

## KONVEKCIJSKO SUŠENJE ZRNA PŠENICE KULTIVARA MARIJA I ŽITARKA NAKON "COOKING" POSTUPKA

## CONVECTION DRYING OF WHEAT GRAINS - CULTIVARS MARIJA AND ŽITARKA AFTER COOKING TREATMENT

Tajana Krička, N. Voća, Ž. Jukić, M. Androšević

Izvorni znanstveni članak  
UDK:636.085.6  
Primljeno: 8. ožujak 2000.

### SAŽETAK

Rad obuhvaća istraživanja utjecaja "cooking" postupka na brzinu otpuštanja vode iz zrna pšenice kultivara Marija i Žitarka. Pri unaprijed zadanim parametrima temperature i brzine zraka, kao i vlažnosti zrna dobiveno je da se kultivar Marija i nakon "cooking" postupka duže sušio od kultivara Žitarka (Marija  $w = 23,833e^{-0.132t}$ , Žitarka  $w = 25,169e^{-0.018t}$ ). Istovremeno zbog usporedbe kultivari su sušeni neposredno nakon ubiranja i dobiveno je da se Marija također suši duže od Žitarke (Marija  $w = 16,981e^{-0.0226t}$ , Žitarka  $w = 16,686e^{-0.0226t}$ ).

Proizlazi da zrno pšenice tretirano "cooking" postupkom sporije otpušta vlagu u procesu sušenja, od zrna koje je sušeno klasičnom metodom. Uzrok tome može se povezati s narušavanjem kapilarne strukture zrna zbog povišenih temperatura i tlaka kojima se zrno izlaže.

Ključne riječi: sušenje, zrno pšenice, kultivar, cooking

### UVOD

U tehnologiji proizvodnje krmnih smjesa primjenjuju se fizikalne i kemijske pretvorbe različitih tvari. Fizikalne metode koje se primjenjuju uzimaju u obzir toplinske i mehaničke postupke. Tim se postupcima poboljšavaju fizikalna svojstva proizvoda i sirovina, da bi se postigla određena fizikalna svojstva sirovina i proizvoda.

Zadaće svih tehnoloških metoda, pa tako i fizikalnih, su sljedeće:

- poboljšavanje probavljivosti pojedinih sastojaka hrane,
- razaranje antinutritivnih tvari,
- indikacija nepoželjnih enzima,

- razaranje toksičnih pratećih tvari,
- uklanjanje nepoželjnih mikroorganizama,
- poboljšavanje okusa hrane.

Potrebno je, također, voditi računa i o negativnim pojavama, a one mogu biti:

- inaktivacija osjetljivih vitamina i korisnih enzimatskih sustava,
- razgradnja aminokiselina,
- nepoželjne kemijske reakcije (između pojedinih sastojaka).

Prof. dr. sc. Tajana Krička, Neven Voća, dipl. ing., Željko Jukić, dipl. ing. Martin Androšević, dipl. ing., Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Svetošimunska 25, Zagreb, Hrvatska.

Toplinsku doradu kao dio fizikalnih metoda u pretvorbi različitih tvari predstavljaju procesi sušenja, prženja (tostiranja), unutarnjeg zagrijavanja (zračenje infracrvenim i mikrovalovima), tiještenja - tlačenja (suho ekstrudiranje, ekspandiranje, peletiranje, prešanje na valjcima). Osim toga i združivanje pojedinih postupaka, od kojih se najviše koristi mokro tlačenje u pužnim prešama (ekstrudiranje s dodatkom pare) te zračenje infracrvenim valovima s naknadnim tiještenjem na valjcima (mikroniziranje) također pripadaju u toplinsku doradu sirovina.

U prirodno osušenom zrnju probavljivost ugljikohidrata je između 40 i 50% od ukupnog sadržaja. Toplinskom se doradom povećava želatiniranje, kao i probavljivost, već prema postupku, i može doseći i do 80% od ukupne vrijednosti. U prirodno suhim žitaricama je oko 20% želatiniranog škroba, a nakon sušenja vrućim zrakom stupanj želatiniranja povećava se do 30%, nakon tostiranja i potom prešanja na valjcima stupanj želatiniranja se povećava na 35%, nakon mikroniziranja na 30%, a nakon ekstrudiranja na 62%. Cooking postupkom se stupanj želatiniranja povećava do oko 70% (Katić i sur., 1989.).

Svaka mješavina krmnih smjesa ima za cilj proizvesti što bolje izbalansirani obrok uz najnižu moguću cijenu. Dobro pripremljenim i izbalansiranim obrokom želi se postići sljedeće:

- što bolja konverzija hrane,
- sprečavanje selektivne hranidbe,
- sprečavanje segregacije komponenata unutar gotove krmne smjese pri manipulaciji i transportu,
- povećanje gustoće mase,
- poboljšavanje manipulativnih svojstava, itd.

Osnovni zadaci bilo koje od navedenih termičkih obrada su:

1. Želatiniranje (razgradnja) škroba - prilikom dorade žitarica i leguminoza bogatih škrobom, važna je razgradnja škroba i to iz dva razloga: prvi je da bi se škrob bolje pripremio za enzimatsku razgradnju tijekom probave, dok je drugi razlog bolja iskoristivost. Ovo vrijedi osobito za mlade životinje (npr. prasadi), čija aktivnost enzima za razgradnju škroba još nije tako razvijena ili za životinje kod kojih nutritivni škrob ne može biti

iskorišten u većem opsegu zbog kratkog procesa probave (npr. mačke, ribe, krznaši).

