

Usporedba nutritivnog sastava zrna kukuruza primjenom različitih tretmana sušenja

Pucko, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:204:681214>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-09**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**USPOREDBA NUTRITIVNOG SASTAVA ZRNA
KUKURUZA PRIMJENOM RAZLIČITIH TRETMANA
SUŠENJA**

DIPLOMSKI RAD

Filip Pucko

Zagreb, rujan, 2024.
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:

Poljoprivredna tehnika - Mehanizacija

**USPOREDBA NUTRITIVNOG SASTAVA ZRNA
KUKURUZA PRIMJENOM RAZLIČITIH TRETMANA
SUŠENJA**

DIPLOMSKI RAD

Filip Pucko

Mentor:

izv.prof. dr.sc. Ana Matin

Zagreb, rujan, 2024.
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Filip Pucko**, JMBAG 0178122032, rođen/a 10.06.2000. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

USPOREDBA NUTRITIVNOG SASTAVA ZRNA KUKURUZA PRIMJENOM RAZLIČITIH
TRETMANA SUŠENJA

Svojim potpisom jamčim:

- da sam 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 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 **Filipa Pucka**, JMBAG 0178122032, naslova

USPOREDBA NUTRITIVNOG SASTAVA ZRNA KUKURUZA PRIMJENOM RAZLIČITIH
TRETMANA SUŠENJA

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

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

2. prof.dr.sc. Neven Voća član

3. izv.prof.dr.sc Igor Kovačev član

Zahvala

Ovime zahvaljujem svojoj mentorici na povjerenju i podršci prilikom provođenja ovog istraživanja i izrade diplomskog rada. Također želim zahvaliti na razumijevanju i strpljenju, kao i na svim idejama, poticajima i prenesenom znanju.

Nadalje želim zahvaliti asistentici Ivani na pomoći u laboratoriju te strpljenju i trudu prilikom svih izazova i dilema tijekom istraživanja i izrade rada.

Zahvaljujem svojoj obitelji koja me podržavala kroz cijelo školovanje. Od cijele obitelji najviše moram zahvaliti majci Mireli koja je uvijek nesebično prihvatila pružiti mi pomoć u svakom izazovu i poteškoći na koju sam naišao tijekom školovanja. Neizostavna osoba ove zahvale, koja nažalost više nije sa nama, nedvojbeno je moj djed Stanko. On me je svojom ljubavlju prema poljoprivredi usmjerio da izaberem agronomiju kao svoje životno zvanje te mi pružio pregršt znanja o mojoj budućoj struci.

1. Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1.Cilj rada.....	2
2.Pregled literature	3
2.1. Povijest i značaj kukuruza kao kulturne biljke	3
2.2. Morfologija i fiziologija kukuruza.....	4
2.3. Sorte kukuruza.....	5
2.4. Sjemenski kukuruz.....	6
3. Sušenje poljoprivrednih proizvoda	7
3.1. Podtlačno (vakuumsko) sušenje	8
3.2. Sušenje u fluidnom sloju	8
3.3. Najnovija istraživanja i budući trendovi sušenja žitarica.....	9
3.4. Sušenje sjemenskog kukuruza.....	9
4.Materijali i metode.....	11
4.1.Određivanje sadržaja vode	11
4.2.Rehidracija uzoraka	11
4.3.Sušenje uzoraka	12
4.3.1.Sušenje u fluidnom sloju.....	12
4.3.2.Podtlačno sušenje	12
4.4.Određivanje nutritivnog sastava	13
4.4.1. Određivanje proteina, C, H, N, O, S	13
4.4.2.Određivanje ukupnih masti.....	14
4.4.3.Određivanje ukupnog škroba	14
5.Rezultati istraživanja	15
5.1.Sadržaj vode	15
5.1.1.Sušenje u fluidnom sloju.....	16
5.1.2.Sušenje u vakuumu	18
5.1.3.Konstanta otpuštanja vode	20
5.2.Sadržaj proteina, C, H, N, O, S.....	21
5.3.Sadržaj masti	27
5.4.Sadržaj škroba	28
6.Zaključak	30

8. Popis tablica, slika i grafikona	35
Životopis	36

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Filipa Pucka**, naslova

USPOREDBA NUTRITIVNOG SASTAVA ZRNA KUKURUZA PRIMJENOM RAZLIČITIH TRETMANA SUŠENJA

Kukuruz je jedna od gospodarski najvažnijih poljoprivrednih kultura. Zbog svoje sposobnosti prilagodbe i razvoja mnogobrojnih varijacija raširena je u cijelom svijetu. Svi dijelovi kukuruza mogu se iskoristiti u industriji hrane za ljude i životinje te mnogim drugim gospodarskim granama. Sušenje je bitan dio proizvodnje kukuruza jer direktno utječe na klijavost kod sjemenskog kukuruza te kvalitetu i očuvanje hranjivih tvari zrna kukuruza namijenjenog za konzumaciju ili daljnju preradu. U ovom radu opisuje se sastav različitih hibrida/sorata kukuruza, odnosno novi hibridni kukuruz uspoređuje se sa starim sortama bijelog i crvenog kukuruza, pod utjecajem tretmana sušenja u fluidnom sloju u fluidnoj sušnici te podtlačnim sušenjem u vakuumskoj sušnici pri temperaturama od 70°C, 80°C i 90°C i tlaku od 500 mbara do vlažnosti zrna od 14%. Prije i nakon procesa sušenja provedene su analize nutritivnog sastava odnosno određen je udio vlage, škroba, proteina i masti u zrnu.

Ključne riječi: kukuruz, sušenje u fluidnom sloju, vakuumsko sušenje, nutritivni sastav

Summary

Of the master's thesis - student **Filip Pucko**, entitled

COMPARISON OF THE NUTRITIONAL COMPOSITION OF GRAIN CORN UNDER DIFFERENT DRYING TREATMENTS

Corn (*Zea mays*) is one of the economically most important crops. Due to its ability to adapt and develop numerous variations, it is wide spread throughout the world. All parts of the corn plant can be used in the human and animal food industry and many other economic branches. The process of drying is an important part of corn production because it directly affects the germination of seed corn as well as the quality and the preservation of nutrients of corn intended for consumption or further processing. In this paper the composition of different hybrids/varieties of corn is described, that is, new hybrid corn is compared with old varieties of white and red corn, under the influence of fluid bed drying in a fluid bed dryer and vacuum drying in a vacuum dryer at temperatures of 70°C, 80°C and 90°C and a pressure of 500mb up to a grain moisture content of 14%. Before and after the drying treatment analyses were carried out, that is, the content of moisture, starch, protein and fat in the grain was determined.

Keywords: corn, fluid bed drying, vacuum drying, nutritional composition

1. Uvod

Kukuruz (*Zea mays*), jednogodišnja biljka iz porodice *Poaceae* (trave), jedna je od gospodarski najvažnijih i najviše proučavanih kulturnih biljaka u svijetu. Zbog svojih sposobnosti adaptacije i varijacije, može se prilagoditi svakom podneblju i različitim uvjetima uzgoja. Porijeklom je iz Srednje Amerike, a u Europu je donesena krajem 15. ili početkom 16. stoljeća, dok je u Hrvatsku stigla u 16. stoljeću.

FAOSTAT (2023.) navodi kako proizvodnja kukuruza u svijetu premašuje milijardu tona godišnje na oko 200 milijuna hektara površina. U preradi je moguće koristiti gotovo sve dijelove kukuruza te se danas proizvodi više od 500 različitih proizvoda od kukuruza. U proizvodnji stočne hrane kukuruz je vrlo koristan zbog velike količine nutrijenata (ugljikohidrata, bjelančevina, ulja, mineralnih tvari, vitamina, celuloze itd.). Osim za prehranu ljudi i životinja, kukuruz se koristi i u drugim industrijskim granama, poput proizvodnje goriva, alkohola, plastike, građevinskog materijala, eksploziva, gume, keramike, tekstila, ali i kao dekorativna i ljekovita biljka. Dio kukuruza koji se uzgaja za zrno otpada na silažu i slične namjene zelene mase. Na upotrebu odnosno namjenu kukuruza utječe regija proizvodnje i njezine potrebe i mogućnosti. Brkić (2023.) navodi podatak kako se u SAD-u 2017. godine 43,9% proizvedenog kukuruza koristilo za stočnu hranu, 56% za ljudsku prehranu, etanol i industrijsku upotrebu, a samo 0,2% odnosilo se na proizvodnju sjemenskog materijala.

Rast svjetske populacije, socioekonomske i geopolitičke prilike te promjene u klimatskim i meteorološkim uvjetima uzgoja, kao i sve veći zahtjevi tržišta za povećanjem kvantitete, ali i kvalitete u proizvodnji kukuruza dovode do potrebe za prilagodbom proizvodnih i logističkih procesa te optimizacijom proizvodnje, ali i stvaranjem otpornijih biljaka i kvalitetnijeg ploda. Nove tehnologije i automatizacija temelj su optimizacije procesa proizvodnje odnosno uzgoja, transporta i skladištenja, tj. obuhvaćaju segmente radne snage, prostora, strojeva i opreme, a bitan dio je i sirovina, odnosno sjemenski materijal. Cilj je poboljšanje kvalitete, brzine i učinkovitosti proizvodnje, održivost, smanjenje negativnih utjecaja na okoliš te smanjenje troškova, oštećenja i gubitaka u svakom segmentu procesa (Brandić i sur., 2024.).

Osim standardnog žutog kukuruza, postoje i sorte bijelog i crvenog kukuruza i sve su one u odnosu na hibride kvalitetnijeg zrna, bogatijeg nutrijentima, osim što bijeli kukuruz ne sadrži β -karoten. S druge strane, hibridi su rezultat istraživanja, ciljane selekcije genetskih osobina koje su poželjne za što uspješniju, lakšu i profitabilniju proizvodnju. Otpornost na štetnike, bolesti i nepogodne vremenske prilike poput suše posebni su izazovi s kojima je potrebno suočiti se kako bi proizvodnja kukuruza bila što sigurnija i uspješnija (Bažok i sur., 2011.; Kozumplik i sur., 2004.).

Pravilno sušenje kukuruza osnovni je preduvjet za očuvanje kvalitete kukuruza bez obzira radi li se o kukuruzu za upotrebu i daljnju preradu ili o sjemenskom materijalu čija kvaliteta je osnovni preduvjet za daljnju uspješnu proizvodnju kukuruza (Matin i sur., 2023.; Matin i sur., 2024.). Berba kukuruza obično se vrši kod sadržaja vlage zrna između 25 i 35%, a

kako bi se sjeme moglo kvalitetno očuvati, sadržaj vlage potrebno je sušenjem smanjiti na 14%. Sušenje se može vršiti u klipu ili u zrnu, a najčešća metoda sušenja je konvekcijsko sušenje, međutim u posljednje vrijeme koriste se i podtlačno (vakuumsko) sušenje te sušenje u fluidnom tankom sloju.

1.1.Cilj rada

Cilj ovog diplomskog rada je usporediti nutritivna svojstva zrna kukuruza primjenom istih temperatura, ali različitih načina i vremena sušenja, odnosno nove hibride kukuruza usporediti sa starima sortama bijelog i crvenog. Temeljem dobivenih rezultata utvrdit će se koji je način sušenja bolji za očuvanje nutritivnih svojstava te koji je način sušenja energetski učinkovitiji.

2. Pregled literature

2.1. Povijest i značaj kukuruza kao kulturne biljke

Postoji više različitih istraživanja o podrijetlu kukuruza. Pretpostavka je da je domestikacija kukuruza započela prije 6000 - 9000 godina na teritoriju današnjeg Meksika. Ljudi su tada bili više u dodiru s prirodom i intuitivno su dolazili do mnogih inovativnih rješenja kako bi održali i pospješili uzgoj usjeva, npr. naizmjenično korištenje održivih polja (*milpa*) kod Maya, vodeni vrtovi (*chinampa*) kod Azteca i terase (*terrazza*) kod Inca. Domestikacija je proces udomaćivanja ili pripitomljavanja od svojih divljih predaka do modernog kukuruza kakav postoji danas, a sve s ciljem kako bi pomoću selekcije poželjnih gena i osobina služio različitim ljudskim potrebama (Brkić, 2023.). Prema istraživanjima Matsuoke i sur. (2002.) domestikacija kukuruza započela je u južnom Meksiku prije 9000 godina iz podvrste *Zea mays parviglumis* i širila se dalje prema Sjedinjenim Američkim Državama, Kanadi, Gvatemali i Južnoj Americi.

Krajem 15. stoljeća kukuruz je unesen u Europu, no u samom početku služio je kao ukrasna biljka, a tek kasnije se počeo koristiti kao ratarski usjev.

