

UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Čaba L. Silađi

**UTICAJ DODATKA MIKRO I MAKROALGI NA
KVALITET I FUNKCIONALNO-TEHNOLOŠKA
SVOJSTVA POLUPROIZVODA I PROIZVODA
OD MESA**

Doktorska disertacija

Beograd, 2025.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF AGRICULTURE

Čaba L. Silađi

**INFLUENCE OF THE ADDITION OF MICRO
AND MACROALGAE ON THE QUALITY AND
FUNCTIONAL-TECHNOLOGICAL
PROPERTIES OF SEMI-PRODUCTS AND
MEAT PRODUCTS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2025.

MENTOR:

dr Igor Tomašević, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu

Poljoprivredni fakultet

ČLANOVI KOMISIJE:

dr Slaviša Stajić, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu

Poljoprivredni fakultet

dr Ilija Đekić, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu

Poljoprivredni fakultet

dr Vesna Đorđević, naučni savetnik

Institut za higijenu i tehnologiju mesa u Beogradu

Datum odbrane: _____

Želim da izrazim iskrenu i duboku zahvalnost svom mentoru, prof. dr Igoru Tomaševiću, na nesebičnom zalaganju, pruženoj podršci, dragocenim savetima i velikom strpljenju tokom čitavog rada.

Veliko priznanje dugujem kolegama iz industrije mesa, kao i saradnicima sa Instituta za higijenu i tehnologiju mesa i Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu, za saradnju, posvećenost i profesionalni pristup. Posebno cenim i priliku koju mi je pružio Nemački institut za prehrambene tehnologije da deo istraživanja realizujem u njihovom institutu - iskustvo koje je značajno obogatilo moje profesionalno i istraživačko usmerenje.

Iskreno sam zahvalan i svim članovima komisije na brojnim sugestijama i preporukama, koje su pomogle da se disertacija dodatno unapredi.

Na kraju, želim da izrazim neizmernu zahvalnost svojoj porodici na ljubavi, podršci i razumevanju tokom čitavog procesa. Njihova vera u mene, strpljenje i snaga bili su ključni oslonac u trenucima izazova. Ovaj rad posvećujem njima, sa željom da ova disertacija bude i njihovo dostignuće koliko i moje.

Uticaj dodatka mikro i makroalgi na kvalitet i funkcionalno-tehnološka svojstva poluproizvoda i proizvoda od mesa

REZIME

Savremeni trendovi u razvoju prehrambene industrije ističu sve veću potrebu za proizvodima koji, pored osnovne nutritivne vrednosti, obezbeđuju i dodatne funkcionalne koristi po zdravlje potrošača. Meso i proizvodi od mesa, kao bogat izvor proteina, gvožđa, cinka i vitamina B grupe, često su na meti kritike zbog nepovoljnog sadržaja zasićenih masnih kiselina, holesterola i potencijalnih aditiva. Zbog toga se intenzivno istražuju mogućnosti nutritivne i tehnološke optimizacije mesnih proizvoda putem primene prirodnih sastojaka sa izraženim funkcionalnim svojstvima. U tom kontekstu, alge, kao značajan izvor proteina, nezasićenih masnih kiselina, dijetetskih vlakana, pigmenata, minerala i antioksidanasa, sve češće se razmatraju kao inovativni sastojci u formulaciji prehrambenih proizvoda, uključujući i proizvode od mesa.

Cilj ove doktorske disertacije bio je da se ispita uticaj dodatka algi na kvalitet i funkcionalno-tehnološke osobine tri različita proizvoda od mesa: frankfurtera (fino usitnjena barena kobasica), ćevapa (poluproizvod od mesa) i sremske kobasice (fermentisana kobasica). Korišćene su dve vrste mikroalgi (*Chlorella vulgaris* – žuta i bela) i dve vrste makroalgi (*Himanthalia elongata* – sea spaghetti i *Undaria pinnatifida* – wakame), u koncentracijama od 1,5% i 3%, dok je kod frankfurtera ispitivana samo koncentracija od 3%. Ispitivani parametri obuhvatili su hemijski sastav, aminokiselinski i masnokiselinski profil, parametre oksidacije lipida, mikrobiološku ispravnost, instrumentalnu analizu boje i teksture, kao i senzornu prihvatljivost. Uzorci su praćeni tokom proizvodnje, zrenja i skladištenja, u zavisnosti od vrste proizvoda.

Rezultati istraživanja pokazali su da dodatak algi može značajno doprineti unapređenju nutritivnog profila analiziranih proizvoda, posebno kroz povećanje sadržaja esencijalnih aminokiselina i omega-3 masnih kiselina, kao i sniženje aterogenog i trombogenog indeksa. Uočeni su i pozitivni efekti na stabilnost emulzije, dok su tekstura i boja značajno varirale u zavisnosti od vrste i koncentracije dodatih algi. Mikrobiološka ispravnost nije bila narušena ni u jednoj od ispitivanih formulacija, a u pojedinim slučajevima zabeleženi su i blagi pozitivni efekti, uprkos tome što je primenjena koncentracija od 3% relativno niska. Senzorna prihvatljivost ostala je na zadovoljavajućem nivou u svim formulacijama, uz ograničenja pri višim koncentracijama pojedinih algi.

Rezultati ukazuju da se alge mogu uspešno primeniti u mesnoj industriji kao funkcionalni sastojci sa potencijalom za kreiranje proizvoda poboljšanog nutritivnog i tehnološkog kvaliteta.

The influence of the addition of micro- and macroalgae on the quality and functional-technological properties of semi-finished products and meat products

ABSTRACT

With the growing focus on innovation in the food industry, there is an increasing demand for products that, beyond basic nutritional value, offer functional health benefits. Meat and meat products, while being rich sources of protein, iron, zinc, and B vitamins, are often criticized for their unfavorable content of saturated fatty acids, cholesterol, and potential additives. Consequently, there is growing interest in the possibility of their nutritional and technological optimization through the incorporation of natural ingredients with functional properties. In this context, algae, rich in proteins, unsaturated fatty acids, dietary fiber, pigments, minerals, and antioxidants, are increasingly investigated as innovative ingredients in the formulation of novel foods, including meat products.

This doctoral dissertation aimed to examine the effects of algae addition on the quality and functional-technological properties of three meat products: frankfurters (cooked sausage), ćevapi (semi-finished meat product), and sremska sausage (fermented sausage). Two types of microalgae (*Chlorella vulgaris* – yellow and white) and two types of macroalgae (*Himanthalia elongata* – sea spaghetti and *Undaria pinnatifida* – wakame) were used at concentrations of 1.5% and 3%, while only the 3% level was tested in frankfurters. The study included chemical composition, amino acid and fatty acid profiles, lipid oxidation, microbiological safety, instrumental color and texture analysis, and sensory evaluation. Samples were monitored during production, ripening, and storage, depending on the product.

The results showed that algae addition can improve the nutritional profile of meat products, particularly by increasing essential amino acids and omega-3 fatty acids, and by lowering atherogenic and thrombogenic indices. Emulsion stability was enhanced, while texture and color varied depending on algae type and level. Microbiological safety was not compromised, and in some cases, mild positive effects were observed despite the relatively low 3% inclusion. Sensory acceptability remained satisfactory in all formulations, with some limitations at higher concentrations of specific algae.

These findings indicate that algae can be successfully applied in the meat industry as functional ingredients with potential for developing products of improved nutritional and technological quality.

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. PREGLED LITERATURE	3
2.1. Trendovi u reformulaciji proizvoda od mesa	3
2.2. Alge u savremenoj prehrambenoj industriji	4
2.3. Primena algi u proizvodima od mesa	5
2.4. Pravilnik o kvalitetu usitnjenog mesa, poluproizvoda od mesa i proizvoda od mesa.....	6
2.4.1. Frankfurteri	7
2.4.2. Čevapi	8
2.4.3. Sremska kobasica.....	8
2.5. Proizvodnja frankfurtera	9
2.6. Proizvodnja čevapa	11
2.7. Proizvodnja sremske kobasice	12
2.8. Odabrane vrste algi.....	14
2.8.1. Opšte karakteristike alge <i>Clorella vulgaris</i>	14
2.8.2. Opšte karakteristike alge <i>Himanthalia elongata</i>	15
2.8.3. Opšte karakteristike alge <i>Undaria pinnatifida</i>	17
3. CILJ ISTRAŽIVANJA	19
4. MATERIJAL I METOD RADA	21
4.1. Proizvodnja poluproizvoda i proizvoda od mesa	21
4.1.1. Priprema uzoraka frankfurtera	21
4.1.2. Priprema uzoraka čevapa	22
4.1.3. Priprema uzoraka Sremske kobasice	23
4.2. Fizičko-hemijske analize.....	25
4.2.1. Ispitivanja osnovnih fizičko-hemijskih parametara	25
4.2.2. Ispitivanje aminokiselinskog sastava.....	25
4.2.3. Ispitivanje masnokiselinskog sastava	26
4.2.4. Ispitivanje parametara oksidacije lipida.....	27
4.2.5. Kompjuterski vizuelni system (CVS) za merenje boje.....	27
4.2.6. Ispitivanje teksture	28
4.3. Mikrobiološke analize	29
4.4. Analiza stabilnosti emulzije	30
4.5. Senzorna analiza proizvoda.....	30
4.6. Statistička obrada rezultata.....	31
5. REZULTATI I DISKUSIJA	32
5.1. Rezultati ispitivanja frankfurtera.....	32

5.1.1. Osnovni fizičko-hemijski parametri	32
5.1.2. Aminokiselinski sastav	33
5.1.3. Masnokiselinski sastav.....	36
5.1.4. Parametri oksidacije lipida.....	38
5.1.5. Stabilnost emulzije, pH i a_w frankfurtera	40
5.1.6. Tekstura frankfurtera	42
5.1.7. Boja frankfurtera	44
5.1.8. Mikrobiološke karakteristike frankfurtera	48
5.1.9. Senzorna evaluacija frankfurtera	51
5.2. Rezultati ispitivanja ćevapa.....	54
5.2.1. Osnovni fizičko-hemijski parametri	54
5.2.2. pH, a_w i gubitak mase termičkom obradom	56
5.2.3. Tekstura ćevapa	57
5.2.4. Boja ćevapa.....	59
5.2.5. Senzorna evaluacija ćevapa	61
5.3. Rezultati ispitivanja sremske kobasice.....	63
5.3.1. Osnovni hemijski parametri.....	63
5.3.2. Aminokiselinski sastav	65
5.3.3. Masnokiselinski sastav.....	68
5.3.4. Parametri oksidacije lipida.....	70
5.3.5. Tekstura sremske kobasice	72
5.3.6. Boja sremske kobasice	73
5.3.7. Mikrobiološke karakteristike sremske kobasice	77
5.3.8. Senzorna evaluacija sremske kobasice	79
6. ZAKLJUČAK.....	81
7. LITERATURA	84
BIOGRAFIJA KANDIDATA	96
Izjava o autorstvu	97
Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada	98
Izjava o korišćenju	99

LISTA SKRAĆENICA

a*	Udeo crvene boje
a _w	Aktivnost vode
AI	Aterogeni indeks
ALA	Alfa-linolenska kiselina (Alpha-linolenic acid)
b*	Udeo žute boje
BMK	Bakterije mlečne kiseline
C	Kontrolna grupa
ČMT	Čvrsto masno tkivo
CVS	Kompjuterski vizuelni sistem (Computer Vision System)
DHA	Dokozaheksaenska kiselina (Docosahexaenoic acid)
ΔE	Ukupna razlika u boji
EAK	Esencijalne aminoiseline
EPA	Eikozapentaenska kiselina (Eicosapentaenoic acid)
FID	Detektor plamene jonizacije (Flame Ionization Detector)
GM	Gubitak mase
HC	Uzorak obogaćen žutom algom <i>Chlorella vulgaris</i>
HCl	Hlorovodonična kiselina
ICP-MS	Indukovano spregnuta plazma sa masenom detekcijom
L*	Svetloća (Lightness)
MDA	Malonaldehid
MNMK	Mononezasićene masne kiseline
NaCl	Natrijum-hlorid
NEAK	Neesencijalne aminokiseline
PB	Peroksidni broj
PFB	Psihrofilne bakterije
PNMK	Polinezasićene masne kiseline
SEM	Standardna greška
SS	Sea spaghetti / Uzorak obogaćen algom sea spaghetti
TI	Trombogeni indeks
TPA	Analiza teksturalnih parametara (Texture Profile Analysis)
UBB	Ukupan broj bakterija
ZMK	Zasićene masne kiseline
W	Wakame / Uzorak obogaćen algom wakame
WC	Uzorak obogaćen belom algom <i>Chlorella vulgaris</i>

1. UVOD

Meso i proizvodi od mesa predstavljaju osnovnu komponentu ishrane na globalnom nivou, posebno u Evropi i na Balkanu, gde imaju i snažnu kulturološku ulogu. Ovi proizvodi su značajan izvor visoko kvalitetnih proteina, esencijalnih aminokiselina, vitamina (B-kompleksa, naročito vitamina B12), minerala poput gvožđa i cinka, i bioaktivnih komponenti koje doprinose održavanju zdravlja (Geiker i sar., 2021; Salter, 2018). Ipak, i pored svojih nutritivnih prednosti, učestala konzumacija crvenog i prerađenog mesa povezuje se sa povećanim rizikom od hroničnih nezaraznih bolesti, kao što su kardiovaskularna oboljenja, hipertenzija, dijabetes tipa 2 i određeni karcinomi (Caprara, 2018; Pogorzelska-Nowicka i sar., 2018).

Meso zauzima centralnu poziciju u prehrambenim navikama stanovništva Srbije, a naročito se ističe konzumacija proizvoda od svinjskog mesa, što, prema dostupnim podacima, predstavlja udeo od 70 do 80% u ukupnoj potrošnji mesa, pri čemu su tradicionalni proizvodi poput roštiljskog mesa, suhomesnatih i fermentisanih kobasica duboko ukorenjeni u domaćoj kulinarskoj kulturi (Baltic i sar., 2018). Međutim, u savremenom prehrambenom kontekstu sve se više naglašava potreba za reformulacijom ovih proizvoda, odnosno za smanjenjem sadržaja komponenata koje su štetne po zdravlje, poput zasićenih masti, holesterola, natrijuma i veštačkih aditiva (Berian i sar., 2018).

Shodno tome, koncept reformulacije proizvoda od mesa postao jedno od centralnih istraživačkih i tehnoloških pitanja u industriji mesa. Cilj reformulacije jeste razvoj proizvoda sa boljim nutritivnim i funkcionalnim osobinama, uz očuvanje tehnološke stabilnosti i senzorne prihvatljivosti. Neki od najčešće korišćenih funkcionalnih sastojaka uključuju biljna vlakna, proteine leguminoza, biljne ekstrakte bogate antioksidansima, omega-3 masne kiseline i probiotike (Câmara i sar., 2020; Herrero i sar., 2019; Stajić i sar., 2024; Trevisan i sar., 2022). Ipak, postizanje balansa između tehnoloških i senzornih zahteva predstavlja izazov, pa se istraživanja intenzivno usmeravaju ka inovativnim rešenjima.

U tom kontekstu, mikro- i makroalge su sve više prepoznate kao potencijalno rešenje zbog svoje nutritivne vrednosti i biološke aktivnosti. One predstavljaju prirodni izvor proteina, polisaharida, dijetetskih vlakana, esencijalnih masnih kiselina, vitamina i minerala, uključujući jod, kalijum i kalcijum (Gullón i sar., 2020; Wang i sar., 2023). Bioaktivni polisaharidi iz algi, kao što su fucoidan, laminarin i alginat, pokazali su antioksidativna, antimikrobna, antihipertenzivna i imunomodulatorna svojstva (Wang i sar., 2023).

Makroalge poput *Himanthalia elongata* i *Undaria pinnatifida*, kao i mikroalge roda *Chlorella*, pokazale su veliki potencijal kao dodatak u proizvode od mesa, posebno u formulacijama sa

smanjenim udelom masti, bez dodatka nitrita, ili kao prirodni izvor vlakana (Beriaín i sar., 2018; Biswas, 2019). Njihova primena može imati povoljan uticaj na teksturu, boju, mikrobiološku stabilnost i antioksidativni kapacitet proizvoda, ali i doprineti održivosti proizvodnje i smanjenju upotrebe aditiva sintetičkog porekla.

Dosadašnja istraživanja su pokazala da je moguće uspešno uključiti alge u različite mesne proizvode, od barenih kobasica do fermentisanih proizvoda, uz očuvanje senzorne prihvatljivosti (Gullón i sar., 2021; Siladji i sar., 2024a). Međutim, i dalje postoji manjak podataka kada je reč o primeni algi u tradicionalnim fermentisanim proizvodima specifičnim za balkanski region, što ukazuje na značajan istraživački potencijal u ovoj oblasti.

U skladu s tim, ova doktorska disertacija ima za cilj da ispita uticaj dodatka različitih vrsta algi (žute i bele *Chlorella vulgaris*, *Himanthalia elongata* i *Undaria pinnatifida*) na hemijski sastav, tehnološke osobine, teksturalni i senzorni kvalitet, oksidativnu i mikrobiološku stabilnost tri različita proizvoda od mesa: ćevapa, barenih kobasica i fermentisane kobasice. Na taj način, rad doprinosi savremenim trendovima u reformulaciji funkcionalnih proizvoda od mesa i istražuje mogućnosti za implementaciju održivih i nutritivno superiornih sastojaka biljnog porekla u domaću mesnu industriju.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Trendovi u reformulaciji proizvoda od mesa

Meso i mesni proizvodi predstavljaju značajan izvor visokokvalitetnih proteina, lipida, minerala i vitamina, sa ključnom ulogom u ljudskoj ishrani zahvaljujući visokoj biološkoj vrednosti ovih nutrijenata (Lorenzo i sar., 2014). Ovi proizvodi čine jednu od najzastupljenijih grupa namirnica u ishrani širom sveta. Ipak, savremeni način života, praćen smanjenom fizičkom aktivnošću i konzumacijom nutritivno siromašnih namirnica, doveo je do porasta hroničnih bolesti, čime se nameće potreba za razvojem funkcionalnih prehrambenih proizvoda koji doprinose očuvanju zdravlja (Granato i sar., 2020; Nikmaram i sar., 2018).

Globalna potražnja za mesom i proizvodima životinjskog porekla kontinuirano raste usled demografskih, ekonomskih i sociokulturnih faktora (Sanchez-Sabate & Sabate, 2019). Međutim, intenzivna proizvodnja mesa značajno doprinosi degradaciji životne sredine, uključujući emisiju gasova sa efektom staklene bašte, zagađenje voda, prekomernu potrošnju prirodnih resursa i smanjenje biodiverziteta (Hafting i sar., 2012). U tom kontekstu, smanjenje konzumacije proteina životinjskog porekla i prelazak ka održivijim prehrambenim praksama postaje pitanje ne samo ekološke održivosti, već i javnog zdravlja (Sanchez-Sabate & Sabate, 2019).

Potrošači u razvijenim društvima sve više teže proizvodima koji doprinose unapređenju kvaliteta života i prevenciji bolesti. Očekivanja su usmerena ka balansiranim i funkcionalnim namirnicama koje, pored nutritivne vrednosti, pružaju dodatne zdravstvene koristi (Cofrades i sar., 2017). Ova potražnja rezultirala je ubrzanim razvojem „zdravijih“ i funkcionalnih prehrambenih proizvoda, koji se definišu kao proizvodi modifikovanog sastava ili procesa proizvodnje sa ciljem smanjenja prisustva potencijalno štetnih komponenti i/ili obogaćivanja bioaktivnim jedinjenjima (Cofrades i sar., 2017; Lorenzo i sar., 2016).

Jedan od ključnih pristupa u reformulaciji proizvoda od mesa jeste zamena ili redukcija sastojaka poput zasićenih masti i soli, kao i uvođenje sastojaka biljnog i morskog porekla sa dokazanim zdravstvenim benefitima (Granato i sar., 2017; Shikha Ojha i sar., 2018). U tom kontekstu, mikro- i makroalge su prepoznate kao izuzetno vredan funkcionalni sastojak zahvaljujući bogatom sadržaju proteina, dijetetskih vlakana, minerala, vitamina i antioksidativnih jedinjenja (Gullón i sar., 2020). Posebno se izdvajaju vrste poput *Chlorella* i *Spirulina*, koje imaju uravnotežen aminokiselinski sastav i široku primenu u ljudskoj ishrani (Fradique i sar., 2010; Salati i sar., 2017).

Pored nutritivnih i zdravstvenih prednosti, primena algi u prehrambenoj industriji doprinosi smanjenju ekološkog otiska proizvodnje hrane, što ih čini održivom alternativom tradicionalnim

sastojcima životinjskog porekla. U okviru ovih savremenih tendencija, razvoj funkcionalnih mesnih proizvoda obogaćenih algama predstavlja inovativan pristup koji odgovara kako na izazove očuvanja zdravlja potrošača, tako i na zahteve za zaštitom životne sredine (Moroney i sar., 2013; Roohinejad i sar., 2017).

2.2. Alge u savremenoj prehrambenoj industriji

Alge su primitivni fotosintetski organizmi koji predstavljaju izuzetno raznoliku i ekološki značajnu grupu autotrofnih mikroorganizama. Njihova sposobnost da vrše fotosintezu i proizvode biomasu bogatu kiseonikom i organskim materijama pozicionira ih kao ključne organizme u vodenim ekosistemima i globalnim ciklusima hranljivih materija (Wells i sar., 2017). Alge naseljavaju morska, slatkovodna i vlažna kopnena staništa, a njihova sposobnost prilagođavanja različitim ekološkim uslovima omogućila im je široku geografsku distribuciju i upotrebu u različitim oblastima, uključujući farmaceutsku, kozmetičku, prehrambenu i biotehnološku industriju (Pulz & Gross, 2004).

U zavisnosti od morfološke organizacije, alge se dele na mikroalge (pretežno jednoćelijski organizmi) i makroalge (višećelijski organizmi sa vidljivom morfologijom) (Chen i sar., 2009). Mikroalge, među kojima su najpoznatije vrste *Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis* i *Haematococcus pluvialis*, odlikuju se izuzetno bogatim nutritivnim sastavom. Sadrže visok procenat proteina (čak do 60% suve mase), esencijalnih aminokiselina, nezasićenih masnih kiselina, naročito omega-3 i omega-6, kao i značajne količine pigmenata (hlorofili, β -karoten, astaksantin), polisaharida, vitamina (B-kompleks, C, E) i minerala (Becker, 2007; Gouveia i sar., 2007; Safi i sar., 2014). S druge strane, makroalge se klasifikuju na crvene (Rhodophyta), smeđe (Phaeophyta) i zelene (Chlorophyta) na osnovu tipa fotosintetskih pigmenata koje sadrže. One su tradicionalno deo ljudske ishrane, naročito u azijskoj regiji, i poznate su kao izvor bioaktivnih jedinjenja kao što su polifenoli, dijetetska vlakna, sulfatisani polisaharidi (fukoidani, laminarin), te minerali poput joda, kalcijuma i magnezijuma (Gupta & Abu-Ghannam, 2011; Holdt & Kraan, 2011). Posebnu pažnju privlače hidrofilni polisaharidi kao što su karagenan i agar iz crvenih algi, odnosno alginat iz smeđih algi, koji se koriste kao zgušnjivači, emulgatori i stabilizatori u prehrambenoj industriji (Campo i sar., 2009; Pereira, 2011).

Zahvaljujući svom jedinstvenom hemijskom sastavu i sadržaju brojnih bioaktivnih jedinjenja, alge se sve više prepoznaju kao funkcionalni sastojci u savremenoj prehrambenoj industriji. Njihova primena obuhvata različite kategorije prehrambenih proizvoda, uključujući pekarske proizvode, mlečne prerađevine, napitke, suplemente i proizvode za vegetarijansku i vegansku ishranu (Samani i sar., 2021; Vieira i sar., 2020). U tim formulacijama, alge doprinose poboljšanju nutritivnog profila –

povećanjem sadržaja proteina, dijetetskih vlakana, esencijalnih masnih kiselina i mikronutrijenata – kao i obogaćivanju proizvoda prirodnim pigmentima i antioksidansima (Dimopoulou i sar., 2025). Osim nutritivnih prednosti, alge poseduju i važna tehnološka svojstva, zahvaljujući prisustvu hidrofilnih polisaharida (alginata, karagenana, agara) koji se koriste za modifikaciju teksture, emulgaciju, želiranje i stabilizaciju prehrambenih sistema (Campo i sar., 2009; Pereira, 2011). Ove osobine čine alge sastojcima izuzetno pogodnim za razvoj funkcionalnih prehrambenih proizvoda sa dodatkom vrednošću. Njihova primena omogućava i delimičnu ili potpunu zamenu veštačkih aditiva prirodnim komponentama, što je u skladu sa zahtevima tržišta za „clean label“ proizvodima (Vieira i sar., 2020). Takođe, zbog niskog uticaja na životnu sredinu tokom uzgoja, alge se smatraju održivim izvorima biomase, što dodatno doprinosi njihovoj atraktivnosti u prehrambenom sektoru (Garcia i sar., 2017; Khan i sar., 2018).

2.3. Primena algi u proizvodima od mesa

Rastuće interesovanje za funkcionalne prehrambene proizvode sve više se ogleda i u industriji mesa, koja se tradicionalno fokusirala na tehnološka i senzorna svojstva. Savremeni potrošači sve češće očekuju da proizvodi od mesa, osim osnovne nutritivne vrednosti, imaju i pozitivan efekat na zdravlje. To je dovelo do razvoja proizvoda obogaćenih sastojcima sa biološki aktivnim svojstvima, uključujući omega-3 masne kiseline, antioksidanse, probiotike i vlakna (Jimenez-Colmenero i sar., 2001). Pored toga, kao odgovor na zabrinutost u vezi sa aditivima i veštačkim sastojcima, sve više se istražuju prirodne alternative sa tehnološkom i zdravstvenom funkcijom (Lordan i sar., 2011).

U tom kontekstu, alge su prepoznate kao potencijalno vredni sastojci za upotrebu u proizvodima od mesa, i to ne samo zbog nutritivnog sastava, već i zbog njihovog uticaja na oksidativnu stabilnost, mikrobiološku sigurnost i teksturalna svojstva proizvoda (de Medeiros i sar., 2021; Vieira i sar., 2020). Ipak, za razliku od njihove sve češće upotrebe u proizvodima biljnog porekla, kao što su hleb (Qazi i sar., 2022), testenine (Fradique i sar., 2013), kuskus (Khemiri i sar., 2021) i mlečna čokolada (Batista de Oliveira i sar., 2021) – upotreba algi u proizvodima od mesa još uvek je relativno ograničena i nedovoljno istražena.

Tek u poslednjih 10 godina, pojedine studije su ispitivale inkorporaciju algi i njenih ekstrakata u različite proizvode od mesa, uključujući sveže kobasice (Francisco J. Marti-Quijal i sar., 2019), fermentisane kobasice (Thirumdas i sar., 2018), barene kobasice (Bošković Cabrol i sar., 2023), burgere od nekoliko vrsta mesa (Atitallah i sar., 2019; F. J. Marti-Quijal i sar., 2019) i jetrene paštete (Agregan i sar., 2018). Rezultati ovih istraživanja ukazuju na potencijal algi da poboljšaju nutritivna i funkcionalno-tehnološka svojstva ovih proizvoda. Primećeno je blago povećanje pH vrednosti

tokom hlađenog skladištenja (za 0,1 do 0,3 jedinice), što može doprineti poboljšanju kapaciteta vezivanja vode i smanjenju gubitaka pri kuvanju. Proteinski sadržaj ostaje uglavnom stabilan, dok niska vrednost masti u algama (oko 5% u suvoj materiji) doprinosi blagom smanjenju ukupnog lipidnog sadržaja. Takođe, dolazi do smanjenja sadržaja vlage i povećanja sadržaja pepela, što se povezuje sa visokim udelom dijetetnih vlakana u algama. Iako su u pojedinim proizvodima, naročito mesnim emulzijama i viršlama, zabeležene i niže vrednosti pepela bez jasnog objašnjenja, dodavanje algi generalno utiče na povećanje tvrdoće i žvackljivosti, dok elastičnost i kohezivnost uglavnom ostaju nepromenjene. Pored toga, neke vrste algi pokazale su pozitivan mikrobiološki efekat tokom skladištenja i značajnu antioksidativnu aktivnost, naročito kada se primenjuju u obliku ekstrakata u koncentracijama do 3% (Siladi i sar., 2024b). Međutim, pored brojnih benefita, jedan od ključnih izazova u upotrebi algi u proizvodima od mesa odnosi se na senzorna svojstva, naročito na boju i ukus. Dodavanje algalne biomase u prahu i u niskim koncentracijama (1–3%) dovodi do pojave tamnozeleno boje, kao i do karakterističnog ukusa i mirisa koji podsećaju na travu ili čaj, što može značajno uticati na percepciju potrošača (Mendes i sar., 2022). S obzirom na to da je boja jedan od najvažnijih parametara koji određuje prvi utisak o proizvodu, ovaj faktor može ograničiti komercijalnu primenu (Tomasevic i sar., 2021), i zato je od izuzetnog značaja istražiti koje vrste algi i u kojoj koncentraciji nemaju ili imaju najmanji negativan uticaj na boju i senzorne karakteristike finalnog proizvoda.

Uz dodatna istraživanja i optimizaciju senzornih karakteristika, dokazi pokazuju da mikro i makroalge predstavljaju obećavajući multifunkcionalni sastojak u proizvodnji reformulisanih, funkcionalnih i održivih mesnih proizvoda. Njihova pravilna upotreba može doprineti očuvanju kvaliteta, produženju roka trajanja i povećanju nutritivne vrednosti bez upotrebe sintetičkih aditiva, čime se otvaraju nove mogućnosti za inovacije u mesnoj industriji.

2.4. Pravilnik o kvalitetu usitnjenog mesa, poluproizvoda od mesa i proizvoda od mesa

Zahtevi kvaliteta koje usitnjeno meso, poluproizvodi od mesa i proizvodi od mesa moraju da ispunjavaju u prometu propisani su Pravilnikom o kvalitetu usitnjenog mesa, poluproizvoda od mesa i proizvoda od mesa ("Službeni glasnik RS", br. 50/2019 i 34/2023). Ovim pravilnikom definišu se kriterijumi za klasifikaciju, sastav, tehnološku obradu, dozvoljene aditive i način deklarisanja različitih kategorija proizvoda.

Proizvodi od mesa se prema stepenu prerade, načinu obrade, prisustvu omotača i nameni svrstavaju u nekoliko osnovnih grupa:

- Usitnjeno meso – sveže mleveno meso bez dodataka i bez promene u osnovnom sastavu mesa (npr. mleveno meso),
- Poluproizvodi od mesa – proizvodi koji sadrže usitnjeno meso sa začinima i/ili aditivima, koji nisu termički obrađeni i namenjeni su za kuvanje, pečenje ili prženje neposredno pre konzumacije (npr. ćevapi, pljeskavice, ražnjići),
- Proizvodi od mesa – proizvodi koji su prošli određeni oblik prerade, uključujući fermentaciju, sušenje, dimljenje, barenje, pečenje, i koji se mogu konzumirati direktno ili posle dodatne obrade.

Proizvodi od mesa se dalje dele na:

- Termički tretirane proizvode od mesa – pasterizacijom (do min 70 °C u termalnom centru proizvoda), kuvanjem (temperatura ključanja vode i $F_0 \geq 0,4$) i sterilizacijom ($t > 100$ °C i $F_0 \geq 3$). (npr. viršle, frankfurteri, jetrena pašteta),
- Fermentisane kobasice – proizvedeni pomoću starter kultura i/ili prirodne mikroflore i sušenjem (npr. sremska kobasica, kulen, čajna kobasica),
- Sušeni proizvodi od mesa – suvo soljeni komadi mesa sušeni u struju hladnog vazduha (npr. pršut, pršuta, panceta). To su proizvodi sa sniženom aktivnošću vode, produženim rokom trajanja i karakterističnim senzornim svojstvima

U okviru svake grupe, Pravilnik detaljno propisuje zahteve u pogledu hemijskog sastava (sadržaj proteina, masti, kolagena), fizičko-hemijskih parametara (aktivnost vode, pH vrednost), prisustva dodataka i aditiva, kao i senzornih osobina (izgled, miris, ukus, tekstura).

2.4.1. Frankfurteri

Frankfurteri pripadaju grupi fino usitnjenih barenih kobasica i dobijaju se od mesa i masnog tkiva svinje, proizvoda od krvi i dodataka. Nadev frankfurtera se puni u omotače uskog prečnika. Karakteristični su po emulzionoj strukturi, blago dimljenoj aromi i homogeno raspoređenim sastojcima. Proizvodi u ovoj kategoriji, prema Pravilniku, moraju ispunjavati sledeće zahteve:

- Minimalni sadržaj proteina: 11%,
- Kolagen u proteinima mesa: najviše 20%,
- Dozvoljena upotreba dodataka: so, soli za salamurenje, voda, začini, šećeri, aditivi, arome dima i prirodne arome,
- Termička obrada: temperatura u termalnom centru proizvoda mora dostići vrednost od najmanje 70 °C, ili ako je postupak toplotne obrade takav da se u termalnom centru proizvoda

dostigne temperatura od najmanje 65 °C, kroz vremenski period potreban da se dostigne vrednost pasterizacije jednaka ili iznad 40.

- Jedre i sočne, a pod lakim pritiskom ne otpuštaju tečnost,
- Nemaju oštećenja, veće nabore i deformacije,
- Nadev je homogen, ujednačene i stabilne boje i nema izdvojenog želea i masti,
- Omotač prileže uz nadev,
- Prijatnog i svojstvbenog su mirisa i ukusa.

2.4.2. Čevapi

Čevapi su predstavnici poluproizvoda od mesa i spadaju u grupu usitnjenog mesa sa dodacima. Namenjeni su za termičku obradu neposredno pre konzumacije. Tehnička specifikacija čevapa nije u potpunosti standardizovana u okviru Pravilnika kao zasebna kategorija, ali se regulišu kroz opšta pravila za usitnjeno meso sa dodacima. Zahtevi uključuju:

- Sadržaj proteina mesa: najmanje 14%,
- Relativan sadržaj kolagena u proteinima mesa: do 15%,
- Stabilnu boju svojstvenu vrsti mesa,
- Prijatni miris i ukus svojstveni vrsti mesa.

2.4.3. Sremska kobasica

Sremska kobasica spada u grupu fermentisanih suvih kobasica koje se karakterišu dugotrajnim zrenjem, sniženom aktivnošću vode i bogatim aromatičnim profilom. Dobija se od svinjskog mesa, čvrstog masnog tkiva (ČMT) i dodataka kao što su so, soli za salamurenje, začini, ekstrakti začina, šećeri, aditivi i starter kulture. Pravilnikom su propisani sledeći kriterijumi za ovu kategoriju:

- Proizvod mora imati nedirnut, čvrsto prijanjajući omotač bez deformacija i pukotina,
- Na preseku: ujednačen mozaik komadića mesa i masti, bez šupljina,
- Boja: ujednačena, stabilna i karakteristična za vrstu kobasice,
- Miris i ukus: izraženi, tipični za fermentisane proizvode,
- Tekstura: kompaktna, elastična, sastojci se ne odvajaju prilikom sečenja,
- pH vrednost: najmanje 5,0,
- Aktivnost vode (aw): najviše 0,90,
- Maksimalni sadržaj vlage: do 35%,
- Proteini mesa: najmanje 20%,
- Kolagen u proteinima mesa: najviše 15%.

Pridržavanje navedenih zahteva omogućava usklađivanje kvaliteta reformulisanih proizvoda sa važećim zakonodavnim okvirom i tržišnim standardima. Implementacija funkcionalnih sastojaka, kao što su mikro- i makroalge, mora biti utemeljena na ovim kriterijumima kako bi se očuvala bezbednost, nutritivna vrednost i senzorna prihvatljivost finalnog proizvoda.

2.5. Proizvodnja frankfurtera

Frankfurter, često poznat i pod nazivom viršla, ubraja se među najzastupljenije proizvode u kategoriji fino usitnjenih barenih kobasica, kako u tradicionalnoj, tako i u modernoj industrijskoj praksi. Njegovo poreklo se vezuje za grad Frankfurt u Nemačkoj, gde se proizvod sličan današnjoj viršli izrađivao još u trinaestom veku. Naziv „frankfurter würstchen“ zaštićen je još od 1860. godine, a isključivo pravo korišćenja naziva ustanovljeno je 1929. godine. Iako je mesar Johan Lahner prvi počeo da proizvodi ove kobasice u Beču, u Nemačkoj se često koriste i nazivi wiener ili wiener würstchen. Danas se u praksi pravi razlika između Frankfurtera, koji se priprema isključivo od svinjskog mesa, i wienera, koji u sastavu sadrži i goveđe meso (Gibis i sar., 2014).

