

# Usporedba fizikalnih i kemijskih svojstava zrna kukuruza primjenom sušenja u fluidnom sloju i podtlačnom sušenju

---

**Bošnjak, Ivana**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:679855>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-19**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

**USPOREDBA FIZIKALNIH I KEMIJSKIH SVOJSTAVA ZRNA  
KUKURUZA PRIMJENOM SUŠENJA U FLUIDNOM SLOJU I  
PODTLAČNOM SUŠENJU**

DIPLOMSKI RAD

Ivana Bošnjak

Zagreb, rujan, 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Poljoprivredna tehnika - Mehanizacija

**USPOREDBA FIZIKALNIH I KEMIJSKIH SVOJSTAVA ZRNA  
KUKURUZA PRIMJENOM SUŠENJA U FLUIDNOM SLOJU I  
PODTLAČNOM SUŠENJU**

DIPLOMSKI RAD

Ivana Bošnjak

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Ana Matin

Zagreb, rujan, 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA  
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Ivana Bošnjak**, JMBAG 0178115730, rođen/a 10/12/1998 u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

**USPOREDBA FIZIKALNIH I KEMIJSKIH SVOJSTAVA ZRNA KUKURUZA PRIMJENOM SUŠENJA U FLUIDNOM SLOJU I PODTLAČNOM SUŠENJU**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana \_\_\_\_\_  
*Potpis studenta / studentice* \_\_\_\_\_

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

**IZVJEŠĆE**

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta/ice **Ivane Bošnjak**, JMBAG 0178115730, naslova

**USPOREDBA FIZIKALNIH I KEMIJSKIH SVOJSTAVA ZRNA KUKURUZA PRIMJENOM SUŠENJA U  
FLUIDNOM SLOJU I PODTLAČNOM SUŠENJU**

obranjen je i ocijenjen ocjenom \_\_\_\_\_, dana \_\_\_\_\_.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. izv. prof. dr.sc. Ana Matin mentor

\_\_\_\_\_

2. prof. dr. sc. Tajana Krička član

\_\_\_\_\_

3. izv. dr. sc. Igor Kovačev član

\_\_\_\_\_

## Zahvala

Ovim putem prvenstveno se želim zahvaliti asistentima Ivani, Juraju, Sebastijanu i Karlu na izuzetno dobroj atmosferi tokom rada u laboratoriju i velikoj pomoći i trudu pri izradi ovoga rada. Također im želim zahvaliti na strpljenju i ukazanom povjerenju tokom svih sati provedenih u laboratoriju i želim im svu sreću u budućem napredovanju.

Želim se zahvaliti i svojoj mentorici koja mi je dopustila ovo istraživanje te omogućila sve uzorke, materijale i metode, te ukazala povjerenje u korištenje svih uređaja i materijala. Također se zahvaljujem na strpljenju i trudu uloženom na svim konzultacijama i mailovima, te utrošenom vremenu na pravljenje smjernica kako bi ovaj rad još više zablistao. Hvala što ste pazili na nas i naš smjer unatoč toliko posla i obaveza, te što ste nam omogućili više terenskih nastava kako bi bolje upoznali agronomski svijet i svoje interese i zanimanja.

Želim ovaj rad posvetiti mojoj obitelji koja me podržavala dugi niz godina i bila mi poticaj tokom mog školovanja, studiranja i napredovanja. Hvala roditeljima Kseniji i Miljenku na bezuvjetnoj ljubavi i podršci, te što su mi ovih 5 godina omogućili lagano studiranje i nisu mi stvarali nikakav pritisak, hvala im što su vjerovali u mene. Hvala također i bratu Mateju koji je također bio podrška i vjerovao u mene i što mi je bio glas razuma u mnogim trenucima.

Na kraju se još želim zahvaliti i svojim prijateljima Ani, Sebastianu i Davidu, te ostalim prijateljima i kolegama na predivnim studentskim iskustvima i ogromnoj podršci tokom studiranja.

Ovaj rad je napravljen u okviru projekta br. KK.05.1.1.02.0016, "Proizvodnja hrane, biokompozita i biogoriva iz žitarica u kružnom biogospodarstvu".

## Sadržaj

Sažetak .....	1
1. Uvod.....	3
2. Cilj istraživanja .....	4
3. Pregled literature.....	5
3.1 Morfologija kukuruza.....	6
3.1.1. Korijen.....	6
3.1.2 Stabljika.....	6
3.1.3 List .....	7
3.1.4. Cvat.....	8
3.1.5. Plod.....	8
3.2. Sušenje.....	9
3.2.1 Sušenje u fluidnom sloju .....	10
3.2.2 Podtlačno (vakuum) sušenje .....	11
4. Metode i materijali .....	12
4.1. Određivanje sadržaja vode .....	12
4.2. Rehidracija uzoraka .....	13
4.3. Sušenje.....	14
4.3.1. Sušenje u fluidnom sloju .....	14
4.3.2. Podtlačno sušenje.....	14
4.4. Određivanje fizikalnih svojstava.....	15
4.4.1. Određivanje dimenzija i sferičnosti.....	15
4.4.2 Određivanje hektolitarske mase .....	16
4.5. Određivanje kemijskih svojstava.....	17
4.5.1. Određivanje pepela .....	17
4.5.2 Određivanje proteina i C, H, N, O i S unutar uzoraka.....	17
4.5.3 Određivanje makro i mikro elemenata.....	18
5. Rezultati istraživanja .....	19
5.1. Rezultati sadržaja vode .....	19
5.2 Rezultati fizikalnih svojstava .....	20
5.2.1. Rezultati dimenzija i sferičnosti .....	20
5.3 Rezultati hektolitarske mase .....	22
6. Rezultati istraživanja kemijskih svojstava zrna.....	23
6.1 Sadržaj pepela.....	23

6.2 Sadržaj proteina i C, H, N, O, S .....	24
6.3 Sadržaj makro i mikro elemenata u uzorcima .....	27
7. Rezultati istraživanja metoda sušenja .....	30
7.1 Rezultati sušenja u fluidnom sloju .....	30
7.2 Rezultati podtlačnog sušenja .....	33
7.3 Konstanta otpuštanja vode .....	36
8. Zaključak .....	37
9. Literatura .....	38
Popis slika, tablica i grafova: .....	42
ŽIVOTOPIS .....	43



# Sažetak

Diplomskog rada studenta/ice **Ivane Bošnjak**, naslova

## **USPOREDBA FIZIKALNIH I KEMIJSKIH SVOJSTAVA ZRNA KUKURUZA PRIMJENOM SUŠENJA U FLUIDNOM SLOJU I PODTLAČNOM SUŠENJU**

Kukuruz (*Zea mays* L.) je vodeća kultura u svijetu radi svoje primjene. Zahvaljujući današnjim razvijenim procesima dorade i obrade žitarica, zrnu se može povećati kvaliteta, produljiti vijek trajanja, te se upravo radi toga može koristiti u razne prehrambene svrhe. Kako bi se preventivno izbjegao proces kvarenja zrna, potrebno je održavati ravnotežnu vlagu zrna koja za kukuruz iznosi 13-14% ovisno o hibridu. Metode sušenja izvedene na uređajima u laboratoriju za istraživanje bile su metoda sušenjem u fluidnom sloju i metoda podtlačnim sušenjem. Sušenje se vršilo na hibridima OS Kulak, OS 596 i OS 515, a temperature sušenja su se provodile na 60°C, 70°C i 80°C. Prije i nakon sušenja provodile su se analize fizikalnih i kemijskih svojstava, a uspoređivali su se elementi unutar uzoraka tokom sušenja na obje metode i sve tri temperature sušenja. Rezultati su pokazali da su sva tri hibrida imala najmanje vrijeme sušenja tokom metode sušenja u fluidnom sloju. Također se pokazalo da određena fizikalna svojstva i kemijski elementi su varirali od metode do samog hibrida. Zaključilo se da vrijeme sušenja ovisi o temperaturi sušenja, hibridu kukuruza i metodi sušenja.

**Ključne riječi:** kukuruz, sušenje, podtlačno, vakuum, fluidni sloj

## Summary

Of the master's thesis – student **Ivana Bošnjak**, entitled

### **COMPARISON OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF CORN GRAIN USING FLUID-BED DRYING AND VACUUM DRYING**

Maize (*Zea mays* L.) is the leading crop in the world for its application. Thanks to today's developed grain processing, the quality of the grain can be increased, its shelf life can be extended, and this is precisely why it can be used for various food purposes. In order to prevent grain rotting, it is necessary to maintain a balance of grain moisture, which for corn is 13-14% depending on the hybrid. The drying methods were performed on devices in the laboratory for research, and were the fluid bed drying method and the vacuum drying method. Drying was done on hybrids OS Kulak, OS 596 and OS 515, and the drying temperature was 60°C, 70°C and 80°C. Before and after drying, analyzes of physical and chemical properties were carried out, and elements within the samples were compared during drying using both methods and all three drying temperatures. The results showed that all three hybrids had the least drying time during the fluid bed drying method. It was also shown that certain physical properties and chemical elements varied from drying method to hybrid. It was concluded that the drying time depends on the drying temperature, the corn hybrid and the drying method.

**Keywords:** corn, drying, vacuum, fluid bed

# 1. Uvod

Povećanjem broja stanovništva u svijetu porasle su i potrebe za hranom, čime je proizvodnja hrane postala prioritetni problem čovječanstva.

Kukuruz je jednogodišnja biljka i uz rižu, smatra se jednom od najrasprostranjenijih žitarica u svijetu. Upotrebljava se za industrijsku i prehrambenu preradu. U prehrambenoj preradi najviše se prerađuje za ishranu domaćih životinja, dok u industrijskoj preradi kukuruz se koristi kako bi se dobila razna alkoholna pića, brašno, ulje, šećer. Još se koristi i u ljudskoj prehrani, za proizvodnju biomase, te u tekstilnoj i farmaceutskoj industriji.

Također je poznat po tome da se kod kukuruza svaki dio biljke može preraditi i iskoristiti, a ujedno ima i najveći genetski potencijal rodnosti među žitaricama.

Porijeklo kukuruza još je uvijek tajno ali se smatra se da mu je porijeklo Srednja Amerika, a u Hrvatsku je došao tek u 16. stoljeću. Njegovi najveći današnji proizvođači su SAD, Kina i Meksiko, te u Europi Francuska, Italija i Rumunjska.

Kukuruz uzgaja na svim kontinentima. Ima širok raspon vegetacije i može se uzgajati kao rana, srednja i kasna kultura, a vegetacija mu varira od 60 dana pa sve do 300 dana, ovisno o hibridu. Najznačajniji pojasevi uzgoja kukuruza u svijetu su kukuruzni pojas Sjeverne Amerike dio Njemačke do Crnog mora, dolina rijeke Po u sjevernoj Italiji, ravnice sjeverne Kine, sjeveroistočna Argentina i jugoistočni Brazil. Svi se nalaze u područjima s blagom i umjerenom klimom.

Kako bi se osigurala kvaliteta zrna kukuruza i povećala probavljivost bez promjene kroz period skladištenja potrebna je njegova dorada. Kao jedan od najčešćih postupaka dorade zrna kukuruza je primjena sušenjem.

Općenito je poznato kako se sušenjem uklanja vlaga iz materijala dovođenjem topline. Svrha sušenja je uglavnom preventivno izbjegavanje rasta mikroorganizama i kvarenja proizvoda.

Osnovni zadatak sušenja je odvajanje suvišne vode iz zrna, a da se pri tome sačuva njegova kakvoća. To se postiže tako da se zrnu ostavi samo ona količina vode koja mu je potrebna za latentni život. Svi lako kvarljivi proizvodi moraju se konzervirati i to na način da se uništavaju prisutni mikroorganizmi ili se zaustavlja njihovo razvijanje i razmnožavanje (Krička, 1993; Akpınar i Bicer, 2005). Ovaj postupak osigurava zrnu duže vrijeme čuvanja bez promjene i mogućnost njegovog korištenja tijekom cijele godine (Krička, 1993; Matin, 2013). Osim očuvanja kakvoće zrna, proces sušenja mora biti ekonomičan, a učinak sušare što veći (Matin i sur., 2018).

Zahvaljujući novijim tehnologijama, sušenje zrna se može provoditi primjenom sušenja u fluidnom sloju te u stanju podtlaka. Primjena podtlačnog sušenja ima višestruke prednosti pri očuvanju kvalitete fizikalnih i kemijskih svojstava zrna prilikom procesa sušenja.

## 2. Cilj istraživanja

Cilj rada je:

- utvrđivanje fizikalnih i kemijskih svojstava unutar tri hibrida kukuruza prilikom sušenja u fluidnom sloju i podtlačnim sušenjem,
- utvrđivanje promjena unutar zrna kukuruza prilikom sušenja dviju navedenih metoda,
- uspoređivanje elemenata unutar tri hibrida prije i nakon sušenja,
- izrada krivulja otpuštanja vode na temperaturama od 60°C, 70° i 80°C za sva tri hibrida,
- uspoređivanje podtlačnog sušenja i sušenja u fluidnom sloju na tri hibrida kukuruza,
- sušenje tri hibrida kukuruza do ravnotežne vlažnosti.

### 3. Pregled literature

Kukuruz potječe iz Središnje Amerike, a nakon otkrića američkog kontinenta prenesen je i proširen u Europu i na druge kontinente. Područje uzgoja kukuruza je vrlo veliko, uzgaja se u cijelom svijetu, što mu omogućuje različita duljina vegetacije, raznolika mogućnost upotrebe i sposobnost kukuruza da može uspijevati na lošijim tlima i u lošijim klimatskim uvjetima (Gagro, 1997.).

Na prvom je mjestu u Hrvatskoj prema zasijanim površinama. Ovisno o hibridu, agroekološkim uvjetima i primijenjenoj tehnologiji proizvodnje napredni proizvođači u istočnoj Hrvatskoj ostvaruju prinos zrna i do 16 tona po hektaru. Genetski potencijal rodnosti današnjih hibrida kukuruza je i veći (Pospišil, 2010.)

