

# Sušenje kukuruza direktnom sušarom "Seting" Delnice

---

Jakobović, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2018

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:325355>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-17**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Josip Jakobović

Diplomski studij Mehanizacija

**SUŠENJE KUKURUZA DIREKTNOM SUŠAROM „SETTING“ DELNICE**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2018.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Josip Jakobović

Diplomski studij Mehanizacija

**SUŠENJE KUKURUZA DIREKTNOM SUŠAROM „SETTING“ DELNICE**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof.dr.sc. Tomislav Jurić, predsjednik
2. prof.dr.sc. Darko Kiš, mentor
3. izv.prof.dr.sc. Irena Rapčan, član

**Osijek, 2018.**

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. PREGLED LITERATURE</b> .....	2
<b>2.1. Kukuruz</b> .....	2
<b>2.2. Sušare</b> .....	4
<b>2.3. Goriva kao izvor energije sušenja</b> .....	7
<b>2.4. Izvedbe sušara te njihova energetska učinkovitost</b> .....	8
<b>2.5. Proračun rada sušara</b> .....	13
<b>3. MATERIJAL I METODE</b> .....	17
<b>3.1. Sušara Seting Delnice, Stabil 3000</b> .....	17
3.1.1. Osnovne tehničke karakteristike sušare .....	17
3.1.2. Tehnički opis rada sušare .....	19
<b>3.2. Metoda istraživanja</b> .....	22
<b>4. REZULTATI I RASPRAVA</b> .....	23
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	30
<b>6. POPIS LITERATURE</b> .....	31
<b>7. SAŽETAK</b> .....	34
<b>8.SUMMARY</b> .....	35
<b>9. POPIS TABLICA</b> .....	36
<b>10. POPIS SLIKA</b> .....	37
<b>TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA</b> .....	38
<b>BASIC DOCUMENTATION CARD</b> .....	39

## 1. UVOD

Kukuruz se najviše upotrebljava za prehranu ljudi, ishranu domaćih životinja, te za industrijsku preradu. U razvijenim zemljama više od 80% ukupne proizvodnje kukuruza upotrebljava se za ishranu domaćih životinja. Industrijskom preradom kukuruza dobiva se: škrob, šećer, ulje, dekstrin, etil, butil i propil alkohol, acetaldehid, octena i limunska kiselina, razna alkoholna pića i sl.

Berba kukuruza, izuzev kasnih hibrida, kreće krajem rujna mjeseca pa je odličan predusjev za strne žitarice. Time svakako ostaje dosta vremena za dobru obradu tla za slijedeći usjev. Kukuruz dobro podnosi monokulturu, a kao okopavina ostavlja tlo rahlo i čisto od korova.

Sušenje poljoprivrednih proizvoda poznajemo jako dugo, koliko i ljudski rod. Nekada je sušenje ovisilo o vanjskim čimbenicima kao što su sunce i vjetar. Zadatak sušenja je u što kraćem vremenu odstraniti suvišnu vlagu (vodu) iz materijala i to kod temperatura koje su prilagođene materijalu i stvoriti uvjete u kojima su procesi razmjene tvari (enzimatski, biološki) svedeni na minimum tijekom skladištenja.

Sam poljoprivredni materijal koji sušimo u svojoj strukturi sadrži najviše vode u stanicama, a izdvaja se difuzijom, tako i brzina samog sušenja ovisi o tome. Brzina sušenja difuzijom je veća što je temperatura viša, manji zračni tlak, veća vlažnost te veći pad temperature od unutrašnjosti prema van.

Tehnički sušenje je funkcija stanja zraka, a isto je određeno temperaturom, sadržajem vlage u njemu i brzinom njegovog kretanja.

Osnovni čimbenici sušenja su:

- materijal koji se suši
- zrak kojim se suši
- objekti i oprema u kojima se obavlja sušenje

Danas na tržištu postoji veliki broj sušara. Prilikom sušenja mora se sačuvati kakvoća zrna. Danas se mora sušiti što ekonomičnije tako da cijena sušenja bude što niža, a učinak same sušare što veći, a to se može postići samo poznavanjem osobina sušare u kojoj se suši i zrna koje se suši uz odlično poznavanje tehnologije sušenja.

Za sušenje 1 000 kg zrna sa 35% vlage na 15%, potrebno je oko 1 370 MJ toplinske energije, (Katić, 1997).

U današnje vrijeme sušare najviše koriste fosilna goriva, zemni plin i loživo ulje.

## **2. PREGLED LITERATURE**

### **2.1. Kukuruz**

Kukuruz je jednogodišnja biljka jarog tipa razvića, a njegova dužina vegetacije od nicanja do pune zriobe ovisi od osobine sorte, odnosno hibrida, s jedne strane, i uvjeta uzgoja, s druge strane. Po dužini vegetacije sve hibride kukuruza možemo razvrstati u rane, srednje rane i kasne vegetacije. Pod veoma ranim hibridima podrazumijevaju se hibridi s vremenom vegetacije od 90-110 dana, a pod srednje ranim s vegetacijom od 120-135 dana te kasnim od 135-145 dana.

Osnovni gospodarski značaj kukuruza proizlazi iz svojstava same biljke, raznovrsnosti upotrebe i obima proizvodnje. Gotovo svi dijelovi biljke kukuruza mogu poslužiti za preradu, pa upravo to daje kukuruzu poseban ekonomski značaj.

Danas se proizvodi više od 500 različitih industrijskih prerađevina od kukuruza (prehrambeni i ljekarski proizvodi, farmaceutska i kozmetička sredstva, razni napitci, tekstilni i kemijski proizvodi).

Zrno kao osnovna sirovina u pripravljanju koncentrirane stočne hrane ima izuzetno veliku važnost jer sadrži 70-75 % ugljikohidrata, 10 % bjelančevina, oko 5 % ulja, 15 % mineralnih tvari, te 2,5 % celuloze ([www.agroklub.com](http://www.agroklub.com)).

Kukuruz je, uz pšenicu i rižu, jedna od tri vodeće poljoprivredne kulture u svijetu. Od svih žitarica kukuruz ima najveći potencijal rodosti. U svijetu su zabilježeni prinosi suhog zrna od 25 t/ha, a u Hrvatskoj od 18 t/ha. Kukuruz ima potencijal prinosa od 50-60 tona suhe tvari po hektaru, što ne može dati ni jedna druga ratarska kultura. Svi dijelovi biljke kukuruza mogu se iskoristiti, bilo kao hrana ili za industrijsku preradu, što kukuruzu daje poseban ekonomski značaj. Od kukuruza se u svijetu proizvodi više od 1000 raznih proizvoda. Kukuruz ima poseban značaj u stočarstvu, bilo kao zrno ili silaža cijele biljke (Jukić, i Pozder, 2004).

U Hrvatskoj je u 2017. godini prema podacima Hrvatskog zavoda za statistiku, proizvedeno 1 556 000 tona kukuruza. Procjenjuje se da je prirod smanjeni to za 28% u usporedbi s prošlogodišnjim ostvarenim prirodom. Uzrok smanjenom prirodu kukuruza jest smanjeni prirod po hektaru ([www.dsz.hr](http://www.dsz.hr)).

Uzgoj kukuruza bi trebao dobiti na važnosti u Hrvatskoj jer su zemljišni i klimatski uvjeti za proizvodnju kukuruza u Hrvatskoj među najboljima u svijetu. Navedenu prednost trebalo bi iskoristiti i postaviti proizvodnju kukuruza na mjesto u Hrvatskoj koje ono

zaslužuje. Kukuruz je nezamjenjiva žitarica kao osnova stočne hrane za obnovu i razvitak stočarske proizvodnje u Hrvatskoj. Bez povećanja površina i proizvodnje neće biti moguće obnoviti ni stočarstvo. Kukuruz bi međutim trebao biti osnova ratarske, stočarske pa i cijele poljoprivredne proizvodnje, a isto tako i mnogih industrijskih proizvodnji. Industrije etanola, škroba, alkoholnih i bezalkoholnih pića potencijalne su za otvaranje sve većeg broja radnih mjesta. Da bi se te industrije razvijale potrebna je neprekidna opskrba velikih količina sirovine - zrna kukuruza (Gagro, 1997).

Listovi kukuruza razvijaju se na koljencu stabljike, dužine su do 80 cm, 9 do 10 cm širok i debljine oko 0,25 mm. Krupni su, a broj im je jednak broju nodija (koljenica). Listovi stabljike sastoje se od rukavca i plojke, a listovi klipa samo od rukavca. Izbijaju iz jako skraćene stabljike peteljke, pa se preklapaju jedan na drugi i tako omotavaju klip. Cvat kukuruza je jednospolan (monoecijski), što znači da su muški i ženski cvjetovi na istoj stabljici odvojeni. Muški su cvjetovi metlica na vrhu stabljike, dok su s druge strane ženski cvjetovi smješteni između lista i stabljike (axila) donjih listova. Klipovi su zreli ženski cvjetovi. Kada se razviju muški cvjetovi na metlici i ženski na klipu onda nastaje cvatnja i oplodnja (Boćanski, 1995).

Kukuruzno zrno je plod. Razlikuje se od ploda većine ostalih žitarica prema obliku, veličini i boji, ali i između hibrida u tim svojstvima ima velikih razlika. Kukuruzno zrno se sastoji od ljuske ploda (perikarp), sjemene ljuske (perisperm), endosperma i klice. U ukupnoj masi zrna, na bazi suhe tvari, perikarp sačinjava 4,11-5,39% (Gotlin, 1967).

Kukuruzno zrno prolazi kroz pet (5) faza sazrijevanja do svoje pune zriobe, što je vidljivo u tablici 1. Određeni postotak vode kroz sve faze zriobe zrna se mijenja tijekom razvitka zrna, kako se nagomilava suha tvar.

Tablica 1. Vlaga zrna pri različitim fazama sazrijevanja kukuruza (Ritz, 1978, po Golik-u)

<b>FAZE ZRIOBE</b>	<b>Količina vode u zrnu (%)</b>
<b>Početak mliječnog sazrijevanja</b>	<b>67,0</b>
<b>Mliječna zrioba</b>	<b>53,5</b>
<b>Mliječno-voštana zrioba</b>	<b>46,1</b>
<b>Voštana zrioba</b>	<b>35,3</b>
<b>Puna zrioba</b>	<b>24,6</b>

Voda u zrnu ulazi u sastav stanice kukuruza, a većim dijelom se nalazi u međustaničnom prostoru (u mikro i makro kapilarama). Kako je voda zrna u neposrednom dodiru sa stjenkom stanice koja je polupropusna, dolazi do kretanja tvari u oba smjera. Organska tvar iz stanice difundira i s vodom čini otopine različitog sastava i koncentracije. Zbog toga je porozna struktura zrna popunjena rastvorom vode i organskih tvari, koje se ponašaju kao koloidi (Pekić, 1989).

Vlažnost zrna se izražava u postotcima. Fizikalna svojstva zrna ovise o više faktora. Kao npr. o sorti, uvjetima razvoja biljke, formiranju zrna, vremenu i načinu kombajniranja, uvjetima čuvanja nakon žetve, kao i stupnju pripremljenosti zrna za kraće ili duže vrijeme uskladištenja (Ujević, 1988).

## **2.2. Sušare**

Sušenje poljoprivrednih proizvoda koji se koriste za ishranu ljudi poznajemo jako dugo koliko i ljudski rod. Ovaj način konzerviranja je do dana danas ostao najvažniji i skoro nepromijenjen s uporabom novih sredstava kojima se sušenje ubrzava ili olakšava. Ovisno o klimatskim i vremenskim uvjetima prirodno sušenje i nije uvijek potpuno svrsishodno. Prirodni način čuvanja poljoprivrednih proizvoda tek je u 20. stoljeću ustupilo mjesto drugim tehnologijama, kao što su: sušenje vodoravnim ili okomitim kontinuiranim sušarama, dehidratorima, sušenje u fluidnom sloju, sušenje vakuumom i duboko zamrzavanje. Osnovna prednost navedenih tehnologija je u tome što hrana zadržava svoj karakterističan miris, boju i okus bez oštećenja hranjivih vrijednosti (Katić, 1997).

