke odštampane plavom termohromatskom bojom

Uzorak	Gustina tkanja sita [niti/cm]	Vreme [s]	L^*	a^*	b^*	ΔE^* (u odnosu na prvo ispitivanje)	ΔE^* (u odnosu na prethodno ispitivanje)
Papir 1	54	0	79,26	6,64	-14,73	0,00	0,00
		5	75,49	9,31	-20,36	7,29	7,29
		10	64,76	11,40	-32,93	23,77	16,48
		15	55,99	12,39	-40,03	34,86	11,09
		20	51,41	12,65	-42,58	39,85	4,99
		25	50,31	12,95	-43,44	41,27	1,42
	120	0	84,98	6,16	-10,70	0,00	0,00
		5	70,87	11,30	-29,17	23,85	23,85
		10	63,10	11,90	-37,87	35,37	11,52
		15	56,59	12,47	-43,24	43,65	8,28
		20	53,62	12,66	-45,15	47,06	3,41
		25	50,86	13,36	-46,60	50,08	3,02
	180	0	85,07	6,28	-11,73	0,00	0,00
		5	71,07	11,50	-30,19	23,77	23,77
		10	66,32	13,15	-36,06	31,51	7,74
		15	58,99	13,37	-42,87	41,24	9,73
		20	55,87	13,74	-44,88	44,80	3,56
		25	51,34	8,35	-47,29	50,21	5,41
Papir 2	54	0	81,13	6,18	-12,82	0,00	0,00
		5	78,15	8,05	-17,09	5,54	5,54
		10	71,11	10,54	-26,82	17,76	12,22
		15	62,95	11,06	-35,58	29,53	11,77
		20	56,00	12,27	-41,42	38,55	9,02
		25	52,45	13,13	-43,46	42,54	3,99
	120	0	86,35	4,92	-9,58	0,00	0,00
		5	79,62	8,77	-18,95	12,17	12,17
		10	74,01	9,65	-26,32	21,33	9,16
		15	66,69	10,56	-34,82	32,49	11,16
		20	60,62	11,58	-39,87	40,31	7,82
		25	54,37	12,97	-45,83	49,00	8,70
	180	0	87,30	4,34	-8,99	0,00	0,00
		5	83,99	6,71	-13,72	6,26	6,26
		10	82,62	7,20	-15,64	8,64	2,38
		15	77,19	8,94	-22,79	17,73	9,09
		20	75,09	9,69	-25,33	21,11	3,38
		25	60,71	12,62	-40,96	42,40	21,29

Uzorak	Gustina tkanja sita [niti/cm]	Vreme [s]	L*	a*	b*	ΔE^* (u odnosu na prvo ispitivanje)	ΔE^* (u odnosu na prethodno ispitivanje)
Papir 3	54	0	81,35	5,44	-12,84	0,00	0,00
		5	77,95	6,36	-17,35	5,73	5,73
		10	77,42	6,86	-18,41	6,97	1,24
		15	76,17	7,59	-20,09	9,17	2,20
		20	72,84	9,01	-23,28	13,95	4,78
		25	60,70	11,64	-36,55	32,05	18,11
	120	0	87,18	3,64	-9,42	0,00	0,00
		5	84,98	4,81	-12,81	4,25	4,25
		10	84,20	5,45	-13,76	5,57	1,32
		15	81,86	6,94	-17,59	10,32	4,75
		20	77,78	8,42	-22,65	16,95	6,62
		25	69,90	9,50	-32,45	29,43	12,49
	180	0	88,40	3,30	-8,88	0,00	0,00
		5	86,29	4,29	-12,02	3,92	3,92
		10	84,53	4,78	-13,47	6,20	2,28
		15	83,82	5,27	-14,28	7,36	1,16
		20	81,46	6,92	-17,56	11,69	4,33
		25	72,54	9,81	-29,28	26,65	14,96

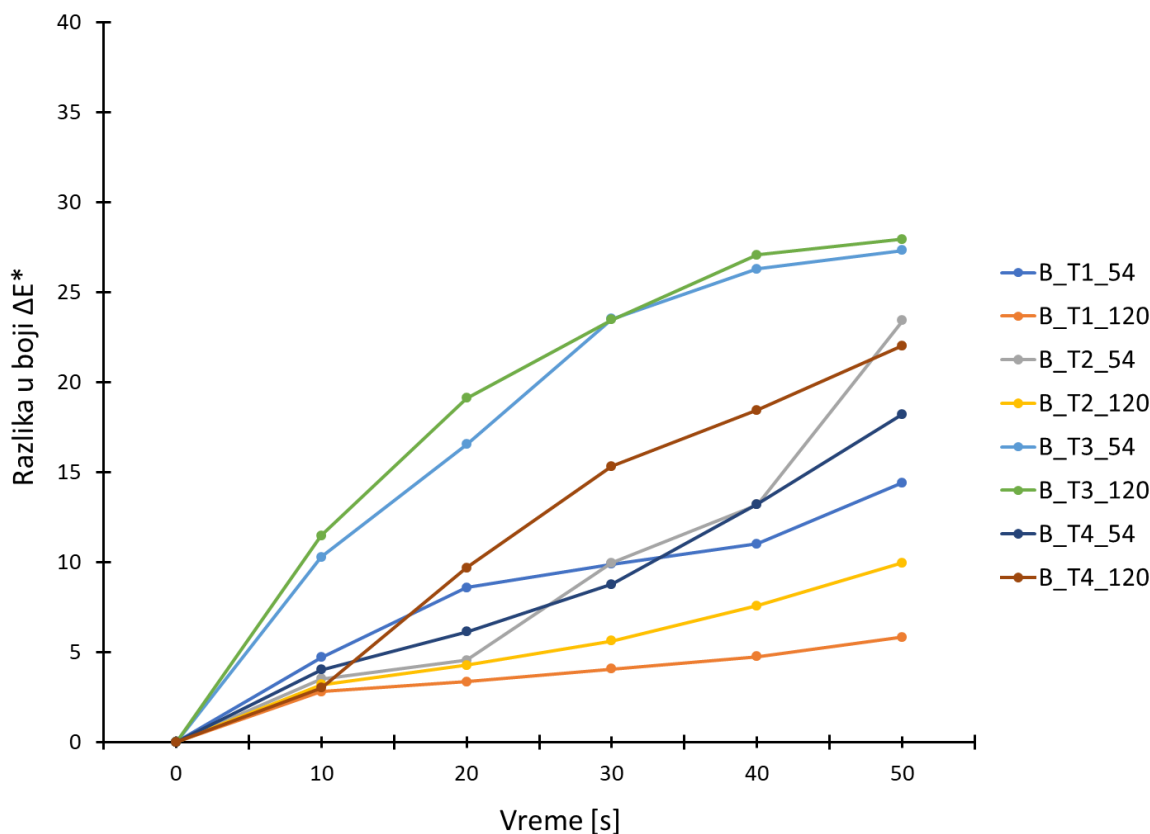
Sa slika 6.4.37 i 6.4.38 se može videti da se različiti uzorci odštampani sitima različite gustine tkanja ne ponašaju isto, odnosno, da im promena boje tokom vremena nije ista. Isto tako se može primetiti da krive pojedinih uzoraka imaju sličan trend porasta razlike boja, što nam govori da se tokom hlađenja boje one ponašaju veoma slično.

Posmatrajući sliku 6.4.37 na kojoj su prikazane razlike boja za ispitivane tekstilne uzorke, može se primetiti kolika je apsolutna razlika boja ostvarena u odnosu na vrednosti dobijene prvim ispitivanjem. Prema tome, najmanja razlika boja je ostvarena na tekstilnom uzorku 2 (sito 120 niti/cm) za koji iznosi 8,87, i tekstilnom uzorku 1 (sito 120 niti/cm) za koji iznosi 9,03. Ova dva uzorka su tokom čitavog ispitivanja imali slične vrednosti, baš kao i uzorci 3 (sito 54 niti/cm i 120 niti/cm) na kojima su ostvarene najveće razlike boja.

Za tekstilni uzorak 3 dobijen sitom 54 niti/cm ona iznosi 36,43, dok za uzorak dobijen sitom veće gustine tkanja ona iznosi 38,83. Zatim slede tekstilni uzorak 2 (sito 54 niti/cm) i tekstilni uzorak 4 (sito 120 niti/cm) sa ukupno ostvarenim razlikama od 32,54 i 32,43, a potom tekstilni uzorci 4, pa 1, dobijeni sitom 54 niti/cm za koje razlika boja iznosi 25,18, odnosno, 21,25.

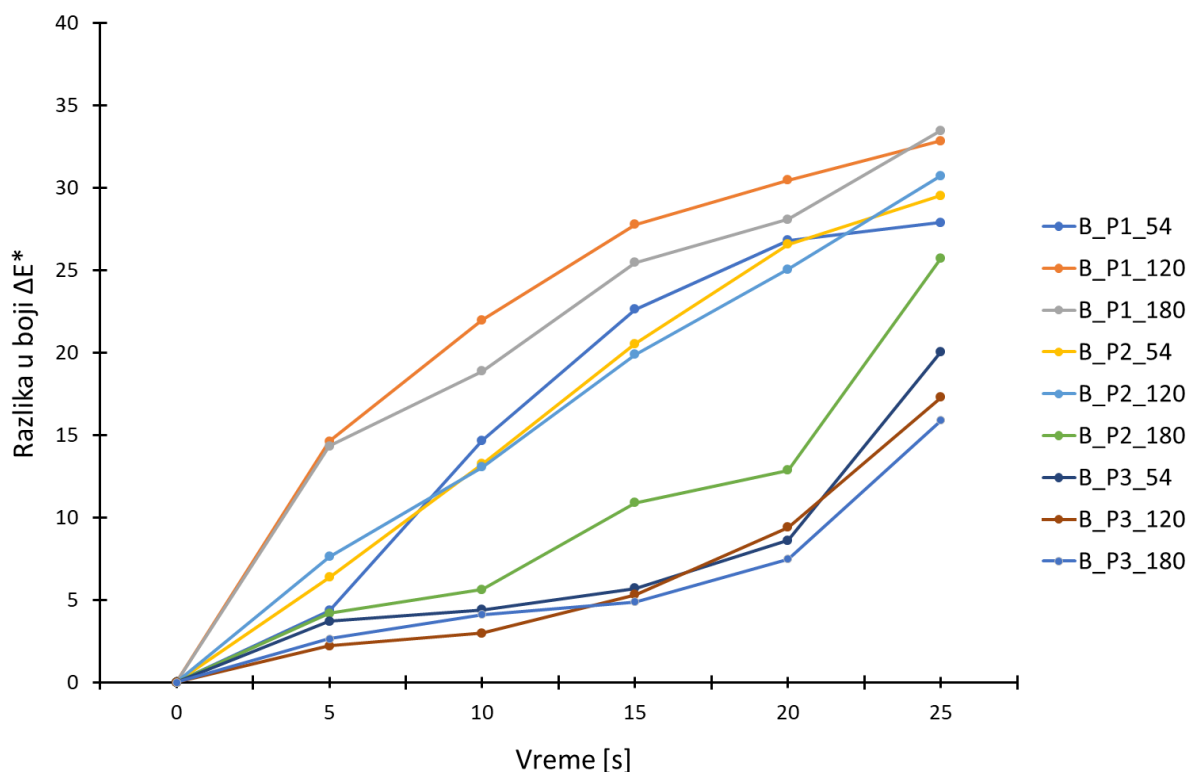
Sam kraj ispitivanja papirnih uzoraka je obeležio uzorak 2 (sito 180 niti/cm) sa promenom boje u odnosu na prethodno ispitivanje za 21,29, dok mu je ukupna razlika boja, u odnosu na početno ispitivanje, 42,40. Papirni uzorak 2 (sito 54 niti/cm) je ostvario nešto veću ukupnu razliku boja koja iznosi 42,54. Sličnu apsolutnu razliku boja, pored dva prethodno spomenuta uzorka, je zabeležena za papirni uzorak 1 (sito 54 niti/cm) za koji ona iznosi 41,27. Najmanje ukupne razlike boja su dobijene sa papirnim uzorcima 3 za koje one iznose, počevši od uzorka dobijenog sitom najveće gustine tkanja, 26,65, 29,43 i 32,05. Uzorak 2 odštampan sitom gustine tkanja 120 niti/cm je imao ukupnu ostvarenu razliku boja od 49. Za ovaj uzorak je takođe karakteristično da su se njegove promene tokom ispitivanja odvijale skoro konstantno.

Najveće apsolutne razlike boja za papirne uzorke su ostvarene na uzorcima 1 koji su odštampani sitima 120 niti/cm i 180 niti/cm i za koje one iznose 50,08 i 50,21, Sa slika 6.4.37 i 6.4.38 se može videti da se različiti uzorci odštampani sitima različite gustine tkanja ne ponašaju isto, odnosno, da im promena boje tokom vremena nije ista. Isto tako se može primetiti da krive pojedinih uzoraka imaju sličan trend porasta razlike boja, što nam govori da se tokom hlađenja uzorci ponašaju veoma slično.



Slika 6.4.37: Uporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za tekstilne uzorke odštampane plavom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm i 120 niti/cm

Na osnovu izvršenog termovizijskog ispitivanja se može zaključiti da uzorci koji su odštampani na materijalima veće površinske mase mogu da apsorbuju veću količinu toplote, a samim tim, na njima će tokom ispitivanja biti zabeležene veće vrednosti temperature. Takođe, kod većine uzoraka, otisci dobijeni sitom manje gustine tkanja imaju veće zabeležene temperature, koje opadaju sa porastom gustine tkanja sita. Obradom i analizom rezultata dobijenih spektrofotometrijskim ispitivanjem, može se zaključiti da je procenat spektralne refleksije za uzorke koji su štampani sitom veće gustine tkanja veći od uzoraka koji su štampani sitom manje gustine tkanja. Kada je u pitanju uticaj površinske mase korišćenih materijala, može se doneti zaključak da se sa smanjenjem površinske mase uzoraka i gustine tkanja sita, opseg refleksije povećava. Kolorimetrijskom analizom je utvrđeno da se kod papirnih i tekstilnih uzoraka sa smanjenjem površinske mase razlika boja povećava. Za pamučne tekstilne uzorke veće površinske mase, veća razlika boja je ostvarena sitom manje gustine tkanja, dok se kod poliestarskog i pamučnog uzorka manje površinske mase, veća razlika boja dobija sitom veće gustine tkanja. Po pitanju gustine tkanja sita kod papirnih uzoraka, najveća razlika boja se postiže kombinacijom male površinske mase uzorka i velike gustine tkanja sita i obratno.



Slika 6.4.38: Usporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za papirne uzorke odštampane plavom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm, 120 niti/cm i 180 niti/cm

Ispitivanje termohromatske žute boje

U nastavku su prikazani rezultati ispitivanja termohromatske žute boje. Eksperiment je sproveden prema metodi ispitivanja termohromatskih boja. U okviru tabela 6.4.9 i 6.4.10 prikazane su srednje vrednosti temperature za tekstilne i papirne uzorke. Cilj ove analize je bio da se utvrdi kakav uticaj na promenu temperature tokom vremena imaju različite podloge za štampu i različite gustine tkanja sita.

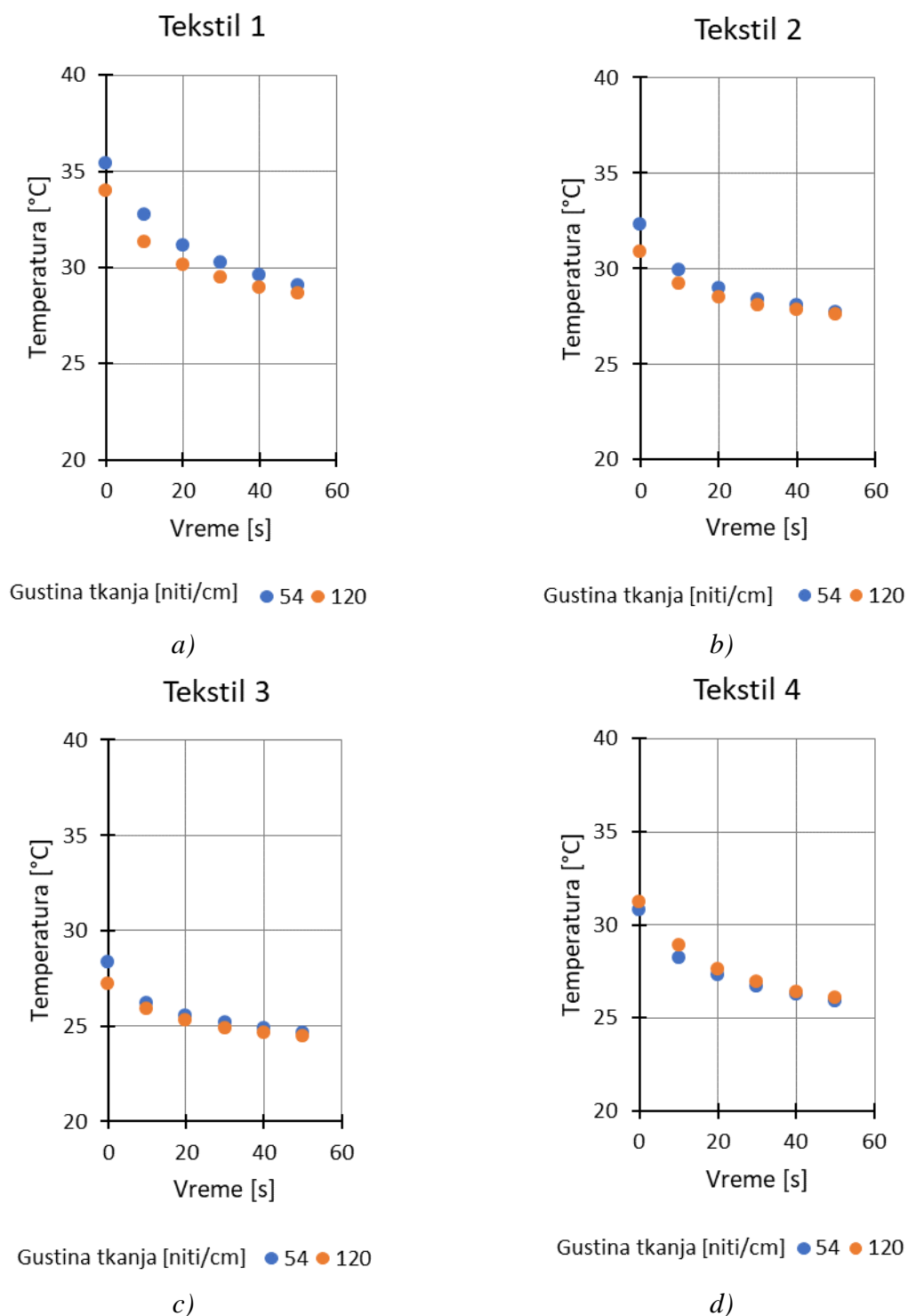
Na slikama 6.4.39 i 6.4.40 prikazane su promene temperature tokom vremena za tekstilne i papirne uzorke. Na uporednom grafičkom prikazu temperatura za tekstilne uzorke, predstavljenom na slici 6.4.39, primetno je da maksimalna i minimalna zabeležena temperatura nije ista za sve uzorke. Isto tako, primetno je da se promena temperature tokom vremena odvijala prilično ravnomerno i postepeno. Tekstil 1 odštampan sitom gustine tkanja 54 niti/cm se odlikuje najvećom zabeleženom temperaturom od svih ostalih uzoraka, i iznosi 35,4°C, dok je kod tekstila 2 ona nešto manja i iznosi 32,3°C za otisak dobijen sitom 54 niti/cm. Tekstil 3 karakterišu niže vrednosti temperature, a razlika temperature početnog i krajnjeg merenja je najmanja. Temperatura od 28,3°C predstavlja maksimalnu zabeleženu temperaturu za dati uzorak. Tekstil 4, posmatrajući stepen promena temperature tokom vremena, svoju sličnost deli sa tekstilom 2, s tim da kod tekstila 4 maksimalna zabeležena temperatura od 31,2°C pripada otisku koji je dobijen sitom gustine tkanja 120 niti/cm. Ako se uporede gustine tkanja sita, odnosno, zabeležene temperature na uzorcima koji su njima odštampani, uočljivo je da maksimalne temperature za tekstile 1, 2 i 3 odgovaraju otiscima dobijenim sitom gustine tkanja 54 niti/cm. Kod tekstilnog uzorka 4, maksimalne zabeležene temperature za svaki interval ispitivanja su odgovarale uzorcima dobijenim sitom 120 niti/cm.

Tabela 6.4.9: Prikaz srednjih vrednosti temperature za tekstilne uzorke štampane žutom termohromatskom bojom

Gustina tkanja sita [niti/cm]	Vreme [s]	Temperatura [°C] Tekstilni uzorci			
		Tekstil 1	Tekstil 2	Tekstil 3	Tekstil 4
54	0	35,4	32,3	28,3	30,8
	10	32,7	29,9	26,2	28,2
	20	31,1	28,9	25,5	27,2
	30	30,2	28,3	25,1	26,6
	40	29,6	28,0	24,8	26,2
	50	29,1	27,7	24,6	25,9
120	0	34,0	30,8	27,2	31,2
	10	31,3	29,2	25,8	28,8
	20	30,1	28,4	25,2	27,6
	30	29,5	28,0	24,8	26,9
	40	29,0	27,8	24,6	26,4
	50	28,6	27,6	24,4	26,0

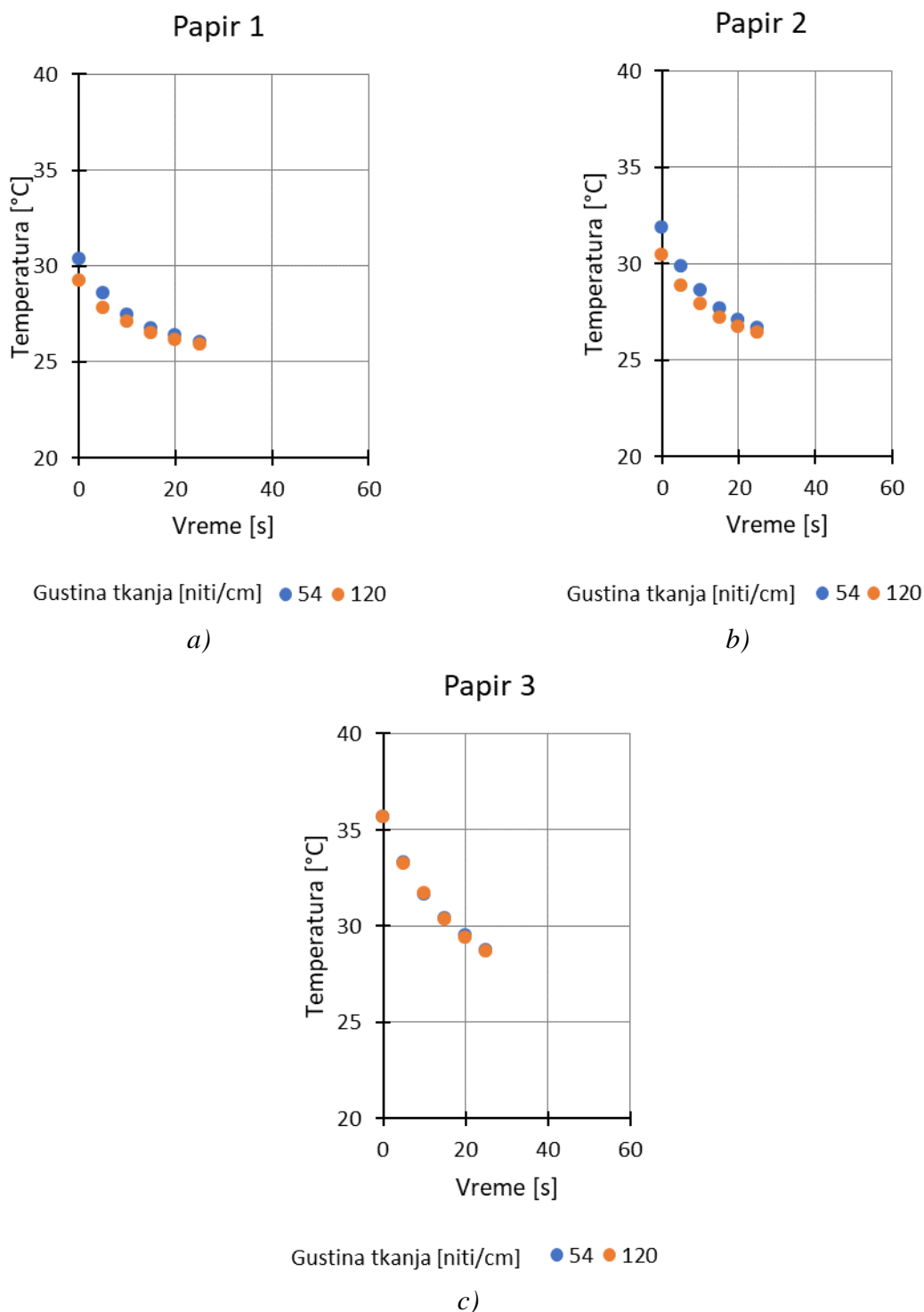
Tabela 6.4.10: Prikaz srednjih vrednosti temperature za papirne uzorke

Gustina tkanja sita [niti/cm]	Vreme [s]	Temperatura [°C]		
		Papir 1	Papir 2	Papir 3
54	0	30,3	31,9	35,6
	5	28,5	29,8	33,2
	10	27,4	28,6	31,6
	15	26,7	27,6	30,4
	20	26,3	27,0	29,5
	25	26,0	26,6	28,7
120	0	29,2	30,4	35,6
	5	27,7	28,8	33,2
	10	27,1	27,9	31,6
	15	26,5	27,2	30,3
	20	26,1	26,7	29,4
	25	25,9	26,4	28,6



Slika 6.4.39: Uporedni prikaz promene temperature tokom vremena za tekstilne uzorke odštampane žutom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm i 120 niti/cm

Sa grafičkog prikaza dobijenih vrednosti temperature za papirne materijale, predstavljenog na slici 6.4.40, jasno je uočljivo da različiti uzorci imaju različito ponašanje na temperaturi, odnosno, da im maksimalne i minimalne temperature nisu iste, dok je stepen promene temperature tokom vremena vrlo sličan.



Slika 6.4.40: Uporedni prikaz promene temperature tokom vremena za papirne uzorke odštampane žutom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm i 120 niti/cm

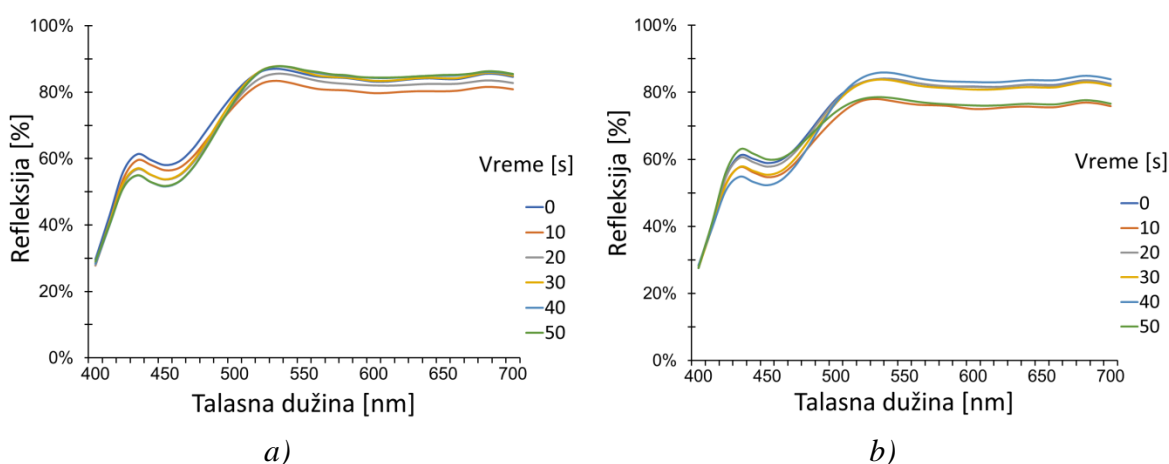
Za prikazane uzorke se može videti da su promene temperature imale gotovo ravnomeran pad. Maksimalna zabeležena temperatura za papir 1 je 30,3°C, za otisak koji je dobijen sitom 54 niti/cm. Papir 2 ima maksimalnu zabeleženu temperaturu koja iznosi 31,9°C za otisak koji je dobijen sitom 54 niti/cm.

Kod papirnih uzoraka 1, 2 i 3 je takođe primetno da su za svako ispitivanje najveće vrednosti temperature zabeležene kod otisaka koji su dobijen sitom 54 niti/cm, i da sa

povećanjem gustine tkanja sita, ona opada. Jedini izuzetak predstavlja Papir 3 na kome su maksimalne temperature bile jednake, to je ujedno i najveća zabeležena vrednost temperature i iznosi 35,6°C. Takođe, za Papir 3 se može videti da su vrednosti temperature za otiske koji su dobijeni pomoću sita 54 niti/cm i 120 niti/cm veoma slične za čitav ciklus ispitivanja, kao i da su u pojedinim intervalima ispitivanja te vrednosti bile nešto veće za uzorke otisnute sitom 54 niti/cm od onih koji su otisnuti sitom 120 niti/cm. Uzorci otisnuti sitom gustine tkanja 54 niti/cm u poređenju sa uzorcima dobijenim sitom 120 niti/cm su zabeležili veće maksimalne vrednosti temperature za čitav ciklus ispitivanja, isključujući papir 3 na kome su ove vrednosti bile prilično slične.

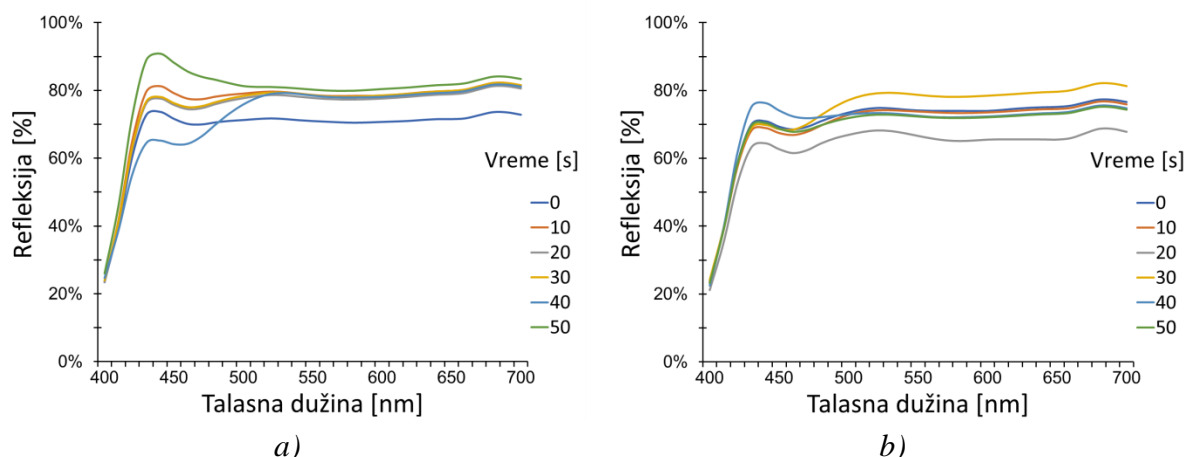
Spektrofotometrijska analiza

Spektrofotometrijskim ispitivanjem uzoraka štampanih žutom termohromatskom bojom, dobijene su vrednosti spektralnih podataka čije su srednje vrednosti predstavljene u obliku krivih spektralne refleksije. Krive su prikazane na slikama 6.4.41-6.4.47, a čijom analizom će se utvrditi kako promena temperature tokom vremena utiče na promenu stepena refleksije za opseg talasnih dužina vidljivog dela spektra od 550 nm do 580 nm [Dedijer, 2016] koji zapravo pripada žutoj boji, pri čemu je u obzir uzet i uticaj različitih materijala za štampu i gustina tkanja sita.



Slika 6.4.41: Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 1, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

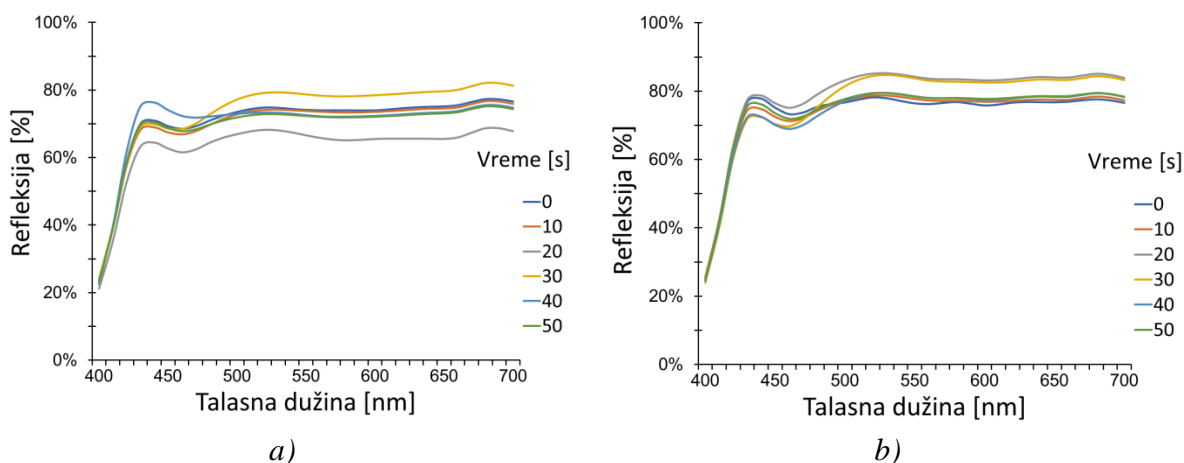
Sa slike 6.4.41, na kojoj su prikazane krive spektralne refleksije za tekstilne uzorke 1 koji su odštampani sitom gustine tkanja 54 niti/cm, odnosno, 120 niti/cm, može se primetiti da uzorak sa slike 6.4.41a ima maksimalni procenat refleksije od 87,60% koji je zabeležen na talasnoj dužini 550 nm, dok uzorak sa slike 6.4.41b ima nešto manji procenat refleksije koji iznosi 85,833% za talasnu dužinu 550 nm. Ukupna razlika u procentu refleksije između prvog i poslednjeg ispitivanja je nešto veća za uzorak koji je odštampan sitom 120 niti/cm, i ona iznosi 8,04%, dok je za uzorak koji je dobijen sitom 54 niti/cm ta razlika manja i iznosi 4,93%.



Slika 6.4.42: Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 2, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

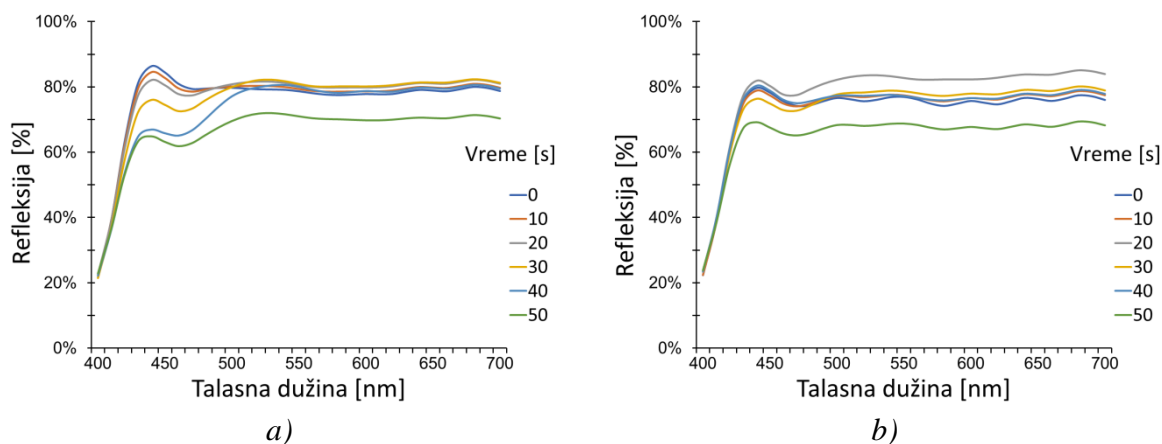
Tekstil 2, prikazan na slici 6.4.42a za sito 54 niti/cm i 6.4.42b za sito 120 niti/cm, ima krive koje su nešto različite Tekstilu 1, s tim da je razlika u procentima nešto veća za uzorak sa slike 6.4.42b, i iznosi 11,68%, odnosno, manja za uzorak sa slike 6.4.42a, gde iznosi 9,20%, pri čemu je maksimalni zabeleženi procenat refleksije za otisak dobijen sitom 54 niti/cm 90,85% za 420 nm, a za otisak dobijen sitom 120 niti/cm 79,32% za 550 nm.

U poređenju sa papirom 2, na papiru 3, prikazanom na slici 6.4.43a i 6.4.43b gledajući čitav ciklus ispitivanja ne mogu se приметiti drastične razlike u procentima refleksije kao i u ukupnoj razlici u procentu refleksije na talasnoj dužini 550 nm. Maksimalne zabeležene vrednosti stepena refleksije za uzorak sa slike 6.4.43a iznosi 83,49% na talasnoj dužini 550 nm, a za uzorak sa slike 6.4.43b, on iznosi 83,74% za talasnu dužinu 550 nm.



Slika 6.4.43: Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 3, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

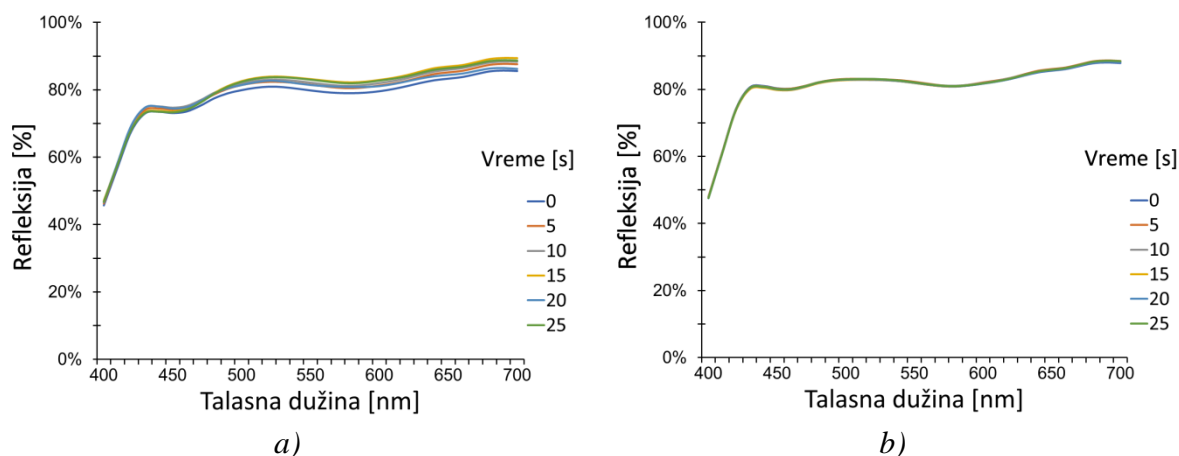
Tekstil 4 karakterišu maksimalne vrednosti refleksije koje su zabeležene na 550 nm, 80,59% za otisak dobijen sitom 54 niti/cm, i 82,27% za otisak dobijen sitom 120 niti/cm. Razlika u procentima refleksije je nešto manja za uzorak sa slike 6.4.44a.



Slika 6.4.44: Krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 4, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

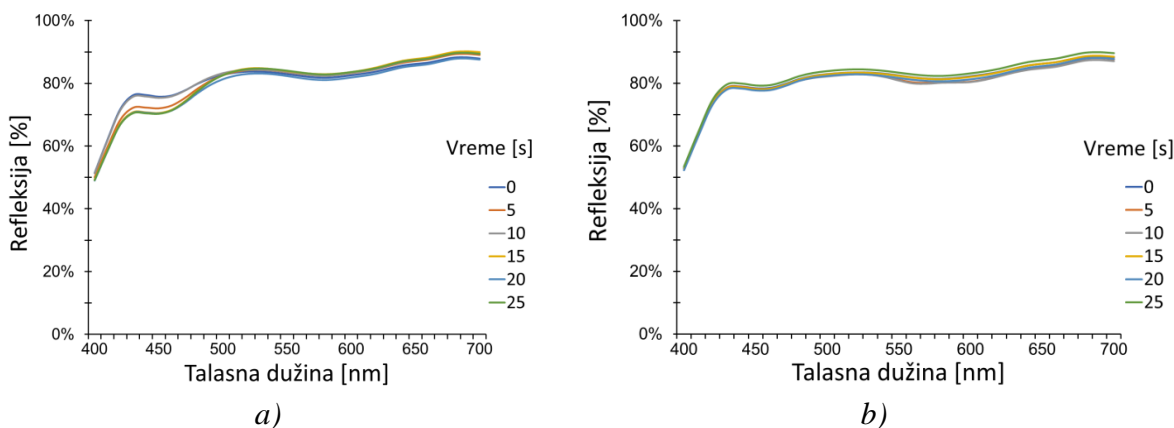
Na slici 6.4.45 su predstavljene krive spektralne refleksije za papirne uzorke 1 koji su odštampani sitima gustine tkanja 54 niti/cm i 120 niti/cm.

Maksimalni procenti refleksije zabeleženi na talasnoj dužini 550 nm za uzorke sa slika 6.4.45a i 6.4.45b, iznose 82,54% i 82,10%. Razlike u procentu refleksije koje su ostvarene između prvog i poslednjeg ispitivanja su manje na uzorku štampanom sitom gustine tkanja 120 niti/cm i gotovo da ta vrednost prelazi tek nešto više od 0% što ukazuje na neupotrebljivost ovog materijala u kombinaciji sa datom bojom i gustinom tkanja sita.



Slika 6.4.45: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 1, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

Maksimalni procenti refleksije zabeleženi na talasnoj dužini 550 nm za uzorke sa slika 6.4.46a i 6.4.46b, iznose 84,04% i 83,37%. Razlike u procentu refleksije koje su ostvarene između prvog i poslednjeg ispitivanja su manje na uzorku štampanom sitom gustine tkanja 120 niti/cm i gotovo da ta vrednost prelazi tek nešto više od 1,5% što ukazuje na neupotrebljivost ovog materijala u kombinaciji sa datom bojom i gustinom tkanja sita.

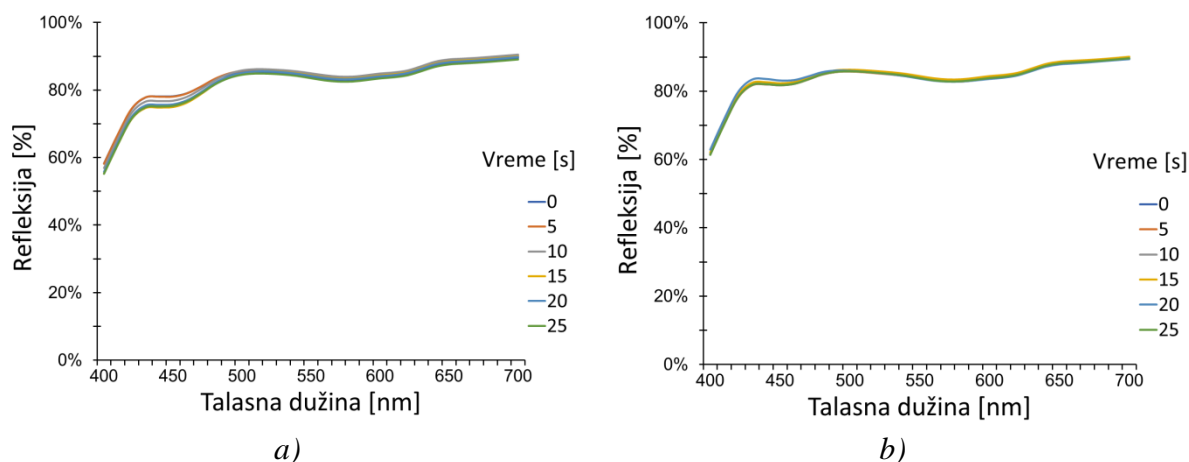


Slika 6.4.46: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 2, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

Papir 3 je pokazao vrlo slične maksimalne procenete refleksije zabeležene na talasnoj dužini 550 nm za uzorke sa slika 6.4.47a i 6.4.467, koji iznose 83,51% i 83,84%. Razlike u procentu refleksije koje su ostvarene između prvog i poslednjeg ispitivanja su veoma male za obe gustine tkanja sita i pokazuju najmanju upotrebljivost ove kombinacije materijala, boje i gustine tkanja sita.

Kao što se može videti na slikama 6.4.41-6.4.47, na kojima su predstavljene krive spektralne refleksije za tekstilne i papirne uzorke koji su štampani sitima različite gustine tkanja, svi uzorci imaju približno isti oblik spektralne krive, s tim da se maksimalni i minimalni procenat spektralne refleksije razlikuju od uzorka do uzorka, kao i njihove promene tokom vremena tj. hlađenja.

Posmatrajući spektralne krive svih ispitivanih uzoraka, može se primetiti da maksimalni procenat refleksije gotovo isti nezavisno od gustine tkanja korišćenog sita i da je razlika u procentu refleksije između prvog i poslednjeg ispitivanja takođe vrlo slična.



Slika 6.4.47: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 3, odštampan žutom termohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

Kolorimetrijska analiza

Kolorimetrijskim ispitivanjem su dobijene vrednosti CIE L*, a* i b* koordinata za koje su u procesu obrade podataka izračunate srednje aritmetičke vrednosti za svaki ispitivani uzorak, a koje su potom iskorišćene za izračunavanje apsolutne razlike boja. Cilj ove analize je da se utvrdi kako se boja menjala tokom vremena, i kakav uticaj na istu imaju različite podloge za štampu i različite gustine tkanja sita. Srednje CIE L*, a* i b* vrednosti kao i izračunata razlika boja između trenutnog ispitivanja i prvog ispitivanja za dati uzorak, kao i između trenutnog ispitivanja i njemu prethodnog ispitivanja za isti uzorak, su tabelarno predstavljene u tabeli 6.4.11 za tekstilne uzorke, i u tabeli 6.4.12 za papirne uzorke. Grafički prikazi apsolutne razlike boja za obe vrste materijala su predstavljeni na slikama 6.4.48 i 6.4.49.

*Tabela 6.4.11: Prikaz vrednosti CIE L*a*b* koordinata i razlika boja za tekstilne uzorke odštampane žutom termohromatskom bojom*

Uzorak	Gustina tkanja sita [niti/cm]	Vreme [s]	L*	a*	b*	ΔE^* (u odnosu na prvo ispitivanje)	ΔE^* (u odnosu na prethodno ispitivanje)
Uzorak 1	54	0	98,13	-5,71	23,62	0,00	0,00
		10	98,03	-5,52	22,31	2,11	2,11
		20	97,94	-5,48	22,04	1,33	1,01
		30	97,66	-4,99	20,97	2,15	0,91
		40	96,14	-4,97	18,83	3,69	2,39
		50	92,30	-4,60	17,13	5,74	2,77
	120	0	97,64	-3,46	13,59	0,00	0,00
		10	97,54	-3,74	15,09	0,88	0,88
		20	97,43	-3,52	14,28	1,24	1,33
		30	97,36	-4,04	16,64	2,03	1,43
		40	97,26	-3,51	14,20	1,22	1,51
		50	95,29	-3,60	13,99	1,72	2,52
Uzorak 2	54	0	95,59	-1,03	5,14	0,00	0,00
		10	95,55	-1,11	5,43	0,44	0,44
		20	95,49	-1,15	4,88	0,65	0,51
		30	95,34	-1,33	6,86	1,75	2,15
		40	94,94	-1,27	6,85	1,88	0,32
		50	93,25	-1,04	5,09	1,71	1,76
	120	0	96,63	-2,59	9,73	0,00	0,00
		10	96,45	-3,22	12,74	2,04	2,04
		20	96,29	-2,96	11,87	1,57	1,50
		30	96,26	-3,13	12,43	2,24	2,02
		40	96,17	-2,83	10,88	0,96	1,35
		50	95,93	-2,63	9,39	1,51	1,89

Uzorak	Gustina tkanja sita [niti/cm]	Vreme [s]	L*	a*	b*	ΔE^* (u odnosu na prvo ispitivanje)	ΔE^* (u odnosu na prethodno ispitivanje)
Uzorak 3	54	0	98,21	-1,79	4,97	0,00	0,00
		10	97,16	-1,33	5,21	2,14	2,14
		20	97,05	-1,48	6,15	1,74	1,31
		30	96,83	-1,79	7,69	2,66	1,24
		40	96,72	-1,85	8,00	3,64	1,62
		50	95,29	-1,57	6,45	3,82	2,15
	120	0	97,50	-2,36	8,87	0,00	0,00
		10	97,35	-2,07	8,06	1,24	1,24
		20	97,33	-2,17	7,92	0,88	0,57
		30	97,18	-2,00	8,09	1,81	1,11
		40	97,01	-2,48	9,76	1,30	1,28
		50	95,25	-2,18	8,02	2,67	1,90
Uzorak 4	54	0	97,84	-1,94	6,27	0,00	0,00
		10	97,54	-2,36	8,11	1,94	1,94
		20	97,44	-2,76	10,05	2,81	2,70
		30	97,39	-1,99	6,45	1,08	2,69
		40	95,64	-2,30	7,51	2,40	2,75
		50	94,74	-2,70	9,25	3,25	1,63
	120	0	97,51	-2,01	6,92	0,00	0,00
		10	97,44	-1,79	6,61	0,50	0,50
		20	97,16	-1,89	7,08	0,77	0,93
		30	97,09	-1,77	7,12	0,58	0,98
		40	96,94	-2,26	8,82	1,74	1,93
		50	92,07	-2,00	6,58	3,93	3,63

Tabela 6.4.12: Prikaz vrednosti CIE $L^*a^*b^*$ koordinata i razlika boja za papirne uzorke odštampane žutom termohromatskom bojom

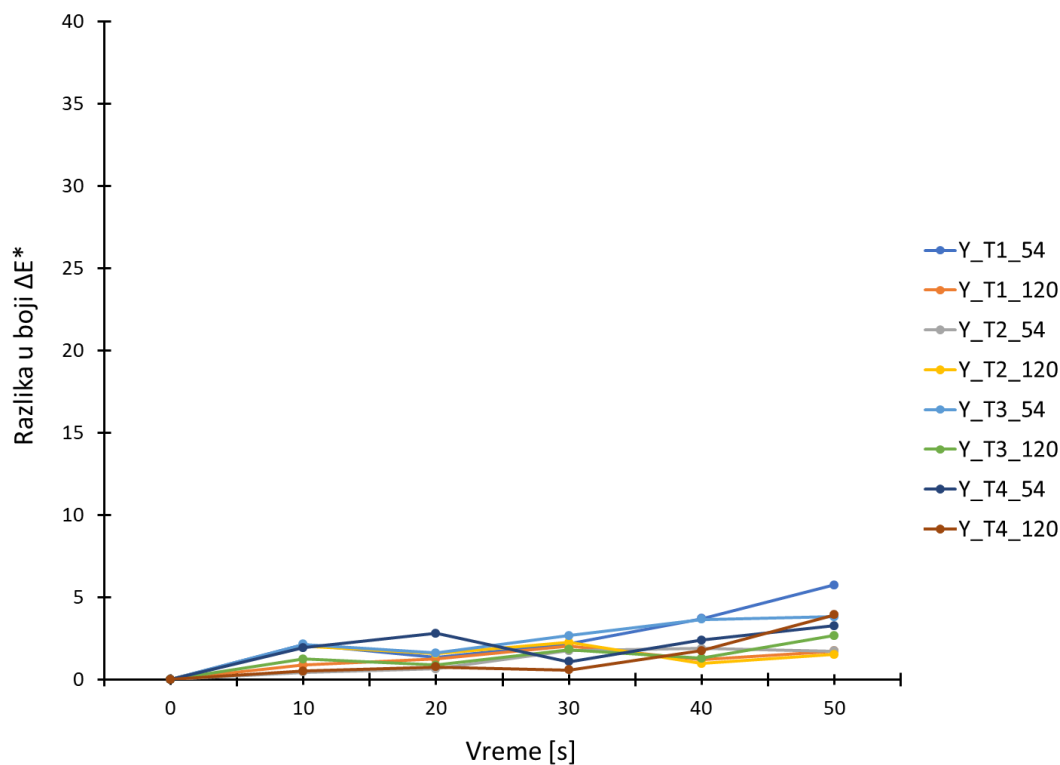
Uzorak	Gustina tkanja sita [niti/cm]	Vreme [s]	L*	a*	b*	ΔE^* (u odnosu na prvo ispitivanje)	ΔE^* (u odnosu na prethodno ispitivanje)
Uzorak 1	54	0	95,43	-0,57	4,72	0,00	0,00
		5	95,35	-0,64	5,41	0,74	0,74
		10	95,28	-0,59	5,34	1,15	0,80
		15	95,20	-0,71	5,78	1,38	1,34
		20	95,16	-0,82	6,42	1,67	1,74
		25	95,04	-0,81	6,37	1,77	0,56

Uzorak	Gustina tkanja sita [niti/cm]	Vreme [s]	L*	a*	b*	ΔE^* (u odnosu na prvo ispitivanje)	ΔE^* (u odnosu na prethodno ispitivanje)
	120	0	95,35	0,87	0,84	0,00	0,00
		5	95,32	0,35	0,50	1,12	1,12
		10	95,25	0,58	0,78	0,57	0,79
		15	95,24	0,39	0,90	0,81	0,39
		20	94,58	2,24	-0,65	2,13	2,57
		25	93,89	3,07	-1,69	3,08	1,31
Uzorak 2	54	0	95,33	-0,28	4,19	0,84	0,00
		5	95,30	-0,22	4,11	0,58	0,66
		10	95,25	-0,37	4,79	0,99	1,41
		15	95,19	-0,56	5,59	1,60	2,52
		20	95,04	-0,80	6,69	1,89	2,66
		25	94,97	-0,57	5,00	1,17	1,44
	120	0	95,63	0,29	1,83	0,00	0,00
		5	95,61	0,06	1,70	0,49	0,49
		10	95,55	0,21	1,86	0,59	0,38
		15	95,52	0,12	1,79	0,59	0,38
		20	95,49	0,03	1,86	0,64	0,63
		25	95,43	0,15	1,81	0,55	0,65
Uzorak 3	54	0	95,88	0,02	0,99	0,00	0,00
		5	95,82	-0,08	1,98	1,82	1,82
		10	95,76	-0,21	2,24	1,46	2,62
		15	95,74	-0,22	2,58	1,52	0,96
		20	95,68	-0,41	2,96	1,92	1,51
		25	95,60	-0,26	2,69	2,61	1,45
	120	0	96,21	0,67	-0,48	0,00	0,00
		5	96,06	0,03	-0,04	0,44	0,44
		10	96,00	0,25	-0,36	0,74	0,58
		15	95,97	0,27	-0,31	1,29	1,66
		20	95,95	0,24	-0,27	1,21	2,06
		25	95,87	-0,25	-0,19	2,59	2,05

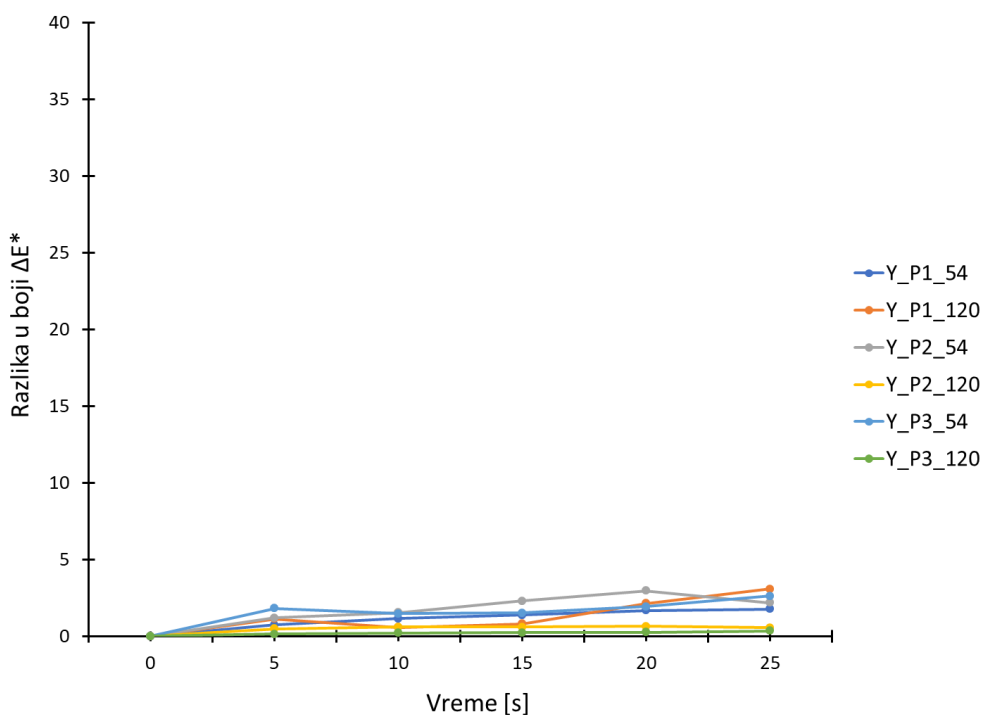
Sa slika 6.4.48 i 6.4.49 se može videti da se različiti uzorci odštampani sitima različite gustine tkanja ne ponašaju isto, odnosno, da im promena boje tokom vremena nije ista. Isto tako se može primetiti da krive pojedinih uzoraka imaju sličan trend porasta razlike boja, što nam govori da se tokom hlađenja boje one ponašaju veoma slično.

