

# Tehnološke mogućnosti bolje iskoristivosti pšeničnih posija

---

**Antolić, Ana**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:776974>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-25**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Sveučilište u Zagrebu**  
**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija**

**Ana Antolić**

6622/PT

**TEHNOLOŠKE MOGUĆNOSTI BOLJE ISKORISTIVOSTI  
PŠENIČNIH POSIJA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Projekt:** Od nusproizvoda u preradi žitarica i uljarica do funkcionalne hrane primjenom inovativnih procesa, Hrvatska zaklada za znanost

**Mentor:** doc.dr.sc. Dubravka Novotni

**Zagreb, 2017.**

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

**Sveučilište u Zagrebu**

**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

**Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija**

**Zavod za Prehrambeno-tehnološko inženjerstvo**

**Laboratorij za Kemiju i tehnologiju žitarica**

**Znanstveno područje: Biotehničke znanosti**

**Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija**

## **TEHNOLOŠKE MOGUĆNOSTI BOLJE ISKORISTIVOSTI POSIJA OD ŽITARICA**

**Ana Antolić, 0058202238**

**Sažetak:** Pšenične posije zbog svojeg bogatog bioaktivnog sastava i blagotvornog učinka na zdravlje postaju sve upotrebljavanija sirovina u prehrambenoj industriji. Najčešće se koriste u proizvodnji kruha pri čemu dolazi do smanjenja kvalitete kruha i organoleptičkih svojstava. Cilj ovog rada bio je istražiti suvremene metode obrade pšeničnih posija pri čemu dolazi do bolje bioiskoristivosti bioaktivnih spojeva i manje štetnog učinka na volumen, okus i teksturu kruha. Iako su istraženi mnogi tretmani posija, kao što su enzimska obrada, fermentacija, toplinska i hidrotoplinska obrada, smanjenje veličine čestica te namakanje posija, iako njihov točan utjecaj još nije potpuno razjašnjen.

**Ključne riječi:** bioaktivni spojevi, fermentacija, pšenične posije, volumen kruha

**Rad sadrži:** 35 stranica, 4 slike, 0 tablica, 85 literaturnih navoda, 0 priloga

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

**Mentor:** doc.dr.sc. Dubravka Novotni

**Pomoć pri izradi:** doc.dr.sc. Dubravka Novotni

**Datum obrane:**

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Bachelor thesis**

**University of Zagreb**

**Faculty of Food Technology and Biotechnology**

**University Undergraduate Food Technology**

**Department of Food Engineering**

**Laboratory for Cereal Chemistry and Technology**

**Scientific area: Biotechnical Sciences**

**Scientific field: Food Technology**

### **TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES FOR BETTER UTILIZATION OF WHEAT BRAN**

**Ana Antolić, 0058202238**

**Abstract:** Wheat bran, due to its rich bioactive composition and beneficial effects on health, is becoming increasingly used raw material in the food industry. They are most commonly used in bread production, however their addition reduces technological quality of bread and organoleptic properties. The aim of this study was to investigate temporary methods of wheat bran treatment, in order to improve bioavailability of bioactive compounds and lessen detrimental effects on bread volume, texture and taste. Although many treatments have been explored, such as enzymatic treatment, fermentation, thermal and hydrothermal treatment, particle size reduction and soaking of bran, their exact impact on bread production has not been clarified yet.

**Keywords:** bioactive compounds, bread volume, fermentation, wheat bran

**Thesis contains:** 35 pages, 4 figures, 0 tables, 85 references, 0 supplements

**Original in:** Croatian

**Thesis is in printed and electronic form deposited in the library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb**

**Mentor:** doc.dr.sc. Dubravka Novotni

**Technical support and assistance:** doc.dr.sc. Dubravka Novotni

**Defence date:**

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. Građa pšeničnih posija.....	2
2.2. Bioaktivni spojevi u pšeničnim posijama .....	2
2.2.1 Arabinoksilani i ferulinska kiselina .....	3
2.2.2 Lignini i lignani.....	3
2.2.3 Fenolne kiseline .....	4
2.2.4 Alkilresorcinoli.....	4
2.2.5 Fitinska kiselina.....	5
2.2.6 Karotenoidi .....	5
2.2.7 Metil donori .....	5
2.2.8 Mineralne tvari.....	7
2.2.9 B-vitamini.....	8
2.3. Procesi obrade zrna prije mljevenja .....	9
2.3.1 Tretmani prije mljevenja .....	9
2.3.2 Klijanje.....	10
2.3.3 Odvajanje posija .....	10
2.4 Frakcioniranje posija.....	11
2.4.1 Ultra-fino mljevenje.....	11
2.4.2 Elektrostatsko odvajanje .....	11
2.5 Proizvodi obogaćeni pšeničnim posijama .....	12
2.5.1 Kruh obogaćen posijama.....	13
2.5.2 Fizikalna svojstva posija.....	15
2.5.2.1 Interakcija s vodom.....	15
2.5.2.2 Učinak fizikalnih smetnji i poremećaja .....	16

2.5.3	Reaktivni sastojci u posijama.....	17
2.5.4	Enzimi povezani s posijama.....	18
2.5.5	Strategije funkcionalizacije.....	19
2.5.5.1	Smanjenje veličine čestica .....	20
2.5.5.2	Toplinska i hidrotoplinska obrada posija .....	22
2.5.5.3	Namakanje posija .....	24
2.5.5.4	Enzimski obrada posija .....	25
2.5.5.5	Fermentacija posija .....	25
2.5.6	Prženi proizvodi s pšeničnim posijama.....	26
3.	Zaključak.....	28
4.	LITERATURA.....	29

## 1. UVOD

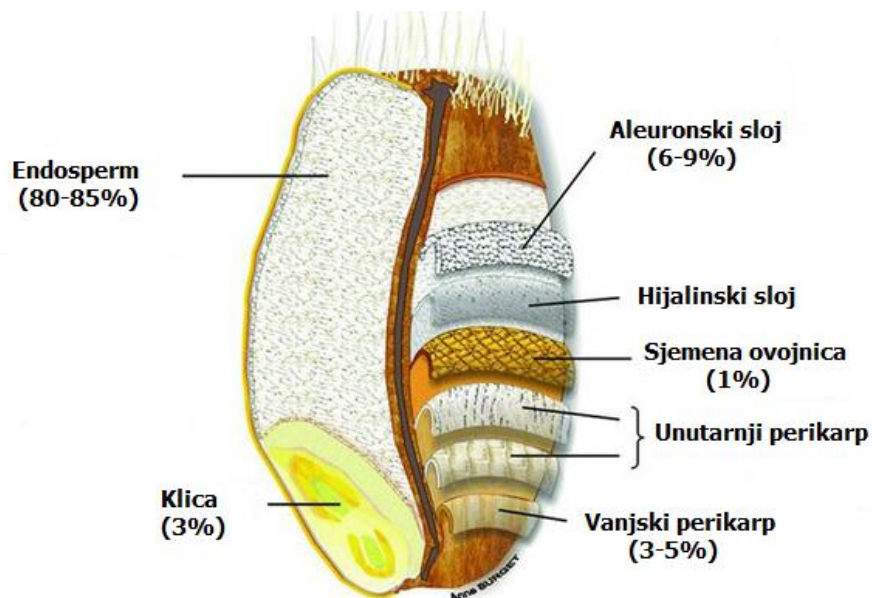
Prehrana suvremenog čovjeka temeljena na industrijski prerađenoj hrani često je siromašna vlaknima, esencijalnim mikronutrijentima i bioaktivnim spojevima, a obiluje energetski bogatim tvarima uslijed čega dolazi do pojave kroničnih bolesti poput dijabetesa tip 2, oboljenja srčano-krvožilnog sustava, pojave pretilosti i raka. I dok je način prehrane izravno povezan sa individualnim zdravljem, održivost u proizvodnji hrane neizravno utječe na zdravlje svih stanovnika Zemlje. Unatoč tome, konvencionalna prerada žitarica rezultira značajnom količinom nusproizvoda. Posije i klica predstavljaju nusproizvod industrije mljevenja žitarica, no upravo posije i klice koje zaostaju nakon proizvodnje mlinskih proizvoda, sadrže značajne količine prehrambenih vlakana, visokovrijednih proteina, esencijalnih masnih kiselina, mineralnih tvari i vitamina te bioaktivnih spojeva poput lignana, polifenola i fitosterola, koji doprinose zdravlju probavnog sustava i održanju zdrave tjelesne mase te pomažu u prevenciji pojave raka debelog crijeva, prostate i dojke te bolesti srčano-krvožilnog sustava. Posije se uobičajeno koriste kao stočna hrana, a svega 10-ak% ukupne količine se koristi za ljudsku prehranu u obliku integralnih brašna ili termički prerađenih pripravaka posija. Jedan od glavnih uzroka njihove ograničene uporabe u ljudskoj prehrani je nedovoljan interes potrošača jer posije narušavaju tehnološku i senzorsku kvalitetu pekarskih i brašeno-konditorskih proizvoda.

Zbog svega navedenog u ovom radu dan je pregled makro- i mikronutrijenata te bioaktivnih sastojaka iz pšeničnih posija, mogućnosti njihovog korištenja u proizvodnji hrane obzirom na kvalitetu krajnjih proizvoda kao i suvremenih procesa njihove obrade u svrhu povećanja iskoristivosti.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Građa pšeničnih posija

Pšenične posije su građene od više slojeva, a čine 13-15% mase zrna. Gledajući izvana prema unutrašnjosti zrna slojevi su: vanjski perikarp, unutarnji perikarp, sjemena ovojnica, hijalinski sloj i aleuronski sloj (Slika 1). Vanjski i unutarnji perikarp su bogati netopljivim vlaknima kao što je celuloza, ksilani i lignini, te fenolnim kiselinama i drugim bioaktivnim komponentama (Sapirstein, 2016). Alkilresorcinoli te steroli su prvenstveno lokalizirani u sjemennoj ovojnici, dok je hijalinski sloj građen od arabinoksilana sa visokim udjelom monomera, a malim udjelom dimera ferulinske kiseline, što upućuje na slabo umreženu strukturu. Aleuronski sloj čini oko 50 % mase posija, bogat je lignanima i proteinima s uravnoteženim udjelom aminokiselina, bioaktivnih komponenata, fitinske kiseline, antioksidanata, vitamina i minerala (Onipe i sur., 2015).



Slika 1. Građa pšeničnog zrna (Surget i Barron, 2005)

### 2.2. Bioaktivni spojevi u pšeničnim posijama

Bioaktivni spojevi su nenutritivni sastojci hrane, a obično su prisutni u malim koncentracijama. Njihovo djelovanje se najčešće povezuje s utjecajem na ljudsko zdravlje, a oni prisutni u pšeničnim posijama imaju mnoga antioksidativna i antiupalna svojstva (Anson i sur., 2012). Po definiciji, antioksidansi su molekule koje štite organizam od oksidativnih oštećenja na način da doniraju elektrone slobodnim radikalima i tako onemogućuju oksidaciju drugih molekula.



### **2.2.1 Arabinoksilani i ferulinska kiselina**

Arabinoksilani su polisaharidi bez škroba, a nalaze se u staničnim membranama stanica koje čine tkivo posija. Građeni su od polimera ksiloze koji čini kostur na koji se vežu arabinozni ostaci, a u svom sastavu također sadrži i važnu bioaktivnu komponentu – ferulinsku kiselinu koja je kovalentno vezana na arabinozne ostatke. Arabinoksilani su najbrojniji bioaktivni sastojci pšeničnih posija i čine oko 30% ukupnog sadržaja. Ferulinska kiselina je najprisutnija fenolna kiselina u pšeničnim posijama, nalazi se u aleuronskom sloju, a njena koncentracija varira ovisno o udjelu u arabinoksilanima. Arabinoksilani su poznati po svojoj prebiotičkoj ulozi u crijevima gdje mogu stimulirati rast poželjnih bakterija *Bifidobacterium* i na taj način pridonositi zdravlju. Bitnu strukturnu ulogu u stabilizaciji arabinoksilanskih polisaharida u posijama imaju diferulati ili dimeri dehidroferulinske kiseline na način da tvore umreženu strukturu i tako su odgovorni za netopljivost vlakana. Antioksidacijski potencijal ferulinske kiseline se sastoji od uklanjanja slobodnih radikala, od kojih su najčešće reaktivne kisikove vrste ROS (Reactive Oxygen Species) koje uzrokuju mnoge upalne efekte i oštećuju stanične proteine, lipide i nukleinske kiseline. Djeluje na način da donira elektrone i protone slobodnim radikalima pri čemu oni gube oksidativno djelovanje i tako se onemogućuje nastanak novih slobodnih radikala (Sapirstein, 2016).

### **2.2.2 Lignini i lignani**

Lignini su složeni polifenolni polimeri najobilnije smješteni u perikarpu i sjemenoj ovojnici pšeničnih posija. U cjelovitom zrnu pšenice čine 2%, dok su u posijama prisutni u udjelu od 7%. Lignini su raspodijeljeni među različitim slojevima posija između 2-9%, ali nisu nađeni u aleuronskom sloju. Ferulinska kiselina skupa s dehidroferulinskom kiselinom čine komponentu lignoceluloze koja je odgovorna za umreženo povezivanje lignina i polisaharida i čvrstu strukturu staničnih stijenki. Lignini skraćuju vrijeme intestinalnog transporta što je važno zbog skraćenog izlaganja karcinogenima adsorbiranim u vlaknima. Zbog svoje polifenolne strukture im se pripisuje i antioksidacijsko djelovanje kao što je zaštita DNA od oksidativnog oštećenja u stanici (Sapirstein, 2016).

