

ZNAČAJ I UPOTREBA NANOPAKOVANJA U INDUSTRIJI HRANE*
THE IMPORTANCE AND USE OF NANOPACKING IN FOOD INDUSTRY**Dimitrijević Mirjana, Bošković Marija, Baltić M., Karabasil N., Teodorović V.,
Vasilev D., Katić Vera****

U cilju zadovoljenja sve većih potreba za proizvodnjom hrane koja će do potrošača stići u bezbednom stanju, a istovremeno zadovoljiti njihova očekivanja u pogledu kvaliteta, industrija pakovanja se konstantno razvija i teži ka implementaciji novih tehnologija u koje spada i nanotehnologija. Aplikacijom nanočestica i drugih nanomaterijala različitih organskih i neorganskih jedinjenja u standardne materijale za pakovanje omogućava se poboljšanje osobina pakovanja kao što su fleksibilnost, čvrstina, propustljivost za gasove, vlažnost i svetlost, termalna i hemijska stabilnost i biorazgradivost. Takođe, primena nanopolimernih materijala dozvoljava konstantan monitoring uslova u pakovanju, omogućavajući tako prezervaciju sveže hrane, produžavanje održivosti namirnice, kao i poboljšanje kvaliteta i bezbednosti. Upotreba nanopakovanja na tržištu je dosta usporena i onemogućena nedostatkom podataka o potencijalnom riziku po zdravlje ljudi i uticaju na životnu sredinu, kao i nedostatkom zakonskih regulativa. Ovi nedostaci utiču i na opštu sliku koju potrošači imaju o upotrebi nanotehnologije, ali kada se ovi problemi jednom prevaziđu upotreba nanopakovanja obećava da postane nezamenjiv deo industrijske proizvodnje hrane.

Ključne reči: nanotehnologija, pakovanja, antibakterijske osobine, meso

Uvod / Introduction

Industrija hrane je sektor koji beleži konstantan porast proizvodnje, u kome uvek postoji potreba za stvaranjem kvalitetnijeg, bezbednijeg i za potrošača

* Rad primljen za štampu 05.09.2014. godine

** Dr sc. vet. med. Dimitrijević Mirjana, profesor, Bošković Marija dr vet. med., dr sc. vet. med. Baltić Milan, profesor, dr sc. vet. med. Karabasil Neđeljko, profesor, dr sc. vet. med. Teodorović Vlado, profesor, dr sc. vet. med. Vasilev Dragan, dr sc. vet. med. Katić Vera, profesor, Katedra za higijenu i tehnologiju namirnica animalnog porekla, Fakultet veterinarske medicine Univerziteta u Beogradu

prihvatljivijeg proizvoda. Usled navedenog, ova industrija predstavlja metu novih tehnologija, u koje spada i nanotehnologija, koja predstavlja početak nove tehnološke revolucije. Neosporno najviše istraživana i obećavajuća oblast nanotehnologije je primena nanomaterijala za proizvodnju pakovanja (Murray, 2007; Ozimek i sar., 2010; Chaudhry i Castle, 2011; Duncan, 2011). Nanotehnologija polimera predstavlja interdisciplinarno polje istraživanja, a obuhvata karakterizaciju, fabrikaciju i manipulaciju strukturama i materijalima koji imaju najmanje jednu dimenziju (ili u svom sastavu sadrže komponente koje imaju najmanje jednu dimenziju) u rasponu od 1 do 100 nm (Azaredo, 2009; Ozimek i sar., 2010; Duncan, 2011; Silvestre i sar., 2011; Cushen i sar., 2012; Baltić i sar., 2013; Coles i Frewer, 2013). Nanomaterijali se mogu naći u formi nanočestica, nanocevi, nanovlakana, nanofilamenata i nanoploča (Ozimek i sar., 2010; Cushen i sar., 2012; Baltić i sar., 2013). Trenutno se nanomaterijali proizvode korišćenjem pristupa „top-down“ pod kojim se podrazumeva lomljenje čestica većih dimenzija mlevenjem, nanolitografijom i preciznim inženjeringom do čestica nanometarskih dimenzija ili „bottom-up“ metodom koja predstavlja alternativni način proizvodnje nanomaterijala kristalizacijom, uklanjanjem metodom „sloj po sloj“, ekstrakcijom/evaporacijom pomoću rastvarača, samo-sklapanjem ili mikrobiološkom sintezom (Azaredo, 2009; Cushen i sar., 2012). U zavisnosti od namene nanomaterijali se mogu proizvoditi od organskih i neorganskih jedinjenja, ali u oba slučaja imaju različite osobine od istih materijala većih dimenzija. Smanjenjem dimenzija dolazi do promena osobina materijala kao što su mehaničke, hemijske, magnetne, optičke osobine i električna i termička provodljivost, na čemu se i zasniva upotreba nanotehnologije u proizvodnji pakovanja (Ozimek i sar., 2010; Cushen i sar., 2012). Nanopolimerni materijali predstavljaju inovativno rešenje koje bi trebalo da utiče na poboljšanje osobina pakovanja, povećanje bezbednosti proizvodnje uz ekonomske prednosti, jer bi redukovalo upotrebu energije u procesu proizvodnje, a istovremeno kao posledica povećane razgradivosti takođe imalo povoljan uticaj na životnu sredinu, dovelo do smanjenja otpada i manje emisije štetnih gasova kao što je ugljen-dioksid (Silvestre i sar., 2011). U cilju uspešne primene ove napredne tehnologije na globalnom tržištu neophodno je savladati tehnološke, sigurnosne i zakonske prepreke, standardizovati proces proizvodnje i osigurati bezbedan proizvod koji će biti prihvatljiv za krajnjeg potrošača.

Nanopakovanja i njihov značaj / *Nanopackaging and its significance*

Osnovna funkcija pakovanja je da održe kvalitet i bezbednost proizvoda tokom transporta i perioda skladištenja, kao i da produže njegovu održivost sprečavajući dejstvo neželjenih agenasa kao što su mikroorganizmi kvara, hemijski kontaminanti, kiseonik, vlaga, svetlost i dr. (Pavličević i sar., 2011; Rhim i sar., 2013). Da bi se ispunili ovi zahtevi potrebno je da pakovanja ne budu samo fizičke barijere u kojima se čuva namirnica, već da poseduju i određene inovativne funkcije (Lončina i sar., 2013; Rhim i sar., 2013). Osnovni materijali koji se koriste za proizvodnju pakovanja kao što su papir, karton, plastika, staklo, metal ili njihova

kombinacija mogu ispunjavati neki od ovih uslova, u zavisnosti od vrste proizvoda koji se pakuje. Ipak, na tržištu postoji konstanta potreba za poboljšanjem uslova u kojima se čuvaju namirnice, zbog čega se ulažu veliki naponi za proizvodnjom novih i poboljšanih materijala za pakovanje (Rhim i sar., 2013). Jedna vrsta ovih materijala su i oni koji sadrže nanomaterijale. Nanotehnologija je primenjena u svrhu proizvodnje polimernih materijala pre svega da bi regulisala propustljivost za gasove kao što su kiseonik i ugljen-dioksid. Dokazano je da primena nanotehnologije u proizvodnji pakovanja takođe poboljšava i druge osobine pakovanja, kao što su osetljivost na UV zrake, stabilnost, čvrstinu, osetljivost na temperaturu, a može imati ulogu i u detektovanju i sprečavanju razvoja patogenih i mikroorganizama kvara (Silvestre i sar., 2011; Cushen i sar., 2012). Ovo su razlozi zbog kojih najveće svetske kompanije za proizvodnju pakovanja konstanto ispituju nanotehnologiju polimera u cilju objedinjavanja materijala za pakovanje sa poboljšanim mehaničkim, optičkim, temperaturnim i antibakterijskim osobinama, koji bi omogućili praćenje uslova tokom transporta i skladištenja hrane, te bi ona bila dostavljena do potrošača u bezbednom i održivom stanju (Silvestre i sar., 2011).

