Korelacija reoloških svojstava ječma i kvalitete slada

Grgić, Ilija

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:514098

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

REPOZITORIJ PTFOS PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Ilija Grgić

KORELACIJA REOLOŠKIH SVOJSTAVA JEČMA I KVALITETE SLADA

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2015.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za prehrambene tehnologije
Katedra za tehnologiju ugljikohidrata
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda
Tema rada je prihvaćena na VIII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek održanoj 26. svibnja, 2015.
Mentor: *Jurislav Babić, izv. prof. dr. sc.*
Pomoć pri izradi: *dr. sc. Antun Jozinović*

KORELACIJA REOLOŠKIH SVOJSTAVA JEČMA I KVALITETE SLADA

Ilija Grgić, 223-DI

Sažetak:
Cilj ovog rada bio je utvrditi fizikalno-kemijska svojstva različitih sorti ozimog ječma te slada dobivenog od različitih sorti ozimog ječma. U istraživanju je korišteno 18 uzoraka ozimog ječma žetve iz 2014. godine. Analiziran je kemijski sastav uzoraka ječma (udio vode, škroba i proteina) te viskozitet ječmenog brašna Mikro Visko-amilografom. Sladu su analizirana fizikalna (ekstrakt, friabilnost i viskozitet) te kemijska svojstva (Kolbach indeks, udio vode te ukupnih i topljivih proteina).
Rezultati su pokazali da su svi uzorci ozimog ječma imali približno jednaka kemijska svojstva. Kemijski sastav slada se nije značajno razlikovao za sve uzorke slada dobivenog od različitih sorti ozimog ječma. Udio ekstrakta najvažniji je pokazatelj kvalitete slada,a u sladu od svih sorti ozimog ječma bio je niži od donje granice kvalitete. Kolbachov indeks je također bio nešto niži od uobičajenog. Najvišu temperaturu želatinizacije imala je sorta *Vanessa*, a najnižu sorta *Zlatko*. Sorta ječma *Gordon* imala je najviše, a sorta *Vanessa* najniže vrijednosti viskoznosti paste, vrijednost setback i vrijednost kidanja, nastale nakon želatinizacije, pri svim uvjetima mjerenja.

Ključne riječi: *ozimi ječam, slad, reološka svojstva*

Rad sadrži: 42 stranice
9 slika
6 tablica
0 priloga
28 literaturnih referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

1.	dr. sc. *Drago Šubarić,* prof.	predsjednik
2.	dr. sc. Jurislav Babić, izv. prof.	član-mentor
3.	dr. sc.*Gordana Šimić,* znanstvena savjetnica	član
4.	dr. sc. *Marko Jukić,* izv. prof.	zamjena člana

Datum obrane: 11, rujna, 2015.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Department of Food Technologies
Subdepartment of Carbonhydrates Tehnology
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

Scientific area: Biotechnical sciences
Scientific field: Food technology
Course title: Tehnology of Carbonhydrates and Confectionery products
Thesis subject was approved by the Faculty Council of the Faculty of Food Technology Osijek at its session no. VIII. held on May 26, 2015.
Mentor: *Jurislav Babić*, PhD, associate professor
Technical assistance: *Antun Jozinović, PhD*

CORRELATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF BARLEY AND MALT QUALITY

Ilija Grgić, 223-DI

Summary:
The aim of this study was to determine the physical and chemical properties of the different varieties of winter barley and malt obtained from different varieties of winter barley. The study used 18 samples of winter barley harvested in 2014. The chemical composition (water content, starch and protein), and the viscosity of barley samples by Micro Visco-amylograph were analyzed. In addition, physical (extract, Friability and viscosity) and chemical properties (Kolbach index, water content and total and soluble protein content) of the malt were determined.
The results showed that all the samples of winter barley had similar chemical properties. The chemical composition of the malt was not significantly different for all malt samples obtained from different varieties of winter barley. The share of the extract is the most important indicator of the quality of malt, and malt of all varieties of winter barley was lower than the lowest limit of quality. Kolbach's index was also slightly lower than normal. The highest temperature of gelatinization had variety Vanessa, and the lowest variety Zlatko. The variety of barley Gordon had the highest and variety Vanessa the lowest values of viscosity, the setback and the breakdown after gelatinization, in all measurement conditions.

Key words: *Winter barley, malt, rheological properties*

Thesis contains: 42 pages
9 figures
6 tables
0 supplements
28 references

Original in: Croatian

Defense committee:

1.	*Drago Šubarić*, PhD, prof.	chair person
2.	*Jurislav Babić*, PhD, associate prof.	supervisor
3.	*Gordana Šimić*, PhD, scientifik advisor	member
4.	*Marko Jukić*, PhD, associate prof.	stand-in

Defense date: September day 11., 2015.

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

Zahvaljujem svom mentoru izv. prof. dr. sc. Jurislavu Babić s Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku na ukazanom povjerenju i podršci te korisnim savjetima tijekom izrade diplomskog rada.

Posebno se želim zahvaliti mojim roditeljima koji su mi omogućili školovanje te sestrama, ostaloj rodbini i prijateljima na podršci i razumijevanju kroz svih 5 godina provedenih u Osijeku.

Sadržaj

1. UVOD 1

2. TEORIJSKI DIO 3

2.1. JEČAM 4

2.1.1. GRAĐA I KEMIJSKI SASTAV JEČMA 5

2.1.1.1. GRAĐA ZRNA JEČMA 5

2.1.1.2. KEMIJSKI SASTAV ZRNA JEČMA 7

2.2. SLAĐENJE JEČMA 12

2.2.1. PROIZVODNJA SLADA 13

2.2.2. MODIFIKACIJA ENDOSPERMA ZRNA JEČMA TIJEKOM SLAĐENJA 14

2.3. REOLOGIJA 19

2.3.1. REOLOŠKA SVOJSTVA ŠKROBA I BRAŠNA 19

2.3.1.1. MICRO-VISKO AMILOGRAF 20

3. EKSPERIMENTALNI DIO 23

3.1. ZADATAK 23

3.2. MATERIJAL 23

3.2.1. SORTE OZIMOG JEČMA 23

3.3. METODE 24

3.3.1. ODREĐIVANJE FIZIKALNO-KEMIJSKIH SVOJSTAVA ZRNA JEČMA I SLADA 24

3.3.2. ODREĐIVANJE REOLOŠKIH SVOJSTAVA MIKRO VISCO-AMILOGRAFOM 25

4. REZULTATI 27

5. RASPRAVA 33

6. ZAKLJUČCI 38

7. LITERATURA 40

1. UVOD

Ječam (*Hordeum sativum*) je široko uzgajana žitarica koja ima široku primjenu u prehrambenoj industriji. Zrna ječma koriste se za proizvodnju griza i pahuljica, koje se koriste u proizvodnji različitih prehrambenih proizvoda, za proizvodnju škroba, a iz ječmenih klica se proizvodi ulje. Također, ječam je osnovna sirovina za proizvodnju slada koji se koristi za proizvodnju piva i viskija i drugih alkoholnih pića. Sladni sirup se upotrebljava u pekarskoj, konditorskoj, farmaceutskoj i tekstilnoj industriji te u proizvodnji alkohola, octa, kvasca i drugih proizvoda. Prženjem zrna ječma dobiva se proizvod koji se koristi kao nadomijestak kavi. Ječmeno brašno koristi se u proizvodnji različitih pekarskih proizvoda kao dodatak pšeničnom brašnu.

Kontroliranim procesom klijanja zrna ječma u industrijskim razmjerima proizvodi se slad (proklijalo zrno ječma). Svrha slađenja je aktivacija enzima u zrnu ječma te modifikacija sastojaka endosperma. Ječam namijenjen za slađenje mora udovoljiti posebnim zahtjevima koje postavlja industrija piva. Iako je sladarska kakvoća ovisna o genotipu, značajan utjecaj imaju, također i okolišni uvjeti kao što su tip tla te fluktuacija u temperaturi i padalinama tijekom uzgoja. Regije s umjerenim temperaturama i više oborina najpovoljnije su za proizvodnju kvalitetnog pivskog ječma. Međutim pivski ječam proizvodi se i u područjima gdje su klimatski uvjeti nepovoljni, posebno za uzgoj jarog ječma.

U mnogim procesima i operacijama prehrambene industrije potrebno je za definiranje određenih procesnih parametara poznavanje reoloških svojstava odgovarajućih materijala (krutina ili tekućina), odnosno njihovo ponašanje (deformacija ili tečenje) pod utjecajem djelovanja nametnute sile (naprezanja). Deformacija je promjena oblika i dimenzija nekog tijela pod utjecajem sile, a tečenje kontinuirana promjena deformacije s vremenom. Reologija je znanstvena disciplina koja se bavi tečenjem i deformacijom kako krutih (čvrstih), tako i tekućih materijala. Kod prehrambenih proizvoda, osim pri određivanju procesnih uvjeta, reologija se koristi i za definiranje parametara kakvoće. Osnovna reološka svojstva krutih materijala su elsatičnost i plastičnost, a tekućih (fluida) viskoznost.

U ovom radu ispitivana su fizikalno-kemijska svojstva različitih sorti ozimog ječma i slada te reološka svojstava različitih sorti ozimog ječma na kvalitetu slada. Ispitivanje je provedeno na Brabenderovom Micro Visco-amylograph-u.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. JEČAM

Ječam (*Hordeum vulgare L.*) je jedna od najstarijih ratarskih kultura koja je prvobitno služila za prehranu ljudi, a danas se pretežito koristi za proizvodnju slada u industriji piva i u ishrani stoke. Ječam spada u porodicu *Poaceae*, tribus (odjel) *Triticeae*, subtribus (pododjel) *Hordeinae* i genius (rod) *Hordeum* koji obuhvaća oko 25 vrsta. Svi kultivirani oblici ječma svrstani su u jednu vrstu, *Hordeum vulgare* (Šimić, 2009.).

Kultivirana se vrsta ječma *Hordeum vulgare* prema razvijenosti, rasporedu i fetilnosti klasića dijeli u pet konvarijeteta (suvarijeteta):

- Hordeum vulgare convar. hexastichon (višeredni ječam)
- Hordeum vulgare convar. intermedium (prijelazni ječam)
- Hordeum vulgare convar. distichon (dvoredni ječam)
- Hordeum vulgare convar. dificiens (nepotpuni ječam)
- Hordeum vulgare convar. labile-irregulare (labilni ječam) (Šimić, 2009).

Najveći značaj u oplemenjivanju i proizvodnji ječma imaju konvarijeteti dvoredog (*distichon*) i šesterorednog (*hexastichon*) ječma sa svojim brojnim varijetetima i formama. Višeredni ječam ima otpuno razvijena sva tri klasića na nodiju: centralne i lateralne, svaki sa po jednim dvospolnim plodnim cvijetom. Zrna centralnih klasića su veća i simetrična. Za razliku od lateralnih koja su kod formi koje se kultiviraju manja, lakša i nesemetrična (pri dnu uvijena). Dvoredi ima samo centralne klasiće, dvospolne i plodne, dok su lateralni reducirani i neplodni. Iz toga rezultira klas koji na svakoj strani ima po jedan red podjednako razvijenih simetričnih zrna. Po toj se karakteristici može i nakon vršidbe raspoznati radi li se o sjemenu kultivara višerednog ili dvoredog ječma (Šimić, 2009.).

Ječam se najviše uzgaja u području između 55. i 65. stupnja sjeverne zemljopisne širine gdje se uzgaja najviše jari, na oko 80% površina, dok se fakultativni i ozimi kultivari uzgajaju na oko 20% površina, uglavnom u Europi, Srednjoj Aziji i Zakavkazju. U ukupnoj svjetskoj proizvodnji žitarica ječam zauzima četvrto mjesto, a u Europi se proizvodi približno 60% ukupne svjetske proizvodnje ječma. Prema podacima FAO-a, od 1909. godine do danas u porastu su površine, prosječni prinosi i općenito proizvodnja ječma (Lásztity, 1999.; Šimić, 2009.).

