

## OPTIMALIZACIJA SUŠENJA ZRNA KUKURUZA U TVORNICI STOČNE HRANE ČRNCI

## OPTIMIZING DRYNG RATE OF SHELLED CORN IN THE FEED FACTORY ČRNCI

**B. Elbl, F. Podlesek**

Izvorni znanstveni članak  
UDK: 631.365.22.:633.15(043.2):863  
Primljeno: 15. ožujak 2002.

### SAŽETAK

Optimalni rezultati sušenja zrna kukuruza u Tvornici stočne hrane Črnci postignuti su dvofaznim sustavom sušenja i odgovarajućim podtlakom u sušari. Izmjerama je ustanovljeno da su optimalni rezultati postignuti kod sušenja zrna kukuruza u drugom razdoblju kada je podtlak u sušari postavljen na 550 Pa, količina zraka na izlazu iz sušare bila je 73820 m<sup>3</sup>/h, zrno je ohlađeno u zoni hlađenja na maksimalno +5°C višoj temperaturi od temperature okoliša, vlažnost zrna bila je 13.4%. Razlika u vlazi zrnja bila je 2.3%, što je vrlo povoljno, te omogućava dobro uskladištenje te mikrobiološku i toksikološku ispravnost. Prosječna upotreba goriva kod dvofaznog sušenja i postavljanja podtlaka u sušari na 550 Pa za 1 kg isparene vode smanjila se sa 4.722,4 KJ/kg na 4106,9 KJ/kg. To govori da je upotreba goriva smanjena za 13%. Iz navedenog može se zaključiti da dvofazno sušenje i odgovarajuće postavljanje podtlaka u sušari utječe na kakvoću sušenja zrna kukuruza.

Ključne riječi: dvofazni sustav sušenja, podtlak, sušara, vlažnost, zrno, uskladištenje, kakvoća sušenja

### UVOD

U našim klimatskim uvjetima u većoj ili manjoj mjeri nastaju potrebe za konzerviranjem žitarica a time i zrna kukuruza. Pod konzerviranjem se pretežno misli na sušenje, ali isto tako i obradu kemijskim sedstvima, te skladištenje bez pristupa zraka. Uobičajeno je da žitaricama treba skinuti vlagu od 2 do 8% a u zrnu kukuruza i 10 do 20%. To su prosjeci, ali su moguća odstupanja, što ovisi o berbi, klimatskim uvjetima za vrijeme berbe ili žetve, sorti itd. Općenito se smatra da zrno kukuruza prosječno sadrži dva do pet puta više vlage od pšenice, zbog čega kapacitet sušenja

različitih žitarica treba prilagoditi pojedinim vrstama zrna.

Za skladištenje žitarice mogu imati do 14% vlage, zbog čega sušenje zrna kukuruza, za razliku od drugih žitarica, predstavlja poseban problem. To utječe na kakvoću osušenog zrna kao i na vrijeme sušenja i mogućnost skladištenja.

U istraživanju se željelo proučiti parametre kod sušenja zrna kukuruza za optimalno i sigurno postizanje kakvoće osušenog zrna. To znači da

Božidar (Darko) Elbl, dipl. ing. agr., tehnolog; Franc Podlesek, dr. vet. med., direktor Tovarna močnih krmil, Črnci, Apače, Slovenija.

zrno kukuruza treba osušiti tako da se njegova vlaga na izlazu iz sušare, na pojedinim mjestima u odnosu na skupni uzorak, ne razlikuje. Treba težiti racionalnom rješavanju kako bi rad sušare bio optimalan i siguran.

## METODA RADA

Pri postavljanju kontrolnih mjesta na sušari ustanovilo se da na pojedinim mjestima dolazi do zastoja zrna, fluidizacije, neravnomjernog protoka zrna, dolazi do presušivanja pojedinih zrna, prijete velika opasnost od požara, zrno kukuruza iz sušare nije ravnomjerno osušeno. Razlike u zrnu bile su veće od 3%. Ti podaci upozoravaju na veliku opasnost od kvarenja zrna za vrijeme skladištenja. Iz tog razloga prišlo se mjerenjima i utvrđivanju protoka zraka kroz sušaru i na temelju mjerenja podtlaka u cjevovodu ventilatora. Mjerenja su vršena u sušari tipa SC 15 u kojoj se suši zrno kukuruza u drugoj fazi. Mjerenja su vršena na tri položaja regulatora ventilatora s oznakama 1; 2, 5 i 4.

