

NAČINI USITNJAVANJA I PAKIRANJA MLJEVENE KAVE

Brdar, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:921674>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-05**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ
PREHRAMBENA TEHNOLOGIJA
PIVARSTVO

MATIJA BRDAR

NAČINI USITNJAVANJA I PAKIRANJA MLJEVENE KAVE

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, RUJAN 2023.

Veleučilište u Karlovcu

Stručni prijediplomski studij Prehrambena tehnologija

Pivarstvo

Matija Brdar

Načini usitnjavanja i pakiranja mljevene kave

Završni rad

Mentor: dr. sc. Sandra Zavadlav, prof.stuč.stud.

Broj indeksa studenta: 0314614051

Karlovac, rujan 2023.

IZJAVA O AUTENTIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA

Ja, **Matija Brdar**, ovime izjavljujem da je moj završni rad pod naslovom „**Načini usitnjavanja i pakiranja mljevene kave**“ rezultat vlastitog rada i istraživa te se oslanja se na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio ovoga rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši autorska prava.

Sadržaj ovoga rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

U Karlovcu, rujan, 2023.

Ime i prezime studenta

MATIJA BRDAR

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Veleučilište u Karlovcu
Odjel prehrambene tehnologije
Stručni prijediplomski studij Prehrambena tehnologija

Završni rad

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Matija Brdar

NAČINI USITNJAVANJA I PAKIRANJA MLJEVENE KAVE

Mentor: dr.sc. *Sandra Zavadlav*, prof. struč. stud.

Sažetak

Ekstrakt mljevene kave je jedan od najomiljenijih napitaka diljem svijeta, a njezina priprema, od zrna kave do gotovog napitka, uključuje niz ključnih tehnoloških operacija. Među ključnim postupcima, usitnjavanje i pakiranje zauzimaju vodeću ulogu u postizanju željenih karakteristika mljevene kave i kvalitete ekstrakta. Načini usitnjavanja i pakiranja kave se redovito analiziraju u industrijama u svrhu očuvanja svježine meljave, a time se usavršila aromu i okus ekstrakta kave. Predmetni rad temelji se na istraživanju problema obrade kave odnosno analizi različitih načina usitnjavanja i pakiranja mljevene kave te su utvrđene mogućnosti tehnološkog procesa usitnjavanja, kao i istraženi načini pakiranja u svrhu optimiranja procesa proizvodnje mljevenog kavinog proizvoda. Rasprava naglašava važnost odabira odgovarajućeg uređaja za usitnjavanje i tehnike usitnjavanja te pakiranja zbog utjecaja na kvalitetu konačnog proizvoda.

Broj stranica: 28

Broj slika: 5

Broj tablica: 3

Broj literaturnih navoda: 21

Broj priloga: 0

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: aroma, ekstrakt mljevene kave, pakiranje, usitnjavanje

Datum obrane: 28.9.2023.

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. *dr.sc. Jasna Halambek, v.pred.*
2. *Elizabeta Zandona, pred.*
3. *dr.sc. Sandra Zavadlav, prof.struč.stud. (mentor)*
4. *dr.sc. Goran Šarić, v.pred. (zamjenski član)*

Rad je pohranjen u knjižnici Veleučilišta u Karlovcu, I. Meštrovića 10, 4700 Karlovac, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Karlovac University of Applied Sciences
Department of Food Technology
Professional undergraduate study of Food Technology

Final paper

Scientific Area: Biotechnical Sciences
Scientific Field: Food Technology

Matija Brdar

WAYS OF CRUSHING AND PACKING GROUND COFFEE

Supervisor: Ph.D. *Sandra Zavadlav*, college prof.

Abstract

Ground coffee extract is one of the most popular beverages around the world, and its preparation, from coffee beans to the finished beverage, includes a number of key technological operations. Among the key procedures, grinding and packaging play a leading role in achieving the desired characteristics and quality of coffee drinks. The methods of crushing and packaging coffee are regularly analyzed in industries in order to preserve the freshness of the ground, thereby perfecting the aroma and taste of the coffee extract. The work in question is based on a complete review of the coffee processing problem, i.e. an analysis of different methods of grinding and packaging of ground coffee, and the possibilities of the technological process of grinding have been determined, as well as researched methods of packaging in order to optimize the production process of coffee products. The discussion highlights the importance of selecting the appropriate comminution device and comminution technique and packaging due to the impact on the quality of the final product.

Number of pages: 28

Number of figures: 5

Number of tables: 3

Number of references: 21

Original in: Croatian

Key words: aroma, ground coffee extract, packaging, shredding

Date of the final paper defense: 28.9.2023.

Reviewers:

1. *Ph.D. Jasna Halambek, sen. lecturer*
2. *Elizabetha Zandona, lecturer*
3. *Ph.D. Sandra Zavadlav, college prof.*
4. *Ph.D. Goran Šarić, sen. lecturer*

Final paper deposited in: Library of Karlovac University of Applied Sciences, I. Meštrovića 10, Karlovac, Croatia.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Teorijski dio	3
2.1. Mljevena kava i zanimljivosti vezane uz kavu.....	3
2.2. Tehnološka operacija usitnjavanja krute tvari.....	5
2.1.1. Primjene tehnika usitnjavanja krutih tvari – zrna kave.....	7
2.1.2. Priprema zrna kave, tehnike usitnjavanja pri proizvodnji mljevene kave i ekstrakcija	9
2.1.3. Utjecaj grubog i/ili finog usitnjavanja na okus i aromu ekstrakta kave.....	13
2.1.4. Mehanika usitnjavanja krute tvari.....	14
2.1.5. Energija i snaga za usitnjavanje krute tvari	15
2.1.6. Uređaji koji se koriste za usitnjavanje zrna kave.....	17
2.2. Utjecaj prženja, usitnjavanja i pakiranja na okus i aromu ekstrakta kave	19
2.2.1. Važnost pakiranja kave odgovarajuće meljave.....	20
2.2.2. Faktori pri pakiranju kave odgovarajuće meljave.....	22
2.3. Utjecaj usitnjavanja i pakiranja na kvalitetu i trajnost kave odgovarajuće meljave	22
3. RASPRAVA	24
4. ZAKLJUČCI.....	26
Literatura.....	27

1. UVOD

Prema podacima Međunarodne organizacije za kavu, ekstrakt kave je drugi najkonzumiraniji napitak koji slijedi nakon vode. Veliki poznavatelji i ljubitelji kavinih napitaka obično nabavljaju pržena zrna kave i započinju proces ekstrakcije kave odmah nakon faze mljevenja. Neki zaljubljenici u kavine napitke radije sudjeluju u što više dijelova procesa i kreću od faze prženja, dok treći koji neznčajnije uživaju u ukusima, kupuju prženu i industrijski mljevenu kavu koja je prikladno zapakirana. Većina pravih ljubitelja kave ipak proces pripreme kave započinje u fazi mljevenja. Upravo je pravi izbor uređaja za mljevenje taj koji je odgovoran za nezamjenjiv okus i aromu kavinog ekstrakta. Mlin za kavu omogućuje mljevenje zrna do veličine određene količine koja je željena i ovisna o potrebi za spravljanje određenog ekstrakta. Različite vrste kave zahtijevaju različite veličine meljave kako bi specijalna kava bila ono što se očekuje. Za dobar espresso potrebna je najfinije mljevena kava, dok se French Press spravlja od grubo mljevene kave. Svježina, veličina i kvaliteta mljevenja značajno utječu na sve bitne značajke, a najviše na okus kavina napitka. Okus se počinje gubiti čim čestice kave dođu u dodir sa zrakom, nakon što se zrna kave samelju, stoga su mljevenje i uvjeti mljevenja izuzetno bitni i proučavani kada je u pitanju usitnjavanje zrna kave. Za usitnjavanje zrna kave uglavnom se bira između četiri vrste mlinova za kavu: ručni, automatski, mlinovi s noževima i mlinci s oštricama, a industrija bira mlinove s valjcima ili zvonolike mlinove. Ručnim mlincima moguće je kontrolirati proces mljevenja i može se zaustaviti mljevenje kada se osjeti da je veličina savršena za ekstrakcije kava u željeni kavini napitak, dok automatske mlince pokreće motor koji se napaja iz baterija ili struje te nije moguća tolika kontrola mljevenja kao kod ručnih mlinaca. U usporedbi s ručnim mlinovima brži su i imaju veći kapacitet stoga su idealni za komercijalnu upotrebu, primjerice u kafićima, te su zbog toga skuplji od ručnih mlinova. Mlinci s oštricama također poznati kao propelerski mlinci, usitnjavaju zrna kave pomoću oštrice koja se brzo okreće, a mlinci za kavu s diskovima razgrađuju zrna kave drobeći ih između čeličnih ili keramičkih žlica. U usporedbi s oštricama, mlinci s oštricama proizvode konzistentno finije mljevenje te su skuplji su od disk brusilica, ali su popularnija opcija. Mlin za kavu na valjke je velikog kapaciteta, te stupnjevito melje materijal i stoga je pogodan za industrijska mljevenja. Razvijeni su sustavi mljevenja uz hlađenje kako bi se hlapivi aromatski spojevi što više sačuvali na što ima utjecaj i daljnje pakiranje meljave. Prehrambene proizvode potrebno je sačuvati od utjecaja kisika tijekom skladištenja što se osigurava na nekoliko načina. Jedan od načina je i eliminacija kisika iz ambalaže – tj. vakuumsko pakiranje.

