

Pravci razvoja ambalaže od polimernih materijala

Slobodan Jovanović¹, Jasna V. Džunuzović²

¹Tehnološko–metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

²IHTM – Centar za Hemiju, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

Izvod

Na svetskom tržištu ambalaže godišnje se ostvari promet od oko 620 milijardi US dolara. Jedna trećina ove sume otpada na ambalažu od polimernih materijala. Očekuje se da će porast potrošnje ambalaže od polimernih materijala biti najmanje 3% u sledećih pet godina i da će biti veći od porasta potrošnje svih drugih materijala, koji se koriste za izradu ambalaže. Zbog kvaliteta i cene polimerni materijali polako istiskuju druge materijale i u ovoj oblasti primene. Veliki doprinos tome daju proizvođači polimernih materijala i ambalaže od polimernih materijala, kao i svi oni koji koriste ovu ambalažu za pakovanje svojih proizvoda, značajnim ulaganjem u razvoj polimernih materijala, tehnologiju izrade ambalaže i pakovanja. U okviru ovoga rada prikazani su neki od pravaca razvoja ambalaže od polimernih materijala, kao na primer: pakovanje u zaštitnoj atmosferi, primena aktivne i inteligentne ambalaže, sve veća primena biopolimera i reciklata polimera za izradu ambalaže koja dolazi u direktan kontakt sa pakovanim proizvodom.

Ključne reči: ambalaža od polimernih materijala; pakovanje u modifikovanoj atmosferi; aktivna i inteligentna ambalaža; biopolimeri; reciklirani polimeri.

Dostupno na Internetu sa adrese časopisa: <http://www.ache.org.rs/HI/>

STRUČNI RAD

UDK 658.788.4:678

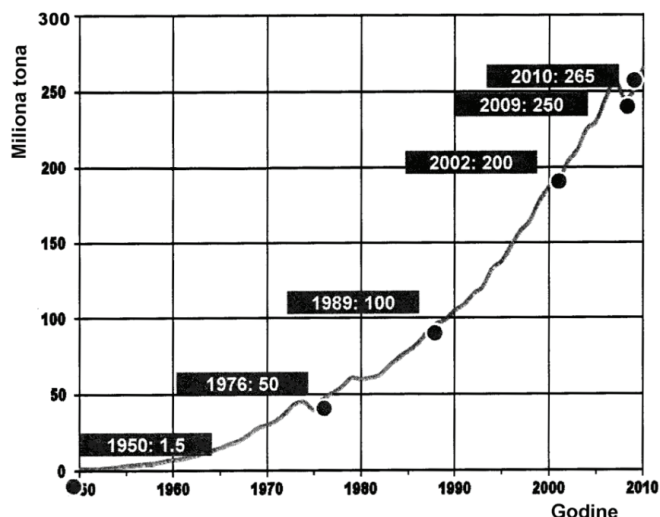
Hem. Ind. 65 (6) 621–635 (2011)

doi: 10.2298/HEMIND111018087J

Na svetskom tržištu se nalazi ogroman broj proizvoda različitog sastava i namene ali se za izradu ambalaže za njihovo pakovanje i u najrazvijenijim zemljama koristi praktično samo pet osnovnih grupa materijala: papir i karton (38 mas.%), staklo (26 mas.%), polimeri (18 mas.%), metali (12 mas.%), drvo i ostali materijali (6 mas.%) [1]. Vrednost svetskog tržišta ambalaže kreće se

oko 620 milijardi US dolara. Ambalaža izrađena od polimernih materijala učestvuje u ovoj sumi novca sa jednom trećinom [2].

Proizvodnja polimernih materijala u svetu, kao što je to prikazano na slici 1, porasla je od 1,5 miliona tona u 1950. godini do 265 miliona tona u 2010. godini [3]. Ovako brz porast proizvodnje nije do sada zabeležen ni



Slika 1. Porast proizvodnje polimernih materijala u svetu u periodu 1950–2010. godine.

Figure 1. The increase in world production of polymer materials in the period 1950–2010.

Prepiska: S. Jovanović, Tehnološko–metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4, 11000 Beograd, Srbija.

E-pošta: bobajov@open.telekom.rs

Rad primljen: 18. oktobar, 2011

Rad prihvaćen: 31. oktobar, 2011

za jednu drugu vrstu materijala. Od 265 miliona tona polimernih materijala koji su proizvedeni u 2010. godini oko 33 mas.% korišćeno je za izradu ambalaže (oko 80 miliona tona). Prema ovim podacima, proizvođači am-

balaže su postali najveći potrošači polimernih materijala u svetu.

Polimerni materijali počeli su intenzivno da se koriste za izradu ambalaže u poslednjih pedeset godina i u tom periodu njihov udeo u materijalima za izradu ambalaže dostigao je 18 mas.%. Interesantno je, da i pored relativno malog masenog udela, ambalaža izrađena od polimernih materijala čini oko 50% od ukupnog broja proizvedenih pakovnih jedinica na svetskom tržištu. Zahvaljujući dobrim svojstvima, koja proizvođači polimernih materijala permanentno poboljšavaju, ambalaža od polimernih materijala može se prilagoditi za pakovanje praktično svih proizvoda koji se nalaze na tržištu. Zbog toga je u poslednjih dvadesetak godina zabeležen stalni porast primene polimernih materijala za izradu ambalaže, koji je u najvećem broju zemalja izražen u procentima većim od porasta bruto nacionalnog dohotka. U razvijenim evropskim zemljama svaki građanin u proseku koristi dnevno po sedam proizvoda pakovanih u ambalažu od polimernih materijala. U sledećih pet godina očekuje se porast korišćenja ambalaže od polimernih materijala u svetu u proseku za 3 mas.%, i razlikovaće se kako po regionima sveta, tako i po vrstama korišćenih polimernih materijala. Porast proizvodnje ambalaže od polimernih materijala uslovljen je pre svega porastom broja stanovnika u svetu, kao i porastom ukupnog broja proizvoda koji se pakuju, ali i daljom laganom supstitucijom ambalaže od drugih materijala ambalažom od polimernih materijala. Kada se, pored navedenih podataka, uzme u obzir i činjenica da je ambalaža od polimernih materijala, pored svih drugih prednosti i najjeftinija ambalaža, postaje jasno zašto se proizvođači trude da što više svojih proizvoda pakuju u ambalažu od polimernih materijala.

Razvoj u oblasti pakovanja usmeren je pre svega ka boljoj zaštiti pakovanih proizvoda, većoj pouzdanosti, povećanoj funkcionalnosti, boljim ekološkim svojstvima ambalaže, kao i razvoju novih materijala i tehnologija pakovanja. U ovome tekstu ukratko je prikazano pakovanje naročito prehrambenih, farmaceutskih i proizvoda za primenu u medicini u modifikovanoj (zaštitnoj) atmosferi, pakovanje u aktivnu i inteligentnu ambalažu, kao i razvoj polimernih materijala za izradu ambalaže.

PAKOVANJE U MODIFIKOVANOJ ATMOSFERI

Pakovanje nekog proizvoda u modifikovanoj atmosferi (engl. *modified atmosphere packaging* – MAP) podrazumeva da je pri pakovanju nekog proizvoda u ambalaži uobičajena gasna faza vazduh (78% azota, 21% kiseonika i 0,03% ugljen-dioksida) zamenjena gasnom fazom posebnog sastava prilagođenog pakovanom proizvodu. Korišćenjem MAP mogu se ostvariti pozitivni efekti, kao na primer produžavanje veka upotrebljivosti pakovanog proizvoda, što je naročito značajno za prehrambene, farmaceutske i kozmetičke proizvode. Cilj

primene MAP je održavanje postignutog kvaliteta lako kvarljivog pakovanog proizvoda za jedan duži period vremena nego što je to moguće ostvariti pakovanjem istog proizvoda u atmosferi okoline – vazduha. Gasovi koji se u ovome slučaju primenjuju moraju biti lako dostupni, jeftini, bez nepoželjnih hemijskih primesa i prilagođeni pakovanom proizvodu. Ovde treba posebno istaći da se pakovanjem u modifikovanoj atmosferi ne može odstraniti nedovoljan kvalitet sirovina i ne higijenski uslovi proizvodnje pakovanog proizvoda.

Uopšteno se može reći da sledeći faktori utiču na produženo održavanje kvaliteta proizvoda pakovanih u modifikovanoj atmosferi [4]:

- kvalitet sirovina,
- primerena kontrola higijenskih uslova rada,
- kontinualna kontrola temperature od dobijanja proizvoda, pakovanja, lagerovanja do upotrebe,
- vremenski period od dobijanja proizvoda do njegovog pakovanja,
- čistoća gasa i pouzdanost rada sa njim,
- odnos zapremine gasa i zapremine produkta,
- sastav gasa,
- zaptivanje pakovanja: osnovna pretpostavka je dobar izbor ambalaže i njena mala propustljivost za kiseonik i druge gasove i pare (izuzetak čini pakovanje voća i povrća) i
- dizajn ambalaže, koji treba da omogući strujanje gasa oko pakovanog proizvoda.

Metode modifikovanja atmosfere u pakovanju

Modifikovanje gasne atmosfere se može ostvariti ili uklanjanjem gasa (vakuum pakovanje) ili uvođenjem u ambalažu gasa željenog sastava. Koji sastav gasa će biti korišćen za MAP zavisi od pakovanog proizvoda (tabela 1). Za ostvarivanje željene atmosfere u pakovanju se koriste sledeće mogućnosti:

1. Vazduh se mehanički zamenjuje željenim gasom ili gasnom smešom.
2. Željena atmosfera u pakovanju se ostvaruje pasivno – metabolizmom (disanjem) pakovanog proizvoda.
3. Željena gasna atmosfera se ostvaruje aktivno dodavanjem u pakovanje sredstava za modifikaciju (na primer adsorbenata ili emitera pojedinih gasova).

