

Bibliid: 0350-2953 (2006) 32: 1-2, p. 184-194

UDK: 676.012.3; 631.536; 633.15

Pregledni rad

Review paper

ENERGETSKA EFIKASNOST SUŠENJA ZRNA KUKURUZA NA RAZLIČITIM KONSTRUKCIJAMA SUŠARA

ENERGY EFFICIENCY OF CORN GRAIN DRYING ON DIFFERENT CONSTRUCTION OF DRYERS

Brkić M, Somer D*, Đukić Đ**

REZIME

U radu je dat pregled podataka o istraživanjima rada sušara sa visokim, povišenim, srednjim i niskim temperaturama sušenja zrna kukuruza. Sušare sa visokim i povišenim temperaturama agensa (vazduha) mogu uopšteno da se svrstaju u dve kategorije: protočne sušare s tankim slojem i stubne šaržne sušare s debelim slojem zrna. Takve sušare sa visokim (150 do 300°C) i povišenim temperaturama sušenja (80 do 120°C) imaju protok vazduha (4.000 do 10.000 m³/h/toni zrna). Specifični utrošak goriva bio je 0,010 do 0,036 kg ulja za loženje/kg osušenog zrna. Srednje temperaturno sušenje zrna (40 do 80°C) je način sušenja zrna u šaržnim sušarama sa debelim slojem zrna. Ovaj način ima veći stepen energetske efikasnosti, nego sušenje sa povišenim temperaturama u tankom sloju, zbog toga što vazduh prolazi kroz deblji sloj zrna i tako mu se omogućava da pokupi više vlage i da se više zasiti vlagom, blizu granice zasićenja. Ipak, način šaržnog sušenja je sporiji, nego stubno šaržno sušenje ili protočno sušenje. Ono koristi oko 1/3 manje energije za gotovo istu količinu koja se suši. Niskotemperaturno sušenje (0 do 40°C) je, takođe, način šaržnog sušenja sa debelim slojem. To je spor proces sušenja u kojem se sušenje obavlja vazduhom, zagrejanim nešto više od okolnog vazduha. Specifični utrošak goriva bio je manji nego 0,010 kg ulja za loženje/kg osušenog zrna. U ovim ispitivanjima na pilot šaržnoj sušari, pri srednje temperaturnom sušenju zrna kukuruza, bio je specifični utrošak goriva, kao kod niskotemperaturnog sušenja zrna. Cilj ovog ispitivanja bio je da se ustanovi energetska efikasnost sušenja zrna kukuruza na različitim vrstama i tipovima sušara.

Ključne reči: šaržno sušenje, protočno sušenje, zrno kukuruza, potrošnja goriva, kvalitet

SUMMARY

This paper investigates performance of corn dryers operating on high, increased, medium and low corn drying temperatures. Dryers with high and increased air temperatures can generally be placed into two categories: thin layer continuous flow dryers and thin layer column batch dryers. Dryers with high (150 to 300°C) and increased temperatures (80 to 120°C) have airflow of 4,000 to 10,000 m³/h/grain tonnage. Specific fuel consumption is

* Dr Miladin Brkić, redovni profesor, Deže Somer, dipl. inž, stručni saradnik, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8.

** Đorđe Đukić, »Protein«, Gospođinci

0,010 to 0,036 kg of heating oil per kg of dry shelled corn. Medium temperature grain drying (40 to 80°C) is performed as batch in-bin drying with depth layer. This method is more energy efficient than the increased temperature thin layer drying, because the air flows through a deeper bed of grain and is thus able to absorb more moisture and exhaust, closer to saturation. However, the in-bin drying is a slower drying method than the column batch or continuous flow drying. It uses about 1/3 less energy to accomplish the same amount of drying. Low temperature drying (0 to 40°C) is also based on the batch in-bin drying method with depth layer. It is a slow drying process in which the grain is air-dried, heated only slightly above the ambient temperature. Specific fuel consumption was less than 0,010 kg of heating oil per kg of dry shelled corn. In this investigation, a pilot batch dryer was used, by middle temperature corn drying, there is specific fuel consumption as low temperature grain drying. The goal of this investigation was to establish energy efficiency of shelled corn drying by different sorts and types of dryers.