Posmatrajući slike 6.4.48 i 6.4.49 na kojima su prikazane razlike boja za ispitivane tekstilne i papirne uzorke, može se primetiti da je apsolutna razlika boja izuzetno mala, a da promena vrednosti ne zavisi od vrste materijala i gustine tkanja sita, već da je posledica

korišćene termohromatske žute boje. Iz tog razloga se zaključuje da korišćenje žute termohromatske boje nije preporučljivo za štampu indikatora pametne ambalaže.



Slika 6.4.48: Uporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za tekstilne uzorke odštampane žutom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm i 120 niti/cm



Slika 6.4.49: Uporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za papirne uzorke odštampane žutom termohromatskom bojom sitima gustine tkanja 54 niti/cm i 120 niti/cm

Ispitivanje termohromatske magenta boje

Spektrofotometrijska merenja tokom hlađenja zagrejanih uzoraka

Tokom hlađenja uzoraka merene su CIELab vrednosti za sve uzorke štampane magenta termohromatskom bojom. Rezultati su prikazani u tabelama 6.4.13-6.4.16.

Veza između kolorimetrijskih vrednosti boje (svetlina i zasićenje) i vremena nakon izlaganja toploti je istražena pomoću koeficijenta Pirsonove linearne korelacije (koeficijenti korelacije su prikazani u Tabelama 6.4.13-6.4.16. U slučaju sva četiri materijala i obe gustine tkanja sita, izračunata je izrazito jaka negativna korelacija između svetline i vremena hlađenja, kao i jaka pozitivna korelacija u slučaju zasićenja, odnosno boja postepeno tamni i postaje zasićenija sa većim vremenskim intervalom hlađenja. Visoki koeficijenti korelacije ukazuju na to da se kolorimetrijske vrednosti boja mogu sa velikim stepenom sigurnosti koristiti za određivanje vremena koje je proteklo od izlaganja temperaturnom izvoru. Veći koeficijenti korelacije u slučaju svetline upućuju na to da je vrednost svetline precizniji parametar za predikciju u odnosu na zasićenje boje. Dalje, izrazito visoke vrednosti koeficijentata korelacije u slučaju tekstila 1 pokazuju da stepen predikcije zavisi i od izbora materijala.

Uticaj materijala i gustine tkanja sita na opadanje vrednosti svetline je detaljnije istraženo faktorskom analizom varijanse ponovljenih merenja za trenutke 10, 20, 30, 40, 50, 60 i 70 sekundi nakon izlaganja toplotnom izvoru.

Osim što je utvrđen značaj uticaja vremena na svetlinu boje, $F = 319,344$, $p < 0,0005$, multivarijaciono parcijalno eta kvadrat = 0,997, potvrđeno je da utiču na ponašanje svetline materijal ($F = 319,344$, $p < 0,0005$, multivarijaciono parcijalno eta kvadrat = 0,993) i vrsta tkanja sita ($F = 42,171$, $p < 0,05$, multivarijaciono parcijalno eta kvadrat = 0,793).

Tabela 6.4.13: Rezultati spektrofotometrijskih merenja za magenta termohromatsku boju tekstil 1

Gustina tkanja sita (niti/cm)	T(s)	L	a	b	Razlika u boji u odnosu na prvu izmerenu vrednost (ΔE)	Razlika u boji između svakog narednog merenja (ΔE_{2-1})	r (r^2) korelacija L i T	r (r^2) korelacija C i T
54	10	84,00	21,94	-13,84	0,00	0,00	-0,948 (0,898)	0,921 (0,848)
	20	78,22	30,65	-16,64	5,65	5,65		
	30	71,71	40,90	-18,18	11,74	6,19		
	40	68,16	45,45	-17,84	14,79	3,21		
	50	67,00	47,18	-17,79	15,85	1,10		
	60	64,98	48,96	-17,28	17,49	1,78		
	70	62,18	52,46	-16,74	19,99	2,64		
120	10	86,69	17,33	-12,02	0,00	0,00	-0,940 (0,883)	0,916 (0,839)
	20	82,90	23,29	-14,87	4,12	4,12		
	30	77,45	31,55	-17,30	9,39	5,39		
	40	72,40	39,49	-17,87	13,98	4,90		
	50	69,07	44,48	-18,29	16,92	3,17		
	60	68,13	45,58	-18,18	17,69	0,86		
	70	65,30	48,59	-17,13	20,01	2,61		

Tabela 6.4.14: Rezultati spektrofotometrijskih merenja za magenta termohromatsku boju tekstil 2

Gustina tkanja sita (niti/cm)	T(s)	L	a	b	Razlika u boji u odnosu na prvu izmerenu vrednost (ΔE)	Razlika u boji između svakog narednog merenja (ΔE_{2-1})	r (r^2) korelacija L i T	r (r^2) korelacija C i T
54	10	81,29	24,87	-14,79	0,00	0,00	-0,865 (0,748)	0,836 (0,699)
	20	73,77	36,34	-18,46	7,23	7,23		
	30	64,41	49,91	-18,74	15,75	8,76		
	40	62,05	52,75	-16,73	17,28	2,10		
	50	61,51	53,76	-17,45	17,78	0,60		
	60	61,74	55,38	-17,52	18,55	1,11		
	70	59,12	55,59	-15,28	20,51	2,56		
120	10	80,35	24,71	-15,33	0,00	0,00	-0,911 (0,830)	0,879 (0,773)
	20	72,87	36,64	-18,11	9,74	7,44		
	30	68,47	42,87	-18,28	15,36	4,10		
	40	65,79	46,32	-17,88	19,14	2,51		
	50	63,61	49,23	-17,77	21,17	2,05		
	60	61,55	50,76	-16,51	23,34	1,95		
	70	61,39	52,85	-16,57	23,97	1,32		

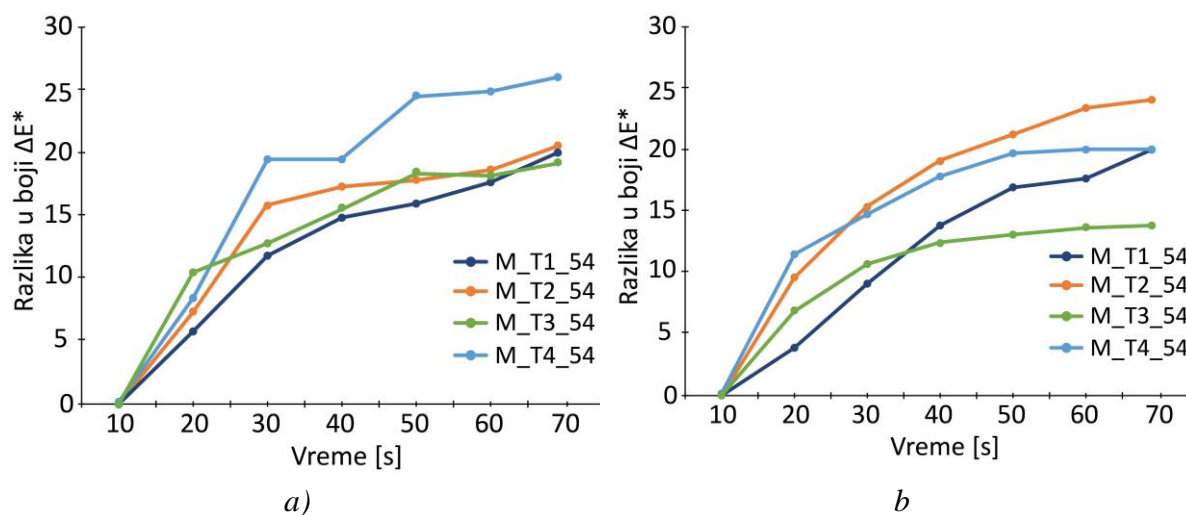
Tabela 6.4.15: Rezultati spektrofotometrijskih merenja za magenta termohromatsku boju tekstil 3

Gustina tkanja sita (niti/cm)	T(s)	L	a	b	Razlika u boji u odnosu na prvu izmerenu vrednost (ΔE)	Razlika u boji između svakog narednog merenja (ΔE_{2-1})	r (r^2) korelacija L i T	r (r^2) korelacija C i T
54	10	73,34	40,21	-21,64	0,00	0,00	-0,925 (0,856)	0,824 (0,679)
	20	62,44	55,75	-19,96	10,29	10,29		
	30	60,04	58,84	-18,36	12,67	2,44		
	40	57,25	61,64	-16,51	15,37	2,78		
	50	52,35	64,10	-13,26	17,87	0,15		
	60	52,36	63,90	-12,90	17,89	4,64		
	70	51,34	66,55	-12,67	19,05	1,23		
120	10	71,35	41,95	-19,88	0,00	0,00	-0,856 (0,733)	0,735 (0,54)
	20	63,71	52,07	-17,82	7,20	7,20		
	30	59,80	55,76	-15,62	10,88	3,75		
	40	58,05	57,29	-14,93	12,51	1,70		
	50	57,43	57,22	-14,36	13,07	0,78		
	60	56,69	57,67	-13,60	13,81	0,83		
	70	56,36	57,60	-13,33	14,10	0,67		

Tabela 6.4.16: Rezultati spektrofotometr. merenja za magenta termohromatsku boju tekstil 4

Gustina tkanja sita (niti/cm)	T(s)	L	a	b	Razlika u boji u odnosu na prvu izmerenu vrednost (ΔE)	Razlika u boji između svakog narednog merenja (ΔE_{2-1})	r (r ²) korelacija L i T	r (r ²) korelacija C i T
54	10	81,12	25,80	-15,81	0,00	0,00	-0,888 (0,788)	0,772 (0,596)
	20	74,79	42,43	-16,98	8,36	8,36		
	30	60,36	55,71	-15,79	19,40	12,49		
	40	62,13	61,94	-15,53	19,51	6,44		
	50	54,63	60,51	-13,73	24,50	6,81		
	60	54,24	60,68	-12,93	24,89	0,55		
	70	53,03	61,42	-12,43	25,99	1,23		
120	10	78,17	30,54	-18,11	0,00	0,00	-0,832 (0,692)	0,748 (0,567)
	20	65,68	48,30	-18,09	11,62	11,62		
	30	62,18	52,50	-16,71	14,87	3,36		
	40	58,81	55,49	-15,58	17,88	3,15		
	50	56,73	57,29	-14,35	19,83	2,07		
	60	56,52	56,25	-13,62	19,93	0,62		
	70	56,56	56,94	-13,93	19,96	0,61		

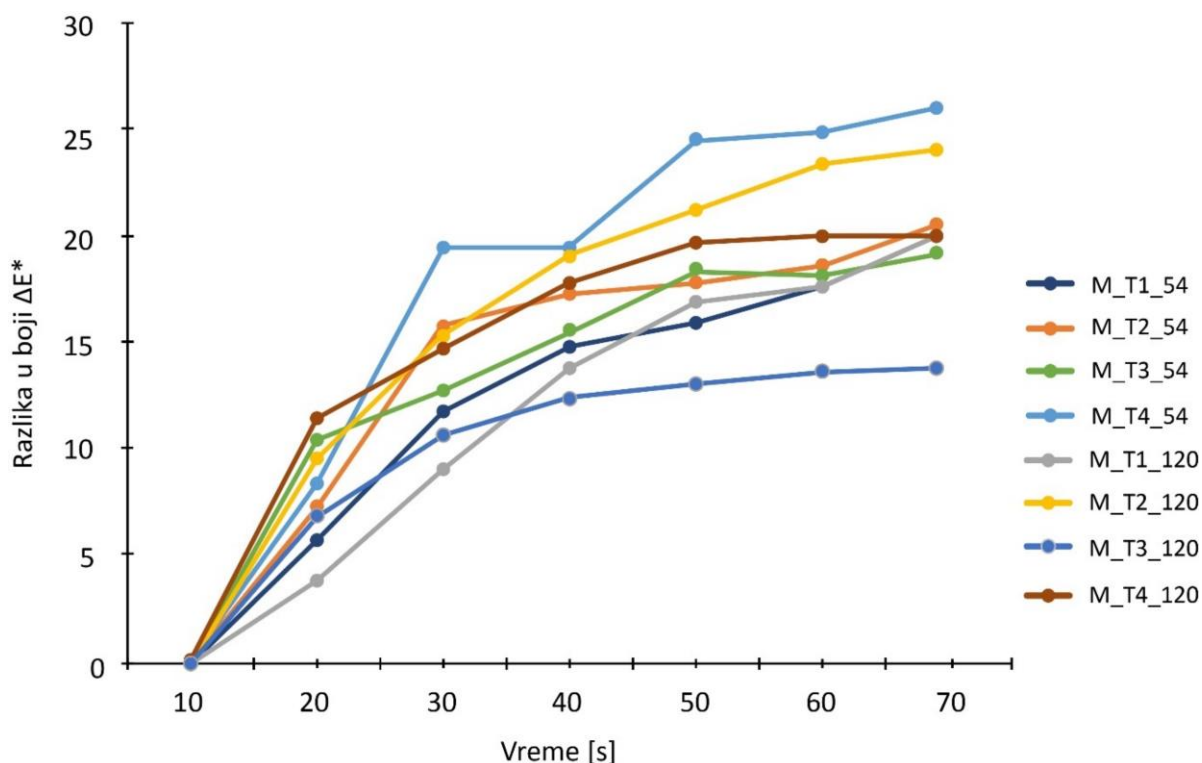
Uticaj vrste tekstilnog materijala na promenu razlike u boji u odnosu na prvu izmerenu vrednost tokom procesa hlađenja za ispitivane gustine tkanja sita 54 i 120 niti/cm prikazane su na slici 6.4.50a,b, redom.



Slika 6.4.50: Razlika u boji u odnosu na prvu izmerenu vrednost za uzorke magenta termohromatske boje štampane gustinom tkanja sita a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

Nakon analize razlika u boji uočeno je da tekstil 4 (54 niti/cm) i tekstil 2 (120 niti/cm) imaju najveću promenu razlike u boji u odnosu na prvu izmerenu vrednost. Ove tekstile odlikuje i nelinearnost vrednosti razlike u boji između svakog narednog merenja. To nas dovodi do zaključka da prisustvo poliestera u materijalu pospešuje ove karakteristike. U pogledu linearnosti promena tokom vremena, najlinearnija vrednost razlike u boji između svakog narednog merenja odlikuje tekstil 1 (54 niti/cm i 120 niti/cm), ujedno ove uzorke karakteriše i najmanja promena razlike u boji, i najmanji uticaj gustine tkanja sita na razliku u boji. Što je

gustina tkanja sita manja, razlika u boji između svakog narednog merenja je manja, ali je razlika u boji u odnosu na prvu izmerenu vrednost veća. Dakle, za svaku vrstu tekstita promene razlike u boji u odnosu na prvu izmerenu vrednost su veće za gustinu tkanja sita 54 niti/cm (slika 6.4.51).



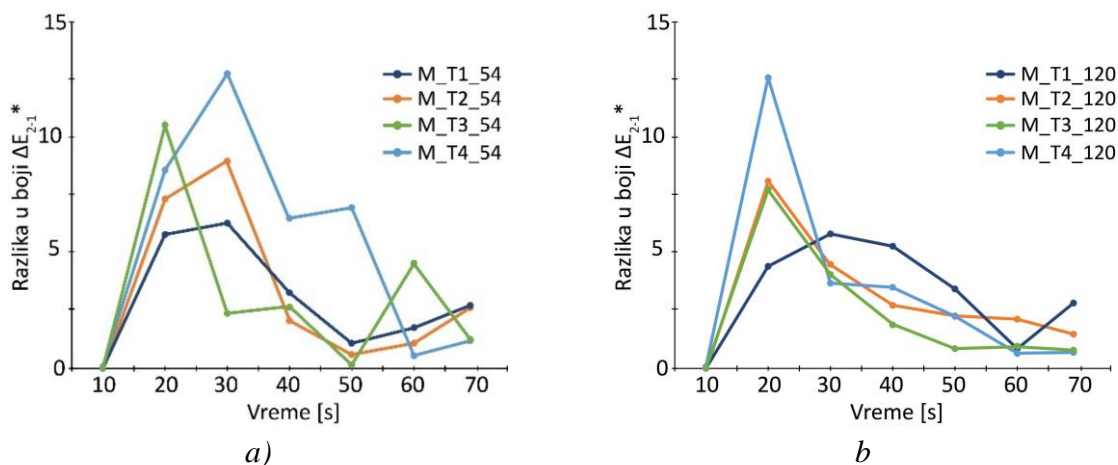
Slika 6.4.51: Poređenje uticaja ispitivanih gustina tkanja sita za sve ispitivane tekstilne uzorke magenta termohromatske boje

U okviru analize razlika u boji između svakog narednog merenja ustanovljeno je u kom trenutku se dogodila najveća promena boje, a potom se ta promena blago smanjivala sve do postizanja ambijentalne temperature. Za uzorke štampane sitom gustine tkanja 54 niti/cm uočeno je da se najveća promena dogodila u prvih 30 sekundi merenja, isključujući pamučni materijal najmanje površinske mase na kojem se najveća promena boje dogodila u prvih 20 sekundi merenja. Na uzorcima štampanim gustinom tkanja sita 120 niti/cm ta promena se dešavala na 20 sekundi merenja, isključujući pamučni materijal najveće površinske mase na kojem se ta promena dešavala na 30 sekundi merenja. Na osnovu ove analize potvrđeno je da gustina tkanja sita utiče na promenu termohromatske magenta boje na materijalu na taj način da što je veća gustina tkanja brža je promena u obojenju, odnosno uzorak se brže vraća iz bezbojnog u obojeno stanje. Takođe je potvrđeno da što je manja površinska masa materijala uzorak se brže vraća iz bezbojnog u obojeno stanje. Promene razlika u boji između dva uzastopna merenja u funkciji vremena hlađenja za gustine tkanja sita 54 niti/cm i 120 niti/cm prikazane su na slici 6.4.52a,b, redom.

Analizom uticaja vremena hlađenja na razliku u boji između dva uzastopna merenja uočeno je da su za sve tekstilne materijale optimalna vremena hlađenja 20 i 30 sekundi za gustine tkanja sita 120 i 54 niti/cm, redom (slika 6.4.52). Dakle, tanji nanos boje ima veću promenu razlike boje između dva uzastopna merenja za kraći vremenski interval.

Da bi se uporedili kontaktni i beskontaktni način zagrevanja, merenja su ponovljena pod istim uslovima na uzorcima koji su hlađeni nakon zagrevanja upotrebom industrijske pegle. Analizom odnosa razlike u boji i temperature primećeno je da uzorci izmereni nakon zagrevanja

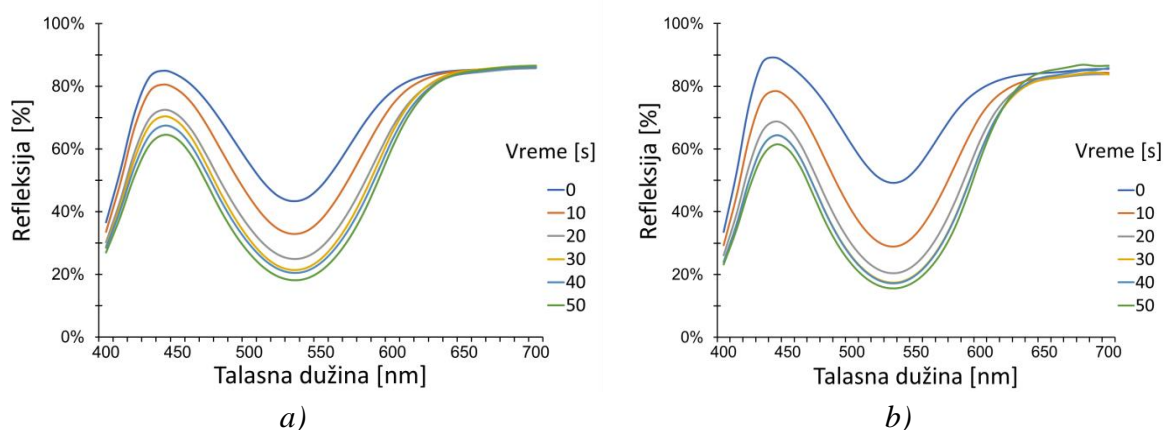
u industrijskoj pegli linearno povećavaju razliku u boji smanjujući temperaturu jer duže zadržavaju toplotu u materijalu. Ovi rezultati pokazuju da metoda zagrevanja utiče na vreme hlađenja uzoraka. Dakle, da bi se stvorili stvarni uslovi u kojima bi se mogao naći indikator štampan pametnom bojom, potrebno je koristiti uređaj za beskontaktno grejanje.



Slika 6.4.52: Promene razlika u boji između dva uzastopna merenja u funkciji vremena hlađenja uzoraka magenta termohromatske boje za gustine tkanja sita a) 54 i b) 120 niti/cm

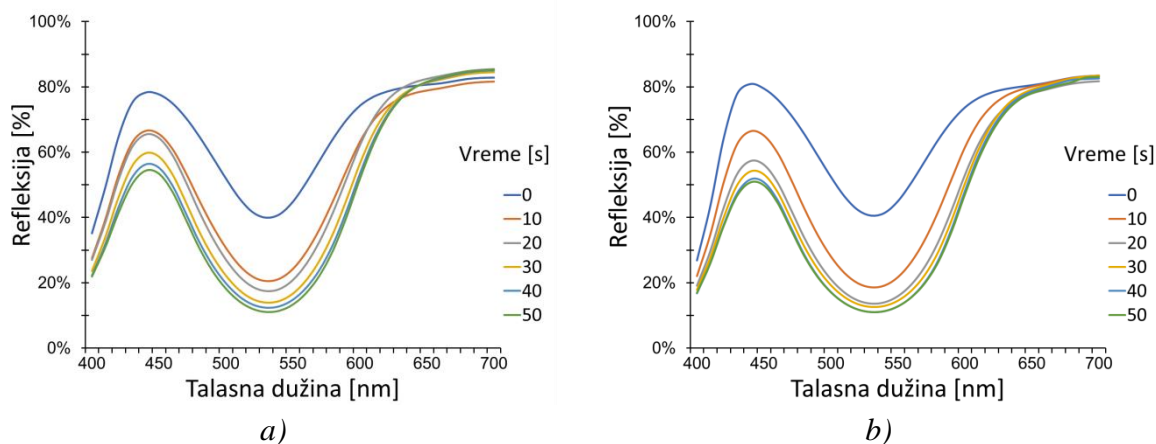
Merenje spektralnih krivih

Ukoliko se pogledaju slike 6.4.53-6.4.56, a koje predstavljaju spektralne krive za uzorke odštampane magenta bojom na tekstilima 1, 2, 3 i 4 pomoću sita gustine tkanja 54 i 120 niti/cm sa nje se uočava da sa povećanjem vremena hlađenja uzorka opada njena reflektivnost i da je maksimum spektralne refleksije za ovu boju u plavom i ljubičastom delu spektra.



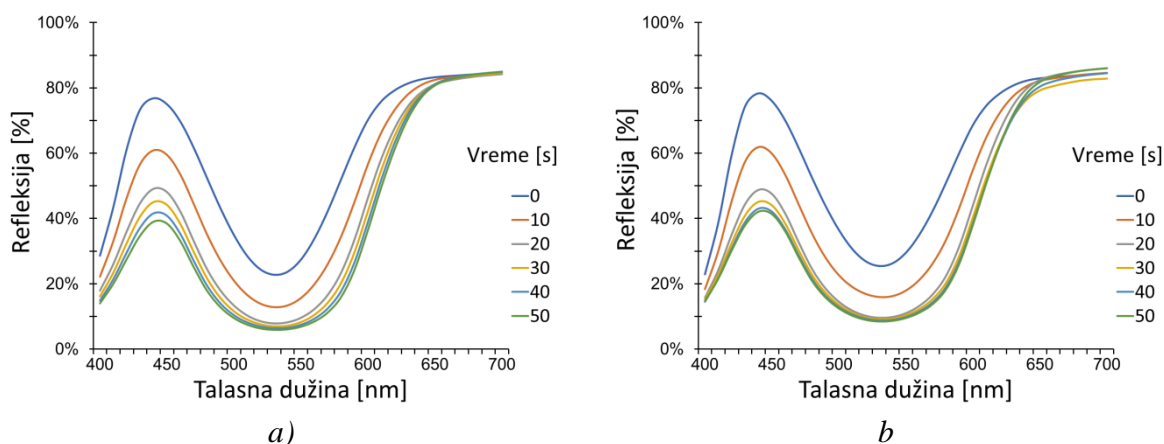
Slika 6.4.53: Krive spektralne refleksije za magenta termohromatski tekstilni uzorak 1, odštampan sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

Na slici 6.4.53 su predstavljene krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 1. Maksimalni procenti refleksije su zabeleženi na talasnim dužinama 430 nm i 740 nm za uzorke sa slike 6.4.53a, i oni iznose 84,97% i 86,55% respektivno (slika 6.4.53a). Dok je za uzorak sa slike 6.4.53b on zabeležen na 430 nm i 740 iznosio je 89,17% i 86,95% respektivno.



Slika 6.4.54: Krive spektralne refleksije za magenta termohromatski tekstilni uzorak 2, odštampan sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

Na slici 6.4.54 su predstavljene krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 2. Maksimalni procenti refleksije su zabeleženi na talasnim dužinama 430 nm i 740 nm za uzorke sa slike 6.4.54a, i oni iznose 78,27% i 85,34% respektivno (slika 6.4.54a). Dok je za uzorak sa slike 6.4.54b on zabeležen na 430 nm i 740 iznosio je 80,90% i 83,07% respektivno.

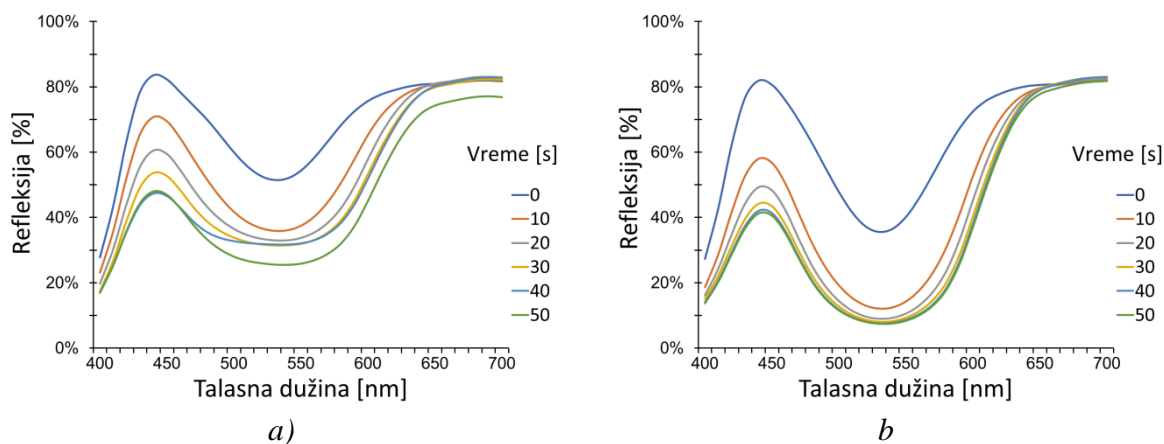


Slika 6.4.55: Krive spektralne refleksije za magenta termohromatski tekstilni uzorak 3, odštampan sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

Na slici 6.4.55 su predstavljene krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 3. Maksimalni procenti refleksije su zabeleženi na talasnim dužinama 440 nm i 740 nm za uzorke sa slike 6.4.55a, i oni iznose 75,00% i 84,89% respektivno (slika 6.4.55a). Dok je za uzorak sa slike 6.4.55b on zabeležen na 440 nm i 740 iznosio je 78,35% i 86,06% respektivno.

Na slici 6.4.56 su predstavljene krive spektralne refleksije za tekstilni uzorak 4. Maksimalni procenti refleksije su zabeleženi na talasnim dužinama 430 nm i 740 nm za uzorke sa slike 6.4.56a, i oni iznose 83,59% i 82,82% respektivno (slika 6.4.56a). Dok je za uzorak sa slike 6.4.56b on zabeležen na 440 nm i 740 iznosio je 81,91% i 81,80% respektivno.

Svi ispitivani uzorci imaju približno isti oblik spektralne krive, s tim da se maksimalni i minimalni procenat spektralne refleksije razlikuju od uzorka do uzorka, kao i njihove promene tokom vremena tj. hlađenja.



Slika 6.4.56: Krive spektralne refleksije za magenta termohromatski tekstilni uzorak 4, odštampnan sitom gustine tkanja a) 54 niti/cm b) 120 niti/cm

Najveću razliku u procentu refleksije između prva dva merenja pokazuje tekstilni uzorak 4 štampan gustinom tkanja sita 120 niti/cm i ona iznosi 23,93%, a najmanju uzorak 1 štampan sitom gustine tkanja 54 niti/cm i ona iznosi 4,42%. Ujedno Tekstil 1 štampan sitom gustine tkanja 54 niti/cm pokazuje najujednačenije promene procenta refleksije tokom merenja, što ukazuje da se refleksija na ovom uzorku postepeno menjala (Slika 6.4.53a).

Uočeno je i da svojstva materijala utiču na reflektivnost površine ukoliko se porede uzorci odštampnani na različitim materijalima. Uzorak sa najvišom površinskom masom je pokazao najsporiju promenu refleksije sa vremenom, dok je kod uzorka sa najmanjom površinskom masom već nakon 10 sekundi merenja spektralna refleksija opala i dobila gotovo konstantnu vrednost do kraja merenja.

Uticaj svojstava materijala na reflektivnost površine je u radovima prethodno dokazana [Moussa et al., 2008]. Uočeno je da gustina tkanja izabranog sita takođe utiče na reflektivnost površine ukoliko se porede uzorci odštampnani na istim materijalima. Svi materijali su pokazali da izbor manje gustine tkanja sita utiče na debljinu nanosa boje, sa smanjivanjem nanosa boje povećavala se reflektivnost površine, ali je kod svih materijala za kraće vreme hlađenja vrednost spektralne refleksije opadala i dostizala konstantnu vrednost.

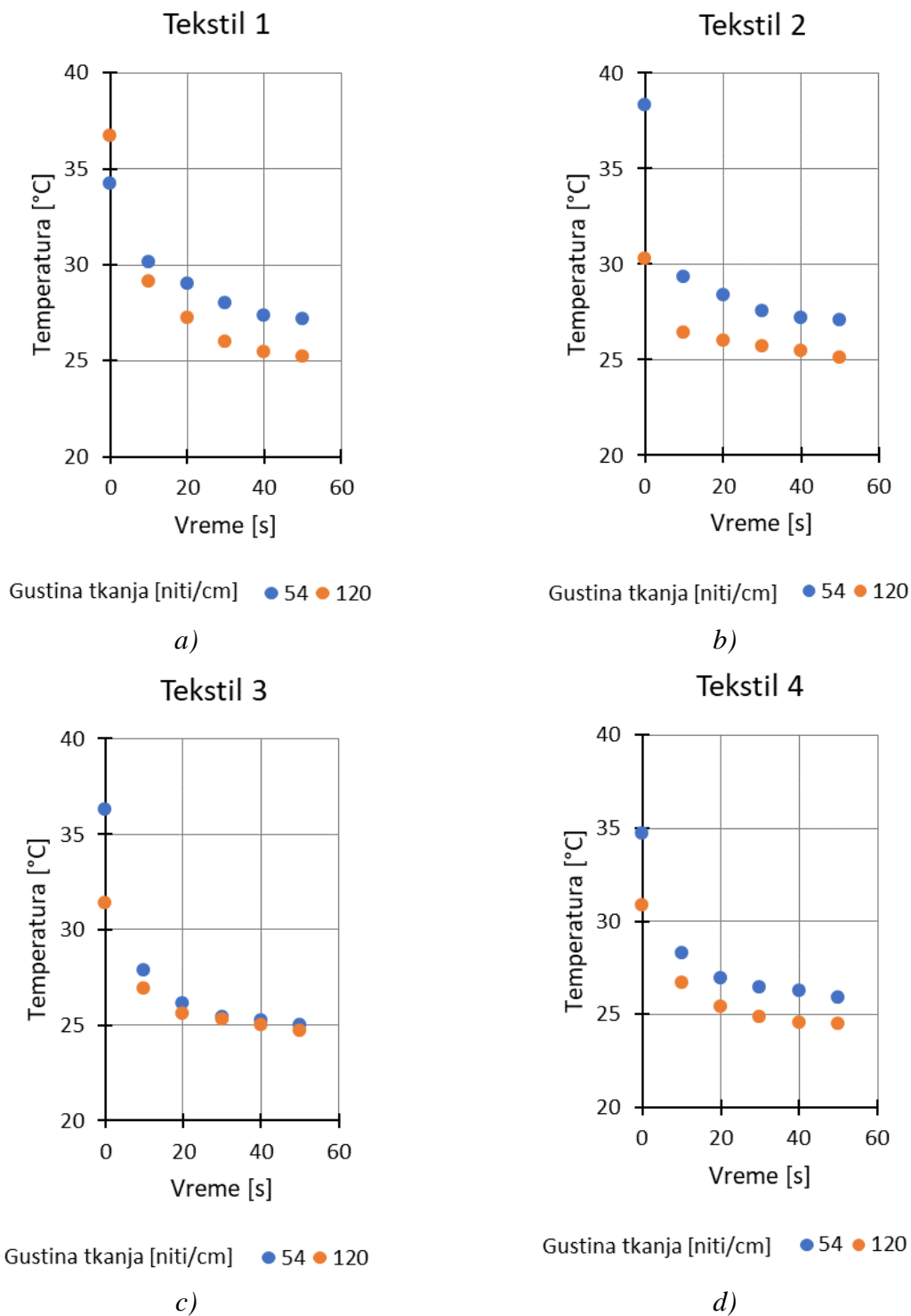
Dobijeni rezultati spektralnih kriva ukazuju na to da uzorak sa najvišom površinskom masom koji je štampan sitom 54 niti/cm ima najlinearniju promenu spektralne refleksije što govori da je nanos boje i izbor materijala optimalan.

Termovizijska merenja

Nakon zagrevanja uzoraka u trajanju od 3 minuta na temperaturi 50°C postignutoj u univerzalnom uređaju Colo DRY53A, kod svih materijala je primećeno da su nakon jedan minut dostigli ambijentalnu temperaturu. Temperatura površine analiziranih materijala je merena na svakih 10 s.

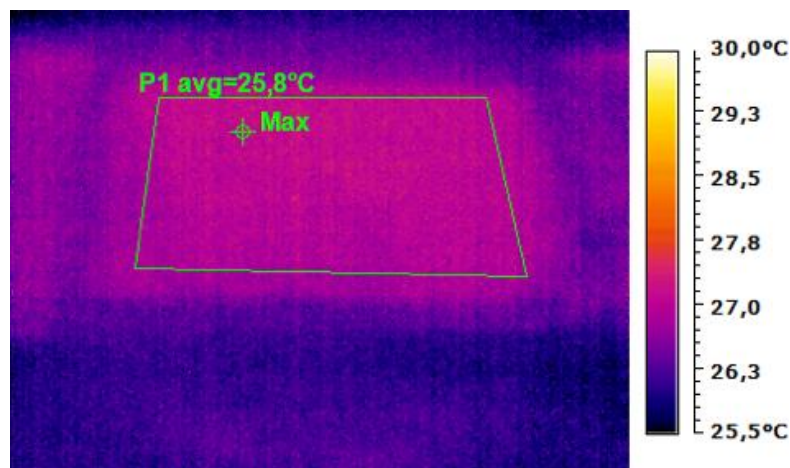
Obradom termovizijskih snimaka formirana je skica zavisnosti vremena i temperature na različitim materijalima i gustinama tkanja sita (slika 6.4.57).

Dobijeni rezultati pokazuju da na proces hlađenja odštampnanih uzoraka utiče izbor gustine tkanja sita i to na takav način da manja gustina tkanja omogućuje veće zadržavanje temperature uzorka tokom vremena, a samim tim i sporije hlađenje. Najmanje uticaja izbor gustine tkanja sita ima na Tekstil 3 gde su vrednosti promene temperature tokom vremena ujednačene (slika 6.4.58).



Slika 6.4.57: Zavisnost vremena, temperature, vrste materijala i gustine tkanja sita uzoraka štampanih magenta termohromatskom bojom

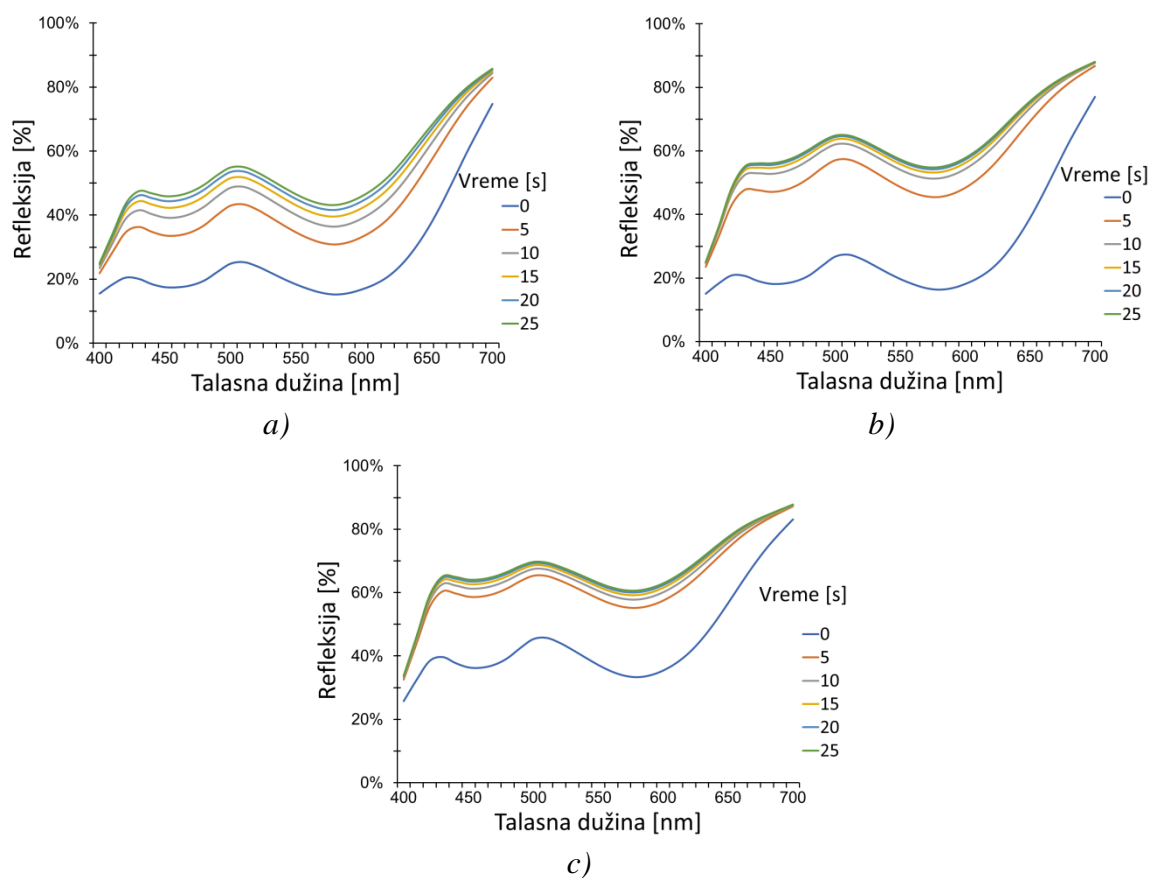
Na slici 6.3.58 je dat primer termovizijskog snimka.



Slika 6.4.58: Termovizijski snimak magenta termohromatske boje drugog merenja uzorka 3 štampanog korišćenjem sita 54 niti/cm nakon 40 s hlađenja

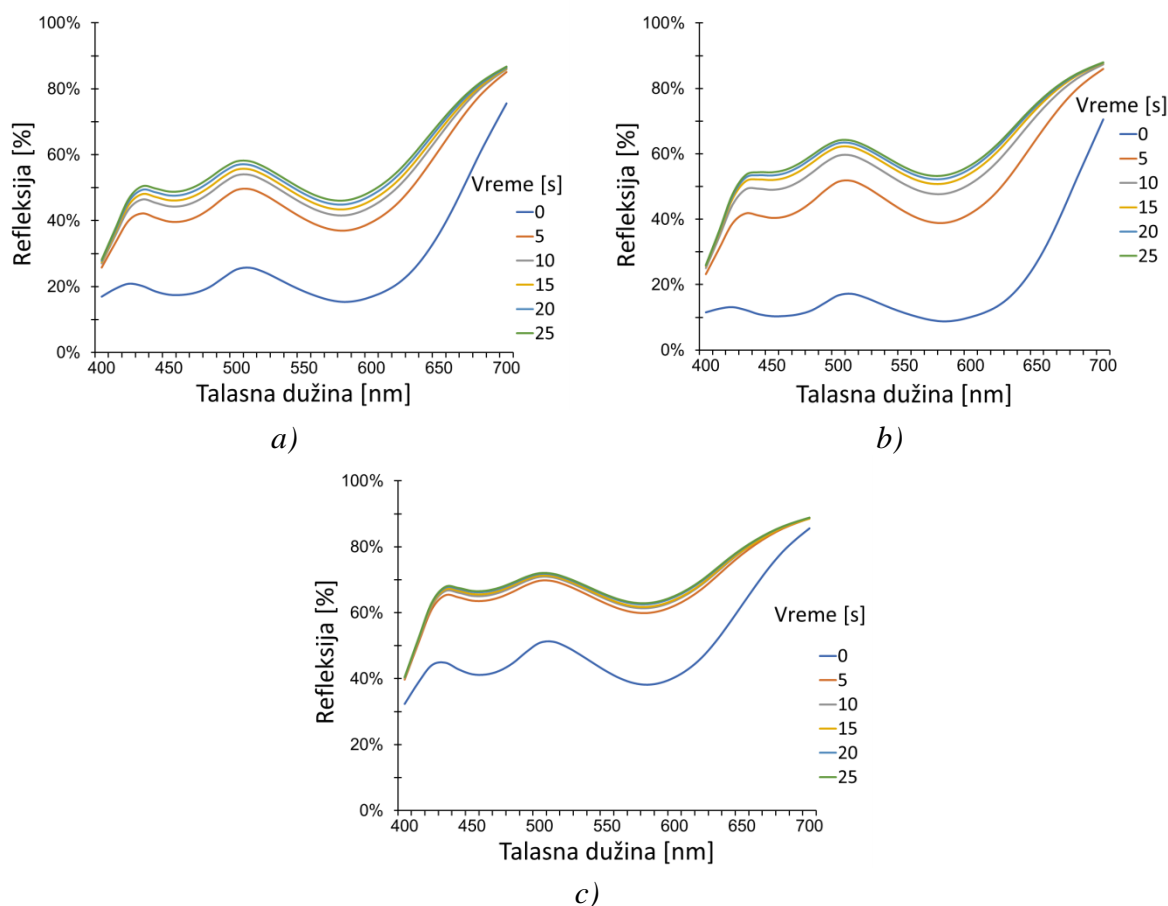
Ispitivanje termohromatske crne boje

Postupak ispitivanja termohromatske crne boje se razlikovao od postupka ispitivanja drugih boja u tome što se prilikom merenja ova boja zagrevala tokom proteklog vremena. Na slikama 6.4.59-6.4.61 su prikazane krive spektralne refleksije za ovu boju.



Slika 6.4.59: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 1, odštampan termohromatskom crnom bojom sitom gustine tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm

Za razliku od spektralnih krivih ostalih boja, krive za crnu boja imaju trend rasta sa proteklim vremenom i povećanja reflektivnosti. Razlog za to je što je ova boja izložena hladnom prostoru, a potom se zagrevala i u tim trenucima su vršena merenja. Poredeći krive spektralne refleksije za papir 1 (slika 6.4.59), uočava se sličan trend promene refleksije. Na svim uzorcima se refleksija najviše promenila u prvih 5 sekundi nakon premeštanja uzoraka iz hladne sredine na ambijentalnu temperaturu. Veća i brža promena spektralne refleksije se dešavala na uzorcima štampanim sitom gustine tkanja 90 niti/cm (slika 6.4.59b) i 90 niti/cm (slika 6.4.59c), dok se korišćenjem sita gustine tkanja 43 niti/cm postigao najpravnomerniji efekat promene spektralne refleksije (slika 6.4.59a).

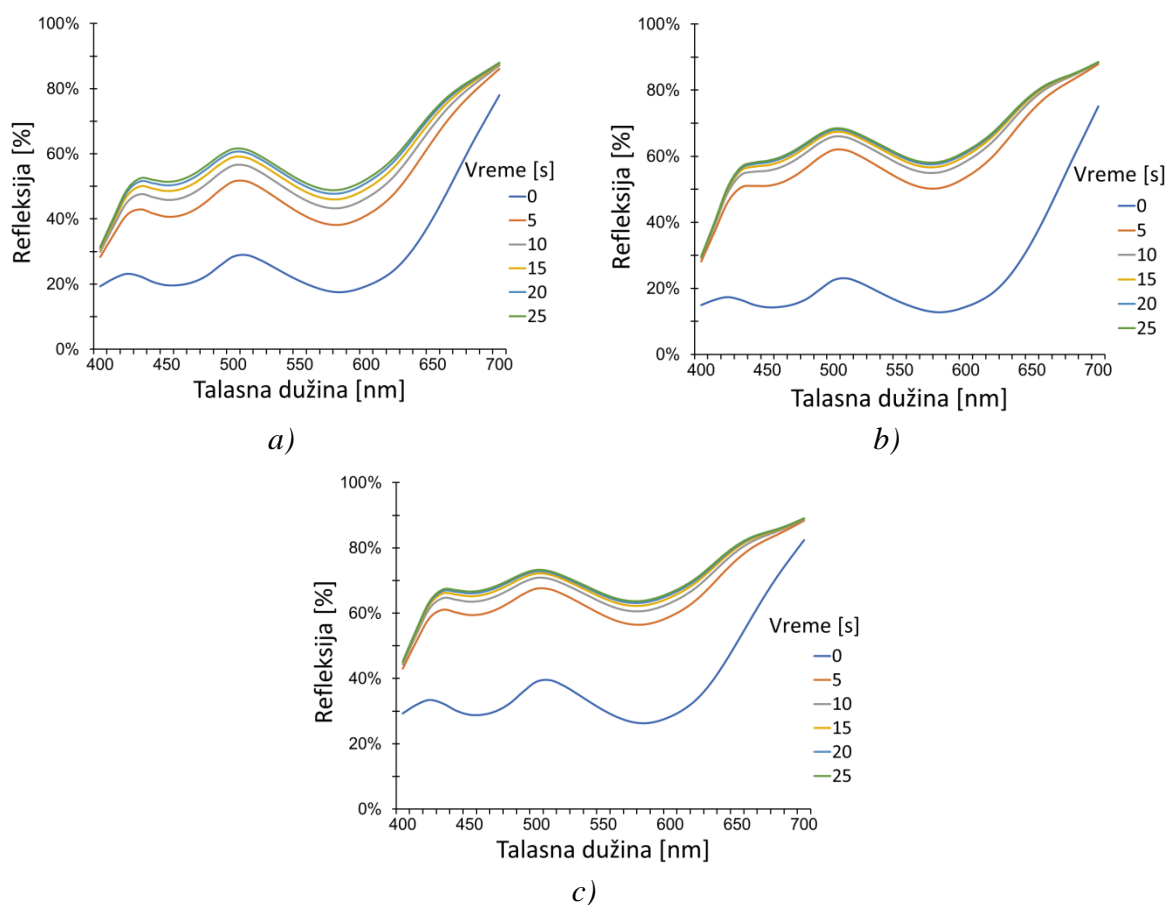


Slika 6.4.60: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 2, odštampan termohromatskom crnom bojom sitom gustine tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm

Kada je u pitanju papir 2 (slika 6.4.60) poredeći krive spektralne refleksije uočava se sličan trend promene refleksije. Na svim uzorcima se refleksija najviše promenila u prvih 5 sekundi nakon premeštanja uzoraka iz hladne sredine na ambijentalnu temperaturu. Najbrža promena spektralne refleksije dešavala se na uzorku štampanim sitom gustine tkanja 165 niti/cm (slika 6.4.60c) dok se korišćenjem sita gustine tkanja 43 niti/cm (slika 6.4.60a) i 90 niti/cm (slika 6.4.60b) postigao najpravnomerniji efekat promene spektralne refleksije.

Poredeći krive spektralne refleksije za papir 3 (slika 6.4.61) uočava se sličan trend promene refleksije. Na svim uzorcima se refleksija najviše promenila u prvih 5 sekundi nakon premeštanja uzoraka iz hladne sredine na ambijentalnu temperaturu. Najbrža promena spektralne refleksije dešavala se na uzorku štampanim sitom gustine tkanja 165 niti/cm (slika 6.4.60c) i 90 niti/cm (slika 6.4.60b) dok se korišćenjem sita gustine tkanja 43 niti/cm (slika 6.4.60a) postigao najpravnomerniji efekat promene spektralne refleksije.