Ostvarivanje modifikovane atmosfere mehaničkom zamenom vazduha izvodi se metodom potiskivanja (ispiranja) vazduha iz pakovanja gasom željenog sastava ili korišćenjem vakuuma. Metoda potiskivanja gasa iz pakovanja se primenjuje na mašinama za formiranje, punjenje i zatvaranje ambalaže sa upakovanim proizvodom. Posle (ili pre) unošenja proizvoda u ambalažu u nju se kontinualno uvodi gas željenog sastava, koji potiskuje vazduh. Kada je vazduh zamenjen gasom željenog sastava, ambalaža se zajedno sa pakovanim proizvodom zatvara i to najčešće zavarivanjem. Velika prednost ove metode je što se njenom primenom može os-

Tabela 1. Pogodni uslovi lagerovanja za CAP, ostvareno vreme lagerovanja i produžavanje vremena lagerovanja u odnosu na lagerovanje pri optimalnoj temperaturi ali bez kontrolisane atmosfere u pakovanju [6].

Table 1. Favorable conditions for the CAP storage, achieved storage time and extension of storage time in relation to the storage at optimal temperature without controlled atmosphere in packaging [6]

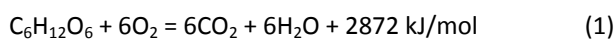
Pakovani proizvod	Temperatura, °C	O ₂ , %	CO ₂ , %	Relativna vlažnost, %	Vreme lagerovanja	Faktor produženja
Karfiol	1	3	5	95	6 nedelja	2–3
Salata	1	1–2	2	95	2–3 nedelje	1,5–3
Paprika	10–12	2–3	3–5	95	< 6 nedelja	2
Špargle	1–2	Vazduh	<15	95	6 nedelja	3
Kukuruz	0	1–2	20	90–95	3 nedelje	3
Jabuka (zlatni delišes)	1–2	1–2	3–5	95	6–8 meseci	1,5–2
Jagode	2–10	Vazduh	20–25	90–93	10 dana	> 2
Maline	0–2	Vazduh	30	90–95	Do 10 dana	> 10
Višnje	0–2	Vazduh	do 30	95	Do 7 nedelja	2,3–7
Banane	13–14	4–5	5–8	90	< 8 nedelja	< 6
Kruške	–1 do 0	2–3	2	95	7 meseci	1,4–1,8

tvariti velika brzina pakovanja, jer se radi o kontinualnom postupku.

Pri pakovanju napitaka, kao što su na primer voćni sokovi, atmosfera može da se izmeni i tako što se na primer u formiranu ambalažu unosi kap tečnog azota. Tečni azot pri uslovima punjenja ambalaže vrlo brzo isparava i potiskuje kiseonik iz ambalaže za vreme njenog punjenja proizvodom. Prednost ove metode je u tome što se ostvaruje duža postojanost proizvoda, očuvanje arome i smanjenje korozije kod metalne ambalaže [5].

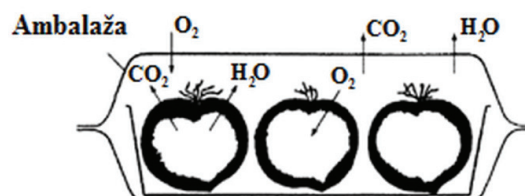
Pri metodi zamene atmosfere korišćenjem vakuuma, vazduh se iz pakovanja usisa pomoću vakuum pumpe i zatim u pakovanje uvede željeni gas ili smeša gasova i pakovanje zatvori. Pošto je ovo dvostepeni proces, za njegovo izvođenje naophodno je u poređenju sa prethodnim procesima, više vremena. Međutim, efikasnost ovoga procesa je vrlo visoka u odnosu na odstranjivanje kiseonika iz pakovanja potiskivanjem gasnom smešom željenog sastava.

Pasivna modifikacija atmosfere u pakovanju se koristi najčešće pri pakovanju voća i povrća zato što se kod ovih proizvoda i posle njihovog branja, odnosno sakupljanja nastavlja metabolizam (disanje plodova). Pri aerobnom disanju voće i povrće koristi kiseonik iz okolne atmosfere i glukozu, a otpušta ugljen-dioksid, vodenu paru i energiju:



Prema jednačini (1), pri aerobnom disanju nastaje isti broj molova ugljen-dioksida i vodene pare koliko je utrošeno molova kiseonika. U ovome slučaju respiracioni koeficijent – *RQ*, je jednak jedinici. Ako se pri disanju koriste i neke druge polazne supstance umesto glukoze, respiracioni koeficijent može da ima vrednost između 0,7 i 1,3. Vrednost *RQ* može da raste sa stepenom zrenja voća i povrća.

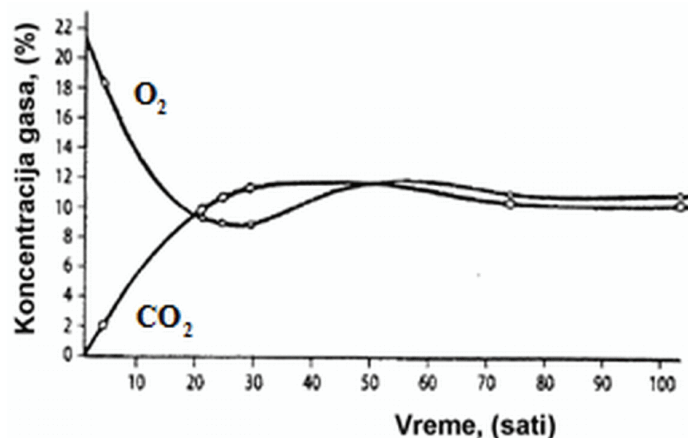
Na slici 2 šematski je prikazano vezivanje kiseonika i otpuštanje ugljen-dioksida i vodene pare pakovanog voća, kao i njihov transport kroz ambalažu [6]. Sve dok se ne uspostavi odgovarajuće ravnotežno stanje, količina CO₂ koji emituje pakovani proizvod i koji napušta pakovanje kroz ambalažu i količina O₂ koji prodire kroz ambalažu i vezuje se u pakovanim proizvodom, različite su. U toku vremena transporta ili lagerovanja upakovanog proizvoda dolazi do uspostavljanja ravnotežnog stanja, kao što je to prikazano na slici 3 [6].



Slika 2. Nastajanje, vezivanje i permeacija O₂, CO₂ i vodene pare pri pakovanju svežeg voća i povrća u delimično propustljivoj atmosferi.

Figure 2. Formation, bonding and diffusion of O₂, CO₂ and water vapor during packaging of fresh fruits and vegetables in a partially permeable atmosphere.

Koncentracije kiseonika i ugljen-dioksida u ravnotežnom stanju treba da budu u oblasti koja odgovara koncentracijama pri kojima se ostvaruje optimalno lagerovanje pakovanog proizvoda, kao što je to za neke proizvode prikazano u tabeli 1. Koncentracije pri uspostavljenom ravnotežnom stanju zavise od brzine nastajanja i otpuštanja ugljen-dioksida, brzine vezivanja kiseonika pakovanim proizvodom i propustljivosti ambalaže za gasove i vodenu paru. Opisano lagano i spontano uspostavljanje ravnotežne koncentracije gasova naziva se pasivnom, odnosno kontrolisanom izmenom sastava gasne faze u pakovanju (CAP). Vrednosti koncentracija ugljen-dioksida i kiseonika u ravnotežnom



Slika 3. Uspostavljanje ravnotežnih koncentracija relevantnih gasova (CO_2 i O_2) u praznom prostoru pakovanja paradajza [2].

Figure 3. The establishment of equilibrium concentrations of relevant gasses (CO_2 and O_2) in an empty tomato packaging space [2].

stanju u jednom pakovanju, pored vrste pakovanog proizvoda, značajno zavise i od odnosa brzine nastajanja i vezivanja ovih gasova, propustljivosti ambalaže za ove gasove i temperature.

Pored pasivnog, koje ima ograničenu oblast primene, koristi se i aktivno uspostavljanje ravnoteže gasova u pakovanju. Pri aktivnom uspostavljanju željenog sastava gasova, neophodno je prvo iz pakovanja potiskivanjem inertnim gasom ili pomoću vakuum pumpe ukloniti vazduh i zatim kontrolisanim uvođenjem odgovarajućih gasova ostvariti željeni sastav gasne faze u pakovanju. Na ovaj način je moguće odmah ostvariti sastav gasne faze u pakovanju, koji omogućava maksimalnu postojanost pakovanog proizvoda, ali je i cena ovoga postupka veća. Za procenu, odnosno izračunavanje propustljivosti ambalaže za gasove i vodenu paru u zavisnosti od brzine „disanja“ pakovanog produkta i željene koncentracije gasova razvijeni su odgovarajući softveri [7].

Gasovi koji se koriste za modifikaciju atmosfere u pakovanju

U zavisnosti od vrste pakovanog proizvoda za MAP se koriste različite smeše gasova, a njihov sastav je prilagođen zahtevima pakovanog proizvoda. Najčešće korišćeni gasovi su kiseonik (O_2), ugljen-dioksid (CO_2) i azot (N_2). U mnogo manjem obimu koriste se sumpordioksid (SO_2) i neki idealni gasovi. U novije vreme u oblasti MAP u literaturi je opisano i korišćenje kiseonika, ali u mnogo većim koncentracijama nego u vazduhu, argona (Ar), ugljen-monoksida (CO) i azot-oksida (N_2O).

Količina kiseonika u gasnoj smeši nekog pakovanja zavisi od vrste i kvaliteta pakovanog proizvoda. Najveći broj bakterija na životnim namirnicama živi u aerobnim uslovima, pa se uklanjanjem kiseonika iz pakovanja usporava ili prekida njihov rast. Međutim, treba imati na umu da se uklanjanjem kiseonika iz pakovanja stvaraju uslovi za razvoj fakultativno aerobnih i anareobnih bak-

terija u koje se ubrajaju i opasni „proizvođači otrova“ kao što su na primer *Clostridium botulinum*. Prema tome, uklanjanje kiseonika iz pakovanja radi zaštite proizvoda od razmnožavanja bakterija ima ograničen uspeh. Značajnim uklanjanjem kiseonika iz pakovanja može se potpuno ograničiti samo razmnožavanje strogo aerobnih mikroorganizama. Za značajno usporavanje rasta gljivica i nastajanja plesni neophodno je da koncentracija kiseonika u pakovanju bude ispod 1%. Za potpuno zaustavljanje nastajanja plesni koncentracija kiseonika u pakovanju treba da bude oko 0,1%. Ovako niske vrednosti koncentracije kiseonika u pakovanju je vrlo teško ostvariti u praksi, pa se u atmosferu pakovanja (gasna faza koja ispunjava prazan prostor iznad pakovanog proizvoda) dodaje ugljen-dioksid i tako potpuno zaustavlja nastajanje plesni.