2. Uklanjanje ili sprečavanje djelovanja štetnih tvari kao što su:

- tripsin inhibitori - spojevi bjelančevina, koji smanjuju djelatnost enzima i koji pospješuju rastvaranje ostalih bjelančevina. Time smanjuju iskorištenje bjelančevina, pogotovo kod nepreživača,

- hemaglutinin - bjelančevina koja uzrokuje zgrušavanje crvenih krvnih zrnaca,

- ureaza - koja nastaje prilikom hranidbe sa sirovim zrnima soje. Nastali plin amonijak napuhava i djeluje otrovno.

3. Zaštita bjelančevina od razgradnje u buragu, odnosno potrebno je da što više nerazgrađenih bjelančevina (Bypass - Protein) dospije u crijeva životinje, gdje se bolje iskorištavaju. Zato se toplinskom doradom zrna, najčešće sojinog, pokušava postići zaštitni učinak.

## 1. UVODNE NAPOMENE

### 1.1. Mehaničko-termički postupci u proizvodnji krmnih smjesa

Prema toplinskom utjecaju, odnosno prema izvorima topline, termički postupci mogu se podijeliti na:

- termičku obradu s valovima različitih dužina,
- termičku obradu s plinovima (para i vrući zrak),
- termičku obradu kondukcijom,
- postupak s termomehaničkim učinkom.

Prema Putier, 1993., termička obrada s valovima različitih dužina dijeli se na mikrovalno zračenje i mikroniziranje. Termička obrada korištenjem plinova podijeljena je na "flaking" postupak odnosno postupak gdje se sirovina termički obrađuje korištenjem pare i na "popping" postupak gdje se sirovina termički obrađuje vrućim zrakom. Kondukcija je termička obrada koja se može podijeliti na: tostiranje i na uparivanje ili cooking. Tostiranje kao postupak termičke obrade može se provoditi s temperaturnom podrškom ili uz pomoć zračenja. Postupak s termomehaničkim učinkom dijeli se na peletiranje i na ekstrudiranje.

### 1.1.1. Termički postupak s valovima različitih dužina

Proizvod se može zagrijavati uz pomoć valova različitih duljina na dva načina i to:

- mikrovalnim zračenjem,
- mikroniziranjem,

#### 1.1.1.1. Mikrovalno zračenje

U ovom slučaju, koriste se mikrovalovi dužine između 1 cm i 100 m. Djelovanjem takvih valova zrno se zagrijava iznutra što ima za posljedicu gibanje molekula vode. Ovo gibanje, odnosno vibracija uvjetuje otpuštanje vlage. Ovo je jedini postupak u kojem se zrno zagrijava iznutra.

Ovo je jednostavan postupak u kojem se materijal isipava na trakasti transporter, pomoću kojeg materijal ulazi u izolirani tunel, u kojem se odvija zračenje. Emisija valova postiže se uređajem koji se naziva "magnetron". Brzina trakastog transportera i vlažnost proizvoda najvažniji su čimbenici koji utječu na kakvoću rada.

#### 1.1.1.2. Mikroniziranje

Postupak mikroniziranja provodi se korištenjem mikrovalova koji imaju dužinu blizu infracrvenima, i to između 1,8 mm i 3,4 mm. Djelovanjem valova, molekule vode u proizvodu počinju vibrirati. Vibriranjem molekula vode stvara se toplina koja je viša od temperature zrna na površini. U postupku mikroniziranja temperatura zrna je visoka i kreće se od 120 do 135°C.

Zračenje se emitira unutar tunela s nizom termičkih obloga, koje se zagrijavaju pomoću plinskog plamenika ili pomoću električnih grijača. Najvažniji čimbenici koji utječu na kakvoću rada su: brzina trakastog transportera, debljina sloja sirovine, udaljenost između proizvoda i keramičkih obloga i na kraju temperatura.

### 1.1.2. Toplinski postupak korištenjem vrućih plinova (para + vrući zrak)

#### 1.1.2.1. Toplinski postupak korištenjem vrućeg zraka - popping

U ovom slučaju, korišteni fluid je vrući zrak. Dodavanjem vrućeg zraka temperatura vode u zrnu naglo raste do temperature kuhanja i dolazi do

pucanja zrna (popping). Postupak obično traje 2 min., uz temperaturu zraka oko 300°C.

Zrno se dovodi do reakcijske komore s fluidiziranim slojem koji impulsivno stvara vrući zrak. Nakon postupka zrno se može mehanički obraditi odnosno lomiti kroz valjke.

#### 1.1.2.2. Toplinski postupak korištenjem pare - flaking (pahuljičanje)

Flaking je hidrotermički postupak. Korišteni fluid je nisko tlačena para koja se neposredno pušta u toranj za kondicioniranje. Postupak obično traje između 10 min i 20 min u tornju, s temperaturama zraka oko 300°C.

Zrno se dovodi u toranj koji ima 3 odjeljka u kojima se nalazi para. Nakon prolaza kroz toranj zrno se mehanički lomi pomoću 2 valjka, nakon čega od zrna nastaju pahuljice koje se hlade i prosijavaju, odnosno čiste.