Među žitaricama ječam ima najveće područje rasprostranjenosti, što se objašnjava visokim polimorfizmom i lakom prilagođavanju različitim klimatskim i zemljišnim uvjetima. Postoje ozime sorte i jare sa nešto kraćom vegetacijom te jari u odnosu na ozimi ječam ima odliku bolje i ujednačenije kakvoće slada (Lalić i Kovačević, 1997.). Izrazito je samoplodna kultura kod koje je postotak stranooplodnje u prirodnim uvjetima ispod 1%. Stoga u oplemenjivačkom i sjemenarskom radu s ječmom nije potrebna prostorna izolacija te se kultivari mogu uzgajati jedan pored drugog (Šimić, 2009.).

Obzirom na namjenu, potrebno je razlikovati dvije vrste ječma:

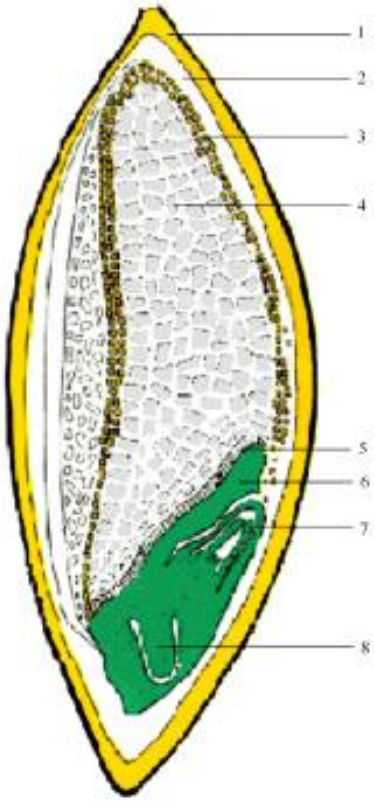
- ječam namijenjen industriji slada i piva (pivski ječam) i
- ječam za ishranu stoke (krmni ili stočni ječam).

Pivarski ječam mora udovoljavati uvjetima koje postavlja industrija slada, kao što su okruglo i dobro ispunjeno zrno, fino naborana pljevica, visoka masa 1000 zrna, visok udio zrna prve klase, visoka klijavost te odgovarajući parametri kakvoće slada, dok ječam namijenjen ishranu stoke mora imati odgovarajuću količinu bjelančevina, sastav i udio esencijalnih aminokiselina. (Marić, 2000.; Šimić 2009.)

2.1.1. Građa i kemijski sastav ječma

2.1.1.1. Građa zrna ječma

Zrno ječma se sastoji od embrionalnog dijela, endosprema i omotača. U embrionalnom dijelu se nalazi embrio sa začecima lisne klice i korjenčića te on predstavlja živi dio zrna iz kojeg klijanjem nastaje nova biljka. Najveći udio predstavljaju proteini (34%), zatim topljivi šećeri (20 – 25%) i lipidi (14 – 17%) te mineralne tvari (5 – 10 %) (Marić, 2000.; Šimić, 2009.).



Slika 1 Presjek zrna ječma (1 – pljevica, 2 – perikarp (oplodnjača) i testa (sjemenjača), 3 – aleuronski sloj, 4 – endosperm, 5 – štitić (*scutellum*), 6 – embrio, 7 – začetak lista i stabljike, 8 – začetak korijena) (Šimić, 2009.).

Embrionalni dio je odvojen od endosperma tankim slojem tkiva *štitića* (*scutellum*) i *epitelijalnim slojem*. Štitić čini poroznu membranu sastavljenu od nekoliko slojeva duguljastih stanica s vrlo tankim stjenkama kroz koju se tijekom klijanja odvija izmjena hranjivih tvari i katalitičkih enzima između embrija i endosperma (Šimić, 2009.).

Endosperm se sastoji od mnoštva stanica ispunjenih škrobnim granulama i bjelančevinama. Za vrijeme klijanja endosperm služi kao izvor hranjivih tvari potrebnih za razvoj embrija. U stanicama endosperma škrobne granule su gusto složene unutar mreže bjelančevina. Mrežu bjelančevina čine skladišne bjelančevine endosperma (*hordeini*). Endosperm je okružen aleuronskim slojem koji se sastoji od stanica bogatih bjelančevinama. Te su stanice važne za induciranu biosintezu hidrolitičkih enzima (α-amilaze, β-glukanaze, peptidaza) koji razgrađuju endosperm i opskrbljuju embrio potrebnim hranjivim sastojcima tijekom klijanja (Šimić, 2009.).

Omotač zrna sastoji se od tri osnovna sloja: *teste*, *perikarpa* i *pljevice* (Kunze, 1999.). *Testa* ili *sjemenjača* je unutrašnja ovojnica smještena neposredno iznad aleuronskog sloja.

Izgrađena je od nekoliko slojeva mrtvih stanica koje sadrže visoki udio voska zbog čega ih se naziva i voštanim slojem stanica. Testa obavija cijelo zrno i propušta samo čistu vodu, ali ne i soli koje su u njoj otopljene što ju čini polupropusnom opnom. Sljedeća ovojnica prema vanjskom dijelu zrna je *perikarp* ili *oplodnjača* koja je srasla sa sjemenjačom. Zatim slijedi *epidermis* koji je s vanjske strane zaštićen *pljevicom*. Osnovna uloga pljevice prije svega je mehanička zaštita zrna. Pljevica se uglavnom sastoji od celuloze i lignina, dok ostatak čine pentozani, manani, uronične kiseline, β-glukani i silicij koji joj daje tvrdoću (Gaćeša, 1979.; Marić, 2000.).

2.1.1.2. Kemijski sastav zrna ječma

Zrno ječma je složenog kemijskog sastava. Prema **tablici 1** najveći udio zauzimaju ugljikohidrati (78 – 83%), slijede proteini (8 – 15%), lipidi (2 – 3%) te mineralne tvari (1,9 – 2,5%).

Tablica 1 Kemijski sastav suhe tvari zrna ječma (Šimić, 2009.)

Prosječni sastav suhe tvari zrna ječma	**%/ST**
Ukupni ugljikohidrati	78 – 83
Škrob	51 – 67
Saharoza	1 – 2
Monosaharidi	1 – 2
Arabinoksilani	4 – 8
β-glukani	2,5 – 6
Celuloza	2 – 5
Ukupne bjelančevine	8 – 15
Albumini i globulini	1 – 4
Hordeini	3 – 6
Glutelini	3 – 6
Aminokiseline i peptidi	0,5
Ukupni lipidi	2 – 3
Trigliceridi	0,5 – 1,3
Fosfo i glikolipidi	0,5 – 1,3
Voskovi i steroli	0,1 – 0,2
Mineralne tvari	1,9 – 2,5

UGLJIKOHIDRATI – čine najveći dio suhe tvari ječma. Po svom sastavu i ulozi tijekom prerade ječma te značajnosti za kakvoću proizvoda, pojedini se ugljikohidrati međusobno jako razlikuju. To su organski spojevi izgrađeni od ugljika, vodika i kisika, opće formule

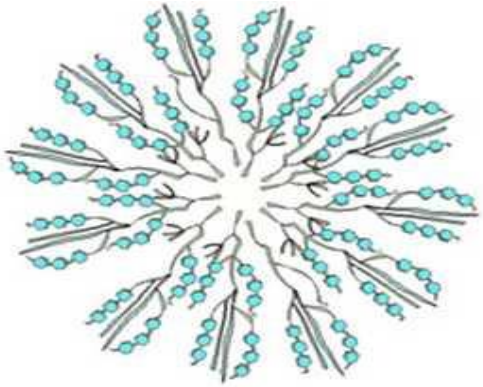
$C_6H_{12}O_6$ ili $C_6H_{10}O_5$. Po kemijskom sastavu oni su polihidroksialdehidi ili polihidroksiketoni ili tvari koje hidrolizom daju takve spojeve. Oligosaharidi hidrolizom daju dvije ili više molekula monosaharida, dok polisaharidi hidrolizom daju mnogo molekula monosaharida. Uglavnom su prisutni u biljkama i životinjama, gdje predstavljaju značajan izvor hrane (Babić, 2007.; Ačkar, 2010.). U proizvodnji slada značajnu ulogu imaju škrob, šećeri i celuloza kao i hemiceluloze i gumaste tvari (Kunze, 1999.).

Škrob – najrasprostranjeniji ugljikohidrat u svim žitaricama, polisaharid opće formule $(C_6H_{10}O_5)_n$ i čini 51 – 67% suhe tvari i on je najvažniji sastojak ječma (Tablica 1). U zelenim biljkama nastaje fotosintezom, a predstavlja im najvažniji rezervni ili gradivni sastojak tijekom mirovanja, klijanja i rasta. Nagomilava se u gomoljima (krumpir), korijenu (tapioka), sjemenkama (žito, ječam, kukuruz, raž i riža) i plodovima biljaka. Škrob je fini, bijeli prah, neutralan, bez mirisa, a okusa po brašnu. Zbog jedinstvenih kemijskih i fizikalnih svojstva te nutritivnih vrijednosti škrob predstavlja najvažniji polisaharid u ljudskoj prehrani (Babić, 2007.; Ačkar, 2010.).

Škrob se u žitaricama nalazi u stanicama endosperma u obliku škrobnih zrnaca. Ona se sastoje od amiloze i amilopektina. To su dva različita ugljikohidrata jednake bruto formule $(C_6H_{10}O_5)_n$, izrađena od α–D–glukoze, koji se razlikuju po stupnju polimerizacije i razgranatosti, a to se odražava i na mogućnost njihove razgradnje za vrijeme slađenja i komljenja (Babić, 2007.; Ačkar, 2010.).

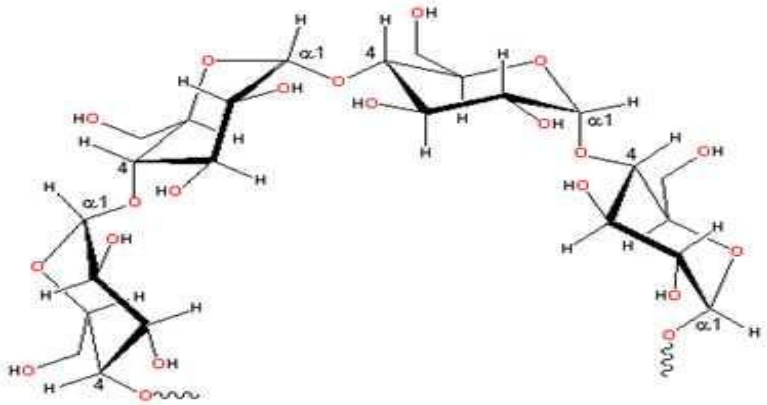
Građa škrobne granule

Vanjski dio škrobne granule građen je iz amilopektina, a unutarnji dio od amiloze. Udio amiloze se najčešće kreće od 20 do 30%, a amilopektina od 70 do 80%. No postoje i škrobovi koji sadrže manje od 15% amiloze (voštani škrobovi) ili više od 40% amiloze (visokoamilozni škrobovi). Omjer amiloze i amilopektina utječe na svojstva škrobnih granula kao što su temperatura želatinizacije, retrogradacije i viskoznosti. Zbog osnovne molekularne strukture granula (radijalna sredina), određeni dijelovi potpuno apsorbiraju polarizirano svjetlo te se stoga škrobne granule mogu identificirati pomoću polariziranog svjetla. Škrobne granule se pojavljuju u različitim veličinama i oblicima što ovisi o izvoru. Veličina granula se kreće od 1 do 100 μm (Babić, 2007.; Ačkar, 2010.).