Fino usitnjene barene kobasice proizvode se od mesa, masnog tkiva, vode, kuhinjske i soli za salamurenje, začina, aditiva i drugih funkcionalnih dodataka. Ključnu ulogu u tehnološkom procesu imaju miofibrilarni proteini, koji se tokom kuterizacije oslobađaju iz mišićnih vlakana i prelaze u koloidni sistem. Taj proces omogućava efikasno vezivanje vode i stabilnu distribuciju masnoće u emulziji. Upravo zahvaljujući ovim svojstvima, formira se mesno testo koje obezbeđuje strukturalnu i teksturalnu stabilnost gotovog proizvoda (Vukovic, 2012). Za dobijanje kvalitetne emulzije neophodno je koristiti meso koje odlikuje visoka sposobnost vezivanja vode, što je posebno izraženo kod mesa obrađenog neposredno nakon klanja, pre pojave *rigor mortisa*. U proizvodnji se najčešće koristi svinjsko, goveđe i živinsko meso. Pravovremeno usoljavanje i mlevenje omogućavaju miofibrilarnim proteinima da očuvaju svoju funkcionalnost, što je od ključnog značaja za formiranje stabilne emulzije (Price & Schweigert, 1971). Masnoća koja se koristi u ovim proizvodima najčešće potiče od svinjskog čvrstog masnog tkiva. Njegove karakteristike omogućavaju lako usitnjavanje i zadržavanje strukturne stabilnosti tokom termičkog procesa. Pre upotrebe, ČMT se hladi kako bi došlo do kristalizacije masti, čime se istovremeno ograničava aktivnost lipolitičkih enzima. Udeo čvrstog masnog tkiva u recepturi najčešće ne prelazi 30% (Vukovic, 2012).

Osnovu nadeva čini mesna emulzija – kompleksni multifazni sistem u kojem se fino usitnjene kapljice masti (1–50 µm) ravnomerno raspoređuju u mreži miofibrilarnih proteina. Ovi proteini, prvenstveno miozin, oblažu masne globule i formiraju zaštitni sloj koji sprečava njihovo izdvajanje tokom termičke obrade. Denaturacija proteina tokom barenja rezultira formiranjem trodimenzionalne proteinske mreže koja obezbeđuje strukturalnu stabilnost i zadržavanje masti i vode u gotovom

proizvodu (Feiner, 2006). Efikasnost ovog procesa zavisi od brojnih faktora: sadržaja proteina u sirovini, jonske jačine (posebno u prisustvu 5% kuhinjske soli), pH vrednosti, vremena kuterizacije i dodatka fosfata. Protein-voda interakcije igraju ključnu ulogu u zadržavanju vode, dok proteinska mreža omogućava imobilizaciju svih komponenti nadeva (Xiong, 2007).

Nakon formiranja emulzije, nadev se puni u omotače (dužine oko 20–24 mm) pod niskim pritiskom, uz maksimalno izbegavanje prisustva vazduha. Proizvodi se zatim ostavljaju da se cede, nakon čega se podvrgavaju toplotnom dimljenju (50–60 °C, 45–50 min), što im daje karakterističnu zlatno-smeđu boju i aromu, zahvaljujući prisustvu belog bibera i muskatnog oraščića. Sledeća faza je pasterizacija u vlažnoj sredini (70–80 °C), čime se obezbeđuje mikrobiološka sigurnost, ali je potrebno hlađenje i čuvanje na temperaturi do 4 °C zbog termički nepotpune eliminacije sporogenih mikroorganizama (Gibis i sar., 2014).

Frankfurteri su, dakle, tanke, cilindrične forme dužine oko 20 cm, sa glatkom i elastičnom površinom, dok je boja svetloružičasta do zlatnosmeđa. Aroma je blaga, blago začinjena i dimljena, a tekstura fina i sočna, bez prisustva vidljivih čestica masti ili vezivnog tkiva. Zahvaljujući homogeno distribuiranim komponentama, frankfurter predstavlja idealan model za dodatak funkcionalnih sastojaka, bez narušavanja njegove osnovne strukture. U skladu sa savremenim trendovima u ishrani, ovi proizvodi se sve češće reformulišu kako bi se smanjio sadržaj zasićenih masti i natrijuma, a povećao sadržaj bioaktivnih sastojaka – uključujući prehrambena vlakna, prirodne antioksidanse i proteine biljnog porekla. Posebno se ispituje dodatak algi kao izvora proteina, esencijalnih aminokiselina, omega-3 masnih kiselina, dijetetskih vlakana i drugih korisnih jedinjenja. Zahvaljujući stabilnoj strukturi i jednostavnoj tehnologiji, frankfurteri ostaju jedan od najpogodnijih proizvoda za istraživanja u oblasti funkcionalne hrane.

U studiji Bošković Cabrol i sar. (2023), koja je ispitivala dodatak žute i bele *C. vulgaris* u frankfurtere, zabeležena su brojna poboljšanja nutritivnih i funkcionalnih svojstava proizvoda. Unapređen je profil esencijalnih aminokiselina i polinezasićenih masnih kiselina (PNMK), uz smanjene vrednosti lipidnih indeksa. Emulziona stabilnost proizvoda bila je poboljšana, a prisustvo karotenoida i antibakterijsko dejstvo algi potencijalno produžavaju rok trajanja. Sa druge strane, makroalge, kao što su sea tangle (*Laminaria*) i sea mustard (*Undaria*) su u frankfurterima sa smanjenim sadržajem soli poboljšali stabilnost emulzije i smanjili gubitak mase tokom kuvanja. Pored toga, senzorna svojstva ovih reformuliranih proizvoda bila su uporediva sa kontrolnim uzorkom sa standardnim sadržajem soli, što potvrđuje potencijal ovih algi u očuvanju kvaliteta i prihvatljivosti proizvoda u formulacijama sa nižim sadržajem natrijuma (Choi i sar., 2015). Lopez-Lopez, Bastida, i sar. (2009) su zaključili da makroalge mogu doprineti razvoju formulacija mesnih emulzija sa smanjenim sadržajem natrijuma,

a istovremeno povećati unos esencijalnih minerala kao što su magnezijum, kalijum i gvožđe. Studije su potvrdile da sistemi koji kombinuju alge i meso imaju povoljan aminokiselinski sastav i dobar kvalitet proteina. Takođe, prisustvo antioksidativnih jedinjenja iz algi doprinosi poboljšanoj oksidativnoj stabilnosti tokom skladištenja. Ipak, autori naglašavaju da dodatak većih količina algi može negativno uticati na senzorna svojstva, te se preporučuje pažljivo balansiranje koncentracije u cilju očuvanja prihvatljivosti proizvoda (Lopez-Lopez i sar., 2009) .

2.6. Proizvodnja ćevapa

Ćevapi predstavljaju jedan od najprepoznatljivijih proizvoda od mesa na Balkanu, sa dubokim korenima u istoriji i snažno izraženim kulturnim značajem. Poreklo ovog proizvoda se vezuje za otomansku kuhinju i termin *kebab*, koji je, posredstvom dugotrajnog otomanskog prisustva na Balkanu, doživeo lokalne adaptacije i transformacije . U Srbiji, prve zabeležene pojave ćevapa u ugostiteljskoj ponudi datiraju iz sredine XIX veka, konkretno u beogradskim kafanama, dok je u Bosni i Hercegovini njihova popularnost ubrzano rasla tokom XX veka (Bestic-Bronza & Bronza, 2020). Sarajevski i banjalučki ćevapi vremenom su se razvili u karakteristične regionalne varijante, koje su danas predmet sistema zaštite geografskog porekla, što ukazuje na visok stepen standardizacije receptura i njihovu ulogu u očuvanju kulturnog identiteta.

U tehnološkom smislu, ćevapi se svrstavaju u grupu sirovih proizvoda od usitnjenog mesa bez omotača, namenjenih termičkoj obradi neposredno pre konzumacije. Osnovne sirovine uključuju goveđe i svinjsko meso, uz dodatak masnog tkiva u cilju postizanja željene teksture i sočnosti. Tipična receptura podrazumeva mlevenje mesa kroz sito prečnika 8 mm, a zatim 4,5 mm, kako bi se postigla odgovarajuća granulacija (Stajić i sar., 2021). Nakon toga sledi mešanje sa dodatkom kuhinjske soli, bibera, belog luka i vode ili leda. Oblikovanje ćevapa se tradicionalno vrši ručno ili upotrebom posebnih mašinskih nastavaka, čime se formiraju cilindri dužine 6–8 cm i prečnika oko 2 cm, u skladu sa standardima koji važe za komercijalnu proizvodnju. Tako oblikovani ćevapi se mogu neposredno upotrebiti, čuvati u rashladnim uslovima do 24 časa ili zamrznuti radi produženja roka trajanja. Termička obrada se najčešće sprovodi pečenjem na roštilju ili roštilj-ploči, na temperaturi od oko 230–250 °C, pri čemu dolazi do denaturacije proteina, razvoja specifičnih aroma putem Maillard-ovih reakcija i gubitka mase u rasponu od 15 do 25 %, u zavisnosti od sastava i tehnoloških uslova (Djekic i sar., 2023; Stajić i sar., 2024).

Savremena istraživanja usmerena su na unapređenje nutritivnih i funkcionalnih svojstava ćevapa kroz inovativne dodatke. U jednoj od studija, ispitivan je uticaj delimične zamene čvrstog masnog tkiva uljem od bundeve, pri čemu je 30 % masti u recepturi zamenjeno ovim biljnim uljem. Rezultati su

pokazali da ova zamena ne utiče negativno na senzorne karakteristike proizvoda, dok istovremeno doprinosi smanjenju udela zasićenih masti i povećanju sadržaja esencijalnih masnih kiselina (Stajić i sar., 2021). Dodatak praha od sušene pulpe paradajza u koncentraciji od 10 g/kg pokazao je sposobnost da smanji gubitke pri pečenju i poboljša sočnost bez promene pH i a_w vrednosti proizvoda (Stajić i sar., 2024). Poboljšanja su uočena i prilikom delimične zamene goveđeg mesa mesom divljači, pri čemu se postiže unapređenje nutritivnog profila proizvoda i otvaraju mogućnosti za proširenje tržišne ponude (Djekic i sar., 2023). Potencijal za dalji razvoj ćevapa ogleda se u integraciji tradicionalnih receptura sa savremenim konceptima funkcionalne hrane i održive proizvodnje.

2.7. Proizvodnja sremske kobasice

Sremska kobasica dobila je ime po geografskom području Srem, smeštenom između reka Save i Dunava, a sa njenom proizvodnjom započelo se još u drugoj polovini 18. veka. Smatra se da je prethodnica današnje sremske kobasice bila začinjena i dimljena kobasica poznata kao lucanica, koju su rimski legionari nosili u torbama i konzumirali pre ili posle bitaka (Stevanović i sar., 2016). U prošlosti, za proizvodnju sremske kobasice najčešće je korišćeno meso autohtonih rasa svinja, poput mangulice, koje su bogate masnim tkivom. Međutim, tokom druge polovine 20. veka, ove rase su postepeno zamenjene modernim komercijalnim rasama svinja (Tomasevic i sar., 2021).

Za razliku od čajne kobasice, koja se danas isključivo proizvodi industrijski, sremska kobasica je zadržala svoju tradiciju domaće i zanatske proizvodnje. Međutim, zbog porasta potražnje, proizvodnja se proširila i na industrijski sektor, što je dovelo do velikih razlika u procesima proizvodnje i kvalitetu između tradicionalno i komercijalno proizvedenih kobasica (Tojagic, 1996). Pored toga, razlike su prisutne i među različitim domaćim proizvođačima. Zbog svog regionalnog značaja, sremska kobasica je među prvim proizvodima u Srbiji koji su dobili oznaku zaštićenog geografskog porekla (Radovanović i sar., 1992).

Tradicionalna proizvodnja se najčešće odvija u zimskom periodu, krajem novembra i tokom decembra, kada su spoljne temperature niske (oko 0 °C). Uobičajeno je da se koristi meso svinja koje su zaklane sa najmanje 12 meseci starosti, jer se tada odlikuje nižim sadržajem vlage (Živković i sar., 2011). Za pripremu se koristi uglavnom otkoštено svinjsko meso, najčešće rebra i plećka, uz dodatak leđne masti. Meso se usitnjava na veličinu čestica od 8 do 13 mm i ručno meša sa solju, mlevenom ljutom i slatkim paprikom, belim lukom i crnim biberom (Radovanović i sar., 1992). Nakon mešanja, masa se puni u prirodne svinjske omotače prečnika oko 32 mm, pri čemu se formiraju kobasice dužine približno 40 cm. Odmah po punjenju, kobasice se kače na drvene štapove i ostavljaju da se ocede i prosuše, kako bi bile spremne za dimljenje (Tojagic, 1997). Proces dimljenja se obavlja hladnim

dimom koji nastaje pirolizom bukovog drveta i traje od 6 do 7 dana, a nekada i duže (Djinovic i sar., 2008; Tojagic, 1996). Kobasice se obično postavljaju na visinu od najmanje dva metra iznad izvora dima i dime se nekoliko sati dnevno, ili svaki drugi dan u dužim intervalima sa većom količinom dima. Nakon završetka dimljenja, zrenje kobasica se odvija u tradicionalnim komorama za sušenje/ripening tokom perioda od 12 do 60 dana (Tomasevic i sar., 2021).

U industrijskoj proizvodnji, uobičajeno je i dodavanje mesnih okrajaka (ficla), zajedno sa nitritima i šećerima, dok se starter kulture ređe koriste. Kada se dodaje do 0,3% šećera, postiže se minimalna pH vrednost od oko 5,0, što je nešto niže u poređenju sa tradicionalnim proizvodima (Dučić i sar., 2018; Vesković-Moračani i sar., 2011). Temperature i relativna vlažnost vazduha se u industrijskoj proizvodnji pažljivo kontrolišu, a često se u prvim danima zrenja održavaju na višim nivoima, što u kombinaciji sa šećerom ubrzava fermentaciju i dovodi do bržeg pada pH vrednosti. Zahvaljujući ubrzanom procesu fermentacije, ukupno trajanje proizvodnje je kraće, ali proizvodi često imaju izraženiju kiselkastu notu u poređenju sa tradicionalno proizvedenim kobasicama. Na kraju zrenja, gubitak mase iznosi oko 35% (Radovanović i sar., 1992), dok kod domaće proizvodnje, u zavisnosti od dužine zrenja, taj gubitak može biti i veći.

U poređenju sa drugim kategorijama proizvoda od mesa, kao što su barene kobasice i poluproizvodi od mesa, fermentisane kobasice predstavljaju grupu u kojoj je primena algi kao funkcionalnih dodataka najmanje istražena. S obzirom na specifičan tehnološki proces fermentacije, zrenja i formiranja karakterističnog senzornog profila, uvođenje novih sastojaka u ovu kategoriju proizvoda zahteva posebnu pažnju. Upravo zbog složenosti procesa i mogućeg uticaja na mikrobiološku stabilnost i senzorna svojstva, broj studija koje se bave dodatkom mikro- i makroalgi u fermentisane kobasice je ograničen. Ipak, nekoliko dostupnih istraživanja pruža korisne uvide u potencijalnu funkcionalnu i nutritivnu vrednost ovih dodataka u formulacijama fermentisanih kobasica. Dodavanjem proteina algi (*Chlorella* i *Spirulina*) kao zamene za sojin protein u fermentisane kobasice tipa čorizo (španski “chorizo”), postignuto je unapređenje teksturalnih karakteristika proizvoda – povećane su tvrdoća, adhezivnost i žvkljivost u odnosu na kontrolne uzorke sa sojom. Sadržaj proteina u svim formulacijama ostao je visok, dok je aminokiselinski sastav bio uravnotežen, pri čemu su uzorci sa *Chlorella* proteinom pokazali povoljniji odnos esencijalnih i neesencijalnih aminokiselina. Iako je dodatak algi doveo do smanjenja crvenila usled prisustva tamnozelenih pigmenata, nutritivna i funkcionalna svojstva proizvoda nisu bila narušena (Thirumdas i sar., 2018). Jedno drugo istraživanje je pokazalo da se ulje algi može koristiti kao funkcionalni sastojak u suvim fermentisanim kobasicama, ali u ograničenim količinama. Proizvodi sa dodatkom algalnog ulja imali su dobru senzornu prihvatljivost i povoljniji odnos n-6/n-3 masnih kiselina u poređenju sa

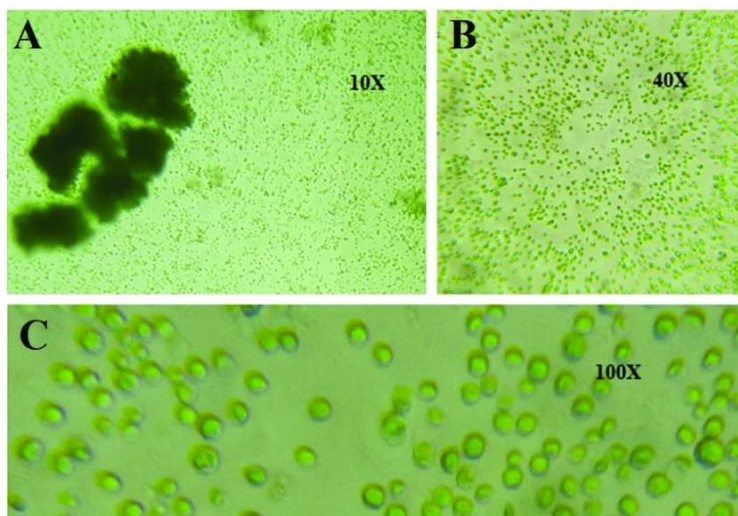
tradicionalnim kobasicama, kao i značajan sadržaj dokozaheksaenske kiseline (DHA) (Valencia i sar., 2007).

2.8. Odabrane vrste algi

U ovoj doktorskoj disertaciji, izbor algi zasnovan je na detaljnoj analizi i kritičkom pregledu dostupnih naučnih radova, koji se bave uticajem mikro- i makroalgi na kvalitet proizvoda od mesa. Posebna pažnja posvećena je vrstama koje su se u prethodnim studijama pokazale kao najpogodnije sa aspekta nutritivnog sastava, tehnološke kompatibilnosti i prihvatljivosti od strane potrošača. Na osnovu dosadašnjih saznanja, odlučeno je da se koriste tri vrste algi: *Chlorella vulgaris* (mikroalga), kao i dve makroalge – *Himanthalia elongata* (komercijalni naziv - sea spaghetti) i *Undaria pinnatifida* (wakame). Ove vrste su prepoznate zbog svog bogatog sadržaja bioaktivnih jedinjenja, uključujući proteine, prehrambena vlakna, minerale, vitamine i antioksidanse, kao i zbog svog potencijala da unaprede nutritivni profil proizvoda, uz minimalan negativan uticaj na senzorna svojstva gotovih proizvoda.

2.8.1. Opšte karakteristike alge *Chlorella vulgaris*

Chlorella vulgaris je jednoćelijska sferična mikroalga koja pripada grupi zelenih algi (*Chlorophyta*) i predstavlja jedan od najistraživanijih mikroorganizama zbog svog izuzetnog nutritivnog i bioaktivnog potencijala. Ova mikroalga, prečnika 2–10 µm, karakteriše se jednostavnom morfologijom (Slika 1), ali i čvrstim ćelijskim zidom bogatim celulozom i glukozaminom, što joj omogućava otpornost na spoljašnje uticaje i prilagodljivost različitim uslovima gajenja (Safi i sar., 2014).



Slika 1. Ćelije *Chlorella vulgaris* pod svetlosnim mikroskopom pri različitim uvećanjima (Hariram i sar., 2022)

C. vulgaris se posebno ističe svojim bogatim hemijskim sastavom, zahvaljujući čemu se sve više koristi kao funkcionalni sastojak u prehrambenoj industriji (Sathasivam i sar., 2019). Sadržaj proteina u suvoj materiji ove alge kreće se od 42% do 58%, pri čemu su prisutne sve esencijalne aminokiseline u balansiranom odnosu, što je čini odličnim izvorom proteina visoke biološke vrednosti (Safi i sar., 2014). Pored proteina, lipidna frakcija može dostići do 40% suve mase, sa značajnim udelom višestruko nezasićenih masnih kiselina (PUFA), uključujući omega-3 masne kiseline (Gouveia i sar., 2007). Ova mikroalga je takođe bogata polisaharidima, prehrambenim vlaknima, kao i pigmentima poput hlorofila, luteina i beta-karotena, koji poseduju izražena antioksidativna svojstva (Del Campo i sar., 2007). Dodatno, *C. vulgaris* je značajan izvor vitamina (B-kompleks, C, E) i minerala kao što su kalijum, magnezijum, gvožđe i cink (Safi i sar., 2014). Zahvaljujući sposobnosti rasta u autotrofnim, heterotrofnim i miksotrofnim uslovima, pogodna je za masovnu proizvodnju u industrijskim postrojenjima, što omogućava stabilnu i ekonomičnu proizvodnju biomase (Becker, 2007). U prehrambenoj industriji, *C. vulgaris* se koristi kao prirodan dodatak u različitim proizvodima, uključujući napitke, pekarske proizvode, testenine, grickalice i dijetetske suplemente (Batista i sar., 2017). Njena primena je usmerena ka obogaćivanju proizvoda proteinima, antioksidansima i mikronutrijentima, čime se doprinosi razvoju funkcionalne hrane sa potencijalnim zdravstvenim benefitima.

Zahvaljujući ovim svojstvima, *Chlorella vulgaris* zauzima važno mesto u savremenim trendovima prehrambene industrije, koji su usmereni ka razvoju nutritivno superiornih i zdravstveno korisnih proizvoda.

2.8.2. Opšte karakteristike alge *Himanthalia elongata*

Himanthalia elongata, poznata i pod nazivom sea spaghetti, predstavlja jestivu smeđu algu iz reda *Fucales*, prirodno rasprostranjenu duž atlantskih obala Evrope, uključujući irski, francuski i britanski priobalni pojas. U prirodnim uslovima, *H. elongata* razvija karakteristične duge, trakaste nastavke koji mogu dostići dužinu od 2 do 3 metra i širinu do jednog centimetra (Slika 2), dok diskoidna osnova (prva faza rasta) dostiže prečnik od 1 do 2 cm (Guiry & Guiry, 2025). Tradicionalno se koristi u ljudskoj ishrani, najčešće u obliku salata, supa ili kao zamena za testeninu, a njena primena u prehrambenoj industriji poslednjih godina beleži ubrzan rast zahvaljujući bogatom nutritivnom sastavu i prisustvu bioaktivnih jedinjenja (Catarino i sar., 2025; Ilyas i sar., 2023).



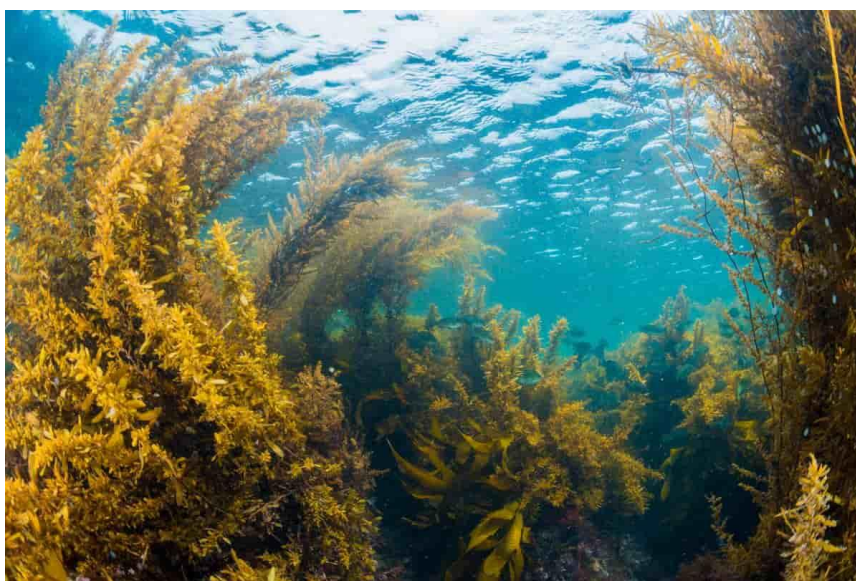
Slika 2. *Himanthalia elongata* u prirodnom staništu
(<https://www.marlin.ac.uk/>)

Ova alga je bogat izvor dijetetskih vlakana, vitamina (A, C, B1, B2), minerala (kalijum, magnezijum, kalcijum, jod, gvožđe), kao i proteina koji sadrže sve esencijalne aminokiseline. Iako ukupni sadržaj proteina varira (do 15% suve mase), prisustvo glutaminske i asparaginske kiseline doprinosi njenom izraženom umami ukusu, što je čini pogodnom za upotrebu kao prirodni pojačivač ukusa (Cofrades i sar., 2010; Oliveira i sar., 2023). Takođe, *H. elongata* sadrži značajne količine višestruko nezasićenih masnih kiselina, posebno omega-3 (do 35% ukupnih masnih kiselina), pri čemu odnos ω -6/ ω -3 ostaje nizak (<1), što je povoljno sa aspekta prevencije kardiovaskularnih bolesti (Cassani i sar., 2022). U biohemijskom sastavu izdvaja se prisustvo kompleksnih polisaharida karakterističnih za smeđe alge, kao što su fukoidani, laminarani i alginati, koji poseduju antioksidativna, imunomodulatorna i protivupalna svojstva. Fukoidani iz ove vrste su bogati sulfatisanim fukozama, dok alginati pokazuju izraženu sposobnost geliranja, što se koristi u teksturiranju prehrambenih proizvoda (Catarino i sar., 2025). Pored svog nutritivnog potencijala, sea spaghetti je prepoznat kao izvor fitonutrijenata kao što je fukoksantin - karotenoid sa antioksidativnim, antiinflamatornim i potencijalno antitumorskim delovanjem. Prisutni su i fenolni sastojci, naročito florotanini, koji su zabeležili snažnu antioksidativnu aktivnost u brojnim *in vitro* testovima (Belda i sar., 2016; Rajauria i sar., 2013).

Zahvaljujući visokom sadržaju prehrambenih vlakana, mineralnih i bioaktivnih supstanci, sea spaghetti se sve više koristi u razvoju funkcionalne hrane, uključujući pekarske i mesne proizvode, kao i biljne alternative životinjskim proteinima.

2.8.3. Opšte karakteristike alge *Undaria pinnatifida*

Undaria pinnatifida, poznata pod nazivom wakame, predstavlja jednu od najvažnijih jestivih smeđih algi na globalnom tržištu. Tradicionalno se koristi u ishrani u zemljama Dalekog istoka, naročito u Japanu, Koreji i Kini, a poslednjih decenija njena popularnost raste i u drugim delovima sveta zahvaljujući bogatom nutritivnom sastavu i izraženim funkcionalnim svojstvima (Wang i sar., 2018). Morfološki, wakame razvija veliku frundu širine 20–40 cm i dužine do 1,5 metara, sa jasno izraženim naborima na ivicama (Slika 3), dok plodonosni sporofili formiraju resaste strukture pri osnovi drške (Guiry & Guiry, 2025).



Slika 3. *Undaria pinnatifida* u prirodnom staništu (<https://aradbranding.com/>)

Hemijski sastav ove makroalge ukazuje na izuzetan nutritivni potencijal. Prema podacima Taboada i sar. (2013), sadržaj proteina u *U. pinnatifida* iznosi 16,8%, što je viši udeo u odnosu na većinu drugih smeđih algi. Ukupni udeo ugljenih hidrata iznosi 21,4%, dok su dijetetska vlakna prisutna u značajnoj količini i čine 30,7% suve mase. Lipidna frakcija dostiže 2,7% suve mase, sa izraženim udelom polinezasićenih masnih kiselina – posebno omega-3 masnih kiselina. Od ukupnih masnih kiselina, 19,5% čine omega-3, dok je odnos omega-6/omega-3 izuzetno povoljan i iznosi svega 0,37, što ovu algu svrstava među biljne izvore lipida sa jednim od najuravnoteženijih profila (Rocha i sar., 2021). U pogledu aminokiselinskog sastava, prisutne su sve esencijalne aminokiseline, pri čemu je leucin najzastupljeniji, dok je metionin identifikovan kao limitirajuća aminokiselina. Osim osnovnih makronutrijenata, wakame je značajan izvor bioaktivnih jedinjenja. Polisaharidi poput fukoidana, laminarina i alginata pokazuju antioksidativna, imunomodulatorna, antikancerogena i antikoagulantna svojstva. Fukoksantin, karotenoid karakterističan za smeđe alge, pokazuje snažno antiinflamatorno i antiobezitetno delovanje. U sastavu se nalaze i značajne količine vitamina (A, C,

E, B-kompleks) i minerala, uključujući jod, kalcijum, magnezijum, gvožđe i mangan (Wang i sar., 2018). Funkcionalni potencijal ove alge potvrđen je i u preliminarnim *in vivo* studijama na modelu pacova, gde nije zabeležen negativan uticaj na telesnu masu ili organe, dok je zabeleženo smanjenje aktivnosti digestivnih disaharidaza (maltaza, saharaza, laktaza), što može doprineti regulaciji glikemije kod metaboličkih poremećaja (Taboada i sar., 2013).

Zahvaljujući svom bogatom hemijskom i funkcionalnom profilu, *Undaria pinnatifida* predstavlja izuzetno vredan sastojak za formulaciju funkcionalnih prehrambenih proizvoda i dijetetskih suplemenata, naročito u cilju prevencije poremećaja metabolizma lipida i ugljenih hidrata.

3. CILJ ISTRAŽIVANJA

Savremeni trendovi u prehrambenoj industriji usmereni su ka razvoju funkcionalnih proizvoda koji, osim osnovne nutritivne vrednosti, poseduju dodatna svojstva korisna za zdravlje. Među potencijalnim sastojcima koji mogu doprineti takvom funkcionalnom unapređenju, mikro- i makroalge zauzimaju posebno mesto zbog svog bogatog nutritivnog i biološkog sastava, ali i povoljnih tehnoloških osobina. Ipak, njihova primena u mesnim proizvodima, naročito onima koji podležu fermentaciji ili termičkoj obradi, još uvek nije dovoljno istražena.

Cilj ove doktorske disertacije bio je da se ispita uticaj dodatka mikroalge *Chlorella vulgaris* (žute i bele forme) i makroalgi *Himanthalia elongata* (sea spaghetti) i *Undaria pinnatifida* (wakame), u koncentracijama od 1,5% i 3%, na kvalitet i funkcionalno-tehnološka svojstva tri različita tipa proizvoda od mesa: frankfurtera, ćevapa i sremske kobasice. Eksperimentalni rad obuhvatio je sistematsku procenu uticaja dodatka algi kroz hemijske, tehnološke, mikrobiološke i senzorne parametre. U cilju sveobuhvatnog razumevanja efekata različitih tipova i koncentracija algi na proizvode od mesa, sprovedena su sledeća ispitivanja:

- Određivanje osnovnog hemijskog sastava (vlaga, proteini, masti, pepeo, ugljeni hidrati) u cilju utvrđivanja nutritivnog uticaja dodatka algi;
- Analiza aminokiselinskog sastava sa naglaskom na esencijalne aminokiseline i odnos esencijalnih i neesencijalnih aminokiselina, kao pokazatelja nutritivne vrednosti proteina;
- Ispitivanje masnokiselinskog profila sa fokusom na sadržaj polinezasićenih, naročito omega-3 masnih kiselina, i izračunavanje aterogenog i trombogenog indeksa;
- Praćenje oksidativne stabilnosti merenjem peroksidnog broja i sadržaja malonaldehida tokom skladištenja;
- Instrumentalno merenje boje proizvoda (L^* , a^* , b^*) na preseku i površini proizvoda;
- Analiza parametara teksture proizvoda: tvrdoća, žvakljivost, elastičnost, i kohezivnost;
- Evaluacija mikrobiološke stabilnosti i potencijalnog antimikrobnog efekta bioaktivnih komponenti prisutnih u algama;
- Procena senzorne prihvatljivosti gotovih proizvoda hedonskom skalom, sa ocenjivanjem boje, mirisa, ukusa, teksture i ukupnog utiska.

Osnovna hipoteza od koje se polazi u ovom istraživanju jeste da dodatak algi u poluproizvode i proizvode od mesa može poboljšati njihov kvalitet i funkcionalno-tehnološka svojstva, bez narušavanja senzorne prihvatljivosti. Posebne hipoteze su:

- Dodatak algi neće značajno uticati na osnovni hemijski sastav poluproizvoda i proizvoda od mesa, ali će doprineti unapređenju nutritivnog profila, posebno u pogledu aminokiselinskog i masnokiselinskog sastava.
- Dodatak algi pozitivno će uticati na fizičko-hemijske i mikrobiološke karakteristike poluproizvoda i proizvoda od mesa, uključujući pH vrednost, oksidacionu stabilnost lipida i ukupnu bezbednost tokom skladištenja.
- Dodatak algi neće imati negativan efekat na boju i izgled poluproizvoda i proizvoda od mesa, već može doprineti stabilnijem kolorimetrijskom profilu u toku čuvanja.
- Dodatak odabranih algi imaće pozitivan uticaj na senzorne karakteristike poluproizvoda i proizvoda od mesa.
- Pretpostavlja se da je moguće definisati optimalan tip i udeo algi koji obezbeđuje najpovoljniji odnos između nutritivnog, tehnološkog i senzorne prihvatljivosti poluproizvoda i proizvoda od mesa.

4. MATERIJAL I METOD RADA

Ispitivanja obuhvaćena ovom doktorskom disertacijom sprovedena su u Nemačkom institutu za prehrambene tehnologije u Kvakenbruku, na Odeljenju za tehnologiju mesa, zatim u Laboratoriji za higijenu i tehnologiju namirnica animalnog porekla Veterinarskog fakulteta i Laboratoriji za tehnologiju mesa Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu, kao i u Laboratoriji za biotehnoška istraživanja i kontrolu bezbednosti i kvaliteta hrane Instituta za higijenu i tehnologiju mesa u Beogradu.

4.1. Proizvodnja poluproizvoda i proizvoda od mesa

4.1.1. Priprema uzoraka frankfurtera

Proizvodi su pripremljeni u mesnoj industriji Đurđević, Pećinci, Srbija, prema industrijskom procesu prerade. Celokupna studija izvedena je u tri ponavljanja. Naime, kako je opisano u Novaković i sar. (2021), klanje je obavljeno u tri uzastopna dana, dok su viršle proizvedene 48 sati nakon svakog procesa klanja. Svinjske polutke su skladištene u rashladnim komorama na 2 °C. Svakog dana pripremane su tri različite formulacije viršli (Tabela 1) kako bi se dobilo približno 9 kg mase za svaku grupu. Kontrolni proizvodi formulisani su sa 49,6% mesa, 23% masti, 25% leda, 0,4% mešavine začina (Vienna Gold, Raps & Co, Nemačka), 1,7% nitritne soli (0,6% natrijum-nitrita u NaCl) i 0,3% natrijum-tripolifosfata (E450, Tari K2 fosfat). Nivo inkorporacije mikroalgi izabran je na osnovu preporučene dnevne doze od 3 g (prema podacima proizvođača). Tako su u eksperimentalnim grupama honey (HC) i white (WC) *C. vulgaris* dodavane su u meso kako bi se dostigla koncentracija od 3% (3 g/100 g) u finalnom proizvodu.

Tabela 1. Formulacija frankfurtera sa različitim mikroalgama po grupi

Sastojci (%)	Grupa		
	C	HC3	WC3
Svinjsko meso	49,6	49,6	49,6
ČMT	23	23	23
Led	25	25	25
So	1,7	1,7	1,7
Natrijum tripolifosfat	0,3	0,3	0,3
Začini	0,4	0,4	0,4
Žuta <i>C. vulgaris</i>	/	3	/
Bela <i>C. vulgaris</i>	/	/	3

C - kontrolni uzorak; HC - uzorak obogaćen žutom algom *C. vulgaris*, WC - uzorak obogaćen belom algom *C. vulgaris*

Pre pripreme emulzije, višak masti i vezivnog tkiva su uklonjeni sa svinjskog mesa. Svinjsko meso i ledna mast su odvojeno samleveni kroz rešetku prečnika 8 mm pomoću mašine za mlevenje (Mado, Nemačka). Mleveno meso, temperirano na 4 °C, stavljeno je u kuter (Müller EMS, Nemačka) i homogenizovano sa dodacima (mešavina začina, nitritna so, natrijum-tripolifosfat) i mikroalgama tokom dva minuta pri rastućim brzinama (2000 o/min i 3000 o/min). Zatim je dodata polovina leda, a homogenizacija je nastavljena još dva minuta pri 3500 o/min. Hladna svinjska mast je zatim dodata sa ostatkom leda, a smeša je usitnjavana još 3 minuta pri 4200 o/min. Temperatura mesne emulzije je praćena sondom i dostigla je 10 °C na kraju procesa mešanja (ukupno 7 minuta). Emulzija je zatim prenetu u vakuumski uređaj za punjenje („punilica”) (Handtmann VF50, Nemačka) i punjena u kolagenska creva za viršle prečnika 22,0 mm (Profood, Češka). Viršle su termički obrađene u komori na 78 °C dok temperatura u termalnom centru nije dostigla 72 °C i održavana na toj temperaturi 5 minuta. Viršle su zatim tuširane hladnom vodom, hlađene preko noći, vakuumski pakovane i skladištene na 4 ± 1 °C tokom perioda od 60 dana.