### 1.1.3. Toplinski postupci kondukcijom

#### 1.1.3.1. Tostiranje

Postupak tostiranja je toplinski tretman proizvoda koji se zasniva na kombinaciji infracrvenih zraka i vrućeg zraka. Infracrvene zrake imaju zadaću prodora u zrno i zagrijavanja zrna iznutra. Porastom temperature unutar zrna, voda u zrnu kretat će se prema površini. Istovremeno topli zrak će sušiti proizvod, a isparavanje vode održavat će temperaturu zrna na zadovoljavajućoj razini.

U praksi se pokazalo, da iako je inicijalna temperatura u komori za izgaranje bila i do 1100°C, zrna nisu zagrijavana preko željene procesne temperature. Nakon izlaska iz toster temperature zrna i zraka su gotovo iste, što ukazuje na djelotvoran prijenos energije.

Prednosti tostiranja su:

1. Visok stupanj fleksibilnosti – proizvodi se mogu tretirati do 40-160°C, dok vrijeme procesa može varirati od cca. 60 sek. pa do 10 min.

2. Veliki kapacitet

3. Brzi prijenos temperature - grijanje zrna postiže se kombinacijom infracrvenog zračenja i

vrućeg zraka (do 1100°C). Visoka temperatura zraka omogućuje ujedno i manju potrošnju zraka.

#### 4. Precizna kontrola procesa.

##### 1.1.3.2. Hidrotermički postupak uparivanja ("cooking")

Hidrotermički ("cooking") postupak uparivanja je metoda koja se zasniva na tretiranju zrna vodenom parom pod tlakom, kako bi mu se povećala probavljivost. Kod ovog postupka primjenjuje se "cooking" kolona. To je okomito postavljen bubanj s pet razina u kojima se zrno zadržava određeno vrijeme. Na ulazu u kolonu zrno se tretira vodenom parom čiji je tlak između 2 i 5 bara. Zrnom je tako zasićen ulaz u kolonu. U koloni zrno se miješa i pomoću miješalice premješta s jedne razine na drugu. Vruća para dodaje se u kolonu na dva načina i to: ubrizgavanjem ili kondukcijski preko dvostruke stjenke podova na svim razinama. Cjelokupni postupak traje od 30 do 60 minuta ovisno o kulturi i konstrukciji miješalice i kolone.

Kombinacija učinaka vlaženja i temperature često ima utjecaj na biološka svojstva zrna. Da bi izbjegli nepovoljne utjecaje ove metode, mora se strogo kontrolirati tlak i kakvoća pare koja se ubrizgava u masu zrna.

Cooking postupak odvija se na sljedeći način: Iz miješalice gdje se proizvodu dodaje para, masa odlazi u kolonu s 5 dvostrukih razina. Masa se pomoću naprave za okretanje transportira do dna, a toplina se u kolonu dovodi pomoću pare ili kondukcijski pomoću dvostrukog poda.

#### 1.1.4. Termičko - mehanički postupci

##### 1.1.4.1. Peletiranje

Peletiranje se može grubo odrediti kao termoplastičan proces oblikovanja istiskivanjem, u kojem se fino razdijeljene čestice brašnaste sirovine formiraju u kompaktne pelete, pogodne za rukovanje.

Kao što je opće poznato, komponente koje se dodaju u krmnu smjesu u sebi sadrže bjelančevine, škrob, ulja, vlakninu i minerale. Kako se takve komponente u pravilu ne mogu u svom prirodnom stanju efikasno peletirati treba ih pripremiti za peletiranje, tj. treba ih omekšati, odnosno kondicionirati. To se postiže dodavanjem pare i djelovanjem topli-

ne. Uz djelovanje mehaničkog tlaka na kondicionirane sastojke formira se gusta masa, koja se zadržava kratko vrijeme u matrici i zatim se istiskuje. Tlak za oblikovanje i istiskivanje oblikuju valjci, koji hvataju masu na naličju matrice i potiskuju je kroz otvore na matrici. Nakon hlađenja i sušenja, tj. odvodnje topline i vlage, tako oblikovana masa zadržava svoj oblik i gustoću, a čvrstoća joj je tolika da može podnijeti umjereno manipuliranje.

Očito je da svojstva krmne smjese značajno utječu na rezultate procesa. Ta su svojstva određena sadržajem škroba, bjelančevina, masti, vlaknine i nasipnom masom.

Svaka peletirana masa ima svoju najpovoljniju vlažnost. No većina krmnih smjesa može se najpovoljnije peletirati s ulaznom vlažnošću od 12-13%. Vlažnost već kondicionirane krmne smjese na ulazu u matricu mora iznositi 16-17%. Kod vlažnosti već od 18% može se očekivati začepljenje matrice.

##### 1.1.4.2. Ekstrudiranje

Osnovna namjena ekstrudiranja je poboljšavanje hranjive vrijednosti komponenata za krmne smjese. To se prvenstveno odnosi na poboljšanje probavljivosti, te otklanjanje raznovrsnih toksina (npr. tripsin inhibitora, ureaze i sl.) iz sirovog zrna uljarica ili žitarica. Sirovine za izradu ekstrudata mogu biti na temelju mješavina ili pojedinačnih komponenti žitarica, uljarica, mahunarki ali i otpadnih sirovina mljarske industrije, klaonice, tvornice za preradu ribe, inkubatorskih stanica i sl.

Istovremenim djelovanjem mehaničke i toplinske energije u kratkom vremenu, materijal za ekstrudiranje se plastificira, sječe, kuha i djelomično nakon ekspanzije suši. Time se mijenjaju funkcionalna svojstva materijala.

