

Analogni sirevi

Jelenić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:159:639652>

Rights / Prava: [Attribution-NoDerivatives 4.0 International](#)/[Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija

Luka Jelenić

7439/PT

ANALOGNI SIREVI

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Kemija i tehnologija mlijeka i mliječnih proizvoda

Mentor: doc. dr. sc. Katarina Lisak Jakopović

Zagreb, 2021.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija

Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo

Laboratorij za tehnologiju mlijeka i mliječnih proizvoda

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Analogni sirevi

Luka Jelenić, 7439/PT

Sažetak: Analogni sirevi su homogene smjese slične siru dobivene miješanjem vode, ulja ili masti, proteina, emulgirajućih soli i ostalih sastojaka pod utjecajem topline i mehaničke obrade. Prodaja i potražnja za analognim sirevima usko je povezana sa razvojem industrijske proizvodnje gotove i polugotove hrane, a potražnju povećava i interes potrošača za prehrambenim proizvodima s manjim sadržajem zasićenih masti, kolesterola i nižom kalorijskom vrijednosti. Prema sastavu analogni sirevi mogu se klasificirati kao mliječni, djelomično mliječni ili bezmliječni, ovisno o tome jesu li njihove masne i/ili proteinske komponente mliječnog ili biljnog porijekla. Ovaj rad temeljem dostupne relevantne literature daje kratki pregled sastava, vrsta, karakteristika, nutritivnih vrijednosti, primjene te načina proizvodnje analognih sireva, kao i pregled novih spoznaja o analognim sirevima.

Ključne riječi: analogni sir, kazein, nutritivna vrijednost, proizvodnja analognih sireva, sastav analognih sireva

Rad sadrži: 22 stranice, 3 slike, 4 tablice, 10 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: doc. dr. sc. Katarina Lisak Jakopović

Pomoć pri izradi: -

Datum obrane:

BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

University of Zagreb

Faculty of Food Technology and Biotechnology

University undergraduate study Food technology

Department of Food Engineering

Laboratory for Technology of Milk and Milk Products

Scientific area: Biotechnical Sciences

Scientific field: Food technology

Cheese analogues

Luka Jelenić, 7439/PT

Abstract: Analogue cheeses are homogeneous cheese-like mixtures obtained by mixing water, oil or fat, protein, emulsifying salts and other ingredients under the influence of heat and mechanical processing. Sale and demand for analogue cheeses are closely linked to the development of industrial production of ready-made and semi-finished foods. Demand is also increased by consumers' interest in food products with lower content of saturated fats, cholesterol and lower caloric value. According to their composition, analogue cheeses can be classified as dairy, partially dairy or non-dairy, depending on whether their fatty and/or protein components are of dairy or vegetable origin. Based on the available relevant literature, this paper provides a brief overview of the composition, types, characteristics, nutritional values, applications, methods of production of analogue cheeses, as well as an overview of new scientific knowledge about analogue cheeses.

Keywords: analogue cheese, casein, nutritional value, composition and production of analogue cheeses

Thesis contains: 22 pages, 3 figures, 4 tables, 10 references

Original in: Croatian

Thesis is in printed and electronic form deposited in the library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10000 Zagreb

Mentor: PhD. Katarina Lisak Jakopović, assistant professor

Technical support and assistance: -

Defence date:

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Sastav, vrste i karakteristike analognih sireva	3
2.1. Sastav analognih sireva	3
2.1.1. Voda	5
2.1.2. Proteini	5
2.1.3. Masti	6
2.1.4. Škrob	8
2.1.5. Hidrokoloidi	9
2.1.6. Emulgirajuće soli	9
2.1.7. Inulin	9
2.1.8. Regulatori kiselosti	10
2.1.9. Konzervansi	10
2.1.10. Ostali dodatci	10
2.2. Vrste i karakteristike analognih sireva	11
2.3. Usporedba nutritivnih vrijednosti analognih sireva i mliječnih sireva	14
3. Tehnološki proces proizvodnje	15
4. Nove spoznaje u proizvodnji analognih sireva	18
5. Zaključak	20
6. Popis literature	22

1. Uvod

Analogni sirevi su homogene smjese slične siru dobivene miješanjem vode, ulja ili masti, proteina, emulgirajućih soli i ostalih sastojaka pod utjecajem topline i mehaničke obrade. Analogni sirevi se mogu koristiti izravno, prilikom svakodnevne konzumacije hrane, a najčešće se koriste neizravno i to kao sastojci gotove i polugotove hrane (Masotti i sur., 2018).

Porast proizvodnje gotove hrane u zadnjih nekoliko desetljeća rezultirao je i povećanom potražnjom za sirom kao njezinim bitnim sastojkom. Ribani sir, kockice sira, sirni listići kao i tekući sir proizvode se kako bi zadovoljili potrebe moderne industrije hrane, obzirom na sve veću potražnju za gotovom i polugotovom hranom. Prodaja i potražnja za analognim sirevima usko je povezana upravo sa razvojem industrijske proizvodnje gotove i polugotove hrane. Isto tako, na taj način je omogućena bolja dostupnost analognih sireva kao sirovine u proizvodnji gotove hrane, a cijena krajnjeg proizvoda je niža. Osim toga, navedeno je motivirano i interesom potrošača za prehrambenim proizvodima koji sadrže manje zasićenih masti, kolesterola i imaju manju kalorijskom vrijednosti (Bachmann, 2001).

Analogni sirevi sve više dobivaju na važnosti zbog više razloga. Jedan od razloga je porast cijene sireva koji su nedostupni ljudima slabijeg ekonomskog statusa, zbog čega proizvodnja analognih sireva u kojima se skuplji mliječni sastojci zamjenjuju jeftinijim biljnim sastojcima, može predstavljati rješenje ovog ekonomskog problema. Sljedeći razlog je nedostatna proizvodnja mlijeka u nekim dijelovima svijeta i povećani interes za korištenje sastojaka biljnog podrijetla u proizvodnji zamjenskih mliječnih proizvoda. U zemljama u razvoju gdje se mliječni proizvodi ne proizvode u dovoljnim količinama i skupi su, alternativno se koriste nutritivno vrijedni zamjenski proizvodi dobiveni od mahunarki (primjerice soja) (Bachmann, 2001). Također, razlog je i povećani interes potrošača za prehrambenim proizvodima s manjim sadržajem zasićenih masti, kolesterola i nižom kalorijskom vrijednosti koji su korisni pri kontroli tjelesne težine i prevenciji rizika nastajanja bolesti srca i krvnih žila.

Analogni sirevi počeli su se značajnije proizvoditi početkom 1970-tih godina u Sjedinjenim američkim državama (SAD), a glavna svrha njihove proizvodnje je dobivanje jeftinijih zamjena za sir za potrebe industrijske proizvodnje hrane i primjene u ugostiteljstvu. Analogni sirevi primjenjuju se na zamrznutim *pizzama*, kao sirni listići u *cheeseburgerima*, kao sastojci raznih salata, sendviča, kao sirni umaci ili u brojnim gotovim jelima. Iako se analogni sirevi proizvode i u Europi (40-60 000 tona godišnje), SAD prednjači u njihovoj proizvodnji sa godišnjom proizvodnjom koja premašuje 300 000 tona (Guinee, 2016).

Cilj ovog završnog rada bio je temeljem dostupne relevantne literature dati kratki pregled, sastava, vrste, karakteristika, prehrambenih i nutritivnih vrijednosti, primjene i načina proizvodnje analognih sireva, kao i pregled novih spoznaja o analognim sirevima.