4.1.2. Priprema uzoraka čevapa

Čevapi korišćeni u ovom istraživanju pripremljeni su na Nemačkom institutu za prehrambene tehnologije (DIL e.V., Kvakenbruk, Nemačka), u skladu sa industrijskim protokolom obrade. Cela studija sprovedena je tokom tri uzastopna dana, pri čemu je svaka grupa pripremljena u tri ponavljanja. Svakog dana, sedam različitih formulacija čevapa (Tabela 2) pripremljena su prema standardnoj industrijskoj recepturi koja je uključivala: 89% mešavine mesa sa masnoćom (49% junetina, 40% svinjetina) i 11% ledene vode, dok su so (1,4%), dekstroza (0,6%) i alge (1,5% i 3%) dodatno dodavane u formulu. Svinjsko i goveđe meso standardizovani su u skladu sa GEHA (Gemeinschaft zur Förderung der Ernährungswirtschaft durch Harmonisierung der Arbeitsweise) klasifikacionim sistemom za meso (Hack i sar., 1976), pri čemu je svinjetina odgovarala klasi S III (sa 12% masti), a govedina klasi R II (sa 8% masti). Meso je samleveno kroz rešetku prečnika 7,8 mm, posoljeno kuhinjskom solju (NaCl), pokriveno aluminijumskom folijom i ostavljeno da odstoji preko noći na 4°C. Nakon toga, u sve formulacije (osim u kontrolnu grupu, koja nije sadržala alge) dodate su alge, kao i preostali deo soli, dekstroze, a smeša je homogenizovana u kuteru (5000 Express, 30 l, KILIA GmbH, Birmingem, Velika Britanija). Dobijena masa je zatim oblikovana u cilindrične forme prečnika približno 2 cm i dužine 8 cm korišćenjem vakuum punilice (VF 608 plus, Albert Handtmann Maschinenfabrik, Biberach der Riss, Nemačka). Nakon formiranja, uzorcima je

omogućeno da miruju četiri sata na 4°C, a zatim su pečeni na električnom roštilju (GGM Gastro International, Gronau, Nemačka) dok se unutrašnja temperatura nije stabilizovala na 75°C.

Tabela 2. Formulacija ćevapa sa različitim algama po grupi

Sastojci (%)	Grupa						
	C	WC1,5	WC3	SS1,5	SS3	W1,5	W3
Juneće meso R II	49	49	49	49	49	49	49
Svinjsko meso S III	40	40	40	40	40	40	40
Led	11	11	11	11	11	11	11
So	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Dekstroza	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bela <i>C.vulgaris</i>	/	1,5	3	/	/	/	/
Sea spaghetti	/	/	/	1,5	3	/	/
Wakame	/	/	/	/	/	1,5	3

C - kontrolni uzorak; WC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% belom *C. vulgaris*, WC3 - uzorak obogaćen sa 3% belom *C. vulgaris*; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; W1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% wakame; W3 - uzorak obogaćen sa 3% wakame.

4.1.3. Priprema uzoraka Sremske kobasice

Sremske kobasice analizirane u ovom istraživanju proizvedene su u pogonu za preradu mesa „Stočar“ (Ub, Srbija), u skladu sa industrijskim tehnološkim protokolom. Sve grupe su proizvedene istog dana, pod identičnim uslovima, pri čemu je svaka grupa proizvedena u tri ponavljanja. Pripremljeno je pet različitih formulacija kobasica (Tabela 3), prema standardizovanom receptu. Kontrolna formulacija sadržala je 65% ohlađenog svinjskog karea, 10% ohlađenog svinjskog vrata i 25% zamrznute čvrste svinjske leđne masti, uz dodatak karakterističnih začina. Dve vrste alge inkorporirane su u formulacije u dva različita koncentraciona nivoa, na osnovu rezultata prethodno objavljenih studija.

Tabela 3. Formulacija sremske kobasice sa različitim algama po grupi

Sastojci (%)	Grupa				
	C	HC1,5	HC3	SS1,5	SS3
Svinjski kare	65	65	65	65	65
Svinjski vrat	10	10	10	10	10
Svinjska mast	25	25	25	25	25
Dodaci					
So (0.6% nitrita u NaCl)	2	2	2	2	2
Crni biber	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Beli luk	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Slatka paprika	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Ljuta čili paprika (tečna)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Kim	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Honey <i>C. vulgaris</i>	/	1,5	1,5	/	/
Sea spaghetti	/	/	/	3	3

C – kontrolni uzorak; HC1,5 – uzorak obogaćen sa 1,5% žutom *C. vulgaris*; HC3 – uzorak obogaćen sa 3% žutom *C. vulgaris*; SS1,5 – uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 – uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti.

Meso i mast su odvojeno usitnjavani i mleveni na veličinu čestica od oko 8 mm, a zatim mešani u kuteru KU 130 AC (Laska, Trun, Austrija), pre dodavanja soli (2%), crnog bibera (0,4%), belog luka u prahu (0,65%), slatke paprike (0,75%), tečnog ljutog bibera (0,16%), kima (0,05%) i mikroalgi (1,5% i 3%). Smese su mešane do postizanja željenog mozaik-efekta, nakon čega su punjene u svinjsko tanko crevo prečnika oko 32 mm, pomoću vakum punilice VF620 (Handmann, Biberach an der Riß, Nemačka), u jedinicama dužine približno 20 cm i mase 150–200 g. Nakon punjenja, kobasice su skladištene u rashladnoj komori na temperaturi od $4\pm1^{\circ}\text{C}$ tokom 24 sata radi površinskog sušenja. Potom su premeštene u tradicionalnu komoru radi procesa sušenja i zrenja. Protokol zrenja bio je podeljen u dve faze: prva faza trajala je 12 dana, pri čemu su kobasice čuvane u tradicionalnoj dimnoj komori na temperaturi od $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$ i relativnoj vlažnosti vazduha (RV) od 80–90%, uz dnevne periode dimljenja u trajanju od 6 sati. U drugoj fazi (od 13. do 24. dana), kobasice su premeštene u komoru za sušenje, održavanu na temperaturi od $14\text{--}16^{\circ}\text{C}$ i relativnoj vlažnosti od približno 75%. Uzorci svih grupa kobasica prikupljeni su 0. dana (24 sata nakon punjenja), kao i 6, 12, 18, i 24. dana proizvodnje. Finalni proizvodi su vakumirani i skladišteni 90 dana u rashlađenim uslovima, a uzorkovanje za hemijsku i mikrobiološku analizu obavljeno je 30, 60. i 90. dana skladištenja.

4.2. Fizičko-hemijske analize

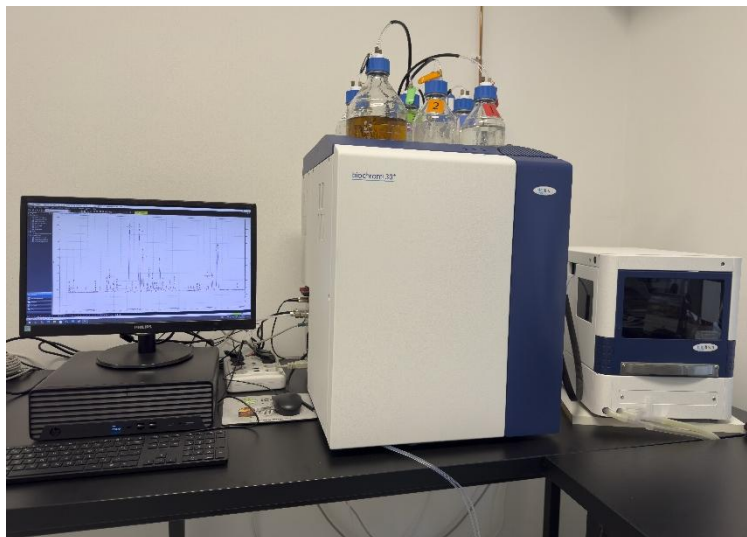
4.2.1. Ispitivanja osnovnih fizičko-hemijskih parametara

Osnovne fizičko-hemijske analize sprovedene su radi procene kvaliteta i stabilnosti uzoraka, pri čemu su određivani parametri kao što su pH vrednost, aktivnost vode (a_w), sadržaj proteina, masti, vlage, i natrijum-hlorida. Uzorci su homogenizovani pomoću miksera (Blixer 2, Robot Coupe, Francuska). Vrednost pH određivana je digitalnim pH metrom (CyberScan pH 510, Eutech, Singapur). Aktivnost vode merena je uređajem Fast-lab za određivanje aktivnosti vode (Gbx, Romans sur Isère Cédex, Francuska). Ukupan sadržaj proteina analiziran je Kjeldahl metodom ($N \times 6,25$), dok su sadržaj masti i vlage određivani u skladu sa ISO standardima 1443:1973 i 1442:1997, respektivno. Sadržaj proteina i masti izraženi su kao procenat na 100 g suve materije (SM). Sadržaj natrijuma u proizvodima određivan je pomoću uređaja za indukovano spregnutu plazmu sa masenom spektrometrijom (ICP-MS) korišćenjem instrumenta iCap Q (Thermo Scientific, Bremen, Nemačka), dok je sadržaj natrijum-hlorida izračunat množenjem dobijene vrednosti natrijuma sa faktorom 2,5. Energetska vrednost izračunata je na osnovu sledećih kalorijskih vrednosti - 4 kcal/g za ugljene hidrate i proteine, 9 kcal/g za masti i 3,87 kcal/g za dijetetska vlakna.

4.2.2. Ispitivanje aminokiselinskog sastava

Sastav aminokiselina u uzorcima određen je primenom jonoizmenjivačke hromatografije na analizatoru aminokiselina Biochrom 30+ (Biochrom, Kembridž, Velika Britanija, Slika 4), u skladu sa standardom ISO 13903:2005. Ova metoda omogućava preciznu kvantitativnu analizu slobodnih i vezanih aminokiselina, koristeći hromatografiju na jakom katjonskom izmenjivaču, uz postkolonsku derivatizaciju ninhidrinskom reakcijom. Detekcija je vršena fotometrijski na talasnoj dužini od 570 nm, dok je za prolin korišćena detekcija na 440 nm zbog specifičnosti njegove strukture. Pre same analize, uzorci su podvrgnuti hidrolizi u 6M (Merck, Nemačka) na temperaturi od 110 °C tokom 24 sata, kako bi se obezbedilo oslobađanje aminokiselina iz proteinskih lanaca. Dobijeni hidrolizati su zatim hlađeni na sobnu temperaturu (20 °C) i razblaženi do 200 mL pomoću puferskog rastvora pH 2,2 (Biochrom, Kembridž, Velika Britanija). Nakon toga, rastvori su filtrirani kroz membranski filter poroznosti 0,22 μ m, a filtrati su prebačeni u bočice i čuvani na temperaturi frižidera do momenta analize. Identifikacija pojedinačnih aminokiselina izvršena je poređenjem retencionih vremena sa standardnom mešavinom od 21 aminokiseline (Amino Acid Standard Solution, Sigma-Aldrich, St. Louis, SAD). Kvantifikacija je sprovedena korišćenjem norleucina kao internog standarda za

korekciju potencijalnih varijacija u procesu analize. Rezultati su izraženi kao grami aminokiselina po 100 grama proizvoda. Ova metoda je posebno pogodna za preciznu procenu nutritivne vrednosti proizvoda, jer omogućava detaljan uvid u profil esencijalnih i neesencijalnih aminokiselina, što je od značaja za ocenu kvaliteta proteina i potencijalnog funkcionalnog svojstva proizvoda.



Slika 4. Aminokiselinski analizator BioChrom 30+

4.2.3. Ispitivanje masnokiselinskog sastava

Analiza sastava masnih kiselina sprovedena je prema metodama opisanim od strane Spiric i sar. (2010) i (Glisic i sar., 2018). Ukupni lipidi izdvojeni su primenom metode ubrzane ekstrakcije rastvaračem (ASE - accelerated solvent extraction) korišćenjem mešavine heksana i izopropanola (ASE 200, Dionex, Nemačka). Nakon ekstrakcije, rastvarač je uklonjen isparavanjem do suve materije pod strujom azota. Metil esteri masnih kiselina pripremljeni su postupkom transesterifikacije uz upotrebu trimetil sulfonijum-hidroksida, u skladu sa ISO standardom 5509:2000. Analiza je izvršena gasnom hromatografijom na uređaju Shimadzu 2010 (Shimadzu, Kjoto, Japan), opremljenom detektorom plamene jonizacije (FID), split/splitless injektorom, kapilarnom kolonom od fuzionog silicijuma tipa HP-88 (100 m × 0,25 mm × 0,20 mm, J&W Scientific, SAD) i radnom stanicom (Shimadzu GC Solution ver. 2.3). Hromatografski uslovi bili su sledeći: (1) temperatura injektora 250 °C, a detektora 280 °C; (2) azot je korišćen kao gas nosač pri protoku od 1,33 mL/min sa split odnosom 1:50; (3) temperatura rerne inicijalno je postavljena na 120 °C, zatim je povećavana 10 °C/min do 175

°C gde je zadržana 10 minuta, potom povećavana 5 °C/min do 210 °C sa zadržavanjem od 5 minuta, a zatim finalno povećana 2 °C/min do 230 °C. Identifikacija masnih kiselina izvršena je poređenjem relativnih vremena zadržavanja sa standardom Supelco 37 Component FAME Mix (Supelco, Bellefonte, SAD). Kvantifikacija je obavljena korišćenjem metil estera heneikozanoične kiseline (C21:0) kao internog standarda. Aterogeni (AI) i trombogeni (TI) indeksi izračunati su prema jednačinama koje su predložili Ulbricht and Southgate (1991).

4.2.4. Ispitivanje parametara oksidacije lipida

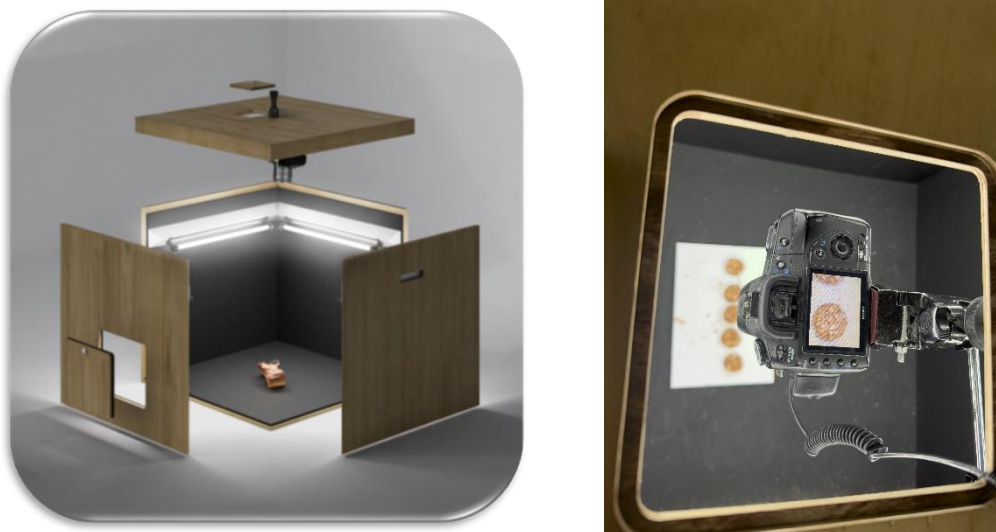
U cilju oksidacione stabilnosti uzoraka, sprovedene su analize produkata primarne i sekundarne oksidacije lipida. Praćenje primarnih produkata oksidacije obavljeno je putem određivanja peroksidnog broja, koji je analiziran primenom standardizovane ISO metode 3960:2017. Sekundarni produkti oksidacije lipida računati su na osnovu koncentracije malondialdehida, koristeći metodu koju su razvili Tarladgis i sar. (1964).

4.2.5. Kompjuterski vizuelni system (CVS) za merenje boje

Analiza parametara boje sprovedena je primenom metode kompjuterskog vizuelnog sistema (CVS), kojom se omogućava objektivno određivanje parametara boje mesa i proizvoda od mesa. Parametri boje, uključujući svetloću (L^*), intenzitet crvene (a^*) i žute (b^*) boje, određivani su za sve proizvode, kako površine tako i poprečnog preseka, koristeći CVS metodologiju modifikovanu u odnosu na postupak koji su opisali Tomasević i sar. (2019). Unutrašnjost CVS komore bila je obložena fotografskim platnom radi eliminacije refleksije, dok je osvetljenje obezbeđeno sa četiri LED izvora svetlosti (Slika 5). Za snimanje uzoraka korišćen je fotoaparat Sony Alpha DSLR-A200, pri čemu je pre svake serije merenja vršena kalibracija uređaja pomoću X-Rite ColorChecker Passport kalibracione ploče sa 24 referentne boje (X-Rite, Grand Rapids, SAD). Fotografisanje je realizovano putem daljinskog upravljača povezanog kablom, čime je potpuno eliminisan uticaj spoljašnjeg osvetljenja. Nakon otvaranja vakuum pakovanja u slučaju frankfurtera i sremske kobasice, prvo je fotografisana spoljašnja površina proizvoda. Uzorci su bili postavljeni na A4 beli papir sa prethodno obeleženim pozicijama, a zatim zajedno sa podlogom preneseni u CVS komoru, gde je izvršeno snimanje (Slika 5). Poprečni presek proizvoda slikan je nakon sečenja uzoraka na ujednačene kriške standardizovane debljine, pri čemu je posebna pažnja posvećena postizanju debljine koja sprečava pojavu transparentnosti, kako bi se obezbedila tačnost merenja boje. Dobijene fotografije površine i

preseka analizirane su u softveru Adobe Photoshop 2020 (Adobe Systems, San Jose, SAD) radi ekstrakcije kolorimetrijskih parametara. Pre samog merenja, uzorci su prethodno temperirani na sobnu temperaturu, a vremenski razmak između sečenja i fotografisanja bio je manji od 30 sekundi kako bi se očuvala konzistentnost rezultata. Ukupna razlika u boji (ΔE) svake serije sa dodatkom algi (s) izračunata je u odnosu na kontrolni uzorak (c) korišćenjem jednačine (1).

$$\Delta E = \sqrt{(as - ac)^2 + (bs - bc)^2 + (Ls - Lc)^2} \quad (1)$$



Slika 5. Delovi CVS sistema (leva) i slikanje uzoraka desno)

4.2.6. Ispitivanje teksture

Instrumentalna analiza teksturalnih parametara (TPA – Texture Profile Analysis) svih proizvoda sprovedena je korišćenjem uređaja TA.XT2 (Stable Micro Systems, Velika Britanija) opremljen ćelijom težine 5 kg na sobnoj temperaturi (Slika 6). Za svaku grupu analizirano je deset uzoraka. Uzorci su bili pripremljeni u obliku cilindara, visine 20 mm i prečnika 10 mm u slučaju frankfurtera i sremske kobasice, dok su uzorci ćevapa imali nešto veće dimenzije (25 mm x 35 mm), kako bi izbegli raspadanje uzorka pri kompresiji. Instrumentalni parametri za TPA testiranje bili su podešeni na sledeći način: brzina pre testa 180 mm/min, brzina testa 60 mm/min, brzina nakon testa 180 mm/min, režim merenja podešen na distancu (50%), korišćena sonda P/25 (ploča za kompresiju prečnika 25 mm) za frankfurtere i sremsku kobasicu i P/100 za ćevape, uz interval od 10 sekundi između dva ciklusa kompresije. Softver Texture Expert Exceed korišćen je za izračunavanje vrednosti tvrdoće (N), elastičnosti (mm), kohezivnosti i žvakljivosti ($N \times mm$). Dimenzije uzoraka podešene su standardnim cilindričnim bušačem unutrašnjeg prečnika od 10mm i digitalnim kaliperom, dok je

sećenje obavljeno oštrim nožem tankog sečiva, kako bi se minimalizovalo oštećenje strukture proizvoda (Honikel, 1998).



Slika 6. TA.XT analizator tekture

4.3. Mikrobiološke analize

Mikrobiološke analize sprovedene su radi određivanja ukupnog broja bakterija (UBB), psihrotrofnih bakterija (PFB) i bakterija mlečne kiseline (BMK). Aseptično je odmereno po 10 g svakog uzorka, koji je prenet u sterilnu plastičnu kesu sa dodatkom 90 mL sterilne peptonske vode (Oxoid, Bejzingstouk, Velika Britanija). Homogenizacija je izvršena u mikseru (Stomacher 400, Seward Medical, London, UK) u trajanju od 2 minuta. Nakon homogenizacije, pripremljena su odgovarajuća decimalna razblaženja. UBB je određen u skladu sa standardom ISO 4833-1:2013, sa usejavanjem na Plate Count Agar (Merck, Nemačka) i inkubacijom na 30 °C tokom 72 sata. Psihrotrofne bakterije određene su na istoj podlozi pri temperaturi od 7 °C tokom 10 dana. Broj BMK utvrđen je prema ISO 15214:1998, korišćenjem De Man, Rogosa, Sharp agara (Merck, Nemačka), uz inkubaciju na 30 °C tokom 72 sata. Rezultati mikrobioloških ispitivanja izraženi su kao logaritamske vrednosti broja kolonija formiranih po gramu uzorka (log CFU/g).

4.4. Analiza stabilnosti emulzije

Stabilnost emulzije kod frankfurtera računat je prema metodi Hughes i sar. (1997), uz određene prilagođene modifikacije. Pripremljene mesne emulzije čuvane su na temperaturi od 4 °C tokom 22 sata, nakon čega su uzorci mase 25 g raspoređeni u polikarbonatne cevi zapremine 50 mL. Uzorci su prvo centrifugirani pri 1509 ×g u trajanju od 1 minuta, sa ciljem uklanjanja nevezane vode pre termičke obrade. Cevi sa emulzijom su posle toga podvrgnute grejanju u vodenom kupatilu na 70 °C tokom 30 minuta, a zatim ponovo centrifugirane pri 2173 ×g u trajanju od 3 minuta. Nakon toga, cevi su ostavljene u uspravnom položaju tokom 40 minuta kako bi se omogućilo razdvajanje i oslobađanje tečne faze (masti i vode), koja je prikupljana u prethodno izmerene aluminijumske posude. Aluminijumske posude su sušene preko noći na 100 °C, a količina ukupno oslobođene tečnosti (UOT), oslobođene masti (OM) i oslobođene vode (OV) (%) izračunate su prema jednačinama 2, 3 i 4:

$$\%UOT = m_{ce} - m_{cp} / m_u \times 100 \text{ (2), gde je:}$$

m_{ce} - masa centrifugirane cevi i sirovog uzorka emulzije,

m_{cp} - masa centrifugirane cevi i peleta,

m_u - masa uzorka.

$$\%OM = m_{as} - m_a / m_e \times 100 \text{ (3), gde je:}$$

m_{as} - masa aluminijumske posude sa osušenim supernatantom,

m_a - masa aluminijumske posude,

m_e – masa sirove emulzije.

$$\%OV = (UOT-OM) / m_e \times 100 \text{ (4), gde je:}$$

m_e – masa sirove emulzije.

4.5. Senzorna analiza proizvoda

Senzorna analiza proizvoda sprovedena je korišćenjem softverskog Smart Sensory Box (Smart Sensory Solutions S.r.l., Sasarija, Italija). Evaluaciju je izvršio panel obučanih ocenjivača, sastavljen od 15 do 20 članova, uključujući zaposlene sa relevantnih institucija (Institut za higijenu i tehnologiju mesa, Fakultet veterinarske medicine Univerziteta u Beogradu i Nemački institut za prehrambene tehnologije). Panelisti su selektovani na osnovu kriterijuma redovne konzumacije mesa i mesnih

proizvoda (najmanje dva puta nedeljno). Pre početka ocenjivanja, svi panelisti su prošli program obuke koji je obuhvatao četiri trening sesije u trajanju od po dva sata tokom dve sedmice, u skladu sa preporukama Djekic i sar. (2021), radi ujednačavanja percepcije i razumevanja ocenjivanih atributa. Senzorno ocenjivanje je sprovedeno u kontrolisanim uslovima, u slučaju ćevapa odmah nakon pečenja, a kod ostala dva proizvoda na početku skladištenja i nakon definisanog perioda čuvanja specifičnog za svaki proizvod (45 dana za frankfurtere, 90 dana za sremsku kobasicu). Za ocenjivanje je korišćena sedmostepena hedonska skala (1 = uopšte mi se ne sviđa, 7 = izuzetno mi se sviđa). Ocenjivani senzorni parametri uključivali su boju, miris, ukus, teksturu, sočnost i ukupnu prihvatljivost. Uzorci su panelistima prezentovani nasumičnim redosledom, obeleženi trocifrenim kodovima, pod standardizovanim dnevnim osvetljenjem. Serviranje proizvoda prilagođeno je njihovoj vrsti i načinu konzumacije - ćevapi su panelistima posluženi topli, odmah nakon pečenja, frankfurteri su prethodno bili termički obrađeni, dok su fermentisane kobasice ocenjivane bez dodatne obrade. Pre početka testiranja, panelisti su bili informisani o osnovnom sastavu proizvoda (vrsta mesa, masno tkivo, začini, dodatak algi), dok informacije o potencijalnim zdravstvenim benefitima algi nisu bile saopštene, kako bi se izbegao subjektivni uticaj na ocene. Između degustacija, panelisti su koristili negaziranu mineralnu vodu i hleb radi neutralizacije ukusa i čišćenja nepca.

4.6. Statistička obrada rezultata

Statistička analiza eksperimentalnih podataka sprovedena je uz pomoć softverskog paketa SPSS 23.0 (IBM, Armonk, NY, SAD). Na osnovu dobijenih rezultata izračunate su srednje vrednosti, standardna devijacija i standardna greška. Pomoću Anderson–Darling testa proveravana je normalnost raspodele podataka i homogenost varijansi, u cilju potvrđivanja validnosti primenjenih statističkih testova. Za utvrđivanje značajnosti razlika između grupa korišćena je jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA), pri čemu su kao faktori uzimane različite koncentracije iste alge u okviru iste vrste proizvoda, kao i različiti dani skladištenja, dok je za poređenje parova srednjih vrednosti primenjen Tukeyev post-hoc test.

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1. Rezultati ispitivanja frankfurtera

5.1.1. Osnovni fizičko-hemijski parametri

Osnovni sastav i energetska vrednost kontrolnih i obogaćenih frankfurtera sa žutom i belom *C. vulgaris* prikazani su u Tabeli 4. Sadržaj vlage se značajno smanjio ($P < 0,05$) u viršlama obogaćenim belom *C. vulgaris* u poređenju sa kontrolom, dok se količina masti smanjila sa 24,09% na 22,64% u viršlama obogaćenim mikroalgama ($P < 0,05$). Razlika u nivou masti i vlage verovatno je posledica dodatka mikroalgi „on top“, što je promenilo procenat vode i masti u finalnim proizvodima (Tabela 1 i Tabela 4). Sadržaj proteina bio je veći ($P < 0,05$) u frankfurterima sa mikroalgama u odnosu na kontrolu. Nijedna od formulacija nije imala vrednosti izvan granica koje propisuje Pravilnik o kvalitetu usitnjenog mesa, poluproizvoda od mesa i proizvoda od mesa ("Službeni glasnik RS", br. 50/2019 i 34/2023), koji definiše minimalan sadržaj proteina u frankfurterima od 11%. Iako su mikroalge dodate u niskoj koncentraciji od 3%, uzimajući u obzir da je *C. vulgaris* bogata proteinima (preko 30%), stvarni doprinos mikroalgi sadržaju proteina u proizvodima bio je 0,8–0,85%. Kada je reč o ukupnom sadržaju pepela, vrednosti su bile različite u uzorcima ($P < 0,05$). Viršle obogaćene *C. vulgaris* imale su veći sadržaj minerala u poređenju sa kontrolnim uzorcima, stoga su viršle sa mikroalgama sadržale veću količinu pepela. Dodavanje mikroalgi takođe je povećalo sadržaj ugljenih hidrata i vlakana u viršlama ($P < 0,05$). S obzirom na to da su dijetetska vlakna neizostavna komponenta zdrave ishrane, obogaćivanje viršli mikroalgama može biti efikasna strategija za njihovo obogaćivanje.

Tabela 4. Hemijski sastav i energetska vrednost frankfurtera sa različitim mikroalgama po grupi

	Grupa			SEM
	C	HC	WC	
Sadržaj vlage (%)	61,21 ^a	60,78 ^{ab}	60,47 ^b	0,17
Sadržaj proteina (%)	12,37 ^a	13,17 ^b	13,22 ^b	0,00
Sadržaj masti (%)	24,09 ^a	22,64 ^b	22,92 ^c	0,02
Sadržaj pepela (%)	1,85 ^a	2,04 ^b	1,96 ^c	0,00
Sadržaj ugljenih hidrata (%)	0,50 ^a	1,37 ^b	1,39 ^b	0,13
NaCl (g/100g)	1,30 ^a	1,36 ^b	1,29 ^a	0,00
Energetska vrednost (Kcal/100g)	268,18 ^a	261,74 ^b	264,58 ^{ab}	1,43
Proteinske kalorije (Kcal/100g)	49,48 ^a	52,68 ^b	52,92 ^b	0,062

C - kontrolni uzorak; HC - uzorak obogaćen žutom algom *C. vulgaris*, WC - uzorak obogaćen belom algom *C. vulgaris*; SEM – standardna greška

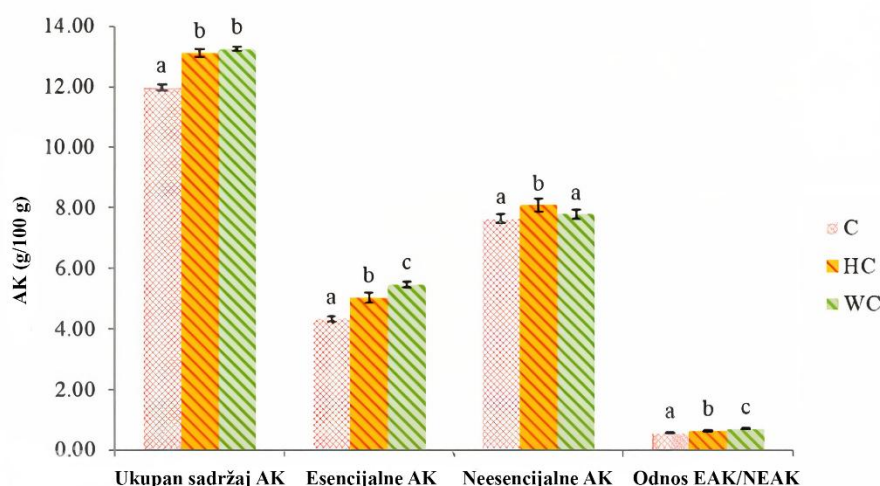
^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istom redu značajno se razlikuju ($P < 0,05$)

Frankfurteri obično sadrže 2,0 do 2,5% soli (Whiting, 1988), dok u našem eksperimentu, sadržaj soli u uzorcima kretao se od 1,29% do 1,36% (Tabela 4). Ovaj nizak nivo soli, u poređenju sa količinom koja je dodata tokom pripreme viršli, verovatno je posledica gubitka natrijuma koji se rastvorio u mesnom soku tokom kuvanja. Pošto je bogata NaCl-om, dodatak HC povećao je sadržaj soli u viršlama ($P < 0,05$) u poređenju sa drugim grupama. Kada je reč o energetske vrednosti frankfurtera, uzorci obogaćeni HC imali su nižu energetske vrednost ($P < 0,05$) u odnosu na kontrolu, ali sličnu vrednost kao viršle obogaćene WC ($P > 0,05$). Međutim, doprinos proteina energetske vrednosti bio je veći u obe grupe viršli sa *C. vulgaris*. Doprinos proteina ukupnoj energetske vrednosti u kontrolnim uzorcima, HC i WC uzorcima iznosio je 18,46%, 20,50% i 20,30%, respektivno. U skladu sa važećom Uredbom Evropske unije br. 1924/2006 i izmenama Evropske komisije (2012), budući da su u obogaćenim frankfurterima proteini činili više od 20% energetske vrednosti, za ove proizvode može se smatrati da imaju "visok sadržaj proteina".

5.1.2. Aminokiselinski sastav

Aminokiselinski profil analiziranih uzoraka frankfurtera prikazan je u Tabeli 5. Na osnovu podataka sa Slike 7, utvrđeno je da je zbir ukupnih esencijalnih aminokiselina (EAK) bio statistički značajno viši ($P < 0,05$) u WC (13,13 g/100 g) i HC uzorcima (13,27 g/100 g) u poređenju sa kontrolnim

uzorkom (12,00 g/100 g). Najveći sadržaj EAK zabeležen je u WC viršlama (5,46 g/100 g), potom u uzorcima HC (5,04 g/100 g), dok je najniža vrednost registrovana u kontrolnoj grupi (4,34 g/100 g). Ovakvi nalazi su u saglasnosti sa prethodnim istraživanjima, koja su pokazala da dodatak *C. vulgaris* u niskim koncentracijama doprinosi povećanju sadržaja pojedinačnih aminokiselina u različitim vrstama proizvoda od mesa, kao što su goveđe pljeskavice (Zugcic i sar., 2018), pileći roti (Parniakov i sar., 2018) i sveže svinjske kobasice (Francisco J. Marti-Quijal i sar., 2019).



Slika 7. Zbir ukupnih, esencijalnih i neesencijalnih aminokiselina, kao i odnos esencijalnih i neesencijalnih aminokiselina (E/NE) u viršlama obogaćenim sa 3% žute *Chlorella* (HC), bele *Chlorella* (WC) i kontrolnim (C) viršlama bez dodatka mikroalgi. a, b, c – Različita slova označavaju značajnu razliku između grupa ($P < 0,05$). (Bošković Cabrol i sar., 2023)

Od EAK, koncentracije izoleucina, leucina i lizina bile su značajno više ($P < 0,05$) u obogaćenim frankfurterima u odnosu na kontrolu. Koncentracije metionina, fenilalanina i treonina nisu se značajno razlikovale među analiziranim grupama ($P > 0,05$). Kada je reč o neesencijalnim aminokiselinama (NEAK), sadržaj arginina i asparaginske kiseline bio je značajno viši u viršlama sa HC u poređenju sa ostalim grupama, dok su najviše vrednosti cistina i glutaminske kiseline zabeležene u uzorcima WC ($P < 0,05$). Odnos EAK i NEAK (Slika 7) takođe je bio najpovoljniji u uzorcima WC (0,70), zatim u HC (0,62), dok je najniži odnos zabeležen u kontrolnim uzorcima (0,57). Slični nalazi zabeleženi su i u radu Parniakov i sar. (2018), u kome su viši nivoi EAK identifikovani u pilećem rotiju obogaćenom *Spirulina* i *Chlorella*, što potvrđuje značaj mikroalgi kao potencijalno bogatog izvora EAK.

Tabela 5. Aminokiselinski sastav frankfurtera sa različitim mikroalgama po grupi

Aminokiseline	Grupa			SEM
(g/100g)	C	HC	WC	
EAK				
Histidin	0,39 ^a	0,36 ^b	0,38 ^{ab}	0,012
Izoleucin	0,43 ^a	0,68 ^b	0,83 ^b	0,079
Leucin	0,91 ^a	1,31 ^b	1,41 ^c	0,046
Lizin	0,85 ^a	0,93 ^b	0,96 ^b	0,031
Metionin	0,29	0,32	0,36	0,032
Fenilalanin	0,48	0,45	0,46	0,021
Treonin	0,53	0,51	0,51	0,024
Valin	0,46 ^a	0,48 ^a	0,55 ^b	0,019
NEAK				
Alanin	0,76	0,76	0,75	0,035
Arginin	1,21 ^a	1,41 ^b	1,20 ^a	0,044
Asparaginska kis.	1,25 ^a	1,37 ^b	1,22 ^a	0,054
Cistein	0,05 ^a	0,07 ^{ab}	0,09 ^b	0,011
Glutaminska kis.	1,87 ^a	1,89 ^{ab}	1,99 ^b	0,046
Glicin	0,82	0,84	0,82	0,058
Prolin	0,51	0,51	0,54	0,027
Serin	0,49	0,48	0,52	0,019
Tirozin	0,70	0,76	0,68	0,103
C - kontrolni uzorak; HC - uzorak obogaćen žutom algom <i>C. vulgaris</i> , WC - uzorak obogaćen belom algom <i>C. vulgaris</i> ; SEM – standardna greška				
^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istom redu značajno se razlikuju ($P < 0,05$)				

Iako se meso smatra jednim od najvažnijih izvora EAK u ljudskoj ishrani (Laskowski i sar., 2018), rezultati ove studije ukazuju da dodatak mikroalgi može doprineti poboljšanju aminokiselinskog profila, naročito u proizvodima sa smanjenim udelom mesa, kao što su viršle. Ovo je naročito izraženo kod arginina, uslovno esencijalne aminokiseline značajne za rast i razvoj, čiji je sadržaj bio značajno viši u HC uzorcima ($P < 0,05$). Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da

uključivanje mikroalgi u formulaciju viršli predstavlja efikasan način za obogaćivanje ovih proizvoda esencijalnim aminokiselinama, čime se unapređuje njihov nutritivni kvalitet i potencijalno odgovara potrebama potrošača koji teže funkcionalnim ili alternativnim izvorima proteina.

5.1.3. Masnokiselinski sastav

Dodavanje WC i HC rezultovalo je značajnim promenama u profilu masnih kiselina ispitanih uzoraka frankfurtera, kako je prikazano u Tabeli 6. U poređenju sa kontrolnom grupom, uzorci obogaćeni mikroalgama pokazali su statistički značajno više koncentracije linoleinske kiseline (C18:2n-6), alfa-linolenske kiseline (C18:3n-3) i gama-linolenske kiseline (C18:3n-6), dok su vrednosti palmitinske (C16:0) i stearinske kiseline (C18:0) bile niže ($P < 0,05$). Posebno se ističe da je dodatak HC doveo do dodatnog smanjenja koncentracija miristinske (C14:0) i arahidne kiseline (C20:0) u odnosu kako na kontrolnu grupu, tako i na WC uzorke.