Postupci dorade (ekstrudiranja) mogu se svrstati u tri osnovne skupine:

1. "mokra toplinska (hidrotermička) dorada" - kod koje se na materijal djeluje toplinom i vodom (vodenom parom). Mokra toplinska dorada može se podijeliti na mokru toplinsku doradu bez tlaka pare i na mokru toplinsku doradu s tlakom pare,

2. "suha toplinska (termička) dorada" - kod koje se na materijal djeluje samo toplinom,

3. "tlačna dorada" - kod koje se na materijal djeluje samo mehaničkim tlakom.

Zbog trenja pri tlačenju zrna kroz matrice, mehanička energija upotrijebljena za stvaranje tlaka djelomično se pretvara u toplinu.

Kod svih navedenih skupina postoji mogućnost kombiniranja različitih tehnoloških postupaka. Tako se npr. može združiti mehanički tlak i toplina vodene pare ili pak mehanički i parni tlak te se tako može postići istovremeno zajedničko djelovanje tlaka, topline i pare s mehaničkim tlakom ekstrudera.

## 2. CILJ ISTRAŽIVANJA

U svim ranije spomenutim postupcima toplinske obrade, osim "cooking" postupka, doraduje se već osušeno zrno. Posljednjih godina obavljena su istraživanja utjecaja "cooking" postupka na zrna kukuruza, poglavito na sušenje i dinamička svojstva. Zato je cilj ovog rada prikazati istraživanja utjecaja "cooking" postupka na brzinu otpuštanja vode iz zrna pšenice. Za potrebe istraživanja utjecaja "cooking" postupka korištena su dva domaća kultivara i to: Marija i Žitarka. U radu će se istražiti i skladišna svojstva, odnosno hektolitarska masa i apsolutna masa.

## 3. NAVODI IZ LITERATURE

Problematika sušenja pšenice kompleksno je područje tehnologije sušenja i skladištenja, koje već dulje vrijeme proučavaju mnogi autori. Provedena istraživanja, temeljena ili na tankom sloju ili na debelom sloju zrna, imaju za cilj matematičko opisivanje i modeliranje procesa sušenja, te utvrđivanje dinamičkih svojstava sušenog zrna. Autori procesa sušenja prikazuju najčešće polinomnim, eksponencijalnim ili logaritamskim jednadžbama. Suprotno tome, neki autori smatraju da niti jednadžba sušenja ne može egzistirati kao matematički model.

Katić i sur., 1989. istražuju relativan odnos brzine i sušenja različitih hibrida kukuruza kod različitih temperatura sušenja. Za sve dobivene rezultate mjerenja primijenjena je eksponencijalna jednadžba  $y = ax^b$ , uz visoki koeficijent korelacije  $R = 0,99$  za sve dobivene vrijednosti.

Plietić, i Tajana Krička, 1993. uspoređuju dinamičku otpornost zrna kukuruza hibrida Bc 492 u klasičnom postupku sušenja s dinamičkom otpornošću zrna kukuruza po primjeni "cooking" postupka. Navedenim hidrotérmičkim "cooking" postupkom obrađivano je zrno kukuruza perforiranog i neperforiranog perikarpa. Utvrdili su da "cooking" postupak utječe na smanjenje dinamičke otpornosti zrna navedenog hibrida. Kod neperforiranog perikarpa dinamička (lomna) otpornost je izraženija nego kod perforiranog perikarpa zrna kukuruza.

Katić i sur., 1994. iznose podatke istraživanja kojima je svrha bila ustanoviti da li postoji razlika u kakvoći zrna koje je obrađeno toplinom prije sušenja od uobičajenog postupka doradivanja poslije sušenja. Rezultati istraživanja provedeni s hibridom kukuruza Bc 492 pokazali su da postoji značajna razlika između sadržaja ljepka i probavljivih bjelančevina u zrnu kukuruza u ovisnosti o postupcima pripreme. Tako je ljepak ustanovljen kod osušenog zrna iznosio 21,6%, a kod uparivanog 60,9%. Analogno tome probavljive bjelančevine su kod osušenog zrna iznosile 6,3%, a kod uparivanog zrna 6,75%. U istom radu iznosi se i pretpostavka na osnovu proračuna o mogućoj uštedi energije potrebne za sušenje i istovremenu toplinsku doradu od oko 25% ukupne energije koja se troši za sušenje i naknadnu toplinsku doradu.

Tajana Krička i Plietić, 1994. provode istraživanja na hibridu kukuruza Bc 492 u kojima se promatra brzina sušenja perforiranog i neperforiranog zrna nakon "cooking" postupka. Promatrane procese sušenja opisuju polinomnim jednadžbama. Autori zaključuju na osnovi usporedbe zrna kukuruza koji je sušen bez prethodnog "cooking" postupka i zrna tretiranog "cooking" postupkom, da kod nižih vlažnosti zrna (u oba slučaja se sa sušenjem kretalo od oko 22% vlage) "cooking" postupak ne utječe bitno na brzinu sušenja, kao niti perforacija zrna.

Plietić i Varga, (1995.) ispituju dinamičku (lomnu) otpornost vlažnog i rehidriranog zrna kukuruza hibrida Bc 492. Između ostalog definiraju pripremu uzoraka, koja je prihvaćena i Napatkom Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo.

Heidenreich, 1994. navodi da je intenzitet dorade zbroj tlaka, temperature i vremena zadržanja

vanja robe u stroju i smatra se da je najvažniji čimbenik za dobar rad postrojenja. Dodavanje vode znatno utječe na rad postrojenja.

