

Nove tehnike procesiranja hrane

Vesna Lelas

Pregledni rad - Review

UDK: 637.13

Sažetak

U posljednje vrijeme mnoga istraživanja usmjerena su na razvoj novih, blažih tehnika obrade hrane za koje se pretpostavlja da mogu zamijeniti neke tradicionalne procese prehrambene industrije, radi dobivanja prehrambenih proizvoda visoke kvalitete. Istraživanja su u prvom redu usmjerena na primjenu visokog hidrostatskog tlaka, ultrazvuka, tribomehaničke mikronizacije, mikrovalova, promjenjivog električnog polja. Rezultati znanstvenih istraživanja upućuju na činjenicu da se primjenom nekih od ovih postupaka u pojedinim granama prehrambene industrije može znatno uštedjeti energija i trajanje procesa proizvodnje, primijeniti blaži uvjeti termičke obrade te dobiti proizvodi boljih organoleptičkih značajki i veće nutritivne vrijednosti. Kako neke od ovih tehnika djeluju i na molekularnoj razini mijenjajući konformaciju, strukturu ili naboj molekula organskih ali i anorganskih materijala dolazi do promjena i pojedinih funkcionalnih svojstava materijala u kojima se nalaze. Zajedničko svim ovim tehnikama je da se tretiranje materijala odvija na sobnoj temperaturi, odnosno da dolazi do neznatnog povišenja temperature kao posljedice procesiranja, te da sam proces traje kratko vrijeme (od 1 do 10 minuta). Dosadašnji rezultati primjene visokog hidrostatskog tlaka pokazali su da se on uspješno može primijeniti u svrhu smanjenja broja ili čak uništenja mikroorganizama, te da uspješno djeluje na konformacijske promjene pojedinih molekula čime se mijenjaju (poboljšavaju) funkcionalna svojstva tretiranog proizvoda, te da izaziva pozitivne efekte proizvoda podvrgnutih zamrzavanju. Tehnika tribomehaničke obrade različitih čvrstih materijala izaziva mikronizaciju i dobivanje čestica nano - veličina uz istovremenu promjenu strukture i električnog potencijala, a čime dolazi do znatnog poboljšanja pojedinih reoloških i funkcionalnih svojstava materijala. Tretiranje ultrazvukom pokazalo se kao potencijalno vrlo uspješna tehnika obrade različitih prehrambenih proizvoda podvrgnutih sušenju (skraćuje se vrijeme sušenja i poboljšavaju funkcionalna svojstva), ekstrakciji u svrhu izolacije različitih komponenti (bioaktivne komponente hrane) ili emulgiranju. Primjena promjenjivog električnog polja pokazala se

efikasnom za uništenje mikroorganizama te kao predtretman sušenja pojedinih vrsta hrane. Neke od navednih tehnika već se uspješno primjenjuju u prehrambenoj industriji nekih industrijski razvijenih zemalja svijeta.

Ključne riječi: prerada hrane, visoki hidrostatski tlak, tribomehanička aktivacija, ultrazvuk

Uvod

Danas se znanstvena istraživanja sve više bave proučavanjem operacija i procesa kojima je svrha proizvesti prehrambene proizvode što veće nutritivne vrijednosti i što boljih organoleptičkih značajki. Pritom je važno odabrati odgovarajuće operacije i uređaje te optimirati procesne uvjete kako bi se u što je moguće manjoj mjeri narušila izvorna kakvoća sirovine te dobio proizvod visoke kvalitete. Posljedično tome, razvoj procesa proizvodnje hrane usmjerava se u tri glavna pravca: (1) prema proizvodnji tzv. «minimalno procesirane hrane», (2) prema unaprjeđenju postojećih postupaka i uređaja, te (3) prema primjeni novih tzv. «alternativnih» postupaka proizvodnje.

Kako su mnoga istraživanja pokazala da postoji direktna povezanost između očuvanja zdravlja ljudi i načina njihove prehrane, odnosno vrste hrane koju konzumiraju, znanstvenici se sve više usmjeravaju na proučavanje različitih činitelja u procesu proizvodnje koji utječu na očuvanje izvorne kakvoće sirovina, a time i na kakvoću gotovih proizvoda. Izučavaju i razvijaju postupke zamrzavanja i uvjete skladištenja zamrznute hrane, unaprjeđuju postupke sušenja koje najčešće kombiniraju s nekim postupkom predtretiranja sirovine, npr. ultrazvukom ili mikrovalovima, provode osmodehidraciju difuzijom šećera, uvode nove tehnike kao što su visoki hidrostatski tlak, pulsno električno polje, pulsirajuće svjetlo (Deumier i sur., 1997.; Lazarides i sur., 1999.; Knorr, 1995.; Fellows, 2000.).

Minimalno procesirana hrana

Potrošači danas sve više traže hranu visoke kakvoće koja je po svojim organoleptičkim značajkama što sličnija sirovom neprerađenoj hrani, posebice kada se radi o voću i povrću. Takva hrana poznata je pod nazivom «minimalno

Tablica 1: Potencijalne prepreke koje se mogu koristiti za konzerviranje hrane (Gorris i Tauscher, 1999.)

Table 1: Potential hurdles for food preservation (Gorris i Tauscher, 1999)

Vrsta prepreke Hurdles	Proces Process
Fizikalne prepreke Physical hurdles	Visoka temperatura (sterilizacija, pasterizacija, blanširanje), niska temperatura (hlađenje, smrzavanje), UV zračenje, ionizirajuće zračenje, elektromagnetska energija (mikrovalovi, pulsno magnetsko polje, pulsno električno polje), fotodinamička inaktivacija, visoki tlak, ultrazvuk, pakiranje u modificiranoj atmosferi, ambalažni materijali, aseptično pakiranje
Fizikalno-kemijske prepreke Physical-chemical hurdles	Aktivitet vode, pH, redoks potencijal, sol, nitriti, nitrati, kisik, ozon, ugljični dioksid, organske kiseline, octena kiselina, mliječna kiselina, laktati, acetati, askorbinska kiselina, sulfiti, dim, fosfati, fenoli, površinski aktivne tvari, etanol, propilen glikol, začini
Druge prepreke Other hurdles	Kompetitivna flora, zaštitne kulture mikroorganizama, bakteriocini, antibiotici, slobodne masne kiseline, hitozan