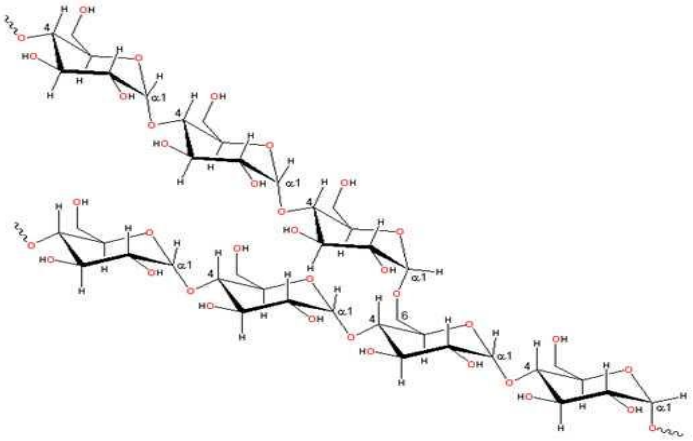
Slika 2 Kristalna struktura škroba (Novaković, 2008)

Amiloza je linearan polimer izgrađen od 500 do 1500 molekula α–D–glukoze povezanih α–1,4 glikozidnim vezama. Iako je to linearni polimer, ipak je prisutan mali stupanj grananja oko 0,3 – 0,5% α–1,6 glikozidnih veza. Amiloza u suspenzijama s nižim udjelom suhe tvari teži kristalizaciji (retrogradaciji), dok pri višim udjelima amiloze dolazi do tvorbe gela (Babić, 2007.; Ačkar, 2010.).



Slika 3 Struktura amiloze (Novaković, 2008)

Amilopektin je razgranati polimer izgrađen od glukoznih jedinica povezanih α–1,4 glikozidnim vezama u strukturu ravnog lanca i α–1,6 glikozidnim vezama na mjestima grananja. Jedna je od najvećih molekula u prirodi sa molekulskom masom 10^7 – 10^9, vrlo razgranate strukture koja se sastoji od nekoliko stotina kratkih lanaca, a svaki lanac ima oko 20 – 25 jedinica α–D–glukoze (Babić, 2007.; Ačkar, 2010.).



Slika 4 Struktura amilopektina (Novaković , 2008)

Želatinizacija i retrogradacija škroba

Neoštećene škrobne granule netopljive su u hladnoj vodi. Zagrijavanjem škrobne suspenzije dolazi do otapanja granula, procesa koji se zove želatinizacija. Temperatura pri kojoj će započeti želatinizacija prije svega ovisi o vrsti škroba i količini vode te prisutnosti različitih tvari u otopini (šećeri, hidrokoloidi i dr.) (Babić, 2007.; Ačkar, 2010.).

Želatinizacija je pojava kod koje na početku zagrijavanja škrobne suspenzije dolazi do reverzibilne hidratacije amorfnih dijelova granule škroba gdje su prisutne slabe vodikove veze. Daljnjim zagrijavanjem dolazi do razgradnje strukture i dodatnog bubrenja. Uslijed razaranja međumolekularnih veza i stvaranje vodikovih mostova s molekulama vode kristalna forma mijenja svoju strukturu i gubi optičku aktivnost. Uslijed porasta temperature granule kontinuiranu primaju vodu i naglo ekspandiraju, dolazi do naprezanja i pucanja veza u kristalnom području, pri čemu se stvaraju nove strukture i škrob postaje ljepljiv. Hlađenjem škrobne paste vodikove veze postaju sve čvršće, odnosno nastaje gel. Želatinizacija uglavnom započinje na temperaturi od 45 °C, svoj maksimum ima pri 60 °C, a završava pri 75 °C. Ovaj proces čini škrob potpuno podložan djelovanju amilolitičkih enzima (Babić, 2007.; Ačkar, 2010.).

Retrogradacija – želatinizirani sustav stajanjem/hlađenjem spontano prelazi u stanje s manjim sadržajem energije. Povezivanje molekula škroba vodikovim vezama nakon hlađenja želatinizirane škrobne paste naziva se retrogradacija. Tijekom retrogradacije dolazi do vezivanja susjednih polimera preko vodikovih mostova, a što je povezano s gubitkom topljivosti. Pri tome škrob prelazi iz otopljenog, disperznog i amorfnog stanja u netopljivo

kristalično stanje. Tijekom retrogradacije škroba molekule amiloze povezuju se u strukturu dvostruke uzvojnice, dok se molekule amilopektina međusobno povezuju pomoću kratkih vanjskih lanaca. Za razliku od amiloze, kod amilopektina do retrogradacije dolazi znatno sporije, a otopina je viskozna, stabilna i otporna prema želatinizaciji. Retrogradacija može imati sljedeće učinke: porast viskoznosti, pojava neprozirnosti i mutnoće, taloženje netopljivih škrobnih dijelova, stvarenje gela te izlučivanje vode iz paste (Babić, 2007.; Ačkar, 2010.).

Šećeri – u ječmu ih ima vrlo malo, od 1,8% do 2%. Uglavnom prevladava saharoza, te monosaharidi. Budući da se nakon žetve zrno nalazi u stanju mirovanja, u njemu se nalaze samo male količine šećera.

Celuloza - u zrnu ječma ima oko 2 – 5% celuloze i ona se nalazi isključivo u pljevici kao strukturna komponenta. Celuloza je netopljiva u vodi i enzimi slada je ne mogu razgraditi te uslijed toga ne utječe na kakvoću piva.

Hemiceluloze - su osnovni sastojci staničnih stijenki endosperma. Sastoje se od 80 do 90% β-glukana i 10 do 20% arabinoksilana koji zajednički sudjeluju u izgradnji staničnih stijenki endosperma. β-glukan se sastoji od nerazgranatih lanaca ostataka glukoze koji su međusobno povezani β-1,4- i β-1,3- vezama. Razgradnja je β-glukana otežana zbog toga što lako prelazi u gel, a to izaziva porast viskoznosti piva. Navedeno svojstvo svrstava β-glukane u gumaste tvari. Molekule se arabinoksilana sastoje od pentoznih molekula, ksiloze i arabinoze. Tijekom slađenja i komljenja arabinoksilani se djelomično razgrađuju i njihov je utjecaj na proizvodnju i kakvoću piva manje značajan u odnosu na utjecaj gumastih tvari (Kunze, 1999.).

PROTEINI – Su makromolekularna organska jedinjenja sastavljena od velikog broja aminokiselina. Udio bjelančevina u zrnu ječma može varirati od 8 do 13% pa čak do 16 %. Na udio bjelančevina u zrnu značajan utjecaj ima količina gnojidbe dušikom. Istraživanja Kirkmana i sur. (1982.) ukazuju da se povećanom gnojidbom dušikom postiže povećanje udjela bjelančevina u zrnu ječma sa 7,87% na 12,94%.

LIPIDI – Lipide ječma uglavnom čine trigliceridi koji se sastoje od trovalentnog alkohola glicerola koji je esterificiran s višim masnim kiselinama (stearinska, oleinska, linolna i linolenska). Količina lipida u zrnu ječma iznosi oko 2 – 3%. Oni se najvećim dijelom nalaze u

aleuronskom sloju i u klici. Ukupna je količina lipida u aleuronskom sloju oko devet puta veća nego u klici.

MINERALNE TVARI - Ječam sadrži između 2% i 3% mineralnih tvari. Najveći dio mineralnih tvari nalazi se u obliku anorganskih spojeva od kojih su najzastupljeniji fosfati (oko 35%), silikati (oko 25%) i soli kalija (oko 20%).

OSTALE TVARI – U ječmu se nalazi i niz drugih tvari koje su zastupljene u malim količinama, a obuhvaćaju taninske i gorke tvari, vitamine i enzime.

Vitamini – U zrnu ječma najvažniji vitamini su vitamin B1 (tiamin) i vitamin B2 (riboflavin) koji se nalaze uglavnom u vanjskim dijelovima zrna. Vitamin C (askorbinska kiselina) prisutan je u vrlo malim količinama te vitamin E (tokoferol) u klici.

Enzimi – U zrnu ječma nalazi se mali broj enzima koji se većinom nalaze u netopljivom, vezanom obliku. Enzimi su neophodni za pretvorbu netopljivih sastojaka endosperma u topljiv oblik, kako bi ih embrio mogao koristiti za izgradnju novih sastojaka stanica ili za dobivanje energije. Najveći se dio enzima aktivira ili se sintetizira tijekom klijanja ječma.

Tanini – Taninske se tvari (polifenoli) nalaze u pljevici ječma, ali ih ima i u aleuronskom sloju. Najveći dio tanina ima odbojno trpak i gorak okus, a s debljinom pljevice njihova količina raste (Kunze, 1999.; Šimić, 2009.).

2.2. SLAĐENJE JEČMA

Slađenje je biološki proces u kojem se klijanje ječma odvija u kontroliranim uvjetima. Klijanje zrna ječma predstavlja početak razvoja nove biljke, koja na kraju svog životnog ciklusa treba dati sjeme (zrno) za reprodukciju sljedeće generacije. Međutim, kontroliranim procesom klijanja zrna ječma u industrijskim omjerima dobiva se slad koji se koristi za proizvodnju piva. Kontrolom temperature i vlažnosti tijekom klijanja zrna usporava se rast izdanka i korjenčića te tako smanjuje utrošak skladišnih sastojaka endosperma za rast lisne klice i korjenčića. Na taj se način dobiva zeleni slad jednolično razgrađenih sastojaka endosperma i visokog udjela hidrolitičkih enzima (Marić, 2000.; Šimić, 2009.).

2.2.1. Proizvodnja slada

Kao osnovna sirovina za proizvodnju slada koristi se ječam. U tradicionalnoj proizvodnji piva ječam se najprije prevede u slad, a zatim se od slada proizvodi pivo. Međutim, ječam se može koristiti i neposredno u prozvodnji piva kao zamjena dijela slada. Primjena ječma počiva na velikoj količini škroba u zrnu i pljevice koja zaostaje na zrnu nakon žetve, kao i nakon njegove prerade u slad. Pljevica kasnije u procesu proizvodnje piva osigurava filtracijski sloj neophodan za cijeđenje sladovine (Gaćeša, 1979.; Kunze, 1999.).

Postupak slađenja u industriji slada može se podijeliti u pet faza:

- čišćenje i sortiranje ječma
- močenje sortiranog ječmenog zrna
- klijanje namočenog zrna
- sušenje zelenog slada
- dorada zelenog slada (Marić, 2000.).

Prije slađenja ječam se čisti, sortira i do prerade čuva u silosima. Čišćenje ječma obuhvaća izdvajanje nečistoća koje se ne mogu sladiti, uklanjanje primjesa koje izazivaju pogoršanje kakvoće slada i povećanje udjela vode te sortiranje ječma prema veličini zrna. Sortiranje ječma je važno jer zrna različite veličine različito primaju vlagu što bi za posljedicu imalo dobivanje slada neujednačene kakvoće, ukoliko se zrna različitih dimenzija ne bi razdvojila (Kunze, 1999.).

Močenjem zrno upija vodu, bubri i naposljetku povećava volumen za jednu trećinu. Tijekom postupka močenja zrno povećava udio vode s početnih 10 – 14% na 42 – 45%. Proces močenja zrna smatra se gotovim kada primarni korjenčić probije pljevicu zrna i pojavljuje se kao zamjetna bijela točka (Marić, 2000.).

Svrha klijanja je prevođenje namočenog ječmenog zrna u zeleni slad koji karakterizira razgrađenost endosperma zrna i visok udio aktivnih enzima (Šimić, 2009.).

Sušenje i dorada zelenog slada provode se u svrhu očuvanja svojstava slada kao što su karakteristični okus, aroma i boja, uz očuvanje enzimske aktivnosti (Marić, 2000.).

2.2.2. Modifikacija endosperma zrna ječma tijekom slađenja

Zrno ječma tijekom slađenja prolazi kroz kontrolirano ograničen prirodni proces klijanja koji uključuje čitavu seriju enzimskih razgradnji sastojaka endosperma. Rezultat tih enzimskih procesa je razgradnja staničnih stijenki endosperma i oslobađanje škrobnih granula što dovodi do fizičkog slabljenja endosperma. Te strukturne promjene i biokemijska razgradnja endosperma opisuju se kao modifikacija endosperma. Nedostatna hidroliza staničnih stijenki i skladišnih bjelančevina endosperma tijekom slađenja ječma rezultirat će zadržavanjem škroba unutar matriksa bjelančevina što će za posljedicu imati smanjeni prinos slada i pojavu poteškoća u tehnološkom postupku proizvodnje piva (Šimić, 2009.).

