

# Utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na reološka svojstva i teksturu voćnih smoothieja

---

Majcen, Krešimir

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:064719>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Sveučilište u Zagrebu**  
**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija**

**Krešimir Majcen**

7050/PT

**Utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na reološka  
svojstva i teksturu voćnih smoothieja**

**ZAVRŠNI RAD**

**Predmet:** Jedinične operacije

**Mentor:** Doc. dr. sc. Sven Karlović

**Zagreb, 2019.**

## **TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA**

**Završni rad**

**Sveučilište u Zagrebu**

**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

**Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija**

**Zavod za procesno inženjerstvo**

**Laboratorij za tehnološke operacije**

**Znanstveno područje: Biotehničke znanosti**

**Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija**

### **UTJECAJ VISOKOG HIDROSTATSKOG TLAKA NA REOLOŠKA SVOJSTVA I TEKSTURU VOĆNIH SMOOTHIEJA**

**Krešimir Majcen, 0058206515**

**Sažetak:** U posljednje vrijeme mnoga istraživanja usmjerena su na razvoj novih, blažih tehnika obrade hrane za koje se pretpostavlja da mogu zamijeniti neke tradicionalne procese prehrambene industrije radi dobivanja prehrambenih proizvoda visoke kvalitete kod kojeg su promjene u teksturi i senzorskim svojstvima svedene na minimum. Neki od tih novijih, alternativnih postupaka obrade su uporaba visokog hidrostatskog tlaka, ultrazvuka, mikrovalova, promjenjivog električnog polja itd.

U ovom radu pratio se rad visokog hidrostatskog tlaka i njegov utjecaj na svojstva voćnih smoothieja. U istraživanju korišteni su različiti tlakovi i različita vremena tretiranja te je promatran njihov utjecaj na viskoznost, pH, promjene boje i raspodjelu veličine čestica.

**Ključne riječi:** voćni smoothie, reološka svojstva, tekstura, visoki hidrostatski tlak

**Rad sadrži:** 34 stranica, 18 slika, 8 tablica, 32 literaturna 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:** doc.dr.sc. Sven Karlović

**Pomoć pri izradi:** Marko Škegro, mag.ing.

**Datum obrane:** 18. rujna 2019.

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Bachelor thesis**

**University of Zagreb**

**Faculty of Food Technology and Biotechnology**

**University undergraduate studies Food Technology**

**Department of Process Engineering**

**Laboratory for Unit Operations**

**Scientific area: Biotechnical Sciences**

**Scientific field: Food Technology**

### **INFLUENCE OF HIGH HYDROSTATIC PRESSURE ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES AND TEXTURE OF FRUIT SMOOTHIES**

**Krešimir Majcen, 0058206515**

**Abstract:** Lately, a lot of research is focused on developing newer, milder food processing techniques that are thought to replace some of the traditional food industry processes to produce high quality food products, which minimize changes in texture and sensory properties. Some of these new, alternative procedures are high hydrostatic pressure, ultrasound, microwaves, alternating electric fields, etc.

In this research usage of high hydrostatic pressure and its influence on textural, physical and nutritional aspects of fruit smoothies was observed. Different pressures and different treatment durations were used and their effects on viscosity, pH, discoloration, and particle size distribution were then observed.

**Keywords:** high hydrostatic pressure, fruit smoothie, rheology properties, texture

**Thesis contains:** 34 pages, 18 figures, 8 tables, 32 references

**Original in:** Croatian

**Thesis is 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 Sven Karlović, Assistant professor

**Technical support and assistance:** Marko Škegro, mag.ing.

**Defence date:** 18th September 2019

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	1
2.1. Visoki hidrostatski tlak.....	1
2.1.1. Princip rada visokog hidrostatskog tlaka.....	2
2.2. Voćni smoothie.....	4
2.3. Reološka svojstva.....	5
2.3.1. Utjecaj na reološka svojstva .....	6
2.3.2. Viskoznost.....	7
2.4. Tekstura materijala.....	8
2.4.1 Promjene u teksturi voća i povrća.....	10
2.5. Boja .....	10
2.5.1.Boja voća i povrća.....	11
2.5.2. Promjene u boji voća i povrća .....	11
2.6. Raspodjela veličina čestica .....	14
3.EKSPERIMENTALNI DIO .....	15
3.1. Priprema uzorka .....	15
3.2. Obrada visokim hidrostatskim tlakom.....	16
3.3. Određivanje boje.....	16
3.4. Određivanje teksture .....	18
3.5. Određivanje pH .....	19
3.6. Određivanje viskoznosti .....	19
3.6. Određivanje raspodjele veličine čestica.....	20
4. REZULTATI I RASPRAVA .....	21
4.1. Utjecaj na viskoznost i pH .....	21
4.4. Tekstura.....	25
4.5. Raspodjela veličine čestica .....	28
5.ZAKLJUČAK .....	31
6. POPIS LITERATURE.....	32

Završni rad izrađen je u cijelosti u Laboratoriju za tehnološke operacije Zavoda za procesno inženjerstvo, Prehrambeno–biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom Doc.dr.sc. Sven Karlovića uz tehničku pomoć mag.ing. Marka Škegra.

## 1. UVOD

U današnje vrijeme sve se više pažnje pridodaje zdravijem načinu života, što uključuje i brigu oko prehrane. Konzumira se sve više namirnica prirodnog podrijetla, posebice voća i povrća zbog svog važnog nutritivnog sadržaja bogatog antioksidansima s brojnim pozitivnim učincima na zdravlje. Kako se ne bi narušio pozitivan učinak voća i povrća, njihovu je preradu potrebno svesti na minimum. Stoga se najviše konzumiraju u obliku cijelih, svježih komada, u obliku frappea ili smoothieja ili u obliku sokova. Kako se mijenja trend potrošača, u prehrambenoj industriji se mijenjaju i načini prerade. Svakodnevno se traže nove, bolje, jednostavnije i brže metode prerade od konvencionalnih metoda. Posebno zanimljivima pokazale su se netoplinke metode, kao što je primjerice visoki hidrostatski tlak. Rezultati znanstvenih istraživanja upućuju da se primjenom alternativnih netoplinških metoda u pojedinim granama prehrambene industrije može znatno uštedjeti na energiji i trajanju procesa proizvodnje te dobiti proizvodi boljih organoleptičkih značajki i veće nutritivne vrijednosti. Naime, tijekom obrade netoplinškim metodama tijekom obrade hrane ne dolazi do značajnog povišenja temperature čime su promjene u teksturi i senzorskim svojstvima namirnice svedene na minimum, uz istovremeno produljenje roka trajanja namirnice.

U ovom radu promatrao se utjecaj visokog hidrostatskog tlaka (HHP) pri obradi voćnih smoothieja, ovisno o primijenjenom tlaku i vremenu obrade. Pratio se utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na reološka svojstva, odnosno viskoznost, pH, boju i veličinu raspodjele čestica.

U teorijskom dijelu rada objašnjen je princip rada visokog hidrostatskog tlaka i njegova primjena u prehrambenoj industriji te su definirani pojmovi kao što su voćni smoothieji, reološka svojstva, tekstura, boja namirnice i raspodjela veličine čestica. U eksperimentalnom dijelu rada prikazani su i obrazloženi rezultati dobiveni mjerenjima u laboratoriju.

## **2. TEORIJSKI DIO**

### **2.1. Visoki hidrostatski tlak**

Laboratorijski uređaj za procesiranje visokim hidrostatskim tlakom inovativna je tehnika za obradu hrane čiji princip rada podrazumijeva izlaganje tekuće ili čvrste hrane, u ambalaži ili bez, djelovanju tlaka od 100 do 1000 MPa, pri čemu temperatura obrade se može kretati u rasponu vrijednosti ispod 0 °C pa sve do iznad 100 °C. Vrijeme tretiranja visokim hidrostatskim tlakom, ovisno o potrebama samog postupka, može varirati od nekoliko sekundi do preko 20 minuta. Kao tlačni medij kojim se prenosi tlak najčešće se koristi voda (Andres i sur., 2015).

Primjena visokog tlaka često se navodi kao alternativa termičkoj obradi, a brojne prednosti te tehnologije u usporedbi s klasičnim termičkim tretiranjem očituju se putem (Herceg i sur., 2009):

1. Postizanja antimikrobnog učinka uz istodobnu eliminaciju ili znatno skraćivanje postupka zagrijavanja, čime se izbjegava toplinska degradacija komponenti hrane, zadržava se okus, boja i nutritivna vrijednost;
2. Ravnomjernog i brzog tretiranja namirnica;
3. Smanjene potrebe za dodatkom kemijskih aditiva;
4. Stvaranja golemog potencijala za kreiranje novih struktura, okusa i funkcionalnih svojstava hrane ili njezinih komponenata.

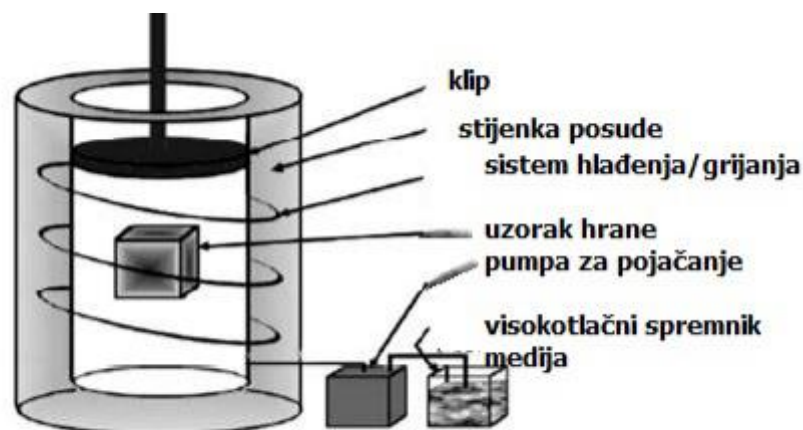
HHP tehnologija jedna je od najperspektivnijih netermalnih procesa obrade namirnica koja zahvaljujući smrtonosnom učinku na mikroorganizme značajno produljuje rok trajanja namirnice uz minimalni utjecaj i promjenu senzorskih svojstva i nutritivnog sastava namirnice. U usporedbi s tradicionalnom tehnologijom toplinske obrade, HHP se uglavnom izvodi na sobnoj temperaturi, smanjujući time potrošnju energije povezanu s grijanjem i naknadnim hlađenjem. Osim toga, prednost HHP-a je to što se medij za prijenos tlaka nakon obrade može reciklirati te tako dodatno smanjiti energetske i ekonomske gubitke. Pakiranjem hrane u ambalažu prije same obrade sprečava se eventualna sekundarna kontaminacija (Huang i sur., 2017).



### 2.1.1. Princip rada visokog hidrostatskog tlaka

Tipičan sustav za HPP sastoji se od visokotlačne kapilare, sustava za generaciju tlaka, sustava za mjerenje i kontrolu temperature i tlaka te sustava za rukovanje materijalom. Namirnica koja se tretira visokim hidrostatskim tlakom uranja se u spremnik u koji se upumpava tekući medij (najčešće voda), pomoću kojeg se ostvaruje hidrostatsko tlačanje. Utjecaj visokog tlaka temelji se na dvjema načelima: **Le Chatelierovom načelu** prema kojemu dolazi do smanjenja radnog volumena s povećanjem tlaka i na **izostatičkom načelu** koje nalaže da je raspodjela tlaka proporcionalna, tj. jednaka u svim dijelovima namirnice, neovisno o njezinom obliku i veličini. (Bosiljkov i sur.,2010). Upravo ta jednolika raspodjela tlaka razlog je zašto se namirnica ne raspukne tijekom obrade. Nakon toga, tlak se održava željeno vrijeme tretiranja i zatim se oslobađa. Primijenjeni tlak i vrijeme zadržavanja ovisit će o vrsti tretiranog proizvoda i očekivanom konačnom rezultatu. Visoki tlak ima mali utjecaj na kemijske konstituente povezane s poželjnim kvalitetama hrane kao što su okus, boja ili nutritivni sastav, stoga proizvodi ostaju prilično blizu potpuno svježem proizvodu (San Martin i sur., 2002).

