

INKAPSULACIJA BIOAKTIVNIH JEDINJENJA SPOREDNIH PROIZVODA PRERADE VOĆA

Ana S. Salević, Ana M. Kalušević, Steva M. Lević i Viktor A. Nedović*

Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet,
Nemanjina 6, 11080 Beograd-Zemun, Srbija

Sažetak: Svest o očuvanju životne sredine dovela je do novih trendova u prehrambenoj industriji, koji se između ostalog ogledaju i u intenzivnom izučavanju potencijala iskorišćenja otpada nastalog pri proizvodnji hrane. Pored toga, težnja ka zdravom načinu života doprinela je razvoju funkcionalnih prehrambenih proizvoda. Tokom prerade voća mnogi delovi ploda, kao što su pokožica, semenke i koštice, zaostaju, što predstavlja problem sa ekološkog i ekonomskog aspekta. S druge strane, ovi ostaci predstavljaju potencijalne izvore bioaktivnih jedinjenja. U tom pogledu, nastali sporedni proizvodi prerade voća se intenzivno izučavaju kao sirovine za ekstrakciju fenolnih jedinjenja, prirodnih pigmenta, dijetetskih vlakana, proteinskih izolata i ulja, kao i za proizvodnju suplemenata sa potencijalnim zdravstvenim benefitima. Ipak, kritičan faktor uspešne implementacije ekstrakata bogatih bioaktivnim jedinjenjima u prehrambene proizvode jeste njihova podložnost degradaciji. Prema tome, kao glavni izazov nameće se postizanje stabilnosti bioaktivnih jedinjenja tokom prerade i skladištenja, odnosno očuvanje njihove bioaktivnosti i biodostupnosti. Odgovor na postavljeni izazov očuvanja bioaktivnosti sastojaka hrane može da ponudi inkapsulacija. Naime, inkapsulacija se bazira na formiranju fizičke barijere između bioaktivnih jedinjenja i različitih neželjenih faktora sredine, kao što su visoka temperatura, svetlost, itd. U ovom radu ukazano je na potencijal sporednih proizvoda prerade jabuka, grožđa, šljiva, malina i višanja kao izvora bioaktivnih jedinjenja. Takođe, prikazane su prednosti koje se postižu inkapsulacijom bioaktivnih jedinjenja ekstrahovanih iz sporednih proizvoda prerade voća u cilju razvoja novih, funkcionalnih proizvoda.

Ključne reči: sporedni proizvodi, prerada voća, inkapsulacija, bioaktivna jedinjenja, jabuka, grožđe, šljiva, malina, višnja.

* Autor za kontakt: e-mail: vnedovic@agrif.bg.ac.rs

Uvod

Koncept funkcionalne hrane predstavlja rezultat intenzivnih zahteva potrošača za razvojem prehrambenih proizvoda koji će doprineti zdravom životu. U okviru ovog koncepta hrana se više ne posmatra samo sa aspekta unosa neophodnih nutrijenata i zadovoljavanja gladi, već dobija novu, specifičnu ulogu koja se ogleda u smanjenju rizika pojave bolesti i poboljšanja fizičkog i mentalnog stanja potrošača (Menrad, 2003). U tom pogledu, voće se ističe kao bogat izvor raznovrsnih sastojaka koji ispoljavaju pozitivne efekte po zdravlje (Đilas et al., 2009).

Prema Organizaciji za hranu i poljoprivredu (engl. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, FAO) tokom različitih faza u lancu snabdevanja hranom gotovo jedna trećina hrane se odbacuje ili gubi, što iznosi oko 1.300 milijardi kg godišnje (Gustavsson et al., 2011). Veliki udeo čine sporedni proizvodi nastali tokom procesa prerade, što predstavlja problem sa ekološkog i ekonomskog aspekta. Ipak, intenzivna izučavanja ovih rezidua ukazuju na njihov potencijal kao pristupačnih sirovina za proizvodnju prirodnih prehrambenih aditiva, odnosno za razvoj proizvoda sa dodatom vrednošću (slika 1) (Galanakis, 2012). U tom pogledu, sporedni proizvodi prerade voća privlače veliku pažnju kao sirovine za proizvodnju dijetetskih suplemenata sa visokom nutritivnom i biološkom vrednošću (Schieber et al., 2001; Đilas et al., 2009; Mirabella et al., 2014).



Slika 1. Sporedni proizvodi prerade voća kao izvori bioaktivnih jedinjenja.
 Figure 1. Bioactive compounds derived from fruit processing by-products.

Kritičan faktor dodavanja ekstrakata bogatih bioaktivnim jedinjenjima u prehrambene proizvode predstavlja njihova nestabilnost (Đorđević et al., 2015). Naime, bioaktivna jedinjenja su podložna promenama i inaktivaciji usled dejstva različitih faktora tokom procesa prerade, skladištenja (temperatura, kiseonik, svetlost) ili u gastrointestinalnom traktu (pH vrednost, enzimi). Dakle, proizvođači prehrambenih proizvoda treba da obezbede zaštitni mehanizam koji će očuvati funkcionalnost ovih jedinjenja do konzumiranja i potom omogućiti kontrolisano otpuštanje na ciljnom mestu u organizmu (Nedović et al., 2011). Navedeni zahtevi mogu biti postignuti primenom inkapsulacije. Naime, proces inkapsulacije predstavlja pristup očuvanja širokog spektra bioaktivnih jedinjenja formiranjem fizičke barijere koja ih štiti od nepoželjnih faktora iz spoljašnje sredine, doprinoseći poboljšanju njihove stabilnosti i biodostupnosti *in vivo* i *in vitro* (Nedović et al., 2011; Đorđević et al., 2015).

U ovom radu ukazano je na prisustvo bioaktivnih jedinjenja u sporednim proizvodima prerade voća koje se u Srbiji proizvodi u značajnim količinama (tabela 1). Takođe, opisani su potencijali primene inkapsulacije u cilju zaštite bioaktivnih jedinjenja uz pregled do sada razvijenih funkcionalnih proizvoda obogaćenih inkapsulatima na bazi ovih komponenti.

Tabela 1. Količine proizvedenog voća u svetu i Srbiji 2016. godine (FAOSTAT, 2018).

Table 1. Fruit production quantity worldwide and in Serbia in 2016 (FAOSTAT, 2018).

Voće <i>Fruit</i>	Proizvedeno u svetu (milion kg) <i>World production (million kg)</i>	Proizvedeno u Srbiji (milion kg) <i>Production in Serbia (million kg)</i>
Jabuka	89.329,18	328,37
Grožđe	77.438,93	145,83
Šljiva	12.050,80	463,12
Malina	795,25	61,88
Višnja	1.378,22	80,60

Bioaktivna jedinjenja sporednih proizvoda prerade voća

Jabuka (*Malus domestica* L.)

Tokom procesa prerade jabuka zaostaju pokožica, semenke i jezgro, odnosno usitnjen mesnati deo. Oko 20% nastalih sporednih proizvoda se koristi kao stočna hrana, dok ostalih 80% predstavlja gubitak biomase i problem sa aspekta upravljanja otpadom. Napredak u tehnologiji otvorio je mogućnosti njihovog

iskorišćenja za proizvodnju organskih kiselina (limunska, mlečna), enzima (celulaza, hemicelulaza, lignolitički enzimi, amilaze, pektinaze), i prirodnih antioksidanasa (fenolna jedinjenja). Trop jabuke može se koristiti i kao izvor rastvorljivih i nerastvorljivih dijetetskih vlakana. Dominantni konstituenti vlakana su pektin, celuloza, hemiceluloza, lignini i gume (Dhillon et al., 2013).

Oko 75% mase ploda jabuke se iskoristi za dobijanje soka. Ostalih 25% mase ploda zaostaje u obliku tropa koji ima veliki potencijal kao sirovina za proizvodnju raznih nutrijenata kao što su ugljeni hidrati, proteini, vlakna, vitamini i minerali (Shalini i Gupta, 2010). Pored toga, trop jabuke sadrži i velike količine ukupnih fenolnih jedinjenja, ukupnih flavonoida i ukupnih flavan-3-ola koji direktno doprinose snažnoj antioksidativnoj aktivnosti *in vitro* (Ćetković et al., 2008). Analiza fenolnih jedinjenja ukazala je na prisustvo kafeinske i hlorogenske kiseline, (+)-katehina i (-)-katehina, epikatehina, epikatehin dimera (procijanidin B2), trimera, tetramera i oligomera, rutina, kvercetin glikozida, florizina, 3-hidroksiflorizina (Lu i Foo, 2000; Ćetković et al., 2008). Rezultati testova antioksidativne aktivnosti pokazali su da fenolna jedinjenja tropa jabuke imaju 2–3 puta veću sposobnost neutralisanja DPPH radikala, odnosno 10–30 puta veću sposobnost neutralisanjasuperoksid anjon radikala u poređenju sa vitaminima C i E. U skupini fenolnih jedinjenja procijanidini i kvercetin glikozidi su ispoljili najsnažniju antioksidativnu aktivnost (Lu i Foo, 2000).

Pokožica, jezgro, semenke i trop zaostali tokom prerade jabuka su poređeni u pogledu sadržaja ukupnih fenolnih jedinjenja. Pokožica sadrži najveću količinu i to preko sedam puta veću u odnosu na trop, do pet puta veću u odnosu na semenke, odnosno deset puta veću u odnosu na jezgro. Dominantni flavonoli pokožice su kvercetin-3-*O*-galaktozid praćen kvercetin-3-*O*-ramnozidom i kvercetin-3-*O*-glukozidom. U ispitivanim sporednim proizvodima jabuke uočeno je prisustvo florizina, koji u slučaju semenki iznosi 85%, odnosno u slučaju jezgra 60% ukupnih fenolnih jedinjenja. Ustanovljeno je da pokožica sadrži i najveću količinu epikatehina kao najzastupljenijeg flavan-3-ola. Dominantna fenolna kiselina je hlorogenska, dok je cijanidin-3-*O*-galaktozid najzastupljeniji predstavnik antocijana (Vasanth Rupasinghe i Kean, 2008).

