

SUŠENJE PRETHODNO PAREN OG KUKURUZN OG ZRNA - ENERGIJA ZA SUŠENJE I KAKVOĆA ZRNJA

COOKING CORN BEFORE DRYING - ENERGY FOR DRYING AND NUTRIENT QUALITY

**Z. Katić, Tajana Krička, S. Plietić, Justina Bratko, Gabrijela Krivec,
S. Sito**

Izvorni znanstveni članak
UDK: 636.085.64.631.563.8.086.15
Primljeno: 15. srpanj 1994.

SAŽETAK

U radu su izneseni podaci istraživanja kojima je bila svrha ustanoviti kolika je razlika u potrebi energije i kakvoći zrnja kukuruza koje je obrađeno toplinom prije sušenja od danas uobičajenog postupka doradivanja toplinom suhog zrnja u mješaonicama krmnih smjesa. Suho zrnje doraduje se toplinom radi povećanja iskoristivosti hrane. Tijekom dorade potrebno je zrnju dodavati vodu i toplinsku ili mehaničku energiju.

Dorada zrnja toplinom prije sušenja omogućava uštedu energije, jer nije potrebno isparavati naknadno dodanu vodu iz zrnja.

Uvod

Sušenje zrnja kukuruza iziskuje veliku energiju za isparavanje vode iz zrnja. Potrebna energija ovisi o tehnološkom postupku sušenja i količini vode koju treba ispariti.

Energija potrebna za isparavanje vode iz zrna prilikom sušenja u sušarama je između 3000 i 7000 kJ/kg isparene vode, već prema tipu sušare u kojoj se suši zrnje. Prosječna potrošnja energije u sušarama u Hrvatskoj je, prema ispitivanjima Zavoda za tehnologiju, skladištenje i transport AGF-a Zagreb, u godinama 1970.-1986. bila oko 5600 kJ/kg isparene vode.

Vlažnost zrna prije sušenja uvjetuje, uz primijenjenu tehnologiju i tehniku sušenja, i količinu goriva potrebnu za sušenje 100 kg suhog zrna. Ova količina je 1984. godine iznosila 6,5 kg; 1985. 3,5 kg; a 1986. 3 kg mazuta (ili ulja za loženje) za 100 kg suhog zrna.¹

Prednosti toplinske dorade žitarica su poznate.

Toplinska dorada kukuruza obavlja se u mješaonicama krmnih smjesa (MKS) tako da se suhom zrnu dodaje voda ili para i zrno izlaže djelovanju topline i tlaka. Za to se služe različiti tehnološki postupci koji imaju svi isti cilj: povećati probavljivost kukuruza kao hrane, što znači i njenu iskoristivost.

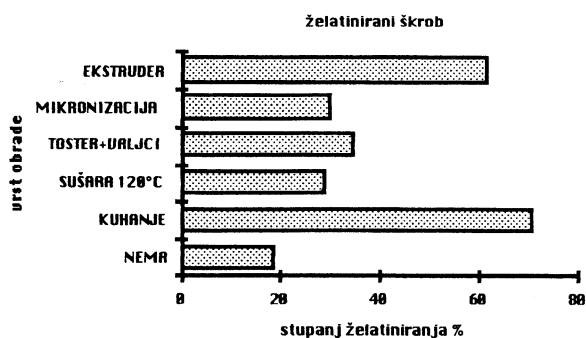
Toplinska dorada je svaki postupak kojim se zrnje žitarica ili uljarica izlaže određeno vrijeme utjecaju povišene temperature. Energija kojom se zrnje grije može biti neposredno toplina prenešena s mjesta povišene temperature ili posredno toplina dobivena pretvorbom drugog vida energije, npr. tlaka.

Prof. dr. Zvonko Katić, dr. Tajana Krička, mr. Stjepan Plietić, mr. Stjepan Sito - Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Svetošimunska 25, mr. Justina Bratko, „Koka” - Varaždin, dr. Gabrijela Krivec - Hrvatski veterinarski zavodi, Centar za peradarstvo, Zagreb, Hrvatska - Croatia.

U toplinsku doradu ubraja se: sušenje, prženje (tostanje), unutarnje grijanje (zračenje infra crvenim i mikrovalovima), tlačenje (suho ekstrudiranje, ekspandiranje, peletiranje, presanje na valjcima) kao i združivanje pojedinih postupaka, od kojih se najviše primjenjuje mokro tlačenje u pužnim presama (ekstrudiranje s dodatkom pare) i zračenje infracrvenim valovima s naknadnim tlačenjem na valjcima (mikroniziranje).

U svim nabrojenim postupcima toplinske dorade, osim sušenja, doraduje se osušeno zrno. Toplinska dorada nije moguća bez prisutnosti vode, zato se postupak i naziva "hidrotermička dorada". To praktički znači da zrnju treba prije dorade dodati vodu. Ako se zrnje doraduje kuhanjem u pari, potrebno je dodati oko 120 kg pare po toni zrnja.² Dodanu vodu potrebno je ponovno odstraniti. Za isparavanje dodane vode troši se energija. Prema tipu sušare za isparavanje dodanih 120 kg vode potrebno je utrošiti između 0,5 do 1 kg nafte.³

U prirodno osušenu zrnju probavljivost ugljikohidrata je između 40 i 50% od ukupnog sadržaja. Toplinskom se doradom škrob želatinira i zato probavljivost, već prema postupku, može doseći i do 80% od ukupne vrijednosti škroba i zrna. U prirodno suhim žitaricama ima oko 20% želatiniranog škroba, dok je nakon sušenja vrućim zrakom stupanj želatiniranja oko 30%, nakon prženja (tostanja) i potom tlačenja na valjcima oko 35%, zračenja infracrvenim zrakama (mikroniziranja) 30%, ekstrudiranja 62%. Kuhanjem je stupanj želatiniranja povećan do oko 70%.⁴ (Sl. 1.).

