

Aktivna i inteligentna polimerna ambalaža

Penava, Manda

Undergraduate thesis / Završni rad

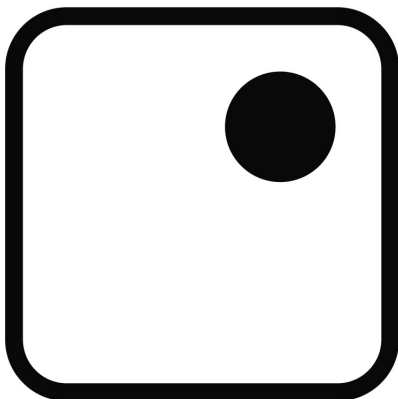
2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:417563>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-03**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET U ZAGREBU

ZAVRŠNI RAD

Manda Penava



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD

AKTIVNA I INTELIGENTNA POLIMERNA AMBALAŽA

Mentorica:

Doc.dr.sc. Sonja Jamnicki Hanzer

Studentica:

Manda Penava

Zagreb, 2020.

SAŽETAK

Suvremeno pakiranje prehrambenih namirnica mora osigurati zdravstvenu ispravnost upakiranom proizvodu uz istovremeno zadržavanje visoke kvalitete namirnice. Jedno od novijih načina pakiranja hrane, koji upravo omogućuje praćenje sigurnosti i kvalitete upakiranih namirnica, je pakiranje u inteligentnu i aktivnu ambalažu.

U ovom radu prezentirat će se tehnologija i razvoj pametnih polimernih materijala za pakiranje hrane. Definirat će se interaktivna ambalaža, senzori i indikatori u sustavima inteligentnog pakiranja. Navest će se primjena barkodova, 2D barkodova, RFID i NFC tehnologije u sustavima pametne ambalaže. Također će se prikazati primjena kromogenih boja kao pametnih indikatora. U radu će se prikazati najčešće korišteni koncepti aktivne ambalaže koji nastoje kontrolirati razinu kisika, vlage, temperature, sadržaj soli, šećera, kiselina i CO₂ unutar ambalažnog sustava. Također će se prikazati komercijalno dostupni proizvodi za svaku navedenu kategoriju pametne ambalaže. Zakonski propisi koji se odnose na aktivnu i inteligentnu ambalažu bit će također prezentiran u ovom radu.

Ključne riječi: aktivna i inteligentna ambalaža, senzori, indikatori, kromogene boje, prehrambena ambalaža

SUMMARY

Modern food-packaging systems must ensure the health-safety of the packaged product while, at the same time, maintaining high quality of the food. One of the newer packaging methods that allow monitoring the safety and quality of packaged foods is achieved through intelligent and active packaging systems.

This paper will present the technology and development of smart polymeric food packaging materials. Interactiv packaging, sensors and indicators in intelligent packaging systems will be defined. The application of barcodes, 2D barcodes, RFID and NFC technology will be mentioned. The application of chromogenic inks as smart indicators will also be presented. Moreover, the paper will present the most commonly used concepts of active packaging that are able to control the level of oxygen moisture, temperature, salt, sugar, acid and CO₂ content within the packaging system.

Commercially available products for each listed category will also be presented.

Legislation on active and intelligent packaging will also be discussed in this paper.

Keywords: active and intelligent packaging, sensors, indicators, chromogenic inks, food packaging

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Teorijski dio.....	2
2.1. Ambalaža prehrambenih proizvoda.....	2
2.2. Podjela pametne ambalaže.....	4
2.3. Inteligentna ambalaža.....	4
2.3.1. Indikatori.....	5
2.3.2. Senzori.....	10
2.3.3. <i>Primjena 2D barkodova, RFID i NFC</i> tehnologije.....	13
2.3.4. <i>Primjena kromogenih</i> materijala.....	16
2.4. Aktivna ambalaža.....	23
2.4.1. <i>Aktivna ambalaža u prehrambenoj industriji</i>	26
2.5. Zakonski propisi koji se odnose na aktivnu i inteligentnu ambalažu.....	28
2.5.1. <i>Primjeri primjene navedenih propisa na aktivnu i inteligentnu</i> ambalažu.....	31
3. Zaključak.....	34
4. Literatura.....	35

1. UVOD

Ambalaža kao grafički proizvod služi mnogim svrhama od kojih je jedna od najvažnijih zaštita proizvoda. Znamo da grafički dizajn i izgled nekog grafičkog proizvoda ili općenito komercijalnog proizvoda ima veliku ulogu u privlačenju kupaca, ali koliko smo mi, kao kupci, zapravo svjesni važnosti zaštite našeg proizvoda i kako prepoznati ambalažu koja će omogućiti očuvanje proizvoda i njegovu kvalitetu?

Kroz proces pakiranja, prijenosa i dostave puno je čimbenika koji utječu na kvalitetu proizvoda, pa tako uz mnoga mehanička naprezanja, vremenske uvjete poput vlage i temperature, čak i ljudske greške, ambalaža danas ima puno veću ulogu u zaštiti i očuvanju proizvoda. Prema tome se razvijaju i nove vrste ambalaža koje, osim što štite proizvod na novi način, u mogućnosti su prepoznati stanje proizvoda prateći njegova svojstva. Neke od spomenutih novih tehnologija koje se koriste u pakiranju proizvoda su bazirane na kromogenim bojama, indikatorima i senzorima te barkodovima. Uz pomoć navedenih tehnologija, možemo i produžiti vijek trajanjatakvim proizvodima te osigurati zdravstvenu ispravnost.

Kod inteligentne, kao i kod aktivne ambalaže, koriste se različiti pokazatelji (indikatori) koji upozoravaju na zdravstvenu ispravnost i uvjete koji vladaju unutar zapakiranih proizvoda. Tako na primjer postoje razni materijali koji ukazuju na promjene unutar proizvoda kao što su promjena temperature, rast bakterija, oksidaciju te kemijske i enzimske reakcije unutar proizvoda. Neki od polimera koji se koriste za takvu ambalažu su nanokompoziti koji imaju poboljšana toplinska i mehanička svojstva, sredstva za uklanjanje kisika, sredstva za smanjenje razine CO₂, sredstva za apsorpciju vlage i UV zračenja i slično. Kromogeni materijali se također koriste kao pokazatelji promjene svojstva proizvoda koji se očituje promjenom njihove boje, pa prema tome postoje raznih kromogeni materijali poput termokromnih (mijenjaju boju pod utjecajem temperature), fotokromnih (mijenjanju boju pod utjecajem svjetla), elektrokromnih (mijenjaju boju pod utjecajem promjene električnog polja), piezokromnih (mijenjaju boju ovisno o pritisku) i biokromnih (mijenjaju boju zbog određene biokemijske promjene). U primjeni su najčešće termokromni i fotokromni materijali koji se koriste za izradu vremensko-temperaturnih indikatora (TTI- od engl. time and temperature indicators), indikatora svježine (FI- od engl. freshness indicators) i kod RFID tehnologije (od engl. Radio Frequency Identification) za izradu složenih etiketa kao nositelja podataka o proizvodu, njegovu skladištenju, transportu i roku trajanja.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Ambalaža prehrambenih proizvoda

Osim zaštitne funkcije ambalaže, koja je vrlo bitna za bilo koji proizvod, svaka ambalaža mora zadovoljavati druge funkcije poput skladišno-transportne, uporabne i prodajne.

Atraktivan izgled ambalaže i pristupačna cijena imaju velik utjecaj na potrošački um.

Osim toga, praktična upotreba nekog proizvoda direktno iz ambalaže npr. karton mlijeka, također presuđuje hoćemo li izabrati jedan ili drugi proizvod. Uz veliku ekološku svijest, danas je jako bitno da je ambalaža ekološki prihvatljiva.

Kada govorimo o pakiranju prehrambenih proizvoda, očuvanje nutritivnih svojstava i zaštita od mikrobioloških i kemijskih utjecaja te mehaničkih oštećenja- najvažnija su svojstva ambalaže. Zbog toga, ambalažu za pakiranje namirnica u određenom smislu možemo smatrati ujedno i sastavnim dijelom namirnice koja je u nju zapakirana.

Razne vrste hrane i pića zahtijevaju različit pristup u osmišljavanju i kreiranju ambalaže.

Iako znamo da nije pametno pakirati masne proizvode u plastiku jer masti i ulja mogu izazvati bubrenje polimernih materijala, namirnice s malim postotkom vode (poput želea ili čokolade) u ambalaže koje ne zadržavaju vlagu pa namirnica mijenja boju ili razna pića u papirne i kartonske ambalaže zbog dezintegracije, nijedna ambalaža nije stopostotno inertna pa može doći do prijenosa tvari iz ambalaže u namirnicu. Taj proces naziva se migracija. Tvari koje se prenose iz sastava ambalaže u namirnice nazivaju se migranti [1]. To je jako opasna pojava iz dva razloga:

- ugrožava se zdravstvena ispravnost hrane i može doći do zdravstvenih problema potrošača ukoliko se takva hrana konzumira u velikim količinama,
- gubi se kvaliteta proizvoda ukoliko dođe do promjena mirisa ili boje na proizvodu.

Neki od čimbenika koji utječu na migraciju su kinetički i termodinamički. Kinetički čimbenik uvjetuje brzinu kojom se proces odvija a termodinamički određuje u kojoj mjeri će tvar migrirati do uspostave ravnoteže. Na migraciju utječe i priroda dodira između ambalaže i hrane odnosno nalaze li se namirnica i ambalaža u neposrednom kontaktu ili postoji neki barijerni sloj između njih. Ukoliko postoji, on može znatno usporiti migraciju. Osim toga,

temperatura, vrijeme kontakta i vrsta hrane koja se pakira također imaju utjecaja na razinu migracije. Ako su vrsta ambalažnog materijala i vrsta namirnice nekompatibilni, doći će do brze i jake interakcije između njih i brzog širenja migranata. Povećanjem temperature povećava se i kinetička energija čestica koje se počinju brže kretati i prema tome pojačava se migracija. Produljeno vrijeme kontakta ambalaže i namirnice također povećava šanse za migraciju tvari ali to ovisi o pojedinim ambalažama-prvenstveno onim koje su predviđene za kraći kontakt.