Sabo (2022.) tvrdi da je posljednjih godina, prema korištenim površinama, kukuruz najdominantnija ratarska kultura u RH, odnosno žitarica. Prosječno se uzgajao na 288.727 ha uz određena variranja između godina. Iako zadnjih par godina količina zasadenog kukuruza pada zbog manje isplativosti on i dalje predstavlja veliki dio Hrvatske poljoprivrede sa godišnjim prinosom od jednog do dva milijuna tona.

Jakobović (2018.) tvrdi kako 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.

Radan (2016.) opisuje kukuruz kao žitaricu sa najvećim potencijalom rodnosti od svih žitarica. Tako su u Hrvatskoj u pojedinim slučajevima postignuti prinosi veći i od 18 t/ha suhog zrna, kao i prinosi veći od 50 t/ha suhe tvari, što nije moguće postići niti sa jednom drugom kulturom.

Širanović (2018.) utvrđuje da hibridi kukuruza koji se siju imaju raspon vegetacije od najranijih hibrida između 60 i 70 dana, pa sve do najkasnijih hibrida između 300 i 330 dana. Optimalno uzgojno područje kukuruza je 15 – 45° s.g.š i 21 - 35° j.g.š., ali najveći dio kukuruza uzgaja se između 30 – 50° s.g.š.

Površine zasijane kukuruzom i prinosi zrna kukuruza u stalnom su porastu. Kukuruz daje visoke prinose zrna po jedinici površine, maksimalni prinosi mogu biti i preko 25.000 kg/ha, utvrđuje Tomas (2017.).

## 3.1 Morfologija kukuruza

### 3.1.1. Korijen

Korijen kukuruza je žiličast, oblikuje primarni i sekundarni korijenov sustav. Klija jednim primarnim korijenom (slika 1). Kukuruz oblikuje pet tipova korijena, a to su: primarni, bočni, mezokotilni klicini korijeni, podzemni i nadzemni nodijalni korijeni. Primarni i bočni klicini korijeni oblikuju se u vrijeme klijanja. Zadaća je tog korijenja da učvrsti sjeme i mladu biljčicu za tlo, da crpe hranu i vodu (Gagro, 1997.).

Na razvoj korijenova sustava utječe genotip, tip tla i njegova plodnost, klimatski uvjeti, agrotehnika, obrada tla, dubina sjetve, gnojidba, njega i zaštita (Kovačević i Rastija, 2009.).



Slika 1: Korijen kukuruza (izvor: <https://www.behance.net/gallery/13665729/Corn-Plant-Root-Systems>)

### 3.1.2 Stabljika

Stabljika kukuruza je kao i kod ostalih žitarica člankovita, cilindrična, uspravna, glatka, relativno debela i ispunjena parenhimom (slika 2). Visina potpuno izrasle stabljike kreće se od svega 70 cm kod nekih sorti na krajnjem sjeveru, pa do 7 m kod nekih tropskih izuzetno kasnozrelih formi kukuruza (Medvecki, 2015.)

U Republici Hrvatskoj visina stabljike kreće od oko 1 m kod nekih ranih, pa do 3 m kod najkasnijih hibrida u nizinskim područjima (Rapčan, 2014.).

Unutrašnjost stabljike ispunjena je srži. Svaki snopić provodnog staničja obavijen je sklerenhimskim staničjem što daje određenu čvrstoću stabljici (Pospišil, 2010.)



Slika 2: Stabljika kukuruza (izvor: Šikić, 2019)

### 3.1.3 List

Prema mjestu gdje se zameću i nalaze te prema značenju, razlikuju se tri tipa listova: klicini listovi, pravi ili listovi stabljike i listovi omotača klipa (kumušina)(Kovačević i Rastija, 2014.).

List kukuruza sastoji se od rukavca, široke i dugačke plojke i malog jezička koji se nalazi na mjestu prelaska rukavca u plojku (slika 3). Listovi kukuruza raspoređeni su naizmjenično na dvije strane stabljike, po jedan na svakom koljencu. (Medvecki, 2015.)



Slika 3: Listovi kukuruza (Izvor: <https://www.agroportal.hr/ratarstvo/25625>)

### 3.1.4. Cvat

Kukuruz je jednodomna biljka čiji su muški i ženski cvjetovi razdvojeni u posebne cvati na istoj biljci (slika 4). Zbog razdvojenosti reproduktivnih organa i različitog vremena sazrijevanja muških i ženskih cvjetova na istoj biljci, kukuruz je izrazito stranooplodna biljka (Kovačević i Rastija, 2014).



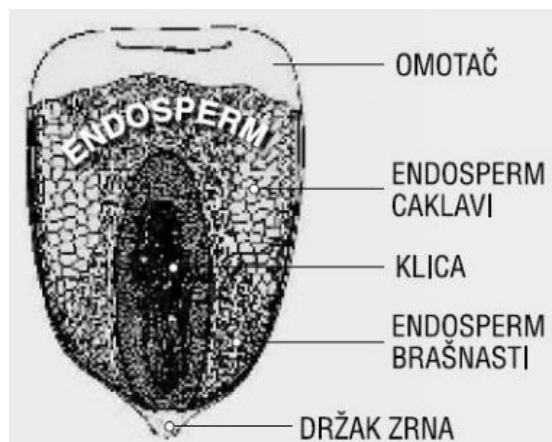
Slika 4: Muški i ženski reproduktivni organi (Izvor: <https://postcardpress.ru/ru/botanical-illustrations/3735-botanical-illustration-corn.html>)

### 3.1.5. Plod

Plod kukuruza je zrno koje se, ovisno o hibridu razlikuje po boji, obliku, veličini. Zrno je spljošteno, sjajno i glatko (Skender i sur., 1998.). Dužina zrna je 8 – 12 mm, a širina je 8 – 9 mm. Debljina zrna iznosi između 3 i 5 mm. Boja zrna je najčešće žute boje, ali može biti od bijele do crne boje (Hulina, 2011.).

Sastoji se od omotača ploda, sjemene ljuske, endosperma i klice (slika 5). Omotač štiti unutrašnjost zrna i sadrži pigment koji određuje boju zrna. Između sjemene ljuske i endosperma nalazi se aleuronski sloj koji sadrži puno bjelančevina, vitamina i ulja. Najveći dio zrna zauzima endosperm koji se nalazi ispod perikarpa i sjemenog omotača (Gagro, 1997.).





Slika 5: Zrno kukuruza (Izvor: Grbeša, 2008.)

### 3.2. Sušenje

Sušenje je najskuplji postupak posliježetvene dorade (Doymaz, 2007; Cohen i Yang 1995; Mirzaee i sur., 2009; Matin i sur., 2018).

Klarić (2015.) opisuje kako je sušenje toplinski proces uklanjanja vlage iz vlažnog materijala dovođenjem topline u svrhu dobivanja suhog čvrstog proizvoda. Materijal s određenim postotkom vlage te zagrijani zrak, koji donosi toplinu, ulaze u sušionik, te dolazi do prijenosa tvari i topline, a izlazi suhi materijal.

Marelja i sur. (2020.) uspoređuju vakuum sušenje i utvrđuju kako je sušenje u podtlaku najjeftiniji proces sušenja te da se u takvim uvjetima dobiva proizvod bolje kvalitete u odnosu na ostala sušenja.

Landeka (2017.) zaključuje da je vakuum sušenje odličan postupak sušenja zbog mogućnosti korištenja nižih temperatura i samim time očuvanja organoleptičkih svojstava i zbog lakšeg isparavanja molekula vode čime se postiže bolji učinak sušenja, te utvrđuje da smanjenjem tlaka u sušari dolazi do povećanja učinka sušenja i zbog prisutnosti vakuuma, eliminiran je proces oksidacije.

Međutim da bi se dobro usporedio način sušenja, bitno je utvrditi i ponašanje čestica pri sušenju, pa je tako Krička (1993.) utvrdila da hibridi zrna imaju različito vrijeme sušenja, bez obzira na činjenicu da su hibridi imali iste uvjete i vlažnost.

Mudrinić (2012.) uslijed istraživanja sušenja u fluidnom sloju zaključuje da žitarice s većim početnim sadržajem vlage na početku se brže suše nego one s manjim sadržajem. Kod većeg sadržaja vlage veći je koeficijent difuzije pa je onda i brzina sušenja veća. Dok pri manjem sadržaju vlage zraka veća je razlika parcijalnih tlakova vodene pare pa je i veća brzina sušenja.

Planinić i sur. (2015.) istraživali su utjecaj temperature i vremena sušenja na prinos ekstrakcije fenolnih spojeva iz komine grožđa sušenjem u fluidnom sloju. Zaključili su da

sušenje u fluidnom sloju pod blagim temperaturno-vremenskim uvjetima dobro utječu na čestice. Najbolje uvjete su dobili na temperaturama od 70 i 90°C.

S obzirom da je sušenje u fluidnom sloju teže za ljepljive čestice, Hoffman i sur. (2017.) utvrdili su kako je bitna i vrsta mješalice koja miješa čestice. Dokazali su da je mješalica od žičane mreže puno bolja za ljepljivi materijal. Također su uspostavili metodu postizanja potrebnog sadržaja vlage te su utvrdili da je miješanje tokom sušenja pomoglo bržem načinu sušenja.

### 3.2.1 Sušenje u fluidnom sloju

Sušenje u fluidnom sloju danas se sve više koristi radi svojih prednosti brzog sušenja i lakog održavanja. Ovakav način sušenja je sve popularniji i moderniji radi raznih mogućnosti koje brzo sušenje pridonosi.

Princip rada sušenja s fluidiziranim slojem je takav da se čestice suše pojedinačno, za razliku od cijelog sloja. Vrući zrak ili plin okružuju sve čestice i to osigurava učinkovitost u procesu sušenja materijala (<http://m.hr.cofpack.com/info/advantages-disadvantages-of-fluid-bed-dryer-36638859.html> - pristup 28.8.2022.)

Prednosti sušenja u fluidnom sloju su:

- Brzi način sušenja
- Lagan za rukovanje
- Ne iziskuje preveliko održavanje
- Lako podesiv
- Adaptivan za veličinu i količinu uzorka/čestica
- Omogućuje homogeno sušenje

Nedostaci sušenja u fluidnom sloju su:

- Nije pogodan za ljepljive uzorke
- Koristi visok udio energije
- Ekonomski zahtjevan
- Nepogodan za toplinski osjetljive čestice

Tijekom sušenja, uzorak odnosno čestice koje se suše su u izravnom kontaktu s toplim zrakom što omogućuje brzi način sušenja. Također treba napomenuti da se čestice ravnomjerno suše jer je brzina zraka iznimno visoka što omogućuje česticama da konstantno struje tokom sušenja. (<http://m.hr.cofpack.com/info/advantages-disadvantages-of-fluid-bed-dryer-36638859.html> - pristup 28.8.2022.)

### 3.2.2 Podtlačno (vakuum) sušenje

Marelja i sur. (2020) utvrđuju da se vakuum sušenje odvija pri sniženim tlakovima i sniženoj temperaturi vrelišta vode što pridonosi očuvanju toplinski osjetljivih nutritivnih sastojaka i senzorskih svojstava hrane, posebno boje.

Sušenje pri subatmosferskim tlakovima ima višestruke prednosti prilikom sušenja toplinski osjetljivih materijala kod kojih bi se toplinski nestabilne tvari sušenjem pri atmosferskom tlaku i višim temperaturama sušenja razgradile, a ako bi se proces odvijao pri nižim temperaturama, onda bi proces sušenja trajao dulje. Također, prilikom vakuum sušenja, smanjena je volumna koncentracija kisika, čime se osigurava bolja oksidacijska stabilnost sušenog materijala (Arevalo-Pinedo i Murr, 2006).

Nedostaci vakuum sušenja uključuju veće inicijalne i operativne troškove budući da su uređaji zbog složene izvedbe skupi. Prijenos topline u vakuum sušari provodi se uglavnom radijacijom topline infacrvenim grijačima i kondukcijom gdje se toplina dovodi kroz zagrijanu plohu te je sušenje ograničeno površinom dostupnom za prijenos topline, a rjeđe konvekcijom gdje se vlažna tvar zagrijava strujom vrućeg zraka ili inertnog plina (Marelja i sur., 2020.)

## 4. Metode i materijali

Istraživanje se provodilo na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu u Laboratoriju za istraživanje biomase u poljoprivredi na uzorcima tri hibrida kukuruza i to OS 515, OS 596 i OS Kulak uzgojene tijekom 2021. godine na Poljoprivrednom institutu u Osijeku.

Provedene su analize najprije na nesusšenim uzorcima, a zatim na uzorcima koji su bili sušeni na tri različite temperature 60 °C, 70 °C i 80 °C i na dva različita načina sušenja u fluidnom sloju i podtlačnom sušenju. Sve analize provedene su u tri ponavljanja.

### 4.1. Određivanje sadržaja vode

Određivanje sadržaja vode provodi se prema metodi (HRN ISO 6540: 2002) u laboratorijskom sušioniku (Mettler UN 750) (slika 6). Na temelju mjerenja mase uzorka prije i nakon sušenja na temperaturi od 105°C u vremenskom periodu od 4 sata ili do konstantne mase određuje se količina isparene vode.



Slika 6. Laboratorijska sušnica (Izvor: vlastiti izvor)

Uzorci su se prvo izmijeli na laboratorijskom mlinu te se dodao oko 1g uzorka u staklene posudice. Tako izvagane posudice stavile su se u sušionik na pola poklopljene i ostavile sušiti 4 sata na 105°C s maksimalnom ventilacijom od 40%. Nakon 4 sata sušenja posudice se stavljaju u eksikator i ponovo važu.

Sadržaj vode se računa prema formuli:

$$W1 = \frac{(B - C)}{B - A} * 100 (\%)$$

gdje je:

w1 = udio vode (%)

A = odvaga prazne posudice (g)

B = odvaga prazne posudice + uzorak prije sušenja (g)

C = odvaga prazne posudice + uzorak nakon sušenja (g).

## 4.2. Rehidracija uzoraka

Uzorci tri hibrida zbog nejednolikog sadržaja vlage, su rehidrirani kako bi se dobila usporedivost zrna za potrebe istraživanja. Proces rehidracije provodio se izravnim djelovanjem na masu zrna s točno određenom količinom destilirane vode prema uputama Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo (slika 7).