Kiš, 1996. ispituje utjecaj "cooking" postupka na brzinu sušenja i dinamička svojstva zrna kukuruza. Analizom rezultata usporedbe zrna kukuruza hibrida EVA 3901 (Pioneer), koji je sušen bez "cooking" postupka samog hibrida nakon "cooking" postupka, utvrđuje da "cooking" postupak negativno utječe na proces sušenja.

Isto tako utvrđuje da "cooking" postupak negativno utječe na dinamička svojstva zrna kukuruza tako da povećava lom zrna.

Plietić i Tajana Krička, 1998. ispituju dinamičku otpornost zrna kukuruza hibrida Bc 492 i hibrida EVA 3901. Oba hibrida ispitivana su u klasičnom postupku sušenja, kao i u hidrotermičkom "cooking" postupku. Dobiveni rezultati potom su uspoređivani. Autori su utvrdili da postoje značajne razlike u dinamičkoj (lomnoj) otpornosti, kako međusobno hibrida, tako i postupka obrade.

Plietić i Kovačev, 1999. ispituju brzinu sušenja kukuruznog zrna Hibrida Bc 492 hidrotermičkim "cooking" postupkom. Kao ključni parametri procesa sušenja promatrani su brzina otpuštanja vode iz zrna (brzina sušenja), te ukupno potrebno vrijeme sušenja do skladišne vlage (14%). Analizom rezultata međusobne usporedbe zrna podvrgnutog "cooking" postupku i rehidriranog zrna, utvrđeno je da tretirano zrno u procesu sušenja sporije otpušta vlagu od netretiranog zrna, odnosno da "cooking" postupak produljuje proces sušenja kukuruznog zrna hibrida Bc 492 za približno 27%. Za pretpostaviti je da voda dodana zrnu u "cooking" postupku dublje prodire u strukturu zrna (endosperm), te je stoga potrebno i relativno više vremena za njezino odstranjivanje u odnosu na rehidrirane uzorke, koji vjerojatno vodu zadržavaju u području cjevastih stanica perikarpa.

## 4. METODIKA ISTRAŽIVANJA

### 4.1. Karakteristike kultivara pšenice Marija i Žitarka

Potrebna istraživanja provedena su na zrnu pšenice kultivara Žitarka i Marija, zbog velike za-

stupljenosti navedenih kultivara na poljoprivrednim površinama Hrvatske.

Kultivar "Marija" je srednje rana sorta pšenice polupatuljastog tipa, visine stabljike oko 75 cm. Masa 1000 zrna iznosi u prosjeku 40 grama, uz hektolitarsku masu između 78 do 80 kg.

Kultivar "Žitarka" je ozima pšenica, polupatuljasta, visine stabljike oko 70 cm. Najraširenija je sorta u Hrvatskoj. Masa 1000 zrna u prosjeku iznosi 42 grama.

## 4.2. Metodika istraživanja

### 4.2.1. Modificirani "cooking" postupak

Modifikacija primijenjenog "cooking" postupka sastoji se u tome da je umjesto "cooking" kolone upotrijebljena tlačna posuda. Osnovna razlika je da se para u procesu tretiranja pšeničnog zrna ne dovodi izvana, nego se zrno uparava parom nastalom od vode koja se nalazi na dnu posude i nije u dodiru sa zrnom. U posudi se nalazi i druga cilindrična posuda s perforiranim dnom, a ispod nje keramička ploča s provrtima  $\phi$  16 mm, kako zrno ne bi bilo u izravnom kondukcijskom dodiru s metalnim dnom i stjenkama tlačne posude, te konvekcijskom dodiru s vodom. Vodena para pri tom nesmetano prolazi i obrađuje zrno.

Tlačna posuda je zagrijavana putem električnog grijača, a temperatura je regulirana preko regulatora napona pomoću promjenjivog otpornika. U posudu su ugrađeni: termometar i manometar za nadzor temperature i tlaka unutar posude, ventil za ispuštanje suvišne pare, te sigurnosni ventil.

U "cooking" postupak uziman je uzorak zrna od 500 grama koji je prethodno rehidriran na 17% vlažnosti. U tlačnu je posudu za svaki tretman odmjerenom 350 ml destilirane vode. Zrno je tretirano u trajanju od 5 minuta na temperaturi višoj od 100°C, pri predtlaku pare od 0,5 bara.

Tijekom kompletnog tretmana svake minute očitavane su vrijednosti temperature i tlaka unutar posude. Tlak je reguliran ispuštanjem suvišne pare kroz ventil na posudi, a granica od 0,5 bara postavljena je u skladu sa sigurnosnim propisima.

Nakon završetka tretiranja zrna u "cooking" postupku, uzorcima je određivana vlažnost do koje je zrno napareno.

#### 4.2.2. Laboratorijsko sušenje zrna

Sušenje zrna nakon "cooking" postupka i rehidracije obavljeno je na laboratorijskom modelu sušare. Laboratorijska sušara je konstruirana prema kinetičkoj sličnosti s realnim industrijskim sušarom.

Ventilatorom snage 1 kW prisilno se prostrujava radni medij (zrak okoline) preko električnih otporničkih grijača, snage 2 kW. Regulacija dobave željene količine radnog medija je ostvarena naponski, promjenjivim otpornikom a temperaturna razina radnog medija potrebnog u procesu sušenja regulira se termostatski, a mjeri se digitalnim termometarskim osjetilom Pt-100, neposredno prije ulaska zraka u sloj zrna. Brzina strujanja radnog medija nadzire se digitalnim anemometrom smještenim na izlaznoj strani radnog medija iz sloja zrna.

