



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ  
UNIVERSITY OF BANJA LUKA  
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ  
FACULTY OF TECHNOLOGY



# Uticaj fermentacije na sadržaj pesticida i mikotoksina u hrani

MASTER RAD

**Mentor:**

**Prof. dr Aleksandar Savić**

**Kandidat:**

**Vesna Samardžić**

**Banja Luka, septembar 2025. godine**



**УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ**  
UNIVERSITY OF BANJA LUKA  

---

**ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ**  
FACULTY OF TECHNOLOGY



# **The Influence of Fermentation on the Content of Pesticides and Mycotoxins in Food**

**MASTER THESIS**

**Mentor:**

**PhD Aleksandar Savić**

**Candidate:**

**Vesna Samardžić**

**Banja Luka, september 2025.**

## **Informacije o mentoru i master radu:**

Mentor: Prof. dr Aleksandar Savić  
Doktor biotehničkih nauka iz oblasti prehrambenih tehnologija,  
dipl. ing. prehrambene tehnologije, Univerzitet u Banjoj Luci,  
Tehnološki fakultet

Naziv master rada: „Uticaj fermentacije na sadržaj pesticida i mikotoksina u hrani“

### **Rezime:**

Hemijski kontaminanti, posebno pesticidi i mikotoksini, predstavljaju jedan od glavnih izazova u oblasti bezbjednosti hrane, zbog njihovog štetnog uticaja na zdravlje potrošača. Uz sve veću potražnju za bezbjednom i funkcionalnom hranom, raste interesovanje za prirodne biološke procese poput fermentacije, koji mogu poboljšati kvalitet i bezbjednost prehrambenih proizvoda. Fermentacija je proces u kojem mikroorganizmi – bakterije, kvasci i plijesni razlažu organske materije, najčešće ugljene hidrate, u alkohol, organske kiseline i gasove. Postoji preko 5 000 vrsta fermentisane hrane, a broj je vjerovatno i veći kada se uzmu u obzir razne podkategorije. Pored poboljšanja senzornih i nutritivnih svojstava, fermentacija može doprinijeti razgradnji ili transformaciji toksičnih jedinjenja, uključujući pesticide i mikotoksine. Savremeni izazovi kao što su klimatske promjene, globalizacija i industrijalizacija hrane dodatno povećavaju rizik od kontaminacije, zbog čega raste potreba za ekološki prihvatljivim i efikasnim metodama njihove eliminacije. Fermentacija, kao prirodan i održiv proces, nudi obećavajuću alternativu za unapređenje bezbjednosti hrane i sve više privlači pažnju istraživača. Kroz pregled relevantnih naučnih istraživanja, ovaj rad je pružio sveobuhvatan uvid u mogućnosti fermentacije kao metode za smanjenje prisustva pesticida i mikotoksina u hrani.

**Ključne riječi:** bezbjednost hrane, mikotoksini, pesticidi, fermentacija, mikroorganizmi

Naučna oblast: Nutricionizam i kvalitet hrane

Naučno polje: Prehrambeno inženjerstvo

Klasifikaciona oznaka: T430 - Tehnologija hrane i pića

Tip odabrane licence Kreativne zajednice: Autorstvo

**Mentor and master thesis information:**

Menthor: PhD Aleksandar Savić  
Doctor of biotechnical sciences in the field of food technology,  
Graduate engineer of food technology, University of Banja Luka,  
Faculty of Technology

Master thesis: „The Influence of Fermentation on the Content of Pesticides and Mycotoxins in Food“

**Summary:**

Chemical contaminants, particularly mycotoxins and pesticides, represent one of the main challenges in the field of food safety, due to their harmful effects on consumer health. With the growing demand for safe and functional food, there is increasing interest in natural biological processes such as fermentation, which can improve the quality and safety of food products. Fermentation is a process in which microorganisms – bacteria, yeasts, and molds break down organic substances, most commonly carbohydrates, into alcohol, organic acids, and gases. There are over 5,000 types of fermented foods, and this number is likely even higher when various subcategories are taken into account. In addition to enhancing sensory and nutritional properties, fermentation can contribute to the degradation or transformation of toxic compounds, including mycotoxins and pesticides. Modern challenges such as climate change, globalization, and food industrialization further increase the risk of contamination, creating a growing need for environmentally friendly and effective methods for contaminant removal. Fermentation, as a natural and sustainable process, offers a promising alternative for improving food safety and is attracting increasing attention from researchers. Through a review of relevant scientific research, this work provide a comprehensive insight into the possibilities of fermentation as a method to reduce the presence of pesticides and mycotoxins in food.

**Keywords:** food safety, mycotoxins, pesticides, fermentation, microorganisms

Scientific area: Nutrition and food quality

Scientific field: Food engineering

Classification mark: T430 – Food and drink technology

The type of selected Creative Commons license: Autorship

*Zahvaljujem profesorima sa Tehnološkog fakulteta na znanju i podršci tokom drugog ciklusa studija. Posebnu zahvalnost dugujem svom mentoru, prof. dr Aleksandru Saviću na razumijevanju i stručnom vođenju tokom izrade ovog rada.*

*Ovaj rad posvećujem svojoj porodici, mom najvećem osloncu, a posebno svom pokojnom tati koji će zauvijek ostati moj uzor i snaga iza svakog mog uspjeha.*

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. TEORETSKI DIO</b> .....	2
<b>2.1 Pesticidi u hrani</b> .....	2
2.1.1 Definicije i podjela pesticida.....	2
2.1.2 Istorija nastanka pesticida.....	5
2.1.3 Pesticidi i štetni efekti po životnu sredinu.....	5
2.1.4 Kontaminacija hrane pesticidima .....	6
2.1.5 Rezidue pesticida i štetni efekti na zdravlje .....	6
2.1.6 Potrošnja pesticida.....	10
2.1.7 Pravni okvir i regulativa pesticida .....	10
<b>2.2. Mikotoksini u hrani</b> .....	11
2.2.1 Aflatoksini.....	13
2.2.1.1. Aflatoksin B1 .....	15
2.2.1.2 Aflatoksin M1 .....	16
2.2.1.3 Ochratoksin .....	17
2.2.1.4 Trihoteceni.....	18
2.2.1.5 Zearalenon.....	19
2.2.1.6 Fumonizini.....	20
<b>2.3 Zakonodavstvo za mikotoksine</b> .....	21
<b>2.4 Dekontaminacija mikotoksina</b> .....	23
2.4.1 Metode dekontaminacije .....	23
<b>2.5 Fermentisana hrana u službi zdravlja i ishrane</b> .....	24
2.5.1 Vrste fermentacije .....	25
2.5.1.1 Anaerobna fermentacija .....	26
2.5.1.2 Aerobna fermentacija.....	30
2.5.2 Uloga fermentacije u smanjenju koncentracije mikotoksina i pesticida u prehranbenim proizvodima .....	33
<b>3. HIPOTEZA I CILJ RADA</b> .....	35

<b>4. MATERIJAL I METODE</b> .....	36
<b>5. REZULTATI I DISKUSIJA</b> .....	39
<b>5.1 Značaj provođenja monitoringa na pesticide i mikotoksine</b> .....	39
<b>5.2 Rezultati monitoringa ostataka pesticida u hrani biljnog i životinjskog porijekla u Bosni i Hercegovini za 2023. godinu</b> .....	40
<b>5.3 Usporedna analiza prisustva ostataka pesticida u hrani u Bosni i Hercegovini, Evropskoj uniji, Hrvatskoj za 2023. godinu</b> .....	41
<b>5.4 Uticaj fermentacije na sadržaj ostataka pesticida u prehrambenim proizvodima</b> ....	43
<b>5.5 Rezultati sprovedenih laboratorijskih analiza hrane na prisustvo mikotoksina za 2024. godinu</b> .....	46
<b>5.6 Uticaj procesa fermentacije na koncentraciju mikotoksina u prehrambenim proizvodima</b> .....	49
5.6.1. <i>Detoksifikacija aflatoksina</i> .....	52
5.6.2 <i>Detoksifikacija zearalenona (ZEN)</i> .....	54
5.6.3 <i>Detoksifikacija ohratoksina</i> .....	56
5.6.4 <i>Detoksifikacija patulina</i> .....	57
5.6.5 <i>Detoksifikacija trihotecena</i> .....	58
<b>5.7 ZAKLJUČAK</b> .....	59
<b>6. LITERATURA</b> .....	61

## 1. UVOD

Bezbjednost hrane predstavlja jedan od ključnih faktora za očuvanje javnog zdravlja i kvaliteta života. Konzumacija zdravstveno neispravne hrane može izazvati akutna i hronična oboljenja, uključujući trovanja, infekcije, pa čak i karcinome ili oštećenja organa. Globalizacija tržišta, savremene metode proizvodnje i distribucije, kao i intenzivna upotreba hemijskih sredstava, dodatno komplikuju kontrolu bezbjednosti hrane.

Među najvažnijim hemijskim kontaminantima izdvajaju se pesticidi i mikotoksini, zbog njihove učestalosti i negativnog uticaja na zdravlje potrošača. Pesticidi su sredstva koja se koriste u poljoprivredi za suzbijanje štetočina i bolesti biljaka, ali mogu zaostati u hrani, predstavljajući rizik po zdravlje ljudi (Sutlović, 2011; Pleadin i sar., 2017). Mikotoksini su toksični sekundarni metaboliti koje proizvode plijesni rodova *Aspergillus*, *Penicillium* i *Fusarium*. Do danas je identifikovano više od 400 mikotoksina, od kojih su najznačajniji aflatoksini, ohratoksini, zearalenon i fumonizini (Turner i sar., 2009; Hassan i sar., 2015).

S obzirom na rastuću potrebu za bezbjednom i funkcionalnom hranom, sve više pažnje usmjerava se ka prirodnim procesima poput fermentacije, koji mogu doprinijeti poboljšanju kvaliteta i bezbjednosti prehrambenih proizvoda. Fermentacija je biološki proces u kojem mikroorganizmi – bakterije, kvasci i plijesni razgrađuju organske materije, najčešće ugljene hidrate, u alkohol, organske kiseline i gasove. Danas postoji više od 5 000 poznatih vrsta fermentisane hrane, a taj broj može biti i veći kada se uzmu u obzir brojne potkategorije (Ujlaki, 2024).

Pored poboljšanja senzornog i nutritivnog kvaliteta, fermentacija ima potencijal da razgradi ili transformiše toksična jedinjenja, uključujući pesticide i mikotoksine, čime direktno doprinosi unapređenju bezbjednosti hrane. U kontekstu klimatskih promjena, globalne trgovine i industrijalizacije proizvodnje, potreba za efikasnim, održivim i ekološki prihvatljivim metodama uklanjanja kontaminanata postaje sve izraženija. Fermentacija se nameće kao jedna od obećavajućih alternativnih strategija, što podstiče sve veći naučni interes.

Kroz pregled relevantnih naučnih istraživanja, cilj ovog rada je pružanje sveobuhvatnog uvida u mogućnosti fermentacije kao metode za smanjenje prisustva pesticida i mikotoksina u hrani.

## 2. TEORETSKI DIO

### 2.1 Pesticidi u hrani

#### 2.1.1 Definicije i podjela pesticida

Sutlović (2011) navodi da su pesticidi hemijska i mikrobiološka sredstva koja se koriste u poljoprivredi za uništavanje i suzbijanje biljnih bolesti, korova, štetnih insekata, grinja, glodara i drugih štetnih organizama, ali i za regulisanje rasta biljaka. Riječ *pesticid* potiče od latinske riječi *pestis*, što znači kuga, i *cedere*, što znači ubiti. U biljnoj zaštiti koristi se termin „sredstva za zaštitu bilja“ i ona čine najbrojniju grupu pesticida. Sredstva za zaštitu bilja sadrže najmanje jednu aktivnu materiju.

Pesticidi se mogu klasifikovati na više načina, u zavisnosti od različitih kriterijuma. Najčešće se razvrstavaju prema njihovoj namjeni ili vrsti štetnih organizama koje suzbijaju, specifičnom dejstvu u određenim fazama razvojnog ciklusa, načinu i mehanizmu djelovanja, vremenu primjene, hemijskoj stabilnosti u realnim uslovima upotrebe, kao i prema stepenu toksičnosti za različite organizme. Dodatni kriterijumi uključuju sposobnost prodiranja kroz kožu, bioakumulaciju u organizmu toplokrvnih životinja, potencijal izazivanja mutacija kod biljaka, životinja i eksperimentalnih organizama, kao i nivo kancerogenosti, genotoksičnosti, ekotoksičnosti i hemijsku strukturu jedinjenja itd. (Babović, 2003; Šovljanski i Lazić, 2007; Stamenković i Milošević, 2016). Pesticidi se, pored različitih klasifikacija, najčešće razvrstavaju prema svom porijeklu na hemijske i biološke. Takođe, uobičajeno je njihovo grupisanje prema namjeni, hemijskom sastavu, akutnoj toksičnosti i postojanosti u zemljištu. Među svim tim kriterijumima, podjela prema namjeni, odnosno prema vrsti ciljanih organizama na koje djeluju, smatra se najznačajnijom. Na osnovu ovog pristupa, pesticidi su svrstani u jedanaest osnovnih grupa: (Želježić i Perković, 2011).

1. akaricidi: suzbijaju grinje,
2. algicidi: suzbijaju rast algi,
3. avicidi: odbijaju ptice od usjeva,

4. baktericidi: sprečavaju rast bakterija,
5. fungicidi: sprečavaju rast gljivica,
6. herbicidi: suzbijaju rast korova,
7. insekticidi: suzbijaju štetne kukce,
8. moluscidi: suzbijaju puževe,
9. nematocidi: suzbijaju nematode,
10. rodenticidi: suzbijaju glodavce,
11. virucidi: sprečavaju virozu.

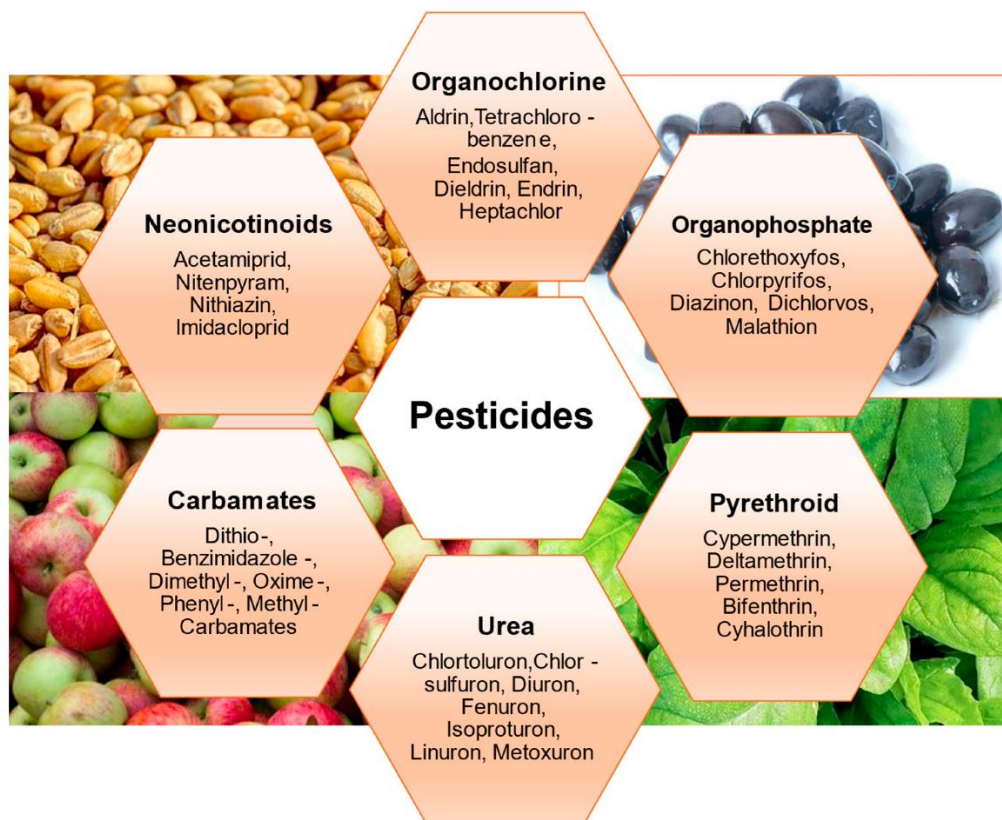
Pesticidi se prema hemijskom sastavu dijele na:

- a) hlorisane ugljovodonike,
- b) organofosforna jedinjenja,
- c) karbamate,
- d) sintetičke piretroide,
- e) neonikotineode,
- f) sredstva na osnovi bakra,
- g) sredstva na osnovi sumpora,
- h) derivate fenoksikarbonskih kiselina,
- i) derivate fenilureje 3,
- j) triazine,
- k) dinitroniline,
- l) hloracetamide,
- m) dipiridile,
- n) imidazolinone itd.

c) Prema klasifikaciji Svjetske zdravstvene organizacije (WHO), pesticidi se dijele na osnovu akutne toksičnosti na četiri kategorije:

- krajnje opasni,
- znatno opasni,
- umjereno opasni i
- neznatno opasni.

Pesticidi mogu biti različitog hemijskog porijekla. Mnogi su organskog sastava i uključuju jedinjenja poput derivata fenoksi-karboksilnih kiselina, organohlorisanih i organofosfornih spojeva, sintetičkih piretroida, triazina i sličnih hemikalija koje se koriste zbog svoje efikasnosti u suzbijanju štetnih organizama. Takođe, postoje i neorganski pesticidi koji potiču iz prirodnih izvora, kao što su određene biljke, gljive i bakterijske vrste. U njihovom hemijskom sastavu često se nalaze toksični elementi, kao što su olovo, živa, fosfor i arsen. Dugotrajna izloženost ovim jedinjenjima dokazano nosi povećan rizik od razvoja kancerogenih oboljenja. Titlić i sar. (2007) ističu da je edukacija korisnika pesticida, kao i informisanje šire zajednice, od ključnog značaja za podizanje svijesti o njihovoj toksičnosti. Na taj način, moguće je umanjiti zdravstvene rizike koji nastaju usljed prekomjerne izloženosti pesticidima.



*Slika 1. Pesticidi različitih vrsta najčešće pronađeni u hrani (Armenova, 2023)*

### *2.1.2. Istorija nastanka pesticida*

Jedan od najranije poznatih pesticida bio je elementarni sumpor, koji se koristio za zaprašivanje još u drevnoj Sumeriji, prije oko 4500 godina. Kako se nauka razvijala, paralelno su se razvijali i novi standardi za upotrebu pesticida, posebno nakon što su otkrivene njihove štetne posljedice po zdravlje i životnu sredinu. Zbog brojnih incidenata i dokazane toksičnosti, određeni insekticidi su tokom vremena u potpunosti zabranjeni na globalnom nivou (Cimurovski, 2023). Još od trenutka kada su ljudi počeli organizovano da uzgajaju biljke koje su im bile od koristi, započela je i njihova borba protiv štetočina i nametnika. Takvom praksom narušena je prirodna ravnoteža staništa, što je pogodovalo masovnijem razmnožavanju štetnih organizama. Istorijski izvori, još iz perioda VI. egipatske dinastije, bilježe velike najezde štetočina koje su imale ozbiljne posljedice ne samo po poljoprivredu, već i po ekonomske, društvene i političke tokove tog vremena (Dronjak, 2016). U ranoj fazi, ljudi su se protiv štetočina borili jednostavnim, ručnim metodama (sakupljanjem, mehaničkim odstranjivanjem ili upotrebom prirodnih materijala). Kasnije su, u potrazi za efikasnijim rješenjima, počeli koristiti različite prirodne i mineralne supstance. Pravi preokret u kontroli štetočina nastaje sa razvojem nauke, kada počinje upotreba hemijskih sredstava, odnosno savremenih pesticida koji su omogućili veću kontrolu nad usjevima, ali i otvorili nova pitanja vezana za njihovu bezbjednost i dugoročni uticaj na zdravlje i okolinu. Iako pesticidi smanjuju broj štetočina, oni takođe uništavaju njihove prirodne neprijatelje, što dovodi do toga da populacija štetočina brzo raste kada se oporavi. Ovaj fenomen tjera poljoprivrednike da koriste još veće količine pesticida. Takođe, mnoge štetočine su razvile otpornost na određene pesticide, što dodatno povećava njihovu upotrebu. Razvoj hibridnih biljnih sorti sa većim prinosima takođe je doveo do potrebe za većim količinama pesticida, jer ove sorte nemaju prirodnu otpornost na štetočine (Stanišić, 2021).