Primeru radi, u Kanadi se procenjuje da se prilikom proizvodnje pite od jabuka godišnje odbacuje oko 2–3.000.000 kg pokožice, iz koje se može izolovati čak 500–1.000 kg fenolnih jedinjenja (Vasanth Rupasinghe i Kean, 2008). Istraživanja su pokazala da su ekstrakti pokožice jabuke efikasni inhibitori oksidacije polinezasićenih masnih kiselina (Huber i Vasanth Rupasinghe, 2009).

Dakle, sporedni proizvodi prerade jabuka se mogu koristiti kao izvor nutrijenata i prirodnih antioksidanata. Njihov dodatak prehrambenim proizvodima doprineo bi sprečavanju neželjenih reakcija oksidacije indukovanih dejstvom slobodnih radikala, što bi imalo pozitivan uticaj na kvalitet i održivost samog proizvoda, kao i na zdravlje potrošača.

Grožđe (*Vitis vinifera* L.)

Oko 80% svetske proizvodnje grožđa se prerađuje u vino. Procenjuje se da oko 20% mase grožđa zaostaje kao komina (Schieber et al., 2001). Sporedni proizvodi proizvodnje vina uglavnom se koriste u malim količinama i to kao kondicioneri zemljišta uprkos tome što se mogu koristiti kao supstrat za proizvodnju etanola, tartarata, malata, limunske kiseline, ulja semenki i dijetetskih vlakana (Kammerer et al., 2014).

Komina je prepoznata kao vredan izvor fenolnih jedinjenja koja se u maloju meri ekstrahuju iz pokožice i semenki tokom vinifikacije. Profil i sadržaj fenolnih jedinjenja varira u zavisnosti od sorte grožđa, uslova i načina uzgajanja vinove loze, zrelosti grožđa, kao i tehnoloških parametara primenjenih tokom vinifikacije (Kammerer et al., 2014). Kammerer et al. (2004) su u svojoj studiji izvršili identifikaciju i kvantifikaciju širokog spektra fenolnih jedinjenja u pokožici i semenkama grožđa izolovanim iz sporednih proizvoda vinarija. Ukazano je na prisustvo 13 antocijana (dominantan je malvidin-3-*O*-glukozid, praćen peonidin-3-*O*-glukozidom), 11 fenolnih kiselina (najdominantnija je kaftarna kiselina), 13 flavonola, kao i 2 stilbena. Pored toga, pokazano je da su antocijani, fenolne kiseline, flavanol i flavanol glikozidi koncentrisani uglavnom u pokožici, a flavanoli u semenkama. Antocijani su u velikim količinama prisutni u pokožici crnih sorti grožđa, kao što su recimo prokupac, najrasprostranjenija autohtona sorta Srbije, i *cabernet sauvignon*, jedna od najprisutnijih, najcenjenijih i najčešće prerađivanih crnih sorti (Kalušević et al., 2015; Kalušević et al., 2016a; Veljović, 2016). Osim nedostatka antocijana kod belog grožđa, druge značajne razlike između crnih i belih sorti nisu primećene (Kammerer et al., 2004).

Ispitivanjem sastava tropa i peteljki grožđa pokazano je da sadrže velike količine dijetetskih vlakana koja čine i do ¼ suve materije. Pored toga, trop predstavlja i izvor proteina. Visok sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja i odlična antioksidativna svojstva su zapažena i za trop i za peteljke, a naročito za peteljke (Llobera i Cañellas, 2007).

Pokožica grožđa predstavlja dobar izvor mikro i makroelemenata. U pojedinim studijama pokožica grožđa analizirana je u pogledu sadržaja 30 elemenata. Nivoi toksičnih i potencijalno toksičnih elemenata bili su veoma niski ili ispod praga detekcije ukazujući na bezbednost primene pokožice grožđa kao sastojka dijetetskih suplemenata (De Nisco et al., 2013; Salević et al., 2017).

Proizvodnja ulja iz semenki grožđa predstavlja efikasno upravljanje sporednim proizvodima i alternativu tradicionalno korišćenim jestivim biljnim uljima. Prisustvo nezasićenih masnih kiselina (posebno linoleinske) i prirodnih antioksidanasa (fenolnih jedinjenja i tokoferola) čini ulje semenki grožđa izuzetno vrednim proizvodom. Pokazano je da fenolna jedinjenja poboljšavaju oksidativnu stabilnost i antioksidativni kapacitet ulja što doprinosi očuvanju kvaliteta i

nutritivne vrednosti štiteći od pojave neprijatnog ukusa i degradacije lipida (Malićanin et al., 2014).

Jedni od potencijalnih korisnika sporednih proizvoda prerade grožđa mogli bi biti pekarska i konditorska industrija. Primera radi, Pasqualone et al. (2014) su u svojoj studiji razvili funkcionalne biskvite sa dodatkom ekstrakta komine grožđa. Analiza proizvoda pokazala je da obogaćeni biskviti ispoljavaju snažniju antioksidativnu aktivnost i sadrže veće količine ukupnih fenolnih jedinjenja, flavonoida, antocijana i proantocijanidina u odnosu na biskvite bez dodatka ekstrakta. Na senzornom nivou zapaženi su intenzivnija boja, voćni miris i kiseo ukus obogaćenog biskvita, ali bez uticaja na prihvatljivost proizvoda.

Navedena istraživanja ukazuju da se sporedni proizvodi prerade grožđa mogu koristiti kao jeftine sirovine za ekstrakciju fenolnih jedinjenja u cilju proizvodnje prirodnih prehrambenih pigmenta i/ili antioksidanasa ili pak za proizvodnju visokokvalitetnih ulja.

Šljiva (*Prunus domestica* L.)

Pokožica šljive predstavlja još jedan sporedni proizvod prerade voća bogat fenolnim jedinjenjima. Boja pokožice šljive varira od zelene, preko žute do različitih crvenih i plavih nijansi u zavisnosti od biosinteze i akumulacije fenolnih pigmenta antocijana. Pored ovih pigmenta, pokožica sadrži i širok spektar neobojenih fenolnih jedinjenja. Naime, ispitivanjem varijabilnosti fenolnog profila pokožice različitih varijeteta šljive izvršena je identifikacija i kvantifikacija 49 fenolnih jedinjenja. Antocijani su dominantna grupa fenolnih jedinjenja (odnos ukupni antocijani/ukupna fenolna jedinjenja je veći od 50% za većinu varijeteta). Najzastupljeniji antocijani su glikozidi cijanidina i peonidina. U značajnim količinama prisutni su flavonoli (najzastupljeniji je rutin) i hidroksicinamične kiseline (neohlorogenska kiselina je dominantna). Pored navedenih klasa, pokožica šljive sadrži i flavone i acilovane flavonoide (Treutter et al., 2012).

Pored pokožice, istraživanja su pokazala da i trop šljive predstavlja sirovinu od interesa za ekstrakciju fenolnih jedinjenja. Sójka et al. (2015) su ukazali na veoma visok sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja u ekstraktima tropa šljive (do 50 g/100 g) i veliki antioksidativni kapacitet. Pripremljeni ekstrakti sadrže i velike količine antocijana (cijanidin i peonidin rutinozidi su glavne komponente), hidroksicinamičnih kiselina, flavanola i flavonol glikozida. Rezultati navedene studije ukazali su i na baktericidne efekte prema bakteriji *Lysteria monocytogenes*. Milala et al. (2013) su u svojoj studiji ukazali na dodatnu vrednost tropa šljive kao izvora dijetetskih vlakana (38–49% suve mase). Trop šljive sadrži ugljene hidrate (16–22% suve mase) pri čemu glukoza čini do 50%, fruktoza 20–40% i sorbitol do 10% suve mase ukupnih ugljenih hidrata (Milala et al., 2013).

Tokom prerade šljive zaostaju koštice, čije dalje iskorišćenje takođe predstavlja predmet istraživanja. González-García et al. (2014) su iz koštica šljive izolovali proteinsku frakciju sa sadržajem proteina oko 40%, a daljom analizom identifikovano je 13 bioaktivnih peptida sa antioksidativnom i antihipertenzivnom aktivnošću. Istraživanja pokazuju da se koštica šljive može koristiti i za proizvodnju ulja. Karakterizacijom ulja koštica šljive identifikovane su njegove glavne komponente: alkan hentrikontan, estar etil heksadekanoat i linoleinska kiselina. Pored toga, pokazano je da ovo ulje ima snažnu antioksidativnu aktivnost, umerenu antibakterijsku aktivnost prema *Salmonella typhi* i umerenu antifungalnu aktivnost prema *Microsporium canis* (Mahmood et al., 2009).

Dakle, sporedni proizvodi prerade šljiva predstavljaju sirovine koje se mogu koristiti za proizvodnju preparata sa visokim sadržajem fenolnih jedinjenja i dijetetskih vlakana, proteinskih izolata, prirodnih pigmenata ili pak za proizvodnju ulja.

Malina (*Rubus idaeus* L.)

Tokom prerade malina u sok nastaje velika količina otpada koji se sastoji od pulpe i semenki. Nastali sporedni proizvodi predstavljaju obećavajući izvor jedinjenja sa pozitivnim nutritivnim i tehnološkim svojstvima. Istraživanja su pokazala da ekstrakti dobijeni iz sporednih proizvoda prerade malina u sok sadrže značajne količine ukupnih fenolnih jedinjenja, flavonoida i antocijana, kao i da ispoljavaju dobru sposobnost neutralizacije DPPH radikala (Četojević-Simin et al., 2015; Kalušević et al., 2016b). Dodatnoj vrednosti ovih ekstrakata kao potencijalnih sastojaka funkcionalne hrane doprinose antiproliferativna i proapoptotska aktivnost, kao i sposobnost inhibicije bakterijskog rasta u niskim koncentracijama (Četojević-Simin et al., 2015).