procesirana hrana» u kojoj su, u najvećoj mjeri, sačuvane originalne organoleptičke i nutritivne značajke sirovine, isključivo zbog znatno blažih uvjeta primijenjenih pri njenom procesiranju ili zbog primjene novih blažih postupaka proizvodnje ili konzerviranja (Lovrić, 2003.). To znači da se, npr. u termičkim procesima primjenjuju znatno blaži uvjeti procesiranja (niže temperature, kraće vrijeme), da se umjesto standardnih termičkih postupaka primjenjuju drugi postupci kao što su dielektrično zagrijavanje, pulsirajuće električno polje, termička obrada u vakuumu, pulsirajuće svjetlo. Sve više se primjenjuje i tehnika konzerviranja preprekama, što znači da se primjenjuje serija procesnih prepreka koje prisutni mikroorganizmi ne mogu prijeći. Te

prepreke mogu biti npr. temperatura, aktivitet vode, pH, redoks potencijal, konzervansi i sl. Što je prepreka viša, to je mikroorganizmi mogu teže savladati. Upravo ovakvom kombinacijom prepreka, svaki pojedinačni process u seriji može se provoditi u znatno blažim uvjetima nego kada se koristi sam za sebe (Gorris i Tauscher, 1999.; Leistner i Gorris, 1995.). U minimalno procesiranoj hrani u pravilu se ne postiže komercijalna sterilnost te se, radi produženja njene trajnosti, posebna pažnja mora usmjeriti na odabir ambalažnog materijala (materijali koji ne propuštaju plinove i vlagu, jestivi zaštitni filmovi), na odabir načina pakiranja (modificirana atmosfera, vakuum) te uvjete čuvanja (niske temperature, relativna vlažnost zraka).

Nove tehnike procesiranja

Istraživačima su posljednjih dvadesetak godina postali zanimljivi različiti novi postupci i tehnike koje ranije nisu korištene pri procesiranju hrane, a kojima je moguće proizvesti znatno bolje proizvode sačuvanih nutritivnih i organoleptičkih značajki. Takve nove tehnike primjenjuju se u različitim fazama procesa proizvodnje s različitom svrhom. Mogu se koristiti kao faza predobradbe koja prethodi nekoj operaciji kako bi se ublažili uvjeti odvijanja te operacije (npr. blaži uvjeti sterilizacije i pasterizacije, homogenizacije, lakše emulgiranje, separacija, želiranje, upjenjavanje, sušenje i sl.). Nadalje, neke «nove» tehnike mogu u potpunosti zamijeniti pojedine standardne operacije (npr. homogenizacija, emulgiranje, mljevenje, pasiranje) pri čemu se dobivaju proizvodi bolje kakvoće, postiže se ušteda energije, skraćuje trajanje tehnološkog procesa. Isto tako, neke od tih tehnika mogu se primijeniti i za konzerviranje hrane (npr. konzerviranje preprekama, visoki hidrostatski tlak).

Nove tehnike procesiranja, od kojih se neke već i komercijalno primjenjuju dok su druge još uvijek u fazi ispitivanja, su: visoki hidrostatski tlak, ultrazvuk, tribomehanička mikronizacija, oscilirajuće magnetsko polje, pulsirajuće električno polje, pulsirajuće svjetlo i neke druge manje značajne. Zajedničko svima je da se tretiranje materijala odvija na sobnoj temperaturi odnosno da dolazi do neznatnog povišenja temperature kao posljedice procesiranja, te da sam proces traje kratko vrijeme (od 1 do 10 minuta).

Navedene tehnike imaju svoje prednosti, ograničenja i moguću primjenu što je sažeto u tablici 2 na osnovi rezultata dosadašnjih istraživanja.

Tablica 2: Prednosti i ograničenja nekih novih tehnika procesiranja hrane

Table 2: Advantages and limitations of some novel food processing techniques

Proces Process	Prednosti Advantages	Ograničenja Limitations	Primjena Applications
Visoki hidrostatski tlak High hydrostatic pressure	<ul style="list-style-type: none"> ▪ uništava vegetativne oblike bakterija ▪ nema toksičnih učinaka ▪ kratko vrijeme procesiranja ▪ sačuvana su organoleptička svojstva ▪ sačuvani su nutrijenti ▪ moguća je promjena teksture ▪ u kombinaciji s hlađenjem snizuje se temperatura kristalizacije ▪ potrošači dobro prihvaćaju tako procesiranu hranu 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ moguće je preživljavanje nekih mikroorganizama (spore) ▪ postrojenje je skupo ▪ ograničene su mogućnosti pakiranja 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pasterizacija i sterilizacija voćnih i povrtnih sokova, umaka, jogurta, dresinga ▪ pasterizacija mesa i povrća ▪ zamrzavanje različitih proizvoda
Ultrazvuk Ultrasound	<ul style="list-style-type: none"> ▪ uništava vegetativne bakterije i spore ▪ inaktivira enzime ▪ skraćuje se vrijeme procesa ▪ povećava se brzina prijenosa topline 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kompleksan način djelovanja ▪ dubina prodiranja ovisi o sastavu hrane i količini zraka u hrani ▪ mogu nastati slobodni radikali ▪ može doći do neželjenih promjena u strukturi i teksturi namirnica ▪ mora se koristiti u kombinaciji s drugim postupcima (npr. grijanje) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ može se tretirati svaka namirnica koja se mora zagrijavati
Tribomehanička mikronizacija Tribomechanical micronization	<ul style="list-style-type: none"> ▪ moguće je dobiti čestice nano - veličina ▪ materijalima daje određeni električni 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ uređaj je kompleksan 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mogu se tretirati svi materijali u čvrstom stanju