### *2.1.3 Pesticidi i štetni efekti po životnu sredinu*

Pesticidi se u životnoj sredini šire pretežno putem vode – ispiranjem sa poljoprivrednih površina dospjevaju u površinske i podzemne vode. Njihova primjena u domaćinstvima, šumama, na golf terenima i sličnim lokacijama dodatno povećava rizik od zagađenja. Posebno su opasni pesticidi koji se sporo razgrađuju, isparljivi su ili topivi u mastima, jer se mogu akumulirati u hranidbenom lancu i izazvati biološku koncentraciju i translokaciju (Đulančić, 2016).

Prekomjerna i nepravilna upotreba, kao i neadekvatno odlaganje pesticida, dovodi do ozbiljnog zagađenja tla, vazduha i voda. Dugotrajni pesticidi mogu opstati u zemljištu godinama, negativno utičući na korisne organizme poput glista i mikroorganizama, čime se narušava plodnost i stabilnost zemljišnog ekosistema (Dhuldhaj, 2023). Njihovo prisustvo u rijekama, jezerima i drugim vodenim tijelima, ozbiljno ugrožava vodene organizme – od algi do riba i može dovesti do akumulacije otrovnih materija u divljim životinjama. U razvijenim industrijskim zonama, kao i u oko 65 % vodenih tokova u nerazvijenim regionima, pesticidi su prisutni u zabrinjavajućim količinama. Na primjer, u područjima intenzivne proizvodnje kukuruza u SAD-u, herbicid atrazin je pronađen u gotovo 40 % uzoraka pijaće vode, izlažući oko 33 miliona ljudi njegovom štetnom dejstvu (Stanišić, 2021).

#### *2.1.4 Kontaminacija hrane pesticidima*

Zbog sve veće potražnje na tržištu i potrebe za masovnom proizvodnjom hrane, savremena poljoprivreda danas se teško može zamisliti bez primjene pesticida. Međutim, osim svojih korisnih efekata, pesticidi i slične materije imaju i negativne posljedice, ne samo za zdravlje životinja, već i za ljudsko zdravlje (Sutlović, 2011). Pesticidi se mogu naći u hranidbenom lancu gotovo svih živih bića, od mikroorganizama do čovjeka (Pleadin i sar., 2017). Kontaminacija prehrambenih proizvoda reziduama pesticida postala je sve veći izvor zabrinutosti za opštu populaciju. Prekomjerna upotreba pesticida može dovesti do njihovog nakupljanja u poljoprivrednim proizvodima. Zbog niske biorazgradivosti mnoge hemijske supstance iz pesticida klasifikovane su kao postojeane otrovne supstance. Centar za kontrolu i prevenciju bolesti SAD-a (CDC) izdao je saopštenje u kome se navodi da je u tijelu stanovnika modernog svijeta u svakom trenutku prisutno oko 13 različitih pesticida. S druge strane, hemijska sredstva koja se primjenjuju u poljoprivredi ispiraju se iz zemljišta sa padavinama i završavaju u vodenim sistemima, gdje mogu opstati decenijama i kružiti po prirodi.

#### *2.1.5 Rezidue pesticida i štetni efekti na zdravlje*

Ostatak pesticida predstavlja supstancu ili smješnu supstanci prisutnih u hrani, hrani za životinje, zemljištu, vodi i vazduhu, a potiče iz primjene pesticida. To uključuje i produkte razgradnje, metabolite, reakcione produkte i nečistoće (Dhaliwal, 2009). Osim osnovnih aktivnih sastojaka, to obuhvata i njihove razgradne produkte, metabolite, nusproizvode hemijskih reakcija i

nečistoće koje mogu imati toksični uticaj. Količina ostataka pesticida na voću i povrću u trenutku berbe zavisi od koncentracije nakon primjene i stope njihovog razlaganja (Cabras, 2003). Dio pesticida može ostati na površini biljke ili prodrijeti u njen unutrašnji dio, zadržavajući se čak i tokom skladištenja, transporta i obrade hrane. Pored toga, neki pesticidi se akumuliraju u zemljištu i vodi, čime dodatno povećavaju rizik od kontaminacije prehrambenih lanaca. Zdravstveni rizik postoji i za radnike koji su direktno izloženi pesticidima tokom njihove proizvodnje, transporta, rukovanja ili primjene, bilo u poljoprivredi, industriji ili komunalnim djelatnostima. Pesticidi mogu ući u ljudski organizam putem pare, čvrstih i tečnih aerosola, i to preko tri osnovna puta: kože (dermalno), respiratornim traktom (inhalacijski) i gastrointestinalnim traktom (oralno) (Martinić, 2015).

### **Dermalni put (apsorpcija preko kože)**

Koža je jedan od glavnih ulaznih puteva za pesticide, posebno kod osoba koje rukuju s tim hemikalijama (npr. poljoprivrednici, baštovani). Kada pesticid dođe u kontakt s kožom, može se apsorbovati kroz površinske slojeve i ući u krvotok. Iako se dermalna izloženost često smatra manje opasnom jer se pesticidi mogu ukloniti pranjem, rizik i dalje postoji. Pesticidi poput aldrina, dieldrina, lindana i nikotina mogu izazvati iritacije, alergijske reakcije i sistemske toksičnosti. Kontakt sa sluznicom oka je posebno opasan i može dovesti do ozbiljnih oštećenja (Martinić, 2015).

### **Apsorpcija preko respiratornog trakta**

Disajni sistem predstavlja brz i efikasan put za ulazak pesticida u organizam. Tokom prskanja, naročito u zatvorenim prostorima ili pri lošoj ventilaciji, fine kapljice i pare pesticida mogu se udisati i dospjeti do pluća, odakle prelaze u krvotok. Posebno su rizični organofosforni pesticidi, koji pri udisanju mogu izazvati ozbiljne neurotoksične efekte. Povećane temperature dodatno pojačavaju isparavanje pesticida, čime se rizik od trovanja povećava.

## **Apsorpcija preko gastrointestinalnog trakta**

Unošenje pesticida hranom ili vodom najčešći je oblik izloženosti za opštu populaciju. Ostaci pesticida zaostaju na voću, povrću i žitaricama, a mogu završiti i u vodi zbog ispiranja s poljoprivrednih površina. Akutno djelovanje pesticida predstavlja ozbiljnu opasnost, naročito kada dođe do apsorpcije većih količina ovih otrovnih supstanci u kratkom vremenskom periodu. Najvećem riziku izloženi su radnici u hemijskoj industriji koji učestvuju u preradi pesticida, poljoprivredni radnici zaduženi za njihovo miješanje i primjenu (tzv. prskači i mješaoci), piloti koji obavljaju avionsko prskanje u poljoprivredi, kao i radnici u skladištima gdje se pesticidi čuvaju. Profesionalna trovanja pesticidima najčešće nastaju kao posljedica nepoštovanja propisanih mjera zaštite na radu i zanemarivanja osnovnih pravila lične higijene (Martinić, 2015). Pesticidi su povezani sa više od tri miliona slučajeva trovanja godišnje i približno 220000 smrtnih slučajeva, pri čemu se najveći broj incidenata dešava u zemljama u razvoju (Singh i sar., 2018). Iako se čak 80% globalne proizvodnje i potrošnje pesticida odvija u industrijski razvijenim zemljama, polovina svih trovanja i gotovo dvije trećine svih smrtnih slučajeva registruje se u tzv. zemljama trećeg svijeta. Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije (WHO), u tim zemljama svake minute jedna osoba strada usljed trovanja pesticidima, što ovu pojavu svrstava među ozbiljne javnozdravstvene probleme. Posebno ranjive grupe uključuju:

- djecu,
- trudnice,
- starije osobe,
- hronične bolesnike,
- osobe sa oslabljenim imunitetom.

Jedan od glavnih uzroka zagađenja pesticidima jeste ljudski nemar, posebno nepravilno odlaganje ostataka pesticida. Zakopavanje neutrošenih pesticida strogo je zabranjeno, jer može dovesti do direktnog zagađenja zemljišta i kontaminacije podzemnih voda (Dronjak, 2016). Uticaj pesticida na ljudsko zdravlje zavisi od:

- vrste i toksičnosti pesticida,
- količine pesticida u hrani, vodi ili vazduhu,
- dužine i učestalosti izlaganja.

Zdravstvene posljedice mogu se podijeliti na akutne i hronične.

**Akutni efekti** nastaju neposredno nakon izlaganja pesticidima i obično su posljedica direktnog kontakta sa pesticidom ili konzumiranja hrane koja sadrži visoke koncentracije pesticida. Simptomi akutnog trovanja mogu uključivati:

- mučninu, povraćanje, glavobolja,
- iritaciju kože i očiju,
- grčeve, konfuziju i respiratorne smetnje,
- u težim slučajevima – gubitak svijesti, pa i smrt.

**Hronični efekti** nastaju usljed dugoročne izloženosti pesticidima, čak i u vrlo malim količinama. Dugoročno izlaganje pesticidima može povećati rizik od različitih ozbiljnih bolesti. Rak je jedna od najraširenijih bolesti širom svijeta. Mnogi pesticidi su klasifikovani kao kancerogeni, što znači da njihova dugotrajna upotreba može povećati rizik od razvoja različitih vrsta raka, kao što su: rak pluća, debelog crijeva, bešike, mozga, jetre i leukemija. Direktni kontakt sa pesticidima je vodeći uzrok raka širom svijeta. Ovo je globalno pitanje kojim se bave istraživači iz cijelog svijeta (Cavalier i sar., 2023).

**Hormonski poremećaji:** Neki pesticidi djeluju kao endokrini disruptori, ometajući prirodnu ravnotežu hormona u ljudskom organizmu. Ovo može dovesti do: problema sa reproduktivnim sistemom, smanjenja plodnosti, malformacije fetusa, i poremećaja u razvoju djece.

**Neurološki problemi:** Dugotrajna izloženost pesticidima, poput organofosfata, može izazvati neurološke probleme, kao što su smanjenje kognitivnih sposobnosti, smanjenje koncentracije i memorije. Sprovedeno je nekoliko studija kako bi se utvrdili efekti pesticida na neurološke bolesti. Alchajmerova bolest i Parkinsonova bolest su najčešći poremećaji povezani sa neurotoksičnošću pesticida. Zbog razlika u njihovim radnim aktivnostima utvrđeno je da su muškarci više izloženi dejstvu pesticida nego žene (Li i sar., 2014).

**Poremećaji imunološkog sistema:** Pesticidi mogu oslabiti funkciju imunološkog sistema, čineći organizam podložnijim različitim bolestima, alergijama i autoimunim poremećajima.

### 2.1.6 Potrošnja pesticida

Prema podacima Organizacije za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih nacija (FAO), globalna potrošnja pesticida bilježi stalan porast. Na osnovu izveštaja iz 2001. godine, u svijetu je utrošeno više od 1 100.000 tona aktivne materije pesticida (Kekelj, 2012).

Struktura potrošnje prema vrstama pesticida bila je sljedeća:

- **Herbicidi** – 46%,
- **Fungicidi i baktericidi** – 26%,
- **Insekticidi** – 26%,
- **Ostale grupe pesticida** – 2%.

Regionalna raspodjela potrošnje u istoj godini pokazuje izražene razlike među kontinentima i regijama:

- Evropska unija (25 članica): preko 320 000 tona,
- SAD i Kanada: oko 390 000 tona,
- Azija: približno 180 000 tona,
- Afrika: oko 44 000 tona,
- Srednja i Južna Amerika: 280 000 tona,
- Australija i Okeanija: oko 120 000 tona.

### 2.1.7 Pravni okvir i regulativa pesticida

Zemlje članice Evropske unije primjenjuju zajednički zakonodavni okvir koji reguliše promet i upotrebu sredstava za zaštitu bilja. Ključni pravni akti u ovoj oblasti su *UREDBA (EZ) br. 1107/2009 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA* od 21. oktobra 2009. o stavljanju na tržište sredstava za zaštitu bilja i stavljanju izvan snage direktiva Vijeća 79/117/EEZ i 91/414/EEZ, kao i *UREDBA (EZ) br. 396/2005 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA* od 23. februara 2005. o maksimalnim razinama ostataka pesticida u ili na hrani i hrani za životinje biljnog i životinjskog podrijetla i o izmjeni Direktive Vijeća 91/414/EEZ. Uredba 396/2005 odnosi se na proizvode biljnog i životinjskog porijekla, kao i njihove dijelove, koji se koriste kao svježa, prerađena ili mješovita hrana, odnosno kao hrana za životinje, a koji mogu sadržavati ostatke

pesticida. Cilj ove uredbe je da se obezbjedi visoka zaštita zdravlja potrošača, uz istovremeno omogućavanje nesmetanog funkcionisanja unutrašnjeg tržišta Evropske unije. U Bosni i Hercegovini na snazi je **Pravilnik o maksimalnim nivoima ostataka pesticida u i na hrani i hrani za životinje biljnog i životinjskog porijekla** („Službeni glasnik BiH“, broj 48/21), koji je usklađen sa navedenom Uredbom EU 396/2005. Ovim pravilnikom utvrđuju se dozvoljeni nivoi ostataka pesticida, kako bi se obezbjedila zdravstvena ispravnost hrane i zaštita potrošača, kao i usklađenost sa međunarodnim standardima u oblasti bezbjednosti hrane.

## 2.2. Mikotoksini u hrani

Mikotoksini su toksični sekundarni metaboliti koje proizvode brojne saprofitske plijesni, a u organizam ljudi i životinja najčešće dospijevaju putem kontaminirane hrane. Pojam "mikotoksin" potiče od grčke riječi *myces* (gljiva) i latinske riječi *toxicum* (otrov) (Turner i sar., 2009). Do danas je identifikovano više od 400 različitih mikotoksina, među kojima su najznačajniji: aflatoksini (AFB1, AFM1), ohratoksini (naročito ohratoksin A), zearalenon (ZEA), fumonizini (B1 i B2), trihoteceni (npr. T-2 toksin) i patulin (PAT) (Hassan i sar., 2015). U Tabeli 1. prikazane su vrste mikotoksina i plijesni koje ih proizvode.

Iako procjene FAO-a ukazuju na to da je približno 25% svjetskih usjeva kontaminirano mikotoksinima, novija istraživanja sugerišu da je taj procenat znatno veći i kreće se između 60% i 80% (Eskola i sar., 2019).

Izloženost mikotoksinima može nastati neposredno, unosom kontaminirane hrane, ili posredno, konzumacijom proizvoda životinjskog porijekla – poput mlijeka, ako su životinje bile hranjene zaraženom stočnom hranom. Posebnu opasnost mikotoksini predstavljaju zbog svoje otpornosti na visoke temperature, pa se standardnim metodama termičke obrade ne mogu efikasno ukloniti iz hrane.

Bolesti izazvane mikotoksinima poznate su pod nazivom mikotoksikoze. Ove supstance mogu izazvati mutagene, kancerogene, imunosupresivne, genotoksične i ostale štetne efekte. I akutni i hronični oblici trovanja mikotoksinima predstavljaju ozbiljnu prijetnju po zdravlje ljudi i životinja. Najznačajniji razlog za zabrinutost predstavlja hronična izloženost niskim nivoima različitih mikotoksina, koji u organizmu mogu djelovati pojedinačno, ali i sinergistički (Pleadin i

sar., 2018). Osim što negativno utiču na zdravlje ljudi i životinja, mikotoksini predstavljaju i ozbiljan ekonomski problem za poljoprivredu i prehrambenu industriju. Prema procjenama, globalni ekonomski gubici uzrokovani mikotoksinskom kontaminacijom dostižu milijarde dolara godišnje (Marin i sar., 2013).

**Tabela 1.** Vrste plijesni i pripadajući glavni mikotoksini (Mašek i Šerman, 2006)

<b>Vrsta plijesni</b>	<b>Glavni mikotoksin</b>
<i>Aspergillus flavus, Aspergillus parasiticus</i>	Aflatoksini
<i>Aspergillus flavus</i>	Ciklopiazonična kiselina
<i>Aspergillus ochraceus,</i> <i>Penicillium viridicatum,</i> <i>Penicillium cyclopium</i>	Ohratoksin A
<i>Penicillium expansum</i>	Patulin
<i>Fusarium culmorum,</i> <i>Fusarium. graminearum,</i> <i>Fusarium sporotrichioides</i>	Deoxynivalenol (DON)
<i>Fusarium sporotrichioides, Fusarium poae</i>	T-2
<i>Fusarium sporotrichioides, Fusarium</i> <i>graminearum, Fusarium poae</i>	Diacetoxyscirpenol (DAS)
<i>Fusarium culmorum, Fusarium graminearum,</i> <i>Fusarium sporotrichioides</i>	Zearalenon

<i>Fusarium moniliforme</i>	Fumonisini
<i>Acremonium coenophialum</i>	Ergot alkaloidi
<i>Acremonium lolii</i>	Lolitremski B
<i>Phomopsis leptostromiformis</i>	Fomopsini
<i>Pithomyces chartarum</i>	Sporidesmini

### 2.2.1 Aflatoksini

Od svih mikotoksina, aflatoksini se izdvajaju kao najznačajniji sa aspekta javnog zdravlja, jer predstavljaju ozbiljnu prijetnju zdravlju ljudi. Prvi put su identifikovani početkom 1960-ih godina u Engleskoj, nakon misterioznog masovnog uginuća više od 100 000 ćurana. Taj događaj je označio početak intenzivnog naučnog istraživanja, poznatog po pojavi bolesti nepoznatog uzroka, koja je nazvana “bolest ćurana X”. Ustanovljeno je da je uginuće nastalo nakon konzumacije stočne hrane sa kontaminiranim brašnom od kikirikija, porijeklom iz Brazila, koje je korišćeno na jednoj farmi peradi u Londonu (Goldblatt, 1969).