U odnosu na ulogu koju imaju, nanopakovanja se mogu podeliti na „poboljšana nanopakovanja“, „aktivna nanopakovanja“ i „inteligentna nanopakovanja“ (Silvestre i sar., 2011; Baltić i sar., 2013).

Poboljšana nanopakovanja / *Improved nanopackaging*

Termin „poboljšana“ nanopakovanja odnosi se na polimerne materijale koji imaju inkorporirane nanočestice i na taj način poboljšavaju osobine pakovanja: fleksibilnost, čvrstinu, propustljivost za gasove, vlagu i svetlost, termalnu i hemijsku stabilnost i biorazgradivost (Chaudhry i Castle, 2011; Cushen i sar., 2012; Silvestre i sar., 2011; Baltić i sar., 2013). Upotreba ovih pakovanja omogućava zaštitu sveže hrane i produžava njenu održivost (Sorrentino i sar., 2007; Lee, 2010; Duncan, 2011).

Propustljivost za gasove je jedna od osobina zbog koje je započela proizvodnja nanopakovanja, jer je inkorporacija nanomaterijala u velikoj meri uticala na poboljšanje ove osobine. Kada molekuli gasa putuju iz spoljašnje sredine kroz polimerne čestice malih promera njihova putanja je krivudava i molekuli znatno sporije stižu do upakovane hrane, u odnosu na veći promer polimernih čestica koje se koriste u proizvodnji konvencionalnih pakovanja i na taj način se odlaže difuzija gasova iz spoljašnje sredine ka hrani i obrnuto (Nielsen, 1967; Silvestre i sar., 2011; Cushen i sar., 2012). Jedan od najčešće korišćenih materijala za proizvodnju ovakvih materijala je glina, a inkorporacijom nanočestica gline u polimere, stvoren je jedan od prvih materijala koji su na tržištu predstavljeni kao poboljšana nanopakovanja (Chaudhry i Castle, 2011; Silvestre i sar., 2011).

Nekoliko različitih polimera kao što su poliamid, najlon, polistiren, etilen-vinilacetat kopolimer, polimid i polietilen tereftalat mogu se koristiti za proizvodnju polimernih materijala koji sadrže glinu. Nanoglina se obično koristi u obliku

montmorilonit-a (MMT), koji predstavlja hidriranu aluminijum silikatnu slojevit glinu (Paiva i sar., 2008). MMT je relativno jeftin i rasprostranjen oblik gline izolovane iz pepela/stena vulkanskog porekla. Upotreba polimernih materijala koji sadrže čestice nanogline mogu se koristiti za proizvodnju pakovanja za različite namirnice poput mesa, sira, cerealijske hrane koja se kuva u pakovanju, kao i pakovanja za sokove, proizvode od mleka i boce za piva i gazirana pića (Silvestre i sar., 2011). Dokazano je da čestice gline primenjene u komercijalne svrhe, smanjuju propustljivost kiseonika za 70%. Nedavno je u okviru jednog istraživanja dokazano da transparentni materijal proizveden novom, poboljšanom metodom koji sadrži glinu smanjuje propustljivost za kiseonik za skoro 100% (Cava i sar., 2006; Lagaron i sar., 2007; Silvestre i sar., 2011). Takođe je ukazano da glina primenjena u proizvodnji materijala za pakovanje utiče na poboljšanje mehaničkih osobina, termalne stabilnosti i otpornosti na vatru kod nekoliko polimera, uključujući polietilen, polipropilen, najlon 6, poli (ε-kaprolakton), polietilen tereftalat i dr. (Park i sar., 2003; Bertini i sar., 2006; Silvestre i sar., 2007; Cyras i sar., 2008; Adame i Beall, 2009; Priolo i sar., 2010). Povećana termalna stabilnost se pripisuje sporijoj difuziji isparljivih produkata razlaganja u okviru nanokompozita koji sadrže čestice gline (Silvestre i sar., 2011).

Pored nanočestica gline i nanocevi ugljenika (CNTs), silikon oksida (SiO) i srebro oksida (AgO), kao i neke druge nanočestice poboljšavaju mehaničke osobine (čvrstina, snaga i elastičnost) i smanjuju propustljivost za gasove i vlagu (Silvestre i sar., 2011).

Pored toga što štite namirnice od faktora spoljašnje sredine produžavajući njenu održivost, upotreba bio-nanokomponenta u ovim pakovanjima redukuje upotrebu plastike, zahteva manju potrošnju fosilnih goriva za proces proizvodnje, što ova pakovanja čini biorazgradivijim i smanjuje količinu otpadnog materijala koji nastaje odlaganjem iskorišćenih pakovanja, čineći ih ekološki prihvatljivim (Sorrentino i sar., 2007; Sozer i Kokini, 2009; Chaudhry i Castle, 2011; Cushen i sar., 2012).

Aktivna nanopakovanja / Active nanopackaging

„Aktivna“ nanopakovanja u sebi sadrže nanočestice koje omogućavaju interakciju između pakovanja, hrane i spoljašnje sredine i na taj način imaju ulogu u prezervaciji hrane (Silvestre i sar., 2011; Baltić i sar., 2013). Kombinovanje materijala za pakovanje hrane i aktivnih supstanci predstavlja nov način za kontrolisanje površinske kontaminacije hrane mikroorganizmima, a korišćenjem nanotehnologije omogućava se produženje održivosti proizvoda, kao i poboljšanje kvaliteta i bezbednosti i do smanjenja količine otpada prouzrokovanog bacanjem hrane (Cushen i sar., 2012). Aktivna pakovanja dizajnirana su da oslobađaju ili apsorbuju supstance u ili iz pakovanja u hranu i njeno okruženje, a upotreba nanotehnologije u aktivnim pakovanjima trenutno se najviše bazira na proizvodnji antimikrobnih pakovanja, koja su poslednjih godina privukla veliku pažnju (Azeredo,

2009; Silvestre i sar., 2011; Lončina i sar., 2013). Ova pakovanja mogla bi da pomognu u kontroli patogenih bakterija koje uzrokuju bolesti prenosive hranom, ali i mikroorganizama kvara (Azeredo, 2009). Takođe, eksperimentiše se sa upotrebom nanočestica u proizvodnji pakovanja u cilju kontrolisanja molekula kiseonika, uklanjanja etilena i apsorpcije/emisije ugljen-dioksida (Arora i Padua, 2010; Silvestre i sar., 2011).