Proces Process	Prednosti Advantages	Ograničenja Limitations	Primjena Applications
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ potencijal ▪ vrijeme procesa je vrlo kratko ▪ postiže se dobra homogenizacija različitih materijala ▪ poboljšava fizikalno-kemijska i funkcionalna svojstva materijala 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ zamjenjuje proces mljevenja, homogenizacije ▪ može se provesti cijepanje makromolekula (proteini)
Oscilirajuće magnetsko polje Oscillating magnetic field	<ul style="list-style-type: none"> ▪ uništava vegetativne bakterije ▪ organoleptička svojstva i nutrijenti su sačuvani ▪ potrebno je malo energije ▪ proces je jeftin 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ne djeluje na spore i enzime ▪ neki vegetativni oblici mogu preživjeti ▪ slaba moć prodiranja kod materijala velike električne vodljivosti 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ za sada nedovoljno poznato
Pulsirajuće električno polje Pulsing electric field	<ul style="list-style-type: none"> ▪ uništava vegetativne bakterije ▪ organoleptička svojstva i nutrijenti su sačuvani ▪ kratko vrijeme tretiranja 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ne djeluje na enzime i spore ▪ ne može se primijeniti na materijale s većom električnom vodljivošću ▪ može se koristiti samo za tekuće namirnice i suspenzije ▪ efekt se postiže jedino u kombinaciji s termičkim tretiranjem ▪ produkti elektrolize mogu utjecati na kvalitetu namirnice 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ samo za tekuće namirnice ▪ pasterizacija voćnih sokova, juha, jaja i mlijeka ▪ brzo odmrzavanje
Pulsirajuće svjetlo Pulsing light	<ul style="list-style-type: none"> ▪ proces je vrlo brz ▪ nema promjena u kvaliteti hrane ▪ mali utrošak energije ▪ pogodno za suhe namirnice 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ djeluje samo površinski ▪ nema dokaza da djeluje na spore ▪ neki mikroorganizmi su rezistentni 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pakirani materijali ▪ pekarski proizvodi ▪ svježe voće i povrće ▪ meso, morski organizmi, sir

Visoki hidrostatski tlak (HPP)

Već je više od stotinu godina poznato da se visoki hidrostatski tlak može primijeniti u procesiranju hrane te da hrana tretirana HPP -om ima znatno duži vijek trajanja. Veći interes za primjenu HPP -a u proizvodnji hrane javlja se tek negdje oko 1970. godine od kada se njegovo djelovanje na hranu intenzivnije istražuje. Prvi komercijalni proizvod tretiran HPP -om je voćni žele proizveden u Japanu 1990., a zatim voćni sok u Francuskoj i oštrige u SAD. Danas se na japanskom tržištu mogu naći mnogi proizvodi na bazi voća prethodno tretiranog HPP -om, šunka, zamrznuta riba, riblje kobasice, pudinzi i dr., međutim, interesantno je da danas još uvijek na tržištu nema mliječnih proizvoda obrađenih visokim tlakom (Huppertz i sur., 2002.).

Korištenje visokog tlaka u prehrambenoj tehnologiji nudi mnoge prednosti u odnosu na klasično termičko tretiranje ili zamrzavanje. Osnovne prednosti su: (a) postizanje antimikrobnog učinka bez promjene senzorskih i nutritivnih značajki, (b) značajno skraćivanje termičkog tretiranja koje slijedi nakon tretiranja HPP -om, (c) ravnomjerna i brza obrada namirnice pod djelovanjem tlaka, (d) kod zamrzavanja se zadržava postojeća struktura namirnice (Datta i Deeth, 1999.). Tretiranje visokim hidrostatskim tlakom (HPP) provodi se tako da se namirnicu (tekuća ili čvrsta) sa ili bez ambalaže smjesti u pogodan zatvoreni cilindar te podvrgava djelovanju visokog hidrostatskog tlaka koji se kreće od 100 do 800 MPa (1 000 do 8 000 bara) u trajanju od 1 do nekoliko minuta. Tlak djeluje trenutno i ujednačeno na cijelu masu proizvoda neovisno o volumenu, obliku ili sastavu. Rad kompresije tijekom obrade odražava se povišenjem temperature adijabatskim zagrijavanjem za oko 3 °C za svakih 100 MPa. Nakon dekompresije temperatura proizvoda se snizuje na početnu temperaturu. Na taj način namirnica je samo kratkotrajno izložena višim temperaturama koje ne moraju izazvati nikakvu značajniju promjenu njenih značajki. Npr. ako se HPP-u od 500 MPa podvrgava voćni sok temperature 22 °C u trajanju od 5 minuta, tada će doći do povišenja temperature za 15 °C, a sok će za vrijeme tretiranja postići temperaturu od oko 37 °C.

Utvrđeno je da HPP ne razara kovalentne veze, ali utječe na vodikove i ionske veze čime se objašnjava njegovo djelovanje na biološki aktivne proteinske sustave (mikroorganizme). Upravo stoga ovaj se postupak može uspješno primijeniti kao predtretman sterilizacije, odnosno pasterizacije proizvoda za koju je potrebno primijeniti znatno blaže uvjete. Tretiranje HPP -om može zamijeniti postupak blanširanja vrućom vodom, može olakšati usitnjavanje (mljevenje) hrane, a utvrđeno je da povoljno djeluje na strukturu

proizvoda pri zamrzavanju odnosno sušenju, te da povoljno djeluje na proces ekstrakcije (niže temperature, veće iskorištenje).

Dosadašnji su rezultati pokazali da se visoki hidrostatski tlak može uspješno primijeniti u svrhu smanjenja broja ili čak uništenja mikroorganizama, te da uspješno djeluje na konformacijske promjene pojedinih molekula čime se mijenjaju (poboljšavaju) funkcionalna svojstva tretiranog proizvoda, te da u proizvodima podvrgnutim zamrzavanju izaziva pozitivne efekte.

Istraživanja djelovanja HPP - a na preživljavanje mikroorganizama u mlijeku i mliječnim proizvodima pokazala su da se primjenom tlaka većeg od 400 MPa postiže značajno uništenje bakterija, a efekt ovisi o vrsti mikroorganizma. Bakterije koje su inače manje osjetljive na temperaturu, također su manje osjetljive na djelovanje HPP - a. Vrlo brzo se postiže uništenje kvasaca, plijesni, psihrotrofnih i koliformnih bakterija. Kvasci i plijesni u potpunosti su uništeni kod 400 MPa. Psihrotrofne i koliformne bakterije uništavaju se u potpunosti kod 600 MPa. HPP znatno efikasnije uništava gram (-) bakterije u odnosu na gram (+) bakterije (Seyderhelm i Knorr, 1992.; Knorr, 1995.). Mikrobiološko djelovanje HPP - a može se usporediti s toplinskim na sljedeći način: primjena tlaka višeg od 600 MPa izaziva isti efekt kao i pasterizacija provedena na 72 °C kroz 5 sekundi.