Prema L. Castel-u [2], tri su osnovne vrste materijala u koje se pakiraju prehrambeni proizvodi:

- Propusni materijali
- Nepropusni materijali
- Porozni materijali

U nepropusne materijale spadaju metal, staklo i keramika. Kod takvih materijala je onemogućena bilo kakva migracija iz unutrašnjosti materijala, jedino je moguća migracija s površine koja se nalazi u direktnom kontaktu s namirnicom. Propusni materijali bi bili plastika, guma i elastomeri. Tu postoji tek ograničena propusnost tvari s površine materijala i iz unutrašnjosti. Otpor na migraciju ovisi kemijskim i fizikalnim svojstvima pojedinog materijala kao što je struktura, gustoća, kristaličnost i slično. Porozni materijali bi bili papir i karton čija struktura vlaknaca s velikim zračnim međuprostorom omogućava relativno lako migriranje tvari iz ambalaže u namirnicu [1,2].

Obrnut proces od migracije bi bila sorpcija (u literaturi se naziva i negativnom migracijom), gdje imamo prijenos tvari iz namirnice u ambalažni materijal.

Prehrambeni proizvodi i namirnice zahtijevaju pažljivo pakiranje i ukoliko jedan od navedenih čimbenika, nužan za osiguravanje visoke kvalitete i zdravstvene ispravnosti namirnice, nije ispunjen, proizvođač se može naći u jako neugodnoj situaciji zbog nedovoljno zaštićenih proizvoda. Današnja tehnologija i razvoj pametne ambalaže imaju velik značaj u prehrambenoj industriji zbog mogućnosti praćenja i reagiranja na sve osjetljive čimbenike tijekom pakiranja, prijenosa i distribucije namirnica [1].

2.2. Podjela pametne ambalaže

Pametna ambalaža se definira kao ambalaža čija je zadaća, osim zaštite proizvoda, da očuva njegovu kvalitetu. Ona sadrži određene pokazatelje koji nam olakšavaju određivanje kvalitete i svježine nekog proizvoda. Najviše se koristi za prehrambenu i farmaceutsku industriju da bi olakšali korištenje i prenosili dodatne informacije o statusu proizvoda. Pametna ambalaža dijeli se na inteligentnu i aktivnu polimernu ambalažu.

Glavna razlika između navedenih kategorija je ta da aktivna ambalaža “osjeti” promjene u okolini te u odnosu na njih reagira dok inteligentna ambalaža informira potrošača o promjenama unutar zapakiranog proizvoda ali ne mijenja osobine ambalaže odnosno ne “aktivira” se. Na inteligentnu ambalažu se najčešće odnose pakiranja koja sadrže pokazatelje temperature i vremena i mogu se aplicirati na vanjsku površinu ambalaže. Aktivna ambalaža se bazira na upotrebi aktivnih komponenata koje mogu kontrolirati koncentraciju kisika, ugljikova dioksida, vlage, upijati strane mirise, ali i djelovati antimikrobno.

2.3. Inteligentna ambalaža

Inteligentna ambalaža se često poistovjećuje sa pametnom ambalažom iako je potkategorija pametne ambalaže. Inteligentna ambalaža je sustav koji može otkriti (osjetiti) i bilježiti svaku promjenu koja utječe na upakiran proizvod. Inteligentna ambalaža ima mogućnost da opaža neke od osobina proizvoda koji okružuje ili okruženja u kojem se proizvod čuva da prenosi informaciju o kvaliteti prehrambenog proizvoda tijekom transporta ili za vrijeme skladištenja [3,4,5]. Ona služi za tzv. nadziranje proizvoda kako bi informirala proizvođača, trgovca ili potrošača o njegovom stanju. Time se može efikasno kontrolirati proizvod i njegova kvaliteta, smanjiti gubitci te identificirati moguća greška u rukovanju ili neadekvatnom skladištenju na putu od trgovca do potrošača pomoću indikatora. Korištenjem inteligentne ambalaže može se procijeniti kvaliteta proizvoda i njezin rok trajanja te donijeti odluke za optimizaciju protoka informacija unutar lanca opskrbe hranom.

Inteligentna ambalaža može se podijeliti u tri grupe. Prvu skupinu čine *eksterni indikatori* – nalaze se na vanjskom dijelu ambalaže, a uključuju indikatore vremena, temperature, fizičkog šoka. U drugu skupinu ubrajaju se *interni indikatori* – nalaze se u unutrašnjosti ambalaže, a uključuju indikatore propuštanja O₂, CO₂, indikatore razvoja mikroorganizama

(mikrobiološkog kvarenja). Treću skupinu čine *indikatori koji povećavaju efikasnost protoka informacija* – specijalni bar kodovi koji pohranjuju informacije o namirnici.

"Inteligentnost" pakiranja može imati više značenja i pokriva više funkcionalnosti ovisno o tome koja se namirnica pakira [3].

2.3.1. Indikatori

Senzori i indikatori se stavljaju unutar ili na površinu ambalaže kako bi detektirali neku nepravilnost i dali informaciju o stanju proizvoda.

Indikatori mogu pružiti kvalitativne ili polu-kvantitativne vizualne informacije o prehrambenom proizvodu u inteligentnoj ambalaži pomoću promjene boje, povećanjem intenziteta boje ili difuzije boje duž ravne putanje. U većini slučajeva, indikatori moraju djelovati na način da se boja ili intenzitet boje mijenja, pod uvjetom da su difuzije nepovratne. Mogu se koristiti za pružanje informacija o temperaturi, prisutnosti plina i hlapivih tvari, promjeni pH i mikrobiološkog onečišćenja. Za razliku od senzora, indikatori ne mogu pružiti kvantitativne podatke i ne mogu pohraniti izmjerene podatke [4].

Tablica 1. Primjeri uporabe eksternih i internih indikatora i njihov princip djelovanja u sustavima inteligentne ambalaže [6]

Tehnika	Reagensi	Dane informacije	Primjena
Indikatori vremena i temperature (eksterni)	Mehanički, kemijski, enzimski	Uvjeti skladištenja	Hrana skladištena u smrznutim uvjetima
Indikatori indeksa kisika (interni)	Redoks bojila, pH bojila, enzimi	Uvjeti skladištenja, curenje iz ambalaže	Hrana skladištena u ambalaži sa smanjenom koncentracijom kisika
Indikatori konc. CO ₂ (interni)	kemijski	Uvjeti skladištenja, curenje iz ambalaže	Hrana skladištena u modificiranoj atmosferi
Indikatori svježine (interni)	pH boje, sva bojila koja reagiraju s određenim metabolitima	Mikrobiološka kvaliteta hrane	Kvarljiva hrana poput mesa, ribe i peradi
Indikatori patogena (interni)	Različite kemijske metode koje reagiraju s toksinima	Određena patogena bakterija poput E.Coli	Kvarljiva hrana poput mesa, ribe i peradi

Već spomenuta podjela dijeli indikatore na eksterne, koji se nalaze na vanjskom dijelu ambalaže, i interne koje se smještaju u unutrašnjosti ambalaže. Eksterni indikatori mogu biti:

- indikatori vremena i temperature
- indikatori promjene temperature

Indikatori vremena i temperature (engl.TTI- time and temperature indicators) su naprave koje pokazuju promjenu vremena i temperature. Pomoću takvih indikatora dobivamo uvid u povijest promjena temperature kojima je proizvod bio izložen za vrijeme skladištenja i tijekom distribucije [3]. Ovo je osobito korisno kao upozorenje za temperaturne promjene kod hlađenih ili smrznutih namirnica.

Indikatori vremena i temperature se dijele na difuzijske, fotokromatske, mikrobne, enzimске i polimerne. Njihova reakcija odnosno pokazatelj promjene može biti izazvan kemijskom reakcijom, fizičkom promjenom ili promjenom u biološkoj aktivnosti [7,8]. Pokazatelji vremena i temperature mogu se još podijeliti s obzirom na to daju li djelomičnu ili cjelovitu informaciju o stanju proizvoda, pa tako indikatori koji bilježe samo djelomične informacije reagiraju tek kad se prijeđe određena granična vrijednost temperature koja bi potencijalno uzrokovala promjene u kvaliteti ili sigurnosti proizvoda. Indikatori koji bilježe cjelokupnu povijest promjene temperature kojima je proizvod bio izložen, kontinuirano prate vrijednost temperature i daju potpunu informaciju o stanju proizvoda. Većina aktualnih istraživanja usmjerena je u razvoj takvih indikatora. Indikatori vremena i temperature su najčešće male etikete ili naljepnice koje se lijepe na proizvod. One moraju zadovoljavati određene uvjete za komercijalnu primjenu kao što su niska cijena, male dimenzije, otpornost i pouzdanost.

„Keep-It“ indikator vremena i temperature (razvijen od kompanije Keep-it Technologies®) pokazatelj je roka trajanja proizvoda, koji bilježi temperaturu kojoj je pakirani losos izložen. Kada je proizvod pohranjen u hladnom, inteligentna boja u indikatoru kreće se polako, tamna traka je dugačka, što znači da je hrana svježja. Ako se temperatura poveća, inteligentna boja pomiče se brže čime se tamna traka skraćuje[4].



Slika 1. „Keep-it“ indikator[4]

Kao indikator temperature, sa svrhom upućivanja na idealno rashlađen proizvod, koristi se termokromna boja osjetljiva na temperaturene promjene koja mijenja obojenje ovisno o temperaturi kojoj je proizvod izložen.



Slika 2. Primjer indikatora promjene temperature [4]

Interni indikatori bi bili oni koji se postavljaju u unutrašnjosti ambalaže i daju informaciju o promjenama unutar ambalaže. To su:

- indikatori plinova
- indikatori mikroorganizama ili indikatori svježine (engl. Microbial growth indicators/freshness indicators)

Indikator koncentracije štetnih plinova mijenja boju ako količina plina unutar ambalaže raste i time ukazuje da se proizvod kvari. Većina prehrambenih proizvoda bi trebala sadržavati vrlo mali postotak kisika u ambalaži (0-2%), izuzev mesnih namirnica koji sadrže velik udio kisika zbog održavanje boje proizvoda. Taj mali postotak otežava održavanje kvalitete proizvoda jer i mala promjena u koncentraciji znači vidljive promjene u boji. Zbog toga se često kombinira aktivna i inteligentna ambalaža jer se dodaju aktivne tvari koje apsorbiraju kisik. Vizualni indikator koncentracije ugljikovog dioksida sastoji se od kalcijevog hidroksida koji apsorbira CO₂ i često se primjenjuje za pakiranje mesnih proizvoda. Indikatori mikroorganizama ili indikatori svježine detektiraju mikrobiološki rast i kemijske promjene unutar ambalaže. Rade na principu reakcija između indikatora unutar ambalaže i metabolita koji nastaju kao rezultat mikrobiološkog djelovanja. U anaerobnim pakiranjima, visoke koncentracije etanola i CO₂ te octene i mliječne kiseline su pokazatelji kvarljivosti proizvoda jer ukazuju na fermentativni metabolizam bakterija [3].