Trop maline je veoma bogat izvor dijetetskih vlakana, koja čine 77,5% suve mase. Iz tog razloga, ispitivan je potencijal osušenog tropa maline sa izdrobljenim i neizdrobljenim semenkama za zamenu brašna na nivou 25 i 50% pri proizvodnji keksa kao jedan od načina za povećanje sadržaja dijetetskih vlakana u ishrani. Navedena zamena imala je pozitivan uticaj na sadržaj vlakana u keksu, a najveća količina vlakana određena je u uzorku sa dodatkom 50% tropa sa neizdrobljenim semenkama. Sa povećanjem sadržaja tropa u formulaciji za ove proizvode zapaženi su voćni miris i voćno-kiseli ukus uz smanjenje slatkog ukusa. Generalno, keks sa neizdrobljenim semenkama je okarakterisan kao najprihvatljiviji ne samo u pogledu sadržaja ukupnih dijetetskih vlakana, već i na senzornom nivou (Górecka et al., 2010).

Još jedan primer iskorišćenja sporednih proizvoda voća u konditorskoj industriji ogleda se u razvoju inovativnog bezglutenskog keksa. Naime, Šarić et al. (2016) su u svojoj studiji ispitali potencijal zamene dela brašna u formulaciji

bezglutenskog keksa proizvodom dobijenim od osušenih i usitnjenih sporednih proizvoda maline i borovnice. Na ovaj način proizveden je keks sa dodatkom vrednošću koji se pored većeg sadržaja fenolnih jedinjenja, dijetetskih vlakana i minerala, ističe i smanjenim sadržajem masti i poboljšanim sastavom masnih kiselina u odnosu na komercijalno dostupan bezglutenski keks. Keks u kome je 28,2% brašna zamenjeno tropom borovnice, a 1,8% tropom maline ocenjen je kao najprihvatljiviji sa aspekta nutritivnog kvaliteta i senzornih svojstava.

Semenke malina mogu se koristiti za proizvodnju ulja sa potencijalnim nutraceutičkim efektima. U studiji publikovanoj od strane Oomah et al. (2000) postignut je prinos ulja 10,7%. Analiza fizičkih i hemijskih svojstava ukazala je na visok kvalitet ekstrahovanog ulja. Naime, dobijeno je ulje žute boje, niske viskoznosti, otporno prema oksidaciji i stabilno tokom skladištenja. Sadrži značajne količine karotenoida i bogato je α -, γ - i δ -tokoferolom. Lipidna frakcija sadrži 93,7% neutralnih lipida, 3,5% fosfolipida i 2,7% slobodnih masnih kiselina. Linolna, α -linoleinska i oleinska kiselina zajedno čine 96% ukupnih masnih kiselina ulja semenki maline.

Lišće maline ne predstavlja sporedni proizvod nastao tokom procesa proizvodnje soka, već zaostaje tokom berbe ili se u maloj meri sakuplja i primenjuje za pripremu čaja. Ipak, lišće maline se može koristiti za proizvodnju vodenih i alkoholnih ekstrakata bogatih ukupnim fenolnim jedinjenjima, flavonoidima i flavan-3-olima. Rezultati različitih testova određivanja antioksidativne aktivnosti ukazali su da ovi ekstrakti ispoljavaju snažnu sposobnost neutralisanja slobodnih radikala (Venskutonis et al., 2007; Salević et al., 2016).

Liofilizovani i koncentrovani oblici ekstrakata lišća maline dodavani su različitim vrstama čokolade kao aktivni sastojci. Povećanje sadržaja ukupnih fenolnih jedinjenja, flavan-3-ola i proantocijanidina, kao i veći antioksidativni kapacitet obogaćenih čokolada postignuti su dodavanjem 3% koncentrovanog ekstrakta. Međutim, senzorna analiza pokazala je da je dodavanje ekstrakta u liofilizovanom obliku poželjnije sa aspekta ukusa, vizuelnih i teksturnih svojstava (Belščak-Cvitanović et al., 2012).

Rezultati dosadašnjih istraživanja pokazuju da se sporedni proizvodi prerade malina mogu koristiti za proizvodnju prirodnih pigmenata, ulja i dijetetskih suplemenata bogatih prirodnim antioksidansima i dijetetskim vlaknima, odnosno za razvoj širokog spektra inovativnih funkcionalnih proizvoda.

Višnja (*Prunus cerasus* L.)

Sporedni proizvodi koji nastaju tokom prerade višanja čine 15–28% mase sirovine zavisno od tehnološkog procesa proizvodnje. Uprkos veoma dobrom potencijalu ovih sporednih proizvoda za dalju preradu, odnosno proizvodnju ekstrakata bogatih fenolnim jedinjenjima i dijetetskim vlaknima, oni se koriste

uglavnom kao ogrev ili stočna hrana. Ekstrakti tropa višnje su okarakterisani kao bogati izvori fenolnih jedinjenja uključujući antocijane, hidroksicinamične kiseline i flavanole (Kołodziejczyk et al., 2013). U pogledu individualnih fenolnih jedinjenja najzastupljeniji su cijanidin-3-glikozilrutinozid, neohlorogenska kiselina i katehin (Yılmaz et al., 2015). Ekstrakti tropa višnje ispoljavaju antioksidativnu i antimikrobnu aktivnost. Kao antimikrobni agensi ekstrakti tropa višnje mogu preventivno delovati na bolesti uzrokovane patogenim bakterijskim vrstama poreklom iz hrane: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium* i *Bacillus cereus* (Kołodziejczyk et al., 2013; Demirdöven et al., 2015).

Tokom prerade višanja odbacuju se koštice. Ispitivanjem hemijskog sastava ekstrakata koštica višnje ukazano je na prisustvo ulja (17%), proteina (29,3%) i dijetetskih vlakana (30,3%). Analizom hemijskog sastava pokazano je da ulje koštice višnje predstavlja bogat izvor bioaktivnih komponenti kao što su polinezasićene masne kiseline, tokoferoli, β -karoten i fenolna jedinjenja. Dominantne masne kiseline su oleinska, linoleinska, palmitinska, linolna i stearinska (Yılmaz i Gökmen, 2013).

Górnaś et al. (2016) su koristili sporedne proizvode prerade voća, tropove višnje, maline, jagode i crne ribizle, kao izvore raznovrsnih fenolnih jedinjenja za proizvodnju mafina sa dodatom vrednošću. Rezultati navedene studije su ukazali na neophodnost optimizacije procesa proizvodnje u cilju očuvanja stabilnosti fenolnih jedinjenja. Naime, termički proces pripreme mafina doveo je do degradacije fenolnih jedinjenja, pri čemu su najveću nestabilnost ispoljili antocijani, dok su flavonol glikozidi okarakterisani kao najstabilniji. U tom pogledu ustanovljeno je da je za očuvanje stabilnosti ovih jedinjenja najbolje primeniti više temperature tokom kraćeg vremena pečenja. Obogaćivanje mafina raznim vrstama tropa voća bogatih fenolnim jedinjenjima nije uticalo na njihovu senzornu prihvatljivost.

Na osnovu navedenog može se zaključiti da su sporedni proizvodi prerade višnje još jedna pristupačna sirovina koja se može koristiti kao pogodna alternativa sintetičkih aditiva čime se poboljšava funkcionalnost prehrambenih proizvoda.

Ostalo voće

Efikasno upravljanje sporednim proizvodima prerade raznovrsnog voća, pored navedenih vrsta, privlači veliku pažnju kroz različite studije ispitivanja njihovog hemijskog sastava i formulacije inovativnih prehrambenih proizvoda sa dodatom vrednošću (Kalušević et al., 2016c). Na primer, tokom prerade citrusa u sok zaostaju kora, pulpa i semenke, koji su bogati fenolnim jedinjenjima iz klase flavonoida (Lauro et al., 2015). Tokom proizvodnje soka od nara zaostaje kora bogata fenolnim jedinjenjima od kojih su najzastupljeniji punikalagin i elaginska

kiselina (Çam et al., 2014). Drugi sporedni proizvod prerade nara čine semenke koje se mogu koristiti za ekstrakciju ulja (Goula i Adamopoulos, 2012). Sporedni proizvodi nastali tokom prerade raznih vrsta voća, kao što su borovnica (Flores et al., 2014), crna ribizla (Bakowska-Barczak i Kolodziejczyk, 2011) i crni dud (Gültekin-Özgülven et al., 2016) okarakterisani su visokim sadržajem fenolnih jedinjenja, naročito antocijana.

Inkapsulacija bioaktivnih jedinjenja

Bioaktivna jedinjenja su podložna degradaciji ili inaktivaciji usled dejstva različitih faktora tokom procesa prerade i skladištenja (svetlost, temperatura, kiseonik), kao i u gastrointestinalnom traktu (pH vrednost, enzimi). U tom pogledu, za razvoj funkcionalnih prehrambenih proizvoda obogaćenih bioaktivnim jedinjenjima inkapsulacija predstavlja efikasan pristup postizanja stabilnosti i kontrolisanog otpuštanja ovih jedinjenja, odnosno očuvanja njihove funkcionalnosti (Champagne i Fustier, 2007; de Vos et al., 2010; Nedović et al., 2011).

Inkapsulacija se može definisati kao proces „hvatanja” aktivne komponente u nosač ili formiranja fizičke barijere između okolne sredine i aktivne komponente u cilju njene zaštite (Nedović et al., 2011; Nedović et al., 2013). Sistem aktivna komponenta/nosač naziva se inkapsulat. U zavisnosti od odabira nosača i tehnike inkapsulacije mogu se dobiti čestice različitog oblika i veličine od nekoliko nanometara do nekoliko milimetara (Fang i Bhandari, 2010; Lević et al., 2014a).

Primenom inkapsulacije mogu se postići brojne prednosti kao što su:

- stabilizacija aktivne komponente i očuvanje funkcionalnosti tokom prerade, skladištenja i konzumiranja;
- smanjenje stope degradacije aktivne komponente uzrokovane dejstvom različitih nepovoljnih spoljašnjih faktora ili reakcijom sa drugim komponentama proizvoda;
- postizanje kontrolisanog otpuštanja aktivne komponente pravovremeno na ciljnom mestu;
- maskiranje neželjenog ukusa (npr. astrigencija fenolnih jedinjenja);
- omogućavanje lakšeg rukovanja aktivnom komponentom (npr. prevođenje tečnih biljnih ekstrakata u čvrste čestice);
- postizanje adekvatne koncentracije i uniformne raspodele aktivne komponente, i
- stvaranje vizuelnih i teksturnih efekata (Fang i Bhandari, 2010; Zuidam i Shimoni, 2010; Nedović et al., 2011; Nedović et al., 2013).