2. Sastav, vrste i karakteristike analognih sireva

Prema sastavu analogni sirevi mogu se klasificirati kao mliječni, djelomično mliječni ili bezmliječni sirevi ovisno o tome jesu li njihove masne i/ili proteinske komponente mliječnog ili biljnog porijekla. Mliječni analogni sirevi proizvode se upotrebom mliječnih proteina i mliječne masti. Djelomično mliječni analogni sirevi proizvode se upotrebom mliječnih proteina i biljnih ulja. Bez mliječni analogni sirevi proizvode se upotrebom isključivo biljnih ulja i biljnih proteina.

Također, ovisno o nutritivnom statusu, analogni sirevi mogu se klasificirati kao imitacije ili zamjenski sirevi. Analogni sir smatra se imitacijom pravog sira ako zamjenjuje i sličan je pravom siru, no nutritivno mu je inferioran, a zamjenskim sirom se smatra ako zamjenjuje i sličan je pravome siru, ali mu nije nutritivno inferioran. Pod nutritivnom inferiornošću podrazumijeva se smanjena količina mjerljivih esencijalnih nutrijenata, ali ne i smanjena kalorijska vrijednost i količina masti (Guinee, 2016).

2.1. Sastav analognih sireva

Analogni sirevi su u osnovi emulzije jestivog ulja ili masti u vodenoj otopini proteinske faze s proteinskom komponentom koja stabilizira emulziju i doprinosi strukturi sira. Proteinska komponenta stabilizira emulziju ulja u vodi reduciranjem međufazne napetosti na granici vodene faze i uljnih kapljica te povećavanjem viskoznosti vodene faze čime se smanjuje frekvencija sudaranja uljnih kapljica (Ennis i Mulvihill, 1999).

Sastav analognog sira, kao i omjer njegovih sastojaka određuje njegovu teksturu pa tako utječe i na buduću primjenu tog sira. Popis sastojaka koji ulaze u sastav analognih sireva kao i pregled njihovih funkcija u teksturi i karakteristikama analognih sireva sumarno su prikazane u tablici 1 (Guinee, 2016).

Tablica 1. Popis sastojaka i njihova funkcija u teksturi i karakteristikama analognog sira (Guinee, 2016).

Sastojci	Funkcija	Primjer
Masti	daju željenu konzistenciju, teksturu i topljivost sireva; mliječna mast daje mliječni okus	maslac, bezvodna mliječna mast, prirodno ili djelomično hidrogenirano sojino ulje, kukuruzno ulje, palmino ulje
Mliječni proteini	daju željenu konzistenciju, polutvrdu teksturu, tečnost i rastezljivost	kazein, kazeinati, proteini sirutke

	prilikom zagrijavanja; pomažu u formiranju stabilnog proizvoda	
Biljni proteini	daju željenu konzistenciju, jeftiniji su od kazeina, no rijetko kad se koriste komercijalno zbog brojnih nedostataka	protein soje, protein kikirikija, pšenični gluten
Škrob	zamjena za kazein i ušteda u cijeni	prirodne i modificirane forme škroba kukuruza, riže i krumpira
Emulgirajuće soli	pomažu u formiranju stabilnog proizvoda; djeluju na teksturu i funkcionalne osobine sira	natrij fosfat i natrij citrat
Hidrokoloidi	poboljšavaju stabilnost proizvoda; djeluju na teksturu i funkcionalne osobine sira	guar guma, ksantan guma, karagenan
Regulatori kiselosti	reguliraju pH konačnog proizvoda	organske kiseline npr. mliječna, octena, limunska, fosforna
Arome i pojačivači okusa	poboljšavaju okus i aromu	enzimi, ekstrakti dima
Zaslađivači	dodaju slatkoću, ponajviše u proizvodima namijenjenim za malu djecu	sukroza, dekstroza, kukuruzni sirup, hidroliziran škrob, hidrolizirana laktoza
Boje	dodaju željenu boju	anato, paprika, umjetna bojila
Konzervansi	usporavaju rast plijesni, produljuju rok trajanja	nizin, kalijev sorbat, kalcijev/natrijev propionat
Mineralne tvari i vitamini	poboljšavaju nutritivnu vrijednost	magnezijev oksid, cinkov oksid, željezo, vitamin A, riboflavin, tiamin, folna kiselina

Tako primjerice veći sadržaj vode unutar proteinske strukture povećava elastičnost i smanjuje lomljivost, veći udio masnoće povećava mekoću sira, kao i njegovu kohezivnost i adhezivnost, ali smanjuje elastičnost. Povećanje udjela limunske kiseline ili natrij klorida smanjuje kohezivnost i elastičnost, a povećava tvrdoću analognog sira (Bachmann, 2001).

2.1.1. Voda

Voda je najzastupljeniji sastojak analognih sireva s prosječnim udjelom 48-52 %. Konačna vlažnost produkta ovisi ne samo o vodi kao sastojku, već i o kondenziranoj vlazi koja se stvara u mješavini kao posljedica kuhanja direktnim ubrizgavanjem vruće pare.

Voda je neophodna za otapanje emulgirajućih soli, hidrataciju proteina te za otapanje drugih sastojaka. Učinak vode se očituje u smanjenju tvrdoće i povećavanju topivosti analognih sireva. Voda je od ključne važnosti u industrijskoj proizvodnji analognih sireva kao otapalo za visoko-proteinske mliječne prahove. Prilikom miješanja sastojaka, voda pomaže u otapanju emulgirajućih soli, što rezultira boljom kelacijom kalcija, poremećajem strukturalne cjelovitosti kazeina i njegovom posljedičnom topljivošću. U završnom postupku hlađenja u postupku proizvodnje, „zarobljene“ molekule vode podržavaju plastifikaciju i povećavaju osjetljivost proteinske matrice na lomljenje prilikom kompresije (Massoti i sur., 2018). Zamijećeno je da visoka hidratacija proteina povećava njihovu emulgirajuću sposobnost, čime se omogućava formiranje veće uljne površine i konačno povećava stabilnost dispergirane uljne faze u sirnom matriksu, međutim prevelika hidratacija proteina nije poželjna jer može dovesti do fenomena prevelike emulzificiranosti zbog kojeg analogni sirevi pokazuju slabiju topivost i smanjenju tečnost prilikom zagrijavanja (Ennis i Mulvihill, 1999).

2.1.2. Proteini

Glavni izvor proteina u mliječnim analognim sirevima je kazein, a uobičajeno se koristi slatki kazein ili kazeinati, ovisno o željnim karakteristikama konačnog proizvoda (Guinee, 2016). Kazein se dobiva koagulacijom obranog mlijeka i/ili drugih proizvoda dobivenih iz mlijeka koja se inducira selektivnom hidrolizom κ - kazeina pomoću sirila ili drugih enzima za zgrušavanje čime nastaje slatki kazein ili pak podešavanjem pH kazeina na izoelektričnu točku (pH 4,6) čime nastaje kiseli kazein. Nakon koagulacije i odvajanja sirutke, netopivi koagulat kazeina se ispiranjem, pasteriziranjem, koncentriranjem centrifugom, sušenjem do određenog postotka vlage te mljevenjem prevodi u prah. Iako niti slatki kazein ni kiseli kazein nisu topivi u vodi, znatno se razlikuju u svom sastavu.

Slatki kazein sadrži proteinski kompleks kalcij fosfat para-kazeinat (pri pH 6.8-7.1), dok je kazein-makropeptidna regija κ - kazeina odcijepljena zbog dodavanja sirila (tj. djelovanjem enzima kimozina). Ostatak, tzv. para-kazein koagulira povezivanjem atoma kalcija i hidrofobnim interakcijama te zadržava micelarni kalcij i fosfat.

