

Utjecaj djelovanja ultrazvuka pri sušenju gljiva

Babić, Andrea

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:159:927571>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-21**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija

Andrea Babić

7111

UTJECAJ DJELOVANJA ULTRAZVUKA PRI SUŠENJU GLJIVA
ZAVRŠNI RAD

Predmet: Inženjerstvo III.

Mentor: Prof.dr.sc. *Mladen Brnčić*

Zagreb, 2017.

Ovaj završni rad izrađen je u okviru projekta (kratkotrajna potpora) **Sveučilišta u Zagrebu** pod Nazivom „Utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na brzinu difuzije vode voća sušenog pod vakuumom“ i sufinanciran sredstvima Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost u vidu financijskih sredstava pomoći ostvarenih temeljem prijave na javni poziv za neposredno sufinanciranje istraživačkih i razvojnih djelatnosti u području klimatskih promjena (Odluka br. 48947) od 01.prosinca 2015.

Zahvaljujemo se Sveučilištu u Zagrebu te Fondu za Zaštitu okoliša i energetske učinkovitost na ukazanom povjerenju i financijskoj pomoći.

Završni rad izrađen je u cijelosti u Laboratoriju za tehničku termodinamiku Zavoda za procesno inženjerstvo, Prehrambeno – biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom Prof.dr.sc. Mladena Brnčića, uz pomoć asistenata Marka Marelje, mag.educ. i višeg asistenta dr.sc. Filipa Dujmića.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija

Zavod za procesno inženjerstvo

Laboratorij za tehničku termodinamiku

Znanstveno područje: Biotehnološke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

UTJECAJ DJELOVANJA ULTRAZVUKA PRI SUŠENJU GLJIVA

Andrea Babić, 0058207164

Sažetak: Svrha ovog rada bila je ispitati kako ultrazvuk visokog intenziteta korišten kao predtretman utječe na boju i teksturalna svojstva uzoraka šampinjona prilikom postupka sušenja. Uzorci se tretiraju u ultrazvučnoj kupelji pri različitim vremenskim intervalima (10,30 i 50 min), pri konstantnim uvjetima temperature (20 C°), frekvencije (37 kHz), te amplitude (100%). Uzorci se potom suše u konvekcijskoj sušari na temperaturama od 40,55 i 70 C°, pri različitim vremenima sušenja (60,120,180 min). Kod onih uzoraka koji nisu podvrgavani predtretmanu, sušenje se provodi kroz četiri vremenska intervala (60,10,180 i 240 min). Pokazalo se kako predtretman ultrazvukom značajno skraćuje vrijeme sušenja, te povoljno utječe na senzorska svojstva (boja i tekstura) sušenih uzoraka. Najboljim se pokazalo sušenje u trajanju od 3 sata, pri temperaturi od 55 C°, uz 50 min predtretmana, te sušenje 3 sata na temperaturi od 70 C°, uz predtretman ultrazvukom u trajanju od 10 min.

Ključne riječi: gljive, sušenje, ultrazvuk

Rad sadrži: 33 stranica, 21 slika, 6 tablica, 16 literaturnih navoda

Jezik izvornika: Hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: Prof.dr.sc. Mladen Brnčić

Pomoć pri izradi: Marko Marelja, mag., dr.sc. Filip Dujmić

Datum obrane: 8. rujna 2017.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

University of Zagreb

Faculty of Food Technology and Biotechnology

University Undergraduate study Food Technology

Department of Process Engineering

Laboratory for Thermodynamics

Scientific area: Biotechnological sciences

Scientific field: Food Technology

THE IMPACT OF ULTRASOUND ON MUSHROOMS DRYING

Andrea Babić, 0058207164

Abstract: The purpose of this study was to examine how high intensity ultrasound, used as pre-treatment affects the color and textural properties of samples of mushrooms during the drying process. The samples were treated in an ultrasound bath at various time points (10, 30 and 50 min), under constant conditions of temperature (20 °C), the frequency (37 kHz), and amplitude (100%). The samples are then dried in a convection dryer at temperatures of 40, 55, and 70 °C, drying at various times (60, 120, 180 min). Those samples that are not subjected to preliminary processing, drying is carried out in four time intervals (60, 10, 180 and 240 minutes). It turned out that the pre-treatment ultrasound significantly reduces the drying time and has a positive impact on the sensory properties (color and texture) of dried samples. Best proved drying was for 3 hours, at a temperature of 55 °C, with a 50 min pre-treatment, and drying for 3 hours at 70 °C, with the pre-treatment of sonication for 10 min.

Keywords: drying, mushrooms, ultrasound

Thesis contains: 33 pages, 21 figures, 6 tables, 16 references

Original in: Croatian

Final work in printed and electronic form deposited in the Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: PhD Mladen Brnčić, Full professor

Technical support and assistance: Marko Marelja, mag., PhD Filip Dujmić

Defence date: September 8th, 2017

Sadržaj:

| | | |
|-------|------------------------------------|----|
| 1 | UVOD..... | 1 |
| 2 | TEORIJSKI DIO | 2 |
| 2.1 | GLJIVE | 2 |
| 2.2 | BOJA I TEKSTURA..... | 3 |
| 2.3 | ULTRAZVUK..... | 4 |
| 2.3.1 | Ultrazvuk niskog inteziteta | 5 |
| 2.3.2 | Ultrazvuk visokog inteziteta | 5 |
| 2.3.3 | Vrste uređaja | 7 |
| 2.3.4 | Predtretman | 8 |
| 2.4 | SUŠENJE | 9 |
| 2.4.1 | Princip..... | 9 |
| 2.4.2 | Vrste sušara | 10 |
| 3 | MATERIJALI I METODE..... | 10 |
| 3.1 | Materijal | 10 |
| 3.1.1 | Priprema uzorka | 10 |
| 3.2 | Metode..... | 11 |
| 3.2.1 | Obrada ultrazvukom..... | 11 |
| 3.2.2 | Sušenje | 11 |
| 3.2.3 | Kolorimetrija..... | 12 |
| 3.2.4 | Analiza teksture | 12 |
| 4 | REZULTATI I RASPRAVA | 14 |
| 4.1 | Sušenje | 14 |
| 4.2 | Tekstura..... | 17 |
| 4.3 | Boja..... | 21 |
| 5 | ZAKLJUČCI..... | 25 |
| 6 | POPIS LITERATURE:..... | 26 |

1 UVOD

Gljive zbog svog povoljnog fenolnog sadržaja i antioksidativnih svojstava, namirnica su koja zauzima visoki položaj kada je riječ o konzumaciji. Šampinjoni (*Agaricus bisporus*), najrasprostranjenije su i najčešće korištene gljive u ljudskoj prehrani. Koristimo ih u pripremi juha, pizza, u raznim umacima, kao aromatični dodaci hrani ili pak kao alternativa mesu. Ekstrakti ovog povrća mogu se koristiti kao lijekovi u medicini protiv nekih bolesti, kao što su primjerice kardiovaskularni poremećaji (Guillamón,2010).

Zbog velike količine vlage koju sadrže, čak 90%, šampinjoni se ne mogu očuvati kroz dulji period, te nakon par dana dolazi do narušavanja njihovih fizikalno-kemijskih svojstava. Uzrok tome upravo je velika količina vode koja je pogodan medij za rast i razmnožavanje mikroorganizama, te pogoduje provođenju biokemijskim promjena. Kako bi se to spriječilo, kao efikasna metoda za produljenje vijeka trajnosti ovih gljiva pokazala se sušenje. Postoje brojne studije o sušenju gljiva korištenjem različitih metoda kao što je sušenje vrućim zrakom, mikrovalovima, sušenje u vakuumu, infracrveno sušenje, sušenje zamrzavanjem i brojne drugi (Çakmak i sur, 2016). Problem koji se javlja kod sušenja je izlaganje namirnice visokim temperaturama kroz duži period, čime može doći do oštećenja namirnice i narušavanja kvalitete. Također, uslijed neadekvatnih uvjeta sušenja, kao što su npr. previsoka temperatura sušenja ili preniska temperatura sušenja ili kratko vrijeme sušenja može uzrokovati nepotpuno uklanjanje vode iz tretirane namirnice.

U novije vrijeme, sve više se nastoje primjenjivati metode koje bi osigurale minimalnu obradu hrane uz što bolje očuvanje kvalitete. Kao jedna od metoda koja se nametnula je i tretiranje namirnica ultrazvukom. Sušenje potpomognuto ultrazvukom je od velike komercijalne važnosti jer omogućuje sušenje pri nižim temperaturama i kroz kraći period, čime se smanjuje oksidacija i propadanje materijala.

Cilj ovog rada je bio ispitati utjecaj ultrazvuka kao predtretmana u postupku sušenja šampinjona. Također smo utvrdili utjecaj ultrazvuka na boju kao glavnu vizualnu senzorsku osobinu i na teksturalna svojstva ispitivanih uzoraka primjenom različitih vremena tretiranja.

2 TEORIJSKI DIO

2.1 GLJIVE

Gljive pripadaju carstvu fungi. Međusobno se razlikuju prema morfološkim i fiziološkim karakteristikama, podrijetlu, odnosu prema okolinskim čimbenicima, te prema patološkim procesima koje uzrokuju. Prave gljive karakterizira jednostaničan (kod manjeg broja vrsta) ili višestaničan micelij, stanična opna. Sadrže glukozu i hitin, a ne posjeduju klorofil.

Šampinjon ili plemenita pečurka (*Agaricus bisporus* (J.E.Lange) Imbach) prirodno je rasprostranjena gljiva u Europi i Sjevernoj Americi. Spada u jestive gljive iz porodice pečurki (*Agaricaceae*), te je jedna od najčešćih gljiva pošto se masovno uzgaja zbog svoje odlične kvalitete. Karakterizira je bijeli, na dodir crvenkast klobuk širine do 10 cm, listići koji su u početku bjelkasti, kasnije crvenosmeđkasti, gusti i slobodni. Potom bijel, pun, visine do 6cm i promjera do 15 cm stručak, te bijelo meso koje je čvrsto, ugodnog mirisa i okusa. Spore su eliptične, glatke, otrusina je smeđa.

Gljive imaju veliku prehrambenu vrijednost, vrlo su bogate proteinima, važnim esencijalnim aminokiselinama i vlaknima, a siromašne mastima. Jestive gljive također pružaju nutritivno značajan sadržaj vitamina (B1, B2, B12, C, D i E) (Mattila i sur., 2001.) Međutim, zbog kratkog roka trajanja svježih gljiva, uslijed dužeg skladištenja kao posljedica reakcija koje se odvijaju zbog visokog sadržaja vlage ploda i zbog visoke aktivnosti enzima (proteaze i polifenol oksidaza) može doći do smanjenja proteina i šećera te do potamnjivanja. Kako bi se to spriječilo primjenjuje se sušenje kao metoda koja se koristi kako bi se osigurala dugoročna pohrana gljiva. Zbog temperaturne osjetljivosti gljiva nužno je odabrati pravi način sušenja, koji je ključ za uspješnu operaciju. Dehidracija se smatra učinkovitom metodom očuvanja, produžujući rok trajanja proizvoda. Trenutno se koriste različite metode sušenja kao što su sušenje vrućim zrakom, vakuumsko sušenje, sušenje smrzavanjem i mikrovalna vakuum sušenja (Giri i Prasad, 2007.).