Uklanjanje kiseonika iz pakovanja smanjuje pojavu užeglosti masnih proizvoda kao što su na primer viršle, kao i oksidaciju na kiseonik osetljivih produkata i komponenti koje sadrže na primer neka peciva, testa, vitamini ili neke aktivne komponente lekova. Reakcije oksidacije u principu imaju za posledicu pojavu neugodnih mirisa i smanjenja sadržaja nekih supstanci, koje određuju kvalitet i vrednost pakovanog proizvoda.

Za odigravanje metabolizma u pakovanom voću i povrću neophodno je da je u pakovanju prisutna određena količina kiseonika (slika 3), zato što bi odsustvo kiseonika imalo za posledicu odigravanje anaerobnog metabolizma i nastajanja supstanci sa neugodnim mirisom ili izmenjenom aromom. Međutim, ako je koncentracija kiseonika tako velika kao na primer u vazduhu (21 mas.%), dolazi do brzog starenja proizvoda i opadanja njegovog kvaliteta.

Brzina reakcija sa kiseonikom se povećava sa porastom temperature. Lagerovanjem proizvoda pri niskim temperaturama produžava se vreme postojanosti proizvoda i u modifikovanoj atmosferi. Pored toga, i propustljivost polimerne ambalaže za gasove se smanjuje

sa sniženjem temperature, odnosno ona pri tim uslovima ima bolja barijerna svojstva za sve gasove.

Korišćenjem gasne smeše sa vrlo velikim sadržajem kiseonika postiže se stabilnost boje pakovanog proizvoda, kao što je slučaj kod mesa i usporava kvarenje proizvoda zbog smanjenja brzine razmnožavanja mikroorganizama. Koncentracije kiseonika u gasnim smešama, koje se koriste pri ovoj tehnici pakovanja se kreću od 40 do 80%. Kod nekih prehrambenih proizvoda konstatovano je takođe da velika koncentracija kiseonika u smeši gasova usporava anaerobne reakcije vrenja, rast mikroorganizama i enzimski izazvano nastajanje smeđe boje u proizvodima.

U prirodnoj atmosferi se nalazi samo oko 0,03% ugljen-dioksida. Osnovni zadatak ugljen-dioksida u gasnoj smeši za modifikovanje atmosfere u pakovanom proizvodu je da suzbije rast mikroorganizama. Ugljen-dioksid je dobro rastvoran u uljima, mastima i vodi i to naročito pri niskim temperaturama. Pri porastu temperature njegova rastvorljivost opada. Pri rastvaranju ugljen-dioksida u vodi nastaje ugljenična kiselina, koja takođe deluje antimikrobno.

Osetljivost mikroorganizama na dejstvo ugljen-dioksida je različito:

- Kvasci i gljivice su relativno otporni na dejstvo ugljen-dioksida. Do ometanja njihovog razmnožavanja dolazi pri sadržaju ugljen-dioksida u gasnoj smeši od najmanje 15%.

- *Laktobacillen* su takođe relativno neosetljive na dejstvo ugljen-dioksida. One mogu u atmosferi bogatoj ugljen-dioksidom i da sintetizuju mlečnu kiselinu, koja indirektno štiti pakovani proizvod.

- Gramnegativne bakterije su vrlo osetljive na prisustvo ugljen-dioksida. Pri povećanoj koncentraciji ugljen-dioksida u atmosferi pakovanog proizvoda može potpuno da se zaustavi razvoj gramnegativnih bakterija. Ove bakterije su inače odgovorne za nastajanje različitih neprijatnih mirisa i aroma u pakovanom prehrambenom proizvodu.

U MAP oblasti sadržaj ugljen-dioksida u gasnoj smeši se uobičajeno kreće od 20 do 30%. Izuzetak predstavljaju pakovanja voća i povrća u kojima je sadržaj ugljen-dioksida oko 10% (slika 3).

U vazduhu se nalazi 78% azota. Azot je inertan gas bez ukusa i slabo rastvoran u vodi. On ne pokazuje usporavajuće dejstvo na razmnožavanje mikroorganizama. Zbog toga se on pri pakovanju prevashodno koristi kao inertno punilo. Ispiranjem (potiskivanjem) azotom iz pakovanja može se ukloniti najveći deo kiseonika.

Ugljen-monoksid (CO) jeste bezbojan gas bez ukusa i mirisa. Njegovo prisustvo od 0,1–2% u gasnoj atmosferi pakovanja svežeg mesa je dovoljno da reakcijom sa mioglobinom nagradi karboksimioglobin, koji doprinosi dužem održavanju crvene boje mesa. Ugljen-monoksid

je počeo prvo da se koristi u Norveškoj 1985. godine pri pakovanju mesa. Pri tome je korišćena gasna smeša sledećeg sastava:

- 0,3 do 0,5% ugljen-monoksida,
- 60 do 70% ugljen-dioksida i
- 30 do 40% azota.

U najvećem broju slučajeva, u gasnoj smeši se nalazi najmanje 20% ugljen-dioksida. Primena gasnih smeša sa sadržajem ugljen-monoksida manjim od 0,5% je dozvoljena u Norveškoj, ali ne i u EU i USA (stanje juni 2004. godine). Ugljen-monoksid je vrlo otrovan gas, pa se zbog toga o njegovoj primeni u gasnim smešama za pakovanje prehrambenih proizvoda vode oštre polemike, kao i o mogućoj opasnosti po zdravlje konzumenata i radnika, koji rade na mašinama za pakovanje.

U vazduhu se nalazi oko 0,9% argona. On je inertan (idealno) gas bez ukusa i mirisa. Molekuli argona imaju veličinu kao i molekuli kiseonika, ali bolju rastvorljivost u vodi i od kiseonika i azota. Argon ima sposobnost da efikasnije potiskuje kiseonik iz pakovanog proizvoda od azota i tako usporava reakcije oksidacije pakovanih proizvoda. Dodatak argona u gasnu smešu pri pakovanju voća i povrća smanjuje nastajanje smeđe boje pakovanih proizvoda na mestima kontakta sa ambalažom. U Evropi se argon koristi najviše u Velikoj Britaniji i to kao inertno punilo.

U literaturi se pominje i mogućnost korišćenja N₂O gasa u MAP oblasti, ali on do sada nije naišao na pomena vrednu primenu.

Izbor sastava gasne smeše za MAP oblast

Izbor komponenata i njihovog udela u gasnoj smeši, koja se koristi za pakovanje prevashodno prehrambenih, farmaceutskih i kozmetičkih proizvoda u modifikovanoj atmosferi je vrlo složen. S ciljem olakšavanja ovoga izbora u tabeli 2 su prikazani sastavi gasnih smeša koje su opisane u literaturi [4] i korišćene za pakovanje izabranih prehrambenih proizvoda.

Sastavi gasnih smeša za pakovanje različitih proizvoda navedenih u tabeli 2 mogu da posluže samo kao orijentir. Za svaki proizvod, uslove njegove proizvodnje, pakovanja i lagerovanja do upotrebe sastav gasne smeše se mora posebno odrediti i praktično proveriti.

AKTIVNA I INTELIGENTNA AMBALAŽA

Standardna ambalaža ispunjava najveći broj zahteva kako proizvođača proizvoda koji se pakuju i trgovine, tako i krajnjih korisnika pakovanih proizvoda. Poslednjih dvadesetak godina značajan broj istraživača u svetu angažovan je na razvoju nove takozvane „aktivne“ i „inteligentne“ ambalaže [8]. Već na sadašnjem stepenu razvoja ove dve vrste ambalaže obezbeđuju aktivno učešće ambalaže u, na primer, produžavanju vremena održavanja željenog kvaliteta pakovanog proizvoda i daju informacije o kvalitetu proizvoda za vreme pako-

Tabela 2. Primeri sastava gasnih smeša za pakovanje prehrambenih proizvoda i njihovog lagerovanja pri temperaturi od 1 do 4 °C
 Table 2. Examples of gas mixture compositions used for the packing of food products at temperatures 1–4 °C

Proizvod	Modifikovana atmosfera (koncentracija gasova)		
	O ₂ , vol.%	N ₂ , vol.%	CO ₂ , vol.%
Meso, mesni proizvodi, viršle			
Sveže goveđe meso (sečeno, mleveno)	50–70	20–30	0–30
Sveže svinjsko meso (sečeno, mleveno)	50–70	20–30	0–30
Sveže svinjsko meso (začinjeno za roštilj)	–	70	30
Sveži ovčiji kotleti	40	40	20
Sveže viršle	20	50	30
Živina cela	–	30	70
Živinski fileti	50–70	20–30	20–30
Živinsko srce ili džigerica	–	40	60
Ribe i ljuskari			
Sveža riba – pastrmka	30	40	30
Sveža riba – losos	0–20	20–30	60–70
Kuvana riba	–	80	20
Voće i povrće			
Sveže voće	5	90	5
Sveže povrće	5	90	5
Krompir – pomfrit	–	30	70
Mešana salata	–	100	–
Mlečni proizvodi			
Tvrd sir ceo	–	–	100
Tvrd sir – šnite	–	20	80
Meki sir	–	40	60
Proizvodi od testa			
Sveže neosušeno testo	–	50	50
Pica zapečena	–	60–100	0–40
Testo za kolače	–	100	–

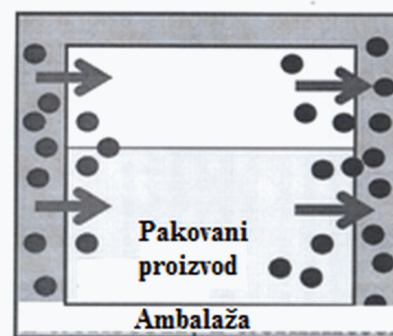
vanja, transporta i lagerovanja sve do upotrebe [(EU) 1935/2004].

Aktivna ambalaža

Pod aktivnom ambalažom se podrazumeva ambalaža u koju su inkorporirane aktivne supstance, koje mogu da se prenesu na pakovani proizvod ili u atmosferu oko upakovanog proizvoda (otpuštanje) ili da vežu određene supstance iz vazdušnog prostora pakovanja i na taj način doprinesu produžavanju veka upotrebe, odnosno sporijem opadanju kvaliteta pakovanog proizvoda [9]. Ilustracije radi na slici 4 šematski su prikazane funkcije aktivne ambalaže.