Za rad sušare mjerilo se:

- brzina zraka u svakom, pojedinom kanalu na ulaznoj strani zone hlađenja,
- stanje zraka u okolišu
- brzina zraka
- podtlak za sušaru
- podtlak za grijač
- tlak u sušari
- raspored temperature i vlage zrna u području zone hlađenja
- temperatura i vlaga zrna na ulazu i izlazu iz sušare
- razlika u vlažnosti zrna na ulazu i izlazu područja zone hlađenja

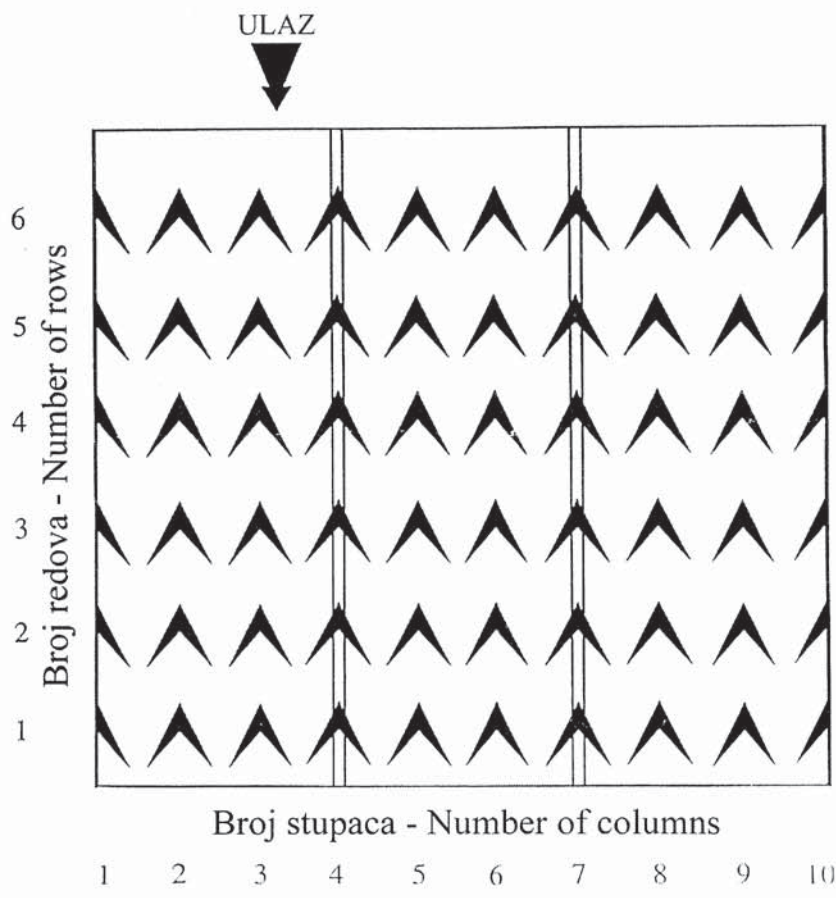
Za nesmetani rad sušare postavljen je dodatni mjerni instru-

ment, tlakomjer Testi 512, koji na temelju razlike tlaka u sušari i grijaču omogućava mjerenje tlaka u sušari u vrijeme sušenja. Mjerenje je obavljeno na različitim položajima regulatora ventilatora (1, 2, 5 i 4). Mjerna mjesta označena su brojevima 1 i 2, položaj regulatora ventilatora brojem 3 i mjerni instrument brojem 4. Brzina zraka na ulazu u kanale sušare mjerena je neposredno na ulaznoj strani područja zone hlađenja digitalnim anemometrom Edra five. Cjelokupan ulaz u kanal bio je pokriven mjernim instrumentima. Brzine zraka bile su ustanovljene pri prosječnim mjerenjima u vremenu od 30 sekundi. Kanali su bili razvrstani u 10 okomitih i u 6 vodoravnih redova, što je prikazano na slici 1.

Stanje zraka u okolišu mjereno je neposredno pokraj sušare vlažnim termometrom iz čega se

Slika 1. Raspored kanala na ulazu u zonu hlađenja sušare

Figure 1. Canals pattern at cooling zone entrance



računala relativna vlaga (0), apsolutni sadržaj vlage u zraku (x) i entalpija zraka (h). Relativna vlaga mjerena je higrometrom. Brzina zraka se mjerila u cjevovodu promjera 1419 mm. Podtlak iza grijača mjerena je digitalnim manometrom Testo 512. Podtlak za sušaru mjerena je također manometrom Testo 512 kao i tlak u sušari. Raspored temperature vlage zrna u području zone hlađenja vršen je mjerenjem temperature digitalnim termometrom RDT 9150 a vlage zrna vlagomjerom Supermatic 15.