Prema podacima za razdoblje od 2008. do 2021. godine u proizvodnji kukuruza prednjače Sjedinjene Američke Države s 34% i Kina s 22% ukupne svjetske proizvodnje kukuruza. Hrvatska se prema istim podacima nalazi na 41. mjestu s 0,2% svjetske proizvodnje kukuruza. dok je u Europi na 13., a u Europskoj Uniji na 10. mjestu (Brkić, 2023.). Po količini proizvodnje, jedina ratarska kultura koja premašuje proizvodnju kukuruza, i to skoro dvostruko, je šećerna trska. Iza kukuruza po količini proizvodnje slijede redom riža, pšenica, krumpir, soja i dr. (Brkić, 2023.).

U posljednjih 40 godina količina proizvedenog kukuruza u svijetu se utrostručila, a preduvjeti za to bili su poboljšani uvjeti proizvodnje, primjena novih agrotehničkih mjera, kao i razvoj genetike i postupaka oplemenjivanja kukuruza. Cijena merkantilnog kukuruza varira od godine do godine ovisno o aktualnim gospodarskim prilikama. Uslijed globalnih političkih, javnozdravstvenih i socioekonomskih poremećaja cijena kukuruza je znatno porasla od 2020. godine do danas.

Od sredine 20. stoljeća sve se više govori o očuvanju biološke raznolikosti i potrebi konzervacije biljnih genetičkih izvora (germplazme) za što je bitno istražiti podrijetlo i pravce širenja određenih sorti kukuruza kroz povijest.

Na genetički modificiranim biljkama intenzivno se vrše istraživanja u SAD-u od 1980-ih godina. U početku se to smatralo neprirodnim i etički neprihvatljivim, no danas se u SAD-u prostire na 90% površina, dok je u Europi genetički modificiran kukuruz još uvijek velikim dijelom zabranjen (Brkić, 2023.).

2.2. Morfologija i fiziologija kukuruza

Kukuruz je jednogodišnja kultura koja pripada kritosjemenjačama jednosupnicama. Jednodomna je biljka, tj. ima ženske i muške spolne organe koji se ne nalaze u istom cvijetu, već su razdvojeni. Kukuruz ima čvrstu stabljiku čija visina može doseći i nekoliko metara (Cetinkaya i sur., 2020.).

Glavni dijelovi kukuruza su korijen, stabljika, list, metlica i klip:

- korijen se većim dijelom nalazi u oraničnom sloju tla od 30 cm, a može prodrijeti i do nekoliko metara u dubinu; obuhvaća primarno korijenje koje se razvija prilikom klijanja (klicin korjenčić, bočno klicino korijenje i mezokotilno korijenje) te sekundarno korijenje (podzemno nodijalno i nadzemno nodijalno ili zračno korijenje).
- stabljika kukuruza je robusna, čvrsta i glatka, sastoji se od nodija i internodija te je najčešće visoka 1 - 4 metra.
- prvi list koji se na početku rasta biljke probija iz tla zove se klicin listić, a pravi listovi rastu iz nodija stabljike naizmjenice spiralno, njihov broj ovisi o tipu germplazme, a dijelovi lista su rukavac, plojka i jezičak. Listovi komušine rastu iz nodija klipne drške i funkcija im je štititi klip od vanjskih utjecaja, a istovremeno onemogućuju i spontano širenje sjemena.
- metlica je muški cvat koji se nalazi na vrhu biljke, a sastoji se od grančica koje sadrže peludna zrna. Osnovna zadaća metlice je osigurati pelud za oplodnju. U odgovarajućim uvjetima jedna metlica proizvede 14 - 18 milijuna peludnih zrna.
- klip je ženski cvat kukuruza koji se nalazi u pazušcu jednog od središnjih listova, a sastoji se od oklaska na kojem su ženski cvjetovi u uparenim klasićima. Glavni dio ženskog cvijeta je tučak s plodnicom i svilom. Do oplodnje dolazi kada peludno zrnce dođe na svilu i dalje do plodnice. Pomoću svake niti nastaje jedan plod, tj. zrno. Omjer zrna i oklaska kod merkantilnog hibrida kukuruza iznosi 80 –90 : 10 – 20 (Brkić, 2023.).

Zrno kukuruza je jednosjemeni plod koji se sastoji od omotača, endosperma i klice. Omotač je tvrd i funkcija mu je zaštita unutrašnjosti zrna od vanjskih utjecaja. Endosperm obuhvaća preko 80% suhe tvari zrna i glavni je izvor ugljikohidrata (škroba). Klica je živi dio zrna koji je nositelj genetičkih informacija, enzima, vitamina i minerala za razvoj biljke. Nutritivna vrijednost suhe tvari zrna kukuruza iznosi 365 kJ, a sadrži 74,3 g ugljikohidrata, 10,4 g vode, 9,4 g bjelanjčevina, 4,7 g masti i ulja te 1,2 g minerala (Agriculture Handbook, 1989.). Zrno kukuruza bogato je makro- i mikronutrijentima poput fosfora, kalija, magnezija, kalcija, željeza, cinka, folata te vitaminima A (β -karoten), C, E, K, B, aminokiselinama kao i brojnim drugim vrijednim spojevima (García-Lara i Serna-Saldivar, 2019.).

2.3. Sorte kukuruza

Rod kukuruza *Zea* obuhvaća kukuruz i teozinta, a vrstu unutar tog roda kojoj pripada kukuruz, *Zea mays*, opisao je i tim nazivom nazvao Linne, 1753. godine. Od podvrsta najrasprostranjeniji su zuban (*Zea mays indentata*) i tvrdunac (*Zea mays indurata*).

Podvrste unutar vrste *Zea mays* temeljem oblika i strukture zrna su:

- *Zea mays indentata* - zuban
- *Zea mays semiindentata* - poluzuban
- *Zea mays indurata* - tvrdunac
- *Zea mays saccharata* - šećerac
- *Zea may samylacea* - mekunac
- *Zea mays amylosaccharata* - škrobni šećerac
- *Zea mays everta* - kokičar
- *Zea mays ceratina* - voštani kukuruz
- *Zea mays tunicata* – pljevičar (Brkić, 2023.).

Umjetnom selekcijom moguće je eliminirati gene koji imaju negativan utjecaj na prinos i proizvodnju kukuruza, a birati gene koji će biti produktivniji. Tako je nastao velik broj sorti, ali povećanjem količina proizvedenog kukuruza same sorte više nisu od primarnog gospodarskog značaja, već su to hibridi. Hibridi mogu biti međusortni ili međulinijski. Međulinijski hibridi (križanci) mogu biti dvolinijski, trolinijski ili četverolinijski. Osim kvalitete, visokog prinosa i dobre tolerancije na bolesti, željene karakteristike sjemenskog materijala su i stabilnost na svim tipovima zemljišta, otpornost na polijeganje i lom stabljike, otpornost na sušu, brz početni rast, dobro razvijen korijenov sustav itd. (Cooper i sur., 2014.).

Komercijalno oplemenjivanje kukuruza započelo je 1930-ih godina sve većim uvođenjem hibrida u Sjedinjenim Američkim Državama, a onda i drugdje u svijetu. Cilj oplemenjivanja kukuruza je unutar skupine od početnog materijala stvoriti *inbred* linije dobrih kombinacijskih sposobnosti koje će biti roditeljske komponente hibridima. Razvoj komercijalnih hibrida traje 7 - 10 godina i poprilično je skup i složen proces koji uključuje odabir početnih populacija ili izvora, pripremu površina za pokusna i selekcijska polja, osiguravanje samooplodnje i testiranja, angažman djelatnika za sezonski rad u polju itd. U Hrvatskoj ispitivanja u sortnoj komisiji traju dvije godine te ako prijavljeni hibrid po prinosu i vlazi bude bolji od standard u istoj skupini, tada se on unosi na sortnu listu što znači da se može pustiti u proizvodnju i distribuciju. Hrvatsko tržište raspolaže trenutno s više od 300 hibrida kukuruza različitih sjemenskih kuća, a odabir se vrši u skladu s lokacijom zemljišta odnosno karakteristikama područja poput temperature, količine i vrste oborina, vrste i obilježja tla i dr. Hibride kukuruza prema vegetacijskim skupinama moguće je podijeliti na rane, srednje i kasne (Voća i sur., 2009).

2.4. Sjemenski kukuruz

Prije otkrića hibrida kukuruza, svako se zrno moglo koristiti kao sjeme za daljnji uzgoj. Međutim, zrna s klipova hibridnih biljaka sada se ne smatraju sjemenom jer ako bi se takva zrna sijala sljedeće godine, novonastale biljke bile bi manje i slabije, a prinos kukuruza znatno niži. Stoga se isključivo sjemenski materijal ubraja u germplazmu, odnosno samo sjemenski kukuruz namijenjen je za sjetvu, dok je merkantilni kukuruz namijenjen za direktnu upotrebu ili daljnju industrijsku preradu (Brkić, 2023.).

Proizvodnja sjemenskog kukuruza u osnovi je slična proizvodnji merkantilnog kukuruza i obuhvaća prostornu i vremensku izolaciju usjeva, sjetvu majčinskih i očinskih komponenata hibrida u odgovarajućem omjeru, eliminaciju neodgovarajućih biljaka, zakidanje metlica na majčinskim biljkama. Zrna kukuruza moguće je genetski mijenjati kako bi se dobile modifikacije u količini i vrsti škroba, proteina, ulja i drugim parametrima kao što su debljina perikarpa ili tvrdoća zrna. Tako je stvoreno mnogo varijanti specijalnih kukuruza kao što su bijeli, voštani kukuruz s visokim udjelom amiloze, kvalitetnim proteinima, visokim udjelom ulja, kukuruz kokičar i kukuruz šećerac. Proizvodnja sjemenskog kukuruza zahtijeva posebnu pozornost kako bi se održao rodovnik i osigurala održivost. Poslije berbe slijedi transport sjemena na doradu, tj. pročišćavanje, selektiranje (kalibraciju), tretiranje, pakiranje i pripremu za plasman na tržište (Darrah i sur., 2019.).

3. Sušenje poljoprivrednih proizvoda

Od davnina se za dugotrajno čuvanje hrane koristila metoda sušenja prirodnim putem, odnosno pomoću sunčeve energije. Prehrambeni proizvodi koji se najviše podvrgavaju tretmanu sušenja su žitarice i voće. Sušenje je toplinski postupak uklanjanja vlage iz materijala s previsokim sadržajem vlage dovođenjem topline u svrhu dobivanja suhog čvrstog proizvoda. Materijal se stavlja u sušaru u koju se dovodi zagrijani zrak određene temperature te se njihovim miješanjem i međusobnim prijenosom tvari i topline postiže sušenje materijala. Čimbenici koji utječu na taj proces su: relativna vlažnost i temperatura zraka, medij sušenja, razlika između inicijalnog i željenog sadržaja vlage u materijalu, karakteristike sorte materijala, vrijeme i metoda berbe, debljina sloja koji se suši itd. (Krička i sur., 2004.; Krička i sur., 2009.; Krička i sur., 2021.).

Berba kukuruza često se vrši pri visokom sadržaju vlage zrna kako bi se smanjio rizik od mraza, štete od insekata i pojave bolesti. Proces sušenja često je uzrok oštećenja sjemenskog kukuruza što uzrokuje velike ekonomske gubitke. Zrelost zrna pri berbi i temperatura sušenja dobro su dokumentirani kao važni kriteriji učinkovitog sušenja sjemenskog kukuruza. Progresivnim gubitkom vlage prije berbe, zrno kukuruza postaje otpornije na visoke temperature sušenja. Sigurnosni prag za sušenje sjemenskog kukuruza nalazi se blizu 40°C kada se berba kukuruza vrši pri cca. 40 - 50% sadržaja vlage zrna (Kiesselbach 1939; Washko 1941; McRostie 1949; Navratil i Burris 1986). Međutim, sjemenski kukuruz sa sadržajem vlage ispod 25% može se sušiti na oko 50°C (Wileman i Ullstrup 1945; Navratil i Burris 1984).

Nakon berbe kukuruza slijedi čišćenje, sušenje na 14% vlage te skladištenje u odgovarajućim uvjetima (suhi te ako je moguće i klimatizirani skladišni prostor, zaštićen od štetnika i bolesti). Ukoliko se radi o sjemenskom kukuruzu, bitni parametri su i čistoća, klijavost i energija klijanja, a sve je to povezano s kvalitetom skladištenja (Matin i sur., 2016.).

