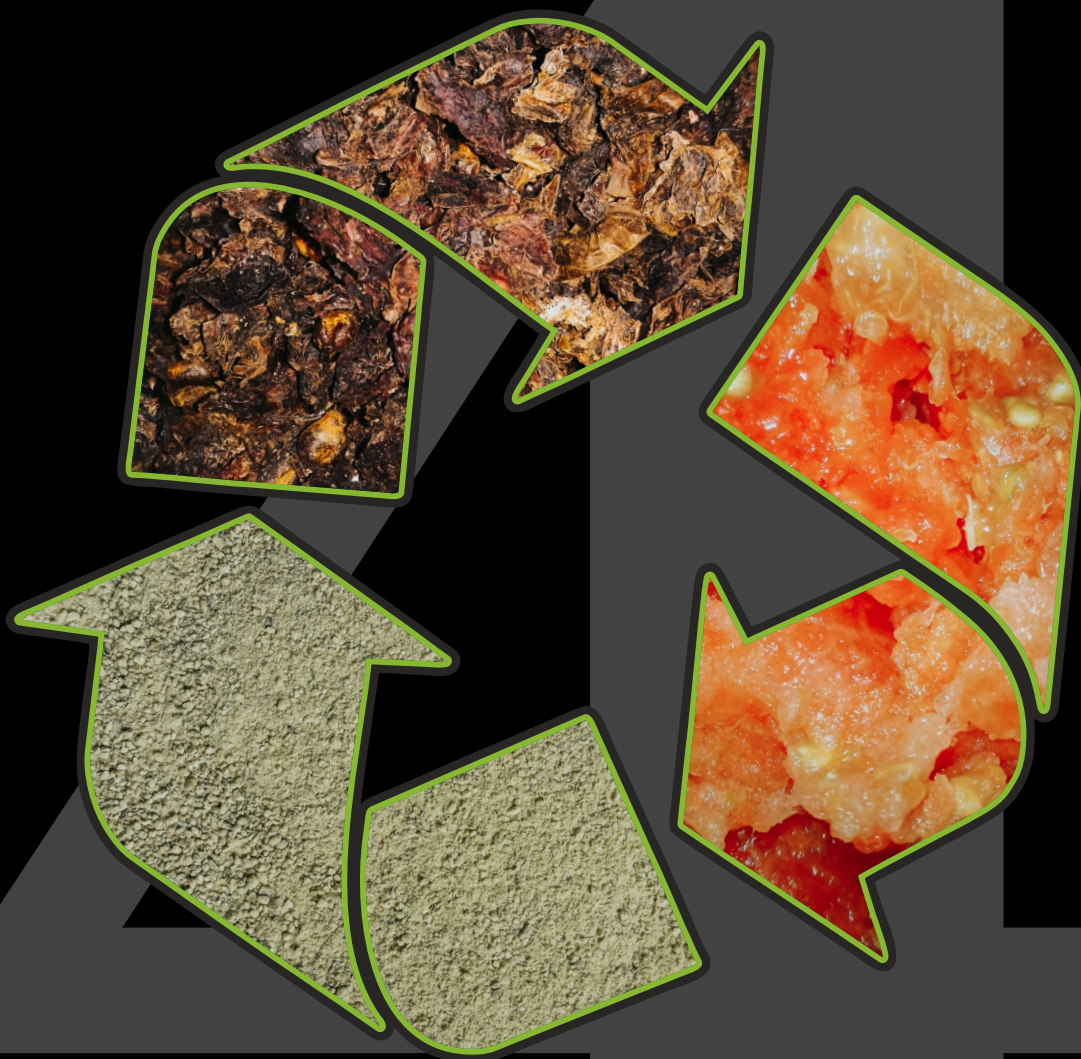




**Neke mogućnosti
iskorišćenja nusproizvoda
prehrambene industrije**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek

**NEKE MOGUĆNOSTI ISKORIŠTENJA NUSPROIZVODA
PREHRAMBENE INDUSTRIJE
KNJIGA 4.**



Sadržaj

Predgovor		v
Poglavlje 1	Kontaminanti u nusproizvodima prehrambene industrije <i>Jelka Pleadin, Tanja Bogdanović, Teuta Murati, Ivana Kmetić</i>	1
Poglavlje 2	Primjena sušenja raspršivanjem u procesiranju nusproizvoda prehrambene industrije <i>Marija Banožić, Krunoslav Aladić, Jelena Vladić, Stela Jokić</i>	35
Poglavlje 3	Primjena ekstrakcije subkritičnom vodom u svrhu valorizacije otpada i nusproizvoda prehrambene industrije <i>Jelena Vladić, Senka Vidović, Stela Jokić</i>	61
Poglavlje 4	Ispunjavanje ciljeva održivog razvoja kroz poljoprivrednu proizvodnju <i>Sanja Kalambura, Darko Kiš, Sonja Vila, Sunčica Kujundžić</i>	89
Poglavlje 5	Potencijal primjene melase kao vrijednog nusproizvoda iz proizvodnje šećera <i>Antun Jozinović, Jurislav Babić, Đurđica Ačkar, Laura Sundać, Ante Lončarić, Borislav Miličević, Drago Šubarić</i>	115
Poglavlje 6	Proizvodnja pektina šećerne repe i njegova primjena <i>Nikola Maravić, Dragana Šoronja-Simović, Biljana Pajin, Sandra Budžaki, Ivica Strelec, Aleksandar Fišteš, Natalija Velić, Jelena Šurlan, Zita Šereš</i>	139
Poglavlje 7	Neke mogućnosti iskorištenja nusproizvoda iz proizvodnje krumpirovog škroba <i>Mario Kovač, Drago Šubarić, Jurislav Babić, Đurđica Ačkar, Daniela Amidžić Klarić, Ilija Klarić, Antun Jozinović</i>	159
Poglavlje 8	Mogućnosti iskorištenja nusproizvoda industrija slada i piva <i>Saša Despotović, Jelena Pejin, Goran Šarić, Gordana Šimić, Mario Novak, Natalija Velić</i>	183
Poglavlje 9	Ekonomska perspektiva kaskadnog korištenja otpadnog pivskog kvasca <i>Anđela Zeko-Pivač, Kristina Mastanjević, Biljana Kulišić, Marina Tišma</i>	219
Poglavlje 10	Mogućnosti iskorištenja ostataka od proizvodnje hmelja <i>Iztok Jože Košir, Barbara Čeh, Gregor Drago Zupančič, Mario Panjičko</i>	245
Poglavlje 11	Biološki potencijal agrootpada iz proizvodnje minimalno procesiranog voća i povrća <i>Branka Levaj, Maja Repajić</i>	265

Poglavlje 2

PRIMJENA SUŠENJA RASPRŠIVANJEM U PROCESIRANJU NUSPROIZVODA PREHRAMBENE INDUSTRIJE

Marija Banožić¹, Krunoslav Aladić¹, Jelena Vladić², Stela Jokić^{1*}

¹*Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek,
Franje Kuhača 18, 31000 Osijek, Hrvatska, *sjokic@ptfos.hr*

²*Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet Novi Sad, Bulevar cara Lazara 1,
21000 Novi Sad, Srbija*

SAŽETAK

Globalizacija, rast populacije i promjene u prehrambenim navikama povećali su konzumaciju prerađene hrane u svijetu, a tako se povećalo i generiranje otpada i nusproizvoda prehrambene industrije. Nedovoljno iskorištavanje nusproizvoda i otpada ima za posljedicu ne samo zagađenje okoliša već dovodi i do financijskih gubitaka imajući u vidu da je većina nusproizvoda bogatim izvorom bioaktivnih spojeva. Sušenje raspršivanjem energetski je učinkovitom i industrijski primjenjivom tehnikom sušenja kojom se tekućina izravno prevodi u prah. Već je desetljećima integrirana u procese prehrambene industrije, posebice u industriji mlijeka i voćnih sokova, gdje se koristi kao alat za postizanje mikrobiološke i kemijske stabilnosti proizvoda, smanjenje troškova skladištenja i prijevoza te, u konačnici, za dobivanje proizvoda sa specifičnim svojstvima kao što je brza topljivost (instant-proizvodi). Osim toga, ta se tehnika može koristiti za poboljšanje boje ili prikrivanje nepoželjne arome. Sve te prednosti izravnom su posljedicom smanjenja sadržaja i aktiviteta vode.

Primjena sušenja raspršivanjem za stabilizaciju i inkapsulaciju ekstrahiranih bioaktivnih spojeva iz nusproizvoda prehrambene industrije još uvijek je u svom začetku, no ima snažan potencijal omogućiti ponovno vraćanje pojedinih nusproizvoda u prehrambeni lanac. Kako bi zadovoljio visoke zahtjeve prehrambene industrije, tako dobiven proizvod mora imati standardiziranu kvalitetu i značajke. Te su karakteristike usko povezane sa sadržajem bioaktivnih spojeva, sadržajem vlage, nasipnom masom, veličinom čestica i drugim

fizikalnim i kemijskim svojstvima dobivenog praha. Na kvalitetu konačnog proizvoda/praha utječu mnogi čimbenici, uključujući koncentraciju ekstrakta, brzinu protoka pojne smjese, ulaznu i izlaznu temperaturu sušenja, brzinu protoka zraka, vrstu mlaznice i brzinu raspršivača.

U ovom poglavlju dan je pregled najvažnijih postignuća u valorizaciji nusproizvoda prehrambene industrije primjenom sušenja raspršivanjem. Također, razmotrene su mogućnosti primjene tako dobivenih prahova s naglaskom na razvoj novih prehrambenih proizvoda i proizvodnju funkcionalne hrane.