Zbog ujednačenog prenošenja tlaka kroz cijeli volumen proizvoda vrijeme obrade neće ovisiti o obliku i dimenzijama samog proizvoda. Rad kompresije tijekom obrade odražava se povišenjem temperature adijabatskim zagrijavanjem za oko 3°C za svakih 100 MPa. Temperatura proizvoda se snizuje na početnu temperaturu nakon dekompresije i na taj način namirnica je kratko vrijeme izložena visokim temperaturama koje značajno ne utječu na njena svojstva, čime je ova tehnologija posebno korisna kod toplinski osjetljivih proizvoda (Lelas, 2006).



**Slika 1.** Prikaz osnovnih dijelova uređaja za HHP

Nasuprot toplinskim metodama, obrada visokim hidrostatskim tlakom ne utječe na razaranje kovalentnih veza. Međutim može utjecati na ionske, vodikove i hidrofobne veze. Zbog toga utječe na sastojke hrane s većom molekulskom masom (lipidi, polisaharidi, bjelančevine) kod kojih nekovalentne veze sudjeluju u održavanju tercijarne strukture povezane s funkcionalnim svojstvima tih molekula. Kod bjelančevina dolazi do najznačajnije promjene funkcionalnih svojstava jer zbog visokih tlakova dolazi do promjene konformacija odnosno denaturacije, a samim time do gubitka sposobnosti vezanja vode, želiranja, pjenjenja i dr.

Kod proteina dolazi do promjene molekularne strukture i agregacije s drugim proteinima u hrani pri čemu se mijenjaju tekstura i viskoznost hrane. Utjecaj visokog tlaka na lipide rezultira oksidacijom slobodnih masnih kiselina i povišenjem tališta.

Budući da su, općenito gledajući, mikroorganizmi inaktivirani kad su izloženi djelovanju faktora koji mijenjaju njihovu staničnu strukturu ili fiziološke funkcije, smatra se da je upravo puknuće stanične membrane glavni uzrok inaktivacije mikroorganizama djelovanjem visokog tlaka, dok ostali mogući mehanizmi koji dovode do inaktivacije mikroorganizama uključuju povećanje propusnosti stanične membrane te inhibiciju enzima nužnih za preživljavanje i reprodukciju bakterijskih stanica. Osim inaktivacije, visoki tlak također može uzrokovati reverzibilne i ireverzibilne morfološke promjene na stanicama mikroorganizama koje posljedično mogu dovesti do njihove inaktivacije (Herceg i sur., 2009).

Visoki tlak može potpuno inaktivirati neke stanice mikrobne populacije, dok neke stanice može samo oštetiti. Po završetku tretiranja te subletalno oštećene stanice mogu se oporaviti (npr. za vrijeme skladištenja). Upravo stoga prilikom proučavanja mikrobiološke sigurnosti realnih sustava hrane uz utjecaj komponenata hrane na otpornost mikroorganizama prema djelovanju tlaka, u obzir treba uzeti i oporavak mikroorganizama u hrani nakon tretiranja (Herceg i sur., 2009).

Spore bakterija za razliku od vegetativnih stanica pokazuju puno veću otpornost na visoke tlakove. Vegetativne stanice se inaktiviraju pri tlaku 400-600 MPa i temperaturi od 23°C dok se za inaktivaciju spora koriste temperature veće od 70°C i tlakovi do 1000 MPa.

Nadalje, HHP također inaktivira neka svojstva hrane vezane uz endogene enzime prisutne u namirnicama zbog svog utjecaja na odmotavanje proteinskih lanaca. Općenito, inaktivacija enzima zahtijeva korištenje većih tlakova od pritisaka koji se koriste za inaktiviranje mikroorganizama. Pucanje ionskih veza je povećano visokim tlakom pošto to dovodi do smanjenja volumena zbog elektrorestrikcije vode.

## 2.2. Voćni smoothie

Smoothie predstavlja gusti i kremasti napitak dobiven od sirovog voća i povrća uz dodatak vode, mlijeka, jogurta ili drugih mliječnih proizvoda, koji se zatim međusobno miješaju i usitnjavaju u blenderu ili mikseru do željene teksture. Budući da su namirnice neprerađene, zadržavaju svu svoju nutritivnu vrijednost(Olsen, 2017).

Upravo zbog bogate nutritivne vrijednosti, jednostavnosti i brzini pripreme te dobrom okusu, smoothieji su stekli veliku popularnost među ljudima, posebice među onima s podignutom sviješću o zdravlju i prehrani, zbog čega su ubrzo postali i komercijalno dostupni. Stoga, bitno je osigurati njihovu zdravstvenu ispravnost na tržištu, a s druge strane očuvati izvorni okus i nutritivnu vrijednost uz minimalne promjene na samom proizvodu. HHP kao netopljinska metoda pasterizacije, korišten je ponajviše u malim i srednjim pogonima s ciljem zadržavanja visoke kvalitete uz povoljan omjer troškova i dobiti. Za kisele proizvode kao što su smoothieji, čiji se pH kreće  $\text{pH} < 4,5$ , komercijalni uvjeti HHP-a najčešće se kreću od 300 MPa do 600 MPa s vremenom zadržavanja od 1 do 5 minuta (Andres i sur., 2016).

Kao proizvodi od sirovog voća ili povrća, smoothieji su bogati dijetalnim vlaknima koja potječu od pulpe, kože i sjemenki. Stoga su smoothieji gušći od voćnog soka te često konzistencijom podsjećaju milkshake-u. Međutim, za razliku od smoothieja, milkshake sadrži manji udio svježeg voća i povrća te sadrži dodatak sladoleda ili smrznutog jogurta, čime smoothie ipak predstavlja zdraviju i manje kaloričnu varijantu (Olsen, 2017).

Zdravstvene pogodnosti smoothieja prvenstveno ovise o sastojcima i njihovim omjerima. Mnogi smoothie uključuju veće količine više vrsta voća i povrća, čime su preporučljivi u zdravoj i uravnoteženoj prehrani te ih mnogi ljudi zbog raznolikog i bogatog nutritivnog sastava koriste i kao zamjenu za obrok. Međutim, mnogi smoothieji mogu sadržavati veće količine dodanog šećera ili drugih dodataka za poboljšanje okusa i teksture te kao takvi mogu postati izvor prekomjernog unosa kalorija i uzrokovati višak kilograma(Olsen, 2017).

Smoothieji su se na tržištu počeli pojavljivati 1930.-ih s pojavom električnih uređaja za miješanje, odnosno blendera, dok se pojam "smoothie" počeo koristiti 80.-ih godina prošlog stoljeća (Harper, 2018).

### 2.3. Reološka svojstva

Reologija je grana fizike koja se bavi proučavanjem deformacija i tečenja krutih i tekućih materijala podvrgnutih djelovanju sile. Nastala deformacija, odnosno svojstva tečenja određuju reološka svojstva ispitivanog materijala (Lelas, 2006).

U prehrambenoj industriji reologija ima veliki značaj jer definira i opisuje teksturalna svojstva prehrambenih proizvoda. Ta svojstva su važni atributi kakvoće u proizvodnji i kao takvi podrazumijevaju složenu analizu većeg broja svojstava, kao što su čvrstoća, stabilnost te viskoznost (Stijepić i sur., 2011).

Reološka svojstva proizvoda značajan su aspekt koji ukazuje na kvalitetu samog proizvoda i mogu se koristiti za utvrđivanje stabilnosti. Praćenjem reoloških svojstava sirovina, poluproizvoda i gotovih proizvoda moguće je utjecati na pojedine tehnološke parametre u svrhu dobivanja proizvoda optimalne kvalitete (Ergović, 2007).

Idealna reološka svojstva materijala su: **elastičnost**, **plastičnost** i **viskoznost**. Elastičnost je svojstvo čvrstih materijala da pod utjecajem vanjske sile mijenjaju svoj oblik te da se nakon prestanka djelovanja sile vrate u prvobitan oblik. Plastičnost predstavlja svojstvo materijala da pod djelovanjem vanjske sile mijenjaju svoj oblik koji zadržavaju i nakon prestanka djelovanja sile. Drugim riječima, dolazi do deformacije materijala. Viskoznost pak predstavlja unutrašnje trenje koje se javlja unutar fluida kao otpor tečenju.

Međutim, vrlo često namirnice ne pokazuju samo jedno od navedenih svojstava i ne ponašaju se idealno u skladu s matematičkom interpretacijom tih svojstava. Razlog tome je njihova kompleksna struktura i sastav te činjenica da na reološka svojstva utječu i brojni vanjski čimbenici kao što su temperatura, pH, tlak, brzina smicanja, primijenjena tehnološka metoda i dr. (Gaonkar, 1995).

### 2.3.1. Utjecaj na reološka svojstva

Čimbenici koji utječu na reološka svojstva su: **temperatura, kemijski sastav i tehnološki proces.**

**Temperatura** predstavlja najznačajniji fizikalni faktor s najvećim utjecajem na reološka svojstva proizvoda. Naime, povišenje temperature kod većine plinova uzrokuje povećanje, dok kod tekućina uzrokuje smanjenje viskoznosti. Osim utjecaja na viskoznost, promjena temperature može dovesti do promjene reološkog karaktera. Primjeri su koncentrirani sok od limuna koji pri temperaturi od 7°C pokazuje plastična svojstva, a u rasponu od 22°C do 50°C pseudoplastična svojstva. Isto tako, 60%-tna otopina saharoze s dodatkom želatine, pri 20°C pokazuje dilatantna, pri 0°C pokazuje pseudoplastična svojstva, a kod -10°C tiksotropna svojstva (Lelas, 2006).

Brojne operacije u prehrambenoj tehnologiji uključuju postupke termičke obrade kao što su primjerice sterilizacija i pasterizacija. Iako je već naglašeno kako promjena temperature ima utjecaj na konačan proizvod i njegova svojstva, valja napomenuti kako termička sterilizacija pojedinih početnih sirovina utječe na konačan proizvod. Tako primjerice pri sterilizaciji mlijeka, ukoliko su primijenjene više temperature njegova se viskoznost povećava kao posljedica denaturacije proteina, dok s druge strane, viskoznost jogurta kao konačnog proizvoda takvog mlijeka se smanjuje (Yang, 1989).

Reološka svojstva hrane ovise i o **tehnološkim postupcima** koji se primjenjuju kod pripreme, načinu konzerviranja i uvjetima čuvanja. Do najvećih promjena tih svojstava dolazi uslijed miješanja, homogenizacije, toplinskog tretiranja, koncentriranja, ekstrudiranja, smržavanja i fermentacije.

Prilikom miješanja, parametri poput brzine, trajanja ili temperature utječu na promjenu veza među molekulama te mogu utjecati na promjenu viskoznosti. Homogenizacija predstavlja tehnološku operaciju čiji je cilj povećanje stabilnosti različitih emulzija, tj. spriječiti izdvajanje masti iz različitih proizvoda na način da se usitne i ujednače globule mliječne masti. Prilikom proizvodnje majoneze ili mlijeka, homogenizacija uzrokuje povećanje viskoznosti, dok kod koncentriranih sokova citrusa smanjuje viskoznost (Crandall i sur., 1988).