Cilj sušenja općenito je smanjiti sadržaj vlage zrna kukuruza na razinu sigurnog čuvanja uz što manje promjene u kvaliteti zrna, što manje oštećenja zrna, sa što manjim utroškom resursa, pogotovo goriva te što manji negativni utjecaj na okoliš (Matin i sur., 2017.; Matin i sur., 2018.).

Brown i sur. (1979.) istraživanjem dokazuju kako udio vlage u kukuruzu prilikom berbe utječe na kvalitetu zrna. Istraživanje se odvijalo na pet hibrida kukuruza koji su bili ubrani sa različitim udjelima vlage i sušeni trima metodama: metodom serijskog protoka na visokoj temperaturi, prozračivanjem i sušenjem u spremniku na niskim temperaturama.

Marelja i sur. (2020.) i Landeka (2017.) usporedbom metoda sušenja dolaze do zaključka da je podtlačno (vakuumsko) sušenje proces koji je najisplativiji zbog manjih troškova u odnosu na druge metode sušenja, a i zaključuju da se na taj način dobiva proizvod bolje kvalitete i minimalnih oštećenja zrna. Bitan čimbenik je i što zahvaljujući vakuumu ne dolazi do oksidacije. Međutim, ponašanje čestica također je potrebno uzeti u obzir, npr. različite brzine sušenja kod hibrida jednake vlažnosti.

S obzirom na kinetiku sušenja za postizanje odgovarajućeg smanjenja sadržaja vlage u zrnju najviše se koristi konvekcijska sušnica na topli zrak. Međutim, nekoliko istraživanja bavilo se poboljšanjem procesa sušenja fokusirajući se na modifikaciju konvekcijske sušnice što bi moglo služiti kao dobar katalizator za proces kada poboljšani ili napredni sustavi sušenja nisu dostupni, pristupačni ili ekonomični. Unatoč nekim pokušajima (npr. sušenje ultrazvukom i vakuumom) poboljšanja kvalitete procesa i smanjenja potrošnje energije tijekom prerade doradu žitarica.

Stoga bi daljnja istraživanja trebala razmotriti korištenje potrošene energije koja izlazi iz sustava za sušenje žita dorade u gotov proizvod.

3.1. Podtlačno (vakuumsko) sušenje

Podtlačno (vakuumsko) sušenje je metoda sušenja koja se odvija pri sniženim tlakovima i sniženoj temperaturi vrelišta vode čime se osigurava očuvanje osjetljivih hranjivih sastojaka i svojstava hrane, pogotovo boje. Kod konvencionalnog vakuumskog sušenja koriste se niže temperature, nego kod konvencionalnog sušenja pomoću vrućeg zraka. Prema Marelja i sur. (2020.) takav način sušenja optimalan je jer toplinski nestabilni materijali bi se pri atmosferskom tlaku i višim temperaturama raspali, a kod preniskih temperatura bi proces predugo trajao. Osim toga, kod vakuumskog sušenja niža je i koncentracija kisika što rezultira oksidacijskom stabilnošću materijala koji se suši.

Nedostaci podtlačnog sušenja su viši početni troškovi zbog skupoće opreme i uređaja i ograničenost sušenja na površinu kojom se vrši prijenos topline grijačima ili kondukcijom.

3.2. Sušenje u fluidnom sloju

Sušenje u fluidnom sloju vrši se na način da se čestice suše zasebno tako što vrući zrak ili plin okružuju svaku česticu čime se postiže brzina i učinkovitost sušenja materijala. Druge prednosti ove metode sušenja su jednostavnost rukovanja i održavanja opreme, homogenost sušenja i fleksibilnost kod količine i veličine materijala za sušenje.

Nedostaci metode sušenja u fluidnom sloju su veliki utrošak energije i neprikladnost za sušenje ljepljivih ili toplinski osjetljivih materijala.

Syariffuddeen i sur. (2020.) ispitivali su temperaturu sušenja kukuruza i njegovu kvalitetu pomoću sušare sa fluidnim slojem. Sušenje kukuruza u zrnju smatra se glavnim faktorom u održavanju dobre kvalitete zrna. Neodgovarajuća i previsoka temperatura sušenja rezultirat će pukotinama zrna pod pritiskom, posebno ako se kukuruz ohladi odmah nakon procesa sušenja. To bi dovelo do daljnjeg lomljenja tijekom rukovanja i skladištenja, čime bi se smanjila vrijednost žitarica.

Li i sur. (2014.) proveli su istraživanje o utjecaju sorte i načinima sušenja na hranjivu vrijednost kukuruza za uzgoj svinja te došli do zaključka kako sorta ima značajan utjecaj na hranjivu vrijednost kukuruza za svinje u uzgoju te je tim utjecajima potrebno posvetiti veću pozornost pri određivanju hranjive vrijednosti kukuruza za svinje u uzgoju. Tretman sušenja i

toplinska obrada imali su određeni učinak na fizičke karakteristike kukuruza, ali to nije bitno utjecalo na nutritivnu vrijednost kukuruza za hranjenje svinja.

Li i Morey (1984.) proučavali su tankoslojno sušenje žutog kukuruza i otkrili da na njega utječu temperatura zraka za sušenje, brzina protoka zraka, početni sadržaj vlage i relativna vlažnost. Također je utvrđeno da temperature zraka za sušenje i početni sadržaj vlage utječu na brzinu sušenja, ali protok zraka i relativna vlažnost imaju zanemarive učinke.

3.3. Najnovija istraživanja i budući trendovi sušenja žitarica

Posljednjih godina za sušenje žitarica koristi se mnogo različitih tehnologija poput sušnica s fluidnim slojem, sušnica s fiksnim slojem, infracrvenih mikrovalnih i vakuumskih sušnica te sušnica na principu zamrzavanja. U svrhu poboljšanja tehnologije sušenja žitarica, istražuju se i kombinacije nekih tehnologija, npr. mikrovalna sušnica i vrući zrak, infracrvena sušnica i vrući zrak te mikrovalna sušnica. Osim toga, uvode se i tretmani poput ultrazvučne dielektrike i odvlaživanja. Na taj se način postiže veća učinkovitost sušenja, tj. povećano uklanjanje sadržaja vlage, kraće trajanje tretiranja, smanjenje utroška energije te uspješnije zadržavanje hranjivih tvari. Jimoh i sur. (2023.) u svojem radu uspoređuju navedene parametre i rezultate sušenja za više vrsta žitarica uključujući kukuruz, pšenicu, rižu, soju, grašak i dr. te dolaze do zaključka da je kvaliteta zrna poboljšana primjenom tretmana pregrijanom parom, ultrazvukom, odvlaživanjem i dielektričnom frekvencijom. Nepravilno, nepotpuno i prekomjerno sušenje zrna šteti kvaliteti zrna. Djelomično osušena zrna osjetljiva su na plijesan i insekte te gube na kvaliteti. Osušena zrna sa sadržajem vlage ispod kritične razine zbog presušenosti mogu izgubiti svoju hranjivu vrijednost i potencijal klijanja. Dizajn i procjena različitih tehnologija sušenja za procese sušenja različitih žitarica te kombinacije dviju ili više različitih tehnologija sušenja pokazale su značajan doprinos uštedi vremena i troškova te povećanju učinkovitosti procesa sušenja. Prema istom autoru Jimoh i sur. (2023.) konvekcijsko sušenje vrućim zrakom je metoda sušenja koja troši najviše vremena i energije, dok je više energije uštedeno korištenjem sljedećih metoda sušenja: mikrovalnom (84%), infracrvenom (67%), mikrovalnom + vrućim zrakom.

3.4. Sušenje sjemenskog kukuruza

Baker i sur. (1990.) proučavali su hibride i utjecaj brzine sušenja na klijavost sjemenskog kukuruza. Sjemenarske tvrtke uspostavljaju vlastite standarde klijavosti koji moraju biti zadovoljeni kako bi se serije sjemena mogle staviti na tržište. Berba sjemenskog kukuruza vrši se u vrijeme kada sadržaj vlage u zrnu iznosi do 40%, suši se u klipu te se nakon sušenja vrši postupak krunjenja, a suši se do postizanja postotka sadržaja vlage 14%.

Baker i sur. (1990.) određuju učinke hibrida i brzine sušenja na brzinu sušenja i klijavost sjemenskog kukuruza F1 generacije te vrše analizu rezultata istraživanja s obzirom na dvije alternativne hipoteze o uzroku smanjenja klijavosti zbog visoke temperature sušenja. Za potrebe tog istraživanja u laboratorijskim sušnicama s fluidnim slojem sušeni su

uzorci cijelog klipa, pola klipa i kukuruza u zrnju triju hibrida sjemenskog kukuruza F1 generacije. Uzorci su ubirani kod nekoliko različitih vrijednosti sadržaja vlage, i to u rasponu od 25,8 do 34,4% za hibrid A, zatim od 33,1 do 47,0% za hibrid B te od 32,5 do 43,8% za hibrid C. Sušenje se vršilo na temperaturama od 32, 40, 48 i 56°C uz brzinu strujanja zraka od 0,6m/s. Brzina sušenja bila je 25% veća za dva hibrida u odnosu na treći. Kukuruz u zrnju se sušio trostruko brže, a klipovi prelomljeni na polovice sušili su se 15% brže od cijelih klipova. Hibrid koji se najsporije suši ima veći gubitak klijavosti u odnosu na ostale hibride. Za svaki testirani hibrid, stopa gubitka klijavosti bila je brža za kukuruz u zrnju, nego za cijele klipove kukuruza. Postupak sušenja uzrokuje veći stres na stanične membrane te stoga podaci podržavaju hipotezu da oštećenje stanične membrane ili dezintegracija staničnih komponenti tijekom dehidracije uzrokuju gubitak klijavosti kod previsokih temperatura sušenja. Međutim, podaci nisu potvrdili hipotezu o smanjenju klijavosti pri sušenju na visokim temperaturama u potpunosti uslijed izloženosti sjemenskog materijala kombinaciji visoke temperature sušenja i visokog sadržaja vlage.

4. Materijali i metode

Istraživanje se provodilo na Sveučilištu u Zagrebu, Agronomski fakultet, Laboratorij zavoda za održive tehnologije i obnovljive izvore energije. Kao predmet istraživanja korištene su tri hibrida/sorta kukuruza hibridni kukuruz te sorte bijelog i crvenog kukuruza, iz vlastite proizvodnje OPG-a Filip Pucko, 2023. godine, odnosno uspoređen je novi hibrid kukuruza sa starim sortama bijelog i crvenog kukuruza

Analize su se provodile prvo na sirovim uzorcima, a zatim na uzorcima sušenim na tri različite temperature: 70, 80 i 90°C do ravnotežne vlažnosti zrna od 14%. Sušenje se provodilo na dva načina: sušenje u fluidnom sloju i sušenje pri podtlaku. Prije i nakon procesa sušenja provedene su analize nutritivnog sastava odnosno određen je udio vlage, škroba, proteina i masti u zrnu.

4.1. Određivanje sadržaja vode

Sadržaj vode određen je sušenjem zrna u sušioniku svakog od uzoraka mase oko 3g u vremenskom periodu od 4 sata na 105°C prema protokolu (HRN ISO 6540: 2002). Uzorci su izvagani prije i nakon sušenja kako bi se odredila količina isparene vode.

Sadržaj vode izračunat je prema formuli:

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

Oznake:

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 su rehidrirani s obzirom na nejednoliki sadržaj vlage koji je potrebno postići kako bi uzorci bili pogodni za daljnja istraživanja. Proces rehidracije proveden je načinom izravnog djelovanja na masu zrna s točno određenom količinom destilirane vode koju je bilo potrebno dobiti izračunom putem slijedeće formule:

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

Oznake:

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

w1 – početna vlažnost mase (%)

w2 – željena vlažnost mase (%)

M1 – masa zrna uzorka koji se rehidrira (g)

4.3.Sušenje uzoraka

4.3.1.Sušenje u fluidnom sloju

Za potrebe ovog istraživanja korištena je fluidna sušnica Retsch TG 200 (slika 4.1.).



Slika 4.1. Sušnica Retsch TG 200

Princip rada sušnice je uvlačenje zraka iz okoline kroz filter. Zrak pomoću ventilatora prelazi preko toplinskih dijelova, a zatim prolazi kroz perforiranu ploču i dolazi do odvojenog spremnika za sušenje. Zrna kukuruza unutar sušnice otpuhuju se prema gore odnosno odvajaju se jedna od druge što rezultira ravnomjernim sušenjem.

4.3.2.Podtlačno sušenje

Za podtlačno sušenje uzoraka korištena je vakuum sušnica Memmert vO101 (slika 4.2. i 4.3.). Sušenje se odvijalo u intervalima od 2 minute pri 70, 80 i 90°C i pod tlakom od 500mbara.