Ključne riječi: sušenje raspršivanjem, nusproizvodi, inkapsulacija

UVOD

Sušenje u prehrambenoj industriji predstavlja proces uklanjanja vode iz namirnica, a provodi se s ciljem čuvanja i konzerviranja hrane. Razvojem različitih metoda sušenja, kao što su vakuum sušenje, konvekcijsko sušenje, liofilizacija, sušenje u fluidiziranom sloju i sušenje raspršivanjem, došlo je do spoznaje da takve tehnologije ne omogućuju samo produljenu trajnost proizvoda nego i veću kvalitetu i lakše rukovanje te su primjenjive i u nekim drugim procesima. Tehnologija sušenja raspršivanjem, kakvom se danas koristimo, intenzivno se razvijala od 70-ih do početka 90-ih godina prošlog stoljeća. Ta tehnologija omogućuje brzu transformaciju tekućina u oblik praha na način da se tekuća namirnica rasprši u struji vrućeg plina. Takva tekuća namirnica može biti u obliku suspenzije, otopine ili emulzije, dok osušeni proizvod može biti u obliku praha, granula ili aglomerata, zavisno od fizikalnih i kemijskih svojstava sirovina, dizajna uređaja i svojstava praha koja se žele postići (Michael, 1993; Patel, Patel i Suthar, 2009). Jedna od osnovnih prednosti spomenute tehnologije jest mogućnost prilagodbe različitim kapacitetima, odnosno „scale up“. Protoci pojne smjese mogu se kretati od nekoliko grama na sat do preko 100 tona na sat. Rad na takvim uređajima kontinuiran je, s mogućnošću automatskog upravljanja (Gharsallaoui i sur., 2007). Također, primjenom te tehnologije moguće je sušiti namirnice koje su otporne na primjenu visokih temperatura (termorezistentne), kao i one osjetljive na toplinu (termolabilne). Ograničenja sušenja raspršivanjem u vezi su s područjima proizvodnje prahova iz pojnih smjesa s kompleksnom morfološkom strukturom, kao i s čestom pojavom brzog oslobađanja aktivne supstance pri primjeni u farmaceutskoj industriji.

Tijekom sušenja raspršivanjem tekuća namirnica raspršuje se u komori za sušenje, a kapljice tekućine prolaze kroz vrući plin. Vrlo male kapljice imaju veću kontaktnu površinu te tako olakšavaju isparavanje otapala. Taj proces vrlo je brz i intenzivan, a toplinsko oštećenje osjetljivih sastojaka svedeno je na minimum. U separacijskom ciklonu odvajaju se suhe čestice od zraka za sušenje i sakupljaju u sabirnoj posudi (Deis 1997; Vidović i sur., 2014; Santos i sur., 2018)

Proces sušenja raspršivanjem konvekcijskim je procesom sušenja koji se sastoji od četiriju faza:

- atomizacija/raspršivanje tekuće pojne smjese u male kapljice,
- kontakt kapljica i suhog zraka/plina,
- isparavanje otapala iz kapljica,
- odvajanje i sakupljanje praha.

Uređaj za sušenje raspršivanjem (engl. *spray dryer*) obično se sastoji od sustava za dopremanje pojne smjese (spremnik i peristaltička pumpa), glavnog sustava (mlaznica za raspršivanje i komora za sušenje) i sustava za isporuku krajnjeg proizvoda (sustav za odvajanje i posuda za sakupljanje). Uređaji za sušenje raspršivanjem mogu biti različitih konfiguracija, prilikom čega protok vrućeg zraka i raspršenog materijala može biti: istostrujan, protustrujan i mješovit. U slučaju istostrujnog protoka struja zraka i materijala koji se suši imaju isti smjer. Ta je konfiguracija poželjna za sušenje osjetljivih termolabilnih proizvoda jer je najviša temperatura zraka u dodiru s česticama najvećeg sadržaja vlage. Isparavanje je brzo i temperatura zraka brzo se smanjuje isparavanjem vode (Deis 1997; Vidović i sur., 2014). Također, u prehrambenoj industriji najčešće se koriste sušionici s raspršivanjem u istosmjernoj struji (McHugh i sur., 2018).

Na tržištu opreme za sušenje raspršivanjem prehrambena industrija ima najveći udio. Tržište opreme za sušenje raspršivanjem hrane procjenjuje se na 1,2 milijarde dolara u 2016. godini, a bilo je predviđeno da će se do 2021. povećati na 1,5 milijardu dolara. U najvećem broju slučajeva (oko 45 %) koriste se jednostupanjski sušionici, no u posljednje vrijeme sve se više koriste dvostupanjski te ih je na tržištu oko 40 % (McHugh 2018).

Neke od prednosti sušenja raspršivanjem jesu:

- velika površina na kojoj se odvija izmjena tvari i topline, što rezultira vrlo kratkim vremenom rada (nekoliko sekundi ili čak kraće),
- niska temperatura kranjeg proizvoda u usporedbi s relativno visokom temperaturom ulaznog zraka,
- nizak sadržaj vlage i mala veličina čestica dobivenog praha,
- konačni proizvod (prah) stabilan je i prikladan za rukovanje, prijevoz ili uporabu u proizvodnji drugih proizvoda (Mujumdar, 1995; Santos i sur., 2018).

Najveći nedostatak visoki su troškovi ulaganja za kupnju opreme.

Sjeverna Amerika dominira globalnim tržištem opreme za sušenje raspršivanjem, a Azijsko-pacifička regija najbrže je rastuće tržište. Predviđa se da će globalno tržište hrane proizvedene sušenjem raspršivanjem u razdoblju od 2018. do 2023. rasti stopom od 4,2 % godišnje (McHugh, 2018).

Globalizacija, rast populacije i promjene u prehrambenim navikama povećali su konzumaciju prerađene hrane u svijetu. Iz tih razloga povećalo se i generiranje otpada i nusproizvoda prehrambene industrije. Nedovoljno iskorištavanje nusproizvoda i otpada za posljedicu ima ne samo zagađenje okoliša već dovodi i do financijskih gubitaka imajući u vidu da je većina nusproizvoda bogatim izvorom bioaktivnih spojeva koji se mogu ponovo vratiti u prehrambeni lanac i tako generirati novu vrijednost. Primjena sušenja raspršivanjem za stabilizaciju i iskorištavanje nusproizvoda prehrambene industrije još uvijek je u svom začetku, no ima snažan potencijal unaprijediti dosadašnje tehnologije i omogućiti razvoj novih proizvoda. Ipak, tako dobiveni proizvodi moraju udovoljiti visokim zahtjevima prehrambene industrije poput standardizirane kvalitete i značajki. Također, takvi procesi moraju biti energetske učinkovitima i ekonomski isplativima kako bi se mogli implementirati u već postojeće procese prehrambene industrije.

SUŠENJE RASPRŠIVANJEM U PROCESIRANJU NUSPROIZVODA PREHRAMBENE INDUSTRIJE

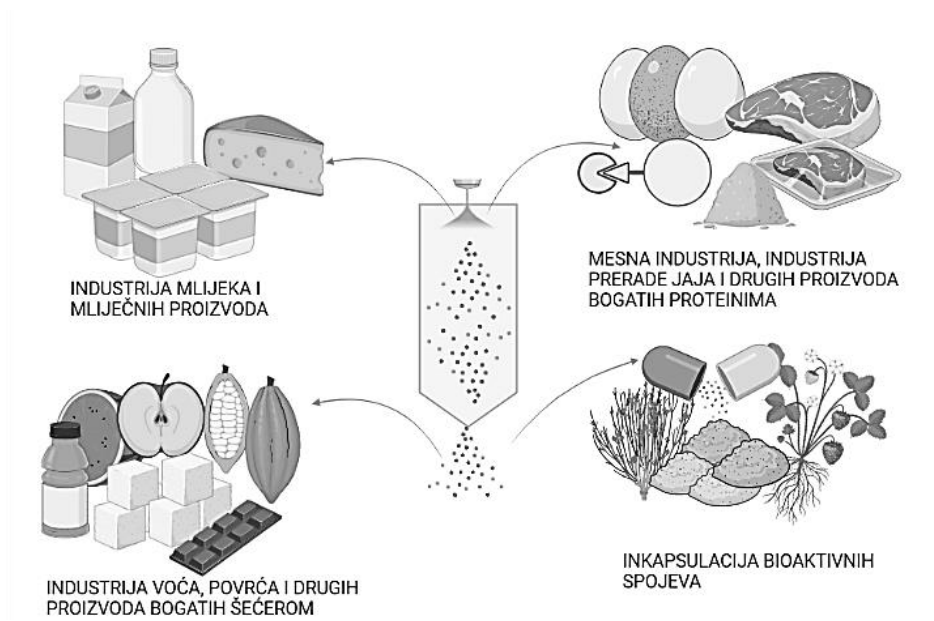
Primjena sušenja raspršivanjem u prehrambenoj industriji može se podijeliti u četiri kategorije (Slika 1).

Budući da je primjena sušenja raspršivanjem dugo bila rezervirana za industriju mlijeka, mliječni proizvodi poput mlijeka u prahu (obrano i punomasno) izdvajaju se u posebnu skupinu. U tu skupinu ubrajaju se i nusproizvodi poput sirutke u prahu (nusproizvod proizvodnje sira) i mlaćenice (nusproizvod proizvodnje maslaca) u prahu.

U drugu skupinu ubraja se industrija sušenja proizvoda s visokim sadržajem ugljikohidrata (pretežno šećera). Većina sokova od voća i povrća ubraja se u tu kategoriju. U tu skupinu ubrajaju se i različiti nusproizvodi tih industrija, poput komine, pulpe i slično.

U treću skupinu ubraja se industrija sušenja proizvoda s visokim sadržajem proteina. Ta kategorija proizvoda tradicionalno uključuje materijale poput jaja u prahu, enzima i nekih mliječnih proizvoda (izolati i koncentrat proteina sirutke), kao i nusproizvode tih industrija.