Tablica 3: Utjecaj djelovanja visokog hidrostatskog tlaka (HPP) na neke mikroorganizme

Table 3: Effect of high – pressure processing (HPP) treatments on selected micro-organisms

Mikroorganizam Microorganism	Tlak Pressure (Mpa)	Vrijeme tretiranja Time (min.)	Broj decimalnih redukcija Decimal reduction	Medij Media
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	300	5	5	Sok mandarine
<i>Aspergillus awamori</i>	300	5	5	Sok mandarine
<i>Listeria innocua</i>	360	5	1	Mljeveno juneće meso
<i>Listeria monocytogenes</i>	350	10	4	Fosfatni pufer soli
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	172	10	2,5	Fosfatni pufer soli
<i>Salmonella typhimurium</i>	345	10	1,8	Fosfatni pufer
Ukupni broj kolonija Total CFU	340	5	1,9	Svježi ananas

Utvrđeno je da se može postići potpuno uništenje vegetativnih bakterija mlijeka ukoliko se mlijeko podvrgne djelovanju tlaka od 122 MPa na temperaturi od 13 °C u trajanju od 83 minute (Johnston, 1995.). Mussa i Ramaswamy (1997.) utvrdili su da kinetika uništenja mikroorganizama u punomasnom mlijeku slijedi tijekom reakcije prvog reda. Iako je viši tlak djelotvorniji, tretiranje pri višim tlakovima kraće vrijeme daje iste rezultate kao i tretiranje pri nižim tlakovima dulje vrijeme. Kod tlakova viših od 350 MPa potpuno uništenje mikroorganizama postiže se nakon 10 minuta. Trajnost mlijeka obrađenog tlakom od 350 MPa u trajanju od 32 minute iznosila je 18 dana na temperaturi čuvanja od 5 °C. Obrada kozjeg mlijeka tlakom od 500 MPa u trajanju od 15 minuta bila je jednako djelotvorna kao i termička pasterizacija (Trujillo i sur., 1999.b; Buffa i sur., 2001.b). Garcia - Risco i sur. (1998.) nisu u svojim istraživanjima utvrdili nikakav negativan utjecaj visokog tlaka na mliječnu mast punomasnog mlijeka.

Brojna su istraživanja provedena kako bi utvrdili uvjete uništenja patogenih bakterija mlijeka. Kheadr i sur. (2002.) utvrdili su da je za uništenje *Listeria innocua* potreban tlak od 200 MPa u trajanju od 5 minuta da se postignu 3 - 4 logaritamske redukcije. Decimalno vrijeme redukcije (D - vrijednost) kod 340 MPa za *L. Monocytogenes* kod UHT tretiranog mlijeka bilo je 13,2 minute. U sirovom mlijeku D - vrijednost je niža (9,3 min.) vjerojatno zbog prisustva termički stabilnih antimikrobnih sastojaka koji djeluju sinergistički s tlakom (Styles i sur., 1991.). Intenzitet djelovanja visokog tlaka (100 - 500 MPa u trajanju od 15 minuta) na mikroorganizme dodane u mlijeko bilo je sljedeće: *Pseudomonas fluorescens* > *Escherichia coli* > *Listeria innocua* > *Lactobacillus helveticus* > *Staphylococcus aureus*.

Prisustvo masti nije utjecalo na efikasnost procesa tretiranja tlakom (Gervilla i sur., 2000.). Erkmen i Karatas (1997.) utvrdili su da se u punomasnom mlijeku brzina inaktivacije *Staphylococcus aureus* povećava povišenjem tlaka (50 do 350 MPa) i trajanjem tretiranja (4 - 12 min.).

McClements i sur. (2001.) utvrdili su da efikasnost djelovanja tlaka na mikroorganizme ovisi i o broju i vrsti prisutnih mikroorganizama, a da se vrlo dobri rezultati uništenja bakterija postižu kombiniranim djelovanjem topline i visokog tlaka. Slične rezultate dobili su i Patterson i Kilpatrick (1998.), Morgan i sur. (2000.), te Garcia - Graells (1999.). Vrlo efikasno djelovanje na mikroorganizme imaju i kratki pulsevi visokog tlaka (kompresija - dekompresija) (Vachon i sur., 2002.).

Enzimi koji su odgovorni za kakvoću hrane posjeduju različitu osjetljivost na visoki tlak. Neki od njih mogu se inaktivirati na sobnoj temperaturi i tlaku od nekoliko stotina MPa, dok drugi mogu ostati aktivni i nakon primjene tlaka od 1 000 MPa (Cano i sur., 1997.). Pokazalo se, da npr. peroksidaza u grašku ili pektin - metil esteraza u jagodama ostaje aktivna i nakon tretiranja tlakom od 1 200 MPa (Manvell, 1996.). Isto je tako utvrđeno da enzimska aktivnost nakon tretiranja tlakom ovisi i o pH vrijednosti, sastavu namirnice te o temperaturi.

Obrada visokim tlakom uzrokuje složene promjene u strukturi i reaktivnosti biopolimera kao što su škrob i proteini. Kod proteina, visoki tlak uzrokuje promjenu molekularne strukture i agregaciju s drugim proteinima u hrani ili međusobnu agregaciju, pri čemu se mijenja tekstura i viskoznost hrane. Neki proteini, kao što su oni u soji, mesu, ribi ili žumanjku jajeta - želiraju. Nastali gelovi zadržavaju prirodnu boju i aromu i imaju nježnu strukturu visoke elastičnosti (Hendrickx i sur., 1998.; Messens i sur., 1997.; Palou i sur., 1999.).

HPP je primijenjen i u obradi proteina sirutke pri čemu je primjenjivan tlak u rasponu od 300 do 600 MPa u trajanju od 5 i 10 minuta. Dobiveni rezultati pokazali su da djelovanje HPP - a izaziva niz promjena funkcionalnih svojstava tretiranih proteinskih preparata, ovisno o primijenjenom tlaku i vremenu. To znači, da se odabirom određenih proteinskih preparata i uvjeta tretiranja mogu pripremiti pripravci točno željenih funkcionalnih svojstava. Interesantno je djelovanje HPP - a na vodu. Naime, ako je voda izložena djelovanju visokog tlaka, dolazi do sniženja njene temperature ledišta i tališta, ovisno o visini tlaka. Isto tako dolazi do promjena u temperaturama faznih prijelaza proizvoda koji sadrže veće udjele vode ili masti. Ova činjenica još uvijek nije komercijalno iskorištena, iako su velike mogućnosti korištenja za proizvode podvrgnute zamrzavanju (snizuje se temperatura zamrzavanja - nema kristala leda).