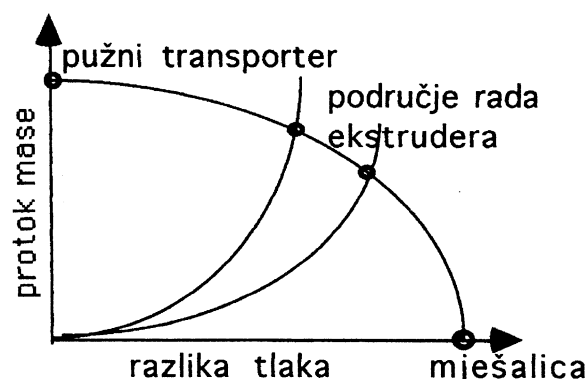


Slika 1. Želatiniranje škroba raznim postupcima (Schmidt 1987)

Toplinsko-tlačna dorada suhih žitarica najčešće se obavlja u ekstruderima ili ekspanderima. U oba slučaja to je stroj u kojemu se pužnicom transportira i tlači roba prema izlazu iz komore. Izlaz može biti zatvoren pločom u kojoj su izbušeni otvori (ekstruder), ili čepom koji zatvara otvor djelomično, tako da ostaje prstenasti otvor

između čepa i otvora (ekspander). Ovaj otvor se može mijenjati, ili održavati na stalnoj veličini procjepa.

Pužnica u ekstruderu mora raditi s razlikom tlakova, jer je u protivnom samo transportni element. Ako nema protoka materijala, što se događa kada čep potpuno zatvori izlaz, nastaje velika razlika tlakova, a pužnica radi kao mješalica. Radni položaj je negdje na sredini između ova dva ekstrema (sl. 2.).



Slika 2. Radni dijagram ekstrudera (Heidenreich 1994)

Intenzitet dorade je zbroj tlaka, temperature i vremena zadržavanja robe u stroju i smatra se da je najvažniji čimbenik za dobar rad postrojenja. Dodavanje vode znatno utječe na rad postrojenja. Mjerenje temperature na početku, u 2/3 i na kraju pužnice pokazalo je da se promjenom vlažnosti mase različito mijenja temperatura mase uzduž pužnice.⁵

Od ulaza u pužnicu, gdje je temperatura predgri-jane mase bila 95°C za oba pokusa, kod većeg protoka (motor opterećen sa 107 kWh/t) temperatura na 3/4 pužnice bila je 148°C, a kod manjeg opterećenja (80 kWh/t) 125°C. Na kraju pužnice temperature su bile približno iste (oko 160°C). krivulja koja pokazuje tijek temperature kod većeg opterećenja bila je zakrivljena prema gore, a kod manjeg opterećenja prema dolje. Znači da je površina ispod krivulje tlaka i temperature uzduž pužnice imala manju vrijednost kod manjeg opterećenja, iako su početna i konačna temperatura bile iste u oba slučaja. Doda li se istom postrojenju 10% vode, oblik krivulje porasta temperature približno je pravac istovjetan za oba opterećenja motora, ali je smanjena potreba el. energije za pogon motora (107 na 90 kWh/t za veće i 80 na 70 kWh/t za manje opterećenje). Prosječno je vrijeme zadržavanja mase u pužnici između 3-5 s kod 130-150°C izlazne temperature mase. Tlak je u pokusu rastao s 10 na 55 bara uzduž pužnice.

Masa je predgrijana u kratkotrajnom kondicioneru parom (do 3%) a u pužnicu ekstrudera se dodavalo vode u raznim omjerima (5- 10%). Vlažnost robe bila je oko 19%. Dodavanjem vode pada spec. energija potrebna za rad, sa 150 kWh/t (3% pare, 5% vode), na 70 kWh/t (3% pare, 10% vode). Gustoća se istovremeno povećala s 0,25 na 0,40 g/cm³. Učinak ekstrudiranja bio je u povećanju probavljivosti, koja je istovjetna podacima na slici 1.

Ukupno dodana voda u tijeku procesa dorade suhe robe, bez obzira da li je dodana kao para ili kao voda, mora se sušenjem nakon dorade udaljiti iz robe. Energija potrebna za sušenje mogla bi se uštediti ako se roba doradi toplinom prije sušenja.

Cilj i način istraživanja

U pokusima kojima je bila svrha dobiti uvid da li je moguće povećati probavljivost zrnja kukuruza njegovom doradom prije sušenja, dakle dok je još vlažno, kukuruzno zrnje je pareno u autoklavu u vremenu od 5, 10, 15 i 20 minuta pri temperaturama od $t_p = 101,3^{\circ}\text{C}$ do $t_p = 108^{\circ}\text{C}$. Nakon toga je zrnje osušeno do ravnotežne vlage (13,5%) ležanjem u tankom sloju u prostoriji u kojoj je prosječna temperatura zraka iznosila $19,7^{\circ}\text{C}$ a prosječna relativna vlažnost 79%. Standardno odstupanje od temperature i vlažnosti je tom prilikom bilo u granicama od $\sigma = 1,8$ za temperaturu i $\sigma = 1,6$ za vlažnost.

Niz pokusa obavljen je tako da je zrno nakon parenja sušeno u laboratorijskoj sušari u uvjetima koji su približno isti kao u komercijalnim sušarama koje se kod nas upotrebljavaju.

Za pokuse je upotrijebljen srednje rani hibrid BC 492 (single cross), koji se po FAO standardizaciji ubraja u grupu 490.

Prosječna vlažnost zrnja prije parenja u autoklavu bila je 20,25%. Radi srazmjerno malene vlažnosti uzoraka, u jednoj seriji pokusa je rlikom grijanja u autoklavu stavljena na dno voda, a zrnje je bilo u posudi koja se nalazila iznad vode. Jedan dio pokusa obavljen je s ovlaženim zrnjem čija je vlažnost bila povećana močenjem zrnja na 31,6%.