Zbog navedenih prednosti inkapsulacija privlači sve više pažnje kao značajna faza pri formulaciji zdravijih i ukusnijih prehrambenih proizvoda bez obzira na to

što se njenim uvođenjem povećavaju troškovi i složenost procesa proizvodnje (Zuidam i Shimoni, 2010).

Nosači za inkapsulaciju

Izbor nosača za inkapsulaciju aktivnih komponenti i razvoj funkcionalnih prehrambenih proizvoda se svodi na materijale sa statusom GRAS (engl. *Generally Recognized As Safe*), koji se nalaze na listi dozvoljenih aditiva za primenu u hrani. Odabrani materijal mora biti biodegradabilan i sposoban da formira barijeru između unutrašnje faze i njenog okruženja obezbeđujući maksimalnu zaštitu inkapsulisane komponente i zadržavajući je u strukturi matriksa tokom procesa prerade ili skladištenja. Najvažniji kriterijumi prilikom izbora su svojstva aktivne komponente, tehnika inkapsulacije, cilj inkapsulacije, funkcionalnost inkapsulata u proizvodu, fizičke i hemijske karakteristike nosača, način otpuštanja inkapsulisane komponente, zahtevi u pogledu stabilnosti i cena (Nedović et al., 2011; Nedović et al., 2013).

Na raspolaganju je veliki broj različitih materijala:

- polisaharidi:
 - biljnog porekla: skrob i derivati skroba (npr. maltodekstrini, ciklodekstrini), celuloza i derivati celuloze (npr. etil celuloza), ekstrudati i ekstrakti (npr. arapska guma, pektini, galaktomanani),
 - morskog porekla: karagenan, alginat,
 - mikrobnog/animalnog porekla: ksantan, gelan, dekstran, hitozan;
- proteini:
 - biljnog porekla: gluten, proteinski izolati (graška, soje),
 - animalnog porekla: kazein, proteini surutke, želatin;
- lipidi:
 - biljnog porekla: masne kiseline i alkoholi, gliceridi, voskovi (npr. karnauba), fosfolipidi,
 - mikrobnog/animalnog porekla: masne kiseline i alkoholi, gliceridi, voskovi (npr. pčelinji), fosfolipidi;
- ostali: polivinilpirolidon, parafin, neorganski materijali (npr. tripolifosfat, oksidi silicijuma) (Wandrey et al., 2010).

U cilju dobijanja inkapsulata sa što boljim karakteristikama moguće je kombinovanje različitih prirodnih materijala (npr. sistemi na bazi alginatnih čestica i lipozoma, Balanč et al., 2016) ili oblaganje, npr. alginatnih i pektinskih hidrogel čestica hitozanom (Belščak-Cvitanović et al., 2017). Takođe, moguće je kombinovati prirodne i sintetičke materijale kao nosače aktivnih komponenti (npr. alginat i polivinil alkohol) (Lević et al., 2011).

Tehnike inkapsulacije

Razvijen je veliki broj tehnika koje se mogu primeniti za inkapsulaciju aktivnih komponenti. Najvažniji kriterijumi kod izbora odgovarajuće tehnike inkapsulacije su: cilj inkapsulacije, fizička, hemijska i biološka svojstva aktivne komponente, fizička i hemijska svojstva nosača, vrsta proizvoda u koji će se inkapsulat dodavati, uslovi skladištenja inkapsulata i proizvoda obogaćenih inkapsulatima, mehanizam otpuštanja i cena (Desai i Jin Park, 2005; Zuidam i Shimoni, 2010).

Sprej sušenje je jedna od najstarijih i najčešće primenjivanih tehnika inkapsulacije u prehrambenoj industriji. Ova tehnika je veoma pogodna za inkapsulaciju aktivnih komponenti zbog fleksibilnosti, kontinualnosti, visoke stope produktivnosti i ekonomičnosti pri čemu se dobijaju suvi i stabilni prahovi dobrog kvaliteta (Desai i Jin Park, 2005; Fang i Bhandari, 2010; Nedović et al., 2013). Može se koristiti za inkapsulaciju bilo hidrofилnih ili hidrofobnih aktivnih komponenti, dok je izbor nosača ograničen na hidrofилne materijale (Nedović et al., 2013). Sprej sušenje se zasniva na atomizaciji disperzije ili emulzije aktivne komponente i nosača u struji zagrejanog vazduha. Pri kontaktu sa vrelim vazduhom rastvarač brzo isparava i nastaju čestice koje se odvajaju na nižoj izlaznoj temperaturi (Augustin i Hemar, 2009). U zavisnosti od primenjenog nosača mogu se dobiti čestice/prahovi prečnika od nekoliko do 300 μm (Belščak-Cvitanović et al., 2015; Đorđević et al., 2015).

Sprej rashlađivanje/hlađenje su tehnike inkapsulacije aktivnih komponenti u lipidne matrikse (Nedović et al., 2011). Ove tehnike su jeftine, brze, kontinualne i reproduktivne, a jedina razlika između sprej hlađenja i rashlađivanja je u tački topljenja lipida. Naime, u slučaju sprej hlađenja kao nosači se koriste rastopi frakcionisanih i hidrogenizovanih biljnih ulja (tačka topljenja 32–42°C), dok se biljna ulja i drugi materijali (tačka topljenja 45–122°C) koriste za sprej rashlađivanje (Đorđević et al., 2015). Princip ovih tehnika je suprotan od principa opisanog kod sprej sušenja. Naime, rastop lipida i aktivne komponente se atomizira u struji ambijentalnog ili hladnog vazduha formirajući čestice (Nedović et al., 2013). U zavisnosti od tipa atomizera i procesnih parametara mogu se dobiti čestice veličine od 50 do čak 2.000 μm (Đorđević et al., 2015).

Oblaganje u fluidizovanom sloju je tehnika oblaganja čvrstih čestica nosačem, a može se primeniti i za formiranje sekundarnog sloja inkapsulata sa veoma osetljivim aktivnim komponentama prethodno dobijenih tehnikom sprej sušenja (Augustin i Hemar, 2009). Princip tehnike se zasniva na suspendovanju aktivne komponente u struji vazduha i atomizaciji nosača na fluidizovane čestice pri čemu nastaju kapsule (de Vos et al., 2010). Na raspolaganju je veći broj nosača u odnosu na tehniku sprej sušenja (Nedović et al., 2013).

Liofilizacija predstavlja alternativu tehnike sprej sušenja i primarno je namenjena za inkapsulaciju aktivnih komponenti koje su veoma osetljive na dejstvo povišenih temperatura (Nedović et al., 2013). Princip inkapsulacije liofilizacijom se zasniva na smrzavanju smeše aktivne komponente i nosača na veoma niskim temperaturama, a potom se snižava pritisak i dovodi toplota, pri čemu dolazi do sušenja i sublimacije rastvarača (Zuidam i Shimoni, 2010). Uprkos jednostavnosti, primena ove tehnike ograničena je na veoma vredne i osetljive komponente, jer u poređenju sa sprej sušenjem proces liofilizacije duže traje, veći je utrošak energije, a samim tim i cena procesa, dok dobijene čestice imaju porozniju strukturu, usled čega je zaštita inkapsulisane komponente manja (Augustin i Hemar, 2009; Nedović et al., 2013).

Ekstruzione tehnike privlače veliku pažnju za proizvodnju polimernih čestica (Lević et al., 2014a). Princip ovih tehnika zasniva se na ekstruziji smeše aktivne komponente i nosača kroz mlaznicu ili male otvore, pri čemu nastaju kapljice koje očvršćavaju i formiraju kapsule fizičkim (npr. zagrevanje) ili hemijskim procesom (npr. geliranje, tj. hemijsko umrežavanje) (Đorđević et al., 2015). U zavisnosti od mehanizma formiranja kapljica razlikuju se sledeće ekstruzione tehnike: tehnika ukapavanja, vibraciona tehnika, tehnika ukapavanja uz dejstvo sekundarnog toka vazduha, presecanje mlaza pomoću rotirajućeg diska i elektrostatička ekstruzija (Nedović, 1999). Najjednostavnija je tehnika ukapavanja pod dejstvom gravitacije (Lević et al., 2014a). Elektrostatička ekstruzija, zasnovana na primeni elektrostatičkog polja, je posebno pogodna tehnika za proizvodnju malih (ispod 50 μm), uniformnih čestica (Đorđević et al., 2015). Još jedna tehnika zasnovana na primeni elektrostatičkog polja je elektrospining, koja se izdvaja kao veoma efikasna tehnika za proizvodnju filmova koji se sastoje od velikog broja vlakana submikronskog reda veličine (Lević, 2014b; Echegoyen et al., 2017).

Inkapsulati bazirani na emulzijama predstavljaju atraktivne sisteme inkapsulacije lipofilnih i/ili hidrofilnih aktivnih komponenti, naročito u pogledu prevazilaženja problema vezanih za slabu rastvorljivost i stabilnost (Augustin i Hemar, 2009; Đorđević et al., 2015). Princip inkapsulacije se zasniva na dispergovanju tečnosti koja sadrži aktivnu komponentu u drugoj tečnosti sa kojom je nemešljiva (de Vos et al., 2010). U zavisnosti od prostorne organizacije uljane i vodene faze razlikuju se dva osnovna tipa emulzija: voda u ulju i ulje u vodi, a postoje i dvostruke emulzije, kao što je voda u ulju u vodi (Fang i Bhandari, 2010). Ulje u vodi emulzije se mogu sušiti raspršivanjem, a dobijene suve emulzije mogu imati primenu kao inkapsulati ili instant formule za razne prehrambene proizvode (Zuidam i Shimoni, 2010).