U svim analiziranim uzorcima dominantna je bila oleinska kiselina (C18:1cis-9), praćena palmitinskom kiselinom, što je u skladu sa prethodnim istraživanjima sastava masnih kiselina u viršlama proizvedenim od svinjskog mesa i masti (Asuming-Bediako i sar., 2014). Prisustvo mikroalgi nije imalo značajan uticaj na sadržaj mononezasićenih masnih kiselina (MNMK) ($P > 0,05$), dok je dodatak *C. vulgaris* rezultovao značajnim smanjenjem zasićenih masnih kiselina (ZMK) i istovremenim povećanjem ukupnog sadržaja polinezasićenih masnih kiselina (PNMK) ($P < 0,05$). Promene u PNMK uglavnom su bile posledica porasta n-6 i n-3 masnih kiselina, naročito C18:3n-3 i C20:3n-3. Sadržaj n-3 masnih kiselina u obogaćenim frankfurterima povećan je za 34,57% i 32,69%, respektivno, što je dovelo do značajnog smanjenja n-6/n-3 odnosa u odnosu na kontrolne uzorke. Najzastupljenija n-3 masna kiselina u ovoj algi je C18:3n-3, koja predstavlja prekursor za biosintezu eikozapentaenske (EPA) i dokozaheksaenske kiseline (DHA), dok linoleinska kiselina (C18:2n-6) dominira među n-6 masnim kiselinama (Petkov & Garcia, 2007). Takođe, odnos PNMK/ZMK bio je statistički značajno viši u viršlama sa dodatkom mikroalgi ($P < 0,05$). Najveća vrednost odnosa PNMK/ZM zabeležena je u HC uzorcima (0,363), što ih svrstava među nutritivno povoljnije opcije u poređenju sa konvencionalnim proizvodima.

Tabela 6. Masnokiselinski sastav frankfurtera sa različitim mikroalgama po grupi

Masne kiseline (mg/100g masti)	Grupa			SEM
	C	HC	WC	
C14:0	1.142 ^a	1.105 ^b	1.133 ^a	11,20
C15:0	55	55	50	3,16
C16:0	25.955 ^a	25.352 ^b	25.147 ^b	224,96
C16:1	1.900 ^a	1.795 ^b	1.840 ^{ab}	34,81
C17:0	418	433	426	12,58
C18:0	12.570 ^a	11.927 ^b	12.083 ^b	137,63
C18:1cis-9	44.652	44.383	44.723	258,01
C18:2n-6	11.162 ^a	12.512 ^b	12.030 ^c	166,53
C18:3n-3 (ALA)	425 ^a	592 ^b	628 ^c	17,24
C18:3n-6	257 ^a	275 ^b	292 ^c	5,68
C20:0	132 ^a	120 ^b	140 ^a	4,77
C20:1	710	685	723	17,78
C20:2	387	395	408	16,70
C20:3n-3	45 ^a	107 ^b	90 ^c	7,49
C20:3n-6	52	63	57	6,71
C22:1+C20:6	183	195	185	11,00
ZMK	40.272 ^a	38.992 ^b	38.980 ^b	280,81
MNMK	47.445	47.058	47.472	283,79
PNMK	12.510 ^a	14.138 ^b	13.690 ^c	180,15
n-6	11.470 ^a	12.850 ^b	12.378 ^c	167,52
n-3	470 ^a	698 ^b	718 ^b	20,79
n-6/n-3	24,43 ^a	18,44 ^b	17,26 ^b	0,59
PNMK/ZMK	0,312 ^a	0,363 ^b	0,352 ^b	0,01
AI	0,514 ^a	0,491 ^b	0,490 ^b	0,01
TI	1,285 ^a	1,198 ^b	1,196 ^b	0,01

* Nastavak na sledećoj strain

Tabela 7. Masnokiselinski sastav frankfurtera sa različitim mikroalgama po grupi

C - kontrolni uzorak; HC - uzorak obogaćen žutom algom *C. vulgaris*, WC - uzorak obogaćen belom algom *C. vulgaris*; SEM – standardna greška

^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istom redu značajno se razlikuju ($P < 0,05$); Aterogeni indeks (AI) = $(C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0) / (n-6 \text{ PNMK} + n-3 \text{ PNMK} + \text{MNMK})$; Trombogeni indeks (TI) = $(C12:0 + C14:0 + C16:0) / [0.5 \times n-6 \text{ PNMK} + 3 \times n-3 \text{ PNMK} + 0.5 \times \text{MNMK} + (n-3 \text{ PNMK} / n-6 \text{ PNMK})]$.

Zdravstveno poželjni proizvodi životinjskog porekla odlikuju se povoljnijim lipidnim nutritivnim indeksima, među kojima se ističu niže vrednosti aterogenog indeksa (AI) i trombogenog indeksa (TI), u poređenju sa manje poželjnim prehrambenim opcijama (Attia i sar., 2017). U ovom istraživanju utvrđeno je da je dodatak mikroalgi značajno doprineo smanjenju AI i TI vrednosti ($P < 0,05$), što ukazuje na pozitivan efekat algi na kvalitet lipidne frakcije (Tabela 3). Ključnu ulogu u regulaciji ovih indeksa imaju polinezasićene masne kiseline: n-6 značajno utiče na sniženje AI, dok n-3 doprinosi smanjenju TI (Vlaicu i sar., 2021).

5.1.4. Parametri oksidacije lipida

Zbog visokog udela masti u svojoj formuli, frankfurteri se svrstavaju među najosetljivije proizvode od mesa na oksidaciju lipida. Ovaj proces negativno utiče na kvalitet proizvoda, pre svega kroz pojavu užglosti i razvoj nepoželjnih mirisa i ukusa, što direktno kompromituje senzornu prihvatljivost (Alirezalu i sar., 2020; Domínguez i sar., 2019). Osim što narušava organoleptičke osobine, oksidacija lipida dovodi i do degradacije nutritivnih komponenti, uključujući gubitak esencijalnih masnih kiselina i liposolubilnih vitamina (Estévez & Cava, 2006).

U kontekstu ovog istraživanja, koje se fokusira na razvoj frankfurtera sa povećanim sadržajem PNMK, praćenje oksidativne stabilnosti proizvoda dobija poseban značaj, naročito tokom dužeg perioda skladištenja. Naime, upravo PNMK, iako poželjne sa nutritivnog aspekta, zbog svoje hemijske strukture predstavljaju supstrate visoko podložne oksidaciji. U skladu s tim, kao ključni pokazatelji oksidativnog procesa, određivani su peroksidni broj (PB) i koncentracija malonaldehida (MDA) tokom skladištenja, a dobijene srednje vrednosti prikazane su u Tabeli 7.

Tabela 8. Promene u oksidaciji lipida tokom 60 dana skladištenja frankfurtera

Dani skladištenja	Grupe	Parametri	
		PB (mmol/kg)	Sadržaj MDA (mg/kg)
0	C	0,74 ^{aA}	0,08 ^{aA}
	HC	1,86 ^{bA}	0,08 ^{aA}
	WC	1,70 ^{cA}	0,07 ^{bA}
	SEM	0,015	0,004
15	C	0,93 ^{aB}	0,13 ^{abB}
	HC	1,72 ^{bB}	0,12 ^{aB}
	WC	1,13 ^{cB}	0,14 ^{bB}
	SEM	0,015	0,005
30	C	0,99 ^{aC}	0,20 ^{aC}
	HC	1,80 ^{bC}	0,18 ^{bC}
	WC	1,20 ^{cC}	0,19 ^{abC}
	SEM	0,013	0,007
45	C	1,19 ^{aD}	0,27 ^{aD}
	HC	1,84 ^{bAC}	0,23 ^{bD}
	WC	1,29 ^{cD}	0,25 ^{abD}
	SEM	0,016	0,012
60	C	1,30 ^{aE}	0,31 ^{abE}
	HC	1,84 ^{bAC}	0,32 ^{aE}
	WC	1,59 ^{cE}	0,30 ^{bE}
	SEM	0,013	0,009

C - kontrolni uzorak; HC - uzorak obogaćen žutom algom *C. vulgaris*, WC - uzorak obogaćen belom algom *C. vulgaris*; SEM – standardna greška; ^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na isti dan skladištenja ($P < 0,05$). ^{A-E} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na različite dane skladištenja ($P < 0,05$)

Rezultati oksidacije lipida pokazali su da su dodatak algi, vreme skladištenja, kao i međusobna interakcija ova dva faktora, imali statistički značajan uticaj na intenzitet oksidativnih promena u viršlama ($P < 0,05$). Najviši stepen primarne oksidacije zabeležen je u uzorcima obogaćenim HC,

zatim u uzorcima sa dodatkom WC, dok su najniže vrednosti PB registrovane u kontrolnoj grupi ($P < 0,05$). Viši početni PB u obogaćenim uzorcima može se pripisati većem sadržaju PNMK (Tabela 6). Tokom propagacione faze oksidacije lipida, dolazi do formiranja hidroperoksida i alkilnih radikala koji u prisustvu kiseonika prelaze u peroksilne radikale. Ovi se dalje razlažu u hidroksilne, peroksilne i alkoksilne radikale, koji iniciraju lančanu auto-oksidaciju (Chaijan & Panpipat, 2017). Karotenoidi iz mikroalgi mogu neutralisati peroksilne radikale (Erickson, 2002), što objašnjava smanjenje PB usled prisustva antioksidanasa koji inhibiraju oksidaciju PNMK. Od 14. dana skladištenja PB se smanjivao u WC uzorcima, dok u HC ostao stabilan. U kontrolnim uzorcima PB je konstantno rastao ($P < 0,05$). S obzirom na to da su hidroperoksidi nestabilni i podložni daljoj razgradnji u sekundarna jedinjenja, kao što su ugljovodonici, aldehidi, ketoni, alkoholi, esteri i kiseline, neophodno je paralelno pratiti i sekundarne produkte oksidacije, posebno u kasnijim fazama skladištenja (Domínguez i sar., 2019).

Na početku skladištenja (dan 0), sadržaj MDA je iznosio od 0,07 do 0,08 mg/kg. Tokom čuvanja, u svim uzorcima zabeležen je njihov postepen porast ($P < 0,05$), koji su na kraju 60. dana dostigli 0,31 mg/kg u kontrolnim uzorcima, 0,32 mg/kg u HC uzorcima i 0,30 mg/kg u WC uzorcima. Iako su zabeležene značajne razlike u PB, sadržaj MDA je u početku bil niži u WC (Tabela 7). Statistički značajne razlike u sadržaju MDA uočene su između obogaćenih uzoraka u 15. i 60. danu, kao i između kontrolnih i uzoraka sa HC u 30. i 45. danu skladištenja. Uprkos porastu oksidacije do kraja skladišnog perioda, količina MDA je ostao ispod svih senzorno prihvatljivih pragova – 2,0 do 2,5 mg/kg (Campo i sar., 2006; Zhang i sar., 2019), kao i ispod praga od 1 mg/kg za detekciju užeglosti (Warriss, 2000). Ove analitičke nalaze potvrđuju i rezultati senzorne analize, jer ni kod jednog od tretiranih uzoraka nisu detektovani užegli mirisi tokom evaluacije na kraju skladištenja. Nizak stepen oksidacije tokom skladištenja može se, pored efekta algi, pripisati i vakuum pakovanju, koje smanjuje izloženost kiseoniku – jednog od ključnih faktora u iniciranju oksidativnih promena (Amaral i sar., 2018).

5.1.5. Stabilnost emulzije, pH i a_w frankfurtera

Stabilnost emulzije, tj. sposobnost zadržavanja vode i masti, predstavlja jedan od ključnih tehnoloških parametara u preradi mesa, jer značajno utiče na kvalitet proizvoda, uključujući boju, teksturu i sočnost (Fu i sar., 2021). Na osnovu dobijenih rezultata (Tabela 8), može se zaključiti da su sve ispitivane emulzije bile stabilne, s obzirom da su vrednosti ukupno oslobođene tečnosti (UOT) bile ispod 4%, što se u literaturi smatra poželjnim pragom (de Souza Paglarini i sar., 2019). Dodavanje

HC dovelo je do značajno niže UOT vrednosti ($P < 0,05$) u poređenju sa kontrolnim i WC uzorcima. Mikroalge su poboljšale stabilnost emulzije u smislu smanjenog oslobađanja vode (OV), verovatno kao posledica većeg sadržaja proteina.

Ursu i sar. (2014) su pokazali da proteini iz *C. vulgaris* poseduju visoku emulgujuću sposobnost (~72%), koja je veća u poređenju sa natrijum-kazeinatom (62%) i sojinim proteinima (61%). Ovi proteini imaju nizak izoelektrični pH (~3), što znači da pri pH iznad ove vrednosti poseduju negativan naboj, povećavajući međusobno odbijanje proteina i time omogućavajući veću sposobnost vezivanja vode (Bertsch i sar., 2021). U ovom istraživanju nije korišćen proteinski izolat već cela biomasa mikroalgi, čime je značajan udeo imala i frakcija ugljenih hidrata, uključujući dijetna vlakna, koja takođe doprinose stabilizaciji emulzije (Choi i sar., 2010).

Tabela 9. Parametri stabilnosti emulzija frankfurtera

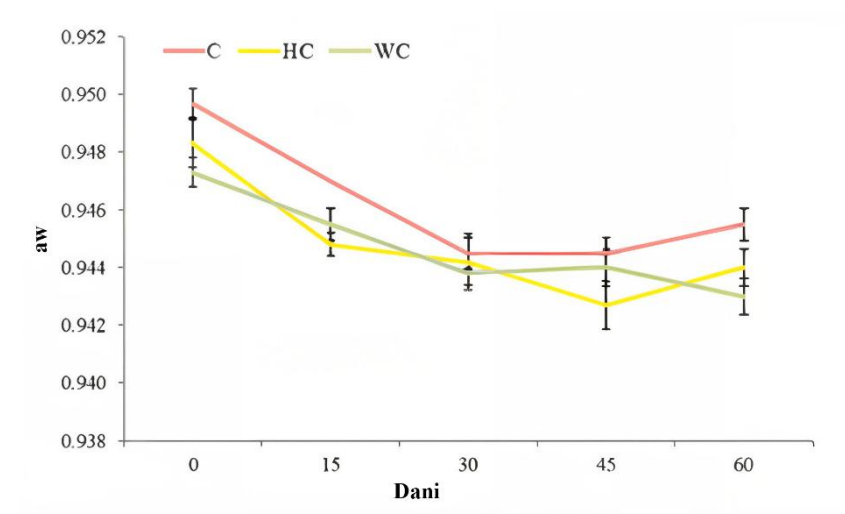
Parametri	C	HC	WC	SEM
UOT (%)	0,777 ^a	0,589 ^b	0,697 ^{ab}	0,016
UV (%)	0,772 ^a	0,539 ^c	0,642 ^b	0,034
UM (%)	0,055	0,049	0,056	0,011

C - kontrolni uzorak; HC - uzorak obogaćen žutom algom *C. vulgaris*, WC - uzorak obogaćen belom algom *C. vulgaris*; SEM – standardna greška; ^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istom redu značajno se razlikuju između grupa na isti dan skladištenja ($P < 0,05$).

Što se tiče pH vrednosti (Tabela 9), uočen je statistički značajan pad pH kod uzoraka sa dodatkom mikroalgi u odnosu na kontrolu ($P < 0,05$), dok nije bilo razlika između WC i HC ($P > 0,05$). Niža početna pH vrednost mikroalgi mogla bi objasniti ovaj efekat. Slične rezultate su prijavili F. J. Marti-Quijal i sar. (2019), koji su primetili snižen pH u ćurećim burgerima sa dodatkom *Chlorella* i *Spirulina*. Tokom skladištenja, pH se značajno menjao u zavisnosti od dodatka i vremena ($P < 0,05$). U kontrolnim virslama, pH je značajno opao do 45. dana, što se može povezati sa rastom mlečno-kiselinskih bakterija i produkcijom organskih kiselina. Kod uzoraka sa mikroalgama pH je bio stabilan do 45. dana, nakon čega je zabeležen porast do kraja perioda skladištenja. Taj porast pH može se pripisati proteolizi usled povećanog mikrobiološkog opterećenja, što dovodi do stvaranja baznih jedinjenja i azotnih metabolita (Aksu & Kaya, 2005).

Na početku skladištenja (dan 0), vrednosti aktivnosti vode (a_w) kretale su se između 0,947 i 0,950, bez značajnih razlika među grupama. Međutim, statistički značajne razlike u a_w su uočene između kontrolnih i uzoraka sa mikroalgama na 15. i 60. danu ($P < 0,05$), kao što je prikazano na slici 8.

Tokom skladištenja došlo je do postepenog smanjenja a_w u svim uzorcima, što je verovatno posledica gubitka slobodne vode, a može pozitivno doprineti mikrobiološkoj stabilnosti proizvoda.



Slika 8. Promena aktivnosti vode (a_w) tokom 60 dana skladištenja frankfurtera obogaćenih sa 3% žute (HC) i bele *Chlorella vulgaris* (WC), kao i kontrolne grupe (C) bez dodatka mikroalgi. (Bošković Cabrol i sar., 2023)

5.1.6. Tekstura frankfurtera

Efekat dodatka mikroalgi i trajanja skladištenja na teksturalne parametre frankfurtera prikazan je u Tabeli 9. Na osnovu rezultata TPA analize, utvrđeno je da dodatak mikroalgi nije značajno uticao na tvrdoću uzoraka neposredno nakon proizvodnje (0. dan) ($P > 0,05$). Međutim, dodatak WC doveo je do statistički značajnog smanjenja kohezivnosti i elastičnosti ($P < 0,05$), dok u odnosu na kontrolne uzorke, viršle obogaćene mikroalgama pokazale su veće vrednosti žvackljivosti ($P < 0,05$). Za razliku od ovih nalaza, Thirumdas i sar. (2018) su pokazali da dodatak proteina iz *C. vulgaris* i *Spirulina*, u koncentraciji od 3%, doprinosi formiranju gušće proteinske matrice u poređenju sa proizvodima obogaćenim sojinim proteinima, što je rezultovalo povećanjem tvrdoće chorizo kobasica. S druge strane, pojedina istraživanja su utvrdila da zamena sojinog proteina mikroalgama dovodi do smanjenja tvrdoće gotovih proizvoda, što je zabeleženo kod pilećeg rotija (Parniakov i sar., 2018) i ćurećih burgera (F. J. Marti-Quijal i sar., 2019).

Tabela 10. Promena parametara teksture i pH vrednosti tokom 60 dana skladištenja frankfurtera

Dani skladištenja	Grupe	Parametri teksture				pH
		Tvrdoća (N)	Kohezivnost	Elastičnost (mm)	Žvackljivost (Nxmm)	
0	C	9,83	0,73 ^{aAB}	0,88 ^{aA}	6,33 ^A	6,24 ^{aA}
	HC	9,57 ^{AC}	0,73 ^{aAC}	0,89 ^{aA}	6,24 ^{AB}	6,15 ^{bAC}
	WC	10,00 ^A	0,70 ^{bA}	0,86 ^{bAC}	6,03	6,14 ^{bA}
	SEM	0,528	0,007	0,010	0,273	0,008
15	C	8,48 ^a	0,74 ^{aAB}	0,85 ^{abB}	5,45 ^{aB}	6,23 ^{aA}
	HC	10,19 ^{bAB}	0,73 ^{aAC}	0,86 ^{aB}	6,11 ^{bA}	6,14 ^{bAB}
	WC	10,03 ^{bA}	0,72 ^{bB}	0,84 ^{bB}	6,05 ^{ab}	6,14 ^{bA}
	SEM	0,549	0,006	0,009	0,337	0,005
30	C	8,92	0,74 ^A	0,86 ^{AB}	5,73 ^{AB}	6,19 ^{aB}
	HC	9,36 ^A	0,75 ^B	0,87 ^B	6,07 ^A	6,16 ^{bC}
	WC	8,71 ^B	0,75 ^C	0,87 ^A	5,64	6,15 ^{cA}
	SEM	0,409	0,005	0,009	0,281	0,006
45	C	8,77 ^a	0,73 ^B	0,84 ^{aB}	5,40 ^{aB}	6,08 ^{aC}
	HC	10,47 ^{bC}	0,74 ^A	0,87 ^{bB}	6,69 ^{bB}	6,13 ^{bB}
	WC	9,18 ^{aAB}	0,73 ^B	0,84 ^{aBC}	5,63 ^{ab}	6,15 ^{bA}
	SEM	0,638	0,005	0,010	0,354	0,008
60	C	8,79 ^a	0,73 ^B	0,87 ^{aAB}	5,56 ^{aAB}	6,26 ^{aD}
	HC	10,97 ^{bBC}	0,72 ^C	0,86 ^{abB}	6,79 ^{bB}	6,16 ^{bC}
	WC	10,36 ^{bA}	0,72 ^B	0,84 ^{bBC}	6,33 ^b	6,16 ^{bB}
	SEM	0,559	0,005	0,011	0,344	0,005

C - kontrolni uzorak; HC - uzorak obogaćen žutom algom *C. vulgaris*, WC - uzorak obogaćen belom algom *C. vulgaris*;

^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na isti dan skladištenja ($P < 0,05$). ^{A-C} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na različite dane skladištenja ($P < 0,05$); SEM – standardna greška.

Dobijeni rezultati u ovoj studiji, posebno kod WC uzoraka, potvrdili su nalaze prethodnih istraživanja, gde su takođe prijavili smanjenje elastičnosti i žvackljivosti proizvoda od mesa nakon inkorporacije mikroalgalnih proteina (F. J. Marti-Quijal i sar., 2019; Parniakov i sar., 2018). Kako navode de Medeiros i sar. (2021), efekti dodatka mikroalgi zavise i od tipa proizvoda od mesa. Pretpostavlja se da svojstva mikroalgalnih proteina, tehnološka svojstva same mesne matrice, kao i primenjena termička obrada (kuvanje, fermentacija, sušenje i sl.) utiču na ponašanje mikroalgi i, posledično, na teksturalne karakteristike finalnog proizvoda. Međutim, do sada nijedno istraživanje nije sistematski pratilo promene teksture proizvoda od mesa sa dodatkom algi tokom skladištenja.

U okviru ovog istraživanja, parametri teksture frankfurtera pokazali su zavisnost od trajanja skladištenja i njegove interakcije sa dodatkom algi ($P < 0,05$), što je prikazano u Tabeli 9. Elastičnost se tokom skladištenja značajno menjala ($P < 0,05$), ali je statistički značajna razlika na 60. danu uočena samo kod uzoraka sa dodatkom HC, dok su vrednosti kod kontrolnih i WC uzoraka ostale stabilne ($P > 0,05$). Kod WC zabeležen je porast kohezivnosti tokom skladištenja ($P < 0,05$), što je dovelo do izjednačavanja vrednosti ovog parametra između svih grupa do kraja eksperimenta. Dodatak HC doveo je do značajnog povećanja tvrdoće nakon 60 dana ($P < 0,05$), dok je kod WC porast bio numerički, ali bez statističke značajnosti ($P > 0,05$). Iako se povećanje tvrdoće često dovodi u vezu sa nižim sadržajem masti (Pietrasik & Duda, 2000), činjenica da razlike nisu bile izražene na početku ukazuje da je ovaj porast verovatno posledica gubitka tečnosti tokom skladištenja (Candogan & Kolsarici, 2003). U kontrolnim uzorcima tvrdoća se nije značajno menjala ($P > 0,05$), ali je do smanjenja žvackljivosti došlo već do 45. dana, što se može povezati sa povećanom mikrobiološkom aktivnošću. Naime, broj aerobnih, mlečnokiselinskih i psihrotrofnih bakterija bio je viši u kontrolnim uzorcima, a poznato je da njihovi ekstracelularni enzimi razgrađuju proteinsku i lipidnu strukturu proizvoda, dovodeći do omekšavanja teksture (Shao i sar., 2021).

Na kraju, na osnovu rezultata senzorne evaluacije (Slika 13), može se zaključiti da su promene teksture izazvane dodatkom mikroalgi bile prihvatljive, s obzirom na to da su uzorci sa algama zadržali zadovoljavajuće senzorne ocene u pogledu teksture, kako na početku, tako i na kraju perioda skladištenja.

5.1.7. Boja frankfurtera

Vrednosti parametara boje frankfurtera prikazane su u Tabeli 10. Statistički značajno smanjenje L^* vrednosti zabeleženo je kod HC uzoraka ($P < 0,05$), što ukazuje na tamniji vizuelni utisak proizvoda u poređenju sa kontrolom. Dodavanje WC i HC rezultiralo je sniženjem vrednosti a^* , dok je

istovremeno došlo i do porasta b^* vrednosti ($P < 0,05$), što ukazuje na izraženiju prisutnost zelenih i žutih nijansi u odnosu na kontrolne uzorke. Utvrđene razlike u kolorimetrijskim vrednostima frankfurtera mogu se pripisati prisustvu prirodnih pigmenta — karotenoida i hlorofila — u biomasi mikroalgi (Slika 2). U skladu sa ovim nalazima, Thirumdas i sar. (2018) pokazali su da dodatak 3% *Spiruline* i *C. vulgaris* u formulaciju kobasica tipa chorizo dovodi do smanjenja a^* i L^* vrednosti, što takođe potvrđuje uticaj pigmenta na izgled proizvoda.

Tabela 11. Promena parametara boje i razlike u boji tokom 60 dana skladištenja frankfurtera

Dani skladištenja	Grupe	Boja površine			Boja preseka		
		L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
0	C	85,33 ^{aA}	4,72 ^{aA}	3,44 ^a	85,50 ^{aAB}	3,33 ^a	2,11 ^a
	HC	79,44 ^b	1,83 ^b	25,00 ^b	79,11 ^b	1,00 ^{bA}	17,11 ^b
	WC	83,39 ^c	2,33 ^{bA}	9,11 ^c	86,11 ^a	2,11 ^{cA}	7,50 ^c
	SEM	0,747	0,362	0,763	0,925	0,137	0,485
15	C	85,11 ^{aA}	5,83 ^{aB}	3,72 ^a	87,22 ^{aA}	3,72 ^a	2,33 ^a
	HC	77,61 ^b	2,72 ^b	27,11 ^b	77,06 ^b	1,72 ^{bB}	15,72 ^b
	WC	82,11 ^c	4,11 ^{cB}	9,11 ^c	85,39 ^a	3,11 ^{aB}	7,44 ^c
	SEM	0,973	0,302	0,613	1,058	0,286	0,566
30	C	84,50 ^{aAB}	5,11 ^{aAB}	3,89 ^a	86,78 ^{aA}	3,83 ^a	2,22 ^a
	HC	79,00 ^b	2,33 ^b	27,67 ^b	77,61 ^b	1,11 ^{bA}	15,44 ^b
	WC	82,11 ^c	3,33 ^{cB}	9,00 ^c	83,33 ^a	4,11 ^{aC}	7,83 ^c
	SEM	1,155	0,464	0,97	0,989	0,292	0,450
45	C	84,28 ^{aAB}	4,94 ^{aAB}	3,89 ^a	84,24 ^{aB}	3,22 ^a	2,33 ^a
	HC	79,61 ^b	2,22 ^b	26,50 ^b	77,33 ^b	1,33 ^{bAB}	16,00 ^b
	WC	81,61 ^b	3,33 ^{cB}	8,89 ^c	83,50 ^a	3,39 ^{aBC}	7,72 ^c
	SEM	1,221	0,396	1,060	1,008	0,310	0,615

* Nastavak na sledećoj strani

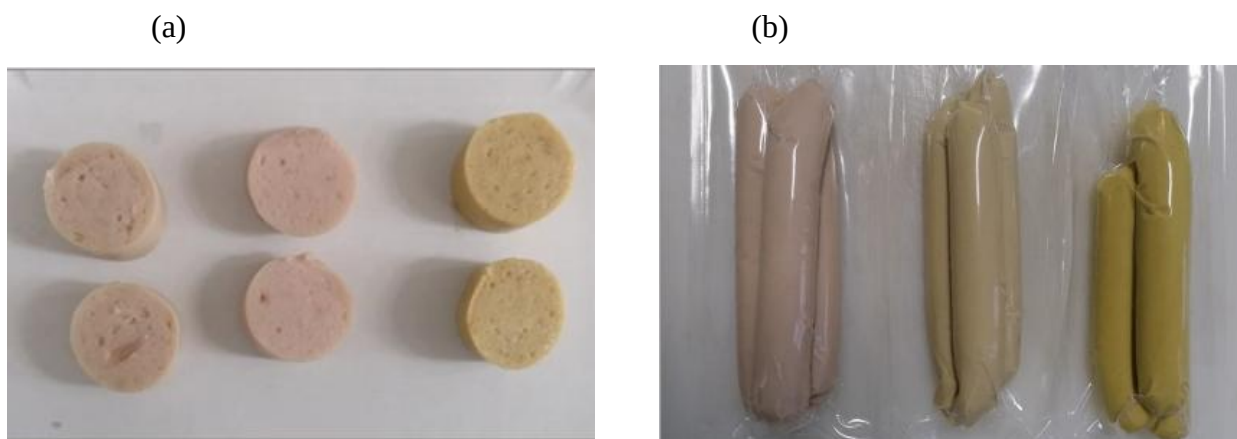
Tabela 12. Promena parametara boje i razlike u boji tokom 60 dana skladištenja frankfurtera

60	C	83,33 ^{aB}	5,00 ^{aAB}	4,11 ^a	84,11 ^{aB}	3,22 ^a	2,44 ^a
	HC	78,72 ^b	2,72 ^b	25,11 ^b	76,72 ^b	1,22 ^{bA}	16,22 ^b
	WC	82,44 ^a	3,50 ^{bB}	8,78 ^c	83,33 ^a	3,39 ^{aBC}	7,67 ^c
	SEM	1,035	0,472	0,648	1,012	0,305	0,516
ΔE 0	-	22,58	6,47	-	16,47	5,55	
ΔE 60	-	2,57	5,01	-	15,79	5,36	
ΔE^*		2,14	2,57	1,59	1,44	2,57	2,23

C - kontrolni uzorak; HC - uzorak obogaćen žutom algom *C. vulgaris*, WC - uzorak obogaćen belom algom *C. vulgaris*; ΔE 0 i 60 – razlike u boji u odnosu na kontrolni frankfurter na 0. i 60. dan skladištenja; ΔE^* – razlike u boji unutar iste grupe između 0. i 60. dana skladištenja.

^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na isti dan skladištenja ($P < 0,05$). ^{A-C} Srednje vrednosti sa različitim velikim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na različite dane skladištenja ($P < 0,05$); SEM – standardna greška.

Kao što se može videti na slikama 2a i 2b, *C. vulgaris* je bogat izvor prirodnih pigmenata, a razlike u boji između viršli obogaćenih žutom i belom varijantom ove mikroalge bile su jasno uočljive golim okom. Ove vizuelne razlike potvrđene su i instrumentalnim merenjima, pri čemu su vrednosti ukupne razlike u boji (ΔE) bile veće od 3, što se prema Fernández-López i sar. (2019) smatra pragom detekcije kod potrošača. Najveća ukupna razlika u boji zabeležena je kod uzoraka sa dodatkom žute *C. vulgaris*, i to kako na površini proizvoda ($\Delta E = 22,58$), tako i na preseku ($\Delta E = 16,47$).

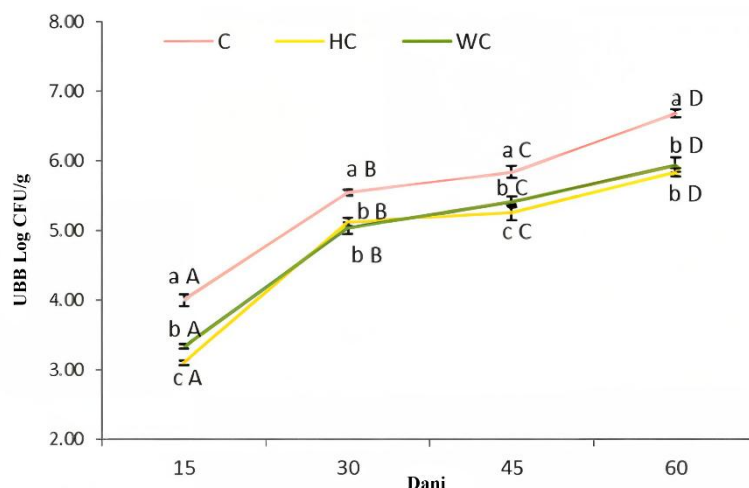
**Slika 9.** a. Boja preseka kontrolnog frankfurtera, i frankfurtera sa belom i žutom *C. vulgaris*

b. Boja površine kontrolnog frankfurtera, i frankfurtera sa belom i žutom *C. vulgaris*

Rezultati ukazuju da je trajanje skladištenja imalo značajan uticaj na kolorimetrijske parametre frankfurtera (Tabela 10). Kod kontrolnih uzoraka, vrednosti L^* na preseku i površini značajno su se smanjivale tokom skladištenja, što je u skladu sa ranijim nalazima (Delgado-Pando i sar., 2010). Nasuprot tome, kod viršli obogaćenih mikroalgama nije zabeležena statistički značajna promena L^* vrednosti tokom posmatranog perioda. b^* vrednosti na preseku kod kontrolnih uzoraka ostale su stabilne, dok su a^* vrednosti na površini pokazale tendenciju rasta tokom skladištenja. Slično tome, kod viršli sa dodatkom WC zabeležen je statistički značajan porast crvene nijanse tokom čuvanja ($P < 0,05$). Povećanje a^* vrednosti tokom skladištenja kod viršli potvrđeno je i u prethodnim istraživanjima (Novakovic i sar., 2019; Novaković i sar., 2021). Sa druge strane, b^* vrednosti frankfurtera ostale su stabilne bez značajnih promena u toku skladištenja ($P > 0,05$). Posledično, došlo je do smanjenja ukupne razlike u boji (ΔE) između kontrolnih i WC uzoraka nakon 60 dana skladištenja ($\Delta E = 5,01$), u poređenju sa početnim danom ($\Delta E = 6,47$), što ukazuje na delimično izjednačavanje vizuelnih karakteristika tokom vremena. Parametar ΔE koristi se i za procenu ukupne promene boje unutar iste grupe proizvoda tokom skladištenja (Quesada i sar., 2016), pri čemu se prosečna boja viršli na početku skladištenja uzima kao referentna vrednost. Viršle obogaćene WC pokazale su statistički značajno niže vrednosti ΔE u poređenju sa kontrolnim uzorcima i onima sa dodatkom HC, i to za 25,7–38,14%, što ukazuje na veću površinsku stabilnost boje u ovoj grupi. Nasuprot tome, kontrolne viršle pokazale su veću stabilnost boje u unutrašnjem delu proizvoda. S obzirom na to da su u ovoj studiji utvrđene promene boje viršli u intervalu od 1,44 do 2,57, može se zaključiti da su sve formulacije zadržale zadovoljavajuću stabilnost boje tokom dvomesečnog skladištenja.

5.1.8. Mikrobiološke karakteristike frankfurtera

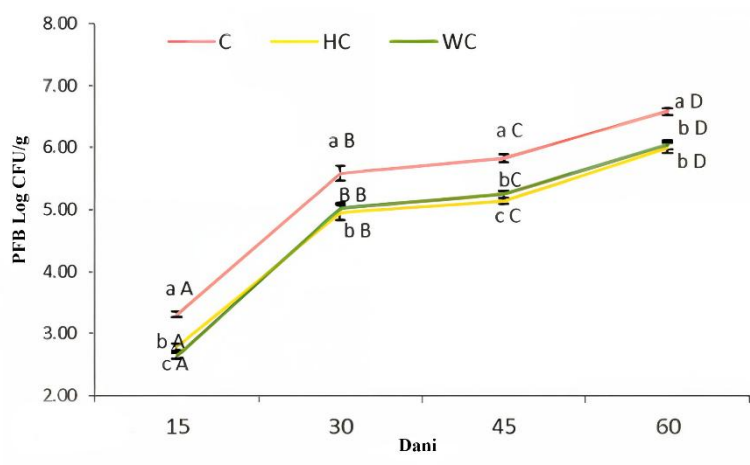
Uticaj dodatka mikroalgi i trajanje skladištenja na mikrobiološke promene u frankfurterima, uključujući UBB, broj PFB i BMK, prikazan je na Slikama 10, 11 i 12. Na početku skladištenja, sve analizirane mikrobiološke grup zabeležene su u vrednostima ispod 2 log CFU/g u svim ispitivanim uzorcima, što je pokazatelj visokog mikrobiološkog kvaliteta proizvoda nakon proizvodnje. Niski početni nivoi mikrobiološke kontaminacije rezultat su sprovedene termičke obrade. Tokom skladištenja, u svim uzorcima uočen je postepen porast UBB ($P < 0,05$). Na kraju 60. dana, UBB je dostigao 6,68 log CFU/g u kontrolnim viršlama, dok su u HC i WC uzorcima zabeležene niže vrednosti - 5,84 log CFU/g i 5,94 log CFU/g, respektivno. Nasuprot tome, u uzorcima sa mikroalgama UBB ostao je ispod propisanog limita čak i nakon 60 dana, što ukazuje na blagotvoran efekat dodatka *C. vulgaris* na mikrobiološku stabilnost proizvoda.