Slike 4.2. i 4.3.: Sušnica 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.

Nakon provedenih sušenja, uzorci su izmljeveni pomoću mlina kako bi bili spremni za podvrgavanje daljnjim postupcima odnosno daljnjim istraživanjima.

4.4. Određivanje nutritivnog sastava

4.4.1. Određivanje proteina, C, H, N, O, S

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 (HRN EN ISO 16994:2016) Princip metode je spaljivanje uzoraka u struji kisika na 1150°C uz korištenje katalizatora. Produkt spaljivanja jesu plinovi (NO_x , CO_2 , SO_3 i H_2O) koji se u redukcijskoj koloni, koja je zagrijana na nižu temperaturu (850°C), s obzirom na prisutnost bakra (Cu) koji služi kao redukcijsko sredstvo, reduciraju. Potpuna redukcija može se dogoditi kod N_2 , pa takvi plinovi putuju direktno na detektor, dok ostali prolaze kroz adsorpcijske kolone. Količina odnosno sadržaj proteina određen je množenjem dušika sa 6,25 (AOAC, 1990).

4.4.2. Određivanje ukupnih masti

Kod određivanja ukupnih masti postupak se vrši pomoću Soxhlet ekstraktora R304 prema protokolu (HRN EN 14775). Nakon ekstrakcije koja traje šest sati, tikvice sa staklenim kuglicama stavljaju se u sušnicu na temperaturu od 105°C u trajanju od jednog sata (Kurtović i sur., 2018.).

Ukupan sadržaj masti izračunava se jednadžbom:

$$\% \text{ masti} = ((m_1 - m_0)/m_{\text{uzorka}}) \times 100$$

pri čemu je:

m_1 - masa posude nakon ekstrakcije (g)

m_0 - masa posude prije ekstrakcije (g)

m_{uzorka} - masa uzorka u tuljcu (g)

4.4.3. Određivanje ukupnog škroba

Kod određivanja ukupnog škroba koristi se polarimetrijska metoda po Ewerestu (HRN ISO 6493:2001) (Vidić, B., 2011.).

Ukupan sadržaj škroba izračunava se jednadžbom:

$$\% \text{ škroba} = 100 \times \alpha \times 100 / (\alpha)^{20} D \times L \times m$$

pri čemu je:

α - očitani kut skretanja

$(\alpha)^{20} D$ - specifični kut skretanja škroba

L - dužina polarizacijske cijevi

m - masa uzorka (g)

5.Rezultati istraživanja

5.1.Sadržaj vode

U sljedećoj tablici 5.1. prikazane su vrijednosti vlage u uzorcima zrna kukuruza prije i nakon postupka rehidracije.

Tablica 5.1. Sadržaj vlage (vode) zrna u prirodnom i u stanju nakon rehidracije

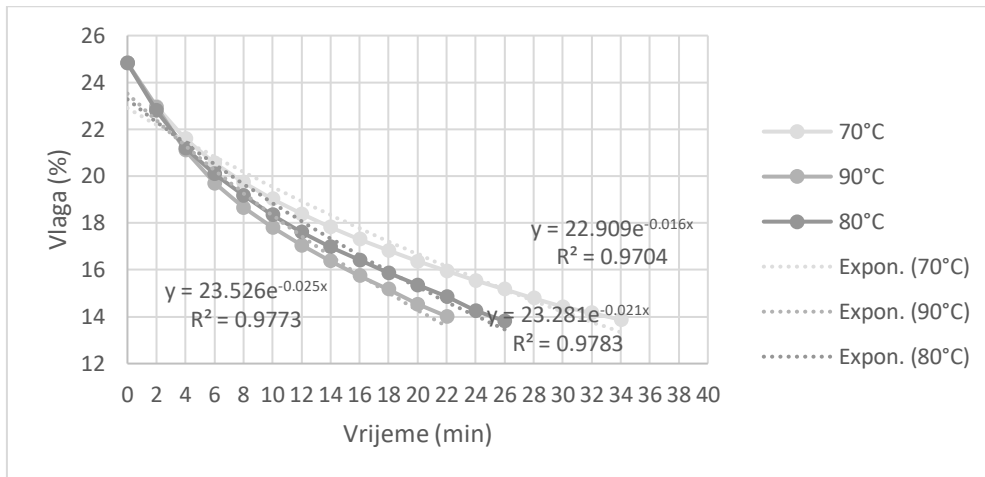
UZORAK	VLAGA U PRIRODNOM STANJU (%)	VLAGA NAKON REHIDRACIJE (%)
BIJELI	15,32 ± 0,14	24,82 ± 1,580
HIBRID	13,93 ± 0,06	24,07 ± 0,393
CRVENI	13,72± 0,08	23,95 ± 0,503

Iz tablice je vidljivo da svaki od uzoraka ima drugačiju početnu vlažnost pri čemu sorta bijelog kukuruza sadrži najveći udio vlage (15,32%), dok sorta crvenog kukuruza sadrži najmanji udio vlage (13,72%). S obzirom na različite početne udjele vlage, proveo se postupak rehidracije kako bi se dobili što vjerodostojniji rezultati istraživanja. Rezultati vlage nakon odrađenog postupka rehidracije pokazuju kako sorta bijelog kukuruza sadrži najveći udio vlage (24,82%), a sorta crvenog kukuruza sadrži najmanji udio vlage (23,95%).

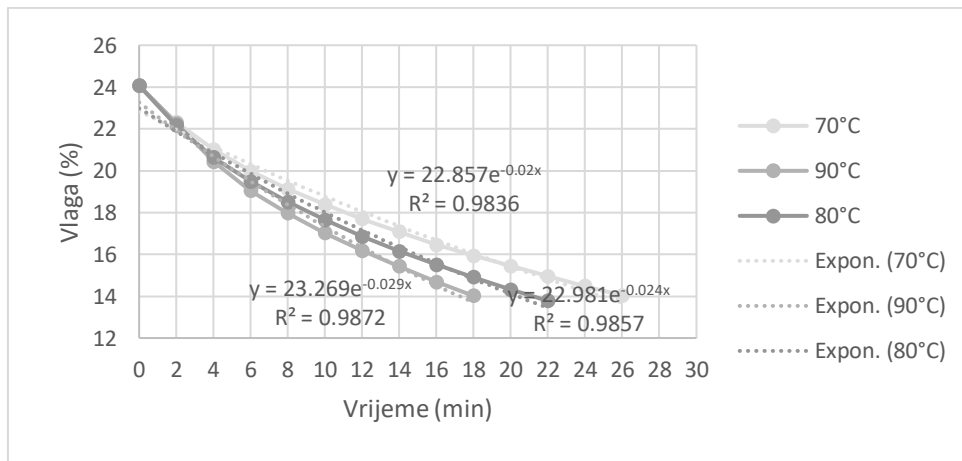
Tijekom stajanja zrelog zrna kukuruza u polju, tijekom transporta ili skladištenja može doći do utjecaja vlage i vode na zrno. Višestruku rehidraciju zrna proučavaju Pliestic i sur. (2000.) te dolaze do zaključka da što je više puta zrno rehidrirano, brže upija vodu i brže se suši odnosno brže otpušta vodu tijekom sušenja, a razlog te pojave je narušavanje kapilarne strukture zrna tijekom postupaka višestruke rehidracije i sušenja, pogotovo kapilara koje po svojoj duljini nemaju jednolik promjer.

5.1.1. Sušenje u fluidnom sloju

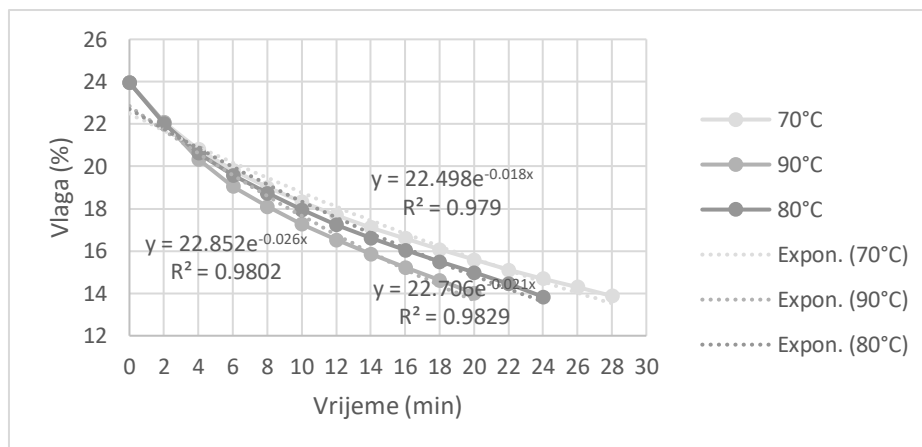
Na slijedećim grafovima prikazan je sadržaj vlage s obzirom na temperaturu i način sušenja te vrijeme za svaku od sorata kukuruza korištenih u ovom istraživanju (bijeli, crveni i hibridni kukuruz).



Graf 5.1.: Sadržaj vlage bijelog kukuruza nakon sušenja u fluidnom sloju



Graf 5.2.: Sadržaj vlage hibridnog kukuruza nakon sušenja u fluidnom sloju



Graf 5.3.: Sadržaj vlage crvenog kukuruza nakon sušenja u fluidnom sloju

Iz grafova se može vidjeti kako je svakoj sorti kukuruza sušenjem pri 70°C trebalo najviše vremena da bi se postigla ravnotežna vlažnost, a sušenjem pri 90°C trebalo je najmanje vremena kako bi se postigao isti sadržaj vlage, što je i očekivano.

Uspoređivanjem različitih hibrida/sorata kukuruza pri istim temperaturama sušenja u fluidnom sloju može se vidjeti kako se vrijednost vremena potrebnog za sušenje da bi se postigla ravnotežna vlažnost razlikuje.

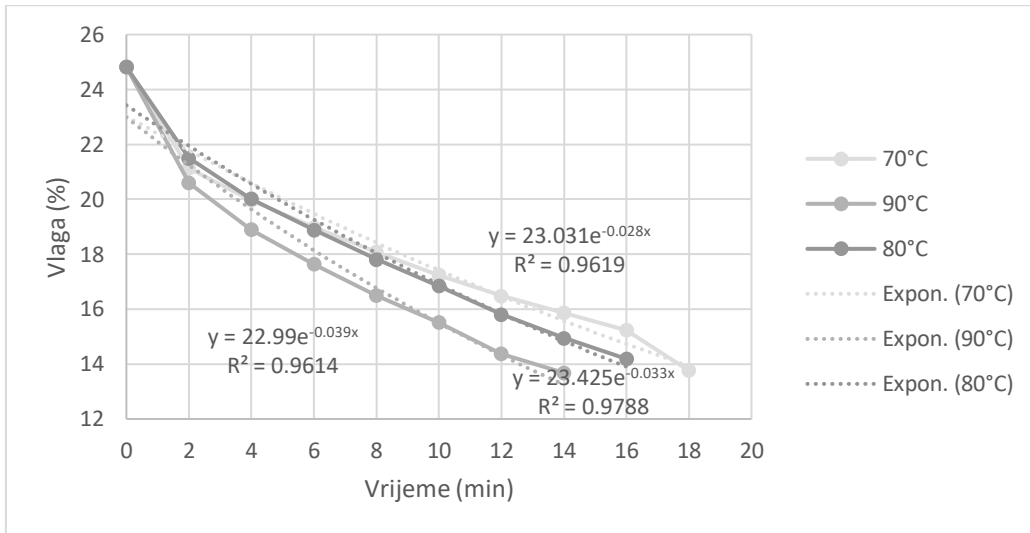
Za sortu bijelog kukuruza sušenjem pri 70°C bile su potrebne 34 minute, za sortu crvenog kukuruza bilo je potrebno 28 minuta, a za hibridni kukuruz bilo je potrebno 26 minuta. Drugim riječima, za postizanje ravnotežne vlažnosti sušenjem pri 70°C bijeloj je sorti bilo potrebno najviše vremena, a hibridu najmanje.

Sušenjem pri 80°C do ravnotežne vlažnosti iz grafa možemo vidjeti kako je bijeloj sorti bilo potrebno 26 minuta, crvenoj sorti 24 minute, a hibridu 22 minute, što znači da je ponovo bijeloj sorti trebalo najviše vremena, a hibridu najmanje vremena za postizanje vlage od 14%.