Rehidracija se provodila pomoću izračuna:

$$W = M1 \frac{(w1 - W2)}{100 - w2}$$

gdje je:

W = količina potrebne destilirane vode (ml)=(g)

W1 = početna vlažnost mase (%)

W2 = željena vlažnost mase (%)

M1 = masa zrna uzorka koji rehidriramo (g)

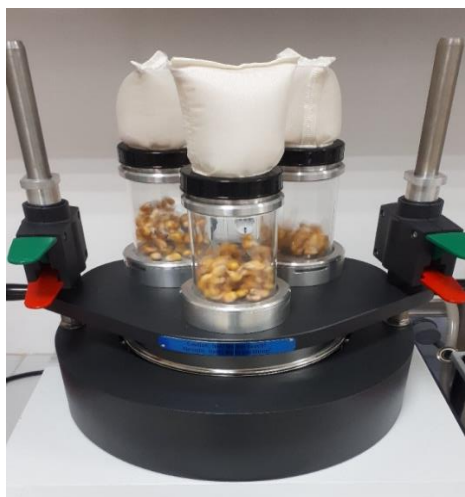


Slika 7. Rehidrirani uzorci (Izvor: vlastiti izvor)

## 4.3. Sušenje

### 4.3.1. Sušenje u fluidnom sloju

U ovom istraživanju sušenje u fluidnom sloju vršilo se pomoću sušnice (Retsch TG 200) (slika 8). Sušnica radi na principu uvlačenja zraka iz okoline kroz filter. Ventilator pokreće zrak preko toplinskih dijelova te ga tjera kroz perforiranu ploču u odvojeni spremnik za sušenje. Čestice se otpuhuju prema gore i raspršuju te se tako drže odvojene jedna od druge što im omogućuje ravnomjerno sušenje. Takav način također pomaže u izbjegavanju zgrudnjavanja i lijepljenja čestica. Strujanje zraka unutar sušnice s fluidnim slojem izvlači vlagu iz čestica i zatim izlazi kroz filtarsku vrećicu na poklopcu. (<https://www.retsch.com/products/assisting/dryer/function-features/> - pristup 28.8.2022.)



Slika 8. Sušenje zrna kukuruza u Retsch TG 200 sušnici (izvor: vlastiti izvor)

### 4.3.2. Podtlačno sušenje

U ovom istraživanju podtlačno sušenje vršilo se u vakuum sušnici Memmert vO101. Sušnica radi na principu podešavanja temperature i vremena koje je predviđeno za sušenje čestica, odnosno uzoraka. Može postići temperaturu do +200°C, te raspon od 5 do 1100 mbara. Postupak se odvijao tako da se uzorak stavio u sušnicu, podesila joj se temperatura, raspon podtlaka i vrijeme. Valja napomenuti da se vrijeme sušenja moralo podesiti 3-4 minuta duže kako bi pećnica postigla zadan raspon podtlaka i temperature (slika 9).



Slika 9. Sušenje zrna kukuruza u Memmert vO101 vakuum sušnici (izvor: vlastiti izvor)

#### **4.4. Određivanje fizikalnih svojstava**

##### **4.4.1. Određivanje dimenzija i sferičnosti**

Određena je veličina zrna, odnosno dimenzije i to dužina, širina i debljina pomičnim mjerilom (Digital Caliper 0-150 mm) (slika 10).



Slika 10. Mjerenje dužine, širine i debljine pomoću šublера (izvor: vlastiti izvor)

Također se određivala i sferičnost zrna pomoću formule:

$$x = \left( \frac{((a * b * c)^{0.333})}{a} \right) * 100$$

gdje je:

x = sferičnost zrna [%]

a =duljina zrna [mm]

b =širina zrna [mm]

c =debljina zrna [mm]

#### 4.4.2 Određivanje hektolitarske mase

Hektolitarska masa je određena pomoću uređaja za određivanje vlage i hektolitarske mase za žitarice (Granomat V1.0. (slika 11)). Granomat se koristi tako da se žitarica stavi u spremnik za uzorke i podese postavke na ekranu koja vrsta žitarice se analizira. Električni motor otključava zaklopce i uzorak naglo pada u pravokutnu mjernu kabinu. Četka koja se nalazi unutar granomata uklanja višak materijala iznad mjerne kabine. Granomat mjeri težinu, temperaturu i vlažnost uzorka (<https://www.pfeuffer.com/product/granomat-plus> - pristup 24.8.2022.).



Slika 11. Granomat V1.0. (Izvor: vlastiti izvor)



## 4.5. Određivanje kemijskih svojstava

### 4.5.1. Određivanje pepela

Pepeo je anorganski ostatak goriva koji ostaje nakon potpunog sagorijevanja organskog dijela ugljena i razlaganja mineralnih primjesa. Za određivanje pepela odvagane se 1 g uzorka u porculanskoj posudici, koji se zatim stavi u mufolnu peć (slika 12) (Nabertherm Controller B170) na temperaturu od  $550 \pm 10$  °C u trajanju od 5 i pol sati sukladno standardnoj metodi HRN ISO 2171:2010.



Slika 12. Mufolna peć Nabertherm B170 (izvor: vlastiti izvor)

### 4.5.2 Određivanje proteina i C, H, N, O i S unutar uzoraka

Određivanje ukupnog ugljika, vodika, dušika, sumpora, provedeno je metodom suhog spaljivanja na Vario, Macro CHNS analizatoru (Elementar Analysensysteme GmbH) prema protokolima za ugljik, vodik i dušik EN 1689:2015 te prema protokolu za sumpor EN ISO 16994:2015 (slika 13). Postupak se bazira na spaljivanju uzorka u struji kisika na 1150 °C uz prisutnost volfram (VI) oksida kao katalizatora. Prilikom spaljivanja oslobađaju se plinovi NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> i H<sub>2</sub>O. U redukcijskoj koloni, koja je zagrijana na 850°C, uz pomoć bakra kao redukcijskog sredstva, NO<sub>x</sub> plinovi se reduciraju do N<sub>2</sub>, a SO<sub>3</sub> plinovi do SO<sub>2</sub>. Nastale N<sub>2</sub> plinove helij (plin nosilac) nosi direktno na detektor TCD (termovodljivi detektor) dok ostali plinovi kao što su CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O i SO<sub>2</sub> prije dolaska na detektor prolaze kroz adsorpcijske kolone za CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O i SO<sub>2</sub> (Sarapa, 2019.). Određivanje ukupnog udjela ugljika, vodika, dušika i sumpora provodi se prema metodama (HRN EN 15104:2011 i HRN EN 15289:2011) Određivanje sadržaja proteina odredilo se množenjem dušika sa 6,25 (AOAC, 1990).



Slika 13. VarioMACRO elementarni analizator (Izvor: vlastiti izvor)

#### 4.5.3 Određivanje makro i mikro elemenata

Makro i mikro elementi u ovom radu određivali su se pomoću uređaja PerkinElmer, Atomic Absorption Spectrometer (model PinAAcle 500). Spektrometar radi na principu prikazanom na slici 14., gdje se podešava plamen na računalu spojenom na uređaj, a uzorak se stavlja u posudice koje se zatim stavljaju u spektrometar prema metodama (HRN EN ISO 16967:2015 i HRN EN 16968:2015).



Slika 14: Atomic Absorption Spectrometer (Izvor: vlastiti izvor)

## 5. Rezultati istraživanja

### 5.1. Rezultati sadržaja vode

Tablica 1. Sadržaj vode prije te nakon postupka rehidracije

Uzorak	Prirodni uzorci %	Rehidrirani uzorci %
OS 515	13.37±0.03	32,22±1.02
OS 596	15.65±0.06	32,05±1.09
OS Kulak	14.80±0.25	32,17±2.34
p	<b>&lt;0.05</b>	<b>&lt;0.05</b>

U tablici 1 se može vidjeti kako je svaki od hibrida imao različitu početnu vlagu. Tako je hibrid 596 imao najviši udio početne vlage, a hibrid 515 najmanji udio. Nakon postupka rehidracije rezultati su pokazali najveći postotak vlažnosti kod hibrida 515, a najmanji u hibrida 596. Rehidracija se vršila radi mogućnosti uspoređivanja svojstava unutar tri hibrida te provođenja kvalitetnijih analiza. Vjerojatnost pogreške je  $p < 0.05$ .

Hrgović (2007) ističe kako kukuruz svoju fiziološku zrelost stječe kada u zrnu ostane od 35 – 40 % vlage. No kao takav nije prikladan za berbu u zrnu koja je najčešće prisutna. Isti autor još navodi da za berbu kukuruza u zrnu najpogodnija je vlaga koja se kreće od 25 – 28 %. Gubitke u berbi kombajnom nemoguće je izbjeći, ali pri ovoj vlazi oni bi trebali biti najmanji. Za takvu namjenu i duže čuvanje zrno kukuruza treba osušiti na vlagu od 14%.

Tablica 2: Sadržaj vode nakon sušenja u fluidnom sloju i podtlačnim sušenjem

	OS 515	OS 596	OS KULAK	p
fluid 60°C	13.15±0.15	13.51±1.51	13.13±1.18	<b>&gt;0.05</b>
vakuum 60°C	12.60±0.54	13.50±1.52	14.12±0.48	
fluid 70°C	14.42±0.74	13.43±1.56	13.16±1.16	<b>&gt;0.05</b>
vakuum 70°C	13.51±0.09	13.74±1.35	14.40±0.28	
fluid 80°C	13.63±0.18	12.66±2.11	13.16±1.16	<b>&gt;0.05</b>
vakuum 80°C	14.17±0.56	11.50±2.93	13.12±1.19	

U tablici 2 uspoređivao se sadržaj vode nakon rehidracije uzoraka (tablica 1) sa osušenim uzorcima. Odstupanja početnih uzoraka od osušenih su minimalna iz razloga što su se rehidrirani uzorci sušili do ravnotežne vlažnosti zrna koja je u početnim uzorcima bila gotovo ista kao i ona u osušenima. Vjerojatnost pogreške je  $p > 0.05$ . Slične rezultate dobili su i Matin i sur., 2016 koji su u svom istraživanju dobili vlažnost zrna kukuruza oko 14%.

## 5.2 Rezultati fizikalnih svojstava

### 5.2.1. Rezultati dimenzija i sferičnosti

Tablica 3: Rezultati dimenzija i sferičnosti u prirodnim uzorcima

Prirodni uzorci					
	DUŽINA (cm)	ŠIRINA (cm)	DEBLJINA (cm)	SFERIČNOST	p
OS 515	12.27±1.00	8.42±0.80	5.26±0.86	0.66±0.05	<0.05
OS 596	13.87±0.95	8.67±0.82	4.41±0.24	0.58±0.03	<0.05
OS KULAK	11.93±1.28	8.70±0.62	5.53±0.98	0.70±0.10	<0.05

Iz tablice 3 može se vidjeti kako su najveću dužinu imala zrna hibrida 596, a hibrid Kulak najmanju. Međutim kod mjerenja širine, najvišu vrijednost je imao hibrid Kulak, a najmanju hibrid 515. Kod određivanja debljine, dimenzije hibrida Kulak su bile najveće, a u hibrida 596 najmanje. Time se može zaključiti da sva tri parametra dimenzija ovise o hibridu, te da najveća zrna i sferičnost ima hibrid Kulak što nam je bitno s aspekta dorade i skladištenja jer što je zrno pravilnijeg oblika lakše će se rukovati s njime. Vjerojatnost pogreške je  $p < 0.05$ .

Tablica 4. Rezultati dimenzija i sferičnosti hibrida nakon sušenja podtlakom

Osušeni vakuumom					
Uzorci		DUŽINA (cm)	ŠIRINA (cm)	DEBLJINA (cm)	SFERIČNOST
OS 515		11.17±0.78	7.66±0.54	4.79±0.33	0.66±0.05
OS 596	60°C	12.62±0.88	7.89±0.55	4.01±0.25	0.58±0.03
OS KULAK		10.86±0.76	7.92±0.55	5.03±0.35	0.70±0.10
OS 515		10.80±1.04	7.41±0.71	4.63±0.45	0.66±0.05
OS 596	70°C	12.21±1.18	7.63±0.74	3.88±0.37	0.58±0.03
OS KULAK		10.50±1.01	7.66±0.74	4.87±0.47	0.70±0.10
OS 515		10.52±1.24	7.22±0.85	4.51±0.53	0.66±0.05
OS 596	80°C	11.89±1.40	7.43±0.88	3.78±0.45	0.58±0.03
OS KULAK		10.23±1.21	7.46±0.88	4.74±0.56	0.70±0.10
p		>0.05	>0.05	>0.05	>0.05

Tablica 5: Rezultati dimenzija i sferičnosti hibrida nakon sušenja fluidnim slojem

Osušeni fluidnim slojem					
Uzorci		DUŽINA cm	ŠIRINA cm	DEBLJINA cm	SFERIČNOST
OS 515		11.04±0.87	7.58±0.60	4.73±0.37	0.66±0.67
OS 596	60°C	12.48±0.98	7.80±0.62	4.18±0.16	0.59±0.04
OS KULAK		10.74±0.84	7.83±0.62	4.98±0.39	0.70±0.09
OS 515		10.68±1.13	7.33±0.77	4.58±0.48	0.66±0.67
OS 596	70°C	10.86±2.13	6.78±1.33	3.64±0.38	0.59±0.04
OS KULAK		10.38±1.10	7.57±0.80	4.81±0.51	0.70±0.10
OS 515		10.43±1.30	7.16±0.89	4.47±0.56	0.66±0.67
OS 596	80°C	10.61±2.31	6.63±1.44	3.56±0.60	0.59±0.04
OS KULAK		10.14±1.27	7.40±0.92	4.70±0.59	0.70±0.10
p		>0.05	>0.05	>0.05	>0.05

Uzorci su bili sušeni na 60°C, 70°C i 80°C u fluidnom sloju i vakuum sušnici. Vidljivo je kako rast temperature signifikantno utječe na smanjenje dimenzija zrna. Uspoređujući hibride u tablicama 3, 4 i 5 najveću vrijednost dužine je imao hibrid 596, a širine i debljine hibrid Kulak.