Tribomehanička obrada (TMA)

Tribomehanička obrada materijala primjenjuje se više od 60 godina u obradi različitih čvrstih anorganskih materijala u dinamičkim uvjetima. Princip te tehnike primijenjen je u konstrukciji jednog novog uređaja nazvanog uređaj za tribomehaničku mikronizaciju (TMA) koji je u zadnjih 8 godina intenzivno korišten za ispitivanja mogućnosti obrade različitih anorganskih i organskih

materijala. Uređaj je patentiran, a sastoji se od zatvorenog kućišta unutar kojega u suprotnim smjerovima rotiraju diskovi sa specijalno konstruiranim radnim elementima. Diskovi rotiraju vrlo velikom brzinom (do 20 000 rpm), a materijal se usipava između diskova te kroz uređaj prolazi vrlo velikom brzinom (oko 5 kg/min). Zbog trenja i kolizije između čestica materijala dolazi do razaranja strukture materijala, usitnjavanja i cijepanja molekula.



Slika 1: Laboratorijski uređaj za tribomehaničku mikronizaciju (Lelas, 1998.)

Figure 1: Laboratory scale set for tribomechanical micronization (Lelas, 1998.)

Na taj način dobivaju se vrlo sitne čestice (nano - veličine), velikih aktivnih površina i velikog električnog potencijala. Kako čitav sustav radi u vakuumu, proces se odvija na sobnoj temperaturi.

Rezultati mnogih istraživanja primjene ove tehnike na različite materijale pokazali su da dolazi do značajnih promjena u fizikalno - kemijskim i funkcionalnim značajkama materijala. Istraživanja su vršena s praškastim koncentratima proteina sirutke različitih udjela proteina i laktoze, s izolatima proteina sirutke, beta-laktoglobulinom te s hidrolizatima proteina sirutke. Dobiveni rezultati pokazali su da se TMA obradom mijenjaju reološka svojstva, topljivost, svojstva pjenjenja i emulgiranja, probavljivost, temperature faznih promjena, mijenja se proteinski sastav (dolazi do djelomične hidrolize proteina sirutke). Zbog toga se ova tehnika može primijeniti u obradi različitih visokomolekularnih organskih spojeva kojima je

moguće mijenjati njihova funkcionalna svojstva te time utjecati na svojstva gotovih proizvoda (Lelas i Herceg, 2002.; Herceg i sur., 2002.; Herceg i sur., 2004.).

Osim toga, ova tehnika može se primijeniti i u sljedećem:

- a) mljevenje (sjemenki, voća, kave, kakao zrna) - dobivaju se znatno manje čestice ujednačene veličine, proces je kratkotrajan, nema povišenja temperature, postiže se veći stupanj ekstrakcije
- b) emulgiranje (majoneza, desertni preljevi) - kratkotrajno, niska temperatura, mali utrošak energije
- c) homogenizacija (voćni sokovi, umaci, kreme) - kratko vrijeme, veća stabilnost, manje enrgije
- d) hidroliza - mehaničko cijepanje molekula - postupak je brz, jeftin, niska temperatura

Ultrazvuk (UZ)

Ultrazvučni valovi su slični zvučnim valovima, ali imaju frekvencije više od 16 kHz, pa ih ljudsko uho ne može čuti. U prehrambenoj industriji primjenjuju se ultrazvučni valovi dvaju područja frekvencija. To su UZ valovi niskog intenziteta (manje od 1 W/cm²) frekvencija 5 do 10 MHz, te UZ valovi visokog intenziteta (10 do 1 000 W/cm²) i frekvencija viših od 2,5 MHz. Ultrazvučni valovi niskog intenziteta ne izazivaju fizička oštećenja materijala, i mogu se koristiti u analitičke svrhe za određivanje sastava, strukture ili viskoznosti hrane. Za razliku od njih, ultrazvučni valovi visokog intenziteta, zbog velike snage kojom djeluju na materijal, izazivaju fizička oštećenja tkiva na čemu se zasniva primjena ove tehnike u različitim procesima prerade i konzerviranja hrane.

Ultrazvučni valovi u kontaktu s namirnicom stvaraju silu koja, ovisno o smjeru djelovanja, izaziva kompresiju ili smicanje valova koji putuju kroz namirnicu. Zbog toga dolazi do promjena u tlaku i temperaturi namirnice, dolazi do kavitacije, stvaraju se slobodni radikali, oštećuju membrane stanica, izazivaju kemijske reakcije. Sve je to moguće iskoristiti pri procesiranju hrane izazivanjem određenih poželjnih efekata, kao što su ubrzanje poželjnih kemijskih reakcija, poticanje i ubrzavanje kristalizacije, olakšavanje ekstrakcije, homogenizacije i emulgiranja, ubrzavanje procesa sušenja, uništenje mikroorganizama, inaktivacija enzima.

Kompresija i smicanje, kao posljedica djelovanja UZ, izazivaju denaturaciju proteina zbog čega se smanjuje enzimska aktivnost, iako kratki «pljusak» UZ može u nekim slučajevima povećati enzimsku aktivnost, vjerojatno zbog razaranja velikih molekulskih struktura pri čemu su enzimi raspoloživiji za reakcije sa supstratom. Ukoliko se meso izloži djelovanju UZ, dolazi do omekšanja tkiva i oslobađanja proteina mišićnog tkiva zbog čega u mesnim proizvodima dolazi do povećanja kapaciteta vezanja vode, omekšavanja i povećanja kohezivnosti (McClements, 1995.).

Smične sile i brze promjene tlakova nastale djelovanjem UZ efikasno uništavaju mikrobnostanice, osobito kada se djelovanje UZ kombinira s drugim tretiranjima kao što su zagrijavanje ili promjena pH vrijednosti (Lillard, 1994.). Ispitivanja kombinacije djelovanja topline, UZ i tlaka pokazala su da je letalni efekt na mikroorganizme 6 do 30 puta veći nego kod toplinskog tretiranja koje se provodi na istoj temperaturi (Sala i sur., 1995.). Letalno djelovanje UZ na mikroorganizme posljedica je stanjivanja stanične membrane, djelovanja nastalih slobodnih radikala te razvijene topline.