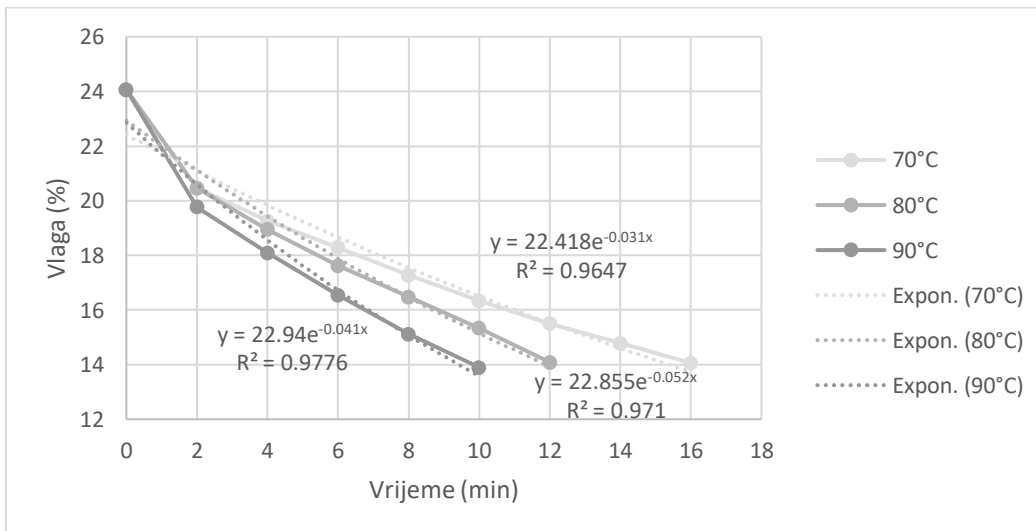
Sušenjem pri 90°C do ravnotežne vlažnosti bijelu sortu bilo je potrebno sušiti 22 minute, crvenu 20 minuta i hibridu 18 minuta. Isto kao i nakon sušenja pri 70 i 80°C, bijeloj je sorti potrebno najviše, a hibridu najmanje vremena kako bi se postigao sadržaj vlage od 14%. Uspoređujući grafove za fluidno sušenje može se zaključiti da vrsta sorte i temperatura znatno utječu na brzinu sušenja te se najbrže sušio hibrid.

5.1.2. Sušenje u vakuumu

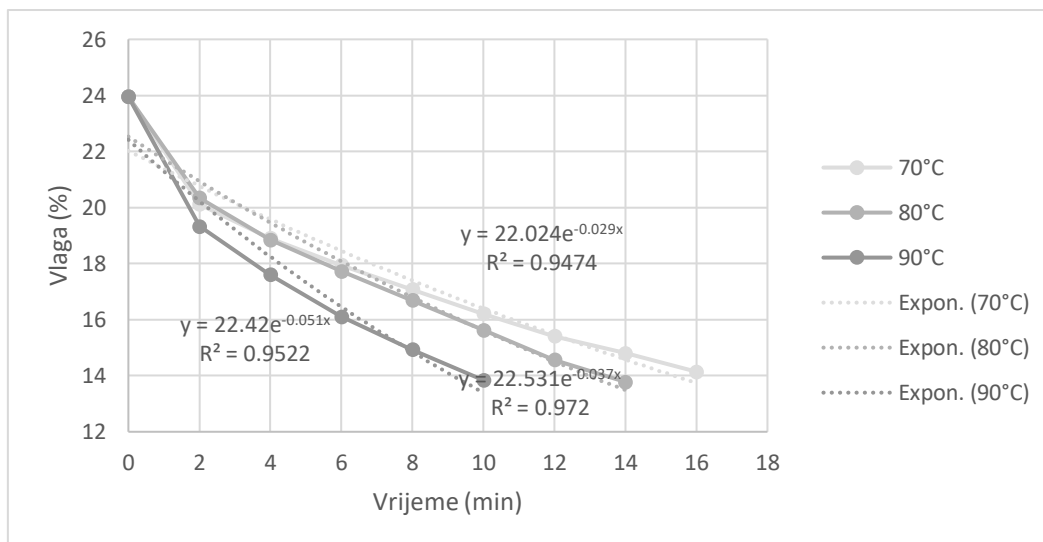
Na sljedećim grafovima prikazane su krivulje koje pokazuju koliko je vremena potrebno sušiti kukuruz pri 70, 80 i 90°C kako bi se postigla ravnotežna vlažnost.



Graf 5.4.: Sadržaj vlage bijelog kukuruza nakon sušenja u vakuumu



Graf 5.5.: Sadržaj vlage hibridnog kukuruza nakon sušenja u vakuumu



Graf 5.6.: Sadržaj vlage crvenog kukuruza nakon sušenja u vakuumu

Za postizanje ravnotežne vlažnosti sušenjem pri 70°C bijeloj je sorti trebalo najviše vremena odnosno 18 minuta dok je crvenoj i hibridu trebalo jednako vremena odnosno 16 minuta.

Sušenjem pri 80°C ravnotežna vlažnost postignuta je kod bijele sorte za 16 minuta, kod hibrida za 12 minuta, a kod crvene za 14 minuta.

Sušenjem pri 90°C za postizanje ravnotežne vlažnosti bijeloj je sorti bilo potrebno 14 minuta, dok je hibridu i crvenoj sorti bilo potrebno jednako vremena odnosno 10 minuta. Uspoređujući grafove za vakuum podtlačno sušenje može se zaključiti da vrsta sorte i temperatura znatno utječu na brzinu sušenja te se najbrže sušio hibrid jednako kao i kod fluidnog sušenja. Razlog tome može bit kako crvene i bijele sorte imaju drugačija morfološka svojstva te treba više vremena kako bi se zrno optimalno posušilo.

5.1.3. Konstanta otpuštanja vode

Kako bi se lakše odredio stupanj otpuštanja vode iz uzoraka, odrađena je analiza vrijednosti brzine otpuštanja vode do ravnotežne vlažnosti odnosno određen je koeficijent determinacije na temelju eksponencijalnih jednadžbi (Tablica 5.2.).

Tablica 5.2.: Eksponencijalne jednadžbe osušenih uzoraka

UZORAK	NAČIN SUŠENJA	TEMPERATURA (°C)	EKSPONENCIJALNA JEDNADŽBA	R ²
BIJELI	fluid	70	$y = 22,909e^{-0,016x}$	0,9643
		80	$y = 23,526e^{-0,025x}$	0,9742
		90	$y = 23,526e^{-0,025x}$	0,9742
	vakuum	70	$y = 23,031e^{-0,028x}$	0,9500
		80	$y = 23,425e^{-0,033x}$	0,9713
		90	$y = 22,990e^{-0,039x}$	0,9502
HIBRID	fluid	70	$y = 22,857e^{-0,02x}$	0,9804
		80	$y = 22,981e^{-0,024x}$	0,9832
		90	$y = 23,269e^{-0,029x}$	0,9861
	vakuum	70	$y = 22,418e^{-0,031x}$	0,9533
		80	$y = 22,855e^{-0,052x}$	0,9640
		90	$y = 22,940e^{-0,041x}$	0,9706
CRVENI	Fluid	70	$y = 22,498e^{-0,018x}$	0,9741
		80	$y = 22,706e^{-0,021x}$	0,9788
		90	$y = 22,852e^{-0,026x}$	0,9774
	Vakuum	70	$y = 22,024e^{-0,029x}$	0,9328
		80	$y = 22,531e^{-0,037x}$	0,9628
		90	$y = 22,420e^{-0,051x}$	0,9437

Slijedom eksponencijalnih jednadžbi utvrđen je koeficijent determinacije koji se kretao između 0,94 i 0,98. Analizirajući rezultate koeficijenta može se zaključiti da su dobiveni rezultati međusobno usporedivi te da su analize otpuštanja vode iz ploda vođene precizno. To je i potvrđeno usporedbom s literaturnim podacima za proces sušenja žitarica (Voća, 2007.; Matin i sur, 2009.; Krička i sur., 2017.).

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.

5.2.Sadržaj proteina, C, H, N, O, S

U sljedećoj tablici prikazani su početni udjeli ispitivanih komponenti u zrnu.

Tablica 5.3.: Početni udjeli proteina, C, H, N, O i S

UZORAK	POČETNA VRIJEDNOST					
	Dušik (%)	Ugljik (%)	Sumpor (%)	Vodik (%)	Kisik (%)	Proteini (%)
BIJELI	1,252 ± 0,013	33,35 ± 0,296	0,021 ± 0,001	5,477 ± 0,050	59,90 ± 0,358	7,827 ± 0,078
HIBRID	0,863 ± 0,002	32,78 ± 0,140	0,025 ± 0,002	5,425 ± 0,031	60,91 ± 0,111	5,396 ± 0,010
CRVENI	1,123 ± 0,015	33,47 ± 0,171	0,017 ± 0,001	5,481 ± 0,090	59,91 ± 0,225	7,017 ± 0,091

Iz tablice 3.3. prirodnih uzoraka može se vidjeti kako sorta bijelog kukuruza sadrži najviše dušika odnosno proteina, dok hibrid sadrži najmanje istih komponenti. Sorta crvenog kukuruza sadrži najviše ugljika i vodika, a najmanje sumpora. Udio kisika najveći je kod hibrida, a najmanji kod bijele sorte kukuruza.

U sljedećim tablicama navedene su vrijednosti istih komponenti kao i u prethodnoj, ali nakon sušenja u fluidnom sloju i u vakuumu pri različitim temperaturama (70, 80, 90°C).

Tablica 5.4. Udjeli proteina, C, H, N, O i S nakon sušenja u fluidnom sloju pri 70°C

fluid 70°C					
Dušik (%)	Ugljik (%)	Sumpor (%)	Vodik (%)	Kisik (%)	Proteini (%)
BIJELI					
1,427 ± 0,010	39,27 ± 0,220	0,017 ± 0,001	6,429 ± 0,017	52,85 ± 0,240	8,921 ±0,063
HIBRID					
0,916 ± 0,003	37,51 ± 0,020	0,013 ± 0,001	6,225 ± 0,002	55,34 ± 0,018	5,723 ± 0,016
CRVENI					
1,206 ± 0,026	38,12 ± 0,129	0,016 ± 0,001	6,273 ± 0,008	54,39 ± 0,158	7,538 ± 0,164

Tablica 5.5.: Udjeli proteina, C, H, N, O i S nakon sušenja u fluidnom sloju pri 80°C

fluid 80°C					
Dušik (%)	Ugljik (%)	Sumpor (%)	Vodik (%)	Kisik (%)	Proteini (%)
BIJELI					
1,390 ± 0,045	37,71 ± 0,070	0,017 ± 0,001	6,340 ± 0,032	53,54 ± 0,148	8,690 ± 0,281
HIBRID					
0,947 ± 0,003	37,82 ± 0,265	0,016 ± 0,001	6,285 ± 0,011	54,93 ± 0,255	5,921 ± 0,020
CRVENI					
1,263 ± 0,024	38,35 ± 0,258	0,016 ± 0,001	6,274 ± 0,047	54,10 ± 0,322	7,896 ± 0,147

Tablica 5.6.: Udjeli proteina, C, H, N, O i S nakon sušenja u fluidnom sloju pri 90°C

fluid 90°C					
Dušik (%)	Ugljik (%)	Sumpor (%)	Vodik (%)	Kisik (%)	Proteini (%)
BIJELI					
1,330 ± 0,017	38,90 ± 0,057	0,036 ± 0,002	6,329 ± 0,088	53,40 ± 0,099	8,313 ± 0,108
HIBRID					
1,030 ± 0,015	37,52 ± 0,025	0,014 ± 0,001	6,236 ± 0,008	55,20 ± 0,020	6,440 ± 0,091
CRVENI					
1,135 ± 0,011	37,68 ± 0,035	0,015 ± 0,002	6,267 ± 0,032	54,91 ± 0,052	7,096 ± 0,066

Sorta bijelog kukuruza ima veći udio dušika, ugljika, vodika i proteina, a manji udio sumpora i kisika nakon sušenja u fluidnom sloju pri 70°C, a s obzirom na početne količine istraživanih elemenata. Kod sušenja u fluidnom sloju pri 80°C situacija je vrlo slična odnosno udio dušika, ugljika, vodika i proteina je i dalje veći od početnog stanja, a razlika je u tome što su količine tj. udjeli manji nego kod sušenja pri 70°C. Količine sumpora i kisika i dalje su manje s obzirom na početno stanje, ali količina kisika veća je u odnosu na količinu nakon sušenja pri 70°C. Sušenje pri 90°C rezultira nešto drugačijim ishodom s obzirom na prethodne. Udjeli dušika, ugljika, sumpora, vodika i proteina veći su od početnih stanja,

jedino je udio kisika manji od početnog stanja. Skoro sve vrijednosti su približno jednake kao i nakon sušenja pri 80°C, jedino je udio sumpora dvostruko veći nego prije.