Analizirajući tablice 4 i 5 vidljivo je kako su razlike u dimenzijama više na uzorcima osušenima fluidnim slojem. Iznimka se vidi kod hibrida 596 osušen na 60°C gdje je bila manja razlika u dimenzijama od uzoraka osušenih podtlakom. Iz tih rezultata se može zaključiti da je sušenje podtlakom znatno manje utjecalo na dimenzije hibrida.

Temeljom rezultata iz tablica još se iščitava da se porastom temperature smanjuju dimenzije uzoraka čime se zaključuje da se dimenzije povećavaju većim udjelom vlage u zrnu, a postupkom sušenja vlaga se smanjuje što također uzrokuje i smanjenje dimenzija zrna.

Izračunom sferičnosti zrna iz tablica se zaključilo da je metoda sušenja utjecala na sferičnost analiziranih zrna samo kod hibrida 596, gdje je nakon sušenja u fluidnom sloju iznosila 0,59, a nakon podtlačnog sušenja 0,58.

Matin i sur (2007) tvrde kako sferičnost raste s povećanjem temperature sušenja. To se može objasniti činjenicom da sušenjem na višoj temperaturi može promijeniti strukturu zrna. To se onda odražava na dimenziju jezgre zrna, a time i na njen volumen i sferičnost.

Uspoređujući razlike sferičnosti po hibridima, vidljivo je da vrsta hibrida signifikantno utječe na sferičnost, pa je tako u hibrida 596 sferičnost bila najniža, a u hibrida Kulak najviša. Vjerojatnost pogreške je  $p > 0.05$ .

Pri izračunavanju sferičnosti zrna Matin i sur.(2007.) utvrdili su da se vrijednosti sferičnosti u većini parametara razlikuju, osim između razina agrotehnike bez obzira na godinu, hibrid i termičke tretmane temperature, što dovodi do zaključka da agrotehnika ne utječe na veličinu sferičnosti zrna kukuruza. Međutim također navode da, ukoliko je zrno bilo prethodno podvrgnuto višoj temperaturi sušenja, dolazi do bržeg otpuštanja

vode iz zrna, čime može doći do mijenjanja njegove strukture, što se odražava na promjenu dimenzija zrna, a samim time i sferičnosti.

### 5.3 Rezultati hektolitarske mase

Grbeša (2016.) tvrdi da izrazito niske vrijednosti hektolitarske mase (< 62 kg/hl) upućuju na niži sadržaj škroba i ulja te caklavog endosperma. Hektolitarska masa je visoko nasljedno svojstvo ( $h = 0,75$ ) pa je pokazatelj potencijalnih razlika između hibrida u kemijskom sastavu i sadržaju energije u zrnju. Isto tako, hektolitarska je masa pokazatelj zrelosti, tvrdoće zrna i loma.

Tablica 6. Rezultati hektolitarske mase na početnim uzorcima

Hibrid	Hektolitarska masa kg/hl	p
OS 515	72.2 ± 0.13	<0.05
OS 596	74.8 ± 0.15	<0.05
OS KULAK	70.1 ± 0.25	<0.05

Tablica 7: Rezultati hektolitarske mase nakon sušenja u fluidnom sloju i podtlaknim sušenjem

HEKTOLITARSKA MASA kg/hl				
UZORCI	TEMPERATURA	FLUIDNI SLOJ	VAKUUM	p
OS 515	60°C	71.8±0.14	71.7±0.35	<0.05
OS 596		74.1±0.49	73.9±0.64	
OS KULAK		69.5±0.42	69.6±0.35	
OS 515	70°C	72.1±0.07	69.9±1.63	<0.05
OS 596		74.5±0.21	74.3±0.35	
OS KULAK		69.9±0.14	70.1±0.07	
OS 515	80°C	72.7±0.35	72.6±0.28	<0.05
OS 596		74.8±0.07	74.7±0.07	
OS KULAK		70.6±0.35	70.6±0.35	

Iz rezultata u tablicama 6 i 7 uočava se da se rezultati hektolitarske mase u osušenim uzorcima značajno razlikuju od početnih uzoraka. Tako se može vidjeti da je na početnim uzorcima hektolitarska masa viša od hektolitarske mase u uzorcima osušenima na 60°C. Međutim porastom temperature povećavala se i hektolitarska masa, stoga su uzorci osušeni na 80°C konkurirali početnim uzorcima. Napominje se da su početni i osušeni uzorci prije uzorkovanja imali vlagu od 13-14%. Može se zaključiti da porastom temperature sušenja raste i hektolitarska masa zrna.

Grbeša (2016.) još tvrdi da sušno i vruće vrijeme povisuje udjel caklavog endosperma, a vlažno i hladno vrijeme povisuje udjel brašnastog endosperma i tako smanjuje

hektolitarsku masu, a kroz rezultate svojih istraživanja zaključuje da je vrlo niska ili visoka hektolitarska masa dobar pokazatelj energetske vrijednosti zrna kukuruza.

## 6. Rezultati istraživanja kemijskih svojstava zrna

### 6.1 Sadržaj pepela

U tablici 8 prikazane su razlike pepela u početnim uzorcima i uzorcima osušenima podtlakom i fluidnim slojem. Početna vlaga svakog uzroka iznosila je 13%-14%. Analizom rezultata iz tablice 8 može se vidjeti kako su razlike pepela osušenih podtlakom unutar hibrida uzoraka signifikantne.

Tablica 8. Rezultati pepela u prirodnim i osušenim uzorcima u fluidnom sloju i podtlačnim sušenjem

Određivanje pepela		OS 515	OS 596	OS KULAK	p
Prirodni uzorci		1.74±0.02	1.74±0.07	1.80±0.03	<0,05
fluidni sloj	60°C	1.25±0.02	1.25±0.07	1.27±0.02	<0,05
vakuum		1.26±0.06	1.29±0.09	1.34±0.04	
fluidni sloj	70°C	1.16±0.04	1.20±0.10	1.18±0.03	<0,05
vakuum		1.21±0.05	1.18±0.04	1.23±0.03	
fluidni sloj	80°C	1.41±0.04	1.39±0.05	1.39±0.02	<0,05
vakuum		1.16±0.37	1.41±0.04	1.37±0.03	

Kod hibrida Kulak na 60°C i 70°C uočava se najviši udio pepela u odnosu na ostala dva hibrida. Međutim na 80°C hibrid Kulak ima nešto manje pepela u odnosu na hibrid 596. Kod hibrida 515 najviši udio pepela je imao na 60°C, dok je na višim temperaturama znatno opadao. U odnosu na rezultate hibrida 515, hibridu 596 se nije snizio pepeo bez obzira na višu temperaturu, stoga je na 70°C imao najniži udio pepela, a na 60°C i 80°C nešto viši udio pepela.

Analizom uzoraka početne vlage 13%, osušenih u fluidnom sloju, može se vidjeti nešto manje, ali signifikantne razlike pepela u odnosu na temperaturu. Hibrid Kulak je na 80°C imao najviši udio pepela, dok na 70°C najmanji. Kod hibrida 596 postotak pepela je također najviši na 80°C, međutim kao i kod uzorka Kulak, na 70°C udio pepela mu je najmanji. Hibrid 515 na 80°C ima najviši udio pepela u odnosu na ostala dva hibrida, međutim i njegov postotak pepela je najmanji na 70°C kao i kod ostala dva hibrida.

Jordanovski i sur. (1993) istraživali su kakvoću kemijskog sastava zrna kukuruza i zaključili da se ispitana zrna s kemijskim sastavima i hranjivom vrijednošću (gdje je pepeo iznosio 1,29%) u tim istraživanju mogu uspješno koristiti u hranidbi domaćih životinja ili u kombinaciji s drugim krmivima u krvnim smjesama.

Vranić i sur.(2021) citirajući Chamberlain i Wilkinson (1996.) tvrde da je pepeo izvor minerala koji nema energetska vrijednost, a njegov veći sadržaj u biljnom materijalu ukazuje na moguću kontaminaciju krme česticama i drugim nečistoćama, pa čak i patvorenje krmiva.

Veći sadržaj pepela smanjuje konzumaciju krme, probavljivosti vlakana te apsorpciju pojedinih minerala u gastrointestinalnom traktu životinja (Khan i sur., 2007, Vranić i sur., 2008).

Prateći te literaturne navode i analizirajući rezultate ovog istraživanja može se zaključiti da su uzorci kukuruza s nižim udjelom pepela najidealniji za krmnu industriju, dok kukuruz s višim udjelom pepela se može koristiti u svrhe primjerice biomase.

## 6.2 Sadržaj proteina i C, H, N, O, S

Tablica 9. Sadržaj proteina u prirodnim i osušenim uzorcima u fluidnom sloju i podtlačnim sušenjem

Proteini	60°C		70°C		80°C		Početni uzorci
Uzorak	fluidni sloj	vakuum	fluidni sloj	vakuum	fluidni sloj	vakuum	
515	6.753±0.006	6.814±0.006	6.815±0.001	6.881±0.002	6.884±0.002	6.942±0.002	6,97±0.02
596	6.631±0.005	6.814±0.002	6.813±0.004	6.813±0.002	7.061±0.002	7.064±0.003	7,13±0.01
KULAK	7.131±0.007	7.192±0.041	7.252±0.003	7.38±0.002	7.563±0.002	7.631±0.003	7,75±0.08
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

U ovom radu najviši udio proteina je imao hibrid Kulak, a najniži hibrid 596. Raspon proteina se kretao od najniže vrijednosti od 6.63% u uzorku 596 osušenom u fluidnom sloju, do najviše vrijednosti od 7.63% u uzorku Kulak osušenom u vakuumu. Iz tablice 9 može se zaključiti da proteini ovise o hibridu te o temperaturi sušenja. Uspoređujući osušene uzorke s početnim uzorcima može se vidjeti kako je udio proteina bio najviši u početnim uzorcima, dok je u osušenima bio najniži na temperaturi od 60°C.

Ako se kukuruz koristi u hranidbu stoke, Grbeša (2016) utvrđuje da, iako je kukuruz siromašan proteinom, zbog visokog prinosa i zbog visokog udjela u hrani on je najjeftiniji izvor nebitnih aminokiselina jer podmiruje 20% proteinskih potreba peradi, 30% potreba svinja i gotovo polovinu (50%) potreba junadi u tovu. Još navodi kako hibridi s višim sadržajem proteina dobar su i jeftin izvor nebitnih aminokiselina za sve vrste i kategorije životinja kada se primjereno nadopune sojinom sačmom ili drugim izvorom esencijalnih aminokiselina (lizina, triptofana i metionina).

Kod Jordanovskog i sur. (1993) rezultati istraživanja davali su veći udio proteina (9,07%) nego u ovom radu, međutim autori tvrde da je čak i taj postotak proteina u kukuruzu nešto manji u odnosu na podatke starijih istraživanja koje su autori koristili kao usporedbu sa svojim istraživanjem. Smatraju da razlika koja se javlja u kemijskom



sastavu i hranjivoj vrijednosti najvjerojatnije je rezultat primjenjivanih agrotehničkih mjera u proizvodnji kukuruza.

Tablica 10. Sadržaj CHNS početnim i osušenim uzorcima u fluidnom sloju i podtlačnim sušenjem

OS		60°C		70°C		80°C	
<b>515</b>							
Elem.	<b>fluidni sloj</b>	<b>vakuum</b>	<b>fluidni sloj</b>	<b>vakuum</b>	<b>fluidni sloj</b>	<b>vakuum</b>	
C	39.513±0.081	38.493±0.042	40.273±0.012	38.297±0.033	39.427±0.021	38.530±0.11	
H	6.633±0.011	6.254±0.004	6.929±0.004	6.615±0.003	6.730±0.004	6.514±0.002	
S	0.738±0.004	0.784±0.002	0.914±0.003	0.862±0.001	0.865±0.002	0.755±0.004	
O	52.032±0.084	53.376±0.051	50.791±0.071	53.123±0.042	51.88±0.012	53.093±0.112	
N	1.083±0.006	1.093±0.006	1.092±0.001	1.1003±0.002	1.100±0.002	1.107±0.002	
p	<b>&gt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>		
<b>OS 596</b>							
C	39.030±0.083	36.940±0.042	39.910±0.013	38.417±0.031	38.703±0.022	37.943±0.071	
H	6.726±0.003	6.353±0.003	6.900±0.012	6.636±0.003	6.645±0.012	6.455±0.004	
S	0.492±0.004	0.534±0.002	0.728±0.003	0.658±0.004	0.665±0.002	0.587±0.005	
O	52.689±0.071	55.087±0.041	51.371±0.022	53.196±0.034	52.87±0.031	53.880±0.061	
N	1.063±0.005	1.086±0.002	1.094±0.004	1.094±0.002	1.126±0.002	1.134±0.003	
p	<b>&gt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>		
<b>OS Kulak</b>							
C	38.160±0.041	37.710±0.023	39.153±0.031	38.143±0.022	38.157±0.032	37.740±0.071	
H	6.767±0.004	6.35±0.021	6.828±0.003	6.620±0.006	6.635±0.005	6.364±0.006	
S	0.530±0.004	0.589±0.002	0.715±0.003	0.633±0.002	0.671±0.002	0.610±0.002	
O	53.404±0.032	54.197±0.034	52.141±0.041	53.422±0.024	53.33±0.043	54.068±0.082	
N	1.139±0.007	1.155±0.004	1.162±0.003	1.181±0.002	1.207±0.002	1.218±0.003	
p	<b>&lt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>		
<b>Početni uzorci</b>							
Elem.	<b>OS 515</b>		<b>OS 596</b>		<b>OS Kulak</b>		
Ugljik	41.402±0.142		41.719±0.071		40.009±0.251		
Sumpor	0.853±0.007		0.601±0.013		0.621±0.006		
Vodik	6.5108±0.022		6.535±0.022		6.523±0.005		
Kisik	50.123±0.134		50.009±0.073		51.606±0.245		
Dušik	1.114±0.004		1.136±0.025		1.241±0.014		
p	<b>&lt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>		

Uspoređujući početne sastave elemenata u uzorku 515 iz tablice 10 može se vidjeti da je početni uzorak imao više vrijednosti ugljika u odnosu na rezultate elemenata u osušenom uzorku. Najviši udio ugljika je hibrid imao na temperaturi od 70°C osušen fluidnim slojem, dok je najmanji udio imao na 60°C osušen podtlakom. Iz tablice se može još vidjeti da je hibrid osušen fluidnim slojem imao veće udjele ugljika u odnosu na uzorke osušene vakuumom.