Za razliku od njega, kiseli kazein sadržava cjeloviti kazein (uključujući kazein-makropeptidnu regiju κ - kazeina), ali ne sadrži micelarni kalcij i fosfat koji su otopljeni tijekom postupka zakiseljavanja (na pH 4.6) (Guinee, 2016).

Kiseli kazein se rjeđe koristi u proizvodnji analognih sireva, zbog svoje netopivosti te posebice zbog niskog pH koji znatno produžuje vrijeme proizvodnje, osim ako se pH mješavine analognog sira ne povisi na normalnu vrijednost (pH 7.0-8.0) dodavanjem lužine ili emulgirajućih soli. Međutim, kiseli kazein može se prevesti u natrij kazeinat ili kalcij kazeinat koji su puno topiviji i povoljniji za proizvodnju analognih sireva, a koriste se posebice za proizvodnju mazivih sireva zbog svoje visoke sposobnosti vezanja vode i dobrih emulgirajućih svojstava.

Slatki kazein se za razliku od kiselog kazeina znatno češće koristi u proizvodnji analognih sireva i prvi je izbor posebice u proizvodnji *Mozzarella* niske vlažnosti (Ennis i Mulvihill, 1999), ali se koristi i za proizvodnju sirnih blokova i ribanih sireva. Njegove poželjne karakteristike osiguravaju se dodavanjem odgovarajućih mješavina emulgirajućih soli koje vežu kalcij iz kalcij fosfat para-kazeinata, čime se slabe veze između molekula para-kazeina i postiže se željena tekstura i svojstva poput rastezljivosti i tečnosti (Guinee, 2016).

U djelomično mliječnim ili bezmliječnim analognim sirevima, kazein se zamjenjuje jeftinijim sastojcima pri čemu se koriste biljni proteini soje, sjemenke pamuka, kikirikija i graška (Guinee, 2016). Pored biljnih proteina, drugi izvor proteina može biti i sirutka. Međutim, pokazuje se da i biljni proteini i sirutka imaju niz nedostatka kao izvor proteina u analognim sirevima. Biljni proteini u analognim sirevima smanjuju elastičnost, tečnost i rastezljivost, a povećavaju adhezivnost i ljepljivost. Proteini sirutke također negativno utječu na tečnost finalnog proizvoda (tj. daju mu veću viskoznost i dolazi do opiranja tečenju) stoga se ne koriste u sastavu analognih sireva čija je primjena za kuhanje i toplinsku termičku obradu, osim u slučaju kada se analogni sir primjenjuje kao punilo u *burgerima* odnosno pljeskavicama (Guinee, 2016).

2.1.3. Masti

Sadržaj masti uobičajeno iznosi 22-28 %, a bitno doprinosi okusu i teksturi analognog sira. Na sobnoj temperaturi 15 % mliječne masti trebao bi biti u krutom stanju te tvoriti vanjski kristalinični sloj, dok bi tekući dio trebao biti prisutan unutar masnih kapljica u strukturi sira (Masotti i sur., 2018).

U mliječnim analognim sirevima, masna komponenta je mliječnog porijekla, obično je to bezvodna mliječna mast, maslac ili vrhnje. U djelomično mliječnim analognim sirevima izvor masne komponente sira su mliječna mast te biljna ulja ili masti, od čega najčešće sojino ulje, palmino ulje, ulje uljane repice ili njihove odgovarajuće hidrogenirane masti (Guinee, 2016).

Zamjena mliječne masti u mliječnim proizvodima s biljnim uljima ili drugim životinjskim mastima potaknuta je još 40-tih godina 20. stoljeća zbog ekonomskih razloga i snižavanja

cijene krajnjeg proizvoda koji je tako postao lakše dostupan širem krugu potrošača. U novije vrijeme, zbog znanstvenih spoznaja o štetnosti kolesterola prisutnog u mastima životinjskog porijekla i svijesti široke javnosti o tim spoznajama, potreba za zamjenom mliječne masti još je izraženija (Bachmann, 2001). Danas se smatra da je zamjena mliječne masti biljnim uljima već uhodana procedura, mada postoji tek nekoliko studija o učincima djelomične ili potpune zamjene mliječne masti s mastima biljnog porijekla (soja, kikiriki, jezgra palme, kukuruz ili kokosov orah). Rezultati studija ukazuju da se biljna ulja razlikuju po sastavu masnih kiselina što uzrokuje njihova različita fizikalno-kemijska svojstva, a to utječe na teksturu analognih sireva. Djelomična zamjena mliječne masti (do 50 %) s biljnim uljem koje je tekuće na sobnoj temperaturi rezultirati će analognim sirom mekše strukture, dok će zamjena s biljnom masti rezultirati sirom tvrde strukture, slične maslacu (Masotti i sur., 2018).

Biljna ulja daju analognim sirevima konzistenciju zbog koje se mogu lakše prilagoditi svojoj budućoj namjeni. Sojina mast doprinosi tvrdoći i adhezivnosti sira, no smanjuje kohezivnost i elastičnost, a obrnuti efekt daje sojino ulje. Topivi analogni sir s mastima kikirikija pokazuje dobru rastezljivost poput *Mozzarelle*. Koriste se i mješavine različitih biljnih ulja, odnosno masti, a istraživanja pokazuju da svojstva takvog sira odgovaraju prosjeku svojstava svakog pojedinog biljnog masnog sastojka kada se promatra samostalno (Bachmann, 2001). Također, u literaturi je opisana i zamjena mliječne masti sa škrobom ili mikro česticama proteina sirutke u proizvodnji mazivog analognog sira. U proizvodnji se koristi i bezvodna mliječna mast koja doprinosi kremastoj konzistenciji analognog sira i masnom okusu (Bachmann, 2001).

Tekstura analognih sireva ovisi o strukturnom odnosu njegovih komponenata (proteini i ulje, odnosno mast) koji pak ovise o sastavu i procesu proizvodnje. Veličina uljnih kapljica ima značajnu ulogu za strukturu matriksa analognog sira. Njihova veličina značajno varira, a smanjuje se kako smicanje postaje snažnije, a proces emulgacije intenzivniji (Masotti i sur., 2018). Sitnije i brojnije kapljice masnoće u teksturi analognog sira doprinose njegovoj mekoći (Bachmann, 2001).

Od 1990-tih godina prošlog stoljeća, interes proizvođača analognih sireva usmjeren je na proizvodnju sira sa smanjenim udjelom masti. Međutim, smanjeni udio masti dovodi do povećanja proteinske mreže i smanjenja podmazivanja pri topljenju, što uzrokuje tvrdi i mišićastu teksturu koja nije prihvatljiva iz osjetilne perspektive. Negativni učinci povećane koncentracije proteina na svojstva analognog sira sa smanjenim udjelom masti mogu se umanjiti modifikacijama u procesu proizvodnje koje doprinose smanjenju omjera kalcija i kazeina te povećanju sadržaja vlage (povećana hidratacija proteinskog matriksa ima plastificirajući učinak) (Masotti i sur., 2018.). U literaturi je opisan sastav bezmasnog

analognog sira sa postotkom masti manjim od 0,5 % koji je dobiven od slatkog kazeina, vode i emulgirajućih soli (Bachmann, 2001).

2.1.4. Škrob

Istraživanja su pokazala da je škrob najefikasnija i cjenovno najpovoljnija zamjena za kazein te se često koristi u masenom udjelu od 2-4 % (w/w). Komercijalno se najčešće koristi kukuruzni škrob, no u uporabi su i pšenični te rižin i krumpirov škrob.