Inkapsulacija bioaktivnih spojeva pripada zasebnoj skupini, iako se mogu inkapsulirati bioaktivni spojevi iz proizvoda iz prvih triju skupina, ali i neki drugi. U tu skupinu mogu se ubrojiti nusproizvodi prerade čaja, ljekovitog i začinskog bilja, kao i nusproizvodi prerade maslina, sjemenki i orašastog voća te neki drugi nusproizvodi.



Slika 1 Primjena sušenja raspršivanjem u prehrambenoj industriji (kreirano u BioRender.com prema Woo i Bhandari, 2013)

Sušenje raspršivanjem u procesiranju nusproizvoda mliječne industrije

Industrijska primjena sušenja raspršivanjem u uskoj je vezi s industrijom mlijeka. Naime, prvi industrijski uređaji za sušenje raspršivanjem razvijeni su tijekom II. svjetskog rata za potrebe vojske kako bi se velike količine mlijeka prevele u prah, kao stabilniji i jednostavniji oblik za tu namirnicu. Međutim, razvoj sušenja raspršivanjem kao komercijalnog procesa uključivao je niz promjena u dizajnu uređaja, posebice onih u vezi sa sušenjem komponenata osjetljivih na toplinu pa je postupak sušenja raspršivanjem, kakav danas poznajemo, razvijan od 70-ih do početka 90-ih godina. Desetljećima sušenje raspršivanjem u industriji mlijeka koristilo se za osiguravanje mikrobiološke i kemijske stabilnosti proizvoda, kao i smanjenje skladišnih kapaciteta i transportnih troškova te, u konačnici, dobivanje proizvoda sa specifičnim svojstvima kao što je brza („instant“) topljivost.

S promjenama u poljoprivrednoj politici mliječna industrija bila je prisiljena tražiti nove i bolje načine upotrebe nusproizvoda proizvodnje sira, mlijeka i maslaca (Tablica 1). Napori su rezultirali novim proizvodima u obliku prahova s visokim sadržajem proteinskih frakcija čije su nutritivne kvalitete i funkcionalnost doveli do primjene u cijeloj paleti proizvoda (Schuck, 2016). Suvremeni procesi, poput demineralizacije, ultrafiltracije i enzimске hidrolize, proširili su spektar proizvoda na bazi modificirane sirutke u prahu. Za sušenje proizvoda od sirutke mogu se koristiti različite konfiguracije spray dryera u rasponu od najjednostavnijih jednostupanjskih do dvostupanjskih i eventualno trostupanjskih sustava, pa sve do sušilica

filtermat sustava, a proces sušenja raspršivanjem ima primjenu u većini načina procesiranja sirutke.

Ultrafiltracijom (UF) sirutke kroz membrane propušta se voda, minerali i laktoza, a zadržavaju proteini sirutke. Permeat, općenito, sastoji se od laktoze (76 – 80 % ukupne suhe tvari), minerala i drugih spojeva niske molekularne mase, poput neproteinskih dušičnih spojeva. U retentatu obično je oko 60 % proteina na ukupnu suhu tvar. Poseban proces ultrafiltracije jest dijafiltracija (DF). U DF procesima retentat se razrijedi vodom i recirkulira, čime se postiže veći sadržaj proteina od 80 % ukupne suhe tvari.

Retentat dobiven postupcima UF ili DF suši se raspršivanjem, a dobiveni proizvod komercijalno je dostupan pod nazivom koncentrat proteina sirutke – WPC (engl. *Whey Protein Concentrate*). Kombinacijom mikrofiltracije za uklanjanje masti i UF i dijafiltracije nastaje retentat koji sadrži 90 – 95 % proteina u ukupnoj suhoj tvari. Taj retentat nakon sušenja raspršivanjem poznat je kao izolat proteina sirutke – WPI (engl. *Whey Protein Isolate*) (Echegaray, Centeno i Carballo, 2019).

Kao što je prethodno naznačeno, sušenje raspršivanjem posljednjim je korakom u proizvodnji WPC ili WPI. U industrijskoj praksi najčešće se koriste uređaji s centrifugalnim atomizerom ili atomizerom pod tlakom. Korištenje ultrazvučne atomizacije (raspršivanja) predstavlja alternativu s nekoliko važnih prednosti (Gajendragadkar i Gogate, 2016). Ultrazvučne mlaznice pouzdanije su, preciznije i lakše ih je kontrolirati. Također omogućavaju raspršivanje malom brzinom pa zato veličina komore za sušenje može biti manja u usporedbi s uobičajenom, što značajno smanjuje troškove procesa (Ashokkumar i sur., 2009).

U svim tim procesima sušenje raspršivanjem ima ulogu uklanjanja sadržaja vode te predstavlja pouzdan i ekonomski isplativ proces.

U posljednjem desetljeću razvijaju se i neki novi sustavi koji koriste tehnologiju sušenja raspršivanjem na nusproizvodima mliječne industrije. Jedan od njih jest Filtermat spray dryer. Filtermat spray dryer alternativnim je rješenjem razvijenim za sušenje mliječnih proizvoda koje je teško osušiti raspršivanjem zbog visoke razine masti, ugljikohidrata ili proteina. Za razliku od klasične konstrukcije spray dryera, takvi sustavi imaju ugrađene remene od žičane mreže unutar ciklona. Ljepljiva poluosušena pojna smjesa raspršuje se pomoću mlaznica po remenu od žičane mreže te se formira podloga od vlažnog praha rasutog podjednako po remenu od žičane mreže. U sljedećim dvjema fazama vlažni prah suši se propuštanjem struje vrućeg zraka i hlađenja. Remen od žičane mreže ima veliku propusnost zraka, što omogućuje prolaz zraka kroz remen i prah. Vlažnost je vrlo niska u posljednjoj fazi hlađenja, dok je prah suh i spreman za daljnju obradu (Patel, Patel i Suthar, 2009).

Tablica 1 Primjeri primjene sušenja raspršivanjem u obradi nusproizvoda industrije mlijeka

Vrsta nusproizvoda	Temperatura sušenja ulaz/izlaz (°C)	Karakteristike pojne smjese	Nosač	Referenca
Sirutka	160 – 225/60 – 120	Udio suhe tvari: 20 %, 30 % i 40 % Protok: 5 – 17,5 kg/h	Nije korišten	Anandharamakrishnan i sur., 2008
Permeat (nusproizvod ultrafiltracije sirutke)	163 – 187/-	Udio suhe tvari: 25 % Protok: $2,97 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$	Modificirani kukuruzni škrob u kombinaciji s maltodekstrinom (20 DE)	da Costa i sur., 2015
Mlačenica	195/85	Udio suhe tvari: 20 %	Nije korišten	Morin Jimenez-Flores i Pouliot, 2007
Retentat sirutke	180 – 220/95	Udio suhe tvari: 10-25 %	Nije korišten	Park i sur., 2014
Koncentrat sirutke	200/90	80 % proteina	Nije korišten	Stout, Park i Drake, 2017
Izolat proteina sirutke (WPI) i koncentrat proteina sirutke (WPC)	182/91	80 % proteina	Nije korišten	Whitson i sur., 2011

Kako je već spomenuto, ekonomski najopravdanijim i najčešće korištenim načinom obrade sirutke jest ultrafiltracija kojom se dobiva protein sirutke. Ipak, i u tom procesu zaostaje nusproizvod (permeat). On obično sadrži oko 4,5 % laktoze te se može sušiti primjenom sušenja raspršivanjem (Písecký, 2005). Budući da je ekonomska vrijednost osušenog permeata niska, potrebno je smanjiti troškove sušenja. U tu svrhu konstruiran je novi način sušenja raspršivanjem, poznat pod nazivom TIXOTHERM™, koji je patentiran 2003. Proces se provodi trima koracima: koncentriranje na 60 % suhe tvari, sušenje i finalno sušenje s naknadnim hlađenjem. Tim postupkom dobiva se gotovo 100 % kristalizirana laktoza, izbjegava se tamnjenje proizvoda, a povećava se viskoznost proizvoda (Niro 2003).

Glavni motivi kod primjene sušenja raspršivanjem u obradi nusproizvoda u mliječnoj industriji jesu smanjenje volumena i mase, što znači lakši i ekonomičniji prijevoz, minimalni zahtjevi za skladištenje, nizak udio vode, što sprječava rast i razmnožavanje mikroorganizama i minimalne su promjene kvalitete proizvoda tijekom skladištenja (Carić i Gregurek, 2003).

Sušenje raspršivanjem u procesiranju nusproizvoda visokog udjela ugljikohidrata

Sušenje proizvoda visokog udjela šećera najvećim je izazovom pri primjeni sušenja raspršivanjem u prehrambenoj industriji. U nusproizvode visokog sadržaja ugljikohidrata mogu se ubrojiti različiti nusproizvodi prerade voća i povrća, kao i nusproizvodi prerade šećera, kakaovca te nusproizvodi konditorske industrije (Tablica 2).