Odložena berba kukuruza kako bi se kukuruz osušio na polju je obično vezan uz povećane gubitke na polju, budući da vremenske prilike utječu na mogućnost provedbe berbe gubi se vrijeme koje je potrebno za berbu. Odlaganje berbe obično ima povoljne rezultate, ali kasnije u jesen može doći do većih gubitaka na polju u usporedbi s uštedom goriva (Sandorf, 2004).

Svrha konzerviranja je bila i ostaje: sačuvati prirodna svojstva hrane što je moguće duže, a najmanje do slijedeće godine, kada se može ponovno žeti ili ubirati plodove poljodjelskog truda i rada. Ovaj uvjet nije lako ostvariti, naročito kod konzerviranja vrenjem, dimljenjem, prirodnim sušenjem i dodavanjem kemijskog konzervansa (Katić, 1997).

Zadatak sušenja je u što kraćem vremenu odstraniti suvišnu vlagu (vodu) iz materijala i to kod temperatura koje su prilagođene materijalu i stvorene uvjete u kojima su procesi razmjene tvari (enzimski, biološki) svedeni na minimum tijekom skladištenja. Sam



poljoprivredni materijal koji sušimo u svojoj strukturi sadrži najviše vode u stanicama, a izdvaja se difuzijom, tako i brzina samog sušenja ovisi o tome. Brzina sušenja difuzijom je veća što je temperatura viša, manji zračni tlak, veća vlažnost te veći pad temperature od unutrašnjosti prema van.

Tehnički sušenje je funkcija stanja zraka, a isto je određeno temperaturom, sadržajem vlage u njemu i brzinom njegovog kretanja (Brkić i sur., 2005).

Sušare su, poznato nam je, veliki potrošači energije, smanjenje potrošnje energije po kilogramu isparene vode postao je imperativ sušenja. Veoma jako taj je problem izražen kod sušenja kukuruza (Krička, 1993).

Obično najtraženiji kukuruz je s postotkom vlage od 14-15%. Presušivanje kukuruza je skupo zato što povećava cijenu sušenja, naročito kada su cijene goriva visoke. Taj isti problem također smanjuje količinu kukuruza koja se može osušiti u jednom danu te dobivamo manju količinu kukuruza namijenjenu prodaji, ([www.alliantenergy.com](http://www.alliantenergy.com)).

Da bi se izbjeglo kvarenje kukuruz čija vlaga prelazi 21% ne smije se sušiti isključivo prirodnim putem i na niskim temperaturama. Hellevang (2005.) predlaže uporabu topline kako bi se smanjio udio vlage te brzinu protoka zraka od 1,004 m<sup>3</sup> u minuti po m<sup>3</sup> (1,25 kubičnih stopa u minuti po bušelu) kako bi se smanjilo trajanje sušenja, ([www.farmgate.uiuc.edu](http://www.farmgate.uiuc.edu)).

Ispod 15% vlage kukuruz se može uskladištiti na duži vremenski period. Za kraći period skladištenja kukuruz može imati postotak vlage od 18% te mora biti ohlađen ispod 28°C (50°F). Dozvoljeno trajanje skladištenja odnosno broj dana koliko kukuruz može biti uskladišten prije gubitka suhe tvari od pola posto ovisi o nekoliko čimbenika. Kod čistog je kukuruza vrijeme na koje se on može skladištiti funkcija temperature i vlage, tj. što je hladniji i suši to je bolje. Kukuruz koji ima puno oštećenih zrna i fine tvari brže se kvare, a isti je slučaj s kukuruzom u kojem je prisutno sjeme korova, insekti i pljesniva zrna, ([www.web.wxtension.uiuc.edu](http://www.web.wxtension.uiuc.edu)).

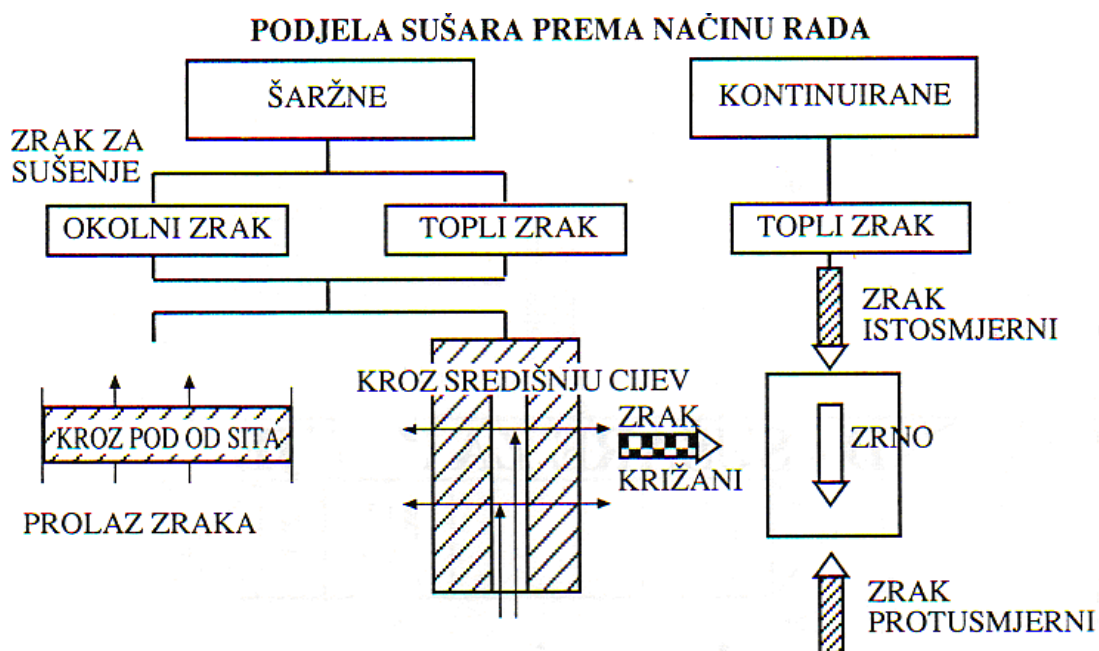
Sušare koriste manje energije naravno kada je vrijeme toplo i suho, a s druge strane više energije kada je hladno. Potrošnja plina je otprilike proporcionalna broju stupnjeva na koje se zrak zagrijava. Kada je temperatura okoline hladnija i kreće se oko 0°C, zagrijavanjem zraka od 0°C – 133°C koristi se oko 20% više plina nego kada se zrak zagrijava od 22°C – 133°C, (Bill Wilcke, 2001).

Postoji više tipova sušara koje možemo svrstati u razne grupe i podgrupe za sušenje zrna, osobito žitarica. Podjelu možemo zasnivati na raznim temeljnim pretpostavkama kao što su: podjela po vrsti i namjeni robe koja se suši, podjela po načinu transporta robe kroz

sušaru, podjela prema načinu grijanja zraka za sušenje, podjela prema vođenju zraka kroz sušaru i sl. (Katić, 1997). Prve sušare koje su se koristile u Europi građene su za sušenje neposredno ili posredno grijanim zrakom. U njima se sušilo lišće šećerne repe i rezanci repe koji ostaju u šećeranima nakon izlučivanja soka, zatim rezanci stočne repe, a kasnije su sušne i različite trave i travnate smjese. Bile su to, po konstrukciji, sušare s rotirajućim bubnjevima koje su poznate danas kao "dehidratori" za lucernu ili neke druge poljoprivredne proizvode.

Europske sušare, koje trenutno vidimo na tržištu su energetske različite. Većina takvih sušara posjeduje tehnički sistem djelomične recirkulacije fluida za sušenje, kao metoda racionalizacije potrošnje energije. Pored takvog pristupa, neki proizvođači imaju dvostupanjske i ponekad dvoprolazno sušenje (Babić 2007).

Katić (1997) navodi da su prve sušare u Hrvatskoj za sušenje zrna bile ugrađivane u silose i skladišta za bijele žitarice uz same mlinove. Iste su sušare grijane indirektno. Zrno se moglo grijati bez samog sušenja, na grijaćim tijelima – radijatorima. Prilagođene su tehnologiji sušenja bijelih žitarica i služe kao interventne sušare. Kasnije korištenjem kombajna za žetvu kukuruza, stvorila se potreba za većim sušarama koje su prilagođene za sušenje kukuruznog zrna.



Slika 1. Podjela sušara (Katić, 1997.)

Sušenje zrna kukuruza može biti različito sa visokim (150°C do 300°C), povišenim (80°C do 120°C), srednjim (40°C do 80°C) i nižim (0°C do 40°C) temperaturama smjese zraka i dimnih plinova za samo sušenje. U američkim sušarama se obavlja uglavnom sušenje zrna na visokim temperaturama (do 260°C), dok sušenje na povišenim temperaturama obavlja se pretežno u gravitacijski-protočnim sušarama. Srednje temperaturne sušare karakteristične su kod šaržni sušara s debelim slojem zrnakukuruza koji iznosi od 300 mm do 1,2 m dok se nisko temperaturno sušenje obavlja isto u šaržnim sušarama (Brkić, 2006). Sušare sa malim kapacitetom sve više su zanimljive poljoprivrednim proizvođačima i trgovcima koji se bave trgovinom sa zrnastim poljoprivrednim materijalom. Razlog je, jednostavan, u potrebi da se ubrani prinos kvalitetno osuši sa što manjim troškovima i sačuva za prodaju u pogodnom trenutku (Sommer, 2008).

### **2.3. Goriva kao izvor energije sušenja**

Upravilu nikad se ne koristi samo jedan energent, već obično rabi minimum tri energenta kao glavne nositelje potrošnje. Kako je prijelaz od jednog energenta na drugi veoma skup i dugotrajan, nužno je znati buduće energetske alternative.

Prirodni plin je energent za iduće razdoblje od 100 do 200 godina. On danas u svijetu čini oko 25% potrošnje primarne energije, a u nekim zemljama je prešao iznos od 50% (Rusija). Trend rasta uporabe prirodnog plina je 1% do 3% godišnje te se uskoro očekuje da će dostići iznos od 30% svjetskih energetske potreba za primarnom energijom. Poseban se rast potrošnje očekuje u proizvodnji električne energije (kombi-proces, kogeneracije i mikrogeneracije) te u prometu pomoću gorivih ćelija (Šunić, 2001).

Prirodni plin:

Prirodni plin je mješavina ugljikovodika proizvedenih iz plinskih ili naftno-plinskih bušotina i to: metana - (CH<sub>4</sub>), etana - (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propana - (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), butana - (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), pentana - (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>) i heksana - (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>). Navedeni ugljikovodici čine najveći dio sastava proizvedenog zemnog plina, a manji dio drugi ugljikovodici, kemijski elementi i spojevi od kojih su najčešći ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>), voda (H<sub>2</sub>O), dušik (N<sub>2</sub>), sumporovodik (H<sub>2</sub>S) i živa (Hg).

Prirodni plin koji "INA-Naftaplin" isporučuje za tržište je pročišćena, za transport pripremljena smjesa donje ogrjevne moći od 30 MJ do 40,5 MJ/m<sup>3</sup>, mjereno pri temperaturi od 288,15°K i tlaku od 1,01325 bara, (Topličanec, 2007).