Mljevena kava se pakira na linijama iznimno velike brzine te se zbog očuvanja od utjecaja kisika pakiranje vrši pod vakuumom. Ovakvim načinom pakiranja zajamčeno je najbolje očuvanje kvalitete proizvoda.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Mljevena kava i zanimljivosti vezane uz kavu

Kavin ekstrakt je jedan od najpopularnijih napitaka koji se konzumira diljem svijeta. Mljevena kava proizvodi se iz zrna kave, plodova biljke *Coffea*, koja pripada obitelji *Rubiaceae*. Kava je poznata po svom karakterističnom okusu, bogatoj aromi i stimulirajućem učinku zbog prisutnosti kofeina. Kavin napitak ima dugu povijest i važno je kulturno i društveno „sredstvo“ u mnogim zemljama (Illy i Illy, 1992). Kava je više od samo napitka; ona je postala simbol uživanja, druženja i kulture diljem svijeta. Oduvijek je privlačila pažnju svojim jedinstvenim okusom i aromom, ali i svojim poviješću, pričama i zanimljivostima. Znanstvena istraživanja i tehnološki napredak doprinose razumijevanju njezinih karakteristika i postupaka pripreme, stvarajući pravu mješavinu stručnosti i umjetnosti među zaljubljenicima u kavu. Kava se uglavnom uzgaja u tropskim i subtropskim područjima svijeta, posebno u regijama; Južne Amerike, Afrike, Azije i u nekim područjima Pacifika.

Kava može rasti kao manje drvo ili grm, a za proizvodnju kave koriste se dvije komercijalno glavne vrste: *Coffea arabica* (Arabica kava) i *Coffea canephora* (Robusta kava). Svaka od ovih vrsta ima svoje specifične karakteristike i okus (Illy i Illy, 1992). Priprema kavinog napitka uključuje nekoliko ključnih koraka, uključujući berbu zrelih kavinih bobica, sušenje i obradu, prženje zrna kave i konačno usitnjavanje prije pripreme napitka odnosno ekstrakta. Tijekom prženja zrna, razvijaju se karakteristična aroma i okus kave, a različite razine prženja doprinose raznolikosti okusa konačnog proizvoda kao što i usitnjavanje ima svoju svrhu u stvaranju bukea (okusa).

Brazil se izdvaja kao vodeći svjetski proizvođač sirove kave sa proizvodnjom fokusiranom u nekoliko ključnih država poput Minas Gerais, Espírito Santo i São Paulo (Grabar, 2021). Vijetnam, zemlja s bogatom povijesti kave, uspješno je postao drugi najveći svjetski proizvođač, a Kolumbija svoj ugled temelji na visokokvalitetnoj arabica kavi proizvedenoj suhim postupkom (Grabar, 2021). Indonezija također zauzima značajno mjesto na tržištu sirove kave, posebno poznata po Robusti i Arabica sortama uzgojenima na otocima poput Sumatre, Jave, Sulawesija i Floresa (Grabar, 2021). Etiopija, izvorni dom kave, doprinosi jedinstvenim sortama s izraženom aromom i okusom, pri čemu su regije poput Harrara, Djimmaha i Sidama poznate po bogatstvu kave (Grabar, 2021).

Kava je kroz vrijeme postala simbol uživanja, druženja i kulture, te se upotrebljava u različitim oblicima i metodama pripreme kako bi zadovoljila širok spektar želja mnogobrojnih ljubitelja.

Osim zadovoljavanja nepca, kava nudi i zdravstvene koristi zahvaljujući prisutnosti antioksidansa, polifenola i minerala (Grabar, 2021). U kontekstu interesa za ovaj napitak i promjena u načinima pripreme, kava konstantno privlači pažnju istraživača i ljubitelja kave, što potvrđuje njezinu neprestanu evoluciju kako bi se osigurao ugodan doživljaj ispijanja ovog nevjerojatnog napitka.

Kofein poboljšava koncentraciju i budnost, što čini ekstrakt kave traženim napitkom mnogih ljudi diljem svijeta. Kava je poznata po svojoj stimulativnoj moći zahvaljujući prisutnosti upravo poznatog alkaloida tj. kofeina. Osim kofeina, kava sadrži i mnoštvo spojeva poput; raznih antioksidansa, polifenola i minerala koji su različiti nutritivni prekursori i bioaktivne komponente. Uz konzumaciju ekstrakta kave kao toplog napitka, ekstrakt kave se vrlo često koristi za pripremu raznih drugih proizvoda, uključujući hladne napitke, poslastice, kozmetičke proizvode i aromatiziranu hranu. Kava je postala simbolom društvenih okupljanja te je prisutna u mnogim kulturama i običajima (Smith, 1985).

Suvremeni pogled na kavu također je pokrenuo razvoj različitih metoda pripreme, posebno metoda za pripremu ekstrakta kod kuće, a specifična priprema kave za domaćinstvo naglašava senzorsko iskustvo i kvalitetu napitka. Različiti načini pripreme, od tradicionalnih metoda poput prelijevanja i „espresso“ tehnike pa do modernih sustava pripreme kapsulama, omogućuju svakom pojedincu prilagodbu okusa i arome prema vlastitim željama. Kava, kao izvor užitka za nepce i nadasve kulture druženja, nastavlja privlačiti pažnju ljubitelja tog nevjerojatnog napitka zatim istraživača i industrije. Razumijevanje pojmova vezanih uz kavu, kao i tehnoloških procesa povezanih s njezinom pripremom, od ključne su važnosti za osiguravanje kvalitetnog i ugodnog iskustva konzumacije ovog popularnog napitka (Illy i Illy, 1992).

2.2. Tehnološka operacija usitnjavanja krute tvari

Prema McCabe i sur.,(1993.) tehnološki proces usitnjavanja ključan je u različitim industrijama zato što usitnjavanje omogućujući mehaničku pretvorbu čvrstih tvari u manje čestice radi lakše obrade, skladištenja ili daljnje upotrebe. Usitnjavanje se koristi u širokom rasponu primjena, uključujući prehrambenu, farmaceutsku, kemijsku i rudarsku industriju, te pruža temelj za optimizaciju performansi i postizanje željenih karakteristika krajnjih proizvoda.

Usitnjavanje predstavlja proces pretvaranja krutih tvari u manje čestice, čime se povećava površina materijala i olakšava njegova daljnja obrada ili upotreba. Svrha usitnjavanja može varirati ovisno o industriji i primjeni prilikom formiranja završnog proizvoda. U prehrambenoj industriji, usitnjavanje može služiti za proizvodnju praškastih proizvoda, kao što su brašno, šećer ili kakao, ili za pripremu različitih tekstura hrane te zbog se često kruta tvar usitnjava zbog olakšavanja miješanja i doziranja tijekom pripreme hrane. U farmaceutskoj industriji, usitnjavanje omogućuje stvaranje finih praškova koji se mogu lako dozirati i obraditi te kapsulirati ili brže otapati čime se poboljšava bioraspoloživost aktivnih tvari. U rudarskoj industriji, usitnjavanje je ključno za oslobađanje dragocjenih minerala iz stijena (McCabe i sur., 1993). Spominjani postupak ima široku primjenu u različitim industrijama, jer omogućuje značajno povećanje površine materijala, čime se olakšava njegova daljnja obrada, mikroskopske interakcije i reakcije sa drugim reaktivnim tvarima.

Kvaliteta usitnjavanja ima izravan utjecaj na kvalitetu finalnog proizvoda, a raspodjela i veličina čestica utječu na procese kao što su ekstrakcija i adsorpcija, te na svojstva proizvoda kao što su tekstura i otapanje. Neujednačeno usitnjavanje može rezultirati neravnomjernom raspodjelom čestica, što može negativno utjecati na performanse i svojstva proizvoda (McDowell i sur., 1996).

Da bi se tehnološki postupak usitnjavanja obavio, potrebno je podesiti parametre prema željenim rezultatima i Tablica 1 prikazuje moguće parametre usitnjavanja i njihov utjecaj na konačno usitnjavanje te proizvod usitnjavanja.

Tablica 1 Parametri usitnjavanja i utjecaj na produkt (McDowell i sur., 1996)

Parametar operacije	Utjecaj na produkt usitnjavanja
Brzina usitnjavanja	Veća brzina može rezultirati geometrijski manjim česticama, ali i većom generacijom topline. Učinkovito za brzu proizvodnju.
Mehanizam uređaja	Različite vrste uređaja pružaju različite rezultate usitnjavanja, ovisno o mehanizmu i principu rada.
Tlak	Povećanje tlaka može dovesti do intenzivnijeg usitnjavanja i manjih čestica.
Vrijeme usitnjavanja	Duže vrijeme može rezultirati sitnijim česticama, ali može također uzrokovati veću generaciju topline.
Odnos veličine čestica	Precizan odnos veličine čestica može rezultirati boljom homogenosti materijala.