Dodavanjem škroba kao sastojka modificiraju se fizikalno-kemijska i funkcionalna svojstva finalnog proizvoda do razmjera koji ovise o tipu i svojstvima dodanog škroba (oblik, veličina, sposobnost bubrenja, omjer amiloze i amilopektina). Provedena su istraživanja sa većim omjerom škroba (1,9-9,9 %) kao djelomičnom zamjenom za slatki kazein, no povećanje udjela škroba dovelo je do promjene teksture analognog sira iz meke u čvrstu te smanjenja mobilnosti vode (Masotti i sur., 2018). Negativne karakteristike škroba sa visokim omjerom amiloze u odnosu na amilopektin (npr. kukuruzni i pšenični škrob) vidljive su u tome što analogni sir sa takvom vrstom škroba nakon kuhanja ima tendenciju geliranja. Takav sir u kasnijoj primjeni prilikom topljenja pokazuje smanjenu tečnost, odnosno prilikom mljevenja, odnosno ribanja se lako lomi i gruda te dodatno oslobađa slobodnu vlagu na površinu zbog čega nastaju ljepljive grudice.

Analogni sirevi koji sadrže škrob s manjim sadržajem amiloze, odnosno višim sadržajem amilopektina (rižin ili krumpirov škrob) nisu nakon kuhanja skloni geliranju te siru daju mekoću, ali i ljepljivost zbog čega nisu pogodni za mljevenje i ribanje. Navedene negativne karakteristike se pojavljuju do stupnja koji ovisi o tipu i količini dodanog škroba, temperaturi i vremenu kuhanja, stupnju miješanja i brzini hlađenja. No, uz primjenu tipičnog režima proizvodnje i procesuiranja, škrob se uspješno komercijalno koristi u proizvodnji analognih sireva u masenom udjelu 2-4 % te zamjenjuje 10-15 % ukupnog kazeina (Guinee, 2016).

U svrhu proizvodnje zdrave i nutritivno vrijedne hrane, provedena su i istraživanja škroba kao nutritivno vrijednog izvora dijetetskih vlakana u sastavu analognih sireva. Tako je na primjeru analognog sira sa sadržajem 52 % vode i 12 % masnoće, čak 50 % masnoće (hidrogenirano palmino ulje i ulje uljane repice) zamijenjeno sa prirodnim škrobom. Zamjena masnoće sa škrobom rezultirala je većom tvrdoćom proizvoda koja je umanjena povećanjem sadržaja vode na 60 %. Moguće je zamijeniti čak 90 % masnoće sa škrobom te proizvesti analogni sir sa svega 2 % masti i 60 % vode koji je još uvijek pogodan za rezanje, usitnjavanje, odnosno ribanje i oblikovanje. Analogni sirevi s škrobom i niskim postotkom masti šire se u mikrovalnoj pećnici te tako predstavljaju novitet u proizvodnji hrskave, brze gotove hrane (Masotti i sur., 2018).

2.1.5. Hidrokoloidi

Različite vrste hidrokolida¹ (anionski i neutralni) također se koriste u proizvodnji analognih sireva, osobito za proizvodnju sireva visoke vlažnosti i niskog sadržaja proteina. Od anionskih hidrokoloida koriste se karagenati, alginati i pektini, a od neutralnih guar guma, ksantan, guma rogača (karuba guma), konjaku² ili agarne kombinacije (Guinee, 2016). Za dobivanje željene teksture i odgovarajućih fizikalnih svojstava konačnog proizvoda (npr. usitnjavanje i rezanje u hladnom stanju ili rastezljivost kod grijanja), potrebne su i odgovarajuće kombinacije i koncentracije hidrokoloida. Hidrokoloidi imaju sposobnost vezanja vode i stabilizacije te doprinose redukciji energetske vrijednosti analognog sira kada se koristi kao zamjena za masnoću (Massoti i sur., 2018).

2.1.6. Emulgirajuće soli

Emulgirajuće soli, uz vodu i miješanje, pomažu konverziju netopivog kiselog kazeina ili slatkog kazeina u hidratizirani natrij kazeinat ili natrij (kalcij-fosfat) para-kazeinat. Kazein, odnosno para-kazeinat, emulgira raspršene kapljice ulja tijekom proizvodnje i tako doprinosi stvaranju stabilne emulzije ulja u vodi reduciranjem međufazne slobodne energije masne faze (Guinee, 2016). Maseni udio emulgirajućih soli u ukupnom sastavu analognih sireva obično je od 0.5 % do 3 % (w/w). U proizvodnji analognih sireva koriste se razne emulgirajuće soli, osobito citrati, laktati, fosfati i tartarati sa amonijevim, kalcijevim ili natrijevim kontra ionom. Najčešće se u proizvodnji koristi mješavina natrij fosfata i natrij citrata u omjeru 1:1 (Massoti i sur., 2018). Emulgirajuće soli djeluju tako što zamjenjuju dvovalentni kalcij u kazeinu odnosno para-kazeinu sa monovalentim natrijem, a uklanjanjem kalcija stupanj povezanosti i agregacija molekula para-kazeina se smanjuje. Pored toga, dodavanjem emulgirajućih soli povećava se i pH para-kazeina sa 6.9 na 8.0-9.0. Oba navedena faktora (sekvestracija kalcija i povećanje pH) u konačnici dovode do povećanja hidratacije i topivosti para-kazeina. U proizvodnim uvjetima, dispergirani hidratizirani protein doprinosi emulgiranju uljne faze oblaganjem površine dispergiranih slobodnih kapljica ulja (Guinee, 2016).

2.1.7. Inulin

Inulin se učestalo koristi pri proizvodnji mliječnih proizvoda u različite svrhe: kao dijetetsko vlakno, kao zaslađivač (kada je djelomično hidroliziran) i za poboljšanje organoleptičkih svojstava (posebno teksture). U proizvodnji sireva obično se koristi kao

¹ Hidrokoloidi nalaze danas široku primjenu u različitim granama prehrambene industrije kao sredstva koja poboljšavaju reološka svojstva hrane posebno viskozni, visko-elastičnih i elastičnih namirnica.

² *Amorphophallus konjac* – konjac, konjaku, vražji jezik, zmijska palma (biljka istočne i jugoistočne Azije)

zamjena za masnoću zbog svojih reoloških svojstava te za modifikaciju teksture. Provedena su istraživanja u kojima je u analognom siru baziranom na slatkom kazeinu zamijenjeno 63 % masnoće (hidrogenizirano palmino ulje) sa inulinom, no dobiveni proizvod bio je znatno tvrdi od očekivanog. U drugom slučaju u analognom siru baziranom na kiselom kazeinu i proteinima sirutke opisana je djelomična zamjena bezvodne mliječne masti (5-15 %) sa inulinom (1-3 %), što je rezultiralo proizvodom veće topivosti, smanjene tvrdoće i smanjene adhezivnosti u odnosu na uzorak bez inulina (Masotti i sur., 2018).

2.1.8. Regulatori kiselosti

Regulatori kiselosti dodaju se analognim sirevima u svrhu stabilnosti i sprječavanja mikrobiološkog kvarenja, a prosječna pH vrijednost iznosi 6,0 - 6,6 (varira od tipa do tipa analognog sira, kao i namjeni pojedinog tipa sira). Pored toga regulatori kiselosti utječu i na okus sira. U proizvodnji analognih sireva najčešće se koriste limunska i mliječna kiselina u koncentracijama 0,2-1 %. Na kiselost utječu i emulgirajuće soli koje imaju puferska svojstva te potrebna koncentracija regulatora kiselosti ovisi i o tipu emulgirajućih soli (Masotti i sur., 2018).