Što se tiče vodika, uspoređujući udio vodika u početnim uzorcima s osušenim uzorcima hibrida 515, vidi se kako je vodik u početnim uzorcima nešto veći samo od osušenog uzorka na 60°C podtlakom. Ostale metode i temperature rezultirale su višim

udjelom vodika unutar osušenog hibrida 515 u usporedbi s početnim uzorcima. Najviši udio vodika je rezultiralo fluidnim sušenjem pod temperaturom od 70°C. Kao i za ugljik, hibrid 515 je najveće rezultate vodika imao na uzorcima osušenima fluidnim slojem.

Sumpor se u osušenim uzorcima hibrida 515 također razlikuje u odnosu na početne uzorke. Najviše sumpora rezultiralo je sušenjem u fluidnom sloju na 70°C, a najmanje sušenjem u fluidnom sloju na 60°C. Za razliku od ugljika i vodika, sumpor nije bio pod tolikim utjecajem metode sušenja jer je sumpor najvišeg i najmanjeg udjela rezultirao jedno te istom metodom sušenja (fluidnim slojem). Međutim, uspoređujući temperaturu od 70°C i 80°C može se vidjeti da je udio sumpora nešto viši u uzorcima osušenima u fluidnom sloju, u odnosu na uzorke osušene u vakuumu gdje je udio sumpora niži.

Kod kisika, uspoređujući početne uzorke s osušenima može se vidjeti da su obje metode sušenja rezultirale porastom kisika. Najviše kisika su imali uzorci osušeni podtlakom na 60°C. Zanimljivosti ovih rezultata su što se sušenjem u podtlaku kisik povisivao s nižom temperaturom, dok se u fluidnom sloju kisik povisivao s višom temperaturom.

Uspoređujući uzorke hibrida 596 iz tablice 10 s početnim uzorcima, može se vidjeti da je ugljik u početnim uzorcima bio veći u odnosu na osušene uzorke. Najviši udio ugljika imali su uzorci osušeni fluidnim slojem, ponajviše na 70°C, a najniži udio imali su uzorci osušeni podtlakom na 60°C.

Što se tiče vodika, početni uzorci su imali niži udio samo u odnosu na osušenim uzorcima podtlakom na 60°C. Ostale metode i temperature su imale viši udio vodika u odnosu na početne uzorke. Usporedbom metoda, može se vidjeti da je sušenje fluidnim slojem rezultiralo najvišim udjelom vodika.

Sumpor u osušenim uzorcima bio je niži na temperaturi od 60°C sušenjem objema metodama. Porastom temperature sumpor se povisio, a najviše sumpora je rezultiralo sušenje u fluidnom sloju na 70°C. Tako se zaključuje da su najviše sumpora imali uzorci sušeni fluidnim slojem na 70°C i 80°C, a najmanje uzorci sušeni fluidnim slojem na 60°C.

Kod kisika može se vidjeti da su obje metode sušenja rezultirale porastom kisika. Najviše kisika su imali uzorci osušeni podtlakom na 60°C. U ovim rezultatima najmanje vrijednosti kisika su dale obje metode na temperaturi od 70°C.

Uspoređujući udio ugljika u uzorcima Kulak, kao i u prethodna dva hibrida, ugljik se snizio, odnosno udio ugljika je nešto veći u početnim uzorcima. Sušenjem u fluidnom sloju udio ugljika je također i u ovom hibridu bio viši u odnosu na sušenje podtlakom. Najvišu udio ugljika rezultiralo je sušenje fluidnim slojem na 70°C, isto kao i kod prethodna dva hibrida.

Što se tiče vodika, početni uzorci imaju viši udio vodika uspoređujemo li ju sa uzorcima osušenima vakuumom na 60°C. Ostale metode i temperature rezultirale su višim udjelom vodika od onog u početnim uzorcima. Najviši udio vodika se može vidjeti u uzorcima osušenima fluidnim slojem na 70°C.

Sumpor je u osušenim uzorcima na 70°C i 80°C imao veći ili približno isti udio sumpora kao i kod početnih uzoraka. Iznimka se može vidjeti na udjelu sumpora u uzorcima osušenima na 60°C gdje su obje metode iznijele niži udio sumpora od onog u početnim uzorcima. Najviši udio sumpora se rezultirao sušenjem u fluidnom sloju na 70°C.

Kod kisika, vrijednosti se mogu očitati kao i kod prethodna dva hibrida gdje je sušenjem kisik rezultirao većem udjelu u usporedbi s udjelom u početnim uzorcima. Najviši udio kisika su imali uzorci osušeni podtlakom na 60°C, a najmanji udio kisika su imali uzorci osušeni fluidnim slojem na 70°C. Međutim, ovaj hibrid se razlikuje od prethodna dva hibrida jer udio kisika u ovom hibridu nije varirao porastom ili smanjenjem temperature kao što je to bio slučaj kod ostala dva hibrida. Kod hibrida 515 su vrijednosti kisika redosljedno varirale samo ovisno o metodi.

### 6.3 Sadržaj makro i mikro elemenata u uzorcima

Tablica 11. Udio makro i mikro elemenata u početnim uzorcima

Element	početno		
	OS 515	OS 596	OS KULAK
Ca	12.12±0.01	10.18±0.02	11.34±0.01
K	3569±1.63	3700±1.69	4004±1.41
Mg	98.33±0.01	99.23±0.01	102.3±0.16
Na	21.25±0.04	23.56±0.01	24.22±0.008
Co	1.253±0.001	1.247±0.002	1.257±0.001
Cu	12.13±0.01	13.23±0.01	12.49±0.22
Mn	4.226±0.004	4.314±0.001	4.453±0.002
Ni	13.46±0.03	14.25±0.04	15.23±0.02
Zn	21.29±0.02	23.28±0.02	22.16±0.01
p	<0.05	<0.05	<0.05

Tablica 12. Udio makro i mikro elemenata u uzorku 515 u fluidnom sloju i podtlačnim sušenjem

OS 515		60°C		70°C		80°C	
Elem.	fluidni sloj	vakuum	fluidni sloj	vakuum	fluidni sloj	vakuum	
Ca	3.35±0.004	8.562±0.005	3.25±0.005	8.62±0.09	3.41±0.004	8.55±0.001	
K	3124±1.69	3519±3.55	3135±1.24	3234±0.02	3256±2.05	3240±0.18	
Mg	80.17±0.024	98.41±0.17	79.72±0.07	96.25±0.08	78.4±0.03	102.5±0.24	
Na	10.54±0.01	23.24±0.02	11.22±0.008	24.17±0.02	11.15±0.02	25.28±0.05	
Co	0.438±0.002	1.286±0.001	0.432±0.002	1.363±0.001	0.378±0.002	1.368±0.002	
Cu	2.137±0.011	5.433±0.001	2.236±0.011	5.553±0.001	2.274±0.002	5.563±0.002	
Mn	1.154±0.002	3.252±0.001	1.027±0.002	3.266±0.003	1.177±0.003	3.279±0.001	
Ni	11.35±0.121	15.23±0.021	9.254±0.002	17.28±0.02	8.977±0.002	23.43±0.014	
Zn	11.27±0.04	21.26±0.04	15.26±0.04	19.36±0.11	13.95±0.05	18.44±0.02	
p	<b>&lt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>		

Tablica 13. Udio makro i mikro elemenata u uzorku 596 u fluidnom sloju i podtlačnim sušenjem

OS 596		60°C		70°C		80°C	
Element	fluidni sloj	vakuum	fluidni sloj	vakuum	fluidni sloj	vakuum	
Ca	2.566±0.003	9.786±0.001	2.617±0.001	9.883±0.001	2.715±0.002	9.826±0.001	
K	3526±0.49	3948±0.16	3214±0.14	3975±0.26	3269±0.28	3941±0.25	
Mg	85.3±0.06	105.8±0.12	82.27±0.03	101.7±0.016	83.58±0.47	112.5±0.08	
Na	18.25±0.04	29.31±0.03	15.45±0.02	31.3±0.03	13.24±0.02	32.28±0.05	
Co	0.253±0.001	1.423±0.001	0.274±0.002	1.444±0.001	0.267±0.009	1.454±0.001	
Cu	4.256±0.004	8.035±0.001	4.565±0.003	8.042±0.001	5.324±0.003	8.069±0.002	
Mn	1.064±0.006	3.335±0.001	1.256±0.004	3.874±0.002	1.956±0.004	3.924±0.002	
Ni	10.38±0.02	14.23±0.06	9.88±0.008	17.63±0.03	11.82±0.029	22.17±0.03	
Zn	11.27±0.07	19.95±0.07	14.89±0.01	19.29±0.05	12.33±0.07	17.4±0.13	
p	<b>&lt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>		

Tablica 14. Udio makro i mikro elemenata u uzorku Kulak u fluidnom sloju i podtlačnim sušenjem

OS KULAK						
Element	60°C		70°C		80°C	
	fluidni sloj	vakuum	fluidni sloj	vakuum	fluidni sloj	vakuum
Ca	4.017±0.003	10.15±0.008	4.126±0.001	10.22±0.01	4.213±0.001	10.64±0.06
K	3515±0.81	4017±0.55	3591±1.24	4025±2.49	3771±0.47	4032±0.81
Mg	71.32±0.05	108.7±0.16	69.42±0.16	106.7±0.16	67.76±0.02	116.8±0.08
Na	14.23±0.02	28.26±0.04	14.58±0.01	29.17±0.02	16.27±0.03	29.24±0.02
Co	0.563±0.002	1.627±0.002	0.622±0.004	1.646±0.003	0.633±0.008	1.663±0.001
Cu	3.254±0.002	10.26±0.04	3.239±0.002	10.5±0.04	3.335±0.001	10.68±0.11
Mn	1.116±0.001	4.014±0.001	1.026±0.001	4.128±0.002	1.035±0.004	4.215±0.002
Ni	10.15±0.01	15.34±0.02	9.364±0.002	17.37±0.03	10.59±0.002	27.42±0.05
Zn	10.71±0.01	18.6±0.04	14.56±0.04	20.09±0.02	13.58±0.10	16.89±0.01
p	<b>&lt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>		<b>&lt;0.05</b>	

Uspoređujući makro i mikro elemente unutar tri osušena uzoraka hibrida s početnim uzorcima može se vidjeti da elementi dosta ovise o vrsti hibrida, temperaturi i metodi sušenja.

Glede metode sušenja u fluidnom sloju može se vidjeti da se udio Ca (kalcij) unutar uzoraka uvelike snizio, dok glede metoda sušenja vakuumom, udio Ca je bio niži u odnosu na početne uzorke, ali viši u odnosu na sušenje fluidnim slojem.

Kod udjela K (kalija) u uzorcima u fluidnom sloju se vidi nešto manji udio dok kod sušenja vakuumom je rezultiralo višim udjelom. Uspoređujući udjele K u osušanim uzorcima s udjelima K u početnim uzorcima, početni uzorci su imali signifikantno više udjela kalija.

Mg (magnezij) je unutar uzoraka osušenih fluidnim slojem rezultirao nižim udjelom u odnosu na početne uzorke. Dok su analize uzoraka osušenih podtlakom rezultirale višim udjelom magnezija od početnih uzoraka. Na i Ni su imali isti princip kao i magnezij, gdje je podtlak uvelike povisio udio natrija unutar uzoraka, a fluidni sloj ga je snizio.

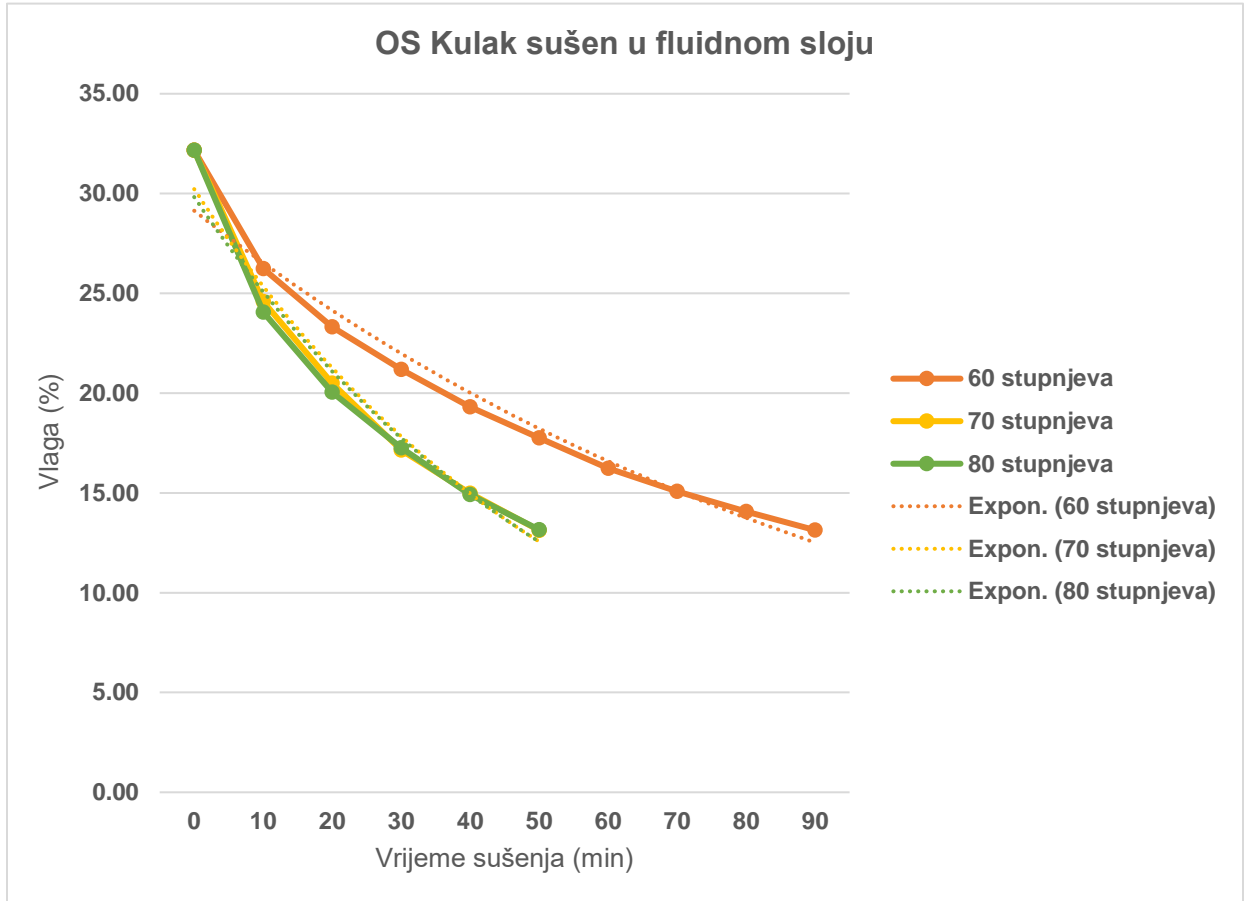
Kod elementa Co (kobalt), u uzorcima osušenima fluidnim slojem se iz tablica 12,13 i 14 može vidjeti signifikantna razlika u odnosu na početne uzorke, dok su uzorci osušeni podtlakom rezultirali blagim porastom Co, u odnosu na početne uzorke.