Slika 1. Fotografski prikaz vanjskog izgleda gljive šampinjona

(Izvor: <http://www.plantea.com.hr/sampinjon/>)

2.2 BOJA I TEKSTURA

Prilikom odabira hrane, čovjek se oslanja na svoja osjetila vida, okusa i mirisa. Iako boja ostavlja prvi dojam na potrošača i čini hranu privlačnom ili pak nepoželjnom za konzumaciju, tijekom konzumacije hrane važnu ulogu ima i tekstura. Upravo prilikom sušenja prehrambenih proizvoda potrebno je posvetiti značajnu pažnju vanjskom izgledu osušenog povrća ili voća, kako bi konačni proizvod bio vizualno prihvatljiv (Skupnjak, 2011). U svrhu objektivnog određivanja boje, danas se za prehrambene proizvode najčešće koristi kolorimetar s mogućnošću određivanja čitavog vidljivog spektra, pri čemu se mjerenje boje izražava se u $L^*a^*b^*$ vrijednostima. Parametar ΔE^* (Tablica 1.) računa se na temelju rezultata, a pokazuje nam koliko neki proizvod odstupa od referentne boje (Karlović, 2013). Boja proizvoda utječe na interpretaciju proizvoda kao dobrog ili lošeg.

Tablica 1. Značenje razlika između izmjerene ΔE^* vrijednosti i referentne.

| ΔE^* | Značenje |
|--------------|---------------------|
| 0-0,5 | Razlike u tragovima |
| 0,5-1,5 | Mala razlika |
| 1,5-3,0 | Primjetna razlika |
| 3,0-6,0 | Značajna razlika |
| 6,0-12,0 | Velika razlika |
| >12,0 | Vrlo velika razlika |

Već kako je prije spomenuto, tekstura je direktno povezana s prihvaćanjem potrošača. Sekundarni učinak teksture je modulacija oslobađanja okusa. Naime, kako bi se

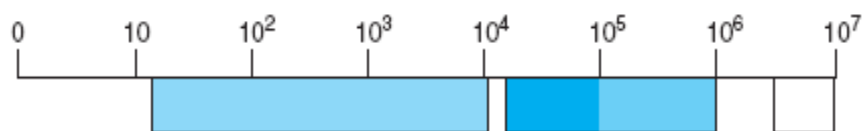
komponente okusa osjetile, moraju se osloboditi iz hrane da bi došle do odgovarajućeg receptora. Razaranje strukture hrane u ustima dovodi do oslobađanja okusa, koje je blisko povezano s početnom teksturom hrane i njenom promjenom za vrijeme žvakanja (Skupnjak, 2011).





Tekstura je obilježje kvalitete hrane i usko je povezana sa strukturnim i mehaničkim svojstvima hrane. U mehanička svojstva se ubrajaju tvrdoća, elastičnost, viskoznost, adhezivnost i kohezivnost. Proučavanjem deformacije pri upotrebi određene sile, odnosno mehaničkog ponašanja hrane bavi se reologija. Tri osnovne varijable koje se koriste kod proučavanja mehaničkih svojstava hrane su sila (F), deformacija (D) i vrijeme (t), pri čemu odnos sile i deformacije ovisi o vremenu. Naprezanje odgovara sili po jedinici površine, a uzrokovano je vanjskom silom i/ili drugim faktorima kao što su temperatura i vlažnost. Materijal podvrgnut djelovanju vanjskih sila mijenja oblik, a veličina promjene ovisi o unutarnjim svojstvima materijala, te se razlikuju elastični i plastični materijali. Savršeno elastični materijali se vraćaju u svoj početni oblik nakon prestanka djelovanja sile, dok savršeno plastični materijali nakon prestanka djelovanja sile zadrže deformirani oblik. Pritisak vanjskih sila na površinu materijala koji je podložan deformaciji, izaziva poremećaje u materijalu, koji se očituju u udaljenosti između čestica (Lu i Abbot, 2004).

2.3 ULTRAZVUK

Zvuk je val koji se širi prostorom ispunjenim medijem pogodnim za širenje zvučnih valova. Mehanički valovi se mogu širiti kroz elastične medije i to u čvrstom, plinovitom i tekućem agregatnom stanju. U vakuumu se mehanički valovi ne mogu širiti pošto u vakuumu nema medija kroz kojeg bi se širili. Mehanički val se kroz sredstva može širiti kao longitudinalno-valni poremećaj, koji je okomit na smjer širenja vala ili transverzaln-valni poremećaj, koji je u smjeru širenja vala. Prema frekvenciji titranja i prosječnim slušnim mogućnostima ljudi sve ono što čujemo tj. "poremećaje" u mediju, ali i ono što ne čujemo možemo podijeliti u dva područja: Akustika i zvučno područje.

Ultrazvuk se ubraja u zvučno područje, a iskazuje frekvenciju zvuka koja se nalazi između 16 i 100 kHz, što je iznad čujnosti ljudskog uha.



| | | |
|-------------------------------|---|-----------------|
| čujno područje |  | 16 Hz -20 kHz |
| ultrazvuk visokog intenziteta |  | 20 kHz -100 kHz |
| prišireno područje |  | 100 kHz -2 MHz |
| dijagnostički ultrazvuk |  | 5 MHz -10 MHz |

Slika 2. Prikaz ultrazvučnog spektra (Skupnjak, 2011)

2.3.1 Ultrazvuk niskog inteziteta

Ultrazvuk niskog intenziteta je ultrazvuk intenziteta manjeg od 1 W cm^2 i visoke frekvencije (više od 100 kHz) koji uglavnom svoju primjenu pronalazi kao analitička metoda (Brnčić, 2006). Pokazao je značajan potencijal u određivanju svojstava prehrambenih sastojaka, sustava i gotovih prehrambenih proizvoda, a zbog svoje nerazornosti nailazi na prednost nad ostalim postojećim tehnologijama.

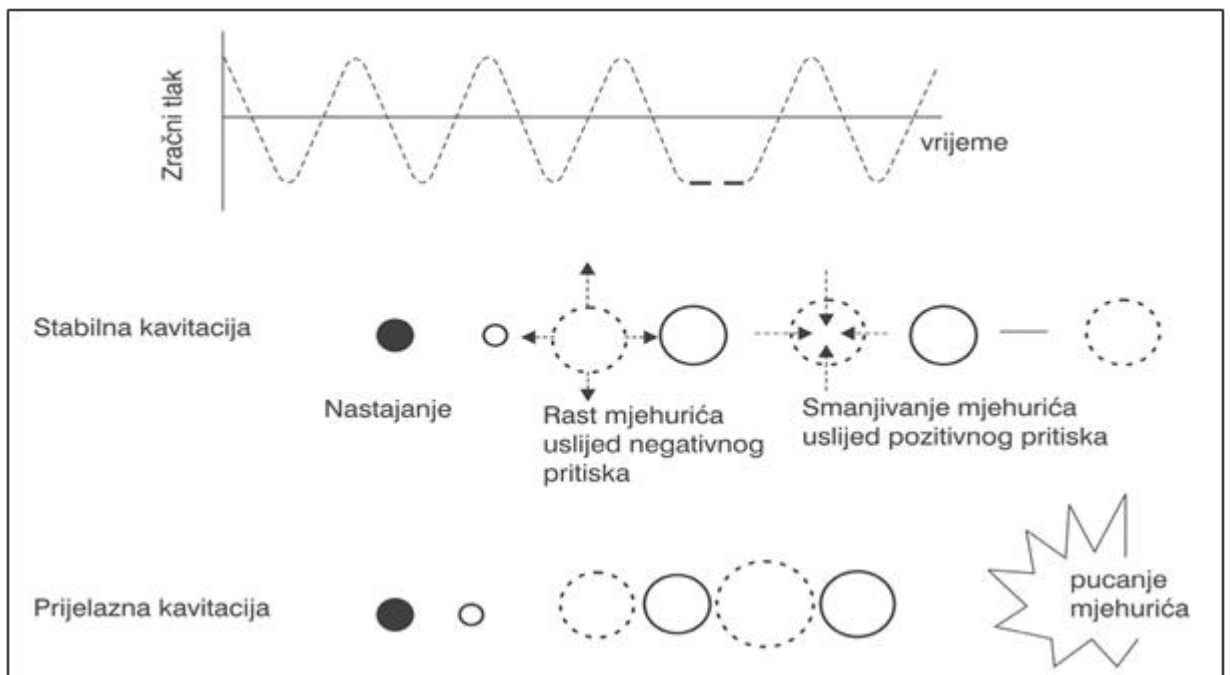
Ultrazvuk niskog intenziteta posjeduje važne značajke koje ga čine prikladnim za ispitivanje struktura i značajki prehrambenih sustava tijekom obrade (on-line) (Brnčić i sur, 2009).

2.3.2 Ultrazvuk visokog inteziteta

Ultrazvuk visokog intenziteta znači primjenu ultrazvuka intenziteta višeg od 1 W cm^2 (najčešće od $10\text{--}1000 \text{ W cm}^2$) i nešto nižih frekvencija između 18 i 100 kHz. Ovakav ultrazvuk naziva se još i „snažnim ultrazvukom“ jer veća snaga i niže frekvencije (20-100kHz) uzrokuju pojavu kavitacije. Kavitacija uključuje stvaranje, rast i snažno rasprsnuće mjehurića ili praznina u tekućini kao rezultat fluktuacije tlaka. Naime, prilikom tretiranja materijala ultrazvukom visokog intenziteta, uslijed dolaska vala do tekuće sredine dolazi do nastanka longitudinalnih valova što uzrokuje naizmjenične cikluse ekspanzije i sažimanja (Karlović i sur., 2009). Kao posljedica naizmjeničnog izmjenjivanja tlaka dolazi do formiranja mjehurića plina u materijalu koji imaju veću površinu tijekom ekspanzijskog ciklusa što povećava ekspanziju plina uzrokujući ekspanziju mjehurića (Brnčić i sur.,2009). Kada energija ultrazvuka nije dovoljna da bi

se zadržala plinska faza, unutar mjehurića dolazi do brze kondenzacije nakon čega se takve kondenzirane molekule sudaraju velikom brzinom i dovode do nastanka šok valova. Kao posljedica toga dolazi do porasta temperature (do 5500 K) i tlaka (do 100 Mpa).

Sposobnost ultrazvuka da izazove kavitacije ovisi o karakteristikama ultrazvuka (frekvenciji, intenzitetu), svojstvima proizvoda (viskoznosti, gustoći i površinskoj napetosti) i okolnim uvjetima (temperaturi, tlaku i vlažnosti) (Brnčić i sur., 2009).



Slika 3. Stabilna i prijelazna kavitacija (Marić, 2016).