Uz tehnološki proces usitnjavanja, proizvodnja granuliranog proizvoda sastoji se od nekoliko osnovnih koraka koji zahtijevaju pred i post procese (McDowell i sur., 1996):

1. **Priprema materijala:** Materijal se priprema sušenjem za usitnjavanje kako bi se osiguralo ravnomjerno usitnjavanje. Ovisno o vrsti materijala, materijal se najčešće suši te zatim hladi i tako priprema za usitnjavanje. Postoje i drugi načini pripreme materijala.
2. **Usitnjavanje:** Suhi kruti materijal se podvrgava mehaničkom stresu kako bi se smanjile veličine čestica, a može se postići različitim tehnikama usitnjavanja i uređajima, kao što su mlinovi, reznice ili valjkasti mlinovi.
3. **Klasifikacija:** Nakon usitnjavanja, čestice se trebaju razvrstati prema veličini kako bi se postigla željena raspodjela čestica. Ovaj korak posebno je važan za postizanje homogenosti i konzistentnosti proizvoda.
4. **Pakiranje:** Konačno usitnjeni materijal pakira se u odgovarajuće ambalaže za daljnju upotrebu ili distribuciju. Pravilno pakiranje sprečava kontaminaciju usitnjenog materijala.

Proces usitnjavanja je pod utjecajem raznih parametara, uključujući brzinu, tlak, vrstu uređaja i vrijeme usitnjavanja kao što je navedeno u tablici 1. U predmetnom radu spomenuto je da

pravilno prilagođeni parametri ključni su za postizanje željenih karakteristika usitnjenog materijala neposredno krajnjeg proizvoda.

2.1.1. Primjene tehnika usitnjavanja krutih tvari – zrna kave

Tehnološki proces usitnjavanja obuhvaća različite tehnike koje se koriste za pretvorbu krupnih čvrstih tvari u manje granulate kemijski jednakih čvrstih tvari. Ovisno o svojstvima materijala i zahtjevima krajnje primjene, razvijene i primjenjivane su različite tehnike usitnjavanja koje se koriste u prerađivačkoj industriji.

Tehnološki proces usitnjavanja baziran je na sljedećim tehnikama (Unland, 2019):

1. **Mehaničko usitnjavanje:** najčešća vrsta usitnjavanja koja uključuje primjenu mehaničke sile za razbijanje materijala na manje čestice, a postiže se korištenjem uređaja poput mlinova, reznica i valjkastih mlinova.
2. **Kemijsko usitnjavanje:** tehnika na principu kemijske reakcije kako bi se oslabile veze unutar materijala i da bi se omogućilo njegovo lako usitnjavanje. Kemijsko usitnjavanje često se koristi u farmaceutskoj i kemijskoj industriji.
3. **Ultrazvučno usitnjavanje:** tehnika ultrazvučnih valova, kako bi se stvorila mehanička energija koja usitjava materijal. Ultrazvučno usitnjavanje koristi se za nježno usitnjavanje osjetljivih materijala.
4. **Visokotlačno usitnjavanje:** tehnika visokog tlaka za stvaranje intenzivnog usitnjavanja materijala. Visokotlačno usitnjavanje često se koristi za pripremu finih praškova i emulzija.

Svaka od ovih nabrojanih tehnika usitnjavanja ima svoje prednosti i ograničenja, te se odabir odgovarajuće temelji na svojstvima materijala i željenim karakteristikama krajnjeg proizvoda.

Usitnjavanje je operacija koja je neizostavna u industriji za preradu kave, ali je i kavina meljava vrlo interesantna istraživačima. U istraživanju Bell i sur., 1996. analiziran je utjecaj tehnika usitnjavanja i metoda pripreme ekstrakta na sadržaju kofeina u pripremljenom kavinom ekstraktu. Autori su promatrali kako različite metode usitnjavanja zrna i pripreme ekstrakta, odnosno finoća (krupnoća meljave) usitnjavanja i načina pripreme (poput prelijevanja ili espresso pripreme), mogu utjecati na količinu kofeina koja se ekstrahira iz određene kavine meljave. Rezultati istraživanja prikazuju značajne razlike u sadržaju kofeina u ekstraktima koji su bili pripremljeni od meljava nastalih različitim tehnikama usitnjavanja i metoda pripreme ekstrakta. Primjerice, finije usitnjavanje kave često rezultira efikasnijom ekstrakcijom kofeina

tijekom pripreme, što uglavnom rezultira intenzivnijim okusom i naravno većim sadržajem kofeina u napitku. Također, način pripreme, kao što je „espresso“ priprema, može također utjecati na ekstrakciju kofeina i postizanje specifičnog okusa, budući da se napitak kave u vrlo kratkom vremenu priprema pod značajnim pritiskom. Ova istraživanja ukazuju na kompleksnu interakciju između procesa usitnjavanja i pripreme ekstrakta te njihovog utjecaja na koncentraciju kofein i senzorske karakteristike kavinog napitka. Saznanja iz opisanog istraživanja doprinose boljem razumijevanju kako tehnološki procesi mogu utjecati na sastav i karakteristike konačnog proizvoda te kako spominjani faktori mogu doprinositi novim iskustvima prilikom konzumacije kave.

McDowell i sur., (1996.) istraživali su fenomen usitnjavanja granularnih materijala primjenom koncepta fraktala. Spomenuta studija fokusirala se na analizu procesa usitnjavanja i raspodjele čestica unutar granularnih materijala pod utjecajem mehaničke sile. Studija je istražila utjecaj različitih parametara, kao što su brzina opterećenja i mehanička svojstva materijala, na proces usitnjavanja i formiranje fraktalnih struktura. Korištenjem pristupa fraktalne geometrije, istraživači su proučavali način na koji se čestice granularnih materijala razbijaju i usitnjavaju pri primjeni opterećenja. Utvrdili su da se proces usitnjavanja može opisati fraktalnom distribucijom čestica, pri čemu se veći komadi materijala razbijaju na manje fragmente koji također zadržavaju svoje fraktalne karakteristike. Njihovi rezultati ukazuju na važnost razumijevanja fraktalne prirode procesa usitnjavanja i mogućnost primjene fraktalnih modela za predviđanje distribucije čestica nakon usitnjavanja. Ova studija doprinosi razumijevanju osnova procesa usitnjavanja granularnih materijala te otvara mogućnosti za razvoj naprednijih modela i tehnika usitnjavanja temeljenih na fraktalnoj geometriji.

Iako istraživanje McDowell i sur., (1996.) izravno ne spominje kavu, koncepti koje su istraživali u vezi s usitnjavanjem granularnih materijala mogu se povezati s procesom usitnjavanja kave.

Analogija između usitnjavanja granularnih materijala u njihovom istraživanju i usitnjavanja kave može se napraviti na sljedeći način prema spomenutim autorima:

1. Fraktalna struktura usitnjenih čestica: Istraživanje je pokazalo da usitnjavanje granularnih materijala rezultira stvaranjem fraktalne strukture čestica. Slično tome, proces usitnjavanja kave može rezultirati stvaranjem čestica kave različitih veličina, koje također mogu imati fraktalne karakteristike.

2. Utjecaj mehaničke sile: U istraživanju se analizira utjecaj mehaničke sile na usitnjavanje granularnih materijala. U slučaju kave, mehanička sila primijenjena tijekom usitnjavanja (na primjer, pritisak u mlinu) također igra ključnu ulogu u razbijanju zrna kave i formiranju usitnjenog praha.
3. Predviđanje raspodjele čestica: Istraživanje sugerira da se proces usitnjavanja može modelirati pomoću fraktalnih distribucija čestica. Slično tome, pravilno podešavanje parametara usitnjavanja može rezultirati željenom raspodjelom čestica kave, što utječe na okus i aromu pri pripremi napitka.
4. Primjena tehnika usitnjavanja: Iako istraživanje ne spominje kavu, tehnike usitnjavanja koje su istraživali mogu se primijeniti i na proces usitnjavanja kave kako bi se postigle željene karakteristike za pripremu napitka.

Iako izravna veza između istraživanja o usitnjavanju granularnih materijala i procesa usitnjavanja kave nije prisutna, koncepti i zaključci istraživanja mogu se koristiti kao inspiracija za razumijevanje i optimizaciju procesa usitnjavanja kave radi postizanja bolje kvalitete napitka. Santos i sur., 2008. analizirali su učinke pripreme uzoraka, uključujući mljevenje i prosijavanje te ističu važnost pravilnog usitnjavanja kako bi se osigurala ispravna karakterizacija kave i analiza njezinih komponenti. Odabir odgovarajuće tehnike usitnjavanja ovisi o željenim karakteristikama krajnjeg proizvoda i specifičnim zahtjevima tržišta. Važno je naglasiti da svaka tehnika ima svoje prednosti i izazove te da integracija više tehnika može pružiti dodatne mogućnosti za postizanje optimalne kvalitete kave.

2.1.2. Priprema zrna kave, tehnike usitnjavanja pri proizvodnji mljevene kave i ekstrakcija

Obrada odnosno priprema kave je složen i precizan proces koji transformira sirove plodove kave u konačni proizvod - aromatičan i osvježavajući napitak koji se nevjerojatno cijeni diljem svijeta.