Hranidbena kakvoća zrnja određivana je kemijskim metodama i to:

topivi (probavljivi) dušik

ukupni škrob

stupanj želatinizacije škroba

Kemijske analize su odabrane kao jednostavnije i

brže. Iz tendencije promjena stupnja želatinizacije i količine probavljivih bjelančevina u kukuruзу nakon parenja, u odnosu na prirodno osušeni koji je analiziran kao osnovni uzorak, može se zaključiti da li navedeni postupak dorade povećava probavljivost kukuruza u istoj mjeri kao i dosada primjenjivani postupci dorade suhog zrnja.

Uz promjene kemijskih vrijednosti želatinizacije i probavljivih bjelančevina, u pokusima su utvrđivane i promjene koje nastaju na fizikalnim osobinama zrnja. otpornost na dinamičko opterećenje (udar prilikom pada u silosnu ćeliju), promjena veličina zrnja, promjena nasipne mase, promjena otpora prolazu zraka kroz sloj i brzina fluidizacije sloja^{6,7}.

Brzina sušenja parenog zrnja i potrebna energija za sušenje pokazuju da je takvim pristupom moguće promijeniti dosadašnji postupak sušenja, uz znatnu uštedu energije.⁸

Ukoliko se dokaže da je pretpostavka točna, potrebno je za tu svrhu upotrijebiti poseban uređaj ili postrojenje u kojemu bi se prije sušenja zrno parilo. Slični uređaji postoje na tržištu za drugu namjenu⁹. Bilo bi moguće isti postupak obaviti i u sušari koju bi za tu svrhu trebalo pregraditi.¹⁰

Opis kemijskih analiza

Određivanje sadržaja netopljivog, odnosno neprobavljivog dušika u pepsinu (metodom prema Stutzer-u)

Odvagnuto je 2 g samljevenog uzorka (veličina čestica ispod 1mm) u čašu od 600 ml, doliveno 480 ml destilirane vode, te dodano 1 g pepsina i 10 ml 25%-tne otopine solne kiseline. Tako pripremljena mješavina držana je u termostatu prethodno zagrijanom na temperaturu od 37°C kroz 48 sati. Nakon 24 sata u mješavini je dodano još 10 ml 25 %-tne otopine solne kiseline. Tijekom inkubiranja, mješavina je više puta promiješana staklenim štapićem.

Nakon 48 sati mješavina je procijeđena pomoću filter papira crne vrpce. Čašu, kao i zaostatak na filter papiru ispran je nekoliko puta vrućom vodom, da se uklone ioni klora (dokaz prisutnosti iona klora otopinom srebrenog nitrata). Filter papir zajedno sa zaostatkom na njemu prenijet je u staklenu cijev za određivanje dušika prema Kjeldahl postupku. Količina neprobavljivih bjelančevina u uzorku dobivena je množenjem količine neprobavljivog dušika faktorom 6.25. Količine probavljivih bjelančevina u uzorku dobivene su iz razlike ukupnog i neprobavljivog dušika, odnosno bjelančevina.

Određivanje stupnja želatinizacije škroba u žitaricama i hrani

Cilj metode je, da se odredi stupanj želatinizacije škroba u žitaricama i hrani. Stupanj želatinizacije izražen je kao količina hidrolizirana škroba u postotku ukupnog. Analiza se temelji na činjenici da enzim amiloglukozidaza razgrađuje samo škrob što je bio želatiniran, ali ne i škrobna zrna. Dio uzorka se želatinira u acetatnu puferu tijekom 30 minuta pri 100°C. U druga dva dijela uzorka škrob se želatinira pomoću enzima amiloglukozidaze pri 40°C tijekom 30 minuta. Reducirane vrste šećera što su dobivene oksidiraju se s fericijanidom i utrošak se fericijanida mjeri fotometrijski pri 418 nm.

Stupanj želatiniranja izražen je kao hidrolizirani škrob u postotku ukupnog u uzorku, a korigiran za reducirani šećer i vlastitu prirodnu boju uzorka.

Uzorak je samljeven na veličinu čestica ispod 1 mm. Prilikom mljevenja uzorka paženo je da se uzorak ne zagrije, što bi moglo utjecati na rezultat.

Samljeveni uzorak odvagat je s točnošću na 3. decimalno mjesto, u količini što odgovara 250 mg škroba i šećera, te prenijet u 250 ml graduirani cilindar. Na jednak način je pripremljeno 6 proba, 2 za želatiniranje i 2 za hidrolizu enzimom (F-, E- i S-testom), te 2 za reducirani šećer.

Želatiniranje (F-test)

Odvagnutom uzorku u cilindru dodano je 5 ml 0,25 M otopine acetatnog pufera, staklenim štapićem promiješan dok se sve čestice nisu rastvorile. Neposredno prije nego je tako pripremljen uzorak stavljen u zagrijanu vodenu kupelj na 92°C, sadržaj cilindra je dobro promiješan, a stijenka isplahnuta s 25 ml demineralizirane vode. Tijekom prvih 10 minuta sadržaj cilindra je miješan u pravilnim razmacima. Nakon 30 minuta uzorak je ohlađen na približno 50°C.

Priprema proba F- i E- za hidrolizu enzimom

Prenijeta je odvagat količina uzorka za E probu u 250 ml stakleni cilindar, te dodano 5 ml 0,25 M otopine acetatnog pufera. Sadržaj cilindra je miješan dok se sve čestice nisu rastvorile, a zatim je isplahnuta stijenka s 20 ml destilirane vode.

Hidroliza enzimom (E- i F- probe)

U sadržaj cilindra E- i F- probe dodano je 5 ml otopine enzima amiloglukozidaze (100 U/mg), dobro izmiješano i s 10 ml destilirane vode samo isplahnuta sti-

jenka. Tako pripremljene E- i F- probe držane su u zagrijanoj vodenoj kupelji (s termostatom) na 39-41°C kroz 2 sata. Nakon sat vremena sadržaj cilindra je promiješan. Nakon 2 sata E- i F-probe su brzo ohlađene u ledenoj vodi.