Uzorci zrna uzimani su na 6 mjesta na ulazu u kanal i u udaljenosti od 80 cm od stupa kanala u unutrašnjosti. Temperatura zrna na ulazu i izlazu iz sušare mjerena je temperaturnim senzorom PT-100, vlaga zrna vlagomjerom Ultra-x. Od izlazne temperature i vlage zrna ovisila je kakvoća osušenog zrna. Razlike u vlažnosti zrna na ulazu i izlazu područja zone hlađenja trebaju biti što je moguće niže i ključne su za kakvoću zrna i sposobnost daljnjeg skladištenja. Vlaga se mjerila vlagomjerom Supermatic-15.

## REZULTATI RADA I RASPRAVA

Na priloženim tablicama 1, 2 i 3 prikazani su različiti parametri za rad sušare. Utvrđeno je da se optimalni rezultati sušenja kukuruza postižu ako se položaj regulatora ventilatora postavi na oznaku "2.5". Protok zraka bio je pravilan. U sušari nije dolazilo do poremećaja u protoku zraka, fluidizaciji, presušivanju pojedinih zrna i nije bilo opasnosti od požara. Zrno kukuruza je na izlazu iz komore za hlađenje jednakomjerno osušeno i razlike u vlazi u cjelokupnom području hlađenja kreću se u granicama od 3%. Takvo zrno je mikrobiološki stabilno i ne predstavlja opasnost od kvarenja u vrijeme skladištenja. Na spomenutim tablicama prikazane su sve ostale vrijednosti, sva stanja brzine zraka u različitim položajima regulatora ventilatora, količini zraka, podtlak iza grijača, iza sušare, u sušari, raspored temperature zrna u zoni hlađenja temperature zrna na ulazu i izlazu iz zone hlađenja.

Kod položaja regulatora ventilatora "1" količina zraka bila je 26.409 m<sup>3</sup>/h, podtlak u stupu sušare bio je 200 Pa, razlika u zrnu u cjelokupnom području hlađenja bila je 5.06%.

Kod položaja regulatora ventilatora "2.5" količina zraka bila je 73.820 m<sup>3</sup>/h, podtlak u stupu sušare 750 Pa, razlika u vlazi zrna u cjelokupnom području hlađenja 2.3%.

Kod položaja regulatora ventilatora "4" količina zraka bila je 89.643 m<sup>3</sup>/h, podtlak u stupu sušilice 750 Pa, razlika u vlazi zrna u zoni hlađenja bila je 8.8%. Postavljanjem tlaka na 550 Pa u sušari ne dolazi do zastoja protoka zrna: pojave fluidizacije, postižu se minimalne razlike u vlazi osušenog zrna, biološka stabilnost zrna, dobra skladišna sposobnost i siguran rad sušare.

Ako se usporede rezultati od prije sedam godina (tablica 4) od 1991. do 1997. godine može se utvrditi da je prosječna upotreba goriva kod dvofaznog sušenja zrna kukuruza na 1 kg isparene vode bila 4.722,4 KJ/kg. Zadnje tri godine tj. od 1998. do 2000. ta se vrijednost smanjila na 4.106,9 KJ/kg. To govori da se za 1 kg isparene vode u godinama od 1998. do 2000. upotreba goriva smanjila za 13% ili za 615,5 KJ/kg isparene vode. Ako se računa da je vrijednost zagrijavanja 43.3 MJ/kg to je ušteda od 0.0142 kg lož ulja za 1 kg isparene vode.

U tri godine u sušari TSH Črnci s odgovarajućim postavljanjem parametara sušenja na temelju mjerenja podtlaka u cjevovodu ventilatora (postavljanje podtlaka u sušari na 550 Pa) i uz poštivanje ostalih parametara kod sušenja zrna kukuruza postignuto je kvalitetno osušeno zrno kukuruza kako slijedi:

1. u godini 1998. - 1,147.229 kg isparene vode x 0.0142 kg = 16290 kg lož ulja,
2. u godini 1999. - 733.965 kg isparene vode x 0.0142 kg = 10422 kg lož ulja,
3. u godini 2000. - 7262.88 kg isparene vode x 0.0142 kg = 10313 kg lož ulja.