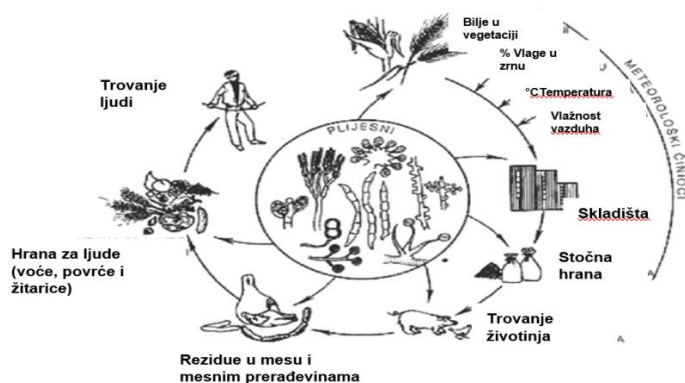
Aflatoksini predstavljaju grupu toksičnih sekundarnih metabolita nastalih kao proizvod plijesni iz roda *Aspergillus*, naročito *A. flavus* i *A. parasiticus* (Tian i Chun, 2017). Prema različitim izvorima, u grupu aflatoksina spada između 13 i 20 hemijski srodnih jedinjenja. Aflatoksini su prirodni derivati kumarina i prepoznatljivi su po tome što su fluorescentni pri izlaganju UV zračenju talasne dužine od 365 nm. Četiri osnovna aflatoksina – B1, B2, G1 i G2 – dobili su nazive na osnovu boje fluorescencije (plava (blue) – B, zelena (green) – G) i njihove pokretljivosti u tankoslojnoj hromatografiji.

Pored njih, važne mikotoksine predstavljaju i aflatoksini M1 i M2 (AFM1 i AFM2), koji nastaju kao metaboliti aflatoksina B1 i B2. Ovi metaboliti ulaze u organizam sisara putem hrane i mogu

se pronaći kao kontaminanti u mlijeku i mliječnim proizvodima (Deccastelli i sar., 2007). Aflatoksini mogu kontaminirati veliki broj prehrambenih i poljoprivrednih proizvoda.

Mnogi autori navode da su klimatske promjene koje su zabilježene poslednjih godina imale veliki uticaj na pojavu plijesni i cijelog niza mikotoksina. Faktori koji utiču na pojavu aflatoksina su: prisustvo toksigenih plijesni, nivo vlažnosti, temperatura, aeracija, prisustvo insekata i mehanički oštećenih zrna (Sforza i sar., 2006).

Temperatura je važan faktor koji utiče na sintezu aflatoksina. Za razliku od mnogih drugih plijesni, plijesni iz roda *Aspergillus* koje su odgovorne za stvaranje aflatoksina, uspjevaju u uslovima relativno visoke temperature (10 °C do 43 °C), a aflatoksin sintetizuju na temperaturama između 12 °C i 42 °C (Koehler i sar., 1985; Bock i sar., 2004). Optimalna temperatura za sintezu aflatoksina je između 25 °C i 30 °C (Faraj i sar., 1991). Optimalna relativna vlažnost vazduha je iznad 85 %, a kod nekih vrsta i iznad 90 % ili čak 95 %. Optimalna vrijednost aktivnosti vode je visoka i za aflatoksine iznosi 0,95 - 0,99 (Faraj i sar., 1991). Plijesni se razvijaju u širokom rasponu pH vrijednosti (3 - 8,5), sa pH optimumom 5 - 6. Sadržaj ugljenih hidrata, azota, fosfata, cinka i drugih metala u tragovima, takođe, utiče na proizvodnju aflatoksina (Iqbal, 2017). Razvoj mikroorganizama u namirnicama može biti uzrokovan raznim faktorima, uključujući oštećenja izazvana insektima, sporo sušenje i skladištenje u uslovima visoke vlažnosti. Ipak, glavni uzrok mikrobiološke kontaminacije ostaju neprikladni uslovi skladištenja.



Slika 2. Put mikotoksina u lancu ishrane

### 2.2.1.1. Aflatoksin B1

**AFB1** je najfrekventniji i najtoksičniji sa najizraženijim kancerogenim dejstvom prema Međunarodnoj agenciji za istraživanje raka (IARC, 2012). Prema istraživanju koje su sproveli Assunção i sar. (2018), aflatoksin B1 (AFB1) bi mogao predstavljati sve ozbiljniju prijetnju bezbjednosti hrane u Evropi, naročito u okviru scenarija klimatskih promjena koji se smatra najvjerovatnijim. U poređenju sa ostalim aflatoksinima, brojne studije ukazuju da AFB1 pokazuje najjaču genotoksičnu aktivnost. Posebno zabrinjava njegova termostabilnost – otporan je na temperature i do 260 °C, što znači da se ne može eliminisati standardnom termičkom obradom hrane.

Aflatoksin nije prisutan samo u stočnoj hrani, već je detektovan i u raznim vrstama hrane za ljude, kao što su: grah, soja, kikiriki, kafa, hleb, jaja, meso, suvomesnati proizvodi, mlijeko, pa čak i u majčinom mlijeku (Drčelić, 2011). Ipak, najveću izloženost bilježi stoka, koja konzumira kontaminiranu stočnu hranu, pri čemu se kukuruz izdvaja kao najkritičniji izvor, zbog svoje široke primjene i uslova uzgoja pogodnih za razvoj plijesni.

Najčešći proizvođači AFB1 su *Aspergillus flavus* i *Aspergillus parasiticus*. Prva je prepoznatljiva po žutozelenoj boji, dok druga ima sivozelenu nijansu; obe vrste imaju karakterističan praškasti izgled (slika 3).



Slika 3. Primjer rasta toksigenih plijesni na kukuruzu

Prema rezultatima brojnih toksikoloških i epidemioloških studija, unos visokih doza AFB1 može izazvati akutno trovanje sa mogućim smrtnim ishodom. Subletalne doze dovode do hroničnog trovanja, dok je dugotrajna izloženost niskim koncentracijama povezana sa povećanim rizikom

od razvoja malignih tumora, posebno primarnog karcinoma jetre. Ovi zaključci potvrđeni su kroz više istraživanja koja ukazuju na genotoksična i kancerogena svojstva AFB1.

#### 2.2.1.2 *Aflatoksin M1*

AFM1, poznat i kao mliječni toksin, je glavni metabolički produkt, hidroksilizovani proizvod AFB1. On se metabolizuje u jetri, a pojavljuje se u mlijeku, fecesu i urinu životinja koje su konzumirale AFB1 kontaminiranu hranu (Fallah i sar., 2009). AFM1 ispoljava genotoksično djelovanje i nastaje kao rezultat metabolizma AFB1 kod životinja koje su konzumirale kontaminiranu stočnu hranu. Posljedično, AFM1 dospijeva u mlijeko i mliječne proizvode. Iako je njegova kancerogenost nešto niža u odnosu na AFB1, ipak zadržava većinu njegovih toksičnih svojstava.

Posebnu zabrinutost izaziva mogućnost kumulativnog efekta, koji nastaje usljed redovne konzumacije malih količina AFM1 putem zagađenih mliječnih proizvoda. Mlijeko i mliječni proizvodi predstavljaju značajan dio ishrane, naročito dojenčadi, male djece i starijih osoba, te potencijalna izloženost ovih populacija, koje su osjetljivije zbog nerazvijenog ili oslabljenog imunološkog i metaboličkog sistema, predstavlja ozbiljan javnozdravstveni problem (Fakhri i sar., 2019). AFM1 ima genotoksično dejstvo. Kontaminacija mlijeka i mliječnih proizvoda AFM1 posljedica je kontaminacije hrane za životinje pomoću AFB1.

Nakon unošenja aflatoksina B1 (AFB1), aflatoksin M1 (AFM1) se izlučuje u mlijeko u periodu od 12h do 24 h, dok se njegovo čišćenje iz organizma završava otprilike 2 - 3 dana nakon što životinje prestanu da konzumiraju hranu kontaminiranu AFB1 (Varga i sar., 2020). Udio konverzije AFB1 u AFM1 koji je prisutan u mlijeku varira i kreće se između između 0,3 % i 6,2 %, što zavisi od genetičkih osobina životinja, pasmine, prinosa mlijeka i razdoblja laktacije kao i faktora okoline (Buz'as i sar., 2023).

Kada se mliječni proizvodi proizvode od AFM1 kontaminiranog mlijeka, toksin može biti prisutan i u njima (Bakirci, 2001). AFM1 je relativno stabilan tokom prerade i skladištenja raznih mliječnih proizvoda. Toksin se ne inaktivira uobičajenom termičkom preradom koja se koristi u mliječnoj industriji, kao što su pasterizacija i sterilizacija (Prandini i sar., 2009), niti drugim postupcima prerade. AFM1 pokazuje visok afinitet za vezivanje s mliječnim proteinima, što ga čini posebno stabilnim tokom tehnološke obrade mlijeka. Tokom određenih procesa prerade,

poput proizvodnje sireva, njegov nivo se ne smanjuje, naprotiv, može doći do povećanja koncentracije usljed gubitka vode. Aflatoksin se zadržava skoro u potpunosti u obranom mlijeku, kao i u proizvodima poput jogurta, kiselog mlijeka, bijelog sira i pavlake. AFM1 je takođe pronađen u majčinom mlijeku (Kunter i sar., 2017). Sir sadrži znatno veću koncentraciju AFM1 u poređenju sa mlijekom od kojeg je proizveden. U mekim sirevima, koncentracije su 2,5 - 3,3 puta više, dok su u tvrdim sirevima čak 3,9 - 5,8 puta veće u odnosu na mlijeko (Sadeghi i sar., 2017).

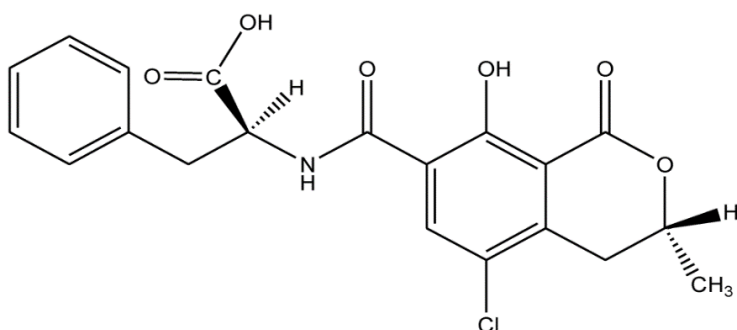
Na osnovu rezultata istraživanja o koncentracijama AFM1 u mliječnim proizvodima zaključeno je da godišnje doba i vrsta proizvoda imaju uticaj na nivo AFM1 u mliječnim proizvodima (Rahimirad i sar., 2014). Koncentracije AFM1 u mlijeku i mliječnim proizvodima bile su više tokom zimskog perioda u poređenju s ljetom, što se objašnjava činjenicom da krave zimi konzumiraju veće količine miješane stočne hrane, koja češće sadrži povišene nivoe AFB1. Najniža koncentracija AFM1 među analiziranim mliječnim proizvodima zabilježena je u jogurtu, bez obzira na godišnje doba. Ova pojava može se pripisati djelovanju određenih sojeva mliječno-kiselinskih bakterija prisutnih u jogurtu, koje mogu doprinijeti smanjenju prisustva AFM1 u mlijeku tokom fermentacije. Nivoi AFM1 u maslacu su obično niži nego u drugim mliječnim proizvodima. Tokom procesa proizvodnje maslaca, proteinska membrana koja okružuje masne globule se razbija, a serumska faza se odvaja. Pošto je AFM1 nerastvorljiv u maslacu i ima sklonost vezivanju za kazein, on se uglavnom vezuje za proteinske komponente. Zbog toga maslac sadrži manje AFM1 u poređenju sa drugim mliječnim proizvodima (Bakirci, 2001).

### 2.2.1.3 *Ohratoksini*

Ohratoksin A (OTA) spada među mikotoksine koje proizvode različite vrste plijesni iz rodova *Aspergillus* (poput *A. ochraceus*, *A. carbonarius* i *A. niger*) i *Penicillium*, naročito *P. verrucosum*. OTA uzrokuje nefrotoksičnost i tumore bubrega kod različitih životinjskih vrsta, dok su efekti na ljudsko zdravlje još uvijek nedovoljno istraženi (Bui-klimke i Wu, 2015). Iako su neka istraživanja povezala izloženost OTA s bolestima poput Balkanske endemske nefropatije (BEN) i hronične intersticijske nefropatije (CIN), rezultati su često neuvjerljivi zbog metodoloških ograničenja i drugih faktora rizika. Prema IARC-u, OTA je mikotoksin s mogućim kancerogenim djelovanjem pa je svrstan u grupu 2B (Pepeljnjak i sar., 2008). Prema Čavrak

(2024) mikotoksini se mogu naći u hrani biljnog porijekla, kao što su žitarice, vino, kafa, začini i razne vrste voća. Hrana životinjskog porijekla može biti kontaminirana mikotoksinima kada su životinje hranjene takvom kontaminiranom hranom. Kontaminacija se često javlja uslijed nepravilnog skladištenja u uslovima visoke vlažnosti i temperature.

Njegovo hemijsko ime glasi: *L-fenilalanin-N-[(5-hlor-3,4-dihidro-8-hidroksi-3-metil-1-okso-1H-2-benzopiran-7il)karbonil]-(R)-izokumarin*. Hemijska struktura prikazana je na slici 4 (El Khoury i Atoui, 2010).



Slika 4. Hemijska struktura Ochratoxin A

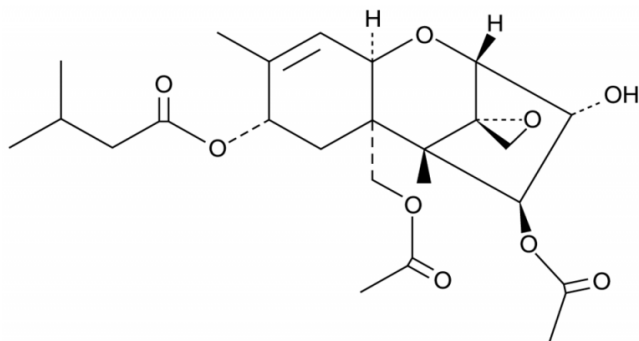
#### 2.2.1.4 Trihoteceni

Trihoteceni su grupa od skoro 170 mikotoksina koje proizvode različite vrste plijesni, prvenstveno iz roda *Fusarium*, ali i iz rodova *Cephalosporium*, *Myrothecium*, *Trichoderma*, *Trichothecium*, *Stachybotrys*, *Verticimonosporium* i drugih. Hemijski se klasifikuju u četiri tipa: tip A (uključujući T-2 toksin i diacetoksiscirpenol), tip B (deksinivalenol, nivalenol), tip C (krotocin, bakararin) i tip D (saratoksin, roridin) ([www.tehnologijahrane.com](http://www.tehnologijahrane.com)). Glavni izvori trihotecena su žitarice: pšenica, kukuruz i ječam. Među trihotecenskim mikotoksinima, deksinivalenol (DON) je najčešći kontaminant hrane i stočne hrane, dok se T-2 toksin i diacetoksiscirpenol (DAS) javljaju znatno rjeđe.

Najtoksičnijim se smatra T-2 toksin. Proizvodnja trihotecena najintenzivnija je u uslovima vlažne tropske klime, gdje visoka relativna vlažnost vazduha i temperature u rasponu od 6 °C do 24 °C omogućavaju optimalan rast plijesni. Njihovo prirodno prisustvo u hrani dodatno zavisi od faktora poput oštećenja zrna žitarica, sadržaja vlage u hrani, koncentracije kiseonika i ugljen-

dioksida, kao i konkurencije ili prisustva drugih vrsta plijesni (Sokolović, 2005). Stabilni su na visokim temperaturama od 120 °C do 180 °C. Raspadaju se nakon 30 - 40 min na 210 °C.

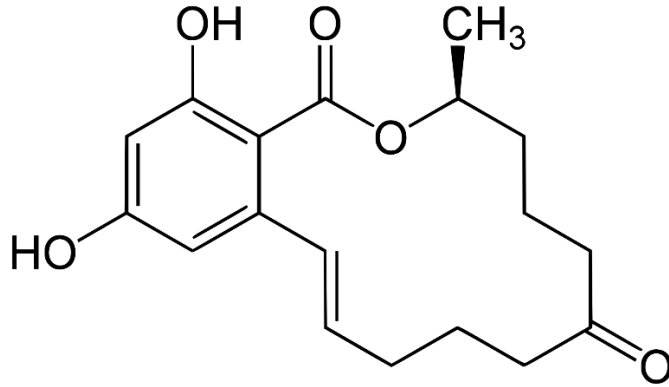
Trihoteceni se u organizmu hemijski transformišu u manje toksične oblike. Ipak, oni izazivaju oštećenja ćelija, naročito onih koje se aktivno dijele, poput ćelija u timusu, limfnim žlijezdama, testisima, crijevima i slezini (Drčelić, 2011). Na slici 5 prikazana je hemijska struktura T-2 toksina.



Slika 5. Hemijska struktura T-2 toksina

#### 2.2.1.5 Zearalenon

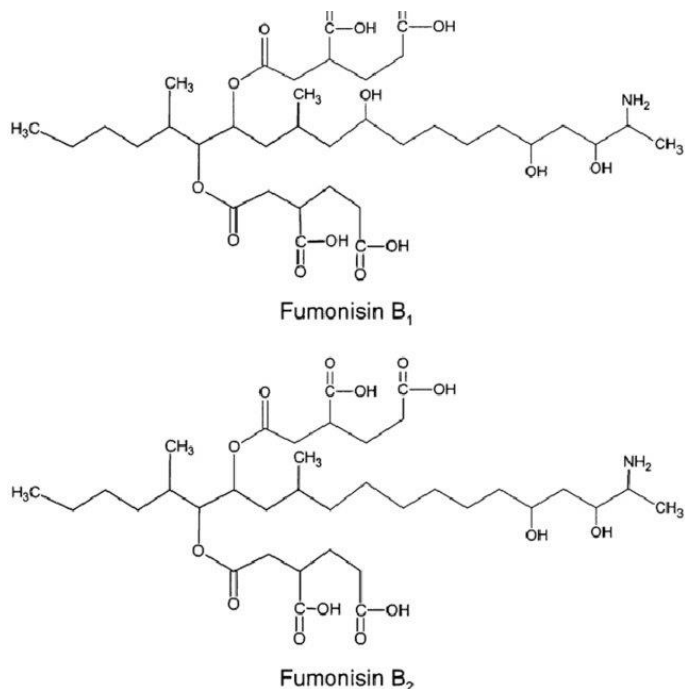
**Zearalenon (ZEA)** je mikotoksin koji proizvode plijesni iz roda *Fusarium*, najčešće *F. graminearum* i *F. culmorum*. Najčešće kontaminira žitarice poput kukuruza, pšenice, ječma, ovsu i sirka, naročito u područjima sa umjerenom do toplom klimom i visokom vlažnošću. Nastaje tokom zrenja i uskladištenja vlažnog kukuruza. Ukoliko je prisutan u hrani za životinje, može se očekivati i u proizvodima od životinja. Zearalenon je laktanski derivat rezorcinske kiseline, a po strukturi podsjeća na estrogene, zbog čega ima estrogenu aktivnost (slika 6). Vezuje se za estrogenske receptore kod životinja i ljudi, što može izazvati hormonske poremećaje. Zearalenonotoksikoza, kao oblik hroničnog trovanja zearalenonom, izaziva trajne promjene na reproduktivnim organima, uključujući degenerativne promjene testisa, atrofiju jajnika, sterilitet, pobačaje i smanjen broj potomaka (Drčelić, 2011).



Slika 6. Hemijska struktura Zearalenona.