Taloženje

Uzorak za S-probu odvagat je na jednak način onim prethodnim i preneseno u 250 ml stakleni cilindar, i dodano 5 ml 0,25 M otopine acetatna pufera. Sadržaj cilindra miješan je dok se sve čestice nisu rastvorile, i s 40 ml destilirane vode isplahnute su stijenke.

Taloženje (E- F-, S-probe)

Mješavini u cilindru dodano je 10 ml 10 %-tne otopine cink sulfata ($ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$), i prilagođena pH mješavine na 7,2 - 7,7 s 0,5 M otopinom natrijeve lužine. Mješavina u cilindru nadopunjena do 200 destiliranom vodom, dobro promiješana i ostavljena stajati 30 minuta.

Oksidacija reducirajućeg šećera

U epruvete za analizu prenijeto je 5 ml otopine E-, F- i S- probe, zatim dodano 5 ml 0,06 N otopine Fericijanid reagensa u F-probu, a po 2 ml u E- i S-probe. E-, F- i S-probe stavljene su u zagrijanu vodenu kupelj (s termostatom) na 79 - 81°C i držano 30 minuta. Nakon tog vremena sadržaj epruveta razrijeđen je destiliranom vodom na 250 ml. Apsorpcija probe mjerena je spektrofotometrijski kod 418 nm ($A_{bsp} = A$).

Istodobno je obavljeno standardiziranje 0,06 N otopine FeCy- reagensa, da bi se izračunala potrošnja fericijanida ($K_3Fe(CN)_6$) po mg glukoze.

Razrijeđeno je destiliranom vodom 10 ml standarda glukoze (10 mg/ml) na 100 ml.

U epruvetu za analizu prenijeto je 5 ml otopine razrijeđena standarda glukoze i dodano 5 ml 0,06 N otopine FeCy-reagensa, te držano u vodenoj kupelji na temperaturi 79 - 81°C kroz 30 minuta. Potom je sadržaj epruvete razrijeđen na 250 ml destiliranom vodom i mjerena apsorpcija spektrofotometrijski kod 418 nm. Za standardizaciju FeCy reagensa rađena su 3 dvostruka određivanja. Rezultat analize = AO.

Istodobno je u epruvetu za analizu prenijeto 5 ml destilirane vode i 2 ml 0,06 N otopine FeCy reagensa. Dalje je postupljeno na jednak način kao kod standardizacije FeCy-reagensa.

Rezultat - apsorpcija $\times 2,5 = AR$

Količinu utrošenog FeCy reagensa za mg glukoze izračunat je pomoću izraza:

$$F = \frac{\text{ml glukoze}}{\text{ml FeCy reagensa}} = \frac{C \text{ g}}{10(AR - AO)}$$

gdje je
 Cg = koncentracija glukoze, mg/ml
 AO = apsorpcija
 AR = apsorpcija reagensa slijepe probe

Izračunavanje rezultata

Sadržaj EHH (lakohidrolizirajućih ugljikohidrata) izračunava se kao škrob (0,902*glukoza),

$$EEH = \frac{C_g}{10(A_R - A_O)} \times (A_R + A_B + A_P) \times 5 \times \frac{200}{5} \times \frac{1}{1000} \times 0,902 \times \frac{100}{\text{odvaga}}$$

gdje je:
 $\frac{C_g}{10(A_R - A_O)}$ F = mg glukoze/ml FeCu reagensa
 AR = apsorpcija FeCy reagensa
 AB = apsorpcija slijepog uzorka (vlastita, prirodna proba)
 AP = apsorpcija uzorka

$$\% \text{ EHH} = \frac{F * (A_R + A_B - A_P) * 18,04}{\text{odvaga}}$$

% EHH se izračunava za F probu = ukupni škrob
 E probu = želatinirani škrob
 S probu = reducirajući šećer

$$\text{Stupanj zelatinizacije (\%)} = \frac{\text{želatinirani škrob} - \text{reduc. secer}}{\text{ukupni škrob} - \text{reduc. secer}}$$

Određivanje škroba prema modificiranoj metodi po Ewersu

Postupak

a) Određivanje ukupnog kuta skretanja (P)

U odmjernu tikvicu od 100 ml odvučeno je 2,5000 g samljevenog uzorka (veličina čestice 0,5 mm), dodano 25 ml 1,128 %-tne otopine solne kiseline, da bi se sav uzorak navlažio. Zatim je dodano još 25 ml 1,128 %-tne kiseline. Tikvica sa sadržajem stavljena je u kuhajuću vodenu kupelj i tijekom prve 3 minute nekoliko puta promiješan sadržaj (da ne bi nastale grudice). Za cijelo vrijeme kuhanja tikvica sa sadržajem mora biti uronjena u vodenu kupelj. Nakon točno 15 minuta izvađena je

tikvica sa sadržajem iz vodene kupelji, dodano 30 ml destilirane vode i brzo ohlađena na 20°C. Zatim je sadržaju tikvice dodano 5 ml otopine Carrez I mućkano 1 minutu, te dodano 5 ml otopine Carrez II i ponovno mućkano 1 minutu. Sadržaj tikvice je razrijeđen i nadopunjen do oznake s destiliranom vodom, promiješan i procijeđen pomoću filter papira crne vrpce. Bistrim filtratom napunjena je cijev polarimetra i očitani kut skretanja (P).

b) Određivanje kuta skretanja optički aktivnih tvari topivih u etanolu (P')

U odmjernu tikvicu od 100 ml odvučeno je 5.000 g samljevenog uzorka i dodano 80 ml 40 %-tnog etanola, te ostavljeno 1 sat na sobnoj temperaturi. Da bi se uzorak dobro raspodijelio u alkoholu češće je sadržaj tikvice snažno promućkan. Odmjerna tikvica sa sadržajem je nadopunjena do oznake s 40 %-tnim etanolom, promućkano i procijeđeno pomoću filter papira crne vrpce. U Erlenmajerovu tikvicu od 300 ml prelijeto je 50 ml bistrog filtrata, dodano 2,1 ml 25 %-tne otopine solne kiseline i snažno promućkano. Tikvica je spojena s povratnim vodenim hladilom i stavljena u kuhajuću vodenu kupelj. Nakon točno 15 minuta izvađena je tikvica iz kupelji, a njen sadržaj je pomoću hladne destilirane vode prelijeta u odmjernu tikvicu od 100 ml, te ostavljena da se hladi na sobnoj temperaturi. Zatim je otopini dodano 5 ml otopine Carrez I i 5 ml otopine Carrez II, te nastavljen rad kao što piše u postupku pod a.