Provedena ispitivanja pokazala su da se tretiranje UZ uspješno može primijeniti u pasterizaciji mlijeka. U mljekarskoj industriji značajna je primjena ultrazvuka i u procesu homogenizacije gdje ultrazvučni homogenizatori pokazuju visok učinak rada. Ultrazvuk se uspješno može primijeniti za sušenje mnogih prehrambenih proizvoda, pri čemu se u znatnoj mjeri skraćuje vrijeme sušenja. Najčešće se koristi za predtretiranje sirovina, a u novije vrijeme provode se ispitivanja istovremenog ultrazvučnog tretiranja i izdvajanja vode iz namirnice vakuumiranjem. Najraširenija je upotreba ultrazvuka vjerojatno u procesima ekstrakcije različitih organskih komponenti iz biljnih sirovina. Primjena metode sastoji se u tome što ultrazvučni valovi oštećuju stanične stijenke biljnih materijala čime se olakšava ulaz otapala u materijal te povećava efikasnost izmjene mase. Ultrazvuk se uspješno može koristiti i u procesu emulgiranja s obzirom da je vrijeme trajanja procesa vrlo kratko, a stabilnost emulzija znatno bolja od onih proizvedenih standardnim postupcima.

Pulsirajuće električno polje (PEP)

Procesiranje pulsirajućim električnim poljem znači primjenu električnog polja napona između 12 i 80 kV/cm u kratkim pulsevima (1 - 100 μ s) na prehrambeni proizvod koji je smješten u komori između dviju elektroda. Proces traje manje od 1 sekunde i provodi se na sobnoj temperaturi.

Pulsirajuće električno polje pokazalo se efikasnim za uništenje mikroorganizama. Mehanizam djelovanja nije potpuno razjašnjen, ali se pretpostavlja da dolazi do: (a) razaranja stanične stijenke mikroorganizma, (b) produkti elektrolize ili stvoreni slobodni radikali iz pojedinih sastojaka namirnice uništavaju mikroorganizme, (c) induciraju se reakcije oksidacije i redukcije unutar stanične strukture što oštećuje metaboličke procese, (d) oslobođena toplina nastala transmisijom inducirane električne energije uništava mikroorganizme.

Efikasnost djelovanja PEP - a na mikroorganizme ovisi o naponu električnog polja (bolje je kod većih napona), o broju pulseva i njihovom trajanju, temperaturi namirnice, pH - vrijednosti te električnoj vodljivosti (Vega - Mercado i sur., 1999.). Neki od rezultata djelovanja PEP prikazani su u tablici 4.

Tablica 4: Rezultati primjene pulsirajućeg električnog polja (PEP) na pojedine namirnice (Vega - Mercado i sur., 1997.)

Table 4: Results of pulsed electrical field (PEP) application to some foodstuffs (Vega - Mercado et al., 1997)

Proizvod Product	Procesni uvjeti Processing conditions				Inokulum Inoculum	Log redukcija Log reduction (D)
	Jakost polja Field intensity (kV/cm)	Temperatura Temperature (°C)	Broj pulseva Number of pulses	Trajanje pula Duration of puls (µs)		
Mlijeko Milk	28,6	42,8	23	100	<i>E. coli</i>	3
Mlijeko Milk	36,7	63	40	100	<i>S. dublin</i>	3
Mlijeko Milk	22,0	45 - 50	20	20	<i>L. brevis</i>	4,6
Jogurt Yoghurt	23 - 28	63	20	100	<i>S. cerevisiae</i> , <i>L. bulgaricus</i> , <i>S. thermophilus</i>	2
Jaja Eggs	25,8	37	100	4	<i>E. coli</i>	6
Sok naranče Orange juice	6,7	45 - 50	5	20	<i>Prirodna mikroflora</i>	Skoro 5

Ukoliko je temperatura na kojoj se primjenjuje PEP između 40 i 60 °C, može se postići efikasno uništenje mikroorganizama a da istovremno organoleptička svojstva, posebno okus, ostanu nepromijenjena. Nažalost, praktičnim uvjetima provedbe tretiranja pulsničkim električnim poljem ne dolazi do uništenja spora, ali se ipak sprječava njihovo razvijanje. Na višim temperaturama efikasnost uništenja mikroorganizama i inaktivacija enzima znatno se povećavaju, premda neki enzimi i dalje nastavljaju svoju aktivnost (npr. alkalna fosfataza, peroksidaza, pektinesteraza). Najviše je istraživanja primjene PEP provedeno na mlijeku jer se pokazalo da se kod mlijeka postižu najbolji rezultati (Sitzman, 1995.).

Zagrijavanje otporom (Ohmic heating)

Princip metode zasniva se na činjenici da hrana djeluje kao vodič elektricite. Izmjenična električna struja provodi se kroz proizvod putem elektroda pri čemu u proizvodu dolazi do razvoja topline, jer se proizvod ponaša kao otpornik (Ohmov zakon). Pritom dolazi do brzog i jednoličnog zagrijavanja proizvoda iznutra. Razvijena toplota proporcionalna je naponu struje. Ukoliko se želi postići viša temperatura proizvoda, nužno je primijeniti struju višeg napona ili povećati udaljenost elektroda i zemlje. Metoda se koristi najviše za pasterizaciju i sterilizaciju mnogih vrsta namirnica koje su i nakon tretiranja odlične kakvoće. Takvih postrojenja ima najviše u Japanu i Velikoj Britaniji (Tempest, 1996.).

Oscilirajuće magnetsko polje (OMP)

Proizvod se podvrgava djelovanju pulseva (1 - 100) oscilirajućeg magnetskog polja jačine 5 - 50 T, frekvencije 5 - 500 kHz. Trajanje tretiranja je 25 - 100 μ s. Ovakvim tretiranjem moguće je djelomično uništenje mikroorganizama. Metoda za sada nije dovoljno istražena.