Key words: batch in-bin drying, continuous flow drying, shelled corn, fuel consumption, quality

UVOD

Sušenje zrna kukuruza može da bude sa visokim (150 do 300°C), povišenim (80 do 120°C), srednjim (40 do 80°C) i nižim temperaturama (0 do 40°C) agensa za sušenje (mešavina okolnog vazduha i produkata sagorevanja). Sušenje zrna na visokim temperaturama obavlja se uglavnom u američkim sušarama (do 260°C). Sušenje zrna na povišenim temperaturama obavlja se pretežno u gravitaciono-protočnim jedno ili više prolaznim sušarama velikog učinka ili u stubnim šaržnim sušarama. Jednoprolazne sušare karakterišu se povišenom temperaturom i protokom vazduha za sušenje, relativno tankim slojem zrna ili debljinom stuba (komore) sušare (305 do 457 mm, Brkić, 1993), brzim sušenjem i smanjenim stepenom korišćenja energije. Vazduh brzo prolazi kroz tanki sloj zrna i ne stigne dovoljno da se zasiti vlagom. Svega 40 do 50% toplotne energije iskoristi se kod ovakvog načina sušenja.

Gravitaciono-protočne sušare velikog učinka (do 30 t) imaju visoku investicionu vrednost (oko 150.000 evra). One su postavljene uglavnom na velikim državnim imanjima pored silosa. Imaju veliku potrošnju goriva, 355 l/ha ulja za loženje (ili dizel goriva), pri prinosu zrna kukuruza 8 t/ha i skidanju vlage sa 32 na 14% (Bošnjaković i sar. 1991). Specifična potrošnja goriva, izražena po masi osušenog zrna kukuruza, iznosi 0,036 kg ulja za loženje/kg osušenog zrna kukuruza. To znači da je potrošnja goriva za 3,25 puta veća kod procesa sušenja, nego što je ukupna potrošnja goriva za rad celokupne njivske mehanizacije u proizvodnji kukuruza. Specifični protok vazduha za sušenje kod ovih sušara je vrlo visok i iznosi od 4.000 do 10.000 m³/h/toni zrna. Kada jr reč o kvalitetu sušenja zrna kukuruza može se reći da je prilično loš. Pregrevanjem zrna u stubu sušare i naglim hlađenjem istog, pojavljuje se do 75% unutrašnjih napuklina zrna (Alimpić, 1974). Ovakvo zrno se u transportnom sistemu do silosa i po silosu dezintegrira, pa se pojavljuje veliki broj spoljnih napuklina (10,92%) i lomova zrna (27,72%). U lošim vremenskim uslovima za proizvodnju kukuruza može da se pojavi i do 48% ukupnog loma na silosnom centru. Ovakav kukuruz lako napadaju mikroorganizmi, brzo se kvvari, vrlo je lošeg ukusa i mirisa (stoka ga nerado konzumira).

Slična situacija je i kod sušenja zrna u stubnim (kolonskim) šaržnim sušarama. Na primer, pri sušenju zrna na temperaturi vazduha od 93,3°C, specifičnom protoku vazduha

4.078 m³/h/toni, debljini sloja 305 mm i pri skidanju vlage sa 32 na 15%, specifični utrošak energije je 0,034 kg ulja za loženje/kg osušenog zrna, sa 25 na 15% je 0,019 kg/kg i sa 20 na 15% je 0,010 kg/kg. Utrošak električne energije nije značajan u odnosu na utrošenu toplotnu energiju (Brkić i sar, 1993).

Srednjetemperaturne sušare karakterišu se šaržnim sušenjem debelog sloja zrna kukuruza obično u metalnim okruglim binovima (čelijama skladišta). Debljina sloja iznosi od 300 mm do 1,22 m (Brkić i sar, 1993). Ovakav način sušenja zrna zahteva manji utrošak toplotne energije u odnosu na sušenje povišenim temperaturama, pošto je veće zasićenje vazduha vlagom prolaskom istog kroz deblji sloj zrna. Sušenje se obavlja sporije nego kod tankog sloja. Specifični protok vazduha iznosi od 100 do 700 m³/h/toni zrna. Tako na primer, pri skidanju vlage sa 25 na 15% na temperaturi vazduha 54° C i specifičnom protoku vazduha 102 m³/h/toni zrna, specifični utrošak goriva je 0,0131 kg ulja za loženje/kg osušenog zrna kukuruza. To znači da je utrošak goriva manji za 1/3 u odnosu na povišene temperature kod šaržnih stubnih sušara. Investicioni troškovi izgradnje šaržnih postrojenja za sušenje zrna su manji. Nedostaci ovog sistema su: usporen i neravnomeran proces sušenja. Neravnomernost procesa sušenja može da se ublaži raznim tehničko-tehnološkim rešenjima, što donekle poskupljuje investiciona ulaganja.