Udio Cu (bakra) i Zn (cinka) su u obje metode rezultirali nižoj vrijednosti od one u početnim uzorcima iz tablice 11.

Mn (mangan) je kod sušenja u fluidnom sloju rezultirao nižim udjelom od onih uzoraka osušenih u vakuumu. Uspoređujući te parametre s početnima, obje metode su rezultirale nižim Mn udjelima.

## 7. Rezultati istraživanja metoda sušenja

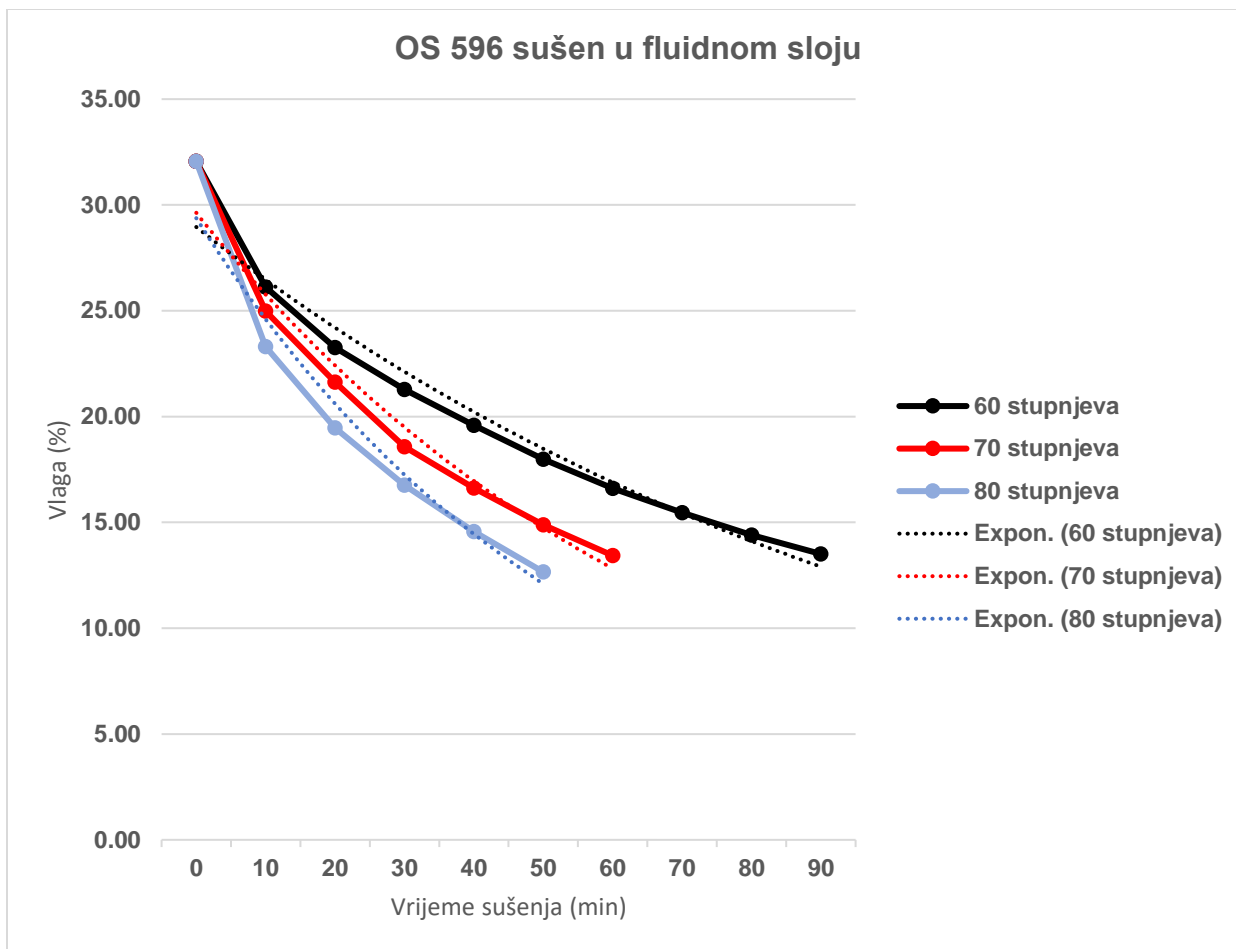
### 7.1 Rezultati sušenja u fluidnom sloju



Dijagram 1: OS Kulak sušen na 60°, 70° i 80°C u fluidnom sloju

U ovom dijagramu može se vidjeti da je udio temperature sušenja znatno utjecao na vrijeme sušenja u ovoj metodi. Najviše se to moglo vidjeti na 60°C gdje je vodi unutar zrna trebalo 90 minuta da se spusti do ravnotežnog udjela vlage.

Za ovaj hibrid se može zaključiti da metoda sušenja u fluidnom sloju za dobivanje ravnotežnog postotka vlage je najviše trajala na temperaturi od 60°C, a najmanje na temperaturama od 70°C i 80°C.



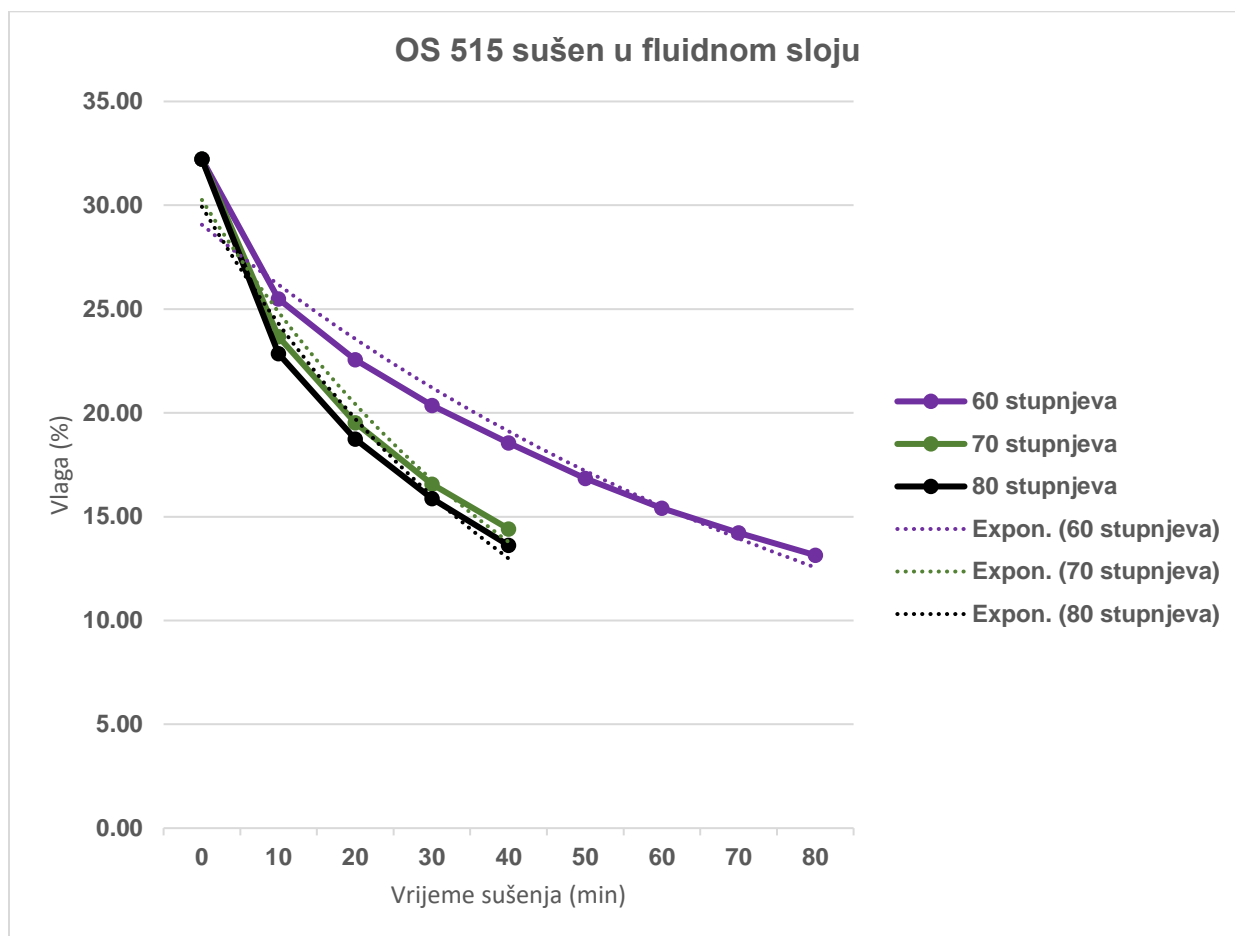
Dijagram 2: OS 596 sušen na 60°, 70° i 80°C u fluidnom sloju

U dijagramu 2 može se također vidjeti da je temperatura sušenja utjecala na vrijeme sušenja uzoraka.

Može se vidjeti da je kao i na prethodnom hibridu, ovaj hibrid također trebao 90 minuta na 60°C kako bi dosegao ravnotežni udio vlage u uzorku.

Međutim hibridu 596 je na 70°C trebalo oko 60 minuta da dosegne uravnoteženu vlagu, dok je na 80°C trebalo isto vrijeme sušenja kao i prethodni hibrid Kulak.

Za hibrid 596 može se zaključiti da metoda sušenja u fluidnom sloju je znatno utjecala na vrijeme i temperaturu sušenja.



Dijagram 3: OS 515 sušen na 60°, 70° i 80°C u fluidnom sloju

Kod ovog hibrida može se vidjeti da je temperatura sušenja također utjecala na vrijeme sušenja.

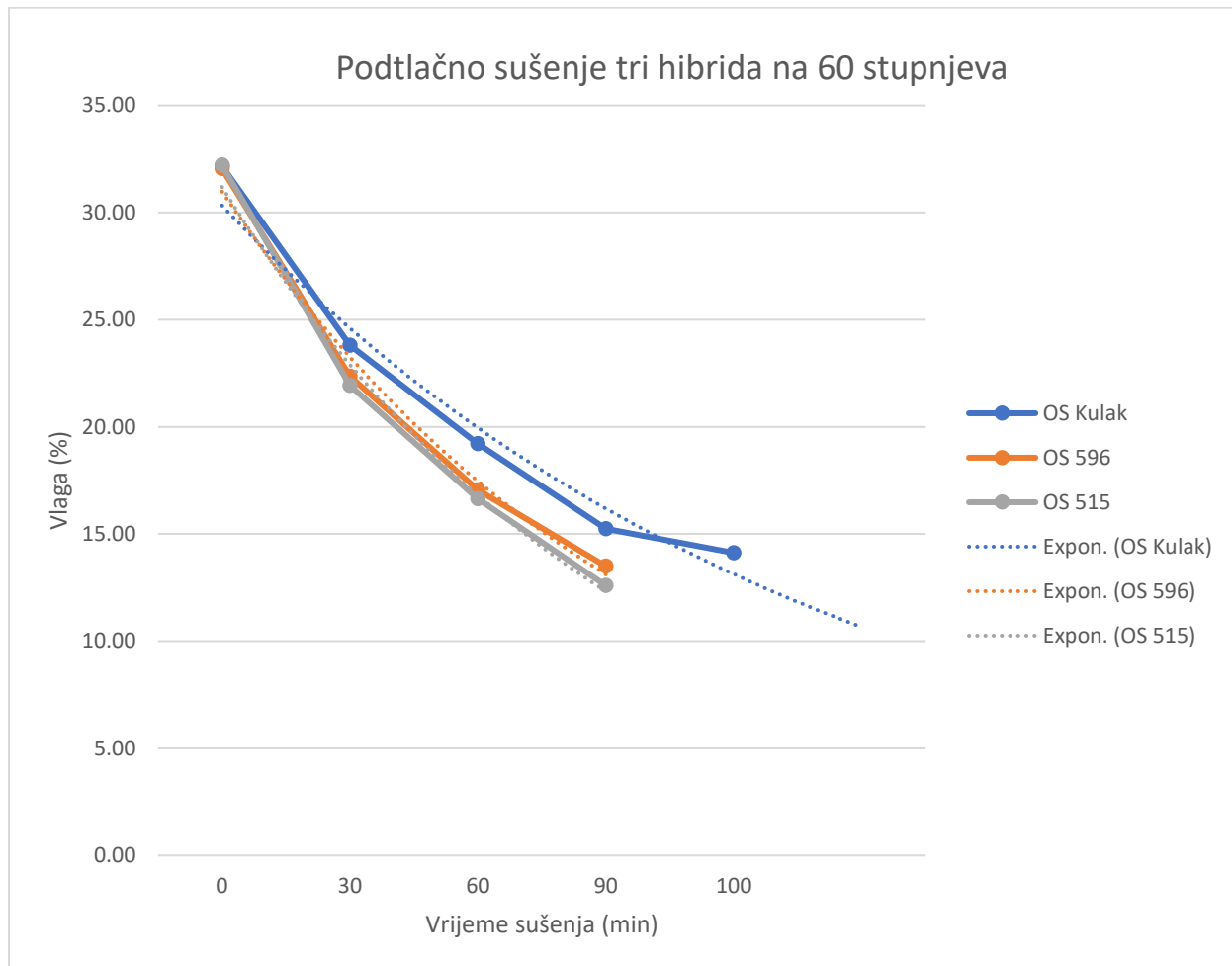
Međutim, u dijagramu 3 može se vidjeti da je hibridu 515 trebalo nešto kraće vrijeme sušenja u odnosu na ostala dva hibrida.