Tablica 2 Primjeri primjene sušenja raspršivanjem u obradi nusproizvoda bogatih ugljikohidratima

Vrsta nusproizvoda	Temperatura sušenja ulaz/izlaz (°C)	Karakteristike pojne smjese	Nosač	Referenca
Kora citrusa	125/60	Udio suhe tvari: 5 % Protok: 4 ml/min	WPI	Shofinita i sur., 2015
Pulpa mrkve	135 – 145/90 – 100	Udio suhe tvari: 15 % Protok: 1,5 g/min	Nije korišten	Chen i Tang, 1998
Komina borovnice (nusproizvod proizvodnje soka)	150/80	Protok: 1 ml/min	Natrijev alginat inulin	Waterhouse, Sun-Waterhouse i Su, 2018
Melasa šećerne repe	170/90	Protok: 8 ml/min	Maltodekstrin	Acan i sur., 2020
Bagasa	120/80	Udio suhe tvari: 20 % Protok: 20 ml/min	Nije korišten	Kamthai i Magaraphan, 2017
Kakao ljuska	120/75 – 80	-	Maltodekstrin i protein sirutke	Jokić i sur., 2020

Takvi nusproizvodi imaju visok udio spojeva niske molekularne mase koji imaju nisku temperaturu staklastog prijelaza (Tg). Neki od primjera takvih spojeva jesu: fruktoza (Tg = 5 °C), glukoza (Tg = 31 °C), saharoza (Tg = 62 °C), jabučna kiselina (Tg = 11 °C), limunska kiselina (Tg = 16 °C) i vinska kiselina (Tg = 21 °C). Vлага prisutna u nusproizvodima smanjuje temperaturu staklastog prijelaza s obzirom na to da je Tg čiste vode jednak -135 °C. Međutim, temperature sušenja raspršivanjem značajno su visoke (100 – 200 °C), a već na temperaturama 10 – 20 °C iznad Tg stanje materijala mijenja se iz amornog u

visokoelastično. Sušenje materijala niskog Tg raspršivanjem otežano je zbog lijepljenja i povećanog taloženja praha na stijenka sušionika, što značajno smanjuje prinos proizvoda i može pogoršati kvalitetu proizvoda (Sobulska i Zbicinski, 2021).

Prinos sušenja raspršivanjem izražava se kao omjer mase suhog praha prikupljenog nakon sušenja i početne mase suhe tvari u otopini koja se suši. U laboratorijskom mjerilu zadovoljavajući je prinos iznad 50 %, dok u industrijskom mjerilu može biti i nešto niži (Bhandari, Datta i Howes, 1997). Izazovi sušenja nusproizvoda visokog udjela šećera mogu se prevladati trima načinima: primjenom nosača, optimizacijom procesnih parametara i kombinacijom tih dviju metoda. Kod primjene nosača Tg pojne smjese povećava se dodavanjem nosača s visokim Tg, poput maltodekstrina. Metoda temeljena na optimizaciji procesa podrazumijeva prilagođavanje parametara sušenja poput: struganja materijala zalijepljenog na stijenke sušionika, hlađenja stijenki sušionika, smanjenja izlazne temperature i primjene odvlaženog zraka za sušenje (Sobulska i Zbicinski, 2021). Takav pristup primijenjen je u istraživanju Chasekioglou i sur. (2017) gdje se sušenje raspršivanjem koristilo za gospodarenje otpadnim vodama iz prerade maslina. Budući da taj nusproizvod ima visok sadržaj ugljikohidrata, problem ljepljivosti riješen je dodavanjem maltodekstrina i korištenjem odvlaženog zraka kao medija za sušenje.

Također, i u konditorskoj industriji nastaju velike količine otpadnih voda. Bajić i sur. (2014) predložili su sušenje raspršivanjem kao metodu za gospodarenje konditorskim otpadnim vodama, gdje se kao krajnji proizvod dobio praškasti oblik ksantanske gume.

Šećerna trska važnom je industrijskom kulturom koja se uglavnom koristi za proizvodnju šećera i etanola. Ta industrija generira nusproizvode poput pulpe šećerne trske, vlakana i melase (Santos i sur., 2020; Holanda i Ramos, 2016). Dogbe, Mandegari i Görgens (2020) predložili su postupak sušenja raspršivanjem melase za proizvodnju praha bogatog frukto-oligosaharidima. Messa i Faez (2020) koristili su celulozu pulpe šećerne trske kao nosače za inkapsulaciju NKP gnojiva. Tako proizvedene mikrokapsule pokazale su se korisnima u kontroliranom otpuštanju inkapsuliranih nutrijenata. Kamthai i Magaraphan (2017) koristili su sušenje raspršivanjem pulpe šećerne trske za proizvodnju praha bogatog karboksimetil celulozom (derivat celuloze topljive u vodi). Dobiveni prah mogao bi se koristiti kao zgušnjivač, emulgator i stabilizator, ali i kao sastojak jestivih filmova. U industriji šećera nastaje i još jedna vrsta nusproizvoda koja predstavlja otpad od proizvodnje etanola iz melase. Fernandes i sur. (2017) predložili su upotrebu tog nusproizvoda za proizvodnju visokovrijednih lipida fermentacijom. U tom procesu sušenje raspršivanjem služilo je za stabilizaciju biomase i izbjegavanje kvarenja.

Sušenje tih vrsta nusproizvoda omogućuje produljenje roka trajanja proizvoda, značajno smanjenje sadržaja vlage i smanjen rizik od kvarenja. Dodatna prednost manji su troškovi pakiranja, skladištenja i prijevoza. Prednosti oblika praha bolje su tečenje, ali i lakše miješanje s drugim sastojcima, što omogućava proizvodnju novih proizvoda složenog sastava.

Sušenje raspršivanjem u procesiranju nusproizvoda visokog udjela proteina

Velikim problemom u sušenju raspršivanjem visokoproteinskih namirnica smatra se fenomen denaturacije u kojem protein osušen raspršivanjem gubi svoju tercijarnu strukturu, što dovodi do gubitka njegove funkcionalnosti. Denaturirani proteini mogu, ali i ne moraju, rezultirati nastankom netopljivih komponenti u prahu. Do toga dolazi ako se denaturirani proteini podvrgavaju daljnjoj agregaciji, što rezultira da agregirani proteini postanu netopljivima. To utječe na kvalitetu proizvoda, osobito u proizvodnji instant-hrane (Woo i Bhandari, 2013).

Sâm postupak sušenja (odvođenja vlage) može, u određenoj mjeri, promijeniti sekundarnu strukturu (α -uzvojnica, β -lanci i β nabrana ploča) proteina. Još su dva moguća načina denaturacije proteina, prvi je proces raspršivanja (atomizacije), a drugi interakcija vrući zrak – voda. U studiji Anandharamakrishnan i sur. (2007) navodi se da se preko 70 % proteina sirutke može denaturirati tijekom sušenja raspršivanjem. Brojnim istraživanjima potvrđeno je da izlazna temperatura kod procesa sušenja raspršivanjem značajno utječe na denaturaciju proteina tijekom sušenja. Na primjer, Oldfield, Taylor i Singh (2005) i Anandharamakrishnan i sur. (2007) pokazali su da se denaturacija proteina pri sušenju raspršivanjem događa čak i kada je izlazna temperatura samo 60 °C.

Kao i u slučaju šećera, i kod namirnica bogatih proteinima, osim procesnim parametrima, na učinkovitost sušenja može se utjecati dodatkom nosača. Teorijski, zamjena vode nosačem (ugljikohidratima) pomaže stabilizirati proteine termodinamički tako da se na polarne skupine proteina vodikovim vezama vežu ugljikohidrati umjesto vode (Carpenter i Crowe, 1989).

U novije vrijeme pokazalo se da ugljikohidrati mogu usporiti lokalna molekularna kretanja proteina čime se osigurava stabilnost proteina u području ispod temperature staklastog prijelaza (Pinto i sur., 2021).

Liofilizacija najčešćom je metodom za stabiliziranje namirnica bogatih proteinima. Budući da se radi o višestupanjskom šaržnom procesu s neravnomjernim prijenosom topline i mase, rezultat je često nehomogena kvaliteta osušenih proizvoda. U tu svrhu, primjena inovativnih procesno-analitičkih tehnologija u kombinaciji sa sušenjem raspršivanjem može omogućiti praćenje kvalitete međuproizvoda i krajnjih proizvoda u stvarnom vremenu.

Glavni nedostatak sušenja raspršivanjem obično su visoke temperature. Rješenje bi moglo biti u korištenju nevodених hlapljivih otapala, pa tako i nižih temperatura sušenja, čime bi se izbjegla degradacija spojeva osjetljivih na toplinu. Također, u slučaju proizvoda osjetljivih na oksidaciju, moguća je upotreba inertnih plinova, poput dušika za sušenje. Jednim od većih nedostataka sušenja raspršivanjem jest taj da je u formulacijama osušnim raspršivanjem sadržaj vlage u pravilu nešto veći od onog koji se tipično postiže liofilizacijom. Iz tog razloga moglo bi biti potrebno daljnje sekundarno sušenje vakuum sušenjem (Carpenter i Crowe, 1989; Pinto i sur., 2021).

Nekoliko je dobrih primjera u kojima se sušenje raspršivanjem pokazalo pouzdanom tehnologijom za obradu nusproizvoda bogatih proteinima (Tablica 3). Fermentacija ostatka od proizvodnje etanola iz melase i stabilizacija dobivenih enzima bile su temom istraživanja Zemolin i sur. (2012). Oni su koristili sušenje raspršivanjem za imobilizaciju inulinaze, pri čemu je imobilizirani enzim pokazao dobru termostabilnost i zadovoljavajuću aktivnost nakon imobilizacije. Krishnaiah Nithyanandam i Sarbatly (2013) koristili su sušenje raspršivanjem za inkapsulaciju proteina iz nusproizvoda prerade ribe (skuše). Nusproizvodi prerade skuše ekstrahirani su enzimski potpomognutom ekstrakcijom, a zatim podvrgnuti sušenju raspršivanjem kako bi se dobio stabilan koncentrat proteina ribe.