Stupanj modifikacije predstavlja mjeru do koje se endosperm zrna pretvorio u slad, a može se opisati kao slabo modificiran, nedovoljno modificiran, dobro modificiran i previše modificiran (Šimić, 2009.; Palmer, 1990.).

Na ravnomjernu modifikaciju endosperma zrna ječma tijekom slađenja utječe nekoliko čimbenika:

- uvjeti tijekom faze močenja zrna, koji utječu na vlagu i temperaturu,
- količina upijene vode i njena disribucija u zrnu tijekom močenja i klijanja, a što je povezano sa strukturom i sastavom endosperma kao i sa veličinom i oblikom zrna,
- nejednoliko klijanje, što je povezano sa životnom održivosću embrija,
- produkcija giberelinske kiseline od strane embrija,
- efektivni transport giberelinske kiseline kroz aleuronski sloj,
- odziv aleuronskog sloja na giberelinsku kiselinu, što inicira produkciju enzima za razgradnju endosperma,
- distribuciju enzima unutar endosperma na koju utječe struktura endosperma,
- fizikalno-kemijska svojstva β-glukana, staničnih stijenki i skladišnih bjelančevina endosperma (Šimić, 2009.).

Osim toga, na modifikaciju endosperma zrna ječma tijekom slađenja utječu i uvjeti tijekom uzgoja ječma kao i genetski potencijal kultivara. Uvjeti tijekom uzgoja ječma također

mogu utjecati na stupanj modifikacije. Visok udio bjelančevina u zrnu ječma koji dolazi kao rezultat sušnih uvjeta tijekom uzgoja, dušik dostupan u suvišku u vrijeme uzgoja ili drugi okolišni čimbenici mogu značajno promijeniti modifikacijska svojstva pojedinog kultivara ječma. Istraživanja su pokazala da tvrda, odnosno staklava zrna pokazuju sporiju modifikaciju u odnosu na brašnava zrna. Prilagodbom procesnih uvjeta u sladari može se u značajnoj mjeri utjecati na stupanj modifikacije zrna (Šimić, 2009.).

Klijanjem zrna započinje čitav niz staničnih procesa od kojih pojedini kreću istovremeno, a neki bivaju potaknuti prethodnim procesom. Obnavljanje metabolizma zrna ječma započinje apsorpcijom vode. Hidratacija stanica prvo zahvaća pljevicu, perikarp i testu koji su nakon prvog sata upijanja vode potpuno hidratizirani. Tijekom sljedećih osam sati dolazi do potpune hidratacije embrija i aleuronskog sloja i do djelomične hidratacije štitića. U narednom periodu štitić biva potpuno hidratiziran, a unutar endosperma dolazi do gradijentne hidratacije, što znači da su stanice endosperma u subaleuronskom sloju i u sloju uz štitić potpuno hidratizirane, a slojevi dalje od embrija se postupno hidratiziraju (Strelec, 2004.; Šimić, 2009.).

Metabolizam klijajućeg zrna ječma vrlo je složen fiziološki proces na koji utječe niz biljnih hormona. Posebno su istraživani giberelini zbog svoje ključne uloge u regulaciji sinteze enzima u zrnu. Giberelini čine grupu strukturno povezanih biljnih hormona, od kojih su giberelin A1 i A3 (giberelinska kiselina) najučinkovitiji u induciranju aleuronskog sloja za sintezu α-amilaze. Osim giberelina, na sintezu enzima tijekom klijanja utječu indol-3-octena kiselina, abscisinska kiselina i citokinini. Također, i anorganski ioni participiraju u kontroli sinteze enzima (Šimić, 2009.).

Embrio se u ranim procesima razvoja i rasta, prije nego što nastupi razgradnja endosperma, snabdijeva konstitutivnim elementima prisutnim u samom embriju ili u endospermu. Prema Oslzewskom i sur. (2002.), štitić i embrio su dva glavna mjesta biosinteze giberelinske kiseline. Sintetizirana giberelinska kiselina pasivno difundira u okolna tkiva: endosperm i aleuronski sloj. Vezanjem giberelinske kiseline na receptore na plazma membrani stanica dolazi do aktiviranja aleuronskog sloja (Strelec, 2004.). Aktivirane stanice aleuronskog sloja sintetiziraju hidrolitičke enzime: α-amilazu, β-glukozidaze, ksilanaze, endo- i egzopeptidaze, kisele fosfataze, DNA-aze i RNA-aze koje se izlučuju u endosperm i razgrađuju njegove sastojke. Kada stanice aleuronskog sloja izluče enzime, njihova uloga u

klijanju zrna je završena i one umiru. Transport građevnih blokova iz endosperma u embrio provode stanice štitića pomoću transportera peptida, aminokiselina, šećera i nukleotida (Šimić, 2009.).

Razgradnja staničnih stijenki stanica endosperma

Endosperm zrna ječma predstavlja izvor rezervne hrane za rast embrija. Tijekom klijanja dolazi do depolimerizacije škroba i bjelančevina uskladištenih u stanicama endosperma djelovanjem hidrolitičkih enzima izlučenih iz aleuronskog sloja i štitića. Stanične stijenke škrobnog endosperma sastoje se uglavnom od β-glukana (70 – 75%), arabinoksilana (15 – 20%), manje količine bjelančevina (5%) i glukomanana (3%) (Šimić, 2009.). Netopljivi β-glukani postaju topljivi djelovanjem glukanolitičkih enzima tijekom klijanja (Enari i Sopanen, 1986.).

β-glukani žitarica su homopolisaharidi (od glukoze) s približno 70% β-(1-4) glikozidnih veza i 30% glikozidnih β-(1-3) veza. Količina β-glukana u ječmu varira ovisno o genetskom podrijetlu i okolišnim uvjetima, a u prosjeku iznosi 2 – 11 % iraženo na suhu tvar. Građevnu okosnicu arabinoksilana čine β-D-ksilopiranoze povezane β-(1-4) glikozidnom vezom (Šimić, 2009).

Enzimska hidroliza β-glukana značajna je kod optimiranja tehničkog postupka slađenja zrna. Razgradnja β-glukana zapravo započinje hidrolizom esterske veze između β-glukana i bjelančevina čime se β-glukan prevodi u topljivi oblik. Smatra se da je za to odgovoran enzim iz skupine karboksipeptidaza čija sinteza započinje u vrlo ranoj fazi klijanja. Razgradnja β-glukana se dalje odvija izlučenim β-glukanazama: endo-β-(1-4)-glukanaza, endo-β-(1-3)-glukanaza i egzo-β-glukanaze (Šimić, 2009.).

Za razgradnju arabinoksilana značajne su tri grupe enzima: endoksilanaze, β-D-ksilozidaze i α-L-arabinofuranozidaze. Arabinoksilani se djelomično razgrade tijekom slađenja, ali u manjoj mjeri nego β-glukani, te sladovina sadrži više polimernih arabinoksilana nego β-glukana (Debyser i sur., 1997.; Šimić, 2009.).

Razgradnja bjelančevina endosperma

Bjelančevine endosperma zrna, njihov sastav i količina, imaju značajan utjecaj na sladarsku kakvoću ječma. Tijekom klijanja skladišne se bjelančevine razgrađuju sve do aminokiselina koje se najvećim dijelom iskoriste u sintezi novih bjelančevina potrebnih za

rast nove biljke. Razgradnja matriksa bjelančevina, u kojem se nalaze škrobne granule, omogućava α-amilazi da započne s razgradnjom škroba (Enari i Sopanen, 1986.).

Bjelančevine žitarica mogu se podijeliti u sljedeće frakcije: *albumini*, *globulini*, *prolamini*, *glutelini* i *rezidualne bjelančevine*. Glavne komponente bjelančevina ječma čine prolaminska frakcija, odnosno hordeini (25 – 50% od ukupnih bjelančevina) i glutelini (30 – 45% od ukupnih bjelančevina). Količina albumina je relativno mala (3 – 12,1% od ukupnih bjelančevina) dok su globulini prisutni u značajnijoj količini (8,4 – 20% od ukupnih bjelančevina) (Lasztity, 1999.).

Bjelančevine zrna ječma mogu se podijeliti na skladišne bjelančevine (hordeini i glutelini) i metabolički aktivne bjelančevine citoplazme (albumini i globulini). Prema morfološkoj građi zrna bjelančevine se mogu podijeliti u tri skupine: bjelančevine endosperma, bjelančevine aleuronskog sloja i bjelančevine embrija (Lasztity, 1996.).

Hordeinska frakcija ekstrahirana iz zrna ječma zapravo je smjesa različitih polipeptida. Različite metode koriste se u svrhu razdvajanja hordeina u skupine odnosno pojedinačne polipeptide. Na temelju elektroforetske pokretljivosti i aminokiselinskog sastava mogu se podijeliti u pet skupina: na *B* i *C hordeine*, koji sačinjavaju 70 – 80%, odnosno 10 – 20% hordeinske frakcije, na *D* i *γ hordeine*, sa udjelom u ukupnim hordeinima manjim od 5% te *A hordeini*. Bjelančevinasti gel ječma tvore polimeri koji se sastoje od visokomolekularnih (HMW) i niskomolekularnih (LMW) podjedinica, odnosno D i B hordeini (Smith i Lister, 1983.; Šimić, 2009.).

Tijekom slađenja bjelančevine endosperma ječma razgrađuju se do aminokiselina i peptida uz djelovanje niza proteolitičkih enzima. Dobro modificirani slad sadrži manje od polovice početne količine hordeina koja je postojala u ječmu prije slađenja. D hordeini se razgrađuju puno brže od B hordeina, a B hordeini se razgrade prije od C skupine hordeina. Tijekom klijanja ječma najmanje 60-ak različitih *peptidaza* izravno ili neizravno sudjeluje u hidrolizi skladišnih bjelančevina. Glavninu razgradnje provode enzimi izlučeni u endosperm dok endogeno prisutni enzimi samo potpomažu u razgradnji. Obzirom na to cijepaju li peptidnu vezu pri kraju ili unutar polipeptidnog lanca, peptidaze su podijeljene u dvije grupe: *egzopeptidaze* i *endopeptidaze* (Enari i Sopanen, 1986.; Šimić, 2009.).

Razgradnja škroba

Tijekom klijanja škrob se hidrolizira do glukoze koja se dijelom koristi kao izvor energije, a dijelom kao početni materijal za sintezu novih spojeva neophodnih za rast mlade biljke. Potpuna razgradnja škroba zrna ječma u šećere uključuje niz hidrolitičkih enzima, uglavnom *α-amilaze*, *β-amilaze*, *polulunazu* i *α-glukozidazu* (Šimić, 2009.).

α-amilaze su endo-enzimi koji hidroliziraju α-(1-4) glikozidne veze nasumce u lancu ostavljajući terminalni šećer u α-konfiguraciji otkud i dolazi ime α-amilaza. β-amilaze su egzo-enzimi koji napadaju amilozni lanac s nereducirajućeg kraja oslobađajući pri tome β-maltozu koja ima slobodnu hidroksilnu grupu na C1 atomu u β-konfiguraciji (Šimić, 2009.).

α-amilaza brzo hidrolizira škrob do smjese linearnih i razgranatih dekstrina. Linearni se dekstrini dalje hidroliziraju djelovanjem β-amilaze do maltoze, a maltoza uz djelovanje α-glukozidaze, također egzo-enzima koji primarno djeluje na α-(1-4) glikozidne veze, do glukoze. Međutim, razgranati dekstrini ostaju nepotpuno hidrolizirani zbog toga što ni α- ni β-amilaza ne mogu hidrolizirati α-(1-6) glikozidne veze koje potječu od amilopektinske komponente škroba. Polulunaza je enzim koji djeluje na α-(1-6) veze čineći razgranate dekstrine dostupnim za daljnju hidrolizu djelovanjem β-amilaze (Serre i Lauriere 1989.; Šimić, 2009.).