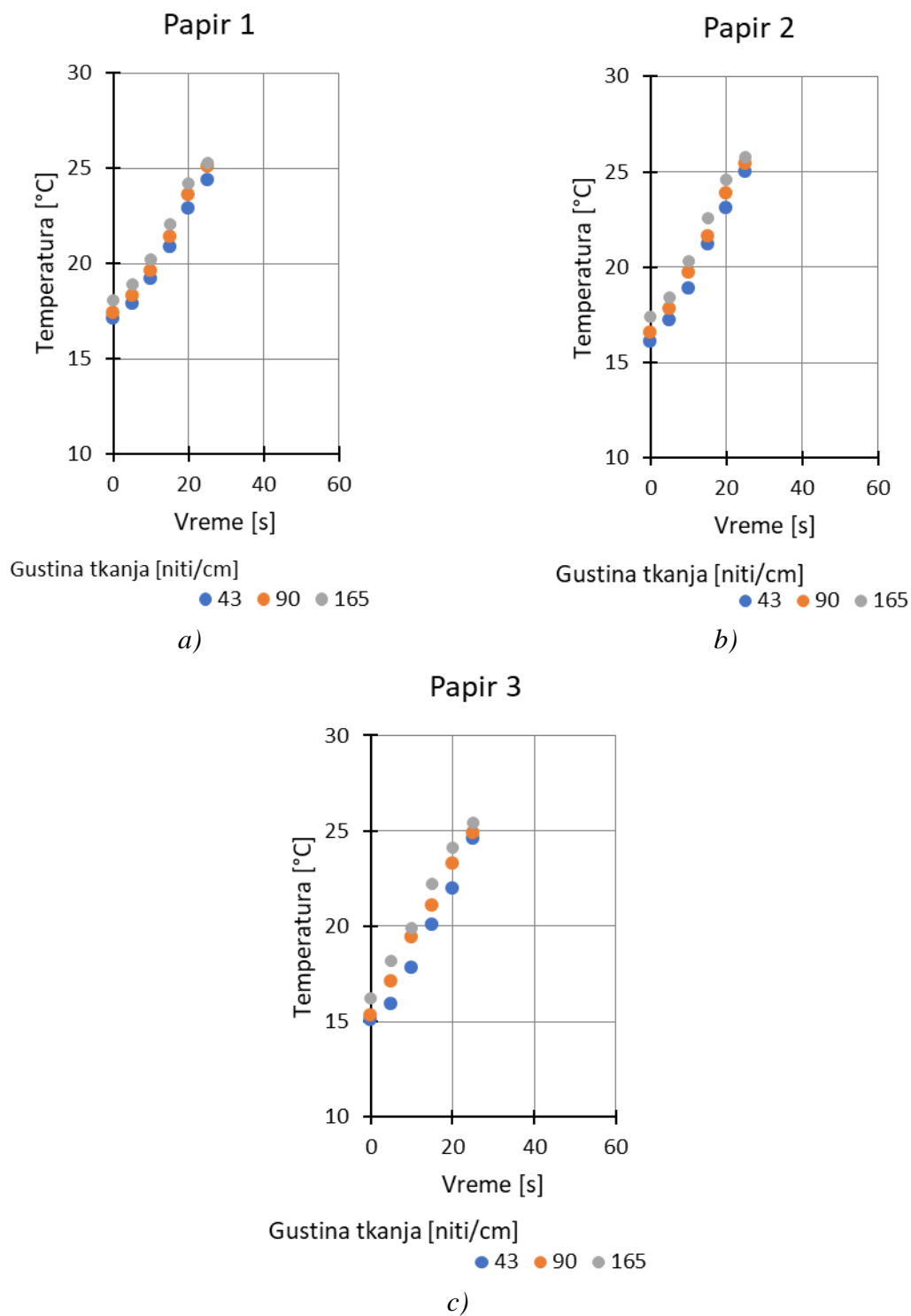
Poredeći sve tipove materijala uočava se pravilnost da se na svim uzorcima korišćenjem gustine tkanja sita 90 niti/cm postigla najveća razlika između prvog i poslednjeg merenja vrednosti spektralne refleksije. Što ukazuje da je ova kombinacija materijala, gustine tkanja sita i boje pogodna s obzirom da je trend promene gotovo isti za sve uzorke.



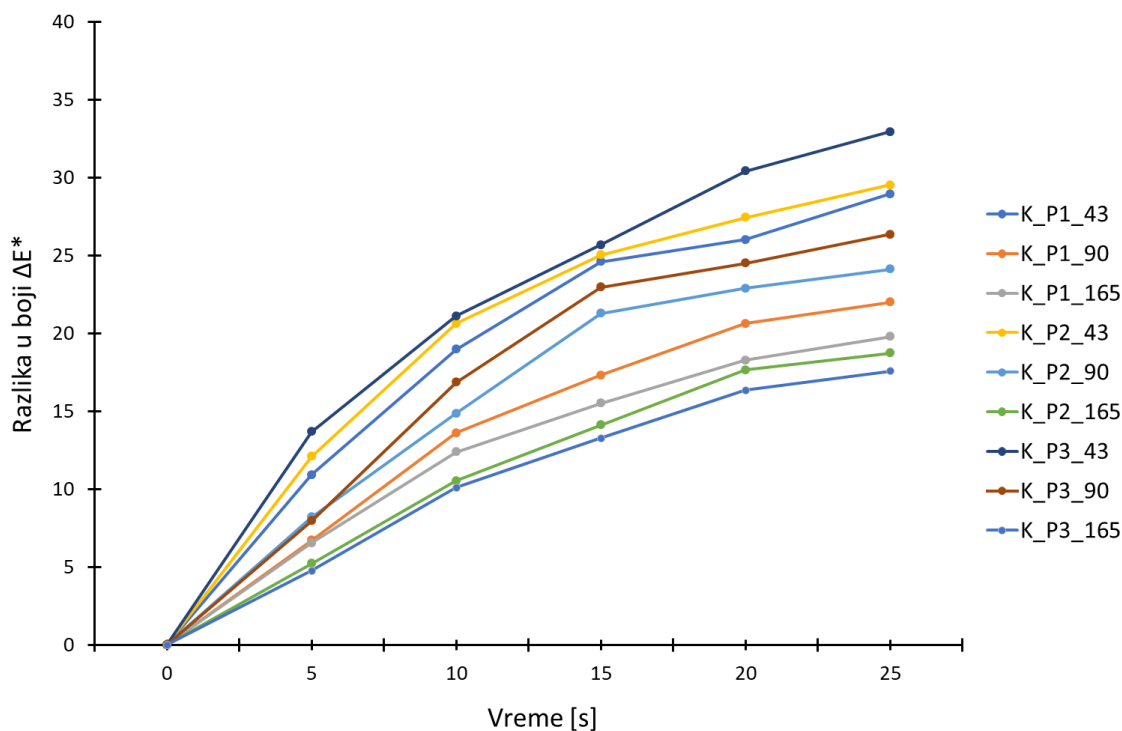
Slika 6.4.61: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 3, odštampan termohromatskom crnom bojom sitom gustine tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm

Na slici 6.4.62 su prikazane promene temperature tokom vremena. Na svim uzorcima se uočava ravnomernost promene i gotovo vrednosti temperature da su bile potpuno iste nezavisno od vrste materijala. Sa povećanjem gramature materijala smanjivala se brzina promene vrednosti temperature. Dakle materijal veće gramature se sporije hladio, a na kraju merenja je imao najmanju vrednost temperature u poređenju sa ostalim uzorcima.

Na slici 6.4.63 je prikazana promena razlike u boji pri čemu se uočava da prilikom zagrevanja prethodno ohlađenog uzorka se postiže veća stabilnost promene razlike u boji. Rezultati pokazuju da su gotovo sve kombinacije podloge i gustine tkanja sita štampane crnom termohromatskom bojom pokazale postepeni porast razlike u boji sa proteklom vremenom. Iz rezultata se izdvajaju uzorci štampani gustinom tkanja 165 niti/cm s obzirom da su vrednosti porasta promene razlike u boji vrlo slične bez obzira na tip materijala. Međutim sa druge strane uzorci štampani gustinom tkanja 43 niti/cm pokazuju najveće vrednosti razlike u boji što ukazuje da na najbolji način prikazuju promene temperature (Prilog P3).



Slika 6.4.62: Uporedni prikaz promene temperature tokom vremena za papirne uzorke odštampane termohromatskom crnom bojom sitima gustine tkanja 43 niti/cm, 90 niti/cm i 165 niti/cm



Slika 6.4.63: Usporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za papirne uzorke odštampane termohromatskom crnom bojom sitima gustine tkanja 43 niti/cm, 90 niti/cm i 165 niti/cm

Poređenje boja i mogućnost precizne identifikacije temperature

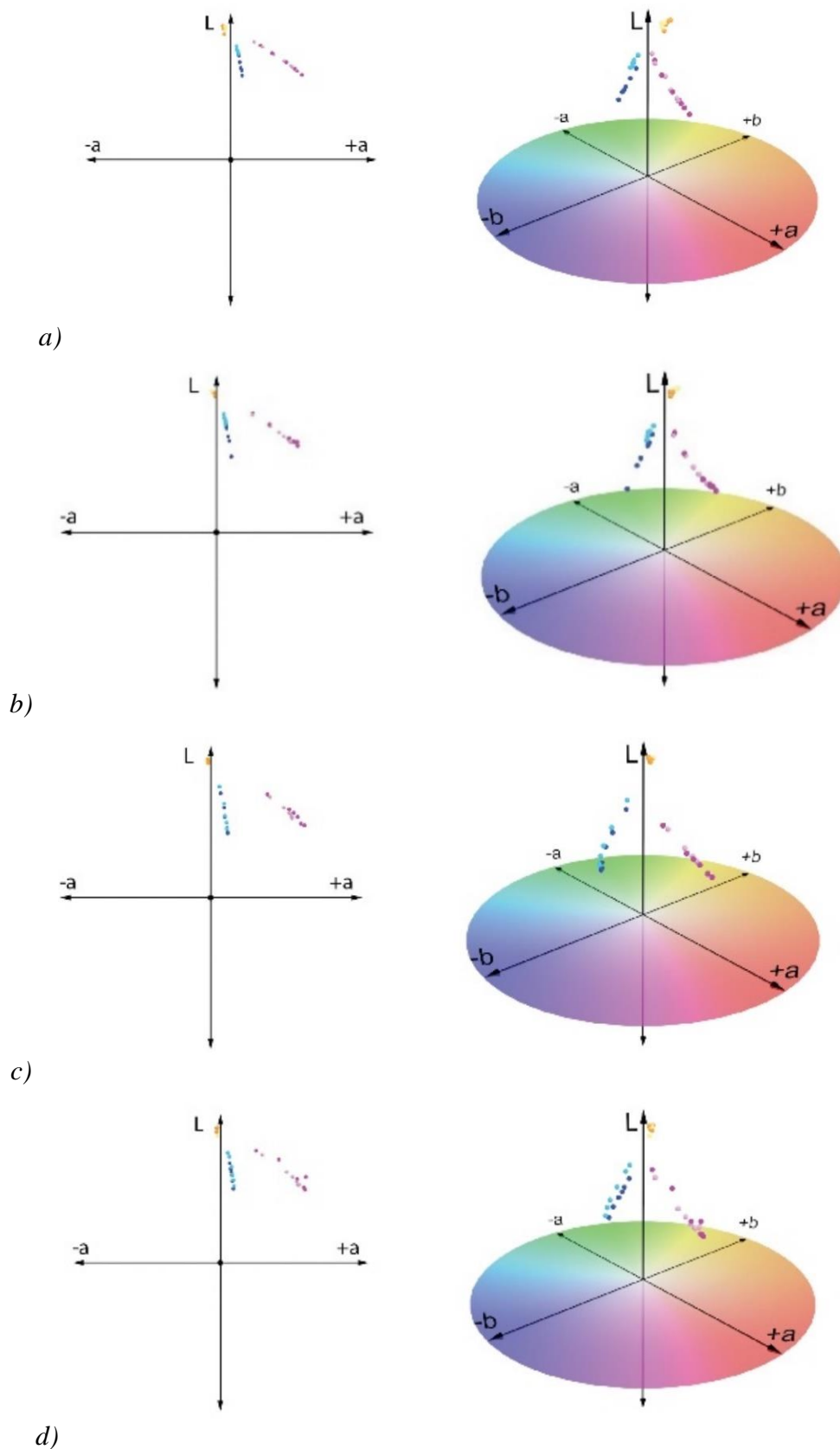
Spektrofotometrijska merenja tokom hlađenja zagrejanih uzoraka

Izmerene vrednosti koordinata tri boje (plava, žuta i magenta) za sva četiri tekstilna materijala na kojima su upoređene vrednosti boje za obe gustine tkanja sita prikazani su u trodimenzionalnom prostoru boja, slika 6.4.64. Crna boja je izuzeta s obzirom na drugi pristup prilikom merenja i druge gustine tkanja sita koje su korišćene prilikom štampe [Đurđević, 2019].

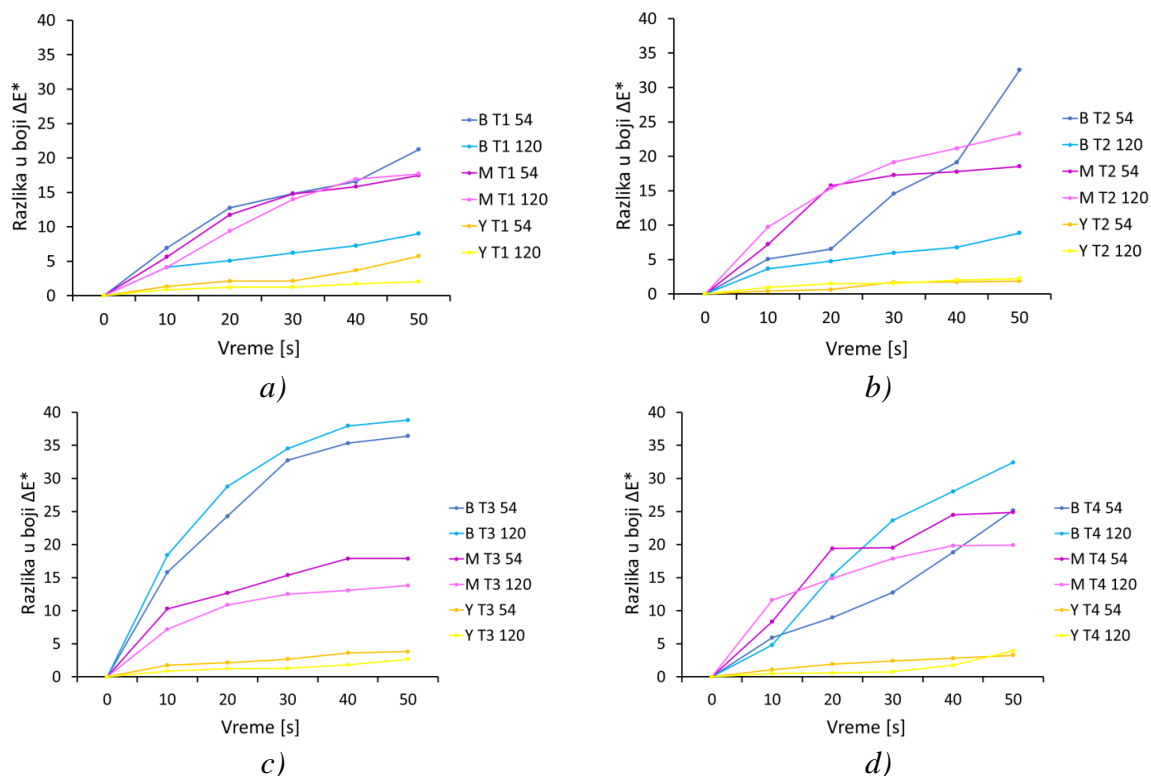
Posmatrajući koordinate sve tri termohromatske boje uočava se da je zbog male promene u svetlini žuta boja nepogodna za izradu temperaturnih indikatora kao zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Plava i magenta su boje pogodne za izradu zaštitnih identifikacionih elemenata zbog velike promene u svetlini i malih promena u a i b vrednostima. Na Tekstilu 1 je uočljivo da je promena vrednosti plave boje štampane 54 niti/cm najpovoljnija za izradu identifikatora pametne ambalaže zbog najveće promene u svetlini i najmanjih promena na a i b osama.

Nakon određivanja CIELab vrednosti termohromatskih boja pomoću formule ΔE_{00} (2) izračunat je porast razlike u boji tokom 60 s merenja (slika 6.4.65).

Posmatrajući vrednosti razlike u boji uočljivo je da ni jedna kombinacija materijala, boje i gustine tkanja sita nije pokazala linearnu zavisnost promene boje. Ovakav rezultat je očekivan jer se i temperatura nije linearno menjala tokom vremena zbog osobine da su termohromatske boje sistemi sa histerezisom i da u procesu zagrevanja maksimalnu svetlinu dostižu u blizini vrednosti temperature aktivacije, ali u povratku se opadanje svetline dešava na nešto nižim temperaturama [Kulčar, 2010].



Slika 6.4.64: Koordinate sve tri termohromatske boje štampane sa obe gustine tkanja sita (svetliji tonovi 120 niti/cm, tamniji tonovi 54 niti/cm) na uzorcima a) Tekstil 1, b) Tekstil 2, c) Tekstil 3 i d) Tekstil 4

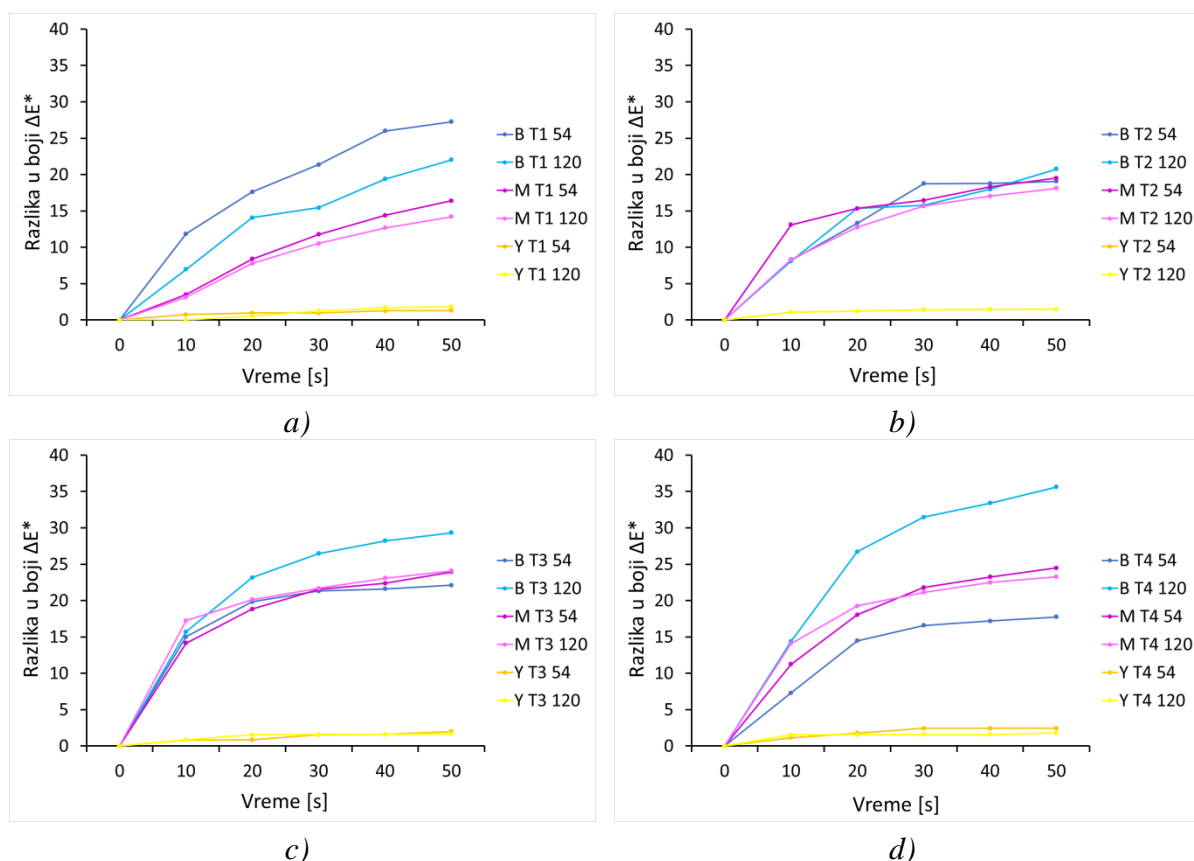


Slika 6.4.65: Razlike u boji u odnosu na početne vrednosti za sve tri termohromatske boje na sva četiri materijala štampanih sa obe gustine tkanja sita

Najmanje razlike u boji nezavisno od vrste materijala pokazala je žuta boja što ukazuje da je ova boja sa stanovišta prepoznavanja temperature i primene u modelu za identifikaciju temperature indikatora grafičke ambalaže najnepovoljnija. Njena primena bi se eventualno mogla razmatrati u kombinaciji tekstila 1 i primene gustine tkanja sita od 54 niti/cm jer je tokom hlađena ova kombinacija rezultovala maksimalnom ukupnom razlikom u boji od ΔE 5,74. Najveća razlika u boji je postignuta korišćenjem plave boje štampane sa 120 niti/cm na materijalu 3, ali je na ovom materijalu uočljivo da je vrednost razlike u boji na 10 sekundi iznosila čak 18,41 što ukazuje da se temperaturna promena dogodila naglo i da ovaj materijal nije pogodan za izradu indikatora temperature. Na osnovu date analize zaključeno je da su za izradu indikatora najpovoljnije sledeće kombinacije materijala, boje i gustine tkanja sita: Materijal 1 u kombinaciji sa plavom bojom štampanom linjaturom 54 niti/cm i materijal 4 u kombinaciji za plavom bojom štampanom gustinom tkanja sita 120 niti/cm [Đurđević, 2019].

Merenje razlika u boji nakon fotografisanja uzoraka kamerom mobilnog uređaja

Kako bi se formirao model za identifikaciju stanja termohromatskih indikatora formiran je grafik razlike u boji CIELab vrednosti dobijenih merenjem slika sa kamere mobilnog uređaja konverzijom RGB vrednosti u CIELab (slika 6.4.66). Razlika u boji je računata na isti način kao i za rezultate dobijene spektrofotometrijskim merenjem (ΔE_{00}).

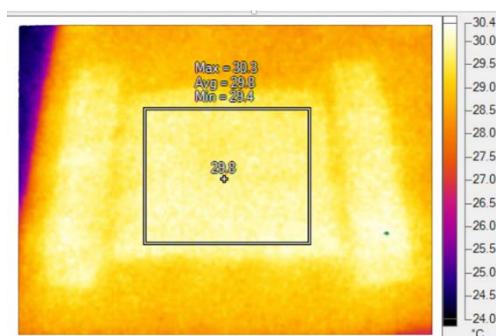


Slika 6.4.66: RGB fotografije razlike u boji

Posmatrajući date razlike u boji nameću se isti zaključci za izbor materijala, boje i gustine tkanja sita kao i posmatrajući razlike u boji dobijene nakon spektrofotometrijskih merenja. Dakle Tekstil 1 u kombinaciji sa plavom bojom štampanom linjaturom 54 niti/cm i Tekstil 4 u kombinaciji za plavom bojom štampanom gustinom tkanja sita 120 niti/cm pokazuju najpogodnije rezultate sa stanovišta razlike u boji, pri čemu Tekstil 1 pokazuje linearnost od desete do četrdesete sekunde merenja, dok Tekstil 4 tu linearnost pokazuje od početka merenja do dvadesete sekunde merenja. Kako bi se ustanovilo koja kombinacija materijala je najpogodnija pristupilo se termovizijskom merenju [Đurđević, 2019].

Termovizijska merenja

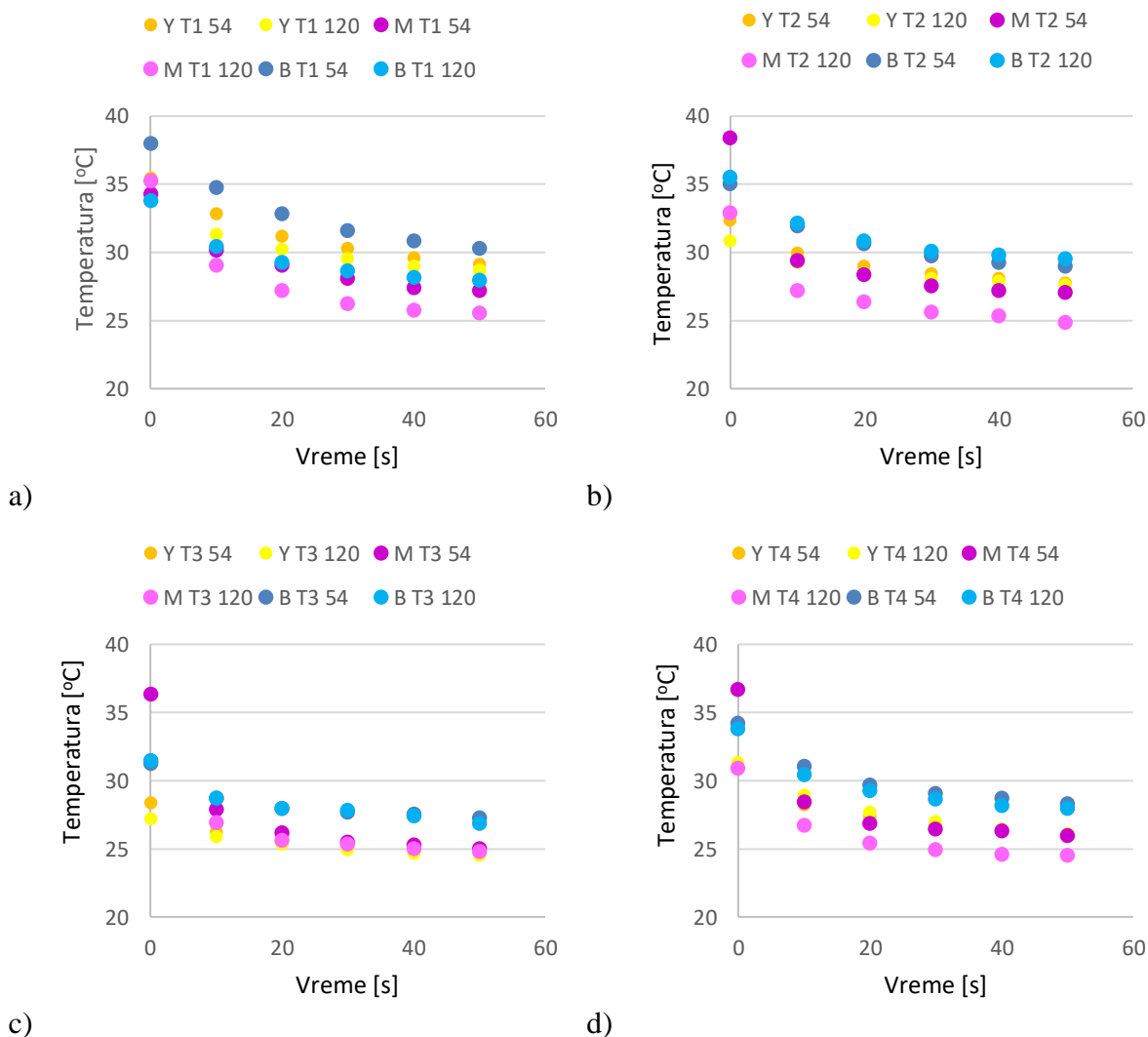
U nastavku su prikazana poređenja termovizijskih merenja za plavu, magenta i žutu termohromatsku boju. Na slici 6.4.67 je dat primer termovizijskog snimka.



Slika 6.4.67: Primer termo snimka

Obradom svih termovizijskih snimaka formiran je grafik zavisnosti vremena i temperature na različitim materijalima i gustinama tkanja sita (slika 6.4.68).

Dobijeni rezultati pokazuju da na proces hlađenja odštampanih uzoraka utiče izbor gustine tkanja sita i to na takav način da veća gustina tkanja omogućuje veće zadržavanje temperature uzorka tokom vremena, a samim tim i sporije hlađenje. Najmanje uticaja izbor gustine tkanja sita ima na Tekstil 3 gde su vrednosti promene temperature tokom vremena ujednačene i vrednost temperature na termohromatskoj boji je naglo opala tako da se ovaj materijal smatra izuzetno nepogodnim za izradu termohromatskih indikatora. Uočljivo je da je zadržavanje temperature na termohromatskoj boji zavisilo od tona boje, a da je nezavisno od vrste materijala najbolje temperaturu zadržavala plava boja štampana gustom tkanja sita 54 niti/cm (Prilog P2).



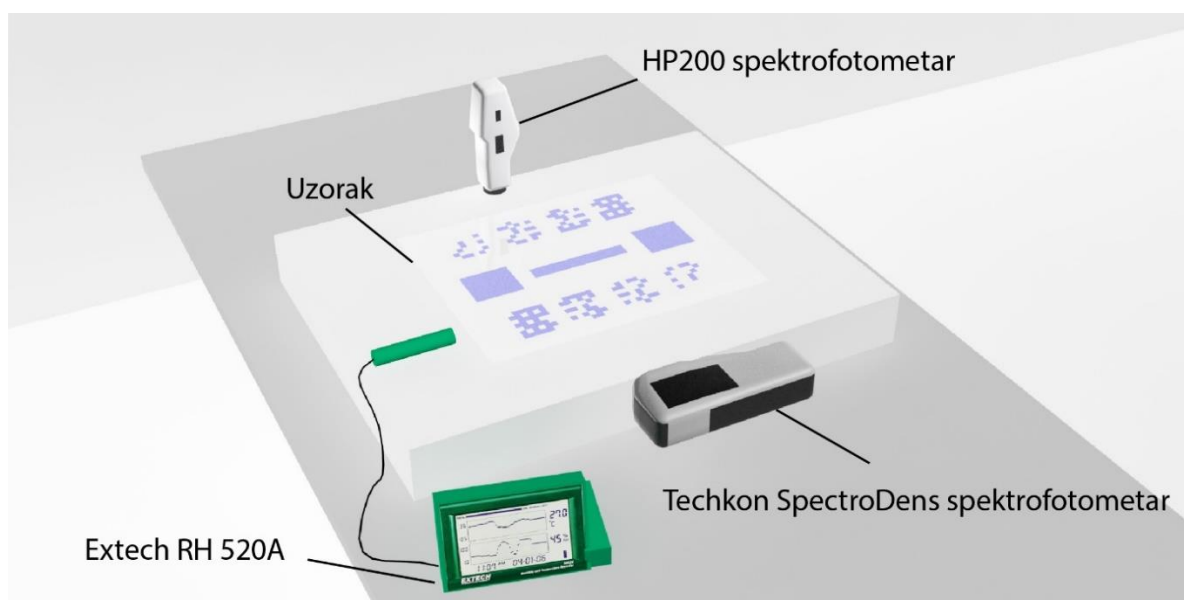
Slika 6.4.68: Zavisnost vremena i temperature na različitim materijalima štampanim sa sve tri boje sa dve gustine tkanja sita a) Tekstil 1, b) Tekstil 2, c) Tekstil 3, d) Tekstil 4

Ista boja je najbolje osobine pokazala na materijalu 1 gde je temperaturni opseg bio maksimalan i iznosio je od 38°C do 30,25°C tokom hlađenja uzorka. Ovo ukazuje da bi data kombinacija boje i materijala vrednost od 24°C dostigla nakon dužeg vremena, što utiče na povećanje preciznosti u definisanju temperature indikatora. Uočava se da je nezavisno od materijala magenta boja koja se najbrže hladila tokom merenja [Đurđević, 2019].

6.4.3.4 Hidrohromatske boje

Eksperimentalno je praćen uticaj promene vlažnosti na promenu optičkih karakteristika materijala odštampanih tehnikom sito štampe, pri čemu su eksperimenti zahtevali postupnost i obuhvatili su merenja i određivanje relevantnih podataka koji su neophodni za preciznije definisanje uticajnog faktora vlažnosti.

Prilikom merenja uticaja vlažnosti na spektralne i kolorimetrijske karakteristike uzoraka bila je prisutna sledeća eksperimentalna postavka (slika 6.4.69).



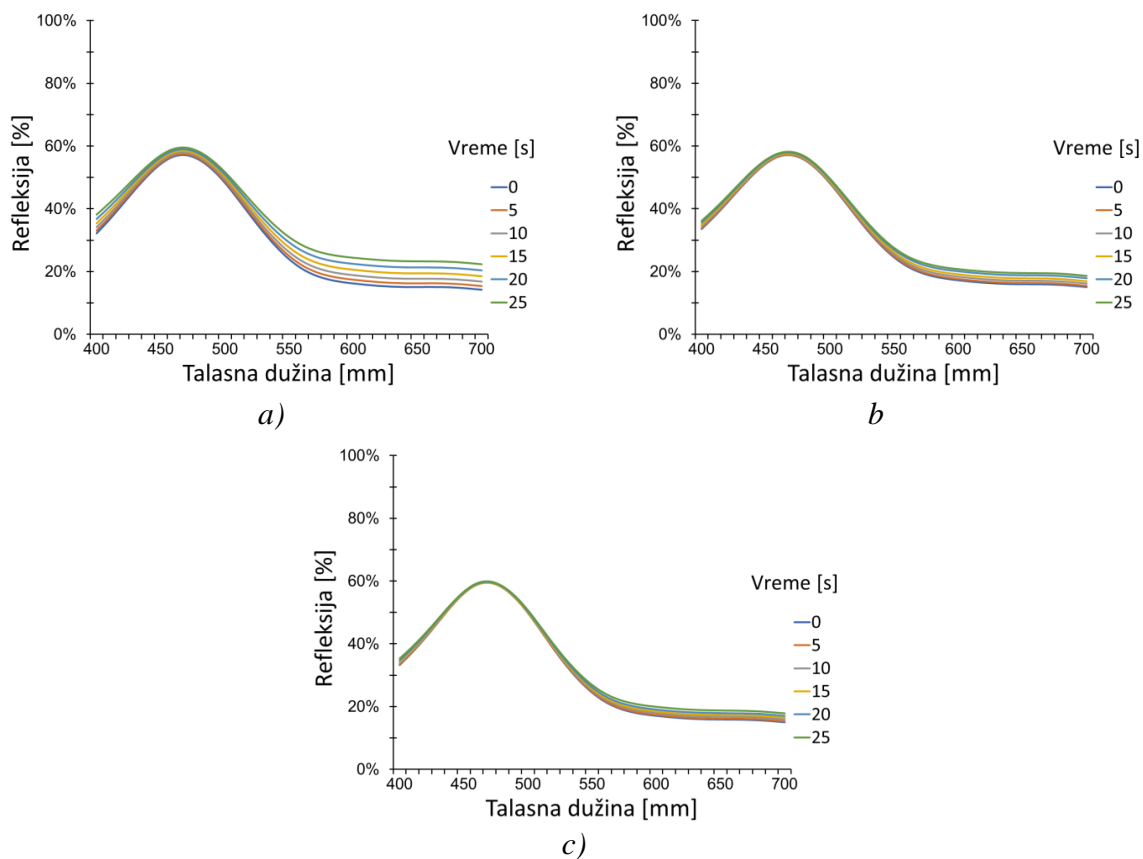
Slika 6.4.69: Eksperimentalna postavka za ispitivanje uticajnog faktora vlažnosti

Ispitivanje hidrohromatske bele boje

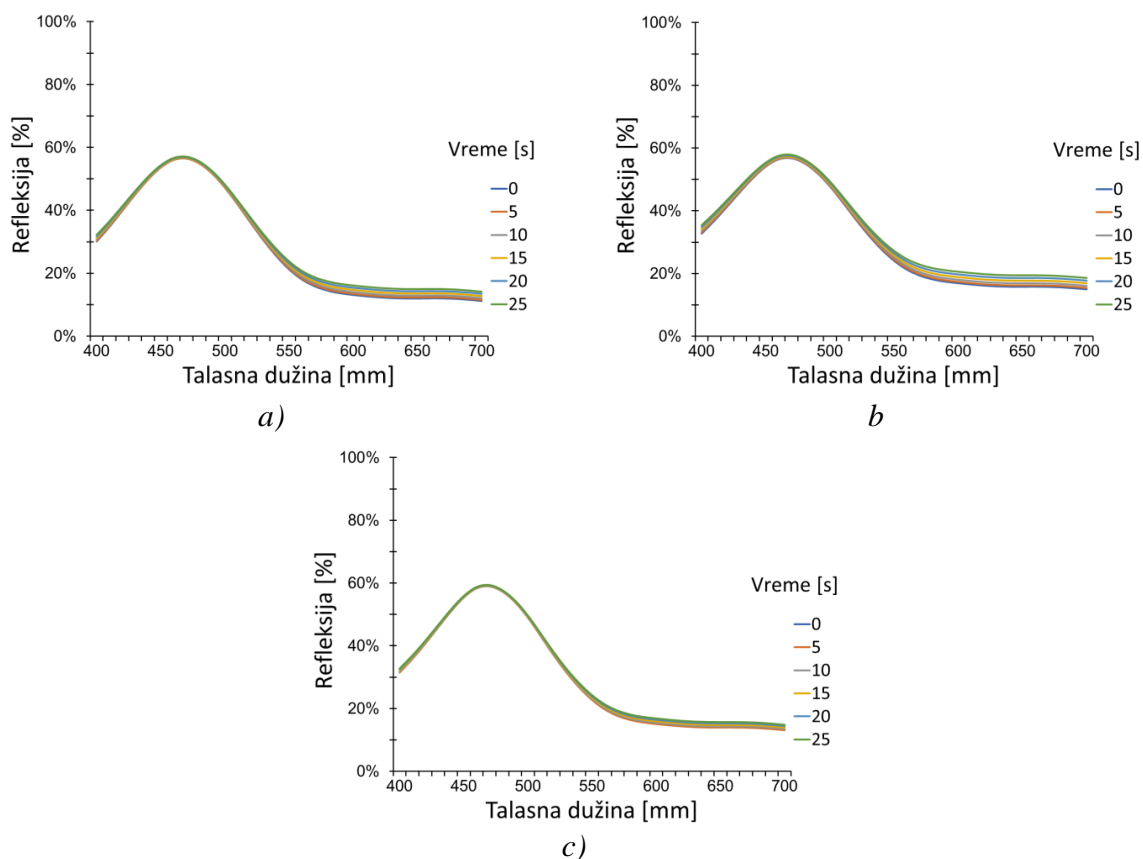
U okviru ispitivanja hidrohromatske boje eksperiment se vršio na uzorcima sa jednim ili dva nanosa boje jer je teorijska pretpostavka da će količina nanete boje u velikoj meri uticati na karakteristike odštampane podloge. Na slikama 6.4.70-6.4.72 prikazani su rezultati promene spektralne refleksije za jedan nanos boje.

Rezultati pokazuju da krive imaju trend rasta jer se reflektivnost povećavala sa proteklom vremenom. Razlog za to je što je ova boja izložena vlažnošću od 100% pri čemu je njen ton postao cijan, s obzirom da je konvencionalna cijan boja preštampavana hidrohromatskom bojom. Sa proteklom vremenom vlažnost se smanjivala i u tim trenucima su vršena merenja a boja je postajala sve belja i reflektivnija. Poredeći krive spektralne refleksije za Papir 1 (slika 6.4.70), uočava se sličan trend promene refleksije. Na svim uzorcima se refleksija postepeno menjala u toku smanjenja vlažnosti. Veća i brža promena spektralne refleksije dešavala se na uzorcima štampanim sitom gustine tkanja 90 niti/cm (slika 6.4.70b) i 90 niti/cm (slika 6.4.70c), dok se korišćenjem sita gustine tkanja 43 niti/cm postigao najravnomerniji efekat promene spektralne refleksije (slika 6.4.70a).

Kada je u pitanju Papir 2 (slika 6.4.71) poredeći krive spektralne refleksije uočava se sličan trend promene refleksije. Najbrža promena spektralne refleksije dešavala se na uzorku odštampanom sitom gustine tkanja 165 niti/cm (slika 6.4.71c).

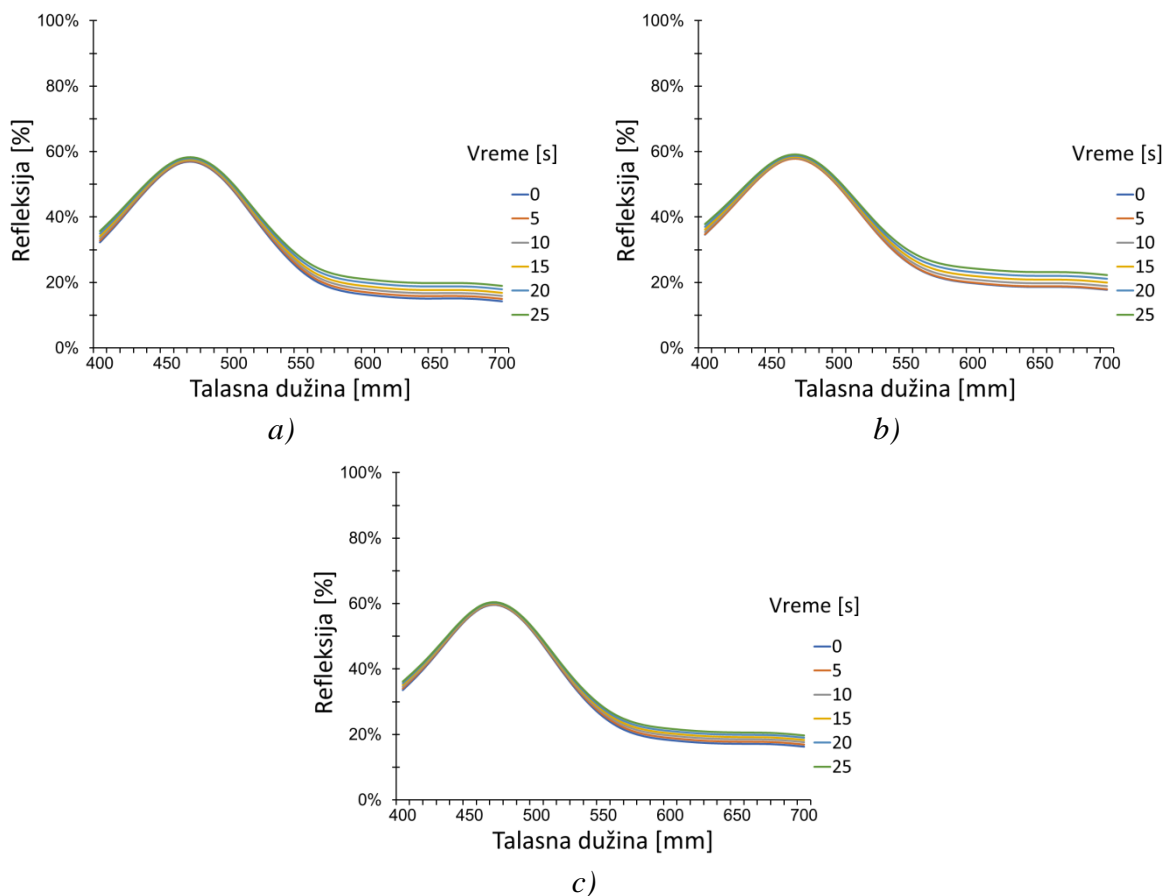


Slika 6.4.70: Krive spektralne refleksije za Papir 1, odštampan sitom sa jednim nanosom bele hidrohromatske boje i gustom tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm



Slika 6.4.71: Krive spektralne refleksije za Papir 2, odštampan sitom sa jednim nanosom bele hidrohromatske boje i gustom tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm

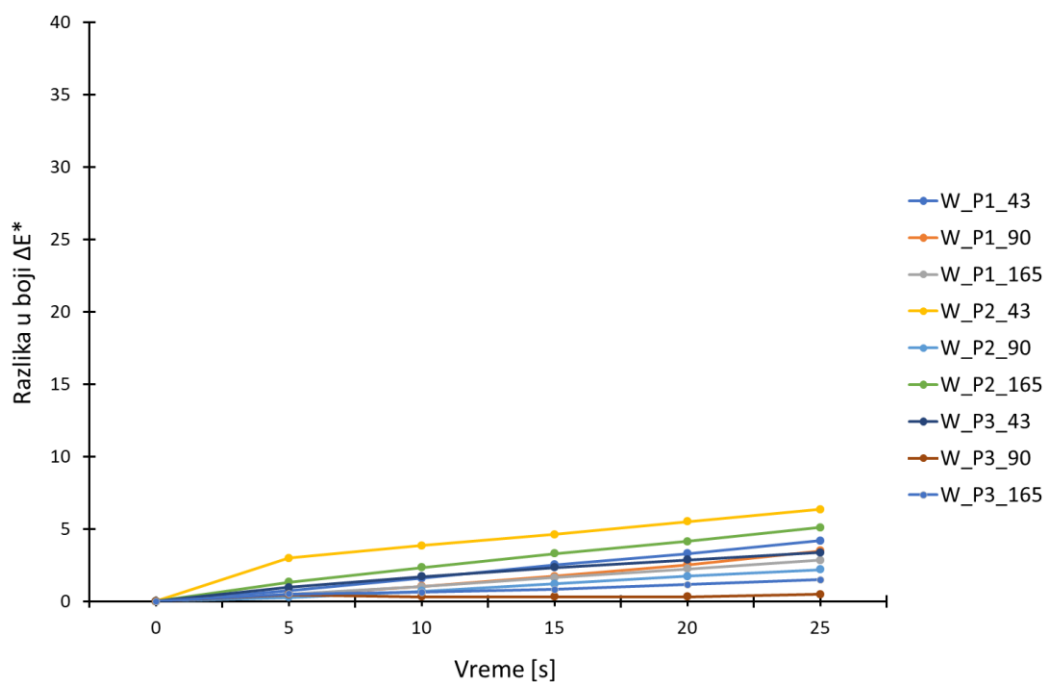
Poredeći krive spektralne refleksije za Papir 3 (slika 6.4.72) uočava se sličan trend promene refleksije. Na svim uzorcima se refleksija menjala na gotovo isti način. Najbrža promena spektralne refleksije dešavala se na uzorku odštampanom sitom gustine tkanja 165 niti/cm (slika 6.4.72c) dok se korišćenjem sita gustine tkanja 43 niti/cm (slika 6.4.72a) i 90 niti/cm (slika 6.4.72b) postigao ravnomerniji efekat promene spektralne refleksije.



Slika 6.4.72: Krive spektralne refleksije za Papir 3, odštampan sitom sa jednim nanosom bele hidrohromatske boje i gustinom tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm

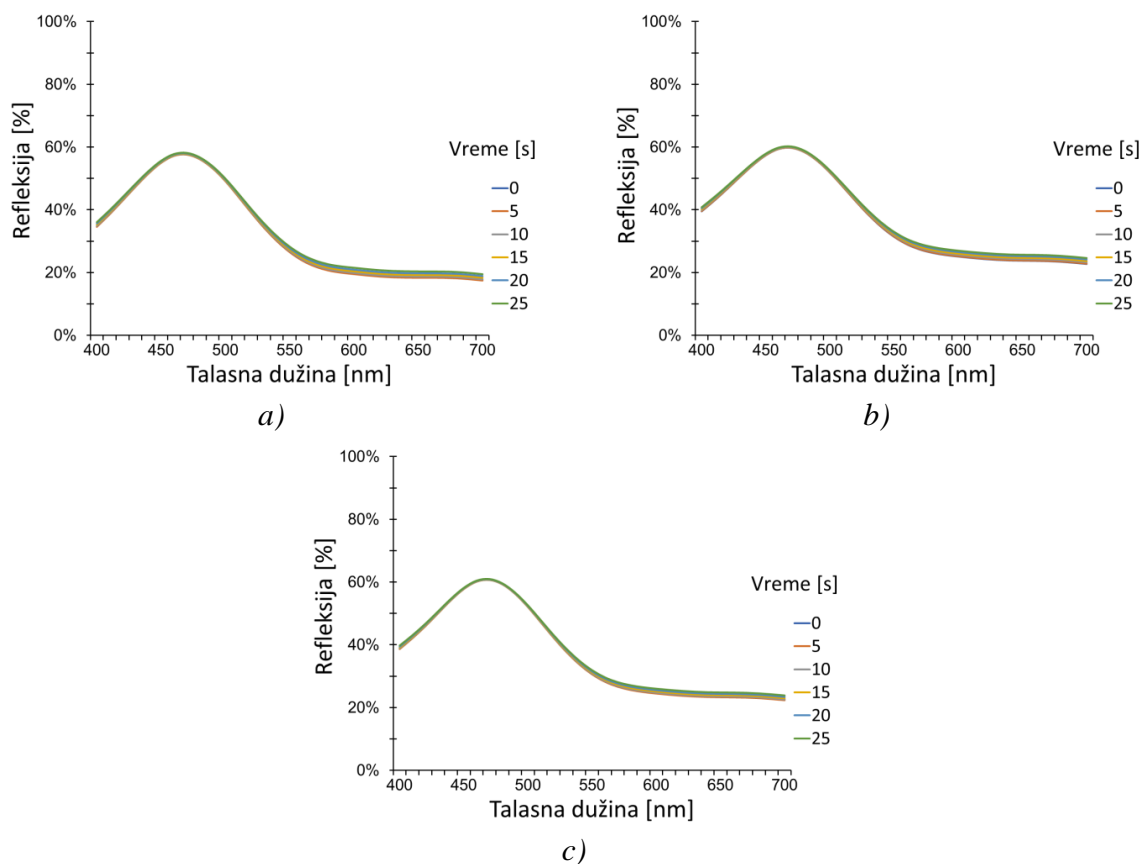
Poredeći sve tipove materijala uočava se pravilnost da se povećanjem gramature materijala i gustine tkanja smanjivala razlika između spektralnih krivih tokom vremena. Tačnije da su materijali manje gramature i korišćene manje gustine tkanja prilikom štampe pokazivali veću razliku u stepenu refleksije nakon izlaganja uzoraka promeni vlažnosti.

Na slici 6.4.73 je prikazana promena apsolutne razlike u boji tokom vremena za uzorke štampane jednim nanosom boje. Rezultati pokazuju da su gotovo sve kombinacije podloge i gustine tkanja sita štampane belom hidrohromatskom bojom pokazale postepeni porast razlike u boji sa proteklom vremenom, isključujući Papir 3 štampan gustinom tkanja 90 niti/cm koji je pokazao blagi pad nakon 5 sekundi merenja što ukazuje da je najbrže postigao maksimalan beli ton i izgubio vlažnost. Iz rezultata se izdvaja Papir 1 štampani gustinom tkanja 43 niti/cm s obzirom da je njegova vrednost porasta promene razlike u boji najlinearnija. Sa druge strane Papir 2 štampan gustinom tkanja 43 niti/cm pokazuju najveće vrednosti razlike u boji mada je ta razlika u odnosu na uzorak 1 štampani gustinom tkanja 43 niti/cm minimalna (Prilog P4).



Slika 6.4.73: Uporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za papirne uzorke odštampane sitima gustine tkanja 43 niti/cm, 90 niti/cm i 165 niti/cm sa jednim nanosom bele hidrohromatske boje

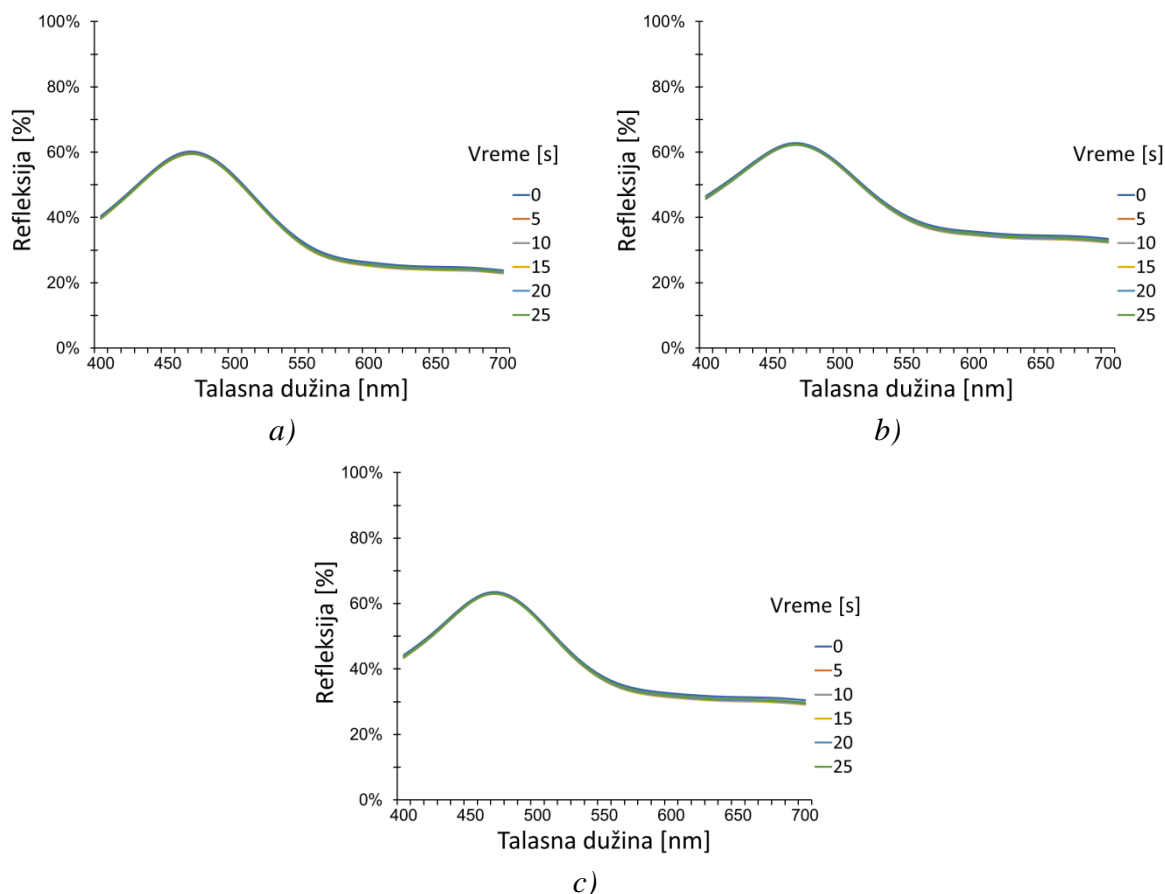
U nastavku su prikazane spektralne refleksije uzoraka štampanih sa dva nanosa boje (slika 6.4.74-6.4.76).