Prema slici 4 aktivna ambalaža može da:

- kontrolisano otpušta (dozira) CO₂ u neispunjen prostor pakovanja,
- otpušta konzervanse kao što su etanol, sorbati ili benzoati,
- otpušta antioksidante,
- otpušta antimikrobne supstance ili

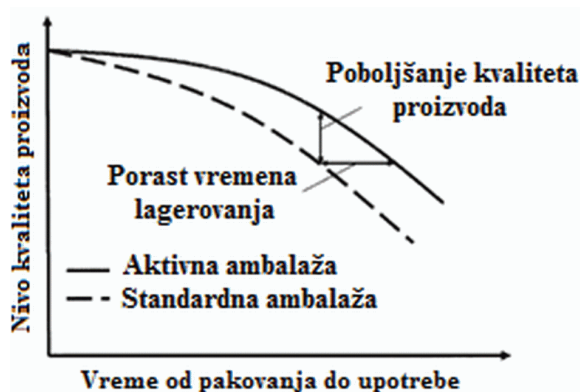


Slika 4. Šematski prikaz funkcija aktivne ambalaže.
 Figure 4. Schematic representation of active packaging function.

- apsorbuje ili reemituje svetlost specifične talasne dužine, koja štetno deluje na pakovani proizvod,
- veže ostatke kiseonika u prostoru neispunjenom pakovanim proizvodom,
- veže vodu kondenzovanu na poklopcu i zidovima ambalaže i tako reguliše vlažnost,

- prema potrebi veže CO₂ iz neispunjenog prostora pakovanja,
- veže etilen (hormon zrenja), koji nastaje pri zrenju upakovanog voća i tako usporava ovaj proces i
- veže neželjene supstance neprijatnog mirisa.

Navedene interakcije imaju za cilj da produže dozvoljeno vreme lagerovanja nekog prehrambenog proizvoda, odnosno što duže zadrže njegov postojeći kvalitet. Drugim rečima, korišćenjem aktivne ambalaže ciljano se menjaju uslovi u okolini pakovanog proizvoda i u samom proizvodu, koji omogućavaju povećavanje vremena postojanosti kvaliteta proizvoda. Na slici 5 šematski je prikazano kako se menja nivo kvaliteta nekog prehrambenog proizvoda sa vremenom pri pakovanju u standardnu i aktivnu ambalažu.



Slika 5. Zavisnost opadanja kvaliteta sa vremenom proizvoda pakovanog u aktivnu i standardnu ambalažu.
Figure 5. Decrease of product quality with time for product packaged in active and standard packaging.

Navedene funkcije aktivne ambalaže ostvaruju se tako što se aktivne supstance integrišu u ambalažni polimerni materijal tako što se u makromolekule polimera u površinskom sloju ambalaže ugrade odgovarajuće funkcionalne grupe ili se u jedan sloj na primer višeslojne polimerne folije umešaju niskomolekulske supstance sa željenim svojstvima, koje polimer može da otpušta kontrolisanom brzinom ili da na njih veže neke supstance koje otpušta pakovani proizvod. Pored toga, aktivne supstance, koje su posebno upakovane, mogu da se direktno unose u ambalažu sa pakovanim proizvodom pre zatvaranja ambalaže. Najznačajnije funkcije aktivne ambalaže su bliže razmatrane na primerima koji slede.

Vezivanje kiseonika

Veliki broj prehrambenih i farmaceutskih proizvoda je osetljiv na dejstvo kiseonika. Ako je u pakovanju prisutan kiseonik iznad neke kritične količine može da dođe do promene boje i ukusa pakovanog proizvoda, razgradnje za prehranu značajnih supstanci, kao i naglog povećanja broja aerobnih mikroorganizama i formiranja plesni i toksičnih proizvoda. U tabeli 3, ilus-

tracije radi, naveden je prag tolerancije na kiseonik nekoliko prehrambenih proizvoda ispod kojeg ne dolazi do navedenih promena u pakovanom proizvodu.

Tabela 3. Prag tolerancije na kiseonik za nekoliko prehrambenih proizvoda
Table 3. Tolerance to oxygen for several food products

Prehrambeni proizvod	Prag tolerancije na O ₂ , mg O ₂ /kg
Pivo	1–4
Vino	3
Mleko	8
Sterilisano povrće	15
Kečap	15
Voćni sokovi	20
Pržena kafa	110
Kačkavalj	500

Mere koje se uobičajeno preduzimaju za zaštitu proizvoda od štetne interakcije sa kiseonikom su:

- izrada ambalaže od višeslojnih folija od kojih bar jedna ima dobra barijerna svojstva u odnosu na permeabilnost kiseonika ili
- pakovanje proizvoda u zaštitnom gasu (N₂ ili CO₂/N₂).

Navedenim merama sadržaj kiseonika u gasnom prostoru pakovanja može da se smanji samo do vrednosti od oko 1,5%. Za duže i sigurno lagerovanje osetljivih prehrambenih i farmaceutskih proizvoda neophodno je količinu kiseonika u gasnom prostoru za sve vreme lagerovanja održavati ispod neke kritične vrednosti, odnosno ispod praga tolerancije proizvoda na kiseonik. To se najčešće ostvaruje inkorporiranjem apsorbera u ambalažu (poklopac ambalaže, sloj lepila ili zaptivača) ili unošenjem u pakovanje pre zatvaranja kesice sa supstancama koje mogu da apsorbuju, odnosno vežu kiseonik i tako ga uklone iz gasnog prostora pakovanja. Apsorberi kiseonika se koriste za aktivno modifikovanje atmosfere u delu pakovanja, koji nije ispunjen pakovanim proizvodom i mogu da smanje sadržaj kiseonika u pakovanju na manje od 0,1%. Veliki deo apsorbera kiseonika koji se koriste u industriji je na bazi sulfita i divalentnog gvožđa [10]. Kod ovih apsorbera aktivna supstanca je neko jedinjenje divalentnog gvožđa u obliku praha (na primer gvožđe(II)-oksid). Pri kontaktu sa kiseonikom ova komponenta se oksidiše do, na primer, gvožđe(III)-oksida. Ovi apsorberi kiseonika mogu da se kombinuju sa različitim katalizatorima u cilju ubrzanja vezivanja kiseonika. Apsorberi kiseonika se najčešće koriste pri pakovanju voćnih sokova, vina, piva, viršli i kobasica, čipsa, sira i gotovih jela.

U poslednje vreme za vezivanje kiseonika koriste se i enzimi od kojih treba izdvojiti glukooksidaze, koje se najčešće koriste za eliminisanje kiseonika iz boca sa pivom ili vinom.

Vezivanje ili otpuštanje ugljen-dioksida

Zadatak apsorbera ugljen-dioksida sastoji se u tome da ukloni ugljen-dioksid iz praznog prostora pakovanja, koji je nastao metabolizmom mikroorganizama ili pakovanog proizvoda. Na taj način se usporava kvarenje na primer nekog prehrambenog proizvoda, sprečava nadimanje ambalaže i eventualno njeno pucanje.

Kada se određena količina kiseonika apsorbuje iz nekog pakovanja dolazi do smanjenja pritiska u pakovanju, koje može u ekstremnim slučajevima da ima za posledicu deformaciju, posebno, fleksibilne ambalaže. Da bi se to sprečilo u ambalažu se unose male vrećice od poroznog materijala u kojima se nalaze supstance koje apsorbuju kiseonik i istovremeno otpuštaju ugljen-dioksid. U tu svrhu se koriste sistemi na bazi, na primer, smeše askorbinske kiseline i natrijum-bikarbonata, kalcijum-oksid/aktivni ugalj ili fero-karbonat/halogenid-metala. Ovaj sistem se najčešće koristi pri pakovanju proizvoda kod kojih je bitan odnos površine pakovanog proizvoda i zapremine gasa u pakovanju, kao što je to slučaj pri pakovanju kafe, kekisa, čipsa, mlevenih oraha ili svežeg mesa i ribe.

Vezivanje etilena

Etilen ima funkciju hormona zrenja za biljke. On utiče na klijanje, rast biljaka i njihovih plodova, njihovo sazrevanje i na kraju starenje. Etilen nastaje u biljkama reakcijom, koja se odigrava u više stupnjeva, iz metionina u prisustvu kiseonika. Smanjenjem količine etilena u prostoru oko na primer voća može usporiti njegovo zrenje i starenje. Ovo se može ostvariti ili usporavanjem reakcije nastajanja etilena ili uklanjanjem već nastalog etilena iz pakovanja ili prostora lagerovanja [11]. Pozitivan uticaj uklanjanja hormona zrenja – etilena iz atmosfere u nekom pakovanju proizvoda koji naknadno sazrevaju (voće i povrće) pri transportu i lagerovanju omogućava da se branje voća i prikupljanje povrća može izvoditi i pri većem stepenu zrelosti.

U velikom broju slučajeva kao supstance za vezivanje, odnosno uklanjanje etilena iz pakovanja navedenih proizvoda koristi se kalijum-permanganat na silika gelu, natrijum-metabisulfit ili aktivni ugalj. Pored toga, etilen se može apsorbovati na primer zeolitima ili glinom, koji su uneti kao punila u foliju ambalažnog materijala.

Vezivanje vlage iz praznog prostora pakovanja

Promene kvaliteta proizvoda zbog vezivanja vlage su izražene kod hidroskopskih proizvoda. Kod najvećeg broja prehrambenih proizvoda povećanje sadržaja vlage, pored ostalog, može da omogući i ubrzan razvoj neželjenih mikroorganizama. Za eliminisanje vlage ili održavanje konstantne vlage u nepopunjenom delu pakovanja se najčešće koriste soli akrilne kiseline, karboksimetilceluloza, derivati skroba, preparati na bazi bentonita, silikagela, molekulskih sita i aktivnog uglja ili nji-

hove kombinacije. Ovi preparati se pakuju u vrećice koje propuštaju vlagu i unose u ambalažu zajedno sa pakovanim proizvodom pre zatvaranja ambalaže ili su integrisani u polimernu ambalažu. Apsorberi vlage se koriste pri pakovanju crvenog mesa, belog mesa, ribe, sendviča, voća i povrća i suvih prehrambenih proizvoda.