U mobilizaciju škroba uključeni su i štitić i aleuronski sloj, a očigledno su svi prethodno navedeni enzimi potrebni za potpunu hidrolizu škroba. Hidrolizu škrobnih zrnaca inicira α-amilaza. Na početku klijanja jedan dio α-amilaze izlučuje štitić. Međutim, glavnina se enzimske aktivnosti javlja kasnije i polazi od aleuronskog sloja gdje giberelini iniciraju obilnu sintezu i sekreciju α-amilaze. Veći dekstrini se otpuštaju u otopinu djelovanjem α-amilaze, a dalje se hidroliziraju dijelom α-amilazom, a dijelom β-amilazom. Dalje se aktivnost β-amilaze značajno povećava zahvaljujući oslobađanju vezanih oblika enzima pomoću endospermalne proteinaze. Razgranati lanci se hidroliziraju enzimima koji djeluju na α-(1-6) veze oslobađajući novi supstrat za α- i β-amilaze. Dobiveni se produkt maltoza hidrolizira do glukoze djelovanjem α-glukozidaze koja se izlučuje iz aleuronskog sloja (Enari i Sopanen, 1986.).

2.3. REOLOGIJA

Reologija je zasebna znanost, grana fizike, koja se bavi proučavanjem deformacija i tečenjem materijala. Sam pojam reologija potječe od grčke riječi "rheo" što znači teći. Reologiju su utemeljili profesor Marcus Reiner i profesor Eugene Bingham. Reologija ima primjenu u mnogim granama znanosti i mnogim granama industrije.

Osnovna reološka svojstva krutih materijala su elastičnost i plastičnost, a tekućih (fluida) viskoznost. Materijal je idealno elastičan kada se deformacija pojavi trenutačno s djelovanjem sile, a nakon prestanka djelovanja sile deformacija nestaje.

Materijal je plastičan ako podliježe trajnoj deformaciji u trenutku kada se postigne određeni prag naprezanja. Pod utjecajem malog naprezanja nema deformacije, ona počinje kada se dostigne prag naprezanja i traje dok traje i naprezanje. Kada prestane djelovanje sile naprezanja, materijal zadržava nastalu deformaciju.

Viskoznost je izmjerena vrijednost koja se odnosi na unutrašnje trenje supstance u tečenju. Mjeri se određivanje sile, napona smicanja, potrebne da se pomaknu čestice materijala pri određenoj brzini deformacije, brzini smicanja. Omjer napona i brzine smicanja predstavlja viskoznost (Lovrić, 1991.).

2.3.1. Reološka svojstva škroba i brašna

Reološka svojstva određenih sastojaka prehrambenih proizvoda nisu važna samo za određivanje procesnih uvjeta, nego i za definiranje parametara kakvoće, a time i prihvatljivosti proizvoda od strane potrošača (Whistelr i sur, 1984).

Viskoznost vodene suspenzije škroba ovisi o veličini granula škroba i o omjeru amiloze i amilopektina te pokazuje znatne promjene pri promjeni temperature, koncentracije i napona smicanja. Različiti dodaci također utječu na viskoznost škrobnih suspenzija. Porast viskoznosti dodatkom hidrokolida (karboksimetil-celuloza, ksantan i guar) primijećen je kod normalnog kukuruznog škroba, dok su istraživanja kod škroba voštanog kukuruza, voštane riže, tapioke, normalne riže, krumpira i pšenice dala različite rezultate. Kod škrobova s visokim udjelom amilopektina, kakav je voštani kukuruzni škrob, granule brzo bubre i u velikoj mjeri pucaju, što ima za posljedicu brzo opadanje viskoznosti škrobne paste (Tattiyakul i Rao, 2000.).

Promjene viskoznosti škrobnih suspenzija tijekom zagrijavanja, te reološka svojstva nastalih škrobnih pasti nakon hlađenja najčešće se prate pomoću *kontinuiranih automatskih viskozimetara*, kao što je *Brabenderov amilograf, Micro Visko-amilograf te rapid viskoanalyzer (RVA)* (Whistelr i sur, 1984.).

Brašno je proizvod koji se dobije mljevenjem žitarica. Veličina čestica brašna utječe na brzinu biokemijskih procesa i na reološka svojstva brašna. Brašno je ono što određuje reološka svojstva tijesta. Poznavanje i određivanje reoloških svojstava tijesta neobično je važno jer ona direktno utječu na kvalitetu gotovih proizvoda od tijesta, a najvažnije Na kvalitetu brašna i tijesta utječe količina i vrsta proteina. Kako su ona primarno ovisna o kvaliteti brašna, reološka ispitivanja tijesta služe ujedno i za određivanje kvalitete brašna. (Web prikaz 1).

Reološka svojstva tijesta pa tako i brašna se mjere također Brabenderovim amilograomf, Micro Visko-amilografom, broj padanja po Hagberg-Pertenu, Farinografom, Ekstenziografom i dr.

2.3.1.1. Micro Visko-amilograf

Micro Visco-amilograf predstavlja razvijeniji tip već prihvaćenog i u praksi dokazanog amilografa (Slika 5). Micro Visco-amilograf je rotacijski viskozimetar. On mjeri viskoznost u određenom vremenu.

Mjerenje se vrši pri:

- određenoj temperaturi,
- ravnomjernom povećanju temperature,
- ravnomjernom snižavanju temperature.

Princip mjerenja bazira se na zagrijavanju suspenzije vode i škroba, odnosno vode i brašna pod kontroliranim uvjetima. Pritom se nastala brzina vrtnje pretvara u elektronički signal i putem specijalnog programa zapisuje i vrednuje. Aktualne mjerne vrijednosti prikazuju se istovremeno i numerički i grafički. Uređaj se pokreće isključivo s računalom, koje upravlja odvijanjem postupka i dokumentira vrijednosti (web prikaz 2).



Slika 5 Micro Visco-amilograf (web prikaz 2)

Uređaj je prije svega koncipiran za prehrambenu industriju – za mjerenje karakteristika zgrušavanja i želiranja škroba i proizvoda koji sadrže škrob, u što spadaju sve vrste prirodnog i modificiranog škroba (kukuruzni, škrob od raži, krumpira, riže ili tapioke), brašno, pšenično brašno, prašci za puding, gustini, zobene pahuljice i sl.

Micro Visco-amilograf koristi se u kemijskoj, kozmetičkoj, tekstilnoj industriji, te proizvodnji ljepila za mjerenje industrijskog škroba, tekućina, suspenzija, pasta. Mjerenjem pod definiranim profilima temperature dobiva se cjelovit uvid u ponašanje viskoznosti u različitim koracima proizvodnje i primjene. Prednost mikro-visko amilografa je u tome što su potrebne relativno male količine uzoraka (5 – 15 g) i kratko trajanje postupka (web prikaz 2; web prikaz 3).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak rada bio je ispitati fizikalno-kemijska svojstva različitih sorti ozimog ječma i od njega dobivenog slada te reološka svojstava različitih sorti ozimog ječma pomoću Micro Visco-amilografa kako bi se ustvrdilo može li se unaprijed pomoću reoloških svojstava zaključiti kakva će biti kvaliteta krajnjeg slada.

3.2. MATERIJAL

Za izradu diplomskog rada korišteno je 18 uzoraka ozimog ječma žetve 2014. godine. Cijelo zrno ječma samljeveno je u laboratorijskom mlinu čekićaru: Laboratory Mill 3100, Perten Instruments (hammer type cyclone mill with 0,8 mm sieve).

3.2.1. Sorte ozimog ječma

Tablica 2 Uzorci ozimog ječma

Redni broj uzorka	Sorta
Uz. broj 2	Pan
Uz. broj 3	Sladoran
Uz. broj 4	Rex
Uz. broj 5	Zlatko
Uz. broj 6	Bingo
Uz. broj 7	Bravo
Uz. broj 8	Lukas
Uz. broj 9	Gordon
Uz. broj 10	NS 525
Uz. broj 11	Premium
Uz. broj 12	Maxim
Uz. broj 13	Maestro
Uz. broj 14	Meteor
Uz. broj 15	Mistik
Uz. broj 16	Vanessa
Uz. broj 17	Tiffany
Uz. broj 18	Barun
Uz. broj 19	Tuna

3.3. METODE

3.3.1. Određivanje fizikalno-kemijskih svojstava zrna ječma i slada

Udio vode – određen je na halogenom vlagomjeru: Halogen Moisture Analyzer, (Mettler Toledo) (Šimić, 2009.).

Udio proteina – odeređen je na Infratec 1241 Grain Analyzer (Foss Tecator AB, Sweden). Infratec™ 1241 je analizator cjelovitog zrna i brašna koji koristi blisku infracrvenu tehnologiju za multipli testiranje parametara kao što su vlaga, protein, ulje, škrob i slično. Kako *Infratec 1241 Grain Analyzer* koristi apsorpcijsku transmisiju, priprema uzorka nije potrebna. NIT-analiza je, kao i druge spektrofotometrijske metode, indirektna metoda i stoga se mora kalibrirati. Matematičkom obradom spektralnih podataka i njihovom kalibracijom prema rezultatima dobivenim referentnim metodama omogućuje se pouzdano mjerenje količine sastojaka zrna (Foss Tecator AB, Svedska, 2002.; Šimić, 2009.).

Udio škroba – određen je također na Infratec 1241 Grain Analyzer (Foss Tecator AB, Svedska, 2002.; Šimić, 2009.)

Ekstrakt slada – *EBC method 4.5.1.* Najvažniji pokazatelj kvalitete slada i njegovo ponašanje tijekom komljenja i sposobnost postizanja maksimalne razgradnje njegovih sastojaka. Pod pojmom ekstrakta podrazumijevaju se svi topljivi sastojci slada, i oni koji tijekom postupka ukomljavanja postaju topljivi. Količina ekstrakta slada određena je standardnim postupkom ukomljavanja 50 grama slada u laboratoriju (tzv. kongresni postupak). Nakon ukomljavanja dobivena sladovina se filtrira, a zatim se odredi specifična gustoća kongresne sladovine (Anton Paar Density Meter DMA 4500). Količina ekstrakta (%) očita se iz tablica prema Platou. Prinos ekstrakta izražen je na suhu tvar slada (Analytica EBC, Nürnberg, 1998.; Šimić, 2009.).

Topljivi protein – Infratec 1241 Grain Analyzer. Količina topljivog proteina dobivena je množenjem topljivog dušika u sladovini s faktorom 6,25 i izražena je u % na suhu tvar slada. (Foss Tecator AB, Švedska, 2002.; Šimić, 2009.)

Viskoznost sladovine – *Analytica EBC method 4.8.* Viskoznost kongresne sladovine određena je viskozimetrom (Anton Paar AMVn Automated Microviscometer). Izmjerene vrijednosti preračunate su na 8,6 % ekstrakta kongresne sladovine, a izražene su u mPas (Analytica EBC, Nürnberg, 1998.; Šimić, 2009.)

Kolbach Index – *Analytica EBC method 4.9.1.* Kolbach-ov indeks (%) pokazatelj je proteolitičke razgrađenosti slada, a određuje se iz količine topljivog dušika koji komljenjem kongresnim postupkom prelazi u sladovinu. Izražava se kao postotak od ukupnog dušika u sladu (Selbstverlag der MEBAK, Njemačka, 1997.; Šimić, 2009.).