Slika 3. Primjer indikatora svježine [3]

Inovativni indikator svježine „Freshcode“ (razvijen od tvrtke Kao Chimigraf) ukazuje potrošačima, distributerima i proizvođačima ambalaže idealno razdoblje za konzumaciju filetiranih i okoštenih pilećih prsa pakiranih u modificiranoj atmosferi (MAP). Ova inteligentna boja postupno mijenja obojenje kako bi pokazala stupanj svježine. Proizvod više nije za potrošnju kada se naljepnica pretvori u potpuno crnu boju [4].



Slika 4. Primjer indikatora svježine [4]

2.3.2.Senzori

Senzori se koriste u ambalaži u svrhu prikupljanja i pružanja kvantitativnih informacija o eventualnim promjenama u njezinom sadržaju. Oni otkrivaju, snimaju i prenose informacije o promjenama o okruženju, stanju ili radnoj povijesti upakirane hrane.

Senzori prate određene funkcionalnosti, npr. pH, vrijeme i temperaturu, prisutnost sumporovodika, kisika ili ugljikovog dioksida [4]. Senzori su, dakle, uređaji koji se koriste za detekciju i mjerenje energije dajući pri tome signale fizikalnog ili kemijskog svojstva na koji uređaj reagira. Senzor mora biti u mogućnosti davati kontinuirane signale te imati receptor i pretvornik. U pretvorniku se svojstvo koje mjerimo pretvara u oblik energije koje je pretvornik u stanju mjeriti. Tu informaciju zatim pretvara u analitički signal [3].

Senzore koji se koriste u inteligentnoj ambalaži dijelimo na senzore za plin i biosenzore.

Senzor plinova je uređaj koji reagira na prisutnost plinskog analita a sve to nadzire uređaj s vanjske strane ambalaže. Današnji sustavi za detekciju plinova uključuju:

- amperometrijski senzor kisika
- potencijometrijski senzor ugljikovog dioksida
- organski vodljivi polimeri i
- piezoelektrični kristalni senzori

Kod senzora za kisik koji se temelje na elektrokemijskim metodama pronalazimo određene nedostatke kao što su potrošnja analita (kisika), onečišćenja membrane i unakrsne osjetljivosti na ugljikov dioksid i vodikov sulfid. Zato se razvijaju senzori za kisik s optičkim sensorima na principu promjene luminiscencije- do koje dolazi prilikom direktnog kontakta s analitom kao što je „ O2xyDot “ (razvijen od tvrtke OxySense). On se koristi za otkrivanje prisutnosti kisika unutar ambalaže. Prvo se pričvrsti u unutrašnjost ambalaže. Kada je senzor (bojilo) osvijetljen, senzor apsorbira plavo svjetlo i fluorescira (emitira) 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 [4].



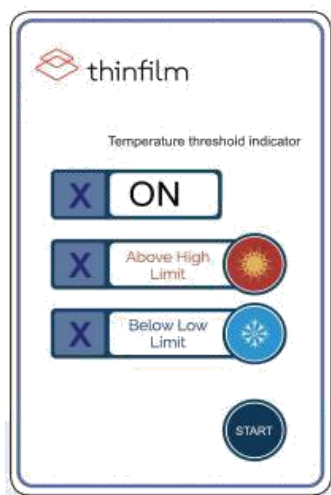
Slika 5. Uređaj za otkrivanje prisutnosti kisika unutar ambalažnog proizvoda [4]

Biosenzori su uređaji koji detektiraju i daju informacije o biološkim reakcijama. Ovakav uređaj se sastoji od bioreceptora, koji je specifičan za svaki analit koji se detektira i pretvornika, koji biološke signale pretvara u mjerljive električne signale. Biosenzori su organske tvari: enzimi, antigeni, hormoni, nukleinske kiseline, te mikroorganizmi. Pretvornik može biti elektrokemijski, optički, kalorimetrijski itd. [3].

Mnoge platforme se razvijaju za detekciju biomolekula i mikroorganizama, a bazirane su na nanotehnologiji, međutim većina platformi je ugrađena u uređaje i zahtjeva uzimanje uzorka za utvrđivanje prisutnosti ciljanih molekula. Kada razmatramo ovakve sustave za ambalažu prehrambenih proizvoda zaključujemo da su oni usmjereni na otkrivanje rasta mikroorganizama. Izazov za ovakve sustave je da oni moraju biti u stanju da se integriraju u ambalažu, proizvode lako prepoznatljiv odgovor (kao na primjer promjenu boje), i da budu jeftini za proizvodnju. Najčešće se prisutnost mikrobiološkog zagađenja detektira indirektno preko mjerenja promjene sastava plinova unutar ambalaže do koje dolazi uslijed rasta mikroorganizama, korištenjem tehnologije senzora plinova. Druga mogućnost su sustavi zasnovani na zatvorenim biomolekulama (npr. fulereni, lipozomi ili siliciji u nanoporama) koji su povezani s promjenom boje, koja može biti razvijena za ovu svrhu, oni pružaju stabilnost detektoru molekula, i mogu biti ugrađeni u propustljivu membranu ambalažnog materijala, i ne zahtijevaju dodatne faktore (npr. prethodnu obradu ili napajanje energijom).

Primjer platforme za biosenzore su nanostrukturalna svila, koja je biorazgradiva i jestiva pa može biti uključena u prehrambenu ambalažu, i vodljivi polimeri.

Osim senzora za plin i biosenzora, postoje i senzori temperature- primjer komercijalne primjene takve pametne naljepnice je npr. „Thin film“ (proizvođač Thin Film Electronics ASA Norveška). Dok proizvod putuje lancem distribucije, naljepnica identificira promjene koji se javljaju izvan unaprijed definiranog temperaturnog okvira raspolaže s prikupljenim informacijama na više načina. Prvo, promjene se vizualno prikazuju na displeju etikete. Drugo, promjene i povezani podaci (lokacija, datum, vrijeme) snimaju se dodirivanjem etikete pametnim telefonom ili čitačem koji podržava NFC (NFC od engl. near field communication). Podaci se mogu prikazati na pametnom telefonu/čitaču i također se čuvaju u oblaku što ukazuje da se na primjeru ovog senzora koristi i NFC tehnologija. Etiketa sadrži i vizualni indikator putem elektrokromatskog ekrana. Na taj način informacije mogu vidjeti i proizvođači i potrošači, a lako im se pristupa preko softvera putem interneta. Prilikom tiska ovih senzora temperature koristi se tehnologija slična novinskom tisku iz role, pa je proizvodnja naljepnica brza, jeftina i u velikim nakladama. Naljepnica je veličine kreditne kartice, tanka je 1 mm, težine 7 g i fleksibilna, što omogućava primjenu na zakrivljenim površinama ambalaže. Za nju nije potrebno posebno rukovanje, kao što je skladištenje u hladnom prostoru prije upotrebe. Treba napomenuti da je ovaj senzor temperature namijenjen za jednokratnu upotrebu, pa se postavlja pitanje njegovog recikliranja. „Thin film“ naljepnice su svoju užu primjenu našle kod ambalaže za meso, ribu i mliječne proizvode tj. posebno za proizvode koji se čuvaju u hladnjaku ili zamrzivaču [7].



Slika 6. „Thin film“ pametna naljepnica-senzor temperature [9]

2.3.3. Primjena 2D barkodova, RFIDI NFC tehnologije

Uređaji za prijenos podataka kao što su QR kodovi, radiofrekventna identifikacijska tehnologija i NFC tehnologija svrstavaju se u skupinu pametnih ambalažnih rješenja koju još nazivamo i interaktivnom ambalažom. Oni sadrže podatke o distribuciji i karakteristikama proizvoda i time osiguravaju siguran i organiziran protok informacija u lancu opskrbe hranom. Osim što prate proizvod i daju informacije kupcu, ovakvi sustavi imaju funkciju zaštite od krađe i falsificiranja. Ovakvom automatizacijom je postignuta praktičnost i brz transfer proizvoda, a s obzirom da se mogu koristiti i mobilni uređaji za detektiranje informacija pohranjenih unutar koda, sve je veća potražnja ovakve ambalaže.

Barkodovi se mogu direktno tiskati na ambalažu ili se mogu otisnuti na naljepnice koje se potom lijepe na ambalažu. Podatci se pri skeniranju prevode u podatke koje uređaj može pročitati. Barkod skener dalje šalje podatke u dekođer. Prema kapacitetu skladištenja informacija, barkodove možemo podijeliti na jednodimenzionalne i dvodimenzionalne. Jednodimenzionalni barkodovi sadrže informacije poput serijskog broja, roka trajanja i dr. Neki od bar-kodova koji se koriste za prehrambenu ambalažu su: UPC, CODE 128, Code 39 i EAN codes [5].

Dvodimenzionalni barkodovi su kvadratnog ili pravokutnog oblika ispunjenih kvadratima, krugovima i drugim geometrijskim oblicima. U odnosu na jednodimenzionalne, oni mogu sadržavati više informacija i imati funkciju direktnog skeniranja. *Datamatrix* je jedan od popularnih izbora za 2D kod zbog mogućnosti ugrađivanja velikog broja podataka i dobrog uklapanja na ambalažu proizvoda. U velikim centrima za kupovinu se pretežito koriste *QR kodovi* (engl.quick response code) koji omogućuju brzo skeniranje svih podataka o proizvodu kao što su geografski položaj proizvoda, najnovije akcije i promocije proizvoda i pronalaženje najkraćeg puta od njihovog trenutnog položaja do odredišta.



Slika 7. Primjeri 2D kodova [5]

Skeniranjem kodova, možemo dobiti važne informacije o proizvodu, ali oni mogu služiti i za zabavne svrhe, npr. link na besplatnu igricu ili video.