Analizom pregleda vrijednosti ispitivanih komponenti uzimajući u obzir jedino razlike u temperaturama može se vidjeti da dušik, vodik i proteini najveći udio imaju pri 70°C, a najmanji pri 90°C. Ugljik ima najveći udio pri 70°C, zatim pri 80°C udio pada i pri 90°C ponovno raste. Udio sumpora pri 70°C i 80°C je isti, a pri 90°C povećava se za duplu vrijednost. Kisik pri 70°C ima najmanji udio, zatim pri 80°C raste i pri 90°C ponovno pada.

Hibrid kukuruza nakon sušenja pri 70°C, a s obzirom na početno stanje također ima veći udio dušika, ugljika, vodika i proteina, a manji udio sumpora i kisika. Nakon sušenja pri 80°C udjeli dušika, ugljika, sumpora, vodika i proteina su viši, dok je udio kisika manji nego što je bio nakon sušenja pri 70°C. Udjeli svih komponenti osim kisika i sumpora viši su nego u početnom stanju. Nakon sušenja pri 90°C udjeli dušika, kisika i proteina veći su nego što su bili nakon sušenja pri 80°C, a udjeli ugljika, sumpora i vodika su manji. Vrijednosti dušika, ugljika, vodika, kisika i proteina i dalje su veće s obzirom na početno stanje, dok je udio sumpora manji.

Analizom pregleda vrijednosti ispitivanih komponenti uzimajući u obzir jedino temperaturu sušenja pokazalo se kako udio dušika kontinuirano pada odnosno pri 70°C je najveći, a pri 90°C najmanji. Udio ugljika, vodika, kisika i sumpora pri 70°C je najmanji, zatim pri 80°C ima najveći udio, a pri 90°C ponovno pada. Udio proteina pri 70°C je najmanji i kontinuirano raste pa je tako pri 90°C najveći.

Sorta crvenog kukuruza nakon sušenja pri 70°C, a s obzirom na početno stanje, ima veće udjele dušika, ugljika, vodika i proteina, a manje sumpora i kisika. Nakon sušenja pri 80°C udjeli dušika, ugljika i proteina se povećavaju, a udjeli sumpora, vodika i kisika se smanjuju. Nakon sušenja pri 90°C udjeli svih komponenti osim kisika i proteina su smanjeni.

Analizom pregleda vrijednosti ispitivanih komponenti uzimajući u obzir jedino temperaturu sušenja pokazalo se kako udjeli dušika i ugljika pri 80°C imaju najveću vrijednost, a pri 90°C najmanju. Udio sumpora pri 70°C i 80°C je isti, dok pri 90°C pada. Udio vodika pri 70°C i 80°C skoro je isti, a pri 90°C pada. Udio proteina pri 80°C ima najveću vrijednost, dok pri 90°C pada.

Slične rezultate u svojim istraživanjima dobili su i Odjo i sur. (2015.) te Tuncel i sur. (2010.).

Tablica 5.7.: Udjeli proteina, C, H, N, O i S nakon sušenja u vakuumu pri 70°C

vakuum 70°C					
Dušik (%)	Ugljik (%)	Sumpor (%)	Vodik (%)	Kisik (%)	Proteini (%)
BIJELI					
1,738 ± 0,016	38,40 ± 0,106	0,023 ± 0,002	6,244 ± 0,037	53,57 ± 0,160	10,86 ± 0,099
HIBRID					
1,029 ± 0,004	38,61 ± 0,061	0,017 ± 0,001	6,314 ± 0,007	54,03 ± 0,064	6,429 ± 0,022
CRVENI					
1,353 ± 0,002	38,02 ± 0,015	0,015 ± 0,002	6,314 ± 0,002	54,29 ± 0,018	8,456 ± 0,011

Tablica 5.8.: Udjeli proteina, C, H, N, O i S nakon sušenja u vakuumu pri 80°C

vakuum 80°C					
Dušik (%)	Ugljik (%)	Sumpor (%)	Vodik (%)	Kisik (%)	Proteini (%)
BIJELI					
1,302 ± 0,003	37,60 ± 0,312	0,016 ± 0,002	6,235 ± 0,021	54,85 ± 0,291	8,138 ± 0,017
HIBRID					
0,944 ± 0,004	37,16 ± 0,070	0,017 ± 0,001	6,150 ± 0,005	55,73 ± 0,064	5,902 ± 0,022
CRVENI					
1,291 ± 0,007	38,39 ± 0,330	0,017 ± 0,001	6,292 ± 0,054	54,01 ± 0,379	8,067 ± 0,044

Tablica 5.9.: Udjeli proteina, C, H, N, O i S nakon sušenja u vakuumu pri 90°C

vakuum 90°C					
Dušik (%)	Ugljik (%)	Sumpor (%)	Vodik (%)	Kisik (%)	Proteini (%)
BIJELI					
1,386 ± 0,009	38,76 ± 0,330	0,016 ± 0,002	6,383 ± 0,023	53,46 ± 0,345	8,665 ± 0,055
HIBRID					
0,971 ± 0,042	38,03 ± 0,056	0,014 ± 0,001	6,275 ± 0,012	54,71 ± 0,078	6,067 ± 0,263
CRVENI					
1,225±0,01 9	38,54 ± 0,394	0,015 ± 0,003	6,251 ± 0,026	53,97 ± 0,386	7,658 ± 0,116

Sorta bijelog kukuruza nakon sušenja u vakuumu pri 70°C u usporedbi s početnim stanjem ima veće udjele svih ispitivanih komponenti osim kisika. Nakon sušenja pri 80°C udjeli svih komponenti osim kisika su smanjeni. Sušenje pri 90°C rezultiralo je povećanjem udjela dušika, ugljika, vodika i proteina i to u vrijednostima većim od početnih. Udio kisika je smanjen, a udio sumpora nepromijenjen.

Analizom pregleda vrijednosti ispitivanih komponenti uzimajući u obzir jedino razlike u temperaturama može se vidjeti da je udio dušika i proteina najveći nakon sušenja pri 70°C, a najmanji nakon sušenja pri 80°C te da nakon sušenja pri 90°C njegov udio ponovno raste. Udio ugljika najmanju vrijednost ima nakon sušenja pri 80°C, a najveću nakon sušenja pri 90°. Udio sumpora pri 70°C ima najveću vrijednost, nakon sušenja pri 80°C pada, a vrijednost ostaje ista i nakon sušenja pri 90°C. Udio vodika najveći je nakon sušenja pri 90°C, a najmanji nakon sušenja pri 80°C. Udio kisika najveći je nakon sušenja pri 80°C, a najmanji nakon sušenja pri 90°C.

Hibrid nakon sušenja u vakuumu pri 70° u usporedbi s početnim stanjem ima veće udjele dušika, ugljika, vodika i proteina, a manje udjele sumpora i kisika. Nakon sušenja pri 80° udio dušika, ugljika, vodika i proteina je smanjen, ali i dalje veći nego što je bio u početnom stanju. Udio sumpora ostao je jednak, a udio kisika je veći. Nakon sušenja pri 90° udjeli dušika, ugljika, vodika i proteina su veći i od vrijednosti nakon sušenja pri 80° i od početnih vrijednosti. Udjeli sumpora i kisika su manji.

Analizom pregleda vrijednosti ispitivanih komponenti uzimajući u obzir jedino razlike u temperaturama može se vidjeti da udio dušika, ugljika, vodika i proteina nakon sušenja pri 70°C ima najveću vrijednost, pri 80°C najmanju, a nakon sušenja pri 90°C vrijednost ponovno raste. Udio sumpora nakon sušenja pri 70°C i 80°C je isti, ali nakon sušenja pri 90°C nešto je manji.

Sorta crvenog kukuruza nakon sušenja u vakuumu pri 70°C u usporedbi s početnim stanjem ima veće udjele dušika, ugljika, vodika i proteina, a manje udjele sumpora i kisika. Nakon sušenja pri 80°C udio dušika, vodika, kisika i proteina je smanjen, a udio ugljika i sumpora je veći. Sušenje pri 90°C rezultiralo je daljnjim smanjenjem udjela dušika, vodika, kisika i proteina i povećanjem udjela kisika. Udio sumpora je smanjen.

Analizom pregleda vrijednosti ispitivanih komponenti uzimajući u obzir jedino razlike u temperaturama može se vidjeti da udjeli dušika, vodika, kisika i proteina kontinuirano padaju odnosno najveći su nakon sušenja pri 70°C, a najmanji nakon sušenja pri 90°C. Udio ugljika kontinuirano raste odnosno najmanji je nakon sušenja pri 70°C, a najveći nakon sušenja pri 90°C. Udio sumpora varira odnosno nakon sušenja pri 70°C pada, zatim nakon sušenja pri 80°C ponovno raste i to na istu vrijednost kao i u početnom stanju, te nakon sušenja pri 90°C ponovno pada na istu vrijednost koja je bila nakon sušenja pri 70°C.

Odjo i sur. (2015.) proveli su istraživanje utjecaja sušenja i toplinske obrade na hranjivu vrijednost kukuruza te došli do zaključka kako se kukuruz može smatrati prikladnim izvorom nutritivnih tvari za perad. Međutim, hranidbena vrijednost kukuruza značajno varira ovisno o različitim uvjetima, kao što su struktura škroba i njegova interakcija sa susjednim komponentama te sušenje i toplinska obrada te da takva vrsta istraživanja mora uzeti u obzir čimbenike kao što su sadržaj vlage, vrsta kukuruza, termička povijest i uvjeti istraživačkog postupka, a svi oni mogu utjecati na rezultate.

Grbeša (2016.) navodi kako se kukuruzom namiruje 20% potreba za proteinima kod peradi, 30% kod svinja te 50% kod tovne junadi. Hibridi s većim udjelom proteina koristan su i financijski povoljan izvor aminokiselina za sve životinje jer potpuna hrana sadrži oko 60% kukuruza i nadopunjuje se npr. sojinom sačmom kao izvorom esencijalnih aminokiselina. Bezmasno tijelo životinja tijekom svih životnih stadija sadrži 20-22% proteina. Prehrana mladunaca treba sadržavati više proteina (minimalno 20%) budući da oni jedu manje količine hrane u odnosu na odrasle životinje. Tovne životinje trebaju 14-18% proteina u hrani, a druge odrasle i bređe životinje minimalno 12% proteina. Osim za rast i razvoj, proteini općenito imaju i funkciju osiguravanja dušika i ugljika za sintezu neesencijalnih aminokiselina te funkciju održanja općeg zdravlja. Probavom zeina (proteina endosperma) primjerice nastaju peptidi koji utječu na smanjenje kolesterola i regulaciju tlaka kod ljudi. Kod kukuruza najviše proteina sadrži klica (17-20%), endosperm sadrži 8-9% proteina, a perikarp samo 4-6% (Grbeša, 2016.). Zein se sporije probavlja pa tako usporava probavu i razgradnju škroba utječući time na iskoristivost škroba.

5.3.Sadržaj masti

Tablica 5.10.: Početne i vrijednosti masti nakon sušenja u fluidnom sloju pri 70, 80 i 90°C

Uzorak	POČETNA VRIJEDNOST	fluid		
		70°C	80°C	90°C
	Masti (%)			
BIJELI	4,122 ± 0,001	4,227 ± 0,002	4,237 ± 0,001	4,231 ± 0,002
HIBRID	4,559 ± 0,002	4,568 ± 0,003	4,579 ± 0,001	4,571 ± 0,002
CRVENI	4,225 ± 0,002	4,358 ± 0,002	4,386 ± 0,004	4,372 ± 0,001

Iz tablice 5.10. može se vidjeti kako hibrid kukuruza u početnom stanju sadrži najveći, dok bijela sorta kukuruza sadrži najmanji udio masti. Isto tako može se primijetiti kako se vrijednosti mijenjaju nakon sušenja pri različitim temperaturama u fluidnom sloju.

Sorta istraživane sorte imaju najveći udio masti ima nakon sušenja pri 80°, a najmanji nakon sušenja pri 70°. Sve tri sorte kukuruza s obzirom na udio masti nakon sušenja u fluidnom sloju pri različitim temperaturama reagirale su jednako. Vrijednost nakon sušenja pri 70°C veća je od početne, zatim nakon sušenja pri 80°C još je veća, i nakon sušenja pri 90°C pada, ali i dalje je veća od početne.