Ogrjevna moć:

Osnovni podatak koji nas kod nekog goriva zanima jest količina topline koja nastaje njegovim izgaranjem, što se iskazuje ogrjevnom moći. Pri tome razlikujemo gornju, donju, te kod plinskih goriva i pogonsku ogrjevnu moć.

*Gornja ogrjevna moć* (gornja toplinska vrijednost – Hg) jest ona količina topline koja nastaje potpunim izgaranjem jedinične količine goriva, pri čemu se dimni plinovi ohlade na ishodnu temperaturu (25°C), a vodena para se iz njih izlučuje kao kondenzat. Gornju ogrjevnu moć najtočnije određujemo pokusom.

*Donja ogrjevna moć* (donja toplinska vrijednost – Hd) jest ona količina topline koja nastaje potpunim izgaranjem jedinične količine goriva, pri čemu se dimni plinovi ohlade na ishodnu temperaturu (25°C), a vodena para u njima ostaje (kao zamišljena računski veličina), u parnom stanju, pa toplina kondenzacije ostaje neiskorištena. Donju ogrjevnu moć određujemo računski iz gornje.

*Pogonska ogrjevna moć* (Hp) može biti izražena i kao gornja i kao donja. Razlika prema uobičajenoj ogrjevnoj moći je u tome što se kod ove uzima normni prostorni metar suhog plina, a kod pogonske se ogrjevne moći uzima pogonski prostorni metar vlažnog plina, ukoliko je plin vlažan.

$$\text{Ogrjevna moć} = \frac{\text{količina topline}}{\text{jedinična količina topline}} \quad (\text{kJ})$$

Ogrjevnu moć dobivamo iz odnosa količine topline i jedinične količine topline, izražava se u kJ, MJ; kWh, a količina goriva u plinskoj tehnici u m<sup>3</sup> (0°C, 1013,25 mbar), kmol (0°C, 1013,25 mbar), rjeđe u kg (Strelec i sur., 2001).

#### **2.4. Izvedbe sušara te njihova energetska učinkovitost**

Energija za sušenje kod nas se u glavnom namiruje iz fosilnih goriva (nafta - plin). Ovakva tehnologija energetski se vrlo nepovoljno odražava na bilancu sušenja. Potrošnja energije zavisi najviše od vlage zrna koje se suši. Ako se suši zrno s 25% vlage, troši se oko 315 kWh/t zrna (1130 MJ). Ako je vlaga veća i iznosi 30%, troši se 510 kWh/t (1840 MJ), a kod 40% vlage zrna čak 690 kWh/t (2500 MJ). To znači da se za prinos od 50 dt/ha zrna, samo za sušenje troši (30% vlažno zrno) 9200 MJ/ha (2576 kWh) ili 25% od ukupne potrošene energije, (Katić, 1985).

Razvoj sušara za zrno tijekom 80-ih godina bio je usmjeren u istraživanje smanjenja potrošnje energije. Najčešće su razvijane dvostupanjske sušare, dvoprolazne sušare i sušare

sa djelomičnom recirkulacijom fluida za sušenje. Efekti su bili pozitivni tako da je značajno isnižena potrošnja goriva u procesima sušenja zrna. Još uvijek je značajan broj sušara prve generacije koje rade na jednoprolaznom principu fluida za sušenje, a specifična potrošnja toplinske energije kod ovih sušara je oko 5 000 kJ/kg isparene vode, dok sezonska potrošnja se kreće od 5 500 i 7 000 kJ/kg isparene vode, što zavisi od tehnoloških i organizacijskih okolnosti. Kod energetske racionalnijih sušara druge generacije potrošnja energenta je manja za 15% do 20% (Babić, 2005).

Bill Wilcke, (2001) je ispitivanjem utvrdio kako uštedjeti energiju pri sušenju kukuruza kombinacijom niskih cijena kukuruza i visokih cijena goriva. Tipične sušare koristeći vrući zrak utroše zagrijavanjem s plinom 0,02 galona (galon = 3,785 l) propana za 35,24 l odstranjene vlage. Znači da se za svaki postotak vlage čije se odstranjivanje može izbjeći, može uštedjeti 0,02 galona propana za 35,24 l vlage iz kukuruza.

Ugrađivanje uređaja za miješanje može smanjiti troškove sušenja za 20-30%. Ovaj uređaj miješa zrno te omogućava pojačan protok zraka kroz masu, a rezultat je povećana brzina sušenja. Ovaj uređaj miješa zrna s dna koje je vlažnije sa zrnom iz gornjih dijelova i tako smanjuje mogućnost presušivanja. Pretjerano miješanje može dovesti do slijeganja sitnog zrna na dno što smanjuje protok zraka (Scott Sandorf, 2005).

Okomite sušare gravitacijskog tipa devedesetih godina izrađivale su tvornice "Cer"-Čačak, "Cevovod"-Maribor, "Pobeda"-Novi Sad, "Rade Končar"-Slavonska Požega i "Seting"-Delnice. Postojeća rješenja industrijskih sušara za zrna su tako izvedena da zahtijevaju oko 6,3 MJ toplinske energije za isparavanje jednog kilograma vode iz mase zrna. Ovo je rezultat dugogodišnjeg mjerenja većeg broja sušara. Većina sušara za zrna, kao gorivo, troše lako ulje za loženje, čija je donja toplinska vrijednost 42 000 kJ/kg. Ako je za isparavanje jednog kilograma vode iz mase zrna potrebno oko 6,3 MJ energije, onda jednostavna računica govori da je za to potrebno utrošiti oko 0,15 kg ili oko 0,185 litara loživog ulja (gustoća 0,9 kg/dm<sup>3</sup>), (Babić, i sur., 1985).

Ispitivanjem silos šaržne sušare početno stanje vlage zrna kukuruza je bilo 20,5% a krajnji sadržaj 13,68% s relativnom vlažnosti zraka od 70%. Specifična potrošnja energije po kilogramu isparene vode bila je 4 320,8 kJ/kg isparene vode. Daljnjim ispitivanjem kolonske sušare s početnim sadržajem vlage od 21,5% i krajnjim sadržaj 12,8%, specifična potrošnja toplinske energije po kilogramu isparene vode iznosila je 3 813,3 kJ/kg isparene vode. Vertikalna sušara za zrno s krovčićima imala je početnu vlagu zrna kukuruza 21,5% i reducirala je na 14,2%. Specifična potrošnja toplinske energije je iznosila 3 838,7 kJ/kg isparene vode. Uspoređivanjem ove tri sušare došlo se do zaključka da najmanju specifičnu

potrošnju toplinske energije po kilogramu isparene vode ima vertikalna sušara s krovićima, zatim kolonska sušara i na kraju silos šaržna. Može se zaključiti da utrošak energije pri sušenju zrna kukuruza, tj. energetska efikasnost sušara zavisi od tehničkih karakteristika sušara, temperaturnih režima sušenja, izoliranosti kanala sušare, vremenskih uvjeta za ispitivanje i vrste hibrida kukuruza, (Brkić, 2006).

Problem sušenja poljoprivrednih proizvoda sa ekonomskog stanovišta javio se prvi put 1973. godine. Tada je došlo do poskupljenja goriva i električne energije, te je postupak sušenja postao relativno skup u odnosu na druge postupke konzerviranja. Tvrtka "Pobeda" je na sušarama primjenjivala postupke: dvofazno sušenje, sušenje u dva tijeka, primjena sustava recirkulacije zraka za sušenje i sustav rekuperacije, primjenu sušenja i djelomično primjenu potpune automatske regulacije. Na osnovu ispitivanja došlo je do saznanja da je optimalno sušenje sa specifičnom potrošnjom topline  $q = 5.275$  (kJ/kg isparene vode) kod indirektnih sušara, a  $q = 4.520$  kJ/kg kod direktnih sušara (Radanović, Curković, Jocić, 1985).

Specifični utrošak toplinske energije je osnovni pokazatelj energetske racionalnosti sušare. Stvarna specifična potrošnja toplinske energije je posljedica niza faktora: organizacije rada, primijenjene tehnologije i tehničkih mogućnosti same sušare. Tehničkim unapređenjem konstrukcije sušare postiže se racionalizacija potrošnje energije, ali za maksimalne efekte štednje energije neophodno je voditi računa o organizaciji i tehnologiji. Specifična potrošnja toplinske energije pri radu sušare u opće prihvaćenim projektnim uvjetima, kod jednoprolaznih sušara je od 4 500 kJ/kg do 5 500 kJ/kg isparene vode. Kod sušara druge generacije ova vrijednost je od 4 000 kJ/kg do 4 500 kJ/kg isparene vode (Babić, 2003).

Golik, (1978), uspoređujući veći dio postojećih sušara za žitarice "Seting" u radu, utvrđuje da iste imaju visoku potrošnju toplinske energije (5 020 do 7 120 kJ/kg ili 1 200 do 1 700 kcal/kg isparene vode), a kao gorivo pretežno ili gotovo isključivo koristili su loživo ulje i zemni plin.

Rezultati ankete 1985. godine provedene u 38 radnih organizacija pokazuju kako su radile sušare koje su u 57 sušara osušile ukupno 1 393 444 tona zrna. Prikazane su količine i vlage za razne kulture koje su sušene. Specifična potrošnja energije za sušenje kukuruza iznosila je 1,56 kWh za kg isparene vode (0,13 kg nafte) dok je istovremeno najveća potrošnja iznosila 3,12 kWh a najmanja 0,83 kWh (Katić, 1986).

Zastarjeli tipovi i loše održavanje sušara dovodili su do vrlo velikih razlika kako u kvaliteti sušenja, tako i u količini potrošene energije za isparavanje vode iz zrna. Dok je prosječna

potrošnja bila kod sušenja kukuruza 5 616 kJ/kg isparene vode (1,56 kWh), neke sušare su trošile čak 11 232 kJ/kg (3,12 kWh), a druge (nove i sa ugrađenom recirkulacijom zraka) – trošile su samo 2 988 kJ/kg isparene vode (0,83 kWh), (Katić, 1987).

Smanjivanje potrošnje goriva i toplinske energije u sušarama je stalna briga korisnika i proizvođača sušara. Poboljšanja na sustavima sušenja tada su se svodila na recirkulaciju zraka u sušari i na dvostruki prolaz zraka kroz sušaru. Specifična potrošnja toplinske energije za isparavanje 1 kg vode iznosilo je:  $q = 3,028 \text{ MJ/kg (723 Kcal/kg)} = 0,841 \text{ kWh}$  (Krička, 1987).

S obzirom da je u procesu sušenja najznačajnija potrošnja toplinske energije, potrebno je naći načine da se ona smanji. Na raspolaganju su tri vrste mjera za smanjenje potrošnje toplinske energije. To su organizacijske, tehnološke i tehničke mjere. Prve dvije se ostvaruju bez posebnih rekonstrukcijskih zahvata. Tehničke mjere racionalizacije sušara, primjenjive su na starim, jednoprolaznim sušarama za zrno, (Babić, 2005).

Tijekom osamdesetih godina u eksploataciji je ispitano 14 sušara za žitarice i to prvenstveno na postignute kapacitete i na potrošnju energije za isparavanje vode iz zrna. Potrošnja energije za isparavanje vode iz zrna kretala se između 3.000 kJ/kg isparene vode (u dva ispitivanja) do 6.000 kJ/kg isparene vode (u jednom ispitivanju). U isto vrijeme je prosječna potrošnja energije svih ispitivanih sušara u sezoni sušenja 1986. godine iznosila 5.616 kJ/kg isparene vode. Ispitivane su sušare domaćih proizvođača. Vlaga zrna prije sušenja diktira, uz primijenjenu tehnologiju i tehniku, i količine goriva potrebne za sušenje 1 kg suhog zrna. Ova količina je 1984. godine iznosila 6,5 kg loživog ulja/kg suhog zrna; 1985. godine 3,5 kg loživog ulja/kg suhog zrna; a 1986. godine 3 kg mazuta (ili ulja za loženje) za kg suhog zrna (Katić, 1988).

