# Primjena inteligentne ambalaže u prehrambenoj industriji

**Sučić, Zvonimir**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:216:202473

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-10**

*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Graphic Arts Repository

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB**

# ZAVRŠNI RAD

Zvonimir Sučić

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB**

Smjer: Tehničko-tehnološki

# ZAVRŠNI RAD

## Primjena inteligentne ambalaže u prehrambenoj industriji

Mentor: Student:

doc. dr. sc. Sonja Jamnicki Hanzer Zvonimir Sučić

Zagreb, 2022.

Rješenje o odobrenju teme završnog rada i imenovanju mentora

# Sažetak

Prema definicijama dostupnima u literaturi, inteligentna ambalaža je sustav koji može „osjetiti“ i bilježiti svaku promjenu koja utječe na upakiran proizvod, što znači da se njene funkcije uključuju i isključuju kao odgovor na vanjske ili unutrašnje uvjete. Takva ambalaža može uključivati komunikaciju o valjanosti proizvoda s kupcem ili krajnjim korisnikom. Cilj ovog završnog rada je objasniti svrhu i prednosti inteligentne ambalaže, te kroz primjere primjene prikazati različite vrste ovog tipa ambalaže. U radu će se navesti i objasniti posebne vrste tiskarskih boja koje se koriste kod inteligentne ambalaže, te pokazati na koji način takva ambalaža može informirati kupca o promjenama koje utječu na proizvod, njegovu kvalitetu i svježinu. Osim kroz spomenute materijale za posebne namjene, interaktivnost ambalaže objasnit će se i kroz primjenu 2D kodova, te RFID i NFC sustava.

**Ključne riječi:** inteligentna ambalaža, interaktivnost, indikatori, senzori, sigurnost namirnica

# Summary

According to the definitions available in the literature, intelligent packaging is a system that can „feel“ and record any change that affects the packaged product, which means that its functions are turned on and off in response to external or internal conditions. Such packaging may include communication about the integrity and safety of the product with the customer or end user. The aim of this paper is to explain the purpose and advantages of intelligent packaging and to show different types of this kind of packaging through application examples. The paper will list and explain the special types of printing inks used in intelligent packaging and show how can such packaging inform the customer about the changes affecting the product, its quality, and freshness. In addition to mentioned materials for special purposes, the interactivity of packaging will be explained through the use of 2D codes, RFID, and NFC systems.

**Key words:** intelligent packaging, interactivity, indicators, sensors, food safety

# SADRŽAJ

**1.UVOD** ..... **1**

**2.TEORIJSKI DIO** ..... **2**

2.1. PREHRAMBENA AMBALAŽA ..... 2
2.2. PODJELA PAMETNE AMBALAŽE ..... 2
2.3. INTELIGENTNA AMBALAŽA ..... 2
*2.3.1. Interaktivna ambalaža* ..... *6*
*2.3.1.1. Barkodovi* ..... *7*
*2.3.1.2. RFID tehnologija (engl. Radio frequency identification device)* ..... *9*
*2.3.1.3. NFC tehnologija (engl. Near field communication)* ..... *10*
*2.3.2. Indikatori* ..... *11*
*2.3.2.1. Pokazatelji integriteta* ..... *11*
*2.3.2.2. Pokazatelji svježine* ..... *12*
*2.3.2.3. Pokazatelji vremena i temperature* ..... *13*
*2.3.3. Senzori* ..... *16*
*2.3.3.1. Senzori plinova* ..... *16*
*2.3.3.2. Senzori kisika* ..... *17*
*2.3.3.3. Biosenzori* ..... *19*
*2.3.4. Primjena kromogenih materijala* ..... *19*
*2.3.4.1. Termokromne boje* ..... *20*
*2.3.4.2. Fotokromne boje* ..... *22*
*2.3.4.3. Biokromne boje* ..... *23*

**3.ZAKLJUČAK** ..... **25**

**4.LITERATURA** ..... **26**

# 1.UVOD

Ambalaža kao grafički proizvod ima funkciju zaštite proizvoda od djelovanja vanjskih utjecaja, pri čemu ne smije doći do promjene fizičkih, kemijskih ni senzorskih svojstava upakiranog proizvoda. Ambalaža osim zaštitne funkcije ima i skladišno-transportnu (mora biti jednostavna i praktična u distribuciji i transportu), prodajnu (mora na najbolji način predstaviti proizvod i biti atraktivna za kupca) i uporabnu funkciju (jednostavna je za korištenje, lako se otvara i zatvara, a proizvod se iz nje lako vadi i konzumira). Danas se razvijaju nove tehnologije za pakiranje proizvoda koje uključuju korištenje kromogenih boja, indikatora, senzora, te barkodova pomoću kojih se može produžiti vijek trajanja proizvoda i osigurati zdravstvena ispravnost namirnica.

Svakodnevne promjene u načinu života i većoj kupovnoj moći potrošača, uzroci su stalnom razvoju novih vrsta ambalaža koje omogućuju lakše rukovanje, veću zdravstvenu sigurnost, pojačavaju atraktivnost proizvoda , te pružaju više informacija o proizvodu, a jedna vrsta takve ambalaže je upravo inteligentna ambalaža. Inteligentna ambalaža koristi različite indikatore koji upozoravaju na uvjete koji vladaju unutar ambalaže, pa tako postoje materijali koji ukazuju na te promjene poput indikatora promjene temperature, rasta bakterija, te kemijskih reakcija [1, 2]. Kod interaktivne ambalaže primjenjuju se barkodovi, 2D barkodovi, RFID, te NFC tehnologija pomoću kojih je moguće saznati određene informacije o proizvodu kao što su rok trajanja i kvaliteta proizvoda.

Cilj ovog rada je pokazati korisnost inteligentne ambalaže, te njenu svrhu, koje sve vrste inteligentne ambalaže postoje te koje su njene prednosti. U radu će se prikazati koje kromogene boje se koriste u tisku takve ambalaže i na koji način takva ambalaža informira korisnika o promjenama koje utječu na proizvod, na koji način je omogućeno praćenje kvalitete i svježine upakiranog proizvoda, te interaktivnost, koju osim primjenom navedenih boja možemo postići i u primjeni 2D kodova, te RFID i NFC sustava.

# 2.TEORIJSKI DIO

## 2.1. Prehrambena ambalaža

Svaka ambalaža mora imati zaštitna svojstva koja su vrlo bitna za svaki proizvod kako bi se isti zaštitio od vanjskih utjecaja tijekom distribucije od proizvođača do krajnje uporabe proizvoda. Ambalaža mora biti jednostavna za korištenje i mora na najbolji način prezentirati proizvod te biti atraktivna za kupca. Također, jedna od važnih funkcija je i ona da se hrana zapakira na ekonomski najisplativiji način, ali da istovremeno zadovolji uvjete industrije i potrošača, te da održi hranu sigurnom i zdravstveno ispravnom [3].

Tradicionalne funkcije ambalaže kao što su već spomenute zaštitna, prodajna, uporabna i skladišno-transportna funkcija, obogaćene raznim novim mogućnostima, predstavljaju novu eru pakiranja hrane. Praćenjem stanja okoliša u upakiranoj hrani moguće je procijeniti kvalitetu proizvoda i njegov rok trajanja te donijeti učinkovitije odluke optimiziranja protoka informacija unutar lanca opskrbe hranom [4].

## 2.2. Podjela pametne ambalaže

Pametna ambalaža je ona ambalaža koja osim zaštite proizvoda ima i nekoliko drugih zadaća, a koristi se najčešće u pakiranju prehrambenih i farmaceutskih proizvoda. Njena je funkcija da omogući lakše korištenja proizvoda, očuva njegovu kvalitetu i prenese informacije o trenutnom stanju proizvoda. Pametna ambalaža dijeli se na dvije podvrste – inteligentnu i aktivnu ambalažu [5].