Uzorak zrna stavlja se na sušenje u istu posudu rešetkastog dna u kojoj se tretira parom.

Prije početka sušenja uzorcima je određena vlažnost, te je izmjerena njihova ukupna masa. U samom procesu sušenja uzorcima je određivana masa vaganjem svake 2 minute do vlažnosti zrna približno 13%, kako bi se utvrdio pad vlažnosti. Također su nadzirane temperatura i brzina strujanja radnog medija (zraka). Temperatura zraka za sušenje održavana je na vrijednosti od 60°C, a brzina strujanja kroz sloj zrna na 0,75 m/sec. Ukupni proces rađen je u 10 ponavljanja.

Tijekom cjelokupnog istraživanja, mjerene su hektolitarska masa i masa 1000 zrna kod uzoraka tretiranih "cooking" postupkom i uzoraka sušenih konvencionalnom metodom prije i nakon tretmana. Mjerenja su obavljena standardnim metodama u svrhu usporedbe skladišnih svojstava.

### 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM

Cjelokupno istraživanje provedeno je u laboratorijskim uvjetima, a prosječni čimbenici okoliša, pri kojima je obavljeno istraživanje bili su:

- temperatura od 18,5°C do 20,5°C, u prosjeku 19,5°C,

- relativna vlaga zraka ( $\varphi$ ) od 53 do 58%, u prosjeku 56,6%,

- tlak zraka od 1017 do 1033 hPa, što je u prosjeku 1026,5 hPa.

#### 5.1. REZULTATI "COOKING" POSTUPKA

Provedeni tretman zrna pšenice "cooking" postupkom trajao je 5 minuta od trenutka kada je temperatura u tlačnoj posudi dostigla 100°C (granica parnog stanja). Predtlak je u čitavom tom razdoblju održavan stalnim na 0,5 bara, a maksimalna postignuta temperatura u posudi iznosila je 109°C. Tablicom 1 prikazane su početne vlažnosti uzoraka zrna pšenice prije "cooking" postupka ( $w_1$ ) i vlažnosti uparenog zrna nakon tretmana ( $w_2$ ), za kultivare pšenice Marija i Žitarka.

Tablica 1. Srednje vrijednosti zrna pšenice Marija i Žitarka prije ( $w_1$ ) i nakon ( $w_2$ ) "cooking" postupka

Table 1. Wheat grain mean values of cultivars Marija and Žitarka before ( $w_1$ ) and after ( $w_2$ ) cooking treatment

Kultivar – Cultivar	$w_1$ (%)	$w_2$ (%)
Marija	16.96	26.01
Žitarka	17.05	27.22

#### 5.2. REZULTATI SUŠENJA NAKON "COOKING" POSTUPKA

Uzorci pšenice su nakon tretiranja u "cooking" postupku stavljeni na sušenje bez prethodnog hlađenja. Sušenje je obavljeno u laboratorijskoj sušari zagrijanim zrakom temperature 60°C, pri brzini strujanja zraka kroz sloj zrna od 0,75 m/s. Temperatura zrna na kraju sušenja iznosila je u prosjeku 59,1°C.

Na tablici 2 date su srednje vrijednosti trajanja procesa sušenja nakon "cooking" postupka za oba kultivara pšenice.

Tablica 2. Srednje vrijednosti vremena trajanja sušenja uzoraka pšenice Marija i Žitarka tretiranih "cooking" postupkom

Table 2. Mean values of drying duration of Marija and Žitarka wheat samples treated by cooking method

Vrijeme – Time (min)	Kultivar – Cultivar	
	Marija w1 (%)	Žitarka w2 (%)
0.01	26.01	27.22
2	23.54	24.27
4	22.68	23.29
6	21.81	22.57
8	21.21	21.68
10	20.45	20.93
12	19.99	20.02
14	19.37	18.92
16	18.89	18.27
18	18.57	17.78
20	17.92	17.29
22	17.59	16.45
24	16.93	16.49
26	16.93	15.63
28	16.09	15.63
30	16.09	14.75
32	16.09	14.73
34	15.23	13.84
36	15.23	
38	14.70	
40	14.35	
42	13.68	

Na temelju podataka iz tablice 2 izračunate su jednadžbe sušenja zrna pšenice kultivara Marija i Žitarka nakon "cooking" postupka, prikazane na tablici 3.

Tablica 3. Jednadžbe sušenja zrna pšenice kultivara Marija i Žitarka nakon "cooking" postupka

Table 3. Equations of wheat grain drying of cultivars Marija and Žitarka after cooking treatment

Kultivar – Cultivar	Jednadžba - Equation	R <sup>2</sup>
Marija	$w = 23.833e^{-0.0132t}$	0.9776
Žitarka	$w = 25.169e^{-0.018t}$	0.9797

### 5.3. REZULTATI SUŠENJA ZRNA PŠENICE MARIJA I ŽITARKA NAKON UBIRANJA

Uzorci su sušeni u istoj laboratorijskoj sušari, uz održavanje jednakih parametara sušenja, kao i prilikom sušenja uzoraka nakon "cooking" postupka.

Na tablici 4 prikazane su srednje vrijednosti trajanja procesa sušenja neposredno nakon ubiranja zrna pšenice kultivara Marija i Žitarka.