Analiza sušenja kukuruza je provedena i na sušari "CEVOVOD" tip 144/III 1987. godini. Utrošak mazuta za kg isparene vode iznosio je: 0,103 kg, energija potrebna za kg isparene vode 4.140 kJ, a prosječna vlaga svježeg zrna iznosila je 37,135% (Kovač, 1988).

Smanjivanje potrebne energije za sušenje zrna je bio i ostao jedan od primarnih istraživačkih zadataka. Evidentno je da je devedesetih godina, prosječna potreba energije za isparavanje vode iz zrna sa 8.200 kJ/kg iz 1984. godine spala na 5.200 kJ/kg u 1987. godini (Katić, i sur. 1990).

Novi tip sušara "KONČAR-EKO" je gravitacijska sušara, a primjenjuje intermitirajući proces sušenja zrna gdje se vrši izuzimanje zrna, a proizvodnja toplog zraka za sušenje i ventilacija stupa sušare vođena je automatikom. Gornja zona sušenja je 160°C, a donja zona sušenja (80-120°C). Izbacivanje prašine je značajno ispod svih propisa 0,015 g/m<sup>3</sup>, a

specifična potrošnja toplinske energije bila je manja od 4 000 kJ/kg isparene vode (Prskalo, 1993).

Tvrtka "Stela" spadala je u vodeće proizvođače u Europi, a osnovana je 1929. godine u Bavarskoj. Proizvode dvije vrste sušara: poljoprivredne i industrijske sušare. Kod neposrednog zagrijavanja zraka plinovi izgaranja pomiješani sa svježim zrakom koriste se za sušenje. Ova metoda koristi se kod sušenja stočne hrane, a kod žitarica za prehrambenu industriju primjenjuje se posredno zagrijavanje (Kardum, 1994).

Prvo pokusno postrojenje silosa-sušare postavljeno je 1972. godine u Peterancu pored Koprivnice, engleske proizvodnje "SIMPLEX". 1973. godine sušen je kukuruz s početnom vlagom 36%. Temperatura zraka za sušenje bila je 5 do 8°C iznad temperature okoline. Za sušenje 18.165 kg vlažnog kukuruza sa 36% na 14% vlage trebalo je za sušenje utrošiti energenta loživog ulja 550 litara ulja. Iz zrna je ispareno 4.487 kg vode, to znači da je za 100 kg suhog zrna potrošeno 4 litre ulja za loženje, tj. 0,12 litara ulja (3,43 MJ) toplinske energije (Katić, 1996).

Prosječno za sušenje kod nas moramo računati s većom količinom vode koju moramo ispariti jer kukuruz sušimo sa 32% - 14% vlage. Tada za 100 kg suhog kukuruza treba ispariti 26,5 kg vode. Velike sušare troše između 4.000 (nove) i 7.500 (stare) kJ/kg isparene vode, a to je od  $q = 4.000 \times 26,5 = 105.880$  kJ ili 2,65 kg TNP ili 3,31 kg lož ulja do  $q = 7.500 \times 26,5 = 198.750$  kJ ili 14,97 TNP ili 6,21 kg lož ulja, (Katić, 1998).

Vlažnost zrna prije sušenja uvjetuje, uz tehnologiju i tehniku sušenja, i količinu goriva potrebu za sušenje i obračuna na bazi 100 kg suhog zrna. Praćenjem potrošnje goriva u tri različite godine prije 1990. potrošnja je iznosila 6,5 kg; 3,5 kg i 3 kg ulja za loženje za sušenje 100 kg suhog zrna. Može se slobodno tvrditi da se i danas kreće u tim granicama. Rezultati pokusa BC hibrida 1998., odabir sušare i tehnologije sušenja i uz optimalno vrijeme berbe, moguće je 100 kg kukuruznog zrna osušiti s 1,5-2 kg ulja za loženje (Katić, 1999).

Jedan od načina smanjivanja troška sušenja je izbjegavanje presušivanja. Kukuruz se može sigurno uskladištiti pri stupnju vlage od 14-15% za period od 6-9 mjeseci. Ako je zrno presušeno postoji manja količina za prodaju te je podložno pucanju i lomljenju. Uz veću potrošnju energije presušivanje smanjuje i kapacitet sušenja (Scott Sandorf, 2005).

Oblikovanje limova i profila je faktor koji utječe na korozijsku postojanost sušare te upotrebom nehrđajućeg čelika za izradu dijelova zbog vlažnog zrna koji dospijeva u nju, daje prednost ugradnje tih materijala u sušaru. Ispitivanje mehaničkih osobina otpornosti na koroziju ukazuje na prednost ovog materijala te korozijska zaštita sječenih dijelova

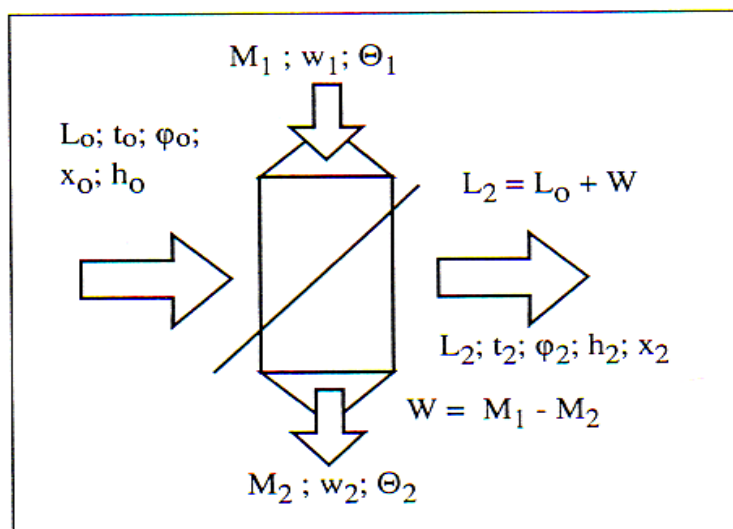


može se poboljšati plastificiranjem raznih vrsta što nam daje sigurnost u duži vijek iskorištenja sušare, (Howard, 1996).

## 2.5. Proračun rada sušara

Proračun rada protočnih sušara je podijeljen na obračun mase i obračun energije. Masa i energija koje ulaze u sušaru, moraju biti jednake i na izlazu iz sušare. Iz ovih stavki možemo napraviti proračun sušenja, potreban za poznavanje rada sušare. Proračun radimo za jedinicu vremena, najbolje jedan sat. Prema slici 2., vidimo da u sušaru ulazi:

- $M_1$  = masa zrna s vlagom  $w_1$  i temperaturom  $\Theta_1$
- $L_0$  = masa zraka s temperaturom  $t_0$ , i relativnom vlagom  $\varphi_0$ .



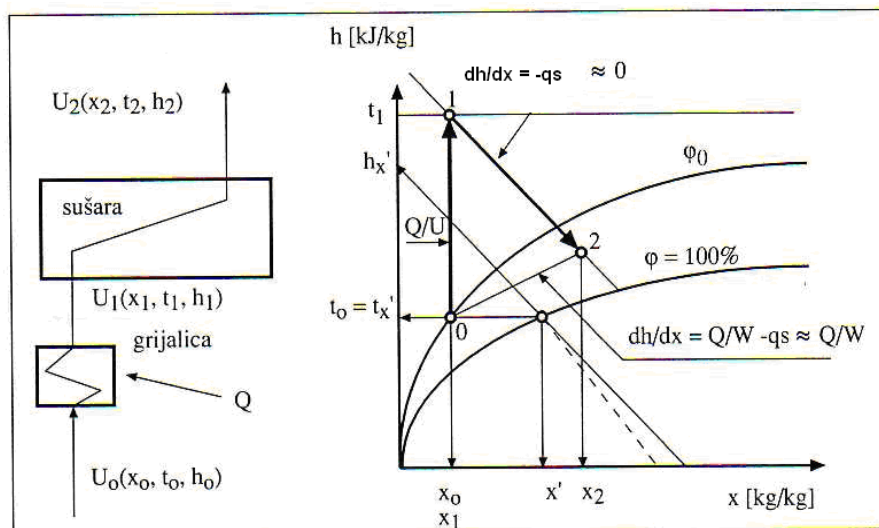
Slika 2. Obračun mase i energije

Zrno i zrak donose i toplinsku energiju koja se očituje temperaturom zrna i zraka. Sušenjem se iz zrna isparava voda koja je istovjetna razlici mase zrna na ulazu i izlazu iz sušare:  $M_1 - M_2 = W$ . Vodu iz sušare odnosi zrak koji je povećao svoju masu za isparenu vodu:  $L_2 = L_0 + W$ .

Kod neposredne sušare, cjelokupna energija goriva unosi se u sušaru putem ugrijanog zraka. Posredno grijana sušara ima izmjenjivač topline u kojemu se toplina goriva prenosi na zrak preko vrućih stijena izmjenjivača, bez neposrednog dodira zraka i plinova izgaranja goriva (Brkić, 1987).

U procesu sušenja trebamo razlikovati dvije pojave, jedna je ishlapljivanje na površini zrna čime se suši površinski sloj, a druga je da se time stvaraju razlike u vlažnosti zrna i izazivaju prijenos vode iz sredine zrna prema njegovoj površini.

Početno stanje i promjene stanja zraka tijekom procesa sušenja moguće je pratiti u h-x dijagramu, slika 3. Sušari se dovodi zrak stanja  $U_0$ . To stanje je određeno parametrima  $x_0$  i  $h_0$  (početna stanja u dijagramu, početak sušenja). U gorioniku se zrak grije dovodenjem topline na temperaturu  $t_1$ . Grijanjem zraka ne mijenja se količina vodene pare u zraku, što znači da je prilikom grijanja zraka donošena samo toplinska energija. Ovakvo grijanje nazivamo "neposredno grijanje". Stanje zraka je na ulazu u sušaru  $U_1$ . Kako se u sušaru ne dovodi izvana toplina, a pretpostavlja se da se ista i ne odvodi (zamišljena idealno izolirana sušara), promjena stanja zraka teče od točke 1. u smjeru 2., tako da točke 1. i 2. leže na liniji iste entalpije, tj.  $h_1 = h_2 = \text{konst.}$  (adijabatska promjena stanja). Sveukupna potreba topline, uključujući i onu u predgrijaču zraka, slijedi iz polaznog i konačnog stanja zraka  $O$  i  $2.$ , a bez obzira na međustanja. To znači da je spojnica početka sušenja, tj. točke  $O$  i kraja sušenja, točka  $2.$ , zapravo konačni pravac procesa sušenja. Nagib ove spojnice je ujedno i mjerilo potrebne topline za isparavanje vode iz zrna, slika 3. (Katić, 1997.).



Slika 3. h-x dijagram (Katić, 1997.)

Radi utvrđivanja troškova sušenja u sušari, potrebno je prilikom sušenja voditi točne podatke o glavnim parametrima sušenja. Treba znati količinu sirovog ili osušenog zrna koji je prošao kroz sušaru, zatim vlagu proizvoda na ulazu i na izlazu iz sušare i potrošnju goriva. Utvrđivanje količine osušenog zrna koji je prošao kroz sušaru obavlja se vaganjem. Ako sušara ne posjeduje vagu za vaganje suhog zrna, potrebno je vagati zrno na ulazu u

sušaru, tj. potrebno je utvrditi koliko je vlažnog zrna ušlo u sušaru. Ovo se vaganje najčešće obavlja prilikom primanja zrna, tako da se vozilo koje dovozi zrno izvaže zajedno s zrnom na tzv. kolskoj vagi. Ova se odvaga naziva bruto-odvaga i za utvrđivanje stvarne mase zaprimljenog zrna treba poznavati masu vozila, koja se treba odbiti od ukupno izvagane mase (slika 4).