Brojnim istraživanjima utvrđeno je da reološka svojstva ovise i o **udjelu suhe tvari i kemijskom sastavu** tvari. Povećanjem suhe tvari istog proizvoda viskoznost se povećava.

Međutim, znatno veći utjecaj od udjela suhe tvari ima kemijski sastav. Unutarnje trenje posljedica je međumolekulskih sila (vodikove veze, van der Waalsove itd.) te će jakost privlačnih sila ovisiti o obliku molekula kao i o njihovoj veličini. Tako je primjerice ulje viskoznije od vode jer su ulja građena od dugačkih nepolarnih ugljikovodičnih lanaca, a molekule vode su vrlo male i kuglastog oblika. Također, otopine šećera manje molarne mase su manje viskozne od onih s većom molarnom masom (Herceg, 2009).

### 2.3.2. Viskoznost

Viskoznost ili unutarnje trenje je osobina tekućina i plinova da pružaju otpor međusobnom kretanju njihovih slojeva.

Prema Newtonovom zakonu sve tekućine kod kojih je odnos između smičnog naprezanja i smične brzine konstantan nazivaju su **newtonovske tekućine**.

Viskoznost tih tekućina izražava se izrazom:

$$\tau = \mu \cdot D$$

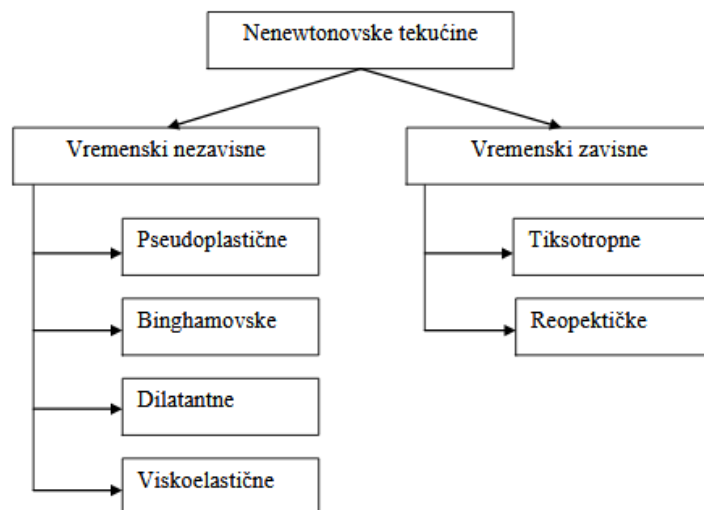
$\tau$  = smično naprezanje (Pa)

$\mu$  = koeficijent viskoznosti (Pa·s)

$D$  = brzina smicanja ( $s^{-1}$ )

Viskoznost kod stalne temperature i stalnog tlaka konstantna je veličina koja ne ovisi o brzini smicanja i vremenu smicanja. Viskoznost newtonskih tekućina konstantna je i mijenja se samo promjenom temperature. Primjeri takvih fluida su voda, mlijeko, ulje i sl.

Tekućine kod kojih viskoznost nije stalna, već se mijenja promjenom smične brzine nazivaju se **nenevtonovske tekućine**. Viskoznost nenevtonovskih tekućina naziva se prividna viskoznost zbog toga što je kod svake smične brzine različita. Svojstva nenevtonovskih tekućina uobičajeno se izražavaju drugim reološkim pojmovima koji jednostavnije i bolje određuju njihova reološka svojstva, a to su koeficijent konzistencije i indeks tečenja. Primjeri takvih fluida su kečap, maslac, majoneza, jogurt i dr. (Hardi i sur., 2001).



**Slika 2.** Podjela nenewtonovskih tekućina

## 2.4. Tekstura materijala

Tekstura je svojstvo koje posjeduju materijali različitog sastava i izgleda. Može se definirati kao način na koji su makro i mikromolekule u materijalu međusobno povezane te kakva je vanjska manifestacija tih veza. Teksturalna svojstva su stoga određena kemijskim sastavom materijala te fizikalnim silama unutar materijala koji definiraju njegovu mikrostrukturu (Lovrić, 2003).

Tekstura je također i osobina hrane, a posljedica je fizikalnih svojstava i svojstava koja se opažaju osjetilima dodira, kao i osjetilima vida i sluha te je usko povezana sa strukturnim i mehaničkim svojstvima hrane. Tekstura kao pojam označava ili opisuje sva mehanička, geometrijska i površinska svojstva proizvoda koja se opažaju pomoću mehaničkih receptora i receptora dodira. Teksturu hrane mogu opisati konzistencija, sočnost, lakoća gutanja, hrskavost i topivost, ali i neka mehanička svojstva hrane. Mehanička svojstva hrane odnose se na reakciju proizvoda na naprezanje i kao što su rad, tvrdoća i elastičnost. Informacija o mehaničkim svojstvima hrane važna je kako bi se moglo procijeniti i predvidjeti deformacije pod vanjskim opterećenjima, u transportu, preradi i pakiranju (Shirvani i sur., 2014).

Tvrdoća je definirana silom koja je potrebna da dođe do deformacije proizvoda ili prodiranja u proizvod. Ona je dobar pokazatelj stanja teksture ploda i može se relativno jednostavno mehanički izmjeriti (Jašić, 2007).

Elastičnost je svojstvo čvrstih tijela da pod utjecajem vanjske sile mijenjaju svoj oblik ili volumen te da se nakon prestanka njezina djelovanja vraćaju u prvotni oblik. Računa se kao nagib ravnog dijela krivulje sile stlačivanja (deformacije) i predstavlja mjeru promjene sile u odnosu na deformaciju (Abbott i sur., 2004).

Proučavanje mehaničkog ponašanja, tj. deformacije i protoka hrane pod primijenjenim silama spada u opseg reologije hrane. Odnos sile/elastičnosti za većinu prehrambenih materijala ovisi o vremenu. Sila [N], elastičnost [mm] i vrijeme [s] su tri osnovne varijable koje se koriste za proučavanje mehaničkih svojstava hrane.

Čvrsta hrana, ovisno o njenom mehaničkom odgovoru, može se svrstati u vremenski neovisne elastične materijale i vremenski ovisne neelastične materijale. Za vremenski neovisne elastične materijale, njihov mehanički odgovor neovisan je o vremenu. Nakon što na materijal više ne djeluje sila, deformirano tijelo će se vratiti na svoju izvornu veličinu i oblik. Vremenski ovisni materijali mogu se razvrstati u viskoelastične i plastične. Viskoelastičnost predstavlja svojstvo materijala da na njemu nakon prestanka djelovanja sile dolazi do usporenog elastičnog povrata ili djelomične deformacije. Kod plastičnog materijala, za razliku od viskoelastičnog, nakon prestanka djelovanja sile nastala deformacija zaostaje.

Većina prehrambenih i bioloških materijala je viskoelastično kod malih i srednjih sila koje djeluju na njih. Kada je nastala deformacija na hrani velika, teorija plastičnosti pomaže kod opisivanja mehaničkog ponašanja hrane (Abbott i sur., 2004).

Teksturu možemo odrediti na dva načina:

- Senzorsko određivanje (osjetilima) koje predstavlja individualni pristup zbog čega nije pouzdano, a i teško se opisno može točno izraziti. Senzorskim ispitivanjem je dokazano da konzumenti preferiraju karakteristike teksture kao što su npr. hrskavost, mekanost, sočnost i čvrstoća. Karakteristike koje se ne preferiraju su žilavost, vlažnost, drobljivost, grudavost, vodenost i sluzavost (Szczesniak, 1990).
- Instrumentalno određivanje gdje se mjerenjem teksture pomoću instrumenata smanjuje mogućnost pogreške. Pogreške se mogu pojaviti zbog nereprezentativnog ili nehomogenog uzorka, a vrlo rijetko zbog nepreciznosti uređaja (Shirvani i sur., 2014).



### **2.4.1 Promjene u teksturi voća i povrća**

Kod svježeg voća i povrća izražen je utjecaj bakterija, kvasaca i plijesni na njihovo kvarenje, a time i na promjenu teksture. Promjene teksture uzrokuju skraćivanje vijeka trajanja voća i povrća jer postaje podložnije mehaničkim oštećenjima i kontaminaciji mikroorganizmima. Kod svježeg voća i povrća uslijed mikrobioloških procesa dolazi do promjene tvrdoće ploda te se mjerenjem tvrdoće i drugih parametara pomoću analizatora teksture može utvrditi teksturalni status (Jašić, 2007).

Bilo kakva promjena u strukturi prehrambenog materijala, npr. guljenje ili rezanje, dovodi do narušavanja kvalitete teksturnih svojstava što negativno utječe i na izgled gotovog proizvoda. Osim na izgled, tekstura utječe i na okus proizvoda jer je oslobađanje okusa povezano s načinom na koji se struktura hrane lomi u ustima (Brnčić i sur., 2006). Mehaničkim procesiranjem voća i povrća dolazi do oštećenja tkiva što rezultira gubitkom tvrdoće. Razlog tome je što dolazi do enzimske hidrolize te raznih fizikalno-kemijskih promjena. Hidrolitičke enzime moguće je inaktivirati termičkim tretmanima, no povišena temperatura može dovesti ujedno i do narušavanja karakteristične strukture biljnog tkiva, odnosno svježine sirovine zbog čega se preporučuje primjena alternativnih netoplinskih metoda (Monsalve-González i sur., 1993).

### **2.5. Boja**

Boja je osjet vida koji je izazvan nadražajem mrežnice oka zrakama vidljivog svjetla, tj. elektromagnetskim zračenjem valne duljine između 380 nm i 760 nm. Boja nije svojstvo svjetla koje izaziva podražaj, niti svojstvo predmeta s kojeg svjetlo dolazi, odnosno reflektira se. Boja je psihički doživljaj izazvan fizičkim uzrokom, stimulusom i ovisi o fiziološkim procesima u organizmu i raznim psihološkim čimbenicima. Vidljivo svjetlo istog stimulusa može izazvati različite doživljaje boje kod različitih ljudi. Stimulus predstavlja elektromagnetsko zračenje koje izaziva osjećaj boje te je u fizikalnom smislu određen ukupnom količinom energije koja se prenosi u jedinici vremena na mrežnicu oka (Wyszecki i sur. 1982).

### **2.5.1.Boja voća i povrća**

Boja je oduvijek bila jedan od važnijih faktora na temelju kojeg je potrošač odlučivao o kupnji nekog proizvoda. Tekstura, okus, miris i ostali faktori postaju značajni tek nakon pomnijeg promatranja ili tijekom samog konzumiranja proizvoda. Zbog toga je prilikom tehnoloških postupaka nužno posvetiti značajnu pažnju kako bi konačni proizvod bio vizualno prihvatljiv te kako bi prirodna boja proizvoda ostala što više sačuvana i nepromijenjena. Nijansa i boja proizvoda ovise o stanju tj. kvaliteti sirovine, tehnološkoj obradi i uskladištenju proizvoda.

Prevenција nepoželjnih promjena je vrlo teška, a u nekim slučajevima i nemoguća. Na stabilnost boje utječu mnogi faktori kao što su: svjetlost, kisik, teški metali, oksidansi, reducensi, temperatura, aktivitet vode, pH (Quiros, 2014).