Lipozomi su sferne lipidne čestice, veličine od 30 nm do nekoliko mikrona, koje privlače veliku pažnju kao sistemi inkapsulacije hidrofilnih, lipofilnih i amfifilnih komponenti (Nedović et al., 2013; Đorđević et al., 2015). Razvijene su različite metode pripreme lipozoma, a mehanizam njihovog formiranja se bazira na

hidrofilno-hidrofobnim reakcijama između polarnih lipida, uglavnom fosfolipida, i molekula vode (Đorđević et al., 2015). Lipozomi se izdvajaju kao veoma efikasni sistemi kontrolisanog otpuštanja aktivne komponente na ciljnom mestu, ali ograničavajući faktor za primenu u prehrambenoj industriji je visoka cena ovakvih inkapsulacionih sistema (Fang i Bhandari, 2010; Nedović et al., 2011).

Molekulska inkluzija podrazumeva primenu materijala koji se mogu smatrati praznim kapsulama u čiju šupljinu se smešta aktivna komponenta (Zuidam i Shimoni, 2010; Đorđević et al., 2015). U tu svrhu primenjuju se ciklodekstrini, ciklični oligosaharidi izgrađeni od 6, 7 ili 8 glukopiranoznih jedinica povezanih $\alpha(1-4)$ vezama (Augustin i Hemar, 2009). Spoljašnjost ciklodekstrina je hidrofilna, dok je unutrašnji deo hidrofoban, pa se ciklodekstrini primenjuju za inkapsulaciju manje polarnih molekula u apolarnu unutrašnju šupljinu hidrofobnim interakcijama (Fang i Bhandari, 2010). Inkapsulacijom u ciklodekstrine postižu se odlična termička i hemijska stabilnost, kao i kontrolisano otpuštanje (Gouin, 2004). Međutim, cena i mali udeo vezane aktivne komponente su još uvek ograničavajući faktori njihove šire primene (Nedović et al., 2011).

Koacervacija je tehnika pogodna za zaštitu hidrofobnih aktivnih komponenti smeštanjem u hidrofilne omotače. Naime, princip formiranja koacervata se bazira na dispergovanju aktivne komponente u rastvoru jednog ili više polimera nakon čega se variraju parametri sistema, što dovodi do formiranja tečnog filma koji obavlja aktivnu komponentu (Lević et al., 2014a). U zavisnosti od broja polimera, koacervacija može biti prosta, kada je uključen samo jedan polimer, ili kompleksna, koja se češće primenjuje, a podrazumeva korišćenje dva ili više polimera (Zuidam i Shimoni, 2010). Primenom ove tehnike može se postići veoma velika efikasnost inkapsulacije (do 99%) i kontrolisano otpuštanje aktivne komponente. Međutim, ograničavajući faktori su kompleksnost procesa, cena i mali broj materijala nosača koji se mogu koristiti, a koji su u isto vreme dozvoljeni za primenu u hrani (Gouin, 2004).

Ćelije kvasca *Saccharomices cerevisiae* kao sporedni proizvodi fermentacije predstavljaju pogodne mikrokapsule za inkapsulaciju aktivnih komponenti. Inkapsulacija u ćelije kvasca predstavlja ekonomičan proces, jer je pored nosača i aktivne komponente potrebna samo voda. Pritom, ove ćelije imaju visoku nutritivnu vrednost, a mogu se proizvesti u velikim količinama. Glavni izazov predstavlja prolazak aktivne komponente kroz membranu kvaščeve ćelije bez narušavanja strukture ćelije (Đorđević et al., 2015).

Inkapsulacija korišćenjem superkritičnih fluida zapravo predstavlja poboljšanje postojećih tehnika inkapsulacije (Zuidam i Shimoni, 2010). Najčešće se koristi ugljen-dioksid zbog zastupljenosti i niske cene (Gouin, 2004). Princip se zasniva na dispergovanju aktivne komponente u nosaču rastvorenom u superkritičnom fluidu, najčešće ugljen-dioksidu nakon čega se superkritični fluid uklanja, a aktivna komponenta ostaje zarobljena u matriksu. Proces brze ekspanzije

superkritičnih rastvora podrazumeva atomizaciju kroz mlaznice pri čemu nastaju čestice nosača sa inkapsulisanom aktivnom komponentom (Augustin i Hemar, 2009). Korišćenje superkritičnog ugljen-dioksida u procesu sprej sušenja omogućava rad na nižim temperaturama, što je naročito pogodno za inkapsulaciju veoma osetljivih aktivnih komponenti (Zuidam i Shimoni, 2010).

Inkapsulacija bioaktivnih jedinjenja sporednih proizvoda prerade voća

Ispitivanje potencijala različitih nosača i tehnika inkapsulacije kao sistema zaštite i očuvanja bioaktivnih jedinjenja izolovanih iz sporednih proizvoda prerade voća u cilju razvoja dijetetskih suplemenata i funkcionalnih prehrambenih proizvoda predstavlja veoma aktuelnu oblast istraživanja.

Trop grožđa, ostatak od proizvodnje vina, može se koristiti za pripremu ekstrakata sa visokim sadržajem fenolnih jedinjenja koji se u cilju zaštite može inkapsulisati u kalcijum-alginatne čestice primenom vibracione tehnike ekstruzije. Analiza stabilnosti inkapsulisanih i neinkapsulisanih fenolnih jedinjenja pokazala je da je inkapsulacija doprinela značajnom poboljšanju stabilnosti tokom dugoročnog skladištenja pod različitim temperaturnim uslovima i dejstvom svetlosti (Aizpurua-Olaizola et al., 2016).

Trop grožđa, zaostao pri proizvodnji crvenog vina privlači veliku pažnju za proizvodnju prahova pigmenta sa funkcionalnim svojstvima. Primenom tehnike sprej sušenja i maltodekstrina kao nosača mogu se dobiti prahovi bogati antocijanima, pri čemu se postižu dobra stabilnost i očuvanje boje tokom skladištenja. Analiza pripremljenih prahova ukazala je na sledeće karakteristike: nizak sadržaj vlage, mala higroskopnost, dobra rastvorljivost, sposobnost inhibicije rasta *Staphylococcus aureus* i *Listeria monocytogenes* i visok inhibicioni kapacitet prema enzimu arginaza (de Souza et al., 2014; de Souza et al., 2015).

Pored tehnika ekstruzije i sprej sušenja, različiti sistemi na bazi nanoemulzija imaju potencijal za inkapsulaciju ekstrakta tropa grožđa. Suncokretovo i palmino ulje mogu se koristiti kao lipidne faze za pripremu nanoemulzija. U tom pogledu, nanoemulzija pripremljena korišćenjem suncokretovog ulja predstavlja efikasan sistem zaštite fenolnih jedinjenja od fizičke i hemijske degradacije tokom skladištenja. Pored toga, pokazano je da inkapsulisana fenolna jedinjenja ispoljavaju snažniju ćelijsku antioksidativnu aktivnost, kao rezultat apsorpcije ovih jedinjenja u ćelijama, u odnosu na neinkapsulisane oblike (Sessa et al., 2013). Još jedan veoma efikasan inkapsulacioni sistem na bazi emulzija predstavlja ulje/voda nanoemulzija kod koje lipidnu fazu čine suncokretovo ulje i sojin lecitin. Ekstrakt tropa grožđa u slobodnom obliku i pripremljeni inkapsulati dodati su u pastu lešnika, čime je značajno inhibirana lipidna oksidacija tokom skladištenja. Poređenjem efikasnosti slobodnih i inkapsulisanih oblika ekstrakta pokazano je da

inkapsulacija doprinosi očuvanju antioksidativne aktivnosti i efikasnijoj inhibiciji lipidne oksidacije (Spigno et al., 2013).

Pokožica crnih sorti grožđa predstavlja veoma bogat izvor antocijana. Procedura inkapsulacije kod ovakvih sirovina se obično sastoji od pripreme ekstrakta bogatog antocijanima koji se potom inkapsuliše. Tehnika sprej sušenja se posebno pokazala pogodnom za inkapsulaciju ovakvih ekstrakata. Maltodekstrin, maltodekstrin/ γ -ciklodesktrin i maltodekstrin/arapska guma su pogodni nosači za ovakve procese inkapsulacije. Dalje, pripremljeni mikroinkapsulati se mogu dodati u osvežavajuća bezalkoholna pića, a stopa degradacije antocijana tokom skladištenja u najvećoj meri zavisi od izbora nosača (Burin et al., 2011).

Bogat izvor antocijana je i ekstrakt pokožice autohtone sorte Srbije prokupac, koji se dalje može inkapsulisati i dodatno zaštititi tehnikom sprej sušenja korišćenjem maltodekstrina, arapske gume i obranog mleka u prahu kao nosača. Analiza pripremljenih prahova ukazala je na visok prinos, nisku aktivnost vode i veoma visoku rastvorljivost. Inkapsulacija je doprinela termičkoj i hemijskoj stabilnosti mikroinkapsulata uz postizanje sporijih profila otpuštanja antocijana (Kalušević et al., 2017). Tehnika liofilizacije se takođe može primeniti za inkapsulaciju ekstrakata pokožice grožđa u navedene nosače. Mikroinkapsulati pripremljeni tehnikama sprej sušenja i liofilizacije dodati su u ovsene kaše i jogurte, a rezultati senzorne analize ukazali su na prihvatljivost ovakvih proizvoda (Kalušević, 2017).

Osim navedenih nosača za inkapsulaciju ekstrakta pokožice crnog grožđa tehnikama sprej sušenja i liofilizacije mogu se primeniti i drugi nosači, kao što su guar guma i polidekstroza. Primenom tehnika sprej sušenja i liofilizacije dobijaju se mikroinkapsulati različitih fizičkih karakteristika. Naime, mikroinkapsulati pripremljeni tehnikom sprej sušenja imaju manju aktivnost vode, veću rastvorljivost, ali i veću higroskopnost u odnosu na mikroinkapsulate pripremljene tehnikom liofilizacije. Pored toga, tehnikom sprej sušenja dobijaju su čestice pravilnijeg oblika i manjeg prečnika (Kuck i Noreña, 2016).