Slika 4. Kolsna vaga (<https://vage-lukavecki.hr/>)

Ako se zrno dovozi u sušaru više puta istim vozilom, nije potrebno svaki puta vagati prazno vozilo radi utvrđivanja njegove tara-mase, već se ova može kontrolirati samo jednom dnevno i odbijati svaki puta prilikom vaganja bruto mase kod obračuna primljenih količina zrna na sušenje. Prilikom zaprimanja sirove robe treba iz svakog vozila koje je robu dovezlo uzeti prosječan uzorak radi utvrđivanja vlage. Prosječni uzorak se radi savjesno i prema propisima standarda (slika 5).



Slika 5. Izuzimač uzoraka (<http://www.santimdoo.rs/sonde/007.jpg>)

Vlaga se može utvrditi električnim vlagomjerom (slika 6). Koliko god laboratorijsko utvrđivanje vlage daje pouzdaniju vrijednost, mjerenje vlage električnim vlagomjerom za veći broj uzoraka iz istog vozila daje često bolji prosječan rezultat od jednog laboratorijskog mjerenja, (Katić, 1997).



Slika 6. Električni vlagomjer (<http://www.dickey-john.com/product/gac-2100-agri/>)

### **3. MATERIJAL I METODE**

#### **3.1. Sušara Seting Delnice, Stabil 3000**

Sušara "Stabil 3000", u kojoj se može sušiti po potrebi jednofazno ili dvofazno, izrađena je u poduzeću "SETTING" u Delnicama. Sušara ima tri zone za različite temperature zraka kojim se suši. Jedan dio zraka se može ponovno vratiti u sušaru i ugrijati. Tako se koristi toplina koju iz sušare iznosi zrak koji je prošao kroz hladnjak i donje dijelove sušare. Ovakva sušara ima potrošnju energije od 4000 kJ/kg za kilogram isparene vode i time dostiže današnje mogućnosti u tehnologiji sušenja. Čišćenje otpadnog zraka obavlja se ciklonskim odvajačima.

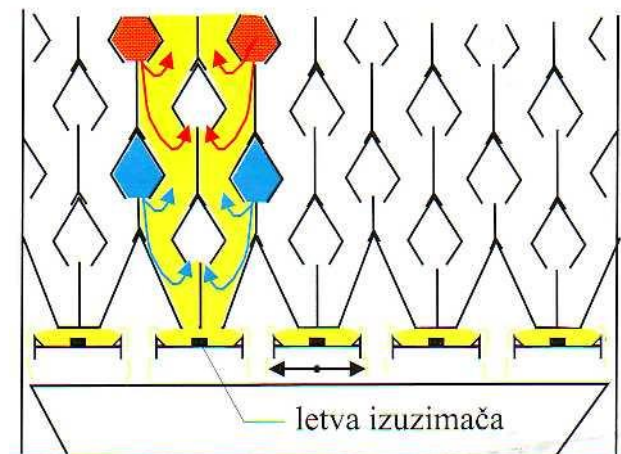
##### **3.1.1. Osnovne tehničke karakteristike sušare**

Sušara "Stabil 3000" izrađena je u stabilnoj izvedbi, utemeljena na jedinstvenim betonskim temeljima. Toranj sušare zasnovan na tipskim elementima (zbog serijske proizvodnje) sastoji se iz nosive čelične rešetke s ispunama od pocinčanog lima, kvalitetno izoliran i obložen aluminijskim limom, te radionički okrupnjen do maksimalnih transportnih gabarita. Sa svojim postoljem, toranj je utemeljen na jednostavnim temeljima nekoliko centimetara iznad terena. Toranj sušare sastoji se iz nosive čelične rešetkaste konstrukcije tako proračunate da odolijeva vjetru. Čelična konstrukcija je kvalitetno obrađena u skladu s " Tehničkim propisima o nosivim čeličnim konstrukcijama".

Čelična konstrukcija očišćena je i premazana specijalnim antikorozivnim premazom otpornim na kiseline i temperaturno postojanim do 150°C. Antikorozivna zaštita kompletne čelične konstrukcije izvedena je u skladu s "Tehničkim propisima o antikorozivnoj zaštiti čeličnih konstrukcija". Toranj sušare je kvalitetno izoliran slojem mineralne ili staklene vune koja je sa vanjske strane obložena aluminijskom oblogom, a sa unutrašnje strane pocinčanim limom. Toranj je smješten na vrhu sušare i to je rezervoar vlažnog zrna sušare. Vijčani spoj omogućuje njegovu jednostavnu montažu i demontažu. Opskrbljen je ulaznim revizionim oknom, ulaznim otvorom za spoj transportera za punjenje, te davačem nivoa koji upravlja radom transportera za punjenje sušare. Toranj sušare tijekom rada sušare mora biti pun.

Jednoliko sušenje robe i dobru raspodjelu zraka u tornju sušare osiguravaju posebno konstruirani krovčići s vodilicama zrna koji su izrađeni od alu-cink lima. Krovčići su

postavljeni u toranj sušare u paralelnim nizovima iznad kojih se nalaze limovi za usmjeravanje zrna. Na taj način zrno putuje samo po jednoj vertikali, čime se izbjegava miješanje zrna. Krovići su posebne konstrukcijske izvedbe, tako da je moguća njihova zamjena bez demontaže tornja sušare. Pričvršćenje krovića i vodećih limova izvedeno je pomoću pocinčanih zakovica. Vodeći limovi usmjeravaju zrno i prisiljavaju ga da "teče" uvijek po istoj vertikali. Ovim načinom kretanja zrna izbjegava se zastoje zrna i "lutanje" zrna u horizontalnom smjeru po sušari. Time je svako zrno prisiljeno kretati se vertikalno i vrijeme zadržavanja zrna u sušari je za sva zrna približno jednako. Rezultat ovakvog načina kretanja zrna po tornju sušare je jednoliko osušeno zrno u svim dijelovima po presjeku tornja sušare, što je posebno važno za sjemensku robu koja bi se u slučaju dužeg zadržavanja u tornju pregrijala čime bi joj se smanjila kvaliteta - klijavost.



Slika 7. Shema rada izuzimača zrna ([https://updoc.site/download/susare-stabil-setting-inenjering-doo-delnice\\_pdf](https://updoc.site/download/susare-stabil-setting-inenjering-doo-delnice_pdf))

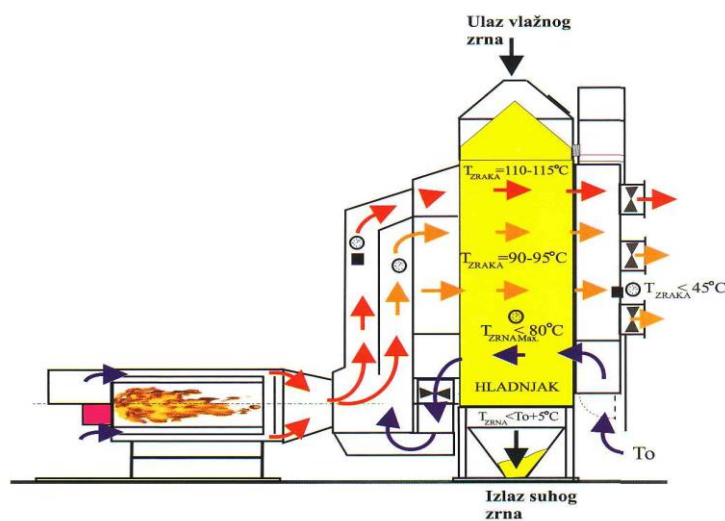
Izuzimanje zrna iz tornja sušare obavlja se prinudnim istiskivanjem pomoću letvastog izuzimača. Princip rada osigurava jednoliko izuzimanje po širini sušare, tako da nema "mrtvih" zona. Ukoliko neki krupniji komad uđe u izuzimač neće prouzročiti zastoje, već će biti prisilno izguran ili će blokirati rad izuzimača, što će registrirati signalni uređaj na komandnoj ploči sušare. Regulacija kapaciteta protoka robe kroz sušaru obavlja se podešavanjem vremenskih releja koji upravljaju zastojem i radom izuzimača, što omogućava veliku fleksibilnost regulacije izuzimača. Izuzimač je tvornički podešen tako da naknadno podešavanje nije moguće, čime se onemogućuje eventualno nestručno podešavanje. Princip rada izuzimača osigurava jednoliko izuzimanje zrna po presjeku

sušare, tako da nema "mrtvih" zona. Ulaskom u izuzimač stranog tijela, prouzročiti će zastoj toka zrna, ili će blokirati rad izuzimača. Izuzimač je pogonjen elektromotornim pogonom snage 0,55 kW.

Kod kontinuiranog rada sušare zrno kontinuirano "teče" kroz toranj sušare, što znači da konstantno radi punjenje sušare. U zoni grijanja - topli zrak koji se zagrijava na plamenoj cijevi, kroz energetske kanal, ulazni kanal zraka te sloj zrna "vuče" aksijalni ventilator.

Toranj sušare je po visini podijeljen (ovisno o kapacitetu sušare) na dvije ili tri zone sušenja i zonu hlađenja zrna. U svakoj zoni moguće je podešavanje temperature nositelju topline, čime se štedi energija i štiti zrno od pretjeranog tretmana u nižim zonama sušenja, uz primjenu recirkulacije zraka. Garantirani utrošak toplinske energije u neposrednom radu pri sušenju kukuruza je 4 000 kJ (956 kcal) po kg isparene vode.

Na slici 8. prikazan je shematski rad sušare pri neposrednom izgaranju goriva koji se miješa sa zrakom u ložištu, te temperaturama smjese goriva i zraka u određenim zonama sušenja. Dovođenjem svježeg zraka iz okoline obavlja se hlađenje zrna prije izlaska iz sušare.



Slika 8. Shema prolaza topline kroz sušaru ([https://updoc.site/download/susare-stabil-seting-inenjering-doo-delnice\\_pdf](https://updoc.site/download/susare-stabil-seting-inenjering-doo-delnice_pdf))

### 3.1.2. Tehnički opis rada sušare

Kompletna linija za prijem zrna samostalna je radna cjelina koja se veže uz kolsku vagu na ulazu zrna u gospodarsko dvorište kupca. Prijam zrna obavlja se na usipnom košu radne dužine 18 m i širine 2,35m. Koš je pokriven rešetkom, otvora oka 40x40 mm, izrađenom

od čeličnih traka. Polovica rešetke je nagazna dok je druga polovica obična rešetka. Po sredini koša postavljen je odbojnik kako vozila ne bi mogla prijeći na stranu rešetke koja nije nagazna. Na košu se obavlja istovar suhe i vlažne robe. Rešetka služi za istovar uz odstranjivanje većih nečistoća koje se nalaze u robi. Nečistoće se jednom dnevno uklanjaju sa rešetke ručno u kontejner za krupni otpad. Na dnu koša nalazi se lančani transporter aktivne dužine 21 m, kapaciteta 35 t/h, u pocinčanoj izvedbi. Lančani transporter ima iznad sebe rasteretni krovčić i služi za horizontalni transport zrna. Lančanim transporterom zrno se transportira prema elevatoru. Ovisno o vrsti i vlazi zrna ono se transportira: suho zrno preko pročištača ili neposredno u silose ako je pročišćeno i vlažno zrno na pročištač u sušaru.