Ultrazvuk visokog intenziteta primjenjuje se u različite svrhe pri obradi hrane. Jedna od mogućnosti je inhibicija enzima. Kombinacija ultrazvuka s toplinom i tlakom pokazala se učinkovitom u inaktivaciji enzima otpornih na toplinu. Izolirani pepsin inaktivira se primjenom ultrazvuka vjerojatno kao posljedica kavitacije što je dokazao još prije 80 godina Chambers (1937). Od ostalih enzima, oksidaze se uspješno inaktiviraju djelovanjem ultrazvuka, na katalaze ultrazvuk ima učinka samo pri malim koncentracijama, dok su reduktaze i amilaze otporne na djelovanje ultrazvuka. (Brnčić i sur., 2009).

Ultrazvuk se primjenjuje i kod odzračivanja tekuće hrane, za ekstrakciju enzima i proteina i za indukciju nukleacije kod kristalizacije. Ultrazvuk je posebice koristan pri

dekontaminaciji površina, te se primjenjivao i kod inaktivacije mikroorganizama u kombinaciji s antimikrobioticima. Zbog toga se ultrazvuk može primjenjivati i za pasterizaciju, sterilizaciju, te dekontaminaciju instrumenata i površina u medicini, kirurgiji, zubarstvu ili prehrambenoj industriji (Brnčić i sur., 2009).

Jedna od prvih primjena ultrazvuka kod obrade hrane bila je emulgiranje gdje uslijed nastanka šok vala na granici dvije tekućine koje se ne miješaju dolazi do pospješivanja njihovog miješanja. Primjena ultrazvuka također pospješuje i proces ekstrakcije i to tako da uzrokuje bolji prolazak otapala u stanicu, poboljšava prijenos mase, te uzrokuje razbijanje stijenki stanica u biljnom materijalu, čime dolazi do lakšeg otpuštanja staničnih sastojaka.

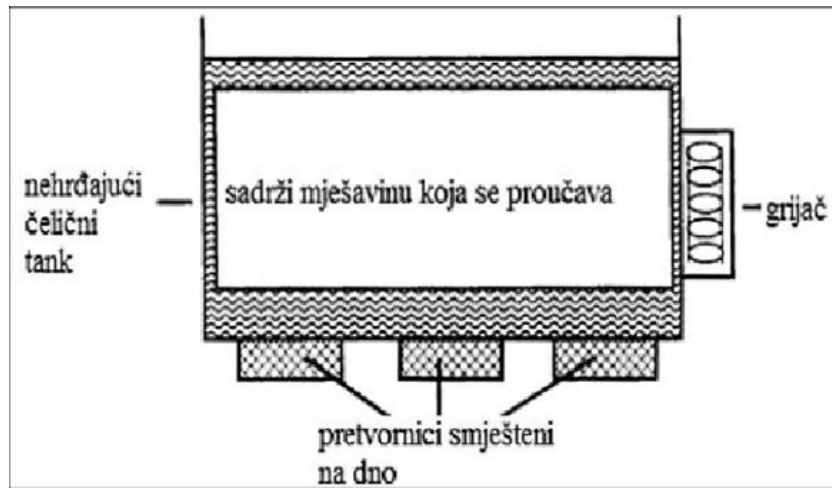
Nadalje, druga ispitivanja su pokazala kako ultrazvuk pospješuje prijenos topline pa se sve češće koristi kao jedan od načina sušenja uslijed visoke snage i ultrazvučnih vibracija u izravnom kontaktu s proizvodom ili se ultrazvuk visoke snage primjenjuje kao prethodna obrada klasičnom sušenju vrućim zrakom. (Dujmić i sur., 2013).

2.3.3 Vrste uređaja

Ultrazvučni uređaji koji se koriste prilikom obrade materijala najčešće su sustavi s direktno uronjenom sondom ili ultrazvučne kupelji. Uobičajeno uređaji sadrže dva osnovna dijela: generator koji pretvara električnu energiju u visoku frekvenciju izmjenične struje, te pretvornik koji pretvara visoku frekvenciju izmjenične struje u mehaničke vibracije koje stvaraju kavitacije.

Postoje tri tipa pretvornika u uporabi koji uključuju pretvornik s tekućinom, magnetostriktivni pretvornik i piezoelektrični pretvornik. Najčešće se koriste piezoelektrični pretvornici.

Ultrazvučna kupelj sadrži elemente pretvornika smještene na dnu spremnika, te većina ultrazvučnih kupelji radi na frekvenciji od 20-40kHz, iako postoje i izvedbe i s višim frekvencijama. Upravo ultrazvučne kupelji se često koriste u laboratorijima jer su lako dostupne i relativno su jeftine (Brnčić i sur.,2009).



Slika 4. Ultrazvučna kupelj (Brnčić i sur., 2009)

2.3.4 Predtretman

Jedna od izazovnijih operacija prilikom obrade hrane je sušenje. Ono zahtjeva veliku količinu energije te stvara velike troškove, a kvaliteta namirnice uslijed primjene visoke temperature kroz duži period može se značajno smanjiti. Stoga se nastoje pronaći nove metode kojim bi se pospješilo sušenje namirnica, te dobio kvalitetan proizvod uz što manje troškove. Jedno od rješenja je sušenje potpomognuto ultrazvukom visokog intenziteta, što omogućuje provođenje postupaka pri nižim temperaturama, uspoređujući s konvencionalnom metodom sušenja, čime se smanjuje oksidacija i propadanje materijala (Brnčić i sur., 2009).

U tu svrhu upotrebljavaju se ultrazvučne kupelji manje snage, za koje se pokazalo da uzrokuju manja oštećenja na tretiranim materijalima nego li upotreba ultrazvučne sonde frekvencije od 20kHz koja ima puno agresivniji učinak (Roselló-Soto i sur., 2015).

Primjena ultrazvuka visokog intenziteta uzbrzava prijenos topline između površine čvrste tvari koja se grije i tekućine. Kod voća primjena predtretmana ultrazvukom povećava difuziju vode u voću što će rezultirati kasnijim kraćim periodom sušenja vrućim zrakom. Također, kod uzoraka voća i povrća tretiranih ultrazvukom rehidrationske karakteristike su bolje nego li kod onih netretiranih (Dujmić i sur., 2013).

Smatra se da se ove pojave mogu pripisati kavitaciji koja potpomaže stvaranju mikrokanalića, čime dolazi do razbijanja graničnog sloja i dolazi do povećanoga prijenosa mase i topline.

2.4 SUŠENJE

2.4.1 Princip

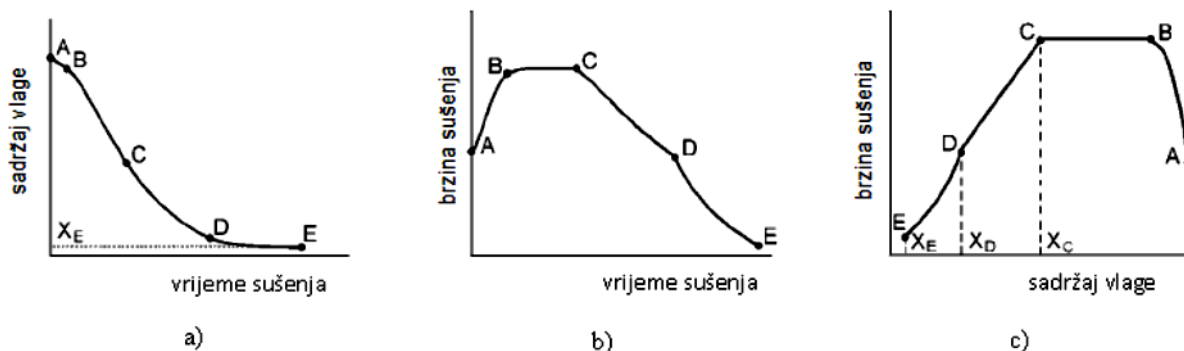
Sušenje je tehnološka operacija pod kojom se podrazumijeva uklanjanje vode prisutne u namirnici isparavanjem kao posljedica primjene topline. Voda s površine tvari ishlapljuje, čime se smanjuje vlažnost površine tvari, dolazi do razlike koncentracija, te voda difundira iz unutrašnjosti prema površini namirnice.

Sušenje je jedna od najstarijih metoda koja se primjenjivala za konzerviranje namirnica, pošto se uklanja voda koja je pogodna podloga za rast i razmnožavanje mikroorganizama, najčešćih uzročnika kvarenja namirnica. Također, smanjenjem udjela vode u namirnici dolazi do inhibicije enzima i usporavanja biokemijskih reakcija koje dovode do nepoželjnih promjena.

Koliko će vode u jedinici vremena ishlapati s površine sušene namirnice ovisi o vezi između vode i čvrste tvari, prema čemu razlikujemo vezanu i slobodnu vodu unutar namirnice, te o načinu i brzini strujanja zraka nad površinom. Zbog visoke temperature ili niske vlažnosti zraka sušenja koja brzo opada, voda iz unutrašnjosti ne dopijeva u velikoj količini na površinu, prilikom čega može doći do stvaranja pokorice na površini namirnice čime se otežava difuzija vode.

U procesu sušenja razlikujemo dvije faze. U prvoj fazi, periodu konstantne brzine sušenja, dolazi do isparavanja vode s površine materijala, te površina materijala održava konstantnu temperaturu jednaku temperaturi vlažnog termometra, a količina vlage na kraju perioda je kritični sadržaj vlage. Druga faza, period padajuće brzine sušenja, je onaj u kojem je transport vode kontroliran unutarnjim otporom. Dolazi do rasta temperature površine materijala i sadržaj vlage na površini materijala pada na vrijednost manju od kritične, što posljedično uzrokuje pad transporta vode iz unutrašnjosti materijala (Margaris i Ghiaus, 2008).

Razlikujemo nekoliko načina sušenja: Adijabatsko, stepenasto, optočno, sušenje sublimacijom, sušenje fluidizacijom. Koji od načina ćemo primijeniti ovisit će o temperaturnoj osjetljivosti namirnice i investicijskim troškovima.



Slika 5. Krivulja sušenja pokazuje ovisnost: a) sadržaja vlage o vremenu sušenja, b) brzine sušenja o vremenu, c) brzine sušenja o sadržaju vlage (Margaris i Ghiaus, 2008)

2.4.2 Vrste sušara

Sušare se međusobno razlikuju po određenim karakterističnim osobinama, pa tako s obzirom na dovođenje topline razlikujemo kontaktne i konvektivne sušare, s obzirom na primijenjeni tlak sušenja atmosferske i vakuum, prema provedbi sušenja razlikujemo kontinuirane i diskontinuirane, a s obzirom na smjer strujanja zraka i materijala postoje istosmjerne, protustrujne i unakrsne sušare. Kao ogrjevni medij može se koristiti plin, zrak i para.

Neke od sušara koje se koriste su komorne sušare, tunelske sušare, vakuum-sušare, sušare s fluidiziranim slojem, pneumatske, rotacione, radiofrekvencijske i infracrvene sušare.

3 MATERIJALI I METODE

3.1 Materijal

3.1.1 Priprema uzorka

Šampinjoni (*Agaricus bisporus*) su kupljeni na lokalnoj tržnici. Od šampinjona je odvojen stručak te je pomoću rezača rezan na ploške debljine 3mm, dimenzije klobuka 10cm x 5cm. Debljina se provjerila s pomičnim mjerilom. Kasnije su uzorci vagani na analitičkoj vagi (KERNABS) s točnošću od $\pm 0,001$ g.