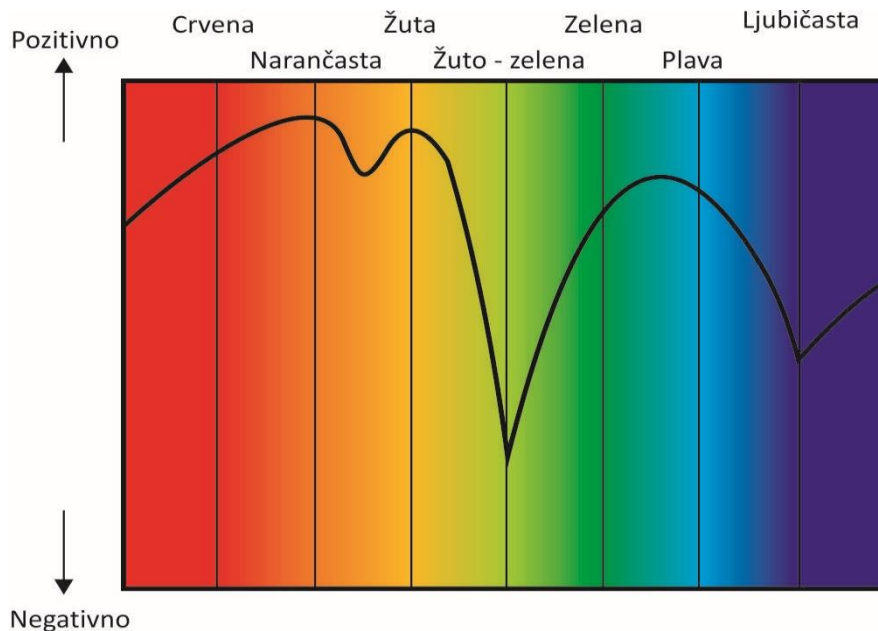
Boja svježeg voća i povrća potječe od prirodnih pigmenata te je rezultat zajedničke percepcije više pigmenata. Pigmenti su značajni u formiranju izgleda i ukupnih senzornih svojstava voća, povrća i njihovih prerađevina. Tradicionalno se crvena, žuta i plava boja smatraju primarnim bojama. Žuta i narančasta boja potječu od karotenoida, crvena, plava i ljubičasta od flavonoidnih spojeva, dok zelena od klorofila. Na osnovu boje mogu se odrediti karakteristike kao što su zrelost, čistoća, svježina kao i ispravnost proizvoda. Boja i izgled često pružaju informacije o identitetu proizvoda, kvaliteti i aromi, ali preko boje možemo biti upozoreni i na mikrobiološko kvarenje proizvoda (Jašić, 2013).

### **2.5.2. Promjene u boji voća i povrća**

Međutim, pigmenti su nestabilni, posebice tijekom prerade i skladištenja. Prevenција nepoželjnih promjena je vrlo teška, a u nekim slučajevima i nemoguća. Na stabilnost pigmenata utječu mnogi faktori kao što su: svjetlost, kisik, teški metali, oksidansi, reducensi, temperatura, aktivitet vode i pH.

Bilo kakva mehanička prerada svježeg voća i povrća kao što su guljenje, rezanje, usitnjavanje i slično, dovodi do uklanjanja ili oštećenja prirodnog zaštitnog sloja što voće i povrće čini osjetljivijim na razne fizičke i fiziološke reakcije koje mogu dovesti do propadanja. Naime, dolazi do oštećenja biljnog tkiva i razaranja biljnih stanica te do otpuštanja intracelularnog sadržaja stanica, među kojima su razni enzimi i fitokemikalije koje sudjeluju u daljnjim degradirajućim procesima.

Posljedično dolazi do metaboličkih puteva koji dovode do nepoželjnih pojava kao što su dekolorizacija proizvoda, teksturalne promjene, brže sazrijevanje, a time i brže propadanje. Sve to utječe na poželjnost proizvoda kod potrošača. Posebno nepoželjne su reakcije promjene boje i posmeđivanja jer vizualno utječu na svježiji proizvod i njegovu percepciju kod potrošača (Quiros, 2014).



**Slika 3.** Utjecaja boje prirodnog proizvoda na sud potrošača o tom proizvodu

Tijekom skladištenja i prerade prehrambenih proizvoda dolazi do različitih, poželjnih ili nepoželjnih promjena boje. Voće i povrće dolazi u dodir s brojnim tvarima koje ne ulaze u njihov sastav. Gotovo je neizbježan kontakt s kisikom iz zraka. Promjene uzrokovane kisikom najčešće su nepoželjne jer dolazi do oksidacije spojeva što može dovesti do destrukcije biološke i nutritivne vrijednosti voća i povrća (Jašić, 2013).

Promjena boje i posmeđivanja do kojeg dolazi za vrijeme prerade i skladištenja voća i povrća i njihovih proizvoda može biti **enzimsko** i **neenzimsko**. Naime, u biljnom tkivu prisutni su tzv. autohtoni enzimi kao sastavni dio žive stanice. Ti enzimi mogu imati korisne i štetne posljedice djelovanja. Oni utječu na starenje i kvarenje voća i povrća nakon branja, razgradnju pektinskih tvari nakon berbe i omekšavanje tijekom sazrijevanja, oksidaciju fenolnih tvari koje dovode do tamnjenja i posmeđivanja (Jašić, 2013).

Enzimsko posmeđivanje značajan je problem kod brojnih važnih proizvoda od voća i povrća. Ono dovodi do negativnih promjena boje i sastava voća i povrća kojemu je na bilo koji način narušena osnovna struktura guljenjem, rezanjem, drobljenjem ili sličnim. Tom prilikom dolazi do narušavanja normalne ravnoteže enzima i do njihove dezorganizacije u stanici. Nepoželjni oksidacijski procesi u zdravoj živoj stanici ne dolaze do izražaja. Promjena boje posmeđivanjem kompleksan je proces tokom kojeg se monofenolni spojevi, uz prisustvo enzima polifenoloksidaze i kisika, hidroksiliraju u odifenole, koji oksidiraju do o-kinona. Nastali kinoni su iznimno reaktivni i u daljnjim reakcijama s fenolnim spojevima i aminokiselinama daju smeđe do crno obojene melanoidne pigmente. Oksidacije katalizirane enzimima odvijaju se veoma brzo, a nepoželjne promjene boje mogu se zapaziti u vremenu od nekoliko minuta do nekoliko sati (Jašić, 2013).

Nasuprot reakcijama tamnjenja koje uključuju djelovanje enzima, neenzimske reakcije posmeđivanja ne zahtijevaju enzimsko katalitičko djelovanje. Neenzimske reakcije tamnjenja praćene su razvijanjem arome, izmjenom tkiva i javljanjem žute, crvene i crne boje. To proizvod čini više ili manje prihvatljivim za potrošača. Neenzimsko posmeđivanje u velikom broju slučajeva predstavlja negativnu pojavu koja dovodi ne samo do promjene boje nego i do drugih promjena kao što su degradacija sastojaka hrane, smanjenje probavljivosti proteina, a u nekim slučajevima dovodi i do tvorbe toksičnih spojeva. Iako dovodi do promjene boje i posmeđivanja, neenzimsko posmeđivanje ne predstavlja uvijek negativnu pojavu. Produkti neenzimskog posmeđivanja su spojevi određene boje i arome koji su u nekim slučajevima poželjni i veoma bitni za neke proizvode (pekarski proizvodi, pečeno meso, pržena kava, čips itd). Spojevi nastali u tim reakcijama su važni sastojci arome mliječne čokolade, pri proizvodnji karamela, mliječnih bombona i drugih slatkiša (Jašić, 2013).

## 2.6. Raspodjela veličina čestica

Metode određivanja veličine čestica sastavni su dio klasifikacije tvari i pomažu pri određivanju svojstava tvari i u konačnici njihove namjene. Razlikujemo različite metode određivanja od kojih su najznačajnije sedimentacija, lasersko raspršenje, akustične metode, dinamičko raspršenje svjetla i električno očitavanje. Najpopularnija među njima je metoda laserskog raspršenja koja se odlikuje jednostavnošću izvedbe i primjenjivosti te brzinom analize širokog spektra veličine čestica i disperzijskih sredstava (Babić, 2012).

Instrumentacija potrebna za analizu uzorka laserskom difrakcijom jednostavna je za korištenje i praktična zbog mogućnosti analize širokog spektra veličina čestica i disperzijskih sredstava. Metoda laserske difrakcije oslanja se na činjenicu da će čestice prolazeći kroz lasersku zraku raspršiti svjetlo pod kutem i intenzitetom koji je direktno zavisao o njihovoj veličini. Veće čestice će raspršiti svjetlost pod oštrijim kutem s višim intenzitetom, dok manje čestice će raspršiti svjetlost pod širim kutem, ali s nižim intenzitetom (Jillavenkatesa i sur., 2001).

Tipična aparatura za lasersku difrakciju sastoji se od lasera (izvora koherentne intenzivne svjetlosti određene valne duljine), fokusirajuće leće, ćelije s uzorkom, serije detektora za mjerenje uzorka svjetlosti na širokom rasponu kuteva (BS ili backscattering-detektor pozadinskog raspršenja, LA ili light absorption- detektor apsorpcije svjetlosti) i neke vrste sistema za prezentaciju uzorka koji osigurava prolazak uzorka kroz lasersku zraku u vidu homogene struje čestica u poznatom stanju disperzije (Chu, 1992).

### 3.EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Priprema uzorka

Postupak pripreme uzorka uključivao je proces pripreme soka od oguljene jabuke i mrkve na stolnom sokovniku, usitnjavanje badema i pripremu kokosovog mlijeka i soka od aronije te miješanje u odgovarajućim omjerima. Pripremu uzorka započeli smo guljenjem mrkve i jabuke. Očišćena jabuka ili mrkva potom se kroz otvor ubacuje u sokovnik (**BOSCH MES 4000**) te upada u rotacioni bubanj gdje noževi usitnjavaju materijal koji uslijed centrifugalne sile uzrokovane vrtnjom bubnja dolazi na sito. Na situ se potom zadržava čvrsti dio materijala dok sok nesmetano prolazi kroz sito i skuplja se u odgovarajuću posudu. Na taj način pulpa se odvaja od soka. Princip rada sokovnika je šaržni te ga je nakon rada potrebno rastaviti i očistiti kako bi bio spreman za ponovni rad s drugom sirovinom. Cijeli plodovi badema za potrebe smoothieja usitnjeni su i samljeveni na mlinu s noževima (**RETSCH GM 300**). Dobivene sokove u odgovarajućim volumenima potom miješamo s ostalim sastojcima smoothieja. Koristili smo 200 ml soka od jabuke, 20 ml soka od mrkve, 80 ml kokosovog mlijeka, 80 ml prirodnog soka od aronije i 20 g usitnjenih badema te smo dobiveni smoothie prenijeli u plastične bočice od 100 ml koje smo napunili do vrha i vakuumirali u najlonske vrećice kako ne bi došlo do pucanja, oštećenja ambalaže i razlijevanja tekućine prilikom tretiranja visokim hidrostatskim tlakom. Dobivene uzorke smo tretirali tlakovima različitih jačina i različitog vremena trajanja. Jedan od uzoraka smoothieja nije tretiran visokim tlakom i korišten je kao referentni uzorak za usporedbu karakteristika tretiranog i netretiranog uzorka kako bi mogli točno uvidjeti učinak i djelovanje HHP-a na namirnicu.



**Slika 4.** Sokovnik **BOSCH MES 4000** i mlin s noževima **RETSCH GM 300**

### 3.2. Obrada visokim hidrostatskim tlakom

Posudica od 100 mL do vrha je ispunjena uzorkom te je stavljena u tlačnu komoru te je spremna za daljnju obradu. Uzorak je tretiran u poluindustrijskom uređaju za obradu namirnica ultra visokim hidrostatskim tlakom (**Stansted Fluid Power**). Uređaj se sastoji od visokotlačnog cilindra volumena dvije litre u kojemu je moguće postići tlakove do 900 MPa u neograničenom trajanju. Osim navedene radne jedinice, sastoji se i od kontrolne jedinice preko koje se upravlja te od pogonske jedinice s visokotlačnim pumpama koje postižu visoke tlakove do otprilike 50 MPa. Te dobivene tlakove zatim intenzifikatori (hidraulični transformatori) povisuju do dvadeset puta te tako dobivamo ultra visoke tlakove. Svi parametri rada (tlak i temperatura) praćeni su na ekranu računala. Za potrebe ispitivanja korišteni su tlakovi od 300 i 450 MPa tijekom 3, 9 i 15 min. Tlačni medij bio je propilen – glikol. Nakon obrade na željenom tlaku, posudice s obrađenim uzorcima se vade, čiste, te se provode ostale analize. Za potrebe određivanja boje uzorci su skladišteni u hladnjaku na +4 °C.