Za proizvodnju antimikrobnih aktivnih nanopakovanja koriste se nanočestice metala, nanomaterijali koji sadrže metalne okside i nanocevi ugljenika. Ove čestice se mogu koristiti kao inhibitori rasta, bakteriocidi ili nosioci antibiotika, a deluju direktnim kontaktom koji je neophodan za ispoljavanje aktivnosti, ali takođe sporo migriraju i reaguju sa materijama prisutnim u hrani (Gu i sar., 2003; Vermeiren i sar., 2002; Cioffi i sar., 2005; Huang i sar., 2005; Lin i sar., 2005; Kumar i Münstedt, 2005; Azeredo, 2009; Silvestre i sar., 2011). najviše se ispituju nanočestice srebra i njihova upotreba u proizvodnji antimikrobnih pakovanja već je našla komercijalnu primenu (Silvestre i sar., 2011). Srebro pokazuje širok spektar antimikrobne aktivnosti prema 150 različitih vrsta gram-negativnih i gram-pozitivnih bakterija, gljivicama, protozoama i nekim virusima (Silvestre i sar., 2011; Azeredo, 2013). Takođe, srebro pokazuje neke bitne osobine proizvodnog procesa, kao što su temperaturna stabilnost i niska isparljivost (Kumar i Münstedt, 2005). Zahvaljujući svojoj velikoj površini i odnosu površine i zapremine, materijali za pakovanje koji sadrže nanočestice srebra su efektniji u interakciji sa mikrobnim ćelijama od čestica srebra većih dimenzija (An i sar., 2008; Azeredo, 2013). Mehanizam kojim materijali za pakovanje sa nanočesticama srebra deluju još uvek nije u potpunosti razjašnjen, mada postoje tri hipoteze koje objašnjavaju njihovo antimikrobno dejstvo. U skladu sa prvom hipotezom, antimikrobno dejstvo ovih materijala bazira se na postepenom oslobađanju jona srebra koji inhibišu stvaranje ATP-a i DNK replikaciju. Druga hipoteza govori o tome da je antimikrobni mehanizam zasnovan na direktnom oštećenju ćelijske membrane, a treći na stvaranju reaktivnih kiseonikovih radikala (ROS) (Dallas i sar., 2011; Rhim i sar., 2013). Joni srebra vezuju se za elektonsku grupu donora koji sadrže sumpor, kiseonik i azot (Morones, 2005; Dallas i sar., 2011; Silvestre i sar., 2011). Sinteza nanopolimera koji sadrže srebro može biti *ex situ* i *in situ*. *Ex situ* sinteza se bazira na produkciji nanočestica hemijskom redukcijom, One se potom disperguju u polimerizovanu formulaciju. Ova metoda, pored toga što je rizična zbog rukovanja suvim nanočesticama, često dovodi do hemijske kontaminacije površina pakovanja i podiže nivo toksičnosti, a prilikom ovakvog načina proizvodnje ne može se postići pravilna dispergovanost nanočestica (Balan i Burget, 2006; Vimala i sar., 2010; Azeredo, 2013). Tokom *in situ* sinteze, nanočestice se generišu u polimerizovani medijum iz prekursora koji ispoljavaju bolje disperzione sposobnosti (Balan i sar., 2010). Ovaj proces se može obaviti fizičkom (UV/toplota) metodom koja omogućava stabilnost oblika pakovanja i pravilnu dispergovanost nanočestica i hemijskom redukcijom koja rezultira agregacijom čestica. *In situ* sinteza omogućava stabilizaciju jona srebra i proizvodnju u jednom koraku (Azeredo, 2013). Celuloza

dobro vezuje metale sa pozitivnim električnim nabojem, kao što je srebro, a i citozan pokazuje jak afinitet prema jonima srebra usled prisustva amin i hidrosil grupe, zbog čega se ove materije mogu koristiti u proizvodnji nanopakovanja koja sadrže srebro (Varma i sar., 2004; Azeredo, 2013). Nanočestice zlata i cinka su pored srebra dva najčešće ispitivana metala, koja zbog svojih antimikrobnih osobina mogu naći primenu u proizvodnji antimikrobnih nanopakovanja (Vermeiren i sar., 2002, Silvestre i sar., 2011). Rezultati istraživanja su pokazali da kombinacija srebra i zeolita, kao i čestica srebra i zlata ispoljavaju jači antibakterijski efekat od srebra upotrebljenog samostalno (Mbhele i sar., 2003; Silvestre i sar., 2011). Metal oksidi kao što je titanijum dioksid (TiO_2), cink oksid (ZnO) i magnezijum oksid (MgO), su jedne od najčešće korišćenih neorganskih supstanci za proizvodnju nanopakovanja. Kao i metali i njihovi oksidi pokazuju antimikrobnu aktivnost koja se bazira na produkciji reaktivnih radikala kiseonika (ROS) (Premanathan i sar., 2011; Azeredo, 2013, Baltić i sar., 2013). Prednost metal oksida u odnosu na antimikrobne agense organskog porekla je viši nivo stabilnosti (Azeredo, 2013). Njihova uspešna aplikacija zavisi od kontrolisane sinteze i faze rastvaranja. Oksidi metala se često sintetišu solgel metodom pri kojoj se reakcija prekida pre želatinizacije. Osobine nanočestica se određuju nukleacijom, rastom i mehanizmom starenja (Oskam, 2006). Rezultati istraživanja pokazali su antibakterijski efekat TiO_2 nanočestica i nanocevi na *Escherichia coli*, dok su se nanočestice MgO pokazale efektivnim protiv *E. coli* i *Bacillus spp.* (Chawengkijwanich i Hayata, 2008; Jing i sar., 2011; Al-Hazmi i sar. 2012; Azeredo, 2013). Antibakterijski efekat ZnO nanočestica je izraženiji prema gram-pozitivnim nego gram-negativnim bakterijama (Premanathan i sar., 2011). ZnO nanočestice su se pokazale efektivnim protiv *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* i *E. coli* O157:H7 (Jin i sar., 2009; Azeredo, 2013). Rezultati jedne studije pokazali su da nanočestice ZnO uspešno deluju na *Salmonella typhimurium* i *Staphylococcus aureus* u „ready-to-eat“ proizvodima od mesa živine (Akbar i Anal, 2014). Za ispoljavanje antibakterijskog efekta neophodno je da nanočestice ZnO penetriraju u ćeliju, a u zavisnosti od koncentracije ZnO zavisi da li će efekat biti bakteriostatski ili bakterocidni (Jin i sar., 2009; Azeredo, 2013). Osim metala i metal oksida i citozan, linearni polisaharid koji se sastoji iz više (1-4)-2-amino-2-dezoksi- β -D-glukan jedinica, se pominje kao potencijalni materijal za proizvodnju antibakterijskih nanopakovanja. Citozan pokazuje antibakterijski efekat prema velikom broju bakterija, a mehanizam delovanja se zasniva na interakciji katjona citozana sa anjonima ćelijske membrane što dovodi do povećane permeabilnosti membrane i posledične rupture ćelije (Qi i sar., 2004; Azeredo, 2013). Druga dva predložena mehanizma antimikrobnog dejstva citozana se baziraju na vezivanju citozana za tragove metala koji inhibišu aktivnost enzima, a u ćelijama gljiva dolazi do penetracije u ćeliju, vezivanja za DNK molekul i inhibiciju sinteze RNK (Rabea i sar., 2003; Azeredo, 2009). Nanočestice citozana dobro se disperguju u biopolimernim materijalima i predstavljaju dobar izbor materijala za proizvodnju antibakterijskih i biorazgradivih pakovanja (Azeredo, 2013). Nanočestice gline same po sebi nemaju antimikrobne osobine, ali mo-

gu apsorbovati bakterije iz rastvora i omogućiti bolju interakciju sa antimikrobnim polimerima kao što je citozan (Wang i sar., 2006).