Tablica 3 Primjeri primjene sušenja raspršivanjem u obradi nusproizvoda bogatih proteinima

Vrsta nusproizvoda	Temperatura sušenja ulaz/izlaz (°C)	Karakteristike pojne smjese	Nosač	Referenca
Nusproizvod proizvodnje škroba iz riže	185/90	Udio suhe tvari: 25 %	Nije korišten	Zhao i sur., 2013
Nusproizvodi prerade ribe (skuša)	130/90	Protok: 1 – 2 mL/min	Nije korišten	Krishnaiah, Nithyanandam i Sarbatly, 2013
Nusproizvod prerade tune	180/75	Udio suhe tvari: 15 %	Maltodekstrin (9 DE)	Kanpairo i sur., 2012
Nusproizvodi prerade soma	130/72 – 75	Protok: 1 mL/min	Nije korišten	Sathivel, Yin i King, 2009
Nusproizvodi mesne industrije (goveđi jezik i iznutrice)	155/60 – 75	Udio suhe tvari: 10 % Protok: 6 mL/min	Maltodekstrin	Long i Mohan, 2021
Nusproizvodi prerade ribe (tilapija)	180 – 210/80 – 110	Udio suhe tvari: 35 % Protok: 6 mL/min	Maltodekstrin i kalcij karbonat	De Paris i sur., 2016

Kanpairo i sur. (2012) za proizvodnju arome tune u prahu koristili su vodu u kojoj je prije konzerviranja kuhana tuna. Slično kao i ostali nusproizvodi ribe, sok od prethodno kuhane tune bogat je proteinima i uljem te se odlikuje snažnom aromom tune. Tehnikom sušenja raspršivanjem proizveden je prah poželjnih fizikalnih i organoleptičkih svojstava, a autori su

predložili njegovu uporabu kao aromatskog i proteinskog dodatka u ribljim proizvodima. Nusproizvodi prerade soma još jednim su otpadom bogatim proteinima. Prah dobiven iz tog nusproizvoda imao je poželjna fizikalna svojstva, a bio je bogat esencijalnim aminokiselinama i mineralima (kalij, fosfor i kalcij).

Nusproizvodi prerade jaja također su bogati proteinima. Naime, iz ljuske jajeta mogu se dobiti membrane jaja, a zavisno od izvora, i prijanjajući sloj bjelanjka. Ti nusproizvodi bogati su visokovrijednim proteinima poput ovalbumina, ovotransferina, lizozima i drugih (Strelec, Ostojčić i Budžaki, 2021). Strohbahn, Etzel i Figgins (2009) patentirali su proizvodnju proteina membrane jaja, pri čemu je, kao metoda stabilizacije, predloženo sušenje raspršivanjem.

U posljednjih nekoliko godina povećala se potražnja za namirnicama visokog udjela proteina. Za proizvodnju visokoproteinskih prahova iz nusproizvoda prehrambene industrije najvažnije je razumijevati vezu između procesnih parametara i njihovog utjecaja na denaturaciju proteina. Praćenje kinetike sušenja i uporaba nosača može pomoći u racionalizaciji procesa sušenja, kao i u proizvodnji prahova što manjeg udjela denaturiranih proteina (Haque i Adhikari, 2015).

Sušenje raspršivanjem kao metoda za inkapsulaciju bioaktivnih spojeva iz nusproizvoda prehrambene industrije

Potreba za inkapsulacijom javlja se uglavnom zato što su bioaktivni spojevi hlapljiviji od vode, koja je tipično otapalo u mnogim tekućim proizvodima koji se suše raspršivanjem. Iz tog razloga ti se spojevi gube tijekom procesa sušenja, a posebice u početnom stadiju sušenja. Druga primjena inkapsulacije jest sprječavanje izlaganja okolišu osjetljivih spojeva inkapsuliranjem unutar matrice čestica nosača.

U osnovi, inkapsulacija uključuje miješanje sastojka hrane s nosačem koji se tijekom sušenja stvrdnjava i stvara inkapsulirajući matriks ili vanjski film koji okružuje bioaktivni spoj/spojeve. Nekoliko je metoda koje se mogu koristiti za mikroinkapsuliranje kao što su koacervacija, dvostruka emulzifikacija, ekstruzija te sušenje raspršivanjem. Za postupak inkapsulacije najvažniji je odabir prikladnog nosača. Voda je najčešće korištenim otapalom u prehrambenoj industriji pa se, stoga, obično koriste nosači topljivi u vodi. Tipični nosači koji se koriste jesu: ugljikohidrati, gume i proteini (Tablica 4), a pri odabiru nosača uvijek se daje prednost nosačima koji su netoksični i biorazgradivi, poput raznih derivata škroba, proteina i hidrokoloida (Gharsalloui i sur., 2007).

Tablica 4 Primjeri primjene sušenja raspršivanjem u inkapsulaciji bioaktivnih spojeva iz nusproizvoda prehrambene industrije

Vrsta nusproizvoda	Temperatura sušenja ulaz/izlaz (°C)	Karakteristike pojne smjese	Nosač	Inkapsulirani spoj(evi)	Referenca
Sjemenke manga	130 – 170/ 83 – 125	Udio suhe tvari: 10 % Protok: 25 g/min	Maltodekstrin, guma arabika, modificirani škrob	Fenolni spojevi	Lim i sur., 2019
Nusproizvodi prerade paprike (sjemenke, kože i stabljika)	185/103	Udio suhe tvari: 10 %	Guma arabika	Vitamin A i E	Romo-Hualde i sur., 2012
Komina duda	140 – 150/90	Udio suhe tvari: 0,67 m ³ /s Protok: 25 g/min	Maltodekstrin	Antocijani	Gültekin-Özgüven i sur., 2016
Nusproizvodi prerade ananasa	100 – 130/65	-	Maltodekstrin, guma arabika, modificirani škrob	Fenolni spojevi	De Ramos, Siacor i Taboada, 2019
Otpadna voda od prerade avokada	120 – 180/–	Protok: 3 – 11 g/min	Maltodekstrin, guma arabika, protein sirutke	Tokoferoli	Permal i sur., 2020
Nusproizvod proizvodnje čaja (prašina stolisnika)	135 – 140/75 – 80	Protok: 20,72 mg/ml and 21,81 mg/ml	Maltodekstrin	Eterično ulje i fenolni spojevi	Vladić i sur., 2015

Prema Shishir i Chen, (2017) nosači se mogu podijeliti u tri grupe:

1. škrob i njegovi derivati (kao što je maltodekstrin),
2. gume (guma arabika ili guma karaya),
3. celuloza i njeni derivati.

Maltodekstrin je hidrolizat škroba dobiven djelomičnom kiselinskom ili enzimskom hidrolizom škroba i najčešćim je nosačem u procesu sušenja raspršivanjem nusproizvoda prehrambene industrije. Maltodekstrin ima nekoliko važnih prednosti kao što su niska cijena, neutralan okus i miris, boja, topljivost u vodi te niska viskoznost pri visokim udjelima suhe

tvori. Osim toga, dobro štiti aromatične tvari od oksidacije, a koristi se i za smanjenje ljepljivosti i ostalih aglomeracijskih problema prilikom stvaranja praha (Gallegos–Infante i sur., 2013).

Iako ima izvrsna svojstva inkapsuliranja, maltodekstrin ima veliki nedostatak, a to je da ne posjeduje svojstva emulgiranja. Za inkapsulaciju hidrofobnih spojeva, poput nekih pigmenata, neophodan je korak emulgiranja. Emulgiranje može se izvesti emulgatorom ili biopolimerom koji posjeduje emulgirajuća svojstva kao što su arapska guma, modificirani škrob, sirutka i želatina (Assadpour i Jafari, 2019). Iz tog razloga neki autori predlažu kombinaciju maltodekstrina s različitim površinski aktivnim biopolimerima (Jafari i sur., 2008; Kalamara, Goula i Adamopoulos, 2015). Kalamara, Goula i Adamopoulos (2015) pokazali su da, za inkapsuliranje ulja sjemenki nara, komercijalna smjesa nosača (maltodekstrin/Tween) pokazuje najbolja svojstva inkapsulacije. Cheraghali i sur. (2018) proučavali su dodavanje različitih biopolimera maltodekstrinu kao nosaču, što je rezultiralo poboljšanim iskorištenjem sušenja i fizikalnim svojstvima mikrokapsula. Kombinacija škroba i arapske gume uspoređena je s maltodekstrinom u istraživanju (de Ramos, Siacor i Taboada, 2019) za inkapsulaciju bioaktivnih spojeva iz nusproizvoda prerade ananasa. Usprkos tomu što je dodatak škroba sprječavao prijanjanje kapljica na stijenke komore za sušenje, maltodekstrin i arapska guma pokazali su bolja svojstva, uključujući inkapsulacijski kapacitet i topljivost praha.

Kao rezultat inkapsulacije nastaju mikrokapsule (3 – 800 μm) ili nanokapsule ($< 1 \mu\text{m}$) ako se koristi *nano spray dryer* (Meena, Bairwa i Parashar, 2011). Razlozi za inkapsuliranje bioaktivnih spojeva višestruki su. Bioaktivni spojevi često su osjetljivi na povišenu temperaturu, izloženost svjetlosti i kisiku. Ponekad je pojedine bioaktivne spojeve potrebno izolirati od drugih spojeva u proizvodu kako bi se izbjegla njihova interakcija. Također, češće u farmaceutskim i kozmetičkim, a rjeđe u prehrambenim proizvodima potrebno je osigurati kontrolirano oslobađanje bioaktivnih spojeva u proizvodu ili organizmu. Prema Europskoj farmakopeji (Ph Eur, 8th Ed), kontroliranim otpuštanjem smatra se „promjena brzine ili mjesta oslobađanja aktivne tvari“. Postoje dvije glavne vrste kontroliranog otpuštanja: odgođeno i kontinuirano otpuštanje. Kod odgođenog otpuštanja aktivna tvar iz inkapsulirajuće matrice otpušta se na točno određenom mjestu, npr. promjenom pH, dok je kod kontinuiranog otpuštanja otpuštanje bioaktivne tvari konstantno kroz određeno vrijeme (Vinceković i sur., 2017).

Osim navedenih, inkapsulacija ima i još neke prednosti poput niskog aktiviteta vode, što osigurava mikrobiološku, fizikalnu i kemijsku stabilnost mikroinkapsuliranih spojeva, a može se koristiti i za postizanje poželjnih organoleptičkih svojstava jer nosač pomaže u maskiranju nepoželjnih mirisa i okusa. Također, kao i kod drugih primjena sušenja raspršivanjem, suhi oblik mikrokapsula omogućuje lakše rukovanje i prijevoz te niže troškove skladištenja i prijevoza (Ré, 1998; Assadpour i Jafari, 2019).