Niskotemperaturno sušenje zrna obavlja se, takođe, u šaržnim sušarama. Uglavnom postoje dva tipa ovih sušara: američki i evropski. Američki tip se sastoji iz metalnih okruglih binova sa ravnim perforiranim podom. Prečnik binova kreće se od 5,5 do 12,8 m, a visina do 7,3 m. Kapacitet binova je od 13 do 70 vagona zrna. Strujanje vazduha obavlja se vertikalno kroz debeli sloj zrna. Specifični protok vazduha iznosi od 68 do 340 m³/h/toni zrna kukuruza kod I.F.E.C. proizvođača, odnosno oko 730 m³/h/toni kod F.S. Servicesa. Evropski tip ćelija ima znatno manje dimenzije i kapacitet, a znatno veći specifični protok vazduha, izražen po toni zrna. Dimenzije ovih ćelija su: prečnik 1,85 do 3,0 m, a visina 9,3 m. Kapacitet ćelija je do 5 vagona zrna. Ćelije mogu biti izrađene od metala ili u kombinaciji drveta i metala. U centralni deo ćelije vertikalno se postavlja perforirana cev da bi se omogućilo radijalno (horizontalno) produvanje zrna. Na taj način smanjuje se otpor sloja zrna protoku vazdušne struje. Specifični protok vazduha je 450 do 500 m³/h/toni kod ventilacionih komora tipa »Petkus«, od 1.700 do 3.200 m³/h/toni kod ventilacionih komora tipa »Westfalia« i 80 do 700 m³/h/toni kod tipa »Kongsilde« (Brkić, 1993). Veći specifični protok vazduha koristi se pri sušenju vlažnijeg zrna i manje debljine sloja zrna.

Tako na primer, pri sušenju zrna kukuruza u šaržnoj sušari F.S. Services sa 30 na 13%, na temperaturi vazduha 26,6° C, temperaturi okolnog vazduha 10° C, specifičnom protoku vazduha 730 m³/h/toni zrna, prečniku bina 7,3 m i debljini sloja zrna 1,22 m, specifični utrošak goriva bio je 0,027 kg ulja za loženje/kg osušenog zrna. Pri istim uslovima za skidanje vlage sa 25 na 15%, specifični utrošak goriva bio je 0,018 kg/kg.

Takođe, za debljinu sloja od 2,4 do 6,1 m, pri specifičnom protoku vazduha od 48 do 144 m³/h/toni zrna, početnom sadržaju vlage 25%, temperaturi vazduha 2,8° C i krajnjem sadržaju vlage 15%, specifični utrošak goriva iznosio je 0,0103 kg ulja za loženje/kg osušenog zrna. Kod evropskih proizvođača niskotemperaturnih sušara pri povećanju temperature vazduha za 2,5 do 6° C, specifični utrošak goriva iznosi 0,006 do 0,007 kg/kg (»Petkus«), 0,007 do 0,010 kg/kg (»Westfalia«) i 0,005 do 0,006 kg/kg (»Kongsilde«).

Tab. 1. Pregled tehničko-tehnoloških karakteristika različitih vrsta sušara

Tab. 1. Overview of technical and technological features of various dryer types

Br. No.	Vrsta sušare Dryer type	Sadržaj vlage ω_1 Input moisture content (%)	Sadržaj vlage ω_2 Output moisture content (%)	Temperat ura Agent temperatu re (°C)	Protok vazduha Specific air flow (m ³ /h/t)	Utrošak goriva Fuel con- sumptio n kg/kg	Debljina sloja Layer depth (mm)
1.	Protočna Cont. flow	32	14	80-120	4 – 10.000	0,036	-
2.	Šaržna Batch	32	15	93,3	4.078	0,034	305
3.	Šaržna Batch	25	14	40-80	100-700	0,0131	300- 1.220
4.	Šaržna Batch	25	14	54	102	0,0131	300- 1.220
5.	Šaržna IFEC Batch IFEC	25	15	0-40	68-340	-	2.750- 6.400
6.	Šaržna FS Ser. Batch FS Ser	25	15	0-40	730	-	1.000- 6.500
7.	Šaržna FS Ser. Batch FS Ser.	30	13	26,6	730	0,027	1.220
8.	Šaržna FS Ser. Batch FS Ser.	25	15	26,6	730	0,018	1.220
9.	Šaržna Batch	25	15	2,8	48-144	0,0103	2.400- 6.100
10.	Šaržna »Petkus« Batch »Petkus«	25	15	2,5-6	450-500	0,006 0,009	460-750
11.	Šaržna »Westfali.« Batch »Westfal.«	25	15	2,5-6	1.700-3.200	0,007- 0,010	460-750
12.	Šaržna »Kongsk.« Batch »Kongsk.«	25	15	2,5-6	80-700	0,005- 0,006	460-750