Lignani su fitoestrogeni prisutni u širokom spektru biljaka, uključujući cjelovita zrna pšenice. U tu skupinu bioaktivnih spojeva spadaju sekoizolaricirezinol, matairezinol, larcirezinol, pinorezinol i siringarezinol. Svi oni imaju polifenolnu strukturu i antioksidacijsko djelovanje (Fardet i sur., 2008) tako što sprječavaju lipidnu peroksidaciju i potencijalno vežu slobodne metale (Morello i sur., 2005).

### 2.2.3 Fenolne kiseline

Fenolne kiseline se u pšeničnim posijama uglavnom nalaze u aleuronskom sloju, a dijele se u dvije skupine: hidroksibenzojeve kiseline i hidroksicimetne kiseline. U skupinu hidroksibenzojevih kiselina ulaze vanilinska, sinerginska i D-hidroksibenzojeva kiselina, a obično grade složene komponente kao lignine i tanine. Skupinu hidroksicimetnih kiselina, koja se nalazi u većoj koncentraciji u pšeničnim posijama u odnosu na hidroksibenzojeve kiseline, čine *p*-kumarinska i ferulinska kiselina.

Ferulinska kiselina (Slika 2) je najdominantnija fenolna kiselina prisutna u pšenici i čini više od 90% ukupnih fenolnih kiselina u pšeničnim posijama. U najvišoj koncentraciji se nalazi u aleuronskom sloju, u sjemenoj ovojnici nešto manje, dok je najmanje ima u perikarpu. Znanstveno je dokazano da ferulinska kiselina, kao i druge fenolne komponente, ima antioksidativna, antiupalna i antikarcinogena svojstva. Antioksidacijsko djeluje tako da uklanja nastale slobodne radikale i zaustavlja nastajanje novih slobodnih radikala tako što donira elektrone i protone. Međutim, potrebna su *in vivo* istraživanja da bi se dokazala bioiskoristivost ove bioaktivne komponente i njeno pozitivno djelovanje na zdravlje (Sapirstein, 2016).

### 2.2.4 Alkilresorcinoli

Alkilresorcinoli su fenolne komponente poznate kao i fenolni lipidi, zato što su amfipatske građe. Sastoje se od fenolnog prstena sa dvije hidroksilne grupe i hidrofobnog, uglavnom zasićenog alkilnog lanca koji može sadržavati od 15 do 25 ugljikovih atoma (Slika 2). Nalaze se isključivo u posijama i to u sjemenoj ovojnici, u udjelu od 0,3% što je četverostruko više nego u cjelovitom zrnu pšenice. Rafinirano brašno ne sadrži alkilresorcinole, pa se zato oni koriste kao biomarkeri cjelovite pšenice i posija u hrani. Različita istraživanja su dokazala zaštitno djelovanje alkilresorcinola na stanične lipide u borbi protiv oksidativnih oštećenja. Pripisuju im se antioksidacijska svojstva bazirana na doniranju protona i uklanjanju radikala, ali su ona puno slabija u odnosu na neke druge bioaktivne spojeve, kao što je vitamin E. Antioksidacijski potencijal ovisi o duljini alkilnog lanca, koji utječe na njihovo amfifilno ponašanje i ugradnju u stanične membrane, a istraživanja su pokazala da što je kraći lanac to je veći inhibitorski učinak na lipidnu peroksidaciju. Također bi ugradnja alkilresorcinola u membrane mogla imati biološki učinak s obzirom na njihovu visoku koncentraciju u pšeničnom zrnu i posijama, ali ograničena baza podataka o učinkovitim dozama alkilresorcinola zahtijeva daljnja istraživanja o smanjenju rizika nastanka raka i kardiovaskularnih bolesti (Sapirstein, 2016).

### **2.2.5 Fitinska kiselina**

Jedan od najznačajnijih fitokemijskih spojeva u pšeničnim posijama definitivno je fitinska kiselina. Građena je od jednostavnog šećera inozitola na čijih 6 ugljikovih atoma je vezana po jedna fosforna grupa (Slika 2). Uglavnom se nalazi u hrani bogatoj vlaknima, a najbogatiji izvor fitinske kiseline u prirodi su pšenične posije. Čini glavno spremište fosfora u žitaricama i kao najkoncentriranija fitokemikalija nalazi se u udjelu od 4% svih fitokemikalija u pšeničnim posijama. Antioksidacijska aktivnost fitinske kiseline se očituje u sposobnosti vezanja minerala sa pozitivnom nabijenim ionima kao što je željezo, kalcij i magnezij. Vezanje s ionom željeza je bitno jer se na taj način prekida Haber-Weissov ciklus i kao posljedica ne nastaje hidroksilni ion čime se sprječava lipidna peroksidacija. Mnoga istraživanja na životinjama su dokazala da fitinska kiselina ima antitumorsko djelovanje protiv raka grudi, debelog crijeva, prostate, kože i skeletnih mišića (Sapirstein, 2016).

### **2.2.6 Karotenoidi**

Karotenoidi su još jedna skupina bioaktivnih komponenata prisutnih u pšeničnim posijama, a pridonose boji zrna pšenice. Lutein (Slika 2) čini oko 70-80% svih karotenida u posijama, pa se zato smatra najdominatnijim karotenoidom, a slijede ga zeaksantin,  $\beta$ -kriptoksantin i  $\beta$ -karoten. To su liofilne molekule sa sustavom konjugiranih dvostrukih veza koji im omogućuje interakciju s reaktivnim kisikovim vrstama. Njihova antioksidacijska aktivnost se očituje u inhibiciji lipidne peroksidacije i uklanjanju slobodnih radikala, pogotovo reaktivnih kisikovih vrsta (Bast i sur., 1998).

### **2.2.7 Metil donori**

Pšenične posije sadrže značajnu količinu metil donora: betaina, kolina i folata (Slika 2). Oni sudjeluju u pretvorbi potencijalno toksične aminokiseline homocisteina u metionin i na samom kraju u metilni donor S-adenozilmetionin (SAM). Betain, osim što je prisutan u posijama (1%), se može dobiti i oksidacijom kolina u jetri i bubrezima. Kolin se nalazi u nešto manjoj koncentraciji nego betain i također može se sintetizirati u jetri (Zeisel i Blusztajn, 2003).



### 2.2.8 Mineralne tvari

Pšenične posije sadrže znatne količine željeza, magnezija i cinka, dok u puno manjoj koncentraciji sadrže elemente u tragovima kao što su selen i mangan. Najzastupljeniji su u aleuronu, a njihov sadržaj varira ovisno o položaju rasta pšenice zbog različitih svojstava tla (Anson i sur., 2012).

Željezo (Fe) je najzastupljeniji element u tragovima u ljudskom tijelu i skoro svo željezo je vezano za proteine. Koncentracije slobodnog željeza su uglavnom male zbog dva razloga:  $Fe^{3+}$  nije topiv u vodi, a  $Fe^{2+}$  sudjeluje u stvaranju slobodnih radikala kao što je  $\cdot OH$  grupa koja nastaje u Haber-Weissovom ciklusu. Povećanje koncentracije slobodnog željeza može biti rezultat prehrane siromašne proteinima, opterećenje hranom bogatom željezom ili oštećenja stanica. To onda rezultira nastajanjem reaktivnim kisikovih vrsta, lipidnom peroksidacijom i oksidativnim stresom (Fang i sur., 2002).

Mangan (Mn) je esencijalan za mnoge enzimске reakcije, kao što je reakcija mangan superoksid dismutaze (Mn-SOD) koja katalizira dismutaciju  $O_2^{\cdot -}$  u  $O_2$  i  $H_2O_2$ . Posljedično tome, manjak mangana znatno smanjuje aktivnost Mn-SOD i rezultat su peroksidativna oštećenja i disfunkcija mitohondrija (Fang i sur., 2002).

Glavna funkcija cinka (Zn) je strukturna, jer takozvana "cinkov prst" struktura je uključena u DNA domene mnogih proteina, peptida, enzima, hormona, transkripcijskih faktora i faktora rasta. "Cinkov prst" je građen od kratkog slijeda 28-40 aminokiselina sadržavajući karakterističan Cys2His2 (cistein, histidin) motiv stabiliziran jednim ili više cinkovih iona. Cink također igra važnu ulogu u fluidnosti biomembrana zbog vezanja cinka na tiolne grupe. Cink ima i antioksidacijsku aktivnost kao kofaktor za Cu/Zn-superoksid dismutazu u pretvorbi superoksida u kisikov i vodikov peroksid (Shaheen i Abd El-Fattah, 1995).

Selen (Se) je esencijalni mineral u tragovima koji postoji uglavnom kao selenometionin (Se-Met) u žitaricama. Se-Met može biti nespecifično inkorporiran u proteine kao zamjena za metionin. Se-Met također može biti konvertiran u selenocistein (Se-Cys) i u anorganski selen demetilacijom. Se-Cys je važna komponenta selenoproteina, selen-ovisne glutation peroksidaze i tioredoksin reduktaze (Behne i Kyriakopoulos, 2001).

### 2.2.9 B-vitamini

U posijama se najzastupljeniji vitamini B-skupine. Folati (Slika 2) se klasificiraju kao B-vitamini, točnije vitamini B9. U pšenici su više prisutni u reduciranoj formi kao tetrahidrofolati nego kao folna kiselina. Tetrahidrofolati imaju različit broj glutaminskih ostataka (1-7) i mogu biti metilirani ili formilirani na N5 ili N10. Uz sve moguće, 5-metiltetrahidrofolat je biološki najaktivnija forma. Neki oblici folata imaju sposobnost uklanjanja slobodnih radikala u *in vitro* uvjetima i prevencije disfunkcije i apoptoze mitohondrija uklanjanjem superoksidnog iona ( $O_2^{\cdot-}$ ). Folati također snižavaju razinu homocisteina i kao elektron i proton donori sudjeluju u sintezi dušikovog oksida (Hayden i Tyagi, 2004).

Osim folata, u pšenici su prisutni i drugi B-vitamini kao što su niacin, pantotenska kiselina i riboflavin (Slika 2). Uglavnom su smješteni u posijama, posebno u aleuronskom sloju i zato žitarice i proizvodi od žitarica bitni u prehrani jer čine čak 30% dnevnog unosa B-vitamina.

Niacin ili vitamin B3 je u vodi topljiv vitamin nađen u obilnoj količini u pšenici. Niacin se koristi kao opći pojam za nikotinsku kiselinu, nikotinamid i derivate nikotinamida. Nikotinamid gradi koenzime nikotinamid adenin dinukleotid (NADH) i nikotinamid adenin dinukleotid fosfat (NADPH).  $NAD^+/NADH$  i  $NADP^+/NADPH$  kao donori ili akceptori elektrona sudjeluju u mnoštvu redoks reakcija u organizmu te su također potrebni za aktivnost polimeraze-1 koja je uključena u sintezu i popravak DNA. Niacin se godinama koristi za liječenje dislipidemije i ateroskleroze, a dokazano je da povećava redoks stanje i posljedično dolazi do smanjenja količine reaktivnih kisikovih vrsta i LDL oksidacije (Ganji i sur., 2009). Pantotenska kiselina je poznata i kao vitamin B5. To je u vodi topljiv vitamin koji nemože biti sintetiziran u tijelu, ali je široko rasprostranjen u hrani, pogotvo u pšeničnom zrnju i posijama. Pantotenska kiselina i njen reducirani derivat pantotenol su prekursori za sintezu dva vrlo važna kofaktora: koenzima A (CoA) i acilnog nosača proteina (ACP). Oba kofaktora sadrže sulfhidrilnu grupu (-SH), koja reagira sa aktiviranim karboksilnim kiselinama i tvori tioestere, kao što je acetilna kiselina u tvorbi acetil-CoA. CoA i ACP također imaju bitnu ulogu u oksidativnom metabolizmu, gdje sudjeluju kao prijenosnici molekula u citratnom ciklusu.

Riboflavin ili vitamin B2 se u pšenici nalazi u relativno maloj količini, dok je većina prisutna u obliku flavin adenin dinukleotida (FAD), a manji dio u obliku flavin mononukleotida (FMN). Tijekom probave, FAD i FMN moraju se hidrolizirati da bi se riboflavin mogao apsorbirati. FAD i FMN sudjeluju kao posredni akceptori vodika u mitohondrijskom transportu elektrona i predaju elektrone na citokromni sustav u respiratornom lancu. Riboflavin nema antioksidacijsku aktivnost,

ali FAD tvori katalitički centar glutation reduktaze, enzima koji provodi prijetvorbu glutation disulfida u glutation (Grosch i Wieser,1999).