*Slika 5. Uređaju za obradu namirnica visokim hidrostatskim tlakom Stansted Fluid Power*

### 3.3. Određivanje boje

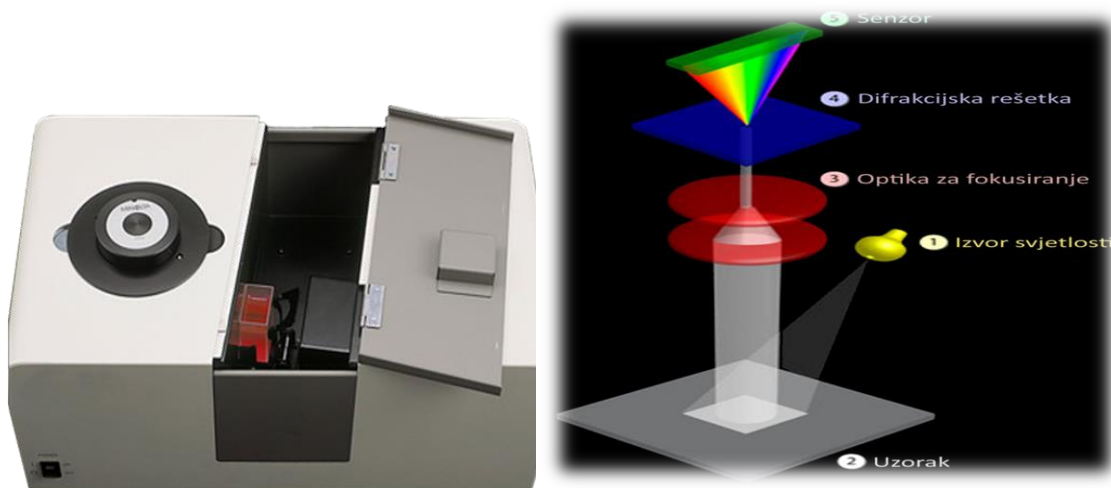
Određivanje boje, jednog od najvažnijih faktora potrošaču kada odlučuje o kupnji proizvoda, vršilo se na kolorimetru **CM-3500d** (Konica-Minolta, Japan) koji je kalibriran na masku otvora od 8 mm kao optimalnom s obzirom na veličinu uzoraka. Prije svakog seta mjerenja, uređaj je kalibriran s čisto bijelim standardom (100 %-tna refleksija) te crnim valjkom (0 % refleksije). U programu Spectramagic NX podešene su sve potrebne postavke: izabrana

geometrija bila je  $d/8$  kod koje se površina uzorka promatra pod kutom od  $8^\circ$  u odnosu na njezinu normalu. Širina zrake koja se promatra iznosi  $7,4^\circ$ . Mjerenja su vršena u području vidljivog dijela elektromagnetskog spektra (od 400 do 700 nm) te u SCE (Specular Component Excluded) modu.

Ispitivani uzorak postavljen je tako da prekriva cijeli otvor te je poklopljen valjkom potpuno crne boje i maksimalne apsorptivnosti svjetlosti. Kao rezultat dobivena je reflektancija uzorka u čitavom području vidljivog spektra, te  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  vrijednosti. Na temelju rezultata računa se  $\Delta E^*$  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 6.** Kolorimetar CM-3500d i princip rada



### 3.4. Određivanje teksture

Određivanje teksturnih svojstava namirnica za smoothieje provedeno je pomoću uređaja **Stable Micro Systems Texture Analyser TA.HDplus**. Uređaj radi na principu tlačenja ili rastezanja uzorka ovisno o potrebama testa. Istovremeno mjerni osjetnik prati otpor koji se javlja u materijalu ispitanog uzorka te uslijed prodiranja alata kroz uzorak povratnom vezom javlja upravljačkoj jedinici radne parametre. Radni parametri su brzina, dubina i sila prodiranja koji se grafički prikazuju u odabranom grafu. Graf je zatim moguće obraditi te izračunati razne veličine kao što je površina ispod krivulje. Uzorak (očišćena jabuka, očišćena mrkva, badem) postavljamo na predviđeno postolje te odabiremo odgovarajući program rada te odgovarajuće radne parametre. Nakon toga uređaj je spreman za rad. Za potrebe ovog istraživanja ispitana su tvrdoća, elastičnost i rad. Na temelju dobivenih rezultata iz grafa ovisnosti primijenjene sile za prodiranje u uzorak i prijeđenog puta sonde, tvrdoća je izračunata kao maksimalna sila postignuta prilikom prodiranja sonde u uzorak, izražena u Njutnima (N). Elastičnost pak predstavlja udaljenost koju je sonda prešla od početka prodiranja do lomljenja uzorka te je izražena u milimetrima (mm).



**Slika 7.** Uređaj za određivanje teksture *Stable Micro Systems Texture Analyser TA.HDplus*.

### 3.5. Određivanje pH

Za određivanje pH svakog smoothieja korišten je digitalni pH-metar **WTW Ph 330i/SET**. Prije mjerenja sondu je potrebno isprati destiliranom vodom te ju zatim uranjamo u tekućinu čiji pH želimo izmjeriti. Dobivene vrijednosti pH prikazuju se na ekranu uređaja. Osim pH, uređaj mjeri temperaturu i tlak zraka.



*Slika 1. Digitalni pH-metar WTW Ph 330i/SET*

### 3.6. Određivanje viskoznosti

Viskoznost svakog smoothieja određena je pomoću digitalnog viskozimetra **Fungilab ALPHA**. Smoothieji se prebacuju u odgovarajuće posudice te se u njih uranjaju mjerna vratila i započinju mjerenja. Uređaj zatim određuje viskoznost na temelju otpora koji materijal (smoothie) pruža pri okretanju vratila. Dobiveni rezultati viskoznosti prikazuju se na ekranu uređaja.



*Slika 2. Digitalni viskozimetar Fungilab ALPHA.*

### 3.6. Određivanje raspodjele veličine čestica

Mjerenja raspodjele veličine čestica u voćnim smoothiejima određena su pomoću uređaja **Malvern Mastersizer 2000 particle size analyzer** koji radi na principu mjerenja raspršenja čestica pomoću optičke jedinice. Detektorsko polje unutar optičke jedinice sastoji se od mnogo pojedinačnih detektora od kojih svaki skuplja rasipanu svjetlost određenog raspona kutova. Pomoću uređaja moguće je mjerenje raspodjele veličine čestica suhih i tekućih uzoraka. Za svrhu istraživanja korištena je jedinica za tekuće uzorke. Prije samog mjerenja provodi se kalibracija nakon koje slijedi postepeno dodavanje uzorka u uređaj u malim količinama, kap po kap. Pri tome cijelo vrijeme pratimo stupanj zasićenja na ekranu te zatim provodimo mjerenje. Rezultati dobiveni mjerenjem zatim se prikazuju u tabličnom i grafičkom obliku.



**Slika 3.** Uređaj za određivanje raspodjele veličine čestica *Malvern Mastersizer 2000 particle size analyzer*

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

### 4.1. Utjecaj na viskoznost i pH

#### *Mjerenje viskoznosti*

**Tablica 1.** Rezultati mjerenja viskoznosti uzoraka voćnih smoothieja

Uzorak	RPM	Viskoznost [mPas]	v [%]
Referentni uzorak	20	236,1	15,9
300 MPa, 3min	20	369,1	19,9
300 MPa, 9min	20	211,4	14,1
300 MPa, 15min	20	269,0	17,8
450 MPa, 3min	20	313,3	20,7
450 MPa, 9min	20	340,3	22,7
450 MPa, 15min	20	419,3	28,0

Iz dobivenih rezultata mjerenja viskoznosti voćnih smoothieja možemo uočiti da je došlo do blagog povećanja viskoznosti djelovanjem visokog hidrostatskog tlaka, odnosno da uzorci tretirani visokim hidrostatskim tlakom pokazuju veće vrijednosti viskoznosti u odnosu na referentni, netretirani uzorak. Malo odstupanje vidljivo je u uzorku tretiranom tlakom od 300 MPa u trajanju od 3 minute, no te promjene ne smatramo značajnima za sam proizvod. Također, vidljivo je da djelovanjem visokog hidrostatskog tlaka kroz dulje vrijeme na proizvod dolazi do povećanja viskoznosti koja proporcionalno raste s duljinom tretiranja. Međutim, promjene su male te se ne smatraju značajne za sam proizvod.

## Mjerenje pH

**Tablica 2.** Rezultati mjerenja pH uzoraka voćnih smoothieja

Uzorak	pH
Referentni uzorak	5,543
300 MPa, 3min	5,529
300 MPa, 9min	5,498
300 MPa, 15min	5,501
450 MPa, 3min	5,547
450 MPa, 9min	5,587
450 MPa, 15min	5,517

Iz dobivenih mjerenja vidljivo je da podvrgavanje uzoraka visokom hidrostatskom tlaku gotovo ne utječe na pH smoothieja te gotovo da nema razlike u izmjerenom pH netretiranog referentnog uzoraka i uzoraka podvrgnutim visokom hidrostatskom tlaku. Također, nema ni zamjetne razlike u pH uzoraka koji su bili izloženi djelovanju visokom hidrostatskom tlaku u različitim vremenskim intervalima (3, 9, 15 minuta).