2.1.9. Konzervansi

Konzervansi se koriste za produljenje roka trajanja proizvoda odnosno za zaustavljanje i usporavanje rasta mikroorganizama u količini od 0,1 %. Najčešće se koriste kalijev sorbat, nizin te kalcijev ili natrijev propionat. Neka istraživanja su pokazala da je upravo odgovarajuća koncentracija natrij klorida (do 3 %), kalijeva sorbata (do 0,2 %) i nizina (do 240 ppm) u analognom siru visoke vlažnosti ključna za postizanje željene inhibicije rasta bakterije *Clostridium sporogenes* (Masotti i sur., 2018).

2.1.10. Ostali dodatci

U proizvodnji analognih sireva koriste se razne arome, pojačivači okusa, boje, mineralne tvari i vitamini. Okus je ključni faktor za prihvaćanje analognih sireva od strane potrošača. U industrijskoj proizvodnji se za postizanje okusa koriste arome i to osobito enzimski modificirani sirevi i ekstrakti dima u količini 0,5-3 %. Enzimski modificirani sirevi su koncentri arome prirodnog sira koji su 20-50 puta koncentriraniji od prirodne arome te pružaju mogućnost postizanja izražene i stabilne arome. Natrij klorid značajno pridonosi okusu analognih sireva, a može biti prisutan u količini 2-3 % (natrij iz natrij klorida čini oko 60 % ukupnog natrija, dok preostala količina natrija potječe iz emulgirajućih soli). Provode se istraživanja koja imaju za cilj smanjiti količinu natrij klorida u sastavu analognih sireva, te se

pokazalo da je snižavanjem količine natrij klorida sa 1,5 % na 0 %, ali uz povećanje pH vrijednosti na kraju procesa proizvodnje dodavanjem limunske kiseline, moguće dobiti analogni sir s nižim udjelom natrij klorida te istovremeno i potrebnu mikrobnu stabilnost (Masotti i sur., 2018).

U proizvodnji analognih sireva mogu se koristiti pojačivači okusa, kao što su glutamati i ekstrakti kvasca, konzervansi poput nizina, natamicina, sorbata i hidrogenbenzoata. Boje se dodaju po potrebi i to u koncentracijama od otprilike 0,04 %. Mineralne tvari (magnezij oksid, cink oksid) i vitamini (vitamin A, riboflavin, tiamin, folna kiselina) dodaju se kao nutritivni suplementi (u količini do 0,5 %) kako bi analogni sirevi postali nutritivno istovjetni sirevima proizvedenih iz mlijeka (Masotti i sur., 2018).

2.2. Vrste i karakteristike analognih sireva

Prema dostupnoj literaturi (Guinee, 2016., Masotti i sur., 2018) najviše se proizvode, a posebice u Sjedinjenim američkim državama, analogna *Mozzarella* niske vlažnosti, analogni *Cheddar*, analogni *Monterey Jack* te pasterizirani procesuirani *Cheddar*. Analogna *Mozzarella* niske vlažnosti ima veliku primjenu prvenstveno kao dodatak na smrznutim *pizzama*, dok se analogni *Cheddar* najčešće koristi u obliku sirnih listića u *cheeseburgerima*. U Europi se sirni analozi također sve više koriste, prvenstveno u industriji gotove hrane, kao dodaci za grickalice, umaci za tjestenine itd. Neke druge primjene uključuju korištenje u salatama, sirne umake i preljeve. Osim ovih najčešćih vrsta, evidentirana je proizvodnja i nekih drugih vrsta analognih sireva poput parmezana, *Pecorino Romana*, s plemenitim plavim plijesnima, kremastih sireva, *Cheddara* s niskim sadržajem masti itd.

***Mozzarella* niske vlažnosti**

Analogna *Mozzarella* niske vlažnosti najčešće je korištena analogni sir koji su svom sastavu ima mliječne komponente, a uobičajeno sadrži: kazein (slaki ili kiseli) i kazeinate, biljno ulje, škrob, emulgirajuće soli, arome i pojačivače okusa, stabilizatore, regulatore kiselosti, boje, konzervanse i vodu. Guinee (2016) je u svom radu opisao *Mozzarelu* niske vlažnosti koja se bazira na slatkome kazeinu i kazeinatima kao izvoru proteina dok je Masotti i sur. (2018) opisao sastave koji se baziraju i na slatkome kazeinu i na kiselome kazeinu te kazeinatima kao izvorima proteina. Usporedni sastavi ovih sireva prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Usporedba tipičnog sastava analogne *Mozzarelle* niske vlažnosti (prema Guinee, 2016.; Masotti i sur., 2018.).

Sastojak	<i>Mozzarella</i> niske vlažnosti dobivena iz slatkog kazeina, maseni udio sastojaka (%, w/w) prema (Guinee, 2016)	<i>Mozzarella</i> niske vlažnosti dobivena iz kiselog kazeina, maseni udio sastojaka (%, w/w) prema (Masotti i sur., 2018)	<i>Mozzarella</i> niske vlažnosti dobivena iz slatkog kazeina, maseni udio sastojaka (%, w/w) prema (Masotti i sur., 2018)
kiseli kazein i kazeinati	-	21	-
slatki kazein i kazeinati	24	-	20-22,3
proteini sirutke	0	-	1,2-3,5
biljno ulje	22	12,5	15
škrob	3	5	0
emulgirajuće soli	2	2,8	2,5
arome i pojačivači okusa	3	0,3	1,5
natrij klorid	-	1,1	1,1
kalcij klorid	-	0,4	0,1
stabilizatori	0,5	0,6	0
regulatori kiselosti	0,36	0,3	0,6
boje	0,04	-	-
konzervansi	0,1	-	-
voda i kondenzati	45	56,4	55,7

Tofu

Tofu ili sojin sir primjer je bezmliječnog sira koji se u Kini priprema i koristi tisućama godina i najpopularniji je proteinski proizvod od soje koji se u zapadnim zemljama koristi u vegetarijanskoj i veganskoj prehrani. Prema Rekha i Vijayalakshmi (2013) tofu je hranjivi i lako probavljivi proizvod sa visokim sadržajem proteina koji se smatraju jednim od najviše izbalansiranih proteina za ljusku prehranu. Suha tvar tofua sadrži oko 50 % proteina i 27 %

ulja, a preostali sastojci su ugljikohidrati, mineralne tvari i vitamini, a važno za spomenuti je da ne sadrži kolesterol. Njegova priprema u pravilu uključuje namakanje i mljevenje soje u vodi, filtriranje, vrenje i koagulaciju sojinog napitka, oblikovanje i prešanje. Na kvalitetu i teksturu proizvoda utječe niz faktora poput kultivira soje, metode proizvodnje i vrste koagulansa. Prema Barać i sur. (2014) ovisno o načinu pripreme, teksturi i sadržaju vlage, tofu se proizvodi kao sušeni tofu, čvrsti tofu, silken (mekani) tofu, regular i punjeni tofu. Najčešće se koristi silken i regular tofu. Tofu se proizvodi od sojinog napitka uz dodavanje koagulansa (soli kalcija, soli magnezija, proteolitički enzimi, glukono- δ -lakton, transaminaze mikrobiološkog porijekla, itd.), a faza koagulacije najvažnija je faza proizvodnje.