Upotreba nanotehnologije u proizvodnji aktivnih nanopakovanja može dovesti i do smanjenja pojave kvara različitih namirnica izazvanog direktnom (dejavstvom kiseonika) ili indirektnom (pod dejstvom aerobnih mikroorganizama) oksidacijom. Ovaj efekat se postiže inkorporacijom nanočestica koje deluju kao skupljači/hvatači kiseonika u materijale za proizvodnju pakovanja. Prisustvo kiseonika u pakovanju može predstavljati okidač ili uticati na ubrzavanje oksidativne reakcije u hrani, naročito u mesu i proizvodima od mesa, i dovesti do kvara ili rasta aerobne mikroflore (Bošković i sar., 2013; Lončina i sar., 2013). Sekundarni proizvodi nastali kao posledica oksidacije, kao što su aldehidi kratkih lanaca i ketoni, mogu uticati negativno na kvalitet hrane i dovesti do diskoloracije, pojave neprijatnog mirisa i ukusa, redukovati nutritivnu vrednost, smanjiti održivost i ugroziti bezbednost potrošača. Skupljači/hvatači kiseonika uklanjaju O₂ i odlažu oksidativnu reakciju. Nekoliko vrsta nanočestica, uključujući i TiO nanočestice uspešno je korišćeno za proizvodnju nanopakovanja koja sadrže filmove sa ovim efektom (Xiao-e i sar., 2004; Simitzis i sar., 2010; Silvestre i sar., 2011; Bošković i sar., 2013).

Neke nanočestice, kao što su nanočestice srebra, sposobne su da apsorbuju i razlože etilen, čije bi uklanjanje iz neposredne sredine pakovanja omogućavalo produženje održivosti sirove hrane, kao što su voće i povrće (Li i sar., 2009; Silvestre i sar., 2011).

Inteligentna nanopakovanja / *Smart nanopackaging*

Prisustvo nanočestica i nanouređaja u polimernom matriksu „inteligentnih“ nanopakovanja omogućava stalan monitoring uslova hrane u pakovanjima ili promena sredine oko hrane (Silvestre i sar., 2011; Baltić i sar., 2013). Inteligentna pakovanja omogućavaju dobavljaču ili potrošaču da se informiše o stanju hrane u pogledu načina skladištenja, svežine ali i bezbednosti, a njihova upotreba našla je široku primenu (Silvestre i sar., 2011). Inteligentna pakovanja su nastala ugrađivanjem posebnih uređaja u konvencionalne materijale za pakovanje u cilju monitoringa integriteta pakovanja i temperaturnih uslova u kojima se čuva proizvod. Ovakav način pakovanja je pre svega pružao informacije o roku trajanja proizvoda. Kod određivanja datuma na pakovanju koji označava isticanje roka trajanja neke hrane pretpostavlja se da se ta hrana skladišti na propisan način i čuva u optimalnim uslovima (temperatura, koncentracija O₂, vlažnost i dr.). Međutim, u praksi to nije uvek slučaj i dešava se da odstupanja od preporučenih uslova skladištenja dovode do preranog kvara hrane koji može dovesti do ugrožavanja zdravlja potrošača usled prisustva nekog toksina ili patogenog mikroorganizma (Taoukis i Labuza, 1989; Silvestre i sar., 2011; Cushen i sar., 2012). Nanočestice, kao reaktivne čestice u obliku nanosenzora mogu biti inkorporirane u materijale za pakovanja u cilju informisanja o stanju pakovanja (Silvestre i sar., 2011). Ovi

nanosenzori reaguju na promene spoljašnje sredine, detektuju određena hemijska jedinjenja, proizvode degradacije, patogene mikroorganizme i toksine omogućavajući da proizvod u lancu proizvodnje stigne bezbedan do potrošača i eliminišući potrebu za određivanjem roka trajanja (Lee i sar., 2002; Ahvenainen, 2003; Cushen i sar., 2012). Nanotehnologija u proizvodnji inteligentnih pakovanja našla je primenu pre svega u proizvodnji indikatora kiseonika, indikatora svežine i senzora za otkrivanje prisustva mikroorganizama.

Kao što je prethodno pomenuto, kiseonik omogućava rast aerobnim mikroorganizama i njegovo prisustvo predstavlja jedan od najčešćih uzroka kvara hrane, zbog čega raste interes za proizvodnju senzora kiseonika koji će osigurati njegovo odsustvo u vakuum pakovanjima i pakovanjima u modifikovanoj atmosferi koju čini azot (Mills i Hazafy, 2009; Duncan, 2011; Silvestre i sar., 2011; Baltić i sar., 2013). Upotreba nanosenzora omogućava lako praćenje sadržaja kiseonika u pakovanju bez njegovog oštećenja. Postoji veliki broj neinvazivnih metoda za otkrivanje i merenje količine kiseonika baziranih na nanosenzorima. Jedna od tih metoda se zasniva na aktiviranju fotosenzitivnog indikatora sa mastilom u pakovanjima koja u sebi sadrže nanočestice TiO_2 ili SnO_2 i metilen plavu boju. Kao odgovor na minimum prisustva kiseonika ovaj indikator menja boju, a intenzitet boje varira u zavisnosti od nivoa prisutnog kiseonika. Naime, film je svetao kada nije izložen prisustvu kiseonika i plav kada jeste (Mills i Hazafy, 2009). Kao obećavajuća metoda pominje se i upotreba UV-aktiviranog kolorimetričkog indikatora kiseonika, koja se zasniva na korišćenju nanočestica TiO koje fotosenzibilizuju redukciju metilen plave trietanolaminom u polimernom medijumu koristeći UV svetlost. Pod dejstvom UV zračenja senzor postaje svetliji dok ne izgubi boju ukoliko je izložen prisustvu kiseonika ili ostaje plav u njegovom odsustvu (Lee i sar., 2002).

Nanosenzori mogu detektovati i prisustvo nekih drugih gasova kao što su gasoviti amini koji predstavljaju indikatore kvara ribe i mesa (Azeredo, 2009; Mills i Hazafy, 2009; Duncan, 2011).

Slično senzorima za detekciju gasa, razvijeni su i senzori bazirani na upotrebi nanotehnologije za detekciju nivoa vlage. Ovi senzori omogućavaju brzo i precizno određivanje nivoa vlage u pakovanju bez upotrebe invazivne metode uzorkovanja. Pod uticajem vlage polimerni matriks se naduje i dovodi do rastezanja pakovanja i povećanja prostora između nanočestica. Ove promene u rasporedu nanočestica senzora dovode do promene u refleksiji ili apsorpciji svetlosti koje se vizuelno detektuju (Duncan, 2011; Baltić i sar., 2013).

Takođe, napravljeni su i pH indikatori čija se proizvodnja bazira na organski modifikovanim nanočesticama silikata (Jurmanović i sar., 2010).