Osnovna razlika između te dvije kategorije je ta da aktivna ambalaža može „osjetiti“ i samostalno reagirati na promjene u okolini, a to joj omogućuju aktivne komponente koje su sastavni dio takve ambalaže i koje služe tome da kontroliraju koncentraciju kisika, ugljikova dioksida, vlage ili djeluju antimikrobno. S druge pak strane, inteligentna ambalaža može informirati potrošača o promjenama unutar ambalaže pomoću indikatora koji su smješteni na njenoj površini s unutarnje ili vanjske strane, no ne smije mijenjati osobine ambalaže. Na inteligentnu ambalažu se najčešće apliciraju indikatori temperature i vremena na vanjsku površinu ambalaže, dok aktivna ambalaža koristi spomenute aktivne komponente koje osiguravaju da proizvod bude u najboljem mogućem stanju kada stigne do potrošača [1, 5].

## 2.3. Inteligentna ambalaža

Inteligentna ambalaža se ne odnosi samo na jednu tehnologiju, već na nekoliko tehnologija koje zajedno mogu obavljati određene funkcije i tako informirati potrošača o kvaliteti proizvoda. Prema definiciji navedenoj u *Uredbi komisije (EZ) br. 450/2009 od 29. svibnja 2009. o aktivnim i inteligentnim materijalima i predmetima koji dolaze u dodir s hranom* „inteligentni materijali i

predmeti“ označavaju materijale i predmete koji prate stanje zapakirane hrane ili okoline koja okružuje hranu [6]

Inteligentna ambalaža, sa svojom sposobnošću da detektira, „osjeti“ i zabilježi promjene u okolini proizvoda, predstavlja proširenje komunikacijske funkcije tradicionalne ambalaže. Svrha inteligentnog pakiranja hrane je praćenje i davanje informacija o kvaliteti pakirane hrane tijekom transporta i skladištenja, čime se jamči njena sigurnost. U konceptu pametne ambalaže, inteligentna ambalaža je komponentna odgovorna za osjet okoline unutar ili u neposrednoj blizini ambalaže, dok aktivna ambalaža daje poboljšanu zaštitu zapakiranoj hrani. Pametna ambalaža, tj. cjeloviti koncept ambalaže spaja prednosti koje proizlaze iz aktivne i inteligentne tehnologije, a osmišljen je kako bi povećao kvalitetu hrane, sigurnost proizvoda, rok trajanja i krajnjem korisniku pružio više informacija [4]. Dodatna prednost ovakvog načina pakiranja jest ta što trgovac može rekonstruirati put od pakiranja proizvoda do uporabe, uočiti nestručno rukovanje, kontaminaciju ili neadekvatno skladištenje, dok potrošač ima mogućnost dobivanja dodatne informacije o kvaliteti proizvoda putem indikatora [7].

„Inteligentnost“ ambalaže može imati više značenja, te ovisno o proizvodu koji se pakira, pokrivati više funkcionalnosti. Ambalaže koje se nazivaju „pametnima“ za trenutnu ili buduću funkciju trebale bi:

- zadržati integritet i aktivno sprječavati kvarenje hrane,
- poboljšati svojstva proizvoda,
- dati informaciju o promjeni unutar proizvoda ili okoline,
- dati informaciju potrošaču o podrijetlu namirnice ili stanju namirnice,
- pomoći pri otvaranju,
- potvrditi autentičnost proizvoda.

Kako bi bili praktični, trebali bi biti laki za rukovanje, ekonomski prihvatljivi i sposobni za obavljanje višestrukih zadaća [7].

Tehnologije inteligentne ambalaže ne razlikuju se samo po kompoziciji i po načinu na koji informiraju potrošača već i po količini i tipu podataka koje mogu prenijeti (slika 1). Inteligentnu ambalažu mogli bismo prema svojim osnovnim značajkama i funkcijama podijeliti na tri osnovne vrste:

- **Interaktivna ambalaža** (2D barkodovi, RFID i NFC)
- **Indikatori** ( pokazatelji integriteta, svježine, vremena i temperature)
- **Senzori** (senzori plinova, kisika, biosenzori)[4].

Slika 1. Podjela inteligentne ambalaže [7]

U Tablici 1 prikazane su navedene tehnologije inteligentne ambalaže, grupirane u tri vrste, naznačeno je područje primjene za svaki tip tehnologije i prikazani su primjeri proizvoda koji su dostupni u komercijalnoj primjeni.

Tablica 1.Prikaz različitih tehnologija inteligentne ambalaže i primjeri njihove primjene [4]

| TEHNOLOGIJA | | TEHNIČKA KOMPOZICIJA | PODRUČJA PRIMJENE | KOMERCIJALNI PROIZVODI/PRIMJERI |
|---|---|---|---|---|
| INTERAKTIVNA AMBALAŽA | **2D barkodovi** | 2D barkod je grafička slika koja sprema informacije o proizvodu okomito i vertikalno. Informacija se može očitati s odgovarajućim uređajem za skeniranje ili pomoću kamere. | Sva pakirana hrana. Koristi se u identifikaciji proizvoda, praćenju i upravljanju stokom. | Dostupne su besplatne online aplikacije za generiranje i čitanje koda, nakon čega se kod može otisnuti. Neki primjeri su:<br>http://barcode.tec-it.com/en<br>http://www.onlinebarcodereader.com |
| | **RFID oznake** | RFID oznaka je uređaj za prijenos podataka koji se sastoji od mikročipa pričvršćenog na antenu. RFID sustav predstavlja čitač (tj. uređaj za čitanje/pisanje koji se sastoji od odašiljača i prijemnika) i koristi elektromagnetske (EM) valove za komunikaciju s RFID oznakom preko antena. | Sva pakirana hrana. Koristi se za identifikaciju proizvoda, praćenju i upravljanju stokom.<br>Koristi se za identifikaciju proizvoda i sljedivosti, nadzor hladnog lanca (za rashlađenu hranu), upravljanje stokom i predviđanje roka trajanja. | CAEN RFID easy2logTM RT0005ET (CAEN RFID, Italija) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Senzorski omogućene RFID oznake** | RFID oznaka povezana sa senzorom osigurava opskrbu senzora energijom i pohranjivanje izmjerenih podataka. Senzor bi trebao moći izmjeriti jedno ili više svojstava (npr. temperaturu, relativnu vlažnost, pH, tlak, izloženost svjetlu, hlapljive spojeve i koncentraciju molekula plina). | Meso, voće i povrće. Koristi se u nadzoru hladnog lanca (za rashlađenu hranu), upravljanju stokom i predviđanju roka trajanja. Mjeri temperaturu, relativnu vlažnost, pH i šok. | TempTRIP® (TemTRIP, U.K.) Easy2log© (CAEN RFID, Italija) |
| **SENZORI** | **Senzori kisika** | Izrađen od materijala koji može promijeniti boju u prisutnosti kisika. Može biti napravljen od redoks bojila, metilenskog modrila, kombiniran s fotokatalitičkim titanijevim dioksidom. Senzor kisika baziran na fluorescenciji sastoji se od fluorescentnog ili fosforescentnog bojila u polimernoj matrici. Molekularni kisik prodire kroz obojeni polimerni film i gasi luminiscenciju (svjetlinu). | Sva pakirana hrana. Koristi se za detektiranje kisika unutar ambalaže, npr. za detekciju kisika u MAP i vakuumski pakiranoj hrani. | OxySense® (OxySense, SAD) |
| | **Senzori temperature** | Integrirani sklop s električnom komunikacijom s temperaturnim senzorom i antenom ili baterijom, te je konfiguriran za obradu signala iz temperaturnog senzora. | Mesni, riblji i mliječni proizvodi, pogotovo u rashlađenim i smrznutim proizvodima | ThinFilm (Thin Film Electronics ASA, Norveška) |
| | **Biosenzori** | Senzor je baziran na reakcijama antitijelo-antigen, što ukazuje na prisutnost patogene bakterije. U prisutnosti patogene bakterije, bakterijski toksin veže se za antitijela i imobiliziran je u tankom sloju filma, što rezultira vizualnim | Mesni i riblji proizvodi. | Toxin GuardTM (Toxin Alert Inc., Canada) [napuštena tehnologija]<br><br>Food Sentinel System® (SIRA Technologies, USA) [napuštena tehnologija] |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | signalom. | | |
| INDIKATORI | Indikatori vremena i temperature | Indikatori vremena i temperature (TTI) mogu se podijeliti na difuzijske, fotokromatske, mikrobne, enzimske i polimerne TTI. Odgovor može biti izazvan kemijskom reakcijom, fizičkom promjenom ili promjenom u biološkoj aktivnosti. Mogu se koristiti i termokromne boje koje ukazuju na temperaturu upakiranog proizvoda. | Mesni i riblji proizvodi, pogotovo rashlađeni i smrznuti proizvodi. Također se koriste i u rashlađenim bocama pića za prikaz idealno rashlađenog proizvoda. | MonitorMark (3M, SAD)<br><br>OnVuTM (BASF, Njemačka)<br><br>VITSAB (Vitsab International, Švedska) |
| | **Indikatori plina** | Indikatori plina pružaju informaciju o prisutnosti ili nedostatku određenog plina ili izmijenjene koncentracije plina. Mijenjaju boju zbog kemijske ili enzimske reakcije (npr. redoks reakcija). | Sva pakirana hrana. Mogu se koristiti da informiraju korisnika koliko dugo je prošlo od otvaranja proizvoda i prema tome, koliko dugo se isti još može koristiti, pomoću jednostavnog i intuitivnog vizualnog znaka. | Ageless Eye® (Mitsubishi Gas Chemical Company, Inc, Japan) Shelf Life Guard (UPM) [napuštena tehnologija] |
| | **Indikatori svježine** | Mogu se koristiti za detekciju $O_2$, $CO_2$, etilena, amina, amonijaka, etanola ili $H_2S$. Indikator (npr. pH osjetljivo bojilo) detektira proizvodnju i nakupljanje plinovitih tvari koje su posljedica zrenja i mikrobiološkog kvarenja. | Može se koristiti u mesnim i ribljim proizvodima, povrću i voću kao što su kivi, kruške, dinja, mango i avokado. | Freshpoint (Freshpoint Quality Assurance Ltd, Izrael)<br><br>Ripesense® (Ripesense, Novi Zeland)<br><br>FreshTag® (FreshTag, Nizozemska) |