Regular tofu je blago mekani proizvod koji je sličan sirnoj grudi. Dobiva se od prokuhanog sojinog napitka (sa 5-6 % suhe tvari) ohlađenog na 75 °C uz dodavanje koagulansa (suspenzija kalcij sulfata ili soli magnezija). Djelovanjem koagulanata dolazi do taloženja i formiranja sirne mase. Sirna masa se ocijedi te oblikuje i nakon toga ispire vodom kako bi se odstranio višak koagulanata. Tofu se čuva, pakira i prodaje u rashlađenim uvjetima.

Silken tofu je sočan i lomljiv gruš sojinog napitka koji sadrži 84-90 % vlage. Dobiva se od sojinog napitka sa 10 % suhe tvari, koje se zagrije na 100 °C, a zatim ohladi na sobnu temperaturu. U ohlađen sojin napitak dodaje se glukono- δ -lakton, prebacuje se u zatvorenu posudu i zagrijava u vodenoj kupelji na 80-90 °C kroz 40-60 minuta. Tim procesom glukono- δ -lakton prelazi u glukonsku kiselinu koja koagulira proteine sojinog napitka u homogeni gel. Dobiveni proizvod se pasterizira. Kako bi se dobio proizvod produžene trajnosti danas se u proizvodni primjenjuje UHT tehnologija.

Tofu se može proizvesti i enzimskom koagulacijom, pri čemu se kao koagulansi najčešće koriste papain, alkalne i neutralne proteaze izolirane iz mikroorganizama.

U svrhu poboljšanja senzornih, nutritivnih i funkcionalnih svojstava tofua, mogu se u procesu proizvodnje dodati arome (galna kiselina, ljekovito bilje), tekstura i čvrstina mogu se poboljšati dodatkom karagena tijekom koagulacije mlijeka, dok se nutritivna vrijednost može poboljšati dodatkom probiotskih kultura i prebiotika poput inulina. Sastav svježeg tofua dobivenog koagulacijom s kalcij sulfatom prikazan je u tablici 3.

Tablica 3. Sastav svježeg tofua dobivenog koagulacijom s kalcij sulfatom (Barać i sur., 2014.)

Sastojak		Količina
voda, g		69,83
energija, kcal		145
proteini, g		15,78

ukupni lipidi, g		8,72
ugljikohidrati, g		4,24
ukupna vlakna, g		2,3
minerali, mg	kalcij	683
	željezo	2,66
	magnezij	58
	fosfor	190
	kalij	237
	natrij	14
	čink	1,57
vitamini	vitamin C, mg	0,2
	tiamin, mg	0,158
	riboflavin, mg	0,102
	niacin, mg	0,381
	vitamin B6, mg	0,092
	folna kiselina, µg	29
	vitamin B12, µg	0
	vitamin A, IU	166
	vitamin D (D2+D3), µg	0
lipidi	ukupno zasićene masne kiseline, g	1,261
	ukupno mono nezasićene masne kiseline, g	1,925
	ukupno poli nezasićene masne kiseline, g	4,921
	kolesterol, mg	0

2.3. Usporedba nutritivnih vrijednosti analognih sireva i mliječnih sireva

Prema dostupnim literaturnim podacima najdetaljnija usporedba prehrambenih i nutritivnih vrijednosti analognog sira i mliječnog sira dostupna je za analognu *Mozzarellu* niske vlažnosti i običnu *Mozzarellu* niske vlažnosti. Guinee (2016) navodi da analogna *Mozzarella* niske vlažnosti ima manji sadržaj proteina, veći sadržaj vlažnosti i masnoće, kao i viši omjer kalcija i fosfora u odnosu na običnu *Mozzarellu* niske vlažnosti. Usporedni sastav analogne

Mozzarelle niske vlažnosti i obične *Mozzarelle* niske vlažnosti prikazana je u tablici 4 (Guinee, 2016). Navedeni viši omjer proteinski vezanog kalcija i fosfora u sastavu analogne *Mozzarelle* niske vlažnosti posljedica je korištenja slatkog kazeina kao izvora proteina koji ima viši sadržaj kalcija i fosfora od većine prirodnih sireva te zbog primjene natrij fosfata kao emulgirajuće soli tijekom proizvodnje.

Tablica 4. Usporedni prikaz sastava analogne *Mozzarelle* niske vlažnosti i obične *Mozzarelle* niske vlažnosti (Guinee, 2016)

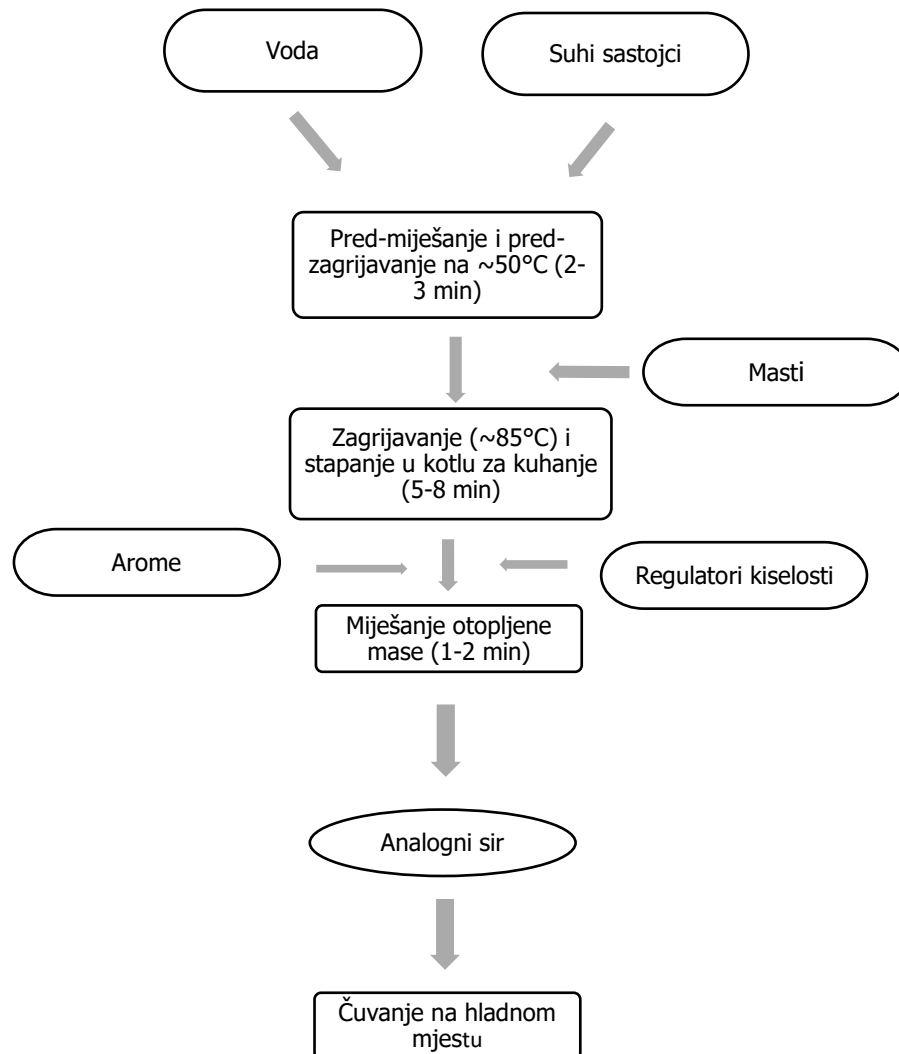
Sastav	Vrsta sira	
	Obična <i>Mozzarella</i> niske vlažnosti	Analogna <i>Mozzarella</i> niske vlažnosti
vlaga (% w/w)	46,4	49,3
masti (% w/w)	23,2	25,6
proteini (% w/w)	26	17,4
sol u vodenoj fazi (% w/w)	3,1	3,7
mast u suhoj tvari (% w/w)	44,6	50,6
vlaga u nemasnoj tvari (% w/w)	60,5	66,3
Ca (mg/g proteina)	27,3	33,9
P (mg/g proteina)	20,6	26,9
pH	5,53	6,36

Na slične razlike u sastavu ukazuje i istraživanje Masotti i sur. (2018) prema kojima analogna *Mozzarella* niske vlažnosti sadrži 48,8 % vlage, 25,0 % masnoće i 18,4 % proteina u usporedbi sa običnom *Mozzarellom* niske vlažnosti koja sadrži 46,4 % vlage, 23,2 % masnoće i 26,0 % proteina.