Iz tog računa proizlazi da su uštede u tri spomenute godine na lož ulju bile oko 37026 kg. Utvrđeno je da neke sušare suše zrno jednako-

mjerno u vodoravnom presjeku sušare tako da se vlaga zrna kukuruza na izlazu iz sušare razlikuje na pojedinim mjestima u odnosu na ukupni prosječni uzorak. Pri tome se ne misli na nejednakomjerno sušenje pojedinih hibrida zbog njihove morfološke strukture niti na neujednačenost sušenja zbog različite vlage zrna na ulazu u sušaru. Ta pojava nejednakomjerne vlage na pojedinim mjestima može se objasniti na temelju sorpcijske izoterme (histereza) karakteristične za žitarice, što potvrđuju i Stroshine, 1990. i Bratko, 1999. Zrna koja su se previše osušila a zatim ponovno navlažila mijenjaju oblik sorpcijske izoterme. Te se promjene pojavljuju zbog nepovratnih promjena u strukturi zrna. Histereza daje razliku od 2%. Sve je to posljedica slabog podešavanja brzine protoka zraka, konstrukcije stupa sušare i elemenata za isključivanje zrna iz sušare (Bratko, 1990., Stroshine, 1990.). Da bi se izbjegla pogreška nejednakomjerne vlage na izlazu iz sušare s dvofaznim sušenjem radi se na taj način da zrno odleži u tamponskoj ćeliji 6 do 10 sati. Tamo dolazi do izjednačavanja vlage među zrnima prelaskom vlage iz unutrašnjosti na površinu zrna (Katić, 1985.). Katić i Krička, 1988. su na temelju petogodišnjih istraživanja definirali "ispad sušare iz faze". Utvrdili su da je u prvoj godini zrno imalo u zoni hlađenja vlagu 8.03%, na izlazu 11.9% tako da je razlika u količini vlage bila 3.87%. Druge godine razlika je iznosila 2.87%, u trećoj godini 3.39%, u četvrtoj 2.72% i u petoj godini 4.98%. Utvrđeno je da su zrna na ulazu u zonu hlađenja bila previše osušena (Katić i Krička, 1988.). Pojava ovlaživanja zrna u zoni hlađenja istraživali su Krička i sur., 1999. i utvrdili da se toplo zrno nakon procesa sušenja na prelasku u zonu hlađenja hladi i istovremeno osuši za 1.5 do 2% jer se u zoni hlađenja ispari dodatnih 1.5 do 2% vode. Treba pripaziti da u procesu sušenja zrno ima prilikom ulaska u zonu hlađenja vlagu višu za 1.5 do 2% od uravnotežene vlage. Pojava vlaženja zrna u zoni hlađenja postiže se pravilnom konstrukcijom stupa sušare, tako da su razlike tlaka (nad- i pod-tlačna strana) pravilno postavljena (Krička i sur., 1999., Katić, 1999., Čuhnil, 1988., je istraživao neizjednačenost izlazne vlage zrna u sušari i utvrdio

da je prosječna vlaga u zrnu u silosima 15.5% dok je izlazna vlaga iz sušare bila 13.5%. Razlike u vlazi bile su između izlaza iz sušare i korištenja nakon skladištenja od 1.25 do 4.35%. Bratko, 1999. istraživala je neujednačenost izlazne vlage zrna u sušari i utjecaj na skladišnu vrijednost, te mikrobiološku i toksikološku vrijednost. Utvrdila je da presušeno zrno ispod 6% vlage ima viši postotak bjelančevina zbog koncentracije suhe tvari pa dolazi do smanjenja probavljivosti zbog denaturacije bjelančevina i slabije topljivosti. Isto tako utvrdila je da zrno kukuruza koje je imalo na izlazu iz zone hlađenja vlagu od 4.7% do 20.4% i u prosjeku 14% u vrijeme skladištenja ne može održati mikrobiološku vrijednost. Ukoliko se uskladištava zrno kukuruza koje se hladi okolišnim zrakom, površina zrna se izravna s graničnim u kojem se normalizira tlak vodene pare. Na taj sloj, i u njemu ustanovljeni tlak, utječe sastav zrna koje može održavati svoju površinu s dostatnom količinom vode što iz nje isparava. Kada je put vode iz unutrašnjosti zrna prema površini otežan (granični sloj opskrbe vodom iz unutrašnjosti zbog njenog prolaska kroz stanične membrane uz pomoć kapilara, zbog termodifuzije i osmoze) ona se na površini zrna smanjuje. Zato je tu vlaga zrna manja nego u njegovom, središtu. Tako je npr. vlaga zrna u središtu bila 14%, temperatura je bila 25°C i tlak vodene pare 2.216 Pa. Istovremeno vlaga graničnog sloja bila je 10%, temperatura 15°C i tlak vodene pare samo 618 Pa (Katić i Krička, 1988.). Ako zrak u okolini ima temperaturu 10°C i relativnu vlagu 90% pri tlaku vodene pare u zraku od 1.104 Pa bude zbog unutarnje razlike tlaka iz zraka prešla u zrno pa će se navlažiti (Krička i sur., 1999.). Zanimljivo je da je zrak u zoni hlađenja topliji nego na ulazu. Specifični toplotni kapacitet zraka sušenjem se smanjio tako da je razina prenesene energije (kondenzacija vode na zrnu) preostala u zraku povišala temperaturu zraka (Krička i sur., 1999.).