Ostali vitamini B skupine prisutni u pšeničnim posijama su biotin, tiamin i piridoksin (Slika 2). Žitarice su bogate tiaminom ili vitaminom B1 i svakodnevnim unosom proizvoda od žitarica se pokriva jedna trećina preporučene dnevne doze tiamina. U pšenici se obično nalazi kao slobodni tiamin smješten u skutelumu – tankom sloju između endosperma i klice. Ovaj vitamin je esencijalan u metabolizmu ugljikohidrata i neuralnoj funkciji (Combs i McClung, 2017). Piridoksin ili vitamin B6 je široko rasprostranjen u hrani, a u najvećoj količini se nalazi u proizvodima od pšeničnih posija. U pšeničnom zrnu ovaj je vitamin uglavnom lociran u aleuronskom aloju i klici. Metabolički aktivan oblik ovog vitamina je piridoksal fosfat koji služi kao koenzim u reakcijama s aminokiselinama (Combs i McClung, 2017).

### **2.3. Procesi obrade zrna prije mljevenja**

#### **2.3.1 Tretmani prije mljevenja**

Pšenica prije mljevenja prolazi kroz različite tretmane sa svrhom kasnijeg lakšeg odvajanja tkiva. Uvjeti provođenja nekih predtretmana mogu također modificirati biokemijska svojstva i biološku aktivnost posija. Najčešći predtretman je temperiranje tijekom kojeg se povećava udio vlage u pšenici. To rezultira povećanom rastezljivošću posija, što olakšava odvajanje posija od endosperma tijekom mljevenja. Voda koja se koristi tijekom temperiranja može sadržavati i određena kemijska sredstva (natrijev klorid) ili enzime (ksilanaze, beta-glukanaze). Takvo tretiranje pšenice može rezultirati promjenom fizikalnih i biokemijskih svojstava posija. Na primjer, u istraživanju Desvignes i suradnika (2006), dodatkom natrijevog klorida u vodu za temperiranje se povećava koncentracija *p*-kumarinske kiseline za ekstrakciju. To se objašnjava modifikacijom polimera u staničnoj stijenci koja omogućava veću dostupnost fenolnih kiselina iz posija.

Osim kondicioniranja mogući su i drugi predtretmani kao što su tretman ozonom, IR zračenje i UV zračenje. Utjecaj UV zračenja na sastav pšeničnih posija istražili se Peyron i suradnici (2001) te dokazali da 48-satno izlaganje UV zračenju rezultira 25%-tnim smanjenjem koncentracije monomera ferulinske kiseline i 44%-tnim smanjenjem koncentracije estera dehidroferulinske kiseline vezane na arabinoksilane. Ovo smanjenje djelomično objašnjava značajno povećanje ferulinske kiseline (30%) i dehidroferulinske kiseline (36%) uključene u termolabilne alkalne veze. Rezultati ovog istraživanja sugeriraju da UV zračenje izaziva stvaranje novih veza između feruliranog arabinoksilana i lignina u perikarpu. Uvođenje ovih veza bi moglo utjecati na bioraspoloživost ferulinske kiseline iz matrice pšenice. Iako ti procesi mogu utjecati na

bioraspoloživost bioaktivnih spojeva iz posija, oni su uglavnom proučavani s ciljem poboljšanja prinosa brašna, a time i ekstrakcije brašna iz posija tijekom mljevenja.

### **2.3.2 Klijanje**

Germinacije ili klijanje je proces u kojem biljka klija iz sjemenke. Tijekom klijanja dolazi do porasta koncentracije važnih sastojaka kao što su vlakna, minerali i fitokemikalije koje su smještene u posijama i klici. Također, sadržaj fenolnih spojeva i antioksidacijska aktivnost je veća u brašnima od proklijale pšenice, proporcionalno duljini klijanja. Koncentracija kafeinske i siringinske kiseline se povećava od 1 do 3,8  $\mu\text{g/g}$  i od 194 do 369  $\mu\text{g/g}$  (Hung i sur., 2011). Druge fenolne kiseline, kao što su ferulinska i vanilinska, također su u porastu s produženjem vremena klijanja (600-900  $\mu\text{g/g}$  za ferulinsku i 6-14  $\mu\text{g/g}$ ),  $\beta$ -karoten od nemjerljivo niskih koncentracije do 3  $\mu\text{g/g}$  i  $\gamma$ -tokoferol od 0,9 do 1,5  $\mu\text{g/g}$ . Ukupna količina folata također poraste tijekom klijanja, dostižući maksimum u povećanju od 3,6 puta (Koehler i sur., 2007). Tijekom klijanja povećana je aktivnost hidrolitičkih enzima kao što su ksilanaze, arabinofuranozidaze, proteaze i  $\beta$ -glukanaze. To rezultira hidrolitičkim promjenama u matrici posija čime se mobiliziraju hranjive tvari i bioaktivni spojevi potrebni za rast biljke.

### **2.3.3 Odvajanje posija**

U procesu odvajanja posija se vanjski slojevi zrna koji čine posije uklanjaju sekvencioniranim trenjem i abrazijom. Taj se proces izvorno koristio u cilju čišćenja kako bi se uklonili najudaljeniji slojevi zrna sa visokom razinom onečišćenja kao što su mikroorganizmi i teški metali, kao i niskom nutritivnom vrijednošću. U zadnje vrijeme je odvajanja posija se provodi u cilju frakcioniranja zrna, i to najčešće ljuštenjem na dva načina: 1. posije se odvajaju trenjem pšeničnih zrna kroz stroj i međusobno, 2. posije se odvajaju abrazijom pšeničnih zrna na abrazivnom kamenu (Beta i sur., 2005). Stupanj uklanjanja posija može se kontrolirati podešavanjem vremena provođenja. Frakcije dobivene abrazijom zrna, u kojima dolazi do uklanjanja 5-10% mase zrna, imaju najveći sadržaj fenolnih tvari i antioksidacijski kapacitet. Stoga, minimiziranjem odvajanja posija se smanjuje gubitak bioaktivnih spojeva. Uz to, proces ljuštenja trenjem je zahvalniji od abrazivnog jer kod njega dolazi do gubitka otprilike 3-4% mase zrna, za razliku od 6-10%-tnog gubitka kod abrazivnog procesa. Brašna dobivena od pšeničnih zrna koja su prošla proces trenja su bogatija ferulinskom kiselinom i imaju veći antioksidacijski kapacitet od onih dobivenih od zrna koja su prošla proces abrazije. To se pripisuje manjem uklanjanju vanjskih slojeva zrna u procesu trenja, nego kod abrazije, pri čemu aleuronski sloj ostaje gotovo netaknut. Aleuronski sloj, koji obavlja endosperm i obično se uklanja zajedno s posijama tijekom mljevenja, ima najveći antioksidacijski



kapacitet od svih dijelova pšeničnog zrna. Sadržaj aleurona raznih frakcija pšenice je snažno povezan sa sadržajem ferulinske kiseline i antioksidacijskim kapacitetom frakcije. Stoga je važno sačuvati aleuronski sadržaj tijekom proizvodnje zdravih proizvoda od žitarica.

## **2.4 Frakcioniranje posija**

Frakcioniranje posija uključuje 2 koraka: fragmentaciju i odvajanje (Anson i sur., 2012). Fragmentacijom se posije razbijaju i/ili disociraju. Ovisno o procesu fragmentacije, stres nametnut posijama je različit (udar, kompresija, drobljenje, odstranjivanje itd.) što rezultira česticama različitih svojstava. U koraku odvajanja, čestice posija se razvrstavaju prema određenim svojstvima, kao što su veličina, oblik, masa, gustoća ili dielektrična svojstva. Postoje razne metode odvajanja, no široko se koriste prosijavanje i klasifikacija zrakom, a i druge inovativnije metode kao što je elektrostatičko odvajanje. Još jedna metoda koju valja spomenuti jest fragmentacija procesom ultra-finog mljevenja, koju su istražili Hemery i sur. (2010).

### **2.4.1 Ultra-fino mljevenje**

Ultra-fino mljevenje ima za cilj smanjenje veličine fragmenata posija. Kada se taj postupak izvodi na temperaturama ispod 0°C (-10°C do -140°C) naziva se kriogeno mljevenje. U tom procesu se za hlađenje koristi tekući dušik. Smatra se da se kriogenim mljevenjem olakšava fragmentacija čestica i da je moguće izbjeći degradaciju termolabilnih spojeva. Smanjenje veličine čestica može olakšati interakcije spoj-otapalo te ekstrakciju i bioraspoloživost bioaktivnih spojeva prisutnih u posijama. Hemery i sur (2010) su dokazali da smanjenjem veličine čestica pšeničnih posija u probavnom sustavu dolazi do povećanja bioraspoloživosti ferulinske i sinapinske kiseline, kao i ukupnog antioksidacijskog kapaciteta bioraspoloživih frakcija iz kruha obogaćenog posijama. U tom istraživanju je pronađena veza između količine finih sitnih čestica (promjera 10-20 µm) i količine bioraspoložive ferulinske i sinapinske kiseline. Primjećeno je da ultra-finim mljevenjem posija pucaju stanične stijenke i to rezultira oslobađanjem unutarstaničnog sadržaja, što objašnjava veću bioraspoloživost određenih spojeva tijekom probave.

### **2.4.2 Elektrostatsko odvajanje**

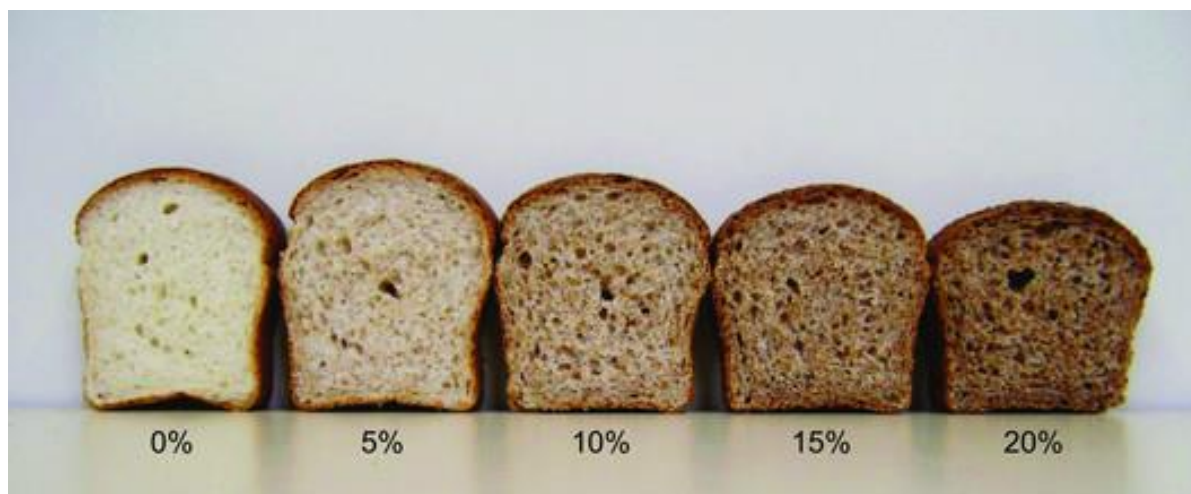
Elektrostatsko odvajanje je metoda utemeljena na elektrostatskom nabijanju čestica posija, nakon čega slijedi razdvajanje nabijenih čestica u električnom polju ovisno o stečenom naboju. Učinke elektrostatskog odvajanja nakon ultra-finog mljevenja nedavno su ispitali Hemery i sur. (2009, 2011) te su dokazali da se čestice posija mogu svrstati u tri frakcije: negativno nabijenu frakciju, pozitivno nabijenu frakciju i manje nabijenu frakciju. Ove frakcije imaju različit histološki i biokemijski sastav zbog različitih naboja staničnih stijenki u perikarpu i aleuronskom sloju.

Negativno nabijena frakcija, kojom je bogat vanjski perikarp, sadrži više arabinoze, a time i arabinoksilana, galaktoze, dimera i trimera ferulinske kiseline, za koje se zna da su karakteristični za kompleksne heteroksilane perikarpa. Manje nabijene frakcija se u najvećem udjelu nalazi u srednjim slojevima (unutarnji perikarp, sjemena ovojnica i hijalinski sloj) i zato je najbogatija alkilresorcinolima, za koje se zna da su smješteni u sjemennoj ovojnici. Pozitivno nabijena frakcija pokazala je da je bogata  $\beta$ -glukanom i monomerima ferulinske kiseline zbog svojeg visokog udjela u staničnim stijenkama aleuronskim stanica, te folatima i fitatima zbog visokog udjela u unutarstaničnom sadržaju aleuronskog sloja. Veličina čestica bila je najmanja u pozitivno nabijenoj frakciji, bogatoj slobodnim unutarstaničnim sadržajima aleurona i malim fragmentima staničnih stijenki. Osim varijacija u veličini čestica među frakcijama, biokemijski sastav je također bitan čimbenik koji utječe na bioraspoloživost spojeva u frakcijama. Biokemijski sastav frakcije mogao bi biti povezan sa nabojem. Na primjer, najpozitivnije nabijena frakcija dobivena ovom metodom od strane Hemery i sur. (2011) predstavlja 34% mase posija i sadrži 62% ferulinske kiseline. Štoviše, bioraspoloživost ferulinske, sinapinske i *p*-kumarinske kiseline bila je veća kod kruhova napravljenih od pozitivno nabijenih frakcija nego kod onih od običnih posija kada su ispitivani kruhovi sa posijama i njihov utjecaj na probavni trakt. Dakle, ova tehnologija može se koristiti za dobivanje frakcija posija u kojima su koncentrirani specifični bioaktivni spojevi a koji mogu služiti kao zdravi hranjivi sastojci ili kao polazni materijal za daljnu obradu.