Tablica 5.11.: Početne i vrijednosti masti nakon sušenja u vakuumu pri 70, 80 i 90°C

Uzorak	POČETNA VRIJEDNOST	vakuum		
		70°C	80°C	90°C
	Masti (%)			
BIJELI	4,122 ± 0,001	4,085 ± 0,002	4,052 ± 0,001	4,003 ± 0,002
HIBRID	4,559 ± 0,002	4,523 ± 0,002	4,513 ± 0,002	4,507 ± 0,002
CRVENI	4,225 ± 0,002	4,207 ± 0,002	4,177 ± 0,002	4,155 ± 0,003

Iz tablice 5.11. vidi se da sve ispitivane hibridi/sorte kukuruza imaju najveći udio masti ima nakon sušenja pri 70°, a najmanji nakon sušenja pri 90°C, kao i kod fluidnog sušenja. Sva tri hibrida/sorta kukuruza s obzirom na udio masti nakon sušenja u vakuumu pri različitim temperaturama reagirale su isto. Vrijednost nakon sušenja pri 70°C veća je od početne, zatim nakon sušenja pri 80°C još je veća, i nakon sušenja pri 90°C pada, ali i dalje je veća od početne, što je u skladu s istraživanjima Doymaz i Pala (2003.).

Masti iz hrane ljudima i životinjama daju energiju za korištenje ili skladištenje i esencijalne masne kiseline. Mast iz kukuruza nema povoljan omjer omega 6 (56%) i omega 3 (1%) masnih kiselina pa se selekcijom pokušava utjecati na porast udjela omega 3 masnih kiselina u masti (ulju) kukuruza posebice s obzirom na to da neke omega 3 esencijalne masne kiseline služe za sintezu staničnih hormona i molekula bitnih za stanične funkcije, zgrušavanje krvi, kontrakciju mišića i imunitet. Dodavanje masti poboljšava strukturu hrane te plodnost i zdravlje životinja, a bitno je i zbog vitamina A, D, E i K koji su topljivi u mastima. Kukuruz sadrži više masti (3,6%) od ostalih žitarica. Mast ili ulje zrna sadrži nezasićene masne

kiseline (85%) koje nose više energije nego zasićene masne kiseline. Stoga kukuruz ima važnu ulogu u stočarstvu. (Grbeša, 2016.). Hibridi kukuruza s većim udjelom masti zbog bolje iskoristivosti posebno su prikladni u prehrani peradi i svinja, a kod peradi masti pomažu i apsorpciju karotenoida iz zrna što doprinosi boljoj boji jaja. Sastav i količina masti u hrani utječu na sastav masti trupa kod svinja i peradi. Tako hranjenje svinja ječmom rezultira čvrstom slaninom, dok uslijed hranjenja kukuruzom mast svinja sadrži više esencijalne nezasićene masne (linolne) kiseline (12:9,2%) i ima viši jodni broj te rezultira mekšom slaninom koja nije toliko poželjna na tržištu iako je povoljnija za zdravlje ljudi. Preporučljivo je u hranidbi domaćih životinja koristiti hibride s većim udjelom masti jer životinje radije jedu takvu hranu, a ujedno time dobivaju i više linolne kiseline i više energije.

5.4.Sadržaj škroba

Tablica 5.12.: Početne i vrijednosti škroba nakon sušenja u fluidnom sloju pri 70, 80 i 90°C

Uzorak	POČETNA VRIJEDNOST	fluid		
		70°C	80°C	90°C
		Škrob (%)		
BIJELI	39,68 ± 0,047	53,37 ± 0,040	55,38 ± 0,084	55,42 ± 0,047
HIBRID	43,59 ± 0,009	60,09 ± 0,054	60,97 ± 0,006	57,96 ± 0,130
CRVENI	44,77 ± 0,006	63,08 ± 0,006	64,06 ± 0,006	57,53 ± 0,004

Iz tablice 5.12. može se vidjeti kako sorta crvenog kukuruza ima najveću početnu vrijednost škroba, dok sorta bijelog kukuruza ima najmanju početnu vrijednost. Sorta bijelog kukuruza najveći udio škroba ima nakon sušenja pri 90°C, a najmanju nakon sušenja pri 70°C. Sušenje pri 80°C rezultiralo je povećanjem udjela škroba, no vrijednost i dalje nije veća nego što je nakon sušenja pri 90°C. Hibridni i crveni kukuruz najveći udio škroba imale su nakon sušenja pri 80°C, a najmanji nakon sušenja pri 90°C.

Tablica 5.13.: Početne i vrijednosti škroba nakon sušenja u vakuumu pri 70, 80 i 90°C

Uzorak	POČETNA VRIJEDNOST	vakuum		
		70°C	80°C	90°C
		Škrob (%)		
BIJELI	39,68 ± 0,047	53,60 ± 0,076	53,68 ± 0,114	53,47 ± 0,020
HIBRID	43,59 ± 0,009	59,93 ± 0,009	57,85 ± 0,142	57,85 ± 0,141
CRVENI	44,77 ± 0,006	63,42 ± 0,038	62,38 ± 0,058	61,12 ± 0,009

Prema tablici 5.13. vidi se da sorta bijelog kukuruza najveći udio škroba ima nakon sušenja pri 80°C, a najmanji nakon sušenja pri 90°C.

Sorta crvenog kukuruza najveći udio škroba ima nakon sušenja pri 70°C, dok najmanji udio ima nakon sušenja pri 90°C, što čini razliku s obzirom na dosadašnje rezultate.

Hibridni kukuruz najveći udio škroba ima nakon sušenja pri 70°C, a udio nakon sušenja pri 80 i 90°C je jednak.

Utjecaj temperature sušenja (54–130 °C) na performanse mokrog mljevenja i indeksa topljivosti proteina kukuruza proučavali su Malumba i sur. (2014.). Utvrđeno je da je povećanje temperature sušenja s 54 na 130 °C smanjilo prinos ekstrakcije škroba za 28,18% i povećalo sadržaj zaostalog proteina za 84,06%. Malumba i sur. (2014.) procijenili su učinke temperature sušenja (54–130 °C) na funkcionalna svojstva izoliranog škroba. Prema Malumbi sur. (2014.), visoke temperature sušenja uzrokuju strukturne promjene škrobnih granula koje utječu na svojstva lijepljenja kukuruznog škroba, smanjujući vršnu viskoznost i razgradnju, povećavajući temperaturu lijepljenja.

Prema Coradi i sur. (2019) povećanje temperature sušenja rezultiralo je smanjenim prinosom ekstrakcije škroba i čistoćom te povećalo toplinsku otpornost škroba. Kada su zrna iz središta i rubova klipa kukuruza odvojena nakon sušenja na 80 i 100 °C, došlo je do intenziviranja ovih modifikacija u škrobu izoliranom iz zrna iz središta, kao što je veće smanjenje prinosa ekstrakcije škroba, čistoće, kapacitet vezivanja s vodom i otpornost škrobnih granula na toplinu.

Voća i sur. (2008.) utvrđuju da viša temperatura sušenja rezultira većom brzinom otpuštanja vode iz zrna hibrida kukuruza čime se smanjuje vrijeme sušenja, ali ne utječe na povećanje želatinizacije škroba u zrnu kukuruza.

Škrob žitarica glavni je izvor energije za domaće životinje (Grbeša, 2016.). Za odrasle monogastrične životinje glavni izvor energije je glukoza koja se oslobađa razgradnjom škroba u crijevima, a za preživače to su hlapljive masne kiseline koje nastaju fermentacijom škroba u predželucu. Kukuruz sadrži oko 64% škroba te 82% energije kukuruza dolazi iz škroba. Kukuruzni škrob je glavni sastojak hrane (50-75%) i osnovni izvor energije za perad, svinje, krave i junad. Hrana za odrasle svinje treba sadržavati minimalno 33% škroba, a za dojne krmače npr. čak 42% dok za visoko mliječne krave hrana treba sadržavati 20-25% škroba uz napomenu da prevelika količina škroba uzrokuje prekomjerno debljanje ili povećanje kiselosti organizma.

Katić i sur. (1994.) istražuju kako toplinska dorada zrna prije postupka sušenja utječe na nutritivnu vrijednost zrna hibrida kukuruza. Zaključak istraživanja je uočena razlika između sadržaja ljepljivosti koji kod osušenog zrna iznosi 21,6%, a kod parenog 60,9% i probavljivog proteina koji kod osušenog zrna iznosi 6,3%, a kod parenog 6,75%. Znatno se povećava probavljivost ugljikohidrata. Stupanj želatinizacije škroba toplinskom obradom (kuhanjem) povećava do oko 70%, dok kod prirodno osušenog zrna isti iznosi oko 20%. Osim povećane kvalitete zrna kukuruza, uočena je i znatna ušteda energije potrebne za cjelokupan postupak sušenja.

6.Zaključak

Proučavanjem nutritivnih svojstava pojedinih hibrida/sorta kukuruza prije sušenja te promjena svojstava pri različitim temperaturama sušenja dolazi se do vrijednih podataka koji pomažu pri odabiru odgovarajućih hibrida/sorta, usporedbe jesu li bolje stare sorte ili novi hibridi kao i odgovarajućeg tretmana sušenja ovisno o namjeni kukuruza te željenim rezultatima nakon postupka sušenja.

1. Sušenje u vakuumu do ravnotežne vlažnosti pogodnije je nego sušenje u fluidnom sloju s obzirom na brzinu sušenja koja je kod sušenja u fluidnom sloju skoro dva puta veća.
2. Najbolje je otpuštao vlagu i najbrže se sušio hibridni kukuruz u odnosu na stare sorte bijelog i crvenog kukuruza.
3. Udio C,H,N,S veći je nakon tretmana sušenja i to pri svim temperaturama (70, 80, 90°C).
4. Na udio proteina utječe temperatura tako da povišenjem temperature udio pada, a najpogodniji tretman je sušenje u vakuumu pri 70°C.
5. Udio škroba najveći je nakon sušenja u fluidnom sloju pri 80°C i to kod sve tri sorte kukuruza.
6. Udio masti najveći je nakon tretmana sušenja u fluidnom sloju pri 80°C, a najmanji nakon tretmana sušenja u vakuumu pri 90°C.
7. Nutritivni sastav zrna kukuruza ovisi o hibridu/sorti kukuruza te o tretmanu sušenja i temperaturi pri kojoj je kukuruz sušen.
8. Sadržaj proteina bio je najviši kod bijele sorte kukuruza u prirodnim uzorcima, a nakon termičke dorade u vakuumu i fluidnom sloju na 70°C.
9. Sadržaj masti bio je najviši kod hibrida kukuruza u prirodnim uzorcima, a nakon termičke dorade u vakuumu na 70°C, a u fluidnom sloju na 80°C.
10. Sadržaj škroba bio je najviši kod crvene sorte kukuruza u prirodnim uzorcima, a nakon termičke dorade u vakuumu na 70°C, a u fluidnom sloju na 80°C.
11. Usporedbom hibrida i starih sorata kukuruza dokazano je da su za doradu bolji novi hibridi, dok što se tiče nutritivnih svojstava vrijednost im je jednaka

7. Popis literature

1. Agriculture Handbook No 8-20: Composition of Foods – Cereal Grains and Pasta – DL Drake, SE Gebhardt, RH Matthews, Nutrition Monitoring Division, Human Nutrition Information Service, USDA – Superintendent of Documents, US Government Printing Office, Washington, DC 20402 – 1989, PP 137.
2. A.O.A.C. (1990) Official Methods of Analysis. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
3. Baker, K.D, Paulsen, M.R., Van Zweden, J. (1991). Hybrid and drying rate effects on seed corn viability. American Society of Agricultural Engineers 0001-2351/91/3402-0499. Vol. 34(2); March-April 1991
4. Bažok, Renata ; Stipetić, Stela ; Gotlin Čuljak, Tanja ; Barić, Marijana Sorte i hibridi otporni na štetnike kao važan segment integrirane zaštite bilja // *Fragmenta phytomedica et herbologica*, 31 (2011), 1/2; 63-80
5. Brandić, I., Krička, T. i Matin, A. (2024). Inovativne tehnologije sušenja zrna žitarica. *Glasnik Zaštite Bilja*, 47. (4.), 23-28. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/319517>
6. Brkić, A. (2023). Kukuruz: od domestikacije do oplemenjivanja. Grafika d.o.o., Osijek, 2023.
7. Brown, R.B., Fulford, G.N., Daynard, T.B., Meiering, A.G., Otten, L. (1979.). Effect of drying method on grain corn quality. *The American Association of Cereal Chemists*, Vol. 56, No. 6 (529-532)
8. Cetinkaya, N., Aykanat, S., Ayaşan, T., Celik, C. (2020). Nutrient contents and invitro digestibility of different parts of corn plant. *South African Journal of Animal Science*, 50(2), 302-309.
9. Cooper, M., Gho, C., Leafgren, R., Tang, T., Messina, C. (2014). Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: discovery to product. *Journal of Experimental Botany*, 65(21), 6191-6204.
10. Coradi, P.C., Souza, A.H.S., Camilo, L.J., Lemes, A.F.C., Milane, L.V. (2019.). Analysis of the physical quality of genetically modified and conventional maize grains in the drying and wetting processes, *Agricultural Engineering, Rev. Cienc. Agron.* 50 (3)
11. Darrah, L.L., McMullen, m.D., Zuber. M.S. (2019.). Chapter 2 - Breeding, Genetics and Seed Corn Production. AACC International Press, str. 19-41, ISBN 9780128119716, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00002-4>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128119716000024>)
12. Doymaz, İ., Pala, M., 2003. The thin-layer drying characteristics of corn. *Journal of food engineering*, 60(2), pp.125-130.
13. FAOSTAT. (2023). Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#compar>
14. García-Lara, S., Serna-Saldivar, S. O. (2019). Corn history and culture. *Corn*, 1-18.
15. Grbeša, D. (2016.). Hranidbena svojstva kukuruza, BC Institut, Zagreb
16. Herter, U. and Burris, J.S.(1989). Changes in moisture, temperature and quality of corn seed during high-temperature drying. *Can J. Plant Sci.* 69: 749-761.