Na osnovu navedenih podataka može da se konstatuje da je kod niskotemperaturnog sušenja zrna kukuruza specifični utrošak goriva za 4 do 9 puta manji nego kod protočnih sušara sa povišenim temperaturama sušenja. Kvalitet osušenog zrna kod niskotemperaturnog procesa sušenja približava se prirodnom kvalitetu zrna kukuruza. Proces sušenja je veoma usporen. Vreme sušenja jedne šarže iznosi jedan ili više dana, tj. toliko dugo da ne dođe do procesa kvarenja zrna. U tabeli 1 dat je pregled tehničko-tehnoloških karakteristika različitih vrsta sušara.

Cilj ovog rada je da se ustanovi energetska efikasnost pojedinih vrsta i tipova sušara, pri sušenju zrna kukuruza, da bi se došlo do zaključka koje su sušare najefikasnije i najekonomičnije u radu.

MATERIJAL I METOD RADA

Ispitivanje sušenja zrna kukuruza obavljeno je na tri različite konstrukcije domaćih sušara: silošaržnoj sušari vlasništva Nikole Ivanova iz Gospodinaca, vertikalno-protočnoj kolonskoj sušari bez krovica vlasništva Mešaone stočne hrane »Protein« iz Gospodinaca i vertikalno-protočnoj sušari s krovicama vlasništva Zemljoradničke zadruge »Agat« u Padini. Ispitivanje silo šaržne sušare je obavljeno od 2. do 5. marta 1992. godine, kolonske sušare 27. oktobra 2005. godine i sušare s krovicama 10. decembra 2004. godine.

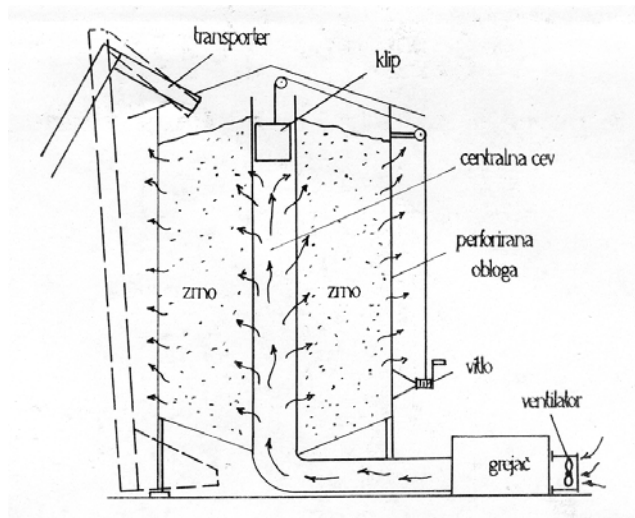
Silošaržna sušara proizvodnje »1. oktobar« u Žablju sastoji se iz metalne ćelije sa pocinkovanim perforiranim plaštom (sl. 1). Ćelija je izrađena po sistemu »Kongskilde«. Prečnik ćelije je 3,15 m, a visina plašta 6 m. Kapacitet ćelije je 30 t zrna. U središnji deo ćelije postavljena je metalna perforirana cev za razvod vazduha. Prečnik centralne cevi je 0,8 m. U cev je postavljen pokretni klip (čep), koji sprečava da vazduh prolazi iznad sloja zrna. Klip se pomera preko koturače sajlom okretanjem ručice na vitlu. Uz ćeliju postavljena je komora za sagorevanje tečnog ili gasovitog goriva. Na komoru je postavljen gasni gorionik, italijanskog proizvođača »Baltur«, nominalne toplotne snage 65 kW. Gorionik ima elektromotorni pogon snage 0,25 kW. Protok vazduha kroz sušaru je 5.000 m³/h. Topli vazduh potiskuje centrifugalni ventilator proizvodnje »Mlinoservisa« iz Novog Sada. Snaga elektromotora za pogon ventilatora je 3 kW. Pad pritiska vazduha je 450 Pa. Punjenje ćelije zrnom obavlja se vertikalnim pužnim transporterom iz prijemnog koša. Transporter pokreće elektromotor snage 2,2 kW. Pražnjenje ćelije obavlja se istim transporterom u prevozno sredstvo (prikolicu).