#### 2.2.1.6 Fumonizini

Fumonizini su grupa mikotoksina koje primarno sintetizuju plijesni iz roda *Fusarium*, naročito *Fusarium verticillioides* i *Fusarium proliferatum*. Ove plijesni su široko rasprostranjeni fitopatogeni i saprofiti, a posebno kontaminiraju kukuruz i proizvode na bazi kukuruza. Među različitim vrstama fumonizina, najznačajniji su fumonizin B1 (FB1), fumonizin B2 (FB2) i fumonizin B3 (FB3), pri čemu FB1 predstavlja najzastupljeniji i najtoksičniji oblik. Poznato je najmanje 28 različitih oblika fumonizina, koji se većinom svrstavaju u A-seriju, B-seriju, C-seriju i P-seriju. Najznačajniji su fumonizini B-serije, konkretno fumonizin B1 (FB1) i fumonizin B2 (FB2), koji su otprilike jednako toksični, ali se prirodno pojavljuju u omjeru 3:1 u korist FB1 u odnosu na FB2 (Huskić, 2018). *Fusarium moniliforme* (danas klasifikovan kao *Fusarium verticillioides*) čest je zagađivač kukuruza u mnogim dijelovima svijeta, naročito u toplim i vlažnim klimatskim područjima. FB1 poznat je po tome što ometa metabolizam sfingolipida, ključnih komponenti ćelijskih membrana, što može dovesti do različitih patoloških stanja. Kod ljudi se povezuje sa pojavom karcinoma jetre i jednjaka u nekim regionima gde je kukuruz glavna prehrambena namirnica (Huskić, 2018). Na slici 7 prikazana je hemijska struktura FB1 i FB2.



Slika 7. Hemijska struktura Fumonizina B<sub>1</sub> i Fumonizina B<sub>2</sub>

### 2.3 Zakonodavstvo za mikotoksine

Mikotoksini predstavljaju ozbiljan rizik, kako za zdravlje ljudi, tako i za zdravlje životinja, a poznati su i po značajnim negativnim ekonomskim posljedicama. Zbog toga se u brojnim zemljama širom svijeta razvijaju posebne institucije i regulative koje se bave ovom tematikom. Među ključnim organizacijama koje imaju važnu ulogu u definisanju zakonskih okvira i unapređenju znanja o mikotoksinima, izdvajaju se:

- Evropska komisija (EC)
- Američka Agencija za hranu i lijekove (FDA)
- Svjetska zdravstvena organizacija (WHO)
- Organizacija Ujedinjenih nacija za hranu i poljoprivredu (FAO)
- Evropska agencija za bezbjednost hrane (EFSA)
- Zajednički ekspertski odbor za aditive u hrani (JECFA)
- Naučni odbor za hranu (SCF)

Zakonska regulativa jedan je od ključnih alata za upravljanje rizicima povezanim sa mikotoksinima. Oko 100 zemalja je usvojilo zakonske propise koji određuju maksimalno dozvoljene količine (MDK) mikotoksina u hrani i hrani za životinje, što predstavlja značajan pomak u odnosu na ranije periode (Milićević, 2016). Zbog kancerogenih svojstava aflatoksina, neophodno je njihov unos svesti na minimum. Zbog toga su regulative zasnovane na principu ALARA (As Low As Reasonably Achievable), koji podrazumijeva da nivo kontaminacije bude što je moguće niži, u granicama realno dostižnog.

Uredba Komisije (EU) br. 2023/915 od 25. aprila 2023. godine propisuje maksimalno dozvoljene koncentracije određenih kontaminanata, uključujući mikotoksine, u prehrambenim proizvodima na teritoriji Evropske unije. Ove granične vrijednosti obavezne su za sve zemlje članice EU, dok ih i većina evropskih zemalja koje nisu članice takođe prihvata, uz manja odstupanja. Nasuprot tome, mnoge zemlje van Evrope, posebno zemlje u razvoju, često dozvoljavaju više koncentracije.

U Bosni i Hercegovini na snazi je Pravilnik o maksimalno dozvoljenim količinama određenih kontaminanata u hrani („Službeni glasnik BiH“, br. 68/14, 79/16, 84/18), kojim su propisane MDK za mikotoksine u hrani.

Odredbama ovog Pravilnika, zabranjeno je stavljanje na tržište hrane koja sadrži kontaminante, uključujući mikotoksine, koji nisu u skladu sa propisanim MDK. Količina kontaminanata mora se držati što nižom, koliko je to realno moguće, prateći dobru proizvođačku praksu.

Uzorkovanje za službenu kontrolu nivoa mikotoksina u hrani treba provoditi u skladu sa metodama utvrđenim Pravilnikom o metodama uzorkovanja i analiza za službenu kontrolu količine mikotoksina u hrani („Službeni glasnik BiH“, br. 37/09, 68/12).

Takođe, Pravilnik o neželjenim supstancama u hrani za životinje („Službeni glasnik BiH“, br. 72/11, 70/16) propisuje posebne uslove za higijenu hrane za životinje, uključujući MDK za AFB1 u hrani za životinje izražene u mg/kg.

## 2.4 Dekontaminacija mikotoksina

Iako je razvijen niz strategija s ciljem sprečavanja ili ublažavanja štetnih efekata mikotoksina na zdravlje ljudi i životinja, do danas nije uspostavljen univerzalan metod koji bi bio jednako djelotvoran za sve vrste mikotoksina i u različitim prehrambenim proizvodima i stočnoj hrani.

### Prevenција kontaminacije

Sprečavanje kontaminacije hrane mikotoksinima počinje još na njivi, prije same žetve, i nastavlja se tokom skladištenja. U fazi skladištenja, ključne preventivne mjere uključuju održavanje odgovarajuće temperature i regulaciju vlažnosti, kako bi se onemogućio razvoj plijesni koje proizvode mikotoksine. Efikasna prevencija zahtjeva sveobuhvatan i multidisciplinarni pristup koji obuhvata pažljiv izbor hibrida biljnih kultura, optimalno određivanje vremena žetve, odgovarajuće uslove čuvanja, kontrolisane uslove prerade, kao i primjenu metoda detoksifikacije ukoliko do kontaminacije dođe.

#### 2.4.1 Metode dekontaminacije

S obzirom da mikotoksini predstavljaju globalni problem, do sada su istražene i korišćene mnoge metode dekontaminacije hrane, koje se dijele na: fizičke, hemijske i biološke, a njihova efikasnost zavisi od brojnih parametara, od kojih su najznačajniji sastav proizvoda, sadržaj vlage i nivo kontaminacije (Pleadin i sar., 2014 a,b; Pleadin i sar., 2018).

**Fizičke metode** detoksifikacije mikotoksina obuhvataju uklanjanje kontaminiranih dijelova sirovina mehaničkim postupcima, kao što su sortiranje, čišćenje i usitnjavanje.

**Hemijske metode**, poput amonizacije, tretmana kiselinama, peroksidacije, ozoniranja i alkalne hidrolize, imaju ograničenu primjenu zbog potencijalne toksičnosti korišćenih supstanci, smanjene efikasnosti u nekim slučajevima, kao i visokih troškova samog procesa.

Nasuprot tome, **biološke metode** detoksifikacije, koje podrazumijevaju upotrebu mikroorganizama ili enzima sposobnih da razgrade ili deaktiviraju mikotoksine u manje toksične i stabilnije produkte, predstavljaju savremen i obećavajući pristup. Upravo će biološke strategije uklanjanja mikotoksina iz hrane i stočne hrane biti centralna tema ovog rada.

**Adsorbenti**, kao što su aktivni ugalj, zeolit i bentonit, koji sadrže visok udio saponita, pokazali su sposobnost vezivanja AFB1 u stočnoj hrani. Na taj način smanjuje se njegova apsorpcija u gastrointestinalnom traktu i prenos u mlijeko u formi AFM1. Savremena istraživanja su potvrdila da bentonit može efikasno smanjiti koncentraciju AFM1 u mlijeku na nivoe ispod maksimalno dozvoljenih vrijednosti propisanih evropskim standardima. Dodatak bentonita u koncentraciji od 0,4 % nije pokazao negativne posljedice po ljudsko zdravlje. U poređenju sa kaolinom, bentonit se smatra znatno efikasnijim adsorbentom za vezivanje kako AFB1 tako i AFM1 (Carraro i sar., 2014).

Ipak, primjena mineralnih adsorbentata u napicima može nepovoljno uticati na njihova fizičko-hemijska svojstva, uključujući promjene u boji, teksturi i ukupnom kvalitetu proizvoda. Dodatno, brojni mineralni adsorbenti djeluju nespecifično, što može rezultirati negativnim uticajem na životnu sredinu, a pri višim koncentracijama mogu pokazati i toksične efekte. Zbog ovih ograničenja, sve više istraživanja usmjereno je na pronalaženje bezbjednijih alternativa, među kojima se posebno izdvajaju netoksični mikrobn adsorbenti, poput određenih sojeva bakterija mliječne kiseline i kvasaca.

Iako još uvijek ne postoji univerzalna metoda za efikasno uklanjanje svih mikotoksina iz stočne hrane, a postupci dekontaminacije često iziskuju značajna finansijska sredstva, prevencija ostaje najefikasniji pristup u suzbijanju ovog problema. Preventivne mjere treba započeti već na nivou primarne proizvodnje, kroz primjenu dobre poljoprivredne prakse. To uključuje upotrebu zdravog, tretiranog sjemena, izbor sorti otpornih na razvoj plijesni, optimalnu ishranu biljaka, zaoravanje biljnih ostataka i blagovremenu žetvu. Pored toga, pravilni uslovi skladištenja i transporta žitarica igraju ključnu ulogu u sprječavanju pojave mikotoksina.

## **2.5 Fermentisana hrana u službi zdravlja i ishrane**

Fermentacija je jedan od najstarijih bioloških procesa koji su ljudi koristili za očuvanje i poboljšanje hrane. Radi se o biohemijskom procesu u kojem enzimi razgrađuju složene molekule, poput proteina i skroba, u manja jedinjenja, kao što su aminokiseline, peptidi i jednostavni šećeri. Tokom fermentacije, ovi šećeri se dalje pretvaraju u mliječnu kiselinu, alkohol ili ugljen-dioksid (Đorđević, 2013). Proces započinje razvojem specifičnih mikroorganizama u hranljivom medijumu bogatom šećerima, koji te šećere koriste kao izvor energije, prerađuju ih i izlučuju krajnje produkte u okolinu. Fermentisana hrana sve se više

prepoznaje kao korisna za zdravlje, zahvaljujući korisnim jedinjenjima koje mikroorganizmi proizvode tokom procesa. To uključuje:

- **Bioaktivne metabolite**, kao što su vitamini i aminokiseline,
- **Probiotske mikroorganizme**, prije svega *Lactobacillus* i *Bifidobacteria*, koji pozitivno utiču na zdravlje domaćina kada se unesu u odgovarajućim količinama.

Fermentacija takođe:

- Poboljšava probavljivost hrane, npr. razgradnja laktoze u mliječne proizvode omogućava lakše varenje osobama sa netolerancijom na laktozu,
- Povećava bioraspoloživost esencijalnih nutrijenata
- Uklanja toksine iz hrane,
- Poboljšava aromu, ukus i teksturu proizvoda.

### 2.5.1 Vrste fermentacije

Fermentacija se dijeli prema glavnim proizvodima koji nastaju tokom procesa. Najpoznatiji tipovi fermentacija su:

- **Alkoholna fermentacija** – proizvodnja etanola,
- **Mliječna fermentacija** – nastanak mliječne kiseline,
- **Sirćetna fermentacija** – formiranje sirćetne kiseline ([www.tehnologijahrane.com](http://www.tehnologijahrane.com))

Luj Paster je prvi dao naučno objašnjenje fermentacije, ističući ključnu ulogu mikroorganizama u ovom procesu. Procjene pokazuju da postoji preko 5 000 različitih fermentisanih proizvoda širom svijeta, a taj broj je vjerovatno i veći uzimajući u obzir sve lokalne varijante (Ujlaki, 2024). U svakodnevnom jeziku, fermentacija se često naziva vrenjem, naročito kada je praćena jasnim senzornim promjenama mirisa, ukusa ili nastanka mjehurića. Vrenje se obično odnosi na anaerobne procese, one koji se odvijaju bez prisustva vazduha. Međutim, aerobne fermentacije, kao što je sirćetno vrenje, spadaju u oksidativne procese ([www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)). Dakle, fermentacija može biti:

- **Anaerobna** – bez kiseonika (npr. alkoholno i mliječno vrenje)

- **Aerobna** – uz prisustvo kiseonika (npr. sirćetno vrenje)

### 2.5.1.1 Anaerobna fermentacija

Prema Stojanović (1989) to su biohemijski procesi koje pokreću mikroorganizmi u uslovima bez prisustva kiseonika. Među najpoznatijim, i za praksu najvažnijim, vrstama vrenja iz ove grupe su alkoholna, mliječna, buterna i aceton-butanolna fermentacija.

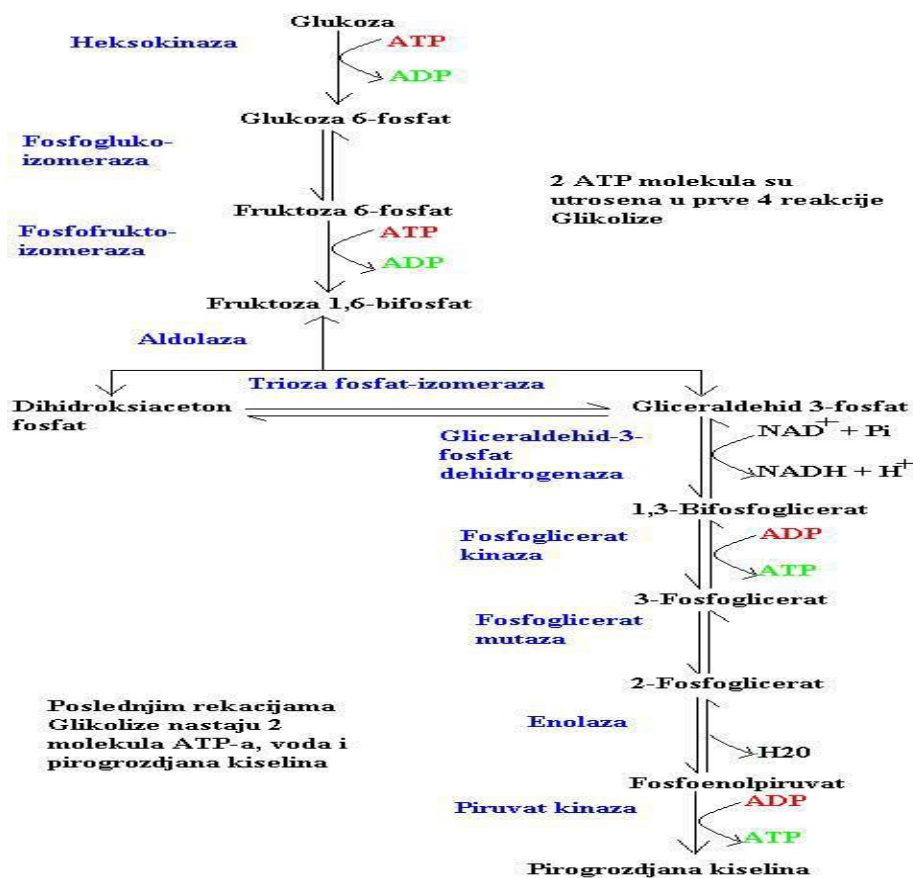
**Alkoholna fermentacija** je anaerobni biohemijski proces u kojem kvasci, najčešće vrste *Saccharomyces cerevisiae*, razgrađuju šećere poput glukoze, fruktoze i saharoze u etanol (alkohol) i ugljen dioksid (CO<sub>2</sub>). Prema Lakićević (2020), osim glavnih produkata etanola i ugljen-dioksida, tokom procesa nastaje i niz sporednih jedinjenja, uključujući glicerol, sirćetnu kiselinu, ćilibarnu kiselinu, diacetil, aceton, 2,3-butandiol, više alkohole i estre.

Ovaj proces nalazi široku primjenu u proizvodnji alkoholnih pića kao što su vino, pivo i rakija, a koristi se i u pekarstvu, npr. pri izradi hljeba gdje oslobađanje ugljen dioksida doprinosi dizanju tijesta. Fermentacija se može provoditi na dva načina: kontrolisano, uz primjenu unaprijed pripremljenih mikrobnih kultura, ili spontano, oslanjajući se na mikroorganizme prirodno prisutne na sirovini. Spontana fermentacija često dovodi do nastanka proizvoda promjenljivog kvaliteta i zahtijeva duže vrijeme, dok primjena čistih kultura omogućava brži proces i stabilniji, ujednačeni kvalitet proizvoda (Mrvčić, 2015). Hemijska jednačina alkoholne fermentacije:



Biohemijski proces alkoholne fermentacije može se podijeliti na dvije faze:

- 1) razgradnja glukoze do pirogroždane kiseline (glikoliza) i
- 2) “prava alkoholna fermentacija”.



Slika 8. Biohemijski put razlaganja šećera do piruvata

Glikoliza predstavlja osnovni katabolički put razgradnje šećera u kvascima, a odvija se u citoplazmi ćelije. Ovaj proces obuhvata niz od jedanaest uzastopnih hemijskih reakcija koje omogućavaju razgradnju heksoza, poput glukoze i fruktoze, uz oslobađanje energije u obliku ATP-a (Barnett i Entian, 2005). Naziv *glikoliza* potiče od grčkih riječi *glukus* (slatko) i *lysis* (razgradnja), a odnosi se na proces u kojem se glukoza i fruktoza unutar ćelije razlažu do piruvata. Glikoliza predstavlja osnovni put razgradnje ugljenih hidrata kod većine živih organizama i odvija se u citoplazmi ćelije (Lakićević, 2020). Šećeri se prenose u ćeliju putem olakšane difuzije, bez potrebe za utroškom energije, jer je njihova koncentracija unutar ćelije niža od one u spoljašnjoj sredini (Lagunas, 1993). Prvi korak glikolize uključuje fosforilaciju glukoze i fruktoze enzimima fosfokinazama, pri čemu nastaju glukozo-6-fosfat i fruktozo-6-fosfat. Ova reakcija koristi ATP, ali istovremeno pomaže održavanju niske intracelularne koncentracije šećera, čime se pospješuje njihov dalji transport kroz ćelijsku membranu. Nakon

toga, enzim fosfo-glukoza-izomeraza pretvara glukozo-6-fosfat u fruktozo-6-fosfat (Gancedo, 1988). Osim što učestvuju u glikolizi, ove dvije supstance imaju važnu ulogu i u sekundarnom metabolizmu, te u sintezi polisaharida neophodnih za izgradnju ćelijskog zida (Cabib i sar., 1982). U sljedećoj fazi, fruktozo-6-fosfat se dodatno fosforiliše pomoću enzima fosfofruktokinaze, pri čemu nastaje fruktozo-1,6-difosfat. Enzim aldolaza zatim razlaže ovo jedinjenje na dvije fosfotrioze: dihidroksiaceton-fosfat i gliceraldehid-3-fosfat. Većina proizvoda (oko 96 %) je u obliku dihidroksiaceton-fosfata, koji se brzo pretvara u gliceraldehid-3-fosfat djelovanjem enzima triozofosfat-izomeraze (Heinisch i Rodicio, 1997). Naredna reakcija uključuje oksidaciju gliceraldehid-3-fosfata u 1,3-difosfoglicerat pomoću enzima gliceraldehid-3-fosfat dehidrogenaze. Tokom ovog procesa dolazi do redukcije  $\text{NAD}^+$  u  $\text{NADH}$ , čime se održava redoks ravnoteža. Fosforilacija u ovoj fazi rezultuje stvaranjem visokoenergetske veze između oksidovanih ugljeničnih grupa i neorganskog fosfata (Lakićević, 2020).