## 4.3. Kolorimetrija

**Tablica 3.** Rezultati dobiveni mjerenjem boje uzoraka smoothieja kolorimetrijskom metodom

Uzorak	L*	a*	b*
Referentni uzorak	39,1	10,04	3,42
300 MPa, 3min	41,43	10,07	3,12
300 MPa, 9min	38,71	11,09	-0,12
300 MPa, 15min	35,98	10,87	0,26
450 MPa, 3min	40,8	11,65	1,80
450 MPa, 9min	39,53	11,76	1,30
450 MPa, 15min	39,77	12,29	-0,01

L\* predstavlja svjetlinu, odnosno skalu sive boje, pri čemu je vrijednost 0 potpuno crna boja, a 100 potpuno bijela. a\* ima raspon vrijednosti od -100 do +100, gdje negativne vrijednosti označavaju približavanje zelenoj boji (a\*=-100 predstavlja čistu zelenu boju), dok pozitivne vrijednosti označavaju približavanje crvenoj. b\* također ima isti raspon vrijednosti, s

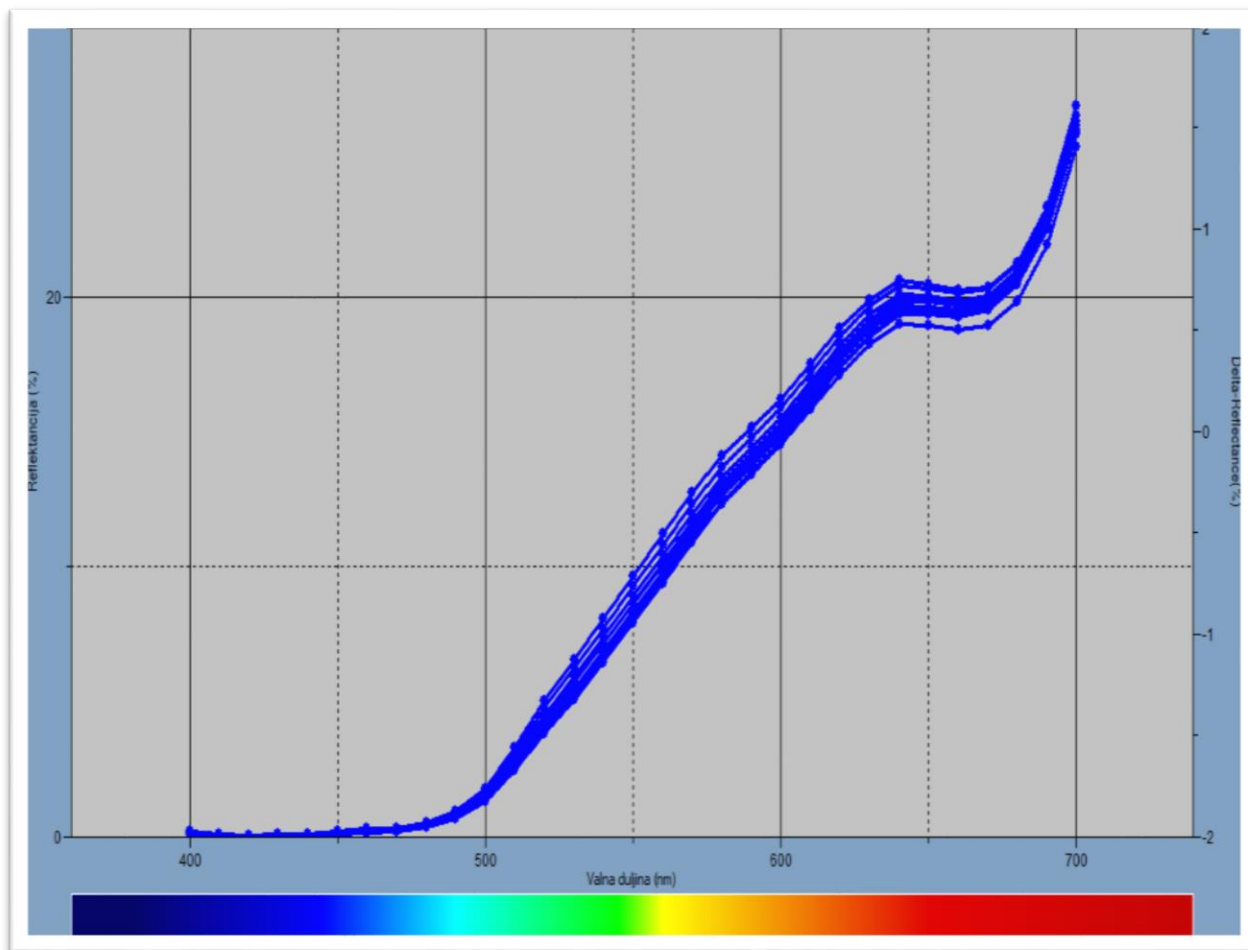
negativnim vrijednostima koje u -100 dosežu čisto plavu boju, te pozitivnim vrijednostima gdje +100 predstavlja čistu žutu boju. Kombinacijom  $a^*$  i  $b^*$  vrijednosti dobivamo boju materijala, pri čemu  $L^*$  predstavlja svjetlinu te boje.

**Tablica 4.** Prema formuli izračunat  $\Delta E^*$

Uzorak	$\Delta E$
300 MPa, 3min	2,35
300 MPa, 9min	3,77
300 MPa, 15min	4,52
450 MPa, 3min	2,85
450 MPa, 9min	2,76
450 MPa, 15min	4,16

**Tablica 5.** Značenje izračunate  $\Delta E^*$  vrijednosti

$\Delta E^*$	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



**Slika 11.** Utjecaj vremena skladištenja na boju soka obrađenog pri 450 MPa.

Parametar  $\Delta E^*$  može nam pokazati koliko neki proizvod odstupa od referentne boje. Prema dobivenim rezultatima u Tablici 4. i usporedbom s vrijednostima u Tablici 5. možemo zaključiti da je došlo do promjene boje na uzorcima tretiranim visokim hidrostatskim tlakom u odnosu na referentni uzorak te da ta promjena varira ovisno o uzorku. Najveća promjena vidljiva je na uzorcima tretiranim s 300 MPa kroz 9 i 15 minuta te kod uzorka tretiranim tlakom od 450 MPa kroz 15 minuta. Kod navedenih uzoraka vrijednost  $\Delta E^*$  ukazuje na značajniju razliku u boji naspram referentnog uzorka, dok kod ostalih  $\Delta E^*$  ukazuje na primjetnu razliku u boji. Do značajnijih razlika došlo je prvenstveno u  $b^*$  vrijednostima koja se smanjivala te je došlo do pomicanja boje prema plavom dijelu spektra, dok kod  $L^*$  i  $a^*$  vrijednosti nema većih odstupanja.

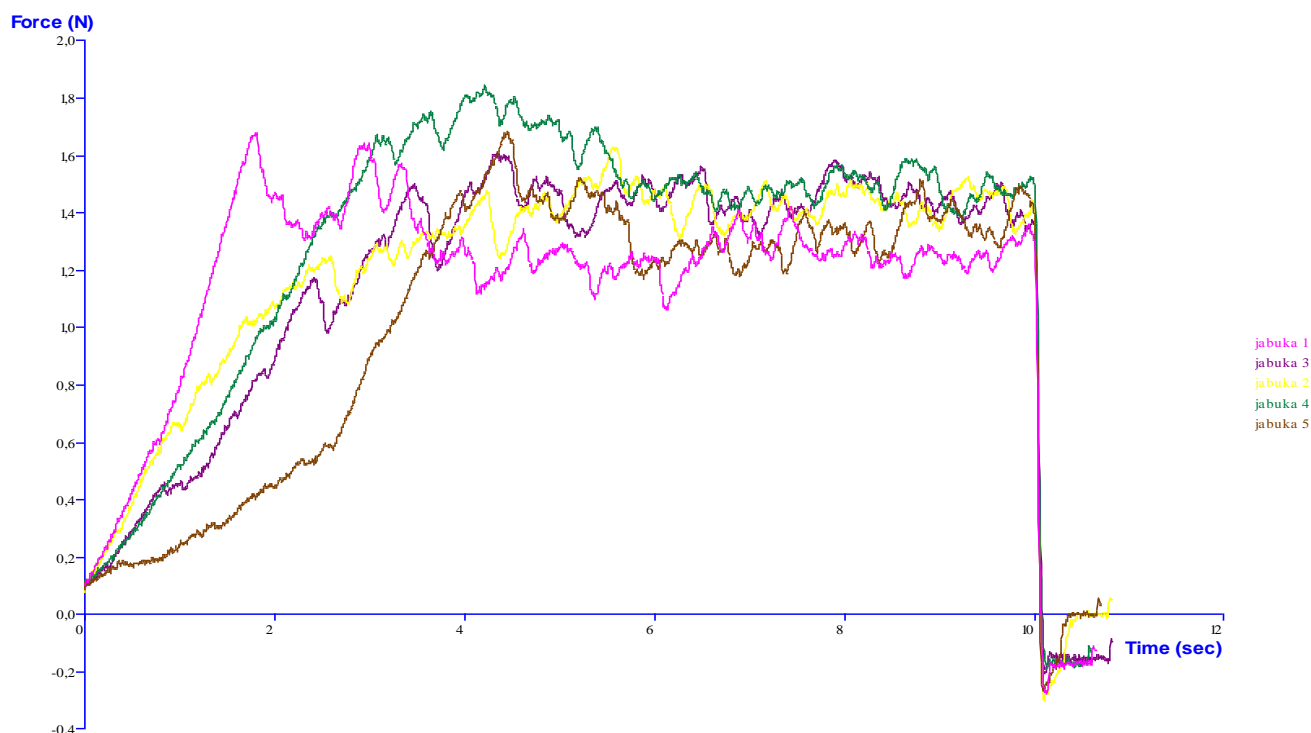
Međutim, razlog tome nije utjecaj samog visokog hidrostatskog tlaka već nestabilnost pigmenta voća i povrća koji su nosioci boje. Naime, tijekom čuvanja, odnosno prerade prehrambenih proizvoda dolazi do različitih poželjnih ili nepoželjnih promjena boje te je tim

promjenama posebno podložno svježe voće i povrće. Pigmenti su nestabilni te tijekom prerade i skladištenja prevencija nepoželjnih promjena je vrlo teška. Upravo to je i vidljivo na grafu Slike 1. gdje je tijekom skladištenja od 120 min zbog pojave oksidacije došlo do promjene boje uzorka. Tijekom skladištenja smoothieja između mjerenja kontakt sa zrakom bio je neizbježan te je došlo do oksidacije koja je negativno utjecala na boju smoothieja.

#### 4.4. Tekstura

**Tablica 6.** Rezultati mjerenja teksturnih svojstava jabuka korištenih za pripremu smoothieja

JABUKE			
Uzorak	Tvrdoća [N]	Elastičnost [mm]	Površina ispod grafa [N/mm]
Jabuka 1	1,6818	0,899	0,708
Jabuka 2	1,6317	2,804	3,024
Jabuka 3	1,6164	2,174	1,949
Jabuka 4	1,8455	2,109	2,223
Jabuka 5	1,6825	2,232	1,503