3. Tehnološki proces proizvodnje

Proizvodnja analognih sireva slična je proizvodnji prerađenih sireva te je jednostavnija od klasične proizvodnje sira. Proizvodni koraci obično uključuju definiranje sastava (formulacija, odnosno receptura), miješanje sastojaka, obradu mješavine, odnosno smjese (zagrijavanje i topljene sastojaka) te vruće pakiranje i hlađenje (slika 1) (Masotti i sur., 2018.), dok Guinee (2016) navodi kao opcionalni korak i proces homogenizacije otopljene mješavine

(osobito pri proizvodnji analognih sireva visoke vlažnosti). Cjelokupni proces proizvodnje traje 8-13 minuta (Masotti i sur, 2018).



Slika 1. Shema procesa proizvodnje analognih sireva (Masotti i sur., 2018)

Više autora (Guinee, 2016., Masotti i sur. 2018) opisuju proces proizvodnje analognih sireva na sličan način. Njihovi radovi pokazuju da redoslijed dodavanja sastojaka ovisi o tvorničkoj praksi, tipu sastojaka, parametrima proizvodnog procesa te željenim karakteristikama konačnog proizvoda. U pravilu prvi korak je miješanje definiranih sastojaka analognog sira u kotlu. Na taj se način suhi sastojci (kazein, kazeinatti, derivati proteina sirutke, emulgirajuće soli, hidrokoloidi, konzervansi) i voda uvode u kotao u kojem se međusobno miješaju 2-3 minute uz konstantno miješanje te direktno zagrijavaju strujom pare na oko 50 °C. U ovom koraku se preporuča prethodna disperzija kazeina i hidratacija suhih sastojaka u

vrućoj otopini, nakon čega tek slijedi uvođenje emulgirajućih soli. Ovim postupkom nastaje analogni sir ogovarajuće konzistencije i dobre topljivosti. U slučaju kada je izvor proteina netopivi slatki kazein potreban je viši pH (>7) jer on omogućava bolje izdvajanje kalcija iz kazeina djelovanjem emulgirajućih soli. U ovakvim uvjetima se para-kazeinat prevodi u natrij para-kazeinat, koji reduciranjem međufazne slobodne energije masne faze, emulgira raspršene uljne kapljice te tako doprinosi formiranju stabilne emulzije ulja u vodi.

Nakon dodavanja masne komponente (sojinog ulja, palminog ulja, ulja uljane repice ili njihovih hidrogeniranih masti) slijedi obrada smjese u kotlu zagrijavanjem na oko 85 °C i kontinuiranim miješanjem tijekom 5-8 minuta dok se ne formira homogena rastopljena masa. Nakon dodavanja regulatora kiselosti i aroma uz konstantno miješanje, kao i dodatnih sastojaka poput boja, konzervansa, mineralnih tvari i vitamina, slijedi slijeganje i formiranje strukture tijekom postupka hlađenja. Na kraju slijedi oblikovanje i vruće pakiranje.

Uvjeti pod kojima se provodi kuhanje (vrijeme i temperatura) utječu na funkcionalna svojstva i rok trajanja sira. Veća temperatura kuhanja i duže vrijeme kuhanja, kao i intenzitet obrade povećavaju tvrdoću analognog sira te istovremeno smanjuju njegovu rastezljivost i topivost.

Brzina obrade utječe na stupanj emulzifikacije masti u sirnom matriksu. Prema Guinee (2016) i Masotti i sur. (2018) u industrijskoj proizvodnji analognih sireva koriste se razni tipovi šaržnih strojeva za kuhanje, a tip stroja za kuhanje ovisi o željenoj teksturi krajnjeg proizvoda i njegovoj primjeni.

Najčešći tip stroja za kuhanje (primjerice marke Blentech) (slika 2) ima jednostruke ili dvostruke pužne vijke s brzinom miješanja 100 do 200 o/min. Intenzitet obrade smjese u ovom stroju za kuhanje omogućava slabu disperziju masti i formiranje velikih masnih čestica (5-25 µm) zbog čega je dobiveni analogni sir masniji (više je slobodne masnoće) i topiviji te tako pogodan kao dodatak na *pizzu* (primjerice *Mozzarella* niske vlažnosti) ili kao sir za *cheeseburger* (primjerice polutvrđi blok sir).

Drugu varijantu stroja za kuhanje s jednostrukom oštricom (primjerice marke Stephan) (slika 3) karakterizira viša brzina miješanja (do 1500 o/min). Takvim strojem obično se proizvode analogni sirni namazi ili umaci od pasteriziranog prerađenog sira visoke vlažnosti, jer visoki intenzitet obrade potiče i visoki stupanj emulzifikacije što se podudara s gustoćom i kremastim okusom krajnjeg proizvoda.



Slika 2. Stroj za kuhanje marke Blentech
Izvor: Blentech Corporation,
<https://blentech.com/product/blentherm/>



Slika 3. Stroj za kuhanje marke Stephan
Izvor: Food Processing Technology,
<https://www.foodprocessing-technology.com/contractors/processing/sympak-stephan/>

4. Nove spoznaje u proizvodnji analognih sireva

U današnje vrijeme potrošači su sve svjesniji potrebe za zdravom i nutritivno izbalansiranom hranom, koja, kad je u pitanju konzumacija sireva podrazumijeva i potražnju za sirevima s nižim udjelom masti i kolesterola. Bachmann (2001) je istaknuo da je bolje ulagati u proizvodnju hrane koja sadrži sastojke koji smanjuju rizike po zdravlje potrošača (npr. zamijeniti životinjske masti biljnim mastima), nego pokušavati proizvesti hranu niže kalorijske vrijednosti. Stoga, analogni sirevi pružaju izvrsnu priliku za zamjenu tradicionalnih proizvoda novim proizvodima koji imaju iste ili bolje nutritivne i teksturalne karakteristike.

Proizvodnja sireva smanjene masnoće koji sadrže jednaka osjetilna svojstva kao i sirevi sa normalnim sadržajem masnoće, još uvijek predstavljaju izazov, ali pokazuje veliki komercijalni potencijal. Jedan od novijih tehnoloških pristupa proizvodnji analognih sireva sa smanjenim udjelom masti uključuje primjenu ultrazvuka. Leong i sur. (2020) su opisali proizvodnju analognog sira *Cheddar* u kojem je mliječna mast zamijenjena repičinim uljem, a primijenjena je tehnika stvaranja dvostruke emulzije. U sustavima dvostruke emulzije kapljice vode su emulgirane unutar emulgiranih masnih kapljica koje su okružene vodenom fazom samoga sira. Jednostavno smanjivanjem sadržaja masti u siru negativno utječe na teksturu sira koji postaje tvrdi. Stoga tehnika dvostruke emulzije kojom su unutar masnih kapljica

ugrađene vodene kapljice omogućava smanjivanje sadržaja masti, ali se istovremeno bitno ne mijenja struktura sira. Kapljice masti koje sadrže vodu zauzimaju jednaki volumen kao i obične kapljice masti u uobičajenoj emulziji, ali doprinose smanjenoj kalorijskoj vrijednosti analognog sira jer dio kapljice masti zamjenjuje voda. Proizvodnja stabilne dvostruke emulzije je izazov zbog potrebe za velikim količinama surfaktanata (površinski aktivnih tvari) i značajnih troškova stoga je njena primjena u mliječnoj industriji još uvijek ograničena.