3.2 Metode

3.2.1 Obrada ultrazvukom

Prethodno izvagani uzorci tretirani su u ultrazvučnoj kupelji Elmasonic P 300H (Elma) pri sobnoj temperaturi. Frekvencija je konstantna i iznosi 37kHz, kao i amplituda, koja se za vrijeme tretiranja ne mijenja i iznosi 100%. Tretiranje uzoraka ultrazvukom provodilo se pri različitim vremenskim intervalima u iznosu od 10, 30 i 50 minuta.

Na rešetku su poslagani uzorci gljiva te potom uranjani u ultrazvučnu kupelj napunjenu destiliranom vodom. Nakon isteka vremena uzorci se prenose direktno na sušenje bez prethodnog uklanjanja zaostale vode.



Slika 6. Elmasonic P 300H (Elma)

3.2.2 Sušenje

Sušenje se provodi u Vacuum Drying Oven VO200 (memmert) sušari. Sušenje se provodilo pri temperaturama od 40 C°, 55 C° i 70 C° za svaki pripremljeni uzorak. Masa uzorka se očitavala nakon 60, 120 i 180 min sušenja pri navedenim temperaturama. Uzorcima koji nisu prethodno tretirani s ultrazvukom, masa se mjerila nakon 60, 120, 180 i 240 min.



Slika 7. Vacuum Drying Oven VO200 (memmert)

3.2.3 Kolorimetrija

Određivanje boje uzorka vršilo se CM- 3500d kolorimetrom (Konica-Minolta, Japan). Prije početka mjerenja potrebno je prethodno kalibrirati uređaj za masku otvora 8mm. Mjerenja se provode u SCE (Specular Component Excluded) modu.

Uzorak se postavi na otvor maske pri čemu se izmjeri reflektancija u vidljivom području, te L^* , a^* i b^* vrijednosti. Obrada podataka vrši se u SpectraMagicNX programu. ΔE^* se računa po formuli:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_{ref}^*)^2 + (a^* - a_{ref}^*)^2 + (b^* - b_{ref}^*)^2}$$

- L^* - svjetlina boje ispitivanog uzorka u $L^*a^*b^*$ sustavu
- a^* - parametar boje ispitivanog uzorka
- b^* - parametar boje ispitivanog uzorka
- L_{ref}^* - svjetlina boje referentnog uzorka
- a_{ref}^* - parametar boje referentnog uzorka
- b_{ref}^* - parametar boje referentnog uzorka



Slika 8. CM- 3500d kolorimetar (Konica-Minolta, Japan)

3.2.4 Analiza teksture

Analiza teksture uzorka provodila se TA.HDPlus analizatorom teksture (Stable Micro Systems, Velika Britanija). Koristila se mjerna ćelija 5kg i cilindrična sonda $\varphi=2\text{mm}$ kojom se penetracijom određivala tvrdoća uzoraka prije, odnosno poslije sušenja uzoraka pri različitim vremenima, s i bez predtretmana ultrazvukom. Uzorak se

postavi na postolje ispod sonde i započne se test. Pre-test iznosi 1mm/s, a test-speed 0,5 mm/s.



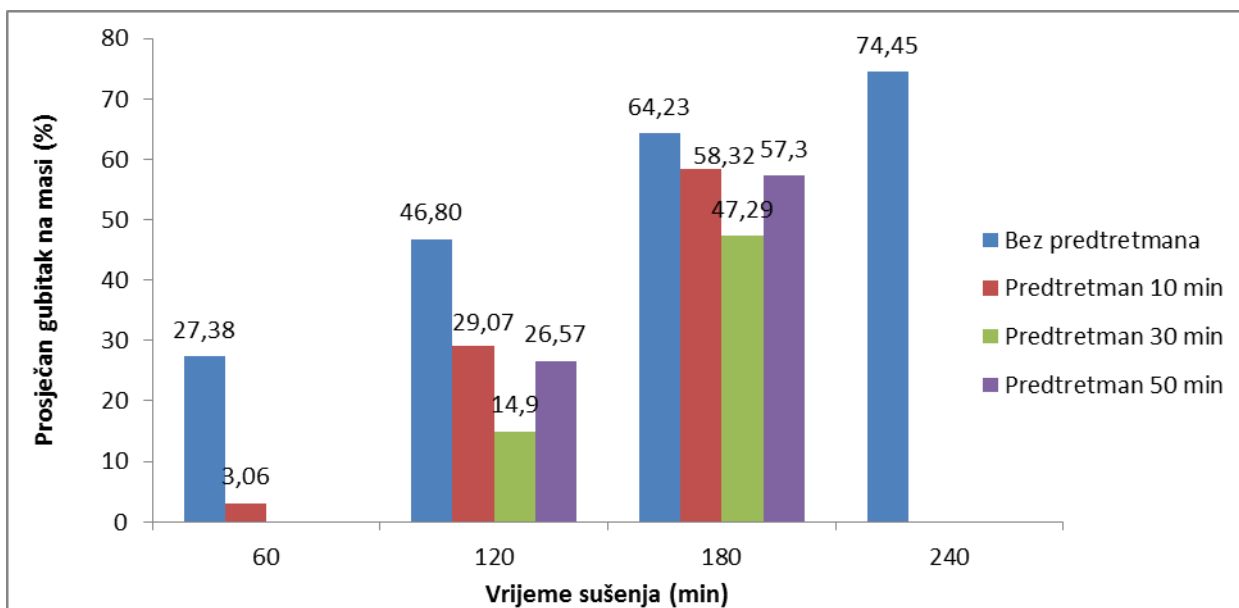
Slika 9. TA.HDPlus analizator teksture (Stable Micro Systems, Velika Britanija)

4 REZULTATI I RASPRAVA

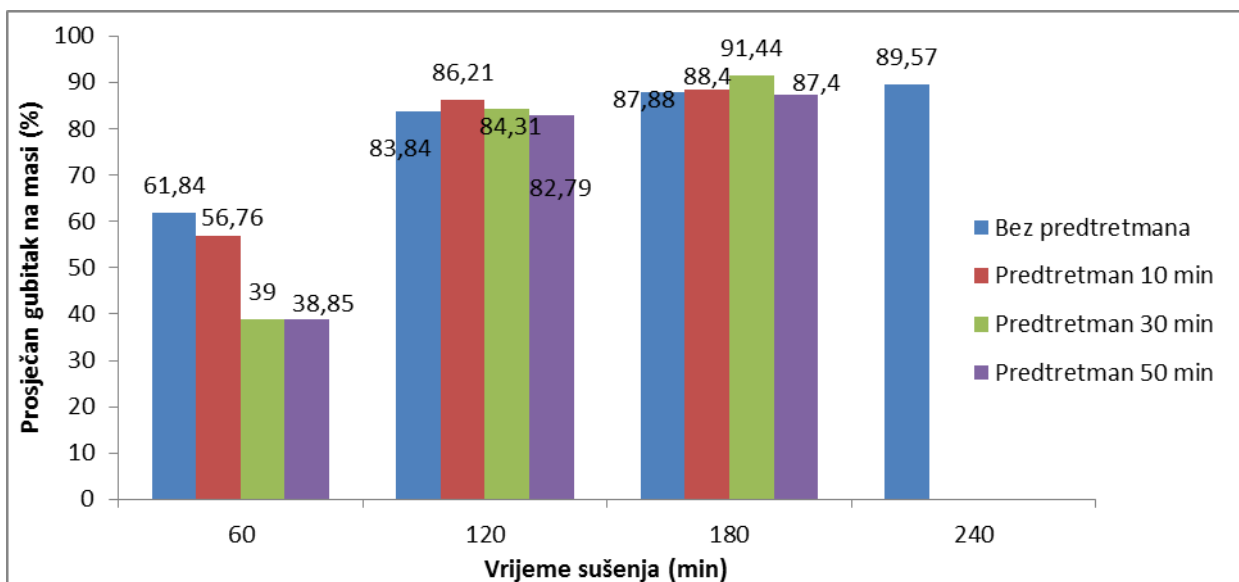
4.1 Sušenje

Tablica 2. Tablica prosječnog gubitka mase pri različitim temperaturama, vremenima sušenja i predtretmanom.

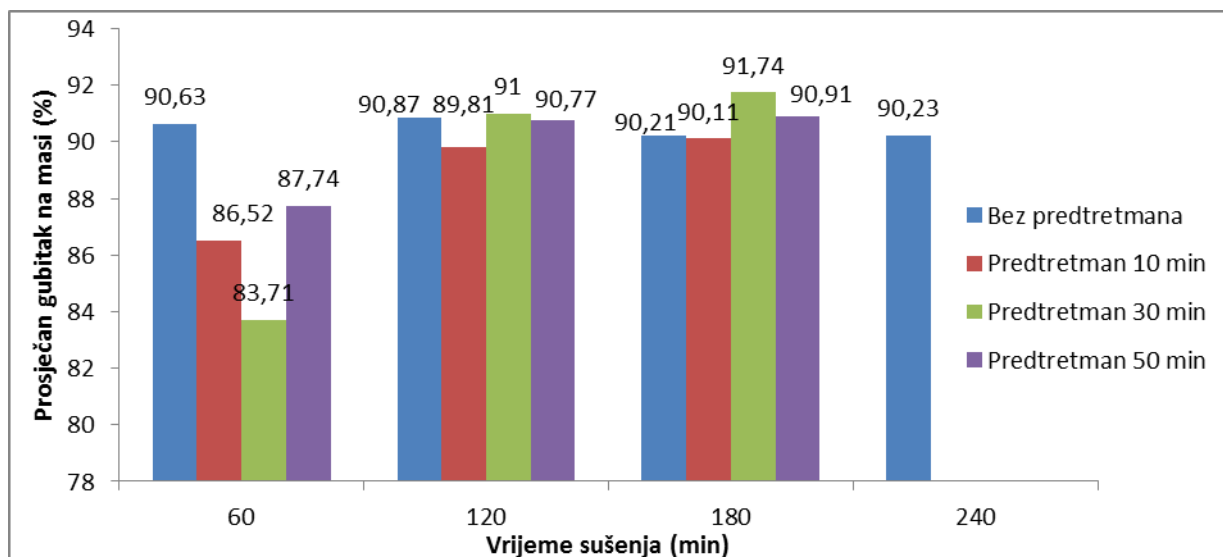
| Temperatura(°C) | Vrijeme(min) | Predtretman f=37 kHz; T=sobna; a=100% | Prosječna masa prije (g) | Prosječna masa nakon (g) | Prosječan gubitak mase (%) |
|-----------------|--------------|---|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| | | Vrijeme (min) | | | |
| 40 | 60 | - | 3,168 | 2,301 | 27,38 |
| 40 | 120 | - | 3,191 | 1,68 | 46,8 |
| 40 | 180 | - | 3,277 | 1,172 | 64,23 |
| 40 | 240 | - | 2,632 | 0,673 | 74,45 |
| 55 | 60 | - | 3,208 | 1,224 | 61,84 |
| 55 | 120 | - | 3,165 | 0,512 | 83,84 |
| 55 | 180 | - | 3,343 | 0,405 | 87,88 |
| 55 | 240 | - | 3,536 | 0,369 | 89,57 |
| 70 | 60 | - | 2,499 | 0,234 | 90,63 |
| 70 | 120 | - | 2,713 | 0,248 | 90,87 |
| 70 | 180 | - | 3,292 | 0,322 | 90,21 |
| 70 | 240 | - | 3,279 | 0,32 | 90,23 |
| 40 | 60 | 10 | 2,093 | 2,029 | 3,06 |
| 40 | 120 | 10 | 2,257 | 1,601 | 29,07 |
| 40 | 180 | 10 | 1,789 | 0,746 | 58,32 |
| 40 | 60 | 30 | 1,971 | 2,149 | -9,05 |
| 40 | 120 | 30 | 1,914 | 1,629 | 14,9 |
| 40 | 180 | 30 | 1,8 | 0,949 | 47,29 |
| 40 | 60 | 50 | 1,628 | 1,731 | -6,35 |
| 40 | 120 | 50 | 1,632 | 1,199 | 26,57 |
| 40 | 180 | 50 | 1,616 | 0,69 | 57,3 |
| 55 | 60 | 10 | 2,079 | 0,899 | 56,76 |
| 55 | 120 | 10 | 1,75 | 0,241 | 86,21 |
| 55 | 180 | 10 | 1,875 | 0,218 | 88,4 |
| 55 | 60 | 30 | 1,554 | 0,948 | 39 |
| 55 | 120 | 30 | 1,712 | 0,269 | 84,31 |
| 55 | 180 | 30 | 2,062 | 0,177 | 91,44 |
| 55 | 60 | 50 | 1,325 | 0,81 | 38,85 |
| 55 | 120 | 50 | 1,512 | 0,26 | 82,79 |
| 55 | 180 | 50 | 1,498 | 0,189 | 87,4 |
| 70 | 60 | 10 | 2,423 | 0,327 | 86,52 |
| 70 | 120 | 10 | 1,946 | 0,198 | 89,81 |
| 70 | 180 | 10 | 2,478 | 0,245 | 90,11 |
| 70 | 60 | 30 | 2,434 | 0,397 | 83,71 |
| 70 | 120 | 30 | 2,8 | 0,252 | 91 |
| 70 | 180 | 30 | 2,295 | 0,19 | 91,74 |
| 70 | 60 | 50 | 2,53 | 0,462 | 87,74 |
| 70 | 120 | 50 | 2,308 | 0,213 | 90,77 |
| 70 | 180 | 50 | 2,471 | 0,225 | 90,91 |