Slika 10. Promene u ukupnom broj bakterija (UBB)(log CFU/g) tokom 60 dana skladištenja frankfurtera.

C - kontrolni uzorak; HC - uzorak obogaćen žutom algom *C. vulgaris*, WC - uzorak obogaćen belom algom *C. vulgaris*; ^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima značajno se razlikuju između grupa na isti dan skladištenja ($P < 0,05$). ^{A-D} Srednje vrednosti sa različitim slovima značajno se razlikuju između grupa na različite dane skladištenja ($P < 0,05$). (Bošković Cabrol i sar., 2023)

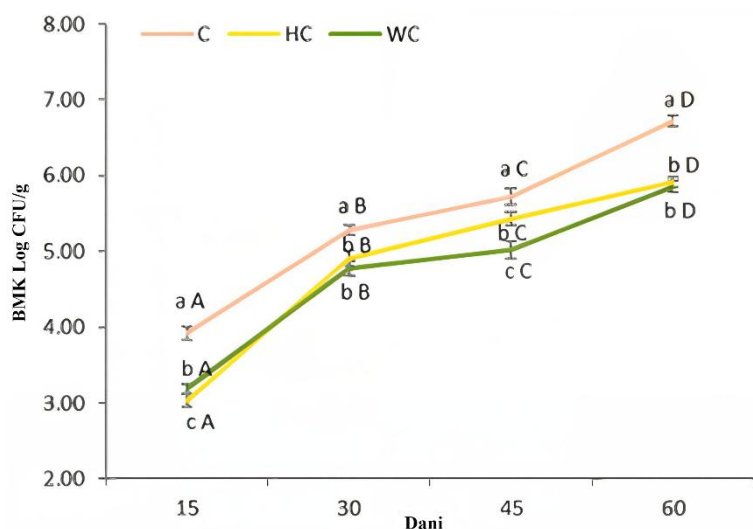
S obzirom na njihovu sposobnost da rastu i razmnožavaju se pri niskim temperaturama, psihrotrofne bakterije predstavljaju mikrobiološki indikator od posebnog značaja kada je reč o stabilnosti i bezbednosti proizvoda poput viršli (Horita i sar., 2018). Na kraju perioda skladištenja, broj PFB u kontrolnim, kao i u obogaćenim uzorcima, porastao je na 6,59, 6,00 i 6,05 log CFU/g, respektivno (Slika 11). Ovi rezultati ukazuju na to da dodatak mikroalgi ima izražen inhibitorni efekat na rast psihrotrofnih bakterija tokom skladištenja u uslovima hlađenja.



Slika 11. Promene broja psihrofilnih bakterija (PFB)(log CFU/g) tokom 60 dana skladištenja frankfurtera.

C - kontrolni uzorak; HC - uzorak obogaćen žutom algom *C. vulgaris*, WC - uzorak obogaćen belom algom *C. vulgaris*; ^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima značajno se razlikuju između grupa na isti dan skladištenja ($P < 0,05$). ^{A-D} Srednje vrednosti sa različitim slovima značajno se razlikuju između grupa na različite dane skladištenja ($P < 0,05$). (Bošković Cabrol i sar., 2023)

Bakterije mlečne kiseline imaju ključnu ulogu u degradacionim procesima emulzionih mesnih proizvoda tokom skladištenja pod vakuumom, što je posledica njihove mikroaerofilne prirode (Viuda-Martos i sar., 2010). Tokom skladištenja zabeležen je kontinuirani porast broja BMK, koji je na samom kraju iznosio 6,72 log CFU/g u kontrolnim uzorcima, te 5,92 i 5,86 log CFU/g u viršlama obogaćenim WC i HC, respektivno (Slika 12).



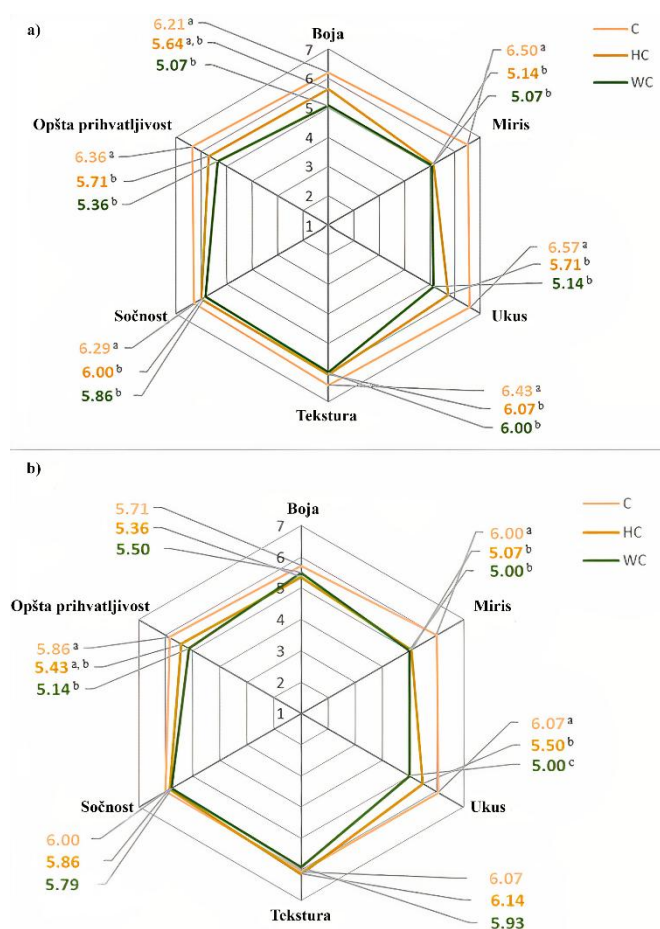
Slika 12. Promene broja mlečnokiselinskih bakterija (BMK)(log CFU/g) tokom 60 dana skladištenja frankfurtera.

C - kontrolni uzorak; HC - uzorak obogaćen žutom algom *C. vulgaris*, WC - uzorak obogaćen belom algom *C. vulgaris*; ^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima značajno se razlikuju između grupa na isti dan skladištenja ($P < 0,05$). ^{A-D} Srednje vrednosti sa različitim slovima značajno se razlikuju između grupa na različite dane skladištenja ($P < 0,05$). (Bošković Cabrol i sar., 2023)

Iako su tokom skladištenja zabeležene određene razlike u vrednostima UBB, PFB i BMK između uzoraka HC i WC, na kraju ispitivanog perioda obe formulacije sa mikroalgama pokazale su slične mikrobiološke vrednosti ($P > 0,05$), koje su bile statistički značajno niže u odnosu na kontrolnu grupu ($P < 0,05$). Ovi rezultati ukazuju na potencijalni antibakterijski efekat mikroalgi inkorporiranih u proizvod. Jedno od mogućih objašnjenja za smanjenu mikrobiološku aktivnost može biti prisustvo fenolnih jedinjenja u *C. vulgaris*, koja su poznata po izraženom antimikrobnom delovanju. Pored toga, mikroalge sadrže i druge bioaktivne komponente, uključujući flavonoide, koji takođe doprinose antimikrobnom efektu (Pradhan i sar., 2021).

5.1.9. Senzorna evaluacija frankfurtera

Povećana svest o značaju zdravlja i promocija zdravih životnih navika tokom poslednjih godina značajno su uticale na promenu potrošačkih stavova i prehrambenih trendova. Ova promena u ponašanju potrošača podstakla je industriju mesa na reformulaciju proizvoda s ciljem poboljšanja njihovih nutritivnih svojstava. Međutim, uvođenje netradicionalnih sastojaka, kao što su mikroalge, može negativno uticati na senzorne karakteristike novih proizvoda, budući da svaki sastojak u tradicionalnoj recepturi ima specifičnu ulogu u formiranju poželjnih senzornih osobina koje određuju prihvatljivost proizvoda kod potrošača (Santiesteban-López i sar., 2022).



Slika 13. a. Ocene različitih senzornih atributa evaluiranih u frankfurterima pre skladištenja; a-b Srednje vrednosti sa različitim slovima značajno se razlikuju između grupa ($P < 0,05$).

b. Ocene različitih senzornih atributa evaluiranih u frankfurterima nakon 90 dana skladištenja; ^{a-} Srednje vrednosti sa različitim slovima značajno se razlikuju između grupa ($P < 0,05$).

C - kontrolni uzorak; HC - uzorak obogaćen žutom algom *C. vulgaris*, WC - uzorak obogaćen belom algom *C. vulgaris* (Bošković Cabrol i sar., 2023)

Legenda: 1 – uopšte mi se ne sviđa, 7 – izuzetno mi se sviđa.

Nalazi ovog istraživanja potvrđuju navedeno, jer je dodatak mikroalgi imao statistički značajan uticaj na pojedine senzorne attribute viršli (Slika 13). Ipak, važno je istaći da su sve formulacije, uključujući i one sa mikroalgama, bile pozitivno ocenjene od strane potrošača, pri čemu su sve vrednosti bile iznad prihvatljivog praga tokom čitavog perioda dvomesečnog skladištenja. Na sedmostepenoj hedonskoj skali, dobijene ocene su se kretale u intervalu od 5,07 do 6,57, što ukazuje na zadovoljavajuću senzornu prihvatljivost svih ispitivanih uzoraka. Na početku perioda čuvanja, kontrolne viršle postigle su statistički značajno više ocene za miris, ukus, teksturu, sočnost i opštu prihvatljivost u poređenju sa uzorcima obogaćenim mikroalgama ($P < 0,05$). Formulacije sa dodatkom mikroalgi pokazale su međusobno slične prosečne vrednosti za sve ispitivane senzorne parametre, bez značajnih razlika ($P > 0,05$). Ovakvi nalazi su u skladu sa rezultatima studije koju su sprovedi Zamuz i sar. (2019), u kojoj je zabeležena niža senzorna prihvatljivost proizvoda poput svinjske jetrene paštete, ćurećih pljeskavica, kuvanih ćurećih prsa, svežih svinjskih kobasica i mariniranih ćurećih prsa obogaćenih niskim koncentracijama *Chlorella vulgaris* i *Spirulina*, u poređenju sa kontrolnim uzorcima pripremljenim uz dodatak soje i mahunarki. Kada je reč o alternativnim izvorima proteina, kao što su alge, prethodna informisanost i iskustvo potrošača sa ovim sastojcima igraju ključnu ulogu u senzornoj percepciji i prihvatanju proizvoda (Birch i sar., 2019). U ovom istraživanju, nijedan od panelista nije imao prethodnog iskustva sa ocenjivanjem proizvoda koji sadrže alge, što može objasniti početno niže ocene formulacija sa algama. Prethodna istraživanja ukazuju na to da su proizvodi od algi, kao što su grickalice, prihvatljiviji među potrošačima koji u ishrani preferiraju ribu u odnosu na meso (de Boer i sar., 2013), što se može dovesti u vezu sa višim sadržajem polinezasićenih masnih kiselina (PUFA) u takvim proizvodima. Prema mišljenju Cofrades i sar. (2017), u kulturama gde je konzumacija algi uobičajena, karakterističan ukus mesnih proizvoda obogaćenih algama ne bi se posmatrao kao negativan atribut, već bi mogao čak doprineti većoj prihvatljivosti proizvoda kod potrošača.

Boja se smatra jednim od ključnih senzornih faktora koji utiču na prihvatljivost proizvoda od mesa (Boles i sar., 2005). U okviru ovog istraživanja, iako je dodatak žute *C. vulgaris* značajno uticao na kolorimetrijske parametre, senzorne ocene boje nisu se razlikovale u poređenju sa kontrolnim uzorcima. Nasuprot tome, uzorci sa dodatkom bele *C. vulgaris* percipirani su kao „previše bleđi” i „sivkasti”, što je rezultiralo statistički nižim ocenama boje u odnosu na kontrolne viršle ($P < 0,05$). Slične nalaze zabeležili su i Zamuz i sar. (2019), koji su zabeležili da je niža senzorna prihvatljivost proizvoda obogaćenih *Spirulinom* i *C. vulgaris* delimično posledica uticaja pigmenata iz ovih mikroalgi na izgled proizvoda. Međutim, u okviru ovog istraživanja, viršle sa dodatkom i WC i HC

ocenjene su prosečnom ocenom ≥ 5 na sedmostepenoj skali, što ukazuje da mogu biti uključene u formulaciju proizvoda od mesa bez značajnog negativnog uticaja na senzorni parametar boje.

Za razliku od početka skladišnog perioda, kada su kod uzoraka WC i HC zabeleženi određeni nedostaci u pogledu teksture, sočnosti i boje, rezultati senzorne evaluacije nakon 45 dana skladištenja pokazali su da između grupa više nije bilo statistički značajnih razlika u navedenim parametrima ($P > 0,05$) (Slika 6b). Ipak, uprkos stabilizaciji teksturalnih i vizuelnih svojstava tokom vremena, uzorci obogaćeni mikroalgama i dalje su imali statistički niže ocene ukusa i mirisa u poređenju sa kontrolnim viršlama ($P < 0,05$). Što se tiče ukupne prihvatljivosti, nije uočena razlika između kontrolnih uzoraka i viršli sa HC ($P > 0,05$), što ukazuje na potencijalnu senzornu prihvatljivost ove formulacije. Nasuprot tome, viršle obogaćene WC imale su statistički niže ocene ukupne prihvatljivosti u odnosu na kontrolnu grupu ($P < 0,05$). U drugom krugu ocenjivanja (nakon 45 dana) ispitanici su bili informisani o sastavu, primeni i potencijalnim prednostima mikroalgi. U skladu sa nalazima (Lafarga i sar., 2021), informisanje i edukacija potrošača o nutritivnim i ekološkim benefitima algi mogu doprineti povećanju prihvatljivosti proizvoda koji ih sadrže.

5.2. Rezultati ispitivanja čevapa

5.2.1. Osnovni fizičko-hemijski parametri

Hemijski sastav kontrolnih uzoraka čevapa i formulacija sa dodatkom različitih vrsta algi prikazan je u Tabeli 11. Iako je poznato da mikro- i makroalge sadrže visok udeo proteina, njihova inkorporacija u ovom istraživanju nije dovela do značajnog povećanja sadržaja proteina u finalnim proizvodima. Iako je u uzorcima sa algama uočen blago povećan sadržaj proteina u poređenju sa kontrolom, ova razlika nije bila statistički značajna ($P > 0,05$). U skladu sa Pravilnikom o kvalitetu usitnjenog mesa, poluproizvoda od mesa i proizvoda od mesa ("Službeni glasnik RS", br. 50/2019 i 34/2023), koji definiše minimalni sadržaj proteina od 14% za čevape, nijedna od ispitivanih formulacija nije odstupala od propisanih standarda. Slični rezultati zabeleženi su i u prethodnim studijama koje su ispitivale uticaj dodatka algi na proteinski sastav različitih proizvoda od mesa. Naime, dodatak wakame algi u koncentracijama od 2% i 5% u viršle sa smanjenim sadržajem soli (Choi i sar., 2017), kao i u emulzionim mesnim proizvodima (Cofrades i sar., 2008), nije značajno uticao na ukupni sadržaj proteina. Takođe, dodatak sea spaghetti (SS) algi u koncentraciji od 5% u emulzione mesne proizvode (Cofrades i sar., 2008), svinjske kobasice (Mohammed i sar., 2022) i pileće odreske (3%) (Cofrades i sar., 2011) nije doveo do statistički značajnih promena u proteinskom sastavu. S druge strane, pojedine formulacije pokazale su značajnije povećanje sadržaja proteina. Tako je u frankfurterima dodatak 3% bele i žute *C. vulgaris* rezultirao povećanjem sadržaja proteina za gotovo 1% (Bošković Cabrol i sar., 2023), dok je u goveđim burgerima pri primeni iste mikroalge zabeležen još izraženiji porast sadržaja proteina (Abdel-Moatamed i sar., 2024).

Tabela 13. Hemijski sastav čevapa sa različitim algama po grupi

	Grupa							SEM
	C	WC1,5	WC3	SS1,5	SS3	W1,5	W3	
Sadržaj vlage (%)	67,72 ^a	67,36 ^a	66,72 ^a	67,27 ^a	64,74 ^b	66,90 ^a	65,00 ^b	0,316
Sadržaj proteina (%)	15,60	15,67	15,90	15,70	15,73	15,87	15,90	0,091
Sadržaj masti (%)	13,97	13,93	14,10	14,08	14,08	14,02	14,03	0,082
NaCl (g/100g)	2,57 ^a	2,73 ^{ab}	2,60 ^a	2,77 ^{ab}	2,87 ^{ab}	2,79 ^{ab}	3,09 ^b	0,040
C - kontrolni uzorak; WC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% belom <i>C. vulgaris</i> . WC3 - uzorak obogaćen sa 3% belom <i>C. vulgaris</i> ; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; W1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% wakame; W3 - uzorak obogaćen sa 3% wakame; SEM – standardna greška								
^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istom redu značajno se razlikuju ($P < 0,05$)								

S obzirom na prirodno nizak sadržaj masti u algama, očekivalo se da njihova inkorporacija u proizvode neće značajno uticati na ukupni sadržaj masti. Ova pretpostavka potvrđena je i u prethodnim istraživanjima, gde dodatak SS u pileće odreske (3%) (Cofrades i sar., 2011), svinjske kobasice (5%) (Mohammed i sar., 2022) i viršle sa smanjenim sadržajem soli (Lopez-Lopez, Cofrades, i sar., 2009) nije doveo do statistički značajnih promena u sadržaju masti. Slični nalazi zabeleženi su i kod dodatka wakame algi, čija inkorporacija u viršle (2%) sa redukovanim sadržajem soli (Choi i sar., 2017) i mesne emulzije (5%) (Lopez-Lopez, Bastida, i sar., 2009) takođe nije rezultirala promenama u ukupnom sadržaju masti. Međutim, u pojedinim slučajevima, dodatak algi sa niskim udelom masti doveo je do smanjenja ukupnog lipidnog sadržaja. Na primer, primena bele i žute *Chlorella vulgaris* u koncentraciji od 3% rezultirala je smanjenjem sadržaja masti u viršlama za više od 1% u poređenju sa kontrolnim uzorcima (Bošković Cabrol i sar., 2023), što ukazuje na potencijalnu ulogu mikroalgi u formulisanju proizvoda sa sniženim udelom masti.

Sadržaj vlage bio je statistički značajno niži ($P < 0,05$) u uzorcima sa dodatkom 3% sea spaghetti (SS3) i wakame (W3) u poređenju sa kontrolnim ćevapima, pri čemu su najviše vrednosti vlage zabeležene upravo u kontrolnoj grupi. Ovakvi rezultati mogu se objasniti prisustvom visokog udela dijetetskih vlakana u algama, koja imaju sposobnost vezivanja vode, ali istovremeno mogu doprineti smanjenju slobodne vlage u proizvodima od mesa. Slični nalazi zabeleženi su u prethodnim istraživanjima, gde je dodatak ovih vrsta algi u koncentracijama od 1% u viršlama (Vilar i sar., 2020) i 2,5% u svinjskim kobasicama (Mohammed i sar., 2022) doveo do smanjenja sadržaja vlage. U okviru ovog istraživanja, dodatak *Chlorella vulgaris* takođe je doveo do smanjenja sadržaja vlage, iako razlike nisu bile statistički značajne. Nasuprot tome, rezultati istraživanja sa frankfurterima pokazali su da je dodatak ove mikroalge u koncentraciji od 3% smanjio sadržaj vlage za gotovo 1%.

Sadržaj soli u analiziranim uzorcima kretao se od 2,57 g/100 g u kontrolnoj formulaciji do 3,09 g/100 g u uzorku W3. Zbog visokog prirodnog sadržaja natrijuma u algama, dodatak svih ispitivanih vrsta algi doveo je do povećanja ukupnog sadržaja soli u ćevapima, uprkos redukovanoj količini dodate kuhinjske soli tokom pripreme. Ovi nalazi ukazuju na mogućnost dodatne optimizacije recepture u cilju smanjenja ukupnog unosa soli, čime bi se poboljšao nutritivni profil finalnog proizvoda bez kompromitovanja njegove tehnološke funkcionalnosti.

5.2.2. pH, a_w i gubitak mase termičkom obradom

Promene pH vrednosti praćene su tokom sedmodnevnog perioda skladištenja pri temperaturi od 4 °C. Na početku skladištenja, pH vrednosti bile su ujednačene među svim analiziranim uzorcima, dok su se kako je skladištenje odmicalo, počele uočavati razlike između grupama. Do sedmog dana, u svim serijama zabeležene su statistički značajne razlike u pH vrednostima ($P < 0,05$). Uzorci sa dodatkom WC pokazali su najniže pH vrednosti u poređenju sa ostalim obogaćenim formulacijama, dok su uzorci sa wakame imali pH vrednosti koje su bile najbliže onima u kontrolnoj grupi (Tabela 12).

Tabela 14. pH, a_w i gubitak mase nakon termičke obrade ćevapa sa različitim algama po grupi

Parametri	Grupa							SEM
	C	WC1,5	WC3	SS1,5	SS3	W1,5	W3	
pH 0	5,63 ^{ab}	5,62 ^a	5,62 ^a	5,61 ^a	5,60 ^a	5,67 ^b	5,68 ^b	0,011
pH 1	5,66 ^a	5,65 ^{ab}	5,64 ^{ab}	5,64 ^{ab}	5,62 ^{bc}	5,70 ^{cd}	5,72 ^d	0,008
pH 3	5,54 ^{ab}	5,48 ^{ab}	5,47 ^a	5,52 ^{ab}	5,58 ^{abc}	5,60 ^{bc}	5,67 ^c	0,028
pH 7	5,36	5,00 ^{ab}	4,96 ^b	5,11 ^{cd}	5,08 ^{bc}	5,19 ^{de}	5,20 ^e	0,018
GM (%)	23,06 ^{ab}	24,21 ^a	23,81 ^a	22,74 ^{ab}	20,79 ^b	17,15 ^c	12,40 ^d	0,53
a_w	0,983 ^a	0,977 ^{ab}	0,978 ^{ab}	0,977 ^{ab}	0,972 ^b	0,977 ^{ab}	0,970 ^b	0,002

C - kontrolni uzorak; WC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% belom *C. vulgaris*, WC3 - uzorak obogaćen sa 3% belom *C. vulgaris*; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; W1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% wakame; W3 - uzorak obogaćen sa 3% wakame; SEM – standardna greška

^{a-e} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istom redu značajno se razlikuju ($P < 0,05$)

Uticaj algi na pH vrednost proizvoda nije jednoznačan niti uvek predvidiv, što potvrđuju i brojni različiti rezultati u literaturi. Na primer, inkorporacija 2% wakame u viršle sa redukovanim sadržajem soli dovela je do blagog, ali statistički značajnog povećanja pH za 0,10 jedinica (Choi i sar., 2017), dok je u emulzionim mesnim sistemima sa niskim sadržajem soli dodatak 2,5% iste alge izazvao nešto manji porast pH (Cofrades i sar., 2008). S druge strane, dodatak 2,5% SS nije značajno uticao na pH vrednosti, dok je primena *Porphyra umbilicalis* izazvala statistički značajno sniženje pH. Sličan efekat primećen je i pri dodatku praha *Laminaria japonica* u koncentraciji od 5% u pljeskavice (Choi i sar., 2012) i 4% u sveže kobasice (Han i sar., 2010), gde je pH smanjen za približno 0,10 jedinica. Nasuprot tome, dodatak 2,5% *Spiruline* u paštete od svinjske džigerice nije imao izražen uticaj na pH vrednosti gotovog proizvoda (Voloschenko i sar., 2021).

U slučaju aktivnosti vode, statistički značajno niže vrednosti u odnosu na kontrolne uzorke ($P < 0,05$) zabeležene su samo kod SS3 i W3. Ovaj efekat može se pripisati visokom sadržaju dijetetskih vlakana prisutnih u ovim vrstama algi. Naime, vrsta i količina polisaharida u vlaknastim frakcijama algi značajno utiču na njihova gelirajuća svojstva, čime se menja sposobnost zadržavanja vode i modifikuju funkcionalne osobine proizvoda (Cox & Abu-Ghannam, 2013). Ova svojstva dijetetskih vlakana takođe su doprinela smanjenju gubitka mase (GM) nakon termičke obrade, pri čemu je efekat bio najizraženiji u uzorcima sa sea spaghetti i wakame algama, a intenzitet smanjenja bio je proporcionalan koncentraciji dodate alge. Nasuprot tome, dodatak WC nije doveo do statistički značajnih promena ni u aktivnosti vode ni u gubitku mase tokom termičke obrade ($P > 0,05$), bez obzira na koncentraciju mikroalge u proizvodu. Slični nalazi prijavljeni su u ranijim istraživanjima, gde je dodatak 3% *Laminaria japonica* rezultirao smanjenjem GM kod pljeskavica (Choi i sar., 2012) i svežih kobasica (Han i sar., 2010). Takođe, inkorporacija tri vrste makroalgi u pileće kobasice, *Kappaphycus alvarezii*, *Sargassum polycystum* i *Caulerpa lentillifera*, dovela je do smanjenja GM, proporcionalno sa povećanjem koncentracije algi (2%, 4% i 6%) (Munsu i sar., 2021).

5.2.3. Tekstura ćevapa

Analiza teksturalnih parametara pokazala je da su uzorci sa dodatkom algi ispoljili statistički značajne razlike u tvrdoći i žvakljivosti u odnosu na kontrolne ćevape (Tabela 13). Formulacije obogaćene WC i SS pokazale su tendenciju smanjenja vrednosti tvrdoće i žvakljivosti, dok su W1,5 i W3 imali značajno više vrednosti za ove parametre u poređenju sa kontrolom ($P < 0,05$). Ovi rezultati ukazuju na to da povećana tvrdoća i žvakljivost uzoraka sa wakame mogu biti povezani sa visokim sadržajem dijetetskih vlakana u ovoj algi. Naime, prema podacima Lopez-Santamarina i sar. (2023), sadržaj dijetetskih vlakana u pomenutoj algi iznosi oko 34%, što je približno tri puta više u odnosu na sadržaj vlakana u WC i SS (Samani i sar., 2021). Kohezivnost je bila blago smanjena ($P < 0,05$) u uzorcima WC i SS, dok kod formulacija W1,5 i W3 nije bilo statistički značajnih promena u ovom parametru. Minimalne promene u elastičnosti zabeležene su isključivo kod uzoraka sa dodatkom WC, dok kod ostalih grupa nije bilo uočenih odstupanja u odnosu na kontrolu.

Tabela 15. Parametri teksture ćevapa sa različitim algama po grupi

Parametri	Grupa							SEM
	C	WC1,5	WC3	SS1,5	SS3	W1,5	W3	
Tvrdoća (N)	20,39 ^a	17,47 ^b	14,34 ^c	16,10 ^{bd}	15,79 ^{cd}	22,16 ^e	24,21 ^f	0,660
Kohezivnost	0,44 ^a	0,40 ^b	0,36 ^c	0,40 ^b	0,37 ^{bc}	0,46 ^a	0,46 ^a	0,017
Elastičnost(mm)	1,00 ^a	1,06 ^b	1,05 ^b	1,04 ^{ab}	1,03 ^{ab}	1,01 ^a	1,01 ^a	0,07
Žvakljivost (Nxmm)	9,25 ^a	7,57 ^b	5,52 ^c	6,72 ^d	5,92 ^c	10,22 ^e	11,33 ^f	0,475

C - kontrolni uzorak; WC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% belom *C. vulgaris*, WC3 - uzorak obogaćen sa 3% belom *C. vulgaris*; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; W1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% wakame; W3 - uzorak obogaćen sa 3% wakame; SEM – standardna greška. ^{a-f} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istom redu značajno se razlikuju ($P < 0,05$)

Kod termički obrađenih proizvoda od mlevenog mesa, kao što su pljeskavice, dodatak 3% *Laminaria japonica* doveo je do značajnog povećanja tvrdoće, elastičnosti i žvakljivosti (Choi i sar., 2012), dok su slični rezultati registrovani i u svežim kobasicama sa istom vrstom alge (Han i sar., 2010). Suprotno nalazima ove studije, dodatak SS doveo je do povećanja tvrdoće i žvakljivosti svinjskih kobasica (Mohammed i sar., 2022), dok je dodatak wakame rezultirao sličnim efektima u mesnim emulzijama (Cofrades i sar., 2008), što je u saglasnosti sa rezultatima dobijenim u okviru ovog istraživanja. Kako ističu de Medeiros i sar. (2021), efekat inkorporacije algi na teksturalna svojstva mesnih proizvoda u velikoj meri zavisi od tipa proizvoda. Pored toga, faktori kao što su vrsta i koncentracija primenjene alge, osobine mesnog matriksa, kao i vrsta termičke obrade (npr. sušenje, kuvanje, pečenje na roštilju) značajno utiču na funkcionalno ponašanje algi, što se direktno reflektuje na teksturalne karakteristike finalnog proizvoda.

U frankfurterima, WC3 nije inicijalno značajno uticao na tvrdoću, ali je ona porasla tokom skladištenja, dok kod ćevapa je dodatak WC3 odmah smanjio tvrdoću i žvakljivost, što može biti posledica kraće termičke obrade, kao i prisustva veće količine slobodne vode koja nije vezana u proteinsku mrežu. Pored toga, frankfurteri sadrže emulziju sa visokim udelom miofibrilarnih proteina i dodataka kao što su fosfati i nitritna so, koji poboljšavaju sposobnost zadržavanja vode i formiranje čvršće strukture. U ćevapima, koji ne sadrže ove aditive i podvrgnuti su kraćoj obradi (pečenje), mikroalge nisu imale isti efekat učvršćivanja, te je zabeleženo omekšavanje strukture.

5.2.4. Boja čevapa

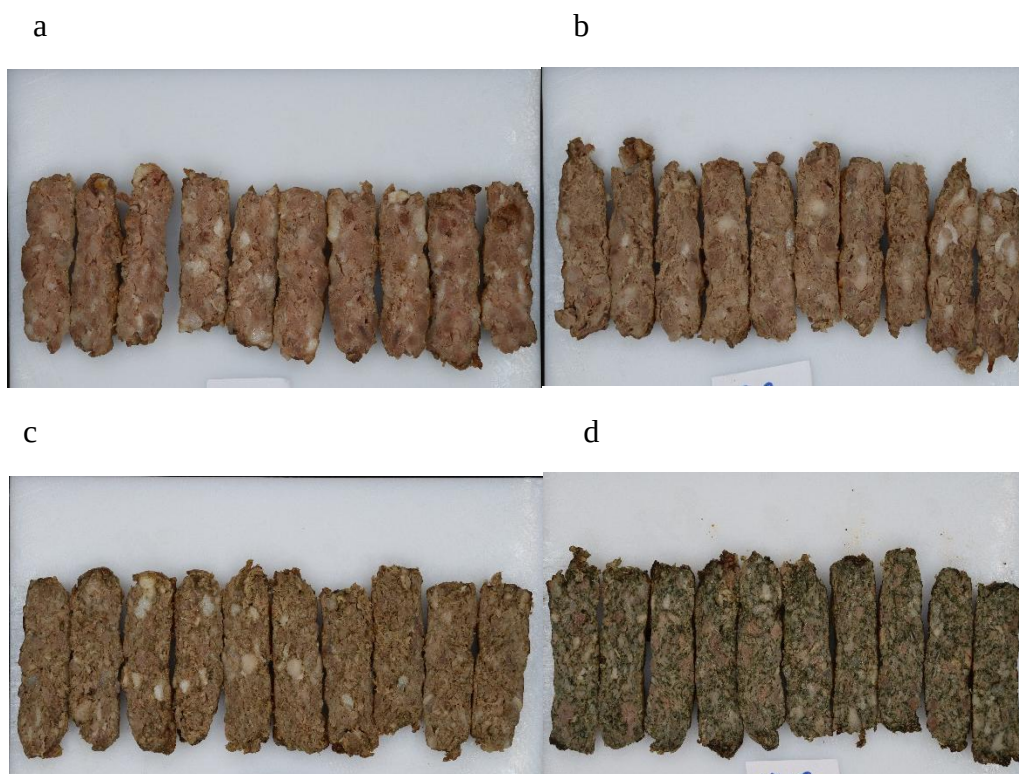
Boja mesa predstavlja jedan od ključnih faktora u formiranju potrošačke percepcije kvaliteta i, iako nije pouzdan pokazatelj ukupnog kvaliteta proizvoda, značajno utiče na donošenje odluka prilikom kupovine (Altmann i sar., 2022). Parametri boje čevapa, mereni na površini i preseku proizvoda, prikazani su u Tabeli 14. Vrednosti svetloće (L^*) na površini bile su statistički značajno niže kod svih uzoraka sa dodatkom algi u poređenju sa kontrolom, pri čemu je najniža vrednost zabeležena kod W3. Takođe, kod uzoraka W1,5 i W3 uočeno je značajno smanjenje udela crvene (a^*) i žute nijanse (b^*), dok je kod uzorka S3 registrovana značajno niža vrednost a^* u odnosu na kontrolu. Ukupna razlika u boji (ΔE) bila je najizraženija kod uzorka W3, dok je najmanja razlika zabeležena kod S3. Slični obrasci primećeni su i na preseku proizvoda (Slika 14). Uzorak W3 pokazao je najniže vrednosti L^* i a^* , dok uzorci sa dodatkom WC nisu pokazali statistički značajne razlike u odnosu na kontrolu. Nasuprot tome, uzorci S1,5 i S3 imali su značajno više vrednosti b^* na preseku. Najveća ukupna razlika u boji (ΔE) zabeležena je takođe kod W3, dok je najmanja razlika primećena kod uzorka WC1,5.

Tabela 16. Parametri boje (L^* , a^* i b^*) i razlike u boji (ΔE) čevapa sa različitim algama po grupi

Grupa								SEM
	C	WC1,5	WC3	SS1,5	SS3	W1,5	W3	
Površina								
L^*	34,67 ^a	29,37 ^b	31,47 ^{ab}	30,77 ^{ab}	28,63 ^b	27,50 ^b	16,93 ^c	2,15
a^*	8,20 ^{ab}	8,20 ^{ab}	8,77 ^a	8,70 ^a	6,87 ^{bc}	6,00 ^c	2,07 ^d	0,68
b^*	21,43 ^a	20,13 ^{ab}	21,83 ^a	22,37 ^a	19,70 ^{ab}	17,63 ^b	12,47 ^c	1,16
ΔE		9,42 ^a	10,11 ^a	9,83 ^a	8,39 ^a	11,28 ^a	21,49 ^b	1,50
Presek								
L^*	41,00 ^a	41,07 ^a	41,30 ^a	37,83 ^{ab}	34,33 ^{bc}	32,50 ^c	24,23 ^d	1,92
a^*	7,97 ^{ab}	8,53 ^a	6,97 ^{abc}	6,77 ^{bc}	5,97 ^c	2,77 ^d	0,67 ^e	0,72
b^*	14,47 ^a	15,13 ^{ab}	15,90 ^{abc}	17,10 ^{bc}	17,90 ^c	15,57 ^{ab}	15,50 ^{ab}	0,87
ΔE		6,01 ^a	7,03 ^{ab}	7,68 ^{ab}	9,39 ^b	12,66 ^c	18,67 ^d	1,27

C - kontrolni uzorak; WC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% belom *C. vulgaris*, WC3 - uzorak obogaćen sa 3% belom *C. vulgaris*; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; W1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% wakame; W3 - uzorak obogaćen sa 3% wakame; SEM – standardna greška. ^{a-d} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istom redu značajno se razlikuju ($P < 0,05$)

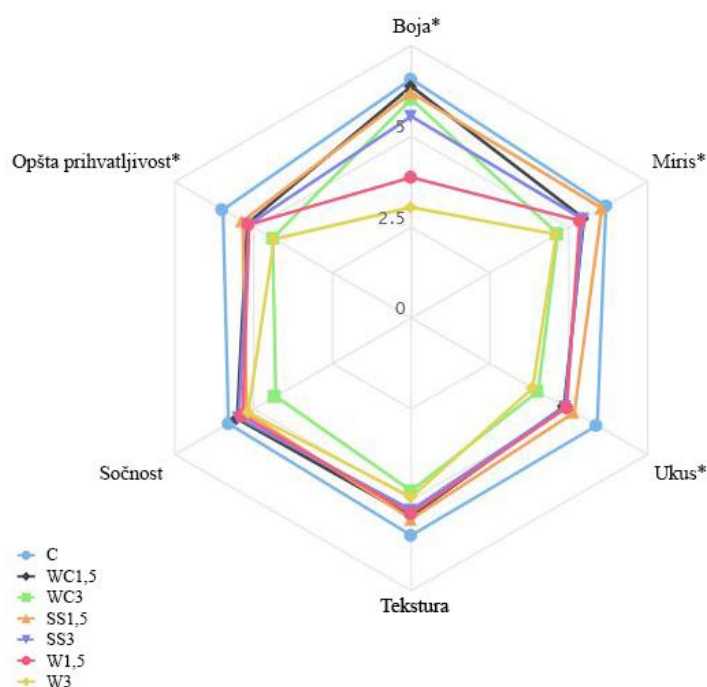
Najveći uticaj na promenu boje ćevapa zabeležen je kod uzoraka sa dodatkom wakame alge, što se može objasniti njenom prirodno tamnijom bojom i visokim sadržajem pigmentnih jedinjenja u poređenju sa ostalim vrstama algi korišćenim u ovom istraživanju. Ovakav rezultat je u skladu sa nalazima prethodnih studija. Naime, u jednom istraživanju dodatak svega 1% ove alge doveo je do izraženog povećanja ukupne razlike u boji reformulisanih viršli, pri čemu su sve tri komponente boje bile značajno smanjene (Vilar i sar., 2020). Slično tome, u mesnoj emulziji od kuvanog svinjskog mesa, dodatak 2,5% iste alge rezultovao je smanjenjem L^* i a^* , uz istovremeno povećanje b^* (Cofrades i sar., 2008). Sličan trend, ali manje izraženog intenziteta, uočen je i kod frankfurtera sa dodatkom 3% WC. Takođe, novije istraživanje pokazalo je da dodatak 2,5% SS u svinjske kobasice dovodi do smanjenja vrednosti L^* , a^* i b^* (Mohammed i sar., 2022), što je u potpunosti u skladu sa rezultatima dobijenim u ovom istraživanju pri dodatku veće koncentracije iste makroalge.