Tablica 4. Srednje vrijednosti vremena trajanja sušenja zrna pšenice kultivara Marija i Žitarka ( $\zeta = 10$ )

Table 4. Mean values of drying duration of wheat grains of cultivars Marija and Žitarka ( $\zeta = 10$ )

Vrijeme – Time (min)	Kultivar $\zeta$ - Cultivar	
	Marija w' (%)	Žitarka w' (%)
0.01	17.42	17.07
2	16.59	15.74
4	16.09	15.05
6	15.75	14.36
8	15.06	14.01
10	14.89	13.47
12	14.71	
14	14.54	
16	14.19	
18	13.83	

Na osnovi podataka iz tablice 4 izračunate su jednadžbe sušenja zrna pšenice Marija i Žitarka nakon ubiranja i prikazane su na tablici 5.

Tablica 5. Jednadžbe sušenja zrna pšenice kultivara Marija i Žitarka nakon ubiranja

Table 5. Equations of wheat grain drying of cultivars Marija and Žitarka after harvesting

Kultivar – Cultivar	Jednadžba - Equation	R <sup>2</sup>
Marija	$w = 16.981e^{-0.0118t}$	0.9623
Žitarka	$w = 16.686e^{-0.0226t}$	0.9661

#### 5.4. REZULTATI SKLADIŠNIH SVOJSTAVA (HEKTOLITARSKA MASA I MASA 1000 ZRNA) ZRNA PŠENICE MARIJA I ŽITARKA

Za usporedbu skladišnih svojstava kultivara Marija i Žitarka ispitivana je hektolitarska masa i masa 1000 zrna i to prije i nakon "cooking" postupka i sušenja te prije i nakon sušenja. Na tablici 6 prikazane su dobivene vrijednosti.

Istraživanja su imala za cilj usporedbu procesa sušenja zrna tretiranog "cooking" postupka i netretiranog zrna, te utjecaj "cooking" postupka na skladišna svojstva (hektolitarska masa i masa 1000 zrna). Obavljena su u laboratorijskim uvjetima, tj. "cooking" postupak i sušenje zrna provedeni su kod prosječne temperature zraka od 19,5°C i prosječnog tlaka zraka od 1026,5 hPa. Sva ispitivanja provedena su na kultivarima pšenice Marija i Žitarka.

Tablica 6. Srednje vrijednosti hektolitarske mase i mase 1000 zrna izmjerenih prije i nakon "cooking" postupka i sušenja i prije i nakon samog sušenja

Table 6. Mean values of a hectolitre mass and 1000 grain mass before and after cooking treatment and before and after drying

Kultivar Cultivar	Tretman Treatment	Hektolitarska masa – Hectolitre mass (kg/hl)		Masa 1000 zrna - 1000 kernels mass (g)	
		vlažno - moist	osušeno - dried	vlažno - moist	osušeno - dried
Marija	cooking	73.23	70.71	49.97	40.33
	ubrano – picked	73.67	76.45	40.83	39.52
Žitarka	cooking	73.61	71.86	50.20	48.10
	ubrano - picked	73.20	77.11	49.68	47.62

Tretiranje uzoraka kultivara pšenice Marija i Žitarka u "cooking" postupku provedeno je u trajanju od 5 minuta pri maksimalno postignutoj temperaturi od 9°C i tlaku od 0.5 bara. Pri tome je vlažnost tretiranog zrna porasla sa 17% na oko 27%.

Nakon "cooking" postupka uzorci su odmah sušeni u laboratorijskoj sušari, pri temperaturi zraka kojim se sušilo od 60°C i brzini strujanja zraka kroz sloj zrna od 0.75 m/s.

Pri takvim zadanim parametrima proces sušenja za kultivar pšenice Marija nakon "cooking" postupka trajao je prosječno 42 minute, a za Žitarku 34 minute. Kod toga jednadžba sušenja za kultivar Marija iznosila je  $w = 23,833e^{-0.132t}$  uz koeficijent determinacije  $R^2 = 0,9776$ , a za kultivar Žitarka  $w = 25,169e^{-0.018t}$  uz  $R^2 = 0,9776$ .

Zbog usporedbe utjecaja "cooking" postupka na dužinu sušenja utvrđeno je vrijeme sušenja istih kultivara odmah nakon ubiranja. Utvrđeno je da je prosječno vrijeme sušenja kultivara Marija iznosilo 18 minuta, a kultivara Žitarka 10 minuta. Kod toga su jednadžbe sušenja za kultivar Marija iznosile

$w = 16,981e^{-0.0118t}$  uz  $R^2 = 0,9623$ , a za kultivar Žitarka  $w = 16,686e^{-0.0226t}$  uz  $R^2 = 0,9661$ .

Proizlazi da zrno pšenice tretirano "cooking" postupkom sporije otpušta vlagu u procesu sušenja, od zrna koje je sušeno klasičnom metodom. Uzrok tome može se povezati s narušavanjem kapilarne strukture zrna zbog povišenih temperatura i tlaka kojima se zrno izlaže.

Ono što je osobito zanimljivo je promjena hektolitarske mase. Naime, hektolitarska masa je nakon "cooking" postupka pala sa 73,23 kg/hl na 70,71 kg/hl kod kultivara Marija, a kod kultivara Žitarka sa 73,61 kg/hl na 71,86 kg/hl. Za razliku od tehnološkog procesa sušenja gdje je hektolitarska masa porasla sa 73,67 kg/hl na 76,45 kg/hl kod kultivara Marija, a kod kultivara Žitarka sa 73,20 kg/hl na 77,11 kg/hl. Ova pojava kod "cookinga" može biti uzrokovana želatinizacijom škroba endosperma.