Količina ukupnog škroba izračunata je pomoću izraza:

$$\% \text{ škroba} = \frac{a * 100 * 100}{(a)D_{20} * l * \text{odvaga}}$$

gdje je:
 a = izmjereni kut skretanja (P - P')
 l = dužina cijevi polarimetra (1,901 dm)
 (a)D₂₀ = specifični kut skretanja čistog škroba kukuruza (184,6)

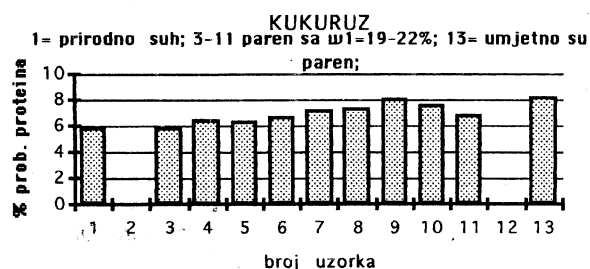
Rezultati istraživanja

Na priloženim dijagramima i tablicama prikazani su rezultati ovih istraživanja. Prije započinjanja opsežnih istraživanja, učinjen je pokus s manjim uzorcima koji su pareni u različitom trajanju i temperaturi u autoklavu. Ovisno o postupku parenja, želatiniranje škroba je poraslo od 20% na 30 do 70% od ukupnog sadržaja škroba.

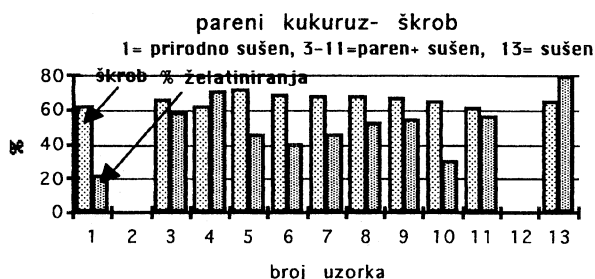
Isto tako je porasla i probavljivost bjelančevina od 5,5% u prirodno suhom zrnu do 8% u pojedinim pokus-

nim doradama. Ovi su podaci upućivali na ispravnost postavljene hipoteze o mogućnosti parenja zrnja kukuruza i prije njegovog sušenja. Rezultati su prvi puta objavljeni na savjetovanju "Krmiva 93" u Opatiji 1993.¹¹ kao prethodno priopćenje.

Rezultati ovih pojedinačnih pokusa pokazani su pregledno na slikama 3 i 4.



Slika 3. Probavljive bjelančevine u raznim postupcima dorade



Slika 4. Ljepak u raznim postupcima dorade

Nakon toga su obrađena ukupno 63 uzorka kukuruza hibrida Bc492. Za referentni uzorak analizirano je 8 uzoraka dijeljenjem dobivenih iz glavnog uzorka. Uzorak je sušen na zraku u tankom sloju. Temperatura prostorije bila je 19,78°C uz standardno odstupanje $\sigma=1,8$.

Na tablici 1. navedene su vrijednosti analiza ljepka, škroba i probavljivih bjelančevina u zrnju hibrida Bc 492 prije dorade. Analizirano je prirodno suho zrno. Dobilene vrijednosti slažu se s prosječnim vrijednostima navedenim u literaturi.

Tablica 1. Kemijske analize kukuruznog zrna hibrida Bc492

oblik	ljepak	škrob	pr. bjel.	vлага %	temp. °C
prirodni suhi	21,596	62,126	6,304	21,11	19,78

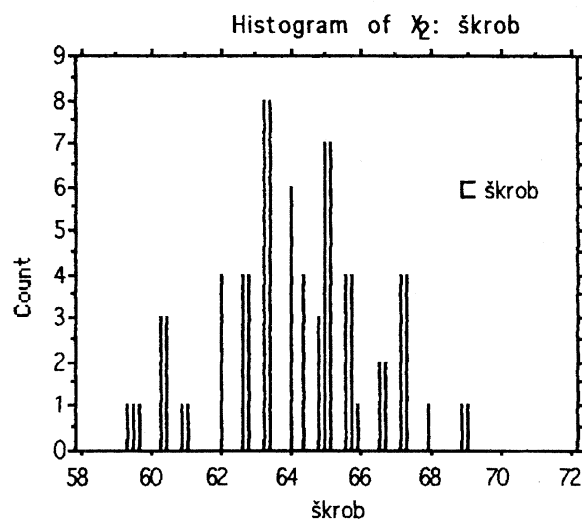
Za 8 ponovljenih analiza, standardno odstupanje je za ljepak $\sigma=2,3$; za škrob $\sigma=1,1$ i za probavljive bjelančevine $\sigma=0,3$. Standardna pogreška za ljepak je 0,8; za škrob 0,4 i za probavljive bjelančevine 0,1. Prosječne vrijednosti su značajne za 95% uzoraka.

Ostali uzorci su zatim kuhani (pareni) u grupama od 7-10 uzoraka za svaku obradu. Vrijeme kuhanja je mijenjano od 5 do 20 minuta. Prosječna temperatura za sve uzorke (ukupno 55 uzoraka) bila je 103,7°C. Standardno odstupanje temperature bilo je $S=2,149$.