Slika 8. QR kod na limenci *Coca-Cole* vodi na web stranicu proizvođača na kojoj se nalaze posebne promocije [10]

RFID tehnologija (engl.radio frequency identification device) predstavlja poseban oblik inteligentne ambalaže koji se temelji na elektroničkim informacijama. Na ambalaži se nalazi naljepnica (engl.tag) koja u sebi sadrži mikročip s brojnim informacijama o proizvodu, a pomoću posebnog sustava se te informacije očitavaju [11]. RFID tehnologija poboljšava mogućnost skladištenja informacija i praćenja stanja proizvoda unutar ambalaže.

Osim općenitih informacija o proizvodu, također se skupljaju podatci o stanju kvalitete proizvoda kao npr. podatci o- temperaturi, vlažnosti, sastavu plinske faze unutar ambalaže te se pri odstupanju od upisanih vrijednosti uključuje alarm. Uređaji koji očitavaju ili upisuju informacije na RFID naljepnice prenose signale putem radio valova koje prima antena u transponderu koji odašilje podatke o proizvodu prema čitaču i time ih možemo čitati s određene daljine. Transponderi se dijele na aktivne, koji rade na baterije i mogu djelovati na udaljenosti do 50 m, i pasivne koji djeluju na udaljenosti do 5 m ali rade na osnovu energije koju šalje čitač čime im omogućava neograničen vijek trajanja. Ovim putem raste efikasnost i brzina u rukovanju proizvoda te njegova sigurnost.

NFC (engl. near field communication) je tehnologija kraćeg dometa koju možemo usporediti s tehnologijama 3G,4G, Wi-Fi s razlikama da NFC tehnologija koristi drugu frekvenciju, drugu razinu električnog napajanja i drugi komunikacijski protokol. Omogućava jednostavniju razmjenu podataka i brže transakcije zbog razvoja pametnih telefona koji danas uglavnom imaju NFC čitače. Time je kupcima olakšana provjera stanja proizvoda i mogu biti sigurni u ono što kupuju.



Slika 9. Kutija za kolačiće „Les Macarons“ (Stora Enso) [7]

Primjer korištenja NFC tehnologije prikazan je na slici 9. koja prikazuje interaktivnu ambalažu temeljenu na kratkodometnoj tehnologiji prijenosa podataka (NFC) koja pruža kupcima informacije o alergenima putem NFC oznake i mobilne aplikacije. Ako proizvod sadrži potencijalno štetne tvari, mobilni telefon će upozoriti potrošača o njihovoj prisutnosti. Osim NFC interakcije, ambalaža također sadrži i skrivenu UHF RFID antenu i čip kako bi spriječili neovlašteno otvaranje [4].



Slika 10. „Pametna“ limenka s NFC oznakom [12]

2.3.4. *Primjena kromogenih materijala*

Kromizmom općenito nazivamo pojavu reverzibilne ili ireverzibilne promjene boje u kemijskim spojevima. Do te pojave dolazi prilikom promjene elektronskog stanja u molekuli. Kromogeni materijali su materijali koji mijenjaju svoja svojstva odnosno boju ovisno o promjeni nekih vanjskih podražaja na koje su osjetljivi. Ovisno o vrsti vanjskih podražaja zbog kojih mijenjaju obojenje, kromogene boje mogu biti:

- Termokromne-mijenjaju obojenje uoči promjene temperature
- Fotokromne-mijenjaju obojenje pod utjecajem svjetlosti
- Piezokromne-mijenjaju obojenje promjenom pritiska
- Elektrokromne-mijenjaju obojenje promjenom električnog polja
- Biokromne-mijenjaju obojenje pod utjecajem biokemijske promjene [13].

Najčešće se primjenjuju termokromne i fotokromne boje. Kod inteligentne ambalaže primjenjuju se za izradu indikatora vremena i temperature, indikatora svježine i kod RFID tehnologije za izradu etiketa koje služe za skladištenje i prijenos informacija o proizvodu. Osim ove podjele, boje se mogu dijeliti prema samom trajanju promjene na reverzibilne i ireverzibilne. Reverzibilne boje mijenjaju obojenje samo na određeno vrijeme koliko traje uzrok promjene i potom se vrate u svoje prvobitno stanje. Ireverzibilne boje ostaju promijenjene i nakon prestanka djelovanja uzroka promjene. Primjena kromogenih boja je jako široka u cijeloj grafičkoj industriji, od niza grafičkog proizvoda i ambalaže do zaštitnih dokumenta, komercijalnog tiska i tekstila.

Termokromne boje su boje koje mijenjaju obojenje pod utjecajem promjene temperature. Termokromne tiskarske boje s višom aktivacijskom temperaturom daju stabilnije i intenzivnije obojenje. Temperatura aktivacije je granična temperatura pri kojoj dolazi do promjene obojenja ili do obezbojenja. Pokritnost termokromnih boja je slaba pa su potrebni deblji nanosi boje, što daje najbolje rezultate u tehnici sitotiska. Termokromne boje imaju veliku dostupnost na tržištu i mogu se primijeniti na gotovo svaku podlogu (papir, tekstil, drvo, metal, staklo i sl.) Iako su skuplje od običnih konvencionalnih boja, postoje mnogobrojne tvrtke koje sve više koriste termokromne boje i tim bojama otiskuju svoje proizvode kako bi na taj način privukli pozornost potrošača i kako bi se njihovi proizvodi razlikovali od onih koji koriste konvencionalne tiskarske boje koje su statične.

Termokromni materijali, kao skupina sa najširoom primjenom, se sredinom 20.-og stoljeća počinje primjenjivati u obliku tekućih kristala. Prvi veći komercijalni uspjeh doživjele su 1970-ih godina pojavom tzv. mood ringa ili prstena raspoloženja [13]. On bi pokazivao raspoloženja nositelja na temelju temperature njihovog prsta. Tamno plava boja bi označavala sreću dok bi crna odražavala zabrinutost ili stres. Za prstenove su se koristile termokromne boje na bazi tekućih kristala. Tekući kristali su zapravo materijali koji u određenom trenutku imaju svojstvo tekućine, a u određenom trenutku struktura materijala je kristalna, kruta. Njihovo agregatno stanje ovisi o uvjetima okoline. Tekuće i kristalno stanje kristala pokazuje isti geometrijski red ali kod tekućeg agregatnog stanja molekule imaju veću mobilnost i mogu se više gibati za razliku od krutog agregatnog stanja gdje je njihova struktura fiksna. Postepenim povećanjem temperature i promjenom iz krutog u tekuće agregatno stanje, kristali počinju reflektirati svjetlost i za razliku od krutog stanja gdje se pojavljuju u crnoj boji, sada prikazuju gotovo cijeli spektar. Kada temperatura raste dolazi do narušavanja geometrijskog reda. Prostor između molekula kristala se mijenja tako da mogu reflektirati svjetlo drugačije, a posljedica toga je promjena valne duljine reflektiranog svjetla i kristali mijenjaju obojenje. Hlađenjem se molekule vraćaju na svoje prvobitne položaje, pa se i samo obojenje vraća u početnu boju. Uz veliko zanimanje za termokromizam su ubrzo bile otkrivene i druge skupine molekula koje imaju sposobnost promjene obojenja, pa su se razvile termokromne boje na bazi leukobojila.

Glavne razlike između termokromnih boja na bazi tekućih kristala i onih na bazi leukobojila su mogućnosti promjene boje unutar vidljivog spektra, jednostavnosti primjene i točnosti indikacije temperature. Kod termokromnih boja na bazi tekućih kristala uzrokovana promjena je kontinuirano obojenje duž cijelog spektra dok se kod termokromnih boja na bazi leukobojila boja mijenja iz jedne u drugu ili prelazi iz obojenog u transparentno stanje. Iako su leuko bojila jednostavnija za primjenu, imaju nižu razinu točnosti u indikaciji temperature. Termokromne boje na bazi leukobojila trenutno se češće primjenjuju od boja na bazi tekućih kristala, a veliki izbor boja i „pigmenata“ pruža mogućnost raznovrsne upotrebe. Nazivaju se još i dinamičkim bojama, jer se mogu naći u dva optička stanja, obojenom i neobojenom [13].

Sastavljeni su od velikih organskih molekula, a struktura molekula definirana je od nekoliko šesterokutnih prstena ugljikovih atoma s pomoćnim skupinama koje su vezane za njih. Prilikom spajanja njihove strukture mogu apsorbirati pojedine valne duljine.

Termokromne boje sastoje se od bojila (koloranti), razvijaa i otapala pomiješanih u točno određenim omjerima. Promjena boje očituje se u dvije reakcije, između bojila i razvijaa, te otapala i razvijaa. Reakcija bojila i razvijaa odvija se pri nižim temperaturama gdje se otapalo nalazi u krutom stanju. Povećanjem temperature stanje otapala se mijenja iz krutog stanja u tekuće što uzrokuje raspad kompleksa bojila i razvijaa, pa otapalo i razvijaa prevladavaju i cijeli sustav prelazi u bezbojno stanje. Kada se cijeli sustav ohladi otapalo prelazi u kruto stanje, a razvijaa i bojilo ponovno se spoje te se boja ponovno vraća u prvobitno stanje. Reakcija između otapala i razvijaa je mnogo važnija za postizanje termokromnog efekta.

Cijeli proces promjene ovisi o temperaturi aktivacije koja najčešće ima tri standardna temperaturna područja: na hladno ($\sim 10^{\circ}\text{C}$), na temperaturu ljudskog tijela ($\sim 31^{\circ}\text{C}$) i na vruće ($\sim 43^{\circ}\text{C}$).

Leukobojila osim prelaska iz obojenog stanja u bezbojno stanje, mogu prelaziti iz jedne boje u drugu tj. promjenom temperature izmjenjuju se dva obojenja npr. ako su pomiješane boje plava i žuta na nižim temperaturama dolazi do zelene boje, a pri višim temperaturama dolazi do pojave žute boje. To se postiže miješanjem leukobojila s konvencionalnim pigmentima, u opisanom slučaju leukobojila su nositelji plavog obojenja, dok su konvencionalni pigmenti žute boje. Dok se kod termokromnih boja na bazi tekućih kristala za tisak koristi apsolutno crna podloga, kod termokromnih boja na bazi leukobojila preporuča se otiskivanje termokromnih boja na što svjetliju tiskovnu podlogu, najbolje bijelu.