Slika 6.4.74: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 1, odštampan sitom sa dva nanosa bele hidrohromatske boje i gustinom tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm

Rezultati pokazuju da je zbog debljine nanosa već pri prvom merenju boja bila prilično bela i reflektivna. Poredeći krive spektralne refleksije za Papir 1 sa dva nanosa boje (slika 6.4.74), uočava se sličan trend promene refleksije kao i kod Papira 1 sa jednim nanosom boje, s tim što je zbog debljine nanosa boja imala manje razlike u promeni refleksije.

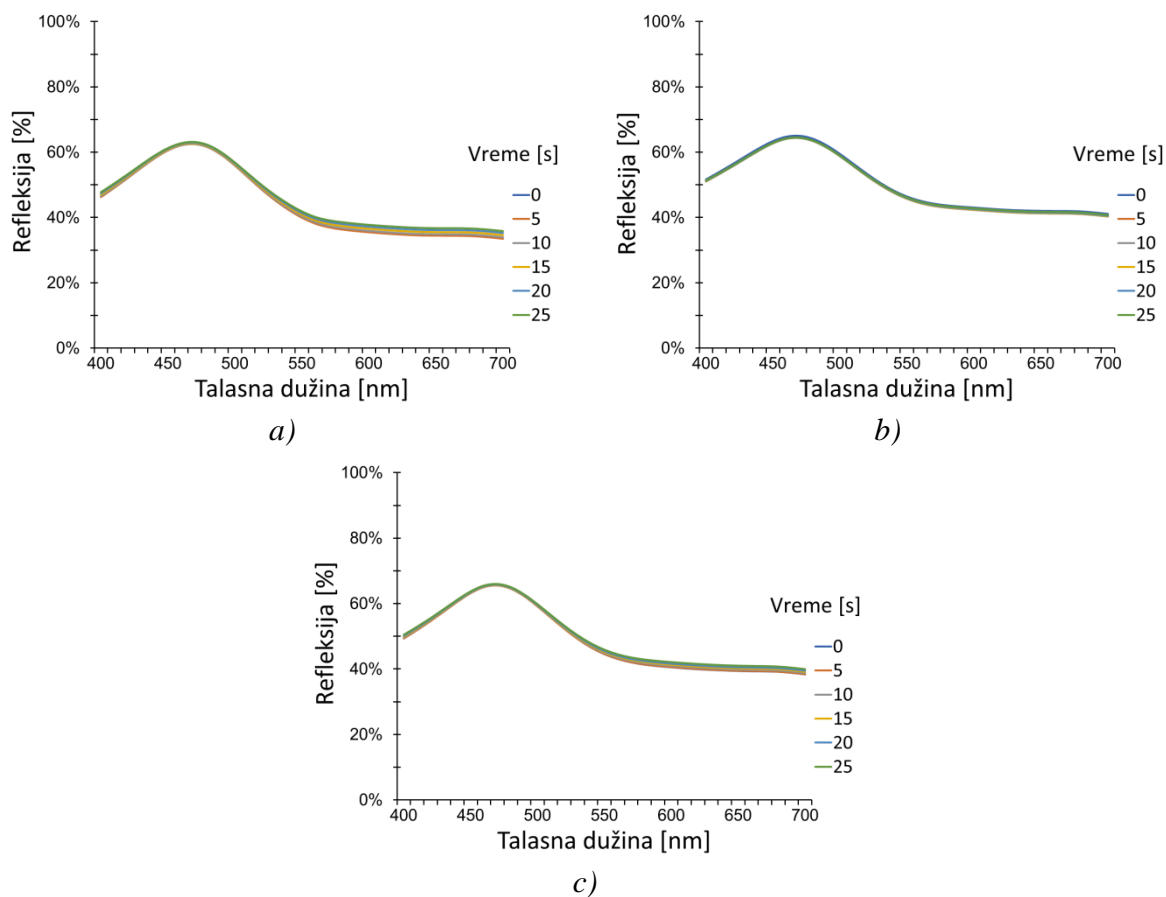
Kada je u pitanju Papir 2 (slika 6.4.75) poredeći krive spektralne refleksije uočava se sličan trend promene refleksije. Promena spektralne refleksije dešavala brzo nezavisno od vrste korišćene gustine tkanja.



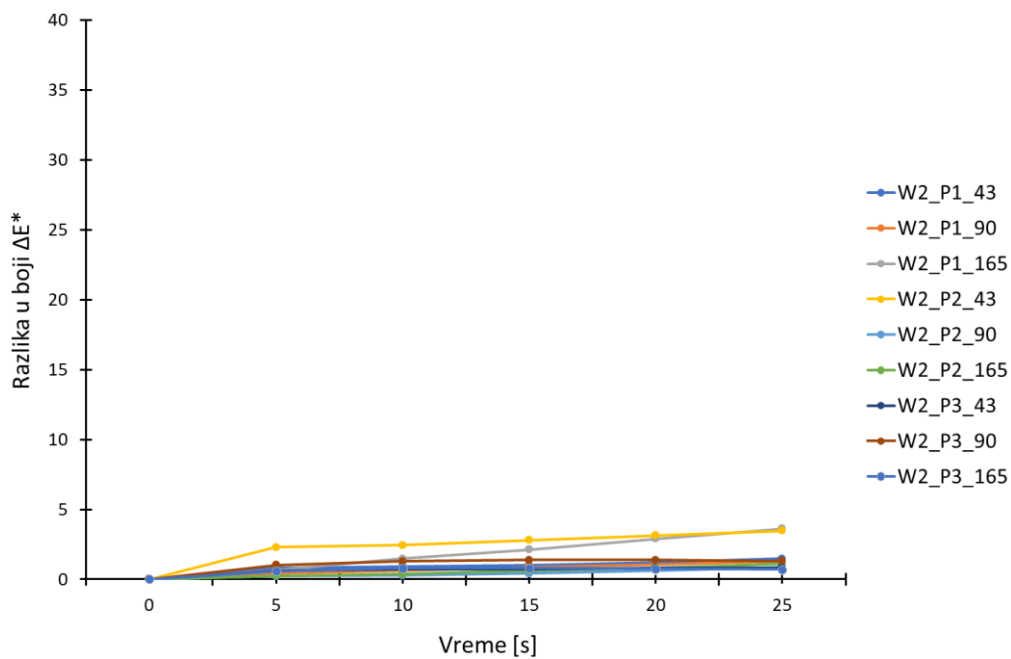
Slika 6.4.75: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 2, odštampan sitom sa dva nanosa bele hidrohromatske boje i gustinom tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm

Poredeći krive spektralne refleksije za papir 3 (slika 6.4.76) uočava se sličan trend promene refleksije. Na svim uzorcima se refleksija menjala na gotovo isti način. Najbrža promena spektralne refleksije dešavala se na uzorku štampanim sitom gustine tkanja 165 niti/cm (slika 6.4.76c) i 90 niti/cm (slika 6.4.76b) dok se korišćenjem sita gustine tkanja 43 niti/cm (slika 6.4.76a) postigao ravnomerniji efekat promene spektralne refleksije.

Kao i kod uzoraka štampanih jednim nanosom boje poredeći sve tipove materijala uočava se pravilnost da se povećanjem gramature materijala i gustine tkanja smanjivala razlika između spektralnih krivih tokom vremena. Tačnije da su materijali manje gramature i korišćene manje gustine tkanja prilikom štampe pokazivali veću razliku u stepenu refleksije nakon izlaganja uzoraka promeni vlažnosti. Međutim ova pravilnost je bila manje uočljiva uticajem debljine nanosa boje. Tako da se zaključuje da je na osnovu analize spektralne refleksije upotreba jednog nanosa boje, papira manje gramature i manje gustine tkanja pokazivala najoptimalnije rezultate, a od interesa za štampu zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.



Slika 6.4.76: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 3, odštampan sitom sa dva nanosa bele hidrohromatske boje i gustinom tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm



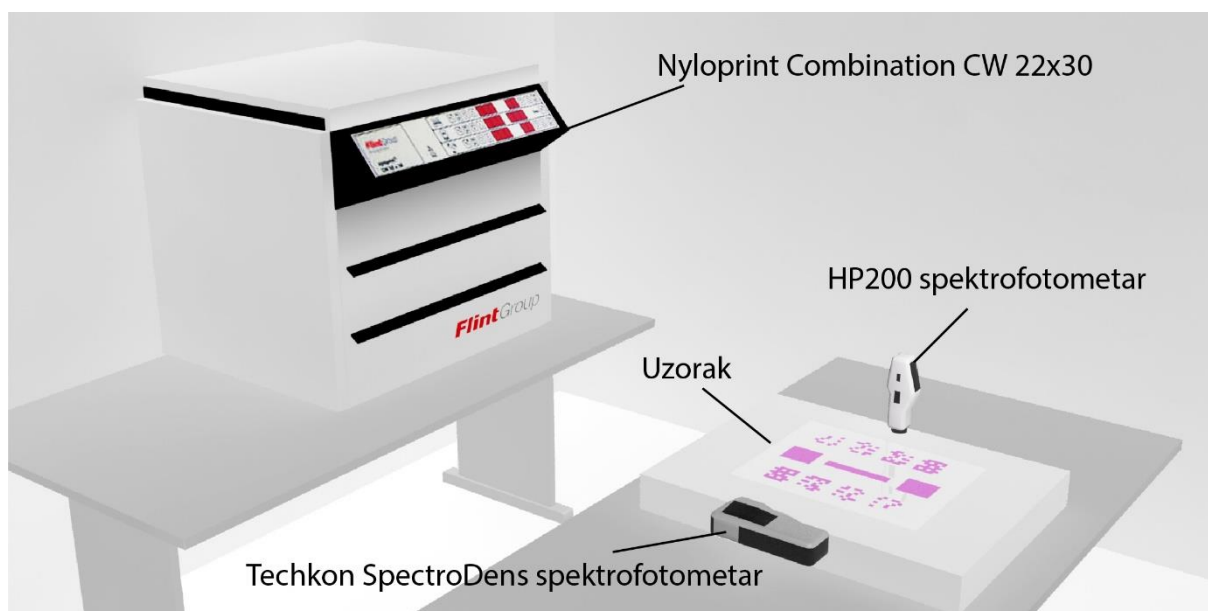
Slika 6.4.77: Uporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za papirne uzorke odštampane sitima gustine tkanja 43 niti/cm, 90 niti/cm i 165 niti/cm sa dva nanosa bele hidrohromatske boje

Na slici 6.4.77, je predstavljena razlika u boji tokom vremena za uzorke štampane sa dva nanosa boje. Rezultati pokazuju da su gotovo sve kombinacije podloge i gustine tkanja sita štampane belom hidrohromatskom bojom pokazale postepeni porast razlike u boji sa proteklim vremenom. Iz rezultata se izdvaja Papir 1 štampan gustinom tkanja 165 niti/cm s obzirom da je njegova vrednost porasta promene razlike u boji najlinearnija. Ovo nam ukazuje da su se vrlo slično pokazali Papir 1 štampan gustinom tkanja 43 niti/cm u jednom nanosu i isti taj papir štampan gustinom tkanja 165 niti/cm sa dva nanosa boje.

6.4.3.5 Fotohromatske boje

Eksperimentalno je praćen uticaj promene UV zračenja na promenu optičkih karakteristika materijala odštampanih tehnikom sito štampe, pri čemu su eksperimenti zahtevali postupnost i obuhvatili su merenja i određivanje relevantnih podataka koji su neophodni za preciznije definisanje uticajnog faktora UV zračenja.

Prilikom merenja uticaja faktora UV zračenja bila je prisutna sledeća eksperimentalna postavka (slika 6.4.78)

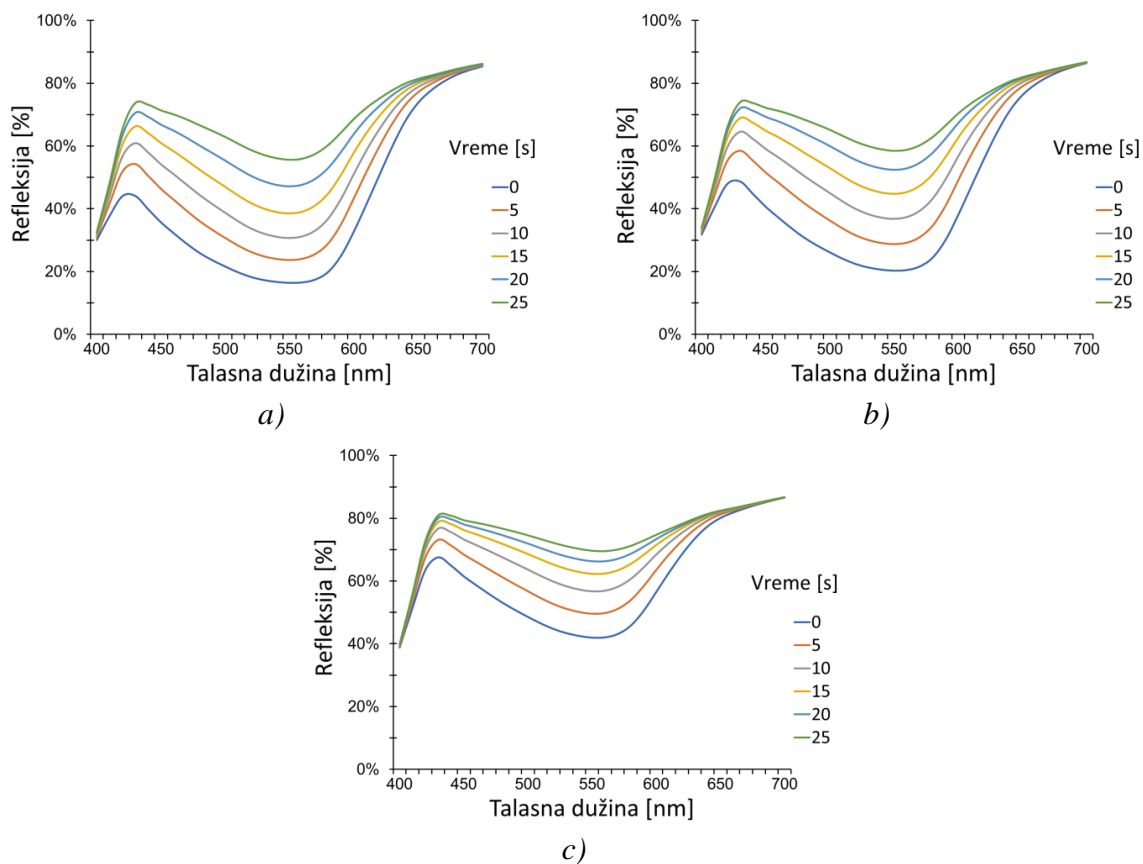


Slika 6.4.78: Eksperimentalna postavka prilikom merenja uticajnog faktora UV zračenja

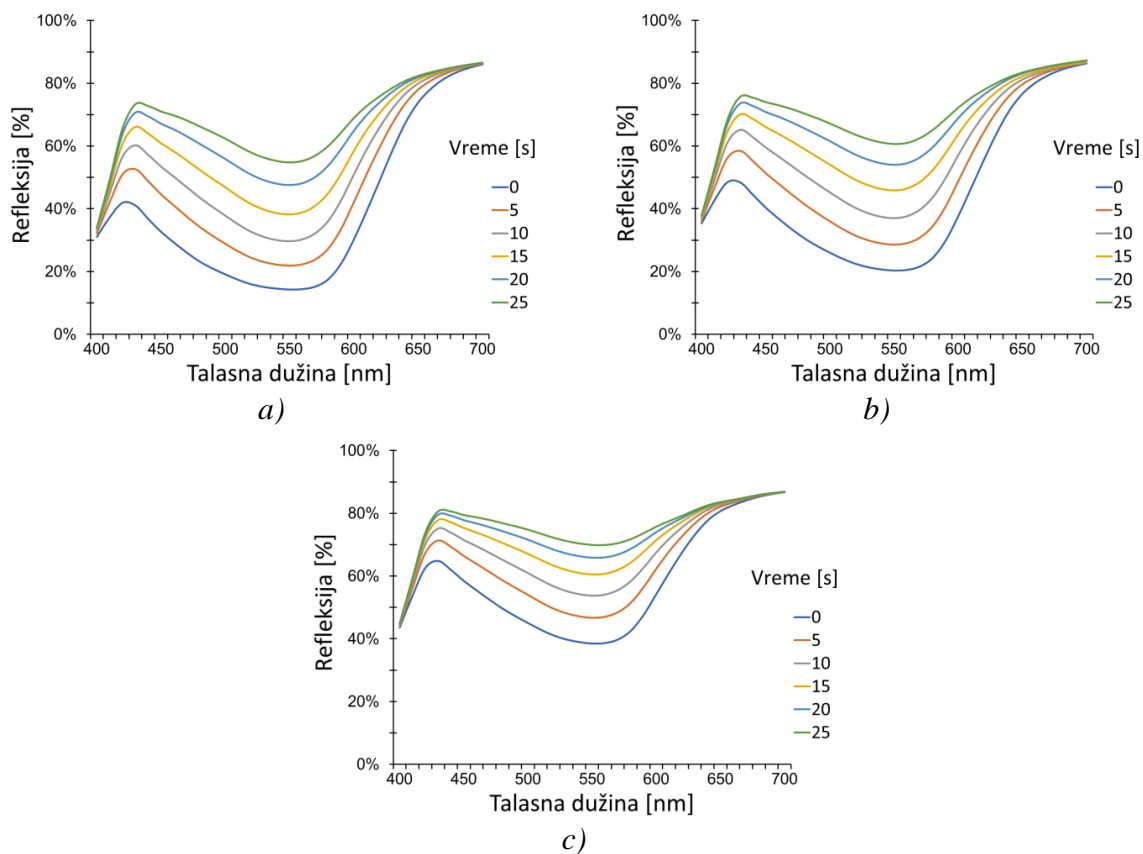
Magenta

Na osnovu rezultata merenja na slikama 6.4.79-6.4.81 su prikazane spektralne refleksije za uzorke štampane fotohromatskim bojama.

Rezultati pokazuju da krive imaju trend rasta jer se reflektivnost povećavala sa proteklim vremenom. Razlog za to je što je ova boja nakon izlaganja UV zracima dobijala magenta ton. Po prestanku delovanja UV zraka boja je gubila obojenje i postajala je transparentna. Poredeći krive spektralne refleksije za Papir 1 (slika 6.4.79), uočava se sličan trend promene refleksije. Na svim uzorcima se refleksija postepeno menjala u toku vremena. Brža promena spektralne refleksije dešavala se na uzorcima štampanim sitom gustine tkanja 165 niti/cm (slika 6.4.79c) dok se korišćenjem sita gustine tkanja 43 niti/cm postigao najpravnomerniji efekat promene spektralne refleksije i najveća razlika u vrednosti spektralne refleksije između prvog i poslednjeg merenja (slika 6.4.79a).



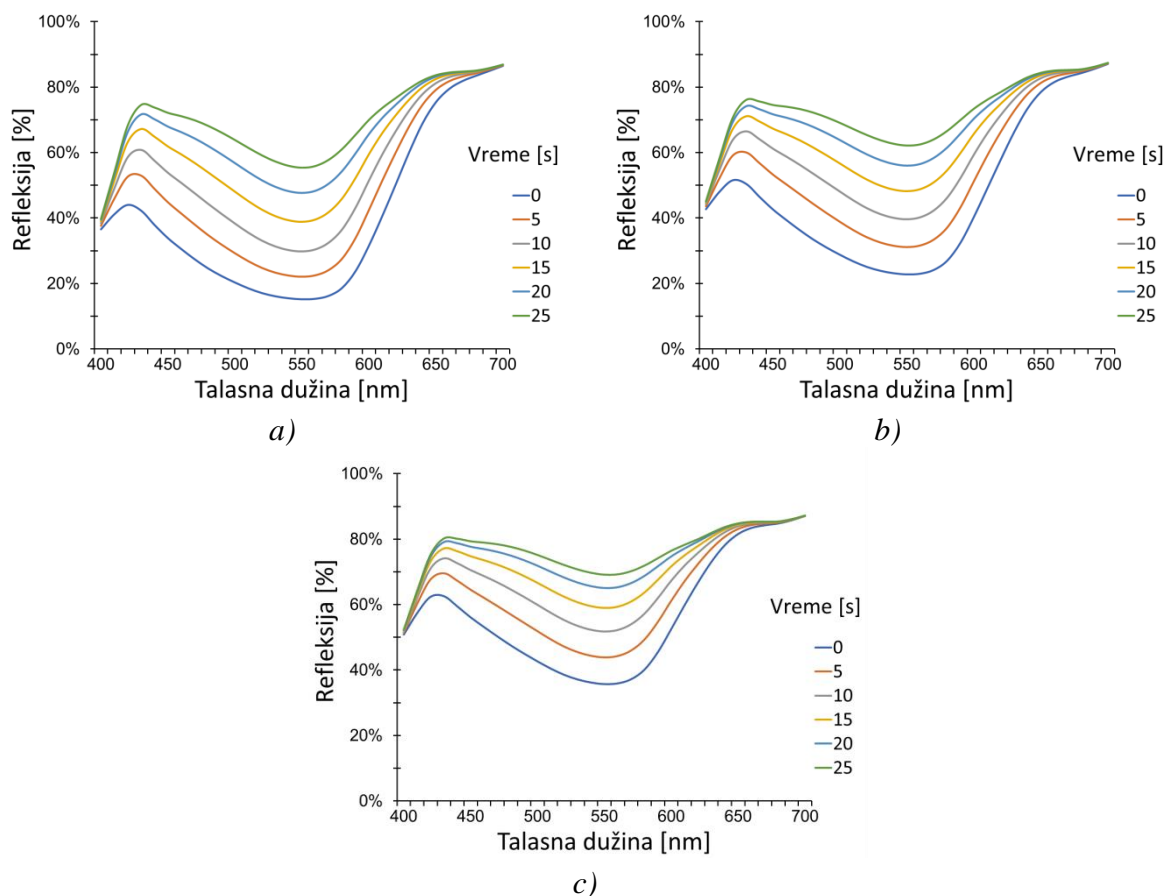
Slika 6.4.79: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 1, odštampan magenta fotohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm



Slika 6.4.80: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 2, odštampan magenta fotohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm

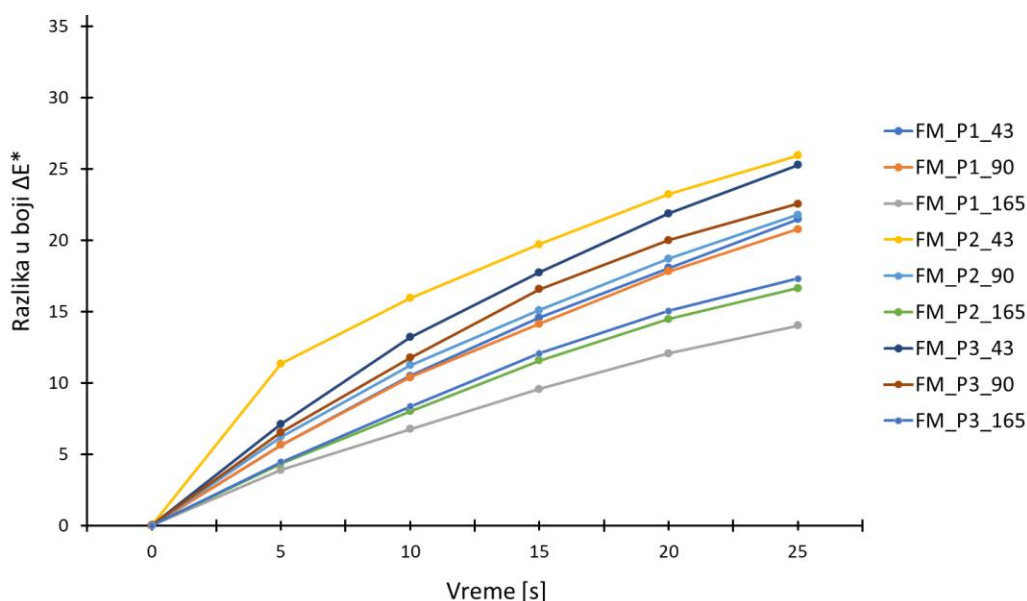
Ista pravilnost se uočava na krivama spektralne refleksije za papirne uzorke 2 (slika 6.4.80) i 3 (6.4.81) odštampanim sitom gustine tkanja 43 niti/cm, 90 niti/cm i 165 niti/cm. Na svim uzorcima se refleksija postepeno menjala u toku vremena. Brža promena spektralne refleksije dešavala se na uzorcima štampanim sitom gustine tkanja 165 niti/cm dok se korišćenjem sita gustine tkanja 43 niti/cm postigao najpravnomerniji efekat promene spektralne refleksije i najveća razlika u vrednosti spektralne refleksije između prvog i poslednjeg merenja (Prilog P5).

Poredeći sve tipove materijala uočava se pravilnost da se povećanjem gramature materijala i gustine tkanja smanjivala razlika između spektralnih krivih tokom vremena. Tačnije da su materijali manje gramature i korišćene manje gustine tkanja prilikom štampe pokazivali veću razliku u stepenu refleksije nakon izlaganja uzoraka UV zračenju.



Slika 6.4.81: Krive spektralne refleksije za papirni uzorak 3, odštampanim magenta fotohromatskom bojom sitom gustine tkanja a) 43 niti/cm b) 90 niti/cm c) 165 niti/cm

Na slici 6.4.82. je prikazana promena razlike u boji tokom vremena za uzorke štampane fotohromatskim bojama. Rezultati pokazuju da su gotovo sve kombinacije podloge i gustine tkanja sita štampane magenta fotohromatskom bojom pokazale postepeni porast razlike u boji sa proteklom vremenom. Iz rezultata se ne izdvaja pravilnost da što je veća gramatura materijala i manja gustina tkanja korišćenog sita za štampu, veća je razlika u boji između prvog i poslednjeg merenja. Vrednost ΔE je minimalno iznosila preko 15, a maksimalno oko 35 što govori da je ova boja pokazala izuzetne rezultate na svim podlogama i korišćenjem svih gustina tkanja sita.



Slika 6.4.82: Uporedni prikaz promena apsolutne razlike boja tokom vremena za papirne uzorke odštampane magenta fotohromatskom bojom sitima gustine tkanja 43 niti/cm, 90 niti/cm i 165 niti/cm

6.4.4 Istraživanja karakteristika grafičke ambalaže za potrebe proširene realnosti

6.4.4.1 Čitljivost QR kodova u proširenoj realnosti

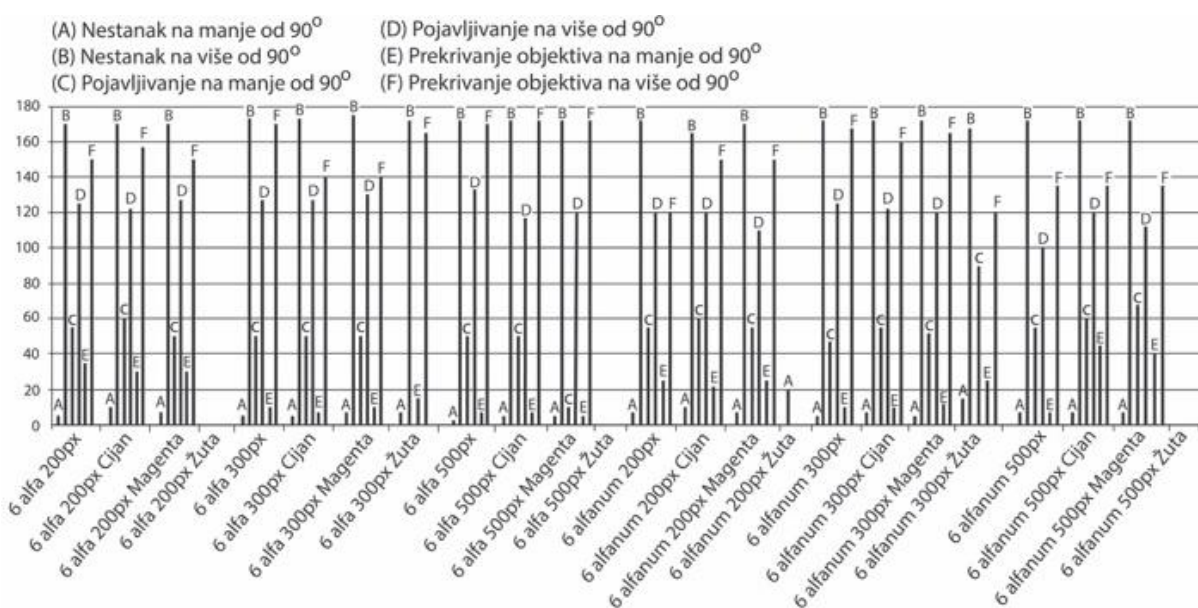
U ovom istraživanju je ispitivana čitljivost različitih QR kodova na osnovu metode ispitivanja modula proširene realnosti. Eksperiment je izvršen na svim generisanim QR kodovima koji su razvrstani u grupe prema svojoj rezoluciji, boji, broju unetih karaktera i vrsti unetih karaktera. QR kodovi su konkretno generisani u rezoluciji od 200 px, 300 px i 500 px, u crnoj, cijan, magenta i žutoj boji, sa unetih 6 ili 12 karaktera, alfa, numeričkih i alfanumeričkih, kao i kodovi koji imaju 30% zauzetosti površine JPG slikom. Izvršeno je merenje nestanka 3D objekta pod uglom manjim od 90°, nestanak 3D objekta pod uglom većim od 90°, pojavljivanje objekta pod uglom manjim od 90°, pojavljivanje objekta pod uglom većim od 90° kao i nestanak objekta pod uglovima manjim i većim od 90° usled prekida vizuelne linije između kamere i QR koda.

Svaka obeležena linija u grafiku predstavlja različitu metodu merenja i ne tumače se sve na isti način. Linija obeležena slovom „A“ se odnosi na nestanak 3D objekta ispod 90° i gleda se tako da mora da bude što kraća odnosno da predstavlja što manje prikazane numeričke vrednosti. „B“ linija se odnosi na nestanak 3D objekta iznad 90° te je kod nje bitno da bude što duža, da predstavlja što veće numeričke vrednosti ugla. „C“ linija predstavlja povratno merenje odnosno ponovno pojavljivanje 3D objekta ispod 90° zbog čega je isto potrebno da ona bude što kraća i da samim tim predstavlja što manje numeričke vrednosti ugla. „D“ linija predstavlja povratno merenje, ponovno pojavljivanje 3D objekta ali iznad 90° te je bitno da ona bude što duža i da predstavlja što veće numeričke vrednosti. „E“ linija predstavlja rezultate merenja prekida vizuelne linije između kamere i QR koda za uglove manje od 90° zato je potrebno da te linije budu što kraće i da predstavljaju što manje numeričke vrednosti. „F“ linija takođe predstavlja rezultate merenja prekidom vizuelne linije ali za vrednosti veće od 90°. Iz tog razloga važno je da ona bude što duža i da predstavlja što veće numeričke vrednosti ugla.

Rezultati merenja QR kodova koji sadrže 6 alfa i 6 alfanumeričkih karaktera su prikazani u tabeli 6.4.17, nakon čega su grafički predstavljani na slici 6.4.83 [Đurđević, 2017b].

Tabela 6.4.17: Prikaz rezultata ispitivanja QR kodova koji sadrže 6 alfa i 6 alfanumeričkih karaktera [Đurđević, 2017b]

QR kodovi	Nestanak na manje od 90°	Nestanak na više od 90°	Pojavljivanje na manje od 90°	Pojavljivanje na više od 90°	Prekrivanje objektiva na manje od 90°	Prekrivanje objektiva na više od 90°
6 alfa 200px	5	170	55	125	35	150
6 alfa 200px C	10	170	60	122	30	157
6 alfa 200px M	7	170	50	127	30	150
6 alfa 200px Y						
6 alfa 300px	5	173	50	127	10	170
6 alfa 300px C	5	173	50	127	7	140
6 alfa 300px M	7	175	50	130	10	140
6 alfa 300px Y	7	172			15	165
6 alfa 500px	3	172	50	133	7	170
6 alfa 500px C	5	172	50	117	7	172
6 alfa 500px M	5	172	10	120	5	172
6 alfa 500px Y						
6 alfanum 200px	7	172	55	120	25	120
6 alfanum 200px C	10	165	60	120	22	150
6 alfanum 200px M	7	170	55	110	25	150
6 alfanum 200px Y	20					
6 alfanum 300px	5	172	47	125	10	167
6 alfanum 300px C	7	172	55	122	10	160
6 alfanum 300px M	5	172	52	120	12	165
6 alfanum 300px Y	15	167	90		25	120
6 alfanum 500px	7	172	55	100	7	135
6 alfanum 500px C	7	172	60	120	45	135
6 alfanum 500px M	7	172	68	112	40	135
6 alfanum 500px Y						



Slika 6.4.83: Grafički prikaz rezultata merenja QR kodova sa 6 alfa i 6 alfanumeričkih karaktera [Đurđević, 2017b]

Prilikom rotiranja kamere pod uglovima većim od 90° , svi uzorci su prikaz 3D objekta prekidali tek kad je kamera dolazila na ugao veći od 160° . Kod merenja nestanka 3D objekta pod uglom manjim od 90° , ustanovljeno je da su se QR kodovi sa rezolucijom 500 px i 6 alfa karaktera pokazali kao najčitljiviji, uspeali su da održe prikaz 3D objekta pod izuzetno malim uglovima koji su bili oko 5° . U povratnom merenju, pomeranjem kamere od nultog stepena prema 90° , QR kodovi sa rezolucijom od 500 px i 6 alfa karaktera pod najnižim uglovima su generisali 3D objekat, pod uglovima koji su se kretali između 40° i 50° .

Prilikom povratnog kretanja kamere od početnog ugla 180° prema 90° najbolje su se pokazali QR kodovi rezolucije 300 px sa 6 alfa karaktera. Prosečna pojava 3D objekta je bila pod uglovima koji su bili oko 130° .

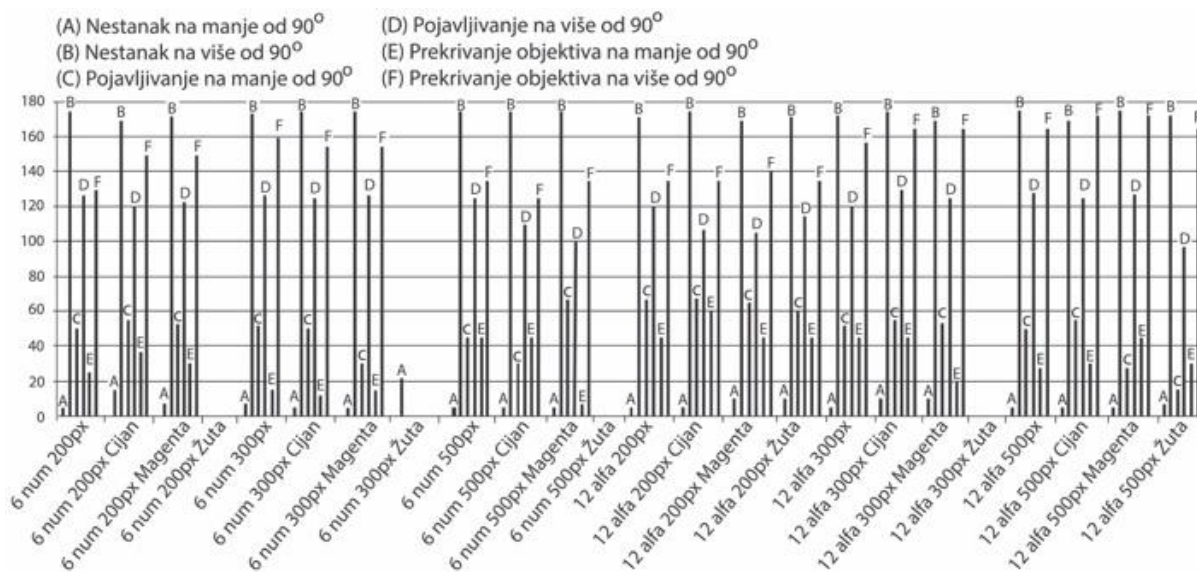
Prekidom vizuelne linije između kamere i QR koda pod uglom manjim od 90° , najčitljiviji su QR kodovi sa rezolucijom 500 px i 6 alfa karaktera. Pokazali su se kao čitljivi u ovim uslovima na prosečnih 5° . Merenjem prekida vizuelne linije između kamere i QR koda pod uglom većim od 90° , takođe su se najbolje pokazali QR kodovi koji imaju rezoluciju 500 px i 6 alfa karaktera sa uglovima koji su se kretali oko 170° [Đurđević, 2017b].

Rezultati merenja QR kodova koji sadrže 6 numeričkih i 12 alfa karaktera su prikazani u tabeli 6.4.18 nakon čega su grafički predstavljani na slici 6.4.84.

Tabela 6.4.18: Prikaz rezultata ispitivanja QR kodova koji sadrže 6 numeričkih i 12 alfa karaktera

QR kodovi	Nestanak na manje od 90°	Nestanak na više od 90°	Pojavljivanje na manje od 90°	Pojavljivanje na više od 90°	Prekrivanje objektivna na manje od 90°	Prekrivanje objektivna na više od 90°
6 num 200px	5	175	50	127	25	130
6 num 200px C	15	170	55	120	37	150
6 num 200px M	7	172	53	123	30	150
6 num 200px Y						
6 num 300px	7	175	52	127	15	160
6 num 300px C	5	175	50	125	12	155
6 num 300px M	5	175	30	127	15	155
6 num 300px Y	22					
6 num 500px	5	175	45	125	45	135
6 num 500px C	5	175	30	110	45	125
6 num 500px M	5	175	67	100	7	135
6 num 500px Y						
12 alfa 200px	5	172	67	120	45	135
12 alfa 200px C	5	175	68	107	60	135
12 alfa 200px M	10	170	65	105	45	140
12 alfa 200px Y	10	172	60	115	45	135
12 alfa 300px	5	175	52	120	45	157
12 alfa 300px C	10	175	55	130	45	165
12 alfa 300px M	10	170	53	125	20	165
12 alfa 300px Y						
12 alfa 500px	5	175	50	128	27	165
12 alfa 500px C	5	170	55	125	30	172
12 alfa 500px M	5	175	28	127	45	172
12 alfa 500px Y	7	172	15	97	30	165

Kod ove grupe se može primetiti velika postojanost očitavanja kodova u uslovima rotiranja telefona pod uglovima većim od 90° . Najčitljivija grupa je sa 6 numeričkih karaktera, rezolucije 300 px i 500 px koja je održavala formiran 3D objekat pod uglovima većim od 170° .



Slika 6.4.84: Grafički prikaz rezultata ispitivanja QR kodova koji sadrže 6 numeričkih i 12 alfa karaktera

Kod nestanka 3D objekta u uglovima manjim od 90° grupa kodova sa 6 numeričkih karaktera i rezolucijom od 500 px se najbolje pokazala jer je formiran 3D objekat ostao postojan čak i pod izuzetno malim uglovima koji su se kretali oko 5°. U povratnom merenju 3D objekat se prilikom očitavanja grupe QR kodova sa 6 numeričkih karaktera i rezolucijom od 300 px pojavio na prosečnih 45°. Prilikom povratnog kretanja kamere iz ugla 180°, 3D objekat se pojavljivao na oko 125° kod očitane grupe kodova koja sadrži 6 numeričkih karaktera rezolucije 300 px. Kod prekida vizuelne linije između kamere i targeta u pravcu kretanja od ugla 90° ka 0°, najčitljiviji su kodovi koji sadrže 6 numeričkih karaktera rezolucije 300 px zbog održavanja prikaza 3D objekta na 15°, a prilikom istog postupka samo u suprotnom pravcu kretanja, najčitljiviji su QR kodovi koji sadrže 12 alfa karaktera, rezolucije 500 px sa održavanjem prikaza objekta na 165°.

Rezultati merenja QR kodova koji sadrže 12 alfanumeričkih i 12 numeričkih karaktera su prikazani u tabeli 6.4.19.

Rotiranjem kamere pod uglovima većim od 90° svi ispitani kodovi su održali prikaz 3D objekta do uglova koji su se kretali oko 170°. Kod merenja nestanka 3D objekta pod uglom manjim od 90°, u ovoj podeli rezultata, ustanovljeno je da su se svi QR kodovi iz ove grupe pokazali kao izuzetno čitljivi održavajući prikaz 3D objekta u proseku na 10° dok su se QR kodovi koji sadrže 12 alfanumeričkih karaktera i rezoluciju 500 px pokazali kao najpouzdaniji jer su uspeli da održe prikaz 3D objekta na izuzetno malim stepenima koji su se kretali oko 5°.

U povratnom merenju u najmanjim stepenima se pojavio 3D objekat prilikom očitavanja grupe QR kodova sa 12 alfanumeričkih karaktera i rezolucijom 200 px, na 35°. Prilikom povratnog merenja od 180° ka 90° 3D objekat se formirao iznad 120° očitavanjem grupe QR kodova koji sadrže 12 alfanumeričkih karaktera u rezoluciji 300 px. Kod prekida vizuelne linije između kamere i targeta u pravcu kretanja od ugla 90° ka 0°, najčitljiviji su se pokazali kodovi koji sadrže 12 alfanumeričkih karaktera rezolucije 300 px zbog održavanja prikaza 3D objekta na 20°, a prilikom istog postupka samo u povratnom pravcu kretanja najčitljiviji su QR kodovi koji sadrže 12 alfanumeričkih karaktera, rezolucije 500 px sa održavanjem prikaza objekta na 172°.

Tabela 6.4.19: Prikaz rezultata ispitivanja QR kodova koji sadrže 12 alfanumeričkih i numeričkih karaktera

QR kodovi	Nestanak na manje od 90°	Nestanak na više od 90°	Pojavljivanje na manje od 90°	Pojavljivanje na više od 90°	Prekrivanje objekta na manje od 90°	Prekrivanje objekta na više od 90°
12 alfanum 200px	5	175	35	120	45	150
12 alfanum 200px C	5	175	53	115	30	140
12 alfanum 200px M	7	172	60	122	45	135
12 alfanum 200px Y						
12 alfanum 300px	5	173	62	127	12	152
12 alfanum 300px C	5	175	60	125	30	145
12 alfanum 300px M	5	175	55	127	20	165
12 alfanum 300px Y	7	175	58	110	20	162
12 alfanum 500px	5	177	60	112	52	172
12 alfanum 500px C	5	175	75	115	65	135
12 alfanum 500px M	3	177	70	118	45	142
12 alfanum 500px Y	5	173	85	90	7	110
12 num 200px	5	175	68	107	60	132
12 num 200px C	5	175	67	110	50	175
12 num 200px M	5	173	60	120	30	147
12 num 200px Y						
12 num 300px	5	177	60	115	45	135
12 num 300px C	5	173	52	127	15	157
12 num 300px M	7	175	15	130	10	135
12 num 300px Y	10	173		106	45	152
12 num 500px	5	173	65	110	45	135
12 num 500px C	5	173	22	120	45	170
12 num 500px M	5	175	53	112	37	145
12 num 500px Y	10	173				

Rezultati merenja QR kodova koji sadrže JPG sliku su prikazani u tabeli 6.4.20.

Ova grupa QR kodova sadrži JPG sliku koja zauzima 30% površine koda tako da su elementi koda raspoređeni oko fotografije. Rotiranjem kamere u pravcu uglova većih od 90° najčitljiviji kodovi sadrže 12 numeričkih karaktera i iako su različite rezolucije, odnosno od 200 px, 300 px i 500 px, svi su identično očitani održavajući prikaz 3D objekta do ugla od 175°. Kretanjem kamere u pravcu od 90° ka 0°, najčitljiviji kodovi su se pokazali oni koji sadrže 6 alfa karaktera, održavajući prikaz 3D objekta do 5°. U povratnom pravcu, od 0° ka 90° najčitljiviji kodovi sadrže 12 alfa karaktera i očitani su na prosečnih 40°. Pri povratnom kretanju kamere iz pravca ugla 180° ka 90°, najčitljiviji kodovi su prikazali 3D objekat na 115°, oni sadrže 6 numeričkih karaktera. Prekidom vizuelne linije između kamere i kodova prilikom promene ugla kretanja u pravcu iznad 90° najčitljiviji kodovi koji sadrže 12 alfa karaktera su generisali 3D objekat do 150°, a na isti način merenjem samo u pravcu od 90° ka 0°, najčitljiviji kodovi sadrže 12 numeričkih karaktera i održavali su prikaz 3D objekta do prosečnih 20°.

Uticaj broja karaktera je pokazao da QR kodovi koji sadrže 6 karaktera su najčitljiviji u slučaju da sadrže alfa ili numeričke karaktere dok QR kodovi koji sadrže 12 karaktera su najčitljiviji sa mešovitim alfanumeričkim karakterima.

Uticaj zauzetosti površine QR kodova JPG slikom je ispitan međusobnim poređenjem QR kodova koji sadrže JPG sliku ali imaju različit broj i vrstu karaktera. Ispostavilo se da nema međusobno većeg odstupanja i da su svi kodovi čitljivi dok u poređenju sa QR kodovima koji ne sadrže JPG sliku su slabije čitljivi.

Tabela 6.4.20: Prikaz rezultata ispitivanja QR kodova koji sadrže JPG sliku

QR kodovi	Nestanak na manje od 90°	Nestanak na više od 90°	Pojavljivanje na manje od 90°	Pojavljivanje na više od 90°	Prekrivanje objekta na manje od 90°	Prekrivanje objekta na više od 90°
Grid 6 alfa 200px	5	173	85	90	75	120
Grid 6 alfa 300px	5	175	60	118	10	135
Grid 6 alfa 500px	3	178	53	140	30	140
Grid 6 alfanum 200px	7	173	65	112	53	127
Grid 6 alfanum 300px	5	173	50	127	10	152
Grid 6 alfanum 500px	5	173	45	125	30	143
Grid 6 num 200px	8	165	58	110	45	120
Grid 6 num 300px	7	173	45	118	10	135
Grid 6 num 500px	3	175	53	113	30	140
Grid 12 alfa 200px	7	173	53	122	45	135
Grid 12 alfa 300px	7	175	53	120	45	142
Grid 12 alfa 500px	3	178	15	123	8	170
Grid 12 alfanum 200px	7	173	20	122	8	157
Grid 12 alfanum 300px	5	175	55	127	5	160
Grid 12 alfanum 500px	8	145	60	123	45	130
Grid 12 num 200px	7	175	60	112	45	137
Grid 12 num 300px	7	175	22	120	5	135
Grid 12 num 500px	5	175	53	127	5	165

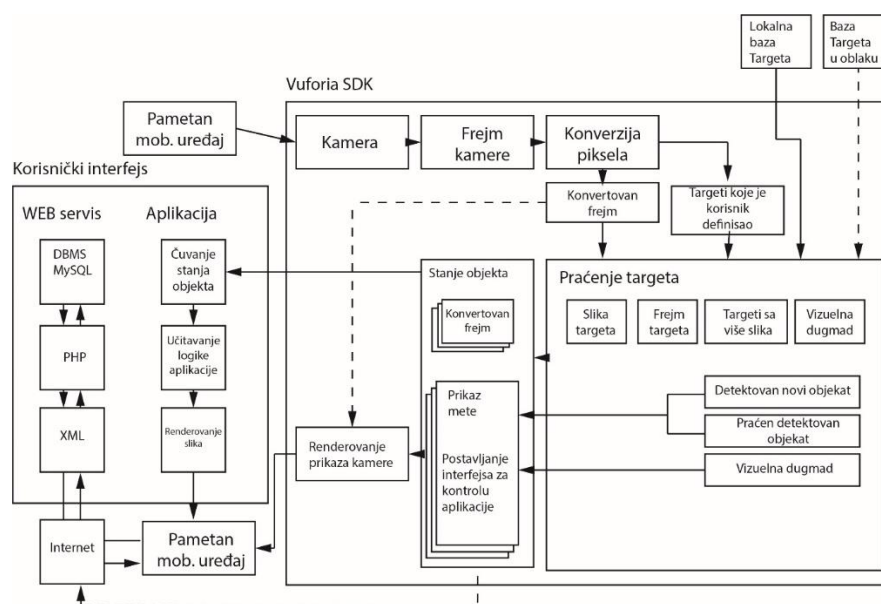
Uticaj rezolucije na čitljivost QR kodova je ustanovljena poređenjem uzoraka koji su generisani u rezolucijama 200 px, 300 px, 500 px. Na osnovu rezultata merenja je zaključeno da je rezolucija 500 px najoptimalnija za generisanje QR kodova jer garantuje njihovu adekvatnu čitljivost u aplikacijama proširene realnosti. Uzorci QR kodova koji su rezolucije 200 px jesu čitljivi, međutim rezultati variraju u zavisnosti od načina merenja ugla očitavanja kao i broja, vrste unetih karaktera i toga da li sadrže JPG sliku.

Ispitivanjem uticaja boje na čitljivost QR kodova je ustanovljeno osnovno pravilo svih barkodova, da mora da postoji veliki kontrast između pozadinske boje i boje samog barkoda. Ispitani QR kodovi su generisani u bojama cijan, magenta i žuta sa različitim rezolucijama, brojem i vrstom karaktera. Poređenje je izvršeno radi donošenja zaključka o uticaju rezolucije, broja i vrste karaktera u kombinaciji sa bojom na čitljivost QR kodova. Poređenjem QR kodova koji sadrže 6 karaktera različite vrste je ustanovljeno ponavljanje dobre čitljivosti QR kodova koji su boje magenta bez obzira na rezoluciju i vrstu karaktera. Poređenjem QR kodova koji sadrže 12 karaktera je konstatovana ponovna dominacija čitljivosti QR kodova koji su magenta boje uz odstupanje kodova rezolucije 500 px kod kojih je ustanovljena najbolja čitljivost u cijan boji i povremena čitljivost QR kodova žute boje. QR kodovi u žutoj boji su se pokazali kao izuzetno nečitljivi u aplikaciji za generisanje proširene realnosti jer su im rezultati merenja bili nestabilni. Jedino QR kodovi u ovoj boji nisu bili očitani pod svim uslovima merenja. Nestabilno ponašanje rezultata merenja je dovelo do zaključka da je upotreba ove boje izuzetno nepovoljna i da je treba izbegavati. Kao što je već napomenuto, može da se vidi iz primera nečitljivosti žute boje da je mali kontrast između pozadinske bele boje i žute boje QR kodova nepovoljno uticao na čitljivost.

6.4.4.2 Aplikacija za kontrolu svežine

Navedeni rezultati predstavljaju osnovu modela za identifikaciju zaštitnih elemenata grafičke ambalaže putem mobilnih uređaja opremljenih kamerom. Putem tehnologije proširene realnosti otvaraju se mogućnosti povezivanja informacije o proizvodu sa stanjem dobijenim na osnovu matematičkih analiza zaštitnih elemenata štampanih hromatskim bojama.

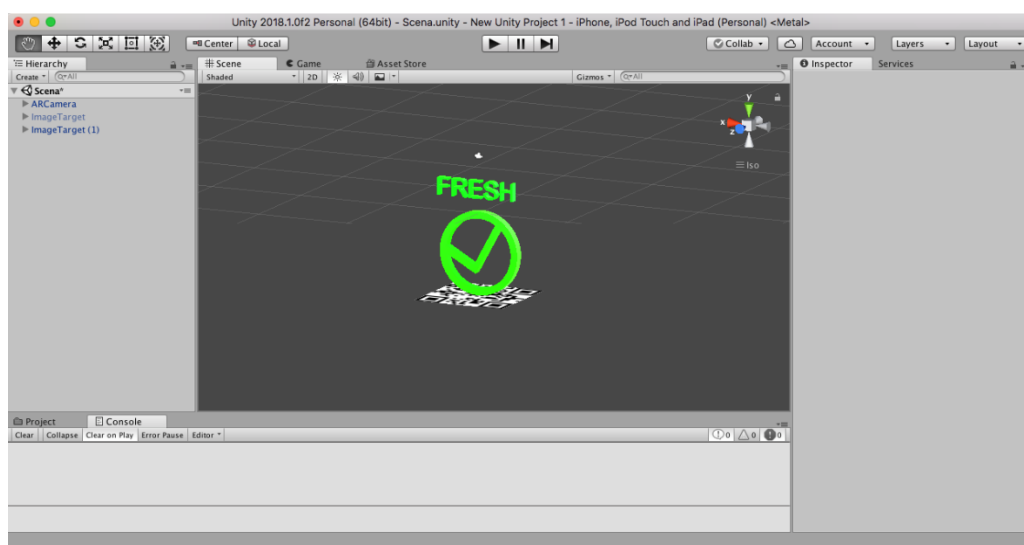
Na slici 6.4.85 je prikazana arhitektura aplikacije [Vuforia, 2019a]. Aplikacija za identifikaciju zaštitnih elemenata grafičke ambalaže se zasniva na prepoznavanju slike. Putem kamere mobilnog uređaja beleži se realno okruženje u kome se pronalaze targeti (zaštitni elementi) i dizajn ambalaže [Đurđević et al., 2016b].



Slika 6.4.85: Arhitektura aplikacije proširene realnosti [Vuforia, 2019b]

Dizajn ambalaže daje informaciju o robi dok praćenje stanja zaštitnog elementa daje informaciju o stanju pametne boje. Ove dve informacije se spajaju rezultujući informacijom o stanju robe u ambalaži.

Za potrebe razvijanja AR aplikacije za identifikaciju stanja zaštitnog elementa grafičke ambalaže korišćene su sledeće aplikacije: Unity verzija 2018.1.0f2 koja u sebi ima integrisanu platformu za AR zvanu Vuforia (slika 6.4.86), sajt Vuforije za kreiranje AR targeta, Xcode verzija 9.4.1 za podizanje aplikacije na iOS uređaj, kao i Adobe CC paket programa za kreiranje dizajna interfejsa aplikacije.