17. Jimoh, K.A., Hashim, N., Shamsudin, R., Che Man, H., Jahari, M., Onwude, D.I. (2023.). Recent advances in the drying process of grains. *Food Engineering Reviews* (2023) 15:548-576. <https://doi.org/10.1007/s12393-023-09333-7>
18. Katić, Z. (1997.). *Sušenje i sušare u poljoprivredi*. Multigraf, Zagreb
19. Katić, Zvonko ; Krička, Tajana ; Pliستیć, Stjepan ; Bratko, Justina ; Krivec, Gabrijela ; Sito, Stjepan ; Utjecaj toplinske dorade kukuruza prije sušenja na hranidbenu kakvoću zrnja // X. Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja. Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1994. str. 1-18-x
20. Kiesselbach, T. A. (1939). Effect of artificial drying upon the germination of seed corn. 489-96
21. Kozumplik, Vinko ; Šarčević, Hrvoje ; Budimir, Ana ; Jambrović, Antun ; Purar, Božena ; Parlov, Dragomir. Tolerance of Maize Inbred Lines to Drought-Preliminary Research / Tolerantnost inbred linija kukuruza na sušu - preliminarna istraživanja // XXXIX. znanstveni skup hrvatskih agronoma s međunarodnim sudjelovanjem : priopćenja. Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2004. str. 263-266
22. Krička, T., Jukić, Ž., Voća, N., Janušić, V., Matin, A. (2004). Drying and storing of rape seed. In *1. Međunarodni i 18. Hrvatski kongres tehnologa za posliježetvenu tehnologiju "Zrnko'04"* (pp. 11-21).
23. Krička, T., Matin, A., Horvatić, T., Kiš, G., Voća, N., Jurišić, V., Grubor, M. (2017). Nutritivni sastav oljuštenog zrna ječma nakon termičke dorade sušenjem i uparavanjem. *Krmiva* 59, Zagreb. 2:51-60
24. Krička, T., Grubor, M., Vican, D., Matin, A. (2021). Influence of drying air temperature on maize grain breakage. *Simpozij agronoma 2021*
25. Krička, T., Tomić, F., Voća, N., Savić, B. T., Jurišić, V., Bilandžija, N., Matin, A. (2009). Physico-chemical properties of rapeseed after different treatments of air drying temperature and storage. *Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi/PTEP*, 13(3), 210-215.
26. Kurtović, K., Matković, A., Jukić, K., Jukić, Ž. (2018). Promjene u kemijskom sastavu i reološkim svojstvima pšenice tijekom skladištenja. *Agronomski glasnik: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva*, 80(6), 385-402.
27. 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
28. Li, H., Moray, V. (1984.). Thin-layer drying of yellow dent corn, *TransactionsoftheASAE*. 27 (2): 0581-0585. (doi: 10.13031/2013.32832)
29. Li, Q., Shi, M., Shi, C., Liu, D., Piao, X., Li, D., Lai, C. (2014.). Effect of variety and drying method on the nutritive value of corn for growing pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, Vol. 5(1):18
30. Malumba, P., Odjo, S., Boudry, C., Danthine, S., Bindelle, J., Beckers, Y., Bera, F.(2014.). Physico chemical characterization and invitro assessment of the nutritive value of starch yield from corn dried at different temperatures, *Starch-Stärke*, Vol. 66(7-8), 1-11

31. 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
32. Matin A., Krička T., Jurišić V., Voća N., Brlek Slavić T., Bilandžija N. (2009). Utjecaj uparavanja na fizikalna svojstva zrna kukuruza, *Krmiva* 51, Zagreb. 2: 83-90
33. Matin, A., Krička, T., Jurišić, V., Voća, N., Antonović, A., Bilandžija, N., Grubor, M., Miličević, I. (2016). Utilization of maize biomass for thermal energy production.
34. Matin, A., Krička, T., Jurišić, V., Voća, N., Žunić, J., & Grubor, M. (2017). Effects of different air drying temperature on sunflower seeds oil and ash content. *Journal on processing and energy in agriculture*, 21(1), 5-8.
35. Matin, A., Majdak, T., Krička, T., & Grubor, M. (2019). Valorization of sunflower husk after seeds convection drying for solid fuel production. *Journal of Central European Agriculture*, 20(1), 389-401.
36. Matin, A., Brandić, I., Voća, N., Bilandžija, N., Matin, B., Jurišić, V., Antonović, A., Krička, T. (2023). Changes in the Properties of Hazelnut Shells Due to Conduction Drying. *Agriculture*, 13(3), 589.
37. Matin, A., Brandić, I., Gubor, M., Pezo, L., Krička, T., Matin, B., Jurušić, V., Antonović, A. (2024). Effect of conduction drying on nutrient and fatty acid profiles: a comparative analysis of hazelnut sandwal nuts. *Frontier sinsustainable food systems*, 8, 1351309.
38. Matsuoka, M. (2002). Secondary growth phenomena in industrial crystallization and their effects on crystal quality. *Journal of chemical engineering of Japan*, 35(11), 1025-1037.
39. McRostie, G. P. (1949.) Neki čimbenici utječu na umjetno sušenje zrelog zrna kukuruza. *Agronomy Journal*, 41(9), 425-429.
40. Navratil, R. J., & Burris, J. S. (1984). The effect of drying temperature on corn seed quality. *Canadian Journal of Plant Science*, 64(3), 487-496.
41. Odjo, S.D.P., Malumba, P.K., Beckers, Y., Bera, F. (2015.). Impact of drying and heat treatment on the feeding value of corn. A review. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 19(3), 301-312.
42. Pliestić, Stjepan ; Čopec, Krešimir ; Kovačev, Igor. (2000.). Sušenje višestruko rehidriranog kukuruznog zrna. 16. hrvatsko savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja. Zagreb, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 17-26
43. Pliestić, Stjepan ; Dobričević, Janko Kompjutorsko praćenje rada sušare sa šest temperaturnih zona radi optimalizacije rada // Zbornik radova "VI. međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja". Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet poljoprivrednih znanosti, 1990. str. 94-107
44. Syariffuddeen, M.A., Yahya, S., Ruwaida, A.W., Zainun, M.S., Shahrir, A., Azman, H., Shafie, A., Zaimi, Z.A.M., Hafiz, M.A.T.M., Amir Redzuan, S., Aliq, J., Shukri, J., Faewati, A.K., Mohsin, Y., Shanmugevelu, S. (2020.). Evaluation on Drying Temperature of Grain Corn and Its Quality using Flat-bed Dryer. *ASM Science Journal*, Vol. 13 (78-83)
45. Tuncel, N.B., Yilmaz, N.E.Ş.E., Kocabiyik, H., Ozturk, N. and Tunçel, M., 2010. The effects of infrared and hot air drying on some properties of corn (*Zea mays*). *Journal of Food Agriculture & Environment*, 8(1), pp.63-68.

46. Vidić B., Vukušić T., Ljubić Herceg I., Šubarić D., Ačkar Đ., Brnčić M., Rimac Brnčić S., Režek Jambrak A., Karlović S., Herceg Z., (2011): Utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na fizikalna i teksturalna svojstva suspenzija škroba pšenice, Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam 6.3-4, Zagreb
47. Voća, N., Krička, T., Janušić, V., Matin, A., Čurić, D. (2007) Utjecaj temperature sušenja na stupanj želatinizacije škroba zrna kukuruza, Krmiva 49, Zagreb, 6:309-31
48. Voća, N., Varga, B., Krička, T., Čurić, D., Jurišić, V., Matin, A. (2009.). Progress in ethanol production from corn kernel by applying cooking pre-treatment. Bioresource Technology, Vol 100 (10), 2009, str. 2712 - 2718
49. Washko, J. B. (1941). *The influence of artificial drying conditions on the viability and on the productivity of seed corn*. University of Wisconsin--Madison.
50. Wileman, R. H. and A. J. Ullstrup. 1945. A study of factors determining safe drying temperatures for seed corn. Indiana Agric. Exp. Stn. Bull. 509.
51. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kukuruz> - pristup 08.08.2024.

8. Popis tablica, slika i grafikona

Tablica 5.1. : Sadržaj vlage (vode) zrna u prirodnom i u stanju nakon rehidracije (vlastiti izvor)

Tablica 5.2.: Eksponencijalne jednadžbe osušenih uzoraka (vlastiti izvor)

Tablica 5.3.: Početni udjeli proteina, C, H, N, O i S (vlastiti izvor)

Tablica 5.4. Udjeli proteina, C, H, N, O i S nakon sušenja u fluidnom sloju pri 70°C (vlastiti izvor)

Tablica 5.5.: Udjeli proteina, C, H, N, O i S nakon sušenja u fluidnom sloju pri 80°C (vlastiti izvor)

Tablica 5.6.: Udjeli proteina, C, H, N, O i S nakon sušenja u fluidnom sloju pri 90°C (vlastiti izvor)

Tablica 5.7.: Udjeli proteina, C, H, N, O i S nakon sušenja u vakuumu pri 70°C (vlastiti izvor)

Tablica 5.8.: Udjeli proteina, C, H, N, O i S nakon sušenja u vakuumu pri 80°C (vlastiti izvor)

Tablica 5.9.: Udjeli proteina, C, H, N, O i S nakon sušenja u vakuumu pri 90°C (vlastiti izvor)

Tablica 5.10.: Početne i vrijednosti masti nakon sušenja u fluidnom sloju pri 70, 80 i 90°C (vlastiti izvor)

Tablica 5.11.: Početne i vrijednosti masti nakon sušenja u vakuumu pri 70, 80 i 90°C (vlastiti izvor)

Tablica 5.12.: Početne i vrijednosti škroba nakon sušenja u fluidnom sloju pri 70, 80, 90°C (vlastiti izvor)

Tablica 5.13.: Početne i vrijednosti škroba nakon sušenja u vakuumu pri 70, 80, 90°C (vlastiti izvor)

Slika 4.1. Sušnica Retsch TG 200 (vlastiti izvor)

Slike 4.2. i 4.3.: Sušnica Memmert vO101(vlastiti izvor)

Graf 5.1.: Sadržaj vlage bijelog kukuruza nakon sušenja u fluidnom sloju (vlastiti izvor)

Graf 5.2.: Sadržaj vlage hibridnog kukuruza nakon sušenja u fluidnom sloju(vlastiti izvor)

Graf 5.3.: Sadržaj vlage crvenog kukuruza nakon sušenja u fluidnom sloju(vlastiti izvor)

Graf 5.4.: Sadržaj vlage bijelog kukuruza nakon sušenja u vakuumu(vlastiti izvor)

Graf 5.5.: Sadržaj vlage hibridnog kukuruza nakon sušenja u vakuumu(vlastiti izvor)

Graf 5.6.: Sadržaj vlage crvenog kukuruza nakon sušenja u vakuumu(vlastiti izvor)

Životopis

Filip Pucko rođen je 10. lipnja 2000. godine u Zagrebu. Pohađao je Osnovnu školu Jakovlje u Jakovlju te Gimnaziju Lucijana Vranjanina U Zagrebu, smjer prirodoslovno-matematička gimnazija. Od svoje 5. do 18. godine pohađao je nastavu synthesizera i violine u Glazbenoj školi Bonar. Nakon gimnazije upisuje Poljoprivrednu tehniku na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Preddiplomski studij završava 2022. godine te upisuje diplomski studij Poljoprivredna tehnika - Mehanizacija na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Od 2023. godine nositelj je OPG-a Filip Pucko te posjeduje certifikat za profesionalno i održivo korištenje pesticida.