## **2.5 Proizvodi obogaćeni pšeničnim posijama**

Glavni cilj nutricionista i dijetetičara je potaknuti veću potrošnju prehrambenih vlakana. Van der Kamp (2003), napominje da je još uvijek općenito unos vlakana i hrane koja sadrži vlakna znatno ispod preporučene razine u zapadnim zemljama, i savjetuje da su "razvoj proizvoda privlačnih potrošačima i podupiranje istraživanja u tu svrhu ključni elementi u nastojanju da se poveća unos prehrambenih vlakana". Posije žitarica su glavni izvor prehrambenih vlakana i posebno su korisne u promicanju zdravlja crijeva i izbjegavanju niza bolesti (Ferguson i Harris, 1997; Zhang i Moore, 1999; Cho i sur., 2004). Glavno polje istraživanja se stoga usredotočuje na ugradnju posija u proizvode na bazi žitarica, ali i u drugu hranu, u oblicima koji su privlačni potrošačima, kao osnova za poticanje zdrave prehrane. Međutim, potrošači kod hrane na bazi žitarica posebno cijene poroznu strukturu, a posije su općenito štetne za stvaranje porozne strukture u tim proizvodima. Razumijevanje kako posije reagiraju s mjehurićima zraka je stoga temelj za učinkoviti razvoj zdravijih proizvoda, bogatih vlaknima.

Ugradnja pšeničnih posija u proizvode od žitarica se u osnovi izvodi na dva načina. Brašno se ili nadopunjuje posijama ili se posije miješaju zajedno s klicama i brašnom u njihovom prirodnom omjeru prisutnom u zrnu pšenice, čime se dobiva brašno od "cjelovitih žitarica". Brašno od "cjelovitih žitarica", definirano od strane AACC International organizacije i konzorcija EU HEALTHGRAIN projekta, jest brašno koje se sastoji od mljevenog, lomljenog ili oljuštenog zrna žitarice, čije su glavne anatomske sastavnice- endosperm, klica i posije- prisutne u istom razmjeru kao u netaknutom zrnu (AACC International, 1999; van der Kamp i sur., 2014). Međutim, prisutnost pšeničnih posija u proizvodima na bazi žitarica dovodi do tehnoloških nedostataka i slabije kvalitete krajnjeg proizvoda u usporedbi s proizvodima od rafiniranog bijelog brašna, kao što su smanjenje u volumenu kruha, promjene u teksturi i izgledu (Slika 3). Budući da je kruh vrlo važan dio osnovne prehrane u mnogim zemljama, značajni naponi su uloženi u optimiziranje kvalitete kruhova obogaćenih posijama, što se pokazalo kao izazovan zadatak. Postojeća raznolikost mlinskih proizvoda od posija te različiti histološki slojevi od kojih su posije građene predstavljaju najveći izazov istraživanja. To treba posebno uzeti u obzir pri proučavanju učinaka pšeničnih posija u kruhu jer svaka od tih frakcija može imati svoja specifična svojstva i utjecaj na izradu kruha.



Slika 3. Učinak različitih količina posija na volumen kruha: kruh bez dodatka posija i kruhovi s 5%, 10%, 15% i 20% pšeničnih posija. Postotak posija je prikazan ispod kruhova. U kruhove nisu dodani nikakvi poboljšivači (Hemdane i sur., 2015).

### **2.5.1 Kruh obogaćen posijama**

Mnoga istraživanja su pokazala štetan utjecaj pšeničnih posija na kvalitetu izrade kruha u smislu funkcionalnih i senzorskih svojstava (Pomeranz i sur., 1977; Zhang i Moore 1997,1999; de Kock i sur., 1999; Seyer i Gelinias 2009). Dodatak posija u brašno rezultira neželjenim učincima na

reološka svojstva tijesta, volumen kruha, boju, teksturu i okus. Broj ovakvih nuspojava raste s porastom supstitucije pšeničnog brašna posijama (Zhang i Moore, 1999) (Slika 3). Schmiele i sur. (2012) su primjetili pad specifičnog volumena kruha od 4,4 cm<sup>3</sup>/g na 1,8 cm<sup>3</sup>/g kada se 40% pšeničnog brašna zamjeni posijama. Zajedno s smanjenjem volumena kruha, Schmiele i sur. (2012) izvjestili su o značajnom povećanju tvrdoće i čvrstoće sredine kruha kada je dodano brašno od cjelovitog zrna pšenice ili posije u većim koncentracijama, što bi moglo biti povezano sa smanjenim volumenom. Međutim, učinak posija na teksturu kore kruha nije povezan samo sa smanjenjem volumena jer npr. u pogačama (eng. flatbreads) gdje je volumen manje bitan, kvaliteta kore se također smanjuje dodavanjem posija, a može se uočiti i tamnija boja kore (Majzoobi i sur., 2013).

Štetno djelovanje posija na proizvodnju kruha je povezano s mnoštvom čimbenika, počevši od razrijeđenja glutena (Pomeranz i sur., 1977; Moder i sur., 1984). Pomeranz i sur. (1977) su izvjestili da uz dodatak posija do 7% je opseg smanjenja volumena kruha odgovarao očekivanom zbog razrijeđenja glutena. Međutim, iznad tog postotka, volumen se smanjuje više nego što se može očekivati s obzirom na razrijeđenje glutena. Ovo i slična opažanja upućuju na zaključak da smanjenje volumena kruha ne može biti samo posljedica razrijeđenja glutena (Pomeranz i sur., 1977; Lai i sur., 1989a).

Međutim, važno je imati na umu da pošto se funkcionalnost pšeničnih posija u izradi kruha procjenjuje na temelju tijesta i/ili obilježja kruha, pšenično brašno upotrijebljeno za izradu će također utjecati na ta obilježja, a stoga i na procjenu funkcionalnosti posija. Doista, očigledno je da određena obilježja, kao što je kvaliteta glutena brašna koje se koristi određuje kvalitetu kruha. Stoga se također može očekivati da kvaliteta brašna utječe na opseg u kojem čimbenici koji određuju funkcionalnost posija imaju utjecaj na izradu kruha. U tom pogledu, preostali endosperm vezan za posije može također u konačnici utjecati na izradu kruha. To je potvrdio Kent (1966) tvrdeći da vanjski endosperm ili subaleurone, može sadržavati visoke količine glutena u usporedbi s unutarnjim endospermom (do 50% proteina). Taj gluten, osim toga, ima i kvalitativno drugačiji sastav od onog prisutnog u unutarnjem endospermu, koji sadrži proporcionalno više podjedinica glutenina niske molekulske mase i  $\omega$ - i  $\alpha$ -glijadina od podjedinica velike molekulske mase i  $\gamma$ -glijadina (Tosi i sur., 2011).

Također je važno proučiti fizikalna, kemijska i biokemijska svojstva posija i njihov potencijalni učinak na proizvodnju kruha, kao i mehanizme koji odobravaju ili odbacuju hipoteze o njihovom učinku.

## **2.5.2 Fizikalna svojstva posija**

### **2.5.2.1 Interakcija s vodom**

Prva značajna karakteristika pšeničnih posija je njihova sposobnost apsorpiranja velike količine vode. Jacobs i sur. (2015) su nedavno objavili da mehanizam za vezanje vode na makro, mikro, nano i molekularnoj razini omogućuje posijama slabo ili snažno zadržavanje vode. Zadržavanje vode u posijama, gledano na makroskopskoj razini, je opisano kao popunjavanje praznog prostora između čestica posija. Na mikroskopskoj razini, stanice perikarpa koje su prazne i čine razmak između slojeva, pružaju mjesta za zadržavanje vode. Zadržavanje vode na nano razini uključuje kapilarni mehanizam. Nanopore se u posijama mogu naći npr. u staničnim stijenkama i u celulozi, kao rezultat njene specifične strukture. Posije, s obzirom da su bogate polisaharidima mogu vezati vodu na molekularnoj razini preko vodikovih mostova (Chaplin, 2003). Ti mehanizmi pridonose vezanju vode u uvjetima neograničene hidratacije. Alternativno tome, kada su posije izložene vanjskom stresu, samo voda čvrsto vezana u nanopore ili preko vodikovih mostova će određivati količinu zadržane vode. Ovaj mehanizam objašnjava različite fenomene hidratacije koji se mogu promatrati kao funkcija veličine čestica posija. U slučaju izloženosti vanjskom stresu, veličina čestica ne utječe na zadržavanje vode s obzirom na činjenicu da kapacitet za zadržavanje vode pripisan nanoporama ili preko vodikovih veza nije značajno pogođen unutar prosječnog raspona veličine čestica od 80 do 1600  $\mu\text{m}$ . Tijekom neograničene hidratacije, posije s velikim česticama će moći zadržati više vode nego posije sa sitnijim česticama, zbog svog većeg potencijala zadržavanja vode u netaknutim mikroporama i kao rezultat izraženijih fenomena slaganja (Jacobs i sur., 2015).

Međutim, kod izrade kruha dolazi do hidratacije posija tijekom miješenja gdje su posije izložene silama gnječenja i higroskopskim silama različitih sastojaka brašna. Zbog toga, fenomen slaganja i mikropore ne pridonose hidrataciji, budući da je voda relativno slabo vezana kroz ove mehanizme i oslobađa se u prisutnosti tih vanjskih sila. Ovo je mišljenje u skladu s činjenicom da nema promjena u farinografskoj apsorpciji vode kao funkcije prosječne veličine čestice (Auffret i sur., 1994; Zhang i Moore, 1999).

Najočitiji učinak specifičnih hidratacijskih svojstava posija u proizvodnji kruha je značajna apsorpcija vode (Zhang i Moore, 1997). Taj fenomen je promatran u farinografskim (Zhang i Moore, 1997) kao i u miksografskim analizama (Pomeranz i sur., 1977). Jaka sklonost posija da apsorpiraju vodu može rezultirati natjecanjem za vodu između posija i drugih ključnih tvari brašna kao što su škrob i gluten (Roosendaal i sur., 2012). Različiti istraživači zapravo povezuju učinke

pšeničnih posija na izradu kruha sa ovim hidratacijskim ponašanjem. Neki autori pripisuju tipičan duži vremenski period za proizvodnju tijesta obogaćenog posijama sporijoj kinetici vezanja vode za posije u usporedbi s drugim sastojcima brašna (Schmiele i sur., 2012). Lai i sur. (1989a) posijama pripisuju štetne učinke na proizvodnju kruha zbog interakcija između posija i vode temeljene na zapažanju da se volumen kruha poveća kada se doda dodatnih 2% vode u usporedbi s razinom vode naznačene na miksografu. Treba napomenuti da različiti aspekti hidratacije posija mogu biti od značaja za kruh stvarajući dinamičke uvjete u procesu. Na primjer, tijekom gnječanja, može se predvidjeti da posije apsorbiraju samo čvrsto vezanu vodu zbog prisutnog vanjskog stresa. Kada taj stres nestane na kraju miješenja, posije mogu imati tendenciju vezati vodu koju nisu mogle tijekom miješenja. Dreese i Hosney (1982) te Rogers i Hosney (1982), također posijama pripisuju štetan učinak na dinamiku hidratacije sugerirajući da je suvišna voda apsorbirana u tijestu s posijama dostupna za želatinizaciju škroba tijekom pečenja što snižava temperaturu želatinizacije i u konačnici smanjuje volumen kruha. Ova hipoteza je vjerojatna budući da su Roozendaal i sur. (2012) istaknuli da posije otpuštaju apsorbiranu vodu tijekom zagrijavanja. Nadalje, Li i sur. (2012) dijele mišljenje da se može stvoriti mreža arabinoksilana u brašnu od cjelovitog zrna, uzrokujući migraciju vode iz mreže glutena u mrežu arabinoksilana što rezultira lošijom kvalitetom pečenja. Međutim, nema jasnih znanstvenih dokaza koji bi potvrdili ili odbacili ove hipoteze i stoga je teško procijeniti točnu relevantnost hidratacije posija prema funkcionalnosti proizvodnje kruha.

#### **2.5.2.2 Učinak fizikalnih smetnji i poremećaja**

Osim činjenice da na razvoj i kvalitetu tijesta utječu posije zbog razrijeđivanja glutena, izgleda da neki dodatni negativni učinci također igraju ulogu. Posije mogu fizički spriječiti pravilan razvoj glutena onemogućujući pravilan kontakt između čestica brašna. Ova hipoteza zajedno s relativno sporim unosom vode u posije može objasniti činjenicu da je u farinografu zabilježeno duže vrijeme razvoja tijesta kada je brašno zamijenjeno većim količinama posija.

Druga hipoteza odnosi se na prijedlog da inkorporacija čestica posija u opne mjehurića plina u tijestu ometa tu strukturu. Prisutnost čestica posija u tijestu može prisiliti mjehuriće da se prošire do određene dimenzije ili ih čak probušiti, što vodi do koalescencije ili disproportcioniranja, i rezultira smanjenim zadržavanjem plina u tijestu, malim volumenom kruha i tvrdom koricom. Smatra se da dlačice epikarpa ovdje igraju glavnu ulogu, i njihovim uklanjanjem procesom ljuštenja prije mljevenja se taj učinak može smanjiti do određene mjere.