### 2.3.1. Interaktivna ambalaža

Ona se odnosi na uređaje za prijenos podataka, kao što su 2D barkodovi, RFID (radiofrekventna identifikacija) i kratkodometna tehnologija prijenosa podataka (NFC), elektroluminiscentni ekrani i proširena stvarnost. Nositelji podataka sposobni su pohraniti podatke o skladištenju, distribuciji i karakteristikama upakirane hrane, te omogućiti učinkovitiji protok informacija u cjelokupnom lancu opskrbe hranom. Također je moguće integrirati druge funkcije u nosače podataka kako bi se dobile informacije o uvjetima skladištenja (temperatura i relativna vlažnost) ili informacije o kvaliteti hrane praćenjem mikrobioloških karakteristika [8].

#### 2.3.1.1. Barkodovi

Za potrebe ambalaže mogu se direktno tiskati na ambalažni materijal ili na naljepnice koje se lijepe na ambalažu i takav proizvod se transportira do prodajnih ili skladišnih mjesta, gdje se barkod skenira uz pomoć prikladne opreme i dekodira iz barkoda u određeni podatak o proizvodu. Po kapacitetu skladištenja informacija mogu se podijeliti na jednodimenzionalne (sadrže informacije poput serijskog broja, roka trajanja i dr.) i dvodimenzionalne. U tablici 2. nalazi se usporedba jednodimenzionalnih i dvodimenzionalnih barkodova koji se koriste, a pored njih koriste se i UPC, Code-128 i Code-39 barkodovi [1, 7].

Tablica 2. Usporedba jednodimenzionalnih i dvodimenzionalnih barkodova [7]

| **Tip** | **Jednodimenzionalni** | | | **Dvodimenzionalni** | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Oznaka** | **ITF-14** | **GSI-128** | **EAN-13** | **GSI DataMatrix** | **GSI QR Code** |
| Slika | | | | | |
| Kapacitet | 14 numeričkih znakova | 48 alfanumeričkih znakova | 13 numeričkih znakova | 3116 numeričkih, 2335 alfanumeričkih znakova | 7089 numeričkih, 4296 alfanumeričkih znakova |
| Višesmjerni | Ne | Ne | Da | Da | Da |
| Dodatni tipovi informacija | Ne | Serijski brojevi, rok trajanja | Ne | Serijski brojevi, rok trajanja | Eksterne URL informacije |
| Primjena | Ambalaža od valovite ljepenke | Logistika i tansport | Skeniranje proizvoda na mjestu prodaje | Metalna ambalaža | Informacije o proizvodu |

**UPC** (engl. Universal Product Code) su barkodovi koji se koriste za obilježavanje i skeniranje robe na prodajnim mjestima širom svijeta, a postoje dva tipa ovog koda: UPC-A kod koji se sastoji od 12 brojeva i UPC-E kod od 6 brojeva. Oni su po karakteristikama dosta slični EAN kodovima, no jedino po čemu se razlikuju je kapacitet, jer UPC može sadržavati samo 12 ili 6 numeričkih simbola (slika 2) [7].

Slika 2.: Primjeri tipova UPC barkoda [9]

**CODE 128** koristi se za logistiku i transport. Ovi kodovi se primjenjuju samo za proizvode koji se prodaju preko internet prodaje. Jedinstveni su jer mogu sačuvati informacije u obliku slova i brojeva. Podržavaju svih 128 znakova ASCII skupa [7].

**CODE 39** se sastoji od 43 alfanumerička simbola koji se pretežno koristi u automobilskoj industriji, mogu se koristiti i u ambalažnoj industriji. Prvotno je mogao koristiti samo 39 znamenki ili znakova, a sada može koristiti i do 43 pa je sličniji kodu 128 [7].

**EAN kodovi** su drugačiji stil barkoda koji se skeniraju tokom procesa odjave u trgovini, a izgled im je vrlo sličan UPC kodu. Dva su tipa EAN kodova: EAN-13 koji ima 13 znamenki umjesto UPC-ovih 12, te EAN-8, koji se koristi za proizvode gdje je prostor ograničen (slika 3) [7].

Slika 3.: primjeri EAN kodova [9]

**Dvodimenzionalni barkodovi** imaju kvadratni ili pravokutni oblik koji mogu biti ispunjeni kvadratima, krugovima ili drugim geometrijskim oblicima, no naspram jednodimenzionalnih barkodova, oni mogu sadržavati znatno veći kapacitet informacija kao i funkciju direktnog skeniranja. Jedan od izbora je Data Matrix barkod zbog sposobnosti ugradnje veće količine podataka u mali prostor i olakšano uklapanje na ambalažu. Drugi kod koji se pretežito koristi pri kupovini u velikim centrima su QR kodovi (engl. Quick Response Code) koji služe za skladištenje i brzo skeniranje svih podataka o proizvodu poput njegovog geografskog položaja, najnovijih akcija i promocija, te pronalazak najkraćeg puta od njihovog trenutnog položaja do odredišta (slika 4) [1, 7].

Slika 4.: Primjeri 2D kodova [1]

Kada skeniramo kodove možemo dobiti važne informacije o proizvodu, no mogu poslužiti i kao link za besplatnu igricu ili video.