Nanosenzori mogu da služe za detekciju organskih i neorganskih molekula i na taj način budu korisni u otkrivanju prisustva melamina, pesticida, proteinskih toksina različitih bakterija i drugih kontaminenata mesa i namirnica uopšte (Duncan, 2011; Baltić i sar., 2013).

Smatra se da je za proizvodnju indikatora svežine u proizvodnji pakovanja ključno poznavanje metabolita koji utiču na kvalitet namirnice. Pokazatelji svežine namirnice zasnovani su na prisustvu metabolita, kao na primer ukupno isparljivog azota (TVB-N), koji nastaju aktivnošću mikroorganizama kvara (Babić i sar., 2014). Formiranje različitih metabolita zavisi od vrste mikroorganizama kvara karakterističnih za pakovanu namirnicu i od vrste pakovanja. Senzori koji su inkorporirani u pakovanja moraju biti sposobni da detektuju prisustvo mikroorganizama kvara i izazovu promenu u boji, koja bi potrošaču ukazala na isticanje održivosti proizvoda. Postoji nekoliko vrsta gasnih senzora koji mogu da se koriste za kvantitativno određivanje ili identifikaciju mikroorganizma na osnovu gasa koji proizvode. Jedan od najčešće korišćenih senzora, zbog visoke stabilnosti i osetljivosti je senzor koji sadrži metal okside (Šetkus, 2002; Smolander, 2004; Silvestre i sar., 2011).

Mikrobni senzori bazirani na upotrebi nanomaterijala predstavljaju novi i obećavajući način detekcije patogenih i mikroorganizama kvara, doprinoseći bezbednosti proizvoda (Duncan, 2011; Silvestre i sar., 2011; Baltić i sar., 2013). Slično kao i konvencionalne biološke metode za detekciju mikroorganizama, funkcionisanje mikrobni senzora se zasniva na interakciji antitelo–antigen, ali poseduje različite optičke i električne osobine, što ovim sensorima pruža prednost u obliku brže i preciznije detekcije i poboljšane selektivnosti. Jedna od pomenuatih tehnika je i imumomagnetna separacija koja koristi magnetne nanočestice konjugovane sa specifičnim antitelom u cilju brže izolacije ciljnog mikroorganizma iz hrane. Korišćenjem ove metode uz efikasnost od 94%, iz mlevenog goveđeg mesa izolovana je *E. coli* bez interferencije sa drugim mikroorganizmima (Duncan, 2011). Za sada su različitim metodama upotrebom mikrobni nanosenzora uspešno detektovane *Bacillus cereus*, *Vibrio parahaemolyticus* i *Salmonella spp.* (Garland, 2004; Arshak i sar., 2007; Silvestre i sar., 2011). Nova istraživanja uključuju i tzv. „elektronski jezik“ koji se sastoji od niza nanočestica veoma osetljivih na gasove koje proizvode mikroorganizmi kvara i reaguju kao indikatori u otkrivanju kvara namirnice promenom boje (Liu i sar., 2007; Silvestre i sar., 2011). Biočipovi koji se baziraju na otkrivanju DNK trenutno su u fazi ispitivanja i njihova upotreba bila bi izuzetno korisna u preciznoj detekciji štetnih bakterija u mesu i ribi (Silvestre i sar., 2011).

Uticaj nanočestica na zdravlje ljudi i prihvatljivost nanotehnologije od strane potrošača / *The impact of nanoparticles on human health and acceptability of nanotechnology by consumers*

Iako primena nanotehnologije pruža brojne prednosti u vezi sa za kvalitetom i bezbednošću hrane, istovremeno može predstavljati potencijalni rizik, ne samo po zdravlje ljudi već može uticati na životinje, ali i životnu sredinu (Baltić i sar., 2013).

U organizam nanočestice mogu ući inhalacijom, ingestijom ili direktnim kontaktom preko kože (Li i Huang, 2008; Silvestre i sar., 2011; Cushen i sar., 2012; Baltić i sar., 2013; Rhim i sar., 2013). Inhalacija i dermalni kontakt su ređi načini na koje potrošači dolaze u kontakt sa nanočesticama. Međutim, radnici u industriji hrane koji učestvuju u proizvodnji ovih čestica ili materijala direktno su izloženi opasnosti, zbog čega se savetuje da koriste zaštitnu opremu (rukavice, maske, zaštitne naočare i dr.) (Silvestre i sar., 2011). Kod potrošača ingestija predstavlja najčešći put unosa nanočestica koje mogu poticati iz inkapsuliranih aditiva dodatih direktno u hranu ili migracijom iz nanopakovanja (Cushen i sar., 2012; Baltić i sar., 2013; Coles i Frewer, 2013). Nanočestice u hranu mogu dospeti i indirektno iz spoljašnje sredine. Na primer, razlaganjem otpada koji sadrži nanomaterijale, nanočestice se oslobađaju i mogu migrirati u vodu i zemljište i posledično se akumulirati u biljkama koje se koriste u ishrani ljudi i životinja (Azeredo, 2013; Coles i Frewer, 2013). Potencijalni problem u veterinarskoj medicini predstavljala bi i upotreba nanonosača u veterinarskim lekovima, vakcinama i hrani za životinje pa bi bilo neophodno dobro proučiti njihov metabolizam radi određivanja karence da bi se osiguralo bezbedno klanje i proizvodnja mesa neškodljivog po zdravlje potrošače (Morein, 2004; Chaudhry i Castle, 2011; Cushen i sar., 2012). Smatra se da su nanopakovanja daleko sigurnija od direktnog dodavanja nanočestica u hranu. Rezultati studija i eksperimenata pokazali su da je migracija nanočestica iz nanopakovanja veoma mala ili nije zabeležena, kao i da u hranu migriraju samo nanočestice u okviru niskog opsega nano vrednosti (Chaudhry i Castle, 2011).

Nakon ulaska u cirkulaciju kroz gastro–intestinalni trakt, nanočestice imaju tendenciju da migriraju u jetru i slezinu, mada neke mogu da prođu barijeru krv-mozak ili migriraju u fetus (Leroueil i sar., 2007; Coles i Frewer, 2013; Silvestre i sar., 2011). Dejstvo nanomaterijala na organizam ne zavisi samo od načina ulaska već i od osobina samih materijala. Zabeleženo je da vreme provedeno u cirkulaciji raste ukoliko su nanočestice hidrofилne i pozitivno naelektrisane (Silvestre i sar., 2011). Veliki problem predstavlja nedostatak podataka o ADME profilu (apsorpcija, distribucija, metabolizam i eliminacija) i toksičnim osobinama nanočestica zbog čega je neophodno uraditi brojne analize i eksperimente u cilju prihvatanja ili odbijanja hipoteze o štetim posledicama nanočestica na organizam (Chaudhry i Castle, 2011, Baltić i sar., 2013).

Nedostatak procene rizika direktno utiče i na donošenje zakonskih regulativa o upotrebi nanomaterijala u industriji hrane, što predstavlja problem jer su određeni proizvodi ovog tipa već prisutni na nekim tržištima. U Evropi se nastoji da se upotreba nanotehnologije implementira u već postojeće regulative, ili da se one modifikuju u ovu svrhu. Međutim, ovaj zadatak je veoma težak jer u razmatranje treba uzeti veliki broj kako horizontalnih tako i vertikalnih propisa (Cushen i sar., 2012; Coles i Frewer, 2013). Ovakva situacija, bez prikladnih regulativa o upotrebi nanotehnologije, otežava proizvodnju i usporava razvoj ovog obećavajućeg polja istraživanja (Coles i Frewer, 2013).