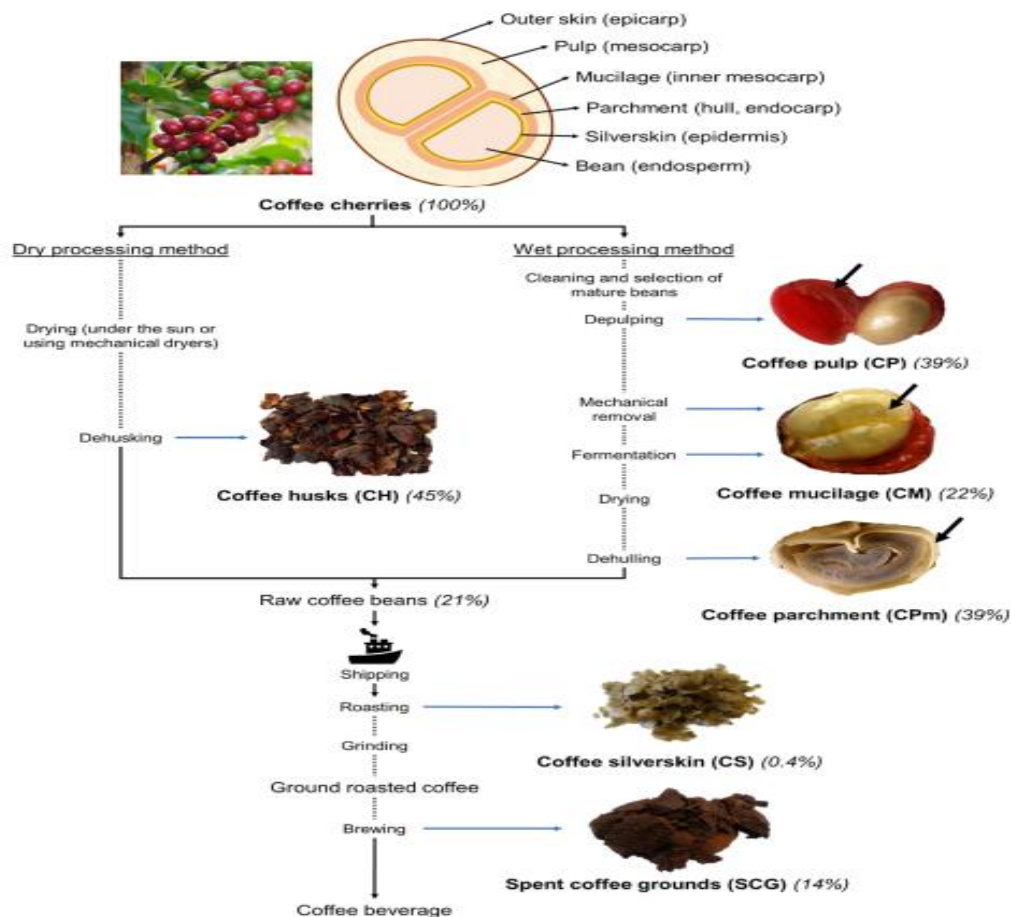
Svaki korak u procesu obrade ima ključnu ulogu u formiranju okusa, arome i kvalitete kave u čijem se ekstraktu uživa. U nastavku je prikazana svaka faza procesa prerade kave, od plantaže pa do konzumacije napitka („od polja do stola“) (Oliviera i sur., 2021):

1. **Priprema i berba:** Sazreli plodovi kave, poznati kao bobice kave, beru se ručno ili mehanički. Svaki plod sastoji se od vanjske kože, pulpe, sluzi, pergamenta, srebrne kože i zrna kave. Ova raznolikost slojeva ima ključnu ulogu u razvoju konačnog okusa kave.

2. **Selekcija i čišćenje:** Berbe se pažljivo obavljaju kako bi se odvojili zreli plodovi od nezrelih ili oštećenih. Nakon toga, plodovi se čiste od nečistoća i ostataka, pripremajući ih za daljnju obradu.
3. **Suhi postupak:** Suhi postupak podrazumijeva da se cijeli plodovi suše na suncu ili se suše u sušarama. Tijekom ovog procesa, plodovi gube vlagu, a depulpacijom se uklanjaju vanjska koža i pulpa, ostavljajući za sobom pergament i zrno kave.
4. **Mokri postupak:** Mokra metoda uključuje fermentaciju i pranje plodova kako bi se odvojila pulpa. Nakon fermentacije, zrna se suše kako bi se postigao odgovarajući sadržaj vlage.
5. **Oljuštavanje i ljuštenje:** Suha zrna kave prolaze kroz proces oljuštavanja, uklanjajući pergamentnu ljusku i suhu sluz. Također se uklanja srebrna koža, čime se priprema zrno za prženje.
6. **Prženje:** Očišćena zrna kave se prže na određenoj temperaturi i određeno vrijeme kako bi se razvile složene arome u svrhu traženog okusa. Prženje ima ključan utjecaj na konačni profil okusa kavinog ekstrakta.
7. **Mljevenje:** Pržena zrna kave se melju u različite stupnjeve usitnjavanja, ovisno o željenom načinu pripreme napitka. Veličina mljevenih čestica utječe na ekstrakciju odnosno pripremu napitka.
8. **Priprema napitka:** Mljevena kava se koristi za pripremu napitka kroz uobičajene tehnike pripreme koji uključuju kuhanje kave za domaćinstvo ili upotrebu espresso aparata.
9. **Potrošeni talog:** Nakon pripreme napitka, ostaje „potrošeni“ talog kave koji se može reciklirati ili koristiti u vrtu kao gnojivo (Spiller, 2019).

Prerada kave je uvjetovana preciznim balansom između tradicije i tehnologije. Svaki korak zahtijeva pažnju i preciznost kako bi se osigurala kvaliteta i konzistentnost (–ponovljivost) konačnog proizvoda. Ovisno o načinu obrade zrna kave i drugim mnogobrojnim varijablama, kava može poprimiti različite nijanse u okusu i aromi, od voćnih i cvjetnih do čokoladnih i orašastih tonova, ovisno o formiranju aromatskih organskih spojeva. Navedeni dugotrajan i složen proces prerade kave počinje sa zrelim plodovima na plantaži, a završava šalicom tople i aromatične kave u rukama zaljubljenika u ovaj neizostavan napitak.

Tehnološki proces prerade kave opisan je u prethodnom tekstu i slijed postupaka može se vidjeti na **slici 1.** na kojoj je prikazan upravo proces prerade kave: tzv. od ploda do šalice (Oliviera i sur., 2021).



Slika 1 Proces prerade kave: od ploda do šalice; od ploda do stola (Oliviera i sur., 2021).

Kako bi kava bila pogodna za proizvodnju kavinog ekstrakta neophodno je zrna usitniti i tako finalizirati proizvod spreman za ekstrakciju zelenim otapalom odnosno vrelom vodom.

Usitnjavanje je ključan postupak u proizvodnji različitih prehrambenih proizvoda, a posebno je važan u kontekstu prerade kave. Tehnološka operacija usitnjavanja omogućuje prevođenje krute tvari, kao što je zrno kave, u sitne čestice kave koje su pogodnije za pripremu napitaka i zatim konzumaciju (Benkovic i Tusek, 2018).

U pržionama kave, primarni cilj usitnjavanja kave je proizvodnja homogenog i fino mljevenog praha koji je prilagođen za pripremu napitka koji se očituje specifičnim okusom i

prepoznatljivom aromom. Mljevena kava zbog velike površine oslobađa značajno brže svoje aromatične spojeve tijekom ekstrakcije, što rezultira intenzivnijim okusom.

Postoji nekoliko značajnih stavki koje se razmatraju u prehrambenoj industriji kod usitnjavanja krute tvari odnosno zrna kave za potrebe tržišta (Clarke, 1987):

- **Proces usitnjavanja krute tvari:** Usitnjavanje kave može se izvesti u različitim stupnjevima od grubog do finog mljevenja, ovisno o preferencijama proizvođača ili uglavnom potrošača. Grubo mljevena kava ima krupnije čestice, dok je finije usitnjena kava sastavljena od sitnih čestica, a svaki od tih stupnjeva utječe na okus i ekstrakciju tvari tijekom pripreme napitka.
- **Djelovanje sila pri usitnjavanju/parametri usitnjavanja:** Proces usitnjavanja uključuje primjenu različitih sila na krute tvari kako bi se izvršilo njihovo lomljenje na manje čestice. Parametri usitnjavanja, kao što su brzina i tlak, imaju značajan utjecaj na rezultirajuću veličinu čestica i njihovu raspodjelu.
- **Energija i snaga za usitnjavanje:** Usitnjavanje kave zahtijeva energiju i snagu koja se primjenjuje kroz različite uređaje kako bi se osiguralo učinkovito usitnjavanje kave na željeni stupanj granulata:
- **Izbor i vrste uređaja za usitnjavanje:** Postoje različiti uređaji koji se koriste za usitnjavanje kave u prehrambenoj industriji, a među njima su već spominjani nožni mlinovi, reznice i valjkasti mlinovi. Svaki od nabrojenih uređaja, ima svoje prednosti i nedostatke u smislu postizanja specifičnog stupnja usitnjavanja i kvalitete konačnog proizvoda.