Pri ispitivanju silošaržne sušare u ćeliju je ubačeno 29 tona zrna, prosečnog početnog sadržaja vlage 20,5%. Punjenje sušare zrnom obavljeno je 2. marta 1992. god, a sušenje je počelo 3 marta u 00 časova. Sušenje je završeno 5. marta u 6 časova. Ukupno vreme sušenja iznosilo je 54 sata. Krajnji sadržaj vlage u zrnju bio je u proseku 13,7%. Temperatura okolnog vazduha u toku dana kretala se od 6 do 10° C, a relativna vlaga 65 do 85%.

Ispitivanje termičkih i strujnih karakteristika silošaržne sušare obavljeno je po standardnoj metodici Instituta za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu (Brkić, 1980), merenje stanja okolnog i iskorišćenog vazduha aspiracionim psihrometrom po Asmanu, temperatura zagrejanog vazduha na ulazu u sušaru merena je termokompenzatorom.

»Norma« iz Austrije i sa živinim laboratorijskim termometrom »TOS-a« iz Zagreba (opsegom merenja od – 10 do 100° C). Dinamički pritisak vazduha na ulazu u sušaru meren je Pitoprantlovom i »U« cevi. Na osnovu analitičkog izraza iz hidrauličke izračunata je brzina i protok vazduha. Potrošnja goriva merena je ugrađenim meračem protoka gasa

firme »IKOM«, Zagreb, opsegom merenja od 0,2 do 7 Nm³/h gasa. Sadržaj vlage u zrnu meren je baždarenim električnim vlagomerom »Feutron«, Nemačke proizvodnje. Masa zrna kukuruza, pre sušenja, izmerena je na kolskoj vagi.



Sl. 1. Silošaržna sušara »1. oktobar«, Žabalj

Fig. 1. Silo batch dryer »1. oktobar«, Žabalj

Sve posmatrane veličine merene su svakih 20 minuta u toku šestočasovnog režima ispitivanja silošaržne sušare. Planom ispitivanja bilo je predviđeno sušenje zrna konstantnom temperaturom vazduha od 65° C. Zbog neadekvatnog preseka cevovoda za dovod gasa do gorionika, postignuta je temperatura vazduha od 49° C. Relativna vlažnost zagrejanog vazduha bila je 6%.

Vertikalno protočna kolonska sušara bez krovića, proizvodnje »Protein«, u Gospodincima, tip »Westfalia«, sastoji se iz dve kolone kroz koje se gravitaciono kreće zrno (sl. 2). Zidovi kolona urađeni su od pletene pocinkovane žice (tzv. sita). Otvori na situ su kvadratnog preseka, dimenzija 2 mm. Širina kolone je 200 mm. Stub sušare podeljen je na tri zone, dve gornje su zone sušenja, a donja je zona hlađenja zrna. Dimenzije sušare su: širina 2,0 m, debljina 2,0 m i visina 10,2. U sušaru može da stane 4,2 tone zrna kukuruza. Visina jedne zone je 2,4 m. Broj sekcija u jednoj zoni je 3, a kod zone hlađenja je 2. Ukupan broj sekcija je 8. Unutrašnji razmak između kolona je 1,0 m. Između zona postavljene su tampon zone visine 0,3 m. Na vrhu sušare nalazi se koš za prijem zrna, a na dnu levak za izuzimanje zrna. Na dnu levka ugrađen je pužni izuzimač zrna. Pogon izuzimača obavlja se elektromotorom, snage 0,55 kW. Sušara može da radi šaržno i kontinualno.