3.3.2. Određivanje reoloških svojstava Mikro Visco-amilografom

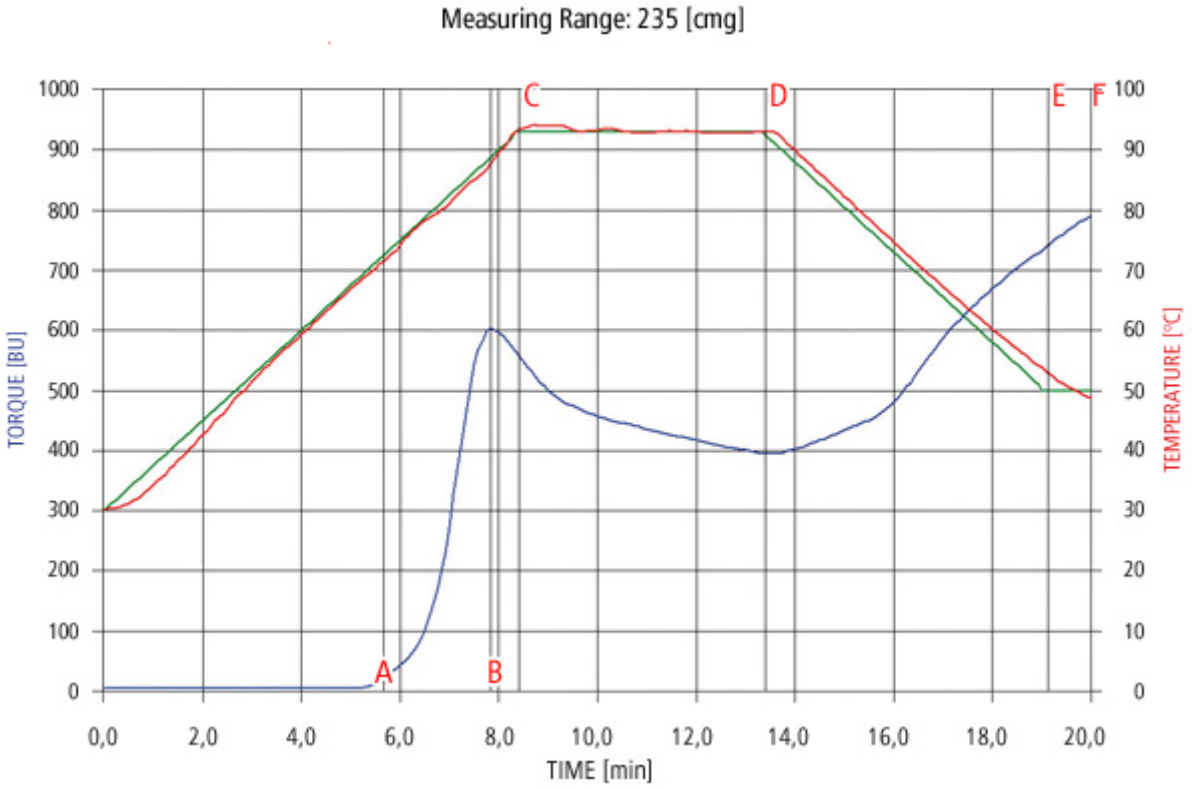
Za određivanje viskoznosti prilikom želatiniziranja brašna korišten je dinamički rotacijski viskozimetar Mikro Visko-amilograf (Brabender OGH, Duisburg, Njemačka). Ovaj uređaj objedinjuje svojstva viskozigrafa i amilografa. Uzorci se pripremaju tako da se prvo na osnovi određenog udjela vode u brašnu korigiraju mase uzoraka brašna i potrebnog dodatka vode. Uzorak samljevenog brašna se doda u destiliranu vodu (u posudu Brabenderovog Mikro visko-analyzera) kako bi se pripravilo 100 g 10%-tne suspenzije te se posuda stavlja u ležište Mikro Visko-Amilografa. Na mjernu glavu se pričvrsti mjerno tijelo i spusti u najniži položaj te započinje ispitivanje prema sljedećim uvjetima:

- Zagrijavanje od 30 do 92 ^{o}C, brzina zagrijavanja 7,5 ^{o}C/min;
- Izotermno na 92 ^{o}C, 5 minuta;
- Hlađenje od 92 do 50 ^{o}C, brzina hlađenja 7,5 ^{o}C/min;
- Izotermno na 50 ^{o}C, 1 minuta.

Uređaj je povezan sa računalom koje upravlja radom uređaja te provodi obradu dobivenih podataka. Brabender Visco-Graph softver bilježi sve promjene viskoznosti suspenzije i temperature te se iz dobivenih podataka dobiva krivulja. Krivulja predstavlja ovisnost viskoznosti, odnosno zakretnog momenta, i temperature o vremenu tzv. amilogram. Iz amilograma se mogu očitati:

1. A – početna temperatura želatinizacije,
2. B – viskoznost vrha – označava maksimalnu viskoznost paste u Brabenderovim jedinicama (BU),
3. C – viskoznost pri 92 ^{o}C,
4. D – viskoznost nakon 20 minuta miješanja na 92 ^{o}C,
5. E – viskoznost pri 50 ^{o}C i

6. F – viskoznost nakon 20 minuta miješanja na 50 °C, – označava stabilnost paste pri nižim temperaturama.
7. Kidanje = viskoznost vrha – viskoznost nakon 20 minuta miješanjem na 92 °C. Označava stabilnost paste pri visokim temperaturama i miješanju.
8. Setback – povratna viskoznost = viskoznost pri 50 °C – viskoznost nakon 20 minuta miješanja na 92 °C. Označava retrogradaciju molekula škroba (povezivanje molekula škroba tijekom hlađenja paste) (Belitz i Grosch, 1987.).



Slika 6 Karakteristična krivulja amilografskog ispitivanja suspenzije vode i brašna (Web prikaz 4)

4. REZULTATI

Tablica 3 Rezultati kemijskih analiza uzoraka ozimog ječma

Uzorak	Udio vlage (%)	Udio proteina (%)	Udio škroba (%)
Pan	10,38	14,70	62,03
Sladoran	10,60	14,13	62,02
Rex	9,73	14,28	62,14
Zlatko	10,01	14,40	62,07
Bingo	10,11	13,75	62,36
Bravo	10,21	14,55	62,86
Lukas	10,24	12,93	62,54
Gordon	10,62	15,25	61,62
NS 525	9,79	14,23	62,21
Premium	10,04	14,00	62,25
Maxim	10,10	13,83	63,02
Maestro	10,11	14,15	61,16
Meteor	10,21	14,20	60,29
Mistik	9,90	15,28	61,94
Vanessa	10,35	16,10	62,63
Tiffany	10,73	15,65	63,47
Barun	9,85	14,98	61,42
Tuna	10,08	14,30	63,06

Tablica 4 Rezultati fizikalnih analiza slada dobivenog od različitih sorti ozimog ječma

Uzorak slada	Ekstrakt (%)	Friabilnost (%)	Viskoznost (mPas)
Pan	76,55	34,16	2,161
Sladoran	76,33	23,38	2,105
Rex	77,50	17,96	2,186
Zlatko	76,20	16,80	2,410
Bingo	76,51	21,84	2,237
Bravo	75,96	14,70	2,193
Lukas	78,44	24,18	2,025
Gordon	76,49	22,12	2,465
NS 525	76,00	12,80	2,304
Premium	77,53	15,36	1,961
Maxim	76,59	4,70	2,314
Maestro	77,43	21,04	1,899
Meteor	77,48	14,20	2,343
Mistik	76,38	15,26	2,155
Vanessa	76,84	35,90	1,633
Tiffany	77,44	42,88	1,635
Barun	77,02	17,54	1,917
Tuna	76,73	4,46	2,275

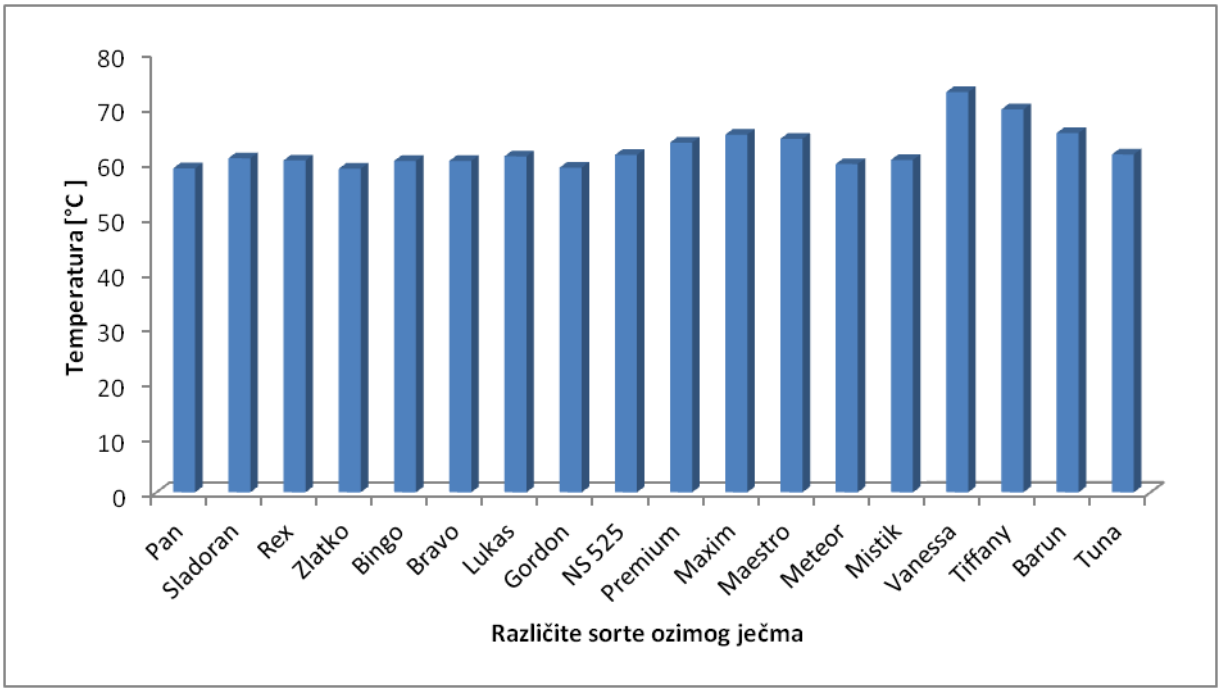
Tablica 5 Rezultati kemijskih analiza slada dobivenog od različitih sorti ozimog ječma

Uzorak slada	Udio ukupnih proteina (%)	Udio vode (%)	Udio topljivih proteina (%)	Kolbach Index (%)
Pan	13,75	6,85	4,55	33,09
Sladoran	13,60	6,95	4,45	32,72
Rex	14,15	7,10	4,80	33,92
Zlatko	13,75	6,69	4,50	32,73
Bingo	13,70	6,81	4,60	33,58
Bravo	14,85	6,88	4,85	32,66
Lukas	13,90	7,00	4,65	33,45
Gordon	14,60	6,90	4,85	33,22
NS 525	14,55	6,92	4,75	32,65
Premium	14,10	6,69	4,70	33,33
Maxim	13,80	6,78	4,10	29,71
Maestro	13,00	6,69	4,30	33,08
Meteor	13,55	7,19	4,45	32,84
Mistik	14,85	7,23	4,90	33,00
Vanessa	15,05	6,94	4,90	32,56
Tiffany	14,70	6,70	5,00	34,01
Barun	13,60	6,80	4,55	33,46
Tuna	14,05	7,05	4,50	32,03