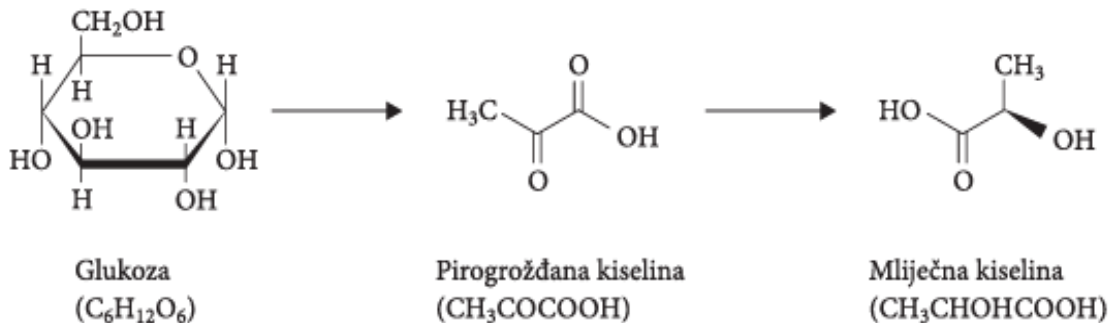
**Mliječna fermentacija** predstavlja niz međusobno povezanih biohemijskih reakcija u kojima je mliječna kiselina dominantan krajnji produkt razgradnje laktoze (Samardžija, 2015). Riječ je o obliku anaerobne fermentacije pri kojoj određene bakterije – najčešće vrste iz rodova *Lactobacillus*, *Streptococcus* i *Leuconostoc* – razgrađuju šećere, posebno glukozu i laktozu, u mliječnu kiselinu, bez prisustva kiseonika.

Zavisno od vrste bakterija i od uslova fermentacije, ovaj proces može biti:

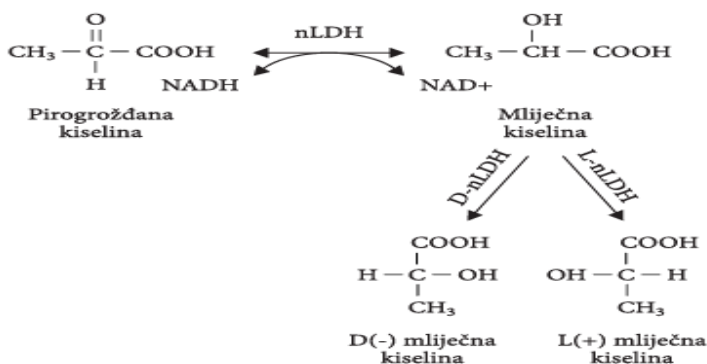
- **Homofermentativan**, pri čemu se gotovo sav šećer pretvara u mliječnu kiselinu,
- **Heterofermentativan**, gdje se samo oko 50 % šećera pretvara u mliječnu kiselinu, dok se ostatak razgrađuje u druge produkte fermentacije, poput sirćetne kiseline, acetaldehida, acetil-metil-karbinola, diacetila i ugljen dioksida ([www.tehnologijahrane.com](http://www.tehnologijahrane.com)).

Ključni međuprodukt u ovom procesu je **pirogroždana kiselina (piruvat)**, koja nastaje enzimatskom razgradnjom laktoze. Piruvat se zatim, djelovanjem  $\text{NAD}^+$  - zavisne laktat dehidrogenaze (nLDH), redukuje u laktat (mliječnu kiselinu). Vrsta nastalog izomera mliječne kiseline – L(+) ili D(-) zavisi od prisutnosti specifičnih izoenzima: *L-nLDH* proizvodi L(+) izomer, dok *D-nLDH* dovodi do stvaranja D (-) izomera. Zbog toga fermentisani mliječni

proizvodi mogu sadržati različite omjere L(+) i D(-) izomera mliječne kiseline, što može uticati na njihov ukus, probavljivost i tehnološke karakteristike (Samardžija, 2015).



Slika 9. Šematski prikaz mikrobne razgradnje glukoze u mliječnu kiselinu.



Slika 10. Šematski prikaz nastajanja mliječne kiseline iz pirogroždane kiseline

**Propionska fermentacija** predstavlja specifičan oblik fermentacijskog procesa koji uključuje bakterije iz roda *Propionibacterium*. Ove bakterije su gram - pozitivni štapići sposobni za proizvodnju propionske kiseline kroz metabolizam ugljenih hidrata (Gregurek, 1996). Zanimljivo je da *Propionibacterium* vrste često koriste produkte drugih fermentacijskih puteva za svoj rast, što im omogućava tzv. sekundarnu fermentaciju. Ova fermentacija ima značajnu primjenu u prehrambenoj industriji, posebno u proizvodnji tvrdih sireva poput ementalera. Bakterije propionske kiseline odgovorne su za stvaranje karakterističnih šupljika (rupica) u siru, kao i za njegov specifičan ukus i aromu. Pored upotrebe u sirarstvu, *Propionibacterium* bakterije koriste se i za industrijsku proizvodnju propionske kiseline te vitamina B12, što dodatno

potvrđuje njihovu biotehnološku važnost (Gregurek, 1996). Tok propionske fermentacije uključuje složen niz biohemijskih reakcija, iako mehanizmi nisu u potpunosti razjašnjeni. Prema dosadašnjim saznanjima, propionska kiselina se formira dekarboksilacijom ćilibarne (sukcinatne) kiseline, koja se dobiva iz pirogruždane kiseline i acetil-CoA putem međuprodukata poput oksaloacetatne, fumarne i jabučne kiseline (www.tehnologijahrane.com).

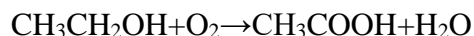
### 2.5.1.2 *Aerobna fermentacija*

**Aerobna fermentacija** odnosi se na biohemijski proces koji se odvija u prisustvu kiseonika, a provode ga specifične grupe mikroorganizama. Za razliku od klasične (anaerobne) fermentacije, aerobna fermentacija uključuje oksidaciju supstrata uz pomoć kiseonika, što omogućava mikroorganizmima da proizvode razne organske kiseline i druge metaboličke produkte.

Najpoznatiji oblici aerobne fermentacije su:

- **Sirćetna fermentacija** – bakterije sirćetne kiseline (*Acetobacter* spp.) oksidiraju etanol u sirćetnu (acetatnu) kiselinu.
- **Limunska fermentacija** – određene vrste plijesni (npr. *Aspergillus niger*) transformišu šećere u limunsku kiselinu.
- **Fumarna fermentacija** – u kulturama plijesni dolazi do sinteze fumarne kiseline.
- **Sorbozna fermentacija** – bakterije sirćetne kiseline oksidišu sorbit u sorbozu, važan međuprodukt u sintezi askorbinske kiseline (vitamina C).
- **Glukonska fermentacija** – glukoza se oksidiše u glukonsku kiselinu, proces koji se često koristi u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji.

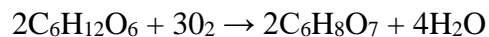
Ovi procesi imaju široku primjenu u industrijskoj biotehnologiji, posebno u proizvodnji organskih kiselina, vitamina i prehrambenih dodataka (www.tehnologijahrane.com). Sirćetna fermentacija predstavlja biohemijski proces u kojem, uz prisustvo kiseonika i djelovanje mikroorganizama, etanol biva pretvoren u sirćetnu kiselinu. Ova reakcija može biti prikazana sljedećom hemijskom jednačinom:



etil-alkohol                  sirćetna kiselina

Bakterije koje su sposobne da obavljaju ovaj proces poznate su kao bakterije sirćetne kiseline. Njima alkohol služi kao izvor energije, a krajnji proizvod njihovog metabolizma u ovom slučaju je sirćetna kiselina. Sirćetna kiselina (CH<sub>3</sub>COOH) smatra se najvažnijom predstavnicom karboksilnih kiselina. U čistom stanju to je bezbojna, bistra tečnost sa vrlo oštrim mirisom (Kopić, 2021). Primjena sirćetne fermentacije najviše se ogleda u industrijskoj proizvodnji sirćeta, gdje se alkoholne tečnosti (npr. vino ili jabukovača) pretvaraju u sirće pomoću ovih bakterija (Stojanović, 1989).

**Limunska fermentacija** je biohemijski proces u kojem, pod uticajem mikroorganizama i u prisustvu slobodnog kiseonika (aerobni uslovi), dolazi do pretvaranja ugljenih hidrata (šećera) u limunsku kiselinu. Ovaj proces je prvi zapazio C. Wehmer 1893. godine, kada je uočio da određene vrste plijesni mogu da proizvode limunsku kiselinu iz šećera ([www.tehnologijahrane.com](http://www.tehnologijahrane.com)). Mikroorganizmi, najčešće vrste iz roda *Aspergillus* (npr. *Aspergillus niger*), koriste šećere kao izvor ugljenika i energije, pri čemu tokom metabolizma dolazi do nakupljanja limunske kiseline kao krajnjeg proizvoda. Sam proces je složen i odvija se kroz niz metaboličkih puteva, uključujući glikolizu i Krebsov ciklus. Iako je detaljna biohemija razgranata, proces se može pojednostavljeno predstaviti sumarnom jednačinom:

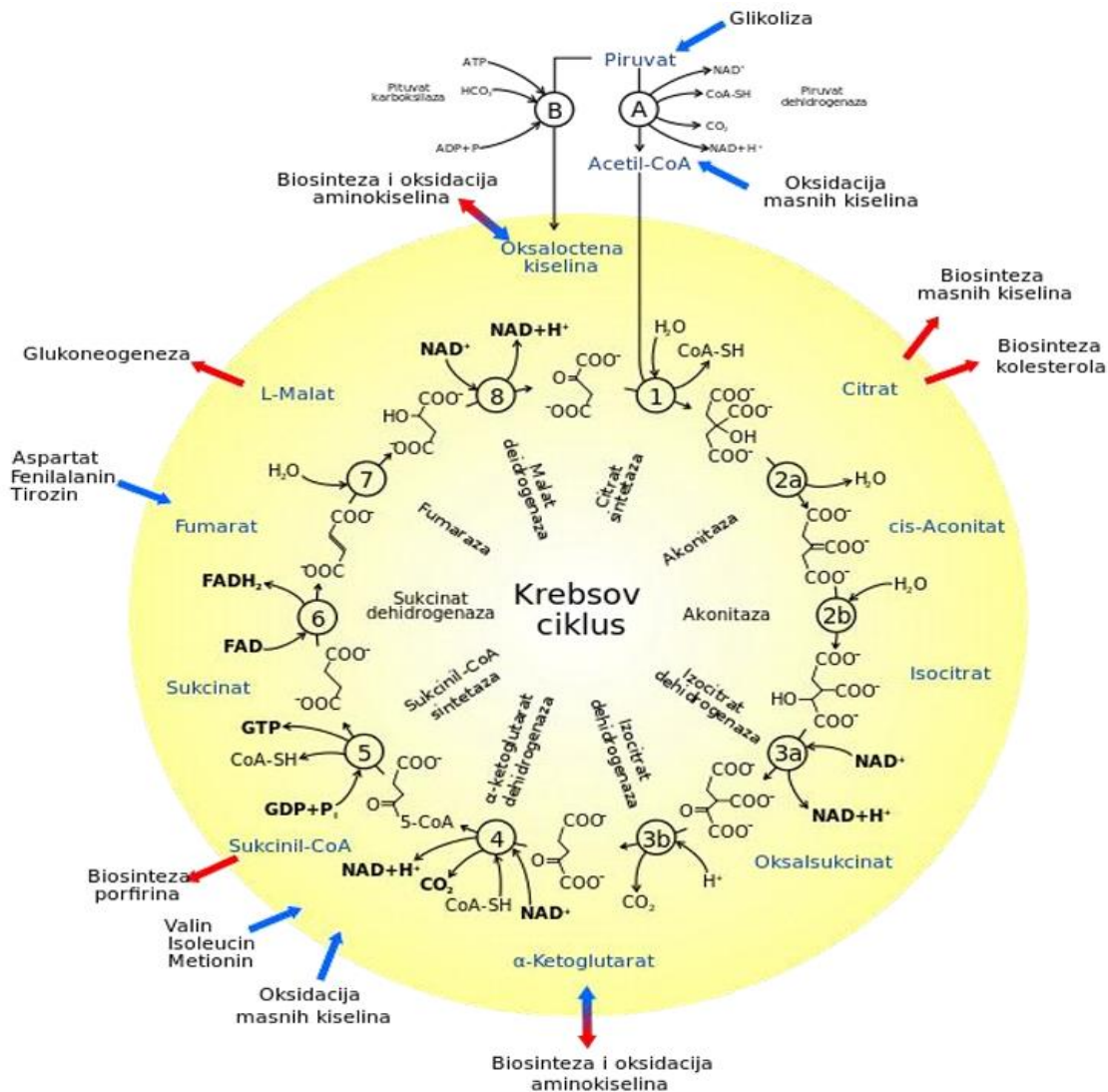


glukoza                      limunska kiselina

Limunska kiselina nastaje kao međuprodukt u ciklusu limunske kiseline, a za njenu sintezu odgovorne su plijesni *Aspergillus niger* i *Aspergillus wentii*. Ove plijesni se obično najepljuju na različite izvore ugljenih hidrata poput kukuruznog škroba, kukuruznog brašna, šećerne repe, melase, soka od šećerne trske i sirovog šećera. Proces se odvija u velikim fermentacijskim cisternama pod aerobnim uslovima, uz snažno aeriranje kako bi se obezbjedilo optimalno snabdijevanje kiseonikom. Tokom svog rasta u hranljivoj podlozi, plijesni koriste glukoza kao izvor energije, pri čemu enzimskom razgradnjom dolazi do proizvodnje limunske kiseline. Važno je napomenuti da ove plijesni nemaju enzime koji omogućuju dalje reakcije u ciklusu limunske kiseline, zbog čega proces završava na nivou limunske kiseline kao krajnjeg proizvoda (Matovina, 2015). Hemizam nastanka limunske kiseline iz šećera još uvijek nije u potpunosti razjašnjen. Ipak, smatra se da sinteza limunske kiseline uključuje proste hemijske reakcije preko

pirogroždane, odnosno sirćetne kiseline. Ove kiseline nastaju najvjerojatnije putem anaerobnih uslova fermentacije šećera. S obzirom na to da limunska kiselina sadrži veći broj atoma ugljenika nego pirogroždana (ili sirćetna) kiselina, pretpostavlja se da limunska kiselina nastaje kroz procese kondenzacije, uz učesće kofermenta A (CoA), pri čemu dolazi do oksidacije, dekarboksilacije i hidratacije. Na primer, poznat je proces kondenzacije acetil-CoA i oksalacetatne kiseline uz prisustvo molekula vode, pri čemu se oslobađaju molekuli vodonika (H) i ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>), što rezultira stvaranjem limunske kiseline.

Krebsov ciklus, poznat i kao ciklus limunske kiseline ili ciklus trikarboksilnih kiselina (TCA ciklus), predstavlja osnovni aerobni biološki proces oksidacije. U prisustvu kiseonika (aerobnim uslovima), biološka oksidacija šećera, masnih kiselina, aminokiselina, alkohola i drugih jedinjenja odvija se do potpune mineralizacije, što znači do oslobađanja ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>) i vode (H<sub>2</sub>O). H. A. Krebs je utvrdio da ove reakcije imaju ciklični tok i da su ključne za proizvodnju slobodne hemijske energije potrebne živim ćelijama. U ovom ciklusu hemijskih reakcija učestvuju kiseline koje imaju dve ili tri karboksilne grupe, a ime „ciklus limunske kiseline“ potiče od prve kiseline koja nastaje tokom ovog procesa — limunske kiseline ([www.tehnologijahrane.com](http://www.tehnologijahrane.com)).



Slika 11. Ciklus limunske kiseline

### 2.5.2 Uloga fermentacije u smanjenju koncentracije mikotoksina i pesticida u prehrambenim proizvodima

Posljednjih godina sve više pažnje posvećuje se primjeni fermentacijskih procesa za smanjenje ostataka pesticida, odnosno uticaju fermentativnih mikroorganizama na degradaciju pesticida u prehrambenim proizvodima. Istraživanja na ovom polju započela su krajem 1960-ih i početkom 1970-ih godina (Đorđević, 2013). Probiotički kvasci i bakterije mliječne kiseline, koje su prirodno prisutne u brojnim prehrambenim proizvodima, pokazali su značajnu sposobnost u vezi

sa mikotoksinima. Zbog svoje efikasnosti u adsorpciji aflatoksina, proučavana je i njihova sposobnost vezivanja AFM1 u mlijeku i mliječnim proizvodima. Eksperimentalna istraživanja su pokazala da ovi biološki adsorbensi brzo vežu AFM1, pri čemu efikasnost vezivanja zavisi od nekoliko faktora, kao što su vrijeme inkubacije, temperatura, pH vrijednost i koncentracija mikroorganizama. Ove biološke metode kontrole ("biokontrola") doprinose inhibiciji rasta gljivica i smanjenju stvaranja aflatoksina (Assaf i sar., 2019).

### **3. HIPOTEZA I CILJ RADA**

Na osnovu do sada izloženih saznanja i ciljeva ovog master rada, u nastavku se navode hipoteze koje će biti predmet daljeg ispitivanja i analize.

***Hipoteza 1:***

Praćenje (monitoring) koncentracije mikotoksina i sadržaja rezidua pesticide u hrani je veoma bitan segment u pogledu ocjene njene bezbjednosti.

***Hipoteza 2:***

Proces fermentacije utiče na koncentraciju mikotoksina u prehrambenim proizvodima.

***Hipoteza 3:***

Proces fermentacije utiče na sadržaj ostataka pesticide u prehrambenim proizvodima.

## 4. MATERIJAL I METODE

Svrha ovog istraživanja je potreba da se sagledaju potencijali prirodnih i održivih metoda za unaprjeđenje sistema bezbjednosti hrane, sa posebnim fokusom na proces fermentacije koji može uticati na smanjenje prisustva kontaminenata, poput mikotoksina i ostataka pesticida u hrani. Postoje brojni dokazi u naučnoj literaturi da proces fermentacije, pod određenim uslovima, može značajno smanjiti koncentraciju mikotoksina u hrani. Mikroorganizmi poput bakterija mliječne kiseline, određenih kvasaca i plijesni mogu razgraditi ili vezati mikotoksine, čime se smanjuje njihova biološka dostupnost. Efikasnost ovog procesa zavisi od vrste mikroorganizama, vrste mikotoksina, uslova fermentacije i vrste prehrambenog proizvoda. Određene bakterije i kvasci koji se koriste u fermentaciji, pokazali su sposobnost da razgrađuju ili transformišu pesticide putem enzimske aktivnosti. Literatura ukazuje na to da uslovi poput pH vrijednosti, temperature i trajanja fermentacije mogu uticati na stepen razgradnje pesticida. Iako je istraženo u manjoj mjeri u poređenju sa mikotoksinima, postoje dokazi koji podržavaju ovu tvrdnju, posebno kod fermentisanih biljnih proizvoda. Cilj istraživanja jeste da se, kroz analizu relevantne naučne literature i postojećih istraživanja, utvrdi u kojoj mjeri fermentacioni procesi mogu doprinijeti smanjenju koncentracije mikotoksina i pesticida u hrani.