Pored sušare postavljen je centrifugalni ventilator, proizvodnje »Mlinoservis« iz Novog Sada. Učinak ventilatora je 11.520 m³/h vazduha. Napor ventilatora je 1.500 Pa. Potrebna snaga elektromotora za pogon ventilatora je 7,0 kW, a na sušaru je postavljen od 11 kW. Ispred ventilatora nalazi se komora za sagorevanje tečnog ili gasovitog goriva. Na komoru

je postavljen gasni gorionik, termičke snage 250 kW. Pogon gorionika obavlja se elektromotorom, snage 0,55 kW. Potrošnja zemnog gasa je do 30 Nm³/h. Kanali sušare nisu bili izolovani.



Sl. 2. Vertikalno protočna kolonska sušara »Protein«, Gospodinci

Fig. 2. Vertical flow column dryer »Protein«, Gospodinci

Centrifugalni ventilator usisava vazduh iz zone hlađenja, potiskuje ga oko komore za sagorevanje goriva i ubacuje u središnji deo donje zone sušenja. Delimično iskorišćeni vazduh iz donje zone sušenja penje se kroz vazdušne kanale, postavljene s bočne strane sušare, do gornje zone sušenja i prolazi kroz kolone sa zrnom i ulazi u središnji deo zone sušenja. Središnji deo gornje zone sušenja je otvoren i iskorišćeni vazduh može slobodno da izađe u atmosferu. Iz navedenog se može konstatovati da vazduh tri puta prolazi kroz sušaru, ali se sušara ipak tretira kao dvoprolazna, jer se računa koliko puta vazduh prolazi kroz zone sušenja.

Učink sušare je 2,2 t/h vlažnog zrna kukuruza, sa skidanjem vlage od 24 na 14%. Ukoliko je početni sadržaj vlage 30%, onda se dobija učinak 1,38 t/h vlažnog ili 1,12 t/h suvog zrna. Pored sušare postavljena su dva kofičasta elevatora, jedan za punjenje sušare s zrnom, a drugi za pražnjenje sušare osušenim zrnom. Visina elevatora je 12 m. Učinak elevatora je 5 t/h. Elektromotor za pogon elevatora je snage 1,1 kW.

Ispitivanje sušare u sušenju zrna kukuruza obavljeno je po metodi Instituta za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu (Brkić, 1980). Uslovi pri ispitivanju bili su: temperatura okolnog vazduha $16,5^{\circ}\text{C}$ i relativna vlaga okolnog vazduha 79%. Temperatura agensa na ulazu u sušaru bila je 101°C .

Vertikalno protočna sušara sa krovčićima, proizvodnje »Protein«, u Gospodincima, tip »Kempbell«, dvoprolazna, sastoji se iz dve zone sušenja i jedne zone hlađenja (sl. 3). Broj sekcija u zoni sušenja je 3, a u zoni hlađenja dve. Ukupan broj sekcija je 8. Dimenzije sekcije su: širina 1,25 m, debljine 1,25 m i visina 1,0 m. Visina tampon zone je 0,5 m. Gornji konus (koš) ima visinu 0,765, a donji konus (levak) 0,765 m. Ukupna visina sušare je 12 m. Iznad isipnog levka sušare postavljen je smičući izuzimač zrna, kojeg pokreće elektromotor, snage 0,55 kW. U sušaru može da stane 7,8 t zrna.



Sl. 3. Vertikalno protočna sušara s krovčićima »Protein«, Gospodinci

Fig. 3. Vertical flow column dryer with rooflets »Protein«, Gospodinci

Pored sušare postavljen je centrifugalni ventilator, proizvodnje »Irma« iz Beograda. Učinak ventilatora je $11.500\text{ m}^3/\text{h}$ vazduha. Napor ventilatora je 2.200 Pa. Potrebna snaga elektromotora za pogon ventilatora je 9,4 kW, a na sušaru je postavljen od 15 kW. Ispred ventilatora nalazi se komora za sagorevanje tečnog i gasovitog goriva. Na komoru je

postavljen gorionik za tečno gorivo, proizvodnje firme »Weisthaupt« termičke snage 300 kW. Pogon gorionika obavlja se elektromotorom, snage 0,55 kW. Potrošnja ulja za loženje iznosi do 31 l/h. Kanali sušare su izolovani.

Centrifugalni ventilator usisava vazduh, kroz komoru za mešanje, iz zone hlađenja i komore za sagorevanje goriva i ubacuje ga u donju zonu sušenja. Delimično iskorišćeni vazduh iz donje zone sušenja penje se kroz vazdušni kanal, postavljen s bočne strane sušare, do gornje zone sušenja i prolazi kroz gornju zonu i izlazi u atmosferu. Na izlazu iz gornje zone sušenja postavljen je kanal-nadstrešnica za sprečavanje zakišnjavanja krovića. Vazduh tri puta prolazi kroz sušaru, ali je sušara ipak dvoprolazna.