Antimikrobske supstance

Antimikrobske supstance pokazuju usporavajuće dejstvo na razmnožavanje mikroorganizama. Ovo dejstvo se zasniva na fizičkim, fizičko-hemijskim i biohemijskim reakcijama. Vrlo često se različiti pojedini efekti sumiraju, a ponekad je dovoljno blokirati i samo jedan stupanj neke reakcije u ćeliji mikroorganizama. Antimikrobne supstance se mogu hemijski vezati za površinu ambalaže koja dolazi u kontakt sa pakovanim proizvodom. Kada se antimikrobne supstance na površini inaktiviraju, počinje ponovni rast mikroorganizama što ima za posledicu kvarenje proizvoda. Pored toga, antimikrobne supstance se mogu inkorporirati u sloj višeslojne ambalaže, koji dolazi u kontakt sa pakovanim proizvodom. U toku lagerovanja pakovanja ovaj sloj otpušta – dozira antimikrobnu supstancu na površinu pakovanog proizvoda i sprečava razvoj mikroorganizama [12]. Izabrani primeri antimikrobskih supstanci, koji se na različite načine koriste pri izradi aktivne ambalaže, prikazani su u tabeli 4. Pored supstanci navedenih u tabeli 4 kao antimikrobne supstance koriste se i etanol, CO₂ i SO₂.

Antimikrobna ambalaža se dosta koristi u Japanu i SAD, dok je njena primena u Evropi još uvek u razvoju. Očekuje se njena velika ekspanzija u sledećih pet godina. Aktivna ambalaža ima najveću primenu pri pakovanju prehrambenih i farmaceutskih proizvoda, zato što doprinosi značajnom smanjenju brzine opadanju kvaliteta pakovanih proizvoda, odnosno produžavanju vremena upotrebe.

Vezivanje supstanci sa neprijatnim mirisom iz gasne atmosfere pakovanja

Umešavanjem na primer ciklodekstrina u jedan sloj višeslojne ambalaže omogućeno je vezivanje aromatskih supstanci koje otpušta pakovani proizvod i tako je sprečeno njihovo prodiranje kroz ambalažu.

Zaštita pakovanog proizvoda od zračenja

Zračenje sa talasnim dužinama manjim od 390 nm može kod nekih prehrambenih proizvoda da izazove na primer promenu boje, promenu ukusa ili razgradnju vitamina u pakovanom proizvodu. Za sprečavanje negativnog uticaja zračenja na postojanost pakovanih proizvoda u ambalažu se inkorporiraju aditivi koji apsorbuju zrake navedenih talasnih dužina (UV-apsorberi) i tako sprečavaju promenu navedenih svojstava pakovanih proizvoda. Ambalaža sa UV-apsorberima se posebno koristi pri pakovanju viršli i drugih mesnih proizvoda, piva i voćnih sokova.

Tabela 4. Antimikrobne supstance kao komponente polimernih ambalažnih materijala [13]
 Table 4. Antimicrobial substances as components of polymer packaging materials [13]

Klasifikacija	Polimerni materijal	Ciljani mikroorganizmi
Organske kiseline: benzoeva, sirćetna, jabučna, mlečna i sorbinska kiselina	Etilen-co-vinilacetat (EVA), linearni polietilen male gustine (LLDPE)	Gljivice
Fungicidi: benomil i imazalil	Linearni polietilen male gustine (LLDPE)	Gljivice
Prirodni proizvodi: ekstrakt cvekle, semena grejfruta, ruzmarina, bibera, hitozan	Polietilen male gustine (LDPE)	Gljivice, kvasci, bakterije
Baktericidi/antibiotici: nisin, natamicin i pediocin	Polietilen male gustine (LDPE), folije koje se jedu	Gram-pozitivne bakterije
Enzimi: lizozim i glukozooksidaza	Polistiren (PS), folije koje se jedu	Gram-pozitivne bakterije
Metali: srebro u obliku soli, nanočestica i kompleksa sa zeolitima, bakar	Svi polimeri	Veliki broj mikroorganizama

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

Inteligentna ambalaža

Pod inteligentnom ambalažom se podrazumeva uobičajena ambalaža, koja je opremljena sa jednim unutrašnjim ili spoljašnjim indikatorom. Ovaj indikator treba da omogući sakupljanje informacija o svim uticajima kojima je izložen pakovani proizvod „u toku celog života“, ili o trenutnom stanju njegovog kvaliteta (EU, 1935/2004). Inteligentna ambalaža pruža mogućnost efikasne kontrole kvaliteta pakovanog proizvoda, dugoročnih ušteda i poboljšanja imidža proizvođača [14]. Inteligentna ambalaža omogućava trgovcima da rekonstruišu put proizvoda od pakovanja do upotrebe, uoče nestručno rukovanje, kao na primer oštećenje pakovanja pri neodgovarajućim manipulacijama sa pakovanjem, kontaminaciju ili neadekvatno lagerovanje pri suviše visokoj temperaturi. Potrošač dobija dodatne informacije o kvalitetu pakovanog proizvoda putem na primer vizuelnih indikatora, koji izmenom boje ukazuju na povremeno povećanje temperature hlađenog proizvoda i daju potrošaču i dodatnu informaciju o datumu do kojeg proizvod zadržava potrebni kvalitet i tako povećava sigurnost kupca.

Razlikuju se dve vrste indikatora u inteligentnoj ambalaži:

– Indikatori, koji direktno daju kupcu informaciju o kvalitetu pakovanog proizvoda, kao što je na primer svežina proizvoda.

– Indikatori, koji daju mogućnost indirektnog zaključivanja o kvalitetu pakovanog proizvoda. To se može ostvariti na osnovu rezultata gasne analize atmosfere u pakovanju sa proizvodom, kao što je slučaj pri korišćenju indikatora za kiseonik i ugljen-dioksid, ili indikatora za praćenje promene temperature sa vremenom lagerovanja pakovanog proizvoda.

Indikatori vreme–temperatura

Za kontrolu kvaliteta nekog hlađenog proizvoda od posebnog značaja je permanentno određivanje temperature lagerovanja i konstatacija da pri hlađenju nije bilo prekida za vreme lagerovanja ili transporta. Za permanentno praćenje temperature nekog pakovanog proizvoda u željenom periodu koriste se takozvani vreme–temperatura indikatori (TTIs). Jedan TTIs je mali merni instrument, koji beleži promenu temperature sa vremenom. Indikatori reaguju na promenu temperature na primer promenom boje. Indikator pokazuje na primer da u jednom vremenskom periodu nije sve vreme održavana zadata temperatura hlađenja. Treba ipak imati u vidu da se indikatorima vreme–temperatura ne određuje uvek stvarna temperatura pakovanog proizvoda već temperatura površine pakovanja. Postoji veliki broj patentiranih različitih indikatorskih sistema, a neki od njih se već nalaze u upotrebi.

Postoje i jednostavni indikatori temperature – TIs, koji se takođe postavljaju na površinu pakovanog proizvoda. Oni daju samo informaciju o tome da li je pakovani proizvod pri lagerovanju bio izložen višoj ili nižoj temperaturi od zadate, ali ne i koliko dugo je pakovani proizvod bio izložen toj temperaturi. Ovi indikatori ukazuju samo da je lanac hlađenja prekidan u toku lagerovanja.

Indikatori gasova

Indikatori gasova nalaze primenu pri korišćenju pakovanja u modifikovanoj atmosferi. Indikatori gasa se postavljaju na unutrašnjoj strani ambalaže i pokazuju odstupanja koncentracije gasnih komponenata od predviđenih početnih koncentracija u gasnoj atmosferi. Promene u sastavu atmosfere nastaju zbog oštećenja, lošeg zatvaranja i zaptivanja, kao i visoke permeabilnosti ambalaže. Indikatori gasova prema tome daju indirektno informacije o kvalitetu proizvoda.

Indikatori ugljen-dioksida

U MAP sistemima se ugljen-dioksid koristi u različitim koncentracijama radi usporavajućeg delovanja na

razvoj mikroorganizama. Pomoću indikatora ugljen-dioksida može se precizno utvrditi da li pakovanje u modifikovanoj atmosferi i posle određenog vremena zaista sadrži početnu koncentraciju ugljen-dioksida. Opadanje početne koncentracije ugljen-dioksida može da ukazuje i na oštećenje ambalaže. Ako postoji oštećenje ambalaže, prvo dolazi do opadanja koncentracije ugljen-dioksida. Istovremeno u pakovanje prodire kiseonik, koji uslovljava porast aerobnih mikroorganizama, koji je praćen nastajanjem ugljen-dioksida. U takvim slučajevima indikatori ugljen-dioksida mogu pogrešno da ukazuju na netaknutu, odnosno neoštećenu ambalažu.

Indikatori kiseonika

Značajne komponente indikatora kiseonika su redoks-boje (na primer metilensko plavo), jedinjenja koja se lako redukuju i neka bazna jedinjenja. Ove komponente su pomešane sa nosačima kao što su zeoliti, silika gel, celuloza, neki polimeri ili slični materijali. Aktivna komponenta – boja reaguje sa kiseonikom, što ima za posledicu jasnu promenu boje. Oblik indikatora je različit. Pored standardnog oblika u formi tableta, mogu se koristiti i odštampani slojevi ili se aktivna komponenta može inkorporirati u neki polimer. Indikatori kiseonika se koriste za procenu kvaliteta, kao indikatori oštećenja ambalaže ili u kombinaciji sa apsorberima kiseonika.

Indikatori svežine proizvoda

Indikatori svežine proizvoda se ugrađuju na unutrašnju stranu ambalaže i u stanju su da direktno ukazuju na mikrobiološki kvalitet pakovanog proizvoda. Postoji veliki broj patenata u kojima su opisani indikatori kojima je moguće određivati gasovite i negasovite, mikrobiološke i produkte sopstvenog metabolizma pakovanog proizvoda. Ovim indikatorima je moguće odrediti u pakovanju prisustvo ugljen-dioksida, sumpor-dioksida, amina, amonijaka, vodonik-sulfida, organskih kiselina, etanola, toksina ili enzima. Mehanizmi detekcije se zasnivaju na promeni boje nekih jedinjenja, nastajanju obojenih jedinjenja ili na promeni optičkih svojstava nekih jedinjenja [8].