Slika 14. a. Boja preseka kontrolnih uzoraka; b. Boja preseka uzoraka WC3; c. Boja preseka uzoraka SS3; d. Boja preseka uzoraka W3.

5.2.5. Senzorna evaluacija čevapa

Čevapi predstavljaju jedan od najprepoznatljivijih tradicionalnih proizvoda na Balkanu, čija senzorna svojstva imaju centralnu ulogu u očuvanju autentičnosti i potrošačke prihvatljivosti. Inkorporacija algi u ovakav proizvod predstavlja inovativan, ali istovremeno izazovan pristup reformulaciji, jer odstupa od ustaljenih senzornih očekivanja vezanih za ovu vrstu hrane. Zato je i očekivano da su alge statistički značajno uticale na četiri od šest ocenjivanih parametara (Slika 15). Iako među uzorcima nije bilo značajnih razlika u ocenama teksture i sočnosti ($P > 0,05$), treba istaći da je uzorak WC3 dobio najniže prosečne ocene za oba parametra, koje su bile više od jedne jedinice niže u odnosu na kontrolne čevape. Ovakvi rezultati u potpunosti su u skladu sa nalazima instrumentalne TPA analize, u kojoj je isti uzorak pokazao najniže vrednosti tvrdoće, kohezivnosti i žvkljivosti.



Slika 15. Grafički prikaz rezultata senzorne analize čevapa. C - kontrolni uzorak; WC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% belom C. vulgaris; WC3 - uzorak obogaćen sa 3% belom C. vulgaris; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; W1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% wakame; W3 - uzorak obogaćen sa 3% wakame; * - vrednosti se značajno razlikuju ($P < 0,05$). (Siladji, Djordjevic, Borovic, i sar., 2024)

Legenda: 1 – uopšte mi se ne sviđa, 7 – izuzetno mi se sviđa.

Kada je reč o boji, uzorci W1,5 i W3 ocenjeni su kao najmanje vizuelno privlačni, što je potvrđeno i rezultatima analize boje (CVS). Panelisti su subjektivno percipirali tamnozelenu nijansu ovih uzoraka kao neprirodnu i nepoželjnu, što se odrazilo na značajno niže ocene boje u poređenju sa ostalim formulacijama. Konkretno, uzorak W1,5 dobio je ocenu 3,9, dok je uzorak W3 ocenjen ispod vrednosti 3, a obe ocene bile su statistički značajno niže ($P < 0,05$) u odnosu na kontrolne uzorke, koji su dobili prosečnu ocenu 6,2. Sličan negativan trend povezan sa dodatkom wakame zabeležen je i u prethodnim istraživanjima, gde su senzorne ocene boje viršili opadale sa porastom koncentracije ove alge (Choi i sar., 2017). Za razliku od wakame, uzorci sa dodatkom *Chlorella vulgaris* i sea spaghetti algi nisu percipirani kao vizuelno neprihvatljivi, što ukazuje na mogućnost njihove primene bez značajnog narušavanja vizuelne prihvatljivosti proizvoda. U slučaju mirisa i ukusa, uzorci WC3 i W3 ocenjeni su kao najmanje poželjni, zbog izraženih zemljanih i morskih aroma, pri čemu su ocene bile za više od 1,5 poena niže u poređenju sa ćevapima bez dodatka algi. Nasuprot tome, preostale formulacije, naročito one sa manjim udelom algi, dobile su relativno visoke ocene. Ukupna prihvatljivost u velikoj meri je u skladu sa rezultatima pojedinačnih senzornih atributa. Uzorci WC3 i W3 postigli su prosečne ocene oko 4,5, što je statistički značajno niže u odnosu na kontrolne uzorke ($P < 0,05$), koji su ocenjeni sa prosečnom vrednošću od 6,0. Ovakav obrazac saglasan je sa prethodnim istraživanjima u kojima je zabeleženo značajno smanjenje ukupne senzorne prihvatljivosti kobasica sa 5% SS (Mohammed i sar., 2022), kao i viršili sa dodatkom 1% wakame (Vilar i sar., 2020).

Niže ocene koje su zabeležene za uzorke WC3 i W3 (prosečno oko 4,5) ukazuju na smanjenu senzornu prihvatljivost ovih formulacija, što potencijalno ograničava njihovu tržišnu održivost. Dobijeni rezultati sugerišu da bi redukovanje koncentracije algi, kao i primena tehnoloških strategija za maskiranje neželjenih senzornih nota (npr. upotreba začina, aromatskih nosača ili enkapsulacija), mogli doprineti unapređenju senzorne privlačnosti proizvoda i boljem usklađivanju sa preferencijama krajnjih potrošača. Ipak, rezultati prethodnog istraživanja sa frankfurterima obogaćenim sa 3% bele *Chlorella vulgaris* pokazali su da ovakve formulacije mogu biti senzorno prihvatljive (Bošković Cabrol i sar., 2023), što potvrđuje da se ove mikroalge, u zavisnosti od vrste proizvoda i tehnološkog postupka, mogu uspešno primeniti u razvoju drugih funkcionalnih mesnih proizvoda. Ostale formulacije dobile su prosečne ocene iznad 5, što ukazuje na prihvatljiv senzorni profil i potvrđuje da je dodatak određenih vrsta algi moguć bez značajnog narušavanja karakterističnih osobina proizvoda. Ovi nalazi naglašavaju važnost preciznog odabira vrste i koncentracije algi kao ključnih faktora za uspešnu inkorporaciju u mesnu matricu i razvoj funkcionalnih proizvoda sa zadovoljavajućom senzornom vrednošću.

5.3. Rezultati ispitivanja sremske kobasice

5.3.1. Osnovni hemijski parametri

Rezultati prikazani u Tabeli 15 ukazuju na izražen uticaj dodatka algi na osnovne hemijske parametre sremske kobasice tokom, i na kraju procesa zrenja. Od početka su uzorci sa algama pokazivali blago niže vrednosti vlage, a razlika se dodatno povećavala tokom vremena, što potvrđuje da prisustvo algi ubrzava sušenje proizvoda. Ovaj efekat bio je najizraženiji kod grupe SS3, koja je do 24. dana zrenja dostigla statistički značajno ($P < 0,05$) najniži nivo vlage (28,61%) u odnosu na kontrolu (30,22%). Uzimajući u obzir da Pravilnik o kvalitetu usitnjenog mesa, poluproizvoda od mesa i proizvoda od mesa („Službeni glasnik RS“, br. 50/2019 i 34/2023) propisuje maksimalni dozvoljeni sadržaj vlage od 35% za fermentisane suve kobasice, jasno je da su sve formulacije ovu granicu dostigle između 12. i 18. dana zrenja. Brži gubitak vode u prisustvu algi može se objasniti njihovim visokim sadržajem dijetetskih vlakana, posebno polisaharida kao što su alginati i karagenani, koji poseduju izraženu sposobnost vezivanja vode. Ova svojstva doprinose modifikaciji strukture mesnog matriksa, olakšavajući difuziju vode i ubrzavajući proces sušenja (Siladi i sar., 2024a).

Porast sadržaja proteina, masti, pepela i ugljenih hidrata u svim analiziranim uzorcima tokom zrenja može se objasniti smanjenjem sadržaja vode i pripadajućim koncentracionim efektom. Međutim, krajnje vrednosti ovih parametara ukazuju i na razlike koje se ne mogu pripisati isključivo gubitku vode. Na kraju zrenja, najviši sadržaj proteina zabeležen je u grupi HC3 (24,44%), što je bilo značajno više ($P < 0,05$) u poređenju sa kontrolnom grupom (23,70%). S obzirom na poznat sastav *Chlorella vulgaris*, koja sadrži između 50–60% proteina u suvoj materiji, očigledno je da dodatak ove mikroalge direktno doprinosi povećanom sadržaju proteina u gotovom proizvodu (Batista i sar., 2019). Sadržaj proteina rastao je proporcionalno sa količinom dodatih algi, čime je potvrđen njihov kvantitativni uticaj na nutritivni sastav proizvoda. Nasuprot tome, sadržaj masti bio je najviši u kontrolnoj grupi (40,50%), dok su u uzorcima obogaćenim algama zabeležene nešto niže vrednosti, u rasponu od 39,79% (SS3) do 40,33% (SS1,5). Nešto niže vrednosti u obogaćenim grupama se mogu povezati sa potencijalnom redistribucijom lipida u prisustvu vlakana i gel-formirajućih polisaharida iz algi, koji mogu uticati na strukturu i zadržavanje masti unutar matriksa kobasice (Cofrades i sar., 2008).

Sadržaj pepela i ugljenih hidrata pokazali su statistički značajne razlike između kontrolne grupe i formulacija sa dodatkom algi ($P < 0,05$). Najviši sadržaj pepela zabeležen je u uzorku SS3 (4,35%), dok je kontrolna grupa imala najnižu vrednost (3,50%). Ove razlike ukazuju na to da su alge, naročito sea spaghetti, značajan izvor mineralnih materija, čime doprinose povećanju ukupnog mineralnog

sadržaja u proizvodu (Wells i sar., 2017). Udeo ugljenih hidrata, iako kvantitativno najmanji među analiziranim komponentama, bio je takođe veći u uzorcima obogaćenim algama, pri čemu je SS3 imala najvišu vrednost (2,99%), a kontrola najnižu (2,07%). Ova razlika može se pripisati prisustvu kompleksnih polisaharida karakterističnih za alge, kao što su laminarin, fukoidan i alginat, koji doprinose ukupnom sadržaju dijetetskih vlakana i funkcionalnih ugljenih hidrata u gotovom proizvodu (Holdt & Kraan, 2011). Zbirno posmatrano, rezultati za pepeo i ugljene hidrate dodatno potvrđuju da dodatak algi utiče ne samo na dinamiku zrenja već i na nutritivni sastav fermentisanih kobasica, doprinoseći njihovom obogaćivanju mineralima i vlaknima.

Tabela 17. Osnovni hemijski sastav sremske kobasice sa različitim algama po grupi tokom zrenja

Dani zrenja	Grupa	Vlaga	Protein	Mast	Pepeo	Ugljeni hidrati
0	C	52,83 ^{aA}	15,28 ^{aA}	28,33 ^{sA}	2,31 ^{aA}	1,25 ^{aA}
	HC1,5	52,58 ^{bA}	15,50 ^{bA}	28,02 ^{bA}	2,59 ^{bA}	1,30 ^{aA}
	HC3	52,20 ^{cA}	15,90 ^{cA}	27,80 ^{cA}	2,80 ^{cA}	1,28 ^{aA}
	SS1,5	52,45 ^{bA}	15,42 ^{bA}	27,92 ^{bA}	3,02 ^{dA}	1,19 ^{aA}
	SS3	51,45 ^{dA}	15,68 ^{dA}	27,73 ^{cA}	3,28 ^{eA}	1,86 ^{bA}
	SEM	0,034	0,022	0,024	0,019	0,034
6	C	44,69 ^{aB}	18,23 ^{aB}	32,84 ^{aB}	2,73 ^{aB}	1,52 ^{aB}
	HC1,5	44,33 ^{bB}	18,46 ^{bB}	32,56 ^{bB}	2,99 ^{bB}	1,64 ^{bB}
	HC3	43,63 ^{cB}	18,93 ^{cB}	32,35 ^{cB}	3,34 ^{cB}	1,74 ^{cB}
	SS1,5	44,25 ^{bB}	18,39 ^{bB}	32,48 ^{bB}	3,34 ^{cB}	1,53 ^{aB}
	SS3	43,14 ^{dB}	18,66 ^{dB}	32,26 ^{cB}	3,69 ^{dB}	2,25 ^{dB}
	SEM	0,019	0,022	0,021	0,016	0,018
12	C	38,05 ^{aC}	20,66 ^{aC}	36,47 ^{aC}	3,08 ^{aC}	1,81 ^{aC}
	HC1,5	37,55 ^{bC}	20,99 ^{bC}	36,19 ^{bC}	3,29 ^{bC}	1,92 ^{bC}
	HC3	36,73 ^{cC}	21,37 ^{dC}	35,96 ^{cC}	3,72 ^{cC}	2,18 ^{cC}
	SS1,5	37,50 ^{bC}	20,88 ^{bC}	36,18 ^{bC}	3,61 ^{dC}	1,84 ^{abC}
	SS3	36,36 ^{bC}	21,16 ^{cC}	35,82 ^{dC}	4,04 ^{eC}	2,59 ^{dC}
	SEM	0,026	0,031	0,019	0,023	0,022

* Nastavak na sledećoj strani

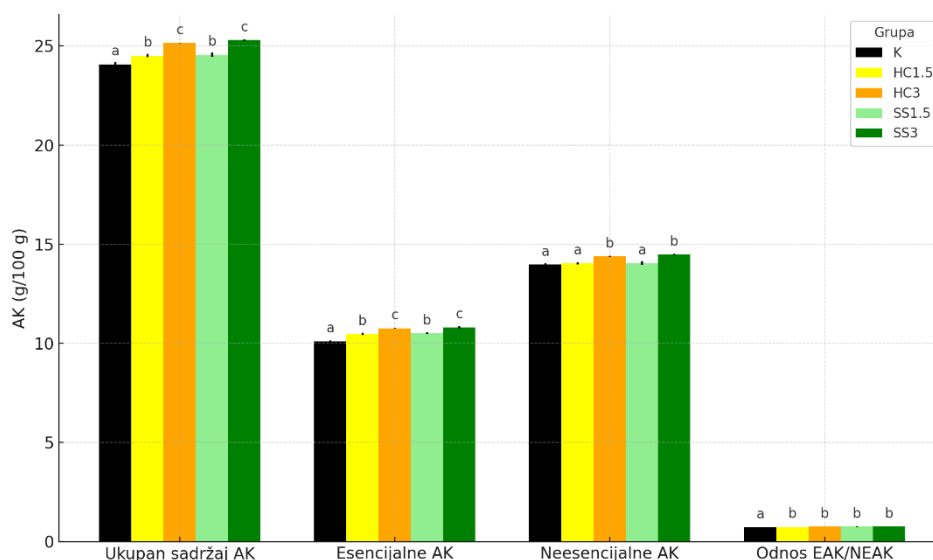
Tabela 18. Osnovni hemijski sastav sremske kobasice sa različitim algama po grupi tokom zrenja

18	C	33,64 ^{aD}	22,34 ^{aD}	38,79 ^{aD}	3,31 ^{aD}	1,89 ^{aC}
	HC1,5	33,11 ^{bD}	22,68 ^{bD}	38,51 ^{bD}	3,54 ^{bD}	2,13 ^{bD}
	HC3	32,13 ^{cD}	23,11 ^{dD}	38,19 ^{cD}	4,01 ^{dD}	2,52 ^{cD}
	SS1,5	33,11 ^{bD}	22,57 ^{bD}	38,50 ^{bD}	3,71 ^{cCD}	2,08 ^{bD}
	SS3	31,99 ^{dD}	22,87 ^{cD}	38,06 ^{dD}	4,26 ^{eD}	2,82 ^{dD}
	SEM	0,021	0,028	0,020	0,024	0,017
24	C	30,22 ^{aE}	23,70 ^{aE}	40,50 ^{aE}	3,50 ^{aE}	2,07 ^{aD}
	HC1,5	29,65 ^{bE}	24,09 ^{cE}	40,24 ^{bE}	3,71 ^{bE}	2,30 ^{bE}
	HC3	28,63 ^{cE}	24,44 ^{eE}	39,88 ^{cE}	4,23 ^{cE}	2,82 ^{cE}
	SS1,5	29,70 ^{bE}	23,92 ^{bE}	40,33 ^{bE}	3,77 ^{bD}	2,26 ^{bE}
	SS3	28,61 ^{cE}	24,25 ^{dE}	39,79 ^{cE}	4,35 ^{dE}	2,99 ^{dE}
	SEM	0,015	0,021	0,023	0,022	0,010

C - kontrolni uzorak; HC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% žutom *C. vulgaris*, HC3 - uzorak obogaćen sa 3% žutom *C. vulgaris*; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; SEM – standardna greška.
^{a-e} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na isti dan tokom zrenja ($P < 0,05$). ^{A-E} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na različite dane zrenja ($P < 0,05$)

5.3.2. Aminokiselinski sastav

Aminokiselinski sastavi uzoraka sremske kobasice nakon procesa zrenja prikazani su u Tabeli 16. Ispitivanje je obuhvatilo i kvantifikaciju ukupnih, esencijalnih (EAK) i neesencijalnih aminokiselina (NEAK), izraženih u g/100 g uzorka, sa ciljem da se proceni nutritivni potencijal formulacija sa dodatkom algi. Rezultati potvrđuju da su grupe sa 3% dodatka algi (HC3 i SS3) imale najviši sadržaj ukupnih aminokiselina – 25,15 i 25,29 g/100 g, respektivno, u poređenju sa kontrolnom grupom (24,07 g/100 g). Povećanje je bilo statistički značajno ($P < 0,05$) i može se direktno povezati sa udelom algi, bogatih proteinima, u recepturi. EAK pratile su isti trend, pri čemu su HC3 i SS3 zabeležile vrednosti od 10,76 i 10,81 g/100 g, dok je kontrola imala 10,10 g/100 g.



Slika 16. Zbir ukupnih, esencijalnih i neesencijalnih aminokiselina, kao i njihov odnos u uzorcima sremske kobasice. C - kontrolni uzorak; HC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% žutom *C. vulgaris*; HC3 - uzorak obogaćen sa 3% žutom *C. vulgaris*; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; ^{a, b, c} – Različita slova označavaju značajnu razliku između grupa ($P < 0,05$).

Povećanje je posebno izraženo kod valina, leucina i izoleucina, aminokiselina ključnih za izgradnju mišićnih proteina (Blomstrand i sar., 2006). Ova pojava može se pripisati visokim koncentracijama upravo tih esencijalnih aminokiselina u sastavu *C. vulgaris* i sea spaghetti, što je potvrđeno u ranijim istraživanjima Spaghetti (Garcia-Encinas i sar., 2025; Ilyas i sar., 2023) (Garcia-Encinas i sar., 2025, Ilyas i sar. 2023). Grupa SS3 pokazala je i najviši odnos Lys/Arg (1,362), što je relevantan pokazatelj iz ugla metaboličkog zdravlja, dok je odnos EAK/NEAK takođe bio najpovoljniji u uzorcima sa algama (do 0,751). Slična studija pokazala je da je ovaj odnos bio povoljniji u chorizo kobasicama obogaćenim algalnim proteinima u odnosu na biljne proteine. Posebno se istakao uzorak sa proteinom iz *C.vulgaris*, pri čemu je odnos EAK/NEAK dostigao vrednost 1, što potvrđuje visok nutritivni kvalitet proteina iz mikroalgi (Thirumdas i sar., 2018). Na nivou pojedinačnih aminokiselina, značajne razlike ($P < 0,05$) uočene su još kod glicina, alanina i metionina. Posebno je interesantno povećanje metionina u grupi SS3 (1,72 g/100 g), što je u skladu sa nalazima o prisustvu sumpornih aminokiselina u sastavu sea spaghetti (Ilyas i sar., 2023). Za razliku od mikroalgi, poput *Chlorella vulgaris* i *Spirulina platensis*, čiji je pozitivan uticaj na aminokiselinski sastav različitih proizvoda od mesa potvrđen u više studija, podaci o efektima makroalgi na ovaj parametar i dalje izostaju u dostupnoj literaturi, što ovu studiju čini jednim od prvih doprinosa u tom pravcu.

Tabela 19. Aminokiselinski sastav sremske kobasice sa različitim algama po grupi

	Aminokiseline	Grupe					SEM
	(g/100g)	C	HC1,5	HC3	SS1,5	SS3	
Esencijalne aminokiseline	Histidin	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	0,001
	Izoleucin	0,98 ^a	1,02 ^b	1,07 ^c	0,98 ^a	1,03 ^b	0,002
	Leucin	1,82 ^a	1,90 ^b	1,98 ^c	1,88 ^b	2,02 ^c	0,006
	Lizin	2,10 ^a	2,22 ^b	2,29 ^c	2,22 ^b	2,30 ^c	0,012
	Metionin	0,65 ^a	0,64 ^a	0,69 ^b	0,66 ^a	1,72 ^c	0,003
	Fenilalanin	1,02	1,00	1,01	1,02	1,04	0,007
	Treonin	1,08	1,10	1,11	1,11	1,12	0,008
	Triptofan	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,000
	Valin	1,11 ^a	1,20 ^{bc}	1,25 ^c	1,14 ^{ab}	1,20 ^{bc}	0,012
Neesencijalne aminokiseline	Alanin	1,46 ^a	1,51 ^{ab}	1,65 ^c	1,51 ^{ab}	1,58 ^{bc}	0,024
	Arginin	1,64	1,65	1,69	1,65	1,69	0,021
	Asparaginska kis.	2,24 ^a	2,22 ^a	2,22 ^a	2,31 ^b	2,35 ^b	0,027
	Cistin	0,32 ^a	0,31 ^{ab}	0,28 ^c	0,28 ^{cd}	0,30 ^{bc}	0,004
	Glutaminska kis.	4,00 ^a	3,99 ^a	4,06 ^{ab}	4,02 ^a	4,13 ^b	0,016
	Glicin	1,41 ^a	1,48 ^b	1,60 ^c	1,41 ^a	1,53 ^d	0,010
	Prolin	0,92	0,92	0,93	0,92	0,93	0,001
	Serin	1,02	0,99	1,00	1,00	1,01	0,002
	Tirozin	0,88	0,87	0,88	0,90	0,89	0,003

C - kontrolni uzorak; HC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% žutom *C. vulgaris*, HC3 - uzorak obogaćen sa 3% žutom *C. vulgaris*; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; SEM – standardna greška.

^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istom redu značajno se razlikuju između grupa.

Uprkos tome što sremska kobasica već ima relativno visok sadržaj proteina, dodavanje algi pokazalo je pozitivan efekat na aminokiselinski profil. Već pri dodatku od 3%, zabeleženo je povećanje ukupnih i esencijalnih aminokiselina, posebno lizina, leucina i izoleucina. Ovo potvrđuje da i male količine algi mogu doprineti nutritivnom unapređenju fermentisanih kobasica.

5.3.3. Masnokiselinski sastav

Rezultati prikazani u Tabeli 17. ukazuju na to da dodatak mikro- i makroalgi u formulaciju sremske kobasice rezultira uočljivim promenama u masnokiselinskom profilu, iako većina razlika u ukupnim grupama masnih kiselina nije bila statistički značajna ($P > 0,05$). Uzorci sa dodatkom algi pokazali su stabilan i blago izmenjen profil u odnosu na kontrolnu grupu, sa manjim odstupanjima u udelu zasićenih (ZMK), mononezasićenih (MNMK) i polinezasićenih masnih kiselina (PNMK). U većini uzoraka sa algama zabeležen je blag porast PNMK/ZMK odnosa, što je rezultat povećanog sadržaja PNMK, posebno omega-3, koje potiču iz samih algi, čime se pozitivno utiče na nutritivni kvalitet lipidne frakcije.

Tabela 20. Masnokiselinski sastav sremske kobasice sa različitim algama po grupi

Masne kiseline	Grupe					SEM
(mg/100g masti)	C	HC1,5	HC3	SS1,5	SS3	
C12:0	239	241	232	241	233	1,93
C14:0	2.005 ^a	1.989 ^{ab}	1.903 ^b	1.953 ^{ab}	1.966 ^{ab}	13,87
C15:0	49	45	42	45	44	1,05
C16:0	25.749 ^a	25.638 ^{ab}	25.564 ^{ab}	25.644 ^{ab}	25.523 ^b	43,97
C16:1	2.080	2.045	2.042	2.083	2.070	9,47
C17:0	310	310	312	308	309	1,97
C18:0	12.520 ^a	12.749 ^b	12.744 ^b	12.619 ^{ab}	12.662 ^{ab}	27,88
C18:1cis-9	41.593	41.406	41.496	41.532	41.617	44,20
C18:1trans-9	218	217	230	215	220	3,03

* Nastavak na sledećoj strani

Tabela 21. Masnokiselinski sastav sremske kobasice sa različitim algama po grupi

C18:2n-6	12.607	12.711	12.738	12.691	12.770	34,53
C18:3n-3 (ALA)	551 ^a	619 ^{bc}	633 ^c	611 ^b	631 ^c	3,29
C20:0	149	150	154	148	148	2,67
C20:1	641	635	632	639	641	3,78
C20:2n-6	428 ^{ab}	430 ^{ab}	442 ^a	424 ^b	425 ^{ab}	3,33
C20:3n-3	282	277	2886	290	278	2,68
C20:3n-6	95 ^a	87 ^{bc}	98 ^a	85 ^c	93 ^{ab}	1,57
C22:1	81	83	79	85	80	1,45
C22:6n-3 (DHA)	22 ^a	73 ^b	169 ^c	74 ^b	145 ^d	1,49
ZMK	41.330	41.486	41.332	41.301	41.105	92,51
MNMK	44.701 ^a	44.271 ^b	44.393 ^a	44.554 ^{ab}	44.657 ^a	63,49
PNMK	13.969	14.243	14.264	14.145	14.238	73,51
n-6	13.131	13.229	13.279	13.200	13.288	32,86
n-3	855 ^a	968 ^b	1089 ^c	974 ^b	1055 ^c	4,42
n-6/n-3	15,36 ^a	13,67 ^b	12,20 ^c	13,55 ^b	12,60 ^c	0,07
PNMK/ZMK	0,338	0,343	0,345	0,342	0,346	0,00
AI	0,579 ^a	0,579 ^a	0,568 ^a	0,574 ^{ab}	0,568 ^b	0,00
TI	0,889 ^a	0,880 ^b	0,863 ^c	0,875 ^b	0,863 ^c	0,00

C - kontrolni uzorak; HC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% žutom *C. vulgaris*, HC3 - uzorak obogaćen sa 3% žutom *C. vulgaris*; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; SEM – standardna greška.

^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istom redu značajno se razlikuju između grupa. Aterogeni indeks (AI) = (C12:0 + 4 × C14:0 + C16:0)/(n-6 PNMK + n-3 PNMK + MNMK); Trombogeni indeks (TI) = (C12:0 + C14:0 + C16:0)/[0.5 × n-6 PNMK + 3 × n-3 PNMK + 0.5 × MNMK + (n-3 PNMK /n-6 PNMK)].

U svim analiziranim uzorcima, dominantne masne kiseline bile su oleinska (C18:1n-9), palmitinska (C16:0), linoleinska (C18:2n-6) i stearinska (C18:0), a njihov odnos se nije značajno promenio nakon inkorporacije algi. Ovakav sastav najzastupljenijih masnih kiselina u skladu je sa prethodnim istraživanjima tradicionalnih srpskih fermentisanih kobasica (Parunović i sar., 2014; Simunovic i sar., 2021). Međutim, značajne razlike ($P < 0,05$) su uočene u sadržaju n-3 masnih kiselina u grupi HC3, u kom je sadržaj n-3 bio viši za oko 27%, dok je u SS3 bio viši za oko 23% u poređenju sa kontrolom. Ova poboljšanja ukazuju na doprinos algi bogatih ALA (alfa-linolenska kiselina) i DHA, koje su poznate po svojim pozitivnim efektima na zdravlje kardiovaskularnog sistema (Shanthala, 2023). Paralelno s tim, zabeležen je i trend smanjenja n-6/n-3 odnosa u uzorcima sa algama, što je još jedan pokazatelj unapređenja masnokiselinskog profila kobasica. Slična zapažanja izneta su i u istraživanju Lopez-Lopez, Bastida, i sar. (2009), u kojem je dodatak različitih vrsta makroalgi ispitivan u mesnim emulzijama. Među testiranim algama, sea spaghetti se izdvojila kao najefikasnija, jer je pri koncentraciji od 5,5% dovela do značajnog povećanja sadržaja n-3 masnih kiselina i smanjenja vrednosti trombogenog indeksa (TI). U našem eksperimentu, najniže vrednosti AI i TI zabeležene su u grupi SS3 (0,32 i 0,84), dok su u kontrolnoj grupi iznosile 0,37 i 0,96, respektivno. Sličan trend uočen je i u grupi HC3. Ovi rezultati ukazuju da dodatak algi, posebno sea spaghetti, može doprineti formiranju masnokiselinskog profila sa nižim aterogenim i trombogenim potencijalom u fermentisanim kobasicama.

5.3.4. Parametri oksidacije lipida

Fermentisane kobasice su tradicionalni proizvodi od mesa sa karakterističnim aromama i teksturom, kao i produženim rokom trajanja, što je rezultat kompleksnih mikrobioloških i biohemijskih procesa tokom zrenja (Leroy i sar., 2006; Toldrá i sar., 2014). Iako su relativno stabilni proizvodi, visok sadržaj masti i prisustvo PNMK čine ih podložnim oksidaciji lipida tokom skladištenja.

Iz tog razloga, praćenje oksidativne stabilnosti sremske kobasice predstavlja važan segment procene kvaliteta. Lipidna oksidacija može dovesti do razvoja nepoželjnih senzornih karakteristika, kao i do degradacije esencijalnih nutrijenata (Liu i sar., 2023). Zbog toga su u ovom istraživanju tokom 90 dana skladištenja na 4 °C u vakuum pakovanju određivani peroksidni broj (PB) i sadržaj malonaldehida (MDA), kao pokazatelji primarne i sekundarne oksidacije lipida. Rezultati su prikazani u Tabeli 18.

Tabela 22. Promene u oksidaciji lipida tokom 90 dana skladištenja sremske kobasice

Dani	Grupe	Parametri	
		PB (mmol/kg)	Sadržaj MDA (mg/kg)
0	C	0,84 ^{aA}	0,05 ^A
	HC1,5	1,10 ^{bcA}	0,05 ^A
	HC3	1,13 ^{cA}	0,06 ^A
	SS1,5	1,08 ^{bA}	0,05 ^A
	SS3	1,12 ^{bcA}	0,06 ^A
	SEM	0,010	0,004
30	C	1,01 ^{aB}	0,08 ^B
	HC1,5	1,09 ^{bcAB}	0,08 ^B
	HC3	1,12 ^{cA}	0,08 ^A
	SS1,5	1,07 ^{bA}	0,09 ^B
	SS3	1,10 ^{bcA}	0,08 ^A
	SEM	0,008	0,004
60	C	1,01 ^B	0,14 ^C
	HC1,5	1,13 ^B	0,13 ^C
	HC3	1,13 ^A	0,13 ^B
	SS1,5	1,12 ^B	0,13 ^C
	SS3	1,12 ^A	0,13 ^B
	SEM	0,017	0,007
90	C	1,26 ^{aC}	0,19 ^D
	HC1,5	1,28 ^{abC}	0,18 ^D
	HC3	1,30 ^{bB}	0,18 ^C
	SS1,5	1,30 ^{bC}	0,19 ^D
	SS3	1,31 ^{bB}	0,18 ^C
	SEM	0,006	0,006

* Nastavak na sledećoj strani

Tabela 23. Masnokiselinski sastav sremske kobasice sa različitim algama po grupi

C - kontrolni uzorak; HC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% žutom *C. vulgaris*, HC3 - uzorak obogaćen sa 3% žutom *C. vulgaris*; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; SEM – standardna greška.

^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na isti dan skladištenja ($P < 0,05$). ^{A-D} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na različite dane skladištenja ($P < 0,05$).

Vrednosti peroksidnog broja, kao pokazatelja primarne oksidacije lipida, pokazale su postepen porast tokom skladištenja kod svih uzoraka. Na početku, kontrolni uzorak imao je značajno nižu vrednost (0,84 mmol/kg) u poređenju sa uzorcima sa dodatkom algi (1,08–1,13 mmol/kg), što se može objasniti nešto višim sadržajem PNMK u ovim formulacijama, koje su hemijski podložnije oksidaciji. Tokom 90 dana skladištenja, najbrži porast PB zabeležen je upravo u kontrolnom uzorku, dok su uzorci sa algama pokazali sporiju dinamiku promene. Na kraju skladištenja, vrednosti PB bile su statistički različite ($P < 0,05$), ali su razlike među grupama bile znatno manje u odnosu na početne.

Sadržaj malonaldehida, kao pokazatelja sekundarne oksidacije, takođe je rastao tokom skladištenja, pri čemu su sve formulacije zadržale vrednosti ispod tehnološki i senzorno prihvatljivih granica, što je potvrdila i senzorna analiza uzoraka. Uzorci sa većim udelom algi (HC3 i SS3) imali su blago niže krajnje vrednosti MDA u poređenju sa kontrolom, što može ukazivati na zaštitno delovanje antioksidativnih komponenti prisutnih u algama.

Važan faktor koji je doprineo ukupnoj oksidativnoj stabilnosti jeste primena vakuum pakovanja, koje smanjuje prisustvo kiseonika i time usporava inicijaciju i širenje oksidativnih reakcija. Kombinacija ovog tehnološkog pristupa i prisustva bioaktivnih jedinjenja iz algi omogućila je očuvanje kvaliteta i nakon 90 dana skladištenja.

5.3.5. Tekstura sremske kobasice

Rezultati prikazani u Tabeli 19 odnose se na parametre teksture sremske kobasice nakon završetka procesa zrenja. Dodatak mikro- i makroalge doveo je do izraženih razlika u određenim teksturalnim parametrima proizvoda.

Najviša vrednost tvrdoće zabeležena je u uzorku HC3 (23,99 N), a zatim u SS3 (22,36 N), dok je kontrolna grupa imala značajno nižu vrednost (16,09 N; $P < 0,05$). Ovi podaci ukazuju da veća koncentracija algi, posebno mikroalge *C. vulgaris*, doprinosi formiranju kompaktnije i otpornije teksture. Ovaj efekat se može objasniti visokim sadržajem dijetetskih vlakana u samim algama, koji tokom procesa sušenja vezuju vodu i doprinose formiranju čvršće strukture unutar mesnog matriksa.

U prethodnim studijama takođe je primećeno da dodatak algi može povećati tvrdoću proizvoda od mesa (Mohammed i sar., 2022; Thirumdas i sar., 2018), naročito kada se koriste čisti polisaharidi iz algi, kao što su laminarin i fukoidan, koje dodatno stabilizuju strukturu (Moroney i sar., 2013).

Kohezivnost je bila najniža u uzorku HC3 (0,49), što je statistički značajno u odnosu na kontrolu (0,55), dok ostali uzorci nisu pokazali značajne razlike. Elastičnost je ostala stabilna kod svih grupa, sa vrednostima u rasponu od 0,59 do 0,61, što sugerise da dodatak algi nije uticao na sposobnost proizvoda da povрати oblik nakon deformacije. Najizraženije razlike uočene su kod parametra žvackljivosti. Uzorci HC3 i SS3 imali su značajno veću žvackljivost (7,22 i 7,03, respektivno) u odnosu na kontrolnu grupu (5,50), što je u skladu sa većom tvrdoćom i ukazuje na formiranje kompaktnijeg matriksa. Ovi rezultati sugerisu da dodatak algi, posebno *C. vulgaris*, može uticati na teksturu proizvoda, međutim deo senzorne analize koja je ocenjivala teksturu kao poseban parametar pokazuje suprotno. Ispitanici nisu primetili značajnu razliku između kontrolnog uzorka i HC uzoraka, dok su SS uzorci dobili značajno niže ocene za teksturu (Slika 18).

Tabela 24. Parametri teksture sremske kobasice sa različitim algama po grupi

Parametri	C	HC1,5	HC3	SS1,5	SS3	SEM
Tvrdoća(N)	16,09 ^a	21,19 ^b	23,99 ^c	15,67 ^a	22,36 ^{bc}	0,67
Kohezivnost	0,55 ^a	0,54 ^a	0,49 ^b	0,52 ^{ab}	0,53 ^{ab}	0,01
Elastičnost (mm)	0,61	0,59	0,59	0,61	0,60	0,01
Žvackljivost (Nxmm)	5,50 ^{ab}	6,71 ^{bc}	7,22 ^c	5,08 ^a	7,03 ^c	0,34

C - kontrolni uzorak; HC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% žutom *C. vulgaris*, HC3 - uzorak obogaćen sa 3% žutom *C. vulgaris*; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; SEM – standardna greška.

^{a-c} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istom redu značajno se razlikuju između grupa.

5.3.6. Boja sremske kobasice

Rezultati prikazani u Tabeli 20 odnose se na promene boje sremske kobasice tokom zrenja, kako na preseku tako i na površini proizvoda. Dobijeni podaci ukazuju da dodatak algi utiče na boju proizvoda tokom zrenja, pri čemu je izražen efekat i same vrste alge, njene koncentracije i dubine sloja u kojem je merenje izvršeno.