Učink sušare je 1,9 t/h vlažnog zrna kukuruza ili 1,5 t/h suvog zrna, sa skidanjem vlage od 32 na 14%. Pored sušare postavljena su dva kofičasta elevatora, jedan za punjenje sušare vlažnim zrnom, a drugi za pražnjenje sušare osušenim zrnom. Visina jednog elevatora je 14, a drugog 8 m. Učink elevatora je 5 t/h. Elektromotor za pogon elevatora je elektromotor snage 1,1 kW.

Ispitivanje sušare u sušenju zrna kukuruza obavljeno je po metodi Instituta za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu (Brkić, 1980). Uslovi pri ispitivanju bili su: temperatura okolnog vazduha 0,9° C i relativna vlaga okolnog vazduha 93 %. Temperatura agensa na ulazu u sušaru bila je 84,7° C.

REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA

Kao što je već navedeno u silošaržnu sušaru ubačeno je 29.000 kg zrna kukuruza, početnog sadržaja vlage 20,5%. Zrno je sušeno 54 sata, na prosečnoj temperaturi vazduha 49° C, na krajnji sadržaj vlage 13,68%. Ukupno je ispareno 2.291,2 kg vode. Dobijeno je 26.708,8 kg suvog zrna. Na izlazu iz silošaržne sušare postignuta je srednja relativna vlažnost vazduha od 70%, što znači da je pri protoku fluida od 5.850 kg s.v./h isparavano prosečno 42,4 kg/h vlage iz mase zrna. Ako se ovaj učinak sušare preračuna na učinak pri skidanju vlage od 32 na 14%, dobija se učinak od 274,6 kg/h vlažnog zrna ili 227,1 kg/h suvog zrna. Ukupno je utrošeno 275 Nm³ prirodnog gasa, odnosno 9,9 GJ toplote za 54 sata sušenja. Utrošak električne energije bio je 3,45 kWh/h. Specifična potrošnja toplotne energije po kilogramu isparene vode bila je 4.320,8 kJ/kg isparene vode, odnosno 370,7 kJ/kg suvog zrna. Energetska efikasnost sušare iznosila je 57,86%. Osušeno zrno bilo je odličnog kvaliteta.

Učinak kolonske sušare bio je 1,7 t/h suvog zrna kukuruza, pri početnom sadržaju vlage 21,5% i krajnjem 12,8%. Količina isparene vode iznosila je 188,4 kg/h. Učinak sušare obračunat sa 32 na 14% sadržaja vlage je 1,08 t/h vlažnog ili 0,85 t/h suvog zrna. Utrošak zemnog gasa bio je 26 Nm³/h, odnosno 858.000 kJ/h toplotne energije. Utrošak električne energije bio je 12 kWh/h. Specifični utrošak toplotne energije po kilogramu isparene vode bio je 3813,3 kJ/kg isparene vode, odnosno 1.009,4 kJ/kg osušenog zrna. Energetska efikasnost sušare bila je 65,6%. Osušeno zrno bilo je vrlo dobrog kvaliteta.

Učinak vertikalne sušare za zrno sa krovčićima bio je 2,82 t/h suvog zrna sa skidanjem vlage sa 21,5% na 14,2%. Temperatura agensa za sušenje bila je oko 85° C. Količina isparene vode bila je 316,2 kg/h. Učinak sušare obračunat sa 32 na 14% sadržaja vlage iznosi 1,78 t/h vlažnog zrna ili 1,47 t/h suvog zrna. Utrošak ulja za loženje bio je 34 l/h ili 28,9 kg/h, odnosno 1.213.800 kJ/h toplotne energije. Utrošak električne energije bio je 13,3 kWh/h. Specifični utrošak toplotne energije po kilogramu isparene vode je 3.838,7 kJ/kg isparene vode, odnosno 357 kJ/kg suvog zrna. Energetska efikasnost sušare je 65,1%.

sniženje energetske efikasnosti sušare uticali su loši vremenski uslovi: niska temperatura i visoka relativna vlaga vazduha. Osušeno zrno bilo je dobrog kvaliteta.