S obzirom na to da se istraživanje bazira na analizi postojećih naučnih podataka, u radu se koristi kvalitativna metodologija. Biće izvršen sveobuhvatan pregled domaćih zvaničnih izvještaja o rezultatima analize mikotoksina i ostataka pesticida, domaćih i međunarodnih naučnih radova, stručnih članaka te publikacija koji se bave uticajem fermentacije na degradaciju mikotoksina i pesticida. S obzirom da istraživanje ne uključuje vlastiti eksperimentalni rad, sve metode su usmjerene ka teorijskoj i analitičkoj obradi podataka iz sekundarnih izvora.

U ovom radu korišćeni su i analizirani podaci iz zvaničnih izvještaja Agencije za bezbjednost hrane Bosne i Hercegovine, koji se odnose na prisustvo ostataka pesticida u hrani biljnog i životinjskog porijekla, kao i na količine mikotoksina u prehrambenim proizvodima. Agencija, u skladu sa odredbama Zakona o hrani („Službeni glasnik BiH“, broj 50/04), djeluje u okviru svoje nadležnosti i u saradnji sa laboratorijama za kontrolu hrane u Bosni i Hercegovini – iz oblasti

javnog zdravstva, veterinarstva, poljoprivrede i privatnog sektora. Agencija prikuplja, objedinjuje i dostavlja Savjetu ministara Bosne i Hercegovine godišnje izvještaje o bezbjednosti hrane.

Pravilnikom o provođenju plana praćenja - monitoringa hrane („Službeni glasnik BiH“, broj 21/11) utvrđuje se način i postupci provjere zdravstvene ispravnosti i higijene hrane radi utvrđivanja količina nutrijenata, aditiva, kontaminanata, genetički modificovanih organizama (u daljem tekstu: GMO), mikrobioloških kriterijuma hrane, drugih sastojaka i materija, čiji je cilj utvrđivanje unosa pojedinih štetnih sastojaka ili materija u organizam, procjena rizika i ugroženosti zdravlja potrošača.

Član 2. stav (2) navedenog Pravilnika definiše da je plan praćenja - monitoring hrane sistemsko provođenje analiza, prikupljanje, obrada i evaluacija podataka o količinama pojedinih odobrenih sastojaka hrane te njihovom unosu u organizam čovjeka.

Članom 3. Propisani su opšti ciljevi provođenja plana praćenja - monitoringa hrane:

- a) utvrđivanje količina i trendova štetnih materija, aditiva, nutrijenata, GMO-a, mikrobioloških kriterijuma i drugih sastojaka u hrani prisutnoj na tržištu Bosne i Hercegovine,
- b) procjena unosa u ljudski organizam sastojaka i materija iz tačke a) ovog člana i utvrđivanja odstupanja od važećih standarda i maksimalno dozvoljenih količina za pojedine vrste hrane,
- c) upoređivanje dobivenih rezultata sa međunarodno važećim referentnim toksikološkim i prehrambenim vrijednostima te ocjena njihovog uticaja na zdravlje potrošača,
- d) otkrivanje i sprečavanje krivotvorenja i patvorenja prehrambenih proizvoda;
- e) prikupljanje i evaluacija podataka značajnih za procjenu rizika a u skladu sa članom 5. Zakona o hrani ("Službeni glasnik BiH", broj 50/04).

Ovaj Pravilnik propisuje da su za provođenje monitoringa hrane važeći uzorci hrane uzorkovani na tržištu Bosne i Hercegovine na mjestima na kojima se potrošači snabdijevaju hranom (tržnice, veletržnice, prodavnice, supermarketi, restorani, otkupna mjesta i sl.). Uzimanje uzoraka hrane za laboratorijsko ispitivanje za potrebe provođenja monitoringa obavljaju nadležne inspekcije entiteta, kantona i Brčko Distrikta BiH u saradnji sa stručnim osobljem Agencije. Uzimanje

uzoraka obavlja se u skladu sa uputstvom o načinu uzorkovanja i akreditovanim analitičkim metodama za obavljanje pojedinih analiza ili grupa analiza za pojedine vrste hrane, odnosno artikala i predmeta u kontaktu s hranom. Ispitne i referentne laboratorije određene za provođenje monitoringa hrane moraju biti ovlaštene za svoj rad, na osnovu Pravilnika o uslovima koje moraju ispunjavati ovlaštene ispitne laboratorije koje provode analize hrane i postupku ovlašćivanja laboratorija ("Službeni glasnik BiH", broj 37/09).

Izveštaj o provođenju i rezultatima monitoringa hrane izrađuje Agencija u saradnji sa nadležnim organima entiteta i Brčko Distrikta BiH.

Za potrebe ovog rada iskorišćeni su podaci iz *„Izveštaja o rezultatima sprovedenih laboratorijskih analiza hrane, pojavi i kretanjima oboljenja čiji je uzrok ili put prenosa hrana i prijavljenim slučajevima zoonoza za 2024. godinu“*, kao i iz *„Izveštaja o provedenom programu kontrole ostataka pesticida u i na hrani biljnog i životinjskog porijekla u BiH za 2023. godinu“*.

## **5. REZULTATI I DISKUSIJA**

### **5.1 Značaj provođenja monitoringa na pesticide i mikotoksine**

Monitoring ostataka pesticida i mikotoksina u prehrambenim proizvodima predstavlja ključni element u zaštiti zdravlja potrošača, osiguranju kvaliteta hrane te ispunjavanju zakonskih i regulatornih zahtjeva. Radi se o kontinuiranom i sistematskom praćenju prisustva ovih štetnih supstanci u hrani biljnog i životinjskog porijekla, s ciljem pravovremenog identifikovanja potencijalnih rizika i sprovođenja adekvatnih mjera za njihovo otklanjanje.

Posebnu važnost monitoring ima u zaštiti osjetljivih grupa stanovništva, kao što su djeca, trudnice i hronični bolesnici, koji su podložniji negativnim zdravstvenim efektima izazvanim kontaminantima u hrani. Redovno praćenje omogućava identifikaciju rizičnih prehrambenih proizvoda i izvora zagađenja, te predstavlja osnovu za donošenje preventivnih i korektivnih mjera u prehrambenom lancu.

U Evropskoj uniji, ove informacije koristi Evropska agencija za sigurnost hrane (EFSA), koja na osnovu prikupljenih rezultata provodi procjene rizika. Prema najnovijem izvještaju EFSA-e za 2023. godinu, rizik po zdravlje potrošača od ostataka pesticida i dalje je nizak (EFSA, 2025). Izvještaj je izrađen na osnovu laboratorijskih analiza uzoraka hrane koja se redovno konzumira na tržištu EU, obuhvatajući 13 246 uzoraka uzetih nasumičnim uzorkovanjem u okviru koordinisanog programa kontrole EU, te 132 793 uzorka iz višegodišnjih nacionalnih kontrolnih programa (EFSA, 2025).

Osim pregleda rezultata, izvještaji o monitoringu sadrže i preporuke za unapređenje postojećih sistema kontrole. EFSA posebno naglašava potrebu za kontinuiranim i sistematskim nadzorom, pojačanom kontrolom pesticida i određenih kultura sklonih prekoračenju dozvoljenih vrijednosti, kao i intenzivnijim praćenjem ostataka pesticida u uvozu hrane iz trećih zemalja.

Kao integralni dio šire strategije bezbjednosti hrane, monitoring pesticida i mikotoksina doprinosi izgradnji transparentnog i efikasnog sistema zaštite potrošača. Osim što osigurava zdravstvenu bezbjednost, ovaj proces jača povjerenje javnosti u nadležne institucije i garantuje usklađenost sa međunarodnim standardima i zahtjevima tržišta.

## 5.2 Rezultati monitoringa ostataka pesticida u hrani biljnog i životinjskog porijekla u Bosni i Hercegovini za 2023. godinu

U okviru ovog rada analizirani su podaci iz godišnjeg izvještaja Agencije za bezbjednost hrane BiH o prisustvu ostataka pesticida u hrani biljnog i životinjskog porijekla za 2023. godinu. Ovaj izvještaj je izrađen u skladu sa odredbama člana 14. Pravilnika o maksimalnim nivoima ostataka pesticida („Službeni glasnik BiH“, broj 48/21), te predstavlja dio redovnog nacionalnog Programa kontrole ostataka pesticida.

Tokom 2023. godine sprovedeno je ispitivanje 155 uzoraka različitih vrsta hrane, u okviru kojeg je izvršeno ukupno 23591 laboratorijska analiza na prisustvo ostataka pesticida. Rezultati ukazuju da u 97 uzoraka (62,6 %) ostaci pesticida nisu detektovani u koncentracijama koje prelaze nivo kvantifikacije. U preostalih 58 uzoraka (37,4 %) pesticidi su detektovani u koncentracijama koje omogućavaju kvantifikaciju.

Detaljnijom analizom ustanovljeno je da je 48 uzoraka (31,0 %) sadržavalo pesticide u koncentracijama ispod maksimalno dozvoljenih nivoa (MRL), dok je u 10 uzoraka (6,4 %) došlo do prekoračenja MRL vrednosti. Ipak, uzorci sa prekoračenjima su ostali unutar granica mjerne nesigurnosti i stoga su klasifikovani kao usklađeni sa važećim propisima. Važno je naglasiti da nijedan uzorak nije ocijenjen kao neodgovarajući, što predstavlja značajan indikator bezbjednosti hrane na tržištu.

Najveći broj graničnih slučajeva, u kojima su koncentracije pesticida bile blizu ili iznad MRL-a, zabilježen je u narandžama (5 uzoraka), zatim po jedan slučaj u kiviju, karfiolu, mrkvi, raži u zrnju i krompiru.

Analiza je obuhvatila ukupno 197 aktivnih materija. Od tog broja, 160 nije detektovano u kvantifikovanim koncentracijama ni u jednom uzorku, što ukazuje na ograničenu upotrebu ili efikasno poštovanje propisa. Preostalih 37 pesticida registrovano je u kvantifikovanim koncentracijama u različitim proizvodima, s tim da su najčešće detektovane sljedeće supstance:

- **THPI** – 12,97 %
- **Cyromazine** – 11,62 %
- **Pyrimethanil** i **Imazalil** – po 8,39 %

- **Thiabendazole** – 7,63 %
- **Tebuconazole** i **Fludioxonil** – po 6,87 %
- **Chlorantraniliprole** i **Captan** – po 6,10 %
- **Pyraclostrobin** – 5,34 %

Pogledom na kategorije proizvoda, uzorci su raspoređeni na sljedeći način:

- Voće – 44 uzorka
- Povrće – 55 uzoraka
- Žitarice – 22 uzorka
- Proizvodi životinjskog porijekla – 24 uzorka
- Hrana za dojenčad i djecu – 10 uzoraka

Značajna je činjenica da u uzorcima hrane životinjskog porijekla (goveđa jetra i mast peradi), kao i u polaznoj i prerađenoj hrani za djecu i dojenčad, **nisu detektovani pesticidi** u kvantifikovanim koncentracijama. Ovo potvrđuje poseban nivo kontrole i bezbjednosti ovih osjetljivih kategorija hrane.

Uzorkovanje i analize su sprovedeni u skladu sa EU Uredbom 2022/741, u okviru koordinisanog višegodišnjeg programa kontrole za period 2023 – 2025. godine, koji obuhvata 15 ciljanih vrsta proizvoda, uključujući jabuku kao dodatni nacionalni proizvod.

Uporedna analiza sa prethodnom godinom pokazuje na pozitivan trend, prisustvo ostataka pesticida u uzorcima smanjeno je za 8,8 % u odnosu na 2022. godinu. Ovaj napredak može se pripisati unapređenju sistema kontrole, promjenama u načinu primjene sredstava za zaštitu bilja, kao i rastućoj svijesti proizvođača o značaju bezbjednosti hrane i poštovanju propisa.

### **5.3 Uporedna analiza prisustva ostataka pesticida u hrani u Bosni i Hercegovini, Evropskoj uniji, Hrvatskoj za 2023. godinu**

Zbog značaja bezbjednosti hrane i potrebe za usklađivanjem sa evropskim zakonodavstvom u oblasti ostataka pesticida, u ovom poglavlju prikazan je uporedni pregled rezultata nacionalnih kontrola koje su tokom 2023. godine sprovele Bosna i Hercegovina, Hrvatska i Evropska unija. Akcenat je stavljen na Bosnu i Hercegovinu, dok je kao referentna zemlja iz neposrednog

okruženja odabrana Hrvatska, budući da primjenjuje harmonizovane EU standarde i redovno objavljuje relevantne podatke. Hrvatska je izabrana i zbog nedostatka dostupnih podataka iz drugih zemalja iz okruženja.

U poređenju su korišćeni i zvanični podaci iz godišnjeg izvještaja Evropske agencije za bezbjednost hrane (EFSA), čime je omogućen širi kontekst i detaljnije sagledavanje pozicije Bosne i Hercegovine u odnosu na evropske standarde kontrole ostataka pesticida. Ovakav pristup pruža uvid u stepen usklađenosti domaće kontrole sa praksama u okruženju i unutar Evropske unije, te omogućava identifikaciju potencijalnih prostora za unapređenje sistema nadzora bezbjednosti hrane.

Tabela 2. Uporedni prikaz rezultata ispitivanja ostataka pesticida u hrani u Bosni i Hercegovini, Hrvatskoj i Evropskoj uniji u 2023. godini.

<b>Pokazatelj</b>	<b>Bosna i Hercegovina</b>	<b>Hrvatska</b>	<b>Evropska unija</b>
<b>Broj analiziranih uzoraka hrane</b>	155	565	132 793
<b>Uzorci ispod LOQ</b>	62,6 %	51 %	58 %
<b>Uzorci sa ostacima ispod ili na MRL</b>	31 %	49 %	38,3 %
<b>Uzorci sa prekoračenim MRL</b>	6,4 % (unutar mjerne nesigurnosti)	2 %	3,7 %
<b>Neusklađeni uzorci</b>	0 %	2 %	2 %

U 2023. godini, analiza ostataka pesticida u hrani pokazuje da Evropska unija i Hrvatska imaju visok nivo usklađenosti sa zakonskim ograničenjima – oko 98 % uzoraka nalazi se unutar dozvoljenih vrijednosti, dok su prekoračenja rijetka i pod kontrolom mjernih nesigurnosti. Hrvatska prati opšte EU trendove, uz blago smanjenje domaće proizvodnje i povećan uvoz hrane iz trećih zemalja.

Bosna i Hercegovina, iako sa znatno manjim brojem analiziranih uzoraka u poređenju sa EU i Hrvatskom, bilježi pozitivan trend kada je riječ o prisustvu pesticida u hrani. Nijedan uzorak nije proglašen neusklađenim, što ukazuje na efikasnu kontrolu i generalno dobar nivo bezbjednosti hrane na tržištu. Ipak, relativno mali broj uzoraka može ograničiti reprezentativnost i uporedivost sa drugim zemljama. Čak su i uzorci sa prekoračenjem MRL-a ostali unutar granica mjerne nesigurnosti, te su klasifikovani kao usklađeni sa važećim propisima.

Ovi rezultati predstavljaju važan pokazatelj stabilnog sistema kontrole i opšte bezbjednosti hrane na tržištima EU, Hrvatske i Bosne i Hercegovine.

#### **5.4 Uticaj fermentacije na sadržaj ostataka pesticida u prehrambenim proizvodima**

Prvi naučni radovi o uticaju fermentacije na razgradnju ostataka pesticida pojavili su se krajem 1960-ih i početkom 1970-ih godina, fokusirajući se na mehanizme dehlorizacije DDT-a pomoću mikroorganizama (Đorđević, 2013). Određene bakterije i kvasci koji se koriste u fermentaciji pokazali su sposobnost da razgrađuju ili transformišu pesticide putem enzimske aktivnosti. Posebne perspektive leže u razvoju efikasnijih strategija biodetoksikacije pomoću probiotskih bakterija mliječne kiseline (Armenova i sar., 2023). Mikroorganizmi sa najvećom sposobnošću razgradnje pesticida pripadaju rodovima *Bacillus*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* i *Rhodococcus*, kao i gljivama iz rodova *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium* i *Trichoderma* (Armenova, 2023).

Literatura ukazuje na to da uslovi poput pH vrijednosti, temperature i trajanja fermentacije mogu uticati na stepen razgradnje pesticida. Iako je u manjoj mjeri istraženo u poređenju sa mikotoksinima, postoje dokazi koji podržavaju ovu tvrdnju, posebno kod fermentisanih biljnih proizvoda. Rezultati Duan i sar. (2018) pokazuju da fermentacija značajno smanjuje zaostalu koncentraciju organohlorinih pesticida (OCP) u jogurtu, pri čemu je ključna bila aktivnost starter kultura. S druge strane, Rezaei i sar. (2021) uočili neznatnu ulogu *Lactobacillus plantarum* u razgradnji p,p'-DDT i lindana u tripton sojinom bujonu (TSB) i mineralnoj slanoj podlozi (MSM), sa ili bez 120 ppm nitrita.

Značajne rezultate postigla je Đorđević (2013), čije istraživanje je pokazalo da fermentacija pšenice pomoću *Lactobacillus plantarum* i *Saccharomyces cerevisiae* može efikasno smanjiti

kontaminaciju pšenice pirimifos-metilom, hlorpirifos-metilom i bifentrinom, iznad njihovih MDK vrijednosti. Degradacija pirimifos-metila i bifentrina bila je izraženija tokom mliječnokiselinske fermentacije, dok je hlorpirifos-metil bio uspješnije razgrađen u toku fermentacije kvascem.

Ying i Zhao (2010) ispitivali su razgradnju sedam organofosfornih pesticida (dention, dimetoat, malation, metil paration, monokrotofos, forat, trihlorfon) u goveđem mlijeku tokom termičke obrade (63 °C, 80 °C i 100 °C) i fermentacije (42 °C) uz DVS starter kulture. Utvrđeno je da viša temperatura i fermentacija ubrzavaju razgradnju pesticida, posebno djelovanjem mliječnih bakterija. Metil paration je bio najnestabilniji, a forat najstabilniji. Ove metode efikasno smanjuju nivo pesticida u mliječnim proizvodima.

Arab A.A.K. (2002) ispitivao je uticaj starter kultura koje se koriste u mesnoj industriji na razgradnju pesticida DDT i lindana. Upoređivao je učinak bakterija *Lactobacillus plantarum* i *Micrococcus varians* u različitim medijima (TSB i MSM), s dodatkom nitrita i bez njega. *L. plantarum* nije značajno uticao na razgradnju, dok je *M. varians* pokazao sposobnost razgradnje DDT-a i lindana, pri čemu su nastajali različiti razgradni proizvodi (npr. DDD i hlorfenoli). Takođe je utvrđeno da fermentacija kobasica tokom 72 sata smanjuje količinu DDT-a i lindana za 10 %, odnosno 18 %, što potvrđuje da starter kulture mogu doprinijeti smanjenju ostataka pesticida u mesnim proizvodima.

Azizi i Homayouni (2009) zaključili su da izolovane bakterije mliječne kiseline imaju značajan potencijal za razgradnju pesticida malationa i diazinona tokom fermentacije. Najveća populacija ovih bakterija zabilježena je unutar prvih 24 sata fermentacije, a nakon 48 sati došlo je do značajnog smanjenja koncentracije malationa sa 3,5 mg/kg na 0,5 mg/kg. Takođe je primjećeno postepeno snižavanje pH vrijednosti, što potvrđuje efikasnost ovih bakterija u smanjenju ostataka pesticida u fermentisanim proizvodima. Prilagođeni mikroorganizmi uspješno su rasli u medijumu koji je sadržao malation i diazinon, a njihova primjena u mješovitoj kulturi pokazala je najbolju sposobnost razgradnje pesticida i snižavanja pH vrijednosti.