Slika 11. Primjer termokromne boje na indikatorima [8]

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

Primjenjuju se i u mliječnoj industriji, na ambalaži za mlijeko kao dokaz da je proizvod prikladno skladišten. Ukoliko se nalaze na ambalaži mogu sadržavati i dodatne informacije o proizvodu. U području sigurnosnog tiska koriste se kako bi se pojedine informacije sakrile i jednostavno utvrdio identitet. U komercijalne svrhe mogu se koristiti kao dekorativne šalice, zidne tapete, promotivne letke, nakit i slično. Pojavile su se i u tekstilnoj industriji gdje se na tekstil prenose tehnikom sitotiska, s obzirom da se tekstil od termokromnih vlakana još nije pojavio na tržištu. Nalaze se i na baterijama kao testeri koji se sastoje od otisnute strukture slojeva od kojih se jedan sloj bazira na električnoj provodnoj boji, a drugi na termokromnoj boji. Termokromizam se može pojaviti u različitim vrstama polimera, kao termoplast, duroplast, gel, tiskarske boje, bojila i svih tipovi premaza. Ako je u sam polimer ugrađen termokromni aditiv on će izazvati termokromni efekt [13].



Slika 12. Primjeri termokromne boje na indikatorima vremena i temperature [14]

Fotokromne boje, odnosno boje aktivirane sunčevom svjetlošću, mijenjaju obojenje ako su izložene sunčevoj svjetlosti (UV zračenju). To znači da kad su na suncu, boje postaju vidljive, a kad se maknu sa sunca njihovo obojenje nestaje [15].

Jedan od primjera fotokromne boje je plastisol fotokromna boja proizvođača SFXC.

Proizvođač nudi 17 različitih tonova ove boje među kojima su : plava, žuta, cijan, crvena, crna, zelena, tamno plava, ljubičasta, smeđa, narančasta, svijetlo plava, ružičasta zlatna. Ako se ovakvom bojom otisnuti materijal izloži direktnoj sunčevoj svjetlosti u trajanju od barem 15 sekundi, početno stanje tona mijenja se u jednu od 17 navedenih boja. Nakon što se otisnuti materijal skloni sa sunčeve svjetlosti, nakon 5 minuta boja se vraća u početno stanje [5].



Slika 13. Primjer korištenja fotokromne boje na ambalaži [15]

Biokromne boje mijenjaju obojenje pod utjecajem biokemijske promjene unutar ambalaže. To može biti promjena količine amonijaka ili uslijed reakcije antitijela na prisutnost bakterija u ambalaži. Takve boje se mogu koristiti kod indikatora svježine, indikatora vremena i temperature, indikatora kemijskih promjena te bioindikatora.

Indikatori svježine se baziraju na tehnologiji otkrivanja ciljanog metabolita povezanog s mikrobiološkim propadanjem pa se za različite vrste hrane koriste različiti markeri koji otkrivaju određene amine, kiseline, plinove i sl.

Indikatori kemijskih promjena mogu mijenjati boju na osnovu promjene pH vrijednosti unutra ambalaže ili pod određenim elektrodnim potencijalom. Takvi indikatori su redoks indikatori koji moraju omogućavati brzu i reverzibilnu promjenu. Za takve indikatore se mogu koristiti metal-organski kompleksi (npr.fenantrolin) ili pravi organski redoks sustavi (npr.metilen plava). Često se obojene oksidanse i reduktante poput kalijeva manganata ili kalijeva dikromata klasificira kao redoks indikatore iako je to netočno zbog njihove ireverzibilnosti.

Iako bioindikatore možemo podijeliti na direktne i indirektne, u prehrambenoj industriji se češće koriste indirektni zbog premale osjetljivosti direktnih bioindikatora. Primjer indirektnog vremensko-temperaturnog bioindikatora je (eO)[®] naljepnica tvrtke Cryolog. Tehnologija se bazira na mikroorganizmima koji simuliraju kvarenje zapakiranog proizvoda. Indikator sadrži gel s mikroorganizmima koji se izrađuje posebno prema vrsti namirnice, uvjetima skladištenja i razini tražene svježine. Ukoliko je proizvod bio predugo izložen nepovoljnim temperaturnim uvjetima ili je prestar za uporabu boja naljepnice će se promijeniti iz zelene u ljubičastu.[14]



Slika 14. Primjer indirektnog vremensko-temperaturnog bioindikatora [14]

Bioaktivni papir još nije ušao u širu primjenu i nije dostupan javnosti, ali se sve više približava komercijalizaciji. Prednost bioaktivnog papira pred skupom laboratorijskom

opremom je što pruža jeftinu platformu za dijagnostiku. Bioaktivni papiri su jeftini, imaju dug rok trajanja (do tri mjeseca kada se pravilno skladište), lako su prijenosni i ne zahtijevaju posebne instrumente za očitavanje.

Biološki aktivne kemikalije u obliku boja mogu biti otisnute na papir, impregnirane u papir korištenjem strojeva za izradu papira ili tiskarskih strojeva, a mogu se i premazivati u različitim slojevima. Boja je slična običnoj boji koju možemo pronaći u svakom stolnom inkjet pisaču, ali sadrži specijalne aditive koji je čine biokompatibilnom. Aktivni sloj sastoji se od biokompatibilnih silicijevih nanočestica koje se otiskuju u prvom sloju i boje koja sadrži enzime u drugom sloju. Bio-boja se nalazi u obliku tankog filma enzima koji je zarobljen u siliciju na papiru. Kada je papir izložen toksinu molekule u boji mijenjaju boju u odnosu na količinu toksina u uzorku. Osim silicijevih nanočestica za fiksiranje enzima koriste se i različiti agar mediji u obliku mikro gelova.

Zbog mogućnosti detekcije nervnih spojeva, jako je važna komponenta u otkrivanju bioterorizma i sigurnosti hrane zbog čega postaje proizvod od interesa za vojnu industriju i industriju ambalaže. Može se koristiti za detekciju salmonelle, e.coli, pesticida i virusa poput SARS-a.

Bioaktivni papir se također koristi kao jedna od aktivnih komponenti u ambalaži koja osim indikatorskih svojstava može služiti i kao aktivna komponenta koja će pomoći u sprečavanju rasta mikroorganizama i njihovom uništenju. Kanadski znanstvenici su pomoću korištenja bakteriofaga, specifičnog bakterijskog virusa, uspjeli uništiti izolirane patogene na površini hrane (uključujući listeriu i e.coli). Nakon što količina bakteriofaga dosegne kritičnu razinu, stanica bakterije puca, što je uništava. Na taj način onemogućava patogenu da se množi na površini prehrambene namirnice. Ova opcija kod pakiranja funkcionira na temperaturama istovjetnima onim u zamrzivaču, pri kojima patogeni još uvijek mogu rasti.

2.4. Aktivna ambalaža

Prethodno spomenuta podjela pametne ambalaže na inteligentnu i aktivnu nam govori kako aktivna ambalaža “osjeti” promjene u okolini te u odnosu na njih reagira dok inteligentna ambalaža informira potrošača o promjenama unutar zapakiranog proizvoda ali ne mijenja osobine ambalaže odnosno ne “aktivira” se. Bazira se na upotrebi aktivnih komponenata koje mogu kontrolirati koncentraciju kisika, ugljikova dioksida, vlage, upijati strane mirise, ali i djelovati antimikrobno [16]. Novi i sve popularniji koncept dizajniranja ovakve ambalaže promovira njenu ulogu u prehrambenoj industriji. U svom sastavu sadrži tvari koje reagiraju s atmosferom unutar ambalaže ili s upakiranim proizvodom. Aktivni ambalažni sustavi zamišljeni su tako da otpuštaju aktivne tvari u proizvod ili apsorbiraju štetne tvari iz proizvoda s ciljem da poboljšavaju uvjete mikroklima u kojima se proizvod nalazi. Na taj način aktivna ambalaža osigurava da će proizvod biti u njemu u najboljem mogućem stanju kada krajnji korisnik stupi u kontakt s njim. Materijali koji se koriste ne smiju prekrivati proces kvarenja hrane, već ga spriječiti u nastajanju. Cilj takve ambalaže je da produljuje rok trajnosti, održavanja ili poboljšavanja uvjeta pakiranja. Iako svi koncepti aktivne ambalaže imaju istu svrhu, reagirati s upakiranim proizvodom ili atmosferom unutar ambalaže, imamo nekoliko različitih vrsta ovisno o vrsti proizvoda na koje utječu različiti čimbenici.

Glavna podjela aktivne ambalaže je na:

- Hvatače
- Emitere
- Adaptere

Hvatači apsorbiraju tvari iz unutrašnje atmosfere ambalaže kao npr. kisik, vlagu ili etilen [17]. Povećana koncentracija kisika unutar ambalaže dovodi do oksidacije i kvarenja namirnice. Izravna oksidacija uzrokuje promjenu boje odnosno tamnjenje namirnice dok neizravna uzrokuje propadanje hrane zbog rasta aerobnih mikroorganizama. I izravna i neizravna oksidacija mogu izazvati štetne posljedice na proizvod poput neugodnog mirisa, okusa, promjene boje i smanjenu prehrambenu vrijednost. Jedan od temeljnih načina je da se koristi hvatač (apsorber) kisika na bazi željeznog praha. Željezni prah se koristi na način da se stavi u propusne paketiće koji se implementiraju unutar ambalaže pa kako željezo hrđa tj. oksidira, na taj način veže na sebe kisik i smanjuje njegovu koncentraciju unutar

same ambalaže. Postoje i razni moderni postupci koji se temelje na ugradnji aktivnih barijera u ambalažni materijal. Te ugrađene barijere bi prema potrebi propuštale više ili manje kisika ovisno o kakvoj se namirnici radi [3]. Aktivna barijera smanjuje permeaciju kisika u ambalažu iz okoline, štiti proizvod od kvarenja i promjene kvalitete. Ugradnjom aktivnih tvari poput željeznog (3) oksida ili zeolita koji vežu na sebe kisik, možemo usporiti oksidaciju i smanjiti koncentraciju kisika u ambalaži do 0,1,%. Također se dodaju hvatači vodene pare (Al_2O_3 i ZnO) te slojevita glina kao fizička barijera koja usporava prolaz molekula O_2 kroz ambalažni film polietilena. Hvatači kisika se dodaju u različite vrećice, boce, čepove, folije i sl.