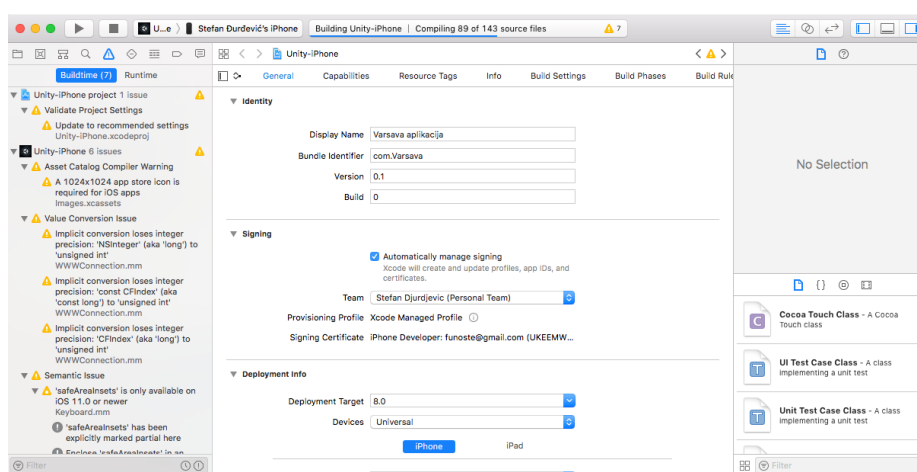
Slika 6.4.86: Aplikacija za pametnu ambalažu u Unity programu [Đurđević, 2018a]

Osnovu ove aplikacije čini kod koji se sastoji iz polja štampanih konvencijalnim bojama i polja štampanih ireverzibilnim hromatskim bojama koje nestaju ili se pojavljuju ukoliko se nađu u ambijentu visoke temperature, zračenja i vlažnosti. Razvoj koda za ovakav tip pametnih nalepnica za ambalažu je prikazan u prethodnim istraživanjima [Đurđević et al., 2018].

Pametne nalepnice se apliciraju na postojeće ambalaže pri čemu se kao target definiše segment dizajna ambalaže, kod u ne aktiviranom obliku i kod u aktiviranom obliku. Na ovaj način uređaj prepoznaje proizvod o kojem se radi i stanje koda na njemu, te povezujući ove dve informacije daje informaciju o stanju proizvoda. Npr. ukoliko je u pitanju proizvod koji je zamrznut, aktiviranje termohromatske boje će biti signal da se proizvod u toku skladištenja odmrzao.

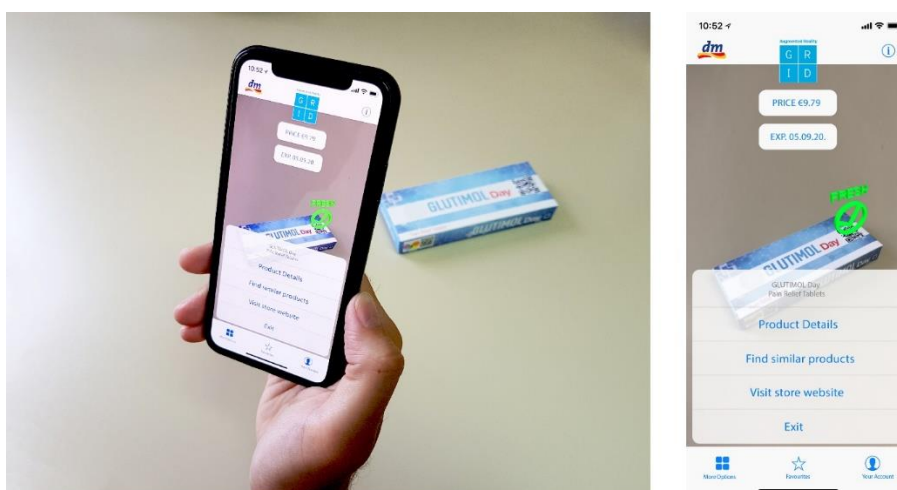
Dizajn interfejsa je osmišljen u softverima za vektorsku grafiku iz Adobe CC paketa, pri čemu je korišćenjem Unity aplikacije integrisan u Smart Packaging App.

Kako bi se aplikacija generisala na mobilni uređaj korišćen je Xcode 9.4 (slika 6.4.87).



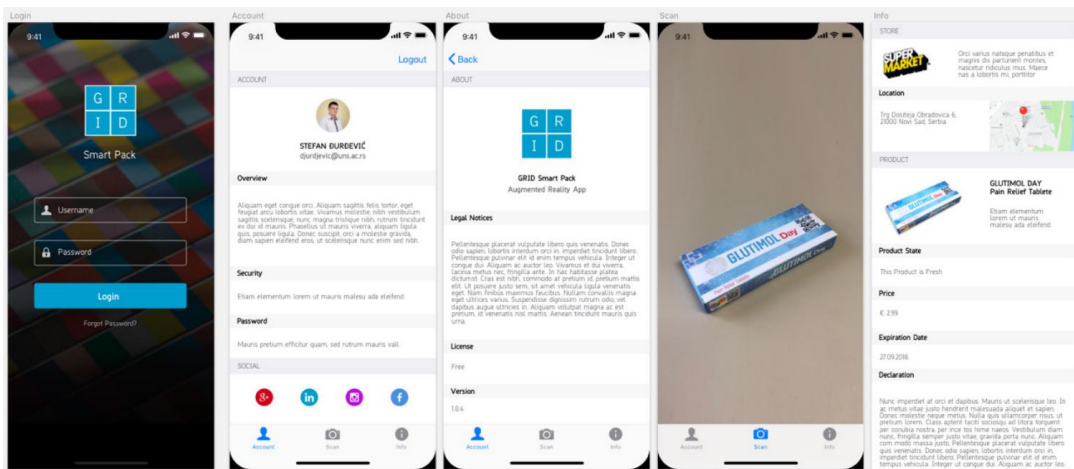
Slika 6.4.87: Xcode, generisanje aplikacije

Kao što se na dizajnu interfejsa može videti na osnovu geografske lokacije učitavaju se i dodatne informacije o prepoznatom proizvodu kao što su cena, deklaracija, prodavnica u kojoj se nalazi, datum isticanja roka (slika 6.4.88).



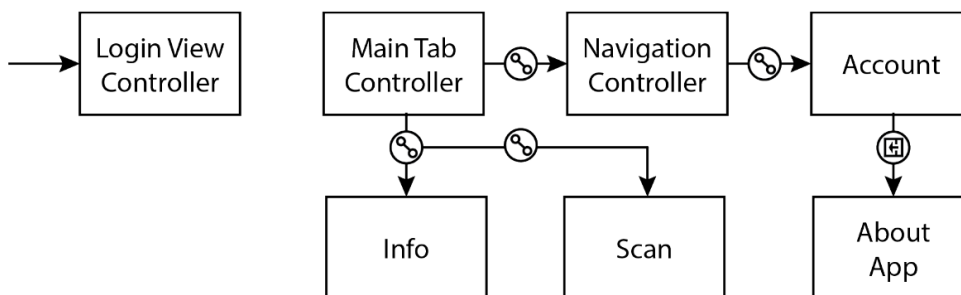
Slika 6.4.88: Korisnički interfejs aplikacije

Elementi dizajna korisničkog interfejsa su kreirani u softverima za vektorsku grafiku Adobe paketa (Illustrator) a integrisani su u dizajn korisničkog interfejsa putem softvera Sketch (slika 6.4.89). Konačno dizajn korisničkog interfejsa je iskorišćen za formiranje aplikacije u Xcode-u [Đurđević, 2018b].



Slika 6.4.89: Korisnički interfejs aplikacije razvijen u aplikaciji Sketch [Đurđević, 2018a]

Uočljivo je na osnovu dizajna da se na bazi GPS lokacije, dodatne informacije o identifikovanom proizvodu mogu učitati u interfejs iz baze podataka o proizvodima kao što su cena, deklaracija, prodajni objekat, rok trajanja. Slika 6.4.90 pokazuje kontrolere prikaza (View Controllers) u Xcode-u. Ekran interfejsa aplikacije se mogu videti na slici 6.4.89 [Đurđević, 2018b].



Slika 6.4.90: Veze između kontrolera aplikacije povezanih u Xcode-u

U okviru Scan taba moguće je pokrenuti AR kameru koja prepoznaje proizvod i njegovu svežinu i ispisuje ovu informaciju u Info tabu. Programski deo koda je prikazan u nastavku [Đurđević, 2018b].

Prvo je potrebno učitati biblioteke za AR i razvoj korisničkog interfejsa.

```
import Foundation
import UIKit
import ARKit
```

Zatim se povezuju komandna dugmad sa kontrolerima prikaza.

```
class SecondViewController: UIViewController {
    @IBOutlet weak var sceneView: ARSCNView!
```

```
@IBOutlet weak var label: UILabel!
```

Deo koda odgovoran za podešavanje animacije 3D objekta „Fresh“ (trajanje posvetljenja, rotacija, akcija okretanja idr.)

```
let fadeDuration: TimeInterval = 0.3
let rotateDuration: TimeInterval = 10
let waitDuration: TimeInterval = 0.5
lazy var fadeAndSpinAction: SCNAction = {
return .sequence([
.fadeIn(duration: fadeDuration),
.rotateBy(x: 0, y: CGFloat.pi * 360 / 60, z: 0, duration: rotateDuration),
.wait(duration: waitDuration),
.fadeOut(duration: fadeDuration)
])
}()
lazy var fadeAction: SCNAction = {
return .sequence([
.fadeOpacity(by: 0.8, duration: fadeDuration),
.wait(duration: waitDuration),
.fadeOut(duration: fadeDuration)
])
}()
```

U ovom delu koda se može videti 3D model koji pokazuje stanje proizvoda. Vidi se tri stanja proizvoda (fresh - sveže, check again - proveriti još jednom, do not use - neupotrebljivo) zavisno od kombinacije stanja koda i tipa proizvoda. S obzirom da promena može, ali i ne mora uticati na određenu grupu proizvoda.

```
lazy var freshNode: SCNNode = {
guard let scene = SCNScene(named: "Fresh.scn"),
let node = scene.rootNode.childNode(withName: "fresh", recursively: false)
else { return SCNNode()
}
let scaleFactor = 0.010
node.scale = SCNVector3(scaleFactor, scaleFactor, scaleFactor)
node.eulerAngles.x = 0
node.runAction(SCNAction.rotateBy(x: 0, y: 0, z: 0, duration: 0.0))
return node
}()
lazy var checkNode: SCNNode = {
guard let scene = SCNScene(named: "Check.scn"),
let node = scene.rootNode.childNode(withName: "check", recursively: false)
else { return SCNNode()
}
let scaleFactor = 0.1
node.scale = SCNVector3(scaleFactor, scaleFactor, scaleFactor)
return node
}()
lazy var donotNode: SCNNode = {
guard let scene = SCNScene(named: "Do not use.scn"),
let node = scene.rootNode.childNode(withName: "donot", recursively: false)
else { return SCNNode()
}
let scaleFactor = 0.25
node.scale = SCNVector3(scaleFactor, scaleFactor, scaleFactor)
```



```

node.eulerAngles.x += -.pi / 2
return node
}()
override func viewDidLoad() {
super.viewDidLoad()
sceneView.delegate = self
configureLighting()
}
func configureLighting() {
sceneView.autoenablesDefaultLighting = true
sceneView.automaticallyUpdatesLighting = true
}
override func viewWillAppear(_ animated: Bool) {
super.viewWillAppear(animated)
resetTrackingConfiguration()
}
override func viewWillDisappear(_ animated: Bool) {
super.viewWillDisappear(animated)
sceneView.session.pause()
}
@IBAction func resetButtonDidTouch(_ sender: UIBarButtonItem) {
resetTrackingConfiguration()
}
}

```

U nastavku je deo koda koji daje informaciju korisniku da pomera kameru kako bi detektovao objekat.

```

func resetTrackingConfiguration() {
guard let referenceImages = ARReferenceImage.referenceImages(inGroupNamed: "AR
Resources",
bundle: nil) else { return }
let configuration = ARWorldTrackingConfiguration()
configuration.detectionImages = referenceImages
let options: ARSession.RunOptions = [.resetTracking, .removeExistingAnchors]
sceneView.session.run(configuration, options: options)
label.text = "Move camera around to detect smart packaging"
}
}
extension SecondViewController: ARSCNViewDelegate {

```

Zatim deo koda koji će prikazati informaciju o nazivu proizvoda i stanju nakon detekcije.

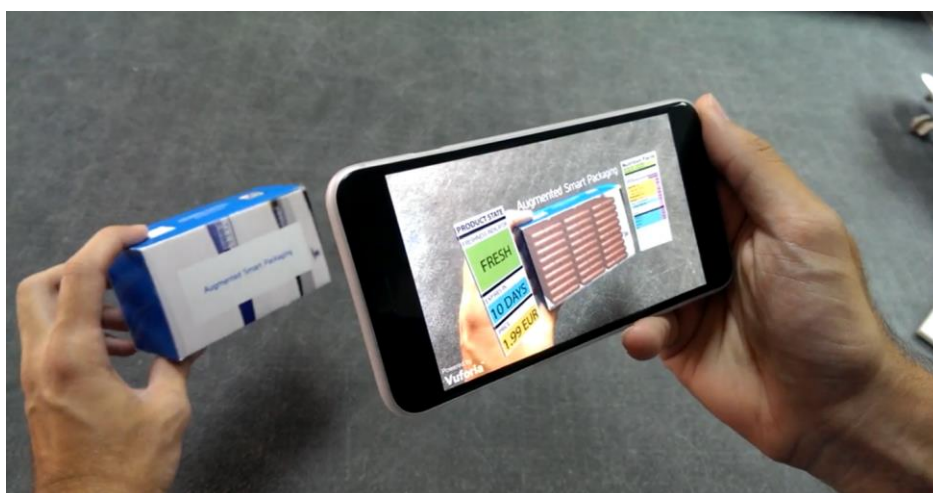
```

func renderer(_ renderer: SCNSceneRenderer, didAdd node: SCNNode, for anchor:
ARAnchor) {
DispatchQueue.main.async {
guard let imageAnchor = anchor as? ARImageAnchor,
let imageName = imageAnchor.referenceImage.name else { return }
let overlayNode = self.getNode(withImageName: imageName)
overlayNode.opacity = 0
overlayNode.position.y = 0.2
overlayNode.runAction(self.fadeAndSpinAction)
node.addChildNode(overlayNode)
self.label.text = "Smart packaging detected: \"\"(imageName)\"\""
}
}

```

```
}  
func getPlaneNode(withReferenceImage image: ARReferenceImage) -> SCNNode {  
    let plane = SCNPlane(width: image.physicalSize.width,  
        height: image.physicalSize.height)  
    let node = SCNNode(geometry: plane)  
    return node  
}  
func getNode(withImageName name: String) -> SCNNode {  
    var node = SCNNode()  
    switch name {  
    case "Glutamol day fresh state":  
        node = freshNode  
    case " Glutamol day check product state":  
        node = checkNode  
    case " Glutamol day do not use":  
        node = donotNode  
    default:  
        break  
    }  
    return node  
}  
}
```

AR koncept pametne ambalaže pokazuje da je moguće kreirati aplikaciju za čitanje sadržaja i određivanje svežine proizvoda upakovanog u pametnu ambalažu. U okviru dodatnih istraživanja kreirana je AR aplikacija koja na osnovu prepoznavanja ambalaže i stanja zaštitnog elementa prikazuje i dodatne informacije kao deo 3D prostora, ali i prikazuje unutrašnjost ambalaže, a samim tim i proizvod kao 3D objekat (Slika 6.4.91) [Đurđević, 2017a].



Slika 6.4.91: Razvijena aplikacija koja dodatne informacije o proizvodu prikazuje u 3D prostoru AR okruženja [Đurđević, 2017a]

6.5 Razvoj konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže

Upotreba mobilnih uređaja u svrhu očitavanja informacija s ambalaže je već neko vreme prisutna. Danas su prisutne aplikacije koje zamenjuju Bar ili QR kod čitače i posredstvom kamere mobilnog uređaja u interakciji s bazom podataka uspešno prenose informacije o proizvodu.

Trenutna rešenja pametnih zaštitnih elemenata poseduju ograničenja. Interaktivni zaštitni elementi koje čine štampani kodovi poseduju različite sisteme kodiranja. Krajnji korisnik će prepoznati popularne sisteme kodiranja (bar kod ili QR kod), ali će ostati neretko zbunjen pred nepoznatim sistemom kodiranja ili ga čak neće kao takvog ni identifikovati. Jasno je da korak koji prethodi skeniranju koda mora biti njegova identifikacija na ambalaži, a potom upotreba odgovarajućeg uređaja koji može očitati dati kodni sistem. Informacija koju nose štampani kodovi je nepromenljiva, količina informacija koje se mogu smestiti u kod je u direktnoj vezi sa tipom kodnog sistema. Ukoliko je potrebno da pojedinačni proizvod iz serije nosi personalizovanu informaciju nailazi se na problem ograničenja izbora tehnike štampe. Najčešće se ovakvi kodovi štampaju digitalnom tehnikom štampe što utiče na konačnu cenu zaštitnog elementa i proizvoda.

Štampana elektronika prevazilazi određena ograničenja koja su deo štampanih kodova. Zaštitni elementi koji su na ovakav način štampani mogu imati personalizovanu informaciju. Ograničenost u količini informacije koja će biti smeštena u štampanu elektroniku je u direktnoj vezi sa korišćenim čipom prilikom proizvodnje zaštitnih elemenata. Domet potreban za očitavanje može da varira od tehnologije, pa tako NFC elementi spadaju u kratko dometne, dok bluetooth i RFID spadaju u elemente koji se mogu očitati i sa veće razdaljine. Informacija koja se smesti u ove kodove nije promenljiva i nije u direktnoj vezi sa promenom stanja proizvoda.

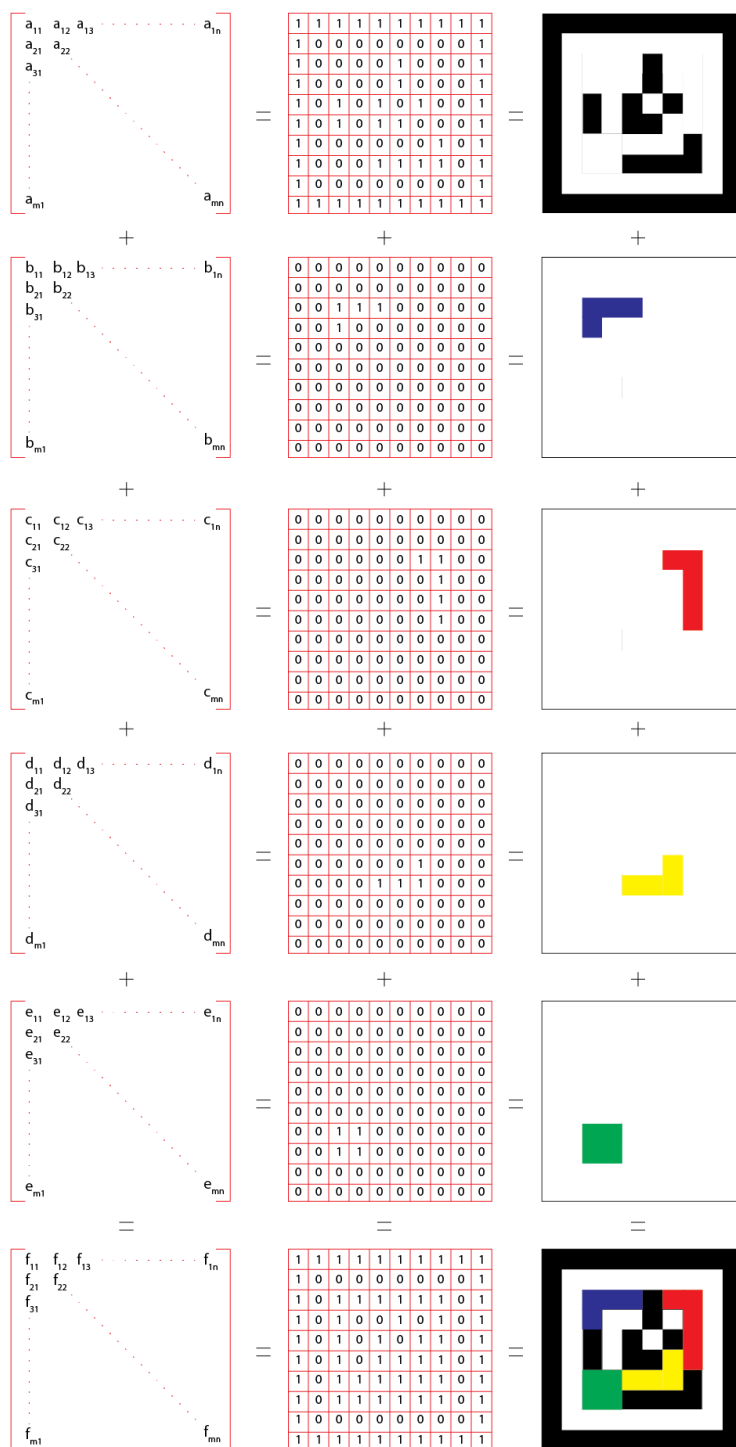
Aktivni zaštitni elementi donose velike prednosti u pogledu produženja roka trajanja i očitavanja trenutnog stanja. Reaguju na promenu u okruženju i na taj način pokazuju kakvo je stanje unutar ili izvan ambalaže. Ukoliko donose informaciju o stanju unutar ambalaže najčešće aktivna komponenta koja ih čini se nalazi upravo u atmosferi u kojoj je i sam proizvod pa je potrebno ispuniti određene regulative ako je upakovani proizvod prehrambeni ili farmaceutski. Ovi elementi ne komuniciraju sa pametnim uređajima [Poslad, 2011] i njihova svrha je ispuštanje aktivne komponente ili apsorbovanje materija iz unutrašnjosti ambalaže. Stanje o proizvodu se najčešće očitava kao vizuelna promena zapremine ili tona boje aktivne komponente.

Zaštitne indikatore čine inteligentne komponente kao što su indikatori i senzori. Informaciju o stanju proizvoda mogu prikupiti u uređaj za očitavanje podataka iz senzora ali ne i klasični mobilni uređaji. Ovi zaštitni elementi ukazuju na događaj, npr. na izloženost ambalaže visokom nivou nekog gasa, radijaciji, temperaturi, sunčevim zracima, vremenu itd. Najčešći način identifikacije stanja indikatora je vizuelnim putem, gde korisnik posmatra promenu boje indikatora i dobija subjektivnu informaciju koju poredi sa referentnim poljima.

Kao rezultat istraživanja prikazana je opšta matematička forma koja se može koristiti za identifikaciju zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Kao matematički oblik, matrice su pogodne za predstavljanje podataka za identifikaciju zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

Zajedničko za sva rešenja identifikatora je mogućnost primene proširene realnosti kao tehnologije za očitavanje zaštitnih elemenata i povezivanje sa postojećim uređajima. Digitalna obrada slike je osnova za kompjutersku identifikaciju stanja zaštitnih elemenata štampanih konvencionalnim ili pametnim bojama. Boje su pogodno rešenje za identifikaciju stanja proizvoda. Promena stanja sredine u kojoj se ambalaža nalazi je u direktnoj vezi sa promenom stanja robe i promenom karakteristika hromatskih boja na ambalažnom zaštitnom elementu.

Svaka boja korišćena za štampu zaštitnog elementa se predstavlja matricom. Štampana polja imaju vrednost 1, a neštampana polja imaju vrednost 0. Zbir svih matrica čine konačnu matricu zaštitnog elementa koja ima logičnu formu pogodnu za očitavanje (slika 6.5.1).



Slika 6.5.1: Prikaz formiranja konačne matrice opšteg primera zaštitnog elementa

Broj matrica je povezan sa brojem boja koje se koriste prilikom štampe zaštitnog elementa.

Prilikom razvoja pametnog zaštitnog elementa u obzir su uzete različite vrste pametnih boja koje se već proizvode i čija primena je trenutno povezana sa oplemenjivanjem grafičkih

proizvoda kroz specijalne efekte. Treba napomenuti da je dozvoljeno koristiti ove boje i u farmaceutskoj i prehrambenoj industriji. Prilikom kontrole kvaliteta i roka trajanja proizvoda u obzir su uzeti različiti parametri: vreme proteklo tokom upotrebe proizvoda, temperature kroz koju je proizvod tokom skladištenja prolazio, izloženost proizvoda svetlosti, kontakt sa vodom i drugi. Na slici 6.5.1 je prikazan opšti primer zaštitnog elementa koji je štampan konvencionalnom bojom i sa četiri različite hromatske boje.

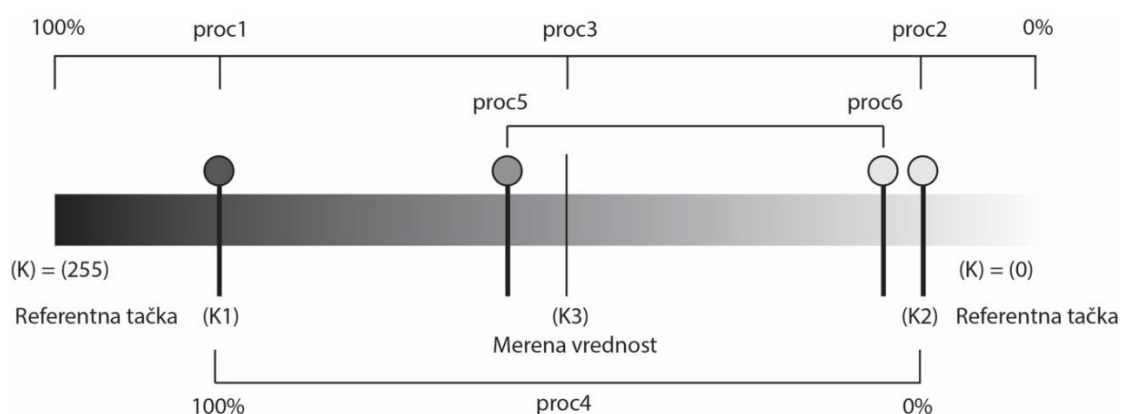
Svaki parametar se kontroliše na odgovarajućoj matrici koju sadrži konačna matrica zaštitnog elementa. Na primer ukoliko se kontroliše vreme proteklo tokom upotrebe proizvoda a boja zaštitnog elementa se sa promenom menja u okviru sivih tonova kontrola se vrši na sledeći način [Đurđević, 2015b].

Prvi korak je kalibracija. Na osnovu referentnih polja iz mreže vrši se kalibracija kamere. Kako bi se definisala tačna vrednost na gradijentnoj skali koja je formirana početnom i krajnjom vrednosti promene tona specijalne boje potrebno je da se prethodno skala formira na osnovu zabeleženih referentnih (početnih i krajnjih) vrednosti. Na ovaj način se smanjuju sledeći uticaji na kvalitet merenja:

- spoljašnje osvetljenje kome je izložen uzorak,
- dodatno osvetljenje uređaja (blic kamere),
- kvalitet štampe referentnih tačaka zaštitnog elementa,
- karakteristika podloge na kojoj se štampaju referentne tačke,
- karakteristika materijala koji je korišćen kao podloga zaštitnog elementa.

Drugi korak je formiranje gradijentne skale. Kreiranje skale se vrši na osnovu referentnih vrednosti polja u okviru matrice pametnih boja. Na taj način se zavisno od specifikacije boje definiše opšta skala koja će služiti za kasnije mapiranje vrednosti [Đurđević, 2016b].

U slučaju da matrica koristi pametne boje koje karakteriše pomena iz bezbojnog u obojeno stanje crne boje, kreiran je gradijentni prelaz između pokrivne boje podloge zaštitnog elementa (bele) i punog tona crne boje (Slika 6.5.2) [Đurđević, 2015b].



Slika 6.5.2: Gradijentna skala kreirana kao tonski prelaz između boje podloge i punog tona crne boje [Đurđević, 2015b]

Nova skala je kreirana između referentnih tačaka K1 i K2, čije vrednosti su dobijene analizom slike. Ova skala se tiče karakteristike boje i na primeru kontrole promene temperature zavisno od tipa boje procenat 1 može predstavljati gornju kritičnu temperaturu do koje je boja u mogućnosti da menja svoje karakteristike. Procenat 2 je boja podloge, a sa stanovišta

vrednosti predstavlja početnu temperaturu od koje sa porastom temperature od ove vrednosti boja počinje da menja svoje karakteristike.

Treći korak čini preslikavanje skale bazirano na kritičnim vrednostima određenog tipa proizvoda. Na osnovu vrste proizvoda, potrebno je preslikati gradijentnu skalu. Svaki proizvod sadrži kritične vrednosti na osnovu specifikacije proizvođača. Pa tako je kreirana skala u zavisnosti sa karakteristikama boje, dok je skala koja će biti formirana nakon preslikavanja biti u zavisnosti sa proizvodom. Na osnovu proizvoda definišu se vrednosti proc5 i proc6 (Slika 6.5.2), ove vrednosti su u zavisnosti sa proizvodom i poređenjem pozicije izmerene vrednosti proc3 dobija se informacija o temperaturnoj ili drugoj promeni uslova tokom skladištenja proizvoda.

Četvrti korak se ogleda u mapiranju vrednosti za jedno referentno polje. Mapiranje vrednosti za svako referentno polje se vrši nakon preslikavanja. Procenat proc3 se nalazi između definisanih vrednosti proc5 i proc6 (Slika 6.5.2). Analizom se dobija da proizvod sadrži svežinu od određenog procenta. Informacija o svežini se mapira na jednoznačnu informaciju od broja dana preostalih do isteka roka trajanja proizvoda ili na informaciju da je proizvod neupotrebljiv zbog nedozvoljene temperaturne promene tokom skladištenja.

Peti korak je prevođenje vrednosti na temelju proizvoda, provera proizvoda i rezultata. Nakon analize za svaku boju koja je povezana sa proizvodom, dobijaju se ulazne informacije koje je potrebno analizirati. Analizom se dobija informacija o broju dana skladištenja proizvoda, temperaturnoj ili drugoj promeni tokom skladištenja. Zavisno od proizvoda ove vrednosti mogu uticati na različite načine na kvalitet i rok trajanja proizvoda. Na primeru smrznutih proizvoda kritična vrednost temperature je daleko manja od proizvoda koji se hlade u frižideru, pa shodno tome dobijene vrednosti se moraju prevesti u informaciju od značaja korisniku. Prema tome na istom primeru ukoliko zaštitni element registruje da je proizvod pretrpeo maksimalnu temperaturu od 8°C to znači da je kvalitet smrznutog proizvoda narušen dok je proizvod koji je hlađen u frižideru bio u kontrolisanim uslovima i kvalitet mu nije bio narušen tokom skladištenja.

Poslednji korak je slanje izlazne informacije o stanju proizvoda. Na osnovu analize aplikacije izlazna informacija može biti:

- proizvod je neupotrebljiv i
- do isteka roka je preostalo još: X dana (X predstavlja broj preostalih dana do isteka roka proizvoda).

Na ovaj način se jednoznačno definiše kvalitet proizvoda. Korisnik dobija brzu informaciju o roku trajanja i narušenosti uslova tokom skladištenja proizvoda.

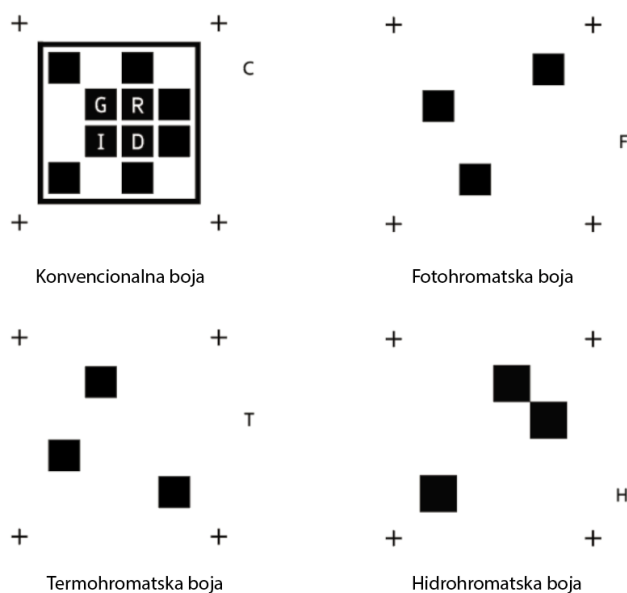
Ako je reč o pametnim bojama za kontrolu stanja svežine proizvoda proteklim vremenom kontrola se vrši na nešto kompleksniji način zbog potreba za kalibracijom kamere uređaja za kontrolu.

Na osnovu datih rezultata i nedostataka istraživanja, pristupilo se razvoju konačnog softverskog rešenja za identifikaciju stanja indikatora. Rešenje odlikuje upotreba sva četiri modula modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Rešenje je zasnovano na razvoju pametne ambalaže sa zaštitnim elementom, ali i razvoju mobilne aplikacije za identifikaciju stanja putem očitavanja zaštitnog elementa.

Test karta je pripremljena u softveru za vektorsko crtanje Adobe Illustrator CC. Čine je četiri grupe polja za štampu kodova, koje su korišćene u četiri prolaza prilikom štampe različitih boja. Prvi prolaz čini štampa konvencionalne plave boje, zatim u drugom prolazu se štampa termohromatska boja, u trećem prolazu fotohromatska, a u četvrtom prolazu se preštampavaju određena polja konvencionalne boje belom hidrohromatskom bojom prilikom

štampe kodova korišćeni su rezultati iz poglavlja 6.4.3.3. Test karta sadrži polja za registraciju i oznaku boje (Slika 6.5.3).

Test karta je razvijena na sjajnom pozitiv filmu ColorGate Screenfilm fotoosetljivog sloja Sericol Dirasol 915 linijature 50 linija/inču, pod uglom od 90°. Film je osvetljen pomoću lasera Linotype Hell Linotronic 300 Red laser na radnoj temperaturi u trajanju od 120 s, razvijen na mašini Esco Fot Gluns & Jensen sa temperaturom procesnih kupki 32°C u trajanju od 30 s i fiksiran na temperaturi 25°C u trajanju od 30 s. Oblik rasterske tačke na filmu je bio elipsa. Koncentracija procesne kupke je bila zadovoljavajuća jer se regeneracija vršila na vreme.



Slika 6.5.3: Test karta indikatora pametne ambalaže

Za izradu sita korišćene su svilene mreže finoće niti T (debeli vlakna), dimenzije 500 x 700 mm gustine tkanja 43 niti/cm (za hidrohromatsku boju), 90 niti/cm (za fotohromatsku i termohromatsku boju) i 165 niti/cm (za konvencionalnu boju). Tkanina je pričvršćena na aluminijski ram dimenzija 580 x 840 mm. Sila zatezanja mreže sita na ramu je iznosila 21 N/cm², nakon zatezanja sila je iznosila 18 N/cm². Indirektnim postupkom na mrežu sita nanet je šablon debljine emulzije 0,3 mm za 43 niti/cm i 0,1 mm za 90 i 165 niti/cm i vremena sušenja 2 sata na temperaturi 35°C. Zatim je u vakumski sto za osvetljavanje sa lampama Black Light - Blue 18w f18w/blb-t8 Sylvania postavljen film na fotosloj koji je osvetljen u trajanju od 4 min na temperaturi 30°C. Odmah nakon osvetljavanja šablon je razvijen pranjem vodom u trajanju od 5 min i osušen u vodoravnom položaju za 20 min na temperaturi 35°C.

Kao papirna podloga za štampu korišćen je kunstdruk premazni papiri površinske mase 300 g/m² (Papir 3). Za štampu uzoraka je korišćena komercijalna plava sito solventna boja proizvođača CELLOFLEX kao i reverzibilne boje na vodenoj bazi magenta fotohromatska, crna termohromatska (temperatura aktivacije 31°C) i bela hidrohromatska sito boja proizvođača SFXC. Za mešanje dvokomponentne termohromatske boje sačinjene iz pigmenta i veziva korišćen je uređaj IKA KS 130. U procesu štampe svih uzoraka udaljenost šablona od podloge je iznosila 4 mm, udaljenost nanosača boje od podloge 2 mm i udaljenost rakela od podloge 2 mm. Brzina kretanja nanosača boje je iznosila 150 mm/s, a povratna brzina rakela i nosača boje je takođe iznosila 150 mm/s.

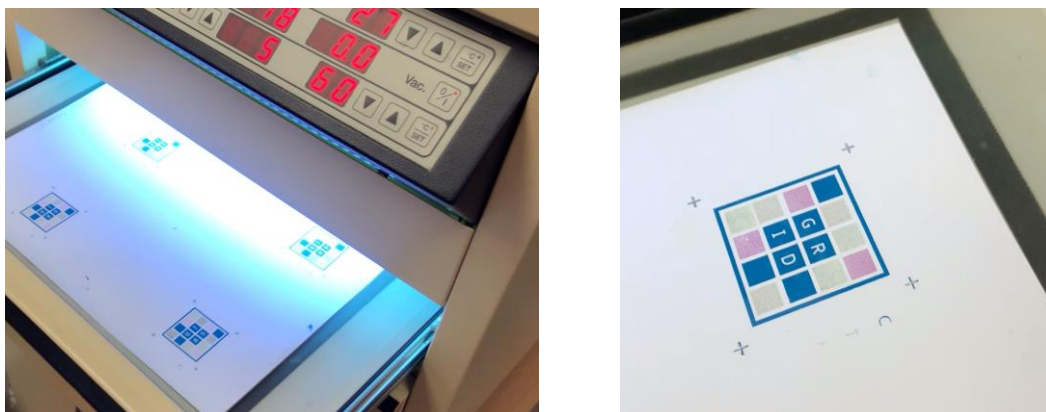
Za postupak štampe je upotrebljen rakel sa uloškom od neoprena podsečenih ivica pod uglom od 45°, tvrdoće 80 šora tip A. Debljina uloška rakela je iznosila 5 mm, dužina uloška u odnosu na dršku je iznosila 25 mm. Masa rakela je iznosila 180 g na svakih 100 mm dužine,

ukupna dužina rakela je iznosila 255 mm. Za nanošenje boje upotrebljen je metalni nanosač boje ugla nanošenja od 60° .

Nakon štampe uzorci su sušeni toplim vazduhom u multifunkcionalnom uređaju Colo DRY53A na temperaturi 50°C u trajanju od 60 s.

Tokom procesa štampe i testiranja uzoraka bili su prisutni sledeći ambijentalni uslovi: temperatura $22\pm 2^\circ\text{C}$, pritisak 101 ± 1 kPa i relativna vlažnost $40\pm 2\%$ a izmereni uređajem Extech RH520.

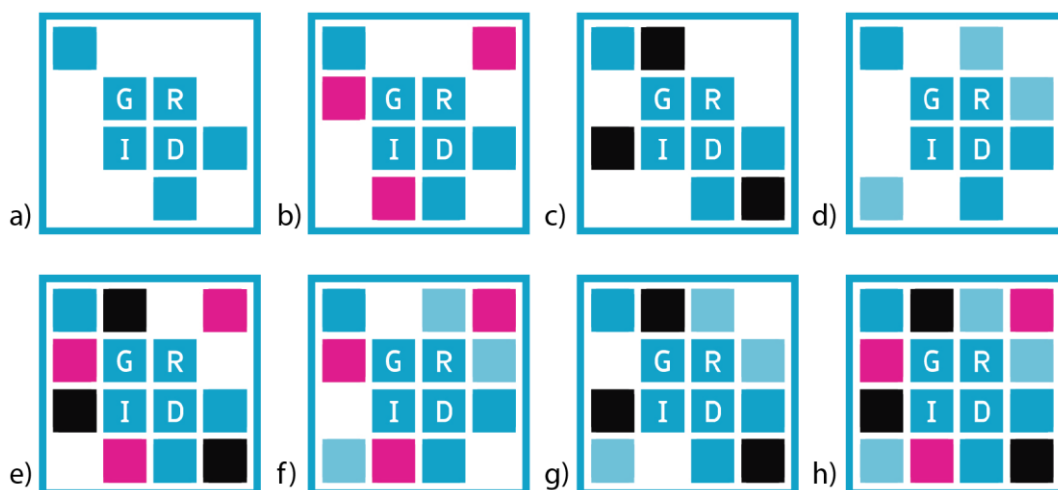
Nakon štampe i sušenja kodovi su podvrgnuti testiranju funkcionalnosti osvetljavanjem UV svetlom u uređaju Nylonprint Combination CV 22 x 30 (Slika 6.5.4), zagrevanjem u uređaju Colo DRY53A i kvašenjem vodom.



Slika 6.5.4: Izgled koda u toku testiranja delovanjem UV svetlom

Mobilni uređaj je bio u stanju da odredi tačne temperature na osnovu promene stanja termohromatske boje na indikatoru, a u skladu sa istraživanjima koja su prethodno sprovedena.

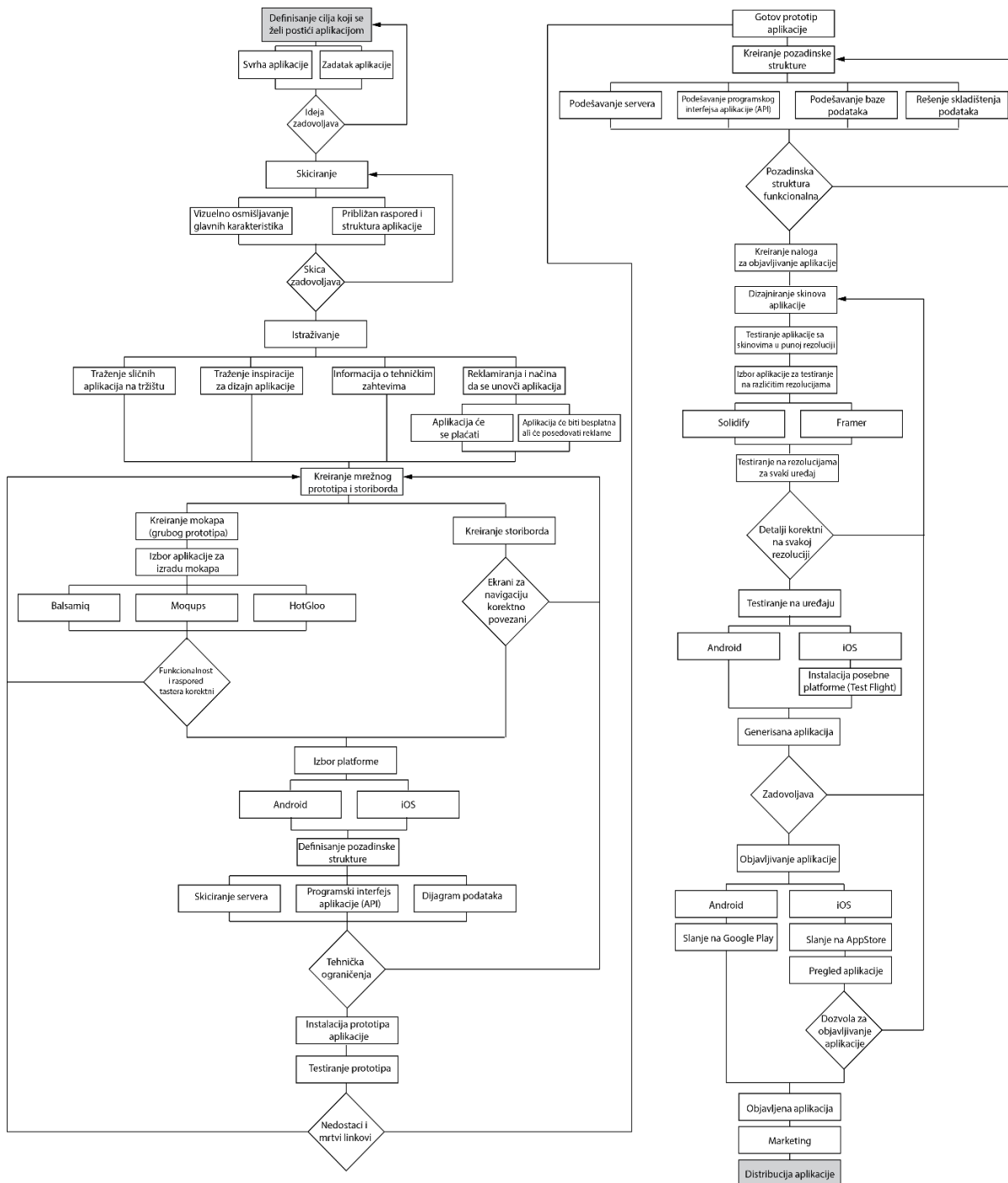
Takođe nivo UV zračenja na osnovu promene stanja fotohromatske boje na zaštitnom elementu i određivanje procenta vlažnosti na osnovu promene stanja hidrohromatske boje. Putem barkoda koji je sastavni deo ambalaže mobilni uređaj je bio u stanju da odredi o kom proizvodu je reč. Rešenje je unapređeno primenom Beacon-a, koji bi na prodajnom mestu delilo korisnicima notifikaciju da se u blizini nalazi ambalaža sa zaštitnim elementom. Pomoću tehnologije proširene realnosti korisniku mobilne aplikacije su 3D vizuelizacijama u realnom prostoru deljene instrukcije na koji način se zaštitni element na datoj ambalaži može identifikovati. Na slici 6.5.5 su prikazane varijacije promene stanja zaštitnog elementa na osnovu aktivnosti odnosno neaktivnosti odgovarajuće hromatske boje na zaštitnom elementu.



Slika 6.5.5: Varijacije promene stanja zaštitnog elementa

Šema razvoja mobilne aplikacije

Nakon štampe kodova pristupilo se razvoju mobilne aplikacije. Nezavisno od platforme za koju je potrebno razviti mobilnu aplikaciju, prilikom razvoja pridržavalo se sledećih koraka (Slika 6.5.6).



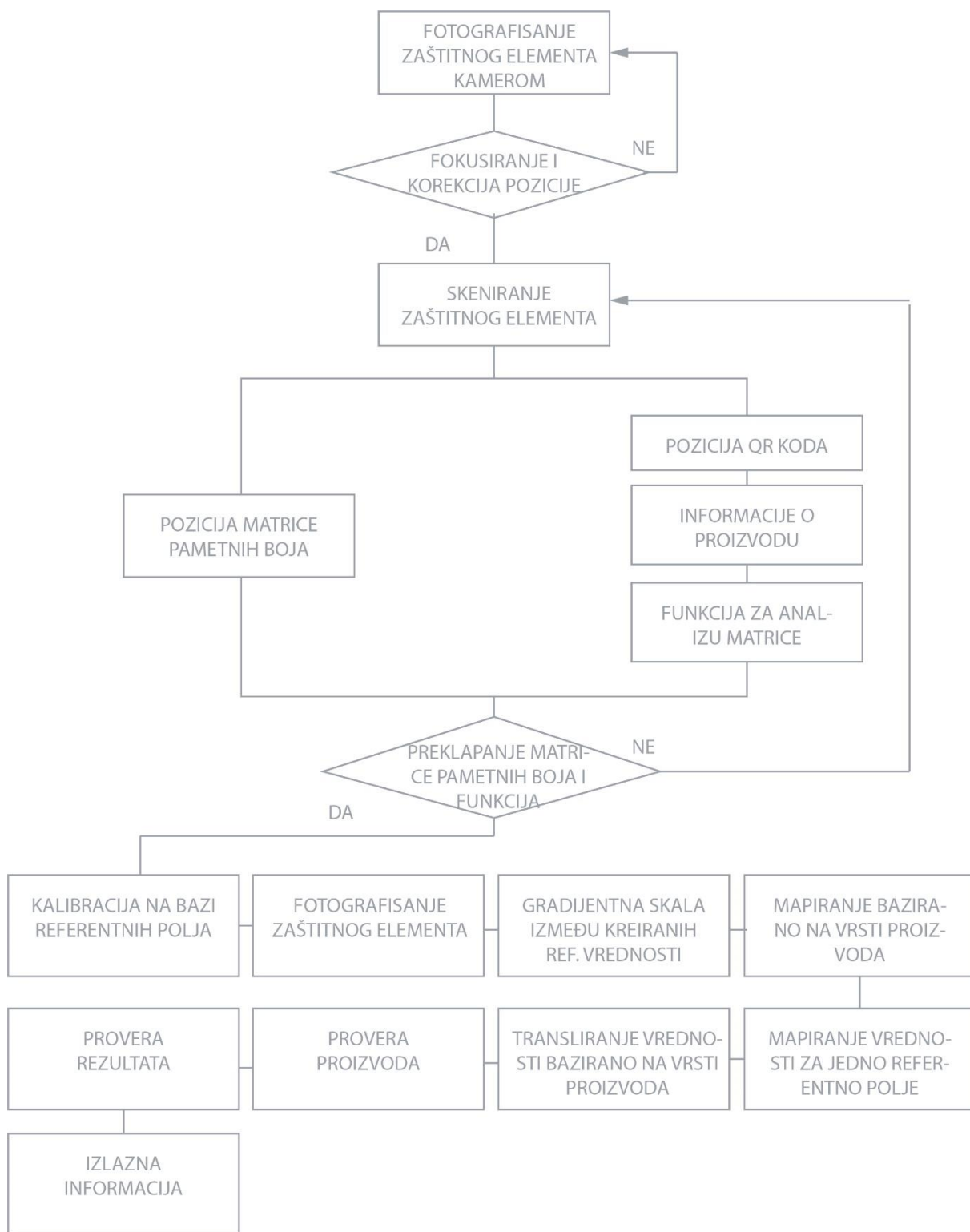
Slika 6.5.6: Algoritam razvoja mobilne aplikacije

Pre svega je potrebno definisati cilj koji se želi postići aplikacijom. Dobra ideja je polazna tačka za svaki projekat. Bitno je definisati svrhu i misiju aplikacije, šta će obavljati, koju poruku će poslati, koji konkretan problem će rešavati. Potom se vrši skiciranje interfejsa čime se postavljaju temelji budućem interfejsu. Vizualizacijom glavnih karakteristika, približan raspored i struktura aplikacije. Istraživanjem tržišta, da li postoje aplikacije koje dovode do istog cilja, traženje inspiracije za atraktivan dizajn, pretraga tehničkih zahteva i tržišta na koje će aplikacija biti plasirana. Kreira se mrežni prototip i scenario (*eng. storyboard*) korišćenjem odgovarajuće aplikacije za izradu „mokapa“ i povezivanje kreiranih ekranskih prikaza radi razrađivanja navigacije kroz aplikaciju. Kada su mrežni prototip i scenario spremni, oni postaju temelj pozadinske strukture. Definisanje pozadinske strukture se zasniva na skiciranju servera, programskog interfejsa aplikacije (API-ja) i dijagrama podataka. Ovo je izuzetno važno jer predstavlja pomoćnu referencu razvijачima aplikacije i objašnjenu šemu onima koji se tek priključuju razvoju aplikacije. Ukoliko postoje tehnička ograničenja potrebno je praviti izmene na mrežnom prototipu i scenariju. Testiranje prototipa angažovanje ljudi koji će testirati mrežni prototip i beležiti zapažanja. Vrlo je važno konkretizovati koncept pre nego što se pristupi procesu dizajniranja aplikacije. Kreiranje pozadinskog dela aplikacije podešavanjem servera, baze podataka, API-ja i rešenja skladištenja podataka. Potrebno je kreirati nalog za objavljivanje u prodavnici aplikacija, jer zavisno od platforme treba i do nekoliko dana da bi se nalog odobrio. Dizajniranje skinova aplikacije, individualnih ekranskih prikaza koji su potrebni u aplikaciji u punim rezolucijama za svaki uređaj za koji se kreiraju. Provera detalja dizajna pomoću aplikacije za simulaciju na svakoj rezoluciji različitih uređaja za koje se aplikacija projektuje. Testiranje sa grafičkim dizajnom na fizičkom uređaju i nastavak izrade kroz sređivanje finih detalja. Slanje zahteva za objavljivanje aplikacije. Dobijanje potvrde da je aplikacija objavljena, njeno oglašavanje i distribucija.

U nastavku rada je prikazana osnova programerskog dela aplikacije.

Algoritam merenja

Algoritam merenja počinje sa fotografisanjem zaštitnog elementa, pri čemu je potrebno pre beleženja fotografije izvršiti kontrolu fokusa (udaljenost kamere od zaštitnog elementa koji se fotografiše), i zakrivljenosti fotografije (ne savršenost pozicije kamere tokom fotografisanja). Ukoliko fotografija zadovoljava uslove aplikacije sa stanovišta pozicije matrice na istoj pristupa se skeniranju zaštitnog elementa i određivanju pozicije koda i matrice specijalnih boja. Na osnovu Barkoda dobija se jedinstvena informacija o proizvodu i poziva se odgovarajuća funkcija za analizu fotografisane matrice specijalnih boja. Ukoliko se funkcija za analizu poklapa sa mrežom specijalnih boja pristupa se kalibraciji preko referentnih polja u mreži specijalnih boja. U suprotnom je potrebno ponoviti skeniranje nalepnice. Nakon kalibracije beleži se fotografija i primenjuje digitalna analiza slike i programski kod za prethodno definisan tip proizvoda. Kod kreira gradijentne skale između referentnih vrednosti za svaku specijalnu boju i njene karakteristike. Potom se vrši preslikavanje skale na osnovu kritičnih vrednosti za vrstu proizvoda. Mapiraju se vrednosti za jedno referentno polje, a potom i za ostala polja pomoću istog koda. Prevođe se vrednosti na osnovu proizvoda. Proverava se proizvod, rezultati i dobija izlazna informacija u vidu upotrebljivosti proizvoda i preostalih dana do isteka roka (Slika 6.5.7).