Ako se usporede dobiveni podaci iz vlastitih mjerenja s podacima Katić, 1971., Katić i Krička, 1988., Čuhnil, 1988., Krička i Pliestic, 1994. može se utvrditi da se dobiveni vlastiti podaci značajno slažu s podacima iz spomenute literature.

**Tablica 1. Parametri kod postavljanja regulatora ventilatora na oznaci "1".**  
**Raspored brzine zraka na ulazu u kanale (vodoravno i okomito) zone hlađenja sušare TSH Črnci**

**Table 1. Parameters when ventilator regulator set at mark "1".**  
**Pattern of air speed at entrance into cooling zone canals (horizontal and vertical) in the drying factory Črnci**

Položaj regulatora "1" - Regulator position 1

Vodoravno Horizontally	Uspravno - Vertically										
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	SRVm/s
6		7,1	6,5		6,2	6,5		7,1	7,3		6,8
5		6,6	5,8		5,8	6,0		6,0	7,2		6,2
4		7,6	7,0		6,8	7,0		6,8	7,3		7,1
3		6,8	5,7		6,2	6,0		5,8	6,2		6,1
2		6,7	6,2		5,5	6,0		5,7	6,4		6,1
1		3,5	3,5		3,5	3,2		3,8	4,5		3,7
Srvm/s		6,7	5,8		5,7	5,8		5,9	6,5		6,0
STDV%		1,3	1,2		1,1	1,3		1,2	1,1		

Stanje zraka u vrijeme mjerenja - Condition of air when measuring

Suhi termometar - Dry thermometer, °C: 18,0

Vlažni termometar - Moisture thermometer, °C: 14,5

Relativna vlaga - Relative moisture, %: 68,8

Pitoova cijev - mjerenje na dužini cijevi 1  
 Pito's pipe - measuring at pipe length 1

1/1 0,51 0,11 SRV

Brzina zraka (u cjevovodu promjera 1419 mm) km/h

Air speed (in pipeline 1419 mm diam) km/h

20,0 15,0 15,0 16,70

Količina zraka (površina cjevovoda A = 1581m<sup>3</sup>/h)

Amount of air (pipeline surface A = 1.581m<sup>3</sup>/h)

26409,00

Podtlak iza grijača mmVS - Subpressure behind heater mmVS

-15,00

Podtlak iza sušare mmVS - Subpressure behind drying chamber mmVS

-35,00

Podtlak u sušari mmVS - Subpressure in drying chamber mmVS

-20,00

Raspored temperature i vlage zrna - Temperature and corn moisture:

Ulaz u sušaru - Entrance into drying chamber: 25,5°C ; 20,5%

Ulaz u zonu hlađenja - Entrance into cooling zone:

A - sprijeda - A - front:	38,6°C; 10,7%	54,5°C; 10,0%	35,5°C; 11,1%
B - sraga - B - behind:	44,6°C; 12,1%	45,9°C; 12,3%	40,2°C; 11,8%

Izlaz iz zone hlađenja - Exit from drying chamber:

A - sprijeda - A - front:	24,5°C; 13,2%	21,3°C; 10,1%	20,1°C; 13,8%
B - sraga - B - behind:	28,8°C; 15,6%	22,5°C; 12,7%	22,5°C; 14,5%

Izlaz iz sušare - Exit from drying chamber: 26,5°C; 14,4%

Razlika u vlazi na presjeku zone hlađenja - Moisture difference at cooling zone crosssection:  $\Delta w = 5,6$

**Tablica 2. Parametri kod postavljanja regulatora ventilatora na oznaci "2.5"****Raspored brzine zraka na ulazu u kanale (vodoravno i okomito) zone hlađenja sušare TSH Črnči****Table 2. Parameters when ventilator regulator set at mark "2.5"****Pattern of air speed at entrance into cooling zone canals (horizontal and vertical) in the drying factory Črnči**