I pored pretpostavke da se uspešnost nekog proizvoda ogleda u njegovim prednostima i proceni rizika, zapravo su potrošači ti koji imaju ključnu ulogu u određivanju njegovog plasmana na tržištu (Baltić i sar., 2013). Ljudi su generalno skeptični prema novim tehnologijama u koje spada i nanotehnologija, a naročito ih brine njihova upotreba u industriji hrane jer se ovaj način proizvodnje približava veštačkoj i genetski modifikovanoj hrani (Coles i Frewer, 2013). Ipak, ova mišljenja variraju u zavisnosti od poznavanja određene oblasti i informisanosti, a veliki uticaj ima i poverenje koje potrošači imaju u određenog proizvođača, kao i socijalno, ekonomsko i političko okruženje (Currall i sar., 2006; Castellini i sar., 2007; Siegrist i sar., 2007; Siegrist i sar., 2008; Kahan i sar., 2009; Silvestre i sar., 2011). Veliki broj studija pokazao je da u različitim delovima sveta potrošači različito prihvataju nanotehnologiju. Zajedničko za sve ispitanike je da je njihovo znanje o nanotehnologiji veoma ograničeno. U SAD-u ispitanici očekuju velike koristi od upotrebe nanotehnologije u svrhu poboljšanja sigurnosti proizvodnje i voljni su, da i pored potencijalne opasnosti, koriste proizvode koji u sebi imaju nanočestice ukoliko je prednost njihovog korišćenja veća u odnosu na konvencionalne proizvode. U Evropi je situacija drugačija i ispitanici su bili skeptičniji prema upotrebi nanotehnologije za proizvodnju hrane, mada se većina njih izjasnila da upotrebu nanotehnologije u nekim drugim oblastima smatra perspektivnijom (Cobb i Macoubrie, 2004; Currall i sar., 2006; Castellini i sar., 2007; Siegrist i sar., 2007; Kahan i sar., 2009; Silvestre i sar., 2011). Takođe, rezultati ispitivanja pokazuju da potrošači smatraju da najveću opasnost predstavlja prisustvo nanočestica dodatih direktno u hranu, pre svega zbog male mogućnosti njihove kontrole, dok je percepcija u vezi sa nanopakovanjima mnogo povoljnija. Većina ispitanika smatra da je ovaj način primene nanotehnologije korisniji i predstavlja manju opasnost po zdravlje (Siegrist i sar., 2007).

Zaključak / Conclusion

Primena nanotehnologije u industriji hrane predstavlja novu tehnološku revoluciju, a korišćenje nanomaterijala u proizvodnji pakovanja je oblast koja najviše obećava. Upotrebom polimerne nanotehnologije mogu se proširiti i implementirati sve neophodne funkcije pakovanja. Nanopakovanja poseduju bolje optičke, mehaničke i termičke osobine u odnosu na trenutno korišćena pakovanja, zatim pružaju mogućnost stalnog praćenja uslova u kojima se nalazi hrana, kao i kontrolisanu interakciju pakovanja sa sastojcima hrane u cilju produženja održivosti i povećanja nivoa bezbednosti proizvoda. I pored brojnih prednosti koje bi primena nanopakovanja omogućila, usled nedostatka podataka o uticaju nanomaterijala na životnu sredinu i zdravlje ljudi javlja se problem u zakonskom regulisanju njihove primene, što uzrokuje usporavanje implementacije nanopakovanja na tržištu. Ipak, kada se uskladi ekonomičnost i usavrši proces proizvodnje, proceni rizik i donesu odgovarajući zakonski propisi i regulative, upotreba nanomaterijala sigurno će naći široku primenu kako u industriji hrane tako i drugim oblastima.

Literatura / References

1. Adame D, Beall GW. Direct measurement of the constrained polymerregion in polyamide/clay nanocomposites and the implications for gas diffusion. *Applied Clay Science* 2009; 42: 545–52.
2. Ahvenainen R, editor. *Novel food packaging techniques*. Bosa Roca: CRC Press Inc. 2003; 2.
3. Al-Hazmi F, Alnowaiser F, Al-Ghamdi A A, Al-Ghamdi A A, Aly M M, Al-Tuwirqi R M, et al. A new large-scale synthesis of magnesium oxide nanowires: structural and antibacterial properties. *Superlattices and Microstructures* 2012; 52(2), 200-9.
4. Akbar A, Anal A K. Zinc oxide nanoparticles loaded active packaging, a challenge study against *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus* in ready-to-eat poultrymeat, *Food Control* 2014; 38: 88-95.
5. An J, Zhang M, Wang S, Tang J. Physical, chemical and microbiological changes in stored green asparagus spears as affected by coating of silver nanoparticles-PVP. *LWT e Food Science and Technology* 2008; 41(6); 1100-7.
6. Arora A, Padua G W. Review: nanocomposites in food packaging. *Journal of Food science* 2010; 75(1): 43–9.
7. Arshak K, Adley C, Moore E, Cunniffe C, Campion M, Harris J. Characterisation of polymer nanocomposite sensors for quantification of bacterial cultures. *Sensors and Actuators B: Chemical* 2007; 126(1): 226-31.
8. Azeredo M C H. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International* 2009; 42: 1240–53.
9. Azeredo M C H, Antimicrobial nanostructures in food packaging. *Trends in Food Science & Technology* 2013; 30, 56-69.
10. Babic A J, Dimitrijevic R M, Milijašević P M, Đorđević Ž V, Petronijević B R, Grbić M S, Spirić T A. Effect of modified atmosphere and vacuum packing on selected chemical parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and carp (*Cyprinus carpio*) cuts freshness. *Hem. Ind.* 2014; 68(1): 69–76.
11. Balan L, Malval J P, Loughnot D J. In situ photochemically assisted synthesis of silver nanoparticles in polymer matrixes. In D. P. Perez (Ed.). *Silver nanoparticles* 2010; 79-91.
12. Baltić Ž M, Bošković M, Ivanović J, Dokmanović M, Janjić J, Lončina J, Baltić T, Nanotechnology and its potential applications in meat industry. *Tehnologija mesa* 2013; 54(2): 168-75.
13. Balan L, Burget D. Synthesis of metal/polymer nanocomposite by UV-radiation curing. *European Polymer Journal* 2006; 42: 3180-9.
14. Bertini F, Canetti M, Audisio G, Costa G, Falqui L. Characterization and thermal degradation of polypropylene–montmorillonite nanocomposites. *Polymer degradation and stability* 2006; 91(3): 600–5.
15. Bošković M, Baltić Ž M, Ivanović J, Đurić J, Lončina J, Dokmanović M, Marković R., Use of essential oils in order to prevent food borne illness caused by pathogens in meat, *Tehnologija mesa* 2013; 54(1): 14-21.
16. Castellini O M, Walejko G K, Holladay C E, Theim T J, Zenner G M, Crone W C. Nanotechnology and the public: effectively communicating nanoscale science and engineering concepts. *Journal of Nanoparticle Research* 2007; 9(2): 183–9.
17. Cava D, Gimenez E, Gavara R, Lagaron J M. Comparative performance and barrier properties of biodegradable thermoplastics and nanobiocomposites versus PET for food packaging applications. *Journal of plastic film and sheeting* 2006; 22(4): 265–74.
18. Chaudhry Q, Castle L. Food applications of nanotechnologies: An overview of opportunities and challenges for developing countries, *Trends in Food Science & Technology* 2011; 22(11), 595-603.