Slika 10. Grafički prikaz ovisnosti gubitka mase o vremenu sušenja uzoraka gljiva, pri temperaturi sušenja od 40 C°



Slika 11. Grafički prikaz ovisnosti gubitka mase o vremenu sušenja uzoraka gljiva, pri temperaturi sušenja od 55 C°



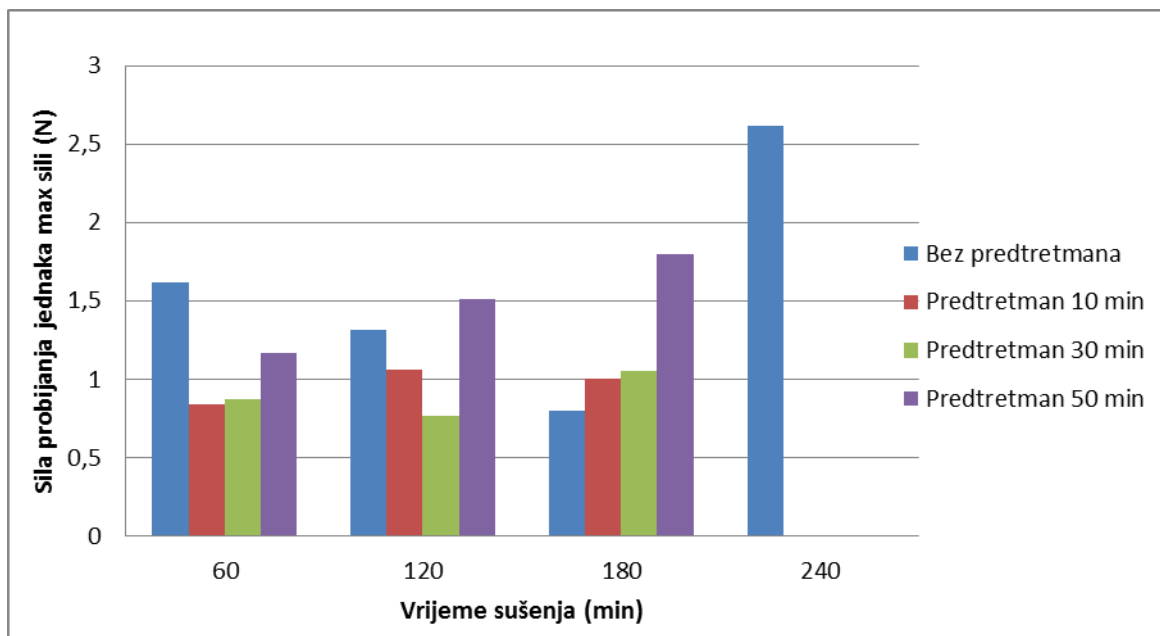
Slika 12. Grafički prikaz ovisnosti gubitka mase o vremenu sušenja uzoraka gljiva, pri temperaturi sušenja od 70 C°

U Tablici 2. prikazani su prosječni gubitci na masi pri zadanim (40C°, 55C°, 70C°) temperaturama sušenja, u različitim vremenskim intervalima, s i bez predtretmana u ultrazvučnoj kupelji. Uspoređujući dobivene vrijednosti može se uvidjeti kako je predtretman ultrazvukom uglavnom rezultirao većim gubitkom na masi pri određenoj temperaturi u istom vremenskom intervalu u odnosu bez predtretmana. Za temperaturu sušenja od 40C°, kako i prikazuje Slika 10., najbolji rezultat je dobiven bez predtretmana, pri sušenju od 240 min, pri čemu je gubitak na masi iznosio 74,45%. Za istu tu temperaturu, najmanji gubitak na masi ostvaren je sušenjem 60 min nakon predtretmana ultrazvukom od 30 min. Štoviše, uzorak je dobio na masi, te izračunata vrijednost iznosi -9,05%. Razlog tome je što prilikom predtretmana ultrazvukom, uslijed kavitacije dolazi do rastvaranja mikrokanala gljiva, čime se olakšava difuzija vode i kasnije ubrzava sušenje, pa uzorak upija dio vlage u kupelji. Kako je uzorak izložen relativno niskoj temperaturi kraći period, voda iz namirnice ne uspijeva izaći dovoljno brzo da bismo imali vidljivi gubitak na masi. Slika 11. nam daje informacije o gubitku na masi za temperaturu sušenja od 55C°. Najveći gubitak na masi postignut je kod sušenja u trajanju od 180 min, uz predtretman ultrazvukom 30 min, a iznosi 91,44%. Najmanji gubitak na masi, od svega 38,85% dobiven je sušenjem u trajanju od 60 min, uz primjenu 50 min predtretmana ultrazvukom. Za temperaturu sušenja od 70C° koju grafički prikazuje Slika 12., najveći gubitak na masi, 91,74%, postignut je uz predtretman ultrazvukom 30 min i sušenjem u trajanju od 180 min. Kod istog predtretmana ultrazvukom od 30 min, sušenjem u trajanju od 60 min, ostvaren je najmanji gubitak na masi koji iznosi 83,71%.

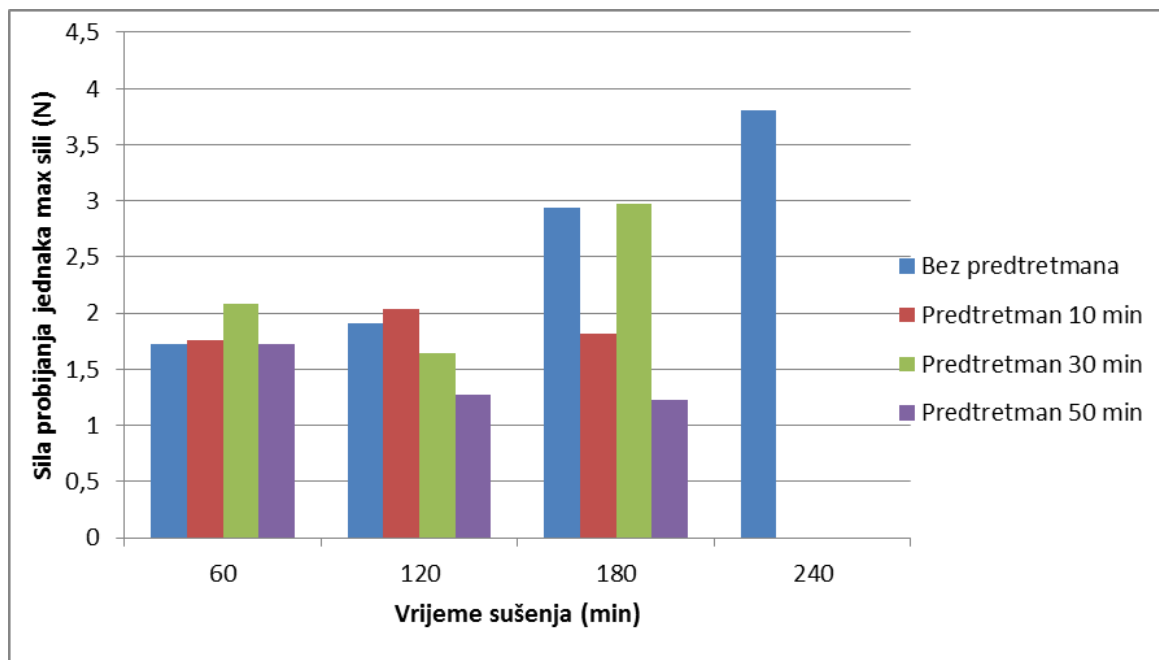
4.2 Tekstura

Tablica 3. Tablica analize teksture pri različitim temperaturama, vremenima sušenja i predtretmanom.