U liniji za prijem zrna je ugrađen poseban objekt u koji su smješteni pročištač zrna gdje se obavlja čišćenje zrna i to vibracijskim pročištačem sa sitima i aspiracijskom komorom kapaciteta 30 t/h. Zrno se prema tehnološkoj shemi može čistiti u prijemu i u otpremi što ovisi o odluci tehnologa, odnosno o kvaliteti zrna koje se prima i količini primjesa u zrnu. Nečistoće se nakon grubog čišćenja sakupljaju u vreće u kućici pročištača te deponiraju na deponij krupnog otpada, dok se fine nečistoće nakon izlaznog čišćenja (u kojima ima loma zrna i prašine nastale brušenjem zrna u transportu) koriste za krmnu smjesu. Nečistoće iz čišćenja pogotovo pri čišćenju suhog kukuruza mogu se koristiti za proizvodnju krmiva. Prostor za sakupljanje nečistoća je zatvoren i time se sprečava raznošenje nečistoća po okolini.

Zrno koje je vlažno, transportira se iz usipnog koša prema sušari pomoću lančastog elevatora. Sušara je namijenjena za sušenje zrna različitih poljoprivrednih proizvoda, sjemenskih ili merkantilnih (pšenica, kukuruza, ječam, soja, uljena repica, suncokret, grašak, grah, riža, i sl.). Nazivni kapacitet dimenzioniran je na bazi zrna kukuruza ulazne vlažnosti  $w_1 = 32\%$  i izlazne vlažnosti  $w_2 = 14\%$ . Tip sušare "STABIL 3000"  $w_{32/14\%}$  ima nazivni kapacitet  $Q = 3000$  kg/h kukuruza. Kapacitet sušenja ostalih kultura razlikuje se u odnosu na specifičnost materijala, kao i redukciju vlage koju treba obavljati. Posebna karakteristika sušare je podjela tornja sušare po visini u dvije temperaturne zone, te recirkulacija zraka iz zone hlađenja u energetski kanal sušare radi uštede energije. U hladnjaku zrno se hladi pomoću hladnog zraka iz okoline. Pri takvom radu sušare zrno se konstantno izuzima pomoću letvastog izuzimača, određenom brzinom koja ovisi o specifičnosti materijala (brzini sušenja) i redukciji vlage koju treba obaviti.

Regulacija kapaciteta protoka robe kroz sušaru obavlja se podešavanjem vremenskih releja koji upravljaju zastojem "PAUZOM" i "RADOM" elektromotora izuzimača. Ovakva



regulacija omogućava veliku fleksibilnost regulacije kapaciteta izuzimanja. Izuzimač u svakom prolazu izuzima konstantno istu količinu zrna koja se vrlo jednostavno može izmjeriti vaganjem. U prvoj zoni sušenja temperature se podešavaju na plameniku i na klapni smještenoj na dnu energetskog tornja. Tijekom daljnjeg rada sušare položaj klapne se ne mijenja do promjene kulture koju treba sušiti. U prvoj zoni sušenja temperature su više nego u drugoj zoni jer se u toj zoni suši površinska vlaga zrna. U drugoj zoni sušenja gdje u zrnju reduciramo kapilarnu vlagu zrna (čija je redukcija mnogo teža i ovisi o hibridu) zrnju sušimo nižim temperaturama. Ovakvim načinom sušenja, čuvamo zrnju od prejakog temperaturnog tretmana, a ujedno je jedan od načina štednje energije.

Kada se radi o energetici, sušara ima ugrađeni direktni generator topline sa dvostupanjskim plamenikom na plin snage 730 kW. Generator topline je direktan, odnosno dimni plinovi izgaranja se miješaju sa zagrijanim zrakom. Plamena cijev generatora topline izrađena je od vatrootpornog čelika. Generator je izvana izoliran i obložen Al - limom.

Ventilacijski sustav sušare sastoji se iz:

- a) Aksijalnog ventilatora zone sušenja snage motora 11 kW, i aksijalnog ventilatora sa motorom od 2,2 kW.
- b) Energetskog tornja u kojem se obavlja miješanje i temperaturna homogenizacija nositelja topline, te razdioba nositelja topline po zonama sušenja. Energetski toranj postavljen je paralelno s tornjem sušare i vezan je na ulazne kanale toplog zraka sušare. Izrađen je iz čeličnih profila kao nosive konstrukcije, iznutra je obložen alu-cinkom, a izvana aluminijskim limom. Između limova nalazi se sloj izolacijskog materijala.
- c) Ulaznog kanala zraka koji su vijčanom vezom vezani za toranj sušare i energetski kanal. Izrađeni su od čeličnih profila kao nosive konstrukcije, iznutra su obloženi alu-cinkom, a izvana aluminijskim limom, između limova nalazi se sloj izolacijskog materijala. Njihova osnovna funkcija je pravilno vođenje zraka do ulaznih krovica u tornju sušare.
- d) Izlaznog kanala zraka koji je izrađen od čeličnih profila kao nosive konstrukcije, iznutra je obložen alu-cinkom, a izvana aluminijskim limom. Između limova nalazi se sloj izolacijskog materijala.

Suho zrnju se pomoću lančanih transporterata i elevatorata transportira u ćelije koje su promjera 19,18 m, ukupne visine 11,68 m, volumena 651 m<sup>3</sup> i kapaciteta 508 t. Ćelije se sastoje od kontrolnog otvora na krovu, dvojih ulaznih vrata na plaštu, kanalnih sustava podne ventilacije i perforiranih poklopaca betonskih ventilacijskih kanala. Ćelije su izvedene

s ravnim betonskim dnom u kojem su betonirani ventilacijski kanali koji služe za provjetravanje ćelije, što daje mogućnosti da se može suho zrno skladištiti kvalitetno. Ventilacijski kanali pokrivaju se perforiranim podnicama s perforacijom koja omogućava kvalitetnu ventilaciju, a sprečava upadanje zrna u kanale. Način i vrijeme kada se ćelija treba ventilirati daju se u uputama za ventilaciju ćelije.

### **3.2. Metoda istraživanja**

Istraživanje je provedeno na sušari "Seting" Delnice "STABIL 3000" u tvrtci Kutjevo d.d. radna jedinica silos Požega. Ista koristi zemni plin kao energent za zagrijavanje medija sušenja. Za izračun kapaciteta rada sušare te energetske potrošnje potrebno je obaviti slijedeća mjerenja: vlage i temperature zrna na ulazu u sušaru, vlage i temperature zrna na izlazu iz sušare, količine protoka zraka kroz sušaru u jedinici vremena, količinske potrošnje energenta, temperature i relativne vlage zraka prije plamenika i na ulazu u zonu sušenja, temperature i relativne vlage zraka na izlasku iz zone sušenja. Nakon dobivenih mjernih veličina utvrđene su pomoću Mollier-ovog "h-x" dijagrama promjene stanja zraka tijekom procesa sušenja i potrebna toplina za isparavanje vode iz zrna.

Ukupna količina kukuruza koja dođe na sušenje, evidentirala se prilikom vaganja na kolnoj vagi. Uzimanjem uzoraka iz svake prikolice utvrđivalo se stanje vlažnosti kukuruza pomoću elektronskog vlagomjera. Osušeni kukuruz iz sušare ide na letvasti izuzimač gdje se jedan ciklus računa pet pokreta letve izuzimača s jednog kraja na drugi. Kroz otvor za kontrolu, uzima se uzorak kukuruza sa izrađenim lijevkom kojim se izuzima osušeni kukuruz po ciklusima te vaganjem uzorka dobije se količina osušenog kukuruza.

Vaganjem osušenog kukuruza iz sušare, te izračunom rada izuzimača i vremenu protoka zrna dobit će se masa kukuruza u jedinici vremena (t/h). Mjerenje količine protoka zraka utvrđuje se anemometrom kod aksijalnog ventilatora više puta radi utvrđivanja točne vrijednosti količine protoka zraka na izlazu iz sušare.

#### 4. REZULTATI I RASPRAVA

U tablici 2. proračunski utvrđene srednje vrijednosti količine protoka zraka od 37.976 kgzraka/h koje proizvodi aksijalni ventilator na radnoj jedinici Požega utvrđena je srednja vrijednost količine protoka zraka, izmjerena anemometrom ukazuje na dobru podešenost i približnu vrijednost rada ventilatora u odnosu na predviđenu od strane proizvođača 37.800 kgzraka/h, (Zanoškar, 1998.) što utječe na sigurno odvođenje vode iz zone sušenja.

Tablica 2. Količina protoka zraka u radnoj jedinici Požega.

BROJ ZORAKA	KOLIČINA ZRAKA(kg/h) prosjek:
5	37 976

Na osnovu provedenog istraživanja rezultata, dana 30. listopada 2017. godine napravljen je proračun rada sušare "SETTING" Stabil 3000. Temperature su mjerene pomoću termometara koji su postavljeni na sušari u određenim zonama sušenja. Tijekom mjerenja temperatura okoline iznosila je 20°C, a relativna vlaga iznosila je 57 %. Vlažnost zrna kukuruza na ulazu u sušaru iznosila je  $w_1 = 30$  % uz temperaturu zrna od 23°C, a nakon sušenja prije zone hlađenja vlaga zrna  $w_3 = 12,3$  % i temperatura  $\theta_3 = 44$ °C. Prolaskom zrna kroz zonu hlađenja vlažnost zrna je 13,3% a temperatura zrna pala je na 35°C.

Sezona sušenja na radnoj jedinici Požega počela je dana 25. listopada 2017. godine, a završila 1. prosinca 2017. godine. Zaprimanjem zrna u sušaru, vaganjem na kolskoj vagi, te uzimanjem uzoraka vlažnog kukuruza na ulasku, i suhog kukuruza na izlasku iz sušare (što je prikazano u tablici 3), svaki uzorak je izvagan, te izmjerena količina vlage na ulazu i izlazu iz sušare i utvrđena količina isparene vode. U sezoni sušenja utvrđena je količina 310.895,68kg isparene vode od ukupne količine 3 468 950 kg zaprimljenog vlažnog kukuruza. Prosječna vlaga na ulazu u sušaru iznosila je 25,04 %, a na izlazu iz sušare prosječna vlaga iznosila je 13,12 %. Evidentiranjem stanja brojila prije početka sušenja i očitanjem nakon sušenja, utvrđeno je stanje od 38.857 m<sup>3</sup>. Priključak plina je obavljen samo za sušaru te očitanjem plinskog brojila se dobije točna količina utrošenog zemnog plina.

zrak

zrno

gorivo: zemni plin

$t_o = 20^\circ\text{C}$  temp. okoline     $\theta_u = 23^\circ\text{C}$

$\varphi_o = 57\%$  rel. Vlažnost     $w_1 = 30\%$

$t_1 = 118^\circ\text{C}$      $w_3 = 12,3\%$

$L_o = 57.278\text{ kg/h}$      $\theta_R = 44^\circ\text{C}$

$t_2 = 40^\circ\text{C}$      $\theta_i = 35^\circ\text{C}$

$\varphi_2 = 87\%$  rel. vlaž. zraka

Simboli:

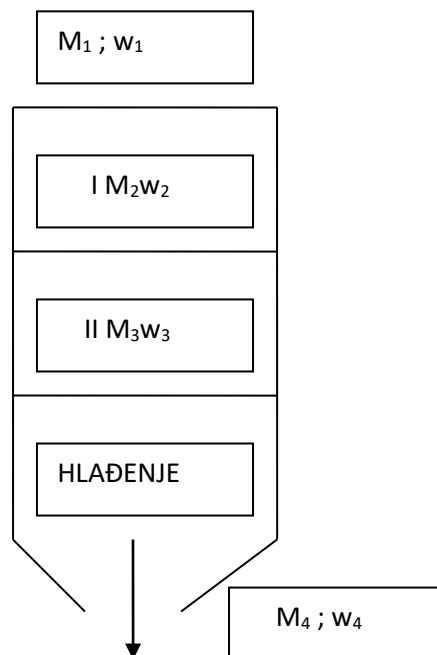
t    temperatura zraka

$\varphi$     relativna vlaga

L    količina zraka

$\theta$     temperatura zraka

$H_d$     donja ogrijevna vrijednost



Plin     $H_d = 35.795\text{ kJ/m}^3$

Razlika temperature zraka za sušenje :

$$\Delta t = t_1 - t_0 = 118^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 98^\circ\text{C}$$