Parametar L^* pokazao je opšti trend smanjenja tokom zrenja, naročito na površini proizvoda. Na preseku, iako su vrednosti blago fluktuirale, opadanje je bilo manje izraženo. Na kraju zrenja (24. dan), najsvetliju na preseku bio je uzorak HC3 (48,71), dok je najniža vrednost zabeležena kod SS1,5 (43,00). Na površini, sličan trend bio je još izraženiji – kontrolna grupa pala je sa 47,25 na 25,54, dok su HC3 i SS3 zadržale više vrednosti (26,71 i 29,13). Trend opadanja L^* vrednosti tokom zrenja uočava se i u ranijim studijama fermentisanih proizvoda, kao što je prikazano u radu Simunovic i sar. (2022), gde je tokom sušenja fermentisane kobasice svetloća takođe opadala. Razlike između grupa u finalnom proizvodu su veoma male, što dokazuje da dodate alge ne utiču značajno na svetloću kada su u pitanju fermentisane kobasice.

Parametar a^* , koji označava intenzitet crvene boje, beležio je inicijalni porast tokom prve polovine zrenja, dostigavši maksimum do 12. dana na površini i do 18. dana na preseku. Nakon toga, u svim grupama zapažen je pad crvene nijanse, tako da su krajnje vrednosti 24. dana bile niže od početnih. Ovaj pad može se pripisati oksidaciji mioglobina i transformaciji oksimioglobinskih formi u metmioglobin, što rezultira smeđkastom nijansom i smanjenim crvenilom (Mancini & Hunt, 2005). Razlike u crvenoj nijansi 24. dana na preseku nisu bile statistički značajne između kontrole i HC uzoraka ($P > 0,05$), dok su a^* vrednosti u SS uzorcima srazmerno padale sa dodatom količinom algi. Na površini je razlika bila slična, pri čemu su ponovo SS grupe imale najniži intenzitet crvene boje. Smanjen a^* u ovim grupama dodatno se može objasniti tamnozelenom bojom sea spaghetti alge (López-López i sar., 2009), koja maskira crvenu nijansu mesa. S druge strane, dodatak crvene paprike u prahu, standardnog sastojka u fermentisanim kobasicama, ima snažan efekat na crvenu boju i verovatno ublažava uticaj algi, naročito u HC grupama (Schieber & Weber, 2016).

Parametar b^* pokazao je jasan trend opadanja tokom zrenja kod svih analiziranih grupa, kako na preseku, tako i na površini proizvoda. Na početku zrenja (0. dan), vrednosti b^* bile su najviše, naročito u grupi HC3, a zatim su se postepeno smanjivale, dostižući na kraju sušenja znatno niže vrednosti. Ipak, uzorci sa *Chlorella vulgaris*, zahvaljujući prisustvu prirodnih žutih pigmenata poput luteina, zadržali su više žute nijanse u poređenju sa kontrolom. U grupama sa sea spaghetti, koji ima tamniju, zelenkastu pigmentaciju, ovakav efekat nije primećen. Prethodna istraživanja su pokazala da dodatak algi u proizvode od mesa uglavnom dovodi do smanjenja L^* i a^* vrednosti, dok uticaj na b^* parametar zavisi od vrste alge (Siladji i sar., 2024a). Međutim, ti zaključci izvedeni su iz studija koje nisu obuhvatale fermentisane kobasice, te se nalazi iz ovog rada (gde je utvrđen specifičan obrazac promena boje u sremskoj kobasici) ne poklapaju u potpunosti sa ranije opisanim trendovima.

Tabela 25. Promena parametara boje i razlike u boji tokom zrenja sremske kobasice

Dan	Grupe	Boja površine				Boja preseka			
		L*	a*	b*	ΔE	L*	a*	b*	ΔE
0	C	47,25 ^{abA}	19,67 ^{aA}	21,25 ^{abA}		50,42 ^{aA}	21,50 ^{aA}	27,00 ^{aA}	
	HC1,5	46,50 ^{abA}	19,25 ^{aA}	26,08 ^{bcA}	4,91	51,92 ^{abA}	20,58 ^{aA}	29,33 ^{abA}	2,92
	HC3	51,42 ^{aA}	17,33 ^{abA}	30,08 ^{cA}	10,04	56,83 ^{bA}	20,42 ^{aA}	33,83 ^{bA}	9,44
	SS1,5	46,33 ^{abA}	16,25 ^{bA}	22,75 ^{abA}	3,84	50,50 ^{aA}	17,00 ^{bA}	25,08 ^{acA}	4,89
	SS3	45,50 ^{bA}	11,83 ^{cA}	18,75 ^{aA}	8,41	45,00 ^c	15,75 ^{bA}	20,75 ^{cA}	10,07
	SEM	1,25	0,67	1,46		1,16	0,64	1,14	
6	C	33,92 ^B	25,83 ^{abB}	16,33 ^{abB}		50,00 ^{abA}	30,25 ^{aC}	19,25 ^{abB}	
	HC1,5	34,58 ^B	24,50 ^{abB}	18,00 ^{abB}	2,24	53,50 ^{aA}	27,33 ^{abB}	18,67 ^{abB}	4,59
	HC3	32,67 ^{BC}	22,75 ^{abB}	19,17 ^{abB}	4,37	53,58 ^{aAB}	27,50 ^{abBC}	23,58 ^{bB}	6,26
	SS1,5	35,00 ^B	19,17 ^{bB}	17,58 ^{abB}	6,87	50,85 ^{aA}	24,25 ^{bC}	17,92 ^{abB}	6,17
	SS3	30,58 ^B	15,42 ^{cB}	12,67 ^{bB}	11,54	45,08 ^b	18,50 ^{cABC}	15,08 ^{abB}	13,40
	SEM	1,48	0,80	1,06		1,26	0,84	1,21	
12	C	32,62 ^{abB}	24,71 ^{abB}	12,29 ^{aC}		49,21 ^{aA}	28,25 ^{abC}	15,58 ^{abBC}	
	HC1,5	36,08 ^{abB}	23,25 ^{abB}	15,50 ^{bB}	4,94	53,83 ^{bA}	27,83 ^{abB}	18,04 ^{bcB}	5,25
	HC3	35,42 ^{abB}	21,25 ^{bB}	17,50 ^{bB}	6,85	54,46 ^{bAB}	27,50 ^{aC}	19,33 ^{cC}	6,50
	SS1,5	32,50 ^{abBC}	16,62 ^{cA}	12,21 ^{aC}	8,08	49,12 ^{aA}	24,25 ^{bC}	16,21 ^{abcB}	4,05
	SS3	28,92 ^{bB}	13,46 ^{dAB}	10,83 ^{abB}	11,93	45,79 ^c	20,83 ^{cC}	13,50 ^{abB}	8,43
	SEM	1,07	0,55	0,68		0,73	0,74	0,82	
18	C	32,25 ^B	18,29 ^{aA}	11,42 ^C		48,79 ^{aA}	29,04 ^{aC}	13,04 ^{CD}	
	HC1,5	28,79 ^C	16,21 ^{bcC}	10,33 ^C	4,18	50,71 ^{aA}	26,29 ^{bB}	14,04 ^C	3,50
	HC3	28,54 ^{CD}	16,12 ^{bA}	9,50 ^C	4,70	51,12 ^{aBC}	26,54 ^{bBC}	15,25 ^D	4,07
	SS1,5	30,08 ^{BC}	15,71 ^{bA}	11,83 ^C	3,40	49,17 ^{aA}	23,25 ^{cC}	14,67 ^{BC}	6,03
	SS3	30,67 ^B	12,46 ^{cA}	7,67 ^C	7,11	45,87 ^b	19,62 ^{dBC}	12,62 ^B	9,87
	SEM	0,98	0,50	0,64		0,67	0,55	0,67	

* Nastavak na sledećoj strani

Tabela 26. Promena parametara boje i razlike u boji tokom zrenja sremske kobasice

24	C	25,54 ^C	12,00 ^{aC}	4,33 ^{aD}		44,37 ^{aB}	24,92 ^{aAB}	11,04 ^{aD}	
	HC1,5	26,96 ^C	13,83 ^{bD}	7,21 ^{bD}	3,69	45,08 ^{abB}	26,08 ^{aB}	14,79 ^{bcC}	3,99
	HC3	26,71 ^D	13,71 ^{bC}	7,88 ^{bC}	4,10	48,71 ^{bC}	25,33 ^{aB}	15,33 ^{cD}	6,11
	SS1,5	28,79 ^C	12,21 ^{abC}	7,29 ^{bD}	4,40	43,00 ^{aB}	20,25 ^{bB}	12,83 ^{abC}	5,18
	SS3	29,13 ^B	9,04 ^{cC}	7,38 ^{bC}	5,55	43,54 ^a	17,62 ^{bAB}	12,71 ^{abB}	7,53
	SEM	0,96	0,41	0,46		1,06	0,74	0,83	

C - kontrolni uzorak; HC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% žutom *C. vulgaris*, HC3 - uzorak obogaćen sa 3% žutom *C. vulgaris*; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; SEM – standardna greška.

^{a-d} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na isti dan tokom zrenja ($P < 0,05$). ^{A-D} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na različite dane zrenja ($P < 0,05$)

Ukupna razlika u boji (ΔE), koja meri odstupanje uzoraka sa algama u odnosu na kontrolu, bila je 24. dana veća od 3 u svim ispitivanim formulacijama, kako na preseku tako i na površini. Kao što je ranije navedeno, vrednosti $\Delta E > 3$ se prema literaturi smatraju granicom vizuelne uočljivosti za ljudsko oko (Fernández-López i sar., 2019), što znači da su promene izazvane dodatkom algi ne samo merno, već i senzorno uočljive. Najveće razlike primećene su između kontrolnog, HC3 i SS3 uzorka (Slika 17), što je u skladu i sa dobijenim rezultatima za boju u okviru senzorne analize (Slika 18). Vrednosti ΔE bile su relativno stabilne između 12. i 24. dana, što sugerise da se najveći deo promene boje odigrava u ranoj fazi fermentacije.

**Slika 17.** Boja površine kontrolnog, HC3 i SS3 uzorka sremske kobasice

5.3.7. Mikrobiološke karakteristike sremske kobasice

Mikrobiološka analiza obuhvatila je praćenje promena ukupnog broja bakterija (UBB) i bakterija mlečne kiseline (BMK) tokom 90 dana vakuumiranog skladištenja na 4 °C, a rezultati su prikazani u tabeli 21. Neposredno nakon završene faze zrenja (0. dan čuvanja uzoraka), najviši UBB je bio u grupi HC1,5 (10,11 log CFU/g), a najniži u SS3 (9,03 log CFU/g), uz značajne razlike između grupa ($P < 0,05$). Sa druge strane, količina BMK u HC uzorcima bile su neznatno više (9,02 i 9,12) u odnosu na kontrolu (9,00), dok grupa SS3 je imala statistički značajno niže vrednosti (8,85). Ovakav obrazac se može objasniti prisustvom funkcionalnih polisaharida u sea spaghetti, posebno alginata i fukoidana, koji imaju antimikrobno dejstvo (Beagan i sar., 2024; Catarino i sar., 2025).

Tabela 27. Mikrobiološki parametri tokom 90 dana skladištenja sremske kobasice

Dani skladištenja	Grupe	Parametri	
		UBB (log CFU/g)	BMK (log CFU/g)
0	C	10,00 ^{aA}	9,00 ^{abA}
	HC1,5	10,11 ^{bA}	9,02 ^{abA}
	HC3	10,08 ^{abA}	9,12 ^{aA}
	SS1,5	9,22 ^{cA}	8,95 ^{bcA}
	SS3	9,03 ^{dA}	8,85 ^{cA}
	SEM	0,021	0,025
30	C	10,10 ^{aB}	9,61 ^{aB}
	HC1,5	10,22 ^{bB}	9,23 ^{bA}
	HC3	10,21 ^{bB}	9,81 ^{cB}
	SS1,5	9,87 ^{cB}	9,78 ^{cB}
	SS3	9,48 ^{dB}	9,30 ^{bB}
	SEM	0,019	0,022

* Nastavak na sledećoj strani

Tabela 28. Promena parametara boje i razlike u boji tokom zrenja sremske kobasice

60	C	11,18 ^{abC}	10,98 ^{aC}
	HC1,5	11,28 ^{aC}	11,13 ^{aB}
	HC3	11,00 ^{cC}	10,76 ^{bC}
	SS1,5	11,20 ^{abC}	11,34 ^{cC}
	SS3	11,15 ^{bC}	11,08 ^{aC}
	SEM	0,024	0,031
90	C	11,36 ^{aD}	11,17 ^{aD}
	HC1,5	11,69 ^{bD}	11,39 ^{bC}
	HC3	11,25 ^{cD}	11,00 ^{cD}
	SS1,5	11,48 ^{dD}	11,21 ^{aD}
	SS3	11,52 ^{dD}	11,19 ^{aD}
	SEM	0,017	0,025

C - kontrolni uzorak; HC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% žutom *C. vulgaris*, HC3 - uzorak obogaćen sa 3% žutom *C. vulgaris*; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; SEM – standardna greška.

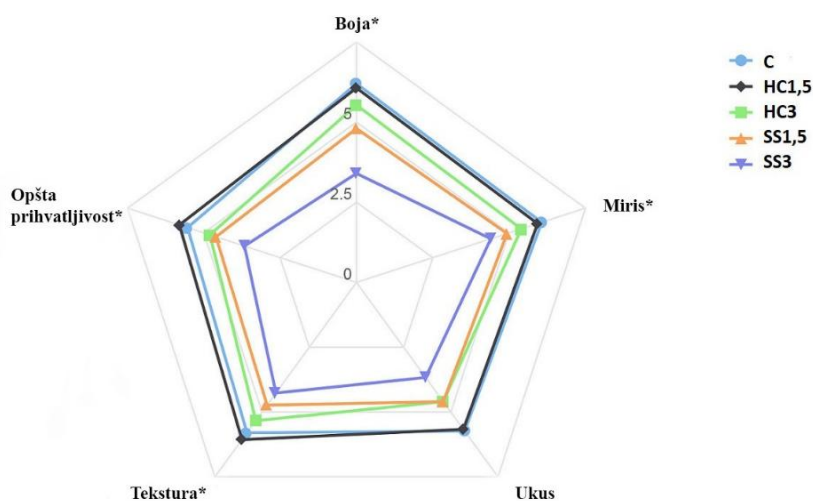
^{a-d} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na isti dan skladištenja ($P < 0,05$). ^{A-D} Srednje vrednosti sa različitim slovima u istoj koloni značajno se razlikuju između grupa na različite dane skladištenja ($P < 0,05$).

Tokom skladištenja, UBB je beležio postepeni porast kod svih formulacija, sa najvišim vrednostima u HC1,5 na kraju skladištenja (11,69 log CFU/g). Iako su razlike među grupama bile statistički značajne ($P < 0,05$), apsolutne vrednosti na kraju skladištenja bile su međusobno bliske, sa najnižom zabeleženom vrednošću u HC3 (11,25 log CFU/g), što ukazuje da su sve formulacije pokazale sličan mikrobiološki profil u uslovima hlađenog skladištenja. BMK su pokazale stabilan porast kod svih formulacija tokom čuvanja, sa najvišom zabeleženom vrednošću u grupi HC1,5 (11,39 log CFU/g) na kraju ispitivanog perioda. Ipak, kao i kod UBB, razlike među grupama bile su relativno male, sa najnižom vrednošću u HC3 (11,00 log CFU/g), što može ukazivati na blagi inhibicioni uticaj veće koncentracije *Chlorella vulgaris* na BMK. Vakuum pakovanje je imalo presudnu ulogu u očuvanju mikrobiološke stabilnosti tokom tokom skladištenja, jer je eliminisalo prisustvo kiseonika i time ograničilo razvoj aerobne mikroflore. Odsustvo mikrobiološkog pogoršanja tokom celog perioda skladištenja ukazuje da dodatak algi nije negativno uticao na fermentativnu aktivnost ni na mikrobiološku bezbednost fermentisanog proizvoda. Dobijeni rezultati su u skladu sa prethodnim

istraživanjima koja su ukazala na stabilan mikrobiološki profil mesnih proizvoda obogaćenih mikro- i makroalgama (Bošković Cabrol i sar., 2023; Cofrades i sar., 2011; Vilar i sar., 2020).

5.3.8. Senzorna evaluacija sremske kobasice

Kod tradicionalnih fermentisanih kobasica, senzorna prihvatljivost često predstavlja najvažniji faktor koji utiče na potrošačko opredeljenje. Iako nutritivne i tehnološke karakteristike igraju značajnu ulogu u formulaciji proizvoda, upravo subjektivna percepcija ukusa, mirisa, teksture i boje najdirektnije određuje prihvatanje nekog novog proizvoda od mesa na tržištu (Font-i-Furnols & Guerrero, 2014). Nakon 24 dana zrenja, senzorna analiza je pokazala značajne razlike ($P < 0,05$) među grupama po parametrima opšte prihvatljivosti, boje, mirisa i teksture, dok razlike u ocenama za ukus nisu bile statistički značajne (Slika 18). Najvišu ocenu za opštu prihvatljivost (6,50) dobile su kobasice obogaćene 3 % *C. vulgaris*, dok su kobasice sa manjom koncentracijom iste alge imale najniži prosečan skor (5,44). Iako se ove vrednosti numerički razlikuju, izostanak statističke značajnosti ukazuje da dodatak algi, u ispitivanim koncentracijama, nije imao negativan uticaj na ukus. Štaviše, rezultati sugerišu da potrošači nisu sa sigurnošću mogli da identifikuju originalnu (kontrolnu) formulu, što dodatno potvrđuje senzornu neutralnost algi kada je u pitanju ukus.



Slika 18. Grafički prikaz rezultata senzorne analize sremske kobasice. C - kontrolni uzorak; HC1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% žutom *C. vulgaris*, WC3 - uzorak obogaćen sa 3% žutom *C. vulgaris*; SS1,5 - uzorak obogaćen sa 1,5% sea spaghetti; SS3 - uzorak obogaćen sa 3% sea spaghetti; * - vrednosti se značajno razlikuju ($P < 0,05$).

Legenda: 1 – uopšte mi se ne sviđa, 7 – izuzetno mi se sviđa.

Suprotno tome, boja i tekstura proizvoda pokazale su izraženije razlike među uzorcima, koje nisu nužno bile u korist kontrolne grupe. Najvišu prosečnu ocenu za boju dobio je uzorak HC3 (7,00), dok je kontrolna grupa zauzela drugo mesto sa ocenom 6,53. Najniže ocene u ovoj kategoriji zabeležene su kod uzorka SS3 (5,50), što se može objasniti prisustvom tamnozelene nijanse karakteristične za sea spaghetti, u skladu sa rezultatima instrumentalne CVS analize boje. Sličan obrazac uočen je i kod teksture, naime uzorci obogaćeni većim koncentracijama algi (HC3 i SS3) dobili su veće ocene u poređenju sa kontrolom. Ovakav raspored ocena u senzornoj evaluaciji teksture korespondira sa rezultatima TPA, budući da su uzorci sa najvećim vrednostima tvrdoće i žvakljivosti (HC3 i SS3) ujedno dobili i najviše ocene za teksturu od strane potrošača. Ova saglasnost između objektivnih i subjektivnih merenja potvrđuje da povećana tvrdoća usled dodatka algi pozitivno utiče na senzornu percepciju teksture fermentisanih kobasica.

Rezultati ukupne prihvatljivosti pokazuju da su sve formulacije ocenjene relativno visoko, imajući u vidu da se ocene kreću na hedonskoj skali do 7. Maksimalnu ocenu dobili su uzorci HC3 i SS1,5, što ukazuje na izuzetno dobru prihvaćenost proizvoda sa dodatkom algi. Kontrolna grupa i uzorak HC1,5 imali su najnižu prosečnu ocenu (5,87), dok je uzorak SS3 ocenjen nešto višom prosečnom ocenom (6,00), koja takođe ukazuje na visoku prihvatljivost. Ovakvi nalazi mogu biti veoma značajni za ovu vrstu proizvoda, jer su dosadašnja ispitivanja bila uglavnom fokusirana na druge grupe proizvoda od mesa, a rezultati su pokazali visok stepen varijabilnosti. Naime, primećeno je da se ukupna prihvatljivost smanjuje kod kuvanih kobasica sa dodatkom 5% sea spaghetti (Mohammed i sar., 2022), kao i kod viršli sa 1% wakame alge (Vilar i sar., 2020). Kako bi se izbegli neželjeni uticaji algi na senzorna svojstva, pojedini autori predlažu ograničenje njihove količine, poput preporuke da se *Spirulina* dodaje u koncentracijama do najviše 2% u formulacijama pašteta (Voloschenko i sar., 2021). Nasuprot tome, rezultati ovog istraživanja pokazuju da u fermentisanim kobasicama poput sremske, dodatak mikro- i makroalgi ne narušava senzornu prihvatljivost, već u nekim slučajevima doprinosi njenom poboljšanju, što potvrđuje specifičan potencijal ovog tipa proizvoda za uspešnu integraciju algi.

6. ZAKLJUČAK

Nakon sprovedenih istraživanja i dobijenih rezultata, u skladu sa postavljenim ciljevima i hipotezama doktorske disertacije, može se zaključiti da su postavljene hipoteze u najvećoj meri potvrđene. Istraživanja su pokazala da dodatak mikro- i makroalgi može doprineti unapređenju kvaliteta i funkcionalno-tehnoloških svojstava proizvoda od mesa, bez narušavanja senzorne prihvatljivosti.

Na osnovu ispitivanja uticaja dodatka dve vrste *Chlorella vulgaris* (žute i bele) u koncentraciji od 3% na kvalitet i funkcionalno-tehnološke osobine frankfurtera, može se zaključiti:

- Dodatak žute i bele *Chlorella vulgaris* doveli su do povećanja sadržaja proteina i povoljnije aminokiselinske kompozicije, sa višim udelom esencijalnih aminokiselina u odnosu na kontrolnu grupu.
- Masnokiselinski profil frankfurtera unapređen je dodatkom obe vrste alge, uz povećan udeo polinezasićenih i smanjen udeo zasićenih masnih kiselina, kao i niže vrednosti aterogenog i trombogenog indeksa.
- Najveća emulziona stabilnost i najmanji gubitak oslobođene tečnosti zabeleženi su kod uzoraka sa žutom *Chlorella vulgaris*, što ukazuje na njen izražen efekat na sposobnost vezivanja vode i masti.
- Parametri teksture nakon proizvodnje pokazali su da tvrdoća nije značajno varirala među uzorcima, dok su kohezivnost i elastičnost bile nešto niže kod uzoraka sa belom *Chlorella vulgaris*. Nakon 60 dana skladištenja, uzorci sa algama pokazali su značajno veću tvrdoću i žvkljivost u poređenju sa kontrolom.
- Promene boje bile su izraženije kod uzoraka sa žutom *Chlorella vulgaris*, sa statistički značajnim povećanjem žute komponente (b^*), dok je bela *Chlorella* imala blaži uticaj na vizuelni izgled. Tokom 60 dana skladištenja boja je ostala relativno stabilna u uzorcima, pri čemu su promene bile uočljivije u kontrolnim uzorcima nego u onima sa dodatkom algi.
- Mikrobiološka analiza pokazala je da dodatak algi nije uticao na mikrobiološku ispravnost proizvoda, dok su pojedini uzorci pokazali potencijalne indikatore blagog antimikrobnog efekta.
- Iako su frankfurteri sa dodatkom mikroalgi dobili niže ocene za ukus, miris i ukupnu prihvatljivost u poređenju sa kontrolnim frankfurterima, ocenjeni kao senzorno prihvatljivi.

Na osnovu ispitivanja fizičko-hemijskih, teksturalnih, kolorimetrijskih i senzornih parametara ćevapa sa dodatkom različitih vrsta algi (bela *Chlorella vulgaris*, *Himanthalia elongata* – sea spaghetti i *Undaria pinnatifida* – wakame), može se zaključiti:

- Dodatak algi u koncentracijama od 1,5% i 3% nije doveo do statistički značajnog povećanja sadržaja proteina u odnosu na kontrolnu grupu, ali su sve formulacije bile u skladu sa važećim standardima za sadržaj proteina u poluproizvodima od mesa.
- Vrednosti pH, a_w i gubitak mase nakon termičke obrade značajno su varirali u zavisnosti od vrste i koncentracije alge; najviši pH i najniži gubitak mase zabeleženi su kod uzoraka sa wakame, dok su a_w vrednosti bile značajno niže kod uzoraka sa 3% sea spaghetti i wakame.
- Analiza teksture pokazala je da su uzorci sa belom *Chlorella vulgaris* i sea spaghetti imali tendenciju smanjenja tvrdoće, žvkljivosti i kohezivnosti, dok su uzorci sa wakame pokazali značajno veću tvrdoću i žvkljivost, što se može povezati sa visokim sadržajem dijetetskih vlakana u ovoj makroalgi.
- Promene boje bile su najočiglednije kod uzoraka sa wakame, sa značajnim smanjenjem svetloće (L^*), crvene (a^*) i žute (b^*) komponente, kao i najvećom ukupnom razlikom u boji (ΔE).
- Senzorna evaluacija je pokazala da su formulacije sa nižim koncentracijama algi bile uglavnom dobro prihvaćene, dok su veće koncentracije, naročito *Chlorella vulgaris* i wakame, bile povezane sa nižim ocenama ukupne prihvatljivosti.

Na osnovu ispitivanja nutritivnih, funkcionalnih, mikrobioloških i senzornih svojstava sremske kobasice sa dodatkom algi (žuta *Chlorella vulgaris* i *Himanthalia elongata* – sea spaghetti), može se zaključiti:

- Dodavanje algi u koncentraciji od 3% dovelo je do statistički značajnog povećanja sadržaja ukupnih i esencijalnih aminokiselina, naročito valina, leucina i izoleucina, u odnosu na kontrolnu grupu.
- Masnokiselinski profil uzoraka sa algama pokazao je blag porast PNMK, posebno omega-3 masnih kiselina, kao i smanjenje aterogenog i trombogenog indeksa, što ukazuje na povoljan nutritivni uticaj algi.
- Dodatak algi nije negativno uticao na parametre oksidacije lipida; vrednosti peroksidnog broja i sadržaja malonaldehida tokom 90 dana skladištenja ostale su u granicama prihvatljivog i nisu pokazale negativne efekte po stabilnost proizvoda.

- Instrumentalna analiza teksture pokazala je značajno povećanje žvakljivosti i tvrdoće kod uzoraka sa dodatkom 3% algi (HC3 i SS3), što ukazuje na formiranje kompaktnijeg proteinskog matriksa.
- Dodatak algi uticao je na promene boje sremske kobasice tokom zrenja, pri čemu su uzorci sa algama zadržali višu svetloću u odnosu na kontrolu. Najniže a^* vrednosti zabeležene su u grupama sa sea spaghetti, dok su uzorci sa *Chlorella vulgaris* zadržali više žute nijanse zahvaljujući prisustvu prirodnih pigmenata. Ukupna razlika u boji (ΔE) bila je iznad granice vizuelne uočljivosti kod svih uzoraka sa algama.
- Mikrobiološka analiza pokazala je stabilan profil kod svih grupa tokom 90 dana skladištenja. Najniže vrednosti ukupnog broja bakterija i bakterija mlečne kiseline zabeležene su u grupi SS3, što ukazuje na potencijalni blagi antimikrobni efekat sea spaghetti alge.
- Senzorna analiza pokazala je da većina uzoraka zadržava dobar nivo prihvatljivosti. Uzorak sa 3% *Chlorella vulgaris* (HC3) dobio je najvišu prosečnu ocenu ukupne prihvatljivosti (6,50), dok je najniža zabeležena kod uzorka sa 1,5% iste alge (5,44), bez statistički značajne razlike u oceni ukusa među grupama.

Rezultati sprovedenih istraživanja pokazali su da se alge mogu uspešno primeniti kao funkcionalni sastojci u različitim vrstama proizvoda od mesa, pri čemu doprinose poboljšanju nutritivnog profila, oksidativne stabilnosti i pojedinih tehnoloških svojstava, uz očuvanu senzornu prihvatljivost. Dodatak algi u koncentracijama do 3% pokazao se tehnološki opravdanim i praktično primenljivim rešenjem u reformulaciji proizvoda od mesa, što otvara mogućnost za razvoj novih, nutritivno unapređenih i održivijih proizvoda u industriji mesa. Posmatrajući sve ispitivane proizvode, *Chlorella vulgaris* se izdvojila kao najpovoljnija alga u pogledu uticaja na kvalitet i stabilnost proizvoda. Kada je reč o samim proizvodima, najveći potencijal za dalja istraživanja sa većim procentima dodatka algi pokazala je sremska kobasica, jer senzorna ispitivanja ukazuju da postoji prostor za povećanje udela algi bez narušavanja prihvatljivosti. U narednim istraživanjima neophodno je definisati gornju granicu koncentracije algi do koje senzorne karakteristike mogu tolerisati veći doprinos u nutritivnom smislu.

7. LITERATURA

- Abdel-Moatamed, B. R., El-Fakhrany, A. M. A., Elneairy, N. A. A., Shaban, M. M., & Roby, M. H. (2024). The Impact of *Chlorella vulgaris* Fortification on the Nutritional Composition and Quality Characteristics of Beef Burgers. *Foods*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/foods13121945>
- Agregan, R., Franco, D., Carballo, J., Tomasevic, I., Barba, F. J., Gomez, B., Muchenje, V., & Lorenzo, J. M. (2018). Shelf life study of healthy pork liver pate with added seaweed extracts from *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcata*. *Food Research International*, 112, 400–411. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.063>
- Aksu, M. İ., & Kaya, M. (2005). Effect of storage temperatures and time on shelf-life of sliced and modified atmosphere packaged Pastırma, a dried meat product, produced from beef. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(8), 1305–1312. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.2118>
- Alirezalu, K., Pateiro, M., Yaghoubi, M., Alirezalu, A., Peighambaroust, S. H., & Lorenzo, J. M. (2020). Phytochemical constituents, advanced extraction technologies and techno-functional properties of selected Mediterranean plants for use in meat products. A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 292–306. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.010>
- Altmann, B. A., Gertheiss, J., Tomasevic, I., Engelkes, C., Glaesener, T., Meyer, J., Schäfer, A., Wiesen, R., & Mörlein, D. (2022). Human perception of color differences using computer vision system measurements of raw pork loin. *Meat Science*, 188, 108766. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108766>
- Amaral, A. B., Silva, M. V. d., & Lannes, S. C. d. S. (2018). Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors – a review. *Food Science and Technology*, 38.
- Asuming-Bediako, N., Jaspal, M. H., Hallett, K., Bayntun, J., Baker, A., & Sheard, P. R. (2014). Effects of replacing pork backfat with emulsified vegetable oil on fatty acid composition and quality of UK-style sausages. *Meat Science*, 96(1), 187–194. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.06.031>
- Atitallah, A. B., Barkallah, M., Hentati, F., Dammak, M., Hlima, H. B., Fendri, I., Attia, H., Michaud, P., & Abdelkafi, S. (2019). Physicochemical, textural, antioxidant and sensory characteristics of microalgae-fortified canned fish burgers prepared from minced flesh of common barbel (*Barbus barbus*). *Food Bioscience*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100417>
- Attia, Y. A., Al-Harhi, M. A., Korish, M. A., & Shiboob, M. M. (2017). Fatty acid and cholesterol profiles, hypocholesterolemic, atherogenic, and thrombogenic indices of broiler meat in the retail market. *Lipids in Health and Disease*, 16(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0423-8>
- Baltic, M. Z., Janjic, J., Popovic, M., Baltic, T., Boskovic, M., Starcevic, M., & Sarcevic, D. (2018). Meat in Traditional Serbian Cuisine. *Meat Technology*, 59(1), 54–62. <https://doi.org/10.18485/meattech.2018.59.1.7>
- Batista, A., Niccolai, A., Bursic, I., Sousa, I., Raymundo, A., Rodolfi, L., Biondi, N., & Tredici, M. (2019). Microalgae as Functional Ingredients in Savory Food Products: Application to Wheat Crackers. *Foods*, 8, 1–22. <https://doi.org/10.3390/foods8120611>
- Batista, A. P., Niccolai, A., Fradinho, P., Fragoso, S., Bursic, I., Rodolfi, L., Biondi, N., Tredici, M. R., Sousa, I., & Raymundo, A. (2017). Microalgae biomass as an alternative ingredient in cookies: Sensory, physical and chemical properties, antioxidant activity and in vitro digestibility. *Algal Research*, 26, 161–171.
- Batista de Oliveira, T. T., Miranda dos Reis, I., Bastos de Souza, M., da Silva Bispo, E., Fonseca Maciel, L., Druzian, J. I., Lordelo Guimarães Tavares, P. P., de Oliveira Cerqueira, A., dos

- Santos Boa Morte, E., Abreu Glória, M. B., Lima Deus, V., & Radomille de Santana, L. R. (2021). Microencapsulation of *Spirulina* sp. LEB-18 and its incorporation in chocolate milk: Properties and functional potential. *LWT*, 148, 111674. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111674>
- Beagan, M. L. C., Bang, L. L., Pettersen, J. S., Grønnemose, R. B., Foertsch, S., Andersen, T. E., & Ding, M. (2024). Fucoidans from *Laminaria hyperborea* demonstrate bactericidal activity against diverse bacteria. *Journal of Applied Phycology*, 36(4), 2199–2208. <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03258-2>
- Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances*, 25(2), 207–210. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>
- Belda, M., Sanchez, D., Bover, E., Prieto, B., Padrón, C., Cejalvo, D., & Lloris, J. M. (2016). Extraction of polyphenols in *Himanthalia elongata* and determination by high performance liquid chromatography with diode array detector prior to its potential use against oxidative stress. *Journal of Chromatography B*, 1033-1034, 334–341. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2016.09.001>
- Beriain, M. J., Gómez, I., Ibáñez, F. C., Sarriés, M. V., & Ordóñez, A. I. (2018). Chapter 1 - Improvement of the Functional and Healthy Properties of Meat Products. In A. M. Holban & A. M. Grumezescu (Eds.), *Food Quality: Balancing Health and Disease* (pp. 1–74). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811442-1.00001-8>
- Bertsch, P., Böcker, L., Mathys, A., & Fischer, P. (2021). Proteins from microalgae for the stabilization of fluid interfaces, emulsions, and foams. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 326–342. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.014>
- Bestic-Bronza, S., & Bronza, B. (2020). Čevapi A Paradigm of Yugoslav Gastronomic Brandification.
- Birch, D., Kåre, S., & and Paul, N. (2019). Who Eats Seaweed? An Australian Perspective. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, 31(4), 329–351. <https://doi.org/10.1080/08974438.2018.1520182>
- Biswas, A. K. (2019). Reformulating Meat Products for Improving Nutrition and Health. In V. Raikos & V. Ranawana (Eds.), *Reformulation as a Strategy for Developing Healthier Food Products: Challenges, Recent Developments and Future Prospects* (pp. 291–309). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23621-2_13
- Blomstrand, E., Eliasson, J., Karlsson, H. K. R., & Köhnke, R. (2006). Branched-Chain Amino Acids Activate Key Enzymes in Protein Synthesis after Physical Exercise, *The Journal of Nutrition*, 136(1), 269S–273S. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jn/136.1.269S>
- Boles, J., Bowman, J., Boss, D., & Surber, L. (2005). Meat color stability affected by barley variety fed in finishing diet to beef steers. *Meat Science*, 70(4), 633–638.
- Bošković Cabrol, M., Glišić, M., Baltić, M., Jovanović, D., Silađi, Č., Simunović, S., Tomašević, I., & Raymundo, A. (2023). White and honey *Chlorella vulgaris*: Sustainable ingredients with the potential to improve nutritional value of pork frankfurters without compromising quality. *Meat Science*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109123>
- Câmara, A. K. F. I., Vidal, V. A. S., Santos, M., Bernardinelli, O. D., Sabadini, E., & Pollonio, M. A. R. (2020). Reducing phosphate in emulsified meat products by adding chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage in powder or gel format: A clean label technological strategy. *Meat Science*, 163, 108085.
- Campo, M., Nute, G., Hughes, S., Enser, M., Wood, J., & Richardson, R. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72(2), 303–311.
- Campo, V. L., Kawano, D. F., Silva, D. B. d., & Carvalho, I. (2009). Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis – A review. *Carbohydrate Polymers*, 77(2), 167–180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.01.020>