Slika 6.5.7: Algoritam merenja stanja proizvoda putem mobilne aplikacije

U cilju pojednostavljenja sistema, isključena je mogućnost kontrole tačne promene stanja i informacija o promeni je svedena na 0 i 1. Prilikom izrade aplikacije za pojedine operacije primenjuje se sledeća logika programiranja i programski kod napisan u Python-u.

```

import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.image as mpimg
import numpy as np
  
```

```

from PIL import Image
import time
print("Program GRID")
im = Image.open('slika.jpg')
width, height = im.size

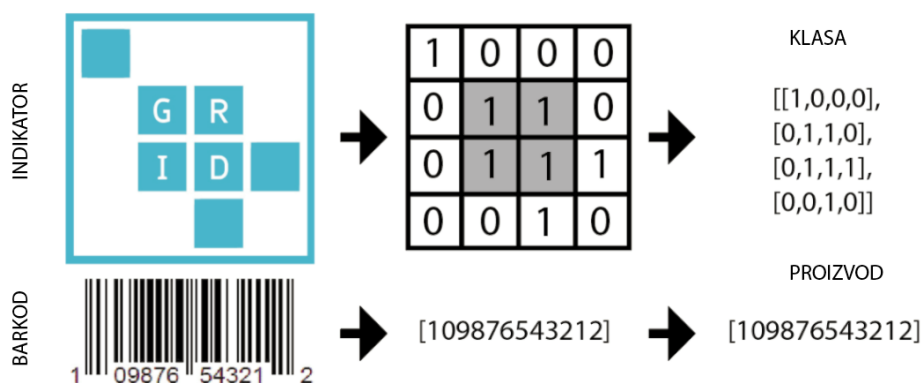
pil_im = Image.open('slika.jpg')
pil_imgray = pil_im.convert('LA')
img = np.array(list(pil_imgray.getdata(band=0)), float)
img.shape = (pil_imgray.size[1], pil_imgray.size[0])
#plt.imshow(img, cmap = "gray")
#img = mpimg.imread('slika2.jpg')
img2=np.array([[1,1,1,1], [1,1,1,1], [1,1,1,1], [1,1,1,1]])
klasa=np.array([
    [[1,0,0,0], [0,1,1,0], [0,1,1,1], [0,0,1,0]],
    [[1,0,0,1], [1,1,1,0], [0,1,1,1], [0,1,1,0]],
    [[1,1,0,0], [0,1,1,0], [1,1,1,1], [0,0,1,1]],
    [[1,0,1,0], [0,1,1,1], [0,1,1,1], [1,0,1,0]],
    [[1,1,0,1], [1,1,1,0], [1,1,1,1], [0,1,1,1]],
    [[1,0,1,1], [1,1,1,1], [0,1,1,1], [1,1,1,0]],
    [[1,1,1,0], [0,1,1,1], [1,1,1,1], [1,0,1,1]],
    [[1,1,1,1], [1,1,1,1], [1,1,1,1], [1,1,1,1]]
])
n=round(width/5)
for i in range(4):
    for j in range(4):
        if img[i*n+n,j*n+n]>200:
            img2[i,j]=0
        else:
            img2[i,j]=1
#plt.imshow(1-img2, cmap = "gray")
#plt.show()
p=False
for i in range(np.size(klasa,0)):
    if np.array_equal(klasa[i], img2):
        print("klasa"+str(i+1))
        p=True
        break
if not p:
    print("Ne pripada ni jednoj klasi")
time.sleep(5)

```

Nakon delovanja UV svetlom, toplotom i vodom indikatori su skenirani u razvijenoj aplikaciji i rezultati skeniranja su pokazali da su kodovi čitljivi i da su prilikom svakog očitavanja pokazali tačan rezultat.

Na osnovu koda uočava se da je primenjen matični sistem identifikacije koda, gde su sa 0 i 1 karakterisana polja aktivne i neaktivne specijalne boje. Nakon digitalne obrade slike program šalje informaciju u vidu binarnog zapisa koji karakteriše klasu koda. U okviru digitalne obrade slika indikatora se prvobitno prevodi u sivu skalu, povećava joj se kontrast a potom se polja definišu binarno sa 0 ili 1. Klasa koda predstavlja stanje koda i u kombinaciji sa očitanim bar kodom daje tačnu informaciju o stanju specifičnog proizvoda. U kodu je uočljivo da je indikator podeljen u 12 različitih klasa zavisno od aktivnosti boja od kojih je sačinjen. Nakon provere indikatori su kaširani na ambalažni materijal sa prethodno odštampanim bar kodom digitalnom tehnikom pomoću štamparskog sistema Konica Minolta Bizhub C224E kako bi se

mogla ispitati funkcionalnost aplikacije prilikom očitavanja bar koda i indikatora. Na Slici 6.5.8 je prikazan primer konačnog izgleda koda kao i matrica prilikom očitavanja.



Slika 6.5.8: Primer konačnog izgleda koda kao i matrica prilikom očitavanja

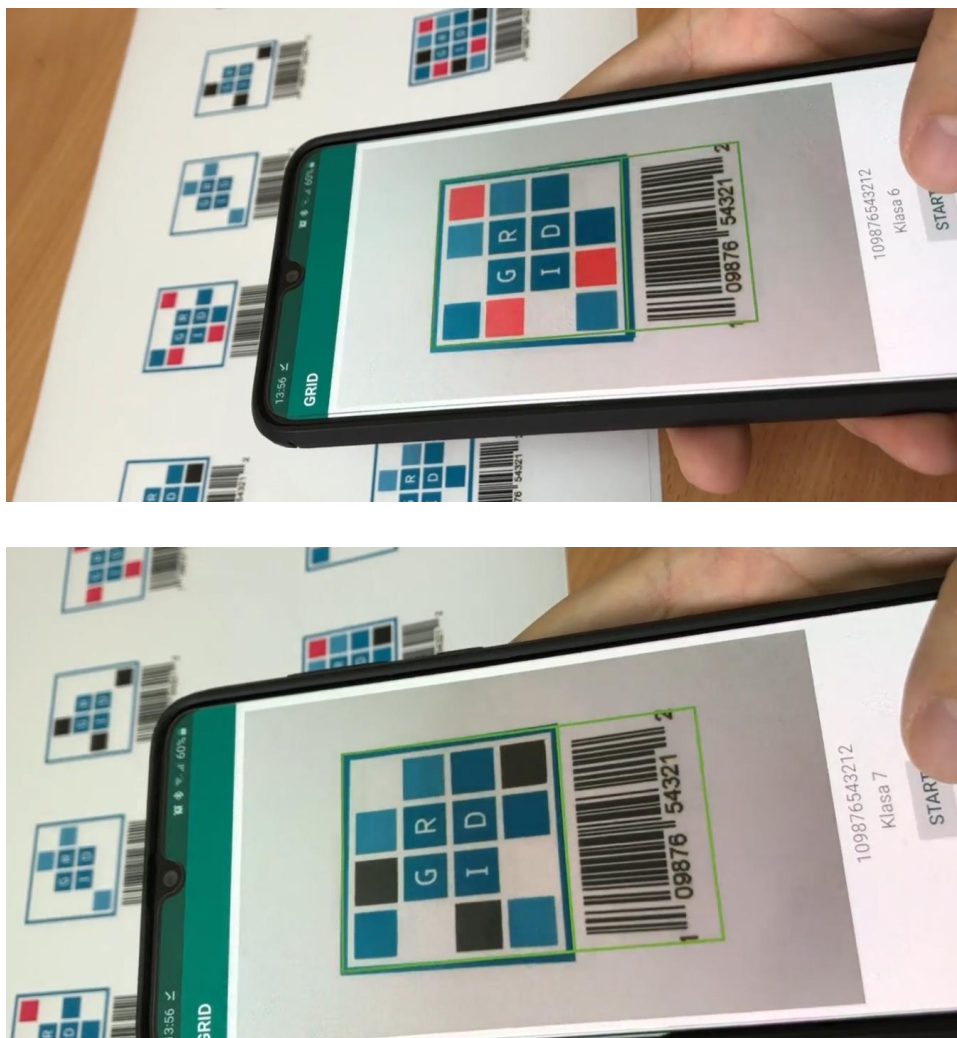
Aplikacija je generisana na Android mobilnu platformu. Prikaz celog koda napisan u JAVA programskom jeziku je dat u prilogu P6. Na početku koda uočava se uključivanje neophodnih biblioteka. Nakon toga je definisan kod za prikaz glavnog ekrana, kao i atributi klase i promenljive koje se koriste u kodu za prikaz glavnog ekrana (*Main Activity*). Potom je u kodu definisano šta će se na početku jednom formirati (*onCreate*), a to je povezivanje sa dizajnom putem (*setContent*). Definisana je i akcija za pritisak na dugme (*btnStart*) koja pokreće sledeće: fotografisanje, obradu fotografije i prevođenje u bitmapu, ako nije u redu ponovno fotografisanje, ako je u redu skaliranje fotografije da se prilagodi dimenzijama okvira u aplikaciji. Potom se vrši podešavanje dela aplikacije za fotografisanje i biblioteke koja pristupa kameri. Pre svega da aplikacija pita korisnika da li on dozvoljava da aplikacija pristupi hardveru kamere. Potom da kada se aplikacija prebaci u pozadinu pokretanjem druge aplikacije ili povratkom na početni ekran operativnog sistema da se oslobodi kamera kako bi druge aplikacije mogle da je koriste. Potom se vrši prilagođavanje donjeg dela okvira za skeniranje barkoda. Prvo se prosleđuje taj donji deo biblioteci za barkod i na kraju se dobija barkod. Sledeći deo koda opisuje način na koji se dobijeni barkod ispisuje u tekstualno polje. Ukoliko dođe do greške, dodat je kod koji ponavlja skeniranje.

Sledeći deo koda je detaljno objašnjen prethodno, a to je kod koji služi za prikaz matrica koje definišu klase. Zatim se slika za skeniranje koda deli na 5 tačaka, a time na 4 dela. Razlog za to je što je matrica koda 4 x 4, pa se boja posmatra na sredinama tih podeljenih 5 tačaka. U nastavku koda je ispitivanje da li je uzorkovana boja prešla prag svetline i nakon toga mapiranje nove matrice vrednostima 0 i 1. Vrednost 0 za polja koja nisu prešla prag svetline i vrednost 1 za polja koja su prešla prag svetline. Prag svetline u kodu je podešen na 150. Ova vrednost se može menjati zavisno od dobijenih rezultata u eksperimentima promene obojenja hromatskih boja. S obzirom da deo koda čini i grid logo, taj deo se neutralizuje sa vrednostima 1 kako ne bi dolazilo do greške prilikom čitanja.

Nastavak koda vrši ispitivanje pripadnosti klasi i može dati informaciju da skenirani kod pripada klasi ili ne pripada ni jednoj klasi. A poslednji deo koda se bavi traženjem dozvole za kameru i on je obavezan deo koda u aplikacijama koje koriste kameru.

Rezultat istraživanja čini funkcionalna aplikacija koja je u mogućnosti da pročita klasu indikatora kao i barkod proizvoda (slika 6.5.9). Istraživanje je pokazalo da je moguće formirati indikator sa sakrivenim informacijama u vidu matrice forme, a s obzirom na način očitavanja koda zaključuje se da je moguće primeniti i drugi tip pametnih materijala koji menjaju boju na taj način da se prevođenjem u sivu skalu i obradom slike može dobiti binarna informacija o

promeni stanja. Takođe se zaključuje da i veličina matrice može biti promenljiva pa se po potrebi proširenjem matrice mogu integrisati dodatne informacije o stanju indikatora. U daljim istraživanjima su ispitani uticaji procesnih parametara i materijala na kvalitet štampe indikatora. U smislu razvoja mobilne aplikacije je ispitana mogućnost primene tehnologije proširene realnosti za navođenje korisnika do tačne pozicije skeniranja koda na specifičnoj ambalaži.

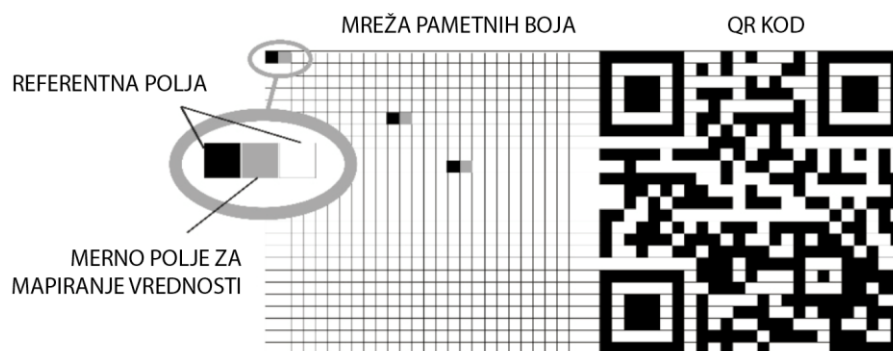


Slika 6.5.9: Aplikacija očitava barkod i različite klase proizvoda usled promene stanja zaštitnog elementa

Drugo razvijeno rešenje - Matrica pametne nalepnice

Pored pomenutog rešenja razvijeno je i dopunsko rešenje čija jednostavnija izvedba omogućuje prilagodljivost manjem broju proizvoda, ali zbog jednostavnosti izvedbe olakšava eventualnu proizvodnju i apliciranje na ambalažu [Đurđević, 2015b].

Pametna nalepnica je kreirana tako da sadrži QR kod kao nosilac informacije o proizvodu, i matricu specijalnih boja. Matrica specijalnih boja je mapirana referentnim i mernim poljima zavisno od tipa proizvoda i kodiranog je rasporeda kako bi aplikacija imala zaštitnu ulogu (slika 6.5.10). U matrici se nalaze različite boje sa nepovratnim efektom. Pri čemu je mreža sa vremenom i temperaturom promenljiva. Kamera mobilnog uređaja beleži mrežu i fotografija se šalje na analizu pri čemu se pristupa procesu koji je objašnjen algoritmom (slika 6.5.7).



Slika 6.5.10: Raspored elemenata pametne nalepnice za zaštitnu, informativnu funkciju i identifikaciju roka trajanja proizvoda [Đurđević, 2015b]

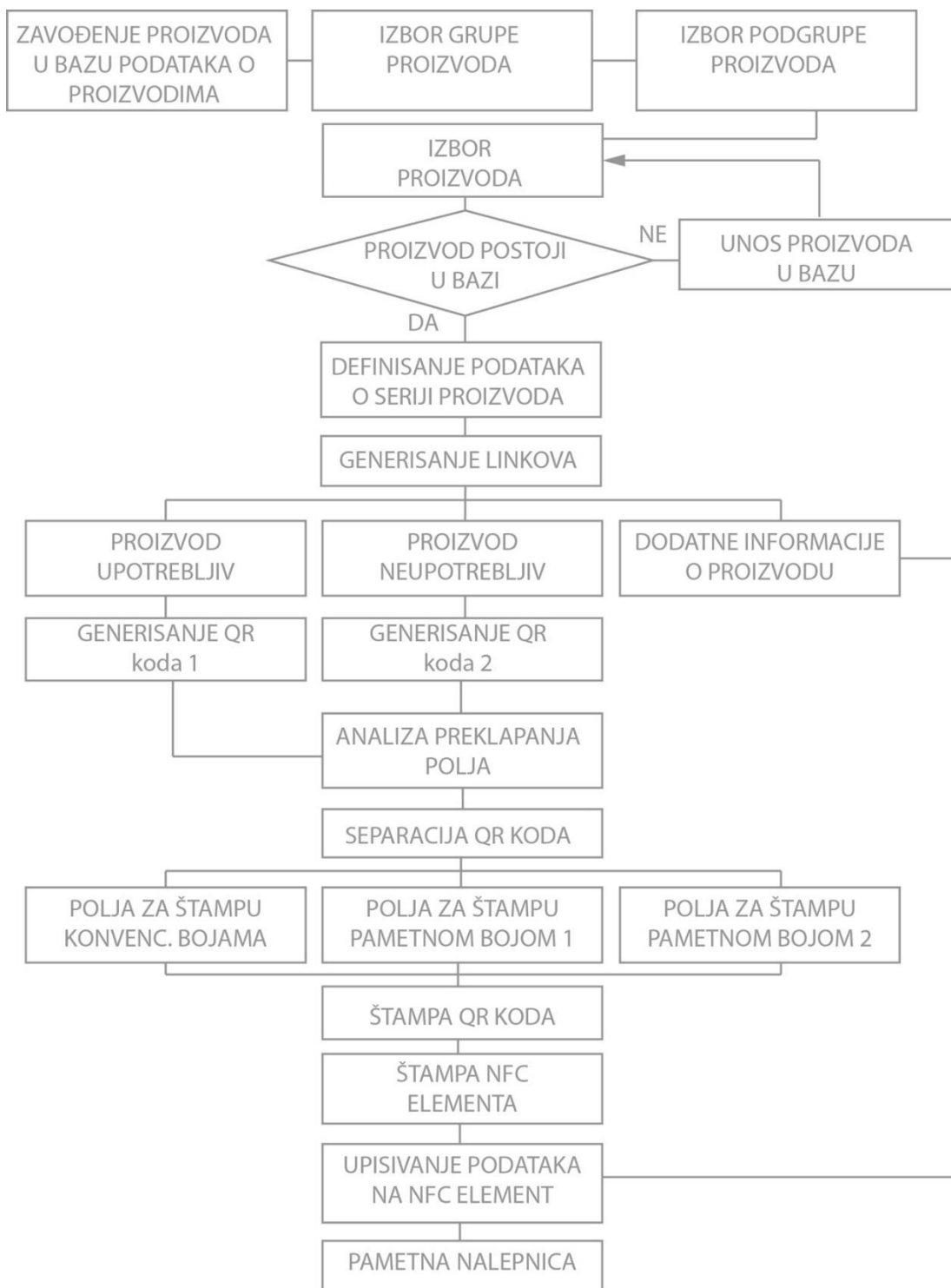
Trenutna rešenja identifikacije stanja svežine proizvoda kroz primenu savremenih rešenja indikatora vremena i temperature u velikoj meri povećavaju cenu proizvoda. Primena specijalnih boja u pametnoj ambalaži u manjoj meri povećava troškove izrade ambalaže. Kako bi primena specijalnih boja dala informaciju o stanju proizvoda i imala povoljan konačni ishod na interesovanje i poverenje potrošača, postavljen je koncept razvoja aplikacije za dodatnu interaktivnost korisnika sa pametnom ambalažom. Na ovaj način se trend naglog razvoja tehnologije mobilnih uređaja i interesovanja korisnika za istu koristi u svrhu pružanja dodatnih informacija korisnicima o upakovanom proizvodu kroz kvantitativnu ocenu stanja proizvoda. Primena specijalnih boja u svrhe indikacije stanja proizvoda otvara mogućnost sprovođenja novih studija istraživanja. Istraživanje je osnova za dalji razvoj primene postojećih ili budućih specijalnih boje koje mogu da otkriju promenu parametara od značaja za kvalitet određenog tipa proizvoda. U daljim istraživanjima će se analizirati mogućnost povezivanja QR koda i referentnih polja specijalnih boja za pozivanje baze podataka sa informacijama o proizvodu koji se kontroliše aplikacijom.

Na osnovu analize postojećih vrsta specijalnih boja i mogućnosti aplikacije Matlab formiran je koncept za izradu nove vrste pametnih nalepnica i programskog dela aplikacije za zaštitu, informativnu funkciju i identifikaciju roka trajanja proizvoda. Različiti proizvodi imaju različite tolerancije prema temperaturnim, vremenskim ili drugim uslovima. Nova vrsta pametnih nalepnica je personalizovana prema tipu proizvoda i u zavisnosti je sa serijskim brojem proizvoda. Na primeru smrznutih proizvoda od značaja su parametri kritične temperature i proteklog vremena skladištenja, dok na primeru drugih npr. Farmaceutskih proizvoda od interesa može biti i informacija o kontaktu proizvoda sa vodom. Deo nove pametne nalepnice čini QR kod ili drugi kodni sistem dok ostatak čini matrica sa poljima koja su štampana različitim tipom boja.

Treće razvijeno rešenje

U nastavku je prikazano rešenje formirano kombinovanjem NFC i QR kod zaštitnih elemenata. Na slici 6.5.11 je dat tok razvoja pametne nalepnice određenog proizvoda. Prvo je potrebno izabrani proizvod zvesti u bazu podataka o proizvodima, ukoliko se proizvod ne nalazi u bazi potrebno ga je uneti pre definisanja podataka o seriji proizvoda. Nakon zavođenja u bazu podataka linkovi se osposobljavaju i dopunjavaju izveštajem iz baze o datom proizvodu. Generišu se tri linka, link sa informacijom da je proizvod upotrebljiv, link sa informacijom da je proizvod neupotrebljiv, dodatne informacije o proizvodu. Za prva dva linka se generišu QR kodovi, dok se treći link upisuje na naknadno odštampan NFC kod. QR kodovi se analiziraju sa stanovišta preklapanja i vrši se separacija štampanih elemenata koji će se štampati različitim bojama. Polja se dele na ona koja se štampaju konvencionalnom i ona koja se

štampanju specijalnim bojama. Nakon štampe QR koda i NFC elementa, upisuju se podaci u NFC element u vidu dodatnih informacija o proizvodu i ambalaži.



Slika 6.5.11: Algoritam razvoja rešenja

Prilikom razvijanja rešenja pametne nalepnice za identifikaciju stanja proizvoda u obzir su uzeti klimatski uslovi, datum proizvodnje i rok trajanja proizvoda. Koncept nalepnice je zasnovan na identifikaciji upotrebljivosti proizvoda na osnovu ireverzibilne promenljivosti

termohromatskih boja u zavisnosti od prekoračenja dozvoljene temperature, ali i dobijanja informacije o roku trajanja proizvoda iz baze podataka personalizovane za svaku seriju proizvoda.

Četvrto razvijeno rešenje

U nastavku rada je prikazan model za identifikaciju stanja temperature indikatora na osnovu digitalne obrade slike dobijene pametnim mobilnim uređajem. Model identifikacije je zasnovan na konvertovanju zabeleženih slika u sivu skalu a potom na određivanju stanja sive boje i definisanju tačne temperature.

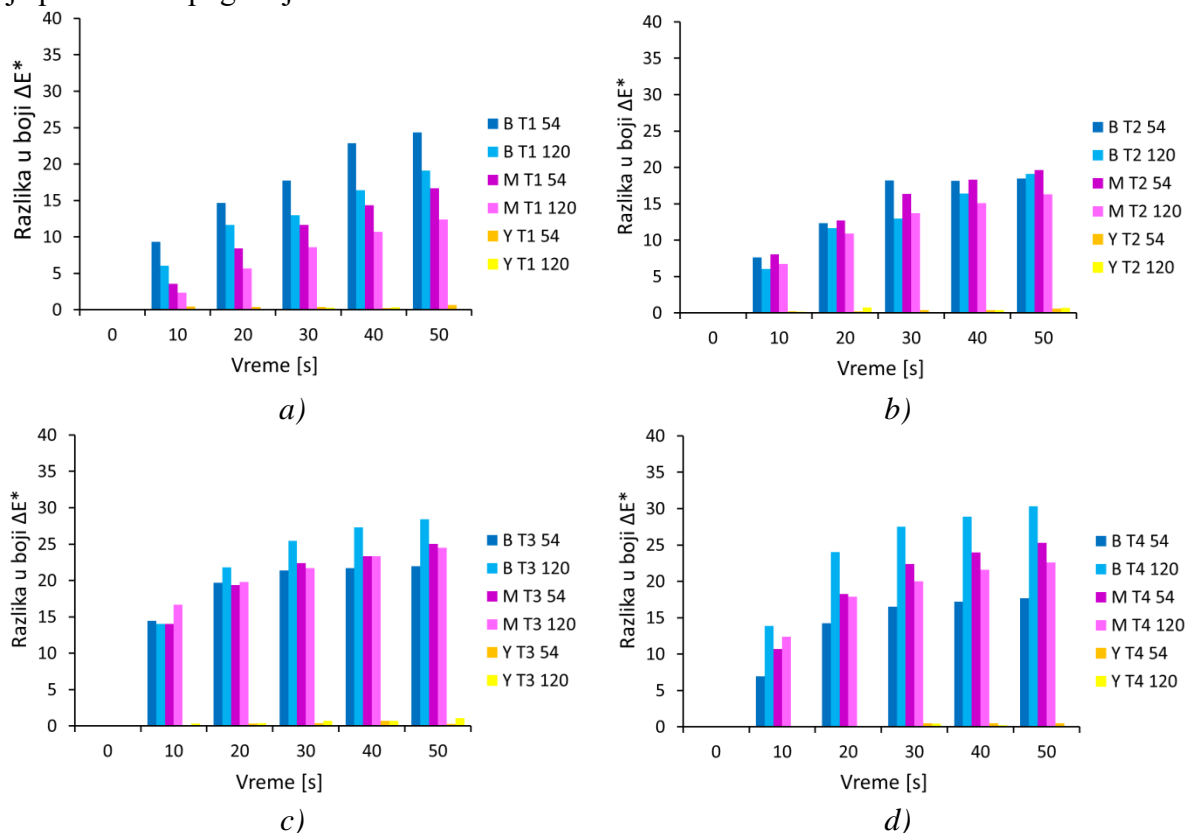
Prilikom konverzije RGB vrednosti u sivu skalu mogu se koristiti različite formule, tokom konverzije slika uzoraka dobijenih iz fotografija mobilnog uređaja najbolje rezultate je pokazala sledeća formula:

$R = G = B$, gde su R,G i B usrednjene vrednosti za sve piksele na delu fotografije od 425 x 425 piksela koji predstavlja termohromatsko polje.

$R' = G' = B' = (R+G+B)/3 = 0.333 R + 0.333 G + 0.333 B$ je osnovna formula gde siva skala dobijena iz RGB boje ima jednake vrednosti crvene zelene i plave boje. Kako bi se dobili rezultati osetljiviji na vrednost svetline ova formula je promenjena sa različitim težinama za svaku vrednost R/G/B.

$$R' = G' = B' = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$$

Na slici 6.5.12 se mogu videti vrednosti razlike u sivim tonovima termohromatskih boja dobijenim nakon konverzije RGB vrednosti. Treba napomenuti da su karakteristike ovih boja poredene u poglavlju 6.4.3.3.

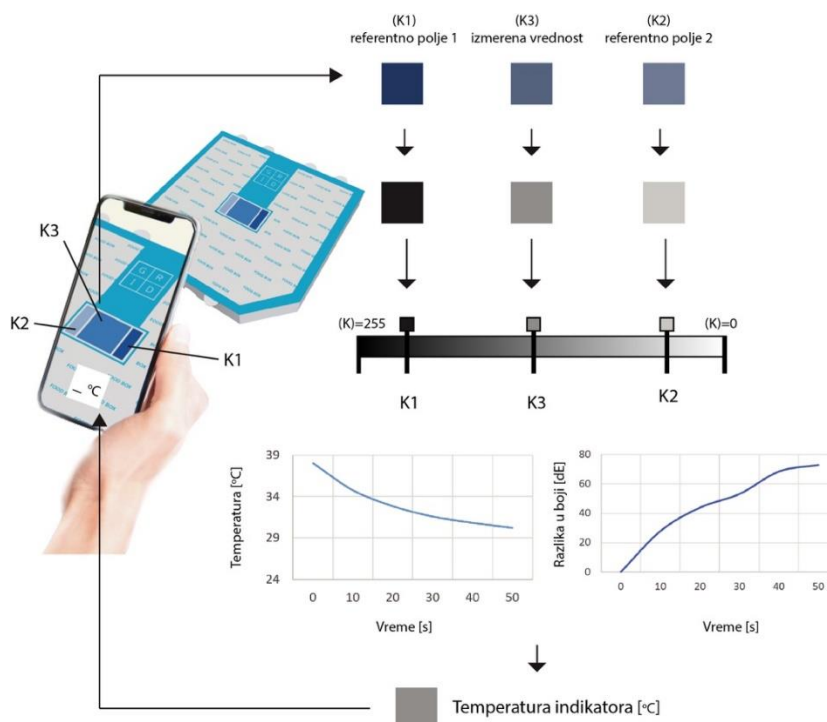


Slika 6.5.12: Razlika u boji nakon digitalne konverzije u sive tonove

Nakon konverzije u sive tonove zaključuje se da je tekstil 1, najpogodniji za izradu identifikacionih elemenata. Razlika u boji u odnosu na polaznu vrednost za sve boje se najujednačenije povećavala po istom pravilu kao što se povećava kod razlika u boji spektrofotometrijskih merenja i slika sa kamere mobilnog uređaja. Žuti ton je nepogodan za korišćenje za identifikatore zbog male vrednosti razlike u boji, upotreba magente na materijalu 1 sa gustinom tkanja sita 54 niti/cm bi se mogla razmatrati kod kodova čiji odziv na temperaturu bi trebao da bude brži. Dok je plavi ton, štampan gustinom tkanja sita 120 niti/cm na Tekstilu 4 najpogodniji sa stanovišta najveće razlike u boji između prvog i poslednjeg merenja, ali nepogodan sa stanovišta nelinearnosti promene vrednosti razlike u boji. Da bi se omogućila preciznost prilikom određivanja temperature iz prikazanih vrednosti sive skale najpovoljnije je koristiti plavi ton Tekstil 1 i gustinu tkanja sita 54 niti/cm.

Kako bi se omogućilo očitavanje vrednosti temperature na osnovu digitalne obrade slike sa kamere mobilnog uređaja prvi korak je omogućavanje kalibracije kamere. Indikator uz polje za merenje temperature mora sadržati dva referentna polja štampana konvencionalnim bojama. Jedno polje koje je štampano bojom koja odgovara tonu termohromatske boje na najnižoj i drugo polje koje odgovara tonu termohromatske boje na najvišoj temperaturi. Na ovaj način se smanjuju sledeći uticaji na kvalitet merenja: uticaj spoljašnjeg osvetljenja kome je izložen uzorak, dodatnog osvetljenja uređaja (blic kamere), kvaliteta štampe referentnih tačaka indikatora, karakteristika podloge na kojoj se štampaju referentne tačke i karakteristika materijala koji je korišćen kao telo indikatora.

Drugi korak je kreiranje gradijentne skale na osnovu referentnih polja. Skala je kreirana između referentnih tačaka K1 i K2, čije vrednosti su dobijene analizom slike (merenjem kalibracionih polja). Ova skala se tiče karakteristike boje i na primeru kontrole promene temperature zavisno od tipa boje procenat 1 može predstavljati gornju kritičnu temperaturu indikatora do koje je on u mogućnosti da menja svoje karakteristike boje. Procenat 2 je boja indikatora na minimalnoj temperaturi koju on može da identifikuje.



Slika 6.5.13: Šema očitavanja temperature indikatora na osnovu konverzije dobijene slike, očitavanja gradijentne skale kreirane na osnovu karakteristika boje i temperature

Treći korak čini očitavanje temperature indikatora. Polje za merenje temperature se digitalnom obradom slike izdvaja i njegova vrednost se usrednjuje u jednu RGB vrednost koja se pretvara u vrednost sivog tona. Taj sivi ton se upoređuje sa dobijenom gradijentnom skalom kako bi se odredila njegova pozicija na skali (K3 - izmerena vrednost) (Slika 6.5.13). Preko date pozicije na gradijentnoj skali može se izračunati temperatura indikatora. Zavisno od funkcije zavisnosti vremena i temperature (slika 6.4.68) i funkcije zavisnosti vremena i razlike u boji sivih tonova (slika 6.5.12) vrednosti temperature će drugačije biti raspoređene na gradijentnoj skali.

7 DISKUSIJA REZULTATA

Diskusija rezultata je podeljena na tematske celine u skladu sa tematskim celinama u okviru rezultata istraživanja.

7.1 Razvoj baze znanja o promenama stanja robe na osnovu promena stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže

Postignuti rezultati su osnova za dalji razvoj modela. Razvijanje baze znanja o promeni stanja roba je od velikog interesa kako za proizvođače robe, a tako i za projektante pametne ambalaže. Sa prikazanim rezultatima primera pojedinih roba moguće je formirati grafike koji pokazuju povećanje razlike u boji površine proizvoda. Ovi rezultati najveću primenu nalaze kod prehrambenih proizvoda s obzirom da većina namirnica menja boju sa proteklom vremenom što ukazuje da je njen kvalitet narušen.

7.2 Postavljanje globalnog modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže

Postavka globalnog modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže je od velikog značaja, s obzirom da je ovo prvi ovakav postavljeni model u kome se za svaki zaštitni element pronalazi mesto i mogućnost njegove primene. Model je proširiv, ali je u najvećoj meri baziran na postojeća rešenja koja se nalaze u primeni i prikazuje sistem prolaska informacije od zaštitnog elementa sve do krajnjeg korisnika.

7.3 Razvoj koncepta baze podataka o proizvodima, zaštitnim elementima i prodajnim mestima

Razvijeni koncept je takođe od najvećeg značaja za dalji razvoj i unapređenje sistema za identifikaciju zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Postojeća rešenja nalaze značaj u razvijenim bazama podataka jer iz istih dobijaju ključne informacije od interesa za krajnjeg korisnika i od interesa za identifikaciju stanja proizvoda putem analize stanja zaštitnog elementa.

7.4 Istraživanja karakteristika postojećih rešenja zaštitnih elemenata

Ključni segment rada je upravo istraživanje karakteristika postojećih rešenja zaštitnih elemenata, s obzirom da dolaskom do rezultata u okviru postojećih pojedinačnih rešenja otvara se prostor za razvoj konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata koje karakteriše prisustvo više postojećih zaštitnih elemenata. U nastavku je diskusija rezultata za svako pojedinačno rešenje zaštitnog elementa.

7.4.1 Istraživanja karakteristika štampanih kodova

U istraživanjima karakteristika štampanih kodova kreiran je novi zaštitni element koji poseduje dva stanja, sa aktivnim i neaktivnim hromatskim bojama. Ovaj zaštitni element se pokazao preciznijim i efikasnijim po pitanju detekcije vizuelnih izmena na QR kodu u odnosu na čitljivost QR kodova u aplikacijama proširene realnosti. Ovaj metod nam ne omogućava primenu QR kodova na više različitih proizvoda, kao i poređenje informacija o proizvodu i stanju samog proizvoda. Samim tim za ovu svrhu prednost ima primena kompleksnijeg koda koji je razvijen u konceptualnom rešenju za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

7.4.2 Istraživanja karakteristika štampane elektronike i senzora grafičke ambalaže

Razvojem i inovacijama dolazi se do sve veće primene NFC tehnologije u ambalažnoj industriji. Zamisao spajanja ambalažne i NFC tehnologije je da korisnik prislanjanjem pametnog mobilnog uređaja na ambalažu proizvoda dobije sve potrebne informacije o stanju, istoriji, kvalitetu proizvoda kao i informacije o sličnim proizvodima.

U ovom istraživanju je dat primer na koji način je moguće unaprediti samu oblast grafičke ambalaže sa sve većim zahtevima korisnika. Svakako, ovo tek otvara mogućnosti za dalje razvijanje ideje, ali cilj je bio istražiti što više mogućnosti, sagledati postojeće primere i prema tome postaviti jasnu osnovu za dalji razvoj.

7.4.3 Istraživanja karakteristika indikatora, boja i pigmenata pametne ambalaže

Primena aktivnih i inteligentnih elemenata u pametnoj ambalaži povećava troškove izrade. Kako bi ove inovacije imale povoljan konačni ishod na interesovanje i poverenje potrošača, postavljen je koncept razvoja aplikacije za dodatnu interaktivnost korisnika sa pametnom ambalažom. Na ovaj način se trend naglog razvoja tehnologije mobilnih uređaja i interesovanja korisnika za istu koristi u svrhu pružanja dodatnih informacija korisnicima o upakovanoj namirnici kroz kvantitativnu ocenu svežine proizvoda. Zabrinutost proizvođača na moguće nepovoljne scenarije primene indikatora svežine i povećanje cene koštanja ambalaže zasigurno se prevazilaze primenom prikazanog koncepta, a otvara se mogućnost sprovođenja studije istraživanja. Rad prikazuje osnovu za razvoj aplikacije za indikatore svežine kroz algoritam razvoja, a ponovljivost rezultata garantuje programski kod. Istraživanje je osnova za dalji razvoj ostalih segmenata šeme razvoja mobilne aplikacije za identifikaciju stanja svežine proizvoda unutar ambalaže koju odlikuje prisustvo savremenih rešenja indikatora.

Temperaturna zavisnost kolorimetrijskih osobina tekstilnih materijala odštampanih termohromatskim leuko bojama tehnikom sito štampe je analizirana u sistemu univerzalnog uređaja za zagrevanje uzoraka, termovizijska kamera za praćenje temperature i uređaji za merenje CIELab vrednosti i spektralnih krivih. Materijali su štampani termohromatskim reverzibilnim bojama, merenja su sprovedena u procesu hlađenja uzoraka. Uzorci su menjali stanje iz ahromatskog u hromatsko nakon spuštanja temperature ispod temperature aktivacije hlađenjem uzoraka na ambijentalnoj temperaturi. Ustanovljeno je da je u prvih 30 sekundi merenja kod svih uzoraka primećena velika razlika u boji u odnosu na prethodna merenja, a potom se ta razlika blago smanjivala sve do postizanja ambijentalne temperature. Sa stanovišta spektralne refleksije Tekstil 1 štampan sitom gustine tkanja 54 niti/cm je imao najveću konstantnost prilikom menjanja karakteristika obojenja, dok je Tekstil 3 štampan sitom gustine tkanja 54 niti/cm za najkraće vreme stekao vrednosti spektralne refleksije najpribližnije onima na ambijentalnoj temperaturi. Poredeći izmerene vrednosti temperature na materijalima dolazi

se do zaključka da se kod Tekstila 1, 2 i 4 uočava uticaj gustine tkanja sita jer se primećuje da se korišćenjem gustine tkanja 54 niti/cm postizalo veće zadržavanje temperature a samim tim i obojenje na merenim poljima uzorka u odnosu na gustinu tkanja sita 120 niti/cm. Tekstil 3 je pokazao isto zadržavanje temperature bez obzira na izbor gustine tkanja sita prilikom štampe.

U istraživanju je predstavljena temperaturna zavisnost kolorimetrijskih osobina tekstilnih materijala odštampanih različitim hromatskim bojama tehnikom sito štampe. Primećeno je da su na kolorimetrijske osobine boja pored temperature uticali i vrsta materijala i gustina tkanja sita korišćenog u štampi. Postavljen je i metodološki okvir praćenja promena razlike u boji koje mogu da se koriste kao indikatori stanja na različitim štampanim materijalima. Navedene promene su osnova procenjivanja promene stanja proizvoda na čijoj ambalaži su aplicirane, ali i osnova razvoja programske aplikacije na mobilnim uređajima kojima se može identifikovati određeno stanje materijala.

7.4.4 Istraživanja karakteristika grafičke ambalaže za potrebe proširene realnosti

Jedan od osnovnih nedostataka NFC tehnologije, koji se odnosi i na ograničenja u ambalažnoj industriji, je ograničen broj uređaja koji podržavaju NFC, za razliku od AR tehnologije koja sa bilo kojim mobilnim uređajem koji ima ugrađenu kameru može da očitava sve vrste štampanih kodova tehnologijom prepoznavanja slike. Takođe, dok se kodovi čitljivi AR tehnologijom mogu štampati sa bilo kojom tehnikom štampe i vrstom boja i podlog, za NFC i RFID oznake su potrebni posebni uređaji i boje. Takođe, nedostatak NFC ambalaže u ambalažnoj industriji može se odnositi i na shvatanje potrošača o dodatnim troškovima ambalaže, tj. samog proizvoda, a pored toga i na mogućnost nepoverenja ili konfuzije vezano za NFC tehnologiju. Na primer, ako na ambalaži stoje i odštampan rok trajanja i vizuelni indikator o stanju proizvoda, kupac može da dođe u nedoumicu na koji od ta dva pokazatelja ispravnosti proizvoda da obrati pažnju. Kada je reč o AR tehnologiji kupac nema osećaj dodatnog troška ambalaže jer se umesto posebne tehnologije koristi tehnologija prepoznavanja slike koja je sličnija onoj za čitanje barkoda. Kada je reč o životnoj sredini i stavovima potrošača prema ambalaži, mišljenja su prilično konfuzna i kontradiktorna. Primetan je rast zabrinutosti o količini otpada koji se stvara ambalažom, ali istovremeno raste i želja potrošača za novim, atraktivnim rešenjima za ambalažu. Pored toga, budući potrošači, sve svesniji svoje okoline i koji prate neki određen stil života, mogu negativno da reaguju na povećanu količinu otpada i nedostatak mogućnosti recikliranja za jednokratne pametne ambalaže proizvoda. NFC koncept pokazuje da je moguće vrlo jednostavno kreirati NFC aplikaciju za čitanje sadržaja sa pametne ambalaže. Što se tiče očekivanja vezanih za razvoj NFC tehnologije u pametnoj ambalaži, možemo se nadati većoj količini informacija koja se može smestiti na tag, samim tim većoj enkripciji tj. zaštiti podataka na istom, dok sa stanovišta interaktivnosti i atraktivnosti u upotrebi za ambalažnu industriju ne očekuje se velika promena [Đurđević, 2016a].

Pametna nalepnica i aplikacija proširene realnosti predstavlja jednostavno rešenje za kontrolu stanja proizvoda i dobijanje drugih informacija o proizvodu. Trenutni tehnološki napredak osigurava implementaciju takvog sistema. Univerzalna pametna nalepnica postiže manju cenu proizvodnje ovakvih etiketa. Sito postupak štampe je moguće koristiti što omogućava brze izlazne brzine za velike tiraže. U budućnosti očekujemo pad cena pametnih boja i veći razvoj tehnologije proširene realnosti.

U ovom istraživanju je dato konceptualno rešenje za očitavanje ne samo informacija o proizvodu već i stanja proizvoda u smislu svežine, roka trajanja ali i zaštite podataka. Rad daje pregled postojećih rešenja hromatskih boja koje bi se koristile u svrhu kreiranja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže, algoritma očitavanja podataka putem kamere mobilnog uređaja i mobilne aplikacije. Ispunjen je cilj istraživanja kroz postavljanje koncepta za razvoj pametnih zaštitnih elemenata, sa stanovišta korištenih materijala, i postojećih rešenja kodnog sistema QR

koda, ali i definiranje osnove za razvoj mobilne aplikacije koja bi u interakciji sa specijalnim bojama pružala informacije o stanju proizvoda.

7.5 Razvoj konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže

Razvijeni primer konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže pokazuje da je moguće objektivno i precizno utvrditi stanje indikatora na ambalaži, odnosno njegovu temperaturu putem mobilnog uređaja. Sprovedena su istraživanja na različitim uzorcima i sa različitim materijalima i parametrima štampe kako bi se ustanovilo koji parametri su najprihvatljiviji za proizvodnju datih indikatora. Nakon određivanja najpovoljnijih parametara formiran je model identifikacije stanja putem referentnih tačaka između kojih je formirana gradijentna skala za određivanje tačne temperature, a na osnovu dijagrama koji su vezani za datu kombinaciju materijala. Na osnovu analiza zaključeno je da su za izradu indikatora najpovoljnije sledeće kombinacije materijala, boje i gustine tkanja sita: Materijal 1 u kombinaciji sa plavom bojom štampanom linjaturom 54 niti/cm i materijal 4 u kombinaciji za plavom bojom štampanom gustom tkanja sita 120 niti/cm. Dati materijali bi pokazali najbolje rezultate prilikom određivanja stanja indikatora ali je model primenljiv i na druge kombinacije materijala i boja.

8 ZAKLJUČAK

Sa razvojem svesti savremenog društva primena tradicionalne ambalaže postaje nedovoljna. Ova činjenica je podstakla rani razvoj sistema za distribuciju hrane i farmaceutskih proizvoda [Otles, 2008]. Moderan ambalažni sistem obezbeđuje kvalitet i sigurnost, a treba da spreče i od zagađenja kroz praćenje, beleženje i kontrolisanje kritičnih parametara od početka pa do prestanka upotrebe proizvoda, što uključuje faze dodatne obrade i produžava vreme upotrebe ambalaže o strane krajnjeg korisnika [Koutsoumanis et al., 2005].

Inteligentna ambalaža je ambalaža koja na neki način prati karakteristike proizvoda koji je u nju upakovan ili okruženja u kome je proizvod čuvan a sposobna je da informaciju proizvođaču, prodavcu i potrošaču o stanju ovih karakteristika. Yam u radu [Yam, 2005] opisuje da je ambalaža "inteligentna" ako ima mogućnost da prati proizvod, unutrašnje i spoljašnju sredinu ambalaže, i komunicira sa korisnikom. Takvi ambalažni sistemi sadrže uređaje koji su sposobni da detektuju i proslede informaciju o funkcijama i karakteristikama upakovanog proizvoda [Han, 2005], ili/i sadrže eksterni ili interni indikator za aktivno određivanje istorije i kvaliteta proizvoda [Ohlsson, Bengtsson, 2002]. Ove vrste uređaja mogu biti dodate izvan ambalaže, i uključivati vremensko temperaturne indikatore i indikatore fizičkog oštećenja ili postavljeni unutar ambalaže - postavljeni u prostor ispod ili na zatvaraču (poklopcu) ambalaže. Npr. Indikator kiseonika ili prisustva mikroorganizama [Ahvenainen, 2003]. Indikatori takođe mogu povećati efikasnost protoka informacije i efikasnost komunikacije između proizvoda i potrošača, npr. specijalni bar kodovi koji sadrže informacije o proizvodu kao što su način upotrebe i rok trajanja.

Uređaji koji pružaju mogućnost praćenja proizvoda, zaštitu od krađe, falsifikovanja i otpornost na temperature takođe spadaju u ovu kategoriju ambalaže [Coles, Kirwan, 2003]. Današnja rešenja sistema prodajne inteligentne ambalaže su bazirana na primeni malih samolepljivih nalepnica sa nepovratnom promenom u boji ili obliku, koji reaguju kada indikator detektuje da je upakovan proizvod pretrpeo nepoželjne promene u karakteristikama. Takođe danas se koriste mnogi specijalni kodovi sa informacijama o upakovanom proizvodu (bar kod, QR kod i dr.).

Osnovni cilj istraživanja je realizovan kroz postavku i razvoj globalnog modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže sa svrhom prepoznavanja stanja roba i proizvoda na osnovu promene stanja zaštitnog elementa grafičke ambalaže.

Predmet ovog istraživanja su bila postojeća rešenja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže kao komponenti pametne ambalaže, razvoj baze znanja o promenama stanja robe na osnovu promena stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže, postavljanje globalnog modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže, razvoj koncepta baze podataka o proizvodima, zaštitnim elementima i prodajnim mestima, istraživanja karakteristika postojećih rešenja zaštitnih elemenata i razvoj konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

Razvijena baza znanja o promenama stanja robe na osnovu promena stanja zaštitnih - identifikacionih elemenata grafičke ambalaže je zasnovana na pregledu stanja u oblasti istraživanja, proširiva je u smislu dopunjavanja rezultata koji su od interesa za unapređenje i proširenje baze. Proces razvoja baze koji je prikazan u rezultatima istraživanja pokazuje da su

za razvoj korišćena savremena softverska rešenja i da konačan razvijeni oblik baze čini osnovu za postavljanje modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke pametne ambalaže. Postavljeni model je primenljiv u praksi, tako da postavljena baza znanja ima mogućnost prilagođavanja sistemima za učenje na daljinu pa se od same baze očekuje da služi i kao sistem za učenje na daljinu o zaštitnim elementima grafičke ambalaže i promeni stanja roba. Na taj način se zaključuje da bi ovakav sistem pomogao u podizanju svesti i znanja krajnjih korisnika ovakvih rešenja. Kroz 3D vizualizacije promene stanja proizvoda i zaštitnih elemenata korisnici baze na najrealniji način uočavaju promene stanja roba i zaštitnih elemenata i tako se osposobljavaju za korišćenje i identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

Globalni model za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže je postavljen kao osnovni model zaštitnih elemenata koji mesto u modelu nalaze u okviru četiri razvijena modula identifikacije. Na ovaj način se za svako postojeće rešenje zaštitnih elemenata grafičke ambalaže može definisati modul po kome će se kroz algoritam pratiti put do prikaza rezultata o stanju datog zaštitnog elementa. Elementi koji čine proces identifikacije zaštitnih elemenata su pojmovno uniformisani (adaptacija, registracija, baza podataka i prikaz rezultata) i čine korake identifikacije za svaki zaštitni element a eksplicitni su u okviru globalnog modela identifikacije. Mobilni uređaji su osnovni uređaji za objektivnu identifikaciju stanja zaštitnih elemenata u okviru globalnog modela pa su povezane karakteristike i tehnologije mobilnih uređaja od interesa za identifikaciju putem svakog od predstavljenih modula. Sa stanovišta daljih istraživanja u ovoj oblasti model predstavlja osnovu za identifikaciju zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Obuhvata razvijena rešenja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže i tehnologije mobilnih uređaja. Za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata, povezuje ih na taj način da se putem mobilnih tehnologija se mogu identifikovati stanja zaštitnih elemenata. Na taj način kroz rezultate istraživanja do kojih se došlo u okviru rada identifikuje se stanje roba odnosno proizvoda koji su upakovani u ambalažu koju karakterišu primenjeni zaštitni elementi.

Koncept baze znanja o proizvodima, zaštitnim elementima i prodajnim mestima je pokazao da je moguće razviti bazu znanja koja će sadržati najznačajnije podatke i povezivati ih na takav način da izlazna informacija iz baze upravo bude stanje robe odnosno upakovanog proizvoda u grafičku ambalažu koju odlikuje prisustvo zaštitnih elemenata. Koncept predstavlja osnovu za razvoj komercijalnog rešenja baze u kojoj bi se mogli naći proizvodi osetljivi na promene koje identifikuju zaštitni elementi grafičke ambalaže.

Istraživanjima karakteristika postojećih rešenja zaštitnih elemenata su ključna u pogledu upotrebljivosti rezultata za razvoj modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Ona direktno dovode u vezu promene stanja zaštitnih elemenata sa promenama koje utiču na promenu stanja roba i proizvoda koja bi bila upakovana u ambalažu koju karakteriše prisustvo zaštitnih elemenata.

Na osnovu istraživanja karakteristika štampanih kodova grafičke ambalaže dolazi se do zaključka da se identifikacijom barkodovima može na najlakši način doći do identifikacije opštih karakteristika proizvoda putem razvijenog koncepta baze podataka o proizvodima, ali da se za identifikaciju promene stanja robe ili proizvoda upakovanog u ambalažu mora koristiti kombinacija upotrebe i dodatnog zaštitnog elementa. Na taj način će se dobiti tačna informacija o kom proizvodu se radi putem barkoda. Korišćenjem dodatnog zaštitnog elementa će se dobiti informacija o promeni stanja roba ili proizvoda. Ovaj zaključak je iskorišćen u razvoju konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže, a predstavlja i osnovu za mogućnost primene rešenja u praksi jer su barkodovi kao zaštitni elementi ambalaže opšte prihvaćeno rešenje i sastavni su element ambalažnih proizvoda na tržištu.

Istraživanja QR kodova su bazirana na ispitivanjima mogućnosti primene hromatskih boja (termohromatske i fotohromatske boje) za štampu segmenata QR koda kako bi se na osnovu promene stanja dobile različite informacije. Praktično nakon promene stanja dobila bi

se dva različita QR koda. Istraživanja su pokazala da je moguće dobiti dve različite informacije promenom stanja boja koje čine segmente QR koda. Očitavanjem koda dobijala se jedna informacija, a nakon promene stanja očitavanjem se dobijala druga informacija. Ova istraživanja su produbljena u istraživanjima karakteristika hromatskih boja pa se pokazalo da je čak moguće definisati i intenzitet promene stanja (temperaturu, količinu UV svetla koja je delovala, količinu vlažnosti koja je prisutna) što je poslužilo kao osnova za razvoj konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata.

U okviru istraživanja karakteristika štampane elektronike i senzora grafičke ambalaže naglasak je bio je na mogućnosti upotrebe NFC elemenata kao zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. U istraživanju se pokazalo da je moguće povezati informacije koje se mogu dobiti putem NFC elementa sa bazom podataka i time na brz i jednostavan način mobilnim uređajem pročitati informacija o stanju zaštitnog elementa. S obzirom na mogućnost povezivanja NFC elementa, koji šalje informacije na mobilni uređaj, sa zaštitnim elementima koji kao što su senzori prikupljaju korisne informacije o promeni stanja pristupilo se daljim istraživanjima. Istražene su mogućnosti Arduino komponenti prilikom projektovanja senzora temperature i količine svetlosti kao zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Formiran je funkcionalan kod kojim se može očitati temperatura i prisustvo svetlosti u ambalaži. Rezultati ovih istraživanja predstavljaju osnovu za formiranje senzora temperature i svetlosti koji bi se koristili u ambalaži radi identifikacije prisustva nepoželjne temperature ili radi identifikovanja otvaranja ambalaže. U okviru ovih istraživanja su razmatrani i Beacon uređaji i mogućnost slanja informacija putem ovih uređaja na mobilni uređaj. Prikazan je tačan postupak formiranja informacije koja se putem Beacon uređaja prenosi. Istraživanja su pokazala da je moguće integrisati ove uređaje u jedinstvenu platformu kojoj će se pristupati putem jedinstvene mobilne aplikacije.

Zbog karakteristika indikatora, boja i pigmenata da predstavljaju analognu informaciju o promeni stanja u ovom segmentu su uloženi najveći napor da se dođe do najboljeg načina digitalizacije date informacije i čitanja putem mobilnog uređaja a korišćenjem modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Za identifikaciju indikatora pametne ambalaže postavljen je sistem koji je predvideo uticajne parametre na digitalizaciju informacije koju daju indikatori. U istraživanjima je korišćeno postojeće rešenje indikatora a pokazalo se da je moguće identifikovati stanje indikatora putem mobilnog uređaja korišćenjem predstavljenog modela identifikacije. Kao dodatak istraživanju izvedena je i tonska karta promene za rešenje indikatora.