Pulsirajuće svjetlo

Upotreba ultraljubičastog (UV) svjetla radi uništenja mikroorganizama detaljno je istražena, posebice u području pročišćavanja voda i zraka. Više o komercijalnoj primjeni UV svjetla pisao je Rahman (1999.). Nove tehnologije koriste pulsirajuće bijelo svjetlo (čiji je spektar sličan sunčevoj svjetlosti) za površinsku dezinfekciju i sterilizaciju hrane i ambalažnog materijala (Dunn i sur., 1995.). Antimikrobno djelovanje UV svjetla zasniva

se na apsorpciji energije visoko - konjugiranih dvostrukih veza u proteinima i aminokiselinama pri čemu dolazi do narušavanja staničnog metabolizma. Pulsirajuće svjetlo ima širok spektar «bijelog» svjetla u području od 200 nm do 1 000 nm, s maksimalnom emisijom u području od 400 - 500 nm. Ovo svjetlo predstavlja neionizirajući dio elektromagnetskog spektra te ne izaziva ionizaciju malih molekula. Pulsirajuće svjetlo ima sličan spektar kao i sunčeva svjetlost osim što sadrži neke valne dužine UV zraka (koje se inače kod sunčeve svjetlosti filtriraju kroz atmosferu zemlje). Svjetlo nastaje u kratkim pulsevima visokog intenziteta koji je oko 20 000 puta jači od sunčeve svjetlosti, a traje nekoliko stotina mikrosekundi. Količina energije pulsirajućeg svjetla, koja dolazi na površinu namirnice, izražava se u jedinicama J/cm².

Pulsirajuće svjetlo izaziva inaktivaciju mikroorganizama kombinacijom fototermičkog i fotokemijskog učinka. UV komponenta svjetla ima fotokemijski učinak, ali kako je najveća količina energije u vidljivom dijelu spektra to je ustvari učinak pretežito fototermički. Naime, velika količina energije dolazi velikom brzinom na površinu namirnice djelujući na tanki površinski sloj povisujući temperaturu koja uništava vegetativne stanice mikroorganizama. Tako su Dunn i sur. (1995.) objavili da se *Staphylococcus aureus* inokuliran na agar, u količini od 10⁷ CFU po gramu, može uništiti s dva pulsa od 0,75 J/cm². Druge patogene bakterije, kao što su *Esherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus pumilis* te plijesan *Aspergillus niger* kod koncentracija 10⁵ CFU po gramu, moguće je uništiti jednim pulsem od 0,5 - 1 J/cm², a decimalna redukcija od 7 do 9 D postiže se s nekoliko fleševa od 1 J/cm² po pulsu. Ako se pulsirajućim svjetlom tretiraju namirnice (kruh, kolači, pizza, peciva pakirani u celofan), njihova trajnost na sobnoj temperaturi može se produžiti na 11 dana.

Istraživanja su, također, pokazala da pulsirajuće svjetlo ne utječe na senzorske značajke i nutritivnu vrijednost hrane.

NOVEL FOOD PROCESSING TECHNIQUES

Summary

Recently, a lot of investigations have been focused on development of the novel mild food processing techniques with the aim to obtain the high quality food products. It is presumed also that they could substitute some of the traditional processes in the food industry. The investigations are primarily

directed to usage of high hydrostatic pressure, ultrasound, tribomechanical micronization, microwaves, pulsed electrical fields. The results of the scientific researches refer to the fact that application of some of these processes in particular food industry can result in lots of benefits. A significant energy savings, shortening of process duration, mild thermal conditions, food products with better sensory characteristics and with higher nutritional values can be achieved. As some of these techniques act also on the molecular level changing the conformation, structure and electrical potential of organic as well as inorganic materials, the improvement of some functional properties of these components may occur. Common characteristics of all of these techniques are treatment at ambient or insignificant higher temperatures and short time of processing (1 to 10 minutes). High hydrostatic pressure applied to various foodstuffs can destroy some microorganisms, successfully modify molecule conformation and consequently improve functional properties of foods. At the same time it acts positively on the food products intend for freezing. Tribomechanical treatment causes micronization of various solid materials that results in nanoparticles and changes in structure and electrical potential of molecules. Therefore, the significant improvement of some rheological and functional properties of materials occurred. Ultrasound treatment proved to be potentially very successful technique of food processing. It can be used as a pretreatment to drying (decreases drying time and improves functional properties of food), as extraction process of various components (bioactive food components) or as an emulsifying technique. Pulsed electrical field can be effective in microorganisms destruction, as well as a pretreatment to drying. Some of these techniques has already found its application in food industry of several high industry developed countries.

Key words: food processing, high hydrostatic pressure, tribomechanical activation ultrasound

Literatura

BUFFA, M., GUAMIS, B., ROYO, C., TRUJILLO, A. J. (2001b): Microbiological changes throughout ripening of goat cheese made from raw, pasteurized and high-pressure-treated milk. *Food Microbiol. J.*, 18(1), 45-51.

DATTA, N., DEETH, H. C. (1999): High pressure processing of milk and dairy products, *The Australian Journal of Dairy Technology*, 54, 41-48.

- DEUMIER, F., MENS, F., HERIARD, B., COLLIGNAN, A. (1997): Control of immersion processes. A novel system for monitoring mass transfer tested with Herring brining. *Journal of Food Engineering*, 32, 293.
- DUNN, J., OTT, T., CLARK, W. (1995): Pulsed light treatment of food and packaging, *Food Technology*, 49, 95-98.
- ERKMEN, O., KARATAS, S. (1997.): Effect of high hydrostatic pressure on *Staphylococcus aureus* in milk. *J. Food. Eng.*, 33, 257-262.
- FELLOWS, P. J. (2000): *Food Processing Technology*, CRC Press, Woodhead Publishing Limited, Cambridge
- GARCIA-GRAELIS, C., MASSCHALCK, B., MICHIELS, C. W. (1999): Inactivation of *Escherichia coli* in milk by high-hydrostatic-pressure treatment in combination with antimicrobial peptides. *J. Food Prot.*, 62(11), 1248-1254.
- GARCIA-RISCO, M. R., CORTES, E., CARRASCOSA, A. V., LOPEZ-FANDINO, R. (1998): Microbiological and chemical changes in high-pressure-treated milk during refrigerated storage. *J. Food. Prot.*, 61(6), 735-737.
- GERVILLA, R., FERRAGUT, V., GUAMIS, B. (2000): High pressure inactivation of microorganisms inoculated into ovine milk of different fat contents. *J. Dairy Sci.*, 83(4), 674-682.
- GORRIS, L. G. M., TAUSCHER, B. (1999): Quality and safety aspects of novel minimal processing technologies. In F.A.R. Oliveira (ed.) *Processing Foods*, CRC Press
- HENDRICKX, M., LUDIKHUYZE, L., VAN DEN BROECK, I., WEEMAES, C. (1998): Effects of high pressure on enzymes related to food quality, *Trends in Food Science and Technology*, 9, 197-203.
- HERCEG, Z., LELAS, V., BRNČIĆ, M., TRIPALO, B., JEŽEK, D. (2004): Tribomechanical micronization and activation of whey protein concentrate and zeolite, *Sadhana*, 29, 13-26.
- HERCEG, Z., LELAS, V., ŠKREBLIN, M. (2002): Influence of tribomechanical micronization on the rheological properties of whey proteins, *Food Technology and Biotechnology*, 40, 145-156.
- HUPPERTZ, T., KELLY, A. L., FOX, P. F. (2002): Effects of high pressure on constituents and properties of milk, *International Dairy Journal*, 12, 561-572.
- JOHNSTON, D. E. (1995.): High pressure effects on milk and meat. In Ledward, D. A., Johnston, D. E., Earnshaw, R. G., Hasting, A. P. M. *High Pressure Processing of Foods*. Nottingham. University Press, 99-121.
- KHEADR, E. E., VACHON, J. F., PAQUIN, P., FLISS, I. (2002): Effect of dynamic high pressure on microbiological, rheological and microstructural quality of Cheddar cheese. *Int. Dairy J.*, 198-201.
- KNORR, D. (1995): *New Methods of Food Preservation*, Blackie Academic&Professional, London