Pored pokožice, i semenke grožđa se mogu koristiti za pripremu ekstrakta bogatog fenolnim jedinjenjima. Pripremljeni ekstrakt može se primarno inkapsulisati u lipozome i potom obložiti hitozanom u cilju postizanja što stabilnijih sistema. Oblaganje lipozoma hitozanom doprinelo je formiranju čestica većeg prečnika uz veću efikasnost inkapsulacije. Pored toga, postignuto je sporije otpuštanje fenolnih jedinjenja (Gibis et al., 2016).

Tehnika sprej sušenja može se primeniti i za inkapsulaciju ekstrakta semenki grožđa u meskit guma/zein i maltodekstrin/zein kombinacije nosača. Pripremljeni inkapsulati dodati su u keks, što je doprinelo većem antioksidativnom kapacitetu i smanjenju stepena termičke degradacije fenolnih jedinjenja tokom pečenja. Senzorna analiza je ukazala na prihvatljivost keksa sa dodatkom mikroinkapsulata (Davidov-Pardo et al., 2012).

Kao što je već ranije rečeno, pored fenolnih jedinjenja, semenke grožđa se mogu koristiti i za ekstrakciju ulja koje se potom može inkapsulisati primenom tehnike elektrostatičke ekstruzije u kalcijum-alginatne čestice. Pripremljeni inkapsulati su dodati u fermentisane kobasice u cilju smanjenja udela životinjske masti i povećanja sadržaja fenolnih jedinjenja. Analiza proizvoda pokazala je da dodatak inkapsulata nije uticao na hemijski sastav, a rezultati senzorne analize ukazali su na prihvatljivost proizvoda (Stajić et al., 2014).

Jabuka je još jedan važan izvor fenolnih jedinjenja. Tako, na primer, ekstrakt pokožice jabuke inkapsulisan je sa probiotskom bakterijom *Lactobacillus acidophilus* tehnikom koekstruzije u sferne alginatne čestice. Primena inkapsulacije uz dodatak ekstrakta pokožice jabuke kao bioaktivnog sastojka doprinela je očuvanju vijabilnosti probiotske bakterije u mleku i zakišeljenoj vodi tokom skladištenja (Shinde et al., 2014).

Ekstruzija u kombinaciji sa alginatom kao nosačem se može primeniti i za inkapsulaciju ekstrakta lišća maline bogatog fenolnim jedinjenjima. Na taj način dobijene su sfere, uniformne čestice. Dodatno oblaganje kalcijum-alginatnih čestica hitozanom doprinelo je sporijim profilima otpuštanja (Belščak-Cvitanović et al., 2011).

Trop borovnice je još jedan interesantan izvor antocijana. Tehnika sprej sušenja se može primeniti za inkapsulaciju ekstrakta tropa borovnice u izolat proteina surutke. Analiza fizičko-hemijskih svojstava inkapsulata tokom skladištenja pod različitim uslovima ukazala je na potencijal primene pripremljenih prahova kao sastojka funkcionalnih prehrambenih proizvoda (Flores et al., 2014).

Pored toga, ekstrakt tropa borovnice se može inkapsulisati primenom tehnike sprej sušenja i u matriks pripremljen od proteina surutke i pektina. Pokazano je da se na taj način može postići stabilnost antocijana i omogućiti njihovo otpuštanje i delovanje na ćelije kancera (Kropat et al., 2013).

Ostaci od prerade višnje su takođe bogati izvori fenolnih jedinjenja. Tako, na primer, ekstrakt tropa višnje se može inkapsulisati tehnikom liofilizacije u matriks koga čine maltodekstrin i arapska guma. Pokazano je da izbor nosača i udeo aktivna komponenta/nosač imaju veoma značajan uticaj na efikasnost inkapsulacije, morfologiju i veličinu mikrokapsula (Cilek et al., 2012).

Pored polisaharida, i proteini se mogu koristiti za inkapsulaciju ekstrakta tropa višnje metodom liofilizacije. Ovde se kao nosači mogu primeniti proteini surutke i soje. Dobijeni inkapsulati se mogu dodati u različite vrste keksa kao zamena dela brašna, što se pokazalo pozitivnim na funkcionalnu vrednost proizvoda. Naime, dodatak inkapsulata doprineo je većem sadržaju fenolnih jedinjenja i snažnijoj antioksidativnoj aktivnosti obogaćenog keksa bez negativnog uticaja na senzorne karakteristike. Pored toga, inkapsulacijom je postignuta stabilnost bioaktivnih jedinjenja tokom proizvodnje i skladištenja (Tumbas Šaponjac et al., 2016).

Još jedan interesantni izvor antioksidanasa je trop crne ribizle, koji je veoma pogodan za ekstrakciju fenolnih jedinjenja. Dalje, dobijeni ekstrakt se može inkapsulisati u maltodekstrin i inulin tehnikom sprej sušenja, što doprinosi boljoj zaštiti fenolnih jedinjenja i očuvanju antioksidativne aktivnosti tokom dugoročnog skladištenja (Bakowska-Barczak i Kolodziejczyk, 2011).

Ostaci od prerade citrusa su još jedan pogodan izvor bioaktivnih jedinjenja. Dobar primer je ekstrakt sporednih proizvoda prerade citrusa u sok, koji se dalje može inkapsulisati primenom tehnike sprej sušenja u celuloza acetat ftalat, polimer čija rastvorljivost zavisi od pH vrednosti. Na ovaj način se dobijaju inkapsulati otporni na uslove u gastrointestinalnom traktu. Inkapsulacija je u ovom slučaju doprinela boljoj stabilnosti i očuvanju sadržaja fenolnih jedinjenja, antioksidativnog kapaciteta i inhibitornog efekta na metaloproteinaze (Lauro et al., 2015).

Pored citrusa, i drugo mediteransko voće, poput nara, pogodno je za dobijanje novih, biološki aktivnih proizvoda. Semenke nara se mogu koristiti za ekstrakciju ulja, koje se potom dalje može inkapsulisati tehnikom sprej sušenja u obrano mleko u prahu. Optimizacijom procesa inkapsulacije postignuta je veoma visoka efikasnost inkapsulacije (95,6%) (Goula i Adamopoulos, 2012).

Pored semenki, i kora nara se može dodatno iskoristiti, posebno za dobijanje ekstrakata bogatih fenolnim jedinjenjima. Ovi ekstrakti se dalje mogu inkapsulisati primenom tehnike sprej sušenja. U tom pogledu ispitani su različiti procesni parametri i nosači, odnosno njihove kombinacije (maltodekstrin, obrano mleko u prahu, maltodekstrin/obrano mleko u prahu, maltodekstrin/izolat proteina surutke i maltodekstrin/arapska guma). Dodatak tako dobijenih inkapsulata u pastu lešnika se pokazao kao veoma efikasan za inhibiciju lipidne oksidacije i povećanje roka trajanja paste (Kaderides et al., 2015). Çam et al. (2014) su ispitivali inkapsulaciju ekstrakata kore nara u maltodekstrin. Prema istim autorima, inkapsulacija je doprinela očuvanju sadržaja fenolnih jedinjenja. Pripremljeni inkapsulati su dodati u sladoled, što je doprinelo poboljšanju funkcionalnih svojstava sladoleda, pre svega njegove antioksidativne aktivnosti, a rezultati senzorne analize ukazali su na prihvatljivost proizvoda.

Dud se takođe može koristiti kao dobra sirovina za dobijanje ekstrakata bogatih antioksidansima. Jedan od načina inkapsulacije ekstrakta dudu obuhvata njegovu disperziju u lipozomima, koji se potom oblažu hitozanom i mešaju sa rastvorom maltodekstrina pre procesa sprej sušenja. Pripremljeni prahovi lipozoma sa inkapsulisanim ekstraktom dudu korišćeni su za proizvodnju crne čokolade, pri čemu su ispitane različite temperature končiranja i pH uslovi. Pokazano je da je inkapsulacija u lipozome obložene hitozanom doprinela zaštiti antocijana pri dejstvu više temperature i alkalne sredine, kao i očuvanju njihove *in vitro* biodostupnosti (Gültekin-Özgüven et al., 2016).

Zahvalnica

Rad je nastao kao rezultat istraživanja u okviru projekta „Razvoj novih inkapsulacionih i enzimskih tehnologija za proizvodnju biokatalizatora i biološki aktivnih komponenata hrane u cilju povećanja njene konkurentnosti, kvaliteta i bezbednosti” (evidencioni broj: III46010) finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- Aizpurua-Olaizola, O., Navarro, P., Vallejo, A., Olivares, M., Etxebarria, N., & Usobiaga, A. (2016). Microencapsulation and storage stability of polyphenols from *Vitis vinifera* grape wastes. *Food Chemistry*, *190*, 614-621.
- Augustin, M. A., & Hemar, Y. (2009). Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients. *Chemical Society Reviews*, *38*, 902-912.
- Bakowska-Barczak, A.M., & Kolodziejczyk, P.P. (2011). Black currant polyphenols: Their storage stability and microencapsulation. *Industrial Crops and Products*, *34*, 1301-1309.
- Balanč, B., Trifković, K., Đorđević, V., Marković, S., Pjanović, R., Nedović, V., & Bugarski, B. (2016). Novel resveratrol delivery systems based on alginate-sucrose and alginate-chitosan microbeads containing liposomes. *Food Hydrocolloids*, *61*, 832-842.
- Belščak-Cvitanović, A., Stojanović, R., Manojlović, V., Komes, D., Cindrić, I.J., Nedović, V., & Bugarski, B. (2011). Encapsulation of polyphenolic antioxidants from medicinal plant extracts in alginate-chitosan system enhanced with ascorbic acid by electrostatic extrusion. *Food Research International*, *44*, 1094-1101.
- Belščak-Cvitanović, A., Komes, D., Benković, M., Karlović, S., Hečimović, I., Ježek, D., & Bauman, I. (2012). Innovative formulations of chocolates enriched with plant polyphenols from *Rubus idaeus* L. leaves and characterization of their physical, bioactive and sensory properties. *Food Research International*, *48*, 820-830.
- Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Kalušević, A., Špoljarić, I., Đorđević, V., Komes, D., Mršić, G., & Nedović, V. (2015). Efficiency assessment of natural biopolymers as encapsulants of green tea (*Camellia sinensis* L.) bioactive compounds by spray drying. *Food and Bioprocess Technology*, *8*, 2444-2460.
- Belščak-Cvitanović, A., Nedović, V., Salević, A., Despotović, S., Komes, D., Nikšić, M., Bugarski, B., & Leskošek-Čukalović, I. (2017). Modification of functional quality of beer by using microencapsulated green tea (*Camellia sinensis* L.) and Ganoderma mushroom (*Ganoderma lucidum* L.) bioactive compounds. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, *23*, 457-471.
- Burin, V.M., Rossa, P.N., Ferreira-Lima, N.E., Hillmann, M.C., & Boirdignon-Luiz, M.T. (2011). Anthocyanins: optimisation of extraction from *Cabernet Sauvignon* grapes, microcapsulation and stability in soft drink. *International Journal of Food Science and Technology*, *46*, 186-193.
- Çam, M., İçyer, N.C., & Erdoğan, F. (2014). Pomegranate peel phenolics: microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. *LWT-Food Science and Technology*, *55*, 117-123.
- Ćetković, G., Čanadanović-Brunet, J., Đilas, S., Savatović, S., Mandić, A., & Tumbas, V. (2008). Assessment of polyphenolic content and *in vitro* antiradical characteristics of apple pomace. *Food Chemistry*, *109*, 340-347.
- Četojević-Simin, D.D., Velićanski, A.S., Cvetković, D.D., Markov, S.L., Ćetković, G.S., Tumbas Šaponjac, V., Vulić, J.J., Čanadanović-Brunet, J.M., & Đilas, S.M. (2015). Bioactivity of