Slika 15. Promjena boje mesnih proizvoda uslijed oksidacije [16]

Problemi s koncentracijom ugljikovog dioksida (CO_2) su posebno izraženi kod mliječnih proizvoda gdje kod povećane koncentracije CO_2 dolazi do promjene kemijskog sastava, a samim time dolazi i do promjene organoleptičkih svojstava tih namirnica. Kako bi se smanjila koncentracija CO_2 većinom se koriste jednosmjerni ventili koji su ugrađeni u ambalažu koji dopuštaju izlaz plinova ali ne dopuštaju ulazak [3]. Koriste se i vrećice s kalcijevim hidroksidom ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) koji reagira s ugljikovim dioksidom – nastaje kalcijev karbonat.

Etilen predstavlja prirodni biljni hormon koji ima središnju ulogu u odvijanju procesa zrenja, a zatim i propadanja (truljenja) čak i pri vrlo malenim koncentracijama. Apsorbensi etilena pomažu odgoditi fazu starenja nekih vrsta voća. Kao sredstva za apsorpciju se koriste: kalijev permanganat, aktivni ugljen, glina [16].

Vrećice iz tvrtke Bioconservación pomažu u održavanju kvalitete svježeg voća, povrća i rezanog cvijeća uklanjanjem etilena iz zraka oko proizvoda, čime se usporava proces zrenja i produljuje rok trajanja.

Povećana koncentracija vlage u samoj ambalaži može dovesti do stvaranja različitih mikroorganizama te time i do smanjenja roka trajnosti namirnice. Kako bi se to izbjeglo

koriste se različiti desikanti (sredstva za isušivanje) koja na sebe vežu čestice vode. Ona se koriste tako da se stavljaju u prozirne paketiće ili se ugrade u sam materijal ambalaže.

Osim kod pakiranja prehrambenih proizvoda desikanti se koriste i kod pakiranja farmaceutskih proizvoda te za pakiranje osjetljivih elektroničkih dijelova. Osim desikanata koriste se i plastične presvlake protiv zamagljivanja koji dozvoljavanju neki stupanj transpiracije proizvoda pa se dio vlage na taj način izbacuje van [3].

Emiteri otpuštaju tvari u ambalažu (npr. antioksidansi, pare etanola). Etanol inhibira rast mikroorganizama pa je potrebno osigurati ravnomjerno raspršivanje na površini ambalaže. Najviše se koriste kod vrećica za pakiranje kruha i kolača [17].

Adaptori: ne apsorbiraju niti ne otpuštaju tvari iz svog sastava, već izazivaju željene kemijske ili biološke promjene u upakiranom proizvodu i/ili mikroorganizmima prisutnim u upakiranom proizvodu ili unutrašnjoj atmosferi ambalaže (npr. reduciraju respiraciju ili rast mikroorganizama)[17].

Antibakterijske tvari preko stanične stijenke ulaze u bakteriju, inhibiraju njezino djelovanje i razaraju je. Antimikrobna ambalaža napravljena je tako da može uništiti i inhibirati rast mikroorganizama i time produžiti rok trajnosti proizvoda i povećati mu sigurnost. U tu svrhu koriste se razne aktivne tvari koje djeluju kao baktericidi koji mogu biti raspršeni u plinu ili ugrađeni u ambalažni materijal. U antimikrobnim sustavima koriste se antimikrobni materijali kao što su razne prevlake, podlošci ili premazi. Prevlake se nalaze na unutrašnjoj strani ambalažnog materijala, dok se antimikrobni premazi nanose na samu namirnicu [3].

Antimikrobni agensi koji se raspršuju unutar pakiranja, najčešće su to kemijski reagensi kao što su etanol, srebro, bakar ili prirodni reagensi kao što su razni enzimi, probiotici i baktericidi [16]. Plinovi s antimikrobnim djelovanjem koji se koriste su najčešće pare etanola, dušik i slični inertni plinovi. Antimikrobne tvari na bazi srebra, kao i titanov dioksid, inhibiraju rast bakterija *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Campylobacter*. Titanov dioksid se također koristi za dezinfekciju pitkih i industrijskih voda. Mehanizam antimikrobne aktivnosti titanovog dioksida temelji se na dekompoziciji mikroorganizama hidroksilnim radikalima i reaktivnim oblicima kisika u vodi uz UV svjetlo. Primjer aktivne ambalaže s antibakterijskim tvarima su “Ryocoat” & “Emulactiv” premazi za papir i karton. To su premazi s antioksidativnim i antimikrobnim svojstvima iz tvrtke REPSOL YPF Lubricantes & Especialidades koji sporo otpuštaju hlapive prirodne ekstrakte u atmosferu ambalaže, čime se sprečava kvarenje svježih proizvoda tijekom B2B (engl. business to business) transporta.

Neke od prednosti aktivne ambalaže su osigurano optimalno konzerviranje hrane i drugih pokvarljivih dobara, ona produžuje rok trajanja proizvoda, održava kvalitetu i sigurnost proizvoda kroz cijeli opskrbeni lanac (od proizvođača do kupca). Smanjenje količine otpada pridonosi pozitivnom ekološkom aspektu ove vrste ambalaže. Smanjeni troškovi logistike koji daju proizvode s dužim rokom trajanja i time smanjuju količinu vraćenih proizvoda uvelike privlače sve veći broj kupaca. Osim očitih prednosti nad običnom ambalažom, svojim praćenjem svojstava proizvoda smanjuje rizik od bolesti uzrokovanih pokvarenom hranom i osiguravaju bolje nutritivne i senzorske karakteristike hrane. Proizvođači i veliki trgovački lanci mogu predstaviti sve više prirodnih hrane sa što manjom količinom konzervansa i (umjetnih) aditiva.

Iako je što veća potražnja za pametnom ambalažom, neki od problema su da ne postoji jedinstveno rješenje za sve proizvode, već se pojedina ambalaža mora prilagoditi za svaki specifični proizvod. Nepravilna upotreba aktivne ambalaže može za posljedice imati neželjene učinke.

2.4.1. Aktivna ambalaža u prehrambenoj industriji

Percepcija kupca i potrošača ovisi o nekoliko čimbenika koji se najčešće klasificiraju u osobne, društvene i psihološke. Čimbenici osobnog karaktera imaju veze sa stavovima, vrijednostima i osobnosti potrošača. Društveni čimbenici se odnose na određenu kulturu i klasu gdje se odražava grupa i stalež kupca. Čimbenici psihološkog karaktera imaju najviše veze s manipulacijom ambalaže kako bi ona bila primamljiva za potrošače. Dizajn i izgled ambalaže nam uvelike mogu sugerirati zašto kupiti baš taj proizvod, pa se tako plavom bojom može reći da je proizvod pouzdan ili crvenom, koja privlači pažnju kupaca, da je proizvod energičan. Žutozelena se veže uz kiselo, maslinasto zelena uz gorko, žuta i zelena sa začinima, crvena s mesom a keksi i čokolada sa smeđom. Uz mnogobrojne čimbenike koji nam svjesno ili nesvjesno skreću pažnju na određene ambalaže, neki od najbitnijih su oni koji nam izravno pokazuju na koji način štite i održavaju proizvode. U prehrambenoj industriji je to izrazito važno jer se korištenjem nekvalitetne ili neispravne ambalaže izlažemo potencijalnim zdravstvenim problemima.

Osim inteligentne ambalaže koja nam ukazuje na svježinu proizvoda, vrijeme skladištenja i uvjete u kojima je proizvod bio, aktivna ambalaža direktno djeluje na uvjete unutar ambalaže kako bi proizvod ostao u najboljem mogućem stanju. Taj

sigurnosni faktor uvijek će većinom presuditi kada se radi o kupnji prehrambenih proizvoda čiju kvalitetu tražimo.

Dodateci aktivnoj ambalaži poput hvatača kisika se koriste u ambalaži za pakiranje mesa i voća zbog promjene boje mesa oksidacijom i truljenja voća. Sredstva za apsorpciju CO₂ se mogu nalaziti u sastavu ambalaže proizvoda poput kave ili sira jer CO₂ može imati negativan učinak na hranu u prevelikoj količini. Sredstva za apsorpiranje etilena pomažu odgoditi fazu starenja nekih vrsta voća. Kod pakiranja kruha i kolača, u ambalaži ćemo naći tvari koje oslobađaju pare etanola tijekom određenog vremena. Antimikrobne tvari se mogu inkorporirati u ambalažni materijal ili nanijeti premazima na ambalažu. Kao premazi su to ekstrakti biljaka poput češnjaka, hrena, wasabia (meso i riba) te đumbir i cimet (kolači i keksi).

“Dri-fresh fresh hold” podloge za apsorpiranje vlage, tvrtke Sirane, mogu uključivati jednu ili više dodatnih aktivnih značajki, ovisno o primjeni. Za voće, na primjer, mogu se dodati tvari koje imaju antifungalna svojstva i / ili hvatači (eliminatori) etilena. Na taj način, u slučaju pakiranja svježe hrane, podloge mogu održavati dužu kvalitetu proizvoda i povećati njegovu zdravstvenu ispravnost [17].

“Flower transport gel” je gel razvijen od strane FlowerCare Holland, koji opskrbljuje cvijeće s vlagom i hranjivim tvarima tijekom transporta, te sadrži aktivne komponente koje sprečavaju rast i širenje plijesni kao što je Botrytis. Na taj način, gel pomaže u održavanju svježine cvijeća i produljenju njegovog trajanja u vazi [17].

„Cellcomb“ zatvorene podloge (podmetači) za hranu apsorbiraju suvišnu tekućinu i vlagu, te postupno otpuštaju ugljični dioksid (CO₂) u ambalažu. Time se održava sastav plinova u ambalaži, onemogućavajući bakterijski rast što rezultira produljenjem roka trajanja. Različiti proizvodi zahtijevaju upotrebu različitih podloga [17].