Položaj regulatora "2.5" - Regulator position 2.5

Vodoravno Horizontally	Uspravno - Vertically										SRVm/s
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	
6		18,5	18,0		16,5	17,1		18,5	21,0		18,3
5		17,5	15,7		16,0	15,5		16,5	18,0		16,5
4		18,7	16,7		16,7	17,2		15,9	18,6		17,3
3		16,8	15,4		14,8	14,5		15,8	16,5		15,6
2		16,3	17,0		15,8	14,2		15,6	16,9		16,0
1		9,60	7,7		8,20	9,00		8,80	10,6		9,00
Srvm/s		16,2	15,1		14,7	14,60		15,2	16,9		15,4
STDV%		3,4	3,70		3,20	3,00		3,30	3,50		

Stanje zraka u vrijeme mjerenja - Condition of air when measuring

Suhi termometar - Dry thermometer, °C: 18,0

Vlažni termometar - Moisture thermometer, °C: 14,5

Relativna vlaga - Relative moisture, %: 68,0

Pitoova cijev - mjerenje na dužini cijevi 1  
Pito's pipe - measuring at pipe length 1

1/1 0,51 0,11 SRV

Brzina zraka (u cjevovodu promjera 1419 mm) km/h

Air speed (in pipeline 1419 mm diam) km/h

50,0 45,0 45,0 46,70

Količina zraka (površina cjevovoda A = 1581m<sup>3</sup>/h)Amount of air (pipeline surface A = 1.581m<sup>3</sup>/h

73820,00

Podtlak iza grijača mmVS - Subpressure behind heater mmVS

-85,00

Podtlak iza sušare mmVS - Subpressure behind drying chamber mmVS

-140,00

Podtlak u sušari mmVS - Subpressure in drying chamber mmVS

-55,00

Raspored temperature i vlage zrna - Temperature and corn moisture:

Ulaz u sušaru - Entrance into drying chamber: 24,0°C; 20,4%

Ulaz u zonu hlađenja - Entrance into cooling zone:

A - sprijeda - A - front:	47,2°C; 15,4%	55,9°C; 15,2%	43,3°C; 15,5%
B - sraga - B - behind:	63,8°C; 14,9%	58,9°C; 14,9%	48,5°C; 15,0%

Izlaz iz zone hlađenja - Exit from drying chamber:

A - sprijeda - A - front:	23,1°C; 13,6%	20,2°C; 13,5%	22,0°C; 13,6%
B - sraga - B - behind:	25,0°C; 13,3%	22,4°C; 13,2%	24,5°C; 13,2%

Izlaz iz sušare - Exit from drying chamber: 22,5°C; 13,4%

Razlika u vlazi na presjeku zone hlađenja - Moisture difference at cooling zone crosssection:  $\Delta w = 2,3$

**Tablica 3. Parametri kod postavljanja regulatora ventilatora na oznaci "4"**  
**Raspored brzine zraka na ulazu u kanale (vodoravno i okomito) zone hlađenja sušare TSH Črnči**  
**Table 3. Parameters when ventilator regulator set at mark "4"**  
**Pattern of air speed at entrance into cooling zone canals (horizontal and vertical) in the drying factory Črnči**

Regulator position 4-položaj regulatora "4"

Vodoravno Horizontally	Uspravno - Vertically										SRVm/s
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	
6		21,1	19,8		21,2	22,2		23,5	23,2		21,8
5		21,5	17,5		18,5	19,2		19,1	19,8		19,3
4		22,0	20,0		21,2	19,5		21,2	23,1		21,3
3		18,8	17,1		17,4	17,2		18,9	18,5		18,0
2		18,0	18,0		17,1	17,0		17,6	18,1		17,6
1		11,6	10,2		7,80	10,3		10,6	12,8		10,6
Srvm/s		18,8	17,2		17,2	17,6		18,5	19,3		18,10
STDV%		3,90	3,70		4,90	4,00		4,40	3,9		

Stanje zraka u vrijeme mjerenja - Condition of air when measuring

Suhi termometar - Dry thermometer, °C: 18,0

Vlažni termometar - Moisture thermometer, °C: 14,5

Relativna vlaga - Relative moisture, %: 68,0

Pitoova cijev - mjerenje na dužini cijevi 1  
 Pito's pipe - measuring at pipe length 1