Međutim, budući da je ljuštenje heterogen proces u kojem se uklanjaju zaobljene površine zrna, a ne pojedinačni slojevi, pripisuje mu se pozitivan učinak zbog uklanjanja nekih vanjskih slojeva posija koji mogu imati još štetniji učinak nego dlačice epikarpa. Bez obzira na to imaju li dlačice značajnu ulogu, mikroskopske analize tijesta i kruha s posijama ukazuju da čestice posija nekako uzrokuju fizički poremećaj glutena. Ipak postoje različita mišljenja o specifičnoj fazi izrade kruha tijekom koje bi učinak tog poremećaja bio najizraženiji. Moglo bi se pretpostaviti da je to tijekom miješenja, kada se formira mreža glutena, ili tijekom kasnijih faza fermentacije i početkom pečenja kada je mreža glutena rastegnuta. Campbell i sur. (2008) zaključili su da pšenične posije imaju glavni utjecaj na poroznost strukture tijekom pečenja, a ne ranije tijekom miješenja, jer su pronašli povezanost između učinka posija na ekspanziju tijekom fermentacije i volumena kruha.

### **2.5.3 Reaktivni sastojci u posijama**

Osim specifičnih fizikalnih svojstava, također se vjeruje da pšenične posije imaju određenu kemijsku aktivnost koja bi mogla odrediti njihovu funkcionalnost. Ta kemijska aktivnost se odnosi na specifične sastojke prisutne u posijama. Za početak, vjeruje se da ferulinska kiselina vezana na arabinoksilanske polimere utječe na svojstva kruha (Noort i sur., 2010). Ferulinska kiselina može spriječiti arabinoksilanske polimere da tvore mrežu, što može imati štetan učinak na pravilnu aglomeraciju glutena. Nadalje, smatra se da arabinoksilan interferira sa proteinima glutena, uglavnom kovalentnim vezanjem ferulinske kiseline na tirozinski ostatak, čime utječe na tvorbu glutenske mreže (Wang i sur., 2004). To je potkrijepljeno zaključcima Wang i sur. (2002, 2003) kako dodatak ferulinske kiseline može spriječiti oksidativno umrežavanje tijekom formiranja glutenske mreže. Arabinoksilanski gelovi, nastali oksidacijskim geliranjem ferulinske kiseline, mogu nadalje uzrokovati migraciju vode iz mreže glutena u arabinoksilanske gelove i time rezultirati slabijom kvalitetom pečenja (Li i sur., 2012). Valja napomenuti da relevantnost ovih mehanizama može uvelike ovisiti o dostupnosti ferulinske kiseline. U krupno mljevenim posijama, ferulinska kiselina će uglavnom biti ugrađena u matricu posija i stoga može pokazati minimalnu reaktivnost. Nakon mljevenja, ovi mehanizmi mogu postati relevantniji kako ferulinska kiselina postaje sve dostupnija.

Također, vjeruje se da je glutation prisutan u pšeničnim posijama uključen u njihov štetni učinak (Noort i sur., 2010). Every i sur. (2006a) su procijenili da pšenične posije sadrže približno 1  $\mu\text{mol}$  glutationa po gramu posija, što je otprilike 30 puta više nego u bijelom pšeničnom brašnu.

S obzirom na potencijal glutationa da oslabi glutensku mrežu preko disulfidnih mostova, prisutstvo glutationa može doista biti uključeno u štetan učinak posija pri proizvodnji kruha.

Vjeruje se da fitati u posijama imaju mogućnost reagiranja s proteinima glutena uzrokujući negativan učinak (Noort i sur., 2010), no do sada nije predložena hipoteza o načinu djelovanja.

Ukratko, može se reći da pšenične posije sadrže barem neke reaktivne spojeve koji imaju potencijal da poremete proces proizvodnje kruha. Međutim, malo je znanstvenih dokaza koji potkrijepljuju različite hipoteze koje su predložene te je stoga teško procijeniti važnost tih reaktivnih spojeva u funkcionalnosti posija.

#### **2.5.4 Enzimi povezani s posijama**

Konačno, funkcionalnost posija može odrediti skup enzima povezan s njima. Pšenica sadrži različite enzime višestrukih enzimskih razreda od kojih je većina koncentrirana u posijama (Rani i sur., 2001). Aktivnost enzima varira među proizvodima mljevenja bogatim posijama, iz čeg se može zaključiti da nusproizvodi mljevenja sadrže različite količine posija, klica i endosperma. Ovu raznolikost u zastupljenosti enzima između nusproizvoda mljevenja treba uzeti u obzir pri proćavanju utjecaja nestabiliziranih posija na proizvodnju kruha, budući da enzimi posija mogu reagirati sa sastojcima brašna i tako utjecati na proces izrade kruha (Noort i sur., 2010).

Kao i kod proklijane pšenice, prevelika aktivnost  $\alpha$ -amilaze može uzrokovati razgradnju škroba tijekom miješanja tijesta i fermentacije do mjere da tijesto postaje ljepljivo i neprikladno za oblikovanje. To obično rezultira kruhom koji je općenito neprihvatljiv za potrošače (Chamberlain i sur., 1981). Endoksilanaze specifične za arabinoksilane koji se nemogu ekstrahirati vodom mogu imati pozitivan učinak na proizvodnju kruha tako što mogu prevoditi netopljive arabinoksilane u vodotopljive arabinoksilane koji povećavaju viskozitet vodene faze tijesta i time stabiliziraju pjenastu strukturu tijesta. Kod visokih koncentracija endoksilanaza dolazi do velike razgradnje arabinoksilana i time do smanjenja kapaciteta zadržanja vode u tijestu, što opet rezultira ljepljivim tijestom. Također, pretvorba arabionoksilana koji se mogu ekstrahirati iz vode ili u enzimima topljivih arabinoksilana u arabinoksilane manje molekulske mase može destabilizirati pjenastu strukturu tijesta (Courtin i Delcour, 2002). Što se tiče peptidaza, endopeptidaze su najrelevantnije za funkcionalnost u proizvodnji kruha, obzirom da ti enzimi mogu cijepati proteine glutenske mreže i time oslabiti mrežu. U ovom slučaju, ovaj negativan učinak se događa samo ako proteolitička aktivnost premaši određeni prag. Doista, ograničeno djelovanje ovih enzima može biti poželjno jer može rezultirati pozitivnim učincima kao što su smanjeno vrijeme miješanja, odgovarajuća čvrstoća glutena, željena konzistencija tijesta i



tekstura kruha te poboljšani okus (Mathewson, 2000). Lipaze posija mogu osloboditi masne kiseline iz lipida, većinom triacilglicerola, počevši od trenutka skladištenja brašna od cjelovitog zrna u uvjetima okoline. Lipoliza može negativno utjecati na proces proizvodnje kruha povećanjem ukupne količine slobodnih masnih kiselina i smanjenjem ukupne količine triacilglicerola (Tait i Galliard, 1988). Dobiveni mono- i diacilgliceroli mogu imati blagotvoran učinak na svojstva sredine kruha. Nadalje, peroksidaze mogu učvrstiti mrežu glutena katalizom veza između tiolnih grupa i ditirozinskih dimera. Međutim, Every i sur. (2006b) su utvrdili da je uloga peroksidaza u konačnom volumenu i strukturi kore kruha minimalna, što se moglo i očekivati jer su to enzimi koji zahtijevaju kisik koji je prisutan samo u početku izrade kruha. Protein-disulfid izomeraza može pozitivno utjecati na proces izrade kruha jer katalizira oksidaciju tiola do disulfidnih veza u prisutnosti askorbinske kiseline, čime se dobivaju gluteninski polimeri koji su povezani s dobrom kvalitetom kruha (Every i sur., 2003). Polifenol oksidaza iz pšeničnih posija je uključena u tamnjenje proizvoda zbog svojeg oksidativnog učinka na endogene fenole. Količine polifenol oksidaze nađene u pšeničnim posijama mogu uzrokovati gubitak organoleptičke kvalitete i prehrambene vrijednosti proizvoda. Što se tiče volumena i teksture kore, Every i sur. (2006b) nisu našli povezanost.

Jasno je da se različiti i složeni biokemijski procesi mogu pojaviti tijekom proizvodnje kruha u prisutnosti enzima posija. Dok specifično odabrane amilaze, ksilanaze, peptidaze i lipaze mogu imati pozitivne učinke pri niskim koncentracijama, u konačnici će izazvati štetne učinke, posebice ako su nekontrolirane i prisutne u visokim koncentracijama. Oksidoreduktaze, kao što su peroksidaze, imaju veću mogućnost pozitivnog učinka na glutensku mrežu i time volumen kruha, no međutim, mogu dovesti do lošijeg okusa i neželjene boje. Daljna istraživanja su potrebna kako bi se potvrdila ili odbacila povezanost enzima posija s proizvodnjom kruha.

### **2.5.5 Strategije funkcionalizacije**

Kao što je gore navedeno, pšenične posije sadrže širok raspon tvari koje mogu biti korisne za ljudsko zdravlje. Međutim, provedba uključenja posija u hranu se suočava s nekoliko poteškoća povezanih s kvalitetom hrane, rokom trajanja i senzorskim dojmom. Na primjer, dodatak posija u hranu uzrokuje pjeskovit i slamnat osjećaj u ustima. Štoviše, fenolne kiseline, čiji je prirodni zadatak štiti ljusku zrna od nametnika, mogu uzrokovati gorak okus. Dakle, prehrambeni tehnolozi moraju premostiti jaz između količine potrebne za pozitivan zdravstveni učinak i prihvatljivost potrošača. Najsuvremenije tehnike za prevladavanje ovih problema će biti prikazane u sljedećim poglavljima.

### **2.5.5.1 Smanjenje veličine čestica**

Smanjenje veličine čestica je daleko najistraživaniji tretman pšeničnih posija te postoji nekoliko studija u kojima je zabilježen utjecaj tog tretmana na svojstva tijesta i kruha. Prije rasprave o ovom tretmanu valja istaknuti da je učinak veličine čestica pročavan na uzorcima sa različitim veličinama čestica dobivenih na različite načine. Promatrajući utjecaj smanjenja veličine čestica na svojstva tijesta, Zhang i Moore (1997) utvrdili su da kapacitet apsorpcije vode tijesta obogaćenog posijama ne ovisi o veličini čestica. To opažanje se slaže sa hidratacijskim mehanizmom opisanim u istraživanju Jacobs i sur. (2015) opisanim ranije. Ipak, nekoliko je autora iznijelo činjenicu da su sitnije posije karakterizirane većom farinografskom apsorpcijom vode nego krupne posije, što se pripisuje većoj specifičnoj površini kojoj su izložene hidroksilne grupe (Noort i sur., 2008; Cai i sur., 2013). Vrijeme miješanja tijesta i stabilnost miješanja izmjereni farinografom se smanjuju kada se koriste sitnije posije. Sanz Penella i sur. (2008) predložili su da se produljeno vrijeme razvoja tijesta zapaženo kod krupnih posija može pripisati činjenici da krupnim posijama treba više vremena za apsorpciju vode nego sitnijim posijama. Negativan učinak na stabilnost tijesta pripisuje se činjenici da kod iste razine supstitucije, sitnije mljevene posije imaju više čestica nego krupne, što rezultira većim remećenjem glutenske mreže zbog većeg kontakta između brašna i posija (Zhang i Moore, 1997; Sanz Penella i sur., 2008).

Utjecaj veličine posija na volumen kruha ostaje nejasan. Nekoliko istraživanja je pokazalo da usitnjene posije imaju štetnije djelovanje na volumen kruha u usporedbi s krupnijima (De Kock i sur., 1999, Noort i sur., 2010, Campbell i sur., 2008). Međutim, također je dokazano da dodavanje sitnije mljevenih posija u brašno daje kruh većeg volumena i boljih karakteristika u usporedbi s krupnim posijama (Moder i sur., 1984; Pomeranz i sur., 1977). Zhang i Moore (1999) su pokazali da kruh pripremljen sa srednjom veličinom čestica posija (415  $\mu\text{m}$ ) ima veći volumen nego kruhovi napravljeni sa krupnim (609  $\mu\text{m}$ ) i sitnim (278  $\mu\text{m}$ ) posijama, bez obzira na razine supstitucije, što ukazuje da može postojati optimalna veličina čestica posija za proizvodnju kruha. Coda i sur. (2014) podržali su koncept optimalne veličine čestica jer su opazili najveći volumen kada su dodane posije srednje veličine čestica od 160  $\mu\text{m}$  u usporedbi s drugim veličinama čestica posija (750, 400 i 50  $\mu\text{m}$ ). Konačno, u drugim istraživanjima zaključeno je da veličina čestica posija nije pokazala značajniji utjecaj na volumen kruha, barem za određene vrste pšenice (Cai i sur., 2013; Sanz Penella i sur., 2012).

Utjecaj smanjenja veličine čestica pšeničnih posija na proizvodnju kruha mogao bi biti posljedica promjenjenih svojstava hidratacije, ali i povećane specifične površine posija i

dostupnosti staničnih sastojaka. Vjeruje se da reaktivni sastojci, spomenuti ranije, imaju značajan utjecaj na funkcionalnost posija u kruhu. Važnost reaktivnih sastojaka posija podržavali su De Kock i sur. (1999), koji su otkrili da se negativan učinak uzrokovan smanjenjem veličine čestica može neutralizirati smanjenjem reaktivnosti posija toplinskim tretmanom. Štoviše, Noort i sur. (2010) izvjestili su da je smanjenje veličine čestica rezultiralo većom dostupnosti arabinoksilanskih lanaca, što dovodi do veće interakcije između ferulinske kiseline i proteina glutena i uzrokuje štetne učinke na funkcionalnost glutenske mreže. Autori također sugeriraju da se reaktivni sastojci poput konjugiranih monomera ferulinske kiseline ili glutaciona mogu osloboditi uslijed lomljenja stanica (Noort i sur., 2010).