Leong i sur. (2020) ukazuju na veliki potencijal primjene ultrazvuka (sonifikacije), u stvaranju stabilne dvostruke emulzije u proizvodnji analognih sireva. Ultrazvuk je jednako efikasan kao i konvencionalne metode homogenizacije, no prednost mu je ta što se energija ultrazvuka može precizno podesiti za stvaranje kapljica masti točno određene veličine. Upravo mogućnost podešavanja odgovarajuće veličine kapljica masti unutar strukture sira omogućava poboljšavanje senzorske kvalitete sira smanjene masnoće. Primjena ultrazvuka u proizvodnji analognih sireva može imati i sinergijski učinak, kao što je djelomična denaturacija proteina koja može poboljšati stabilnost dvostruke emulzije.

Potrebna su dodatna istraživanja za otkrivanje potencijalnih učinaka ultrazvuka na denaturaciju proteina i/ili lipidnu oksidaciju sagledavajući mogući učinak ovih procesa na konačni okus i karakteristike konačnog proizvoda. Zaključno Leong i sur. (2020) ističu da primjena ultrazvuka u proizvodnji dvostruko emulgiranih i jednostruko emulgiranih analognih sireva (u konkretnom slučaju sir tipa *Cheddar*) pruža način dobivanja novih vrsta sireva sa svojstvima koji se razlikuju od konvencionalnih sireva.

5. Zaključak

Analogni sirevi su homogene smjese slične siru dobivene miješanjem vode, ulja ili masti, proteina, emulgirajućih soli i ostalih sastojaka pod utjecajem topline i mehaničke obrade. Prema sastavu mogu se klasificirati kao mliječni, djelomično mliječni ili bezmliječni, ovisno o tome jesu li njihove masne i/ili proteinske komponente mliječnog ili biljnog porijekla.

Analogni sirevi počeli su se značajnije proizvoditi početkom 1970-tih godina u Sjedinjenim američkim državama (SAD), a glavna svrha njihove proizvodnje je dobivanje jeftinijih zamjena za sir za potrebe industrijske proizvodnje hrane i primjene u ugostiteljstvu.

Dosadašnje analize i studije ukazuju na određeni potencijal analognih sireva u ljudskoj prehrani. Imidž analognih sireva promijenio se tijekom godina od proizvoda koji se sastoje od sastojaka inferiorne kvalitete do proizvoda sa funkcionalnim sastojcima koji imaju niz poželjnih nutritivnih karakteristika (ne sadrže kolesterol, imaju smanjeni udio zasićenih masti i smanjeni udio natrija, a obogaćeni su vitaminima i mineralnim tvarima). Dodatno, pored korisnih nutritivnih karakteristika pokazano je da njihova proizvodnja može biti isplativija od proizvodnje klasičnih sireva te da se kombinacijom različitih sastojaka te uvjeta proizvodnje mogu dobiti analogni sirevi zadovoljavajućih organoleptičkih karakteristika i teksture specifično prilagođene namjeni.

Sve je više znanstvenih istraživanja koja daju uvid u optimizaciju proizvodnih procesa za proizvodnju analognih sireva koji bi u konačnici najbolje odgovarali novim zahtjevima potrošača. Vidljivo je kako odgovarajuća selekcija sastojaka i pažljivo podešen sastav (omjer sastojaka) nude mogućnost za proizvodnju široke palete analognih sireva (topivih sireva za pizzu, sireva pogodnih za rezanje, ribanje, sirnih namaza, sirnih umaka i sl.). Iz raspoložive znanstvene literature je vidljivo da je glavni fokus znanstvenih istraživanja usmjeren na učinke sastojaka i uvjeta proizvodnje na nutritivna i funkcionalna svojstva analognih sireva (reološka svojstva i svojstva topivosti). Novi znanstveni podaci mogu poboljšati izvodivost same proizvodnje analognih sireva u industrijskim razmjerima. Nadalje, pokazano je da je poboljšanje i optimizacija senzorskih svojstava vrlo bitna za prodaju i marketing analognih sireva te je pokretač današnje proizvodnje.

Prema dostupnim literaturnim podacima moguće je proizvesti analogne sireve gotovo identičnog sastava (masenih udjela vode, proteina, masti, soli i dr. u ukupnoj masi) odgovarajućem tipu klasičnog sira što ide u prilog njihovoj nutritivnoj vrijednosti. Može se zaključiti da analogni sirevi u odnosu na klasične sireve donekle zaostaju za senzorskim svojstvima, no njihova prednost mogu biti niži troškovi proizvodnje zbog jeftinijih sastojaka koji zamjenjuju skupe i često teško dostupne mliječne komponente te prednjače u mogućnosti preciznog odabira sastojaka koji u konačnici mogu dati proizvod sa manjim sadržajem zasićenih

masti, kolesterola i nižom kalorijskom vrijednosti koji su korisni pri kontroli tjelesne težine i prevenciji rizika nastajanja bolesti srca i krvnih žila.

6. Popis literature

1. Bachmann H.P. (2001) Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal* **11**: 505–515.
2. Barać M., Pešić M., Žilić S., Stanojević S. (2014) Proteinski proizvodi od soje, Univerzitet u Beogradu-Poljoprivredni fakultet, str. 77-82.
3. Blentech Cooperation, <https://blentech.com/product/blentherm/>. Pristupljeno 31. siječnja 2021.
4. Ennis M.P., Mulvihill D.M. (1999) Compositional characteristics of rennet caseins and hydration characteristics of the caseins in a model system as indicators of performance in Mozzarella cheese analogue manufacture. *Food Hydrocolloids* **13**: 325–337.
5. Food Processing Technology, <https://www.foodprocessing-technology.com/contractors/processing/sympak-stephan/>. Pristupljeno 31. siječnja 2021.
6. Guinee T.P. (2016) Cheese Analogues. 2016 Elsevier Inc.
7. Leong T.S.H., Ong L., Gamlath C.J., Gras S.L., Ahokkumar M., Martin G.J.O. (2020) Formation of cheddar cheese analogues using canola oil and ultrasonication – A comparison between single and double emulsion systems. *International Dairy Journal* **105**: 104683.
8. Masotti F., Cattaneo S., Stuknytė M., De Noni I. (2018) Status and developments in analogue cheese formulations and functionalities. *Trends in Food Science & Technology* **74**: 158-169.
9. Rekha C. R., Vijayalakshmi G. (2013) Influence of processing parameters on the quality of soycurd (tofu). *Journal of Food Science and Technology* **50(1)**: 176–180.
10. Tehnologija hrane, Hidrokoloide i pektinske supstance u voću i povrću, <https://www.tehnologijahrane.com/enciklopedija/hidrokoloide-i-pektinske-supstance-u-vocu-i-povrcu#toc-hidrokoloide-pojam-i-znaaj>. Pristupljeno 24. siječnja 2021.

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Luka Jelenić