Kod $t=95\%$, donja granica temperature je 103,123°C a gornja 104,285°C.

Svi su uzorci nakon kuhanja na ranije opisani način analizirani na sadržaj probavljivih bjelančevina, škroba i ljepka. Statistička obrada rezultata rađena je za pojedine grupe uzoraka i za sve uzorke. Svim uzorcima je prosječno vrijeme parenja bilo 11,3 minute.

Pretpostavka da su rezultati analiza normalno raspodijeljeni, potvrđena je statističkom analizom. Kao primjer poslužila je analiza škroba (Slika4a.)



Slika 4a. Raspodjela analitičkih podataka za škrob u prirodno suhom zrnju

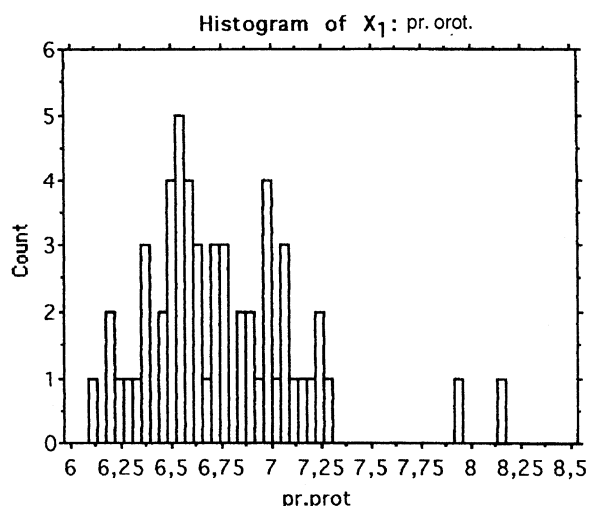
Statistička obrada podataka za sve uzorke ($n=55$) rađena je za dvosmjernu normalnu raspodjelu.

Srednja vrijednost škroba u uzorcima koji su pareni raznim postupcima bila je 63,84%, $\sigma=2,0$. Značajnost rezultata je kod 95% u rasponu 0,52% škroba.

Srednja vrijednost škroba u uzorcima koji su prirodno sušeni bila je 62,13%, $\sigma=1,1$. Razlika nije značajna $t < 1,96$.

Prva grupa uzoraka parena je u autoklavu bez dodatka vode. Ukupno je obrađeno 9 uzoraka. Na tablici 4. nalaze se rezultati uzoraka koji su označeni sa 21N-29 N.

Za probavljive bjelančevine rezultati analiza pokazuju također normalnu raspodjelu, što se vidi iz histograma na slici 5.



Slika 5. Histogram analiza probavljivih bjelančevina

Probavljive bjelančevine bile su za 0,45% veće nakon kuhanja od bjelančevina u prirodno sušenom kukuruzu. Na tablicama 3, 4, 5, 6 prikazani su rezultati ovih analiza.

Tablica 4. Statističke vrijednosti za sadržaj probavljivih bjelančevina

X1: pr.prot					
Mean:	Std. Dev.:	Std. Error:	Variance:	Coef. Var.:	Count:
6,75	,39	,05	,15	5,77	55
Minimum:	Maximum:	Range:	Sum:	Sum of Sqr.:	# Missing:
6,09	8,16	2,07	371,35	2515,47	0
n 95%:	95% Lower:	95% Upper:	n 90%:	90% Lower:	90% Upper:
,1	6,65	6,85	,09	6,67	6,84

Značajnost razlike srednjih vrijednosti probavljivih bjelančevina u prirodno sušenom (6,304) i parenom

(6,75) zrnju uspoređivana je t-testom i pokazuje veliku značajnost: $t > 1,96$. (Tablica 5.)

Tablica 5. Jednostruki t-test srednjih vrijednosti probavljivih bjelančevina

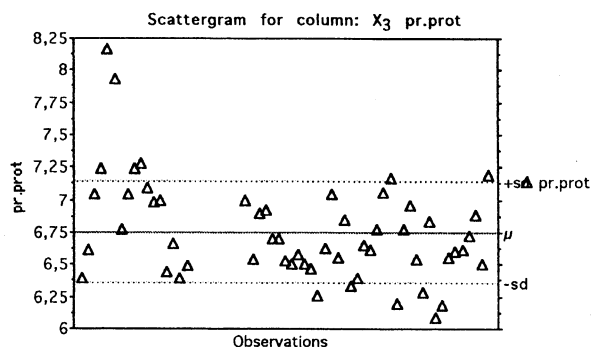
DF:	Sample Mean:	Pop. Mean:	t Value:	Prob. (2-tail):
54	6,75	6,3	8,53	,0001

Razlika ljepk (probavljivog škroba) između neparenog zrnja (21,596%) i parenog je velika i nedvojbeno pokazuje da se parenjem ili kuhanjem povećao postotak ljepk u škrobu.

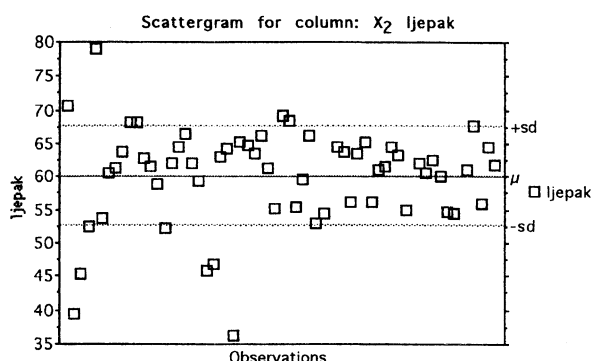
Tablica 6. Statističke vrijednosti sadržaja ljepk

X1: ljepek					
Mean:	Std. Dev.:	Std. Error:	Variance:	Coef. Var.:	Count:
60,9	6,55	,91	42,91	10,76	52
Minimum:	Maximum:	Range:	Sum:	Sum of Sqr.:	# Missing:
39,42	79,1	39,68	3166,82	195048,89	3
n 95%:	95% Lower:	95% Upper:	n 90%:	90% Lower:	90% Upper:
1,63	59,27	62,53	1,37	59,53	62,27

Radi bolje preglednosti rezultata nacrtani su grafikoni pojedinih analiza. Na slikama 6 i 7 pokazan je raspored oko srednje vrijednosti kemijskih analiza probavljivih bjelančevina i ljepk u svim uzorcima.