Tab. 2. Komparacija rezultata ispitivanja svedena na sušenje zrna sa 32 na 14%

Tab. 2. Comparison of investigation results reduced to shelled corn dried from 32% to 14%

Br. No	Vrsta sušare Dryer type	Učinak sušare u kg/h vlažnog zrna Dryer performance in kg/h	Učinak sušare u kg/h suvog zrna Dryer performance in kg/h of dry shelled corn	Specifični utroš. toplot. energije kJ/kg isp. Vode Specific consumption of thermal energy kJ/kg of evaporated water	Energetska efikasnost sušare Energy efficiency of dryer, %
1.	Silošarž na sušara Silo batch dryer	274,6	227,1	4.320,8	57,86
2.	Kolonsk a sušara Column dryer	1.075,0	850,0	3.813,3	65,6
3.	Sušara sa krovići ma Dryer with rooflets	1.778,8	1.471,0	3.387,1*	76,8*

*Napomena: preračunato sa temperature okoline 0° C na 10° C.

*Note: converted from ambient temperature 0° C to 10° C.

Na osnovu navedenih podataka u tabeli 2 može da se konstatuje da sušare kapaciteta 3; 4,2 i 7,8 t zrna, respektivno, imaju različit učinak. Učinak zavisi od termičke snage postrojenja i drugih karakteristika sušare. Najmanji specifični utrošak toplotne energije po jednom kilogramu isparene vode ima sušara s krovićima, zatim kolonska sušara i na kraju silošaržna sušara. Najmanji procenat energetske efikasnosti ima silošaržna sušara, zatim kolonska sušara, a najveći sušara sa krovićima. Sušara s krovićima je ispitivana u nepovoljnim vremenskim uslovima, što se odrazilo na slabije rezultate ispitivanja. Ipak, dvoprolazne sušare imaju niži utrošak enegije od šaržnih.

ZAKLJUČCI

Na osnovu rezultata ispitivanja može da se zaključi da utrošak energije pri sušenju zrna kukuruza, tj. energetska efikasnost sušara zavisi od tehničkih karakteristika sušara, temperaturnih režima sušenja, izolovanosti kanala sušare, vremenskih uslova za ispitivanje i vrste hibrida kukuruza.

U navedenim ispitivanjima najbolje se pokazala kolonska sušara. Sušara s krovčićima je ispitivana u nepovoljnim vremenskim uslovima, što se odrazilo na rezultate ispitivanja. Najlošije rezultate imala je silošaržna sušara. Cene postrojenja za sušenje zavise od vrste i tipa sušare. Najjeftinije su silošaržne sušare, zatim kolonske, a najskuplje su sušare s krovčićima. Učinak sušare prati cenu sušare. Sušara s većim učinkom ima i višu cenu. Povećanje cene sušare nije progresivno s učinkom sušare. Sušara s dvostruko većim učinkom nema duplo veću cenu.

LITERATURA

1. Alimpić M, Brkić M. 1974. Deformacije zrna kukuruza usled dinamičkih naprezanja u sistemu veštačkog sušenja i skladištenja. Zbornik radova sa I internacionalnog simpozijuma: »Poljoprivredno mašinstvo i nauka«, Mašinski fakultet Beograd-Noví Sad, 325-341.
2. Bošnjaković A, Brkić M, Meši M. 1991. Analiza utroška energije u proizvodnji kukuruza. Zbornik radova sa XV simpozijuma: »Naučno-tehnički progres u poljoprivrednoj proizvodnji (1991-2000)«, JDPT, Opatija, 151-155.
1. Brkić M. 1980. Uticaj direktnog i indirektnog načina sušenja zrna kukuruza sa i bez recirkulacije na brzinu sušenja, kvalitet i energetska bilans sušare. Magistarski rad, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 231.
2. Brkić M, Somer D, Grujev O, Jovanović S. 1993. Šaržno sušenje zrna kukuruza u ćeliji silosa. Savremena poljoprivredna tehnika, 19(3-4), 191-196.
3. Brkić M, Babić Ljiljana, Somer D. 1995. Šaržno sušenje zrnastih proizvoda u ćeliji silosa. Revija agronomska saznanja, V(1), 17-20.
4. Somer D, Brkić M, Kavgić P. 1994. Sušenje zrna kukuruza u šaržnoj sušari na malom posedu. Revija agronomska saznanja, IV(2), 49-51.

Primljeno: 12.12.2005.

Prihvaćeno: 18.12.2005.