Razlika entalpija za sušiti zrak (sušiti zrak = smjesa plinova bez vodene pare) :

$$\Delta h = C_p \cdot \Delta t = 1 \cdot (118 - 20) = 98 \text{ kJ/kg}$$

Okolina :

$$t_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$\varphi = 57\%$$

a) sadržaj vode u zraku

$$x_0 = 8,20 \text{ g/kg} = 0,0082 \text{ kg/kg}$$

a) entalpija zraka

$$h_0 = t_0 + X_0 \cdot (2.500 + 1,93 \cdot t_0)$$

$$h_0 = 20 + 0,0082 \cdot (2.500 + 1,93 \cdot 20)$$

$$h_0 = 40,8165 \text{ kJ/kg}$$

$$h = h_{SZ} + X_d h_d$$

$$h = C_{pz} \cdot t_0 + X_0 \cdot (C_{pd} \cdot t_0 + r_0)$$

$$r_0 = 2.500 \text{ kJ/kg}$$

$$C_{pd} = 1,93 \text{ kJ/kg}$$

b) gustoća zraka

$$\zeta_0 = \frac{1}{V_{okol}}$$

$$V = \frac{V_o}{273,15} \cdot T = \frac{0,773}{273,15} \cdot 280,15 = 0,7928 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\zeta = \frac{1}{0,7928} = 1,261 \text{ kg/m}^3$$

Količina suštog zraka

$$Z = L / (1 + x_{iz}) = 37976 / (1 + 0,030) = 36869 \text{ kg/h}$$

$$Q_g = Z \cdot \Delta h = 36.869 \cdot 98 = 3.613 \text{ 162 kJ/h}$$

$$G = Q_g / H_d = 100,94 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$G_{\text{gor}} = 0,59 \text{ kg/m}^3 \cdot 100,94 = 59,55 \text{ kg/h}$$

Količina vode iz goriva

Metan	CH <sub>4</sub>	87,82%	x	2,00	1,7564
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	05,42%	x	3,00	0,1626
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	02,94%	x	4,00	0,1176
Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	01,52%	x	5,00	0,076
1m <sup>3</sup> plina				Σ	2,11 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O

$$\varphi_{\text{H}_2\text{O}} = 0,8504 \text{ kg/m}^3$$

$$W_g = G_g \cdot w_g = 100,94 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 2,11 \text{ m}^3_{\text{H}_2\text{O}}/\text{m}^3_{\text{plina}} = 212,98 \text{ m}^3_{\text{H}_2\text{O}}/\text{h}$$

$$X_g = 212,98 / 36869 = 5,7 \text{ g/kg}$$

Mollier-ov h-x dijagram:

TOČKA "0"

$$h_o = 40,81 \text{ kJ/kg}$$

$$t_o = 20^\circ\text{C}$$

$$x_o = 8,2 \text{ g/kg}$$

TOČKA "1"

$$\text{-direktna sušara } t_1 = 118^\circ\text{C} \quad ; \quad x'_1 = x_1 + x_g = 8,2 + 5,7$$

$$x_1 = 13,9 \text{ g/kg}$$

$$h'_1 = 1,005 \cdot 118 + 0,0139 \cdot (1,93 \cdot 118 + 2.500)$$

$$h'_1 = 155,92 \text{ kJ/kg}$$

TOČKA "2"

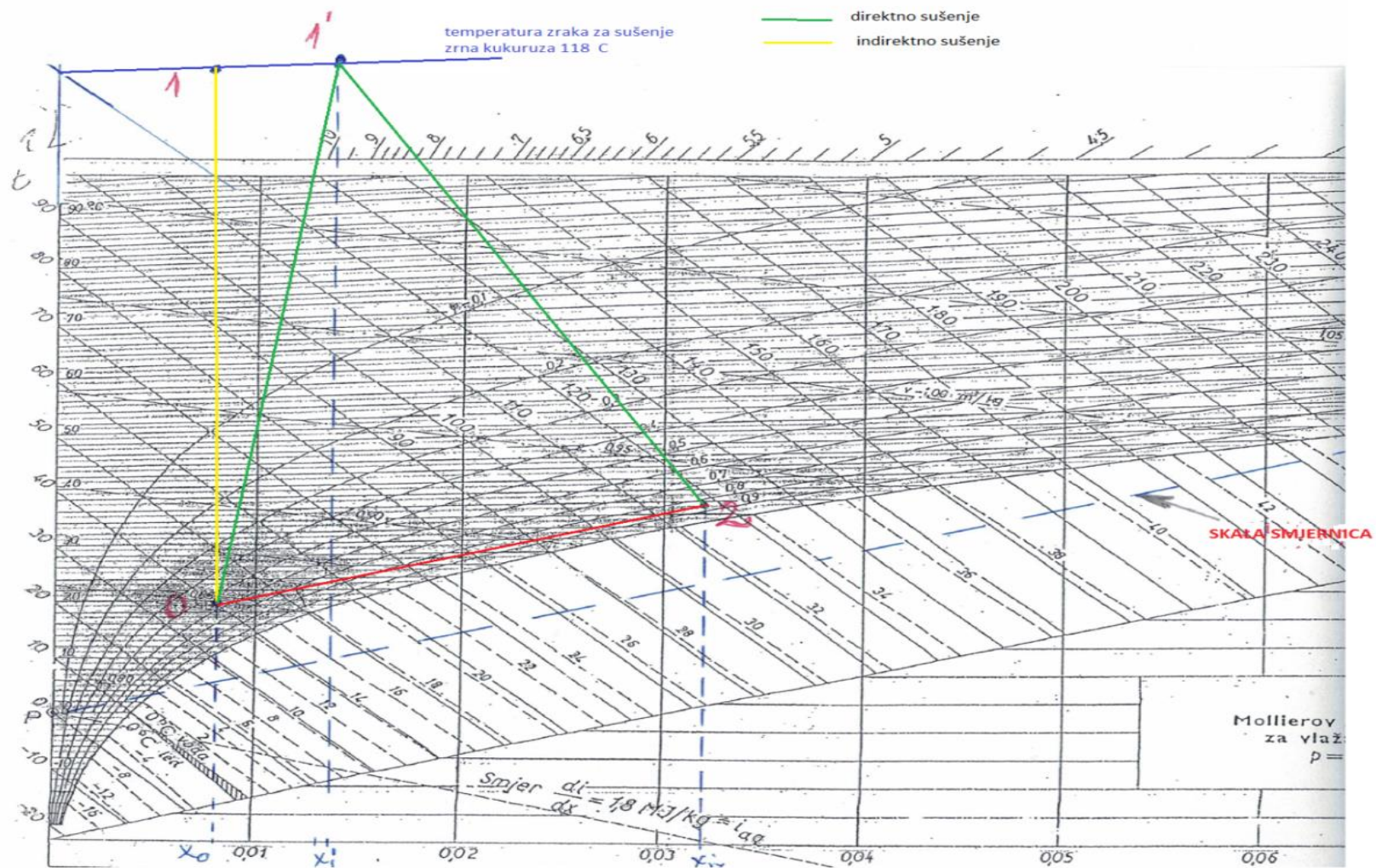
$$t_2 = 35^\circ\text{C}$$

$$\varphi_2 = 87\%$$

$$x_2 = 32,1 \text{ g/kg}$$

Skala smjernica:

$$q_{hi} = 3240 \text{ kJ/kg}_{\text{ispr. vode}}$$



Slika 9. h-x dijagram za sušaru s indirektnim zagrijavanjem zraka za sušenje



Tablica 3. Parametri sušenja u sušari Kutjevo d.d. r.j. Požega u sezoni 2017./18

ULAZNA KOLIČINA KUKURUZA ( kg )	ULAZNAVLAGA ( % )	IZLAZNA VLAGA ( % )	UKUPNA KOLIČINA ZEMNOG PLINA (m <sup>3</sup> )	KOLIČINA ISPARENE VODE (kg)
Σ 3 468 950	$\bar{x}$ 25,04	$\bar{x}$ 13.12	Σ 38 857	Σ 310 895,68

Uspoređivanjem specifične potrošnje goriva u sezoni sušenja ( $\varphi_{\text{gor}} = 4473,813 \text{kJ/kg}_{\text{isp.vode}}$ ) i navoda iz literature dolazi se do zaključka da je sušara dobro podešena od strane servisera plinskog plamenika, a proces sušenja stručno vođen od strane djelatnika kao što dokazuje (Krička, 1988.), (Katić, i sur., 1990.). Na osnovu do sada u literaturi navedenih vrijednosti (po Katiću 1988.) potrošnje energije za isparavanje vode iz zrna kukuruza, došlo se do vrlo dobrih rezultata dobivenih ispitivanjem na sušarama "Seting" Stabil 3000.

## 5. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih istraživanja sušenjem zrna kukuruza u sezoni 2017./18 u sušari Kutjevo d.d. radna jedinica Požega mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Sušara koristi kao energent zemni plin, uz pomoć h-x dijagrama dobivena je energetska potrošnja 3240 kJ/kg isparene vode, iz čega se zaključuje da je ispitivanjem toga dana sušara bila dobro podešena i potrošnja je bila manja od sezonske jer je da dan ispitivanja okolna temperatura bila 20<sup>0</sup> C.
2. Energetska potrošnja u sezoni 2017./18. godine na sušari iznosila je 4473,813kJ/kg isparene vode, što pokazuje da je sušara dobro podešena.
3. Za održavanje standardne kvalitete sjemenki,njegovo dugotrajno čuvanje,te ekonomičan utrošak energije potrebno je:
  - znati namjenu i vrijeme njihovog skladištenja,
  - kvalitetno predčišćenje zrna,
  - kvalitetno sušenje zrna s povećanom vlagom koja se može smanjiti u daljnjim postupcima,
  - kvalitetno fino čišćenje ukupne mase zrna,
  - povezivanje transporterima svih funkcijskih elemenata,
  - kompjutersko praćenje svih relevantnih činioca važnih za vođenje i kontrolu svih procesa

## 6. POPIS LITERATURE

1. Babić, Ljiljana, Babić, M., Somer, D., Pejak, M., Seleši, B. (1985): Racionalizacija procesa sušenja rekonstrukcijom uređaja za sušenje, Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice
2. Babić, M., Gligorević, S., Babić, Ljiljana, Tomić, Z., Pavkov, I., (2003): Rekonstrukcije sušara za zrno sa ciljem povećanja učinka i smanjenja potrošnje energije, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
3. Babić, M., Babić, Ljiljana, Minute, Đ., (2007): Tehničke specifičnosti novije generacije sušara za zrno, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad
4. Babić, M., Babić, Ljiljana, Gligorević, S., Pavkov, I., (2005): Efekti rada rekonstruisane sušare za zrno, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
5. Boćanski, J., (1995): Genetička i fenotipska međuzavisnost između morfoloških osobina i žetvenog indeksa kod BSSS populacija kukuruza, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet.
6. Brkić, D. i dr., (2005): Eksploatacija poljoprivrednih strojeva, Osijek.
7. Brkić, M.,(1987): Utvrđivanje koeficijenta korekcije rezultata ispitivanja uređaja za sušenje zrna pri različitim uslovima rada, Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice
8. Brkić, M., Somer, D., (2006): Energetska efikasnost dvoprolaznih sušara, Savremena poljoprivredna tehnika, Novi Sad.
9. Bill Wilcke, (2001): Saving Fuel in Corn Drying, Minnesota Extension Engineer, Minnesota.
10. Golik, B., (1985) : Prikaz toplinske energetike i toplinsko energetske opreme na kruta goriva žitnih sušara "MONTING", Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice
11. Gagro, M., (1997): Žitarice i zrnate mahunarke, Hrvatsko agronomsko društvo, Zagreb
12. Gotlin, J., (1967), Suvremena proizvodnja kukuruza, Agronomski glasnik, Zagreb
13. Hellevang K., (2005): Producers Can Reduce Corn Drying fuel Costs, NDSU Agriculture Communication, North Dakota.
14. Jukić, M., Pozder, I., (2004) : Katalog PIONEER SJEME d.o.o. Zagreb.
15. Kardum, P., (1994): Metali – Bizovac, Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice

16. Katić, Z., (1997): Može li primjena fungicida sniziti troškove sušenja, Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice
17. Katić, Z. (1999): Mogućnost primjene novih saznanja u tehnologiji sušenja zrna, Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja „Zrnko“
18. Katić, Z., (1985): Sušenje sjemenskog kukuruza, Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke toplice
19. Katić, Z., Krička, Tajana, Kerep, Nadica, Pliestić, S. (1988): Korekcionni faktori kapaciteta sušare kada je vlaga suhog zrna različita od 14%, Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice
20. Katić, Z., Vešnik, F., Krička Tajana, Kerep Nadica, Pliestić, S., Poljak, Gordana, (1990): Istraživanja Instituta MTZ na problematici daljnjeg razvoja tehnologije i tehnike
21. Kovač, M., (1988): Dvofazno sušenje kukuruza sa fazom odležavanja – iskustva EKK Ptuj, Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice
22. Krička, Tajana., (1993): Utjecaj perforiranja zrna kukuruza na brzinu sušenja konvekcijom, Doktorska disertacija, Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
23. Labudović, B., (2005): Priručnik za grijanje, Energetika marketing, Zagreb
24. Pekić, Sofija., (1989): Kukuruz i suša, Naučna knjiga, Beograd
25. Prskalo, Z., (1993): Sušare za žitarice – modernizacija postojećih i razvoj novih, Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice
26. Radanović, M., Curković, M., Jocić, M., (1985): Automatska regulacija ulazne temperature agensa sušenja, Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice
27. Ritz, J., (1978): Osnovi uskladištenja ratarskih proizvoda, Liber, Zagreb
28. Scott Sanford (2005): Reduce Grain Drying Costs this Fall, University of Winsconsin, Biological Systems Engineering.
29. Scott Sanford (2004): University of Winsconsin, Biological System Engineering
30. Somer, D., Brkić, M., Petrović, J., (2008): Perspektiva sušenja zrna žitarica sa manjim kapacitetom sušare, Savremena poljoprivredna tehnika, Novi Sad
31. Strelec, (2001): Strojarski priručnik, 6. Izdanje, Energetika marketing, Zagreb
32. Šunić, M., (2001): Regulatori tlaka plina i regulacijske stanice, Energetika marketing, Zagreb

33. Topličanec, B., Buljak, V., (2007): Plinski uređaji u praksi, Projektiranje, izvođenje i održavanje, Tipomat, Zagreb.
34. Ujević, A., (1992): Tehnologija dorade i čuvanja sjemena, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
35. Wilcke Bill, (2001): Saving Fuel in Corn Drying, Minnesota Extension Engineer, Minnesota

Korištene internet stranice:

1. [www.agroklub.com](http://www.agroklub.com) (9.08.2018.)
2. [www.dsz.hr](http://www.dsz.hr) (7.07.2018.)
3. [www.alliantenergy.com](http://www.alliantenergy.com) (14.07.2018.)
4. [www.farmgate.uiuc.edu](http://www.farmgate.uiuc.edu) (3.08.2018.)
5. [www.web.wxtension.uiuc.edu](http://www.web.wxtension.uiuc.edu) (20.07.2018.)
6. <https://vage-lukavecki.hr/kolne-mosne-vage/kolna-mosna-vaga-ts-300/> (11.08.2018.)
7. <http://www.santimdoo.rs/sonde/007.jpg> (27.07.2018.)
8. <http://www.dickey-john.com/product/gac-2100-agri> (20.08.2018.)
9. [https://updoc.site/download/susare-stabil-seting-inenjering-doo-delnice\\_pdf](https://updoc.site/download/susare-stabil-seting-inenjering-doo-delnice_pdf) (29.07.2018.)
10. [https://updoc.site/download/susare-stabil-seting-inenjering-doo-delnice\\_pdf](https://updoc.site/download/susare-stabil-seting-inenjering-doo-delnice_pdf) (30.07.2018.)

## 7. SAŽETAK

Proračun rada sušare "Seting" Stabil 3000 napravljen je u tvrtki Kutjevo d.d. radna jedinica Požega i to 30. listopada 2017. godine. Utvrđene su srednje vrijednosti količine protoka zraka od 37.976 kg zraka/h koje proizvodi aksijalni ventilator, izmjerene anemometrom.

Temperature su mjerene pomoću termometra. Tijekom mjerenja, temperatura okoline iznosila je 20°C, a relativna vlaga iznosila je 57 %. Vlažnost zrna kukuruza na ulazu u sušaru iznosila je  $w_1 = 30$  % uz temperaturu zrna od 23°C, a nakon sušenja prije zone hlađenja vlaga zrna  $w_3 = 12,3$  % i temperatura  $\theta_3 = 44$ °C. Prolaskom zrna kroz zonu hlađenja vlažnost zrna je 13,3% a temperatura zrna pala je na 35°C. Na temelju istraživanja možemo zaključiti da je sušara dobro podešena.

Posljednjih godina sve je učestalija izgradnja sušara manjih kapaciteta na obiteljskim gospodarstvima u kojima se suši zrno za vlastite potrebe. Većom pažnjom i manjim ulaganjima na strojevima za doradu i sušenje postigla bi se veća kvaliteta sušenja, a troškovi istog bili bi manji.

**Ključne riječi:** kukuruz, sušara, vlaga

## 8. SUMMARY

On the October 30, 2017, the research on the analysis of "Seting" Stabil 3000 dryer was carried out in Kutjevo d.d, Požega. Measured by an anemometer, the average value of the air flow rate produced by the axial fan turned out to be 37.976 kg air/h. The temperature was measured by the thermometer. At the moment of measurement, the temperature of the environment was 20°C and the relative humidity was 57%. Before drying, the moisture of the corn was  $w_1=30\%$  with the temperature of the corn being 23°C. After drying and before the cooling zone, the moisture of the corn was  $w_3=12,3\%$  with the temperature of  $\theta_3=44^\circ\text{C}$ . After the cooling zone, the moisture of the corn was 13,3% with the drop of the temperature to 35°C. Based on the analysis of the "Seting" Stabil 3000 dryer, we can conclude that the dryer is well set. Over the last few years, there has been an increasing amount of the smaller dryers built on the family farms and used for family's needs. With the greater attention and lower investment in finishing and drying machines, the better drying quality would have been achieved and the cost would be lower.

**Key words:** corn, drier, moisture

## **9. POPIS TABLICA**

Tablica 1. Vлага зrna при различитим fazama sazrijevanja kukuruza (Ritz, 1978, по Golik-u) (str. 3)

Tablica 2. Količina protoka zraka u radnoj jedinici Požega. (str. 23)

Tablica 3. Parametri sušenja u sušari Kutjevo d.d. r.j. Požega u sezoni 2017./18. (str. 29)



## **10. POPIS SLIKA**

Slika 1. Podjela sušara (str. 6)

Slika 2. Obračun mase i energije (str. 13)

Slika 3. h-x dijagram (str. 14)

Slika 4. Kolna vaga (str. 15)

Slika 5. Izuzimač uzoraka (str. 15)

Slika 6. Električni vlagomjer (str. 16)

Slika 7. Shema rada izuzimača zrna (str. 18)

Slika 8. Shema prolaza topline kroz sušaru (str. 19)

Slika 9. h-x dijagram za sušaru s indirektnim zagrijavanjem zraka za sušenje (str. 28)

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij, Mehanizacija

## SUŠENJE KUKURUZA DIREKTNOM SUŠAROM SETING DELNICE

Josip Jakobović

**Sažetak:** Proračun rada sušare "Seting" Stabil 3000 napravljen je u tvrtki Kutjevo d.d. radna jedinica Požega i to 30. listopada 2017. godine. Utvrđene su srednje vrijednosti količine protoka zraka od 37.976 kg zraka/h koje proizvodi aksijalni ventilator, izmjerene anemometrom.

Temperature su mjerene pomoću termometra. Tijekom mjerenja, temperatura okoline iznosila je 20°C, a relativna vlaga iznosila je 57 %. Vlažnost zrna kukuruza na ulazu u sušaru iznosila je  $w_1 = 30$  % uz temperaturu zrna od 23°C, a nakon sušenja prije zone hlađenja vlaga zrna  $w_3 = 12,3$  % i temperatura  $\theta_3 = 44$ °C. Prolaskom zrna kroz zonu hlađenja vlažnost zrna je 13,3% a temperatura zrna pala je na 35°C. Na temelju istraživanja možemo zaključiti da je sušara dobro podešena.

Posljednjih godina sve je učestalija izgradnja sušara manjih kapaciteta na obiteljskim gospodarstvima u kojima se suši zrno za vlastite potrebe. Većom pažnjom i manjim ulaganjima na strojevima za doradu i sušenje postigla bi se veća kvaliteta sušenja, a troškovi istog bili bi manji.

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** prof. dr. sc. Darko Kiš

**Broj stranica:** 39

**Broj slika:** 9

**Broj literaturnih navoda:** 35

**Jezik izvornika:** Hrvatski

**Ključne riječi:** kukuruz, sušara, vlaga

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. prof.dr.sc. Tomislav Jurić, predsjednik
2. prof.dr.sc. Darko Kiš, mentor
3. izv.prof.dr.sc. Irena Rapčan, član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**  
**Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek**  
**University Graduate Studies, Mechanization**

**Graduate thesis**

### **CORN DRYING USING DIRECT DRIER SETING DELNICE**

Josip Jakobović

**Abstract:** On the October 30, 2017, the research on the analysis of "Seting" Stabil 3000 dryer was carried out in Kutjevo d.d, Požega. Measured by an anemometer, the average value of the air flow rate produced by the axial fan turned out to be 37.976 kg air/h. The temperature was measured by the thermometer. At the moment of measurement, the temperature of the environment was 20°C and the relative humidity was 57%. Before drying, the moisture of the corn was  $w_1 = 30\%$  with the temperature of the corn being 23°C. After drying and before the cooling zone, the moisture of the corn was  $w_3 = 12,3\%$  with the temperature of  $\theta_3 = 44^\circ\text{C}$ . After the cooling zone, the moisture of the corn was 13,3% with the drop of the temperature to 35°C. Based on the analysis of the "Seting" Stabil 3000 dryer, we can conclude that the dryer is well set. Over the last few years, there has been an increasing amount of the smaller dryers built on the family farms and used for family's needs. With the greater attention and lower investment in finishing and drying machines, the better drying quality would have been achieved and the cost would be lower.

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

**Mentor:** prof. dr. sc. Darko Kiš

**Number of pages:** 39

**Number of figures:** 9

**Number of references:** 35

**Original in:** Croatian

**Key words:** corn, drier, moisture

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. prof.dr.sc. Tomislav Jurić, president
2. prof.dr.sc. Darko Kiš, mentor
3. izv.prof.dr.sc. Irena Rapčan, member

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.