#### 2.3.1.2. RFID tehnologija (engl. Radio frequency identification device)

Ova tehnologija primjenjuje identifikaciju pomoću radiofrekvencijske tehnologije kod koje se na dnu ambalaže ili u etiketi na ambalaži nalazi naljepnica (engl. tag) koja sadrži mikročip s informacijama o proizvodu, a potreban nam je poseban sustav koji će te informacije očitati. RFID tehnologija poboljšava mogućnost skladištenja informacija i praćenja stanja proizvoda unutar ambalaže, pa se osim općenitih informacija o proizvodu, preko odgovarajućih senzora u čipu prikupljaju i podatci o stanju proizvoda kao što su podatci o temperaturi, vlažnosti, sastavu plinske faze u ambalaži i dr. te se pri prekoračenju upisanih vrijednosti uključuje alarm [7]. Uređaji koji očitavaju ili zapisuju informacije na RFID naljepnice pomoću radio valova prenose signale koje prima antena u transponderu koji potom odašilje ranije spremljene podatke prema čitaču, pa ih je moguće čitati s određene udaljenosti (slika 5) [1, 5].

Slika 5.: Sustav za očitavanje RFID naljepnica [5]

Za ovu tehnologiju očekuje se da će doprinijeti održavanju sigurnosti namirnica tijekom proizvodnje, pakiranja i prodaje, a njena prednost pred barkodovima je to što se naljepnice mogu ugraditi unutar ambalaže bez negativnih posljedica na podatke. Transponderi se mogu podijeliti na aktivne koji rade na baterije, šalju signal čitaču i djeluju na udaljenosti od 50 m, te

na pasivne koji rade na udaljenosti do 5 m, no rade na osnovi energije koju šalje čitač što im daje neograničen vijek trajanja [5].

#### 2.3.1.3. NFC tehnologija (engl. Near field communication)

Tehnologija bežične komunikacije kratkog dometa koja se može usporediti sa drugim tehnologijama kao što su 3G, 4G, Wi-Fi, ali NFC koristi drugu frekvenciju, električno napajanje i komunikacijski protokol koji drugačije šalje i prima informacije. Značajno je doprinijela razvoju ambalaže te omogućila jednostavniju razmjenu podataka, brže transakcije zbog pametnih mobitela koji imaju već u sebi NFC čitače, pa je tako kupcima olakšana provjera u kakvom je stanju proizvod i da dobiju više informacija o samom proizvodu ili proizvođaču [1, 7]

Slika 6. Kutija za kolačiće „Les Macarons“ (Stora Enso) [8]

Na slici 6. prikazana je ambalaža koja koristi NFC tehnologiju koja pruža informacije o alergenima putem NFC oznake i mobilne aplikacije. Mobilni telefon će upozoriti potrošača ako se u proizvodu nalaze potencijalno štetne tvari. Osim NFC interakcije, pakovanje također sadrži i skrivenu UHF RFID antenu i čip kako bi spriječili neovlašteno otvaranje [8].

Slika 7.: „Pametna“ limenka s NFC oznakom [7]

### 2.3.2. Indikatori

Indikator se definira kao tvar koja promjenom nekog svojstva, najčešće boje, označava prisutnost ili odsutnost neke druge tvari ili pokazuje stupanj reakcije između dvije tvari [2]. Indikatori mogu pružiti kvalitativne ili polukvalitativne vizualne informacije o upakiranoj hrani pomoću npr. promjena u intenzitetu obojenja ili nepovratnoj promjeni boje. Mogu se koristiti za pružanje informacija o temperaturi, prisutnosti plina i hlapivih tvari, promjeni pH i mikrobiološkog kvarenja. Za razliku od senzora, indikatori ne sadrže receptor i pretvornik, radi čega ne mogu pružiti kvantitativne podatke niti ih ne mogu pohraniti već informacije daju izravno pomoću vizualnih promjena [2, 8].

Indikatori se mogu podijeliti na:

- **eksterne indikatore -** smješteni su s vanjske strane ambalaže, a neki od ovih indikatora su indikator vremena koji ukazuje na istek roka trajanja namirnice, te indikator promjene temperature. Boja osjetljiva na toplinu koja mijenja obojenje ovisno o temperaturi proizvoda koristi se kao indikator topline, pa se može primijeniti na bocama pića da bi se pokazala optimalna temperatura potrebna za konzumiranje [5],
- **interne indikatore** – smješteni su unutar ambalaže, većinom su prozirni i potrošaču daju informaciju o promjenama unutar ambalaže. Jedan takav indikator je indikator koncentracije štetnih plinova koji mijenja boju povećanjem količine plina u ambalaži, pa tako daje do znanja da se namirnica kvari i tako potrošaču garantira svježinu i sigurnost proizvoda. Također postoje i indikatori razvoja mikroorganizama koji ukazuju na mikrobiološko kvarenje namirnice [5].

#### 2.3.2.1. Pokazatelji integriteta

Metode ispitivanja kvalitete proizvoda u ambalaži izbjegavaju se tako što se danas koriste indikatori koji pružaju informacije o kvaliteti preko vizualnih promjena ili na osnovu usporedbe sa standardnim referencama. Većina indikatora izrađena je prvenstveno da bi se ispitao i provjerio integritet ambalaže kao vrlo bitan čimbenik sigurnosti i kvalitete proizvoda u ambalaži, a nedovoljno čvrsti spojevi ili nepravilno zatvoreni otvori koji dovode do curenja proizvoda su najčešći uzrok narušavanja integriteta ambalaže. Ako se postavi **indikator koji pokazuje curenje proizvoda**, integritet ambalaže očuvat će se kroz duži period tijekom proizvodnje i distribucije [2].

**Vizualni indikator promjene koncentracije kisika** dosta se često koristi u ambalaži s modificiranom atmosferom. Većina proizvoda pakira se u atmosferi s koncentracijom kisika od 0 do 2%, osim pakiranja svježeg mesa gdje je poželjna veća koncentracija kisika zbog očuvanja boje proizvoda. Indikatori koji se sastoje od raznih redoks bojila izrađuju se zbog nepravilno zatvorene ambalaže koja rezultira povećanjem koncentracije kisika, a nedostatak takve ambalaže je prevelika osjetljivost. Zbog promjene od samo 0.1% u koncentraciji kisika dolazi

do promjene boje što znači da je indikator osjetljiv i na male zaostale količine kisika unutar ambalaže s modificiranom atmosferom. Pored bojila osjetljivog na kisik, neki indikatorski sustavi također sadrže i komponentu koja apsorbira kisik, pa takav sustav predstavlja kombinaciju aktivne i inteligentne ambalaže [2, 5].

**Vizualni indikator ugljikovog dioksida** sadrži kalcijev hidroksid koji apsorbira $CO_2$ i indikatorsko redoks bojilo koje je ugrađeno u polipropilensku smolu, pa se može primijeniti za pakiranja mesnih proizvoda [2].

#### 2.3.2.2. Pokazatelji svježine

Pružaju direktnu informaciju o svježini i kvaliteti proizvoda tako što detektiraju mikrobiološki rast i kemijske promjene unutar namirnice. Na osnovu reakcije indikatora unutar ambalaže i metabolita koji nastaju kao rezultat mikrobiološkog djelovanja može se odrediti mikrobiološka kvaliteta. Indikatori su sposobni detektirati određene spojeve koji nastaju kao rezultat kemijskih promjena u proizvodima (slike 8 i 9) [5].

Slike 8. i 9. Primjeri indikatora svježine [1, 2]

Brojni metaboliti služe kao markeri u razvoju indikatora svježine proizvoda, a neki od primjera su sljedeći:

- Kod mesnih proizvoda mogu se tokom skladištenja pratiti promjene koncentracije organskih kiselina poput n-butiratna, L-laktatna, D-laktatna i octene kiseline, gdje se kao pokazatelji takvih promjena obično koriste različiti pH indikatori.
- Važan pokazatelj fermentativnog metabolizma bakterija mliječne kiseline, zajedno s mliječnom i octenom kiselinom je etanol. Razna istraživanja pokazala su da kod

marinirane piletine, vrijeme skladištenja ima utjecaj na povećanje koncentracije etanola u anaerobnoj ambalaži s modificiranom atmosferom, pa su indikatori koji detektiraju etanol korisni u praćenju kvalitete ovakvih proizvoda.