- Meeker and Willamette raspberry (*Rubus idaeus* L.) pomace extracts. *Food Chemistry*, 166, 407-413.
- Champagne, C.P., & Fustier, P. (2007). Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Current Opinion in Biotechnology*, 18, 184-190.
- Cilek, B., Luca, A., Hasirci, V., Sahin, S., & Sumnu, G. (2012). Microencapsulation of phenolic compounds extracted from sour cherry pomace: effect of formulation, ultrasonication time and core to coating ratio. *European Food Research and Technology*, 235, 587-596.
- Davidov-Pardo, G., Moreno, M., Arozarena, I., Marín-Arroyo, M. R., Bleibaum, R. N., & Bruhn, C. M. (2012). Sensory and consumer perception of the addition of grape seed extracts in cookies. *Journal of Food Science*, 77, S430-S438.
- De Nisco, M., Manfra, M., Bolognese, A., Sofo, A., Scopa, A., Tenore, G.C., Pagano, F., Milite, C., & Russo, M.T. (2013). Nutraceutical properties and polyphenolic profile of berry skin and wine of *Vitis vinifera* L. (cv. Aglianico). *Food Chemistry*, 140, 623-629.
- de Souza, V.B., Fujita, A., Thomazini, M., da Silva, E.R., Lucon, J.F., Genovese, M.I., & Favaro-Trindade, C. S. (2014). Functional properties and stability of spray-dried pigments from Bordo grape (*Vitis labrusca*) winemaking pomace. *Food Chemistry*, 164, 380-386.
- de Souza, V.B., Thomazini, M., de Carvalho Balieiro, J.C., & Favaro-Trindade, C.S. (2015). Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (*Vitis labrusca*). *Food and Bioprocess Processing*, 93, 39-50.
- de Vos, P., Faas, M.M., Spasojevic, M., & Sikkema, J. (2010). Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. *International Dairy Journal*, 20, 292-302.
- Demirdöven, A., Karabiyikli, Ş., Tokatlı, K., & Öncül, N. (2015). Inhibitory effects of red cabbage and sour cherry pomace anthocyanin extracts on food borne pathogens and their antioxidant properties. *LWT-Food Science and Technology*, 63, 8-13.
- Desai, K.G.H., & Jin Park, H. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, 23, 1361-1394.
- Dhillon, G.S., Kaur, S., & Brar, S.K. (2013). Perspective of apple processing wastes as low-cost substrates for bioproduction of high value products: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 789-805.
- Dilas, S., Čanadanović-Brunet, J., & Četković, G. (2009). By-products of fruits processing as a source of phytochemicals. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 15, 191-202.
- Đorđević, V., Balanč, B., Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Trifković, K., Kalušević, A., Kostić, I., Komes, D., Bugarski, B., & Nedović, V. (2015). Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Food Engineering Reviews*, 7, 452-490.
- Echegoyen, Y., Fabra, M.J., Castro-Mayorga, J.L., Cherpinski, A., & Lagaron, J.M. (2017). High throughput electro-hydrodynamic processing in food encapsulation and food packaging applications. *Trends in Food Science & Technology*, 60, 71-79.
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 510-523.
- Flores, F.P., Singh, R.K., & Kong, F. (2014). Physical and storage properties of spray-dried blueberry pomace extract with whey protein isolate as wall material. *Journal of Food Engineering*, 137, 1-6.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT – Crop statistics. Retrieved March, 04, 2018, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Galanakis, C. M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*, 26, 68-87.
- Gibis, M., Ruedt, C., & Weiss, J. (2016). *In vitro* release of grape-seed polyphenols encapsulated from uncoated and chitosan-coated liposomes. *Food Research International*, 88, 105-113.

- González-García, E., Marina, M.L., & García, M.C. (2014). Plum (*Prunus domestica* L.) by-product as a new and cheap source of bioactive peptides: Extraction method and peptides characterization. *Journal of Functional Foods*, *11*, 428-437.
- Górecka, D., Pacholek, B., Dziedzic, K., & Górecka, M. (2010). Raspberry pomace as a potential fiber source for cookies enrichment. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, *9*, 451-461.
- Górnaś, P., Juhņeviča-Radenkova, K., Radenkova, V., Mišina, I., Pugajeva, I., Soliven, A., & Segliņa, D. (2016). The impact of different baking conditions on the stability of the extractable polyphenols in muffins enriched by strawberry, sour cherry, raspberry or black currant pomace. *LWT-Food Science and Technology*, *65*, 946-953.
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science & Technology*, *15*, 330-347.
- Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G. (2012). A method for pomegranate seed application in food industries: seed oil encapsulation. *Food and Bioprocess Technology*, *90*, 639-652.
- Gültekin-Özgülven, M., Karadağ, A., Duman, Ş., Özkal, B., & Özçelik, B. (2016). Fortification of dark chocolate with spray dried black mulberry (*Morus nigra*) waste extract encapsulated in chitosan-coated liposomes and bioaccessibility studies. *Food Chemistry*, *201*, 205-212.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). *Global food losses and food waste – extent, causes and prevention*. Rome: FAO.
- Huber, G.M., & Vasantha Rupasinghe, H.P. (2009). Phenolic profiles and antioxidant properties of apple skin extracts. *Journal of Food Science*, *74*, C693-C700.
- Kaderides, K., Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G. (2015). A process for turning pomegranate peels into a valuable food ingredient using ultrasound-assisted extraction and encapsulation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *31*, 204-215.
- Kalušević, A.M. (2017). *Mikroinkapsulacija bioaktivnih jedinjenja iz sporednih proizvoda prehrambene industrije*. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet.
- Kalušević, A., Đorđević, R., Petrović, A., Lević, S., Đorđević, V., Bugarski, B., & Nedović, V. (2015). Grapeskin of *Prokupac* as a source of bioactive compounds. In: M. Gligorić (Ed.), *Proceedings of the IV International Congress: "Engineering, Environment and Materials in Processing Industry"* (pp. 438-443). Jahorina.
- Kalušević, A., Veljović, M., Lević, S., Petrović, A., Đorđević, V., & Nedović, V. (2016a). Extraction of natural colourants from the grapeskin of *Cabernet Sauvignon*. In: M. Đikić (Ed.), *Proceedings of the 6th International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2015"* (pp. 327-332). Jahorina.
- Kalušević, A., Salević, A., Đorđević, R., Veljović, M., & Nedović, V. (2016b). Raspberry and blackberry pomaces as potential sources of bioactive compounds. *Ukrainian Food Journal*, *5*, 485-492.
- Kalušević, A., Salević, A., Lević, S., Đorđević, V., & Nedović, V. (2016c). Encapsulation of bioactive compounds of fruit processing by-products. In (authors' edition): *Book of Abstracts of the 8th Central European Congress on Food "Food Science for Well-Being"* (pp. 230). Kyiv.
- Kalušević, A.M., Lević, S.M., Čalića, B.R., Milić, J.R., Pavlović, V.B., Bugarski, B.M., & Nedović, V.A. (2017). Effects of different carrier materials on physicochemical properties of microencapsulated grape skin extract. *Journal of Food Science and Technology*, *54*, 3411-3420.
- Kammerer, D., Claus, A., Carle, R., & Schieber, A. (2004). Polyphenol screening of pomace from red and white grape varieties (*Vitis vinifera* L.) by HPLC-DAD-MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*, 4360-4367.
- Kammerer, D.R., Kammerer, J., Valet, R., & Carle, R. (2014). Recovery of polyphenols from the by-products of plant food processing and application as valuable food ingredients. *Food Research International*, *65*, 2-12.