Slika 6. Raspored analitičkih vrijednosti probavljivih bjelančevina



Slika 7. Raspored analitičkih vrijednosti ljepka

Na tablici 7 pokazane su međusobne korelacije svih mjenjenih vrijednosti tijekom pokusa i kemijskih analiza škroba, ljepka i probavljivih bjelančevina. Vidi se da na sadržaj ljepka najveću korelaciju pokazuje vlažnost zrna w_1 ($r = 0,705$) i w_2 ($r = 0,662$). Na probavljive bjelančevine najveći utjecaj ima vlažnost zrna prije sušenja w_1 ($r = 0,637$) i trajanje sušenja ($r = 0,665$).

Tablica 7. Međusobne korelacije kemijskih analiza i fizikalnih veličina iz pokusa

Correlation Matrix for Variables: X1 ... X8								
	w_1	w_2	temp	min	ljepak	škrob	pr. prot	Ka
w_1	1							
w_2	,149	1						
temp	,395	-,651	1					
min	,719	-,467	,788	1				
ljepak	,705	,662	-,19	,102	1			
škrob	-,29	-,65	,37	,231	-,508	1		
pr. prot	,637	-,148	,299	,665	,307	,096	1	
Ka	,797	-,387	,771	,991	,209	,164	,695	1

Da bi jednoznačno obuhvatili najvažnije čimbenike koji utječu na toplinsku doradu i kakvoću zrna, uveden je u proračun koeficijent "Ka". Koeficijent obuhvaća sve promjenjive čimbenike toplinske dorade i ima vrijednost umnožka temperature "t" vremena "T" tlaka "P" i vlažnosti zrna prije sušenja " w_1 ". [$Ka = 0,1 (t \Delta T \Delta w \Delta P)$]¹²

Korelacija između probavljivih bjelančevina i koeficijenta Ka relativno je velika ($r = 0,695$), dok je istovremeno korelacija između ljepka i koeficijenta Ka malena i iznosi samo $r = 0,209$.

Promjene koeficijenta "Ka" od $Ka = 50$ do $Ka = 450$

uvjetuju linearni porast probavljivih bjelančevina, ukupnog škroba i ljepka. Slike 7. i 8.

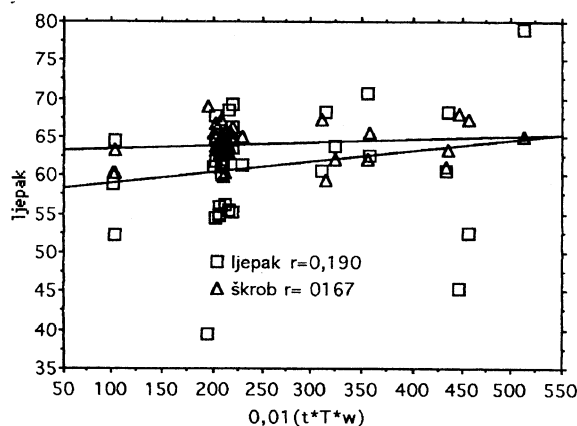
Korelacije ovih linearnih promjena su:

za probavljive bjelančevine $r = 0,539$

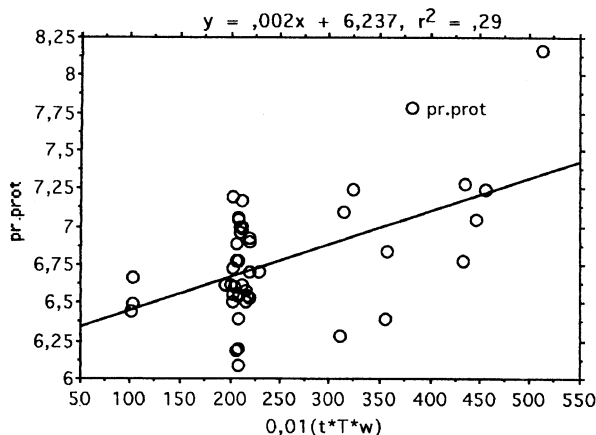
za ljepak $r = 0,190$

za škrob $r = 0,167$

Da bi vizualno provjerili navedene prikaze regresije između koeficijenta Ka i ljepka i škroba načinjen je dijagram na sl. 7.



Slika 7a. Linearni porast sadržaja ljepka i škroba



Slika 8. Linearni porast probavljivih bjelančevina

Unaprijed se može tvrditi da sadržaj škroba u zrnima nema nikakve veze s koeficijentom Ka. Za to je dokaz i maleni nagib pravca regresije "škrob:Ka" i malena korelacija $r = 0,167$ čiji je kvadrat (koeficijent determinacije) $r^2 = 0,028$. znači da se može očekivati samo oko 3% rezultata koji se poklapaju s pravcem regresije.

Analogijom izlazi da ne bi trebala postojati niti korelacija između regresije ljepka i koeficijenta Ka. ($r = 0,19$; $r^2 = 0,036$). Nagib pravca regresije upućuje na tu mogućnost.

Postupak je ponovljen za regresiju probvih bjelančevina i koeficijenta Ka i pokazan na slici 8.

Porast sadržaja probavljivih bjelančevina u kuruuzu s porastom koeficijenta Ka je uočljiv, iako statističku značajnost treba dokazati većim brojem različitih toplinskih dorada.