- Ugljikov dioksid je također jedan od pokazatelja kvarenja prehrambenog proizvoda koji se javlja kao popratna pojava mikrobiološkog rasta, no pakiranja mesnih proizvoda u modificiranoj atmosferi su izuzetak jer se kod njih teže prate takve promjene zbog visoke koncentracije ugljikovog dioksida koja može biti od 20 do 80%.
- Stvaranje vodikovog sulfida koji ima intenzivan miris dolazi prilikom kvarenja mesnih proizvoda kada se cijepaju cisteini. On se veže na mioglobin i daje zeleni pigment, sulfmiocin, pa se prema toj reakciji rade indikatori svježine za ambalažu određenih mesnih proizvoda [2, 5].

Inovativni indikator svježine Freshcode (tvrtka Kao Chimigraf) ukazuje potrošačima, distributerima i proizvođačima ambalaže idealno razdoblje za konzumaciju pilećih prsa pakiranih u modificiranoj atmosferi (MAP). Indikator sadrži inteligentnu boju koja postupno mijenja obojenje kako bi pokazala razinu svježine. Kada naljepnica prijeđe iz bijele u potpuno crnu boju, proizvod više nije prikladan za konzumaciju (slika 10) [8].

Slika 10.: Freshcode indikator svježine [8]

### 2.3.2.3. Pokazatelji vremena i temperature

Indikator vremena i temperature (engl. TTI – time-temperature indicator) pruža vizualne informacije o promjenama temperature kojima je bio izložen proizvod tokom skladištenja i distribucije, što je korisno kao upozorenje za promjene temperature kod hlađenih ili smrznutih proizvoda. Pomoću ovakvih indikatora može se dobiti uvid u povijest promjena temperature kojima je bio izložen proizvod. [2, 7]. Rad ovih indikatora temelji se na:

- mehaničkim,

- kemijskim,
- elektrokemijskim,
- enzimskim i
- mikrobiološkim promjenama

koje rezultiraju vidljivom promjenom poput mehaničke deformacije, nastajanje ili promjena boje [2].

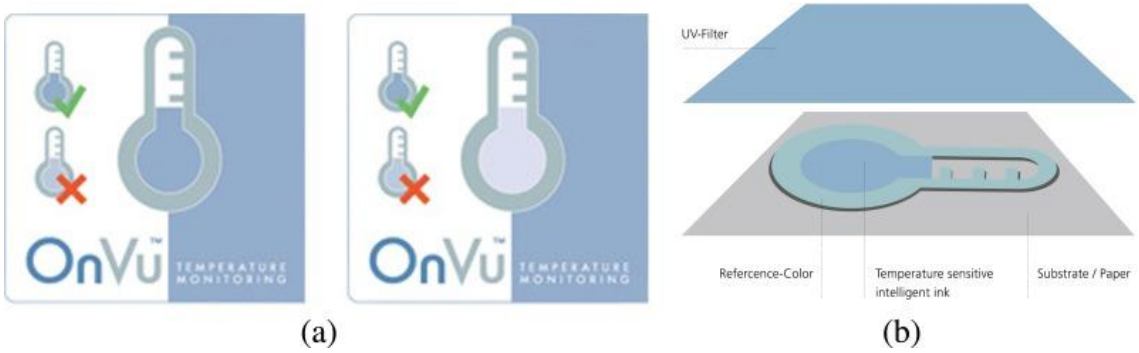
Ovi indikatori mogu se podijeliti s obzirom na to pružaju li djelomičnu ili cjelokupnu informaciju o promjenama kojima je proizvod bio izložen tokom skladištenja. Indikatori s djelomičnim pružanjem informacija neće reagirati sve dok ne dođe do povećanja neke granične vrijednosti, npr. temperature, nakon čega ukazuju da je proizvod izložen temperaturi koja je dovoljna da uzrokuje promjene u kvaliteti i sigurnosti proizvoda, dok oni indikatori s cjelokupnom povijesti promjena temperatura konstantno pružaju informacije o temperaturi proizvoda, pa se na njih fokusira većina istraživanja [2, 5].

Indikatori vremena i temperature su najčešće male etikete ili naljepnice koje se lijepe na proizvod i prate vrijeme i temperaturu koji utječu na kvarenje proizvoda, u čitavom ciklusu od proizvodnje do potrošača. One moraju zadovoljavati određene uvjete za komercijalnu primjenu kao što su niska cijena, male dimenzije, otpornost i pouzdanost [2].

Keep-It indikator (razvijen od kompanije Keep-it Technologies®) pokazuje koliki je rok trajanja proizvoda, odnosno period u kojem je proizvod dobar za konzumaciju. Indikator bilježi temperaturu kojoj je losos izložen, pa tako kada je pohranjen u hladnom, inteligentna boja u indikatoru kreće se polako, tamna traka je dugačka, što znači da je proizvod svjež, no ako se poveća temperatura, boja se pomiče brže i tamna traka se skraćuje ukazujući na to da proizvodu ističe rok trajanja (slika 11) [8].

Slika 11.: Keep-It indikator vremena i temperature [8]

OnVu (razvijen od tvrtke BASF) je jednostavna inteligentna tehnologija koja upozorava potrošača da li je proizvod bio izložen nesigurnoj temperaturi. Ovaj uređaj može se koristiti za praćenje svježih ili smrznutih proizvoda u hladnom lancu opskrbe od proizvodnje do krajnjeg korisnika. Baziran je na tiskanoj, inteligentnoj tehnologiji boje osjetljivoj na temperaturu. Automatski se aplicira na unutrašnju ili vanjsku stranu ambalaže u liniji proizvodnje u trenutku pakiranja. Ovaj indikator se aktivira izlaganjem UV svjetlosti u liniji proizvodnje, uzrokujući da postane tamnoplav. Od tog trenutka nadalje, indikator nadzire hladni ili smrznuti lanac. Ako se hladni lanac prekine, boja blijedi. Vrlo tanki sloj UV filtera štiti uređaj od neželjene aktivacije (slika 12) [10].




Slika 12. OnVu indikator a) promjena boje, b) struktura [10]

Status indikatora može se provijeriti golim okom bez potrebe za specijalnom opremom, međutim OnVu sustav može biti prilagođen da pruži digitalnu informaciju. Posebno je izrađen uređaj za mjerenje (slika 13) [10].

Slika 13. Uređaj za mjerenje za OnVu [10]

Kao indikator temperature, sa svrhom upućivanja na idealno rashlađen proizvod, koristi se termokromna boja koja mijenja obojenje ovisno o temperaturi kojoj je proizvod izložen, te ukazuje na prikladnu temperaturu za konzumaciju gaziranog pića (slika 14) [8].

Slika 14.:Indikator temperature – upućivanje na idealno rashlađen proizvod [8]

### 2.3.3. Senzori

Koriste se u ambalaži u svrhu prikupljanja i pružanja kvantitativnih informacija o ambalaži i njenom sadržaju. Oni otkrivaju, snimaju i prenose informacije o promjenama u okolini hrane, prate stanje ili radnu povijest upakirane hrane. Senzori prate određene funkcionalnosti, npr. pH, vrijeme i temperaturu, prisutnost sumporovodika, kisika ili ugljikovog dioksida [8].

Senzori su uređaji pomoću kojih se može detektirati, locirati i mjeriti energija ili tvar dajući pri tome signale fizikalnog ili kemijskog svojstva na koje uređaj reagira. Uređaj koji se kvalificira kao senzor mora imati mogućnost davanja kontinuiranih signala, te sadržavati receptor koji fizikalno ili kemijsko svojstvo pretvara u oblik energije koji pretvornik može mjeriti i pretvornik koji tu energiju dalje pretvara u analitički signal [2, 4].

Senzori koji su u upotrebi kod inteligentne ambalaže mogu se podijeliti na senzore plinova, senzore kisika, te biosenzore.

#### 2.3.3.1. Senzori plinova

Ako postoji prisutnost plinskog analita reagirat će senzor plinova, gdje sve to nadzire uređaj s vanjske strane ambalaže. Današnji sustavi za detekciju plinova uključuju:

- amperometrijski senzor kisika
- potenciometrijski senzor ugljikovog dioksida,
- organski vodljivi polimeri,
- piezoelektrični kristalni senzori.