- LAZARIDES, H. N., FITO, P., CHIRALT, A., GEKAS, V., LENART, A. (1999): Advances in osmotic dehydration in F.A.R.Oliveira (ed.) *Processing Foods*, CRC Press, 175- 200.
- LEISTNER, L., GORRIS, L. G. M. (1995): Food preservation by hurdle technology. *Trends in Food Science and Technology* 6, 41
- LELAS, T. (1998): Vorrichtung zum Mikronisieren von Materialien und neuartigen Verwendungsmöglichkeiten derartig mikronisierter Materialien. Patent. PCT/1B 99/00757, Geneva.
- LELAS, V., HERCEG, Z. (2002): Influence of tribomechanical treatment on the phase transition temperatures of whey proteins model systems, *Proc. Int. Conf. On Innovation in Food Processing technology and Engineering*, 24 -34.
- LILLARD, H. S. (1994): Decontamination of poultry skin by sonication, *Food Technology* 48, 72-73.
- LOVRIĆ, T. (2003.): Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva, Hinus, Zagreb
- MESSENS, W., VAN CAMP, J., HUYGHBAERT, A. (1997): The use of high pressure to modify the functionality of food proteins, *Trends in Food Science and Technology*, 8, 107-112.
- McCLEMENTS, D. J. (1995): Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science and Technology* 6, 293-299.
- McCLEMENTS, J. M., PATTERSON, M. F., LINTON, M. (2001.): The effect of growth stage and growth temperature on high hydrostatic pressure inactivation of some psychotrophic bacteria in milk. *J. Food Prot.*, 64(4), 514-522.
- MORGAN, S. M., ROSS, R. P., BERESFORD, T., HILL, C. (2000): Combination of hydrostatic pressure and lacticin 3147 causes increased killing of *Staphylococcus* and *Listeria*. *J. Appl. Microbiol.*, 88(3), 414-420.
- MUSSA, D. M., RAMASWAMY, H. S. (1997): Ultra high pressure pasteurization of milk: kinetic of microbial destruction and changes in physico-chemical characteristics. *Food Sci. Technol.*, 30, 551-557.
- PALOU, E., LOPEZ-MALO, A., BARBOSA-CANOVAS, G. V., SWANSON, B. G. (1999): High pressure treatment in food preservation. In M.S. Rahman (ed.) *Handbook of Food Preservation*, Marcel Dekker, New York, 533-576.
- PATTERSON, M. F., KILPATRICK, D. J. (1998): The combined effect of high hydrostatic pressure and mild heat on inactivation of pathogens in milk and poultry. *J. Food Prot.*, 61(4), 432-436.
- RAHMAN, M. S. (1999): Light and sound in food preservation. In M.S. Rahman (ed) *Handbook of Food Preservation*, Marcel Dekker, New York, 669-686.
- SALA, F. J., BURGOS, J., CONDON, S., LOPEZ, P., RASO, J. (1995): Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. In G.W. Gould (ed.) *New Methods of Food Preservation*, Blackie Academic and Professional, London, 236-252

SEYDERHELM, L., KNORR, D. (1992): Reduction of *Bacillus stearothermophilus* spores by combined high pressure and temperature treatments. *ZFL International Journal of Food Technology, marketing, Packaging and Analysis*, 43, 17.

SITZMANN, W. (1995): High voltage pulsed techniques for food preservation. In G.W. Gould (ed.) *New Methods of Food Preservation*, Blackie Academic and Professional, London, 236-252

STYLES, M. F., HOOVER, D. G., FARKAS, D. F. (1991): Response of *Listeria monocytogenes* and *Vibrio parahaemolyticus* to high hydrostatic pressure. *J. Food Sci.*, 56, 1404-1407.

TEMPEST, P. (1996): Electroheat Technologies for Food Processing, *Bulletin of APV Processed Food Sector*, Crawley, England

TRUJILLO, A. J., ROYO, C., GUAMIS, B., FERRAGUT, V. (1996b): Influence of pressurization on goat milk and cheese composition and yield. *Milchwiss.*, 54(4), 197-199.

VACHON, J. F., KHEADR, E. E., GIASSON, J., PAQUIN, P., FLISS, I. (2002.): Inactivation of foodborne pathogens in milk using dynamic high pressure. *J. Food Prot.*, 65(2), 345-352

VEGA-MERCADO, H., MARTIN-BELLOSO, O., QIN, B., CHANG, F. J., GONGORA-NIETO, M. M., BARBOSA-CANOVAS, G. V., SWANSON, B. G (1997): Non-thermal preservation: pulsed electric fields. *Trends in Food Science & Technology*, 8 151-157.

VEGA-MERCADO, H., GONGORA-NIETO, M. M., BARBOSA-CANOVAS, G. V., SWANSON, B. G (1999): Non-thermal preservation of liquid foods using pulsed electric fields. In: M.S. Rahman (ed.) *Handbook of Food Preservation*. Marcel Dekker, New York, 487-520

Adresa autora - Author's address:

Prof. dr. sc. Vesna Lelas
Laboratorij za procesno-prehrambeno inženjerstvo
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Pierottijeva 6, Zagreb

Prispjelo - Received: 22.12.2006.

Prihvaćeno - Accepted: 08.01.2007.