U ovom segmentu je izvršena i karakterizacija fotohromatskih, termohromatskih i hidrohromatskih boja korišćenih za štampu zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Analiza je dokazala da raspored veličina čestica pigmenata boje utiče na efekat promene ovih boja, tako da je izuzetno važno izvršiti analizu sastava boje pre štampe indikatora hromatskim bojama.

U istraživanju su ispitane hromatske boje i prikazani su rezultati spektrofotometrijskih merenja, merenja CIELab vrednosti i termovizijskih merenja. Ovi rezultati su pokazali da pored rasporeda veličina čestica i vrsta pigmenata, ton boje u velikoj meri utiče na izbor boje prilikom štampe indikatora hromatskim bojama. U istraživanju je predstavljena temperaturna zavisnost kolorimetrijskih osobina tekstilnih materijala odštampanih termohromatskim bojama tehnikom sito štampe. Primećeno je da su na kolorimetrijske osobine boje pored temperature uticali i vrsta materijala i gustina tkanja sita korišćenog u štampi. Zavisno od cilja koji se želi postići štampom termohromatskim bojama na osnovu rezultata merenja moguće je izabrati parametre štampe kako bi se na odgovarajućem materijalu dobio kvalitetan otisak. Istraživanjima je postavljen i metodološki okvir praćenja promena razlike u boji koje mogu da se koriste kao indikatori stanja na različitim štampanim materijalima. Navedene promene su osnova procenjivanja promene stanja proizvoda na čijoj ambalaži su aplicirane, ali i osnova razvoja programske aplikacije na mobilnim uređajima kojima se može identifikovati određeno

stanje materijala i iskorišćena su za razvoj konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže.

U okviru istraživanja karakteristika grafičke ambalaže za potrebe proširene realnosti došlo se do rezultata čitljivosti QR kodova putem ove tehnologije. Metodološki je postavljen eksperiment čiji rezultati su od velikog značaja za odabir veličine QR kodova kao zaštitnih elemenata i tona QR kodova što je u sprezi sa rezultatima istraživanja hromatskih boja i uticaja tona boja na mogućnost digitalizacije informacija. Data istraživanja su ispitala i uticaj količine i tipa informacije koja je sadržana u QR kodu na čitljivost kodova putem tehnologije proširene realnosti. Ovi rezultati su osnova za odabir informacija koje će biti sadržane u QR kodovima štampanim konvencionalnim i hromatskim bojama. U okviru rezultata ispitivane su mogućnosti razvoja aplikacije proširene realnosti za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže baziranih na QR kodovima štampanim konvencionalnim i hromatskim bojama. Rezultati su pokazali da je moguće razviti funkcionalnu aplikaciju za ove potrebe a testiranje aplikacije je pokazalo da bi se čitljivost stanja mogla unaprediti ukoliko bi se umesto dizajna ambalaže kao cilja za identifikovanje proizvoda koristio barkod. Iz tog razloga se pristupilo razvoju konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Svi prethodni rezultati istraživanja su iskorišćeni kako bi se razvilo konceptualno rešenje za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže. Kao rezultat razvijena je aplikacija za identifikaciju i poseban zaštitni element štampan konvencionalnim i hromatskim bojama. Pored prikazanog rešenja razvijena su i dva dodatna rešenja koja su pojednostavljenog oblika i u smislu primene u proizvodnji bi predstavljala prelazni oblik s obzirom da su jednostavnija za primenu, ali imaju ograničenja koja prevazilazi konačno razvijeno rešenje.

Razvojem aplikacije potvrđena je hipoteza da je moguće razviti model za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže koji će povećati broj objektivnih informacija o stanju proizvoda u odnosu na postojeća rešenja, a koji se može primeniti i prilagoditi za sve vrste roba i proizvoda koji se pakuju u grafičku ambalažu bez obzira na raznolikost faktora koji utiču na stanje proizvoda.

Dodatni ciljevi su ispunjeni, kao što je razvoj novog univerzalnog identifikacionog zaštitnog elementa grafičke ambalaže pomoću kojeg se može identifikovati stanje različitih proizvoda osetljivih na različite parametre. Očekivani rezultati su pokazali da novi univerzalni zaštitni element grafičke ambalaže povećava broj informacija o stanju proizvoda i primenljiv je na sve tipove proizvoda koji se pakuju u grafičku ambalažu. Očekuje se da će se predloženi model identifikacije bolje pokazati kao rešenje sa aspekta uniformnosti izgleda zaštitnog elementa, brzine očitavanja informacije, podržanim uređajima za očitavanje, primenljivosti na prodajnoj grafičkoj ambalaži u poređenju sa postojećim zaštitnim elementima ambalaže.

9 NAUČNI DOPRINOS ISTRAŽIVANJA I MOGUĆNOST PRIMENE U PRAKSI

Na osnovu analize rezultata i zaključaka dobijenih u okviru istraživanja nameću se mogućnosti primene modela za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže u proizvodnji. Najinteresantnije polje primene je svakako industrija pametne ambalaže.

Oblast primene bi bila u okvirima proizvođača pametne ambalaže, prodavaca robe ali i krajnjih korisnika ambalaže i robe.

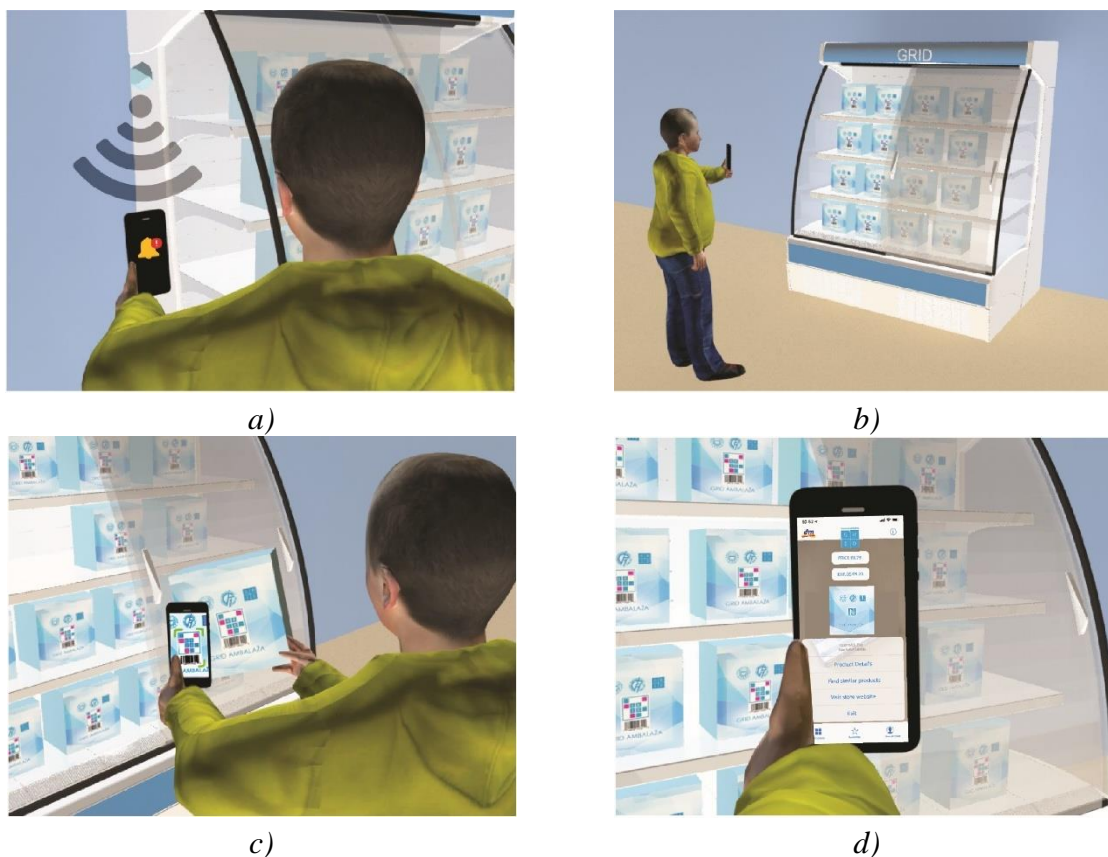
Proizvođači pametne ambalaže bi interes od ovih istraživanja pronašli u rezultatima ispitivanja svih pojedinačnih zaštitnih elemenata, pa bi tako prema konceptu razvoja konceptualnog rešenja za identifikaciju stanja zaštitnih elemenata mogli da formiraju rešenja koja bi bila primenjena u praksi. Prodavci bi koristili u najvećoj meri modele razvoja baza podataka kako bi se kroz povezivanje sa novim tehnologijama približili potrebama krajnjeg korisnika i kroz primenu atraktivnih rešenja privukli interesovanje za proizvode koje prodaju. Veliki interesi bi pronašli i krajnji korisnici jer bi kroz razvijene mobilne aplikacije putem mobilnih uređaja mogli da identifikuju stanje svih zaštitnih elemenata i na taj način bi se kroz prikazano rešenje povezo sistem proizvođača, prodavaca i kupaca kroz mobilne platforme.

Primer mogućnosti upotrebe modela u praksi je prikazan u nastavku.

U maloprodajnom objektu se nalazi ambalaža koju odlikuje prisustvo konceptualnog rešenja zaštitnog elementa. Raf na kojem se nalazi ova ambalaža odlikuje prisustvo Beacon uređaja koji odašilje informaciju o proizvodu. Korisnik koji je u blizini na mobilnom uređaju dobija informaciju o prisustvu ovakve ambalaže i link za preuzimanje aplikacije. U slučaju da je korisnik prethodno preuzeo aplikaciju, dobija obaveštenje na telefonu da se u blizini nalazi ambalaža sa zaštitnim elementom (Slika 9.1.1a). Otvaranjem aplikacije korisnik se navodi do rafa na kojem se nalazi proizvod s obzirom da Beacon uređaj omogućava vid navigacije u zatvorenom prostoru (Slika 9.1.1b). Nakon dolaska do rafa, na mobilnom uređaju se aktivira AR deo aplikacije, korisnik uzima ambalažu i AR deo aplikacije prepoznaje ambalažni oblik. Nakon prepoznavanja oblika aplikacija navodi korisnika da usmeri zaštitni element grafičke ambalaže na odgovarajući način prema kameri mobilnog uređaja (Slika 9.1.1c). Kada je to izvršeno aplikacija automatski skenira barkod i zaštitni element i putem poređenja informacija u bazi podataka korisniku daje dodatne informacije o proizvodu. U okviru ovih informacija ubrajaju se sledeće: na osnovu geografske lokacije dobija se tačna cena i da li je proizvod na akciji, rok trajanja, svežina odnosno upotrebljivost proizvoda, deklaracija, sajt proizvođača, iskustva drugih potrošača proizvoda u vidu foruma, video objašnjenja o načinu upotrebe i dr. (Slika 9.1.1d).

Nakon kupovine proizvoda korisnik i dalje u mobilnom uređaju poseduje informacije o proizvodu. A sa promenom stanja zaštitnog elementa menja se i informacija o svežini proizvoda nakon skeniranja mobilnim uređajem.

Primena ove tehnologije u skorijoj budućnosti nalazi veliki potencijal sa početkom upotrebe pametnih naočara i sočiva koja koriste AR tehnologiju. Aplikacija bi se lako mogla prilagoditi za potrebe ovakvih uređaja, a s obzirom da korisnik ne bi morao da drži mobilni uređaj u ruci tokom rada aplikacije, vođenje do proizvoda bi bilo još jednostavnije.



Slika 9.1.1: Mogućnost upotrebe modela: a) Dobijanje obavještenja sa Beacon uređaja, b) Navođenje korisnika do proizvoda, c) AR tehnologija i skeniranje zaštitnog elementa, d) Informacije o proizvodu

U slučaju primene modela na većem broju proizvoda koji se nalaze u prodajnom objektu, korisnik bi sa prethodno sastavljenom listom željenih proizvoda lako mogao identifikovati njihovu lokaciju pomoću aplikacije.

S obzirom da razvijeni model obuhvata i sva postojeća rešenja zaštitnih elemenata na tržištu, svi proizvodi i zaštitni elementi popunjeni u bazi podataka bi bili sastavni deo aplikacije. Na taj način bi korisnik putem AR tehnologije na aplikaciji prepoznao prisustvo ambalaže sa zaštitnim elementom i davao korisniku instrukcije u AR prostoru na koji način da skenira proizvod kako bi došao do dodatnog sadržaja koji zaštitni element na ambalaži pruža. Tako bi za prisutan NFC element korisniku davao instrukcije gde je potrebno da nasloni mobilni uređaj kako bi izvršio skeniranje. Za barkod i QR kod štampane kodove, pametne indikatore, boje i pigmente bi davao instrukcije kako da ambalaža bude okrenuta prema kameri mobilnog uređaja prilikom skeniranja. Dodatan marketinški sadržaj kreiran po želji proizvođača bi bio prisutan tokom upotrebe AR tehnologije u okviru aplikacije. Na taj način bi popusti promocije i reklame vrlo lako dolazile do krajnjeg korisnika i pomagale mu u odlučivanju prilikom kupovine.

10 LITERATURA

Aaron, L. B., Betty, B., Jung, H. H., Claire, K. S., Tara, H. (2008) *Innovative Food Packaging Solutions*, Institute of Food Technologists, Chicago.

Adamović (Majkić), S., Adamović, D., Mihailović, A., Pinčjer, I., Banjanin, B., Đurđević, S. (2018a) Analiza koncentracionih nivoa PM10 suspendovanih čestica u štampariji, pp. 165-168, ISBN 978-86-6022-123-2, Izdavač: University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Production Engineering; International Scientific Conference ETIKUM.

Adobe Creative Team. (2013) *Adobe Flash CS6* [Online] Dostupno na: <https://lobodesignnet.files.wordpress.com/2019/01/adobe-flash-professional-cs6-classroom-in-a-book-v413hav-1.pdf> [Pristupljeno 01.08.2017.].

Agošton, D., Novaković, D., Bišćanin, V. (2009) Uticaj okoline na uhf rfid antene. *Zbornik Radova Fakulteta Tehničkih Nauka*.

Ahuja, T., Mir, I. A., Rajesh, Kumar, D. (2007) Biomolecular immobilization on conducting polymers for biosensing applications. *Biomaterials*, 28, pp. 791-805.

Ahvenainen R., Hurme E. (1997) *Food Addit. Contam*, 14, pp. 753-763.

Ahvenainen, R. (2000) *Novel food packaging techniques*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.

Ahvenainen, R. (2003) *Novel Food Packaging Techniques*. Cambridge UK: Woodhead Publishing; ISBN: 978-1-85573-675-7.

Albatici, R. and Tonelli, A. M. (2010) Infrared thermovision technique for the assessment of thermal transmittance value of opaque building elements on site, *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 42(11), pp. 2177-2183. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.07.010.

ANY (2019) Allami Nyomda Plc [Online] Dostupno na: <https://www.any.hu/en/> [Pristupljeno 12.06.2019.].

Apple Inc. (2019) *Xcode* [Online] Dostupno na: <https://developer.apple.com/xcode/> [Pristupljeno 12.02.2018.].

Arshak K., Adley C., Moore E., Cunniffe C., Campion M., Harris J. (2007) Characterisation of polymer nanocomposite sensors for quantification of bacterial cultures. *Sensors and Actuators B*, 126, pp. 226-231.

Azuma, R. (1997) A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385. <https://doi.org/10.1.1.30.4999>.

Azuma, R., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., Macintyre, B. (2001) Recent Advances in Augmented Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(November), pp. 1-15.

Biji, K. B., Ravishankar, C. N., Mohan, C. O., Srinivasa Gopal, T. K. (2015) Smart packaging systems for food applications: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), pp. 6125-6135. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1766-7>.

- Blogger, R. (2016) What iBeacon Means for Product Packaging [Online] Dostupno na: <https://blog.rackspace.com/what-ibeacon-means-for-product-packaging> [Pristupljeno 15.11.2016.].
- Brody, A. L. and Budny, J. A. (1995) Enzymes as Active Packaging Agents. In: M. L. Rooney (ed.), *Active Food Packaging*. Glasgow, UK, Blackie Academic & Professional. pp. 174-192.
- Chaudhry, Q., Castle, L., Watkins R (2010) *Nanotechnologies in Food*, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Chen W., Zhao S., Wang, X. (2004) Improving the Color Yield of Ink-Jet Printing on Cationized Cotton, *Textile Research Journal*, 74 (1), pp. 68-71.
- Cherlyn (2013) AgileRadiant CVC52E [Online] Dostupno na: <http://www.cherlyn.co.uk/colour/view/agile.html> [Pristupljeno 07.12.2014.].
- Cirillo G., Gianfranco S. U., F. I. (2015) *Functional Polymers in Food Science. Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015 (Vol. 1)*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Coles, R.; McDowell, D.; Kirwan, M. J (2003) *Food Packaging Technology*. Oxford, UK: Blackwell Publishing; ISBN 978- 0849397882.
- Coles, R., Kirwan, M. (2013) Food and beverage packaging technology. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), pp. 1689-1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Collins, T.J., (2007) ImageJ for microscopy, *BioTechniques*. 43 (1): pp. 25-30. doi:10.2144/000112517.
- Cvetković, D. (2010) *Dizajn pakovanja*. Beograd: Univerzitet Singidunum, Departman za inženjerski menadžment.
- Ćirković, S.; Novaković, D.; Đurđević, S. (2014) Lenticular printing as a secure label of graphic packaging, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka* ISSN: 0350-428X, 29 (10), UDK 621.798.12, ISBN 0350-428X, Izdavač: Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.
- Dawange S., Dash S., Patil S. (2010) *Smart Packaging and Food Industry*. [Online] Dostupno na: https://www.researchgate.net/profile/Sandeep_Dawange/publication/313771091_Smart_packaging_and_food_industry/links/58a57c6ca6fdcc0e0765e454/Smart-packaging-and-food-industry.pdf, [Pristupljeno 05.09.2018.].
- Dawson, T.L., (2005) Beyond the visible: Ultraviolet and infrared radiation, *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, 35, pp. 31-41.
- Dedijer, S. (2016) *Svetlost, svetlost i objekat, svetlosni izvori, radiometrijske i fotometrijske veličine - izvod sa predavanja*. Novi Sad. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu.
- Dedijer, S., Tomić, I., Spiridonov, I., Boeva, R., Jurić (Rilovski), I., Milić, N., Đurđević, S. (2017) Ink - jet imprints in just noticeable color difference evaluation, *Bulgarian Chemical Communications* ISSN: 0324-1130, 49 (L), pp. 140-147, Izdavač: Chemical Institutes of the Bulgarian Academy of Sciences and of the Union of Chemists in Bulgaria.
- Deegan, R., Bakajin, O., Dupont, T., Huber, G., Nagel, S., Witten, T. (1997) Capillary flow as the cause of ring stains from dried liquid drops“, *Nature*, Vol. 389, pp. 827-829.
- Digimarc (2019) Digimarc Barcode [Online] Dostupno na: https://www.digimarc.com/docs/default-source/product-briefs/digimarc-barcode-product-briefbe789378433764d889f0ff00006b7e97.pdf?sfvrsn=1a62f537_18 [Pristupljeno 08.10.2019.].

DigitalPrinterInformation. (2013) MIMAKI JV3- 160SP DIGITAL PRINTER [Online] Dostupno na: <http://www.ko4bb.com/Manuals/11%29_Stuff_Not_Sorted/Printer_Service_Manuals/Mimaki/Mimaki_Spec_Sheet.pdf> [Pristupljeno 15.12.2013.].

Dubin, C. (2017) Smart Temperature Labels Feature New Functionality, [Online] Dostupno na: <https://thinfilmmfc.com/2017/01/04/smart-temperature-labels-feature-new-functionality/> [Pristupljeno 06.10.2017.].

Đurđević, S., Novaković, D., (2013) Razvoj baze znanja aktivne i inteligentne ambalaže, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka ISSN: 0350-428X, 28 (10), pp. 1769-1772, UDK 004.41, ISBN 0350-428X, Izdavač: Fakultet tehničkih nauka.

Đurđević, S., Zeljković, Ž. (2014a) The integration of tti sensor of smart packaging and modern personal portable devices, International Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, pp. 401-410, ISBN 978-86-7892-647-1, Izdavač: FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES.

Đurđević, S., Novaković, D., Kašiković, N. (2014b) Functional Design of Graphic Systems, Machine Design ISSN: 1821-1259, 6 (2), pp. 41-44, Izdavač: University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences.

Đurđević, S., Novaković, D., Avramović, D., Milošević, R., Zeljković, Ž. (2015a) Multimedijalna prezentacija aktivnog ambalažnog sistema integrisanog u platformu za e-obrazovanje, pp. 419-428, ISBN 978-953-7064-32-7, Izdavač: FS Fotosoft; Tiskarstvo i Dizajn.

Đurđević, S., Novaković, D., Vladić, G., Kašiković, N., Avramović, D. (2015b) The development of novel smart packaging labels and mobile application for protection, information and identification of product shelf life, Acta Graphica ISSN: 0353-4707, 26 (4), pp. 35-41, ISBN 1848-3828, Izdavač: Faculty of Graphic Arts, University of Zagreb, Croatia.

Đurđević, S., Novaković, D., Kašiković, N., Avramović, D., Zeljković, Ž. (2015c) Inteligentna ambalaža kao nosilac informacija i sistem za praćenje stanja upakovanih namirnica, Vol. 20, pp. 93-99, ISBN 978-86-7401-323-6, Izdavač: Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu; Centar celulozno-papirne, ambalažne i grafičke industrije Srbije; International Symposium in the Field of Pulp, Paper, Packaging and Graphics "Simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike".

Đurđević, S., Novaković, D., Milosavljević, B., Kašiković, N., Vladić, G. (2015d) Identification of the food products in smart packaging solutions using modern TTI, International Printing Technologies Symposium, 1 (1), pp. 171-181, ISBN 978-9944-0636-6-1, Izdavač: Printing Industry Education Foundation.

Đurđević, S. (2016a), Opportunities for augmented reality as part of smart packaging solutions, Smart Packaging 2016, Izdavač: Applied Market Information Ltd. (AMI).

Đurđević, S., Novaković, D., Zeljković, Ž., Avramović, D. (2016) Using augmented reality technology for controlling state of smart packaging products, International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, 8 (8), pp. 427-437, ISBN 978-86-78928-67-3, Izdavač: University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Graphic Engineering And Design, 2016.

Đurđević, S., Novaković, D., Zeljković, Ž., Kašiković, N. (2017a) Thermochromic inks and augmented reality as part of novel smart packaging solutions, 2nd International Printing Technologies Symposium - PrintIstanbul 2017 "Tehnologije štampe", No. 2, pp. 153-159, ISBN 978-9944-0636-7-8, Izdavač: Marmara Üniversitesi.

Đurđević, S., Novaković, D., Zeljković, Ž., Obućina, A. (2017b) Using QR codes as the target for augmented reality applications, Techno Science - International Scientific Journal of

Technical Science ISSN: 2490-2330, 2 (3), pp. 32-37, ISBN 2490-2330, Izdavač: Association for Research, Education and Development "NIA".

Đurđević, S., Novaković, D., Kašiković, N., Zeljković, Ž., Milić, N., Vasić, J. (2018a) NFC Technology and Augmented Reality in Smart Packaging, International Circular of Graphic Education and Research ISSN: 2166-465X, 2018 (11), pp. 52-65, ISBN 1868-0879, Izdavač: The International Circle of Educational Institutes for Graphic Arts: Technology and Management.

Đurđević, S., Novaković, D., Adamović (Majkić), S., Boadu, F., Adriana, R. L., Zeljković, Ž. (2018b) Developing augmented reality app for smart packaging, International Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, pp. 435-443, ISBN 978-86-6022-115-7, Izdavač: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Grafičko inženjerstvo i dizajn.

Đurđević, S., Novaković, D., Zeljković, Ž., Kašiković, N., Vladić, G. (2019) The colourimetric properties of smart textile packaging temperature indicators, International Conference on Circular Packaging CPC, pp. 119-127, ISBN 978-961-90424-5-8, Izdavač: Pulp and Paper Institute.

Eagle, J. (2018) Which smart packaging technologies are readily available in 2018 [Online] Dostupno na: <https://www.confectionerynews.com/Article/2018/07/18/Which-smart-packaging-technologies-are-readily-available-in-2018> [Pristupljeno 10.09.2019.].

EngView (2019) Packaging & Display Designer [Online] Dostupno na: <https://www.engview.com/en/engview/home/> [Pristupljeno 05.04.2019.].

EPSON (2019) Epson Stylus Pro Printer 4880 [Online] Dostupno na: <https://epson.com/For-Work/Printers/Large-Format/Epson-Stylus-Pro-4880-Printer/p/SP4880K3> [Pristupljeno 13.05.2019.].

Evangelyn, C. A., Wang, Y (2009) NanoBio Sensors and Integrated Microsystems for intelligent Food Packaging, Michigan State University, Michigan.

Faulkner, A. (2019) Adobe Photoshop CC Classroom in a Book, 1st Edition.

FeasyBeacon (2019) Feasy Beacon App [Online] Dostupno na: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.feasycom.feasybeacon&hl=en> [Pristupljeno 21.03.2019.].

Ferrara, M., Bengisu, M. (2014) Materials that Change Color: Smart Materials, Intelligent Design. [Online] Dostupno na: <http://www.arpema.fr/epub/download/id=796578&type=file>, [Pristupljeno 10.09.2018.].

Fluke Corporation (2019) Software for Fluke infrared cameras [Online] Dostupno na: <https://www.fluke.com/en/support/software-downloads/software-for-fluke-infrared-cameras> [Pristupljeno 10.07.2019.].

FMSBlog (2016) Smart Packaging. [Online] Dostupno na: <https://fmsblog.azurewebsites.net/smart-packaging/> [Pristupljeno 03.09.2018.].

Galagan Y., Su W.-F., (2008) Fadable ink for time-temperature control of food freshness: Novel new time-temperature indicator; Food Research International, 41 (6), ISSN: 09639-969; pp. 653-657.

Galdikas, A., Mironas, A., Senuliene, V., Šetkus, A., Zelenin, D. (2000) Response time based output of metal oxide gas sensors applied to evaluation of meat freshness with neural signal analysis. Sensors and Actuators B, 69, pp. 258-265.

- Ghaani, M., Cozzolino, C. A., Castelli, G., Farris, S. (2016) An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science and Technology*, 51, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.02.008>.
- Google Play (2014). QR code reader [Online] Dostupno na: <https://play.google.com/store/apps/details?id=me.scan.android.client> [Pristupljeno 30.08.2014.].
- Goqr.me (2014) QR code generator [Online] Dostupno na: <http://goqr.me/> [Pristupljeno 15.07.2014.].
- Gregor-Svetec, D. (2017) Intelligent Packaging. [Online] Dostupno na: <http://www.actinpak.eu/wp-content/uploads/2017/10/Intelligent-packaging.pdf>, [Pristupljeno 05.09.2018.].
- GRID. (2019) Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn [Online] Dostupno na: http://www.grid.uns.ac.rs/data/gc/katalog_masina.pdf [Pristupljeno 14.08.2019.].
- Grover, A., Amit, G., Paul, B., Kevin, L., Hal, B., Dennis C. (2014) Parametres Effecting 2D Barcode Scanning Reliability [Online] Dostupno na: <http://www.berghel.netpublications/2d-bar/2d-bar.pdf> [Pristupljeno 23.08.2014.].
- GS1. (2019) Barcode Standards [Online] Dostupno na: <https://www.gs1.org/standards/barcodes> [Pristupljeno 12.04.2019.].
- GSMarena. (2019a) LG Optimus e510 [Online] Dostupno na: https://www.gsmarena.com/lg_optimus_hub_e510-4157.php [Pristupljeno 15.04.2019.].
- GSMarena. (2019b) Samsung Galaxy Note [Online] Dostupno na: https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_note_ii_n7100-4854.php [Pristupljeno 15.04.2019.].
- GSMarena. (2019c) Samsung Galaxy S5 [Online] Dostupno na: https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_s5-6033.php [Pristupljeno 15.04.2019.].
- Gutiérrez-Tauste, D., Domènech, X., Casan-Pastor, N., Ayllón, J. A. (2007) Characterization of methylene blue/TiO₂ hybrid thin films prepared by the liquid phase deposition (LPD) method: application for fabrication of light-activated colorimetric oxygen indicators. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 187, 45-52.
- Han, J. H.; Ho, C. H. L.; Rogrigue, E. T. (2005) Intelligent packaging. In: Han, J. H. *Innovation in food packaging*; Elsevier Academic Press; ISBN: 978-0123116321; pp. 138-155.
- Han, J. (2013) *Innovations in Food Packaging*. [Online] Dostupno na: <https://books.google.rs/books?id=TJJUaBFhsFsC&pg=PA175&lpg=PA175&dq=smart+packaging+history&source=bl&ots=Ja4DmhahVV&sig=1ajsa8fPhdhhIJUie3aRIyfcSJY&hl=s-r&sa=X&ved=2ahUKEwi5zLHqhI3dAhWJyqQKHVziAY44FBDoATAAegQIAhAB#v=onepage&q=smart%20packaging%20history&f=false>, [Pristupljeno 03.09.2018.].
- Holley, W. (2001) *Aktive und Intelligente Kunststoffverpackungen*, Verpackungs Symposium, Dokumentation, Berlin, pp. 61-66.
- Huang, L., Huang, Y., Liang, J., Wan, X., Chen. Y. (2011) Graphene-Based Conducting Inks for Direct Inkjet Printing of Flexible Conductive Patterns and Their Applications in Electric Circuits and Chemical Sensors“, *Nano Research*, Vol. 4, pp. 678-684.
- Huff, K. (2008). *Active and Intelligent Packaging: Innovations for the Future*, Manuscript, University of VirginiaTech, pp. 1-13.
- International Organization of Standardization (1977) ISO 3801:1977 Textiles - Woven fabrics - Determination of mass per unit length and mass per unit area.

International Organization of Standardization (1984) ISO 7211-2:1984 modified, SRPS N 1049-2:2009 Textiles - Woven fabrics - Construction - Methods of analysis - Part 2: Determination of number of threads per unit length.

International Organization of Standardization (1984) ISO 7211-5:1984 Textiles - Woven fabrics - Construction - Methods of analysis Determination of linear density of yarn removed from fabric.

International Organization of Standardization (2009) EN ISO 1833-1:2010 Textiles - Quantitative chemical analysis - Part 1: General principles of testing (ISO 1833-1:2006, including Cor 1:2009).

Jamnicky, H. S. (2016) Proizvodnja tiskarskih boja. [Online] Dostupno na: http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB_proizvodnja.pdf [Pristupljeno, 27.05.2019.].

Janković, M., Knežević, R. (1989) Ambalažiranje, pakovanje, označavanje i transport kao faktori unapređenja izvoza i podizanja nivoa konkurentnosti, Institut za spoljnu trgovinu Beograd, Ljubljana.

Jovanović, S., Džunuzović, J. V. (2011) Pravci razvoja ambalaže od polimernih materijala, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd.

Jovičić, D., Novaković, D., Đurđević, S. (2016). Primena nfc elemenata u inteligentnoj ambalaži, Zbornik Radova Fakulteta Tehničkih Nauka.

Jurišić, B., Novaković, D., Kašiković, N. (2014). Ispitivanje čitljivosti qr kodova odštampanih na tekstilnim materijalima ink jet tehnikom štampe, Zbornik Radova Fakulteta Tehničkih Nauka.

Hunger, K. (2003) Industrial Dyes, Chemistry, Properties, Applications, ISBN: 3-527- 30426-6, WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KG, Weinheim.

Kašiković, N. (2013) Sito štampa - izvod sa predavanja. Novi Sad. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu.

Kašiković, N., Vladić G., Pál (Apro), M., Novakovi, D., Đurđevi, S., (2015) Uticajni parametri na kvalitet otiska dobijenog tehnikom sito štampe na PVC folije, pp. 12-12, Izdavač: Akademija Tehničkih Znanosti Hrvatske Centar za grafičko inženjerstvo; Tiskarstvo i Dizajn, 2015.

Kašikovi, N., Vladi, G., Miloševi, R., Đurđevi, S., Jurič (Rilovski), I., Novakovi, D., Pavlović, Ž. (2017) Rubbing fastness properties of digital printed samples, 2nd International Printing Technologies Symposium - PrintIstanbul 2017 "Tehnologije štampe", No. 2, pp. 295-393, ISBN 978-9944-0636-7-8, Izdavač: Marmara Üniversitesi.

Kemal, A. (2011) Aktivna i inteligentna ambalaža, OFI, Zagreb.

Kerry, J.P., O'Grady, M.N., Hogan, S.A. (2006) Past, current and potential utilization of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. Meat Science, pp. 113- 130.

Kerry, J., Butler, P. (2008). Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods. John Wiley & Sons Ltd.

Kimpel, S. H., Boxx, S. S., (2016) NFC Chips: The Simplest Form of Smart Packaging [Online] Dostupno na: <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=6d63e03c-017c-4248-b0f2-7ea780e2fce3> [Pristupljeno 14.08.2016.].

Kipphan, H. (2001) Handbook of Print Media - Technologies and Production Methods. New York, Springer Science & Business Media.

- Kit L. Yam. (2009). Wiley encyclopedia of packaging technology, Third edition.
- Koontz, John L. (2006) Special delivery: Controlled release of active ingredients from food and beverage packaging.
- Koutsoumanis, K., Taoukis, P.S., Nychas; G.J.E. (2005) Development of a safety monitoring and assurance system for chilled food products. *International Journal of Food Microbiology*, Vol: 100, ISSN 0168-1605, pp. 253-260.
- Kulčar, R. (2010) Kolorimetrijska analiza i parametri stabilnosti UV termohromnih boja - doktorska disertacija. Zagreb. Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.
- Kuswandi, B., Maryska, C., Jayus, Abdullah, A., Heng, L.Y. (2013) Real time on-package freshness indicator for guavas packaging. *J. Food Meas. Charact.* 7, pp. 29-39.
- Labuza, TP. (1996) An introduction to active packaging for foods. *Food Tech* 50(4), pp. 68-71.
- LaManna, R. (2017) Smart Packaging: The Future of Packaging is Here. [Online] Dostupno na: <http://www.rocklamanna.com/blog-rock-lamanna/smart-packaging-the-future-of-packaging-is-here> [Pristupljeno 04.09.2018.].
- Lawrence, B. D., Cronin-Golomb, M., Georgakoudi, I., Kaplan, D. L. Omenetto, F. G. (2008) Bioactive silk protein biomaterial systems for optical devices. *Biomacromolecules*, 9, pp. 1214-1220.
- Lee S. K., Sheridan M., Mills A. (2005) Novel UV-activated colorimetric oxygen indicator. *Chemistry of Materials*, 17(10), pp. 2744-2751.
- Loijens. (2017) Augmented reality for food marketers and consumers. Wageningen Academic Publishers.
- Lopez-Rubio, A, Almenar, E, Hernandez-Munoz, P, Lagaron, JM, Catala, R, Gavara, R. (2004) Overview of active polymer-based packaging technologies for food applications. *Food Rev Int* 20 (4), pp. 357-387.
- Lu, Y. F., Yang, Y., Sellinger, A., Lu, M. C., Huang, J. M., Fan, H. Y., Haddad, R., Lopez, G., Burns, A. R., Sasaki, D. Y., Shellnutt, J. Brinker, C. J. (2001) Self-assembly of mesoscopically ordered chromatic polydiacetylene/silica nanocomposites. *Nature*, 410, pp. 913-917.
- Luo, M. R., Cui, G., Rigg, B. (2001) The Development of the CIE2000 Colordifference Formula: ΔE_{00} , *Color Research & Application*, 26 (5), pp. 340-350.
- Lydekaityte, J., Tambo, T. (2018). Business perspectives of smart interactive packaging. *Proceedings of the 8th International Conference on the Internet of Things - IOT '18*.
- Manualzz (2019) UT30b Specifications [Online] Dostupno na: <https://manualzz.com/doc/1685221/uni-t-ut30b-specifications> [Pristupljeno 04.10.2019.].
- Maričić, S., Novaković, D., Kašiković, N., (2014) Merenje uticaja gustine štampe i trajanja sušenja na otpornost odštampanog elektroprovodljivog materijala. *Zbornik Radova Fakulteta Tehničkih Nauka*.
- Marsh, K., Bugusu, B. (2007) Food Packaging-Roles, Materials, and Environmental Issues, *Journal of food science*, pp. 39-55.
- Martindale, J. (2019) What is Wi-Fi? Here's everything you need to know [Online] Dostupno na: <https://www.digitaltrends.com/computing/what-is-wi-fi/> [Pristupljeno 21.03.2019.].
- McFarlane, D., Sheffi, Y. (2003) The impact of automatic identification on supply chain operations. *International Journal of Logistics Management*, pp. 1-17.

- Medium (2013) The Evolution of Packaging. [Online] Dostupno na: <https://medium.com/digital-packaging-experiences/the-evolution-of-packag-ing-57259054792d> [Pristupljeno 02.09.2018.].
- Messer (2015) Pakovanje u modifikovanoj atmosferi. [Online] Dostupno na: http://www.messer.rs/documents/Pakovanje_u_modifikovanoj_atmosferi_MAP.pdf [Pristupljeno 23.02.2016.].
- MGC (2019) Ageless Eye [Online] Dostupno na: <https://www.mgc.co.jp/eng/products/sc/ageless-eye.html> [Pristupljeno 21.04.2019.].
- Mills, A., Tommons, C., Bailey, R. T., Tedford, M. C. Crilly, P. J. (2008) UV-activated luminescence/colourimetric O-2 indicator. *International Journal of Photoenergy*.
- Mills A., Hazafy D. (2009) Nanocrystalline SnO₂-based, UVB-activated, colourimetric oxygen indicator. *Sensor and Actuators B: Chemical*, 136(2), pp. 344-349.
- Mimaki (2013) Mimaki Engineering [Online] Dostupno na: https://taiwan.mimaki.com/archives/034/201301/JV3-160SP_Operation_D200913_V1.5.pdf [Pristupljeno 19.12.2013.].
- Mirković, N. (2013) Ambalaža i pakovanje robe. *Industrija*. No. 45, pp. 18-19 [Online] Dostupno na: https://issuu.com/casopis.industrija/docs/industrija_45_web_izdanje/18 [Pristupljeno 23.02.2016.].
- Mohebi, E., Marquez, L., (2015) Intelligent packaging in meat industry: an overview of existing solutions. *J. Food Sci. Technol.*, pp. 3947-3964.
- Moussa, A., Dupont, D., Steenb, D., Zengb, X. (2008) Colour change as a result of textile transformations, *Journal compilation a Society of Dyers and Colourists, Coloration Technology*, 124 (4), pp. 234 - 242.
- Murdock, L. K. (2011) *3ds Max 2012 Bible*, John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis, Indiana.
- Nachay, K. (2007) Analyzing nanotechnology. *Food Technology*, 61(1), pp. 34-36.
- Nemet, N. (2009) Jestivi filmovi i omotači u proizvodnji ambalaže. *Tehnologija hrane* [Online] Dostupno na: http://www.tehnologija_hrane.com [Pristupljeno 13.03.2016.].
- NIXSENSOR (2015) Nix Sensor [Online] Dostupno na: <https://nixsensor.com/> [Pristupljeno 11.07.2015.].
- Novaković, D. (2013a) Grafička ambalaža. Materijal sa predavanja. GRID, Fakultet tehničkih nauka, Novi SAD [online] Dostupno na: <http://www.grid.uns.ac.rs/predmet.html?predmet=12&plan=1999> [Pristupljeno 25.01.2016.].
- Novaković, D., Kašiković, N. (2013b) Digitalna štampa, udžbenik.
- Novaković, D., Karlović, I., Đurđević, S. (2014) Graphic technologies in times of change, international Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, pp. 29-41, ISBN 978-86-7892-647-1, Izdavač: Faculty of technical sciences.
- NSGrafoProm (2015) Argon Manoukian 20000 Celloflex [Online] Dostupno na: <http://nsgrafoprom.com/wp-content/uploads/pdfovi/ArgonManoukian-20000-Celloflex.pdf> [Pristupljeno 14.03.2019.].
- Ohlsson, T; Bengtsson, N. (2002) *Minimal Processing Technologies in the Food Industry*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing; ISBN: 978- 1855735477.
- OpenProductData (2019) OPD [Online] Dostupno na: <https://product.okfn.org/> [Pristupljeno 15.07.2019.].

- Otles, S., Yalcin, B. (2008) Intelligent Food Packaging. [Online] Dostupno na: http://www.logforum.net/pdf/4_4_3_08.pdf [Pristupljeno 03.09.2018.].
- Overney, N. L., Overney, G. T. (2011) The Leitz Orthoplan and Ortholux II Research Microscopes [Online] Dostupno na: http://microscopy-uk.org.uk/mag/artoct09/The_Leitz_Orthoplan_and_Ortholux_II_Research_Microscopes_Ver_4.pdf [Pristupljeno 17.01.2019.].
- Paint creek inspection (2018) Grindometers [Online] Dostupno na: <https://paintcreekinspection.com/shop/grindometers/> [Pristupljeno, 26.05.2019.].
- Panagiotis, K. (2002) Kraft Food Holdings, Inc., USA. Flavor retention and release system. 20010920.
- Parliament (2008) Smart Materials and Systems. [Online] Dostupno na: <https://www.parliament.uk/documents/post/postpn299.pdf> [Pristupljeno 10.09.2018.].
- Patel, J. (2014) 1.5 Million Apps are Live on The Google Play Store [Online] Dostupno na: <https://www.whatech.com/mobile-apps/news/30223-1-5-million-apps-are-live-on-the-google-play-store> [Pristupljeno 15.06.2015.].
- Patkar, M. (2018) What Is Bluetooth? 10 Common Questions, Asked and Answered [Online] Dostupno na: <https://www.makeuseof.com/tag/what-is-bluetooth/> [Pristupljeno 13.08.2018.].
- Pavelkova, A. (2012) Time Temperature Indicators as Devices Intelligent Packaging. [Online] Dostupno na: https://acta.mendelu.cz/media/pdf/actaun_2013061010245.pdf [Pristupljeno 04.09.2018.].
- Pavlović, Ž. (2015) Izrada štamparske forme za sito štampu - nastavni materijal. Novi Sad. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu.
- PDADB (2013) Sony Ericsson Xperia mini pro SK17 / SK17i (SE Mango) Specs [Online] Dostupno na: http://pdadb.net/index.php?m=specs&id=2843&c=s_ony_ericsson_xperia_mini_pro_sk17__sk17i_se_man_go [Pristupljeno 26.12.2013.].
- Petković, A. (2012) Šta je NFC i čemu služi? Softver tehnologija. [Online] Dostupno na: <http://mobilnimarketing.me/> [Pristupljeno 10.05.2016.].
- Petrović, T. (2010) Savremeni trendovi pakovanja hrane, Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- Petrović S., Novaković D., Đurđević S. (2018) Unapređenje kvaliteta procesa izrade kartonske ambalaže za tečnu hranu, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka ISSN: 0350-428X, 33 (3) pp. 339-342, UDK 655.3.066.25, Izdavač: Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.
- Petty, J. (2019) [Online] Dostupno na: <https://conceptartempire.com/what-is-unity/> [Pristupljeno 11.07.2017.].
- PhysicalWeb (2019) Physical Web [Online] Dostupno na: <https://google.github.io/physical-web/> [Pristupljeno 11.01.2019.].
- Poslad, S. (2011) Ubiquitous Computing: Smart Devices, Environments and Interactions.
- Potter, L. (2008) Retortable pouches, in P. RICHARDSON (ed.), In-pack processed foods: Improving quality, Cambridge: Woodhead, pp. 17-32.
- Prasad, P., Kochhar, A. (2014). Active Packaging in Food Industry: A Review. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 8 (5), pp. 01-07, <https://doi.org/10.9790/2402-08530107>.
- Price, S., Summers, R. (2006) Mobile healthcare in the home environment, EMBS Annual International Conference.

- Psodoro, B., Novaković, D., Đurđević, S. (2015) Ambalaža za pakovanje namirnica - kriterijumi odabira i novi trendovi, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka ISSN: 0350-428X, 30 (8), pp. 1391-1394, UDK 621.798.12, ISBN 0350-428X, Izdavač: Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.
- Pursiainen, O.L.J., Baumberg, J.J., Ryan, K., Bauer, J., Winkler, H., Viel, B. Ruhl, T. (2005) Compact strain-sensitive flexible photonic crystals for sensors. *Applied Physics Letters*
- Python (2019) Python Software Foundation [Online] Dostupno na: <https://docs.python.org/3/tutorial/> [Pristupljeno, 13.03.2019.].
- Rajesh, T. W., Kaneto, K. (2004) Amperometric phenol biosensor based on co-valent immobilization of tyrosinase onto an electrochemically prepared novel copolymer poly (N-3-aminopropyl pyrrole-copolymer) film. *Sensors and Actuators B*, pp. 271-277.
- Ranger, S. (2015) iOS versus Android. Apple App Store versus Google Play: Here comes the next battle in the app wars, [Online] Dostupno na: <http://www.zdnet.com/article/ios-versus-android-apple-app-store-versus-google-play-here-comes-the-next-battle-in-the-app-wars/> [Pristupljeno, 16.06.2015.].
- Retama, R. J. (2005) Synthesis and characterization of semiconducting polypyrrole/polyacrylamide microparticles with GOx for biosensor applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, pp. 239-244.
- Right Hemisphere (2016) Deep exploration Getting Started Guide [Online] Dostupno na: http://www.comp.nus.edu.sg/~medialab/graphics%20lab/Deep%20exploration%20Getting_Started_Guide.pdf, [Pristupljeno, 24.06.2015.].
- Robertson, G. L. (2006) Active and intelligent packaging. In *Food packaging: principles and practice*, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, Fl. Chap. 14.
- Rooney, ML. (2005) Introduction to active food packaging technologies. In: Han JH (Ed) *Innovations in Food Packaging*. London, UK: Elsevier Ltd., pp. 63-79.
- Schmidt, J. (2002) Effizienzsteigerung im Informationsfluss, *Pack Report* 5, pp. 59-61.
- Schneider, CA., Rasband, WS., Eliceiri, KW. (2012) NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods*. 9 (7): pp. 671-675. doi:10.1038/nmeth.2089.
- Scholz, J. and Smith, A. (2016). Augmented reality: Designing immersive experiences that maximize consumer engagement. *Business Horizons*, 59 (2), pp.149-161.
- Seeboth A, Löttsch D. (2008) *Thermochromic phenomena in polymers*. Shawbury: Smithers Rapra Technology Limited.
- SFXC (2010) Special Effect & Coatings. [Online] Dostupno na: [https://findmydata.cloud/uploads/pdf/hydrochromic-\(wet-&-reveal\)-screen-ink3.pdf](https://findmydata.cloud/uploads/pdf/hydrochromic-(wet-&-reveal)-screen-ink3.pdf) [Pristupljeno 8.11.2018.].
- SFXC (2011) Special Effect & Coatings. [Online] Dostupno na: <https://findmydata.cloud/uploads/pdf/thermochromic-screen-ink-for-textiles2.pdf> [Pristupljeno 8.11.2018.].
- SFXC (2013) Special Effect & Coatings. [Online] Dostupno na: <https://findmydata.cloud/uploads/pdf/photochromic-plastisol-screen-ink1.pdf> [Pristupljeno 8.11.2018.].
- SFXC (2018) Special Effect & Coatings. [Online] Dostupno na: <https://www.sfxc.co.uk/>, [Pristupljeno 8.11.2018.].
- Siltanen, S., (2012) *Theory and applications of marker-based augmented reality*, VTT Technical Research Centre of Finland.

- Stančić, M., Ružičić, B., Kašiković, N., Grujić, D., Novaković, D., Milošević, R. (2016) Washing treatment impact on print quality of screen printed knitted fabrics, *Revista Matéria*, 21 (3), pp. 817-826.
- Stewart, R. (2019) Types of Barcodes Needed for Packaging - The Label Link. [Online] Dostupno na: <https://thelabellink.com/types-barcodes-needed-packaging/> [Pristupljeno 03.10.2019.].
- Swider, M., McCann, J. (2019) Best camera phone 2019: the top smartphone snappers around <https://www.techradar.com/news/best-cameraphone> [Pristupljeno 19.05.2019.].
- Ščetar, M. (2011) Inteligentnim pakiranjem i nanotehnologijom do sigurne i zdrave hrane. Laboratorij za pakiranje hrane. Prehrambeno-biotehnoški fakultet, Zagreb.
- Šumić, Z. (2008) Uslovi savremenog pakovanja prehrambenih proizvoda [Online] Dostupno na: <http://www.tehnologija-hrane.com/ambalaza/uslovi-savremenog-pakovanja-prehrambenih-proizvoda> [Pristupljeno 15.02.2015.].
- Šumić, Z. (2013) Ambalažni materijali. Tehnologija hrane. [Online] Dostupno na: <http://www.tehnologijahrane.com> [Pristupljeno 23.05.2016.].
- Tackels, D. (2015) Types of Barcodes: Choosing the Right Barcode. [Online] Dostupno na: <http://www.scandit.com/> [Pristupljeno 03.08.2016.].
- Talbot, D. (2003) Smart Materials. [Online] Dostupno na: <http://www.iom3.org/fileproxy/348526> [Pristupljeno 10.09.2018.].
- Taslim, U. R. (2012) Assignment of Modern Food Packaging Technology, Nutrition and Food Engineering Department, Bangladesh.
- Techkon (2015) Techkon Color Catcher [Online] Dostupno na: <http://www.techkon.com/index.php/Color-Catcher-en.html>, [Pristupljeno 11.07.2017.].
- The MathWorks (2019) Matlab [Online] Dostupno na: <https://www.mathworks.com/discovery/what-is-matlab.html> [Pristupljeno 18.03.2018.].
- Ullman, S., (1979) The interpretation of structure from motion: Proceedings of the Royal Society of London B, Vol. 203, pp. 405-426, doi: 10.1098/rspb.1979.0006.
- Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F., De Meulenaer, B. (2014) Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.06.009>.
- Vasquez-Briseno, M., Hirata, F., Sanchez-Lopez, J., Jimenez-Garcia, E., Navarro-Cota, C., Nieto-Hipolito, J.I. (2012) Using RFID/NFC and QR-Code in Mobile Phones to Link the Physical and the Digital World, *Interactive Multimedia*, Dr Ioannis Deliyannis (Ed.), ISBN: 978-953-51-0224-3.
- Vermeiren, L., Devlieghere, F., Van Beest, M., de Kruijf, N., Debevere, J. (1999) Developments in the active packaging of foods. *Trends Food Sci Tech* 10 (3), pp. 77-86.
- Vidaković, J., Novaković, D., Kašiković, N. (2014) Ispitivanje čitljivosti qr koda na tekstilnim materijalima. *Zbornik Radova Fakulteta Tehničkih Nauka*.
- Vidić, M (2015) Šta je to bar-kod i kako je nastao žig na proizvodima. Naučnopopularni portal Centra za promociju nauke. [Online] Dostupno na: <http://elementarium.cpn.rs/> [Pristupljeno 20.04.2016.].
- Violino, B. (2005) What is RFID? *RFID Journal*, 73 (8), [Online] Dostupno na: <http://www.rfidjournal.com/article/article-view/1339/1/129/> [Pristupljeno 03.06.2013.].

- Vladić, G., Kašiković N., Dedijer S., Stančić M., Đurđević, S. (2015a) Influence of Packaging Shape on a Price Presumption, International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies, pp. 11-18, ISBN 978-615-5460-60-9, Izdavač: Obuda University.
- Vladić, G., Kašiković N., Đurđević, S., Avramović, D., Pál (Apro), M. (2015b) Tehnike izrade interaktivnih simulacija namenjenih obuci operatera grafičkih sistema, pp. 83-87, Izdavač: Tehničko veleučilište u Zagrebu, Tiskarstvo i Dizajn.
- Vladić, G., Kašiković, N., Novaković, D., Pinčjer, I., Đurđević, S. (2016a) Enriching product experience by augmented reality technology, Machine Design ISSN: 1821-1259, 8 (4), pp. 159-164, ISBN 1821-1259, Izdavač: Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.
- Vladić, G., Novaković, D., Kašiković, N., Pinčjer, I., Đurđević, S. (2016) Transforming product-consumer communication through augmented reality technology, The 9th International Symposium - KOD 2016 - Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, pp. 29-32, ISBN 978-86-7892-821-5, Izdavač: Faculty of Technical Sciences - Novi Sad, Serbia.
- Vladić, G., Delić, G., Kašiković, N., Đurđević, S., Banjanin, B. (2019) Eye tracking study of packaging form judgment, International Conference on Circular Packaging CPC, pp. 85-94, ISBN 978-961-90424-5-8, Izdavač: Pulp and Paper Institute.
- Vucelić, M., Novaković, D., Đurđević, S. (2017) Čitljivost qr kodova u aplikacijama proširene stvarnosti. Zbornik Radova Fakulteta Tehničkih Nauka.
- Vučetić, Ž., Novaković, D., Pál, M. (2013) Čitljivost bar kodova brzog odziva, pp. 2438-2441.
- Vuforia (2019a) Vuforia developer portal [Online] Dostupno na: <https://developer.vuforia.com/homepage> [Pristupljeno 07.02.2017.].
- Vuforia (2019b) Vuforia development [Online] Dostupno na: https://subscription.packtpub.com/book/application_development/9781782168553/5/ch05lv11sec25/vuforia-architecture [Pristupljeno 07.02.2017.].
- Vujković, I. (2005) Tehnološko - komercijalno poznavanje proizvoda, Ekonomski fakultet, Subotica.
- Wang, X., Yang, K., Ye, H., Wang, Y. P., Lee, J. S., Sandman, D. J. (2006) Methods for the preparation of micro- and nanocrystals of urethane-substituted polydiacetylenes. Journal of Macromolecular Science Part a-Pure and Applied Chemistry, Vol. 43, pp. 1937-1943.
- Wood, B. (2019) Adobe Illustrator CC Classroom in a Book, 1st Edition.
- WRAP (2013) Thermochromic Inks and Reducing Household Food Waste [Online] Dostupno na: <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Using%20thermochromic%20inks%20to%20reduce%20household%20food%20waste.pdf>, [Pristupljeno 16.09.2018.].
- Yam, K.L., Takhistov, P. T., Miltz, J. (2005) Intelligent packaging: concepts and applications. Journal of Food Sciences, Vol. 70: pp. 1-10, ISSN: 1750-3841.
- Yildirim, S., Bettina, R., Marit, P., Nilsen-Nygaard, J., Zehra, A., Ramune, R., Tanja, R., Patrycja, S., Begonya, M., Veronique, C. (2017) Active packaging for food [Online] Dostupno na: <http://www.actinpak.eu/wp-content/uploads/2017/10/Active-packaging-for-food.pdf> [Pristupljeno 06.07.2018.].
- Ytally (2008) Cold Chain Management [Online] Dostupno na: http://ccm.ytally.com/fileadmin/user_upload/downloads/3_080602_Cold_Chain_Management_08_Ellouze_01.pdf [Pristupljeno 04.11.2015.].
- Zagori, D. (1995) Etylen Removing Packaging, Aktive Food Packaging, London, Blackie Academic Professional.