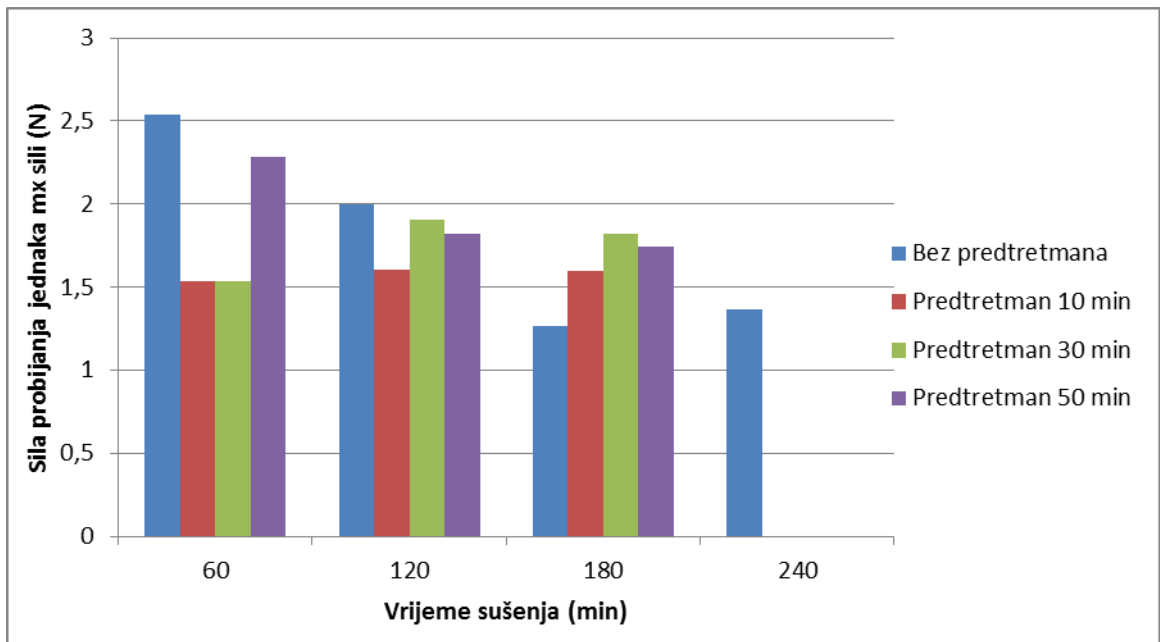
| Uzorak | Sila probijanja jednaka maksimalnoj sili $F_p = F_{max}$ (N) | Naprezanje u točki probijanja (tvrdoća) σ (N mm ⁻²) | Rad potreban za probijanje W (Nm) |
|--------------------------|---|---|-----------------------------------|
| Svježa gljiva | 1,268 | 0,404 | 0,002 |
| 40 C°, 60min | 1,616 | 0,514 | 0,002 |
| 40 C°, 120min | 1,311 | 0,417 | 0,001 |
| 40 C°, 180min | 0,797 | 0,254 | 0,003 |
| 40 C°, 240min | 2,617 | 0,833 | 0,004 |
| 55 C°, 60min | 1,720 | 0,547 | 0,002 |
| 55 C°, 120min | 1,905 | 0,606 | 0,001 |
| 55 C°, 180min | 2,933 | 0,934 | 0,001 |
| 55 C°, 240min | 3,810 | 1,213 | 0,002 |
| 70 C°, 60min | 2,541 | 0,809 | 0,001 |
| 70 C°, 120min | 1,997 | 0,636 | 0,001 |
| 70 C°, 180min | 1,266 | 0,403 | 0,001 |
| 70 C°, 240min | 1,366 | 0,435 | 0,001 |
| 40 C°, 60min (PT 10min) | 0,839 | 0,267 | 0,001 |
| 40 C°, 120min (PT 10min) | 1,062 | 0,338 | 0,001 |
| 40 C°, 180min (PT 10min) | 1,006 | 0,320 | 0,001 |
| 40 C°, 60min (PT 30min) | 0,870 | 0,277 | 0,001 |
| 40 C°, 120min (PT 30min) | 0,769 | 0,245 | 0,001 |
| 40 C°, 180min (PT 30min) | 1,052 | 0,335 | 0,001 |
| 40 C°, 60min (PT 50min) | 1,170 | 0,372 | 0,002 |
| 40 C°, 120min (PT 50min) | 1,515 | 0,482 | 0,002 |
| 40 C°, 180min (PT 50min) | 1,801 | 0,573 | 0,002 |
| 55 C°, 60min (PT 10min) | 1,753 | 0,558 | 0,002 |
| 55 C°, 120min (PT 10min) | 2,038 | 0,649 | 0,001 |
| 55 C°, 180min (PT 10min) | 1,818 | 0,579 | 0,001 |
| 55 C°, 60min (PT 30min) | 2,084 | 0,663 | 0,003 |
| 55 C°, 120min (PT 30min) | 1,646 | 0,524 | 0,001 |
| 55 C°, 180min (PT 30min) | 2,970 | 0,945 | 0,001 |
| 55 C°, 60min (PT 50min) | 1,720 | 0,547 | 0,002 |
| 55 C°, 120min (PT 50min) | 1,272 | 0,405 | 0,001 |
| 55 C°, 180min (PT 50min) | 1,232 | 0,392 | 0,001 |
| 70 C°, 60min (PT 10min) | 1,536 | 0,489 | 0,001 |
| 70 C°, 120min (PT 10min) | 1,604 | 0,510 | 0,001 |
| 70 C°, 180min (PT 10min) | 1,601 | 0,510 | 0,001 |
| 70 C°, 60min (PT 30min) | 1,535 | 0,488 | 0,001 |
| 70 C°, 120min (PT 30min) | 1,904 | 0,606 | 0,001 |
| 70 C°, 180min (PT 30min) | 1,818 | 0,579 | 0,001 |
| 70 C°, 60min (PT 50min) | 2,287 | 0,728 | 0,001 |
| 70 C°, 120min (PT 50min) | 1,823 | 0,580 | 0,001 |
| 70 C°, 180min (PT 50min) | 1,743 | 0,555 | 0,001 |



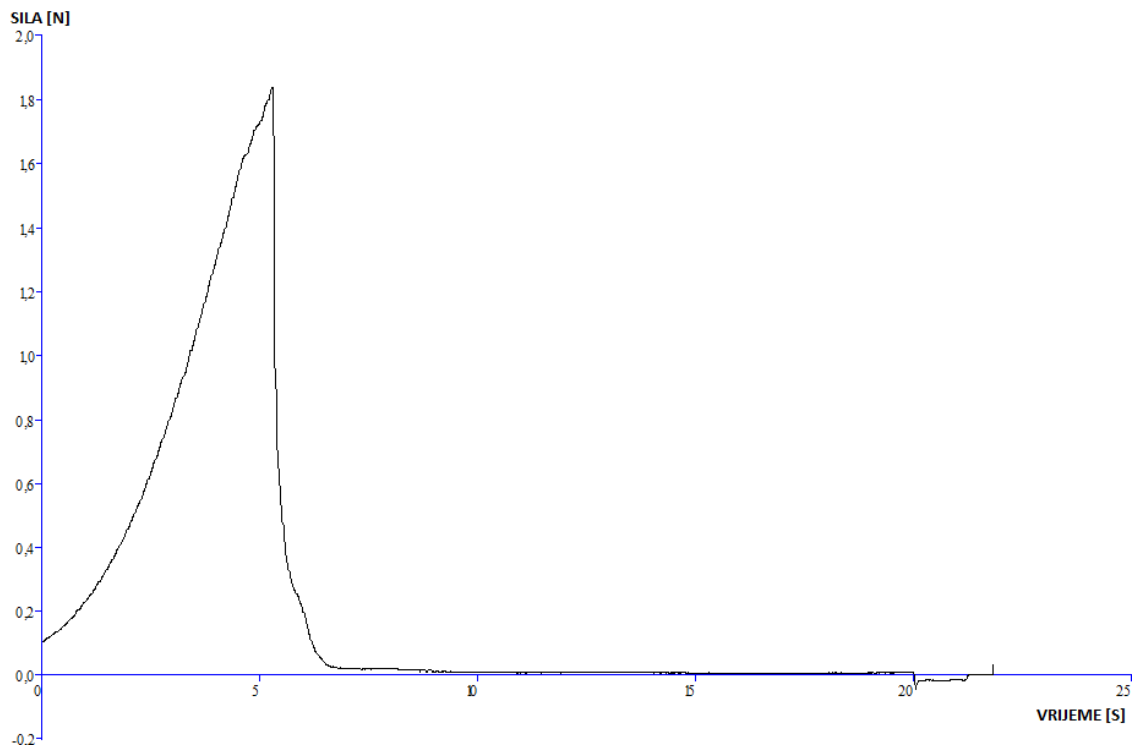
Slika 13. Grafički prikaz ovisnosti sile probijanja jednake maksimalnoj sili o vremenu sušenja uzoraka gljiva, pri temperaturi sušenja od 40 C°



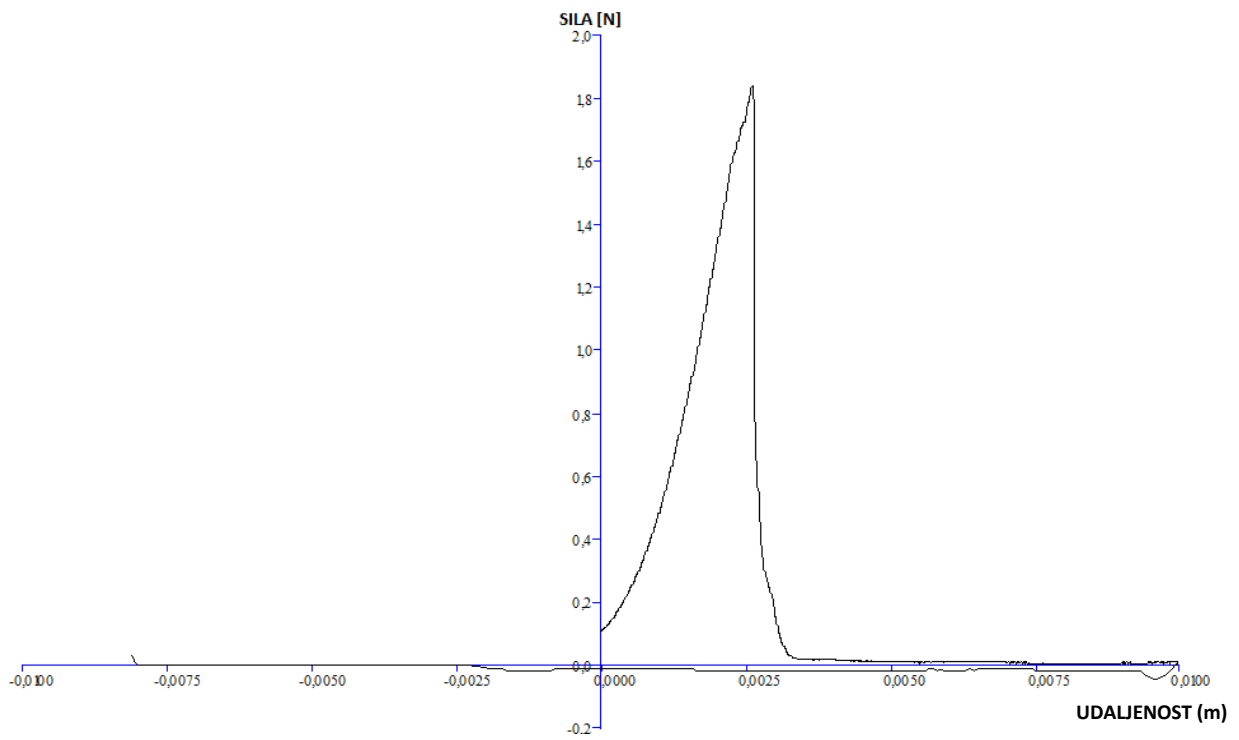
Slika 14. Grafički prikaz ovisnosti sile probijanja jednake maksimalnoj sili o vremenu sušenja uzoraka gljiva, pri temperaturi sušenja od 55 C°