Primena RFID tehnologije

Značajan napredak u razvoju aktivne i inteligentne ambalaže, kao i ukupne ambalaže ostvaruje se primenom tehnologije identifikacije pomoću radiofrekvenci (engl. *radio frequency identification device* – RFID) tehnologije. Ova tehnologija se sastoji u tome da se pri pakovanju proizvoda u ambalažu ugradi RFID mikročip u koji se unese vreme pakovanja i relevantni programi. Preko odgovarajućih senzora u čipu se permanentno skupljaju relevantne informacije o stanju kvaliteta jednog proizvoda, kao na primer o temperaturi, vlažnosti, sastavu gasne faze u pakovanju, itd., i pri prekoračenju unetim programom predviđenih vrednosti uključuje alarm. Svi prikupljeni podaci iz čipa mogu se preko an-

tene ugrađene u čip pomoću odgovarajućeg čitača preneti u kompjuter i dalje obrađivati [15]. Analizom podataka prenetih sa čipa u kompjuter moguće je reprodukovati „životni put proizvoda“ od pakovanja do upotrebe što će sigurno doprineti i smanjenju falsifikovanja skupih, a naročito farmaceutskih proizvoda. RFID tehnologija već olakšava optimizaciju skladištenja pakovanih proizvoda u magacine i hladnjače i njihovo dalje korišćenje. Očekuje se da će ova tehnologija uskoro potpuno zameniti primenu klasičnih bar kodova za označavanje pakovanih proizvoda.

Proizvođači i korisnici ambalaže su shvatili značaj RFID tehnologije i zajedno sa firmom Organic Electronics Association rade na usavršavanju i komercijalizaciji takozvane štampane organske elektronike. Jeftina, tanka i fleksibilna elektronika, koja se nanosi na fleksibilni poliestarski supstrat može se lako integrisati u ambalažu i to naročito ambalažu od polimernih materijala.

PORAST PRIMENE BIOPOLIMERA NA BAZI OBNOVLJIVIH SIROVINA ZA IZRADU AMBALAŽE

Pojam „biopolimeri“ označavao je do pre petnestak godina polimere koji su sintetizovani u prirodi (celuloza, amilopektin, amiloza itd) i polimere koji su sintetizovani na bazi obnovljivih sirovina (polihidroksialkanoati, polimlečna kiselina, itd). Za navedene biopolimere karakteristično je da su biorazgradivi i da se mogu kompostirati [16]. U poslednje vreme razvijena je svest o potrebi zaštite životne sredine, kao i da su zalihe nafte, koja je od polovine prošlog veka osnovna sirovina hemijske industrije, ograničene. Zbog toga, razvijene zemlje sveta su investirale ogromna sredstva za iznalaženje alternativnih sirovina za hemijsku industriju. Pokazalo se da je biomasa jedina prava alternativa za naftu, jer se godišnje na našoj planeti sintetizuje od 170 do 200 milijardi tona biomase (obnovljiva sirovina). U nekim razvijenim zemljama (Nemačka i Holandija) već danas je preko 10 mas.% nafte, koja se koristi kao sirovina u hemijskoj industriji, supstituisano obnovljivim sirovinama. Razvijeni su i postupci dobijanja monomera od kojih se sintetizuju različite vrste polimera od kojih su neki biorazgradivi, dok drugi nisu biorazgradivi i ne razlikuju se od standardnih polimera dobijenih od fosilnih sirovina (nafta i gas). Zbog toga se polimeri danas razvrstavaju prema poreklu sirovina i biorazgradivosti, pa pored standardnih polimera na bazi fosilnih sirovina imamo još tri osnovne grupa polimera [17]:

- biopolimeri koji su dobijeni od obnovljivih sirovina i koji su biorazgradivi,
- biopolimeri koji su dobijeni od obnovljivih sirovina, ali nisu biorazgradivi i
- biopolimeri koji su dobijeni od petrohemijskih (fosilnih) sirovina, ali su biorazgradivi.

Pored toga, biopolimeri koji su biorazgradivi i dobijeni su od obnovljivih sirovina mogu da imaju i jednu

podgrupu biopolimera, koji se mogu i kompostirati, odnosno na dodatni način ponovo upotrebiti. Ovi biopolimeri se direktno uključuju u kružni tok materije u prirodi [18]. U ovu grupu biopolimera spadaju: biopolimeri na bazi skroba (blende skroba), fermentativno proizvedena polimlečna kiselina (PLA) i poliestri tipa PHA (poli-hidroksialkanoati), itd. Mogućnost kompostiranja za svaki biopolimer mora se posebno dokazati odgovarajućim standardizovanim ispitivanjima (Evropa: EN 13432 ili EN 14995; USA: ASTM D-6400). Ova grupa biopolimera, kao i ambalaža izrađena od njih, mora se sertifikovati po navedenim normama od strane odgovarajuće ustanove, koja je nezavisna od proizvođača, i označiti posebnim znakom (slika 6), kojim se dokazuje da je proizvod biorazgradiv i da se može kompostirati.



Slika 6. Oznaka ambalaže od biopolimera koja se može kompostirati.

Figure 6. Designation of packaging made from biopolymers which can be composted.

Najveći broj biopolimera koji se nalaze na tržištu i koji imaju oznaku da se mogu kompostirati je izrađen od obnovljivih sirovina. Međutim, postoji i grupa sintetskih biopolimera na bazi fosilnih sirovina za koje je dokazano da su biorazgradivi, a za neke i da se mogu kompostirati, kao na primer polikaprolakton i neki poli-

estri.

Najnovija grupa biopolimera je ona za čiju proizvodnju su korišćene obnovljive sirovine ali nisu biorazgradivi. Kod ove grupe biopolimera u makromolekule se ne ugrađuje ugljenik fosilnog porekla, već ugljenik iz obnovljivih sirovina. Kao osnovne sirovine za njihovu proizvodnju za sada se najviše koriste skrob iz kukuruza i krompira, celuloza iz drveta, šećer iz šećerne repe i šećerne trske ili neka biljna ulja. Odgovarajućim analitičkim metodama moguće je odrediti sadržaj nefosilnog ugljenika u proizvodu, odnosno sadržaj ugljenika iz obnovljivih sirovina (na primer ASTM D-6866). Za sada je na bazi obnovljivih sirovina počela industrijska proizvodnja: nekih poliestara na primer na bazi bio-propan-diola, specijalnih poliamida, dobijenih na primer na bazi ricinusovog ulja, polietilena (PE), polipropilena (PP) i polivinilhlorida (PVC), koji se dobijaju polazeći od bioetanola iz šećerne trske, a u pripremi je i proizvodnja PET. Navedeni polimeri se po svojstvima ne razlikuju od odgovarajućih standardnih polimera dobijenih na bazi fosilnih sirovina.

U tabeli 5 prikazan je obim proizvodnje biorazgradivih i bionerazgradivih polimera na bazi obnovljivih sirovina kao i biorazgradivih biopolimera na bazi fosilnih sirovina u 2010. godini, kao i njihova prognozirana proizvodnja u 2015. godini [19].

Kao što se vidi u tabeli 5, proizvodnja biopolimera u svetu u 2010. godini je iznosila 724500 t, a u 2015. godini očekuje se proizvodnja od 1709700 t. Prema predviđanjima stručnjaka firme Frost & Sullivan (London), očekuje se da će proizvodnja biopolimera na bazi obnovljivih sirovina u svetu sve do 2020. godine rasti po stopi od oko 20 mas.%, dok će porast potrošnje polimera na bazi fosilnih sirovina iznositi 3 mas %. Najveći deo biopolimera se koristi za izradu ambalaže. Udeo

Tabela 5. Proizvodnja biorazgradivih i bionerazgradivih biopolimera na bazi obnovljivih sirovina

Table 5. Production of biodegradable and bionondegradable biopolymers based on renewable raw materials

Vrsta biopolimera	Proizvodnja u 2010. god.	Proizvodnja u 2015. god.
Bio-PE ^a	200000 (28%)	450000 (26%)
Bio-PET	50000 (7%)	290000 (17%)
PLA	112500 (15%)	216000 (13%)
PHA	88100 (12%)	147100 (9%)
Biorazgradivi poliestri	56500 (8%)	143500 (8%)
Biorazgradive blende skroba	117800 (16%)	124800 (7%)
Bio-PVC	–	120000 (7%)
Bio-PA	35000 (5%)	75000 (5%)
Regenerisana celuloza	36000 (5%)	36000 (2%)
PLA – blende	8000 (1%)	35000 (2%)
Bio-PP	–	30000 (2%)
Bio-PC	–	20000 (1%)
Ostali biopolimeri	75000 (1%)	22300 (1%)
Ukupno	724500 (100%)	1709700 (100%)

^aPrefiks bio- imaju i polimeri na bazi obnovljivih sirovina, koji nisu biorazgradivi

biopolimera među polimerima na bazi fosilnih sirovina za izradu ambalaže je za sada samo oko 1 mas.%. Međutim, imajući u vidu navedene prognoze o povećanju proizvodnje biopolimera u svetu, kao i njihove ekološke prednosti pri izradi nekih vrsta ambalaže, može se očekivati da će u skoroj budućnosti pri izradi ambalaže doći do značajnog povećanja udela biopolimera na bazi obnovljivih sirovina u ukupnoj količini korišćenih polimera.

Postoji čitav niz faktora, koji utiču na dinamiku proizvodnje biopolimera:

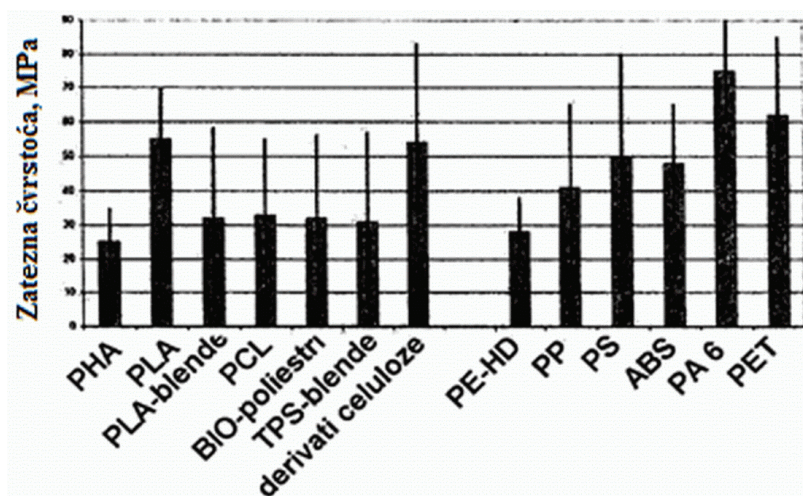
- uslovi investicija za podizanje velikih proizvodnih pogona;
- razvoj i odnos cena fosilnih i obnovljivih sirovina;
- politički i pravni okvirni uslovi, koji mogu da potpomažu ili ometaju marketing biopolimera;
- u siromašnim zemljama može da se desi da se poljoprivredno zemljište ne koristi za proizvodnju prehrambenih proizvoda već sirovina za proizvodnju biopolimera ili bioenergije. Takva politika korišćenja poljoprivrednog zemljišta može da izazove socijalne nemire.