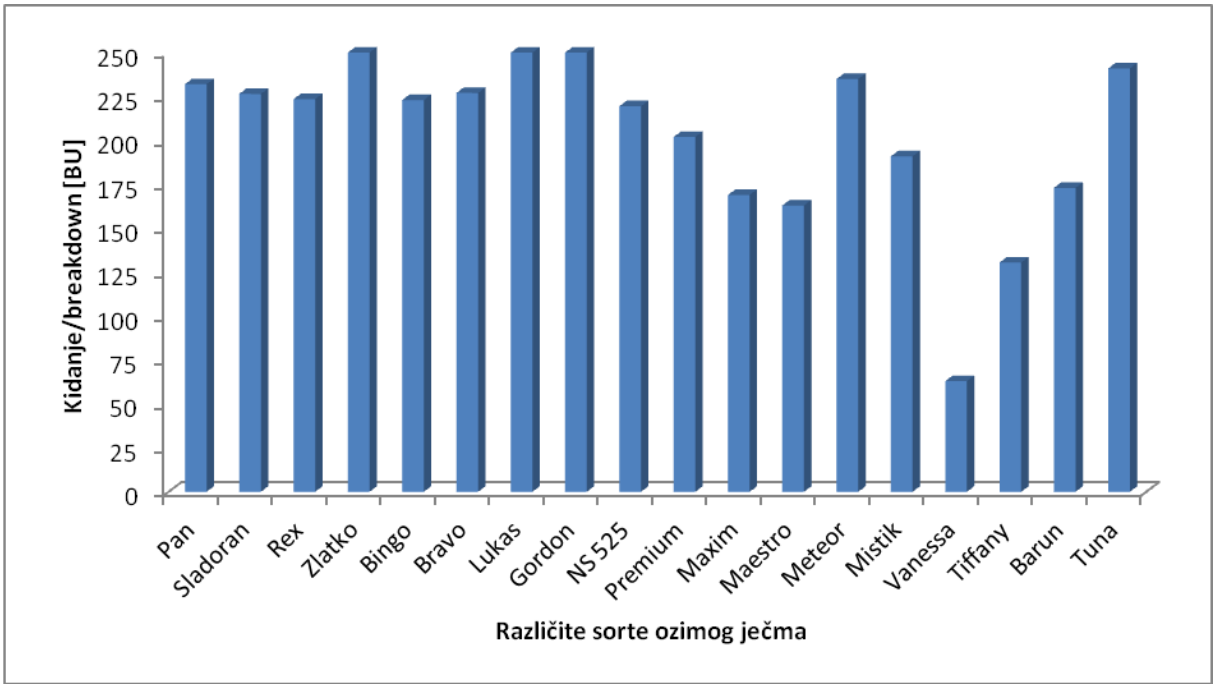
Tablica 6 Reološka svojstva različitih sorti ozimog ječma

Sorta	viskoznost vrha [BU]*	viskoznost pri 92 °C [BU]*	nakon 5 min. miješanja na 92 °C [BU]*	viskoznost pri 50 °C [BU]*	nakon 1 min. miješanja na 50 °C [BU]*
Pan	554,00 ± 2,83	542,50 ± 13,44	322,00 ± 11,31	706,50 ± 23,33	689,50 ± 10,61
Sladoran	560,00 ± 4,24	558,00 ± 5,66	333,50 ± 9,19	723,00 ± 11,31	705,50 ± 12,02
Rex	574,00 ± 8,49	567,50 ± 10,61	350,50 ± 0,71	733,50 ± 6,36	725,00 ± 0,00
Zlatko	603,00 ± 1,41	601,50 ± 0,71	349,00 ± 2,83	734,50 ± 10,61	738,00 ± 2,83
Bingo	554,50 ± 0,71	547,50 ± 0,71	331,50 ± 6,36	716,50 ± 13,44	708,50 ± 16,26
Bravo	598,50 ± 13,44	588,50 ± 6,36	371,00 ± 0,00	754,50 ± 6,36	737,00 ± 2,83
Lukas	602,00 ± 4,24	600,50 ± 2,12	347,00 ± 0,00	734,50 ± 2,12	722,50 ± 4,95
Gordon	646,00 ± 8,49	641,50 ± 2,12	381,50 ± 0,70	771,00 ± 14,14	763,00 ± 2,83
NS 525	536,00 ± 2,12	535,00 ± 2,83	317,00 ± 5,66	703,00 ± 9,90	671,50 ± 3,54
Premium	533,50 ± 0,71	530,00 ± 1,41	331,50 ± 4,95	700,50 ± 4,95	688,00 ± 9,90
Maxim	484,50 ± 19,09	480,00 ± 21,21	315,50 ± 6,36	691,00 ± 10,61	686,00 ± 14,14
Maestro	466,50 ± 12,02	463,50 ± 9,19	303,50 ± 9,19	680,00 ± 4,24	656,50 ± 17,68
Meteor	607,50 ± 24,75	557,00 ± 22,63	372,50 ± 0,71	750,00 ± 5,66	732,00 ± 8,49
Mistik	486,00 ± 14,14	469,50 ± 30,41	295,00 ± 4,24	666,00 ± 8,49	638,00 ± 2,83
Vanessa	251,00 ± 0,00	239,50 ± 0,71	188,00 ± 2,83	402,50 ± 7,78	389,50 ± 4,95
Tiffany	324,50 ± 19,09	320,50 ± 24,75	194,00 ± 5,66	431,50 ± 14,85	425,50 ± 14,85
Barun	498,00 ± 0,00	488,50 ± 3,54	325,00 ± 1,41	698,00 ± 2,83	679,50 ± 10,61
Tuna	559,00 ± 0,00	559,00 ± 0,00	318,00 ± 8,49	687,00 ± 2,83	669,50 ± 2,12

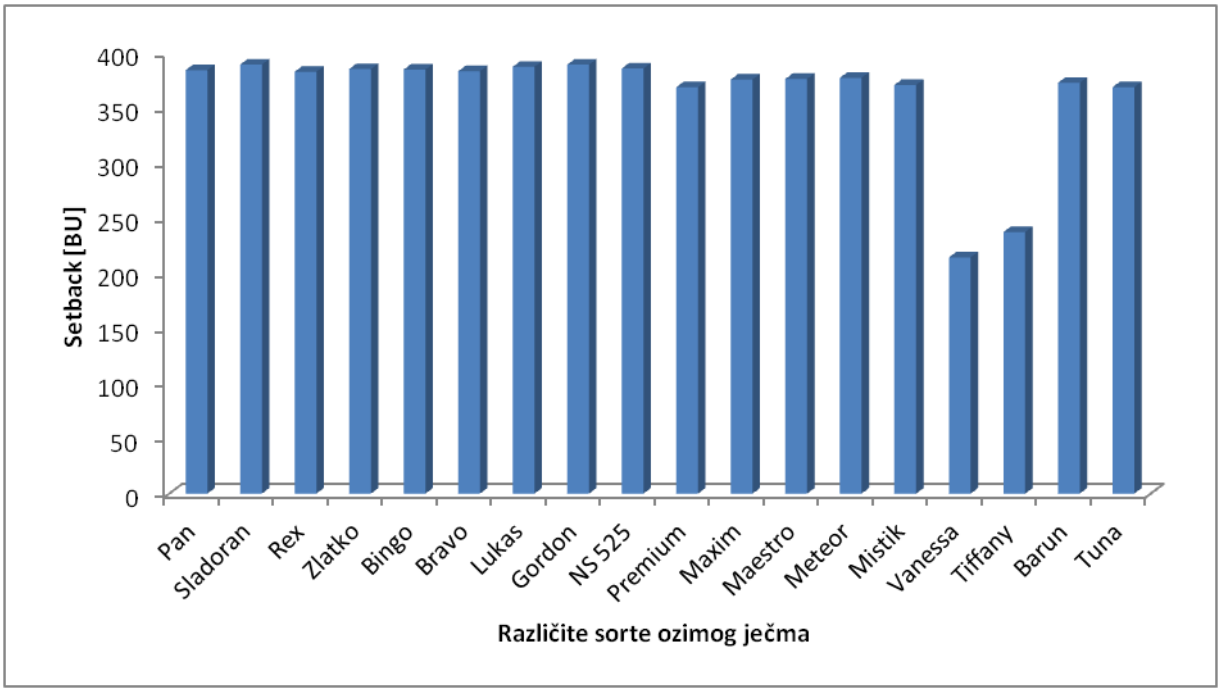
* Prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija



Slika 7 Početne temperature želatinizacije različitih sorti ozimog ječma



Slika 8 Vrijednosti „kidanje/breakdown“ različitih sorti ozimog ječma



Slika 9 „Setback“ vrijednosti različitih sorti ozimog ječma

5. RASPRAVA

Kemijski sastav različitih sorti ozimog ječma

Kemijski sastav uzoraka ozimog ječma prikazan je u **tablici 3**. Svi uzorci ozimog ječma imali su približno jednak udio vlage koji se kretao u rasponu 9,73 – 10,73%. Udio vlage u žitaricama važan je parametar u određivanju kakvoće zrna jer utječe na skladišnu stabilnost zrna (Ačkar, 2010). Maksimalno dozvoljeni udio vode u zrnu ječma je 13,5% (Web prikaz 5).

Udio proteina kretao se u rasponu od 12,93% (sorta Lukas) do 16,1% (sorta *Vanessa*). Ostale sorte imale su udio proteina kako slijedi: Bingo (13,75%) < Maxim (13,83%) < Premium (14%) < Sladoran (14,13%) < Maestro (14,15%) < Meteor (14,2%) < NS 525 (14,23%) < Rex (14,28%) < Tuna (14,3%) < Zlatko (14,4%) < Bravo (14,55%) < Pan (14,7%) < Barun (14,98%) < Gordon (15,25%) < Mistik (15,28%) < Tiffany (15,65%). Proteini u ječmu su važni jer utječu na proces slađenja ječma i fermentacije tijekom proizvodnje piva. Nadalje, utječu na aromu i boju piva te formiranje pjene (Hertsgaard i Schwarz, 2008.). Visok udio proteina snižava udio ekstrakta u sladu i pivu, također, smanjuje mogućnost upijanja vode tijekom slađenja što negativno utječe na kvalitetu slada. S druge strane, nizak udio proteina znači nedostatak enzima koji su ključni tijekom slađenja (razgradnja škroba i drugih sastojaka zrna) (Web prikaz 5). Općenito, udio proteina u zrnu ječma za slađenje trebao bi se kretati u rasponu od 10 do 13% (Hertsgaard i Schwarz, 2008.).

Najviši udio škroba imala je sorta Tiffany (63,47%), a najniži sorta Meteor (60,29%), zatim slijede: Maestro (61,16%) < Barun (61,42%) < Gordon (61,62%) < Mistik (61,94%) < Sladoran (62,02%) < Pan (62,03%) < Zlatko (62,07%) < Rex (62,14%) < NS 525 (62,21%) < Premium (62,25%) < Bingo (62,36%) < Lukas (62,54%) < Vanessa (62,63%) < Bravo (62,86%) < Maxim (63,02%) < Tuna (63,06%).

Fizikalna svojstva slada dobivenog od različitih sorti ozimog ječma

U **tablici 5** prikazani su rezultati fizikalnih analiza slada. Udio ekstrakta u sladu od različitih sorti ječma kretao se u rasponu od 75,96% (sorta Bravo) do 78,44% (sorta *Lukas*). Ostali uzorci slada sadržavali su udio ekstrakta kako slijedi: NS 525 (76%) < Zlatko (76,2%) < Sladoran (76,33%) < Mistik (76,38%) < Gordon (76,49%) < Bingo (76,51%) < Pan (76,55%) < Maxim (76,59%) < Tuna (76,73%) < Vanessa (76,84%) < Barun (77,02%) < Maestro (77,43%) < Tiffany (77,44%) < Meteor (77,48%) < Rex (77,5%) < Premium (77,53%). Ekstrakt slada

najvažniji je pokazatelj kvalitete slada i predstavlja sve topljive sastojke slada, prije svega sećere, proteine i minerale (Šimić, 2009). Udio ekstrakta u sladu ispod 79% smatra se niskom vrijednosti, odnosno lošom kvalitetom slada (Özkara i sur, 1998.).

Na osnovi rezultata prikazanih u **tablici 4** vidljivo je da se Friabilnost slada različitih sorti ječma znatno razlikovala, pri čemu je slad sorte *Tuna* imao najnižu (4,46%), a slad sorte *Tiffany* najvišu vrijednost friabilnosti (42,88). Ostale sorte imale su slijedeće vrijednost friabilnosti: Maxim (4,7%) < NS 525 (12,8%) < Meteor (14,2%) < Bravo (14,7%) < Mistik (15,26%) < Premium (15,36%) < Zlatko (16,8%) < Barun (17,54%) < Rex (17,96%) < Maestro (21,04%) < Bingo (21,84%) < Gordon (22,12%) < Sladoran (23,38%) < Lukas (24,18%) < Pan (34,16%) < Vanessa (35,9%).

Viskoznost slada svih uzoraka bila je vrlo sličnih vrijednosti i kretala se u rasponu od 1,63 mPas (slad sorte *Vanessa*) do 2,66 mPas (slad sorte *Gordon*). Niža viskoznost slada označava bolju kvalitetu (Özkara i sur, 1998.).