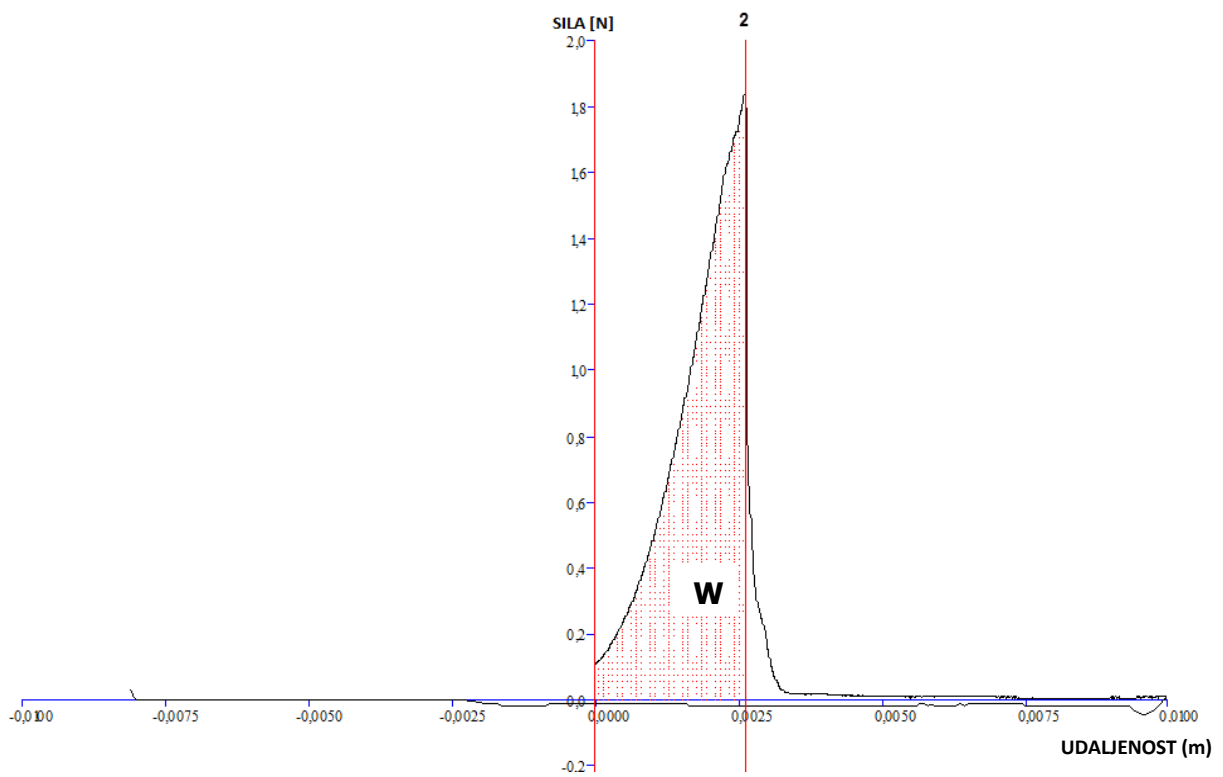
Slika 15. Grafički prikaz ovisnosti sile probijanja jednake maksimalnoj sili o vremenu sušenja uzoraka gljiva, pri temperaturi sušenja od 70 C°



Slika 16. Grafički prikaz ovisnosti sile (F) o vremenu (T) tijekom određivanja tvrdoće



Slika 17. Grafički prikaz ovisnosti sile (F) o udaljenosti (D) tijekom određivanja tvrdoće



Slika 18. Grafički prikaz određivanja rada potrebnog za probijanje (W)

U tablici 3. prikazane su prosječne vrijednosti tvrdoće uzorka dobivene analizom teksture se TA.HDPlus analizatorom teksture. Na temelju dobivenih vrijednosti, može se uočiti kako predtretman u ultrazvučnoj kupelji pogoduje tvrdoći uzoraka. Naime, uspoređujući vrijednosti sile probijanja koja je jednaka maksimalnoj sili, kod istih temperatura i vremena sušenja vidljivo je kako su vrijednosti manje ukoliko je primjenjivan tretman s ultrazvukom, odnosno kako je manja tvrdoća uzoraka što je i poželjno.

Najmanja vrijednost tvrdoće od 0,769N postignuta je nakon 120 min sušenja, kod temperature 40°C uz predtretman 30 min, što je i prikazano na Slika 13. Pri istoj toj temperaturi najveća tvrdoća izmjerena je nakon sušenja u trajanju 240 min bez prethodnog predtretmana, a iznosi 2,617N.

Slika 14. prikazuje analizu teksture pri temperaturi od 55°C. Najmanja izmjerena vrijednost od 1,232N dobivena je nakon 180 min sušenja, uz predtretman u trajanju od 50 min.

Najvećom, te ujedno i najlošijom vrijednosti tvrdoće ukupno rezultiralo je sušenje pri temperaturi od 55°C, bez predtretmana, u trajanju od 240 min.

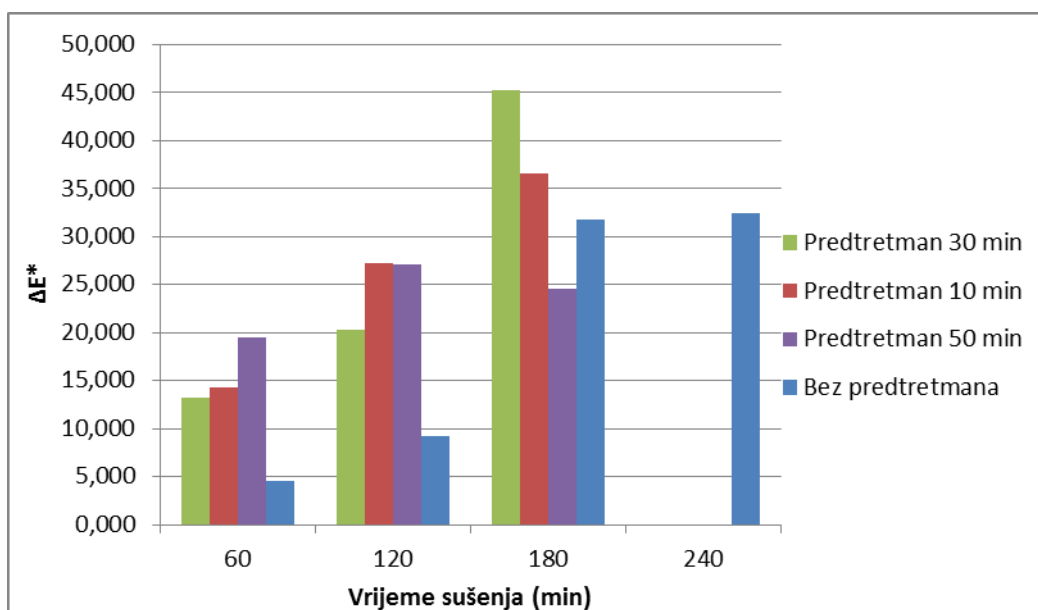
Pri temperaturi od 70°C, što nam grafički prikazuje Slika 15., najmanja tvrdoća od 1,266N dobivena je bez predtretmana, pri sušenju u trajanju od 180 min. Za tu istu temperaturu najveća vrijednost je izmjerena nakon 60 min sušenja, bez predtretmana, a iznosi 2,541N.

Slika 16.,17. i 18. primjer su analize teksture i očitavanja vrijednosti.

4.3 Boja

Tablica 4. L*, a* i b* vrijednosti za uzorke gljiva sušene pri 40 °C

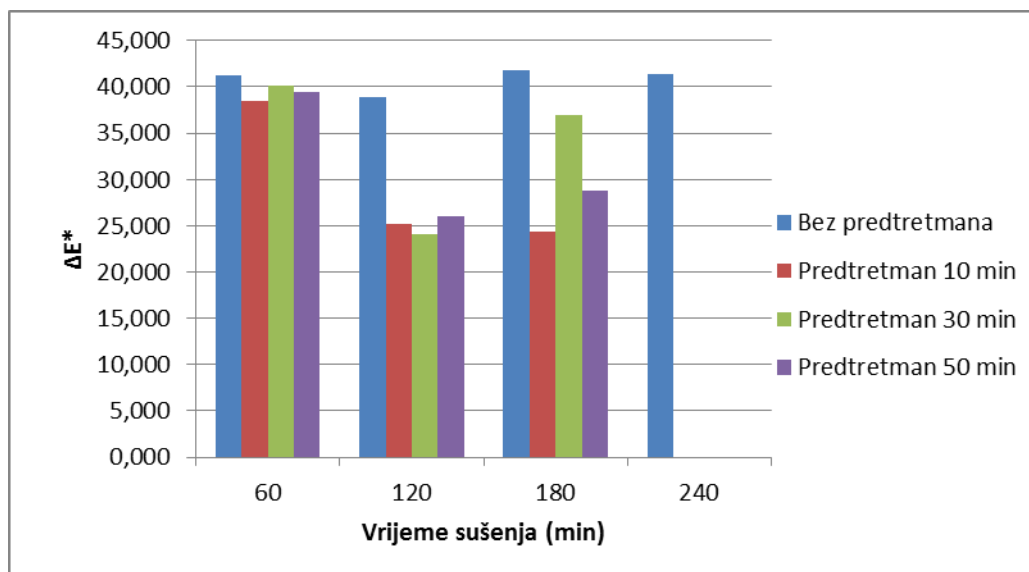
| Uzorak | | L* | a* | b* |
|-----------------------|-------------------|--------|-------|--------|
| Vrijeme sušenja (min) | Predtretman (min) | | | |
| 60 | - | 85,427 | 1,833 | 12,580 |
| 120 | - | 82,157 | 3,630 | 16,020 |
| 180 | - | 59,987 | 6,830 | 21,177 |
| 240 | - | 58,210 | 5,457 | 17,957 |
| 60 | 10 | 75,677 | 2,083 | 8,890 |
| 120 | 10 | 62,637 | 4,047 | 12,913 |
| 180 | 10 | 53,593 | 5,457 | 15,420 |
| 60 | 30 | 76,917 | 1,867 | 8,150 |
| 120 | 30 | 69,537 | 2,130 | 9,420 |
| 180 | 30 | 44,800 | 5,833 | 14,347 |
| 60 | 50 | 70,503 | 2,713 | 14,070 |
| 120 | 50 | 63,210 | 4,327 | 16,170 |
| 180 | 50 | 65,637 | 4,450 | 15,427 |



Slika 19. Razlika u boji ΔE^* između netretiranog referentnog uzorka gljive i uzoraka sušenih na temperaturi od 40 C°