19. Chawengkijwanich C, Hayata Y. Development of TiO powder-coated food packaging film and its ability to inactivate *Escherichia coli* in vitro and in actual tests. *International Journal of Food Microbiology* 2008; 123(3), 288-92.
20. Cioffi N, Torsi L, Ditaranto N, Tantillo G, Ghibelli L, Sabbatini L, et al. Copper nanoparticle/polymer composites with antifungal and bacteriostatic properties. *Chemistry of Materials* 2005; 17(21): 5255-62.
21. Cobb M D, Macoubrie J. Public perceptions about nanotechnology: Risks, benefits and trust. *Journal of Nanoparticle Research* 2004; 6(4): 395-405.
22. Coles D, Frewer L J. Nanotechnology applied to European food production e A review of ethical and regulatory issues, *Trends in Food Science & Technology* 2013; <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2013.08.006> (article in press).
23. Currall S C, King E B, Lane N, Madera J, Turner S. What drives public acceptance of nanotechnology?. *Nature Nanotechnology* 2006; 1(3): 153-5.
24. Cushen M, Kerry J, Morris M, Cruz-Romero M, Cummins E. Nanotechnologies in the food industry – Recent developments, risks and regulation, *Trends in Food Science & Technology* 2012; 24(1), 30-46.
25. Cyras V P, Manfredi L B, Ton-That M T, Vazquez A. Physical and mechanical properties of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposite films. *Carbohydrate Polymers* 2008, 73(1): 55-63.
26. Dallas P, Sharma V K, Zboril R. Silver polymeric nanocomposites as advanced antimicrobial agents: classification, synthetic paths, applications, and perspectives. *Advances in Colloid and Interface Science* 2011; 166(1): 119-35.
27. Duncan V T. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors, *Journal of Colloid and Interface Science* 2011; 363(1): 1-24.
28. Garland A, editor. *Nanotechnology in plastics packaging. Commercial applications in nanotechnology*. Leatherhead, UK: Pira International 2004; 14-63.
29. Gu H W, Ho P L, Tong E, Wang L, Xu B. Presenting vancomycin on nanoparticles to enhance antimicrobial activities. *Nano Letters* 2003; 3(9): 1261-63.
30. Huang L, Li D Q, Lin Y J, Wei M, Evans D G, Duan X. Controllable preparation of nano-MgO and investigation of its bactericidal properties. *Journal of Inorganic Biochemistry* 2005; 99(5): 986-93.
31. Jin T, Sun D, Su J Y, Zhang H, Sue H. Antimicrobial efficacy of zinc oxide quantum dots against *L. monocytogenes*, *S. enteritidis*, and *E. coli* O157:H7. *Journal of Food Science* 2009; 74(1): 46-52.
32. Jing Z, Guo D, Wang W, Zhang S, Qi W, Ling B. Comparative study of titania nanoparticles and nanotubes as antibacterial agents. *Solid State Sciences* 2011; 13(9): 1797-803.
33. Jurmanović S, Kordić Š, Steinberg M D, Steinberg I M. Organically modified silicate thin films doped with colourimetric pH indicators methyl red and bromocresol green as pH responsive sol-gel hybrid materials. *Thin Solid Films* 2010; 518(8): 2234-40.
34. Kahan D M, Braman D, Slovic P, Gastril S, Cohen G. Cultural cognition of the risk and benefits of nanotechnology. *Nature Nanotechnology* 2009; 4(2): 87-90.
35. Kumar R, Munstedt H. Silver ion release from antimicrobial polyamide/silver composites. *Biomaterials* 2005; 26(14): 2081-88.
36. Lagaron J M, Sanchez-Garcia M D, Gimenez E. Novel PET nanocomposites of interest in food packaging applications and comparative barrier performance with biopolyester nanocomposites. *Journal of Plastic Film and Sheeting* 2007; 23(2): 133-48.
37. Lee S W, Mao C, Flynn C E, Belcher A M. Ordering of quantum dots using genetically engineered viruses. *Science* 2002; 296(5569): 892-895.
38. Lee K T. Quality and safety aspects of meat products as affected by various physical manipulations of packaging materials, *Meat Science* 2010; 86(1): 138-50.

39. Leroueil P R, Hong S, Mecke A, Baker J R, Orr B G, Banaszak-Holl M M. Nanoparticle interaction with biological membranes: does nanotechnology present a Janus face? *Accounts of Chemical Research* 2007; 40(5): 335-42.
40. Li L H, Huang L. Pharmacokinetics and biodistribution of nanoparticles. *Molecular Pharmacology* 2008; 5(4): 496-504.
41. Li H, Li F, Wang L, Sheng J, Xin Z, Zhao L, Xiao H, Zheng Y, Hu Q. Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube. *Food chemistry* 2009; 114(2): 547-52.
42. Lin Y J, Li D Q, Wang G, Huang L, Duan X. Preparation and bactericidal property of MgO nanoparticles on c-Al₂O₃. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 2005; 16: 53-6.
43. Liu Y, Chakrabarty S, Alocilja E C. Fundamental building blocks for molecular biowire based forward error-correcting biosensors. *Nanotechnology* 2007; 18(42): 424017.
44. Lončina J, Nedić D, Ivanović J, Baltić T, Dokmanović M, Đurić J, Bošković M, Baltić M. Aktivni sistemi pakovanja mesa i proizvoda od mesa. *Veterinarski žurnal Republike Srpske* 2013; 1(13): 5-15.
45. Mbhele Z H, Salemane M G, Van Sittert C G C E, Nedeljković J M, Djoković V, Luyt
46. AS, Fabrication and characterization of silver-polyvinyl alcohol nanocomposites. *Chemistry of Materials* 2003; 15(26): 5019-24.
47. Mills A, Hazafy D. Nanocrystalline SnO₂-based, UVB-activated, colourimetric oxygen indicator. *Sensor and Actuators B: Chemical* 2009; 136(2): 344-9.
48. Morein B, Hu KF, Abusugra I. Current status and potential application of ISCOMs in veterinary medicine. *Advanced Drug Delivery Reviews* 2004; 56(10): 1367-82.
49. Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Holt K, Kouri JB, Ramirez JT. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology* 2005; 16: 2346-53.
50. Murray S. Food: the world's biggest industry www.forbes.com/2007/11/11/growth-agriculture-business-forbeslife-food07_cx_sm_1113bigfood.html
51. Nielsen L E. Models for the permeability of filled polymer systems, Nielsen, L. E. (1967). Models for the permeability of filled polymer systems. *Journal of Macromolecular Science—Chemistry* 1967; 1(5): 929-42.
52. Oksman K, Mathew A P, Bondeson D, Kvien I. Manufacturing process of cellulose whiskers/poly-lactic acid nanocomposites. *Composites Science and Technology* 2006; 66(15), 2776-84.
53. Ozimek L, Pospiech E, Narine S. Nanotechnologies in food and meat processing. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment* 2010; 9(4): 401-12.
54. Paiva L B, Morales A R, Diaz F R V. Organoclays: properties preparation and applications. *Applied Clay Science* 2008; 42(1): 8-24.
55. Park H M, Lee W K, Park C Y, Cho W J, Ha C S. Environmentally friendly polymer hybrids: part I. Mechanical, thermal, and barrier properties of the thermoplastic starch/clay nanocomposites. *J Mater Sci* 2003; 38, 909-915. Park, H. M., Lee, W. K.,
56. Pavličević N, Dimitrijević M, Teodorović V, Karabasil N, Đorđević V, Baltić M. Change number of enterobacteria during storage of cold smoked trout packed in vacuum and modified atmosphere. *Conference Proceedings of the V International conference »Aquaculture & Fishery«*, Belgrade, Serbia, 1-3 June 2011: 570-575.
57. Premanathan M, Karthikeyan K, Jeyasubramanian K, Manivannan G. Selective toxicity of ZnO nanoparticles toward Gram-positive bacteria and cancer cells by apoptosis through lipid peroxidation. *Nanomedicine* 2011; 7(2): 184-92.
58. Priolo M A, Gamboa D, Holder K M, Grunlan J C. Super gas barrier of transparent polymer- clay multilayer ultrathin films. *Nano letters* 2010; 10(12): 4970-4974.
59. Qi L F, Xu Z R, Jiang X, Hu C, Zou X. Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Research* 2004; 339(16): 2693-700.