Svojstva biopolimera na bazi obnovljivih sirovina su već sada uporediva sa svojstvima sintetskih polimera na bazi fosilnih sirovina. Ilustracije radi na slici 7 prikazana je vrednost zatezne čvrstoće za izabrane biopolimere na bazi obnovljivih sirovina i polimere na bazi fosilnih sirovina, koji se koriste za izradu ambalaže [20].

Kao što se vidi na slici 7, razlike u zateznoj čvrstoći ove dve grupe polimera nisu velike i dozvoljavaju da se obe grupe polimera koriste za izradu ambalaže. Biopolimeri imaju veću gustinu od standardnih polimera i zbog toga ambalaža za jedinicu pakovanja ima veću masu, što sigurno ima uticaja i na povećanje cene pakovanja. Međutim, cena biopolimera će se sigurno smanjivati sa povećanjem njihove proizvodnje, pa se očekuje da će u bliskoj budućnosti biti konkurentna ceni pakovanja u ambalažu od standardnih polimera, što će sigurno doprineti povećanju tražnje za biopolimerima.

Činjenica da je neki biopolimer izrađen od obnovljivih sirovina, da je biorazgradiv i CO₂ neutralan nije uvek garancija da je njegova primena ekološki opravdana. Na ovo pitanje može se odgovoriti samo pravljem ekobilansa za izučavani biopolimer i neke standardne polimere, koji se koriste za izradu ambalaže za pakovanje istog proizvoda. Na osnovu ekobilansa se može konstatovati koji uticaj neki proizvod u toku „ce-log života“ (od proizvodnje sirovina, dalje prerade, transporta, korišćenja i na kraju zbrinjavanja, odnosno rešavanja problema otpada) ima na životnu sredinu.

Primera radi, u toku 2008. godine napravljen je ekobilans za korišćenje čaša za jednokratnu i višekratnu upotrebu. Izrađene su i analizirane čaše od standardnih polimera kao što je polipropilen i polietilentereftalat, od oslojenog kartona i biološki razgradivog biopolimera – PLA. Rezultat ove studije bio je da čaše za višekratnu upotrebu od svih korišćenih materijala manje opterećuju životnu sredinu od onih za jednokratnu upotrebu. Opterećenje životne sredine čašama za jednokratnu upotrebu od PLA je uporedivo sa čašama za jednokratnu upotrebu od PET-a, ali u poređenju sa čašama od oslojenog kartona, čaše od PLA više opterećuju životnu sredinu. Na ovome primeru je pokazano da biopolimeri ne moraju uvek da imaju bolja ekološka svojstva u poređenju sa sintetskim bionerazgradivim polimerima. Međutim, na osnovu ovoga primera se ne mogu doneti korektni opšti zaključci o ekološkim svojstvima svih biopolimera, zato što se jedan ekobilans odnosi samo na jedan biopolimer i nekoliko drugih materijala koji se koriste za iste namene. Zbog toga je neophodno za svaki biopolimer i odgovarajuću namenu na-



Slika 7. Vrednosti zatezne čvrstoće za nekoliko izabranih biopolimera na bazi obnovljivih sirovina i standardnih polimera na bazi fosilnih sirovina.

Figure 7. Tensile strength values for several selected biopolymers based on renewable raw materials and standard polymers based on fossil raw materials.

praviti ekobilans i uporediti ga sa alternativnim standardnim polimerima ili drugim materijalima, koji se koriste za iste namene [21].

Neke nevladine organizacije, kao i udruženja građana koja se bave zaštitom životne sredine sve češće u javnosti iznose neargumentovane stavove kako je ambalaža od standardnih polimera i to naročito za pakovanje prehrambenih proizvoda štetna i da zagađuje, odnosno značajno negativno utiče na životnu sredinu. Zbog toga, oni predlažu da se ambalaža od standardnih biorazgradivih polimera zameni biorazgradivim polimerima na bazi obnovljivih sirovina ili takozvanih bio-okso razgradivih polimera na bazi fosilnih sirovina i tako doprinese smanjenju zagađenja životne sredine. Ove inicijative su dovele do toga da je u Italiji u toku 2010. godine došlo do zabrane korišćenja kesa od standardnih polimera na bazi fosilnih sirovina za nošenje kupljenih prehrambenih proizvoda.

Kada se govori o biorazgradivim biopolimerima mora se jasno istaći da se njihovom primenom umesto konvencionalnih sintetskih polimera ne može rešiti problem prisustva ambalažnog i drugog otpada u prirodi („Litter-Problems“), nastao nekontrolisanim odlaganjem, odnosno bacanjem iskorišćene ambalaže na neodgovarajuća mesta u okruženju. To je pre svega problem lošeg odgoja građana i njihovog neprihvatljivog odnosa prema materijalima koje koriste, kao i neodgovarajućeg odnosa državnih organa prema otpadu i ponašanju svojih građana.

Treba takođe ukazati da se primenom bio-okso razgradivih polimera na bazi fosilnih sirovina ostvaruju efekti suprotni od očekivanih. Primenom ambalaže izrađene od ovih polimera dodatno se zagađuje životna sredina unošenjem u zemlju hemijski aktivnih hemikalija i fragmenata molekulskih lanaca na primer poliolefina, za koje nema podataka da su u harmoniji sa prirodom, a u isto vreme bespovratno se gubi energija koju sadrže ovi polimeri [22].

Velika pažnja istraživača u svetu je poklonjena razvoju i primeni biopolimera na bazi obnovljivih sirovina, ali ne zato da bi se rešio problem otpada u svetu, već da se smanji potrošnja deficitarnih fosilnih sirovina i emisija CO₂ u atmosferu, odnosno doprinese održivom razvoju.

KORIŠĆENJE RECIKLIRANIH POLIMERA ZA IZRADU AMBALAŽE ZA PAKOVANJE ŽIVOTNIH NAMIRNICA

Korišćenje recikliranih polimera za izradu ambalaže za pakovanje životnih namirnica do pre desetak godina bilo je zabranjeno. U međuvremenu je došlo do usavršavanja postupaka prikupljanja, sortiranja i recikliranja polimernog otpada, tako da je sada moguće dobiti reciklate polimera koji imaju ista svojstva kao i sveži polimeri, pa se prema tome u principu mogu koristiti za izradu ambalaže koja pri pakovanju prehrambenih proiz-

voda dolazi sa njima u direktan kontakt. Međutim, nisu sve tehnologije recikliranja polimera tako dobre, pa se na tržištu nalaze reciklirani polimeri različitog kvaliteta. Da bi uvela red na tržištu i zaštitila potrošače, Evropska unija je pre tri godine izdala direktivu (EG) Broj 282/2008, kojom su dati zakonski okviri primene recikliranih polimera za izradu ambalaže, koja delimično ili potpuno dolazi u direktan kontakt sa pakovanim prehrambenim proizvodom.

Ova direktiva ne obuhvata polimerne materijale koji su:

- sintetizovani od monomera dobijenih hemijskim recikliranjem polimera,
- nastali kao otpad pri proizvodnji, preradi i izradi ambalaže za pakovanje prehrambenih proizvoda i
- reciklate polimera koji se koriste pri izradi višeslojnih folija za pakovanje prehrambenih proizvoda, ali pod uslovom da se između sloja od recikliranog polimera i prehrambenog proizvoda uvek nalazi sloj od svežeg polimera koji ima takva barijerna svojstva da onemogućava migraciju nepoželjnih supstanci iz reciklata u pakovani proizvod.

Reciklirani polimeri, koji su predviđeni za proizvodnju ambalaže za pakovanje prehrambenih proizvoda, moraju biti proizvedeni po postupku odobrenom po proceduri predviđenoj direktivom (EG) broj 282/2008. Pri ovome postupku recikliranja mora se koristiti odgovarajući sistem za obezbeđenje kvaliteta proizvoda. Ovaj sistem mora da odgovara pravilima uvedenim i opisanim u direktivi (EG) broj 2023/2006 o dobroj proizvodnoj praksi materijala i predmeta koji su predviđeni da budu u kontaktu sa životnim namirnicama.

Uslovi za odobravanje postupka recikliranja su sledeći:

- kvalitet polaznog materijala (polimernog otpada) mora da bude definisan i kontrolisan;
- polazni materijal mora da potiče od polimernih materijala, koji su korišćeni u skladu sa pravnim odredbama važećim za polimerne materijale koji su predviđeni za izradu ambalaže za prehrambene proizvode;
- postupak recikliranja mora da obezbedi da iz materijala budu potpuno uklonjene sve štetne supstance ili njihov sadržaj smanjen ispod količine koja može da migrira u pakovani proizvod i predstavlja opasnost po zdravlje potrošača;
- primena reciklata je dozvoljena samo u slučaju da iz recikliranog polimera ne može da migrira u pakovani prehrambeni proizvod nijedna komponenta reciklata (aditivi, proizvodi razgradnje) u količini koja bi mogla da ugrozi zdravlje potrošača ili izazove neželjenu promenu organoleptičkih svojstava pakovanog proizvoda.

Zahtev za dobijanje odobrenja korišćenja postupka recikliranja i korišćenja reciklata za izradu ambalaže za prehrambene proizvode se podnosi odgovarajućoj ustanovi u zemljama članicama EU. Zahtev treba da sadrži

sve podatke o postupku koje je u svome uputstvu dala Evropska institucija za osiguranje prehrambenih proizvoda.