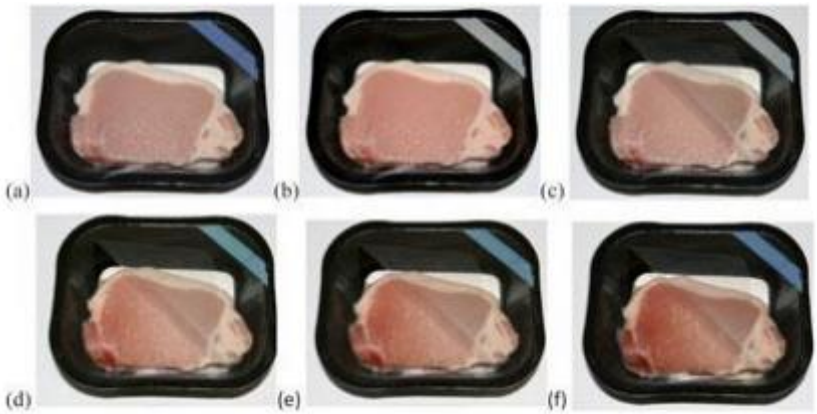
Određene nedostatke poput potrošnje analita (kisika), unakrsne osjetljivosti na ugljikov dioksid i vodikov sulfid, te onečišćenja membrane nalazimo kod senzora kisika temeljenih na elektrokemijskim metodama, pa kako bi se riješili tih nedostataka razvijaju se optički senzori kisika koji su izrađeni od čvrstog materijala i rade na principu promjene luminiscencije ili apsorbancije do koje dolazi prilikom direktnog kontakta s analitom [2]. Jedan takav senzor je

„O2xyDot“ ( razvijen od tvrtke OxySense) koji se koristi za otkrivanje prisutnosti kisika unutar ambalaže, te se pričvršćuje unutar ambalaže prije punjenja i brtvljenja. Ako je senzor (bojilo) osvijetljen, on će apsorbirati plavo svjetlo i fluorescirati (emitirati) crvenu svjetlost, a mjeri se životni vijek fluorescencije. Prisutnost kisika smanjuje fluorescentnu svjetlost bojila (senzora), kao i njegov životni vijek. Različito vrijeme fluorescencije označava različitu koncentraciju kisika (sika 15.) [8].

Slika 15. Uređaj za otrkivanje prisutnosti kisika unutar ambalaže [8]

### 2.3.3.2. Senzori kisika

Tokom skladištenja hrane, aerobni mikroorganizmi mogu se umnožavati i omogućiti prisutnost kisika unutar ambalaže. Kada nema vizualne indikacije, sposobnost detektiranja prisustva kisika unutar ambalaže, npr. za svježe meso, već u ranoj fazi upozorava potrošača da je proizvod bio u ugroženim uvjetima, pa se tako većina ovakvih sustava ambalaže oslanja na promjenu boje senzora u ovisnosti od prisustva ili odsutnosti kisika (slika 16) [7].



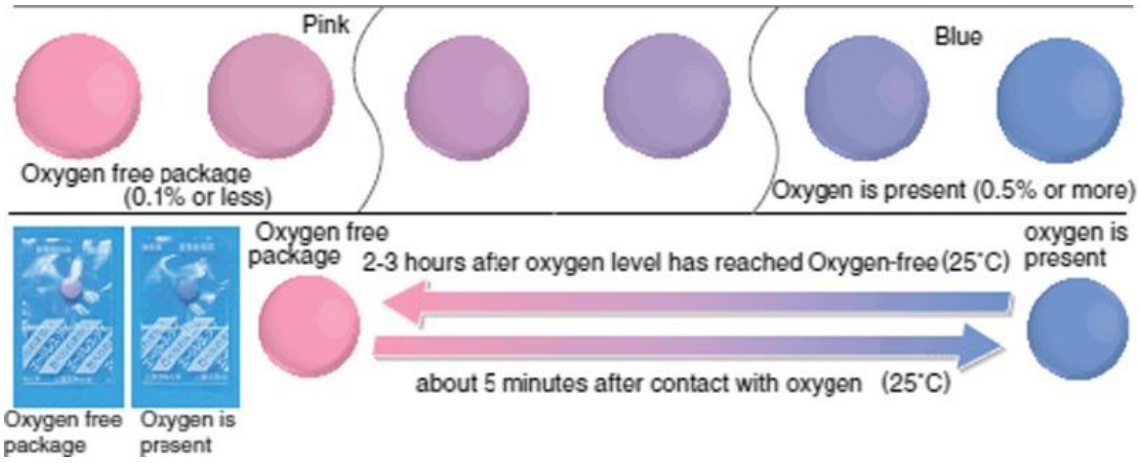

Slika 16. Ambalaža sa senzorima kisika [2]

Fluorescentni senzor kisika ima aktivnu komponentu koja se sastoji od fluorescentnog ili fosforescentnog bojila ugrađenog u čvrsti polimerni matriks u obliku tankog filma koji se stavlja na ambalažu. Procesom difuzije, molekularni kisik prisutan u pakiranju prodire kroz taj film i hvata luminiscenciju dinamičnim mehaniznom, odnosno mehanizmom sudara, dok se promjenom parametara luminiscencije određuje količina kisika. U reakciji koja se događa ni bojilo ni kisik se ne troše, ne nastaju nusprodukti i proces se može ponoviti. Senzor se izrađuje od materijala koji moraju pokazivati svojstva fluorescencije, imati odgovarajuću osjetljivost, dobro razdvojene vrpce ekscitacije i emisije da bi se mogli komercijalno koristiti u inteligentnoj ambalaži. Kod bojila, najbolje odgovaraju fluorescentna i fosforescentna te sa zadovoljavajućom fotostabilnošću. Takva svojstva omogućavaju senzoru kompatibilnost s jednostavnim i jeftinim mjernim uređajima (LED diode, fotodiode i dr.) [2].

Za određivanje osjetljivosti i učinkovitosti rada senzora glavni faktor gdje se odvija reakcija hvatanja kisika je kombinacija indikatorskog bojila i polimera u koji je bojilo ugrađeno, a u prehrambenoj industriji su se najučinkovitijima pokazala bojila s dugim vremenom emitiranja, npr. Pt-porfirin u kombinaciji s polistirenom kao polimernim matriksom [2].

Procesom otapanja lipofilnog indikatorskog bojila i odgovarajućeg polimera u organskom otapalu izrađuje se senzor. Takav koktel nanosi se na čvrsti supstrat poput poliesterskog filma ili stakla, ostavlja da se osuši i nastane fluorescentni sloj kako bi se dobio obojeni senzor, promjera 1 do 2 cm i vidljiv na različitim materijalima Aktivni elementi senzora kisika su otporni, pogodni za dugoročno i kontinuirano praćenje, te se vrlo lako zbrinjavaju nakon upotrebe, no ovakvi senzori imaju više uspjeha u područjima koja nisu vezana uz hranu [2].

Jedan primjer senzora kisika je Ageless-eye™ razvijen od tvrtke Mitsubishi Gas Chemical Corporation, koji su također proizvođači malih vrećica koje apsorbiraju (uklanjaju) kisik (Ageless®). Ageless Eye vrećice sadrže tabletu kao indikator kisika kako bi se potvrdilo normalno funkcioniranje Ageless apsorbera (slika 17) [10].




Slika 17. Tablete indikatora kisika (Tell-Tab™) koje koristi Ageless-eye™ senzor [10]

Ako u neposrednoj blizini namirnice nedostaje kisika (≤0.1 %) indikator (tableta) će biti roze boje, a ako je kisik prisutan u sustavu (≥0.5 %), promjenit će boju u plavu [10].