Proces usitnjavanja kave igra ključnu ulogu u proizvodnji kvalitetnog mljevenog praha koji se koristi za pripremu napitaka (Lee i sur., 2017). Postoje različiti tehnološki postupci i metode usitnjavanja kave, a svaka od njih ima svoje karakteristike i utjecaj na konačni proizvod. Tehnološki proces usitnjavanja započinje odabirom odgovarajućih zrna kave za proizvodnju mljevenog praha. Nakon berbe i pripreme zrna prženjem, takva zrna se šalju na usitnjavanje. Prva faza usitnjavanja kave je grubo usitnjena da bi se smanjila veličina zrna i pripremila za daljnji proces. Grubo usitnjena kava zatim prolazi kroz postupak finog usitnjavanja, koji pretvara krupne čestice u sitan mljeveni prah. Slika 1 prikazuje cjelokupnu obradu kave od usitnjavanja do dobivanja krajnjeg taloga nakon pripreme napitka i vidljivo je da usitnjavanje čini jednu karika u složenom lancu prerade kave.

2.1.3. Utjecaj grubog i/ili finog usitnjavanja na okus i aromu ekstrakta kave

Prilagođavanjem i optimiranjem parametara moguće je kontrolirati proces usitnjavanja i time osigurati kontinuiranu veličinu novonastalih čestica mljevene kave i raspodjelu istih. Grubo usitnjavanje rezultira krupnijim česticama meljave kave, dok fino usitnjavanje dovodi do sitnih čestice i razlike u veličini imaju značajan utjecaj na ekstrakciju te posljedično okus kavinog napitka. Grubo usitnjena kava zahtijeva duže vrijeme ekstrakcije kako bi se oslobodile arome i tako razvio traženi okus, dok se fino usitnjena kava kraće podvrgava ekstrakciji vodom, što rezultira intenzivnijim okusom i aromom (Andueza i sur., 2003). Različiti parametri usitnjavanja, poput brzine, tlaka, vremena i temperature, imaju ključnu ulogu u postizanju željenih karakteristika kave.

Razlika između grubog i finog usitnjavanja kave ima značajan utjecaj na okus i aromu kavinog napitka (Andueza i sur., 2003). Navedene su usporedbe između grubog i finog usitnjavanja kave:

1. Veličina čestica:
 - Grubo usitnjavanje rezultira većim česticama kave, obično nalik na grubi pijesak ili krupni prah.
 - Fino usitnjavanje dovodi do proizvodnje sitnih čestica usporedivih sa sitnim brašnom ili šećerom u prahu.
2. Ekstrakcija okusa i arome:
 - Grubo usitnjena kava zahtijeva duže vrijeme ekstrakcije tijekom pripreme napitka kako bi se oslobodile arome i okus. Veće čestice sporije otpuštaju spojeve u vodu, pa se produženo vrijeme kontakta s vodom preporučuje za postizanje intenzivnijeg okusa i arome.
 - Fino usitnjena kava zahtijeva kraće vrijeme ekstrakcije što znači da će aromatski spojevi brže se otopiti u otapalu tj. u vodi i može rezultirati jakim i intenzivnijim okusom kave, ali također postoji opasnost od prekomjernog otapanja što može dovesti do gorčine i nepoželjnih okusa.
3. Senzorska svojstva:
 - Ekstrakt grubo usitnjene kave može imati nešto manje intenzivan okus i aromu u usporedbi s ekstraktom fino usitnjene kave. Međutim, ekstrakt grubo usitnjene kave može biti preferiran od strane ljubitelja blažeg okusa,
 - Fino usitnjena kava idealna je za pripremu espresso napitaka.

4. Načini pripreme:

- Grubo usitnjena kava može biti bolji izbor za pripreme French pressa, gdje je potrebno dulje vrijeme kontakta s vodom.
- Fino usitnjena kava obično se koristi za espresso pripremu, moka pot, drip metode i druge.

Tablica 2 prikazuje razlike između dvije razine usitnjavanja kave i njihov utjecaj na kriterije vezane uz pripremu i senzorska svojstva kave.

Tablica 2 Usporedba grubog i finog usitnjavanja kave (Andueza i sur., 2003).

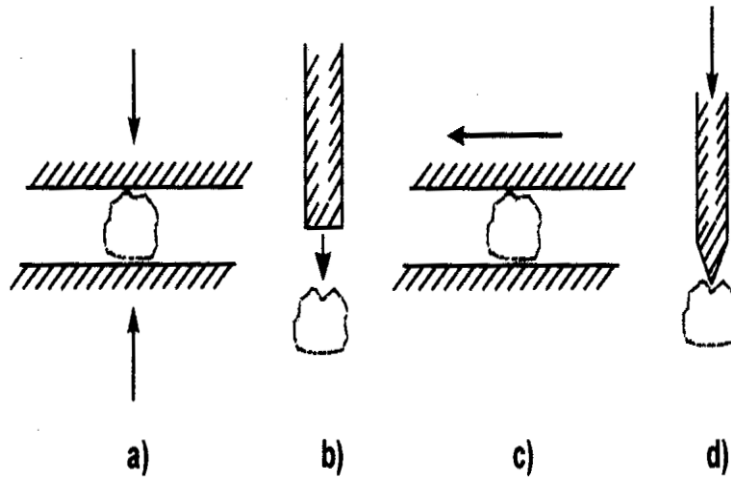
Kriterij	Grubo usitnjavanje	Fino usitnjavanje
Veličina čestica	Veće čestice, grubi pijesak	Sitne čestice, sitno brašno
Ekstrakcija	Duže vrijeme ekstrakcije	Kraće vrijeme ekstrakcije
Okus i aroma	Manje intenzivan okus i aroma	Intenzivniji okus i aroma
Metode pripreme	French press, cold brew	Espresso, moka pot, drip

2.1.4. Mehanika usitnjavanja krute tvari

Usitnjavanje se provodi uz znatan utrošak snage, zato se postavlja zadatak za što svrsishodnijem iskorištenju sile i snage da bi postupak usitnjavanja bio lakši, brži i jeftiniji.

Za usitnjavanje zrna kave potrebno je savladati sile unutarnje građe krute tvari, a to se može postići vanjskim djelovanjem sila na razne načine (slika 2):

1. **tlačenjem** tako dugo dok vanjske sile ne prevladaju sile kohezije komada krute tvari (**a**),
2. **udaranjem** po komadu dok ne pukne (**b**),
3. **satiranjem** površine komada da bi se silama trenja otkidale krhotine površine komada (**c**),
i
4. **cijepanjem** (**d**).



Slika 2 Djelovanje sila pri usitnjavanju (Andueza i sur., 2003).

Svako mehaničko opterećenje dovodi do deformacija i unutrašnjih napreznja u krutoj tvari. Kod prekoračenja mjesne čvrstoće dolazi do loma smicanjem ili krhkim lomom ili najčešće njihovom kombinacijom. Smicanje je posljedica tangencijalnih, a krhki lom vlačnih napreznja. Ujedno paralelno s ovim pojavama dolazi do električnih i kemijskih pojava, te oslobađanja velike količine topline.

2.1.5. Energija i snaga za usitnjavanje krute tvari

Usitnjavanje zahtijeva energiju kako bi se savladale veze između čestica materijala i stvorila nova površina. Energija potrebna za usitnjavanje mjeri se u obliku snage. Snaga se može izraziti kao odnos između primijenjenih sila i brzine usitnjavanja. Visoka energija može dovesti do stvaranja većeg broja finijih čestica, ali istovremeno može generirati toplinu koja može negativno utjecati na osjetljive arome kave (McDowell i sur., 1993).

Prema **Rittingovu zakonu** energija za usitnjavanje proporcionalna je veličini novo nastale površine, tj. utrošak energije se povećava s porastom stupnja usitnjavanja. Povećanje površine čestice oblika kocke A (m^2) pri usitnjavanju u čestice oblika kocke može prikazati izrazom:

$$A = 6 \cdot x_u^2 \cdot (n_{red.} - 1) = K \cdot x_u^2 \cdot (n_{red.} - 1), m^2. [1]$$

- **krupnoća zrna** (x)
- n_{red} stupnja usitnjavanja

U slučaju da čestice nemaju oblik kocke, tada se u prethodnu jednadžbu umjesto veličine **6** unosi koeficijent **K**, njegova vrijednost ovisi o obliku čestica.

Energija utrošena kao rad na usitnjavanju čestice E_r jednaka je produktu novo nastale površine A (m^2) i specifičnog utroška rada e_r (Jm^{-2}):

$$E_r = e_r \cdot A = e_r \cdot K \cdot x_u^2 \cdot (n_{red.} - 1) \quad , J. \quad [2]$$

Kod usitnjavanja pri različitim stupnjevima redukcije čestica vrijedi odnos utrošene energije rada:

$$\frac{E_{r1}}{E_{r2}} = \frac{n_{red.1} - 1}{n_{red.2} - 1} \approx \frac{n_{red.1}}{n_{red.2}} \quad [3]$$

Prema **Kickovoj hipotezi** energija rada utrošena za usitnjavanje proporcionalna je logaritmu stupnja usitnjavanja:

$$E_r = K \cdot \log n_{red.} \quad , J \quad [4]$$

gdje je K – koeficijent proporcionalnosti i zavisi od vrste tvari koja se usitjava.