Tablica 5. L*, a* i b* vrijednosti za uzorke gljiva sušene pri 55 °C

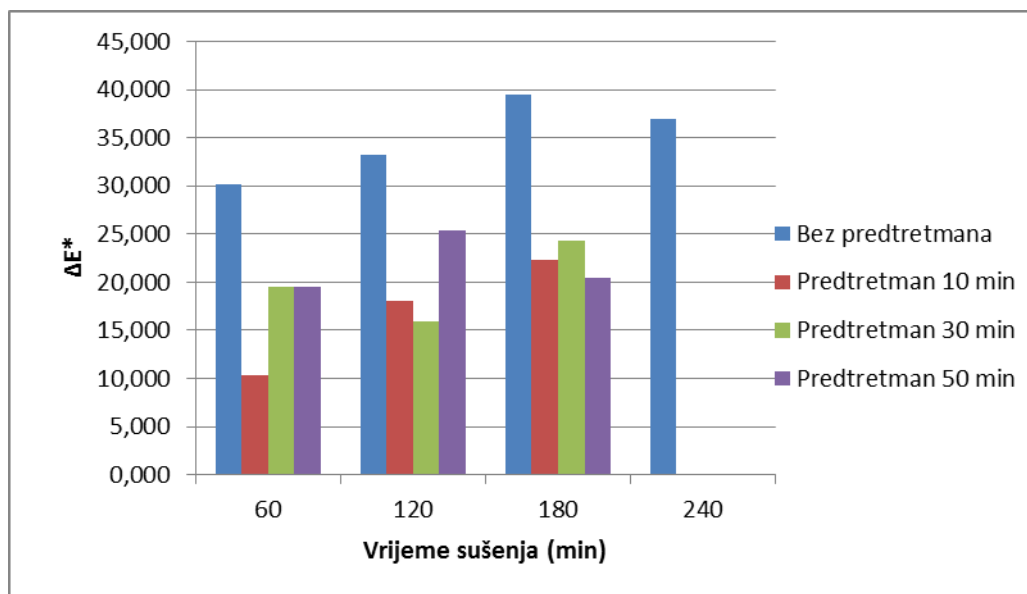
| Uzorak | | L* | a* | b* |
|-----------------------|-------------------|--------|-------|--------|
| Vrijeme sušenja (min) | Predtretman (min) | | | |
| 60 | - | 48,643 | 4,913 | 12,927 |
| 120 | - | 50,923 | 4,113 | 12,053 |
| 180 | - | 48,070 | 4,237 | 12,610 |
| 240 | - | 48,480 | 4,323 | 12,390 |
| 60 | 10 | 51,323 | 3,737 | 12,557 |
| 120 | 10 | 64,623 | 2,990 | 10,087 |
| 180 | 10 | 65,483 | 2,887 | 8,637 |
| 60 | 30 | 49,727 | 4,157 | 13,083 |
| 120 | 30 | 65,763 | 2,827 | 8,853 |
| 180 | 30 | 53,177 | 2,140 | 6,260 |
| 60 | 50 | 50,420 | 4,043 | 13,533 |
| 120 | 50 | 63,827 | 3,440 | 9,810 |
| 180 | 50 | 61,087 | 3,840 | 12,290 |



Slika 20. Razlika u boji ΔE^* između netretiranog referentnog uzorka gljive i uzoraka sušenih na temperaturi od 55 C°

Tablica 6. L*, a* i b* vrijednosti za uzorke gljiva sušene pri 70 °C

| Uzorak | | L* | a* | b* |
|-----------------------|-------------------|--------|-------|--------|
| Vrijeme sušenja (min) | Predtretman (min) | | | |
| 60 | - | 59,807 | 4,023 | 14,373 |
| 120 | - | 56,640 | 4,373 | 13,297 |
| 180 | - | 50,370 | 4,477 | 12,893 |
| 240 | - | 52,853 | 4,433 | 13,003 |
| 60 | 10 | 79,707 | 2,650 | 13,760 |
| 120 | 10 | 71,660 | 2,133 | 11,443 |
| 180 | 10 | 67,537 | 2,190 | 9,213 |
| 60 | 30 | 70,277 | 2,367 | 12,090 |
| 120 | 30 | 74,057 | 2,330 | 13,657 |
| 180 | 30 | 65,440 | 2,220 | 10,170 |
| 60 | 50 | 70,217 | 2,153 | 12,623 |
| 120 | 50 | 64,473 | 2,693 | 13,297 |
| 180 | 50 | 69,847 | 2,940 | 15,597 |



Slika 21. Razlika u boji ΔE^* između netretiranog referentnog uzorka gljive i uzoraka sušenih na temperaturi od 70 C°

U tablicama 4., 5. i 6. prikazane su vrijednosti L^* , a^* i b^* , dobivene kolorimetrijskim ispitivanjem uzoraka gljiva sušenih pri različitim temperaturama, u različitim vremenskim intervalima, s i bez predtretmana ultrazvukom. Slike 19., 20. i 21. grafički su prikaz izračunate vrijednosti parametra ΔE^* , odnosno razlike u boji između netretiranog referentnog uzorka gljive i uzoraka sušenih na 40 C°, 55 C° i 70 C° pri različitim predtretmanima u ultrazvučnoj kupelji.

Iz dobivenih rezultata je vidljivo kako pri različitim temperaturama na razliku u boji veliki utjecaj ima vrijeme sušenja. Naime, u svim slučajevima sušenja (40 C°, 55 C°, 70 C°) najveće vrijednosti parametra ΔE^* dobivene su kod sušenja od 3 sata. Također, za visoke temperature od 55 C° i 70 C° pokazalo se kako predtretman ultrazvukom ima pozitivan učinak, pošto su njime dobivene manje vrijednosti ΔE^* nego li bez predtretmana pri istim temperaturama. Za temperaturu sušenja od 40 C° tek predtretman ultrazvukom u trajanju od 50 min, nakon 3 sata sušenja pokazao je smanjenje vrijednosti razlike u boji uzorka gljiva od referentnog uzorka u odnosu na predtretmane u trajanju od 10 i 30 minuta.

Ukupno gledajući, najmanja vrijednost parametra ΔE^* dobivena je kod sušenja u trajanju od 1 sat, pri 40 C°, bez predtretmana ultrazvukom, a iznosi 4,523. Ta vrijednost prema tablici 1., predstavlja značajnu razliku između izmjerene ΔE^* vrijednosti i referentne. Najveća pak vrijednost ΔE^* , 45,226 (vrlo velika razlika), izmjerena je sušenjem 3 sata na 40 C°, uz predtretman 30 min.

5 ZAKLJUČCI

1. Primjena ultrazvuka visokog intenziteta kao predtretmana značajno skraćuje vrijeme sušenja uzoraka gljiva.
2. Postignuti su veći učinci sušenja (gubitka vode) uz manje organoleptičke promjene u odnosu na sušenje bez prethodnog predtretmana.
3. Mjerena tvrdoća uzorka gljiva manja je uz predtretman, pri istoj temperaturi i vremenu trajanja sušenja nego li uz izostanak predtretmana.
4. Predtretman ultrazvukom povoljno djeluje na promjenu boje sušenih gljiva. Iako je razlika u boji vidljiva, manja je nego li sušenjem istih bez predtretmana, što utječe na bolja senzorska svojstva.
5. Ukupno gledajući sve parametre, najoptimalnijim se pokazalo sušenje u trajanju od 3 sata, pri temperaturi od 55 C° , uz 50 min predtretmana, te sušenje 3 sata na temperaturi od 70 C° , uz predtretman ultrazvukom u trajanju od 10 min. Najlošijim se pokazao postupak sušenja koji je trajao 1 sat, pri temperaturi od 55 C° , uz predtretman ultrazvukom u trajanju od 30 min.

6 POPIS LITERATURE:

- Brnčić M., Branko T., Penava A., Karlović K., Ježek D., Vikić Topić D. (2009) Primjena ultrazvuka visokog intenziteta pri obradi hrane. *Hrvatski Časopis za Prehrambenu Tehnologiju, Biotehnologiju i Nutricionizam* **4**: 32-37.
- Brnčić, M., Markučić, D., Omelić, M., Tripalo, B., Ježek, D. (2009) Primjena ultrazvuka niskog intenziteta pri otkrivanju stranih tijela u prehrambenim sustavima. *Hrvatski Časopis za Prehrambenu Tehnologiju, Biotehnologiju i Nutricionizam* **4**: 18-22.
- Çakmak R., Tekeoğlu O., Bozkır H., Ergün A.R., Baysal T. (2016) Effects of electrical and sonication pretreatments on the drying rate and quality of mushrooms. *LWT - Food Science and Technology* **69**: 197-202.
- Chen, X.D. (2008) Food drying fundamentals. U: Drying Technologies in Food Processing (Chen, X.D., Mujumdar, A.S., ured.), Wiley- Blackwell, Oxford, str.1-54
- Dujmić, F., Brnčić, M., Karlović, S., Bosiljkov, T., Ježek, D., Tripalo, B., Mofardin, I. (2013) Ultrasound-Assisted Infrared Drying of Pear Slices: Textural Issues. *Journal of Food Process Engineering* **36**: 397–406.
- Giri S.K., Prasad S. (2005) Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering* **78**: 512-521.
- Guillamón E., Lozano M., D´Arrigo M., Rostagno M. A., Villares A., Martínez J.A. (2010) Edible mushrooms: Role in the prevention of cardiovascular diseases. *Fitoterapia* **81**: 715-723.
- Karlović, S. (2013) Određivanje teksturnih svojstava i matematičko modeliranje sušenja voća prethodno obrađenoga ultrazvukom visokoga intenziteta. Doktorska disertacija. Zagreb: Prehrambeno-biotehnološki fakultet
- Karlović, S., Bosiljkov T., Brnčić M., Semenski, D., Dujmić, F., Tripalo B., Ježek D. (2014) Reducing Fat Globules Particle-Size in Goat Milk: Ultrasound and High

Hydrostatic Pressures Approach. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly* **28**: 499-507.

- Lu R., Abbot J.A. (2004) Force/deformation techniques for measuring texture. U: *Texture in food-Volume 2:Solid foods* (Kilcast, D., ured.),Woodhead Publising Ltd and CRC Press LLC, Cambridge, str. 106-137.
- Marić, A. (2016) Optimiranje parametara ekstrakcije fenolnih spojeva korijena i lista maslačka primjenom ultrazvuka visokih intenziteta. Diplomski rad. Zagreb: Prehrambeno-biotehnološki fakultet
- Margaris, D.P., Ghiaus, A.G. (2008) Fruits and Vegetables Dehydration in Tray Dryers. U: *New Food Engineering Research Trends* (Urwaye, A.P., ured.), Nova Science Publishers, Inc., New York, str. 45-65.
- Mattila P., Könkö K., Eurola M., Pihlava J., Astola J., Vahteristo L.,Hietaniemi V., Kumpulainen J., Valtonen M., Piironen V. (2001) Contents of Vitamins, Mineral Elements, and Some Phenolic Compounds in Cultivated Mushrooms. *Journal of Agricultural and food Chemistry* **49**: 2343-2348.
- Priroda i biljke, <<http://www.plantea.com.hr/sampinjon/>> Pristupljeno 13. srpnja 2017.
- Roselló-Soto, E., Galanakis, C.M., Brnčić, M., V. Orlien, Trujillo F. J., Mawson, R., Knoerzer, K., Tiwari, B.K., Barba, F.J. (2015) Clean Recovery of Antioxidant Compounds from Plant Foods, By-Products and Algae Assisted by Ultrasounds Processing: Modeling approaches to optimize processing conditions. *Trends in Food Science & Technology*. **42**: 134-149.
- Skupnjak A., (2011) Izvedba matematičkog modela sušenja jabuke „Zlatni Delišes“ uinfracrvenoj sušari uz predobradu ultrazvukom visokog intenziteta. Diplomski rad. Zagreb: Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Andrea Babić

ime i prezime studenta