#### 2.3.3.3. Biosenzori

Analitički uređaj koji detektira, zapisuje i pruža informacije o biološkim reakcijama. Sastoji se od bioreceptora specifičnog za svaki analit koji se detektira, i pretvornika, koji biološke signale pretvara u mjerljive električne signale. Pretvornik može biti elektrokemijski (amperometrijski, potenciometrijski ili konduktometrijski/impedimetrijski), optički, piezoelektrični ili kalorimetrijski. Idealan biosenzor treba biti dovoljno osjetljiv, precizan i točan, te mora biti ekonomičan, malih dimenzija i jednostavan za rukovanje i razumijevanje [10]. Mnoge platforme razvijaju se za detekciju biomolekula i mikroorganizama, a bazirane su na nanotehnologiji, međutim većina ih je ugrađena u uređaje i zahtijevaju uzimanje uzoraka kako bi se utvrdilo prisustvo ciljanih molekula. Ovakvi sistemi usmjereni su na otkrivanje rasta mikroorganizama, pa je izazov za njih da moraju biti u stanju integrirati se u ambalažu, da proizvedu prepoznatljiv odgovor (promjena boje), i da su jeftini za proizvodnju. Primjer platforme za biosenzore su biorazgradiva i jestiva nanostrukturna svila i vodljivi polimeri [1, 2, 7].

Toxin Guard™ razvijen od tvrtke Toxin Alert i tvrtke Food Sentinel Systems je vizualni senzor baziran na antitijelo-antigen reakcijama. Senzor je integriran u polimerne folije za pakiranje hrane koje ukazuju na prisutnost patogenih bakterija. Antitijela se nalaze pričvršćena u tankom sloju fleksibilnog polimernog filma i njihove promjene u boji ili obliku izazvane su reakcijama s ciljanim patogenom. Ovaj senzor zahtijeva prostorno rukovanje i na njegovu performansu ne utječu okolišni faktori kao što su npr. toplina, hladnoća ili obrada mikrovalovima, štoviše senzor ostaje stabilan minimalno devet mjeseci. Međutim, nedostatak ovog sistema je taj da detektira samo veliku kontaminaciju i neosjetljiv je u otkrivanju vrlo niskih razina patogena koji mogu uzrokovati bolest [10].

### 2.3.4. Primjena kromogenih materijala

Kromogeni materijali mijenjaju svoja svojstva, tj. boju ovisno o promjeni vanjskih podražaja na koje su osjetljivi, pa tako kromogene boje mogu biti :

- Termokromne- do promjene boje dolazi zbog promjene temperature,
- Fotokromne- pod utjecajem svjetlosti dolazi do promjene boje,
- Piezokromne- do promjene boje dolazi zbog pritiska,
- Elektrokromne- do promjene boje dolazi zbog promjene električnog polja,
- Biokromne- pod utjecajem biokemijske promjene dolazi do promjene boje [11].

Boje koje se najčešće koriste su termokromne i fotokromne boje, koje se kod inteligentne ambalaže koriste za izradu indikatora vremena i temperature, indikatora svježine i kod RFID tehnologije za izradu etiketa. Boje se mogu podijeliti i prema trajanju promjene na reverzibilne,

koje promijene boju na onoliko koliko traje sami uzrok promjene i vraćaju se u svoje prvobitno stanje, te na ireverzibilne boje, koje ostaju promijenjene i kada uzrok promjene prestane djelovati. Kromogene boje primjenjuju se od niza grafičkih proizvoda i ambalaže do zaštitnih dokumenta, komercijalnog tiska i tekstila [1, 11].

#### 2.3.4.1. Termokromne boje

Termokromne boje mijenjaju svoje obojenje pod utjecajem promjene temperature, a primjena u grafičkoj industriji je sve veća. Dijele se na boje na bazi tekućih kristala i leukobojila. Termokromne boje koje imaju višu aktivacijsku temperaturu daju stabilnije i intenzivnije boje. Temperatura aktivacije je granična temperatura pri kojoj dolazi do promjene obojenja. Kako je pokritnost termokromnih boja slaba, potrebni su deblji nanosi boje da bi se dobili optimalni rezultati, što se najbolje postiže tiskom u tehnici sitotiska. Mogu se primijeniti na gotovo svaku podlogu (papir, tekstil, drvo, metal, staklo i slično), no iako su skuplje od običnih konvencionalnih boja, postoje mnogobrojne tvrtke koje tim bojama sve više otiskuju svoje proizvode kako bi privukli pozornost potrošača, te da se njihovi proizvodi razlikuju od onih koji koriste konvencionalne tiskarske boje koje su statične [1, 11].

Glavne razlike termokromnih boja na bazi tekućih kristala i na bazi leukobojila su promjena boje unutar vidljivog spektra, jednostavnost primjene i točnost indikacije temperature. Boje na bazi tekućih kristala imaju kontinuirano obojenje duž cijelog spektra, a boje na bazi leukobojila mogu promijeniti stanje iz jedne boje u drugu ili iz obojenog u transparentno stanje. Za boje na bazi leukobojila možemo reći da su i dinamičke boje, jer mogu biti u dva optička stanja, obojenom i neobojenom, te se češće primjenjuju od boja na bazi tekućih kristala [11].

Bojila (engl. dye), razvijač i otapalo pomiješani u točno određenim omjerima zajedno čine kolorant termokromne boje na bazi leuko bojila. Promjena boje događa se u dvije reakcije, između bojila i razvijača koja se odvija pri nižim temperaturama gdje je otapalo u krutom stanju, te između otapala i razvijača gdje se povećanjem temperature otapalo mijenja iz krutog stanja u tekuće pa tako cijeli sustav prelazi u bezbojno stanje. Hlađenjem sustava otapalo prelazi natrag u kruto stanje, a razvijač i bojilo ponovno se spajaju te se boja vraća u prvobitno stanje. Za dobivanje termokromnog efekta najvažnija je reakcija između otapala i razvijača [1].

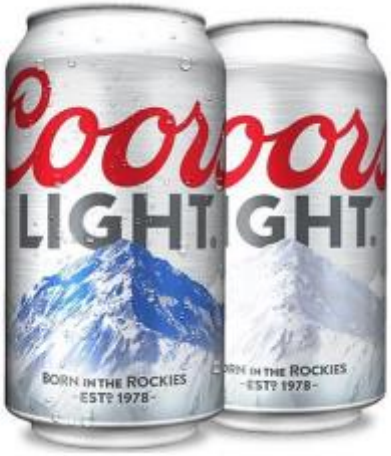
Temperaturna aktivacija ima tri standardna temperaturna područja o kojima ovisi cijeli proces promjene a to su: hladno (~10°C), temperatura ljudskog tijela (~31°C) i vruće (~43°C). Osim promjene obojenog stanja u bezbojno, leukobojila mogu prelaziti iz jedne u drugu boju (slika 18) što se postiže miješanjem termokromnih koloranata na bazi leukobojila (koji su npr. nositelji plave boje) s konvencionalnim pigmentima (npr. žuti pigmenti). Tako na primjer, kombinacija navedenih plavih i žutih koloranata na nižim temperaturama daje zelenu boju, a pri višim temperaturama, kada termokromni kolorant prelazi u obezbojeno stanje, pojavljuje se žuta boja. Otiskivanje boja na bazi leukobojila preporuča se na što svjetliju tiskovnu podlogu,

najbolje bijelu, dok se za boje na bazi tekućih kristala preporuča otiskivanje na crnu podlogu [1, 11].

Slika 18. Primjer termokromne boje na indikatorima [1]

Termokromni materijali svoju primjenu našli su kao indikatori svježine i temperature proizvoda u prehrambenoj industriji, kao i na ambalaži piva ili vina gdje ukazuju na idealnu temperaturu za konzumiranje [1].

Limenka Coors Light piva je jedna od najpoznatijih primjena boja na bazi leukobojila gdje se na limenci nalazi planinski krajolik uz logo tvrtke. Ako je temperatura na razini sobne temperature planina će biti obojana u bijelo, a kada se limenka ohladi na 7 stupnjeva Celzijusa planina će poprimiti plavu boju. Međutim, kako se pivo grije u ruci, obojenje planine vraća se u prvobitno stanje, a postupak promjene može se nekoliko puta ponoviti (slika 19) [11].