- Kołodziejczyk, K., Sójka, M., Abadias, M., Viñas, I., Guyot, S., & Baron, A. (2013). Polyphenol composition, antioxidant capacity, and antimicrobial activity of the extracts obtained from industrial sour cherry pomace. *Industrial Crops and Products*, *51*, 279-288.
- Kropat, C., Betz, M., Kulozik, U., Leick, S., Rehage, H., Boettler, U., Teller, N., & Marko, D. (2013). Effect of microformulation on the bioactivity of an anthocyanin-rich bilberry pomace extract (*Vaccinium myrtillus* L.) *in vitro*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*, 4873-4881.
- Kuck, L.S., & Noreña, C.P.Z. (2016). Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *Food Chemistry*, *194*, 569-576.
- Lauro, M.R., Crasci, L., Carbone, C., Aquino, R.P., Panico, A.M., & Puglisi, G. (2015). Encapsulation of a citrus by-product extract: development, characterization and stability studies of a nutraceutical with antioxidant and metalloproteinases inhibitory activity. *LWT-Food Science and Technology*, *62*, 169-176.
- Lević, S.M. (2014b). *Inkapsulacija aroma u karnauba vosku, alginatu i polivinil alkoholu*. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet.
- Lević, S., Rac, V., Manojlović, V., Rakić, V., Bugarski, B., Flock, T., Krzyczmonik, K.E., & Nedović, V. (2011). Limonene encapsulation in alginate/poly (vinyl alcohol). In: G. Saravacos (Ed.), *Procedia Food Science, 1 of the 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11)* (pp. 1816-1820). Athens.
- Lević, S., Kalušević, A., Đorđević, V., Bugarski, B., & Nedović, V. (2014a). Savremeni procesi inkapsulacije u tehnologiji hrane. *Hrana i ishrana*, *55*, 7-12.
- Llobera, A., & Cañellas, J. (2007). Dietary fibre content and antioxidant activity of Manto Negro red grape (*Vitis vinifera*): pomace and stem. *Food Chemistry*, *101*, 659-666.
- Lu, Y., & Foo, L.Y. (2000). Antioxidant and radical scavenging activities of polyphenols from apple pomace. *Food Chemistry*, *68*, 81-85.
- Mahmood, A., Ahmed, R., & Kosar, S. (2009). Phytochemical screening and biological activities of the oil components of *Prunus domestica* Linn. *Journal of Saudi Chemical Society*, *13*, 273-277.
- Malićanin, M., Rac, V., Antić, V., Antić, M., Palade, L. M., Kefalas, P., & Rakić, V. (2014). Content of antioxidants, antioxidant capacity and oxidative stability of grape seed oil obtained by ultra sound assisted extraction. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *91*, 989-999.
- Menrad, K. (2003). Market and marketing of functional food in Europe. *Journal of Food Engineering*, *56*, 181-188.
- Milala, J., Kosmala, M., Sójka, M., Kołodziejczyk, K., Zbrzeźniak, M., & Markowski, J. (2013). Plum pomaces as a potential source of dietary fibre: composition and antioxidant properties. *Journal of Food Science and Technology*, *50*, 1012-1017.
- Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of Cleaner Production*, *65*, 28-41.
- Nedović, V. (1999). *Imobilisani ćeljski sistemi u fermentaciji piva*. Beograd: Zadužbina Andrejević.
- Nedović, V., Kalušević, A., Manojlović, V., Lević, S., & Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. In: G. Saravacos (Ed.), *Procedia Food Science 1 of the 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11)* (pp. 1806-1815). Athens.
- Nedović, V., Kalušević, A., Manojlović, V., Petrović, T., & Bugarski, B. (2013). Encapsulation systems in the food industry. In: S. Yanniotis, P. Taoukis, N. G. Stoforos, V. T. Karathanos (Eds.), *Advances in Food Process Engineering Research and Applications*. (pp. 229-253). New York: Springer.
- Oomah, B.D., Ladet, S., Godfrey, D.V., Liang, J., & Girard, B. (2000). Characteristics of raspberry (*Rubus idaeus* L.) seed oil. *Food Chemistry*, *69*, 187-193.
- Pasqualone, A., Bianco, A.M., Paradiso, V.M., Summo, C., Gambacorta, G., & Caponio, F. (2014). Physico-chemical, sensory and volatile profiles of biscuits enriched with grape marc extract. *Food Research International*, *65*, 385-393.

- Salević, A., Kalušević, A., & Nedović, V. (2016). Influence of extraction conditions on bioactive profile of raspberry leaves. In: O. Đuragić (Ed.), *Proceedings of the III International Congress "Food Technology, Quality and Safety"* (pp. 106-112). Novi Sad.
- Salević, A., Kalušević, A., Trifković, K., Danezis, G., Bugarski, B., Georgiou, C., & Nedović, V. (2017). Assessment of trace and macro elements in grape skin. In: M. Gligorić (Ed.), *Proceedings of the V International Congress „Engineering, Environment and Materials In Processing Industry“* (pp. 1386-1396). Jahorina.
- Šarić, B., Mišan, A., Mandić, A., Nedeljković, N., Pojić, M., Pestorić, M., & Đilas, S. (2016). Valorisation of raspberry and blueberry pomace through the formulation of value-added gluten-free cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 1140-1150.
- Schieber, A., Stintzing, F.C., & Carle, R. (2001). By-products of plant food processing as a source of functional compounds - recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, 12, 401-413.
- Sessa, M., Casazza, A.A., Perego, P., Tsao, R., Ferrari, G., & Donsì, F. (2013). Exploitation of polyphenolic extracts from grape marc as natural antioxidants by encapsulation in lipid-based nanodelivery systems. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 2609-2620.
- Shalini, R., & Gupta, D.K. (2010). Utilization of pomace from apple processing industries: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 47, 365-371.
- Shinde, T., Sun-Waterhouse, D., & Brooks, J. (2014). Co-extrusion encapsulation of probiotic lactobacillus acidophilus alone or together with apple skin polyphenols: an aqueous and value-added delivery system using alginate. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 1581-1596.
- Sójka, M., Kołodziejczyk, K., Milala, J., Abadias, M., Viñas, I., Guyot, S., & Baron, A. (2015). Composition and properties of the polyphenolic extracts obtained from industrial plum pomaces. *Journal of Functional Foods*, 12, 168-178.
- Spigno, G., Donsì, F., Amendola, D., Sessa, M., Ferrari, G., & De Faveri, D.M. (2013). Nanoencapsulation systems to improve solubility and antioxidant efficiency of a grape marc extract into hazelnut paste. *Journal of Food Engineering*, 114, 207-214.
- Stajić, S., Živković, D., Tomović, V., Nedović, V., Perunović, M., Kovjanić, N., Lević, S., & Stanišić, N. (2014). The utilisation of grapeseed oil in improving the quality of dry fermented sausages. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 2356-2363.
- Treutter, D., Wang, D., Farag, M. A., Baires, G.D.A., Rühmann, S., & Neumüller, M. (2012). Diversity of phenolic profiles in the fruit skin of *Prunus domestica* plums and related species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 12011-12019.
- Tumbas Šaponjac, V., Četković, G., Čanadanović-Brunet, J., Pajin, B., Đilas, S., Petrović, J., Lončarević, I., Stajčić, S., & Vulić, J. (2016). Sour cherry pomace extract encapsulated in whey and soy proteins: incorporation in cookies. *Food Chemistry*, 207, 27-33.
- Vasanth Rupasinghe, H.P., & Kean, C. (2008). Polyphenol concentrations in apple processing by-products determined using electrospray ionization mass spectrometry. *Canadian Journal of Plant Science*, 88, 759-762.
- Veljović, M.S. (2016). *Hemijska, funkcionalna i senzorna svojstva piva obogaćenog biološki aktivnim sastojcima grožđa*. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet.
- Venskutonis, P.R., Dvaranauskaitė, A., & Labokas, J. (2007). Radical scavenging activity and composition of raspberry (*Rubus idaeus*) leaves from different locations in Lithuania. *Fitoterapia*, 78, 162-165.
- Wandrey, C., Bartkowiak, A., & Harding, S. E. (2010). Materials for encapsulation. In N. J. Zuidam & V. A. Nedović (Eds.), *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*. (pp. 31-100). New York: Springer.
- Yilmaz, C., & Gökmen, V. (2013). Compositional characteristics of sour cherry kernel and its oil as influenced by different extraction and roasting conditions. *Industrial Crops and Products*, 49, 130-135.

- Yılmaz, F.M., Karaaslan, M., & Vardin, H. (2015). Optimization of extraction parameters on the isolation of phenolic compounds from sour cherry (*Prunus cerasus* L.) pomace. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 2851-2859.
- Zuidam, N.J., & Shimoni, E. (2010). Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. In: N.J. Zuidam & V.A. Nedović (Eds.), *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*. (pp. 3-29). New York: Springer.

Primljeno: 12. januara 2018.
Odobreno: 29. marta 2018.

ENCAPSULATION OF BIOACTIVE COMPOUNDS DERIVED FROM
FRUIT PROCESSING BY-PRODUCTS**Ana S. Salević, Ana M. Kalušević, Steva M. Lević and Viktor A. Nedović***University of Belgrade, Faculty of Agriculture,
Nemanjina 6, 11080 Belgrade-Zemun, Serbia

A b s t r a c t

An increased environmental awareness has led to new trends in food industry, which are reflected in intensive studies on exploitation of fruit processing by-products. Additionally, consumers' tendency to a healthy lifestyle has initiated the development of diverse functional food products. High amounts of by-products, such as peels, seeds, and stones, are discarded during fruit processing. It represents a problem both from the environmental and the economic point of view. On the other hand, the resulting residues are potential sources of numerous bioactive compounds. Therefore, fruit processing by-products such as substrates for the extraction of phenolic compounds, natural pigments, dietary fibers, protein isolates and oils attract great interest. These extracts have a great potential for the development of dietary supplements and new functional food products with beneficial health effects. However, bioactive compounds are susceptible to degradation, which represents a critical factor for their successful incorporation into food products. In this regard, the main challenge is to ensure the stability of bioactive compounds during processing, storage and in the gastrointestinal tract, i.e. to preserve their bioactivity and bioavailability. This challenge could be accomplished by the use of encapsulation. Namely, the formation of a physical barrier between an active compound and its surrounding is an effective way of protection. The present paper indicates the potential of by-products originating from the processing of apples, grapes, plums, raspberries and sour cherries as sources of bioactive compounds. It also points out the benefits that could be achieved by the encapsulation of bioactive compounds extracted from fruit processing by-products in order to develop new functional food products.

Key words: fruit processing by-products, encapsulation, bioactive compounds, apple, grape, plum, raspberry, sour cherry.

Received: January 12, 2018

Accepted: March 29, 2018

*Corresponding author: e-mail: vnedovic@agrif.bg.ac.rs