- Candogan, K., & Kolsarici, N. (2003). The effects of carrageenan and pectin on some quality characteristics of low-fat beef frankfurters. *Meat Science*, 64(2), 199–206. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00181-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00181-X)
- Caprara, G. (2018). Diet and longevity: The effects of traditional eating habits on human lifespan extension. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 11(3), 261–294.
- Cassani, L., Lourenço-Lopes, C., Barral-Martinez, M., Chamorro, F., Garcia-Perez, P., Simal-Gandara, J., & Prieto, M. A. (2022). Thermochemical Characterization of Eight Seaweed Species and Evaluation of Their Potential Use as an Alternative for Biofuel Production and Source of Bioactive Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4).
- Catarino, M. D., Circuncisão, A. R., Silva, S., Pinto, D. C. G. A., Pereira, O. R., & Cardoso, S. M. (2025). Himanthalia elongata: An overview of its chemical composition and health-related benefits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 143, 107587. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107587>
- Chaijan, M., & Panpipat, W. (2017). Mechanism of oxidation in foods of animal origin. In *Natural antioxidants* (pp. 21–58). Apple Academic Press.
- Chen, P., Min, M., Chen, Y., Wang, L., & Li, Y. (2009). Review of biological and engineering aspects of algae to fuels approach. *International Journal of Agricultural an Biological Engineering*, 2, 1–30. <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2009.04.001-030>
- Choi, Y.-S., Choi, J.-H., Han, D.-J., Kim, H.-Y., Lee, M.-A., Jeong, J.-Y., Chung, H.-J., & Kim, C.-J. (2010). Effects of replacing pork back fat with vegetable oils and rice bran fiber on the quality of reduced-fat frankfurters. *Meat Science*, 84(3), 557–563. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.10.012>
- Choi, Y.-S., Jeong, T.-J., Kim, H.-W., Hwang, K.-E., Sung, J.-M., Seo, D.-H., Kim, Y.-B., & Kim, C.-J. (2017). Combined Effects of Sea Mustard and Transglutaminase on the Quality Characteristics of Reduced-Salt Frankfurters. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3). <https://doi.org/10.1111/jfpp.12945>
- Choi, Y. S., Choi, J. H., Han, D. J., Kim, H. Y., Kim, H. W., Lee, M. A., Chung, H. J., & Kim, C. J. (2012). Effects of *Laminaria japonica* on the physico-chemical and sensory characteristics of reduced-fat pork patties. *Meat Science*, 91(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.11.011>
- Choi, Y. S., Kum, J. S., Jeon, K. H., Park, J. D., Choi, H. W., Hwang, K. E., Jeong, T. J., Kim, Y. B., & Kim, C. J. (2015). Effects of Edible Seaweed on Physicochemical and Sensory Characteristics of Reduced-salt Frankfurters. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 35(6), 748–756. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2015.35.6.748>
- Cofrades, S., Benedi, J., Garcimartin, A., Sanchez-Muniz, F. J., & Jimenez-Colmenero, F. (2017). A comprehensive approach to formulation of seaweed-enriched meat products: From technological development to assessment of healthy properties. *Food Research International*, 99(Pt 3), 1084–1094. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.06.029>
- Cofrades, S., López-Lopez, I., Bravo, L., Ruiz-Capillas, C., Bastida, S., Larrea, M. T., & Jiménez-Colmenero, F. (2010). Nutritional and Antioxidant Properties of Different Brown and Red Spanish Edible Seaweeds. *Food Science and Technology International*, 16(5), 361–370. <https://doi.org/10.1177/1082013210367049>
- Cofrades, S., Lopez-Lopez, I., Ruiz-Capillas, C., Triki, M., & Jimenez-Colmenero, F. (2011). Quality characteristics of low-salt restructured poultry with microbial transglutaminase and seaweed. *Meat Science*, 87(4), 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.11.014>
- Cofrades, S., Lopez-Lopez, I., Solas, M. T., Bravo, L., & Jimenez-Colmenero, F. (2008). Influence of different types and proportions of added edible seaweeds on characteristics of low-salt gel/emulsion meat systems. *Meat Science*, 79(4), 767–776. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.11.010>

- Cox, S., & Abu-Ghannam, N. (2013). Enhancement of the phytochemical and fibre content of beef patties with *Himanthalia elongata* seaweed. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(11), 2239–2249. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12210>
- de Boer, J., Schösler, H., & Boersema, J. J. (2013). Motivational differences in food orientation and the choice of snacks made from lentils, locusts, seaweed or “hybrid” meat. *Food Quality and Preference*, 28(1), 32–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.07.008>
- de Medeiros, V. P. B., Pimentel, T. C., Sant’Ana, A. S., & Magnani, M. (2021). Microalgae in the meat processing chain: feed for animal production or source of techno-functional ingredients. *Current Opinion in Food Science*, 37, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.014>
- de Souza Paglarini, C., de Figueiredo Furtado, G., Honório, A. R., Mokarzel, L., da Silva Vidal, V. A., Ribeiro, A. P. B., Cunha, R. L., & Pollonio, M. A. R. (2019). Functional emulsion gels as pork back fat replacers in Bologna sausage. *Food Structure*, 20, 100105. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foostr.2019.100105>
- Del Campo, J. A., García-González M Fau - Guerrero, M. G., & Guerrero, M. G. (2007). Outdoor cultivation of microalgae for carotenoid production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 74, 1163–1174.
- Delgado-Pando, G., Cofrades, S., Ruiz-Capillas, C., Teresa Solas, M., & Jiménez-Colmenero, F. (2010). Healthier lipid combination oil-in-water emulsions prepared with various protein systems: an approach for development of functional meat products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(7), 791–801. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ejlt.200900234>
- Dimopoulou, M., Kolonas, A., Stagos, D., & Gortzi, O. (2025). A Review of the Sustainability, Chemical Composition, Bioactive Compounds, Antioxidant and Antidiabetic Activity, Neuroprotective Properties, and Health Benefits of Microalgae. *Biomass*, 5(1). <https://doi.org/10.3390/biomass5010011>
- Djekic, I., Lorenzo, J. M., Munekata, P. E. S., Gagaoua, M., & Tomasevic, I. (2021). Review on characteristics of trained sensory panels in food science. *Journal of Texture Studies*, 52(4), 501–509. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jtxs.12616>
- Djekic, I., Stajic, S., Udovicki, B., Siladji, C., Djordjevic, V., Terjung, N., Heinz, V., & Tomasevic, I. (2023). Quality and Oral Processing Characteristics of Traditional Serbian Cevap Influenced by Game Meat. *Foods*, 12(10), 2070.
- Djinovic, J., Popovic, A., & Jira, W. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in different types of smoked meat products from Serbia. *Meat Science*, 80(2), 449–456. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.01.008>
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2019). A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. *Antioxidants*, 8(10), 429.
- Dučić, M., Vranić, D., & Baltić, M. Ž. (2018). Selected physico-chemical properties of Serbian dry fermented sausages in different meat industries. *Meat Technology*, 59(2), 120–126.
- Erickson, M. C. (2002). Lipid oxidation of muscle foods. *Food lipids*, 384–431.
- Estévez, M., & Cava, R. (2006). Effectiveness of rosemary essential oil as an inhibitor of lipid and protein oxidation: Contradictory effects in different types of frankfurters. *Meat Science*, 72(2), 348–355. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.08.005>
- Feiner, G. (2006). *Meat products handbook: Practical science and technology*. Elsevier.
- Fernández-López, J., Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Sayas-Barberá, E., Navarro, C., Haros, C. M., & Pérez-Álvarez, J. A. (2019). Chia (*Salvia hispanica* L.) products as ingredients for reformulating frankfurters: Effects on quality properties and shelf-life. *Meat Science*, 156, 139–145. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.028>

- Font-i-Furnols, M., & Guerrero, L. (2014). Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview. *Meat Science*, 98(3), 361–371. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.025>
- Fradique, M., Batista, A. P., Nunes, M. C., Gouveia, L., Bandarra, N. M., & Raymundo, A. (2010). Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(10), 1656–1664. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.3999>
- Fradique, M., Batista, A. P., Nunes, M. C., Gouveia, L., Bandarra, N. M., & Raymundo, A. (2013). *Isochrysis galbana* and *Diacronema vlkianum* biomass incorporation in pasta products as PUFA's source. *LWT - Food Science and Technology*, 50(1), 312–319. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.006>
- Fu, Y., Chen, T., Chen, S. H. Y., Liu, B., Sun, P., Sun, H., & Chen, F. (2021). The potentials and challenges of using microalgae as an ingredient to produce meat analogues. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 188–200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.050>
- Garcia-Encinas, J. P., Ruiz-Cruz, S., Juarez, J., Ornelas-Paz, J. J., Del Toro-Sanchez, C. L., & Marquez-Rios, E. (2025). Proteins from Microalgae: Nutritional, Functional and Bioactive Properties. *Foods*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/foods14060921>
- Garcia, J. L., de Vicente, M., & Galan, B. (2017). Microalgae, old sustainable food and fashion nutraceuticals. *Microbial Biotechnology*, 10(5), 1017–1024. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12800>
- Geiker, N. R. W., Bertram, H. C., Mejborn, H., Dragsted, L. O., Kristensen, L., Carrascal, J. R., Bügel, S., & Astrup, A. (2021). Meat and human health - Current knowledge and research gaps. *Foods*, 10(7), 1556.
- Gibis, M., Weiss, J., & Fischer, A. (2014). Germany. In *Encyclopedia of Meat Sciences* (pp. 530–537). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00196-3>
- Glisic, M., Baltic, M., Glisic, M., Trbovic, D., Jokanovic, M., Parunovic, N., Dimitrijevic, M., Suvajdzic, B., Boskovic, M., & Vasilev, D. (2018). Inulin-based emulsion-filled gel as a fat replacer in prebiotic- and PUFA-enriched dry fermented sausages. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(3), 787–797. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13996>
- Gouveia, L., Batista, A., Miranda, A., Empis, J., & Raymundo, A. (2007). *Chlorella vulgaris* biomass used as coloring source in traditional butter cookies (<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.03.026>)
- Granato, D., Barba, F. J., Bursac Kovacevic, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93–118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>
- Granato, D., Nunes, D. S., & Barba, F. J. (2017). An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: A proposal. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 13–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.010>
- Guiry, M. D., & Guiry, G. M. (2025). World-wide electronic publication, University of Galway. *AlgaeBase*.
- Gullón, B., Gagaoua, M., Barba, F. J., Gullón, P., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2020). Seaweeds as promising resource of bioactive compounds: Overview of novel extraction strategies and design of tailored meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.039>
- Gullón, P., Astray, G., Gullón, B., Franco, D., Campagnol, P. C. B., & Lorenzo, J. M. (2021). Inclusion of seaweeds as healthy approach to formulate new low-salt meat products. *Current*

- Opinion in Food Science*, 40, 20–25.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.05.005>
- Gupta, S., & Abu-Ghannam, N. (2011). Bioactive potential and possible health effects of edible brown seaweeds. *Trends in Food Science & Technology*, 22(6), 315–326.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.03.011>
- Hack, K.-H., Gerhardt, U., & Staffe, E. (1976). *Verarbeitungsmaterial-Atlas für die Fleisch- und Wurstwarenproduktion* (3. Aufl ed.). Gewürzmüller.
- Hafting, J. T., Critchley, A. T., Cornish, M. L., Hubley, S. A., & Archibald, A. F. (2012). On-land cultivation of functional seaweed products for human usage. *Journal of Applied Phycology*, 24(3), 385–392. <https://doi.org/10.1007/s10811-011-9720-1>
- Han, D.-J., Kim, H.-Y., Lee, M.-A., Kim, S.-Y., & Kim, C.-J. (2010). Effects of Sea Tangle (*Lamina japonica*) Powder on Quality Characteristics of Breakfast Sausages. *Food Science of Animal Resources*, 30(1), 55–61.
- Hariram, V., John, G., Sangeethkumar, E., Gajalakshmi, B., & Velmurugan, R. (2022). *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella vulgaris* – A Prospective Algal Fuel Source. *Nature Environment and Pollution Technology*, 21, 2129–2139. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2022.v21i05.009>
- Herrero, A. M., Jimenez-Colmenero, F., & Ruiz-Capillas, C. (2019). Improving Lipid Content in Muscle-Based Food: New Strategies for Developing Fat Replacers Based on Gelling Processes Using Healthy Edible Oils. In V. Raikos & V. Ranawana (Eds.), *Reformulation as a Strategy for Developing Healthier Food Products: Challenges, Recent Developments and Future Prospects* (pp. 185–198). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-23621-2_8
- Holdt, S. L., & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 543–597. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5>
- Honikel, K. O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49(4), 447–457. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5)
- Horita, C. N., Baptista, R. C., Caturla, M. Y. R., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., & Sant’Ana, A. S. (2018). Combining reformulation, active packaging and non-thermal post-packaging decontamination technologies to increase the microbiological quality and safety of cooked ready-to-eat meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 72, 45–61.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.003>
- Hughes, E., Cofrades, S., & Troy, D. J. (1997). Effects of fat level, oat fibre and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. *Meat Science*, 45(3), 273–281.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(96\)00109-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740(96)00109-X)
- Ilyas, Z., Ali Redha, A., Wu, Y. S., Ozeer, F. Z., & Aluko, R. E. (2023). Nutritional and Health Benefits of the Brown Seaweed *Himanthalia elongata*. *Plant Foods for Human Nutrition*, 78(2), 233–242. <https://doi.org/10.1007/s11130-023-01056-8>
- ISO1442. (1997). 1442. Meat and Meat Products - Determination of Moisture Content (Reference Method).
- ISO1443. (1973). 1443. Meat and Meat Products - Determination of Total Fat Content (Reference Method).
- ISO3960. (2017). 1442. Animal and vegetable fats and oils - Determination of peroxide value — Iodometric (visual) endpoint determination.
- ISO5509. (2000). Animal and Vegetable Fats and Oils. Preparation of Methyl esters of Fatty Acids.
- ISO13903. (2005). Animal feeding stuffs - Determination of amino acids content.
- Jimenez-Colmenero, F., Carballo, J., & Cofrades, S. (2001). Healthier meat and meat products: their role as functional foods. *Meat Science*, 59, 5–13. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(01\)00053-5](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(01)00053-5)

- Khan, M. I., Shin, J. H., & Kim, J. D. (2018). The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial Cell Factories*, 17(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0879-x>
- Khemiri, S., Nunes, M. C., Bessa, R. J. B., Alves, S. P., Smaali, I., & Raymundo, A. (2021). Technological Feasibility of Couscous-Algae-Supplemented Formulae: Process Description, Nutritional Properties and In Vitro Digestibility. *Foods*, 10(12).
- Lafarga, T., Rodríguez-Bermúdez, R., Morillas-España, A., Villaró, S., García-Vaquero, M., Morán, L., Sánchez-Zurano, A., González-López, C. V., & Acién-Fernández, F. G. (2021). Consumer knowledge and attitudes towards microalgae as food: The case of Spain. *Algal Research*, 54, 102174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102174>
- Laskowski, W., Górska-Warsewicz, H., & Kulykovets, O. (2018). Meat, Meat Products and Seafood as Sources of Energy and Nutrients in the Average Polish Diet. *Nutrients*, 10(10), 1412.
- Leroy, F., Verluyten, J., & De Vuyst, L. (2006). Functional meat starter cultures for improved sausage fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 106(3), 270–285. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.06.027>
- Liu, Y., Cao, Y., Yohannes Woldemariam, K., Zhong, S., Yu, Q., & Wang, J. (2023). Antioxidant effect of yeast on lipid oxidation in salami sausage. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1113848.
- Lopez-Lopez, I., Bastida, S., Ruiz-Capillas, C., Bravo, L., Larrea, M. T., Sanchez-Muniz, F., Cofrades, S., & Jimenez-Colmenero, F. (2009). Composition and antioxidant capacity of low-salt meat emulsion model systems containing edible seaweeds. *Meat Science*, 83(3), 492–498. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.06.031>
- Lopez-Lopez, I., Cofrades, S., Ruiz-Capillas, C., & Jimenez-Colmenero, F. (2009). Design and nutritional properties of potential functional frankfurters based on lipid formulation, added seaweed and low salt content. *Meat Science*, 83(2), 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.05.014>
- Lopez-Santamarina, A., Sinisterra-Loaiza, L., Mondragon-Portocarrero, A., Ortiz-Viedma, J., Cardelle-Cobas, A., Abuin, C. M. F., & Cepeda, A. (2023). Potential prebiotic effect of two Atlantic whole brown seaweeds, *Saccharina japonica* and *Undaria pinnatifida*, using in vitro simulation of distal colonic fermentation. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1170392. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1170392>
- Lordan, S., Ross, R. P., & Stanton, C. (2011). Marine Bioactives as Functional Food Ingredients: Potential to Reduce the Incidence of Chronic Diseases. *Marine Drugs*, 9(6), 1056–1100.
- Lorenzo, J. M., Munekata, P. E. S., Pateiro, M., Campagnol, P. C. B., & Domínguez, R. (2016). Healthy Spanish salchichón enriched with encapsulated n-3 long chain fatty acids in konjac glucomannan matrix. *Food Research International*, 89, 289–295. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.012>
- Lorenzo, J. M., Sarriés, M. V., Tateo, A., Polidori, P., Franco, D., & Lanza, M. (2014). Carcass characteristics, meat quality and nutritional value of horsemeat: A review. *Meat Science*, 96(4), 1478–1488.
- Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100–121. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>
- Marti-Quijal, F. J., Zamuz, S., Tomašević, I., Gómez, B., Rocchetti, G., Lucini, L., Remize, F., Barba, F. J., & Lorenzo, J. M. (2019). Influence of different sources of vegetable, whey and microalgae proteins on the physicochemical properties and amino acid profile of fresh pork sausages. *LWT*, 110, 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.097>
- Marti-Quijal, F. J., Zamuz, S., Tomasevic, I., Rocchetti, G., Lucini, L., Marszałek, K., Barba, F. J., & Lorenzo, J. M. (2019). A chemometric approach to evaluate the impact of pulses, *Chlorella* and *Spirulina* on proximate composition, amino acid, and physicochemical properties of

- turkey burgers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(7), 3672–3680. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9595>
- Mendes, M. C., Navalho, S., Ferreira, A., Paulino, C., Figueiredo, D., Silva, D., Gao, F., Gama, F., Bombo, G., & Jacinto, R. (2022). Algae as food in Europe: An overview of species diversity and their application. *Foods*, 11(13), 1871.
- Mohammed, H. O., O'Grady, M. N., O'Sullivan, M. G., Hamill, R. M., Kilcawley, K. N., & Kerry, J. P. (2022). Acceptable Inclusion Levels for Selected Brown and Red Irish Seaweed Species in Pork Sausages. *Foods*, 11(10), Article 1522. <https://doi.org/10.3390/foods11101522>
- Moroney, N. C., O'Grady, M. N., O'Doherty, J. V., & Kerry, J. P. (2013). Effect of a brown seaweed (*Laminaria digitata*) extract containing laminarin and fucoidan on the quality and shelf-life of fresh and cooked minced pork patties. *Meat Science*, 94(3), 304–311. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.02.010>
- Munsu, E., Mohd Zaini, H., Matanjun, P., Ab Wahab, N., Sulaiman, N. S., & Pindi, W. (2021). Physicochemical, Sensory Properties and Lipid Oxidation of Chicken Sausages Supplemented with Three Types of Seaweed. *Applied Sciences*, 11(23), Article 11347. <https://doi.org/10.3390/app112311347>
- Nikmaram, N., Budaraju, S., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Cox, R. B., Mallikarjunan, K., & Roohinejad, S. (2018). Application of plant extracts to improve the shelf-life, nutritional and health-related properties of ready-to-eat meat products. *Meat Science*, 145, 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.031>
- Novakovic, S., Djekic, I., Klaus, A., Vunduk, J., Djordjevic, V., Tomović, V., Šojić, B., Kocić-Tanackov, S., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., & Tomasevic, I. (2019). The Effect of *Cantharellus Cibarius* Addition on Quality Characteristics of Frankfurter during Refrigerated Storage. *Foods*, 8(12), 635.
- Novaković, S., Djekic, I., Pešić, M., Kostić, A., Milinčić, D., Stanisavljević, N., Radojević, A., & Tomasevic, I. (2021). Bee pollen powder as a functional ingredient in frankfurters. *Meat Science*, 182, 108621. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108621>
- Oliveira, B. C. C., Machado, M., Machado, S., Costa, A. S. G., Bessada, S., Alves, R. C., & Oliveira, M. B. P. P. (2023). Algae Incorporation and Nutritional Improvement: The Case of a Whole-Wheat Pasta. *Foods*, 12(16).
- Parniakov, O., Toepfl, S., Barba, F. J., Granato, D., Zamuz, S., Galvez, F., & Lorenzo, J. M. (2018). Impact of the soy protein replacement by legumes and algae based proteins on the quality of chicken rotti. *Journal of Food Science and Technology*, 55(7), 2552–2559. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3175-1>
- Parunović, N., Petrović, M., Matekalo-Sverak, V., Radojković, D., & Radović, Č. (2014). Fatty Acid Profiles, Chemical Content and Sensory Properties of Traditional Fermented Dry Kulen Sausages. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(5), 2061–2068. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12184>
- Pereira, L. (2011). A review of the nutrient composition of selected edible seaweeds. In (pp. 15–47).
- Petkov, G., & Garcia, G. (2007). Which are fatty acids of the green alga *Chlorella*? *Biochemical Systematics and Ecology*, 35(5), 281–285. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bse.2006.10.017>
- Pietrasik, Z., & Duda, Z. (2000). Effect of fat content and soy protein/carrageenan mix on the quality characteristics of comminuted, scalded sausages. *Meat Science*, 56(2), 181–188. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00038-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00038-3)
- Pogorzelska-Nowicka, E., Atanasov, A. G., Horbańczuk, J., & Wierzbicka, A. (2018). Bioactive compounds in functional meat products. *Molecules*, 23(2), 307.
- Pradhan, B., Patra, S., Dash, S. R., Nayak, R., Behera, C., & Jena, M. (2021). Evaluation of the anti-bacterial activity of methanolic extract of *Chlorella vulgaris* Beyerinck [Beijerinck] with

- special reference to antioxidant modulation. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 7(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s43094-020-00172-5>
- Price, J. F., & Schweigert, B. S. (1971). *The science of meat and meat products*. San Francisco: W. H. Freeman and Company.
- Pulz, O., & Gross, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. (0175-7598 (Print)).
- Qazi, M. W., de Sousa, I. G., Nunes, M. C., & Raymundo, A. (2022). Improving the Nutritional, Structural, and Sensory Properties of Gluten-Free Bread with Different Species of Microalgae. *Foods*, 11(3).
- Quesada, J., Sendra, E., Navarro, C., & Sayas-Barberá, E. (2016). Antimicrobial Active Packaging including Chitosan Films with *Thymus vulgaris* L. Essential Oil for Ready-to-Eat Meat. *Foods*, 5(3), 57.
- Radovanović, R., Tubić, M., Savić, S., Čavoški, D., Veličković, D., Bojović, P., & Mojašević, M. (1992). Code of practice – registered geographical indication Sremska sausage. Intellectual Property Office, Republic of Serbia. *Decision No.* 2651/92-2.
- Rajauria, G., Jaiswal, A. K., Abu-Gannam, N., & Gupta, S. (2013). ANTIMICROBIAL, ANTIOXIDANT AND FREE RADICAL-SCAVENGING CAPACITY OF BROWN SEAWEED *HIMANTHALIA ELONGATA* FROM WESTERN COAST OF IRELAND. *Journal of Food Biochemistry*, 37(3), 322–335. [https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2012.00663.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2012.00663.x)
- Rocha, C. P., Pacheco, D., Cotas, J., Marques, J. C., Pereira, L., & Gonçalves, A. M. M. (2021). Seaweeds as valuable sources of essential fatty acids for human nutrition. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), Article 4968. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094968>
- Roohinejad, S., Koubaa, M., Barba, F. J., Saljoughian, S., Amid, M., & Greiner, R. (2017). Application of seaweeds to develop new food products with enhanced shelf-life, quality and health-related beneficial properties. *Food Research International*, 99(Pt 3), 1066–1083. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.016>
- Safi, C., Zebib, B., Merah, O., Pontalier, P.-Y., & Vaca-Garcia, C. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 265–278. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.007>
- Salati, S., D'Imporzano, G., Menin, B., Veronesi, D., Scaglia, B., Abbruscato, P., Mariani, P., & Adani, F. (2017). Mixotrophic cultivation of *Chlorella* for local protein production using agro-food by-products. *Bioresource Technology*, 230, 82–89. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.030>
- Salter, A. (2018). The effects of meat consumption on global health. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 37(1), 47–55.
- Samani, S. A., Jafari, M., Sahafi, S. M., & Roohinejad, S. (2021). Applications of Algae and Algae Extracts in Human Food and Feed. In G. Rajauria & Y. Yuan (Eds.), *Recent Advances in Micro- and Macroalgal Processing* (pp. 467–481). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119542650.ch16>
- Sanchez-Sabate, R., & Sabate, J. (2019). Consumer Attitudes Towards Environmental Concerns of Meat Consumption: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph16071220>
- Santiesteban-López, N. A., Gómez-Salazar, J. A., Santos, E. M., Campagnol, P. C. B., Teixeira, A., Lorenzo, J. M., Sosa-Morales, M. E., & Domínguez, R. (2022). Natural Antimicrobials: A Clean Label Strategy to Improve the Shelf Life and Safety of Reformulated Meat Products. *Foods*, 11(17), 2613.

- Sathasivam, R., Radhakrishnan, R., Hashem, A., & Abd Allah, E. F. (2019). Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26, 709–722.
- Schieber, A., & Weber, F. (2016). Carotenoids. Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages: Industrial Applications for Improving Food Color. In: Woodhead Publishing: Cambridge, UK.
- Shanthala, P. (2023). A Review on Nutraceuticals: Omega-3 Fatty Acids as a Positive Effect on Human Health and Disease. *Research Highlights in Disease and Health Research Vol. 6*, 164–172. <https://doi.org/10.9734/bpi/rhdhr/v6/5652A>
- Shao, L., Chen, S., Wang, H., Zhang, J., Xu, X., & Wang, H. (2021). Advances in understanding the predominance, phenotypes, and mechanisms of bacteria related to meat spoilage. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 822–832. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.007>
- Shikha Ojha, K., Granato, D., Rajuria, G., Barba, F. J., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2018). Application of chemometrics to assess the influence of ultrasound frequency, *Lactobacillus sakei* culture and drying on beef jerky manufacture: Impact on amino acid profile, organic acids, texture and colour. *Food Chemistry*, 239, 544–550. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.124>
- Siladji, C., Djordjevic, V., Borovic, B., Heinz, V., Terjung, N., Katanic, N., & Tomasevic, I. (2024). Influence of Algal Incorporation on Sensory and Physicochemical Attributes of Caseless Sausage-Ćevap (CSC). *Foods*, 13(24), 4037.
- Siladji, C., Djordjevic, V., Milijasevic, J. B., Heinz, V., Terjung, N., Sun, W., & Tomasevic, I. (2024). Micro- and Macroalgae in Meat Products. *Foods*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/foods13060826>
- Simunovic, S., Dordevic, V., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Raseta, M., Jankovic, S., & Tomasevic, I. (2021). Characterisation of changes in physicochemical, textural and microbiological properties of Njeguska sausage during ripening. *Journal of Food Science and Technology*, 58(10), 3993–4001. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04862-z>
- Simunovic, S., Dordevic, V. Z., Raseta, M., Lukic, M., Lorenzo, J. M., Djekic, I., & Tomasevic, I. (2022). Reformulation of Traditional Fermented Tea Sausage Utilizing Novel (Digital) Methods of Analysis. *Foods*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/foods11081090>
- Spiric, A., Trbovic, D., Vranic, D., Djinic, J., Petronijevic, R., & Matekalo-Sverak, V. (2010). Statistical evaluation of fatty acid profile and cholesterol content in fish (common carp) lipids obtained by different sample preparation procedures. *Analytica Chimica Acta*, 672(1-2), 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.04.052>
- Stajić, S., Kalušević, A., & Škrbić, Z. (2021). Technological and sensory properties of Serbian traditional minced meat product ćevapi with improved nutritional properties. *Modern Trends in Livestock Production*, 263–274.
- Stajić, S., Skwarek, P., Đurđević, S., Karwowska, M., Pisinov, B., Tomasevic, I., & Kurćubić, V. (2024). Tomato Pomace Powder as a Functional Ingredient in Minced Meat Products - Influence on Technological and Sensory Properties of Traditional Serbian Minced Meat Product Ćevapi. *Processes*, 12(7), 1330.
- Stevanović, J. L., Okanović, Đ. G., Stevanetić, S. V., Mirilović, M., Karabasil, N., & Pupavac, S. (2016). Traditional products: Base for the sustainable development of Serbian animal origin products. *Food and Feed research*, 43(2), 127–134.
- Taboada, C., Millan, R., & Miguez, I. (2013). Evaluation of marine algae *Undaria pinnatifida* and *Porphyra purpurea* as a food supplement: composition, nutritional value and effect of intake on intestinal, hepatic and renal enzyme activities in rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(8), 1863–1868. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.5981>
- Tarladgis, B. G., Pearson, A. M., & Jun, L. R. D. (1964). Chemistry of the 2-thiobarbituric acid test for determination of oxidative rancidity in foods. II.—formation of the tba-malonaldehyde

- complex without acid-heat treatment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 15(9), 602–607. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.2740150904>
- Thirumdas, R., Brnčić, M., Brnčić, S. R., Barba, F. J., Gálvez, F., Zamuz, S., Lacomba, R., & Lorenzo, J. M. (2018). Evaluating the impact of vegetal and microalgae protein sources on proximate composition, amino acid profile, and physicochemical properties of fermented Spanish “chorizo” sausages. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(11). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13817>
- Tojagic, S. (1996). The household production as the precursor of industrial production of Sremska sausage. *Tehnologija mesa*, 37, 261–265.
- Tojagic, S. (1997). Necessity of Sremska sausage standardization as the national product. *Tehnologija mesa*, 38, 265–267.
- Toldrá, F., Hui, Y. H., Astiasarán, I., Sebranek, J. G., & Talon, R. (2014). *Handbook of Fermented Meat and Poultry: Second Edition*. <https://doi.org/10.1002/9781118522653>
- Tomasevic, I., Djekic, I., Font-i-Furnols, M., Terjung, N., & Lorenzo, J. M. (2021). Recent advances in meat color research. *Current Opinion in Food Science*, 41, 81–87. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.012>
- Tomasevic, I., Simunovic, S., Djordjevic, V., Djekic, I., & Tomovic, V. (2021). Traditional Pork Sausages in Serbia - Manufacturing Process, Chemical Composition and Shelf Life. In P. E. S. Munekeata, M. Pateiro, D. Franco, & M. Lorenzo (Eds.), *Pork Meat Quality and Processed Meat Products* (pp. 1171–1198). CRC Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780429324031>
- Trevisan, A. B., Santos, M. C. d., Leite, J. S. A. F., Barreto, B. G., Passos, R. S. F. T., Franke, C. R., Silva, M. C. A. d., & Cavaleiro, C. P. (2022). Encapsulation of probiotics and their application in beef patties. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 21(3), 281–291.
- Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, 338(8773), 985–992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-M](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M)
- Ursu, A.-V., Marcati, A., Sayd, T., Sante-Lhoutellier, V., Djelveh, G., & Michaud, P. (2014). Extraction, fractionation and functional properties of proteins from the microalgae *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technology*, 157, 134–139. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.071>
- Valencia, I., Ansorena, D., & Astiasarán, I. (2007). Development of dry fermented sausages rich in docosahexaenoic acid with oil from the microalgae *Schizochytrium sp.*: Influence on nutritional properties, sensorial quality and oxidation stability. *Food Chemistry*, 104(3), 1087–1096. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.021>
- Vesković-Moračanin, S., Koran, D., Okanović, Đ., Jokanović, M., Džinić, N., Parunović, N., & Trbović, D. (2011). Colour and texture properties of traditionally fermented "Sremska" sausage.
- Vieira, R. C., Medeiros, J. A., do Nascimento, M. A. A., de Souza Abud, A. K., Raymundo, A., & de Farias Silva, C. E. (2020). Microalgae as sustainable food: incorporation as strategy in the formulation of functional food. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 19–30). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820528-0.00003-x>
- Vilar, E. G., Ouyang, H., O'Sullivan, M. G., Kerry, J. P., Hamill, R. M., O'Grady, M. N., Mohammed, H. O., & Kilcawley, K. N. (2020). Effect of salt reduction and inclusion of 1% edible seaweeds on the chemical, sensory and volatile component profile of reformulated frankfurters. *Meat Science*, 161, 108001. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108001>
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Effect of added citrus fibre and spice essential oils on quality characteristics and shelf-life of mortadella. *Meat Science*, 85(3), 568–576. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.03.007>

- Vlaicu, P. A., Panaite, T. D., & Turcu, R. P. (2021). Enriching laying hens eggs by feeding diets with different fatty acid composition and antioxidants. *Scientific Reports*, 11(1), 20707. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00343-1>
- Voloschenko, L. V., Baidina, I. A., Shevchenko, N. P., & Trubchaninova, N. C. (2021). Functional meat and vegetable pate with *Spirulina*. *Earth and Environmental Science*, 845(1), Article 012123. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012123>
- Vukovic, I. (2012). Osnove tehnologije mesa. In: Veterinarska komora Srbije, Beograd.
- Wang, L., Park, Y.-J., Jeon, Y.-J., & Ryu, B. (2018). Bioactivities of the edible brown seaweed, *Undaria pinnatifida*: A review. *Aquaculture*, 495, 873–880. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.079>
- Wang, M., Jianjun, Z., Jéssica, T., A., P. C., A., S. J., A., P. M., Hui, C., Jianbo, X., Jesus, S.-G., & Barba, F. J. (2023). Applications of algae to obtain healthier meat products: A critical review on nutrients, acceptability and quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(26), 8357–8374. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2054939>
- Wang, Y., Tibbetts, S. M., & McGinn, P. J. (2021). Microalgae as Sources of High-Quality Protein for Human Food and Protein Supplements. *Foods*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/foods10123002>
- Warriss, P. (2000). Meat quality. *CABI*, 106–130. <https://doi.org/10.1079/9780851994246.0106>
- Wells, M. L., Potin, P., Craigie, J. S., Raven, J. A., Merchant, S. S., Helliwell, K. E., Smith, A. G., Camire, M. E., & Brawley, S. H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology*, 29(2), 949–982. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0974-5>
- Whiting, R. (1988). Ingredients and processing factors that control muscle protein functionality. *Food technology (Chicago)*, 42(4), 104–210.
- Xiong, Y. (2007). Meat binding: emulsions and batters. *American Meat Science Association: Champaign, IL, USA*, 1–28.
- Zamuz, S., Purriños, L., Galvez, F., Zdolec, N., Muchenje, V., Barba, F. J., & Lorenzo, J. M. (2019). Influence of the addition of different origin sources of protein on meat products sensory acceptance. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(5). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13940>
- Zhang, Y., Holman, B. W. B., Ponnampalam, E. N., Kerr, M. G., Bailes, K. L., Kilgannon, A. K., Collins, D., & Hopkins, D. L. (2019). Understanding beef flavour and overall liking traits using two different methods for determination of thiobarbituric acid reactive substance (TBARS). *Meat Science*, 149, 114–119. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.018>
- Živković, D., Tomović, V., Perunović, M., Stajić, S., Stanišić, N., & Bogićević, N. (2011). Sensory acceptability of 'Sremska' sausage made from meat of pigs of different ages. *Tehnologija mesa*, 52(2), 252–261.
- Zugcic, T., Abdelkebir, R., Barba, F. J., Rezek-Jambrak, A., Galvez, F., Zamuz, S., Granato, D., & Lorenzo, J. M. (2018). Effects of pulses and microalgal proteins on quality traits of beef patties. *Journal of Food Science and Technology*, 55(11), 4544–4553. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3390-9>

BIOGRAFIJA KANDIDATA

Rođen 23. avgusta 1990. godine u Senti. Osnovnu školu i gimnaziju završava u Bečeju i 2009. godine se upisuje se na Tehnološki Fakultet Univerziteta u Novom Sadu na smer biohemijsko inženjerstvo (Modul: Biotehnologija) koji završava 2017. godine sa prosečnom ocenom 8,59 i stiče zvanje diplomirani inženjer tehnologije. Iste godine, upisuje master akademske studije na Tehnološkom Fakultetu Univerziteta u Novom Sadu na smeru biohemijsko inženjerstvo, koji završava 2018. godine sa prosečnom ocenom 10 odbranom master rada pod nazivom „Optimizacija udela recirkularnog toka u medijumu za proizvodnju ksantana čija je osnova otpadna voda vinarije“. Od oktobra 2021. godine zaposlen je na Institutu za higijenu i tehnologiju mesa, a od 2022. radi na Odeljenju za instrumentalnu hemiju. U školskoj 2021/2022. godini upisao je doktorske studije na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu na smeru prehrambena tehnologija. U saradnji sa drugim autorima objavio je ukupno 12 radova u međunarodnim naučnim časopisima i 2 tehnička rešenja iz kategorije M82.

Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora: Čaba Silađi

Broj indeksa: TH210006

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom:

Uticaj dodatka mikro i makroalgi na kvalitet i funkcionalno-tehnološka svojstva poluproizvoda i proizvoda od mesa

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: Čaba Silađi

Broj indeksa: TH210006

Studijski program: Prehrambena tehnologija

Naslov rada: Uticaj dodatka mikro i makroalgi na kvalitet i funkcionalno-tehnološka svojstva poluproizvoda i proizvoda od mesa

Mentor: dr Igor Tomašević, redovni profesor

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao radi pohranjenja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

Uticaj dodatka mikro i makroalgi na kvalitet i funkcionalno-tehnološka svojstva poluproizvoda i proizvoda od mesa koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim prilogima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

Potpis autora

U Beogradu, _____

1. Autorstvo. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. Autorstvo – nekomercijalno. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. Autorstvo – bez prerada. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.