Kemijska sastav slada dobivenog od različitih sorti ozimog ječma

Najznačajniji kemijski sastojci slada dobivenog od različitih sorti ozimog ječma prikazani su u **tablici 5**. Kao što je vidljivo kemijski sastav slada nije se značajno razlikovao za sve uzorke slada dobivenog od različitih sorti ozimog ječma. Tako je udio ukupnih proteina bio u rasponu od 13% (slad sorte *Maestro*) do 15,05% (slad sorte *Vanessa*); udio topljivih proteina od 4,1% (slad sorte *Maxim*) do 5% (slad sorte *Tiffany*) te udio vode od 6,69% (slad sorte *Zlatko*) do 7,23% (slad sorte *Mistik*).

Kolbachov indeks se kretao u rasponu od 29,71% (slad sorte *Maxim*) do 34,01% (slad sorte *Tiffany*) te je bio niži od vrijednosti objavljenih u radu Özkara i sur. (1998.) koji su dobili Kolbachov indeks za različite sorte ječma u rasponu od 40 do 48,8%. Kolbachov indeks pokazatelj je proteolitičke razgrađenosti slada, odnosno stupanj topljivosti proteina ječma nakon slađenja (Šimić, 2009.).

Reološka svojstva različitih sorti ozimog ječma

Reološka svojstva različitih sorti ozimog ječma prikazana su u **tablici 6** te na slikama od 7 do 9. Kao što je vidljivo iz rezultata prikazanih na **slici 7**, početna temperatura želatinizacije kretala se u rasponu od 58,95°C (sorta *Zlatko*) do 72,9°C (sorta *Vanessa*). Ostale

sorte imale su slijedeće vrijednosti početne temperature želatinizacije: Pan (59°C) < Gordon (59,15°C) < Meteor (59,8°C) < Bingo i Bravo (60,35°C) < Rex (60,45°C) < Mistik (60,55°C) < Sladoran (60,85°C) < Lukas (61,2°C) < NS 525 (61,45°C) < Tuna (61,55°C) < Premium (63,7°C) < Maestro (64,4°C) < Maxim (65,15°C) < Barun (65,45°C) < Tiffany (69,75°C).

Sorta ječma *Gordon* imala je najviše vrijednosti viskoznosti paste, nastale nakon želatinizacije škroba, pri svim uvjetima mjerenja: viskoznost vrha (646 BU), viskoznost pri 92°C (641,5 BU), nakon 5 min. miješanja na 92°C (381,5 BU), viskoznost pri 50°C (771 BU) te nakon 1 min. miješanja na 50°C (763 BU). S druge strane, sorta ječma *Vanessa* imala je najniže vrijednosti viskoznosti paste: viskoznost vrha (251 BU), viskoznost pri 92°C (239,5), nakon 5 min. miješanja na 92°C (188 BU), viskoznost pri 50°C (402,5 BU) te nakon 1 min. miješanja na 50°C (389,5 BU). Vrijednosti viskoznosti pasta ostalih sorti ječma kretale su se u rasponu: viskoznost vrha od 324,5 BU (*Tiffany*) do 607,5 (*Meteor*), viskoznost pri 92°C od 320,5 BU (*Tiffany*) do 601,5 (*Zlatko*), nakon 5 min. miješanja na 92°C od 194 BU (*Tiffany*) do 372,5 (*Meteor*), viskoznost pri 50°C od 431,5 BU(*Tiffany*) do 754,5 (*Bravo*) te nakon 1 min. miješanja na 50°C od 425,5 BU (*Tiffany*) do 738 (*Zlatko*).

Iz razlike vrijednosti viskoznosti vrha i viskoznosti nakon 20 min. miješanja pri 92 °C dobiva se vrijednost tzv. *kidanja*, koja označava stabilnost škrobne paste tijekom miješanja pri visokim temperaturama (Ačkar, 2007). Vrijednosti *kidanja* kretala se u rasponu od 63 BU (sorta *Vanessa*) do 264,5 BU (sorta *Gordon*) (**slika 8**). Ostale sorte imale su slijedeće vrijednosti *kidanja*: Tiffany (130 BU) < Maestro (163 BU) < Maxim (169 BU) < Barun (173 BU) < Mistik (191 BU) < Premium (202 BU) < NS 525 (219,5 BU) < Bingo (223 BU) < Rex (223,5 BU) < Sladoran (226,5 BU) < Bravo (227 BU) < Pan (232 BU) < Meteor (235 BU) < Tuna (241 BU) < Zlatko (254 BU) < Lukas (255 BU).

Setback vrijednost pokazuje sklonost škrobne paste retrogradaciji te stupanj imobilizacije vode u nabijenim centrima škroba, slobodne i lipide vezane u komplekse u zavojnici škroba. Vezanje vode na nabijene centre u granuli škroba smanjuje efektivnu koncentraciju vode u kontinuiranoj fazi što rezultira porastom viskoznosti tijekom hlađenja (Ačkar, 2007). Najnižu vrijednost *setback-a* imala je sorta Vanessa (214,5 BU), a najvišu sorta Sladoran 389,5 BU (**slika 9**). Ostale sorte imale su slijedeće vrijednosti *setback-a*: Tiffany (237,5 BU) < Tuna i Premium (369 BU) < Mistik (371 BU) < Barun (373 BU) < Maxim (376 BU) < Maestro (377 BU) < Meteor (377,5 BU) < Rex (383 BU) < Bravo (383,5 BU) < Pan (384,5 BU)

< Bingo (385 BU) < Zlatko (385,5 BU) < NS 525 (386 BU) < Lukas (387,5 BU) < Gordon (389,5 BU).

6. ZAKLJUČCI

Na osnovi rezultata istraživanja provedenih u ovom radu, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Svi uzorci ozimog ječma imali su približno jednak udio vlage koji se kretao u rasponu 9,73 – 10,73%, dok se udio proteina kretao u rasponu od 12,93% (sorta *Lukas*) do 16,1% (sorta *Vanessa*).
2. Najviši udio škroba imala je sorta *Tiffany* (63,47%), a najniži sorta *Meteor* (60,29%).
3. Udio ekstrakta u sladu svih sorti ozimog ječma bio je niži od donje granice kvalitete (79%) te se kretao u rasponu od 75,96% (sorta Bravo) do 78,44% (sorta *Lukas*).
4. Kemijski sastav slada nije se značajno razlikovao za sve uzorke slada dobivenog od različitih sorti ozimog ječma: udio ukupnih proteina bio je u rasponu od 13 do 15,05%; udio topljivih proteina od 4,1 do 5% te udio vode od 6,69 do 7,23%.
5. Kolbach-ov indeks se kretao u rasponu od 29,71% (slad sorte *Maxim*) do 34,01% (slad sorte *Tiffany*).
6. Početne temperature želatinizacije brašna različitih sorti ječma kretale su se u rasponu od 58,95°C (sorta *Zlatko*) do 72,9°C (sorta *Vanessa*).
7. Sorta ječma *Gordon* imala je najviše, a sorta *Vanessa* najniže vrijednosti viskoznosti paste, nastale nakon želatinizacije škroba, pri svim uvjetima mjerenja.
8. Vrijednosti *kidanja* pasti kretala se u rasponu od 63 BU (sorta *Vanessa*) do 264,5 BU (sorta *Gordon*).
9. Najnižu vrijednost *setbacka* imala je pasta sorte *Vanessa* (214,5 BU), a najvišu pasta sorte *Sladoran* (389,5 BU)

7. LITERATURA

Ačkar Đ.: *Izoliranje, modificiranje i karakteriziranje škroba pšenice*. Doktorski rad. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2010.

Babić J.: *Utjecaj acetiliranja i dodataka na reološka i termofikalna svojstva škroba kukuruza i tapioke.* Doktorski Rad. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2007.

Belitz H.D. and Grosch W.: *Food Chemistry*. Springer Verlag Berlin, str. 340, 1987.

Debyser W., Derdelinckx G., Delcour A.: *Arabinoxylan and Arabinoxylan Hydrolysing Activities in barley Malts and Worts Derived from Them*. J Cereal Sci, 26, 67-74, 1997.

Enari T.M., Sopanen T.: *Mobilisation of endospermal reserves during the germination of barley*. J Inst Brew, 92, 25-31, 1986.

Gaćeša S.: *Tehnologija slada sa sirovinama za tehnologiju piva*. Poslovna zajednica industrije piva i slada Jugoslavije, Beograd, 1979.

Hertsgaard K., Schwarz P.: Barley, *Malt and Beer*, 2008.. URL.: www.barleycap.org (1.9.2015.)

Kirkman M.A., Shewry P.R., Miflin B.J.: *The effect of nitrogen nutrition on the lysine content and protein composition of barley seeds*. J Sci Food Agric, 33, 115-127, 1982.

Kunze W.: *Technology brewing and malting*. English translation of the 7th edition of Technologie Brauer und Mälzer, VLB Berlin, Njemačka, 1999.

Lalić A, Kovačević J.: *Oplemenjivanje ječma za potrebe sladarstva i stočarstva u Republici Hrvatskoj*. Poljoprivreda, 3, 31-45, 1997.

Lásztity R.: *The chemistry of barley*. U Cereal Chemistry. R. Lásztity (ur.), Akadémiai Kiadó, Budapest, str. 168-191, 1999.

Lásztity R.: *The chemistry of cereal proteins*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, USA, 1996.

Lovrić T.: *Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva*. Sveučilište u Zagrebu, HINUS Zagreb, 1991.

Marić V.: *Proizvodnja ječmenog slada*. U Biotehnologija i Sirovine. V. Marić (ur.), Stručna i poslovna knjiga d.o.o., Zagreb, str. 155-180, 2000.

Novaković A.: *Škrob*, 29.2.2018. URL.: http://www.tehnologijahrane.com/enciklopedija/skrob (1.9.2015.)

Oslzewski N., Sun T.P., Gubler F.: *Gibberellin signaling: biosynthesis, catabolism, and response pathway*. Plant Cell, Supplement, S61-S80, 2002.

Özkara R., Basman A., Kosel H. and Celik S.: *Effects of cultivar and environment on ß-glucan content and malting quality of Turkish barleys*. J. Inst. Brew., Vol104, pp. 217-220, Ankara, Turkey, 1998.

Palmer G.H.: *Malting and Mashing*. U An introduction to Brewing Science and Technology. Vol. 2. The Institute of Brewing, UK, str. 25-53, 1990.

Serre L., Lauriere C.: *Limit dextrinase in cereal seeds*. Sci Alin, 9, 654-663, 1989.

Strelec I.: *Aktivnost aminopeptidaza i sastav proteina sorti ječma*: Magistarski rad. Prehrambeno-biotehnološki fakultet u Zagrebu, 2004.

Šimić G.: *Utjecaj genotipa i okolišnih uvjeta na parametre sladarske kakvoće ozimog ječma* (*Hordeum vulgare L.).* Doktorski rad. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2009.

Tattiyakul J., Rao M.A.: *Rheological behavior of cross-linked waxy maize strach dispersion during and after heating*. Carbohydr. Polym., 43, 215-222, 2000.

Web prikaz 1:*Reologija brašna*: URL.: http://www.labosano.hr/labosano.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=96:reologija-brasna&catid=93:ponuda&Itemid=595 (1.9.2015.)

Web prikaz 2*: Brabender GmbH&Co. KG 2005., Micro Visco-Amylo-graph, s promjenjivim brojem okretaja, upute za korištenje*. Brabender Ohg Duisburg, Njemačka. URL.: http://www.brabender.com/93.98.html (1.9.2015.)

Web prikaz 3: *Starch Management whit the Viscograph Familiy*: AACC standard no.6101, ICC Standard no. 169, 2006. URL.: http://www.cwbrabender.com/StarchViscosity.html (1.9.2015.)

Web prikaz 4: URL.: http://www.brabender.com/uploads/pics/Micro-Visco-Amylo-Graph-Diagramm.jpg (1.9.2015.)

Web prikaz 5: *A brewing and malting barley research istitute Publication*. Canda. URL.: www.bmbri.ca

Whistler R.L., Miller J.N., Paschall E.F.: *Strach Chemistry and Technology*, Vol. 2, Academic press, London, 1984.