PRIMJENA PRAHOVA DOBIVENIH PRIMJENOM SUŠENJA RASPRŠIVANJEM IZ NUSPROIZVODA PREHRAMBENE INDUSTRIJE

Moguće primjene prahova dobivenih primjenom sušenja raspršivanjem iz nusproizvoda prehrambene industrije brojne su, ali uvjetovane prethodnom obradom nusproizvoda i njihovim kemijskim sastavom. Zbog visokog sadržaja bioaktivnih spojeva mnogi autori predlažu uporabu takvih proizvoda kao nutraceutika, dodataka prehrani i aditiva u hrani. Primjena prahova dobivenih iz nusproizvoda prehrambene industrije, kako u hrani tako i u izradi jestivih filmova, ima gospodarsku i ekonomsku dimenziju te dimenziju održivosti.

Primjena prahova dobivenih sušenjem raspršivanjem kao sastojaka hrane

Postoji tek nekoliko istraživanja u kojima je prah dobiven sušenjem raspršivanjem iz nusproizvoda izravno primijenjen u prehrambenom proizvodu. Acan i sur. (2020) koristili su osušenu melasu kao zamjenu za šećer u proizvodnji sladoleda. Zamjena šećera osušenom melasom rezultirala je promjenama u kvaliteti sladoleda, poput svojstava tečenja, senzornih i toplinskih svojstava, no te promjene bile su u granicama prihvatljivosti. Inkorporacija prahova iz nusproizvoda u sladoled bila je predmetom i drugog istraživanja koje su proveli Berktaş i Cam (2021), pri čemu je formulaciji sladoleda dodan hidrolat osušen raspršivanjem (nusproizvodi destilacije mente). Tim dodatkom povećana je antioksidativna aktivnost proizvoda bez promjena u organoleptičkim svojstvima.

Primjena prahova dobivenih iz komine bila je predmetom nekoliko publiciranih radova. Gültekin-Özgüven i sur. (2016) koristili su prah pulpe crnog duda (*Morus nigra*) za proizvodnju čokolade obogaćene antocijanima. Utvrđeno je povećanje bioraspoloživih antocijana u čokoladi, vjerojatno zbog stabilizacijskog i zaštitnog učinka nosača korištenog za vrijeme sušenja raspršivanjem. Naime, inkapsulacija bioaktivnih spojeva omogućava primjenu takvih spojeva u različitim granama prehrambene industrije u kojima procesiranje uključuje uporabu visokih temperatura (poput pekarske industrije). Bioaktivni spojevi, zaštićeni u inkapsulirajućem matriksu, ostaju zaštićeni tijekom izlaganja visokim temperaturama ili drugim utjecajima.

U nekim proizvodima nusproizvodi pozitivno su utjecali na trajnost i stabilnost proizvoda. U istraživanju Moemin i sur. (2015) ekstrakt sjemenki zrna manga osušen raspršivanjem inhibirao je oksidaciju lipida i produljio rok trajanja svježih goveđih kobasica s dva (2) na šest (6) dana, vjerojatno zbog visokog sadržaja flavonoida. U drugom istraživanju (Permal i sur., 2020) svinjskoj masti dodan je prah dobiven iz otpadne vode nastale pri preradi avokada. Visok sadržaj tokoferola inhibirao je peroksidaciju lipida u svinjskoj masti tijekom skladištenja. Dobiveni rezultati bili su usporedivi s komercijalnim konzervansima kao što su butilirani hidroksitoluen, butilirani hidroksianizol i natrijev eritorbat.

Sušenje raspršivanjem kao tehnika izravno transformira nusproizvod u sirovinu, a osim toga omogućava inkapsulaciju i stabilizaciju važnih bioaktivnih spojeva (kao što su vitamini i minerali) te je moguće modificirati njihovo oslobađanje u prehranbenim proizvodima. Romo-Hualde i sur. (2012) primijenili su superkričnu CO₂ ekstrakciju, a nakon toga sušenje raspršivanjem za proizvodnju praha bogatog vitaminom E i provitaminom A iz otpada crvene paprike. Prahovi bogati vitaminima ili mineralima poboljšane stabilnosti mogu se koristiti u raznim prehranbenim i farmaceutskim proizvodima.

Mogućnosti primjene prahova dobivenih sušenjem raspršivanjem kao aditiva u hrani ili nutraceutika

Kako je prikazano u prethodnom poglavlju, dosadašnje primjene prahova iz nusproizvoda prehrambene industrije prilično su ograničene, no mogućnosti su mnogo šire (Tablica 5). Posebice je široka mogućnost primjene u području aditiva, poput bojila, zgušnjivača/emulgatora i antioksidanasa.

Bojila se u prehranbenim proizvodima koriste za pojačavanje postojećih boja ili postizanje novih (Carocho, Morales i Ferreira, 2015). Nusproizvodi, poput onih koji potječu od prerade bobičastog voća (aronija i borovnica), soje i mrkve, bogati su pigmentima i prikladni kao izvor prirodnih bojila (Čujić-Nikolić i sur., 2019; Gültekin-Özgüven i sur., 2016; Ballesteros i sur., 2017; Kalušević i sur., 2017).

Također, mnogi su nusproizvodi prirodan izvor antioksidanasa i antimikrobnih spojeva. Takvi spojevi sprječavaju kvarenje, razgradnju hranjivih tvari i sprječavaju neugodne arome nastale oksidacijom masti u proizvodima. Polifenoli imaju sposobnost uklanjanja reaktivnih vrsta kisika i dušika te sprječavaju oksidativno oštećenje stanica. Kada se takvi spojevi inkorporiraju u prehranbeni proizvod, poboljšavaju hranjivu vrijednost i imaju pozitivne učinke na kvalitetu (boja, aroma, tekstura) proizvoda (Shofinita, Feng i Langris., 2015). Neki nusproizvodi stabilizirani primjenom sušenja raspršivanjem, poput nusproizvoda citrusa i maslina, pokazali su se bogatim izvorom polifenola (Shofinita, Feng i Langrish, 2015 2015; Chasekioglou i sur., 2017; Paini i sur., 2015).

Jednom od najvažnijih skupina bioaktivnih spojeva s antimikrobnim djelovanjem eterična su ulja. Kore citrusa i otpad iz industrije biljnih čajeva mogli bi poslužiti kao važan izvor tih bioaktivnih spojeva. Autori također navode da nusproizvodi iz prerade kadulje (Pavlić i sur., 2017) i orašastog voća (Cheraghali i sur., 2018), stabilizirani sušenjem raspršivanjem, pokazuju antimikrobna svojstva. Izvor spojeva s antimikrobnim djelovanjem ne mora nužno biti biljnog podrijetla. Najvažniji antimikrobni agens životinjskog podrijetla jest lizozim koji se može dobiti iz ljuske jajeta. Bioaktivni spojevi s antimikrobnim djelovanjem mogu se dodati ne samo prehranbenom proizvodu već i pakiranju. Na primjer, Bassania i sur. (2019) navode moguću primjenu ekstrakta kore naranče, osušenog raspršivanjem, kao aktivnog sastojka u pakiranju hrane.

Tablica 5 Primjeri mogućnosti primjene prahova iz nusproizvoda prehrambene industrije dobivenih sušenjem raspršivanjem kao aditiva (Izvor: Banožić i sur., 2021)

SKUPINA	PODSKUPINA	NUSPROIZVODI KAO POTENCIJALNI IZVOR	PREDNOSTI KOJE SE POSTIŽU SUŠENJEM RASPRŠIVANJEM
BOJILA	Karotenoidi	Nusproizvodi prerade voća i povrća	Poboljšana stabilnost, Jak intenzitet obojenja
	Antocijani	Nusproizvodi prerade grožđa, bobičastog voća, crvenog kupusa, batata i radiča	Poboljšana stabilnost, Jak intenzitet obojenja
	Likopen	Otpad prerade rajčice, lubenice, guave, ružičastih sorti grožđa	Poboljšana stabilnost, produljena trajnost tijekom skladištenja
	Betalaini	Nusproizvodi prerade cikle, blitve, amaranta i plodova kaktusa	Poboljšana stabilnost
ANTIOKSIDANSI I KONZERVANSI	Polifenoli	Nusproizvodi prerade maslina, kore citrusa, nusproizvodi prerade čaja, ljuske oraha i ploda kave, sjemenke manga	Produljenje roka trajanja proizvoda, sprječavanje oksidacije lipida
	Vitamini	Kore citrusa, drugi nusproizvodi prerade voća i povrća (komina i pulpa)	Poboljšana stabilnost, kontrolirano otpuštanje
	Pigmenti	Nusproizvodi prerade borovnice, aronije, nusproizvodi industrije ribe	Poboljšana stabilnost, kontrolirano otpuštanje, stabilnost tijekom skladištenja
	Konzervansi i tvari s antimikrobnim učinkom	Ljuske jaja, biljna prašina, nusproizvodi industrije začina, kora citrusa	Poboljšana stabilnost, kontrolirano otpuštanje, stabilnost proizvoda pri skladištenju
POBOLJŠIVAČI OKUSA	Hlapljivi aromatični spojevi	Kore citrusa, nusproizvodi prerade paprike, nusproizvodi prerade ribe i škampa, iskorištena zrna kave i kakao ljuska	Dobro zadržavanje hlapljivih spojeva, kontrolirano otpuštanje
	Masti	Različite sjemenke	Smanjena oksidacija ulja i stabilnost tijekom skladištenja
	Zaslađivači	Neki nusproizvodi prerade bilja (stevija, sladić). Otpad prerade šećerne trske i repe.	Maskiranje nepoželjne arome, produljena stabilnost
ZGUŠNIVAČI I EMULGATORI	Sredstva za želiranje i zgušnjivači	Različite sjemenke	Prikrivanje nepoželjnog okusa i mirisa, poboljšana tekstura proizvoda
	Emulgatori	Nusproizvodi industrije ribe, ljuske jaja, nusproizvodi prerade ribe	Prikrivanje nepoželjnog okusa i mirisa, produljena stabilnost proizvoda, smanjena oksidacija lipida

Spojevi koji se koriste kao arome u proizvodnji hrane mogu biti prirodnog ili sintetskog podrijetla. Arome u prahu proizvode se najčešće upravo sušenjem raspršivanjem. U današnje vrijeme za inkapsulaciju aroma uobičajeno se koriste složeni sustavi dvaju ili više nosača koji osiguravaju zadržavanje aromatičnih spojeva, posebice hlapljivih spojeva (Branen i sur., 2002).