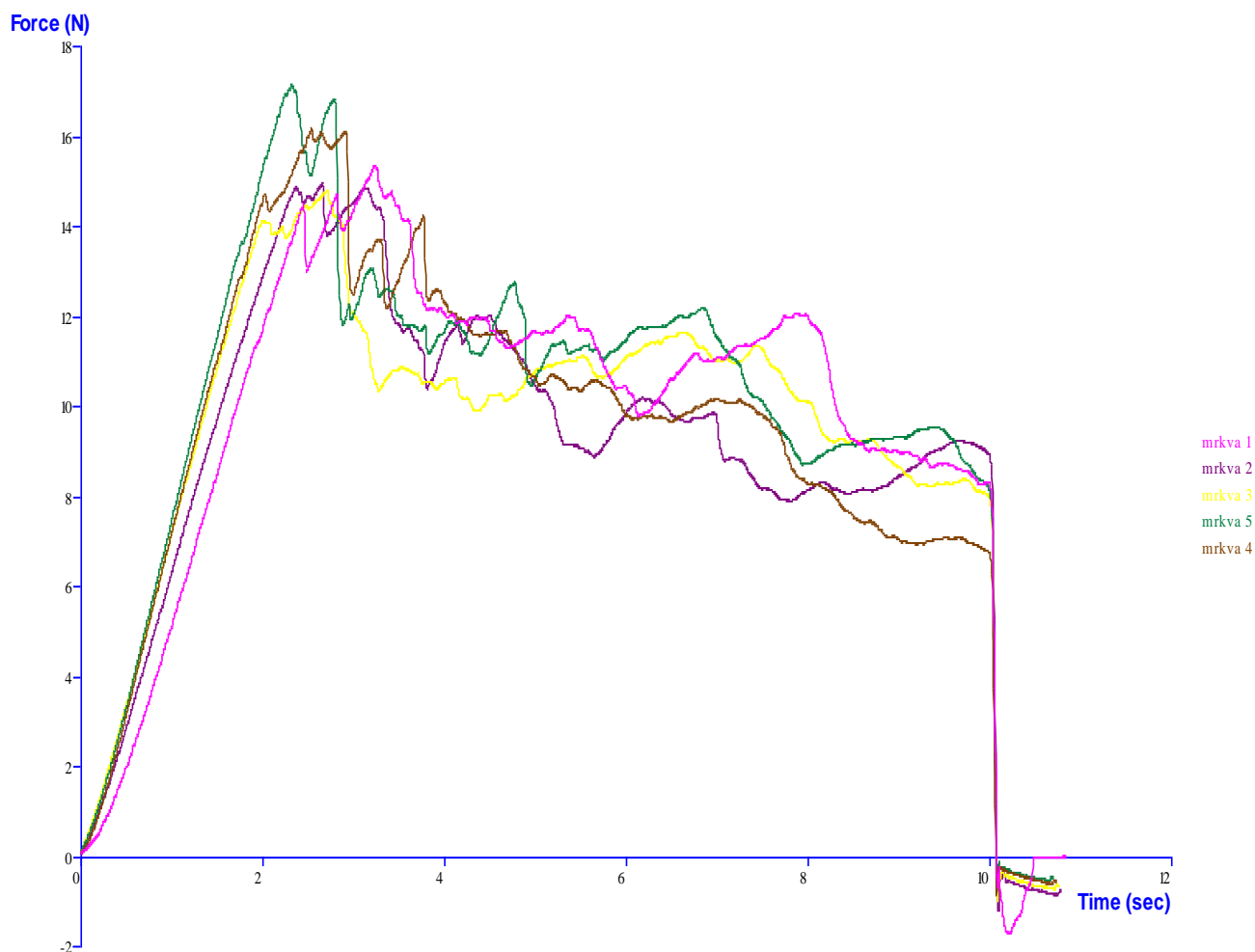


**Slika 12.** Grafički prikaz ispitanih teksturnih svojstava jabuke



**Tablica 7.** Rezultati mjerenja teksturnih svojstava mrkve korištenih za pripremu smoothieja

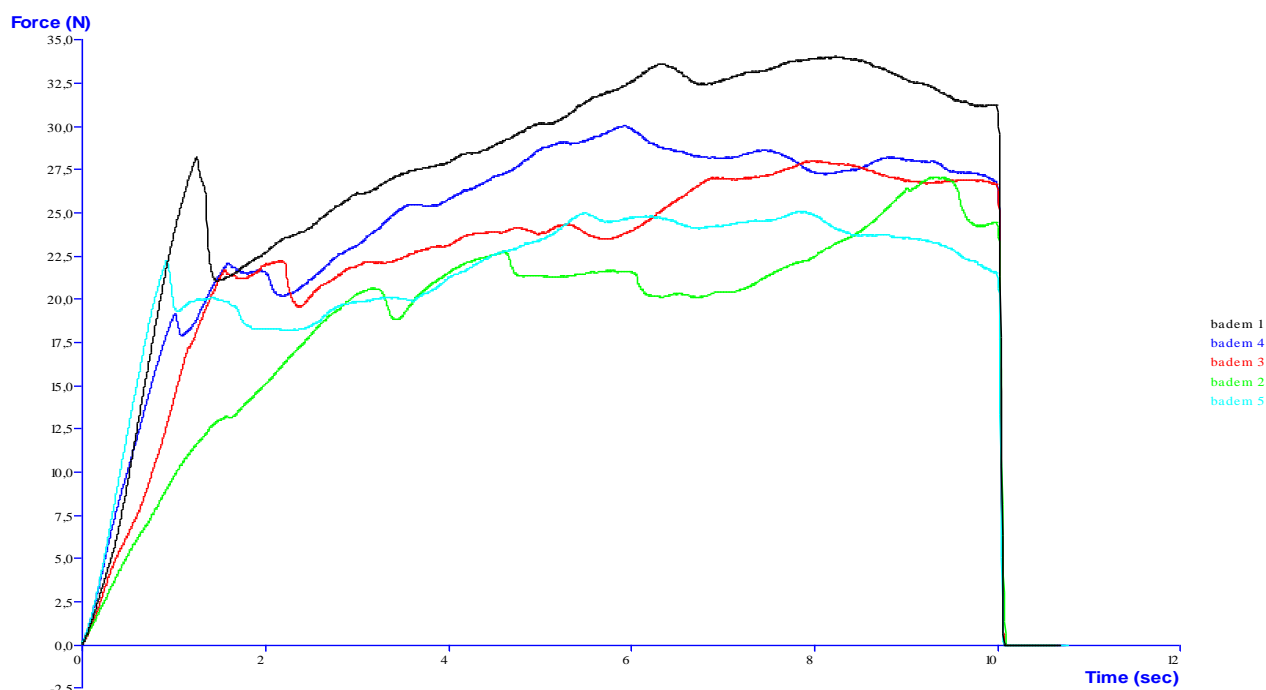
MRKVA			
Uzorak	Tvrdoća [N]	Elastičnost [mm]	Površina ispod grafa [N/mm]
Mrkva 1	15,3755	1,612	13,801
Mrkva 2	14,8991	1,574	14,560
Mrkva 3	14,8371	1,352	12,115
Mrkva 4	16,1589	1,449	14,062
Mrkva 5	16,8171	1,384	13,694



**Slika 13.** Grafički prikaz ispitanih teksturnih svojstva mrkve

**Tablica 7.** Rezultati mjerenja teksturnih svojstava badema korištenih za pripremu smoothieja

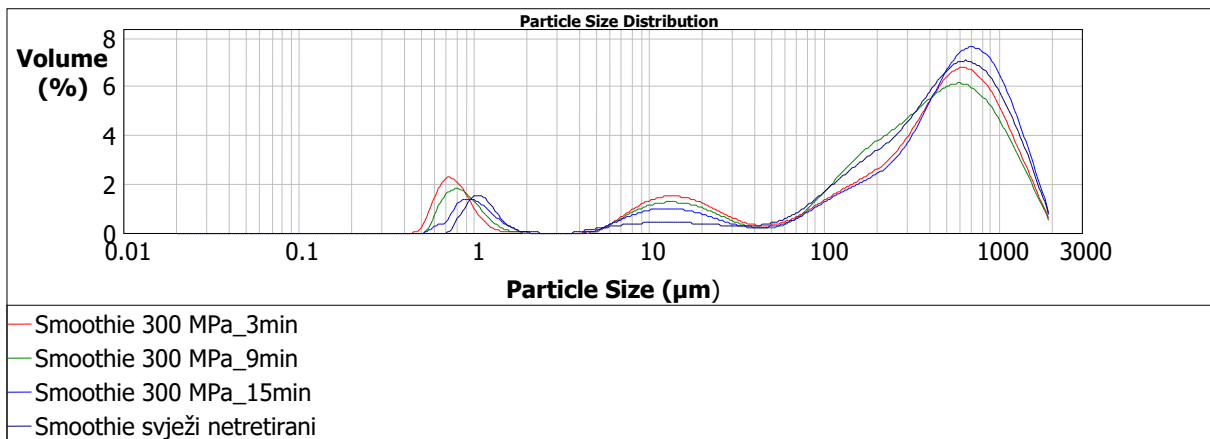
BADEMI			
Uzorak	Tvrdoća [N]	Elastičnost [mm]	Površina ispod grafa [N/mm]
Badem 1	28,1937	0,622	8,322
Badem 2	20,6668	1,607	20,000
Badem 3	22,2463	1,069	14,653
Badem 4	22,1405	0,896	10,896
Badem 5	22,1711	0,457	4,986



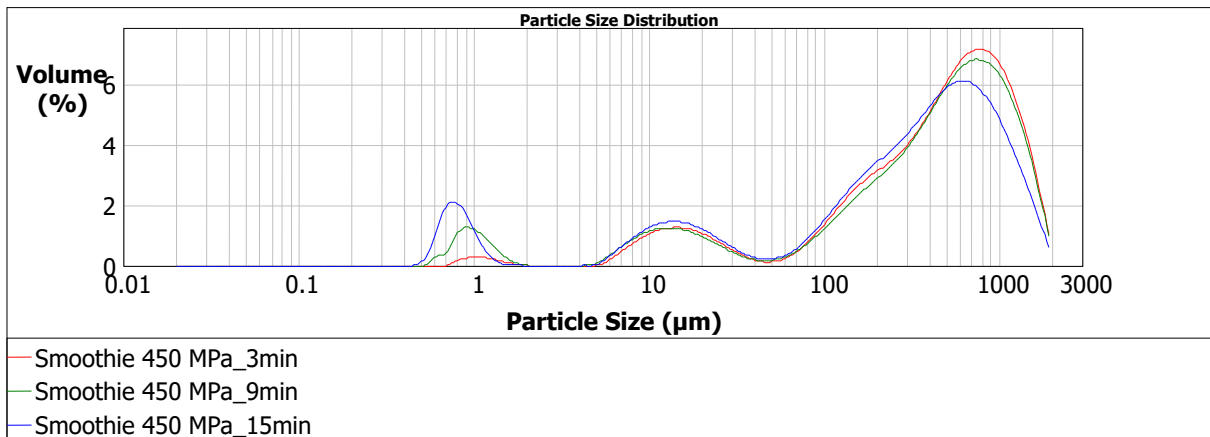
**Slika 14.** Grafički prikaz ispitanih teksturnih svojstava badema

Ispitana teksturna svojstva (tvrdoća, rad i elastičnost) prikazana su u Tablicama 6.-8. i Slikama 12.-14. Iz tablica vidljive su značajne razlike u teksturi ispitivanih sirovina (jabuka, mrkva i badem), pri čemu je jabuka imala najmanju tvrdoću (maksimalno 1,85 N), dok je maksimalna tvrdoća mrkve bila 16,81 N i badema 28,19 N (15 puta veća od tvrdoće jabuke).