Slika 19. Primjena leukobojila na limenkama [11]

Naš pivski brand Ožujsko također ima etiketu koja je izrađena pomoću boja na bazi leukobojila. Termokromna etiketa tokom hlađenja postupno mijenja boju iz bijele u plavu, koja ukazuje potrošaču na idealnu temperaturu za konzumiranje (slika 20) [11].

Slika 20. Termokromna boja na etiketi [11]

Termokromne boje na bazi tekućih kristala našle su primjenu kao indikatori koji pokazuju idealnu temperaturu vina. Indikatori se postavljaju na dijelu boce koji je čist, suh i udaljen od etikete. Kada se vino ohladi na temperaturu koja se preporuča za konzumaciju određene vrste vina, indikator će pokazati kada je vino spremno za korištenje. Indikator se mora čuvati na suhom i mračnom mjestu, mora se držati dalje od UV zračenja te visoke temperature (ispod -5°C i iznad 40°C) (slika 21) [11].

Slika 21. Primjena termokromnih boja na bazi tekućih kristala na boci vina [11]

### 2.3.4.2. Fotokromne boje

Fotokromna boja omogućuje da se pod specifičnim uvjetima mjenja boja materijala odnosno da nakon izlaganja direktnoj sunčevoj svjetlosti boje postaju vidljive, a kada se maknu sa sunca obojenje nestaje [7].

Plastisol fotokromna boja proizvođača SFXC je jedan od primjera, gdje se nudi 17 različitih tonova ove boje među kojima su: plava, cijan, žuta, crvena, crna, zelena, tamnoplava, ljubičasta, smeđa, narančasta, svjetlo plava, ružičasta i zlatna. Izloženost direktnoj sunčevoj svjetlosti materijala koji ima ovu boju od trajanju od 15 sekundi, početno stanje tona mijenja se u jednu

od 17 intenzivnih navedenih boja, ali kada se materijal makne sa sunčeve svjetlosti, u roku od 5 minuta boja će se vratiti u početno stanje (slika 22) [1, 7].

Slika 22. Primjer fotokromne boje [1]

### 2.3.4.3. Biokromne boje

Svoje obojenje mijenjaju pod utjecajem biokemijske promjene unutar ambalaže, a to može biti promjena količine amonijaka ili uslijed reakcije antitijela na prisutnost bakterija u ambalaži. One se mogu koristiti kod indikatora svježine, indikatora vremena i temperature, indikatora kemijskih promjena te bioindikatora [1].

Indikatori svježine bazirani su na tehnologiji otkrivanja ciljanog metabolita povezanog s mikrobiološkim propadanjem pa se za različite vrste hrane koriste različiti markeri za otkrivanje određenih amina, kiselina, plinova, i dr.

Indikatori kemijskih promjena mijenjaju boju na osnovu promjene pH vrijednosti unutar ambalaže ili pod određenim elektrodnim potencijalom. To su redoks indikatori koji moraju imati brzu i reverzibilnu promjenu, pa se mogu koristiti metal-organski spojevi ili pravi organski redoks sustavi.

U prehrambenoj industriji se češće koriste indirektni bioindikatori zbog premale osjetljivosti direktnih. Jedan primjer indirektnog vremensko-temperaturnog bioindikatora je (eO)® naljepnica tvrtke Cryolog, čija se tehnologija bazira na mikroorganizmima koji simuliraju kvarenje zapakiranog proizvoda. Naljepnica će se promijeniti iz zelene u ljubičastu ako je proizvod bio predugo izložen nepovoljnim temperaturnim uvjetima ili je prestar za konzumaciju (slika 23) [1].

Slika 23. Vremensko-temperaturni bioindikator [1]

# 3.ZAKLJUČAK

Ambalaža ima mnogo funkcija od kojih je glavna ona da zaštiti proizvod od bilo kakvih vanjskih utjecaja, kako ne bi došlo do oštećenja ili kvarenja proizvoda.

Inteligentna ambalaža unaprjeđuje funkcije tradicionalne ambalaže budući da nam pomoću tehnologija spomenutih u radu može pružiti sve potrebne informacije o proizvodu, bilo da se radi o njegovom stanju, sastavu ili putu od proizvodnje do krajnjeg korisnika. Ona je korisna i za potrošača ali i za proizvođača budući da u stvarnom vremenu može pratiti stanje u kojem se nalazi proizvod osiguravajući na taj način zdravstvenu ispravnost i visoku razinu kvalitete namirnice tijekom cijelog procesa „od farme do stola“. Pomoću barkodova, indikatora, senzora, te RFID tehnologije moguće je pratiti kakva je kvaliteta proizvoda i tako dati potrošaču do znanja kada proizvod više nije pogodan za konzumaciju. Kromogeni materijali mijenjaju boju ovisno o promjeni atmosfere ambalaže, pa su najčešći pokazatelji ispravnosti proizvoda. Naljepnica ili etiketa na ambalaži daje informaciju o bilo kakvoj promjeni koja se dogodila na proizvodu.

Inteligentna ambalaža osmišljena je iz razloga kako bi se smanjile opasnosti kao što su bolesti uzrokovane zdravstveno neispravnom hranom. Sustavi praćenja kvalitete hrane pomoću navedenih tehnologija omogućuju nam da spoznamo glavne čimbenike koji uzrokuju kvarenje hrane u opskrbnom lancu. Zbog toga je inteligentna ambalaža izuzetno koristan alat u povećanju kvalitete prehrambenih proizvoda i zadovoljstva krajnjih korisnika – potrošača.

# 4.LITERATURA

[1] Manda Penava (2020) *Aktivna i inteligentna polimerna ambalaža*, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, dostupno na: https://eprints.grf.unizg.hr/3207/1/Z1037_Penava_Manda.pdf ,

[2] Andrijana Diklić (2015) *Upotreba inteligentnog pakiranja u pakiranju namirnica*, završni rad, Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, dostupno na: https://repozitorij.ptfos.hr/islandora/object/ptfos%3A40/datastream/PDF/view

[3] Sonja Jamnicki (2011), *Evaluacija prikladnosti različitih klasa recikliranih papira za izradu zdravstveno ispravne prehrambene ambalaže*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet

[4] Intelligent packaging (2018), Industry leaflet, COST ActInPak FP1405, dostupno na: http://www.actinpak.eu/wp-content/uploads/2018/10/Full_text_intelligent_download.pdf ,

[5] Jakupić, M., Poljan, M., i Hajdek, K. (2019).„Pametna ambalaža“, *Polytechnic and design*, 7(2), str. 144-153, dostupno na: https://polytechnicanddesign.tvz.hr/index.php/ojs/article/view/262/239

[6] Uredba Komisije (EZ) br. 450/2009 od 29. svibnja 2009. o aktivnim i inteligentnim materijalima i predmetima koji dolaze u dodir s hranom (SL L 135, 30.5.2009., str. 3.-11.)

[7] Stefan Đurđević, (2019), *Model identifikacije stanja zaštitnih elemenata grafičke ambalaže,* doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2019., dostupno na: http://www.ftn.uns.ac.rs/1144344803/doktorska-disertacija

[8] Aktivna ambalaža, letak, COSTActInPak FP1405, dostupno na: http://www.actinpak.eu/wp-content/uploads/2018/09/Intelligent_packaging_Croatia.pdf

[9] Slika preuzeta sa https://docs.oracle.com/cd/E97588_01/siocs/pdf/181/html/eics_administration_guide/appendix_upcbarcode.htm

[10] Mohebi, E., Marquez, L. Intelligent packaging in meat industry: An overview of existing solutions. J Food Sci Technol 52, 3947–3964 (2015). https://doi.org/10.1007/s13197-014-1588-z

[11] Marko Ivanković (2016) *Primjeri primjene termokromnih boja na bazi tekućih kristala*, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, dostupno na: https://eprints.grf.unizg.hr/2585/1/Z775_Ivankovi%c4%87_Marko.pdf