Sabirući gore navedena opažanja, još uvijek nije jasno što je pravi utjecaj smanjenja veličine čestina posija na izradu kruha. Moguća objašnjenja za neusklađene rezultate mogu biti korištenje sorti pšenice s različitim svojstvima ili različitih tehnika smanjenja čestica. Različiti pristupi izradi kruha također mogu utjecati na rezultate. Moguća objašnjenja za nedostatak uvida u ovu materiju mogu prebivati u činjenici da smanjenje veličine čestica može rezultirati konkurentnom modifikacijom višestrukih svojstava posija, kao što su svojstva hidratacije, dostupnost reaktivnih komponenata i fizičke dimenzije. Fenomen primijećen u izradi kruha sa smanjenim česticama posija može biti rezultat međudjelovanja različitih mehanizama povezanim sa specifičnim svojstvima posija. Otkrivanje tih mehanizama izazovna je zadaća. Ova komplikacija odnosa između svojstava posija može se također objasniti kontradikcijama u literaturi s obzirom da se pojavljuje više modifikacija, kao i njihova važnost u izradi kruha, koja može varirati ovisno o sorti pšenice, tehnici mljevenja i načinu proizvodnje kruha. Što se tiče razlika u načinu izrade kruha, De Kock i sur. (1999) su, na primjer, primijenili brzu metodu miješanja tijesta velikom brzinom, nakon čega je slijedila fermentacija na 70 min i pečenje 30 min na 230 °C. Pod tim eksperimentalnim uvjetima, autori su primijetili manji volumen kruha sa sitnijim česticama posija. Nasuprot tome, Moder i sur. (1984) primijenili su metodu direktnog zamjesa sa duljim vremenom fermentacije i nekoliko korekcija, te su primijetili veći volumen kruha sa sitnijim česticama posija. Curti i sur. (2013) su napravili kruh s posijama u kućnom pekaču kruha i nisu zamijetili značajnu razliku između kruhova s različitim veličinama čestica. Na temelju nedavnih radova, te proturječnosti mogu se razjasniti u određenoj mjeri. Prateći probe direktne izrade kruha pri različitim apsorpcijama vode i vremenima miješanja, zamijećeno je da veličina čestica u stvari ne utječe na izradu kruha od posija kada su primijenjeni optimalni uvjeti za pripremu tijesta.

Opsežno senzorsko istraživanje o kruhu s posijama i utjecaju smanjenja veličine čestica je prilično ograničeno. Osim utjecaja na volumen kruha, smanjenje veličine čestica također rezultira tamnijom korom kruha nego kod kruhova s krupnijim česticama posija (Zhang i Moor, 1999; Majzoobi i sur., 2013). Osim toga, smanjenje veličine čestica dovodi do ujednačenije boje kruha i manje pjeskovitog osjećaja u ustima, što ga čini prihvatljivijim za potrošače (Zhang i Moore, 1999). Međutim, na okus ne utječe veličina čestica posija (Majzoobi i sur., 2013). To upućuje na to da je oslobađanje negativnih sastojaka okusa kroz smanjenje veličine čestica ograničeno.

### **2.5.5.2 Toplinska i hidrotoplinska obrada posija**

U brojnim istraživanjima, svojstva posija su modificirana toplinskom i hidrotoplinskom obradom. Caprez i sur. (1986) proučavali su učinke kuhanja, kuhanja na pari, pečenja i autoklaviranja pšeničnih posija na njihovom kemijskom sastavu i fizikalnim svojstvima. Svaka od tih toplinskih obrada značajno je utjecala na fizikalna svojstva posija, a posebno na reološka svojstva tijesta s posijama. Unos vode, znatno se povećao toplinskom obradom mljevenih posija, osim autoklaviranjem. Nadalje, kuhanje parom, autoklaviranje i prženje posija su povećali apsorpciju vode i produljili vrijeme miješanja te smanjili maksimalni otpor tijesta, u usporedbi s uobičajenim posijama. Nakon kuhanja, farinografska apsorpcija vode je smanjena, ali nije pogodena maksimalni otpor tijesta nije promijenjen.

Neke studije su također istražile učinak (hidro) toplinske obrade posija na svojstva kruha. Što se tiče volumena kruha, različita zapažanja su zabilježena u literaturi, ovisno o vrsti obrade. Suha toplinska obrada pšeničnih posija autoklaviranjem rezultira povećanim volumenom kruha (de Kock i sur., 1999). Razumljivo je da je povećan volumen kruha izazvan inaktivacijom lako dostupnih sastojaka, kao što su male reaktivne molekule ili štetni enzimi. To su potvrdili Wootton i Shams-Ud-Din (1986) tvrdeći da su ekstrakti više, a ostaci posija manje štetni za volumen kruha nego regularne posije. Međutim, de Kock i sur. (1999) sugeriraju da taj štetan učinak posija na volumen kruha nije prouzročen samo reaktivnim sastojcima posija, nego i fizikalnim svojstvima (de Kock i sur., 1999).

Nakon ugradnje pšeničnih posija natopljenih 15 min u ostatku vode od kuhanja, opažen je veći volumen kruha u usporedbi s nativnim posijama (Nelles i sur., 1998), slično kao što je uočeno i za autoklavirane posije (de Kock i sur., 1999). Nadalje, Mosharaff i sur. (2009) su pokazali da su posije namočene preko noći u acetatnom puferu (pH 4,8, 55 °C) i zatim sušene na 37 °C, poboljšale reološka svojstva tijesta u usporedbi s nativnim posijama. Način djelovanja nije bio otkriven.

Ekstruzija pšeničnih posija dovodi do topljivosti kemijskih sastojaka, posebice vlakana (Ralet i sur., 1990). Ekstrudirane posije apsorbiraju više vode od običnih posija, što bi moglo biti barem djelomično pripisano prisutnosti preželatiniziranog škroba poslije ekstruzije (Ralet i sur., 1990). Što se tiče učinka ekstrudiranih posija na svojstva kruha, zapaženi su različiti rezultati. Wang i sur. (1993) su primijetili da kruh s ekstrudiranim posijama ima manji volumen nego onaj s nativnim. Ipak, kruh s posijama ekstrudiranim pri visokoj ili srednoj brzini, nije se bitno razlikovao u volumenu od kruha s nativnim posijama. Organoleptička kvaliteta kruha s ekstrudiranim posijama je bila nešto lošija, ali i dalje prihvatljiva. Ugarčić-Hardi i sur. (2009) su izvjestili da ekstrudirane posije imaju manje negativan utjecaj na reologiju tijesta nego neekstrudirane posije. Gòmez i sur. (2011) također su pokazali da kruh pripremljen s ekstrudiranim posijama i poboljšivačem koji sadrži askorbinsku kiselinu, monogliceride, digliceride, lecitin, amilaze i hemicelulaze, ima veći volumen nego onaj s nativnim posijama i poboljšivačem. To može biti posljedica hidrolize preželatiniziranog škroba prisutnog u ekstrudiranim posijama amilazama iz poboljšivača, što dovodi do oslobađanja veće količine fermentabilnih šećera i time do povećane proizvodnje plina. Kada nije dodan poboljšivač, zabilježeni su manji volumen kruha s ekstrudiranim posijama nego s običnim posijama, unatoč većoj visini fermentiranog tijesta s ekstrudiranim posijama. Stoga se čini da se sastojci posija suprotstavljaju funkcioniranju jednog ili više sastojaka prisutnih u poboljšivačima. S organoleptičke točke gledišta, kvaliteta kruha nije se značajno razlikovala između kruha koji sadrži nativne ili ekstrudirane posije (Gòmez i sur., 2011).

Slično kao i utjecaj smanjenja veličine čestica, niti jedan dosljedan utjecaj (hidro) toplinske obrade pšeničnih posija na proizvodnju kruha nemože biti iščitan iz dane literature. To se jednostavno može dokazati činjenicom da neki oblici (hidro) toplinske obrade mogu dovesti do povećanja volumena kruha (de Kock i sur., 1999), dok drugi čine suprotno (Gòmez i sur., 2011) ili uopće nemaju učinak (Wang i sur., 1993). Ta kontradiktorna i uglavnom neobjašnjiva zapažanja mogu, još jednom, proizlaziti iz promjena svojstava posija izazvanih (hidro) toplinskom obradom. Na primjer, pored inaktivacije termolabilnih sastojaka, (hidro) toplinska obrada može također utjecati na hidratacijsko ponašanje posija kao što su Ralet i sur., (1990) te Wang i sur. (1993) zapazili povećanu apsorpciju vode koja se pripisana preželatinizaciji škroba. Stoga, kontradiktorna zapažanja s obzirom na (hidro) toplinsku obradu mogu potjecati iz pojave dodatnih promjena koje nisu uzete u obzir.

### 2.5.5.3 Namakanje posija

U posljednjih nekoliko desetljeća, neki su istraživači pokušali naći način za suzbijanje štetnih učinaka posija na proces proizvodnje kruha tako što su posije namakali u vodi. To namakanje izvedeno je na dva različita načina. Posije mogu biti namočene u ograničenoj količini vode koja se dodaje zajedno s posijama kod izrade kruha ili se posije namaču u suvišku vode koja se djelomično ili potpuno uklanja poslije namakanja. Kod ovog drugog načina se topljivi sastojci djelomično ispiru zbog uklanjanja suviška vode. Dokazano je da oba pristupa poboljšavaju kvalitetu kruha (Wootton i Shams-Ud-Din 1986).

Lai i sur. (1989a) izvjestili su da namakanje posija u ograničenoj količini vode daje veći volumen kruha u odnosu kada se koriste neobrađene posija, posebice kod većih koncentracija. Također su predložili da je spori unos vode u posije tijekom miješanja važan uzrok štetnog djelovanja na proizvodnju kruha. Dodavanje posija koje su već zasićene vodom može nadvladati ovaj štetni učinak. Isti autori promatrali su sličan porast volumena kruha kada su 1 sat prije dodavanja brašna dodali posije namočene u ograničenoj količini vode (Lai i sur., 1989b). U ovom slučaju su taj fenomen pripisali aktivnosti endogenih lipooksigenaza, koje oksidiraju sastojke štetne za volumen kruha, kao što su metoksihidrokinon i glutation (Lai i sur., 1989b). Autori su ispitali tu hipotezu dodavanjem lipooksigenaze u tijesto koje sadrži glutation i metohidroksikvinon. U tom slučaju, volumen kruha je bio potpuno obnovljen u odnosu na kruh bez dodane lipooksigenaze (Lai i su., 1989b).

Hipotezu o aktivaciji endogenih lipooksigenaza poduprli su Nelles i sur. (1998). U njihovom izvješću stoji da je smanjenje potencijalno oksidirajućih tvari također djelomično posljedica ispiranja, jer su namakali posije u suvišku vode.

Za razliku od ovih zapažanja, niti povećan niti smanjen volumen nije uočen u usporedbi s kruhovima s neobrađenim posijama kada su Chen i sur. (1988) 12 sati namakali posije u suvišku vode i zamijenili 4% i 8% bijelog brašna s namočenim posijama.

U konačnici, cjelovito razumijevanje utjecaja namakanja posija na izradu kruha još nije utvrđeno. Činjenica da mnoga svojstva posija mogu biti istovremeno promijenjena nakon namakanja, može biti barem dijelom odgovorna za to. Na primjer, posije se ne samo hidratiziraju tijekom namakanja, nego enzimi posija također imaju određeni učinak, ovisno o trajanja namakanja. Osim toga, namakanje posija u suvišku vode uključuje i ispiranje nekih topljivih sastojaka koji će čak i više komplicirati tumačenje rezultata.

#### **2.5.5.4 Enzimska obrada posija**

Nekoliko je istraživanja potvrdilo da se dodatak različitih enzima kao što je  $\alpha$ -amilaza (Sanz Penella i sur., 2008), fitaza (Sanz Penella i sur., 2008), ksilanaza (Laurikainen i sur., 1998) i lipooksigenaza (Lai i sur., 1989c), može koristiti za optimizaciju kvalitete tijesta i kruha obogaćenih posijama.