Istovremeno je masa 1000 zrna pala oko 1 gram i kod "cooking" postupka i kod klasičnog sušenja za oba kultivara.

## 6. ZAKLJUČAK

Na temelju istraživanja utjecaja "cooking" postupka u doradi zrna pšenice, kultivara Marija i Žitarka, na brzinu sušenja, moguće je zaključiti sljedeće:

1. Tretiranjem zrna pšenice "cooking" postupkom vlažnost zrna je s prosječnih 17% porasla na prosječnih 27%.

2. Obradom rezultata sušenja zrna pšenice tretiranog "cooking" postupkom, od vlažnosti 27% do vlažnosti 13% izračunata je jednadžba sušenja tretiranog zrna koji glasi za kultivar Marija  $w = 23,833e^{-0,0132t}$  uz  $R^2 = 0,9776$ , a za kultivar Žitarka  $w = 25,169e^{-0,018t}$  uz  $R^2 = 0,9776$ .

3. Usporedni rezultati osušenog zrna od vlažnosti 17% do 13% dali su jednadžbu sušenja netretiranog zrna koja glasi za kultivar Marija  $w = 16,981e^{-0,018t}$  uz  $R^2 = 0,9623$ , a za kultivar Žitarka  $w = 16,686e^{-0,0226t}$  uz  $R^2 = 0,9661$ .

4. Rezultati skladišnih svojstava (hektolitarska masa i masa 1000 zrna) pokazuju da se masa 1000 zrna za oba kultivara smanjila nakon sušenja i kod "cooking" tretmana i kod klasičnog sušenja, dok se hektolitarska masa poslije klasičnog sušenja povećala a kod "cooking" tretmana se smanjila.

5. Analizom rezultata međusobne usporedbe zrna pšenice tretiranog "cooking" postupkom osušenog zrna koje nije tretirano, utvrđeno je da tretirano zrno u procesu sušenja sporije otpušta vlagu od netretiranog zrna, a hektolitarska masa se smanjuje sušenjem poslije "cooking" tretmana zbog želatinizacije škroba. Shodno iznesenom može se zaključiti da "cooking" postupak utječe na proces sušenja zrna pšenice tako da povećava potrebno vrijeme sušenja, a smanjuje hektolitarsku masu tretiranog zrna.

## 7. LITERATURA

1. Heidenreich, E. (1994): Technische und Technologische Aspekte des Expandierens und Extrudierens, Die Muehle + Mischfuttertechnik, Zeitung.
2. Katić, Z., Tatjana Krička, S. Plietić (1989.): Utjecaj visokotemperaturnog predušenja na energetske bilance sušenja kukuruza, V Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Zbornik radova, Toplice Topusko.
3. Katić, Z. (1992.): Sušenje i sušare u poljoprivredi, skripta, Agronomski fakultet, Zagreb.
4. Katić, Z., Tajana Krička, S. Plietić, Justina Bratko, Gabrijela Krivec, S. Sito (1994.): Utjecaj toplinske dorade kukuruza prije sušenja na hranidbenu kakvoću zrnja, XV Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Zbornik radova, Stubičke Toplice.
5. Kiš, J. (1996.): Utjecaj "cooking" postupka na brzinu sušenja i dinamička svojstva kukuruza, Diplomski rad, Agronomski fakultet, Zagreb.
6. Kovačev, I. (1998.): "Cooking" postupak - reduktor brzine sušenja zrna kukuruza, Diplomski rad, Agronomski fakultet, Zagreb.
7. Krička, Tajana, S. Plietić (1994.): Brzina sušenja perforiranog i neperforiranog zrna kukuruza nakon "cooking" postupka, Krmiva 36, Zagreb.
8. Plietić, S., Tajana Krička (1993.): Ispitivanje dinamičke otpornosti zrna kukuruza hibrida Bc 492 sušenog klasičnim i "cooking" postupkom, Krmiva 35, Zagreb.
9. Plietić, S., V. Varga (1995.): Utvrđivanje lomne otpornosti prirodno vlažnog i rehidriranog zrna kukuruza hibrida Bc 492, XI Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Zbornik radova, Stubičke Toplice.
10. Plietić, S., Tajana Krička (1998.): Utjecaj hidrotermičkog postupka obrade na manipulativna svojstva kukuruznog zrna, XV Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Zbornik radova, Stubičke Toplice.

## SUMMARY

This paper deals with the speed of water evaporation from wheat grains of cultivars Marija and Žitarka. The results show that after cooking treatment and in approximately equal conditions in temperature and velocity of air the moisture of grains of the cultivar Marija takes longer to dry than Žitarka/Marija= $w=23,833e^{-0,0132t}$ , Žitarka  $w = 25,169e^{-0,018t}$ .

For comparison cultivars were dried immediately after harvesting and Marija also took longer to dry than Žitarka (Marija  $w= 16,981e^{-0,018t}$ , Žitarka  $w= 16,686e^{-0,0226t}$ )

The results show that drying in cooking treatment takes longer than drying in normal conditions, for both cultivars. The cause of this difference could be in the disruption of grain capillary structure and raised temperatures as well as the pressure the grains are exposed to.

Key words: Drying, wheat grains, cultivar, cooking