Bondov zakon predstavlja kompromis između Rittigerova zakona i Kickove hipoteze. U praktičnoj primjeni Bondov zakon se izražava u obliku jednadžbe:

$$E_{sp.} = E_i \cdot \left(\frac{10}{d_{80,u}^{0,5}} - \frac{10}{d_{80,i}^{0,5}} \right) \quad , kWh/t \quad [5]$$

i

$$P = E_{sp.} \cdot Q_m \quad , kW \quad [6]$$

gdje je:

E_i – (radni indeks po Bondu) specifična energija potrebna za usitnjavanje čestica neizmjerne veličine do stanja u kojem je 80 % čestica manjih od 100 μm , **kWh/t** ;

$E_{sp.}$ – specifična energija potrebna za usitnjavanje čestica, **kWh/t** ;

$d_{80,u}$ – veličina čestica prije usitnjavanja od kojih je 80 % čestica manjih od naznačene veličine, **μm** ;

$d_{80,i}$ – veličina čestica poslije usitnjavanja od kojih je 80 % čestica manjih od naznačene veličine, μm ;

P – utrošena snaga, kW ;

Q_m – kapacitet mlina ili drobilice, protok krute tvari u postupku usitnjavanja, t/h .

Djelovanje sila i kontrola parametara usitnjavanja ključni su za postizanje optimalne veličine čestica kave. Različiti uređaji i tehnike usitnjavanja primjenjuju različite mehanizme sila i parametre kako bi stvorili željene rezultate. Razumijevanje tih faktora pomaže proizvođačima kave da prilagode proces usitnjavanja kako bi postigli željene karakteristike okusa i arome (McDowell i sur., 1993).

2.1.6. Uređaji koji se koriste za usitnjavanje zrna kave

Uređaji koji se najviše i najčešće koriste za usitnjavanje prženih zrna kave su nožni mlinovi, reznice i valjkasti mlinovi ili eventualno neki drugi uređaji koji se koriste za usitnjavanje kave u prehrambenoj industriji, a najpraktičniji i svrsishodniji među njima su nožni mlinovi. Nožni mlinovi imaju oštre noževe za sjeckanje zrna kave odnosno reznice koje koriste oštrice za rezanje zrna. Valjkasti mlinovi imaju valjke za drobljenje zrna kave u više nivoa, što je izuzetno bitno kod industrijskog usitnjavanja krute tvari. Svaki od ovih uređaja ima svoje prednosti i nedostatke, te se koriste u skladu s potrebama i zahtjevima proizvodnje mljevene kave (Martínez Franco, 2017). Različite tehnike usitnjavanja, kao što su mehaničko usitnjavanje putem mlinova, mokro usitnjavanje, tehnika Caffè Firenze i druge imaju različite utjecaje na meljavu kave. Svaka tehnika ima svoje prednosti i izazove koji uključuju brzinu i preciznost usitnjavanja te posredno očuvanje arome pri izradi kavinog napitka. Važno je prilagoditi odabir tehnike prema željenim karakteristikama krajnjeg proizvoda. Mlinovi su jedan od tipova uređaja koji se najčešće koriste za usitnjavanje zrna kave. proces usitnjavanja mlinovima temelji se na principu rotacije noževa koji sjeckaju i drobe zrna kave, pretvarajući ih u mljeveni prah. Nožni mlinovi su popularni zbog svoje jednostavnosti, pristupačnosti i praktičnosti. Nožni mlinovi obično se sastoje od električnog motora koji pokreće oštre noževe unutar zatvorenog spremnika. Zrna kave ubacuju se u spremnik, a zatim se pokreće motor koji uzrokuje rotaciju noževa. Rotirajući noževi drobe zrna kave u sitne komadiće dok ne postanu dovoljno usitnjeni (Martínez Franco, 2017).

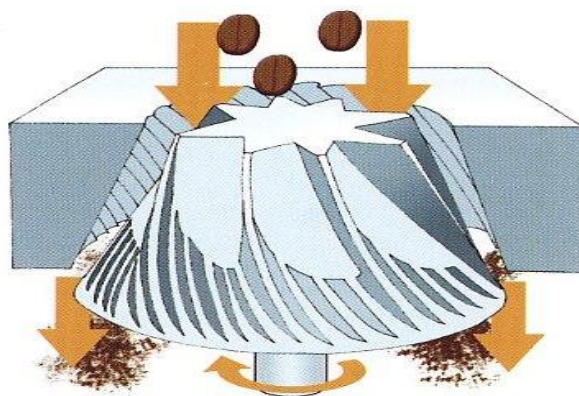
Slika 3 prikazuje izgled nožnog „ručnog“ mlina za kavu koji je kroz povijest imao izuzetnu ulogu u razvoju kavinih napitaka.



Slika 3 Ručni mlin za kavu (Sportinfo, 2020)

Primjenjuje se i mokro usitnjavanje koje predstavlja tehniku koja uključuje korištenje tekućine tijekom procesa usitnjavanja (Baggenstoss i sur., 2010) i zapaženo je da ova tehnika može rezultirati finijim česticama kave nego suhe tehnike, no istovremeno postoji izazov u očuvanju svježine kave tijekom procesa mokrog usitnjavanja.

Industrijsko usitnjavanje odvija se na zvonastim mlinovima prikazanim na slici 3 ili valjkastim mlinovima prikazanim na slici 4.

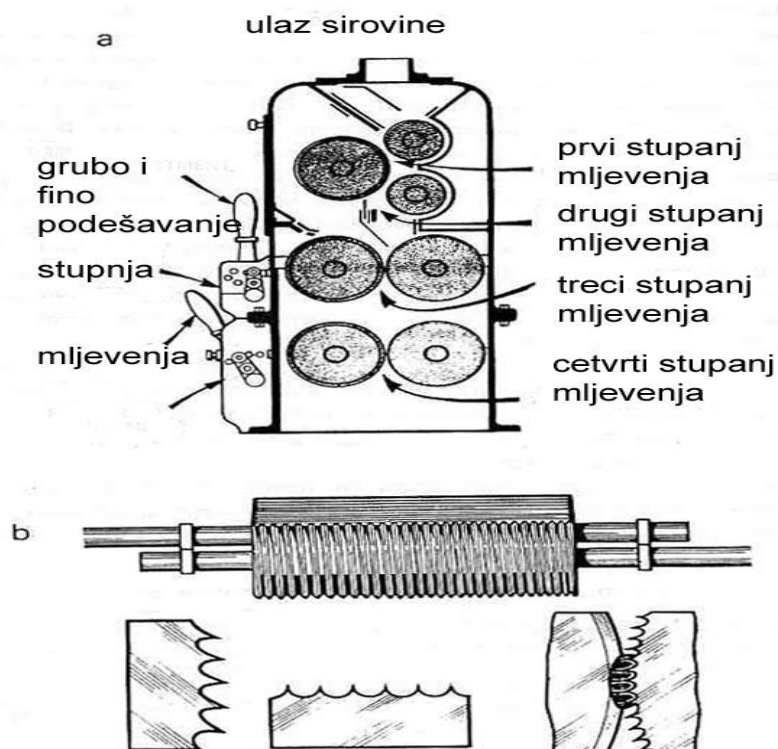


Slika 4 Zvonasti mlin (Sportinfo, 2020)

Krupni materijal uslijed okretanja zvona biva zahvaćen grubim brazdama, tlačan o hrapavi plašt i tako drobljen, a zatim usitnjeni djelići padaju na niže, prolaze kroz uže dijelove zazora, sve dok se toliko ne usitne da ispadaju iz najužeg dijela i iz same drobilice, odnosno mlina. Mlinove na valjke koristi industrija uglavnom za sve tipove mljevenja kave, i u njima se na

malom razmaku okreću u obrnutim smjerovima dva čelična valjka posebno izlijebljena, oštrog rubova. Mlinovi s valjcima mogu sadržavati u sustavu više parova rotirajućih valjaka, koji postupno u više stupnjeva vrše usitnjavanje materijala. Ujedno površina valjaka se može hladiti protokom rashladne vode ili drugog sredstva, tako se sprječava pregrijavanje materijala u postupku mljevenja.

Mlin na valjke i način rada spomenutog mlina te dijelovi mlina prikazani su na slici 5.