#### 4.5. Raspodjela veličine čestica

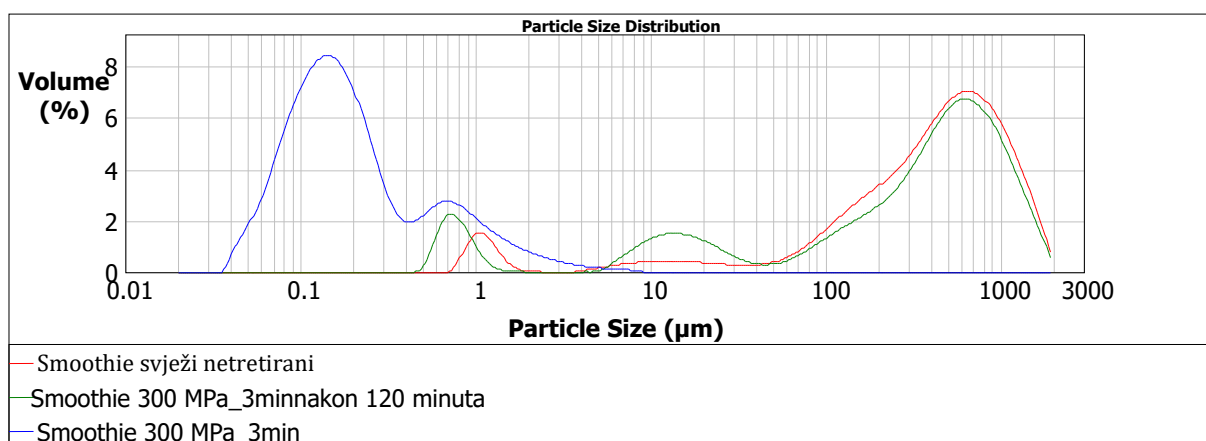


**Slika 15.** Utjecaj vremena obrade pri tlaku od 300 MPa na raspodjelu veličine čestica

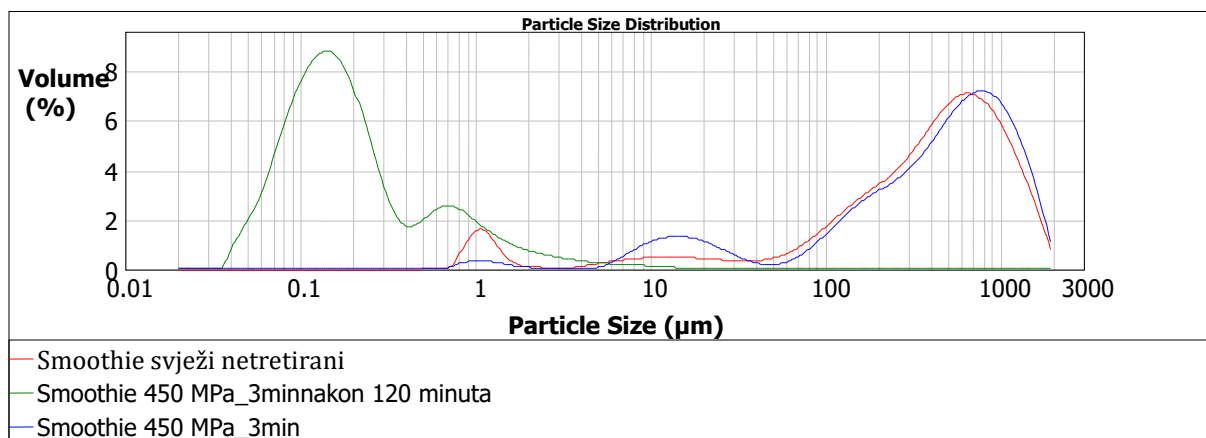


**Slika 16.** Utjecaj vremena obrade pri tlaku od 450 MPa na raspodjelu veličine čestica

Vrijeme obrade pri tlakovima od 300 i 450 MPa nije imalo značajan učinak na raspodjelu veličine čestica. Obrada pri najdužem vremenu dodatno je smanjila veće čestice i pri tome povećala broj manjih čestica (od 0,2 do 1 mikrometar), ali samo smanjenje veličine nije značajno te ne opravdava dulje vrijeme obrade. Optimalnim se pokazalo vrijeme obrade u trajanju od 9 minuta.



**Slika 17.** Raspodjela veličine čestica soka nakon obrade tlakom od 300 MPa tijekom 0 min i 120 min skladištenja



**Slika 18.** Raspodjela veličine čestica soka nakon obrade tlakom od 450 MPa tijekom 0 min i 120 min skladištenja

Prema Slici 18. skladištenje soka u trajanju od 120 min dovodi do stvaranja sloja na vrhu soka, pri čemu su se u tom sloju talože najveće čestice, promjera većeg od 80 mikrometara. Uklanjanjem tih čestica došlo je do bistrenja soka i prosječnog povećanja broja čestica manje veličine (od 0,03 do 0,40 mikrometara).

Ispitivanjem raspodjele veličine čestica soka od mrkve i jabuke nisu vidljivi značajniji krupniji dijelovi bilo koje sirovine, niti značajne razlike u raspodjeli veličine čestica unutar soka. Može se zaključiti da početna tvrdoća sirovine ne igra značajnu ulogu tijekom rezanja/mljevenja i proizvodnje soka, te nema utjecaja na raspodjelu veličine čestica, neovisno o duljini mljevenja. S obzirom na princip proizvodnje soka u klasičnim centrifugalnim sokovnicima nije

došlo ni do promjena u brzini taloženja i boji tijekom 120 min stajanja. Princip hladnog prešanja sokova je takav da se moment okretanja puža prilagođava sili potrebnoj za cijedenje soka, te je trajanje cijedenja neovisno o tvrdoći ispitivanih uzoraka. Ispitivanje je provedeno na situ promjera 0,28 mm, te su sve čestice jabuke i mrkve bile unutar tog područja. Usporedbom elastičnosti i rada potrebnih za mastikaciju uzoraka vidljivo je da vrijednosti viskoznosti, srednje veličine čestica,  $d(0,1)$  i  $d(0,9)$  nisu statistički značajno ovisile o navedenim teksturnim parametrima.

## 5.ZAKLJUČAK

Postupci obrade hrane primjenom visokog tlaka predmet su sve većeg zanimanja znanstvene i stručne javnosti zbog rastućeg trenda potrebe potrošača za visokokvalitetnom, mikrobiološki ispravnom hranom sa što manje dodataka, pri čemu su zadržane sve značajke kvalitete kao što su boja, okus, nutritivni sastav i tekstura. Uništavanje mikroorganizama i inaktivacija enzima na niskim ili umjerenim temperaturama bez promjene organoleptičkih i nutritivnih svojstava pokazuje da visoki tlak ima mogućnost primjene u razvoju nove generacije proizvoda. Međutim, visoka inicijalna kapitalna ulaganja mogu ograničiti primjenu ove tehnologije. To se može s vremenom ublažiti smanjenjem operativnih troškova budući da je potrošnja energije primjenom visokog tlaka manja nego pri termičkom tretiranju. Visoki tlak iskazuje jedinu komercijalno primjenjivu alternativu termičkoj obradi iako nije realno očekivati da će ju u potpunosti zamijeniti.

Iz dobivenih rezultata ovoga rada može se zaključiti:

1. Viskoznost i pH uzoraka voćnih smoothieja tretiranih visokim hidrostatskim tlakom, u odnosu na referentni netretirani, ne razlikuju se značajno. pH ostaje gotovo nepromijenjen, dok vrijednost viskoznosti pokazuje lagani rast s porastom tlaka i vremenom tretiranja, ali nedovoljno velikog značaja za sam proizvod.
2. Boja uzoraka tretiranog i netretiranog uzorka razlikuju se zbog oksidacije pigmenata voćnog smoothieja tijekom skladištenja i kontakta sa zrakom. Visoki hidrostatski tlak nema značajan utjecaj na promjenu boje.
3. Tvrdća sirovine ne igra ulogu tijekom mljevenja i proizvodnje soka te nema utjecaja na raspodjelu veličine čestica, neovisno o duljini mljevenja.
4. Raspodjela veličine čestica tretiranih i netretiranih smoothieja značajno se ne razlikuju.

## 6. POPIS LITERATURE

- Abbott J.A., Lu R. (2004) Force/Deformation Techniques for Measuring Texture. Texture in Food: Volume 2: Solid Foods. Cambridge, England. Woodhead Publishing Limited. str. 109-145.
- Andres V., Villanueva M. J., Tenorio M. D., (2016) The effect of high-pressure processing on colour, bioactive compounds, and antioxidant activity in smoothies during refrigerated storage. Food Chemistry 192, str. 328 –335.
- Babić H. (2012) Metode određivanja veličine čestica. Odjel za kemiju. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera. Osijek.
- Brnčić M., Tripalo B., Ježek D., Semenski D., Drvar N. (2006) Effect of twin-screw extrusion parameters on mechanical hardness of direct-expanded extrudate. Sadhana 31: 527-536.
- Crandall, P.G., Davis, K.C, Carter R.D., Sadler G.D. (1988) Viscosity Reduction by Homogenization of Orange Juice Concentrate in a Pilot Plant Taste Evaporator. Journal of Food Science 53: 1477-1481.
- Daher D., Le Gourrierc S., Pérez-Lamela C. (2017) Effect of High Pressure Processing on the Microbial Inactivation in Fruit Preparations and Other Vegetable Based Beverages. Agriculture 7(9): 72.
- Ergović M. (2007) Utjecaj skladištenja na reološka svojstva kaše maline s dodatkom šećera, modificiranih škrobova i hidroklorida. Diplomski rad. Prehrambeno tehnološki fakultet. Osijek
- Hardi, J., Slačanac, V., Vlanić, M. (2001) Usporedba instrumentalnih i senzorskih metoda za analizu kakvoće gruša fermentiranih mliječnih napitaka. Mljekarstvo 51(2): 91-104.
- Harper D. (2018), Online Etymology Dictionary Smoothie, <https://www.etymonline.com/word/smoothie> Pristupljeno: 30.7.2019.
- Herceg Z., Režek Jambrak A., Krešić G., Rimac Brnčić S. (2009) Procesi konzerviranja hrane. Golden marketing-Tehnička knjiga. Zagreb.
- Huang H. W., Wu S. J., Lu J. K., Shyu Y. T., Wang C. Y. (2017) Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. Food Control 72: 1 -8.
- Jašić M. (2007) Tehnologija voća i povrća. Dio 1, Opšte osobine i čuvanje, hemijski sastav, nutritivna svojstva, fizikalno -hemijska i senzorna svojstva. Tehnološki fakultet Tuzla, Tuzla.
- Jillavenkatesa A., Dapkunas S.J., Lin-Sien L. (2001) Particle Size Characterization, NIST Special Publication 960-1003.
- Knorr D., Froehling A., Jaeger H., Reineke K., Schuleter O., Schoessler K. (2011) Emerging technologies in food processing. Annual Review of Food Science and Technology: 203-235.

Las, V. (2006) Prehrambeno-tehnološko inženjerstvo I. Fizička svojstva hrane, Golden marketing-Tehnička knjiga, Zagreb, str. 13-20.

Lovrić, T. (2003) Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva, Hinus, Zagreb

McClements J. M. J., Patterson M. F., Linton M. (2001) The effect of growth stage and growth temperature on high hydrostatic pressure inactivation of some psychrotrophic bacteria in milk. *Journal of Food Protection* 64(4): 514-522.

Medina-Meza I. G., Barnaba C., Barbosa-Cánovas G. V. (2013) Effects of high pressure processing on lipid oxidation: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 22: 1-10.

Monsalve-González A., Barbosa-Cánovas, G., Cavalieri, R. (1993) Mass transfer and textural changes during processing of apples by combined methods. *Journal of Food Science* 58: 557-569.

Mújica-Paz H., Valdez-Fragoso A., Samson C. T., Welti-Chanes J., Torres J. A. (2011) High-pressure processing technologies for the pasteurization and sterilization of foods. *Food Bioprocess Technology* 4: 969-985.

Muntada, V., Gerschenson, L. N., Alzamora, S. M., Castro, M. A. (1998) Solute infusion effects on texture of minimally processed kiwifruit. *Journal of Food Science* 63: 616-620.

Olsen J. (2017). Mayo Clinic Minute: Get smart about smoothies. EnVoy Publishing US. str. 232.-237.

San Martín M. F., Barbosa-Cánovas G. V., Swanson B., G. (2002) Food processing by high hydrostatic pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 42(6): 627-645.

Schanda, János D. (1997) Colorimetry, Casimer DeCusatis (ed.), Handbook of Applied Photometry., OSA/AIP. str. 327-412.

Shirvani M., Ghanbarian D., Ghasemi-Varnamkhasti M. (2014) Measurement evaluation of the apparent modulus of elasticity of apple based on Hooke's. Hertz's and Boussinesq's theories. Department of Mechanical Engineering of Biosystems. Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

Stijepić M., Milanović S., Glušac J., Vukić V., Kanurić K., Đurđević-Milošević D., Ranogajec M. (2011) Utjecaj odabranih čimbenika na reološka i teksturalna svojstva probiotičkog jogurta. *Mljekarstvo* 61 (1). str. 92-101.

Subasi B. G., Alpas H. (2017) Effect of high hydrostatic pressure processing and squeezing pressure on some quality properties of pomegranate juice against thermal treatment. *High Pressure Research* 37(1): 78 -92.

Szczesniak A.S. (1990) Texture: Is it still an overlooked food attribute?. *Food Technology* 18: 86.-95.



Wyszecki, Günther, Stiles, W.S. (1982) Colour Science: Concepts and Methods. Quantitative Data and Formulae. New York. 45-57.

## 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.

Krešimir Majcen

Ime i prezime studenta