Cho i sar. (2009) ispitivali su razgradnju insekticida hlorpirifosa (CP) tokom fermentacije kimchija. Utvrdili su da se CP brzo razgrađuje i potpuno nestaje do devetog dana. Izolovali su

četiri bakterije mliječne kiseline: *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum* i *Lactobacillus sakei*, koje mogu koristiti CP kao jedini izvor ugljenika i fosfora. Te su bakterije takođe razgradile i druge organofosforne pesticide poput kumaphosa, diazinona, parationa i metilparationa.

Navarro i sar. (2007) ispitivali su različite pesticide tokom procesa proizvodnje slada od ječma. Istraživali su kako se herbicidi (pendimetalin i trifluralin), organofosforni insekticidi (fenitrotion i malation) te fungicidi (nuarimol, miklobutanil i propikonazol) razgrađuju kroz faze natapanja, kaljenja i sušenja.

Banna i sar. (1982) ispitivali su promjenu koncentraciju pesticide parationa tokom fermentacije jabukovog soka u jabukovaču i sirće. Zaključeno je da se paration značajno razgrađuje, najviše vezivanjem za talog i tokom skladištenja, čime se smanjuje njegov ostatak u gotovim proizvodima.

Palanisamy i Vijila (2022) ispitivali su sojeve *Lactobacillus plantarum* Pb3, *Lactobacillus acidophilus* Pc1 i *Lactobacillus lactis* Pt4, kako bi procijenili njihovu antioksidativnu sposobnost i otpornost na simulativne uslove želučanog i crijevnog soka, naročito u kontekstu oksidativnog oštećenja izazvanog pesticidima hlorspirifosom, imidaklopridom i hlorantraniliprolom. Među ispitivanim sojevima, *L. plantarum* Pb3 pokazao je najveću sposobnost inhibicije lipidne peroksidacije i hvatanja hidroksilnih radikala u prisustvu navedenih pesticide, kao i najbolju toleranciju na gastrointestinalne uslove. Ovi rezultati ukazuju na značajan potencijal *L. plantarum* Pb3 da štiti ljudski organizam od štetnih efekata pesticide i predstavljaju osnovu za njegovu upotrebu kao efikasnog probiotika u prevenciji oksidativnih oštećenja izazvanih dejstvom pesticide.

Zhang i sar. (2016) analizirali su sposobnost mliječnokiselinskih bakterija da razgrađuju organofosforne pesticide u silaži cijele kukuruzne biljke. U svojoj studiji testirali su sojeve *Lactobacillus plantarum* (1.0315, 1.0624 i 1.0622), kao i njihovu kombinaciju, pri čemu su dodavali hlorspirifos i forat u kukuruznu masu tokom fermentacije od 10 nedelja. Rezultati su pokazali da su inokulisane bakterije značajno ubrzale razgradnju pesticide, pri čemu je kombinacija sojeva bila efikasnija od pojedinačnih sojeva i prirodno prisutnih mikroorganizama.

Posebno je primjećeno da je forat imao višu stopu razgradnje u poređenju sa hlorpirifosom, koji se pokazao kao stabilniji. Ovi rezultati ukazuju na to da mliječnokiselinske bakterije, osim što doprinose fermentaciji silaže, imaju značajan potencijal u povećanju bezbjednosti stočne hrane kroz biološku razgradnju pesticida.

### 5.5 Rezultati sprovedenih laboratorijskih analiza hrane na prisustvo mikotoksina za 2024. godinu

Podaci iz zvaničnog *Izveštaja o rezultatima sprovedenih laboratorijskih analiza hrane, pojavi i kretanjima oboljenja čiji je uzrok ili put prenosa hrana, te prijavljenim slučajevima zoonoza za 2024. godinu* (Agencija za bezbjednost hrane BiH, 2025) korišćeni su kao osnovni izvori za ovaj dio rada. Izveštaj obuhvata samo podatke koje su dostavile laboratorije za kontrolu hrane u Bosni i Hercegovini iz sektora javnog zdravstva, veterinarstva, poljoprivrede i privatnog sektora. Napominje se da podaci nisu kompletni, jer sve laboratorije nisu dostavile svoje izvještaje Agenciji.

Na osnovu pristiglih i obrađenih podataka, u periodu od 1. januara do 31. decembra 2024. godine, u Bosni i Hercegovini je izvršeno ukupno 1 063 laboratorijskih analiza na prisustvo mikotoksina. Rezultati su pokazali da 31 uzorak (2,92 %) nije bio u skladu sa važećim propisima (tabela 3).

*Tabela 3. Rezultati laboratorijskih analiza mikotoksina u hrani (Agencija za bezbjednost hrane, 2025)*

<b>Mikotoksini</b>			
<b>KATEGORIJA HRANE</b>	<b>Ukupan broj analiziranih uzoraka</b>	<b>Broj neodgovarajućih uzoraka</b>	<b>Neodgovarajući uzorci (%)</b>
Žitarice i primarni proizvodi od žitarica	573	29	5,06
Tijesto i proizvodi na bazi tijesta	8	0	0,00
Povrće i njegovi primarni	0	0	0,00

proizvodi			
Sjeme mahunarki i njegovi primarni proizvodi	4	0	0,00
Voće i njegovi primarni proizvodi	33	0	0,00
Orašasti plodovi i primarni proizvodi dobijeni od njih	85	0	0,00
Uljarice sjeme i plodovi	24	0	0,00
Biljke bogate šećerom	0	0	0,00
Skrobno korijenje i gomolji	0	0	0,00
Aromatično bilje, začini i slično	0	0	0,00
Voćni/ povrtni i biljni sokovi, namazi i slični proizvodi	0	0	0,00
Meso i proizvodi od mesa stoke, peradi i divljači	0	0	0,00
Ribe i proizvodi od ribe	0	0	0,00
Morski plodovi i proizvodi od morskih plodova	0	0	0,00
Puževi, insekti i gliste	0	0	0,00
Mlijeko i mliječni proizvodi	243	2	0,82
Jaja i proizvodi od jaja	0	0	0,00
Proizvodi koji su imitacija mesa i mlijeka	0	0	0,00
Aromatizovana voda, pića na bazi vode i slični proizvodi	0	0	0,00
Sastojci za tople napitke i infuzije	2	0	0,00
Topli napici i slično	0	0	0,00
Alkoholna pića	0	0	0,00
Konditorski proizvodi,	0	0	0,00

uključujući čokoladu			
Prehrambeni proizvodi za mladu populaciju	87	0	0,00
Proizvodi za posebne prehrambene potrebe	0	0	0,00
Složena jela/gotova jela	4	0	0,00
So, sosovi, začini i ostali dodaci hrani	0	0	0,00
Životinjske i biljne masti i ulja i njihovi primarni proizvodi	0	0	0,00
Šećeri i slični proizvodi	0	0	0,00
Med i ostali pčelinji proizvodi	0	0	0,00
Ostali izolovani pročišćeni proizvodi (aditivi, stoni zaslađivači, proteini, arome, enzimi, supstance za obogaćivanje)	0	0	0,00
<b>Ukupno</b>	<b>1 063</b>	<b>31</b>	<b>2,92</b>

Detaljna analiza po kategorijama hrane pokazuje da je najveći procenat neodgovarajućih uzoraka zabilježen u grupi žitarica i primarnih proizvoda od žitarica. Od ukupno 573 analizirana uzorka, njih 29 (5,06 %) nije ispunjavalo propisane standarde. Ovakav rezultat je donekle očekivan, s obzirom na to da su žitarice posebno podložne kontaminaciji mikotoksinima, naročito aflatoksinom i deoksinivalenolom. Ovi toksini često se pojavljuju usljed nepovoljnih uslova skladištenja i same prirode ovih proizvoda. Ova kategorija prehrambenih proizvoda ima poseban značaj budući da žitarice predstavljaju jedan od osnovnih izvora hrane u ljudskoj ishrani. Kontaminacija mikotoksinima može imati ozbiljne zdravstvene posljedice, posebno zbog mogućnosti kumulativnog efekta tih supstanci u prehrambenom lancu. S obzirom na utvrđeni stepen neusklađenosti, neophodno je posvetiti posebnu pažnju ovoj kategoriji, uz primjenu rigoroznijih preventivnih mjera i kontrole kvaliteta.

Za razliku od žitarica, ostale kategorije hrane pokazale su znatno nižu stopu neusklađenosti ili su u potpunosti bile u skladu sa propisima. Na primjer, u mliječnim proizvodima od ukupno 243 analizirana uzorka evidentirana su samo 2 neodgovarajuća uzorka (0,82 %), što ukazuje na relativno visok kvalitet i efikasnost postojećih kontrolnih procedura u ovoj kategoriji. Slično tome, u grupama poput voća, povrća, orašastih plodova, uljarica i proizvoda za specifične prehrambene potrebe, nisu zabilježeni neodgovarajući uzorci.

Navedeni rezultati potvrđuju važnost kontinuiranog i ciljano usmjerenog monitoringa mikotoksina, naročito u kategorijama koje su podložnije kontaminaciji, kao što su žitarice. Ovi podaci ukazuju na potrebu za dodatnim mjerama kontrole i prevencije u procesu proizvodnje, skladištenja i distribucije hrane, naročito u segmentima sa višim rizikom.

Zaključno, dobijeni podaci potvrđuju da sistem monitoringa mikotoksina u Bosni i Hercegovini funkcioniše u skladu sa evropskim standardima, ali da postoje izazovi u određenim segmentima prehrambene industrije, koji zahtijevaju kontinuiranu pažnju, unapređenje preventivnih mjera i edukaciju svih aktera u lancu ishrane.

## **5.6 Uticaj procesa fermentacije na koncentraciju mikotoksina u prehrambenim proizvodima**

Prevenција nastanka mikotoksina i njihova detoksifikacija predstavljaju dvije osnovne strategije u borbi protiv kontaminacije prehrambenih proizvoda mikotoksinima. Međutim, detoksifikacija kontaminirane hrane suočava se sa brojnim izazovima, uključujući bezbjedonosne aspekte, potencijalni gubitak nutritivne vrijednosti, ograničenu efikasnost i visoke troškove. Zbog toga raste interesovanje za alternativne pristupe, među kojima se posebno ističe primjena bioloških agenasa (Moretti i sar., 2018).

Biološke metode detoksifikacije podrazumijevaju upotrebu mikroorganizama ili njihovih enzima koji su sposobni da metabolišu, razgrade ili deaktiviraju mikotoksine u stabilna, manje toksična ili netoksična jedinjenja (Pleadin, 2019). Brojna istraživanja pokazuju da fermentacija, pod određenim uslovima, može značajno smanjiti koncentraciju mikotoksina u prehrambenim proizvodima. Mikroorganizmi poput bakterija mliječne kiseline, određenih kvasaca i plijesni sposobni su da razgrade ili vežu mikotoksine, čime se smanjuje njihova biološka dostupnost.

Efikasnost ovog procesa zavisi od više faktora: vrste mikroorganizma, vrste mikotoksina, uslova fermentacije (temperatura, pH, trajanje) i vrste samog prehrambenog proizvoda. Dosadašnji rezultati u oblasti mikrobiološke dekontaminacije mogu se smatrati važnim korakom ka razvoju praktične, komercijalno primjenjive tehnologije (Juodeikiene i sar., 2012).

Upotreba mikroorganizama za uklanjanje mikotoksina iz hrane ili za smanjenje njihove koncentracije u hrani, predstavlja jedan od najperspektivnijih bioloških pristupa. Ipak, da bi ova metoda bila bezbjedna i efikasna, neophodno je ispunjenje sljedećih uslova (Jard i sar., 2011):

1. Identifikacija sposobnosti mikroorganizma za razgradnju specifičnih mikotoksina,
2. Precizna identifikacija produkata biotransformacije i procjena njihove toksičnosti,
3. Osiguranje netoksičnosti produkata razgradnje,
4. Brza i efikasna biotransformacija u različitim uslovima, posebno onima koji simuliraju probavni trakt,
5. Upotreba isključivo nepatogenih, za ljude bezbjednih mikroorganizama,
6. Aktivnost mikroorganizama u složenim biološkim sredinama bez inhibicije od strane nutrijenata,
7. Potvrda efikasnosti *in vivo*, u realnim uslovima primjene, kako bi se omogućila upotreba u prehrambenoj industriji i ljudskoj ishrani.

Razne *in vitro* studije su potvrdile da mikotoksini, poput deoksinivalenola, zearalenona, fumonizina B1 i aflatoksina, mogu nestati u roku od 24 sata prilikom inkubacije sa odgovarajućim mikroorganizmima (Abbès i sar., 2013; Ben Salah-Abbes i sar., 2015; Jebali i sar., 2015). Kao dio prirodne mikrobne populacije u spontanom procesu fermentacije hrane i pića, najčešće se koriste kvasci, posebno *Saccharomyces cerevisiae*, kao i bakterije mliječne kiseline (BMK) (Pleadin, 2019). Ben Taheur i sar. (2019) su prikazali mikotoksine i mikroorganizme koji su sposobni da ih razgrade (tabela 4).

*Tabela 4. Upotreba bakterija, kvasaca i plijesni za razgradnju mikotoksina (Ben Taheur i sar., 2019)*

<b>Mikotoksini</b>	<b>Skraćenica</b>	<b>Razgradnja pomoću mikroorganizma</b>
Aflatoksin	AFB1	<i>Lactobacillus paracasei</i> LOCK0920, <i>L. brevis</i>

		LOCK0944, <i>L. plantarum</i> LOCK0945, <i>Bacillus pumilus</i>
	AFB1, AFM1, AFG1	<i>Bacillus subtilis</i> ANSB060
	AFB1	<i>Lactobacillus kefir</i> , <i>Kazachstania servazzii</i> , <i>Acetobacter syzygii</i> <i>Rhodococcus erythropolis</i> <i>Pseudomonas putida</i> <i>Mycobacterium fluoranthenorans</i> sp. nov. DSM44556T <i>Streptomyces lividans</i> TK24
	AFB1, AFB2, AFG1, AFG2	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
	AFB1	<i>Pichia anomala</i> <i>Fusarium aurantiacum</i> strain NRRL-B-184 <i>Pseudomonas putida</i> <i>Mycobacterium fluoranthenorans</i> sp. nov. DSM44556T <i>Streptomyces lividans</i> TK24 <i>Flavobacterium aurantiacum</i>
Zearalenon	ZEN	<i>B. licheniformis</i> CK1 <i>B.pumilus</i> ES-21 <i>B. subtilis</i> <i>L. mucosaelm</i> 4208 <i>L. rhamnosus</i>
Ohratoksin	OTA	<i>L. acidophilus</i> VM 20 <i>Bifidobacterium animalis</i> VM 12 <i>L. bulgaricus</i> , <i>L. helveticus</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. subtilis</i> <i>L. rhamnosus</i> GG <i>Brevibacterium</i> <i>Cupriavidus basilensis</i> ÖR16 <i>Pediococcus parvulus</i> <i>B.amyloliquefaciens</i> ASAG1 <i>S.cerevisiae</i> O11 <i>S.cerevisiae</i> i <i>S.bayanus</i> <i>Yarrowia lipolytica</i>
Citrinin	CTN	<i>Moraxella</i> sp <i>Klebsiella pneumoniae</i> NPUST-B11 <i>Rhizobium borboli</i> PS45

		<i>Enterococcus cloacae</i> PS21
Patulin	PAT	<i>L.plantarum</i> B1 <i>L. rhamnosus</i> LR5 <i>Gluconobacter oxydans</i> <i>B.animalis</i> VM12 <i>E. faecium</i> M74 <i>Rhizopus</i> <i>S.cerevisiae</i> <i>Rhodosporidium kratochvilovae</i> <i>Metschnikowia pulcherrima</i> MACH1 <i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i> <i>Kodameae ohmeri</i> <i>Sporobolomyce ssp.</i> IAM13481 <i>Pichia caribbica</i> <i>Rhodotorula mucilaginosa</i> JM19
Trihoteceni	DON  DON i T-2  DON HT-2 T-2	<i>Nocardioides</i> i <i>Devosia</i> <i>Lactobacillus sake</i> iKTU05- 6, <i>Pediococcus acidilactici</i> KTU05-7, <i>Pediococcus pentosaceus</i> KTU05-8, KTU05-09, i KTU05-10  <i>Eggerthellasp.</i> DII-9
Beauvericin	BEV	<i>Nocardia globulera</i> <i>Bacillus sphaericus</i> <i>L. ruminis</i> , <i>L. casei</i> , <i>L. animalis</i> <i>S. cerevisiae</i>

### 5.6.1. Detoksifikacija aflatoksina

Kontrola prisustva aflatoksina u hrani i stočnoj hrani putem mikroorganizama, uključujući bakterije, kvasce i plijesni predmet je brojnih istraživanja i značajno je dokumentovana u naučnoj literaturi.

Aflatoksini su prvi mikotoksini koji su ispitivani u kontekstu mikrobne razgradnje (Pleadin, 2019). Jedno od značajnijih istraživanja sprovedi su Jebali i sar. (2015), koji su ispitali soj *Lactobacillus plantarum* MON03 (LP), izolovan iz tuniškog maslaca. Ovaj soj pokazao je izuzetnu sposobnost vezivanja aflatoksina AFB1 i AFM1, pri čemu je nakon 24 sata inkubacije

uklonjeno 82% AFB1 i 89% AFM1. S obzirom na to da je soj ocijenjen kao bezbjedan za upotrebu, smatra se dobrim kandidatom za biotehnoške procese detoksikacije mikotoksina.

Slična istraživanja sprovedli su El-Nezami i sar. (2002), koji su ispitivali sposobnost pet probiotičkih sojeva *Lactobacillus* – *L. rhamnosus* GG, *L. rhamnosus* LC705, *L. acidophilus*, *L. gasseri* i *L. casei* – da vežu aflatoksine *in vitro*. Rezultati su pokazali da su sojevi *L. rhamnosus* GG i *L. rhamnosus* LC705 bili vrlo efikasni, uklanjajući čak 80 % (w/w) aflatoksina B1 odmah nakon dodavanja.

Dodatna istraživanja Śliżewske i Smulikowske (2011) pokazala su da sojevi *L. paracasei* LOCK0920, *L. brevis* LOCK0944 i *L. plantarum* LOCK0945 uspješno uklanjaju do 60% AFB1 nakon 24 sata fermentacije. Ovi rezultati dodatno potvrđuju potencijal sojeva bakterija mliječne kiseline u biodetoksikaciji kontaminirane hrane, naročito kada se primjenjuju u fermentacijskim procesima.

Pored laktobacila, značajni rezultati dobijeni su i istraživanjima bakterija roda *Bacillus*, poznatih po sposobnosti enzimske razgradnje mikotoksina. Gu i sar. (2018) sprovedli su istraživanje soja *Bacillus pumilus* E-1-1-1, izolovanog iz fecesa afričkih slonova. U *in vitro* uslovima, ovaj soj je efikasno razgradio aflatoksin M1 (AFM1), pri čemu je zabilježeno ukupno smanjenje koncentracije AFM1 od 89,55 %, dok je 88,79 % toksina eliminisano već nakon 12 sati inkubacije. Prema dostupnim podacima, ovo je prvi poznati izvještaj koji potvrđuje sposobnost soja *B. pumilus* E-1-1-1 da razgrađuje AFM1.