Zaključak

Rezultati pokusa koji su obavljani sa zrnjem hibrida Bc492 pokazali su da između sadržaja ljepka i probavljivih bjelančevina u kukuruzu koji je prirodno sušen i kukuruzu koji je prije sušenja kuhan ili paren različitim postupcima, postoji značajna razlika koja se očituje u povećanim vrijednostima nakon dorade zrnja toplinom.

S obzirom na povoljne rezultate prvih pokusa, ispitivanja treba nastaviti tijekom ove godine sa zrnjem veće vlažnosti (w_1) i s različitim vremenom i tlakom kuhanja. Istovremeno treba raditi na pronalaženju tehničkih mogućnosti da se takav postupak primijeni kod sušara za zrno, njihovom pregradnjom ili dogradnjom.

Očekivana ušteda energije potrebne za sušenje i naknadnu toplinsku doradu je prema prvim proračunima, velika. Sušenjem 500.000 tona kukuruznog zrna (koliko je u Hrvatskoj potrebno za stoku) takvim postupkom toplinske dorade može se uštedjeti preko 500.000 kg nafte koja bi bila utrošena za doradu dosadašnjim postupkom sušenja i naknadnog ekstrudiranja. Toplinskom doradom povećava se kakvoća zrnja radi njegove bolje iskoristivosti kao hrane.

Literatura

1. Katić, Z. (1988): Stanje tehnologije i trend razvoja sušara za zrno u Jugoslaviji, IV. Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice, 1-12.
2. Katić, Z. (1992.): Povećati kapacitet peletiranja novom peletirkom ili novom tehnologijom? Seminar peletiranje i dorada krmnih smjesa. Stubičke Toplice: Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport - Agronomski fakultet Zagreb, 1:1-13.
3. Katić, Z. (1987): Tehnologija sušenja kukuruza kod nas i u svijetu, Krmiva 29, 6, (127-132)
4. Schmidt, F. (1987): Trocknung und Wärmebehandlung von Getreide oder Sojabohnen. DIM. 124, 14, (179-181)
5. Heindenreich, E. (1994): Technische und technologische Aspekte des Expandierens und Extrudierens. Die Mühle + Mischfuttertechnik. 131, 7, (75-79)
6. Plietić, S., Tajana Krička (1993): Ispitivanje dinamičke otpornosti zrna kukuruza hibrida Bc492 sušenog klasičnim i "Cooking" postupkom. Krmiva 35, 3, (125-134)
7. Sito, S., (1994): Promjene fizikalnih veličina zrnja kukuruza nakon sušenja, Agronomski fakultet Zagreb, Rukopis Magistarskog rada.
8. Krička, Tajana, (1994): Brzina sušenja perforiranog i neperforiranog zrna nakon "Cooking" toplinske dorade. "Krmiva 94" Opatija. Rukopis referata.
9. Gill, C., (1993): HTST - Equivalent conditioning at lower cost. Feed International. 14, 2, (22-24)
10. Katić, Z., S. Plietić, Tajana Krička, Z. Sedmak i Gordana Poljak, (1989): Utjecaj visokotemperaturnog predušenja na energetsku i materijalnu bilancu sušenja kukuruza, V savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Topusko, 1-12
11. Katić, Z., S. Plietić, Tajana Krička, Justina Bratko, Gabrijela Krivec, S. Sito, (1993): Utjecaj toplinske dorade kukuruza prije sušenja na kakvoću i potrebu za sušenje. Krmiva 35, 3, /147-148)
12. Katić, Z., (1991): Dorada zrna soje za hranidbu životinja. Krmiva 33, 5-6, (99)

SUMMARY

The paper presents the results of the research the aim of which was to establish the difference in energy needed and the quality of corn grain treated by cooking (heating) before drying, from the method generally used today by treating dry grains with heat in order to increase utilization of food. In the process of treatment it is necessary to add water and heat or mechanical energy.

Treating grains with heat before drying saves energy because it is not necessary to evaporate subsequently added water from grains.

Specijalizirana tvrtka prepoznatljiva
po zastupanju vodećih proizvođača
dodataka stočnoj hrani

NOACK

**JOOSTEN
PRODUCTS**
mliječni nadomjestci:
Ascolac
Ascocreep
Ascopig



F O R M A T
softverski programi u industriji
stočne hrane:
Unimix - program za optimizaciju



veziva za pelete:
Lignobond

antioksidanti, sredstva protiv plijesni i
bakterija (Salmonele):

Seldox dry - tekućina i praš

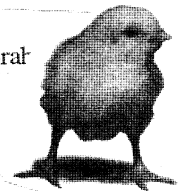
Fylax - tekućina i praš

Fysal - tekućina i praš

Forticoat NL + calf

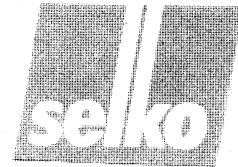
Selacid

Destacid



SILCO
masti u prahu:
Liposal

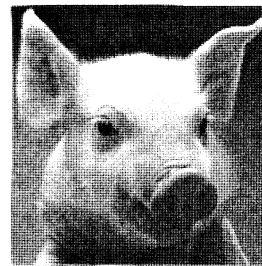
PetAg
preprobiotici:
Fermacto
Bospro



Antikocidijska sredstva

Stenorol

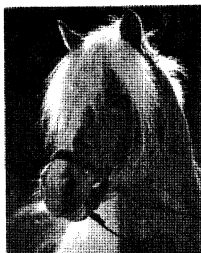
ROUSSEL UCLAF



enzimi :

Avizyme

Porzyme



Antikocidijska sredstva, ekto i
endoparazitici:

Amprol

Ivomec premiks

Ivomec injekcije

Ivomec F

Eqvalan



The ffuture of ffeed



MSD AGVET

Poslovnica u Hrvatskoj:

NOACK

& CO d.o.o.
V. Nazara 9
HR-41000 Zagreb

Tel. 041/273 616
Fax 041/273 253