Zeljковић, Ž., Novaković, D., Avramović, D., Đurđević, S., (2014) The development of knowledge base system for the identification of the parameters of the printing process, International Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, pp. 335-340, ISBN 978-86-7892-647-1, Izdavač: Faculty of Technical Sciences.

Zeljковић, Ž., Novaković, D., Kašiković, N., Milić, N., Đurđević, S. (2016) The system for processing parameter identification in printing, International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, pp. 147-157, Izdavač: University of Novi Sad, Faculty of technical sciences.

Zeljковић, Ž., Đurđević, S., Novaković, D., Kašiković, N., Vladić, G. (2019) Development of knowledge base for smart packaging indicators, International Conference on Circular Packaging CPC, pp. 185-196, ISBN 978-961-90424-5-8, Izdavač: Pulp and Paper Institute.

11 PRILOZI

11.1 PRILOG P1 - Spektrofotometrijska, kolorimetrijska i toplotna analiza svih uzoraka

Zbog velikog obima prilog se nalazi u elektronskom obliku na Departmanu za grafičko inženjerstvo i dizajn.

11.2 PRILOG P2 - Termohromatska plava boja štampana na tekstu 1 gustinom tkanja 54 niti/cm

Objašnjenje oznaka uzoraka:

BOJA_MATERIJAL_MERENJE_GUSTINA_TKANJA_PROTEKLO_VREME

11.2.1 PRILOG P2.1 - Rezultati merenja uzoraka

Oznaka uzoraka		Temperatura			Temperovizijski snimak			Spektrolasne linije																												
Vreme (s)	Temperatura	Temperovizijski snimak	L*	a*	b*	Spektrolasne linije																														
0	33.50	B_T1_1_24_03	64.72	8.32	-27.46	0.3222	0.4148	0.5092	0.5653	0.5816	0.5912	0.5950	0.5920	0.5844	0.5745	0.5567	0.5265	0.4899	0.4534	0.4181	0.3842	0.3522	0.3336	0.3047	0.3008	0.3104	0.3321	0.3691	0.4248	0.4948	0.5694	0.6395	0.6966	0.7398	0.7729	0.8009
10	33.00	B_T1_1_24_04	64.06	8.97	-28.14	0.3204	0.4073	0.4956	0.5494	0.5688	0.5688	0.5700	0.5644	0.5448	0.5270	0.4998	0.4598	0.4145	0.3713	0.3327	0.2989	0.2681	0.2403	0.2221	0.2186	0.2270	0.2447	0.2761	0.3278	0.3981	0.4795	0.5631	0.6391	0.7010	0.7479	0.7861
20	32.00	B_T1_1_24_05	63.01	8.96	-28.54	0.3036	0.3824	0.4625	0.5133	0.5313	0.5486	0.5567	0.5542	0.5438	0.5270	0.4998	0.4598	0.4145	0.3713	0.3327	0.2989	0.2681	0.2403	0.2221	0.2186	0.2270	0.2447	0.2761	0.3278	0.3981	0.4795	0.5631	0.6391	0.7010	0.7479	0.7861
30	30.40	B_T1_1_24_06	57.82	9.39	-33.42	0.2964	0.3693	0.4429	0.4900	0.5110	0.5287	0.5312	0.5293	0.5193	0.5032	0.4771	0.4391	0.3963	0.3535	0.3185	0.2856	0.2558	0.2291	0.2122	0.2087	0.2165	0.2332	0.2629	0.3113	0.3713	0.4541	0.5335	0.6049	0.6626	0.7063	0.7420

11.2.2 PRILOG P2.2 - Srednje vrednosti rezultata merenja uzoraka

Oznaka uzoraka		Temperatura			Temperovizijski snimak			Spektrolasne linije																												
Vreme (s)	Temperatura	Temperovizijski snimak	L*	a*	b*	Spektrolasne linije																														
0	33.00	B_T1_3_24_01	74.91	6.06	-14.29	0.3238	0.4325	0.5434	0.6075	0.6242	0.6372	0.6270	0.6225	0.6130	0.6061	0.5908	0.5648	0.5323	0.4983	0.4645	0.4316	0.4002	0.3717	0.3525	0.3480	0.3578	0.3810	0.4199	0.4767	0.5451	0.6134	0.6739	0.7215	0.7566	0.7833	0.8039
10	33.00	B_T1_3_24_02	71	6.48	-13.25	0.3269	0.4215	0.5184	0.5765	0.5925	0.6001	0.6011	0.5991	0.5928	0.5818	0.5644	0.5357	0.5010	0.4659	0.4275	0.3938	0.3621	0.3349	0.3161	0.3111	0.3200	0.3427	0.3810	0.4366	0.5053	0.5781	0.6459	0.6996	0.7391	0.7669	0.7845
20	32.20	B_T1_3_24_03	70.5	6.63	-13.41	0.3265	0.4094	0.4923	0.5416	0.5589	0.5671	0.5715	0.5699	0.5618	0.5523	0.5351	0.5059	0.4703	0.4347	0.4004	0.3678	0.3374	0.3101	0.2920	0.2877	0.2964	0.3174	0.3530	0.4062	0.4735	0.5465	0.6167	0.6739	0.7124	0.7315	0.7411
30	31.20	B_T1_3_24_04	68.64	7.10	-20.89	0.3351	0.4180	0.5001	0.5484	0.5647	0.5710	0.5755	0.5739	0.5673	0.5564	0.5374	0.5076	0.4715	0.4345	0.3992	0.3667	0.3366	0.3091	0.2905	0.2857	0.2940	0.3146	0.3501	0.4037	0.4715	0.5448	0.6156	0.6765	0.7239	0.7600	0.7898
40	30.60	B_T1_3_24_05	67.79	7.20	-22.47	0.3264	0.4073	0.4871	0.5350	0.5515	0.5600	0.5651	0.5654	0.5542	0.5325	0.5026	0.4546	0.4121	0.3823	0.3498	0.3191	0.2914	0.2728	0.2668	0.2716	0.2971	0.3312	0.3817	0.4516	0.5265	0.6001	0.6640	0.7149	0.7540	0.7866	
50	30.10	B_T1_3_24_06	65.61	7.61	-24.47	0.3341	0.4105	0.4859	0.5314	0.5488	0.5581	0.5636	0.5622	0.5551	0.5438	0.5238	0.4918	0.4536	0.4155	0.3788	0.3470	0.3162	0.2881	0.2693	0.2650	0.2737	0.2927	0.3282	0.3815	0.4504	0.5257	0.6016	0.6663	0.7175	0.7569	0.7902

11.2.3 PRILOG P2.3 - CIEΔE₀₀ razlike u boji uzoraka

Prva boja	L	a	b	Druga boja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	Razlika u boji (ΔE)
B_T1_1_54_01	78.08	5.66	-13.55	B_T1_1_54_01	78.08	5.66	-13.55	0	0	0	0.00
B_T1_1_54_02	78.08	5.66	-13.55	B_T1_1_54_02	72.36	6.72	-19.44	5.72	1.06	5.89	5.53
B_T1_1_54_03	78.08	5.66	-13.55	B_T1_1_54_03	64.72	8.22	-27.46	13.36	2.56	13.91	12.95
B_T1_1_54_04	78.08	5.66	-13.55	B_T1_1_54_04	64.06	8.95	-28.14	14.02	3.29	14.59	13.51
B_T1_1_54_05	78.08	5.66	-13.55	B_T1_1_54_05	63.01	8.96	-29.54	15.07	3.3	15.99	14.66
B_T1_1_54_06	78.08	5.66	-13.55	B_T1_1_54_06	57.82	9.39	-33.42	20.26	3.73	19.87	19.42

B_T1_2_54_01	74.91	6.06	-14.29	B_T1_2_54_01	74.91	6.06	-14.29	0	0	0	0.00
B_T1_2_54_02	74.91	6.06	-14.29	B_T1_2_54_02	71	6.48	-18.25	3.91	0.42	3.96	3.87
B_T1_2_54_03	74.91	6.06	-14.29	B_T1_2_54_03	70.5	6.63	-18.41	4.41	0.57	4.12	4.20
B_T1_2_54_04	74.91	6.06	-14.29	B_T1_2_54_04	68.64	7.1	-20.89	6.27	1.04	6.6	6.24
B_T1_2_54_05	74.91	6.06	-14.29	B_T1_2_54_05	67.79	7.2	-22.47	7.12	1.14	8.18	7.37
B_T1_2_54_06	74.91	6.06	-14.29	B_T1_2_54_06	65.61	7.61	-24.47	9.3	1.55	10.18	9.41

B_T1_3_54_01	76.495	5.86	-13.92	B_T1_3_54_01	76.5	5.86	-13.92	0	0	0	0.00
B_T1_3_54_02	76.495	5.86	-13.92	B_T1_3_54_02	71.68	6.6	-18.85	4.815	0.74	4.925	4.70
B_T1_3_54_03	76.495	5.86	-13.92	B_T1_3_54_03	67.61	7.425	-22.94	8.885	1.565	9.015	8.61
B_T1_3_54_04	76.495	5.86	-13.92	B_T1_3_54_04	66.35	8.025	-24.52	10.15	2.165	10.595	9.90
B_T1_3_54_05	76.495	5.86	-13.92	B_T1_3_54_05	65.4	8.08	-26.01	11.1	2.22	12.085	11.03
B_T1_3_54_06	76.495	5.86	-13.92	B_T1_3_54_06	61.72	8.5	-28.95	14.78	2.64	15.025	14.40

11.2.4 PRILOG P2.4 - Srednje vrednosti CIEΔE₀₀ razlike u boji uzoraka

	L	a	b	Razlika u boji (ΔE)
B_T1_54_01	76.50	5.86	-13.92	0.00
B_T1_54_02	71.68	6.60	-18.85	4.70
B_T1_54_03	67.61	7.43	-22.94	8.59
B_T1_54_04	66.35	8.03	-24.52	9.88
B_T1_54_05	65.40	8.08	-26.01	11.02
B_T1_54_06	61.72	8.50	-28.95	14.41

11.3 PRILOG P3 - Termohromatska crna boja štampana na papiru 1 gustom tkanja 90 niti/cm

Objašnjenje oznaka uzoraka:

BOJA_MATERIJAL_MERENJE_GUSTINA_TKANJA_PROTEKLO_VREME

11.3.1 PRILOG P3.1 - CIEΔE₀₀ razlike u boji uzoraka

Prva boja	L	a	b	Druga boja	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	Razlika u boji (ΔE)
K_P1_1_90_01	53.03	1.1	3.72	K_P1_1_90_01	53.03	1.1	3.72	0	0	0	0.00
K_P1_1_90_01	53.03	1.1	3.72	K_P1_1_90_02	61.96	0.74	3.71	8.93	0.36	0.01	8.16
K_P1_1_90_01	53.03	1.1	3.72	K_P1_1_90_05	72.79	0.74	3.73	19.8	0.36	0.01	16.71
K_P1_1_90_01	53.03	1.1	3.72	K_P1_1_90_04	75.44	0.73	3.72	22.4	0.37	0	18.62
K_P1_1_90_01	53.03	1.1	3.72	K_P1_1_90_05	80.84	0.73	3.74	27.8	0.37	0.02	23.33
K_P1_1_90_01	53.03	1.1	3.72	K_P1_1_90_06	82.07	0.73	3.74	29	0.37	0.02	23.14

K_P1_2_90_01	57.45	1.4	2.79	K_P1_2_90_01	57.45	1.4	2.79	0	0	0	0.00
K_P1_2_90_01	57.45	1.4	2.79	K_P1_2_90_02	63.58	1.01	2.66	6.13	0.39	0.13	5.38
K_P1_2_90_01	57.45	1.4	2.79	K_P1_2_90_03	70.69	1	2.67	13.2	0.4	0.12	11.04
K_P1_2_90_01	57.45	1.4	2.79	K_P1_2_90_04	75.28	1	2.67	17.8	0.4	0.12	14.43
K_P1_2_90_01	57.45	1.4	2.79	K_P1_2_90_05	81.68	1	2.67	24.2	0.4	0.12	18.85
K_P1_2_90_01	57.45	1.4	2.79	K_P1_2_90_06	83.99	0.99	2.67	26.5	0.41	0.12	20.36

K_P1_3_90_01	53.36	0.76	2.84	K_P1_3_90_01	53.36	0.76	2.84	0	0	0	0.00
K_P1_3_90_01	53.36	0.76	2.84	K_P1_3_90_02	61.17	0.64	2.2	7.81	0.12	0.64	7.17
K_P1_3_90_01	53.36	0.76	2.84	K_P1_3_90_03	71.42	0.58	2.18	18.1	0.18	0.66	15.39
K_P1_3_90_01	53.36	0.76	2.84	K_P1_3_90_04	76.84	0.55	2.17	23.5	0.21	0.67	19.30
K_P1_3_90_01	53.36	0.76	2.84	K_P1_3_90_05	80.17	0.52	2.16	26.8	0.24	0.68	21.58
K_P1_3_90_01	53.36	0.76	2.84	K_P1_3_90_06	81.42	0.5	2.16	28.1	0.26	0.68	22.41

K_P1_4_90_01	53.61	1.15	2.58	K_P1_4_90_01	53.61	1.15	2.58	0	0	0	0.00
K_P1_4_90_01	53.61	1.15	2.58	K_P1_4_90_02	62.79	0.79	1.64	9.18	0.36	0.94	8.34
K_P1_4_90_01	53.61	1.15	2.58	K_P1_4_90_03	71.58	0.77	1.64	18	0.38	0.94	15.29
K_P1_4_90_01	53.61	1.15	2.58	K_P1_4_90_04	76.48	0.77	1.66	22.9	0.38	0.92	18.83
K_P1_4_90_01	53.61	1.15	2.58	K_P1_4_90_05	80.1	0.77	1.66	26.5	0.38	0.92	21.31
K_P1_4_90_01	53.61	1.15	2.58	K_P1_4_90_06	82.35	0.76	1.66	28.7	0.39	0.92	22.80

K_P1_5_90_01	55.71	1.29	2.73	K_P1_5_90_01	55.71	1.29	2.73	0	0	0	0.00
K_P1_5_90_01	55.71	1.29	2.73	K_P1_5_90_02	60.59	0.85	2.51	4.88	0.44	0.22	4.45
K_P1_5_90_01	55.71	1.29	2.73	K_P1_5_90_03	66.83	0.85	2.51	11.1	0.44	0.22	9.63
K_P1_5_90_01	55.71	1.29	2.73	K_P1_5_90_04	74.35	0.86	2.51	18.6	0.43	0.22	15.34
K_P1_5_90_01	55.71	1.29	2.73	K_P1_5_90_05	79.65	0.85	2.52	23.9	0.44	0.21	19.05
K_P1_5_90_01	55.71	1.29	2.73	K_P1_5_90_06	82.88	0.86	2.51	27.2	0.43	0.22	21.20

11.3.2 PRILOG P3.2 - Rezultati merenja uzoraka

K_P1_1_90_01		L		a		b		Razlika u boji (ΔE)	
0	17.40	K_P1_1_90_01	54.63	1.14	2.93	2.93	0.00		
5	18.30	K_P1_1_90_02	62.02	0.81	2.54	2.54	6.70		
10	19.60	K_P1_1_90_03	70.66	0.79	2.55	2.55	13.61		
15	21.40	K_P1_1_90_04	75.68	0.78	2.55	2.55	17.30		
20	23.60	K_P1_1_90_05	80.49	0.77	2.55	2.55	20.63		
25	25.10	K_P1_1_90_06	82.54	0.77	2.55	2.55	21.98		

11.3.3 PRILOG P3.3 - Srednje vrednosti rezultata merenja uzoraka

K_P1_90_01		L		a		b		Razlika u boji (ΔE)	
0	17.40	K_P1_90_01	54.63	1.14	2.93	2.93	0.00		
5	18.30	K_P1_90_02	62.02	0.81	2.54	2.54	6.70		
10	19.60	K_P1_90_03	70.66	0.79	2.55	2.55	13.61		
15	21.40	K_P1_90_04	75.68	0.78	2.55	2.55	17.30		
20	23.60	K_P1_90_05	80.49	0.77	2.55	2.55	20.63		
25	25.10	K_P1_90_06	82.54	0.77	2.55	2.55	21.98		

11.3.4 PRILOG P3.4 - Srednje vrednosti CIEΔE00 razlike u boji uzoraka

K_P1_90_01		L		a		b		Razlika u boji (ΔE)	
0	17.40	K_P1_90_01	54.63	1.14	2.93	2.93	0.00		
5	18.30	K_P1_90_02	62.02	0.81	2.54	2.54	6.70		
10	19.60	K_P1_90_03	70.66	0.79	2.55	2.55	13.61		
15	21.40	K_P1_90_04	75.68	0.78	2.55	2.55	17.30		
20	23.60	K_P1_90_05	80.49	0.77	2.55	2.55	20.63		
25	25.10	K_P1_90_06	82.54	0.77	2.55	2.55	21.98		

11.4 PRILOG P4 - Hidrohromatska bela boja štampana na papiru 1 gustinom tkanja 43 niti/cm

Objašnjenje oznaka uzoraka:

BOJA_MATERIJAL_MERENJE_GUSTINA_TKANJA_PROTEKLO_VREME

11.4.1 PRILOG P4.1 - Rezultati merenja uzoraka

Oznaka uzoraka	Vreme (s)	L*			Spokretalne krive
		L*	a*	b*	
0	W_P1_1_43_01	54.63	1.14	2.93	
5	W_P1_1_43_02	62.02	0.81	2.54	
10	W_P1_1_43_03	70.66	0.79	2.55	
15	W_P1_1_43_04	75.68	0.78	2.55	
20	W_P1_1_43_05	80.49	0.77	2.55	
25	W_P1_1_43_06	82.54	0.77	2.55	

11.5.1 PRILOG P5.1 - Rezultati merenja uzoraka

Oznaka uzorka		L*			a*			b*			Spektralne krive	
Vreme (s)	FM	P1	1_43	01	02	03	04	05	06	07	08	
0	FM_P1_1_43_01	46.36	0.91	0.31	0.2082	0.2556	0.2844	0.2970	0.2780	0.2653	0.2644	
5	FM_P1_1_43_02	55.84	0.82	0.24	0.2261	0.3381	0.4136	0.4372	0.4224	0.4097	0.4088	
10	FM_P1_1_43_03	65.9	0.81	0.24	0.2300	0.3593	0.4453	0.4761	0.4654	0.4513	0.4509	
15	FM_P1_1_43_04	73.97	0.81	0.24	0.2356	0.3689	0.4599	0.4944	0.4831	0.4714	0.4712	
20	FM_P1_1_43_05	75.01	0.81	0.24	0.2392	0.3753	0.4697	0.5084	0.4959	0.4845	0.4846	
25	FM_P1_1_43_06	78.04	0.80	0.23	0.2413	0.3795	0.4765	0.5150	0.5051	0.4958	0.4959	

11.5.2 PRILOG P5.2 - Srednje vrednosti rezultata merenja uzoraka

11.5.3 PRILOG P5.3 - CIEΔE00 razlike u boji uzoraka

Promena boje tokom vremena. Poređenje razlike u boji u odnosu na boju na prvom uzorku

Prva boja	L			a			b			ΔL	Δa	Δb	Razlika u boji (ΔE)
	L	a	b	L	a	b	L	a	b				
FM_P1_1_43_01	46.56	0.91	0.31	FM_P1_1_43_01	46.56	0.91	0.31	0	0	0	0.00		
FM_P1_1_43_01	46.56	0.91	0.31	FM_P1_1_43_02	55.84	0.82	0.24	9.28	0.09	0.07	9.24		
FM_P1_1_43_01	46.56	0.91	0.31	FM_P1_1_43_03	65.9	0.81	0.24	19.3	0.1	0.07	17.98		
FM_P1_1_43_01	46.56	0.91	0.31	FM_P1_1_43_04	73.97	0.81	0.24	27.4	0.1	0.07	24.02		
FM_P1_1_43_01	46.56	0.91	0.31	FM_P1_1_43_05	75.01	0.81	0.24	28.5	0.1	0.07	24.75		
FM_P1_1_43_01	46.56	0.91	0.31	FM_P1_1_43_06	78.04	0.8	0.23	31.5	0.11	0.08	26.83		

FM_P1_2_43_01	45.86	1.41	1.13	FM_P1_2_43_01	45.86	1.41	1.13	0	0	0	0.00
FM_P1_2_43_01	45.86	1.41	1.13	FM_P1_2_43_02	57.89	1.18	0.99	12	0.23	0.14	11.91
FM_P1_2_43_01	45.86	1.41	1.13	FM_P1_2_43_03	63.96	1.16	1.01	18.1	0.25	0.12	17.17
FM_P1_2_43_01	45.86	1.41	1.13	FM_P1_2_43_04	72.01	1.17	1	26.2	0.24	0.13	23.35
FM_P1_2_43_01	45.86	1.41	1.13	FM_P1_2_43_05	76.05	1.16	1	30.2	0.25	0.13	26.21
FM_P1_2_43_01	45.86	1.41	1.13	FM_P1_2_43_06	81.09	1.15	1.01	35.2	0.26	0.12	29.56

FM_P1_3_43_01	46.61	1.03	3.15	FM_P1_3_43_01	46.61	1.03	3.15	0	0	0	0.00
FM_P1_3_43_01	46.61	1.03	3.15	FM_P1_3_43_02	56.9	0.79	2.82	10.3	0.24	0.33	10.20
FM_P1_3_43_01	46.61	1.03	3.15	FM_P1_3_43_03	65.97	0.78	2.82	19.4	0.25	0.33	17.98
FM_P1_3_43_01	46.61	1.03	3.15	FM_P1_3_43_04	74.01	0.78	2.83	27.4	0.25	0.32	24.00
FM_P1_3_43_01	46.61	1.03	3.15	FM_P1_3_43_05	75.04	0.78	2.82	28.4	0.25	0.33	24.72
FM_P1_3_43_01	46.61	1.03	3.15	FM_P1_3_43_06	80.06	0.77	2.83	33.5	0.26	0.32	28.12

FM_P1_4_43_01	45.01	1.44	2.01	FM_P1_4_43_01	45.01	1.44	2.01	0	0	0	0.00
FM_P1_4_43_01	45.01	1.44	2.01	FM_P1_4_43_02	55.93	1.17	1.56	10.9	0.27	0.45	10.93
FM_P1_4_43_01	45.01	1.44	2.01	FM_P1_4_43_03	68.2	1.12	1.57	23.2	0.32	0.44	21.44
FM_P1_4_43_01	45.01	1.44	2.01	FM_P1_4_43_04	73.29	1.12	1.55	28.3	0.32	0.46	25.18
FM_P1_4_43_01	45.01	1.44	2.01	FM_P1_4_43_05	74.33	1.1	1.56	29.3	0.34	0.45	25.92
FM_P1_4_43_01	45.01	1.44	2.01	FM_P1_4_43_06	79.35	1.1	1.56	34.3	0.34	0.45	29.32

FM_P1_5_43_01	44.16	1.02	2.43	FM_P1_5_43_01	44.16	1.02	2.43	0	0	0	0.00
FM_P1_5_43_01	44.16	1.02	2.43	FM_P1_5_43_02	56.41	1.11	1.32	12.3	0.09	0.91	12.28
FM_P1_5_43_01	44.16	1.02	2.43	FM_P1_5_43_03	65.54	1.08	1.33	21.4	0.06	0.9	20.31
FM_P1_5_43_01	44.16	1.02	2.43	FM_P1_5_43_04	73.63	1.07	1.33	29.5	0.05	0.9	26.34
FM_P1_5_43_01	44.16	1.02	2.43	FM_P1_5_43_05	76.69	1.08	1.33	32.5	0.06	0.9	28.46
FM_P1_5_43_01	44.16	1.02	2.43	FM_P1_5_43_06	80.32	0.57	0.34	36.2	0.45	2.09	30.91

11.5.4 PRILOG P5.4 - Srednje vrednosti CIEΔE00 razlike u boji uzoraka

	L	a	b	Razlika u boji (ΔE)
FM_P1_1_43_01	45.64		1.16	1.81
FM_P1_1_43_02	56.59		1.01	1.43
FM_P1_1_43_03	65.91		0.99	1.43
FM_P1_1_43_04	73.38		0.99	1.43
FM_P1_1_43_05	75.42		0.99	1.43
FM_P1_1_43_06	79.77		0.88	1.19

11.6 PRILOG P6 - Java kod razvijene Android aplikacije

```
package rs.stefan.grid;

import android.Manifest;
import android.app.Activity;
import android.graphics.Bitmap;
import android.graphics.Color;
import android.support.annotation.NonNull;
import android.support.annotation.Nullable;
import android.support.v4.app.ActivityCompat;
import android.support.v7.app.AppCompatActivity;
import android.content.pm.PackageManager;
import android.os.Build;
import android.os.Bundle;
import android.support.v4.content.ContextCompat;
import android.view.View;
import android.view.inputmethod.InputMethodManager;
import android.widget.Button;
import android.widget.ImageView;
import android.widget.TextView;
import com.google.android.gms.tasks.OnFailureListener;
import com.google.android.gms.tasks.OnSuccessListener;
import com.google.firebase.ml.vision.FirebaseVision;
import com.google.firebase.ml.vision.barcode.FirebaseVisionBarcode;
import com.google.firebase.ml.vision.barcode.FirebaseVisionBarcodeDetector;
import com.google.firebase.ml.vision.common.FirebaseVisionImage;
import java.util.Arrays;
import java.util.List;
import io.fotoapparat.Fotoapparat;
import io.fotoapparat.parameter.ScaleType;
import io.fotoapparat.result.BitmapPhoto;
import io.fotoapparat.result.PhotoResult;
import io.fotoapparat.result.WhenDoneListener;
import io.fotoapparat.selector.FocusModeSelectorsKt;
import io.fotoapparat.selector.JpegQualitySelectorsKt;
import io.fotoapparat.selector.LensPositionSelectorsKt;
import io.fotoapparat.selector.SelectorsKt;
import io.fotoapparat.view.CameraView;
import io.fotoapparat.view.FocusView;
import rs.stefan.grid.utils.ConvertBitmap;
import rs.stefan.grid.utils.Toast;

import io.fotoapparat.result.transformer.ResolutionTransformersKt.scaled;
import static io.fotoapparat.selector.PreviewFpsRangeSelectorsKt.highestFps;
import static io.fotoapparat.selector.ResolutionSelectorsKt.highestResolution;
```

```

import io.fotoapparat.selector.SensorSensitivitySelectorsKt.manualSensorSensitivity;
import static java.lang.Math.round;

public class MainActivity extends AppCompatActivity {

    private static final int CAMERA_REQUEST_CODE = 101;
    private Button btnStart;
    private TextView txtKlasa;
    private TextView txtBarKod;
    private CameraView;
    private ImageView rectangle;
    private ImageView rectangle2;
    private FocusView;
    private Fotoapparat;
    private String rawValue;

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_main);

        cameraView = findViewById(R.id.view_camera);
        focusView = findViewById(R.id.focusView);
        rectangle = findViewById(R.id.rectangle);
        rectangle2 = findViewById(R.id.rectangle2);
        focusView = findViewById(R.id.focusView);
        txtKlasa=findViewById(R.id.txtKlasa);
        txtBarKod=findViewById(R.id.txtBarKod);
        txtKlasa.setText("");
        txtBarKod.setText("");
        btnStart = findViewById(R.id.btnBack);
        btnStart.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
            @Override
            public void onClick(View v) {
                btnStart.setVisibility(View.INVISIBLE);
                txtKlasa.setText("");
                PhotoResult = fotoapparat.takePicture();

                photoResult
                    .toBitmap(scaled(0.25f))
                    .whenDone(new WhenDoneListener<BitmapPhoto>() {
                        @Override
                        public void whenDone(@Nullable BitmapPhoto
bitmapPhoto) {
                            if (bitmapPhoto == null) {
                                Toast.show(MainActivity.this,
R.string.photo_capture_problem);
                                runOnUiThread(new Runnable() {

```



```

        @Override
        public void run() {

btnStart.setVisibility(View.VISIBLE);
        }
    });

    } else {
        Bitmap
        ConvertBitmap.Rotate(bitmapPhoto.bitmap, -bitmapPhoto.rotationDegrees);
        double scale = (double) bitmap.getWidth() /
(double) cameraView.getWidth();
        int x = (bitmap.getWidth() - (int) (scale *
(rectangle.getWidth()))) / 2;
        int y = (bitmap.getHeight() - (int) (scale
* (rectangle.getHeight()))) / 2;
        int w = (int) (scale *
rectangle.getWidth());
        int h = (int) (scale *
rectangle.getHeight());
        bitmap = Bitmap.createBitmap(bitmap, x, y,
w, h);
        bitmap = ConvertBitmap.toGrayscale(bitmap);

        runCodeRecognition(bitmap, scale);
        runBarCodeRecognition(bitmap, scale);
    }
    });
}

fotoapparat = Fotoapparat
    .with(this)
    .focusView(focusView)
    .into(cameraView)
    .jpegQuality(JpegQualitySelectorsKt.highestQuality())
    .previewScaleType(ScaleType.CenterCrop)
    .photoResolution(highestResolution())
    .lensPosition(LensPositionSelectorsKt.back())

    .focusMode(SelectorsKt.firstAvailable(FocusModeSelectorsKt.continuousFocusPicture(), FocusModeSelectorsKt.autoFocus(), FocusModeSelectorsKt.fixed()))
    .previewFpsRange(highestFps())
    .sensorSensitivity(manualSensorSensitivity(500))
    .build();

}

@Override
public void onStart() {

```

```

        super.onStart();

        int permission = ContextCompat.checkSelfPermission(this,
Manifest.permission.CAMERA);
        if (permission == PackageManager.PERMISSION_GRANTED) {
            fotoapparat.start();
        } else {
            if (Build.VERSION.SDK_INT >= 23) {
                requestPermissions(new String[]{Manifest.permission.CAMERA,
Manifest.permission.CAMERA}, CAMERA_REQUEST_CODE);
            } else {
                ActivityCompat.requestPermissions(this, new
String[]{Manifest.permission.CAMERA}, CAMERA_REQUEST_CODE);
            }
        }
    }

    @Override
    public void onStop() {
        super.onStop();
        fotoapparat.stop();
    }

    private void runBarCodeRecognition(Bitmap bitmap, double scale) {
        txtBarKod.setText("");
        int x = 0;
        int y = (int) (scale * rectangle.getHeight()) - (int) (scale *
rectangle2.getHeight());
        int w = bitmap.getWidth();
        int h = (int) (scale * rectangle2.getHeight());
        bitmap = Bitmap.createBitmap(bitmap, x, y, w, h);
        bitmap = ConvertBitmap.changeContrastBrightness(bitmap, (float) 1.5,
0);

        FirebaseVisionImage image = FirebaseVisionImage.fromBitmap(bitmap);
        FirebaseVisionBarcodeDetector detector =
FirebaseVision.getInstance().getVisionBarcodeDetector();
        detector.detectInImage(image).addOnSuccessListener(new
OnSuccessListener<List<FirebaseVisionBarcode>>() {
            @Override
            public void onSuccess(List<FirebaseVisionBarcode> barcodes) {
                if (barcodes.size() > 0) {
                    for (FirebaseVisionBarcode barcode : barcodes) {
                        rawValue = barcode.getRawValue();
                        runOnUiThread(new Runnable() {
                            @Override
                            public void run() {
                                txtBarKod.setText(rawValue);
                                btnStart.setVisibility(View.VISIBLE);

```

```

        }
    });

    }
} else {
    runOnUiThread(new Runnable() {

        @Override
        public void run() {
            btnStart.setVisibility(View.VISIBLE);
            txtBarKod.setText("");
        }
    });
}

});
detector.detectInImage(image).addOnFailureListener(new
OnFailureListener() {
    @Override
    public void onFailure(@NonNull Exception e) {
        e.printStackTrace();
    }
});

try {
    detector.close();
} catch (Exception e) {
    e.printStackTrace();
}
}

private void runCodeRecognition(Bitmap bitmap, double scale) {
    int klasa[][][][] = { {{1, 0, 0, 0}, {0, 1, 1, 0}, {0, 1, 1, 1}, {0, 0,
1, 0}},
                           {{1, 0, 0, 1}, {1, 1, 1, 0}, {0, 1, 1, 1}, {0, 1,
1, 0}},
                           {{1, 1, 0, 0}, {0, 1, 1, 0}, {1, 1, 1, 1}, {0, 0,
1, 1}},
                           {{1, 0, 1, 0}, {0, 1, 1, 1}, {0, 1, 1, 1}, {1, 0,
1, 0}},
                           {{1, 1, 0, 1}, {1, 1, 1, 0}, {1, 1, 1, 1}, {0, 1,
1, 1}},
                           {{1, 0, 1, 1}, {1, 1, 1, 1}, {0, 1, 1, 1}, {1, 1,
1, 0}},
                           {{1, 1, 1, 0}, {0, 1, 1, 1}, {1, 1, 1, 1}, {1, 0,
1, 1}},
                           {{1, 1, 1, 1}, {1, 1, 1, 1}, {1, 1, 1, 1}, {1, 1,
1, 1}}

```

```

        });
        int x = 0;
        int y = 0;
        int w = bitmap.getWidth();
        int h = bitmap.getHeight()-(int) (scale * rectangle2.getHeight());
        bitmap = Bitmap.createBitmap(bitmap, x, y, w, h);
        int n = round(w / 5);
        int img2[][] = new int[4][4];

        for (int i = 0; i < 4; i++) {
            for (int j = 0; j < 4; j++) {
                int q = bitmap.getPixel(i * n + n, j * n + n);
                int red = Color.red(q);
                int green = Color.green(q);
                int blue = Color.blue(q);
                if (red > 150 && green > 150 && blue > 150) {
                    img2[j][i] = 0;
                } else {
                    img2[j][i] = 1;
                }
            }
        }
        img2[1][1] = 1;
        img2[1][2] = 1;
        img2[2][1] = 1;
        img2[2][2] = 1;

        boolean p = false;
        for (int i = 0; i < klasa.length; i++) {
            if (Arrays.deepEquals(klasa[i], img2)) {
                txtKlasa.setText("Klasa " + Integer.toString(i + 1));
                p = true;
                break;
            }
        }

        if (!p) {
            txtKlasa.setText("Ne pripada ni jednoj klasi");
        }
        btnStart.setVisibility(View.VISIBLE);
    }

    @Override
    public void onRequestPermissionsResult(int requestCode, String
permissions[], int[] grantResults) {
        super.onRequestPermissionsResult(requestCode, permissions,
grantResults);
        switch (requestCode) {
            case CAMERA_REQUEST_CODE: {

```

```
        if (grantResults.length > 0 && grantResults[0] ==
PackageManager.PERMISSION_GRANTED) {
            fotoapparat.start();
            InputMethodManager imm = (InputMethodManager)
getSystemService(Activity.INPUT_METHOD_SERVICE);
            if (imm.isActive()){

imm.toggleSoftInput(InputMethodManager.HIDE_IMPLICIT_ONLY, 0);
                } else {
                    imm.toggleSoftInput(0,
InputMethodManager.HIDE_IMPLICIT_ONLY);
                }
            }
        }
    }
}
```

12 BIOGRAFIJA SA BIBLIOGRAFIJOM

Ime i prezime: Stefan Đurđević
Datum i mesto rođenja: 17.07.1989., Beograd

Obrazovanje:

- 2008 - 2013 Osnovne akademske - bečelor studije i diplomske akademske - master studije, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn
- 2013 - 2019 Doktorske akademske studije, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn

Kretanje u poslu:

- 2013 - 2014 Saradnik u nastavi, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn
- 2014 -Asistent - master, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn

Mesto i trajanje studijskih boravaka u inostranstvu:

- 09.06.2014-13.06.2014. -FPS COST Action FP1104, New possibilities for print media and packaging - combining print with digital. "Science and engineering of printable electronics" na univerzitetu u Svonsiju, Ujedinjeno Kraljevstvo.
- 01.04. - 30.04.2016.- "CEEPUS CIII-RS- 0704-04-1516-M- 92583, Research and Education in the Field of Graphic Engineering", Sofija, Bugarska.
- 07.06.-05.07.2017. "Specialist teacher training course in Germany for specialist teacher in the field of printing and paper converting", Kemnic, Nemačka.
- 20.05.2019 - 20.06.2019 „CIII-RS-1311-01-1819 - Multidisciplinary Approach to Education and Research in the Field of Digital Media Production“ Sibiu, Rumunija.

Spisak rezultata M23 - Rad u međunarodnom časopisu

1. Dedijer Sandra; Tomić Ivana; Spiridonov Iskren; Boeva Rumyana;. Jurič (Rilovski) Ivana;. Milić Neda;. Đurđević Stefan; Ink - jet imprints in just noticeable color difference evaluation, Bulgarian Chemical Communications ISSN: 0324-1130, Vol. 49, No. L, Str. 140-147, Izdavač: Chemical Institutes of the Bulgarian Academy of Sciences and of the Union of Chemists in Bulgaria, 2017.
2. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Adamović (Majkić) Savka; Kašiković Nemanja; Milić Neda; Štrbac Branko; Hadžistević Miodrag; Colorimetric changes of thermochromic ink printed on smarttextile materials exposed to different heat transfer methods; Tekstil ve Konfeksiyon; Vol 29 (4); 2019.

Spisak rezultata M33 - Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini

1. Vladić Gojko; Delić Gordana;. Kašiković Nemanja;. Đurđević Stefan;. Banjanin Bojan; EYE TRACKING STUDY OF PACKAGING FORM JUDGMENT, International Conference on Circular Packaging CPC, Str. 85-94, ISBN 978-961-90424-5-8, Izdavač: Pulp and Paper Institute, 2019.
2. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Zeljković Željko; Kašiković Nemanja; Vladić Gojko; THE COLOURIMETRIC PROPERTIES OF SMART TEXTILE PACKAGING TEMPERATURE INDICATORS, International Conference on Circular Packaging CPC, Str. 119-127, ISBN 978-961-90424-5-8, Izdavač: Pulp and Paper Institute, 2019.
3. Zeljković Željko; Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Kašiković Nemanja; Vladić Gojko; DEVELOPMENT OF KNOWLEDGE BASE FOR SMART PACKAGING INDICATORS, International Conference on Circular Packaging CPC, Str. 185-196, ISBN 978-961-90424-5-8, Izdavač: Pulp and Paper Institute, 2019.
4. Adamović (Majkić) Savka; Pinčjer Ivan; Adamović Dragan; Zorić Vladimir; Đurđević Stefan, The impact of digital printing machines on indoor air quality, INTERNATIONAL Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Str. 39-43, ISBN 978-86-6022-115-7, Izdavač: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Grafičko inženjerstvo i dizajn, 2018.
5. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Adamović (Majkić) Savka; Boadu Frank; Adriana Rodríguez Lezaca; Zeljković Željko, DEVELOPING AUGMENTED REALITY APP FOR SMART PACKAGING, INTERNATIONAL Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Str. 435-443, ISBN 978-86-6022-115-7, Izdavač: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Grafičko inženjerstvo i dizajn, 2018
6. Vladić Gojko; Novaković Dragoljub; Delić Gordana; Milošević Rastko; Đurđević Stefan; USING MODERN INFORMATION TECHNOLOGY TO ENRICH THE PRESENTATION OF RESULTS IN SCIENTIFIC PUBLICATIONS, INTERNATIONAL Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Str. 421-426, ISBN 978-86-6022-115-7, Izdavač: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Grafičko inženjerstvo i dizajn, 2018.
7. Kašiković Nemanja; Vladić Gojko; Milošević Rastko; Đurđević Stefan; Jurič (Rilovski) Ivana; Novaković Dragoljub; Pavlović Živko; UBBING FASTNESS PROPERTIES OF DIGITAL PRINTED SAMPLES, 2nd International Printing Technologies Symposium - PrintIstanbul 2017 "Tehnologije štampe", No. 2, Str. 295-393, ISBN 978-9944-0636-7-8, Izdavač: Marmara Üniversitesi, 2017.

8. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Zeljković Željko; Kašiković Nemanja; THERMOCHROMIC INKS AND AUGMENTED REALITY AS PART OF NOVEL SMART PACKAGING SOLUTIONS, 2nd International Printing Technologies Symposium - PrintIstanbul 2017 "Tehnologije štampe", No. 2, Str. 153-159, ISBN 978-9944-0636-7-8, Izdavač: Marmara Üniversitesi, 2017.
9. Novaković Dragoljub; Pinčjer Ivan; Đurđević Stefan; Vladić Gojko; Kašiković Nemanja; Nedeljković Uroš; Improvement of E-learning Process of Packaging Rapid Prototyping Computer Numerical Control Machine Systems, The 9th International Symposium - KOD 2016 - Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, Str. 19-22, ISBN 978-86-7892-821-5, Izdavač: Faculty of Technical Sciences Novi Sad, 2016.
10. Vladić Gojko; Novaković Dragoljub; Kašiković Nemanja; Pinčjer Ivan; Đurđević Stefan; TRANSFORMING PRODUCT-CONSUMER COMMUNICATION THROUGH AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY, The 9th International Symposium - KOD 2016 - Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, Str. 29-32, ISBN 978-86-7892-821-5, Izdavač: Faculty of Technical Sciences — Novi Sad, Serbia, 2016.
11. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Zeljković Željko; Avramović Darko; USING AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY FOR CONTROLLING STATE OF SMART PACKAGING PRODUCTS, International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, Vol. 8, No. 8, Str. 427-437, ISBN 978-86-78928-67-3, Izdavač: UNIVERSITY OF NOVI SAD, FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES, DEPARTMENT OF GRAPHIC ENGINEERING AND DESIGN, 2016.
12. Vladić Gojko; Milić Neda; Đurđević Stefan; Milošević Rastko; Stančić Mladen; INTEGRATION OF AUGMENTED REALITY INTO THE CAD MODELING AND ENGINEERING DRAWING TRAINING OF DESIGNERS, International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, Str. 419-425, ISBN 978-86-78928-67-3, Izdavač: UNIVERSITY OF NOVI SAD FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES DEPARTMENT OF GRAPHIC ENGINEERING AND DESIGN, 2016.
13. Zeljković Željko; Novaković Dragoljub; Kašiković Nemanja; Milić Neda; Đurđević Stefan; The system for processing parameter identification in printing, International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, Str. 147-157, Izdavač: University of Novi Sad, Faculty of technical sciences, 2016.
14. Đurđević Stefan, Opportunities for augmented reality as part of smart packaging solutions, Smart Packaging 2016, Izdavač: Applied Market Information Ltd. (AMI), 2016.
15. Vladić Gojko; Kašiković Nemanja; Dedijer Sandra; Stančić Mladen; Đurđević Stefan; Influence of Packaging Shape on a Price Presumption, International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies, Str. 11-18, ISBN 978-615-5460-60-9, Izdavač: Obuda University, 2015.
16. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Milosavljević Branko; Kašiković Nemanja; Vladić Gojko; Identification of the food products in smart packaging solutions using modern TT, International Printing Technologies Symposium, Vol. 1, No. 1, Str. 171-181, ISBN 978-9944-0636-6-1, Izdavač: Printing Industry Education Foundation, 2015.
17. Zeljković Željko; Novaković Dragoljub; Avramović Darko; Đurđević Stefan; THE DEVELOPMENT OF KNOWLEDGE BASE SYSTEM FOR THE IDENTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE PRINTING PROCESS, INTERNATIONAL Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Str. 335-340, ISBN 978-86-7892-647-1, Izdavač: FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES, 2014.

18. Novaković Dragoljub; Karlović Igor; Đurđević Stefan; GRAPHIC TECHNOLOGIES IN TIMES OF CHANGE, INTERNATIONAL Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Str. 29-41, ISBN 978-86-7892-647-1, Izdavač: FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES, 2014.
19. Đurđević Stefan; Zeljković Željko, THE INTEGRATION OF TTI SENSOR OF SMART PACKAGING AND MODERN PERSONAL PORTABLE DEVICES, INTERNATIONAL Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Str. 401-410, ISBN 978-86-7892-647-1, Izdavač: FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES, 2014.

Spisak rezultata M51-Rad u vodećem časopisu nacionalnog značaja

1. Vladić Gojko; Kašiković Nemanja; Novaković Dragoljub; Pinčjer Ivan; Đurđević Stefan; ENRICHING PRODUCT EXPERIENCE BY AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY, Machine Design ISSN: 1821-1259, Vol. 8, No. 4, Str. 159-164, ISBN 1821-1259,; Izdavač: Fakultet tehničkih nauka Novi Sad,; 2016.
2. Novaković Dragoljub; Đurđević Stefan; Pinčjer Ivan; Zeljković Željko; Kašiković Nemanja; Application development for learning about graphic systems integrated in the platform of e-learning, Machine Design ISSN: 1821-1259, Vol. 7, No. 3, Str. 89-92, ISBN 1821-1259, Izdavač: University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, 2015.
3. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Kašiković Nemanja; Functional Design of Graphic Systems, Machine Design ISSN: 1821-1259, Vol. 6, No. 2, Str. 41-44, Izdavač: University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, 2014.

Spisak rezultata M53-Rad u naučnom časopisu

1. Petrović Saša; Novaković Dragoljub; Đurđević Stefan; Unapređenje kvaliteta procesa izrade kartonske ambalaže za tečnu hranu, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka ISSN: 0350-428X, Vol. 33, No. 3, Str. 339-342, UDK 655.3.066.25, Izdavač: Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, 2018.
2. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Kašiković Nemanja; Zeljković Željko; Milić Neda; Vasić Jelena; NFC Technology and Augmented Reality in Smart Packaging, International Circular of Graphic Education and Research ISSN: 2166-465X, Vol. 2018, No. 11, Str. 52-65, ISBN 1868-0879, Izdavač: The International Circle of Educational Institutes for Graphic Arts: Technology and Management; 2018.
3. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Zeljković Željko; Obućina Aldin; Using QR codes as the target for augmented reality applications, Techno Science - International Scientific Journal of Technical Science ISSN: 2490-2330, Vol. 2, No. 3, Str. 32-37, ISBN 2490-2330, Izdavač: Association for Research, Education and Development "NIA";2017.
4. Obućina Aldin; Garić Marija; Đurđević Stefan; Smailbegović Jasmir, High quality printing - Hi-Fi printing, Techno Science - International Scientific Journal of Technical Science ISSN: 2490-2330, Vol. 3, No. 2, Str. 38-43, ISBN 2490-2330, Izdavač: Association for Research, Education and Development "NIA", 2017.
5. Psodorov Branislav; Novaković Dragoljub; Đurđević Stefan, Ambalaža za pakovanje namirnica - kriterijumi odabira i novi trendovi, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka ISSN: 0350-428X, Vol. 30, No. 8, Str. 1391-1394, UDK 621.798.12, ISBN 0350-428X, Izdavač: Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, 2015.

6. Kašiković Nemanja; Milošević Rastko; Novaković Dragoljub; Stančić Mladen; Đurđević Stefan; Print Quality of Ink Jet Printed PVC Foils, Acta Graphica ISSN: 0353-4707, Vol. 26, No. 3, Str. 51-56, Izdavač: Faculty of Graphic Arts, University of Zagreb, Croatia, 2015.
7. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Vladić Gojko; Kašiković Nemanja; Avramović Darko; The development of novel smart packaging labels and mobile application for protection, information and identification of product shelf life, Acta Graphica ISSN: 0353-4707, Vol. 26, No. 4, Str. 35-41, ISBN 1848-3828, Izdavač: Faculty of Graphic Arts, University of Zagreb, Croatia, 2015.
8. Ćirković Sandra; Novaković Dragoljub; Đurđević Stefan; LENTICULAR PRINTING AS A SECURE LABEL OF GRAPHIC PACKAGING, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka ISSN: 0350-428X, Vol. 29, No. 10, UDK 621.798.12, ISBN 0350-428X, Izdavač: Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, 2014.
9. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Razvoj baze znanja aktivne i inteligentne ambalaže, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka ISSN: 0350-428X, Vol. 28, No. 10, Str. 1769-1772, UDK 004.41, ISBN 0350-428X, Izdavač: Fakultet tehničkih nauka, 2013.

Spisak rezultata M63 - Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini

1. Adamović (Majkić) Savka; Rajs Vladimir; Adamović Dragan; Novaković Dragoljub; Đurđević Stefan; Pinćjer Ivan; Uklanjanje anjonskih površinski aktivnih materija iz otpadnog ofset razvijaača primenom adsorpcije; Str. 231-239, ISBN 978-608-244-658-5, Izdavač: Univerzitet "Goce Delčev", Štip; (Polje rezultata: Tehničko-tehnološke nauke); Zaštita na radu - prioritet u poslovanju "Zaštita na radu" (16; Ohrid; 2019)
2. Adamović (Majkić) Savka; Novaković Dragoljub; Adamović Dragan; Pinćjer Ivan; Đurđević Stefan; Mihailović Aleksandra; Gravimetrijska analiza suspendovanih čestica u ambijentanom vazduhu digitalne štamparije, Str. 25-32, ISBN 978-86-919221-3-9, Izdavač: Savez zaštite na radu Srbije - IT, 15. Međunarodna konferencija "Kontinuirano usavršavanje osnov unapređenja zaštite na radu", 2018.
3. Adamović (Majkić) Savka; Adamović Dragan; Mihailović Aleksandra; Pinćjer Ivan; Banjanin Bojan; Đurđević Stefan; Analiza koncentracionih nivoa PM10 suspendovanih čestica u štampariji, Str. 165-168, ISBN 978-86-6022-123-2, Izdavač: University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Production Engineering; International Scientific Conference ETIKUM, 2018.
4. Adamović (Majkić) Savka; Prica Miljana; Gvoić (Kecić) Vesna; Novaković Dragoljub; Petrović Saša; Delić Gordana; Đurđević Stefan, Uklanjanje hroma iz otpadnog ofset razvijaača primenom zeolita, Str. 157-166, ISBN 978-86-919221-2-2, Izdavač: Savez zaštite na radu Srbije;, Zaštita na radu - Put uspešnog poslovanja, 2017.
5. Vladić Gojko; Kašiković Nemanja; Đurđević Stefan; Avramović Darko; Pál (Apro) Magdolna, TEHNIKE IZRADE INTERAKTIVNIH SIMULACIJA NAMENJENIH OBUCI OPERATERA GRAFIČKIH SISTEMA, Str. 83-87, Izdavač: Tehničko veleučilište u Zagrebu, Tiskarstvo i Dizajn, 2015.
6. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Kašiković Nemanja; Avramović Darko; Zeljković Željko, Inteligentna ambalaža kao nosilac informacija i sistem za praćenje stanja upakovanih namirnica, Vol. 20, Str. 93-99, ISBN 978-86-7401-323-6, Izdavač: Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu; Centar celulozno-papirne, ambalažne i grafičke industrije Srbije; International Symposium in the Field of Pulp, Paper, Packaging and Graphics "Simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike", 2015.

7. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Avramović Darko; Milošević Rastko; Zeljković Željko; Multimedijalna prezentacija aktivnog ambalažnog sistema integrisanog u platformu za e-obrazovanje, Str. 419-428, ISBN 978-953-7064-32-7, Izdavač: FS Fotosoft; Tiskarstvo i Dizajn, 2015.
8. Đurđević Stefan; Novaković Dragoljub; Avramović Darko; Milošević Rastko; Zeljković Željko; Multimedijalna prezentacija aktivnog ambalažnog sistema integrisanog u platformu za e-obrazovanje, Str. 419-428, ISBN 978-953-7064-32-7, Izdavač: FS Fotosoft; Tiskarstvo i Dizajn, 2015.

Spisak rezultata M64-Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u izvodu

1. Kašiković Nemanja; Vladić Gojko; Pál (Apro) Magdolna; Novaković Dragoljub; Đurđević Stefan; Uticajni parametri na kvalitet otiska dobijenog tehnikom sito štampe na PVC folije, Str. 12-12, Izdavač: Akademija Tehničkih Znanosti Hrvatske Centar za grafičko inženjerstvo; Tiskarstvo i Dizajn, 2015.

Spisak rezultata M85- Tehnička rešenja - priznat programski sistem

1. Novaković, D., Pavlović, Ž., Zeljković, Ž., Nedeljković, U. i dr.: Softverski model za unapređenje znanja i proizvodnje u grafičkoj industriji -Elaborat tehničkog rešenja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2015.