Slika 16. Primjeri aktivne ambalaže u prehrambenoj industriji [17]

2.5. Zakonski propisi koji se odnose na aktivnu i inteligentnu ambalažu

Kako bi se osigurala sigurnost materijala i predmeta koji dolaze u dodir s hranom, i kako bi se olakšalo slobodno kretanje robe, u Europskoj uniji uveden je niz pravnih zahtjeva i kontrola. Propisi koji su na snazi unutar EU mogu imati opći opseg, tj. primjenjivati se na sve materijale i predmete koji dolaze u dodir s hranom ili se mogu primjenjivati samo na posebne materijale (primjerice plastiku, keramičke materijale, regenerirani celulozni film, aktivne i inteligentne materijale i dr.). Pravo Europske unije može se nadopuniti s nacionalnim zakonima država članica, ako posebni propisi ne postoje¹. Unutar Europske unije na snazi je opći propis koji pokriva općenito sve materijale i predmete namijenjene dodiru s hranom - *Uredba (EZ) br. 1935/2004 Europskog parlamenta i Vijeća od 27. listopada 2004. o materijalima i predmetima koji dolaze u dodir s hranom*.^[18] ² Uredba navodi opća načela o sigurnosti i inertnosti za sve materijale i predmete koji dolaze u dodir s hranom. Uredba u svom Članku 3 nalaže kako svi predmeti i materijali u kontaktu s hranom trebaju biti proizvedeni prema načelima dobre proizvođačke prakse. Ambalažni materijali i predmeti ne smiju otpuštati tvari u namirnice koje bi naštetile zdravlju ljudi, načinile neželjene promjene u sastavu namirnica ili promijenile njihova organoleptička svojstva [18].

Osim Uredbe (EZ) br. 1935/2004 na snazi je i opći propis: *Uredba Komisije (EZ) br. 2023/2006 o dobroj proizvođačkoj praksi za materijale i predmete koji dolaze u dodir s hranom*[RB1] ³. Tom se Uredbom definiraju pravila dobre proizvođačke prakse (engl. good manufacturing practice - GMP) za materijale i predmete u dodiru s hranom. Uredba definira elemente kontrole kvalitete kojima se osigurava da su materijali i proizvodi proizvedeni na standardiziran način prema zakonskim propisima [19, 20].

Unutar Europske unije, aktivna i inteligentna prehrambena ambalaža smatra se materijalom koji dolazi u dodir s hranom, što znači da se na nju primjenjuju sve one odredbe koje se odnose na materijale i predmete koji dolaze u dodir s hranom. To znači da aktivna i

¹Više informacija o materijalima i predmetima koji dolaze u dodir s hranom možete pronaći na mrežnoj stranici Europske komisije http://ec.europa.eu/food/safety/chemical_safety/food_contact_materials/index_en.htm s poveznicama na sve relevantne propise.

²Uredba je dostupna na internetskoj stranici: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?qid=1397151584110&uri=CELEX:32004R1935>

³Uredba je dostupna na internetskoj stranici: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?qid=1397151605459&uri=CELEX:32006R2023>

inteligentna prehrambena ambalaža mora udovoljavati odredbama sadržanim u već spomenutoj Uredbi (EZ) br. 1935/2004 o materijalima i predmetima koji dolaze u dodir s hranom, specifičnoj *Europskoj Uredbi (EZ) br. 450/2009 o aktivnim i inteligentnim materijalima i predmetima koji dolaze u dodir s hranom*⁴ te nacionalnim odredbama ako ih je država članica propisala.

Nadalje, proizvodnja aktivnih i inteligentnih materijala također mora biti usklađena s odredbama koje propisuje Uredba (EZ) br. 2023/2006 o dobroj proizvođačkoj praksi za materijale i predmete koji dolaze u dodir s hranom [21]⁴.

Za specifičnu Uredbu (EZ) br. 450/2009 o aktivnim i inteligentnim materijalima važno je definirati što je to “aktivni dio” ambalaže. *Aktivni materijali i predmeti* označavaju materijale i predmete čija je namjena produljenje roka trajanja ili održavanje (poboljšanje) stanja zapakirane hrane. Oni su oblikovani tako da namjerno sadrže sastojke koji otpuštaju tvari u zapakiranu hranu ili okolinu koja okružuje hranu ili ih apsorbiraju iz njih. Oboje, komponente ambalaže kojima je intencija proizvesti aktivne efekte na hranu kao i tvari koje one otpuštaju reakcijama *in situ* (na licu mjesta) u ambalažu, moraju udovoljavati odredbama Uredbe (EZ) No 450/2009.[21, 22].

Inteligentni materijali i predmeti označavaju materijale i predmete koji prate stanje zapakirane hrane ili okoline koja okružuje hranu. Postoji mnogo različitih vrsta aktivnih i inteligentnih materijala i predmeta. Tvari odgovorne za aktivnu i/ili inteligentnu funkciju mogu se nalaziti u odvojenom spremniku, na primjer, u maloj papirnatoy vrećici, ili te tvari mogu biti izravno ugrađene u ambalažu, na primjer, u plastiku i plastične boce. Te tvari, odgovorne za aktivno i/ili inteligentno djelovanje tih materijala i predmeta (sastojci), treba ocjenjivati u skladu s Uredbom (EZ) br. 450/2009. [21]

Ostali dijelovi ambalaže smatraju se “pasivnima” (npr. spremnik, pakovanje u koje se stavlja taj spremnik i ambalaža u koju je tvar ugrađena) i time ne podliježu odredbama koje su propisane Uredbom (EZ) No 450/2009, međutim, na njih se odnose odredbe Uredbe (EZ) br. 1935/2004. [21].

⁴Uredba je dostupna na internetskoj stranici: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/LSU/?uri=CELEX:32009R0450>

Aktivni i inteligentni materijali i predmeti mogu se sastojati od jednog ili više slojeva, ili dijelova od različitih vrsta materijala, kao što su plastika, papir i karton ili premazi i lakovi. Kod procjene zdravstvene ispravnosti, treba ocjenjivati pojedinačne tvari ili, prema potrebi, kombinaciju tvari koje tvore sastojke, kako bi se zajamčilo da su sigurni i da udovoljavaju zahtjevima utvrđenim u Uredbi (EZ) br. 1935/2004. U nekim slučajevima može biti potrebno ocijeniti i odobriti kombinaciju tvari, kada aktivna ili inteligentna funkcija podrazumijeva interakciju između različitih tvari, što dovodi do poboljšanja funkcije ili stvaranja novih tvari koje su odgovorne za aktivno i inteligentno djelovanje [21].

Inteligentni sustavi pakiranja pružaju korisniku informacije o stanju hrane i, za razliku od aktivnih sustava, ne smiju otpuštati svoje sastojke u hranu. Inteligentne sustave treba postavljati na vanjsku površinu pakovanja i mogu biti odvojeni od hrane funkcionalnom barijerom, a to je barijera unutar materijala ili predmeta koji dolaze u dodir s hranom koja sprečava migraciju tvari koje se nalaze iza te barijere u hranu. Iza funkcionalne barijere se mogu koristiti neodobrene tvari (tj. tvari kojima nije utvrđena zdravstvena ispravnost), pod uvjetom da udovoljavaju određenim kriterijima i da njihova migracija ostane ispod određene granice detekcije [21].

Procjenu sigurnosti (zdravstvene ispravnosti) tvari ili kombinacije tvari koje tvore sastojke aktivnih komponenti sadržanih u ambalaži treba provoditi Europska agencija za sigurnost hrane (EFSAod engl. European Food Safety Authority). Samo se pojedine tvari i kombinacije tvari koje je procijenila EFSA mogu koristiti kao komponente aktivnih i inteligentnih materijala i predmeta. Međutim, dokument

Smjernice Unije o Uredbi (EZ) br. 450/2009 pokazuje da dobavljači, dok su u procesu čekanja da se odobri njihova aktivna ambalaža, mogu na tržište plasirati aktivna i inteligentna ambalažna rješenja, pod uvjetom da se pridržavaju svih ostalih primjenjivih europskih i nacionalnih propisa, pokazujući da oni ne predstavljaju rizike za ljudsko zdravlje [22].

U članku 4. stavku 5. Uredbe (EZ) br. 1935/2004 nalaže se da aktivni i inteligentni materijali i predmeti koji su već došli u dodir s hranom moraju biti odgovarajuće označeni na način koji omogućuje potrošaču identifikaciju nejestivih dijelova. Neophodna je dosljednost takvih informacija kako bi se izbjegle nejasnoće na razini potrošača. Aktivni i inteligentni materijali

i predmeti trebaju stoga biti označeni odgovarajućim riječima i, ako je to tehnički moguće, simbolom, uvijek kad bi se za materijale i predmete ili njihove dijelove moglo pomisliti da su jestivi [21].

2.5.1. Primjeri primjene navedenih propisa na aktivnu i inteligentnu ambalažu

Apsorberi ili hvatači plinova

Na tržištu mogu biti dostupni u različitim oblicima: na primjer kao vrećica načinjena od laminiranog filma koji sadrži aktivni prah čija je funkcija uklanjanje plina iz okoline koja neposredno okružuje hranu unutar pakovine, ili kao film u kojem je aktivna tvar umiješana u polimer sa svrhom formiranja modificiranog apsorbera plina. U oba slučaja, aktivne komponente bilo u vrećici ili u filmu koje izravno utječu na proces apsorpcije smatraju se aktivnim tvarima, i prije svega potrebno je utvrditi njihovu zdravstvenu ispravnost prema načelima koje vrijede za tvari koje dolaze u neposredan dodir s hranom sukladno europskim i/ili nacionalnim odredbama ovisno o prirodi materijala od kojeg su sačinjene. Nadalje, ako pojedinačna tvar ili kombinacija aktivnih tvari nije još uvrštena u popis odobrenih tvari Zajednice, za njih je potrebno izvršiti procjenu rizika sukladno Uredbi (EZ) br. 450/2009. Sama vrećica i film predstavljaju pasivni dio ambalaže, no, njihova zdravstvena ispravnost, prema načelima koje vrijede za tvari koje dolaze u neposredan dodir s hranom, mora biti u skladu s Europskom Uredbom br. 1935/2004, posebnim mjerama Europske Komisije, ako su dostupni i/ili nacionalnim odredbama, koji ovise o prirodi materijala od kojeg su sačinjene.

Ako je uloga apsorbera da spriječi prolazak plinova iz vanjskog okruženja kroz ambalažu u hranu, onda se takva ambalaža ne smatra aktivnom, već se radi o pojačivaču barijernih svojstava ambalaže i na nju se primjenjuje samo Uredba (EZ) br. 1935/2004 [22].

Sustavi koji otpuštaju tvari iz svog sastava (emiteri)

Ovo se odnosi na one materijale koji namjerno otpuštaju tvari iz svog sastava, kao što su antimikrobne tvari i antioksidansi, sa svrhom zaštite od kvarenja zapakirane hrane i produljenja njenog roka trajanja. Budući da se antimikrobna tvar otpušta iz materijala, ona se smatra aktivnom komponentom koja, prije svega, mora biti zdravstveno ispravna

budući da se radi o tvari koja dolazi u neposredan dodir s hranom. Njena zdravstvena ispravnost utvrđuje se prema važećim europskim i/ili nacionalnim odredbama ovisno o prirodi materijala od kojeg je sačinjena.