Kod inkubacije posija s bakterijama, termostabilna  $\alpha$ -amilaza rezultira povećanom količinom vlakana u usporedbi s neobrađenim posijama zbog enzimske degradacije škroba i naknadnog ispiranja produkata hidrolize škroba (Rasco i sur., 1991). Zamjena brašna s posijama obrađenih amilazom dala je kruh manjeg volumena i lošije kvalitete sredine u usporedbi sa zamjenom jednake količine brašna neobrađenim posijama. To zapažanje je najvjerojatnije povezano s činjenicom da je škrob uklonjen iz obrađenih posija. Kada su posije dalje bile tretirane peptidazama, svojstva kruha su bila još gora (Rasco i sur., 1991), vjerojatno zbog nedovoljne inaktivacije peptidaza uzrokujući time slabljenje glutenske mreže. Doista, autori su posije nakon enzimske obrade osušili u bubnju, ali nisu provjerili jesu li enzimi bili potpuno inaktivirani nakon sušenja. Konačno, enzimski obrađene rižine posije s pročišćenom ksilanazom ili smjesom  $\alpha$ -amilaze-ksilanaze značajno smanjuju štetne učinke posija na volumen kruha (Laurikainen i sur., 1998). Ovaj učinak može se pripisati oslobađanju arabinoksilana iz posija, što dovodi do povećanja količine topljivih arabinoksilana i viskoznosti vodene faze tijesta. Prethodno je pokazano da to poboljšava volumen kruha (Courtin i Delcour, 2002). Osim toga, smjese enzima bile su učinkovitije od čistih enzima, vjerojatno zbog prisutnosti  $\alpha$ -amilaze u smjesama (Laurikainen i sur., 1998). Važno je napomenuti da su korišteni enzimi bili također aktivni za vrijeme proizvodnje kruha. Pozitivan učinak enzimske obrade na proizvodnju kruha mogao bi biti posljedica interakcije enzima i sastojaka endosperma, te njihovog učinka na posije.

Jedan od problema u ovoj vrsti istraživanja je taj da dok se posije lako mogu prethodno inkubirati s enzimima prije dodavanja u brašno, prilično je teško ukloniti enzimsku aktivnost dodanih enzima nakon inkubacije. Iako ovaj problem može biti riješen toplinskom inaktivacijom enzima, to će izazvati dodatne promjene na posijama što još više otežava određivanje utječu li enzimi pozitivno na svojstva posija, ili se promatrani učinci trebaju pripisati aktivnosti prisutnih enzima.

#### **2.5.5.5 Fermentacija posija**

Još jedan način modificiranja posija jest njihova fermentacija prije dodavanja u brašno. Katina i sur. (2012) izvjestili su da kruh koji sadrži posije koje su 20 sati bile fermentirane kvascima ima veći volumen i mekšu sredinu nego kruh s nefermentiranim posijama. Autori sugeriraju da se ovo

poboljšanje kvalitete prvenstveno može pripisati topljenju arabinoksilana tijekom fermentacije, čime se mijenja struktura staničnih stijenki. Kako kvasci nisu bili potpuno uklonjeni nakon fermentacije posija, pri dodavanju posija u tijesto bilo je više kvasca što je moglo rezultirati boljim svojstvima kruha. Coda i sur. (2014) fermentirali su pšenične posije 8 sati pomoću bakterija mliječne kiseline i sojeva kvasaca, u kombinaciji s hidrolitičkim enzimima. Prema autorima, aktivnost *Lactobacillus brevis* bila je neophodna za povećanje volumena kruha fermentacijom jer se njena aktivnost povezuje s boljom stabilnosti tijesta i povećanim zadržavanjem plinova.

Ipak, u ovakvoj vrsti istraživanja teško je zaključiti jesu li ta zapažanja uzrokovana modifikacijama posija, kao takvima, ili prisutstvom mikroorganizama i enzima. Doista, iako značajne modifikacije mogu biti potaknute fermentacijom, to može biti ili zbog modifikacije posija ili ugradnje mikroorganizama i/ili enzima u tijesto i kruh. To bi trebalo imati na umu pri tumačenju zapažanja o korištenju fermentiranih pšeničnih posija u izradi kruha. Uistinu, Gobbetti i sur. (1995) saopćili su da je fermentacija kvascima poboljšana u prisutstvu heterofermentativne bakterije mliječne kiseline. Konačno, treba napomenuti da kombinacija fermentacije posija s enzimskom obradom ne samo poboljšava volumen i teksturu kruha, nego također produljuje rok trajanja kruha obogaćenog posijama. Učinci se uglavnom pripisuju preraspodjeli vode između škroba, glutena i čestica posija tijekom sladištenja (Katina i sur., 2007).

### **2.5.6 Prženi proizvodi s pšeničnim posijama**

Prženje se može smatrati procesom dehidracije i prijenosa mase/topline u kojem nastaju novi spojevi kao rezultat kemijskih i fizikalnih promjena u ulju za prženje. Duboko prženje je proces uranjanja hrane u dovoljnu količinu jestivog ulja pri visokim temperaturama (160-180 °C), što pržene proizvode čini ukusnima i daje im kontrastnu strukturu - hrskavu izvana i meku iznutra (Yazdanseta i sur., 2015). Kod prženja hrane na bazi žitarica dolazi do stvaranja pora kao rezultata isparavanja vlage iz hrane (povećaje volumena) što dovodi do prijenosa ulja u hranu. Ostale promjene koje nastaju tijekom prženja su želatinizacija škroba, denaturacija proteina, nastanak boje i korice (Eissa i sur., 2013). Na sadržaj ulja pržene hrane utječu brojni čimbenici kao što su uvjeti prženja (temperatura, vrijeme), kvaliteta ulja (viskoznost), karakteristike hrane (oblik, veličina, poroznost) i tretmani prije prženja (Yazdanseta i sur., 2015).

Mjere koje se poduzimaju u cilju smanjenja unosa ulja u prženu hranu uključuju neke tretmane prije prženja kao što su sušenje na zraku, blanširanje u otopinama, premazivanje jestivim filmom i modificiranje metoda prženja kao što su vakuum prženje i prženje vrućim zrakom (Yazdanseta i sur., 2015). Hidrokoloide se koriste u proizvodnji prženih proizvoda od žitarica i



tijesta za prženje jer smanjuju gubitak vlage tijekom prženja. Još jedan mehanizam smanjenja ulja u prženoj hrani je presvlačenje čestica. Ovaj hibridizacijski sustav koristi posije žitarica za presvlačenje brašna. Usmjeren je na pripremu složenog brašna presvlačenjem većih čestica materijala sitnijim česticama koristeći visoku silu udara i toplinu trenja. Mješavine proizvedene ovim hibridizacijskim sustavom koristeći pšenične posije su bile uspješno iskorištene u proizvodnji krafni sa smanjenim udjelom ulja (Kim i sur., 2012).

Uključivanje pšeničnih posija u pržene proizvode od žitarica pokazalo se da smanjuje sadržaj ulja. Pšenične posije se mogu miješati sa pšeničnim brašnom ručno ili hibridizacijskim sistemom objašnjenim ranije. Kim i sur. (2012) su izvjestili o smanjenju udjela ulja od 2,7-9,4% u krafnama pripremljenim od pšeničnih posija čestica veličine 6,87  $\mu\text{m}$ . Yadav i Rajan (2012) izvjestili su da su pšenične posije imale negativan utjecaj na sadržaj vlage u indijskom duboko prženom tijestu, *poori* (Slika 4), zbog svoje netopljivosti u vodi, ali je ipak došlo do 20%-tnog smanjenja sadržaja ulja kod ugradnje 3% posija. Čini se da je minimalan posao odrađen kod ugradnje pšeničnih posija u tijesta i proizvode za prženje, ali nekoliko radova navedenih ovdje ističe potencijal koji pšenične posije imaju za smanjenje udjela masti/ulja u tim proizvodima. Zbog povezanosti prehrane i zdravlja, posebice kada je u pitanju prekomjerna težina/pretilost, potrebno je više pažnje usmjeriti na proizvodnju pržene hrane sa pšeničnim posijama, smanjenim udjelom masnoće, povećanim udjelom vlakana i optimalnim senzorskim svojstvima.



Slika 4. Prženi proizvodi na bazi žitarica sa potencijalom za uključivanje pšeničnih posija (Onipe i sur., 2015)

### **3. Zaključak**

Inovativne tehnike obrade kao što su one koje uključuju mikroorganizme i enzimsku tehnologiju izgledaju kao obećavajući alat za optimizaciju bioaktivnog potencijala pšeničnih posija, ali i tradicionalne tehnike obrade također imaju znatan utjecaj na optimiranje bioaktivnog sadržaja proizvoda od posija.

Ugradnja pšeničnih posija u proizvode na bazi žitarica kao što je kruh dovodi do značajnih organoleptičkih gubitaka kvalitete, poput smanjenja volumena kruha, teksturalnih promjena i smanjenog senzorskog prihvaćanja.

U pokušaju procjene potencijalne uloge svakog od čimbenika u štetnom djelovanju posija ili suprotstavljanja štetnim utjecajima posija, istraženi su različiti tretmani kao što su smanjenje veličine čestica, toplinska i hidrotoplinska obrada, fermentacija posija ili enzimska obrada. Unatoč tome, opći konsenzus o ulozi pojedinačnih svojstava posija ili kako uspješno modificirati posije kako bi se suprotstavilo negativnim učincima na proces proizvodnje kruha još uvijek nedostaju. Obrada pšeničnih posija stoga predstavlja koristan alat u istraživanju učinaka posija u procesu proizvodnje kruha pod uvjetom da se promjene u svojstvima posija i kruha tijekom obrade pažljivo analiziraju, povezuju i tumače u specifičnom eksperimentalnom postavljanju istraživanja.

Konačno, osim potrebe za poboljšanim uvidom u funkcionalnost pšeničnih posija s obzirom na tehnološke i organoleptičke aspekte kruha, potrebno je daljnje istraživanje kako bi se utvrdio utjecaj postupaka obrade posija na prehrambena svojstva, budući da treba postojati odgovarajuća ravnoteža između poboljšanja kakvoće kruha, s jedne strane, i optimalnog iskorištavanja prehrambenog potencijala hranjivih svojstava posija, s druge strane.

## 4. LITERATURA

- AACC International (1999) Whole grains, <http://www.aaccnet.org/initiatives/definitions/Pages/WholeGrain.aspx> Pristupljeno 18. srpnja 2017.
- Anson, N.M., Hemery, Y.M., Bast, A., Haenen, G.R.M.M. (2012) Optimizing the bioactive potential of wheat bran by processing. *Food & Function* **3**: 362-375.
- Auffret, A., Ralet, M.C., Guillon, F., Barry, J.L., Thibault, J.F. (1994) Effect of grinding and experimental conditions on the measurement of hydration properties of dietary-fibers. *Food Science and Technology* **27**:166–172.
- Bast, A., Haenen, G.R., van der Berg, R., van der Berg, H. (1998) Antioxidant effects of carotenoids. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* **68**: 399-403.
- Behne, D., Kyriakopoulos, A. (2001) Mammalian selenium-containing proteins. *Annual Review of Nutrition* **21**: 453-473.
- Beta, T., Nam, S., Dexter, J.E., Sapirstein, H.D. (2005) Phenolic Content and Antioxidant Activity of Pearled Wheat and Roller Milled Fractions. *Cereal Chemistry* **82**:390-393.
- Cai, L., Choi, I., Hyun, J.N., Jeong, Y.K., Baik, B.K. (2013) Influence of bran particle size on bread-baking quality of whole grain wheat flour and starch retrogradation. *Cereal Chemistry* **91**:65–71.
- Campbell, G.M., Ross M, Motoi, L. (2008) Bran in bread: effects of particle size and level of wheat and oat bran on mixing, proving and baking. U: Bubbles in food 2: Novelty, health and luxury, Campbell, G.M., Scanlon, M.G., Pyle, D.L., ur., Elsevier. str. 439.
- Caprez, A., Arrigoni, E., Amado, R., Neukom, H. (1986) Influence of different types of thermal treatment on the chemical composition and physical properties of wheat bran. *Journal of Cereal Science* **4**:233–239.
- Chamberlain, N., Collins, T., McDermott, E. (1981) Alpha-amylase and bread properties. *International Journal of Food Science & Technology* **16**:127–152.
- Chaplin, M.F. (2003) Fibre and water binding. *Proceedings of the Nutrition Society* **62**:223–227.
- Chen, H., Rubenthaler, G.L., Leung, H.K., Baranowski, J.D. (1988) Chemical, physical, and baking properties of apple fiber compared with wheat and oat bran. *Cereal Chemistry* **65**:244–247.

- Cho, S.S., Clark, C., Uribe-Saucedo, S. (2004) Gastrointestinal and other physiological effects of wheat bran. *Cereal Foods World* **49**: 140-144.
- Coda, R., Kärki, I., Nordlund, E., Heiniö, R.L., Poutanen, K., Katina, K. (2014) Influence of particle size on bioprocess-induced changes on technological functionality of wheat bran. *Food Microbiology* **37**:69–77.
- Combs, G.F., McClung, J.P. (2017) The Vitamins. Fundamental Aspects in Nutrition and Health, 5. izd., Elsevier. str. 297-314 i 351-370.
- Courtin, C.M., Delcour, J.A. (2002) Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. *Journal of Cereal Science* **35**:225–43.
- Curti, E., Carini, E., Bonacini, G., Tribuzio, G., Vittadini, E. (2013) Effect of the addition of bran fractions on bread properties. *Journal of Cereal Science* **57**:325–32.
- de Kock, S., Taylor, J., Taylor, J.R.N. (1999) Effect of heat treatment and particle size of different brans on loaf volume of brown bread. *Food Science and Technology* **32**: 349-356.
- Desvignes, C., Olive, C., Lapiere, C., Rouau, X., Pollet, B., Lullien-Pellerin, V. (2006) Effects of calcium chloride treatments on wheat grain peroxidase activity and outer layer mechanical properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **86**: 1596-1603.
- Dreese, P.C., Hosney, R.C. (1982) Baking properties of the bran fraction from brewer spent grains. *Cereal Chemistry* **59**:89–91.
- Eissa, H.A., Ramadan, M.T., Ali, H.S., Ragab, G.H. (2013) Optimizing oil reduction in fried eggplant rings. *Journal of Applied Sciences Research* **9**: 3708–3717.
- Every, D., Griffin, W.B., Wilson, P.E. (2003) Ascorbate oxidase, protein disulfide isomerase, ascorbic acid, dehydroascorbic acid and protein levels in developing wheat kernels and their relationship to protein disulfide bond formation. *Cereal Chemistry* **80**:35–9.
- Every, D., Morrison, S.C., Simmons, L.D., Ross, M.P. (2006a) Distribution of glutathione in millstreams and relationships to chemical and baking properties of flour. *Cereal Chemistry* **83**:57–61.
- Every, D., Simmons, L.D., Ross, M.P. (2006b) Distribution of redox enzymes in millstreams and relationships to chemical and baking properties of flour. *Cereal Chemistry* **83**:62–8.
- Fang, Y.Z., Yang, S., Wu, G. (2002) Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition* **18**: 872-879.