1/1 0,51 0,11 SRV

Brzina zraka (u cjevovodu promjera 1419 mm) km/h

Air speed (in pipeline 1419 mm diam) km/h

60,0 55,0 55,0 56,70

Količina zraka (površina cjevovoda A = 1581m<sup>3</sup>/h)

Amount of air (pipeline surface A = 1.581m<sup>3</sup>/h

89643,00

Podtlak iza grijača mmVS - Subpressure behind heater mmVS

-135,00

Podtlak iza sušare mmVS - Subpressure behind drying chamber mmVS

-210,00

Podtlak u sušari mmVS - Subpressure in drying chamber mmVS

-75,00

Raspored temperature i vlage zrna - Temperature and corn moisture:

Ulaz u sušaru - Entrance into drying chamber: 20,2°C; 20,3%

Ulaz u zonu hlađenja - Entrance into cooling zone:

A - sprijeda - A - front:	54,5°C; 8,8%	48,5°C; 10,7%	41,6°C; 8,0%
B - sraga - B - behind:	59,2°C; 12,0%	57,6°C; 11,0%	44,8°C; 9,1%

Izlaz iz zone hlađenja - Exit from drying chamber:

A - sprijeda - A - front:	26,5°C; 13,6%	24,5°C; 13,4%	25,9°C; 16,8%
B - sraga - B - behind:	28,7°C; 15,7%	28,0°C; 11,2%	26,2°C; 16,3%

Izlaz iz sušare - Exit from drying chamber: 27,4°C; 15,4%

Razlika u vlazi na presjeku zone hlađenja - Moisture difference at cooling zone crosssection:  $\Delta w = 8,8$

**Tablica 4. Rezultati analiza sušenja zrna kukuruza u TSH Črnci od 1991. do 2000.**  
**Table 4. Results of analyses of drying shelled corn at Črnci from 1991 to 2000**

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Vlažni kukuruz, kg Moist corn, kg	6761700	4799400	6280020	5337260	7830460	7572580	14836400	7640100	4738200	5788560
Primjese u vlažnom kukuruzu, % - Moist corn ingredients, %	2,76	2,16	1,97	1,94	3,49	1,96	2,50	2,29	0,98	2,45
Vlaga vlažnog kukuruza u % Moisture moist corn in %	33,40	21,11	24,85	26,00	30,27	30,32	26,71	26,37	26,61	24,19
Vlažni kukuruz manje primjese, kg Moist corn without ingredients, kg	6575077	4695733	6156304	5233717	7557177	7424157	14465490	7465142	4691766	5646740
Isparena voda, kg Evaporated water, kg	1541742	437729	838531	782050	1500143	1478005	2279562	1147229	733965	726288
Osušeni kukuruz na 13% vlage, kg - Corn dried at 13% moisture, % kg	5033335	4258004	5317773	4451667	6057034	5946152	12185928	6317913	3957801	4920452
Utrošak goriva (lož ulje), kg Fuel consumption (heating oil), kg	170233	58480	95739	100982	167850	165983	250710	110089	69546	68152
Utrošak goriva za 1 kg isparene vode, KJ/kg Fuel consumption per 1 kg evaporated water, KJ/kg	4391,1	5312,9	4540,0	5135,0	4449,3	4466,0	4762,4	4155,00	4102,7	4062,9
Vrijednost zagrijavanja MJ/kg Heating value, MJ/kg	39,767	39,767	39,767	39,767	39,767	39,767	43,3	43,3	43,3	43,3

## ZAKLJUČCI

Na temelju vlastitih istraživanja, dobivenih desetogodišnjih analiza parametara kod sušenja zrna kukuruza u tvornici stočne hrane Črnci i na osnovi istraživanja domaćih i stranih autora može se zaključiti:

1. Optimalni rezultati u sušenju zrna kukuruza u tvornici stočne hrane Črnci mogu se postići uvođenjem dvofaznog sustava sušenja kao i poštivanja zakonitosti kod sušenja i postizanja parametara sušenja na temelju mjerenja podtlaka u sušari.

2. Pravilnim postavljanjem regulatora ventilatora postižu se minimalne razlike u vlazi osušenog zrna, biološka stabilnost zrna, dobra skladišna

sposobnost i sprječavanje pojave fluidizacije zrna a time vrijedan i siguran rad sušare.

3. Optimalni rezultati sušenja zrna kukuruza u drugoj fazi postižu se na položaju regulatora ventilatora na oznaci "2.5". Količina zraka na izlazu iz sušare iznosila je 73820 m<sup>3</sup>/h, podtlak u stupu sušare 550 Pa, temperatura zrna bila je snižena u granicama maksimalno  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  više od temperature okoline, vlaga zrna 13.4%.