Slijedeći krivulju sušenja hibrida 515 na 60°C trebalo je najduže vrijeme sušenja kako bi se dosegao uravnotežen udio vlage u uzorku, što je slično kao i sa ostala dva uzorka, međutim kod temperatura od 70 i 80°C hibridu je također trebalo nešto kraće vrijeme sušenja do uravnotežene vlažnosti u odnosu na prva dva hibrida.

Može se zaključiti da je hibrid 515 sušenjem fluidnim slojem dao rezultate najbržeg sušenja u odnosu na hibride 596 i Kulak.



## 7.2 Rezultati podtlačnog sušenja

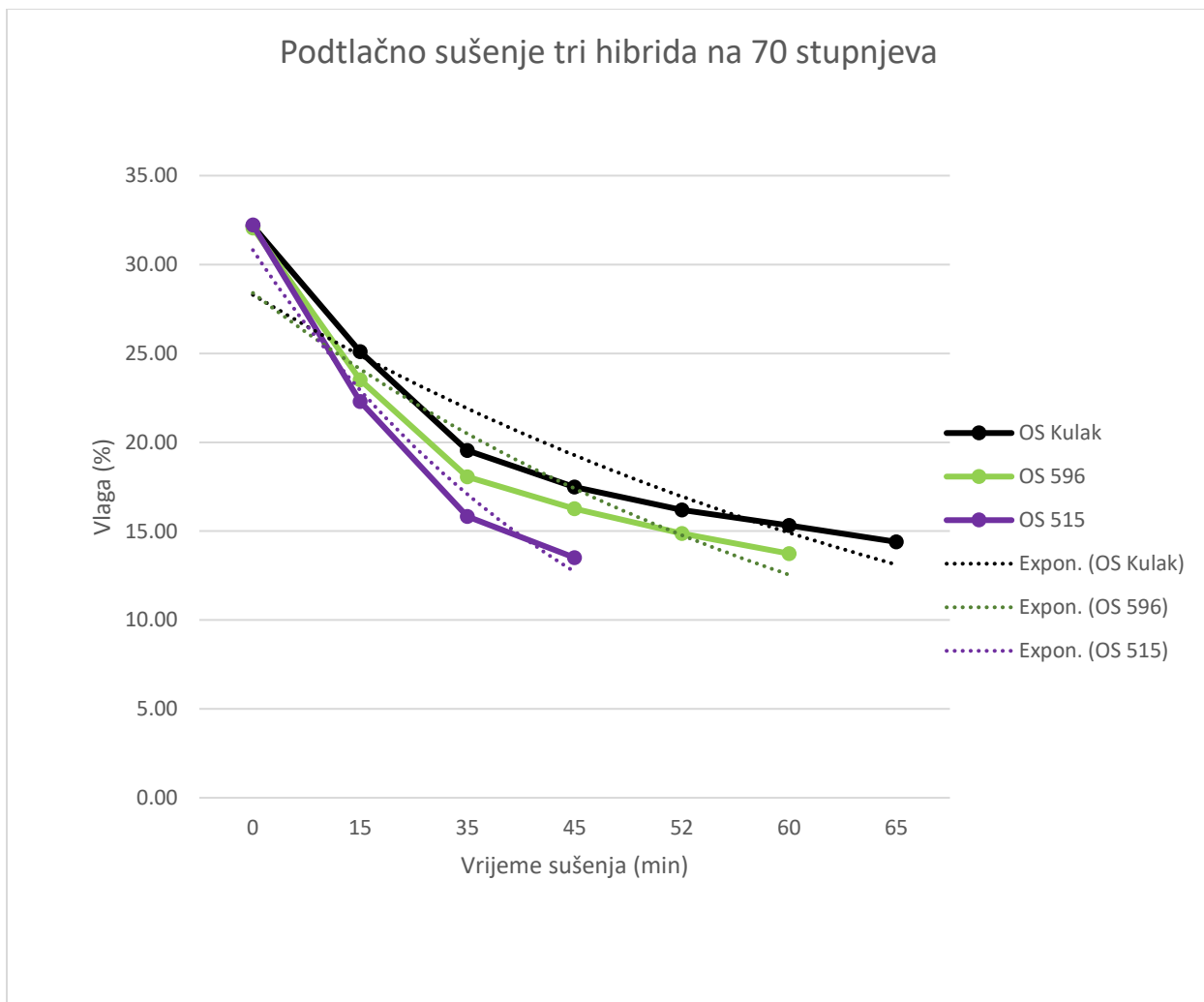


Dijagramu 4: OS Kulak, OS 596 i OS 515 osušeni na 60°C

U ovom i sljedećim dijagramima uspoređuju se tri hibrida osušena na tri različite temperature podtlačno.

Analiziranjem dijagrama 4 može se vidjeti kako je hibrid Kulak trebao najduže vrijeme sušenja do ravnotežne vlažnosti u odnosu na hibride 596 i 515 između kojih je razlika u vremenu sušenja minimalna.

Ovim činjenicama može se zaključiti da je podtlačno sušenje na 60°C bolje za hibride 596 i 515 što se tiče brzine sušenja do ravnotežne vlažnosti za razliku od hibrida Kulak kojemu je trebalo duže vrijeme sušenja.



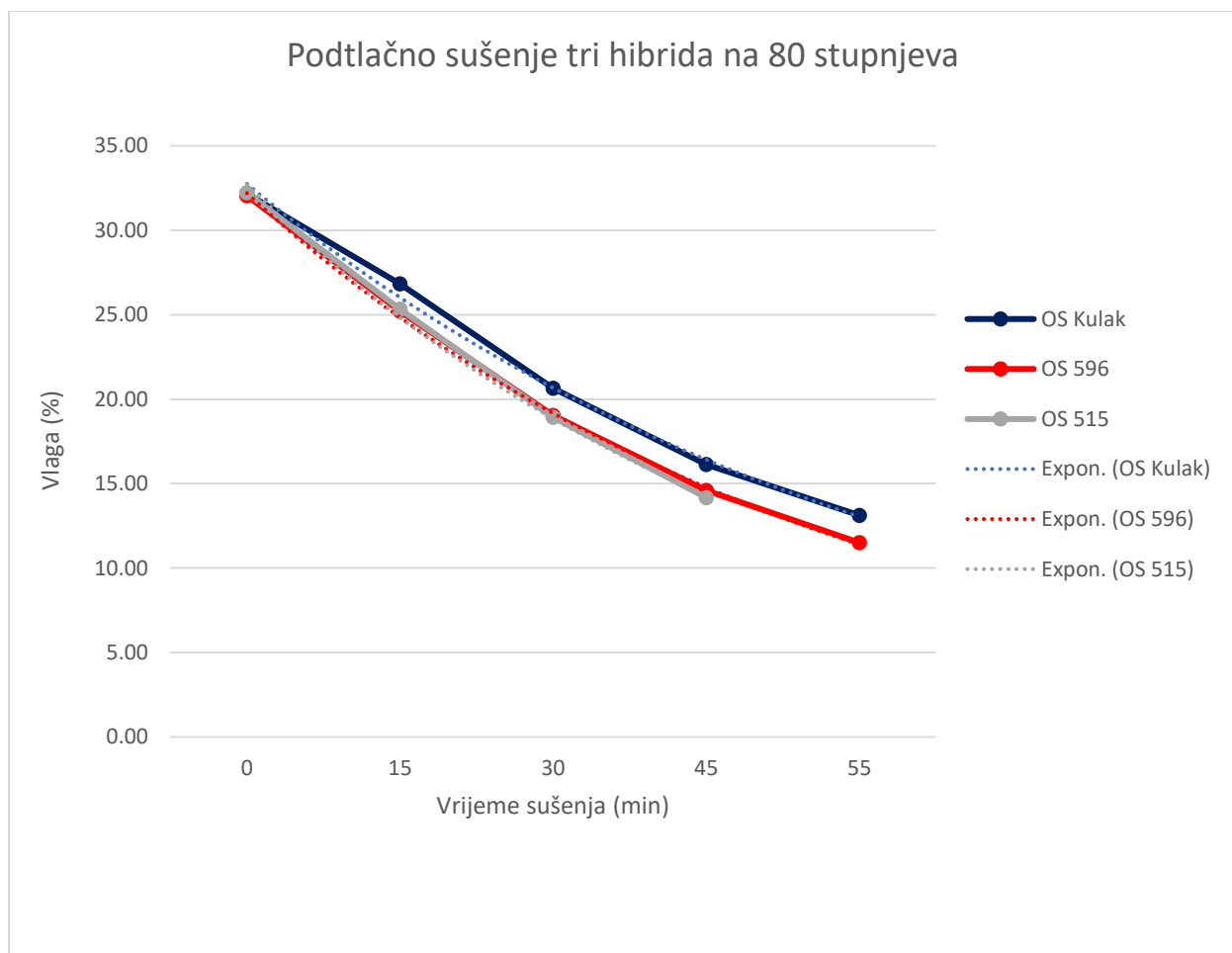
Dijagram 5: OS Kulak, OS 596 i OS 515 osušeni na 70°C

Gledajući dijagram 5 može se jasno vidjeti kako vrsta hibrida utječe na dužinu vremena sušenja.

Naime, hibridu Kulak je do ravnotežne vlažnosti trebalo duže vrijeme sušenja u odnosu na hibrid 515 koji je trebao kraće vrijeme sušenja.

Hibridu 596 je trebalo nešto duže vrijeme sušenja od hibrida 515, stoga se može zaključiti da je za podtlačno sušenje na 70°C hibrid 515 pokazao najbolje rezultate.

Uspoređujući pak graf 4 s grafom 5 može se zaključiti da vrsta hibrida i temperatura sušenja znatno utječu na vrijeme sušenja sva tri hibrida.



Dijagram 6: OS Kulak, OS 596 i OS 515 osušeni na 80°C

Analizirajući dijagram 6 može se analizirati hibrid 515 koji se opet ističe u odnosu na ostala dva hibrida. Unatoč istoj početnoj vlažnosti, hibridi 596 i Kulak su trebali dulje vrijeme sušenja za razliku od hibrida 515.

Na dalje, gledajući hibride može se vidjeti kako su hibrid kulak i hibrid 596 dostigli isto vrijeme sušenja, međutim gubljenje vlage je u hibrida 596 bio nešto veći u odnosu na hibrid Kulak. Istom linijom je išao i hibrid 515, međutim njegova se vlaga smanjivala znatno brže.

Uspoređujući ovaj graf s prethodna dva grafa podtlačnog sušenja može se također zaključiti da vrsta hibrida i temperatura znatno utječu na brzinu sušenja.

### 7.3 Konstanta otpuštanja vode

Tablica 15: Eksponecijalne jednadžbe osušenih uzoraka:

Hibrid	Metoda i temp.	Eksponecijalna jednadžba	R <sup>2</sup>
OS KULAK	Fluidni sloj 60°C	$y = 32.006e^{-0.094x}$	R <sup>2</sup> = 0.9761
	Fluidni sloj 70°C	$y = 36.027e^{-0.176x}$	R <sup>2</sup> = 0.9822
	Fluidni sloj 80°C	$y = 35.454e^{-0.173x}$	R <sup>2</sup> = 0.9756
	Vakuum 60°C	$y = 37.396e^{-0.209x}$	R <sup>2</sup> = 0.967
	Vakuum 70°C	$y = 32.16e^{-0.128x}$	R <sup>2</sup> = 0.901
	Vakuum 80°C	$y = 41.236e^{-0.23x}$	R <sup>2</sup> = 0.997
OS 596	Fluidni sloj 60°C	$y = 31.68e^{-0.09x}$	R <sup>2</sup> = 0.9735
	Fluidni sloj 70°C	$y = 34.07e^{-0.14x}$	R <sup>2</sup> = 0.9761
	Fluidni sloj 80°C	$y = 35.077e^{-0.177x}$	R <sup>2</sup> = 0.9705
	Vakuum 60°C	$y = 41.264e^{-0.287x}$	R <sup>2</sup> = 0.9901
	Vakuum 70°C	$y = 33.439e^{-0.163x}$	R <sup>2</sup> = 0.9141
	Vakuum 80°C	$y = 41.759e^{-0.26x}$	R <sup>2</sup> = 0.9992
OS 515	Fluidni sloj 60°C	$y = 32.274e^{-0.105x}$	R <sup>2</sup> = 0.9723
	Fluidni sloj 70°C	$y = 36.83e^{-0.197x}$	R <sup>2</sup> = 0.9733
	Fluidni sloj 80°C	$y = 36.87e^{-0.209x}$	R <sup>2</sup> = 0.9685
	Vakuum 60°C	$y = 42.509e^{-0.309x}$	R <sup>2</sup> = 0.9928
	Vakuum 70°C	$y = 41.387e^{-0.295x}$	R <sup>2</sup> = 0.9726
	Vakuum 80°C	$y = 43.08e^{-0.276x}$	R <sup>2</sup> = 0.998

Legenda: y=vlaga sjemenki, x=vrijeme otpuštanja vode iz sjemenki, R<sup>2</sup>=koeficijent determinacije

U svrhu lakše usporedbe otpuštanja vode iz uzoraka, u tablici 15 analizirale su se vrijednosti brzine otpuštanja vode do ravnotežne vlažnosti. Slijedom eksponecijalnih jednadžbi utvrđen je koeficijent determinacije koji se kretao između 0,90 i 0,99. Analizirajući rezultate koeficijenata može se zaključiti da su dobiveni rezultati međusobno usporedivi te da su analize otpuštanja vode iz ploda vođena precizno.