- Fardet, A., Rock, E., Remesy, E. (2008) Is the *in vitro* antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected *in vivo*? *Journal of Cereal Science* **48**: 258– 276.
- Ferguson, L.R., Harris, P.J. (1997) Particle size of wheat bran in relation to colonic function in rats. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* **30**: 735 - 742.
- Ganji, S.H., Qin, S., Zhang, L., Kamanna, V.S., Kashyap, M.L. (2009) Niacin inhibits vascular oxidative stress, redox-sensitive genes, and monocyte adhesion to human aortic endothelial cells. *Atherosclerosis* **202**: 68 – 75.
- Gobbetti, M., Corsetti, A., Rossi, J. (1995) Interaction between lactic acid bacteria and yeasts in sour-dough using a rheofermentometer. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* **11**:625–630.
- Gómez, M., Jimenez, S., Ruiz, E., Oliete, B. (2011) Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. *LWT- Food Science and Technology* **44**:2231–2237.
- Grosch, W., Wieser, H. (1999) Redox Reactions in Wheat Dough as Affected by Ascorbic Acid. *Journal of Cereal Science* **29**: 1 - 16.
- Hayden, M., Tyagi, S. (2004) Homocysteine and reactive oxygen species in metabolic syndrome, type 2 diabetes mellitus, and atheroscleropathy: The pleiotropic effects of folate supplementation. *Nutrition Journal* **3**: 4.
- Hemdane, S., Jacobs, P.J., Dornez, E., Verspreet, J., Delcour, J.A., Courtin, C.M. (2015) Wheat (*Triticum aestivum* L.) Bran in Bread Making: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **15**: 28 – 42.
- Hemery, Y., Chaurand, M., Holopainen, U., Lampi, A. M., Lehtinen, P., Piironen, V., Sadoudi, A., Rouau, X. (2011) Potential of dry fractionation of wheat bran for the development of food ingredients, part I: Influence of ultra-fine grinding. *Journal of Cereal Science* **53**: 1 - 8.
- Hemery, Y., Rouau, X., Dragan, C., Bilici, M., Beleca, R., Dascalescu, L. (2009) Electrostatic properties of wheat bran and its constitutive layers: Influence of particle size, composition, and moisture content. *Journal of Food Engineering* **93**: 114-124.
- Hemery, Y.M., Anson, N.M., Havenaar, R., Haenen, G.R.M.M., Noort, M.W.J., Rouau, X. (2010) Dry-fractionation of wheat bran increases the bioaccessibility of phenolic acids in breads made from processed bran fractions. *Food Research International* **43**: 1429 - 1438.

- Hung, P.V., Hatcher, D.W., Barker, W. (2011) Phenolic acid composition of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities. *Food Chemistry* **126**: 1896-1901.
- Jacobs, P.J., Hemdane, S., Dornez, E., Delcour, J.A., Courtin, C.M. (2015) Study of hydration properties of wheat bran as a function of particle size. *Food Chemistry* **179**:296–304.
- Katina, K., Juvonen, R., Laitila, A., Flander, L., Nordlund, E., Kariluoto, S., Piironen, V., Poutanen, K. (2012) Fermented wheat bran as a functional ingredient in baking. *Cereal Chemistry* **89**:126–134.
- Katina, K., Laitila, A., Juvonen, R., Liukkonen, K.H., Kariluoto, S., Piironen, V., Landberg, R., Aman, P., Poutanen, K. (2007) Bran fermentation as a means to enhance technological properties and bioactivity of rye. *Food Microbiology* **24**:175–186.
- Kent, N.L. (1966) Subaleurone endosperm cells of high protein content. *Cereal Chemistry* **43**:585–601.
- Kim, B.K., Chun, Y.G., Cho, A.R., Park, D.G. (2012) Reduction in fat uptake of doughnut by microparticulated wheat bran. *International Journal of Food Science and Nutrition* **63**: 987–995.
- Koehler, P., Hartmann, G., Wieser, H., Rychlik, M. (2007) Changes of folates, dietary fiber, and proteins in wheat as affected by germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **55**: 4678 - 4683.
- Lai, C.S., Davis, A.B., Hoseney, R.C. (1989c) Production of whole wheat bread with good loaf volume. *Cereal Chemistry* **66**:224–227.
- Lai, C.S., Hoseney, R.C., Davis, A.B. (1989a) Effects of wheat bran in breadmaking. *Cereal Chemistry* **66**: 217 – 219.
- Lai, C.S., Hoseney, R.C., Davis, A.B. (1989b) Functional effects of shorts in breadmaking. *Cereal Chemistry* **66**:220–223.
- Laurikainen, T., Harkonen, H., Autio, K., Poutanen, K. (1998) Effects of enzymes in fibre-enriched baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **76**:239–249.
- Li, J., Kang, J., Wang, L., Li, Z., Wang, R., Chen, Z.X., Hou, G.G. (2012) Effect of water migration between arabinoxylans and gluten on baking quality of whole wheat bread detected by magnetic resonance imaging (MRI). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **60**:6507–6514

- Majzooobi M., Farahnaky, A., Nematolahi, Z., Mohammadi Hashemi, M., Taghipour, M.J. (2013) Effect of different levels and particle sizes of wheat bran on the quality of flat bread. *Journal of Agricultural Science and Technology* **15**: 115 – 123.
- Mathewson, P. (2000) Enzymatic activity during bread baking. *Cereal Food World* **45**:98–101.
- Moder, G.J., Finney, K.F., Bruinsma, B.L., Ponte, J.G., Bolte, L.C. (1984) Bread-making potential of straight-grade and whole-wheat flours of Triumph and Eagle-Plainsman V hard red winter wheats. *Cereal Chemistry* **61**: 269 – 273.
- Morello, J. R., Vuorela, S., Romero, M.P., Motilva, M. J., Heinonen, M. (2005) Antioxidant activity of olive pulp and olive oil phenolic compounds of the arbequina cultivar. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**: 2002 - 2008.
- Mosharraf, L., Kadivar, M., Shahedi, M. (2009) Effect of hydrothermally treated bran on physicochemical, rheological and microstructural characteristics of Sangak bread. *Journal of Cereal Science* **49**:398–404.
- Nelles, E.M., Randall, P.G., Taylor, J.R.N. (1998) Improvement of brown bread quality by prehydration treatment and cultivar selection of bran. *Cereal Chemistry* **75**:536–540.
- Noort, M.W.J., van Haaster, D., Hemery, Y., Schols, H.A., Hamer, R.J. (2010) The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality – evidence for fibre–protein interactions. *Journal of Cereal Science* **52**:59–64.
- Onipe, O.O., Jideani, A.I.O., Beswa, D. (2015) Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products. *International Journal of Food Science and Technology* **50**: 2509 - 2518.
- Peyron, S., Abecassis, J., Autran, J.C., Rouau, X. (2001) Enzymatic oxidative treatments of wheat bran layers: effects on ferulic acid composition and mechanical properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **49**: 4694 - 4699.
- Pomeranz, Y., Shogren, M.D., Finney, K.F., Bechtel, D.B. (1977) Fiber in breadmaking - effects on functional properties. *Cereal Chemistry* **54**: 25 – 41.
- Ralet, M.C., Thibault, J.F., Valle, G.D. (1990) Influence of extrusion-cooking on the physicochemical properties of wheat bran. *Journal of Cereal Science* **11**:249–259.
- Rani, K.U., Prasada Rao, U.J.S., Leelavathi, K., Haridas Rao, P. (2001) Distribution of enzymes in wheat flour mill streams. *Journal of Cereal Science* **34**:233–242.

- Rasco, B.A., Borhan, M., Yegge, J.M., Lee, M.H., Siffring, K., Bruinsma, B. (1991) Evaluation of enzyme and chemically treated wheat bran ingredients in yeast-raised breads. *Cereal Chemistry* **68**: 295–299.
- Rogers, D., Hosenev, R.C. (1982) Problems associated with producing whole wheat bread. *Cereal Food World* **27**: 451–456.
- Roozendaal, H., Abu-Hardan, M., Frazier, R.A. (2012) Thermogravimetric analysis of water release from wheat flour and wheat bran suspensions. *Journal of Food Engineering* **111**: 606–611.
- Sanz Penella JM, Collar C, Haros M. (2008) Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. *Journal of Cereal Science* **48**: 715–721.
- Sanz Penella, J.M., Laparra, J.M., Sanz, Y., Haros, M. (2012) Influence of added enzymes and bran particle size on bread quality and iron availability. *Cereal Chemistry* **89**:223–9.
- Sapirstein H.D. (2016) Bioactive Compounds in Wheat Bran. U: Encyclopedia of Food Grains, 2. izd., Wrigley, C., Corke, H., Seetharaman, K., Faubion, J., ur., Elsevier, Volumen 1. str. 268 – 276.
- Schmiele, M., Jaekel, L.Z., Patricio, S.M.C., Steel, C.J., Chang, Y.K. (2012) Rheological properties of wheat flour and quality characteristics of pan bread as modified by partial additions of wheat bran or whole grain wheat flour. *International Journal of Food Science & Technology* **47**: 2141-2150.
- Seyer, M.E., Gelinas, P. (2009) Bran characteristics and wheat performance in whole wheat bread. *International Journal of Food Science & Technology* **44**: 688–693.
- Shaheen, A.A., Abd El-Fattah, A.A. (1995) Effect of dietary zinc on lipid peroxidation, glutathione, protein thiols levels and superoxide dismutase activity in rat tissues. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology* **27**: 89-95.
- Surget, A., Barron, C. (2005) Histologie du grain de blé. *Industrie des Céréales* **145**: 3-7.
- Tait, S.P.C., Galliard, T. (1988) Effect on baking quality of changes in lipid composition during wholemeal storage. *Journal of Cereal Science* **8**:125–137.
- Tosi, P., Gritsch, C.S., He, J., Shewry, P.R. (2011) Distribution of gluten proteins in bread wheat (*Triticum aestivum*) grain. *Annals of Botany* **108**:23–35.



- Ugarčić-Hardi, Z., Komlenic, D.K., Jukic, M., Kules, A., Jurkin, I. (2009) Quality properties of white bread with native and extruded wheat bran supplements. *Czech Journal of Food Sciences* **27**:285–289.
- van der Kamp, J. (2003) New perspectives for dietary fibre research and development of novel research tools. *Cereal Foods World* **48**: 257-259.
- van der Kamp, J.W., Poutanen, K., Seal, C.J., Richardson, D.P. (2014) The HEALTHGRAIN definition of 'whole grain'. *Food & Nutrition Research* **58**: 22100.
- Wang, M., Hamer, R.J., van Vliet, T., Oudgenoeg, G. (2002) Interaction of water extractable pentosans with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality. *Journal of Cereal Science* **36**:25–37.
- Wang, M., Oudgenoeg, G., van Vliet, T., Hamer, R.J. (2003) Interaction of water unextractable solids with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality. *Journal of Cereal Science* **38**:95–104.
- Wang, M., van Vliet, T., Hamer, R.J. (2004) How gluten properties are affected by pentosans. *Journal of Cereal Science* **39**:395–402.
- Wang, W.M., Klopfenstein, C.F., Ponte, J.G. (1993) Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat and wheat bran and on the baking quality of the wheat bran. *Cereal Chemistry* **70**:707–711.
- Wootton, M., Shams-Ud-Din, M. (1986) The effects of aqueous extraction on the performance of wheat bran in bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **37**: 387–390.
- Yadav, D.N., Rajan, A. (2012) Fibres as an additive for oil reduction in deep fat fried poori. *Journal of Food Science and Technology* **49**: 767–773.
- Yazdanseta, P., Tarzi, B.G., Gharachorloo, M. (2015) Effect of some hydrocolloids on reducing oil uptake and quality factors of fermented donuts. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* **6**: 233–241.
- Zeisel, S.H., Blusztajn, J.K. (2003) Choline and Human Nutrition. *Annual Review of Nutrition* **14**: 269-296.
- Zhang, D., Moore, W.R. (1997) Effect of wheat bran particle size on dough rheological properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **74**: 490–496.
- Zhang, D., Moore, W.R. (1999) Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **79**: 805-809.

Zadnja stranica završnog rada

(uključiti u konačnu verziju završnog rada u pdf formatu, kao skeniranu potpisanu stranicu)

## Izjava o izvornosti

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

ture tutolić

ime i prezime studenta