Slika 5 Mlinovi na valjke (Sportinfo, 2020)

2.2. Utjecaj prženja, usitnjavanja i pakiranja na okus i aromu ekstrakta kave

Prženje zrna kave ima ključan utjecaj na formiranje njezinih karakteristika. Proces prženja razvija raznolikost okusa i aroma, ovisno o stupnju prženja. Tijekom prženja, složene kemijske reakcije mijenjaju strukturu zrna, stvarajući nijanse okusa poput kiselosti, gorčine i slatkoće. Nakon prženja, usitnjavanje dodatno utječe na ekstrakciju aroma i okusa tijekom pripreme napitka. Izbor pravilne metode usitnjavanja i parametara ključan je za postizanje optimalnog iskustva u šalici kave (Spiller, 2019). Proces prženja zrna kave transformira sirovi zeleni plod u prženo zrno s razvijenim okusima i aromama. Različite razine prženja - svijetlo, srednje i

tamno - stvaraju različite profile okusa i aroma. Svijetlo pržena kava ima svježiu i voćnu aromu, s minimalnim gubicima kofeina, dok tamno pržena kava razvija dublje i intenzivnije arome s istovremeno smanjenim sadržajem kofeina (Spiller, 2019).

Usitnjavanje kave ima značajan utjecaj na formiranje okusa i aroma tijekom pripreme napitka. Spominjano je da sitno usitnjavanje zrna kave pogodno za espresso pripremu, dok se srednje usitnjena kava često koristi za metode prelijevanja. Krupno usitnjavanje kave primjenjuje se za metode pripreme poput preša za French press. Sitno usitnjavanje kave, koje rezultira sitnim česticama, ima tendenciju poboljšati ekstrakciju (Bell i sur., 1996) i rezultira napitkom bogatijeg i karakterističnog okusa, gdje su note kave dublje izražene (Bell i sur., 1996).

De Monte i sur., (2005) istraživali su alternative pakiranju kave putem analize njenog životnog ciklusa. Ova studija bavila se važnim aspektima vezanim uz pakiranje kave, sagledavajući utjecaj na okoliš i održivost. U istraživanju se istaknula potreba za razmatranjem utjecaja pakiranja kave na okoliš tijekom cijelog njenog životnog ciklusa, uključujući proizvodnju, transport, uporabu i zbrinjavanje. Autori su analizirali različite mogućnosti pakiranja, promatrajući materijale, procese proizvodnje i ekološke implikacije. Naglasak je bio na pronalaženju održivih alternativa koje smanjuju negativan utjecaj na okoliš. Rezultati su ukazali na važnost odabira ekološki prihvatljivih materijala za pakiranje kave, kao i smanjenje količine otpada kroz inovativne pristupe dizajnu pakiranja. Istraživanje je naglasilo potrebu za holističkim pristupom prilikom donošenja odluka o pakiranju, uzimajući u obzir ekonomske, ekološke i društvene čimbenike. Ova studija pruža relevantne uvide u kontekstu pakiranja kave, posebno s obzirom na rastuću svijest o održivosti i ekološkim pitanjima. Njeni zaključci potiču industriju da razmotri alternativne pristupe pakiranju kako bi se osigurao balans između zahtjeva tržišta i zaštite okoliša (De Monte i sur., 2005).

2.2.1. Važnost pakiranja kave odgovarajuće meljave

Pakiranje igra ključnu ulogu u očuvanju kvalitete i svježine različitih proizvoda, uključujući i kavu (Wikström i sur., 2019). Ono štiti proizvod od vanjskih utjecaja kao što su svjetlost, zrak, vlaga te potencijalno štetni mikroorganizmi. Važnost pakiranja u prehrambenoj industriji sve više dobiva na važnosti jer utječe na očuvanje organoleptičkih svojstava proizvoda, sigurnost potrošača i produljenje roka trajanja. Pakiranje također ima ulogu u održavanju higijene hrane, sprečavanju kontaminacije te sprječavanju prenosa mirisa i okusa između različitih proizvoda. Osim toga, dobro osmišljeno pakiranje olakšava skladištenje hrane, čime se smanjuje potreba za dodatnim mjerenjem, rezanjem ili spremanjem u drugu ambalažu. Važno je napomenuti da

odgovarajuće pakiranje može biti posebno bitno kod svježih i brzo kvarljivih proizvoda, poput voća, povrća i mesnih proizvoda. Kvalitetno pakiranje može produljiti njihovu svježinu i rok trajanja te spriječiti njihovo bacanje. Pakiranje ima ključan utjecaj na očuvanje kvalitete i svježine kave. Kava, kao osjetljiv proizvod s bogatom aromom i okusom, zahtijeva posebnu pažnju prilikom pakiranja kako bi se sačuvali njezini jedinstveni atributi. Jedan od ključnih čimbenika u pakiranju kave je zaštita od svjetla. Ultraljubičaste (UV) zrake prisutne u svjetlu mogu ubrzati oksidacijske procese u kavi, što rezultira gubitkom arome i okusa. Otporno pakiranje od kvalitetnih materijala pomaže u blokiranju UV zraka, čime se očuva svježina kave tijekom skladištenja (Wikström i sur., 2019). Osim navedenoga, pakirana kava mora biti hermetički zatvorena kako bi se spriječio ulazak zraka. Kisik može uzrokovati oksidaciju i razgradnju spojeva u kavi, što dovodi do gubitka okusa i arome. Kvalitetno pakiranje s hermetičkim zatvaranjem osigurava minimalan kontakt kave s kisikom. Vlažnost je još jedan čimbenik koji treba uzeti u obzir prilikom pakiranja kave. Povećana vlažnost može potaknuti rast plijesni i mikroorganizama te uzrokovati kvarenje kave. Stoga, odgovarajuće pakiranje treba spriječiti prodor vlage. U skladu s tim, proizvođači kave koriste različite vrste ambalaže, uključujući vakuumsku ambalažu, folije s višekratnim zatvaranjem te modificirane atmosferske pakete (MAP) kako bi osigurali optimalno skladištenje i transport kave. U konačnici, važnost pakiranja za kavu ne može se zanemariti. Kvalitetno pakiranje ne samo da čuva okus i aromu kave, već i pruža potrošačima pouzdanost u smislu svježine i sigurnosti proizvoda (Wikström i sur., 2019).

Materijali za pakiranje

Materijali za pakiranje moraju se odabrati zavisno o tehnici pakiranja i predviđenoj trajnosti proizvoda. Najvažniji zahtjevi za pakiranje odnose se na svojstva propusnosti - zaštite odabranog materijala, tj. njegovu propusnost za plinove i vodenu paru. Ova svojstva zaštite-prepreke mogu se ocijeniti kako je prikazano u tablici 3.

Tablica 3 Svojstva prepreke-zaštite materijala za pakiranje pržene kave (Wikström i sur., 2019)

Materijali	Propusnost*	Prepreka-zaštita
Bijeli lim, staklo, aluminij		potpuna
Troslojne laminati s aluminijem	< 0.5	vrlo velika
Troslojni laminati s metalom	0.5-3.0	velika
Dvoslojni laminati s metalom	3.0-30	umjerena
Dvoslojni laminati	30-150	slaba
Jednoslojna folija, obrađen papir	>150	vrlo slaba

*Vrijednosti izražene u:

$\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot 24 \text{h} \cdot \text{bar}$ kod $23 \text{ }^\circ\text{C}$ i 0% RH za plinove,

$\text{g cm}^{-2} \cdot 24 \text{ h} \cdot \text{bar}$ kod $38 \text{ }^\circ\text{C}$ i 90% RH za vodenu paru.

2.2.2. Faktori pri pakiranju kave odgovarajuće meljave

Postoji nekoliko važnih faktora koji trebaju biti uzeti u obzir prilikom odabira vrste pakiranja za kavu (Clarke, 1987):

1. Zaštita od svjetla: Ultraljubičaste zrake prisutne u svjetlu mogu ubrzati oksidacijske procese u kavi, što dovodi do gubitka arome i okusa. Kvalitetno pakiranje treba blokirati UV zrake i osigurati minimalan kontakt kave s vanjskim svjetlom.
2. Zaštita od vlage: Povećana vlažnost može potaknuti rast plijesni i mikroorganizama te uzrokovati kvarenje kave. Odgovarajuće pakiranje treba spriječiti prodor vlage i očuvati suhoću kave.
3. Hermetičko zatvaranje: Kava treba biti hermetički zatvorena kako bi se spriječio ulazak zraka. Kisik može izazvati oksidaciju i razgradnju spojeva u kavi, što negativno utječe na okus i aromu.
4. Održavanje integriteta: Pakiranje mora osigurati da se kava ne deformira tijekom transporta i manipulacije. Oštećenja na pakiranju mogu uzrokovati gubitak arome i kvalitete.

Različite vrste pakiranja kave uključuju vakuumsku ambalažu, folije s višekratnim zatvaranjem te modificirane atmosferske pakete (MAP). Odabir odgovarajuće vrste pakiranja ovisi o vrsti kave, načinu pripreme, očekivanom roku trajanja i drugim specifičnim potrebama (Unland, 2007).