4. Razlika u vlazi zrna u zoni hlađenja bila je 2.3% što je povoljno i osigurava dobru skladišnu sposobnost te mikrobiološku i toksikološku vrijednost.

5. Na oznaci regulatora ventilatora "2.5" postiže se da zrno na ulazu u zonu hlađenja ina višu vlagu



do 2% od vlage ravnoteže čime se sprječava vlaženje zrna u zoni hlađenja.

6. Pojava vlaženja zrna kukuruza u zoni hlađenja uzrokuje velike razlike u vlazi zrna. Posljedica toga je kvarenje zrna u vrijeme skladištenja, smanjenje hranjive vrijednosti zrna, smanjenje mogućnosti sušare, povećanje specifičnog korištenja goriva. Na taj način povećavaju se troškovi sušenja i smanjuju gospodarski učinci.

7. Pojava vlaženja zrna kukuruza sprječava se najvećma pravilnom regulacijom brzine zraka, uvođenjem dvofaznog sustava sušenja i pravilnim podešavanjem izuzimača zrna na izlazu iz sušare. Dobavljač sušare mora osigurati odgovarajuću veličinu zračnih kanala, pravilnu konstrukciju tornja sušare i izuzimače zrna na izlazu iz sušare.

8. Prosječno korištenje goriva kod dvofaznog sušenja nakon postavljanja podtlaka u sušari na 550 Pa za 1 kg isparene vode smanjilo se sa 4.722, 4 KJ/kg na 4.106,9 KJ/kg. To znaci da se utrošak goriva smanjio za 13% ili za 615.5 KJ/kg isparene vode. Ako se računa da je ogrjevna vrijednost lož ulja 43.3 MJ/kg to je ušteda od 0.0142 kg ulja/kg isparene vode.

9. Godine 2000. osušeno je 5.788.560 kg vlažnog kukuruza, pri čemu je ispareno 726.288 kg vode čime je uštedeno 10.313 kg lož ulja.

## LITERATURA

1. Bratko, Justina (1990.): Neujednačenost vlage zrna kukuruza na izlazu iz sušare, Zbornik radova, VI međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Tuheljske Toplice 1990., 108-115.
2. Čuhnil, Z. (1988.): Neujednačenost izlaznih vlažnosti zrna iz vertikalne sušare, iskustvo PIK-a Garešnica. Zbornik radova 17 Savjetovanja tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice 1988., 109-114.
3. Katić, Z. (1985.): Sušenje zrna -energetska bilanca i tehnološka rješenja. Zbornik radova. Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice 1985., 4-56.
4. Katić, Z., Tajana Krička (1988.): Procesi u hladnjaku sušare. Zbornik radova. IV Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice 1988. 93-104.
5. Katić, Z. (1999.): Mogućnost primjene novih saznanja u tehnologiji sušenja zrna. Zbornik radova. XV Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice 1999., 137-147.
6. Krička, Tajana, S. Plietić, N. Dobričević, Z. Katić (1999.): Rehidracija kukuruznog zrna u zoni hlađenja. Zbornik radova. XV Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice 1999., 1-9.
7. Stroshine, R. L. (1990): Hybrid Differences in Drying Rate and storage Mold Susceptibility of Shelled Corn and their Effects on Artificial Drying. Zbornik radova VI Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Tuheljske Toplice 1990., 12-30.

## SUMMARY

Optimal results in shelled corn drying in the feed factory Črnici were achieved by a two-phase system of drying and with adequate subpressure in the drying chamber. It was established by measuring that optimal results were achieved in the second phase of drying when the subpressure in the drying chamber was set at 550 Pa, the amount of air at exit from the chamber was 73820 m<sup>3</sup>/h, corn was cooled at maximum temperature +5°C higher than the surrounding temperature and corn moisture was 13.4%. The difference in corn moisture was 23% which is very good and enables good storage and microbiological and toxicological correctness. Average consumption of fuel for two-phase drying and subpressure set at 550 Pa per 1 kg of evaporated water decreased from 4722.4 KJ/kg to 4.106.9 KJ/kg. This means that the consumption of fuel was reduced by 13% leading to the conclusion that two-phase drying and adequate subpressure in the drying chamber affect the quality of drying.

Key words: two-phase drying system, subpressure, drying chamber, moisture, shelled corn, storage, drying quality