Prahovi nusproizvoda prehrambene industrije mogu se koristiti za modifikaciju teksture prehrambenih proizvoda te tako služiti kao emulgatori, stabilizatori, zgušnjivači i sredstva za povećanje volumena (Branen, 2002). Nusproizvodi poput kora, ljuski i sjemenki mogu se koristiti za poboljšanje teksture prehrambenih proizvoda zbog visokog sadržaja pektina i vlakana. Nusproizvodi prerade voća (pulpa, komina i kora) iznimno su poznatim izvorom dijetalnih vlakana. Korištenje dijetalnih vlakana u svakodnevnoj prehrani može pomoći u prevenciji i liječenju brojnih bolesti, uključujući dijabetes te gastrointestinalne i kardiovaskularne bolesti, a imaju mnoga funkcionalna i tehnološka svojstva kao što je želiranje (Kaderides i Goula, 2017). Također, neki autori navode da su nusproizvodi prerade ribe, otpad iz prerade jaja i šećerne trske, stabilizirani sušenjem raspršivanjem, dobrim emulgatorima.

ZAKLJUČAK

Održivo iskorištavanje prirodnih resursa, smanjenje nakupljanja otpada i zaštita okoliša predstavljaju izazove suvremenog svijeta. Kako bi ih pomogla prevladati, znanstvena zajednica aktivno radi na mogućnostima iskorištenja nusproizvoda na različite načine, što potiče tržišnu konkurentnost i povećava paletu prehrambenih proizvoda.

S obzirom na neujednačenost kemijskog profila nusproizvoda i karakteristika, kao što su udio i sastav bioaktivnih spojeva, nije moguće primijeniti jedinstvene procesne parametre za optimalnu valorizaciju otpada tom tehnikom. Ipak, pravilnim odabirom procesnih parametara i nosača, moguće je stabilizirati i prevesti nusproizvode prehrambene industrije u visokovrijedne sirovine/proizvode.

ZAHVALA

Ovaj rad sufinancirala je Hrvatska zaklada za znanost projektom „Primjena inovativnih tehnika ekstrakcije bioaktivnih komponenti iz nusproizvoda biljnoga podrijetla“ (UIP-2017-05-9909). Također, zahvaljujemo Vladi RH i Europskoj uniji (Europski fond za regionalni razvoj – Operativni program za konkurentnost i koheziju – KK.01.1.1.02.0010) na financiranju ovog rada kroz projekt Tehnološko-inovacijski centar Virovitica (KK.01.1.1.02.0010), dodijeljen Tehnološko-inovacijskom centru Virovitica.

LITERATURA

Acan BG, Toker OS, Aktar T, Tamturk F, Palabiyik I, Konar N (2020) Using spray-dried sugar beet molasses in ice cream as a novel bulking agent. *International Journal of Food Science and Technology*, **55**:1298–1310.

Anandharamakrishnan C (2008) Experimental and computational fluid dynamics studies on spray-freeze-drying and spray-drying of proteins. *Ph.D. thesis*, Loughborough University.

Ashokkumar M, Lee J, Zisu B, Bhaskaracharya R, Palmer M, Kentish S (2009) Sonication increases the heat stability of whey proteins. *Journal of Dairy Science*, **92**:5353–5356.

Assadpour E, Jafari SM (2019) Advances in spray-drying encapsulation of food bioactive ingredients: From microcapsules to nanocapsules. *Annual review of food science and technology*, **10**:103-131.

Bajić B, Dodić J, Rončević Z, Grahovac J, Dodić S, Vučurović D, Tadijan I (2014) Biosynthesis of xanthan gum on wastewater from confectionary industry. *Analecta Technica Szegedinensia*, **8**:13–17.

Ballesteros LF, Ramirez MJ, Orrego CE, Teixeira JA, Mussatto SI (2017) Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. *Food Chemistry*, **237**:623–631.

Banožić M, Vladić J, Banjari I, Velić D, Aladić K, Jokić S (2021) Spray drying as a method of choice for obtaining high quality products from food wastes—a review. *Food Reviews International*, 1-33.

Bassania A, Montes S, Jubeteb E, Palenzuela J, Peñas Sanjuánc A, Spigno G. (2019) Incorporation of waste orange peels extracts into PLA films. *Chemical engineering transactions*, **74**:2283-9216.

Berktaş S, Cam M (2021) Peppermint leaves hydrodistillation by-products: bioactive properties and incorporation into ice cream formulations. *Journal of Food Science and Technology*, **58**:4282–4293.

Bhandari BR, Datta N, Howes T (1997) Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology*, **15**:671–684.

Branen AL, Davidson PM, Salminen S, Thorngate JH (2002) *Food Additives*, Marcel Dekker, Inc. New York, USA, 349-409.

Carić M, Gregurek L (2003) Retrospektiva razvoja tehnologije koncentriranih i sušenih mliječnih proizvoda. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, **53**: 293–307.

Carocho M, Morales P, Ferreira ICFR (2015) Natural food additives: Quo vadis? *Trends in Food Science & Technology*, **45**:284–295.

Carpenter JF, Crowe JH (1989) An infrared spectroscopic study of the interactions of carbohydrates with dried proteins. *Biochemistry*, **28**:3916–3922.

Chasekioglou AN, Goula AM, Adamopoulos KG, Lazarides HN (2017) An approach to turn olive mill wastewater into a valuable food by-product based on spray drying in dehumidified air using drying aids. *Powder Technology*, **311**:376–389.

Chen BH, Tang YC (1998) Processing and stability of carotenoid powder from carrot pulp waste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **46**:2312–2318.

Cheraghali F, Shojaee-Aliabadi S, Hosseini SM, Mirmoghtadaie L (2018) Preparation and characterization of maltodextrin microcapsules containing walnut green husk extract. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, **12**:312-315.

Council of Europe. European Pharmacopoeia. 6th ed. Strasbourg: Council of Europe; 2013.

Ćujić-Nikolić N, Stanisavljević N, Šavikin K, Kalušević A, Nedović VR, Samardžić J, Janković T (2019) Chokeberry polyphenols preservation using spray drying: effect of encapsulation using maltodextrin and skimmed milk on their recovery following *in vitro* digestion. *Journal of Microencapsulation*, **36**:693-703.

da Costa JMG, Silva EK, Hijo AACT, Azevedo VM, Malta MR, Alves JGLF, Borges SV (2015) Microencapsulation of Swiss cheese bioaroma by spray-drying: Process optimization and characterization of particles. *Powder Technology*, **274**:296–304.

De Paris LD, Adams Haab JC, Sary C, Bernardi DM, Boscolo WR, Signor A (2016) Production and spray drying of protein hydrolyzate obtained from tilapia processing by-products. *Acta Scientiarum Technology*, **38**:89.

De Ramos RMQ, Siacor FDC, Taboada EB (2019) Effect of maltodextrin content and inlet temperature on the powder qualities of spray-dried pineapple (*Ananas comosus*) waste extract. *Waste and Biomass Valorization*, **11**:3247-3255.

Deis RC (1997) Spray-drying innovative use of an old process. *Food Product Design*, **7**:97–113.

Dogbe ES, Mandegari M, Görgens JF (2020) Revitalizing the sugarcane industry by adding value to A-molasses in biorefineries. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, **14**:1089–1104.

Echegaray N, Centeno JA, Carballo J (2019) Dairy by-products as source of high added value compounds: conventional and innovative extraction methods. *U: Green Extraction and Valorization of by-Products from Food Processing* (Barba FJ, Soto ER, Brncic M, J Rodriguez JML, ur). CRC Press., Boca Raton, Florida, SAD, str. 23-54.

Fernandes BS, Vieira JPF, Contesini FJ, Mantelatto PE, Zaiat M, Pradella JG (2017) High value added lipids produced by microorganisms: a potential use of sugarcane vinasse. *Critical Reviews in Biotechnology*, **37**:1048–1061.