60. Rabea E I, Badawy M E, Stevens C V, Smagghe G, Steurbaut W. Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action. *Biomacromolecules* 2003; 4(6): 1457–65.
61. Rhim J W, Park H M, Ha C S. Bio-nanocomposites for food packaging , applications, *Progress in Polymer Science* 2013; 38(10): 1629– 52.
62. Siegrist M, Cousin M E, Kastenholz H, Wiek A. Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: The influence of affect and trust. *Appetite* 2007; 49(2): 459–66.
63. Siegrist M, Stampfli N, Kastenholz H, Keller, C. Perceived risks and perceived benefits of different nanotechnology foods and nanotechnology food packaging. *Appetite* 2008; 51(2): 283-290.
64. Silvestre C, Cimmino S, Duraccio D, Kotsilkova R. Structure and morphology of epoxy nanocomposites with clay, carbon and diamond. In: Kotsilkova R, editor. *Thermoset nanocomposites for engineering applications*. Shawbury, UK: Rapra Technology 2007; 117–41.
65. Silvestre C, Duraccio D, Cimmino S. Food packaging based on polymer nanomaterials. *Progress in Polymer Science* 2011; 36(12): 1766–82.
66. Simitzis P E, Symeon G K, Charismiadou M A, Bizelis J A, Deligeorgis S G. The effects of dietary oregano oil supplementation on pig meat characteristics. *Meat science* 2010; 84(4): 670-6.
67. Smolander M. Freshness indicators for packaging. *Food Science Technology* 2004; 18(9): 26–7.
68. Sorrentino A, Gorrasi G, Vittoria V. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications, *Trends in Food Science & Technology* 2007; 18(2): 84-95.
69. Sozer N, Kokini J L. Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in biotechnology*: 27(2): 82-89.
70. Šetkus A. Heterogeneous reaction rate based description of the response kinetics in metal oxide gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical* 2002; 87(2): 346-57.
71. Taoukis P S, Labuza T P. Applicability of time-temperature indicators as shelf life monitors of food products. *Journal of Food Science* 1989; 54(4): 783-8.
72. Varma A J, Kennedy J F, Galgali P. Synthetic polymers functionalized by carbohydrates: a review. *Carbohydrate Polymers* 2004; 56(4), 429-45.
73. Vermeiren L, Devlieghere F, Debevere J. Effectiveness of some recent antimicrobial packaging concepts. *Food Additives & Contaminants: Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment* 2002; 19(4): 163-71.
74. Vimala K, Mohan Y M, Sivudu K S, Varaprasad K, Ravindra S, Reddy N N, et al. Fabrication of porous chitosan films impregnated with silver nanoparticles: a facile approach for superior antibacterial application. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 2010; 76(1): 248-58.
75. Xiao-e L, Green A N M, Haque S A, Mills A, Durrant J R. Light-driven oxygen scavenging by titania/polymer nanocomposite films. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 2004; 162(2): 253–9.
76. Wang X, Du Y, Yang J, Wang X, Shi X, Hu Y. Preparation, characterization and antimicrobial activity of chitosan/layered silicate nanocomposites. *Polymer* 2006; 47(19): 6738-44.

ENGLISH

THE IMPORTANCE AND USE OF NANOPACKING IN FOOD INDUSTRY

Dimitrijević Mirjana, Bošković Marija, Baltić M., Karabasil N., Teodorović V., Vasilev D., Katić Vera

In order to satisfy the increasing demand for food production which will reach the consumers in a safe condition, and at the same time meet their expectations in terms of quality, the packaging industry has been continually developing and striving to implement new technologies such as nanotechnology. By application of nanoparticles and other nanomaterials of various organic and inorganic compounds in standard packaging materials, the quality of packaging such as polymer-flexibility, gas barrier properties, temperature/moisture/light stability, thermal and chemical stability and biodegradability has been improved. Moreover, the use of polymer nanotechnology enables constant monitoring of packaging conditions, providing in that way the preservation of fresh food, extension of shelf life of foods and improvement of products quality and safety. The application of nanopackaging on the market is slowed due to lack of data on potential risk to human health and the impact on the environment, as well as to lack of legal regulations. These shortcomings affect public perception of nanotechnology, but when these problems are overcome application of nanopackaging promises to become an irreplaceable part of industrial production of food.

Key words: nanotechnology, packaging, antibacterial properties, meat

РУССКИЙ

ЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ НАНОУПАКОВКИ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Димитриевич Миряна, Мария Бошковиц, М. Балтич, Н. Карабасил, В. Теодорович, Д. Василев, Вера Катич

Для удовлетворения растущих потребностей в производстве пищевых продуктов, которые должны дойти до потребителей в безопасном состоянии и одновременно соответствовать их ожиданиям в плане качества, индустрия упаковки находится в постоянном развитии и стремится к имплементации новых технологий, к которым относится и нанотехнология. Применение наночастиц и других наноматериалов различных органических и неорганических соединений в стандартных материалах, используемых для производства упаковки, способствует улучшению свойств упаковки, таких как гибкость, прочность, газо-, влаго- и светопроницаемость, термическая и химическая стабильность и биоразлагаемость. Применение нанополимерных материалов позволяет осуществлять постоянный мониторинг условий в упаковке, сохраняя тем самым свежесть продуктов, обеспечивая увеличение срока хранения, а также улучшение качества и безопасности. Применение нанопакетов на рынке замедлено и затруднено вследствие нехватки сведений о потенциальном риске для здоровья людей и влиянии на окружающую среду, а также по причине отсутствия правовых норм. Эти недостатки влияют на общее представление о применении нанотехнологий, существующее в сознании потребителей, однако после того, как эти трудности будут преодолены, применение нанопакетов обещает стать неотъемлемой частью пищевой промышленности.

Ключевые слова: нанотехнология, упаковка, антибактериальные свойства, мясо