Nadalje, ako pojedinačna tvar ili kombinacija aktivnih tvari nisu još uvijek uvrštene u popis od Zajednice, za njih je potrebno izvršiti procjenu rizika sukladno Uredbi (EZ) br.450/2009. Čak ako je antimikrobno sredstvo imobilizirano i inkorporirano dogradnjom istoga u materijal (cijepljenjem), ono se smatra aktivnim ukoliko ima utjecaj na stanje upakirane namirnice, neovisno o tome da li dolazi do njegove migracije ili ne. U ovim sustavima, pasivnim dijelom ambalaže smatraju se bazni supstrat, biokatalizatori i polimeri koji nose aktivnu tvar (u slučaju polimernih filmova). Ovi materijalima se također mora utvrditi zdravstvena ispravnost budući da dolaze u dodir s hranom, a ona se utvrđuje sukladno europskim i/ili nacionalnim odredbama koje se na njih odnose [22].

Inteligentna ambalaža

Ako su indikatori odvojeni od hrane pomoću funkcionalne barijere i nisu mutageni, kancerogeni ili toksični za reprodukciju i ako njihova veličina nije u nano-dimenzijama, za njih nije potrebno tražiti odobrenje. Ako je indikator ugrađen u ambalažu u sloju koji dolazi u neposredan dodir s hranom, a taj sloj je inertan i ne oslobađa svoje sastojke u hranu, potrebno je izvršiti procjenu rizika prema Uredbi (EZ) br. 450/2009 kako bi se dobilo odobrenje, a time i uključivanje istog u popis Zajednice [22].

Neprehrambeni artikli

Jednostavnije je implementirati aktivne i inteligentne elemente u ambalažu u koju se ne pakira hrana, budući da takva ambalaža ne podliježe strogim kriterijima koje propisuju Uredba (EZ) br. 450/2009 i Uredba (EZ) br. 1935/2004 koje se odnose isključivo na materijale namijenjene dodiru s hranom. Međutim, to ne znači da se na takve ambalažne sustave ne primjenjuju neki drugi propisi.

Takvi neprehrambeni artikli kod kojih bi se aktivni i inteligentni sustavi mogli primijeniti u svrhu unapređenja funkcije ambalaže u koju su upakirani jesu farmaceutski proizvodi, kozmetika i cvijeće. Za farmaceutske proizvode ne postoje specifična ograničenja vezana za unapređenje funkcionalnosti ambalaže, dok god su ona u skladu s općim zahtjevima koje

ambalaža mora ispuniti, te ih ovlaštene proizvođači smiju proizvesti i aplicirati nakon njihove prethodne procjene. U slučaju pakiranja kozmetike potrebno je izvršiti dodatnu procjenu od strane zakonodavnih stručnjaka prije nego li se takvo pakiranje može staviti na tržište. Za cvijeće, osim propisa o zaštiti bilja, postoje propisi koji se odnose na njihovu ambalažu, a razlikuju se od zemlje do zemlje, te u ovisnosti o vrsti cvijeća koje se pakira [22].

3. ZAKLJUČAK

Ambalaža ima mnoge funkcije od kojih je najvažnije zadovoljiti onu zaštitnu i funkcionalnu. Uz sve čimbenike koji utječu na kupnju nekog proizvoda kao što su izgled, dizajn i cijena, kvaliteta i sigurnost proizvoda je nešto čemu svaki proizvođač i potrošač teži. Kada govorimo o pametnoj ambalaži, dobivamo upravo ono što očekujemo. Inteligentna ambalaža nam pomoću novo razvijenih tehnologija može prezentirati sve podatke o proizvodu, njegovo stanje, sastav i put od trenutka pakiranja do transporta u trgovinski lanac. Aktivna ambalaža ide korak dalje- ona direktno utječe na stanje i atmosferu unutar ambalaže ukoliko je to potrebno smanjenjem koncentracije kisika, CO₂ ili vlage.

Inteligentna ambalaža uz pomoć indikatora, senzora, RFID tehnologije te barkodova ima mogućnost pratiti kvalitetu proizvoda i dati kupcima do znanja ako i kada taj proizvod više nije siguran za korištenje. U prehrambenoj industriji je to naročito bitno zbog sigurnosnih i zdravstvenih razloga. Najčešći pokazatelj ispravnosti proizvoda su kromogeni materijali, koji mijenjaju boju ovisno o promjenama u atmosferi ambalaže.

Mogu biti osjetljivi na promjenu temperature, vremena, tlaka, pH vrijednosti ili neke biokemijske reakcije u ambalaži. Mijenjanjem boje na etiketama ili naljepnicama, koje mogu biti nalijepljene ili pak sastavni dio ambalaže, potrošaču se daje do znanja da se dogodila neka promjena na proizvodu.

Aktivna ambalaža ima veći utjecaj na sam proizvod, gdje sa posebnim dodacima polimernoj ambalaži može apsorbirati ili ispuštati određene plinove, vlagu ili antimikrobne tvari.

Također može biti sastavni dio ambalaže ili se može nanositi kao zaseban premaz.

Kombinacija inteligentne i aktivne ambalaže uvelike mijenja dosadašnji proces pakiranja i daje fokus na zaštitu i kvalitetu proizvoda. Uvođenje pametne ambalaže u trgovinske lance s prehranom može biti zahtjevno zbog težeg pristupa nekim materijalima te potrebi prilagodbe određenih vrsta ambalažnih materijala prema prehrambenim proizvodima.

Osim tih nedostataka, ovakva ambalaža se sve više uvodi u različite industrije zbog raznih čimbenika kojima prednjači nad ostalim vrstama ambalaže poput njene ekološke isplativosti, visokog stupnja kvalitete proizvoda te jedinstvene zaštite i sigurnosti koju pruža.

4. LITERATURA

1. Sonja Jamnicki (2011.), *Evaluacija prikladnosti različitih klasa recikliranih papira za izradu zdravstveno ispravne prehrambene ambalaže*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet
2. Castle, L. (2007). *Chemical migration in food: an overview*; Chemical Migration and Food Contact Materials, Barnes, K. A.; Sinclair, C. R.; Watson, D. H. Ed: Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England
3. Jakupić, M., Poljan, M., i Hajdek, K. (2019). „Pametna ambalaža“, *Polytechnic and design*, 7(2), str. 144-153. <https://doi.org/10.19279/TVZ.PD.2019-7-2-09>
4. Inteligentna ambalaža, letak, COST ActInPak FP1405, dostupno na: http://www.actinpak.eu/wp-content/uploads/2018/09/Intelligent_packaging_Croatia.pdf , 22.5.2020.
5. 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> , 22.5.2020.
6. Pavelková, A. (2013). “Time temperature indicators as devices intelligent packaging.” *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 61: 245-251.
7. Intelligent packaging (2018), Industry leaflet, COST ActInPak FP1405 dostupno na http://www.actinpak.eu/wp-content/uploads/2018/10/Full_text_intelligent_download.pdf 22.5.2020.
8. Diana Gregor-Svetec (2017), *Intelligent packaging*, COST ActInPak FP1405 International Workshop Meeting, Budapest, Hungary dostupno na: <http://www.actinpak.eu/wp-content/uploads/2017/10/Intelligent-packaging.pdf>, 22.5.2020
9. ThinFilm Smart Label for Temperature Threshold Detection, letak, dostupno na: https://www.thinfilmnfc.com/wp-content/uploads/2017/06/5439_ThinFilm_Rebranding_ProductBrief_SmartLabelSensors_120617.pdf , 20.7.2020.
10. Slika preuzeta sa: <https://aulaempresa.wordpress.com/2015/02/16/marketing-coca-cola-miguel-angel-o-r-2o-asir/> 20.7.2020.
11. Aktivna ambalaža, letak, COST ActInPak FP1405, dostupno na: http://www.actinpak.eu/wp-content/uploads/2018/09/Active_packaging_Croatia.pdf 20.7.2020.

12. Slika preuzeta sa: <https://www.swedbrand-group.com/blog/interactive-packaging-whats-next> 22.7.2020.
13. Marko Ivanković (2016.) *Primjeri primjene termokromnih boja na bazi tekućih kristala*, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet
14. Termokromne tiskarske boje, prezentacija iz kolegija Primjena i ispitivanje grafičkih materijala, Grafički fakultet, dostupno na:
<http://materijali.grf.unizg.hr/pages/kolegiji/primjena-i-ispitivanje-grafiC48Dkih-materijala/nastavni-materijali.php> 22.7.2020.
15. Slika preuzeta sa: <https://www.ctiinks.com/photochromic-inks> 22.7.2020.
16. Aktivna i inteligentna polimerna ambalaža, prezentacija FKIT, dostupno na
<https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/6-DiMP-predavanje%5B1%5D.pdf> , 20.7.2020.
17. Aktivna ambalaža, letak, COSTActInPak FP1405, dostupno na:
http://www.actinpak.eu/wp-content/uploads/2018/09/Active_packaging_Croatia.pdf, 20.7.2020.
18. Uredba Komisije (EZ) br. 1935/2004 Europskog parlamenta i Vijeća od 27. listopada 2004. o materijalima i predmetima koji dolaze u dodir s hranom i stavljanju izvan snage direktiva 80/590/EEZ i 89/109/EEZ, *Službeni list Europske unije*, L 338, 78-91 (13.11.2004.)
19. Uredba Komisije (EZ) br. 2023/2006 od 22. prosinca 2006. o dobroj proizvođačkoj praksi za materijale i predmete koji dolaze u dodir s hranom, *Službeni list Europske unije*, L 384/75, 36-39 (29.12.2006.)
20. Jamnicki, Sonja (2016). „Boje u tisku prehrambene ambalaže i njihova moguća migracija u hranu“, *Print magazin*, 3,13; 16-25
21. Uredba Komisije (EZ) br. 450/2009 od 29. svibnja 2009. o aktivnim i inteligentnim materijalima i predmetima koji dolaze u dodir s hranom, *Službeni list Europske unije*, L 135/3, 214-222 (29.05.2009.)
22. Zakonski propisi, letak, COST ActInPak FP1405, dostupno na:
http://www.actinpak.eu/wp-content/uploads/2018/09/Legislation_Croatia.pdf 01.08.2020.