Članica EU predaje proveren zahtev odgovarajućoj evropskoj instituciji, koja proverava da li zahtev ispunjava sve predviđene uslove. Posle najduže šest meseci Komisija dostavlja odluku o prihvatanju ili neprihvatanju postupka recikliranja. Ova Komisija formira registar odobrenih postupaka recikliranja polimera i čini ga dostupnim javnosti.

Pogoni za recikliranje podležu službenoj kontroli. Pri službenoj kontroli se proverava da li korišćeni postupak odgovara odobrenom postupku i da li je sistem kontrole postupka i proizvoda u funkciji. U slučaju da vlasnik firme želi da još nekome ustupi postupak recikliranja na korišćenje on to mora da prijavi i obezbedi da mesto korišćenja i postupak budu uvedeni u registar postupaka recikliranja polimera. Proizvodi od recikliranog polimera se dobrovoljno označavaju oznakama definisanim u EN ISO 14021:1999.

U izjavi o podobnosti recikliranog materijala za izradu ambalaže za pakovanje prehrambenih proizvoda pored podataka opisanih u uputstvu 2002/72/EG proizvođač je dužan i da podnese dokaz o odobrenju korišćenja postupka u navedene svrhe i broj u EG-registru, kao i da kvalitet polaznog materijala i dobijenog reciklata odgovaraju kvalitetu navedenom u odobrenju postupka za upotrebu.

Ova direktiva će doprineti da se ubrzano usavršavaju stari i razvijaju novi postupci recikliranja polimera, kao i povećanoj primeni reciklata za izradu ambalaže koja se koristi za pakovanje prehrambenih proizvoda. Zahtevi za dobijanje licence za recikliranje polimera i korišćenje reciklata za izradu ambalaže su vrlo strogi, ali to je razumljivo kada se ima u vidu da bi nepoštovanje propisanih uslova proizvodnje i kontrole proizvoda moglo da ima štetan uticaj na zdravlje potrošača.

OČEKIVANI DOPRINOS AMBALAŽE OD POLIMERNIH MATERIJALA OBEZBEĐENJU DOVOLJNO HRANE ZA GLADNE STANOVNIKE SVETA

U okviru sajma Interpak, koji je održan u Diseldorfu od 12. do 18. maja 2011. godine, održan je i Kongres pod naslovom *Save Food*, koji je organizovala Svetska organizacija za ishranu Ujedinjenih nacija (FAO) i rukovodstvo Interpaka (najveći sajam ambalaže na svetu). Na ovome skupu su između ostalih radova prikazani i rezultati Studije o globalnim gubicima namirnica i rasipanju hrane. Ovu studiju je sačinio Institut za prehranu i biotehnologije iz Švedske po nalogu UN.

Jedan od rezultata Studije je i da se u svetu prosečno gubi ili se rasipa (ne koristi za ishranu) oko jedna trećina namirnica proizvedenih za ishranu ljudi, što godišnje iznosi oko 1,2 milijarde tona. To ukazuje da se gubi jedna trećina resursa korišćenih za proizvodnju na-

mirnica, kao i da se sa jednom trećinom oslobođenog CO₂ nepotrebno zagađuje atmosfera. Za određene grupe voća i povrća ovi gubici se kreću od 40 do 55 mas.%. Konstatovano je da se životne namirnice gube u celom lancu polazeći od poljoprivredne proizvodnje do potrošnje u domaćinstvima. U razvijenim zemljama gubici namirnica su najveći na početku (poljoprivredna proizvodnja) i kraju lanca, kada se oko 30 mas.% hrane baca i pored toga što je u velikom broju slučajeva još uvek upotrebljiva. U nerazvijenim zemljama gubici su najveći u prvoj fazi lanca, a najmanji su kod krajnjih korisnika. Prema rezultatima Studije, gubici hrane u Evropi i SAD iznose po glavi stanovnika od 95 do 115 kg godišnje, dok na primer u nekim delovima Afrike i Južne Azije ti gubici se kreću od 6 do 11 kg godišnje. Razlog za gubitak hrane u nerazvijenim zemljama je nedostatak sredstava i odgovarajuće tehnike pri sakupljanju plodova, pakovanja, transporta, lagerovanja, hlađenja i nedostatka odgovarajuće infrastrukture i marketing sistema. Ovi razlozi u sprezi sa klimatskim uslovima imaju za posledicu velike gubitke hrane.

Prema opšte prihvaćenim prognozama, očekuje se da će 2050. godine na našoj planeti živeti oko 9,5 milijardi ljudi i da će zbog toga u narednom periodu biti neophodno za 70% povećati proizvodnju hrane i za to obezbediti odgovarajuće poljoprivredno zemljište, što će biti teško izvodljivo. Zbog toga je na kraju skupa zaključeno da bi s ciljem smanjenja gubitaka namirnica bilo mnogo racionalnije ulagati u razvoj nerazvijenih zemalja i to pre svega u obrazovanje kadrova, poljoprivrednu proizvodnju, kao i pakovanje, transport i skladištenje pod odgovarajućim uslovima dobijenih proizvoda. Proizvođači ambalaže su se obavezali da će za ove potrebe razvijati odgovarajuću jednostavnu opremu za proizvodnju ambalaže i pakovanje proizvoda, koja bi bila lako prihvatljiva za radnike u nerazvijenim zemljama. (Na kraju skupa je ostalo „jedino nejasno“ ko će obezbediti sredstva za ovu humanu i preko potrebnu akciju).

Proizvođači ambalaže su se takođe obavezali da će i dalje raditi na razvoju aktivne i inteligentne ambalaže, koja će omogućiti produžavanje vremena upotrebe prehrambenih proizvoda i tačno informisati kupca do kada može da koristi spakovani prehrambeni proizvod. Proizvođači ambalaže smatraju da će na taj način doprineti da se u razvijenim zemljama smanji količina hrane koja se baca i pored toga što se još uvek može koristiti. Na skupu su se takođe čula i mišljenja da bi se značajno smanjenje gubitaka u hrani u razvijenim zemljama ostvarilo ukidanjem određenih birokratskih propisa, a naročito promenom svesti kupaca kao pripadnika konzum društva.

Na kraju skupa je optimistički konstatovano da će se povećanom proizvodnjom i primenom ambalaže od polimernih materijala za pakovanje, pre svega preham-

benih proizvoda, uštedeti velike količine hrane, smanjiti broj gladnih u svetu i olakšati prehranjivanje sve većeg broja ljudi. Na taj način primenom ambalaže od polimernih materijala značajno će se doprineti održivom razvoju u celini, a posebno socijalnoj komponenti održivog razvoja.

Zahvalnica

Ovaj rad je finansiralo Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije (Projekat broj 172062).

LITERATURA

- [1] Verpacken in Kunststoff, IK Industrieverband Kunststoffverpackungen, Bad Homburg, 2005
- [2] IKB Branchenbericht, Gummi- und Kunststoff-industrie, Oktober 2010
- [3] PlasticsEurope, Grafiken zur Wirtschaftspressekonferenz, Mai 2011
- [4] J. Bergmaier, M. Washüttl, B. Wepner: Prüfpraxis für Kunststoffverpackungen (2. Auflage), Behr's Verlag GmbH, Hamburg, 2010
- [5] A.L. Brody, Controlled/Modified Atmosphere/Vacuum Packaging of Food, Food & Nutrition Press, 1994
- [6] N. Buchner, Verpackungen von Lebensmitteln, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1999
- [7] Courtaulds PackagingP-Plus-Films, A new system of equilibrium Modified Atmosphere Packaging (materijal firme)
- [8] A.L. Brody, What's Active about Intelligent Packaging, Food Technol. **55 H.6** (2001) 75–78
- [9] W. Holley, Aktive und Intelligente Kunststoffverpackungen, Verpackungs Symposium, Dokumentation, Berlin, 13. 12. 2001, pp. 61–66
- [10] Sud-Chemie AG, a Clariant Group Company, 2011, www.sud-chemie.com
- [11] D. Zagori, Etylen Removing Packaging, Aktive Food Packaging, London, Blackie Academic Professional, 1995
- [12] Niderräichisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Aktive Verpackungen für Lebensmittel, 2011, www.laves.niedersachsen.de
- [13] P. Appendini, J.H. Hotchkiss, Review of antimicrobial food packaging, Innov. Food Sci. Emerg. Technol. **3** (2002) 113–126
- [14] E. Hurme, Intelligent Systems in Food Packaging – Advances in the Supply Chain, Food Technol. **56** (2002) 72–75
- [15] J. Schmidt, Effizienzsteigerung im Informationsfluss, Pack Report **5** (2002) 59–61
- [16] Biologisch abbaubare Kunststoffverpackungen und – folien, IK Industrieverband Kunststoffverpackungen, Bad Homburg, 2002
- [17] Bio-Kunststoffe & Bio-Polymere, 2010, (<http://www.kunststoff-know-how.de/index.php?/Bio-Kunststoffe.html>)
- [18] H.J. Endres, Biopolymere als nachhaltige Alternative, Kunststoffe **5** (2011) 34–40
- [19] European Bioplastics, www.en.european-bioplastics.org
- [20] H.J. Endres, A. Siebert-Rathes, Technische Biopolymeren, Carl Hanser Verlag, München, 2009
- [21] European Bioplastics, Ökobilanzen von Biokunststoffen, Positions-papier, November 2008
- [22] European Bioplastics, "Oxo-biologische Abbaubare" Kunststoffen, Positions-papier, Jul 2009.

SUMMARY

DEVELOPMENT DIRECTIONS OF PACKAGING MADE FROM POLYMER MATERIALS

Slobodan Jovanović¹, Jasna V. Džunuzović²

¹Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

²Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy (ICTM) – Center of Chemistry, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

(Professional paper)

World packaging market achieves turnover of about \$620 billion per year with one third of this amount being associated with packaging made from polymer materials. It is expected that this kind of packaging consumption will hold at least 3% of the world packaging market share in the next five years and that it will surpass the consumption of all other materials used in the packaging production. This can be contributed to product quality, low production costs as well as significant investments made in the development of polymer materials, packaging technology and packaging. This paper presents some development directions for packaging made from polymer materials, such as: packaging in protective atmosphere, the use of active and intelligent packaging, and the use of biopolymers and recycled polymers for packaging production that come into direct contact with the packed product.

Keywords: Packaging made from polymer materials • Modified atmosphere packaging • Active and intelligent packaging • Biopolymers • Recycled polymers