U praksi je često nemoguće izbjeći istovremeno sušenje različitih sorata i zrna sa različitim vlagama. Hibridi se međusobno razlikuju u brzini otpuštanja vode iz zrna. Iz tog razloga prilikom jednofaznog sušenja na konačnu vlagu pojavljuje se presušivanje pojedinih zrna, a neka ostaju vlažna i preko dozvoljenih granica (Katić, 1997). Temeljem analiza ovog istraživanja, zaključci rezultata se također vode tim literaturnim činjenicama.

## 8. Zaključak

Temeljem vlastitih istraživanja fizikalnih i kemijskih svojstava kukuruza tri hibrida OS Kulak, OS 596 i OS 515 koji su se sušili u fluidnom sloju i podtlačno dobiveno je:

1. Porastom temperature povećava se udio pepela ovisno o vrsti hibrida koja se suši. Viši udio pepela dobiven je podtlačnim sušenjem.
2. Povišenjem temperature povećava se udio proteina. Viši udio proteina u hibridima dobiven je podtlačnim sušenjem.
3. Povišenjem temperature porasla je i hektolitarska masa zrna. Veći udio hektolitarske mase dobiven je sušenjem u fluidnom sloju.
4. Najviši udio ugljika, sumpora i vodika dobiven je u uzorcima osušanima u fluidnom sloju, dok je najviši udio kisika u uzorcima dobiven podtlačnim sušenjem.
5. Udio temperature je uvelike utjecao na vrijeme sušenja svih hibrida, a posebice hibrida Kulak. Za hibrid Kulak sušenje u fluidnom sloju je pogodnije što se tiče brzine sušenja.
6. Kod hibrida 596 sušenjem u fluidnom sloju vidjelo se da se povećanjem temperature uvelike smanjivalo vrijeme sušenja.
7. Kod hibrida 515 sušenje u obje metode je trajalo najkraće u odnosu na hibrid Kulak i hibrid 596. To potvrđuje činjenicu da vrsta hibrida također može utjecati na vrijeme sušenja zrna do ravnotežne vlažnosti. Sušenje hibrida 515 u fluidnom sloju je bolje.
8. Analizirajući makro i mikro elemente može se zaključiti da se podtlačnim sušenjem više isplati sušiti uzorke hibrida kukuruza ukoliko se kukuruz koristi ili prerađuje u svrhe potreba viših sadržaja Mg, Na, Co, Ni elemenata unutar zrna. Također i ako je u svrhu manjeg gubitka Ca, K, Mn, Zn elemenata, podtlačno sušenje je isplativije u usporedbi sa sušenjem u fluidnom sloju.

## 9. Literatura

1. Akpınar E.K., Bicer, Y. (2005). Modeling of the drying of eggplants in thin layer. *International Journal of Food Science and Technology* 40: 273–281.
2. Arevalo-Pinedo A., Murr F. E. X. (2006): Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): Modeling with shrinkage. *Journal of Food Engineering*, 76 562–567.
3. Chamberlain, A.T, Wilkinson, J.M.,(1996): *Feeding the Dairy Cow*. Chalcombe Publication, Painshall, Ln2 3LT. UK
4. Cohen, J. S., Yang, T. C. (1995). Progress in food dehydration. *Trends in Food Science & Technology*, 6(1), 20-25.
5. Doymaz, İ. (2008). Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(5), 914-919.
6. Gagro, M., (1997): *Žitarice i zrnate mahunarke*, Prosvjeta d.d. Bjelovar
7. Grbeša D: (2008). *Bc hibridi kukuruza u hranidbi životinja*, Bc Institut za oplemenjivanje i proizvodnju bilja d.d., Zagreb, Hrvatska, 2008.
8. Grbeša, D., (2016): *Hranidbena svojstva kukuruza*, Bc Institut d.d., Rugvica, Dugoselska 7, 10370 Dugo Selo, 10000 Zagreb, Hrvatska
9. Hoffman, P., Penička, M., Fort, I.(2017): Effect of Fluidized Bed Stirring on Drying Process of Adhesive Particles, *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 31 (1) 1-10, Prague
10. Hrgović, S. (2007): *Osnove agrotehnike proizvodnje kukuruza (Zea mays)*, *Glasnik zaštite bilja* 3/2007, str. 48-61, Pregledni rad
11. Hulina, N. (2011.): *Više biljke – stablašice. Sistematika i gospodarsko značenje*. Golden marketing-Tehnička knjiga, Zagreb.
12. Jakobović, J. (2018): *Sušenje kukuruza direktnom sušarom "Seting" Delnice*, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek/Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Diplomski rad, pristup 20.09.2022.
13. Jordanovski, N., Sotirova Vidosava, Georgievski, S.,(1993): *Kemijski sastav i hranjiva vrijednost nekih krmiva u Republici Makedoniji*, *Krmiva* 35 (1993), Zagreb, 4, 179-182, Izvorni znanstveni članak – pristup 26.09.2022.
14. Katić, Z. (1997). *Sušenje i sušare u poljoprivredi*, Multigraf, Zagreb.
15. Khan, Z.I., Ashraf, M., Hussain, A.(2007): Evaluation of Macro Contents of Forages: Influence of Pasture and Seasonal Variation. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 20,6:908-913
16. Klarić, D. (2015): *Uvećanje sušionika s fluidiziranim slojem*, University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology/Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Diplomski rad, pristup 20.09.2022.

17. Kovačević, V., Rastija, M. (2009.): Osnove proizvodnje žitarica (interna skripta), Poljoprivredni fakultet Osijek, Osijek
18. Kovačević, V., Rastija, M. (2014.): Žitarice udžbenik, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet, Osijek
19. Krička, T. (1993): Utjecaj perforiranja perikarpa pšena kukuruza na brzinu sušenja konvekcijom, Agronomski fakultet, Doktorska disertacija, Zagreb
20. Landeka, V. (2017): Ultrazvukom potpomognuto sušenje buče u vakuum sušari, : University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Diplomski rad, pristup 20.09.2022.
21. Marelja, M., Dujmić, F., Ježek, D., Škegro, M., Bosiljkov, T., Karlović, S., Lasić, M., Brnčić, M. (2020): Vakuum sušenje u prehrambenoj industriji, Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition vol.15(3-4), Zagreb
22. Matin, A. (2013): Kvalitativne promjene lješnjaka u procesu kondukcijskog sušenja, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
23. Matin, A., Krička, T., Jurišić, V., Voća, N., Antolović, A., Bilandžija, N., Grubor, M., Miličević, I. (2016): Iskoristivost biomase kukuruza za proizvodnju toplinske energije, Opatija, str. 489-492, znanstveni rad
24. Matin, A., Krička, T., Voća, N., Jukić, Ž., Janušić, V. (2007): Impact of Drying on Dimensions of Corn Kernel Grown at Different Agrotechnological Levels, Agriculture Conspectus Scientificus, Vo. 72 (2007) No.3(205-209), Original scientific paper
25. Matin, A., Majdak, T., Grubor, M., Vuković, J., Krička, T. (2018). Release of water by convective drying from rapeseed at different temperatures. Poljoprivreda, 24(2), 50-56.
26. Medvecki, A., (2015): AGROTEHNIKA UZGOJA KUKURUZA KOKIČARA (Zea mays Everta Sturt.), SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU, POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU, Diplomski rad, Osijek
27. Mirzaee, E., Rafiee, S., Keyhani, A., & Emam-Djomeh, Z. (2009). Determining of moisture diffusivity and activation energy in drying of apricots. Research in Agricultural Engineering, 55(3), 114-120.
28. Mudrinić, S. (2012.): Eksperimentalno istraživanje sušenja zrnatih materijala u fluidiziranom sloju, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, doktorska disertacija, pristup 20.09.2022.
29. Planinić, M., Aliakbarian, B., Perego, P., Greganić, K., Tomas, S. (2015): Influence of Temperature and Drying Time on Extraction Yield of Phenolic Compounds from Grape Pomace Variety "Portogizac", Chem. Biochem. Eng. Q., 29(3) 343-350, Osijek, Hrvatska, Genoa, Italija
30. Pospišil, A., (2010): Ratarstvo I dio, Zrinski d.d. Čakovec.

31. Radan, Z. (2016.): Adaptibilnost hibrida kukuruza u različitim megaekolinama, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, doktorska disertacija, pristup 20.09.2022.
32. Rapčan, I., (2014): Bilinogojstvo – Sistematika, morfologija i agroekologija važnijih ratarskih kultura, Poljoprivredni fakultet Osijek
33. Sabo, G. (2022.): Runilica za kukuruz, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Završni rad, pristup 20.09.2022.
34. Sarapa, A. (2019): Utjecaj temperature sušenja na energetska svojstva ljuske pistacija, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb
35. Skender, A., Knežević, M., Đurkić, M., Martinčić, J., Guberac, V., Kristek, A., Stjepanović, M., Bukvić, G., Matotan, Z., Šilješ, I., Ivezić, M., Raspudić, E., Horvat, D., Jurković, D., Kalinović, I., Šamota, D. (1998.): Sjemenje i plodovi poljoprivrednih kultura i korova na području Hrvatske. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek
36. Šikić, I., (2019): Uzgoj kukuruza na OPG-u "Milan Petrić" Ivankovo u 2018. godini, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Osijek - pristup: 30.09.2022.
37. Širanović, Š. (2018.): Agrotehnika kukuruza (*Zea mays* L.) na OPG-u "Anica Širanović" tijekom 2014. i 2015. godine, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of agriculture / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet, diplomski rad, pristup 20.09.2022.
38. Tomas, I. (2017.): Ispitivanje kakvoće zrna kukuruza uzgojenog uz dodatak korisnih mikroorganizama, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Diplomski rad, pristup 20.09.2022.
39. Vranić, M., Bošnjak, K., Nekić, M., Papac, M., Lukšić, B., Puček Pintiće, N., Babić, A., Vranić, I. (2021): Kemijski sastav fermentirane krme poluprirodnog travnjaka silirane uz dodatak mljevenog zrna kukuruza, Izvorni znanstveni članak, STOČARSTVO 75:2021 (1-2) 43-52
40. Vranić, M., Knežević, M., Perčulija, G., Matić, I., Turčin, D., (2008): Utjecaj dodatka kukuruzne silazne travnoj silazi različitih rokova košnje na ad libitum konzumaciju obroka. Mljekarstvo, 58 (1): 69-84
41. <https://www.behance.net/gallery/13665729/Corn-Plant-Root-Systems>
42. <https://www.agroportal.hr/ratarstvo/25625>
43. <https://postcardpress.ru/ru/botanical-illustrations/3735-botanical-illustration-corn.html>



44. <http://m.hr.cofpack.com/info/advantages-disadvantages-of-fluid-bed-dryer-36638859.html> - pristup 28.8.2022.
45. <https://www.retsch.com/products/assisting/dryer/function-features/> - pristup 28.8.2022.
46. <https://www.pfeuffer.com/product/granomat-plus>

## Popis slika, tablica i grafova:

Dijagram 1: OS Kulak sušen na 60°, 70° i 80°C u fluidnom sloju:

Dijagram 2: OS 596 sušen na 60°, 70° i 80°C u fluidnom sloju:

Dijagram 3: OS 515 sušen na 60°, 70° i 80°C u fluidnom sloju:

Dijagram 4: OS Kulak, OS 596 i OS 515 osušeni na 60°C

Dijagram 5: OS Kulak, OS 596 i OS 515 osušeni na 70°C

Dijagram 6: OS Kulak, OS 596 i OS 515 osušeni na 80°C

Slika 1: Korijen kukuruza

Slika 2: Stabljika kukuruza

Slika 3: Listovi kukuruza

Slika 4: Muški i ženski reproduktivni organi

Slika 5: Zrno kukuruza

Slika 6. Laboratorijska sušnica

Slika 7. Rehidrirani uzorci

Slika 8. Sušenje zrna kukuruza u Retsch TG 200 sušnici

Slika 9. Sušenje zrna kukuruza u Memmert vO101 vakuum sušnici

Slika 10. Mjerenje dužine, širine i debljine pomoću šublera

Slika 11. Granomat V1.0

Slika 12. Mufolna peć Nabertherm B170

Slika 13. VarioMACRO elementarni analizator

Slika 14: Atomic Absorption Spectrometer

Tablica 1. Sadržaj vode prije te nakon postupka rehidracije

Tablica 2. Sadržaj vode nakon sušenja dviju metoda

Tablica 3. Rezultati dimenzija i sferičnosti u prirodnim uzorcima

Tablica 4. Rezultati dimenzija i sferičnosti hibrida nakon sušenja podtlakom

Tablica 5. Rezultati dimenzija i sferičnosti hibrida nakon sušenja fluidnim slojem

Tablica 6. Rezultati hektolitarske mase na početnim uzorcima

Tablica 7. Rezultati hektolitarske mase nakon sušenja

Tablica 8. Rezultati pepela u prirodnim i osušanim uzorcima

Tablica 9. Sadržaj proteina u prirodnim i osušanim uzorcima

Tablica 10. Sadržaj CHNS početnim i osušanim uzorcima

Tablica 11. Udio makro i mikro elemenata u početnim uzorcima

Tablica 12. Udio makro i mikro elemenata u uzorku 515

Tablica 13. Udio makro i mikro elemenata u uzorku 596

Tablica 14. Udio makro i mikro elemenata u uzorku Kulak

Tablica 15. Eksponencijalne jednadžbe osušanih uzoraka

## **ŽIVOTOPIS**

Ivana Bošnjak rođena je 10. prosinca 1998. godine u Zagrebu. Pohađala je osnovnu školu Sesevetska Sela, a srednju Prehrambeno-tehnološku školu završila je u Zagrebu. Nakon 4 godine srednje škole završava kao prehrambeni tehničar i upisuje Poljoprivrednu tehniku na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Preddiplomski studij završila je 2020. godine, a zatim upisuje diplomski studij Poljoprivredna tehnika – Mehanizacija na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.