- Gajendragadkar CN, Gogate PR (2016) Intensified recovery of valuable products from whey by use of ultrasound in processing steps – A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, **32**:102–118.
- Gallegos-Infante JA, Rocha-Guzmán NE, González-Laredo RF, Medina-Torres L, Gomez-Aldapa CA, Ochoa-Martínez LA, Martínez-Sánchez CE, Hernández-Santos B, Rodríguez-Ramírez J (2013) Physicochemical properties and antioxidant capacity of oak (*Quercus resinosa*) leaf infusions encapsulated by spray – drying. *Food Bioscience*, **2**:31-38.
- Gharsallaoui A, Roudaut G, Chambin A, Voilley O, Saurel R (2007) Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, **40**:1107–1121.
- Gültekin-Özgüven M, Karadag A, Duman S, Özkal B, Özçelik B (2016) Fortification of dark chocolate with spray dried black mulberry (*Morus nigra*) waste extract encapsulated in chitosan-coated liposomes and bioaccessability studies. *Food Chemistry*, **201**:205-212.
- Haque MA, Adhikari B (2015) Drying and denaturation of proteins in spray drying process. *Handbook of industrial drying*, **33**:971-985.
- Holanda LR, Ramos FS (2016) reuse of waste sugarcane agribusiness and green power generation. *Journal of Clean Energy Technologies*, **4**:341-345.
- Jafari SM, Assadpoor E, He Y, Bhandari B (2008) Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology*, **26**:816-835.
- Jokić S, Nastić N, Vidović S, Flanjak I, Aladić K, Vladić J (2020) An approach to value cocoa bean by-product based on subcritical water extraction and spray drying using different carriers. *Sustainability*, **12**:2174.
- Kaderides AM, Goula AM (2017) Development and characterization of a new encapsulating agent from orange juice by-products. *Food Research International*, **100**:612–622.
- Kalamara E, Goula AM, Adamopoulos KG (2015) An integrated process for utilization of pomegranate wastes - seeds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **27**:144–153.
- Kalušević A, Lević S, Čalija B, Pantić M, Belović M, Pavlović V, Bugarski B, Milić J, Žilić S, Nedović V (2017) Microencapsulation of anthocyanin-rich black soybean coat extract by spray drying using maltodextrin, gum Arabic and skimmed milk powder. *Journal of Microencapsulation*, **34**:475-487.
- Kamthai S, Magaraphan R (2017) Mechanical and barrier properties of spray dried carboxymethyl cellulose (CMC) film from bleached bagasse pulp. *Industrial Crops and Products*, **109**:753–761.

- Krishnaiah D, Nithyanandam R, Sarbatly RA (2013) Critical review on the spray drying of fruit extract: effect of additives on physicochemical properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **54**:449–473.
- Lim KJA, Cabajar AA, Migallos MKV, Lobarbio CFY, Taboada EB (2019) Microencapsulation of phenolic compounds from waste mango seed kernel extract by spray drying technology. *Nature Environment and Pollution Technology*, **18**:765-775.
- Long JM, Mohan A (2021) Development of meat powder from beef byproduct as value-added food ingredient. *LWT- Food Science and Technology*, **146**:111460.
- McHugh (2018) The Significance of Spray-Drying. *Food Technology Magazine* <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technologymagazine/issues/2018/april/columns/processing-spray-drying-in-the-food-industry>
- Meena KS, Bairwa NK, Parashar B (2011) Formulation and in vitro evaluation of verapamil hydrochloride loaded microcapsule using different polymer. *Asian Journal of Biochemical and Pharmaceutical Research*, **1**:528-538.
- Messa LL, Faez R (2020) Spray-dried chitosan/nanocellulose microparticles: synergistic effects for the sustained release of NPK fertilizer. *Cellulose*, **27**:10077–10093.
- Michael JK (1993) Spray drying and spray congealing of pharmaceuticals. U: *Encyclopedia of pharmaceutical technology*. Marcel Dekker INC, New York, SAD, 207-221.
- Moemin RA (2015) Does spray mango kernel (*Mangifera indica* L.) prolong the shelf life of beef sausages?. *Journal of Food Research*, **4**:118-127.
- Morin P, Jimenez-Flores R, Pouliot Y (2007) Effect of processing on the composition and microstructure of buttermilk and its milk fat globule membranes. *International Dairy Journal*, **17**:1179–1187.
- Mujumdar AS (1995) *Handbook of Industrial Drying*. 2nd ed, Marcel Dekker Inc., New York, Basel, Hong Kong.
- Niro AS (2003) US Patent Application (published at US 2003/0196957), International Patent Application (WO 03/086091).
- Oldfield DJ, Taylor MW, Singh H. (2005) Effect of preheating and other process parameters on whey proteins reactions during skim milk powder manufacture. *International Dairy Journal*, **15**:501–511.
- Padma Ishwarya S, Anandharamakrishnan C (2017) *Spray Drying. Handbook of Drying for Dairy Products*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, SAD, 57–94.

- Paini M, Aliakbarian B, Casazza AA, Lagazzo A, Botter R, Perego P (2015) Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: A study of operative parameters. *LWT - Food Science and Technology*, **68**: 1-10
- Park CW, Bastian E, Farkas B, Drake M (2014) The effect of feed solids concentration and inlet temperature on the flavor of spray dried whey protein concentrate. *Journal of food science*, **79**:C19-C24.
- Patel RP, Patel MP, Suthar AM (2009) Spray drying technology: an overview. *Indian Journal of Science and Technology* **2**:44-47.
- Pavlič B, Teslić N, Vidaković A, Vidović S, Velićanski A, Versari A, Zeković Z (2017) Sage processing from by-product to high quality powder: I. Bioactive potential. *Industrial Crops and Products*, **107**:81–89.
- Permal R, Chang WL, Chen T, Seale B, Hamid N, Kam R (2020) Optimising the spray drying of avocado wastewater and use of the powder as a food preservative for preventing lipid peroxidation. *Foods*, **9**:1187.
- Pinto JT, Faulhammer E, Dieplinger J, Dekner M, Makert C, Nieder M, Paudel A (2021) Progress in spray-drying of protein pharmaceuticals: Literature analysis of trends in formulation and process attributes. *Drying Technology*, **39**:1415-1446.
- Pisecký J (2005). Spray drying in the cheese industry. *International Dairy Journal*, **15**:6-9.
- Ré MI (1998) Microencapsulation by spray drying. *Drying Technology: An International Journal*, **16**:1195-1236
- Romo-Hualde A, Yetano-Cunchillos AI, González-Ferrero C, Sáiz-Abajo MJ, González-Navarro CJ (2012) Supercritical fluid extraction and microencapsulation of bioactive compounds from red pepper (*Capsicum annum* L.) by-products. *Food Chemistry*, **133**:1045-1049.
- Santos D, Maurício AC, Sencadas V, Santos JD, Fernandes MH, Gomes PS (2018) Spray Drying: An Overview. *Biomaterials - Physics and Chemistry - New Edition*. IntechOpen, London, UK.
- Santos F, Eichler P, Machado G, De Mattia J, De Souza G. (2020) By-products of the sugarcane industry. *Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives*. Academic Press; 1st edition, Cambridge, Massachusetts, SAD. str. 21–48.
- Sathivel S, Yin H, King BJM (2009) Physical and nutritional properties of catfish roe spray dried protein powder and its application in an emulsion system. *Journal of Food Engineering*, **95**:76–81.
- Schuck P, Jeantet R, Bhandari B, Chen XD, Perrone ÍT, de Carvalho AF, Kelly P (2016) Recent advances in spray drying relevant to the dairy industry: A comprehensive critical review. *Drying technology*, **34**:1773–1790.

Shishir MRI, Chen W (2017) Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science and Technology*, **65**:49-67.

Shofinita D, Feng SM, Langrish TAG (2015) Comparing yields from the extraction of different citrus peels and spray drying of the extracts. *Advanced Powder Technology*, **26**:1633–1638.

Sobulska M, Zbicinski I (2021) Advances in spray drying of sugar-rich products. *Drying Technology*, **39**:1774-1799.

Stout MA, Park CW, Drake MA (2017) The effect of bleaching agents on the degradation of vitamins and carotenoids in spray-dried whey protein concentrate. *Journal of Dairy Science*, **100**:7922-7932.

Strelec I, Ostojčić M, Budžaki S (2021) Transformacija ljuske kokošnjih jaja u proizvode dodane vrijednosti U: *Neke mogućnosti iskorištenja nusproizvoda prehrambene industrije - Knjiga 3* (Šubarić, D, Miličević B ur.) Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Veleučilište u Požegi, Osijek i Požega, str. 303-327.

Strohbehn RE, Etzel LR, Figgins JI (2009) Solubilized protein composition other publications obtained from eggshell membrane, United States Patent (10) Patent No.: US 8,211,477 B2

Vidović S, Vladić J, Vaštag ŽG, Zeković Z, Popović LJ (2014) Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in *Satureja montana* dry powder extract obtained by spray drying technique. *Powder Technology*, **258**:209–215.

Vinceković M, Viskić M, Jurić S, Giacometti J, Kovačević DB, Putnik P, Donside F, Barba FJ, Jambrak AR (2017) Innovative technologies for encapsulation of Mediterranean plants extracts. *Trends in Food Science & Technology*, **69**:1-12.

Vladić J, Ambrus R, Szabó-Révész P, Vasić A, Cvejina A, Pavlić B, Vidovic S (2015) Recycling of filter tea industry by-products: Production of *A. millefolium* powder using spray drying technique. *Industrial Crops and Products*, **80**:197-206.

Waterhouse GIN, Sun-Waterhouse D, Su G (2017) Spray-drying of antioxidant-rich blueberry waste extracts; interplay between waste pretreatments and spray-drying process. *Food and Bioprocess Technology*, **10**:1074–1092.

Whitson M, Miracle RE, Bastian E, Drake MA (2011) Effect of liquid retentate storage on flavor of spray-dried whey protein concentrate and isolate. *Journal of Dairy Science*, **94**:3747–3760.

Woo MW, Bhandari B (2013) Spray drying for food powder production U: *Handbook of Food Powders* (Bhandari B, Bansal N, Zhang M, Schuck P, ur.) Woodhead Publishin, Sawston, Cambridge, UK, str. 29–56.

Zemolin GP, Gazoni M, Zobot GL, Golunski SM, Astolfi V, Prá VD, Mazutti MA M (2012) Immobilization of inulinase obtained by solid-state fermentation using spray-drying technology. *Biocatalysis and Biotransformation*, **30**:409–416.

Zhao Q, Xiong H, Selomulya C, Chen XD, Huang S, Ruan X, Zhou Q, Sun W (2013) Effects of spray drying and freeze drying on the properties of protein isolate from rice dreg protein. *Food and Bioprocess Technology*, **6**:1759–1769.