2.3. Utjecaj usitnjavanja i pakiranja na kvalitetu i trajnost kave odgovarajuće meljave

Proces usitnjavanja i pakiranja ima značajan utjecaj na kvalitetu i trajnost kave. Pravilno usitnjavanje kave ključno je za postizanje optimalnog ekstrakcijskog procesa tijekom pripreme napitka. Kava s pogrešnom veličinom čestica može rezultirati nejednakom ekstrakcijom okusa i arome, što dovodi do neželjenih varijacija u šalici. S druge strane, odgovarajuće pakiranje kave osigurava da se njeni karakteristični atributi očuvaju tijekom skladištenja i transporta. Pravilno pakiranje štiti kavu od vanjskih čimbenika kao što su svjetlo, zrak, vlaga i potencijalno štetni mikroorganizmi. To osigurava da svježina, aroma i okus kave ostanu nepromijenjeni sve do trenutka pripreme (Cordoba, 2020). Kombinirani utjecaj usitnjavanja i pakiranja može rezultirati različitim doživljajima okusa i arome kave kod potrošača. Pravilno usklađivanje

procesa usitnjavanja s odgovarajućim pakiranjem može osigurati konzistentnu kvalitetu i trajnost kave, te pružiti nezaboravno iskustvo svima koji uživaju u ovom omiljenom napitku.

3. RASPRAVA

U predmetnom radu naglašava se važnost odabira odgovarajućeg uređaja za usitnjavanje i tehnike usitnjavanja te pakiranja zbog utjecaja na kvalitetu konačnog proizvoda. Način mljevenja, odnosno granulacija mljevene kave određen je načinom pripreme napitka. Na tržištu je moguće nabaviti proizvod prema granulaciji od najfinijeg mljevenja prema najkrupnijem mljevenju: Turska, Espresso, Moka, Aeropress, Pour Over V60, Filter Aparat, French Press, Cold Brew. Mlinici za kavu su bitna stavka za pripremu kave i espresa, pogotovo ako se koristite ručni aparati za kavu. Mlinac za kavu je uređaj osmišljen specijalno za mljevenje prženih zrna kave na manje komade, uglavnom ujednačenih oblika. Veličina i oblik mljevene kave koju se priprema izuzetno utječu na način ekstrakcije kave. Mljevenje zrna kave u svježem stanju prije kuhanja najvažnija je stvar koju treba učiniti kako bi se poboljšao okus kave. Sama zrna kave sadrže hlapljive arome i aromatične spojeve koji se vremenom rasipaju kad kava oslobađa plin CO₂. Zbog toga će svježije mljevena kava biti s puno više okusa u usporedbi sa prethodno pakiranom, mljevenom kavom. Ovaj je plin ono što espressu daje onaj predivan sloj kreme/pjene. Pržena zrna prirodno će ispuštati plin starenjem, ali mljevenje ubrzava ovaj proces eksponencijalno. Puštanjem plina gube se nijansirani okusi i mirisi, zbog čega je važno samljeti zrna i kuhati kavu u što je moguće kraćem vremenskom razdoblju.

Proces usitnjavanja započinje pripremom odabranih zrna kave, prolazi kroz fazu grubog i finog usitnjavanja, te rezultira stvaranjem sitnog mljevenog praha koji se koristi za pripremu napitaka. Postavke mljevenja određuju koliko fino ili grubo će se zrna kave samljeti i ovo utječe na vrijeme protjecanja vode, takozvano vrijeme ekstrakcije. Ukoliko je kava grubo samljevena voda će kroz nju protjecati brže nego kroz istu količinu kave finije samljevene kave. Dulje vrijeme ekstrakcije rezultira razvojem više okusa jednom pripremljene kave. Ukoliko kavin ekstrakt nije dovoljno aromatičan za ukus konzumenta, može se odabrati opciju finijeg mljevenja i tako povećati vrijeme ekstrakcije i time obogatiti okus kavinog napitka. Pakiranje kave je izuzetno važna komponentna za očuvanje svježine, okusa i arome kave. Kvalitetno pakiranje štiti kavu od negativnih utjecaja kao što su svjetlo, kisik i vlaga.

Kombinirani utjecaj usitnjavanja i pakiranja može rezultirati različitim doživljajima okusa i arome kave kod potrošača. Pravilno usklađivanje procesa usitnjavanja s odgovarajućim pakiranjem može osigurati konzistentnu kvalitetu i trajnost kave, te pružiti nezaboravno iskustvo svima koji uživaju u ovom omiljenom napitku. U cjelini, usitnjavanje i pakiranje kave su ključni procesi koji oblikuju kvalitetu i trajnost ovog omiljenog napitka. Razumijevanje

njihovog utjecaja na kavu omogućuje proizvođačima da postignu željene karakteristike okusa i arome te pruže potrošačima izvrsno iskustvo ispijanja kave.

4. ZAKLJUČCI

1. Tehnološki proces usitnjavanja kave ima ključnu ulogu u proizvodnji kave odgovarajuće meljave koja utječe na okus, aromu i kvalitetu krajnjeg napitka.
2. Izbor odgovarajućih uređaja za usitnjavanje, kao što su nožni mlinovi, reznice i valjkasti mlinovi, te parametri usitnjavanja, kao što su brzina i tlak, važni su faktori koji utječu na veličinu i raspodjelu čestica kave.
3. Veličina i raspodjela čestica kave dobivenih procesom usitnjavanja imaju značajan utjecaj na procese ekstrakcije, reakcije i adsorpcije tijekom pripreme napitka.
4. Parametri usitnjavanja, uključujući brzinu, tlak i odabir uređaja, trebaju biti pažljivo prilagođeni kako bi se postigla željena kvaliteta i konzistentnost mljevenog praha.
5. Odabir optimalne tehnike pakiranja mljevene kave osigurava adekvatan rok trajanja proizvoda.

LITERATURA

- Andueza, S., De Peña, M. P., Cid, C. (2003): Chemical and sensorial characteristics of espresso coffee as affected by grinding and torrefacto roast. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(24), 7034-7039.
- Baggenstoss, J., Thomann, D., Perren, R., Escher, F. (2010): Aroma recovery from roasted coffee by wet grinding. *Journal of Food Science*, 75(9), 697-702.
- Bell, L. N., Wetzell, C. R., Grand, A. N. (1996): Caffeine content in coffee as influenced by grinding and brewing techniques. *Food Research International*, 29 (8), 785-789.
- Benkovic M, Tusek AJ. (2018): Regression models for description of roasted ground coffee powder color change during secondary shelf-life as related to storage conditions and packaging material. *Beverage* 4:2, 12-16.
- Bond, F.C., 1952. The Third Theory of Comminution, Transactions of AIME/SME, 193, 4884-494.
- Clarke, R. J. (1987): Roasting and grinding. In *Coffee: Volume 2: Technology* (73-107). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Cordoba, N., Fernandez-Alduenda, M., Moreno, F. L. Ruiz, Y. (2020). Coffee extraction: A review of parameters and their influence on the physicochemical characteristics and flavour of coffee brews. *Trends in Food Science & Technology*, 96, 45-56.
- De Monte, M., Padoano, E., Pozzetto, D. (2005): Alternative coffee packaging: an analysis from a life cycle point of view. *Journal of food engineering*, 66(4), 405-411.
- Grabar, K. (2021): Prijedlozi pržionika kao dio tehnološkog rješenja za prženje sirove kave (Završni rad). Karlovac: Veleučilište u Karlovcu.
<https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:749529>, 5-8, preuzeto 8.8.2023.
- Illy, F., Illy, R. (1992): *The book of Coffee*, Abeville Publishing Group, New York ISBN-10 : 1558593217 , ISBN-13 : 978-1558593213, 50-62.
- Kick, F., 1883. The Law of Proportional Resistance and Its Application to Sand and Explosions *Dinglers Journal*, 250, 141-145.

- Lee, S. J., Kim, M. K., Lee, K. G. (2017). Effect of reversed coffee grinding and roasting process on physicochemical properties including volatile compound profiles. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 44, 97-102.
- Martinez Franco, N. A. (2017): A systems engineering design process for production machines: application to a coffee grinder, 14-54.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriott, P. (1993): Unit operations of chemical engineering (Vol. 5) New York: McGraw-hill, 154-155.
- McDowell, G. R., Bolton, M. D., Robertson, D. (1996): The fractal crushing of granular materials. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 44(12), 2079-2101.
- Oliveira, G., Passos, C. P., Ferreira, P., Coimbra, M. A., Gonçalves, I. (2021): Coffee by-products and their suitability for developing active food packaging materials. *Foods*, 10(3), 683, 17-20
- Santos, W. P. C. D., Hatje, V., Lima, L. N., Trignano, S. V., Barros, F., Castro, J. T., Korn, M. D. G. A. (2008): Evaluation of sample preparation (grinding and sieving) of bivalves, coffee and cowpea beans for multi-element analysis. *Microchemical Journal*, 89(2), 123-130.
- Smith, R. F. (1985): A history of coffee. In *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. Boston, MA: Springer US, 1-12.
- Spiller, M. A. (2019): The coffee plant and its processing. *Caffeine*, 79-95.
- Sportinfo. (2020): https://sportinfo.com.hr/global-67389_shipping/. Preuzeto 9.7.2023.
- Unland, G. (2007): The principles of single-particle crushing. *Handbook of powder technology*, 12, 117-225.
- Von Rittenger, P.R., 1867. *Lehrbuch der Aufbereitungskunde*. Berlin.
- Wikström, F., Williams, H., Trischler, J., Rowe, Z. (2019): The importance of packaging functions for food waste of different products in households. *Sustainability*, 11(9), 2641. 2-13.