Slično istraživanje sprovedli su Gao i sar. (2011), koji su analizirali različite sojeve *Bacillus subtilis*, izolovane iz crijeva životinja i tla. Utvrđeno je da određeni sojevi mogu simultano razgraditi više vrsta aflatoksina: B1, M1 i G1. Među njima, soj *B. subtilis* ANSB060, izolovan iz ribljih crijeva, pokazao je najveći potencijal, efikasnost razgradnje bila je 81,5 % za AFB1, 60 % za AFM1 i 80,7 % za AFG1. Ovi nalazi ukazuju na širok spektar djelovanja i potencijalnu primjenu u dekontaminaciji hrane i stočne hrane.

Posebno zanimljivo istraživanje sprovedli su Ben Taheur i sar.(2017), gdje je korišćen mikrobn konzorcijum iz kefirnih zrna. Tokom fermentacije u mlijeku, ovaj konzorcijum je adsorbovao 82 % do 100 % tri mikotoksina: aflatoksina B1 (AFB1), zearalenona (ZEA) i ohratoksina A (OTA).

Glavni identifikovani sojevi odgovorni za adsorpciju bili su *Lactobacillus kefir*, *Kazachstania servazzii* i *Acetobacter syzygii*. Među njima se istakao *L. kefir* KFLM3, koji je adsorbovao 80 % do 100 % svih analiziranih mikotoksina kada je uzgajan u mlijeku. Ovi nalazi pokazuju da konzumacija kefira može doprinijeti smanjenju gastrointestinalne apsorpcije ovih toksičnih supstanci i potencijalno umanjiti njihove štetne efekte na ljudsko zdravlje.

Pored bioloških metoda, određeni fizičko-hemijski procesi takođe doprinose smanjenju koncentracije mikotoksina. Chu (1975) je zabilježio značajne gubitke AFB1 i OTA tokom procesa proizvodnje piva. Važan doprinos ovoj oblasti dali su Govaris i sar. (2002), koji su proučavali uticaj fermentacije i skladištenja na koncentraciju aflatoksina M1 u kravljem mlijeku. Njihovi rezultati su pokazali da su koncentracije AFM1 pale za 13 % do 22 % nakon fermentacije u jogurtu, te dodatno za 16 % do 34 % nakon skladištenja, u zavisnosti od pH vrijednosti gotovog proizvoda (pH 4,6 i 4,0). Ova studija ukazuje da čak i standardni industrijski procesi, bez upotrebe specifičnih mikroorganizama, mogu smanjiti nivo mikotoksina u fermentisanim mliječnim proizvodima.

Pored bakterija, i kvasci pokazuju značajan potencijal u detoksikaciji mikotoksina. Studija Zhu i sar. (2015) pokazala je da upotreba *Saccharomyces cerevisiae* tokom 24 sata fermentacije može dovesti do smanjenja koncentracije AFB1 za 60 %, a potencijalno i drugih aflatoksina poput B2, G1 i G2. Ovo ukazuje na široki spektar vezivanja mikotoksina pomoću jednog od najčešće korišćenih kvasaca u prehrambenoj industriji.

Ruiyu i sar. (2012) razvili su strategiju za inhibiciju rasta *Aspergillus flavus* i istovremenu razgradnju AFB1 korišćenjem mikrobnog konzorcijuma. Optimalan omjer sojeva *Lactobacillus casei*, *Bacillus subtilis* i *Pichia anomala* u razmjeri 2:1:2 dao je najefikasniju razgradnju AFB1, posebno u periodu inkubacije između 24h i 48h. Ovi rezultati ukazuju na sinergistički efekat mješavine korisnih mikroorganizama u biološkoj detoksikaciji.

#### 5.6.2 Detoksifikacija zearalenona (ZEN)

Mikrobiološka detoksikacija zearalenona, mikotoksina koji kontaminiše žitarice i predstavlja prijetnju zdravlju ljudi i životinja, predmet je brojnih istraživanja. Različiti nepatogeni

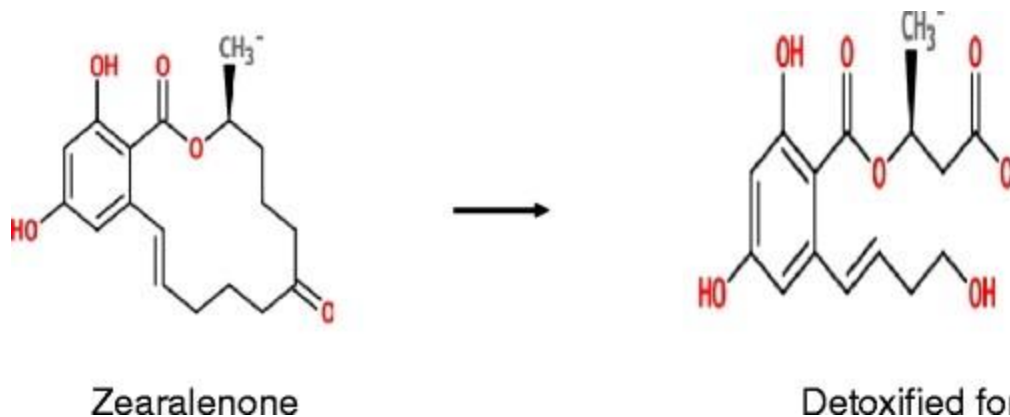
mikroorganizmi, poput probiotika i vrsta iz rodova *Bacillus*, *Saccharomyces* i *Lactobacillus*, pokazuju visok kapacitet za detoksikaciju stočne hrane kontaminirane ZEN-om.

*Bacillus* vrste posebno su istraživane zbog svog efikasnog djelovanja. Yi i sar. (2011) pokazali su da *Bacillus licheniformis* CK1, u medijumu od kukuruznog brašna kontaminiranog ZEN-om, može smanjiti koncentraciju ZEN-a za više od 98 % nakon 36 sati inkubacije. Među vrstama roda *Bacillus*, *B. licheniformis*, *B. subtilis*, *B. natto* i *B. cereus* pokazale su najjači efekat detoksikacije zearalenona u hrani i stočnoj hrani (Wang i sar., 2019).

Slično tome, Wang i sar. (2017) ustanovili su da soj *Bacillus pumilus* ES-21 može efikasno eliminisati ZEN iz MM medijuma. Primjenom metodologije odzivne površine (RSM) optimizovani su uslovi razgradnje ZEN-a, pri čemu je ovaj soj razgradio do 95,7 % ZEN-a pri početnoj koncentraciji od 17,9 µg/ml unutar 24 sata.

Što se tiče rodova *Lactobacillus* i *Saccharomyces*, Vega i sar. (2017) identifikovali su *Lactobacillus plantarum*, izolovan iz svinja, kao mikroorganizam s velikim potencijalom za uklanjanje ZEN-a putem apsorpcije. Takođe, istraživanje Joannis-Cassan i sar. (2011) pokazalo je da *Saccharomyces cerevisiae* može detoksifikovati ZEN u fermentisanoj hrani. Čelijski zid pekarskog kvasca, kao najefikasniji proizvod kvasca, može adsorbovati do 68 % ZEN-a, 29 % AFB1 i 62 % OTA, zavisno od koncentracije prisutnih mikotoksina.

Takođe, *Saccharomyces cerevisiae* izolovan iz silaže pokazuje sposobnost biorazgradnje, te može razgraditi do 90 % zearalenona u roku od dva dana (Keller i sar., 2015). Molnar i sar. (2004) pokazali su da je *T. mycotoxinivorans* sposoban dekarboksilizovati ZEN (zearalenon), pri čemu nastaje jedinjenje koje više ne pokazuje estrogenu aktivnost (slika 12).



Slika 12. Detoksifikacija Zearalenona u manje toksičan oblik (Hathout i sar., 2014)

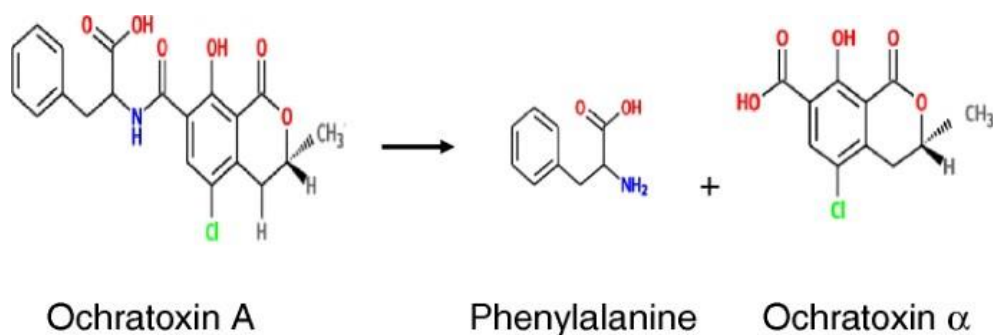
### 5.6.3 Detoksifikacija ohratoksina

Brojna istraživanja dokazala su efikasnost mikroorganizama u detoksifikaciji OTA putem adsorpcije i enzimske razgradnje. Böhm i sar. (2000) utvrdili su da bakterije *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus helveticus*, *Bacillus licheniformis* i *Bacillus subtilis* mogu značajno smanjiti koncentraciju OTA, i to za 94 %, 72 %, 68 %, odnosno 39 %. Mehanizam djelovanja zasniva se na adsorpciji toksina na ćelijski zid bakterija, što potvrđuju i istraživanja Piotrowske (2014) te Niderkorna i sar. (2006), u kojima se navodi da su adsorpcija i vezanje toksina za ćelijski zid ključni procesi detoksifikacije OTA i fumonizina.

Kvasac *Saccharomyces cerevisiae* također pokazuje sposobnost detoksifikacije OTA. Prema Petruzzi i sar. (2014), ovi kvasci smanjuju količinu OTA za oko 70 %, pri čemu je najveći efekat uočen nakon tri dana inkubacije na 30 °C. Mehanizam uklanjanja OTA zasniva se na sposobnosti kvasca da veže toksin za površinu ćelije.

Efikasnost bakterija mliječne kiseline (LAB) dodatno je potvrđena u istraživanju Luza i sar. (2018), gdje je prikazano da LAB mogu značajno razgraditi OTA pri pH vrijednostima 3,5 i 6,5. Smanjenje OTA kretalo se od 30 % do 99 %, a najefikasniji su bili sojevi *Lactobacillus rhamnosus* CECT 278T i *L. plantarum* CECT 749, s redukcijom od 97 % i 95 %. Tokom simulativne gastrointestinalne digestije, soj *L. johnsonii* CECT 289 smanjio je dostupnost OTA za oko 97 %. Detoksifikacija se u ovom slučaju odvija putem dvostrukog mehanizma, adsorpcije na ćelijski zid i enzimske razgradnje, pri čemu nastaju manje toksični produkti kao što su ohratoksin alfa i fenilalanin.

Vrlo efikasnim su se pokazali i sojevi gljiva iz roda *Rhizopus*. Varga i sar. (2005) izvještavaju da su *Rhizopus stolonifer*, *Rhizopus microsporus*, *Rhizopus homothallicus*, dva soja *Rhizopus oryzae*, te još četiri neidentifikovana soja, razgradili više od 95 % OTA unutar 16 dana. Ovo ukazuje na snažnu sposobnost gljiva da razgrade mikotoksine tokom dužeg vremena inkubacije. Rodriguez i sar. (2011) pokazali su da bakterije iz roda *Brevibacterium* mogu potpuno razgraditi OTA, pri čemu nastaje netoksični ohratoksin alfa. Ovaj rezultat potvrđuje da bi se *Brevibacterium* mogao koristiti u biološkoj dekontaminaciji hrane sa visokom efikasnošću. Molnar i sar. (2004) istražili su sposobnost soja kvasca *Trichosporon mycotoxinivorans* da razgradi 400 µg/l OTA u MM medijumu. Nakon 2,5 sata OTA je potpuno deaktivisan, dok je nakon 48 sati 30 % pretvoreno u netoksični OTα (slika 13).



Slika 13. Detoksifikacija Ochratoxina A cijepanjem fenilalaninske grupe (Hathout i sar., 2014)

#### 5.6.4 Detoksifikacija patulina

*Saccharomyces cerevisiae* pokazuje značajnu sposobnost detoksikacije mikotoksina patulin (PAT). Prema Mossu i Longu (2002), ovaj kvasac može efikasno neutralizovati patulin. Istraživanje Coelha i sar. (2008) pokazalo je da ćelije *S. cerevisiae* mogu smanjiti koncentraciju patulina u soku od jabuke za više od 90 % nakon 143 sati inkubacije. Ovi rezultati potvrđuju visoku efikasnost *S. cerevisiae* kao biološkog agensa u uklanjanju mikotoksina iz prehrambenih proizvoda. Alkoholna fermentacija voćnih sokova dodatno doprinosi uklanjanju ovog toksina, pa fermentisani proizvodi, poput jabukovače i kruškovače, ne sadrže patulin (FAO/WHO, 2003).

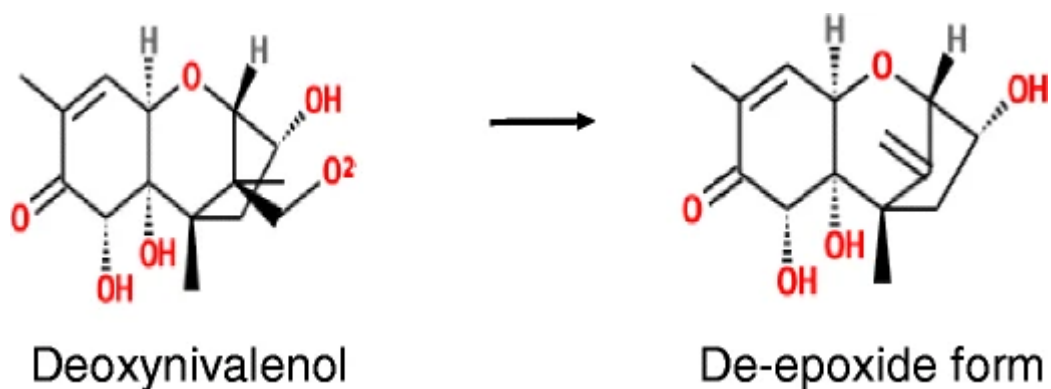
Osim kvasaca, i određene bakterije pokazuju snažan potencijal u detoksifikaciji patulina. Hawar i sar. (2013) utvrdili su da soj *Lactobacillus plantarum* B1 može transformisati čak 80 % patulina

u netoksične izomere E- i Z-*ascladiol* nakon samo četiri sata inkubacije, što ukazuje na izuzetnu efikasnost ove bakterije u biotransformaciji patulina.

Istraživanja su pokazala da i drugi mikroorganizmi mogu doprinijeti smanjenju kontaminacije patulinom. Prema Li i sar. (2019) *Rhodotorula mucilaginosa* JM19 učinkovito detoksifikuje patulin pretvarajući ga u netoksični metabolit desoksipatulinsku kiselinu, pri čemu može razgraditi do 90 % patulina u optimalnim uslovima.

### 5.6.5 Detoksifikacija trihotecena

Istraživanje provedeno s lager kvascem *Saccharomyces pastorianus*, pokazalo je da ovaj kvasac može smanjiti koncentraciju *Fusarium* trihotecenskih mikotoksina, uključujući deoksinivalenol (DON), deoksinivalenol-3-glukozid (DON3Glc), HT-2 toksin i T-2 toksin, tokom četvorodnevne fermentacije piva (Nathanail i sar., 2016). Zaključeno je da je bakterija *Eggerthella* sp. DII-9, izolovana iz crijeva pilića, sposobna efikasno detoksifikovati trihotecenske mikotoksine, poput deoksinivalenola (DON), kroz proces duboke epoksidacije. *Eggerthella* sp. DII-9 može rasti i djelovati u širokom rasponu temperatura i pH vrijednosti, što je čini perspektivnim kandidatom za primjenu kao dodatak u stočnoj hrani, radi smanjenja toksičnosti mikotoksina (Gao i sar., 2018a). Binder i sar. (1997, 1998) došli su do zaključka da *Eubacterium* vrsta DSM 11798 takođe razgrađuje DON (deoksinivalenol), transformišući ga u njegov metabolit DOM-1, netoksični de-epoksid DON-a (Slika 14).



Slika 14. Biotransformacija deoksinivalenola u de-epoksi formu (Hathout i sar., 2014)

## 5.7 ZAKLJUČAK

- Bezbjednost hrane predstavlja jedan od ključnih faktora za očuvanje javnog zdravlja i kvaliteta života. Konzumacija zdravstveno neispravne hrane može izazvati akutna i hronična oboljenja, uključujući trovanja, infekcije, pa čak i karcinome ili oštećenja organa.
- Među najvažnijim hemijskim kontaminantima izdvajaju se pesticidi i mikotoksini, zbog njihove učestalosti i negativnog uticaja na zdravlje potrošača.
- Kontinuirani i sistematski monitoring ostataka pesticida i mikotoksina u prehrambenim proizvodima ima ključnu ulogu u očuvanju javnog zdravlja i bezbjednosti hrane, posebno zaštiti osjetljivih populacionih grupa.
- Monitoring omogućava detekciju, procjenu rizika i implementaciju preventivnih i korektivnih mjera za smanjenje izloženosti potrošača štetnim supstancama. Podaci prikupljeni monitoringom služe kao osnova za donošenje naučno utemeljenih odluka i politika na nacionalnom i međunarodnom nivou, što potvrđuje praksa Evropske unije. Monitoring povećava transparentnost, povjerenje javnosti u nadležne institucije i osigurava usklađenost sa međunarodnim standardima, što je važno za tržišni plasman prehrambenih proizvoda.
- Fermentacija predstavlja efikasan postupak za smanjenje ostataka pesticida u prehrambenim proizvodima, što doprinosi poboljšanju njihove bezbjednosti i kvaliteta. Mikroorganizmi, posebno bakterije mliječne kiseline i kvasci, mogu razgraditi ili transformisati različite vrste pesticida, uključujući organohlorne, organskofosforne i druge insekticide i fungicide.
- Stepenn degradacije pesticida zavisi od faktora fermentacije kao što su pH, temperatura, trajanje procesa i vrsta starter kultura. Primjena specifičnih sojeva mikroorganizama, naročito probiotskih bakterija mliječne kiseline, ima veliki potencijal za razvoj ciljanih biodetoksifikacijskih strategija, čime se dodatno doprinosi očuvanju bezbjednosti hrane i smanjenju zdravstvenih rizika za potrošače.
- Takođe, fermentacija predstavlja značajan i efikasan biološki proces za smanjenje koncentracije mikotoksina u prehrambenim proizvodima, što potvrđuju brojna naučna istraživanja. Primjena specifičnih mikroorganizama (bakterije mliječne kiseline, bakterijski sojevi roda *Bacillus*, kvasci roda *Saccharomyces* i drugi) omogućavaju razgradnju, vezivanje

ili deaktivaciju mikotoksina poput aflatoksina (AFB1, AFM1), zearalenona, ohratoksina A, patulina i trihotecena.

- Ovi mikroorganizmi djeluju putem različitih mehanizama, uključujući adsorpciju na ćelijski zid, enzimsku razgradnju i biotransformaciju u manje toksična ili netoksična jedinjenja. Efikasnost fermentacije u smanjenju mikotoksina zavisi od vrste i kombinacije mikroorganizama, trajanja i uslova fermentacije, kao i od tipa prehrambenog proizvoda.
- Fermentacija doprinosi ne samo smanjenju koncentracije pesticida i mikotoksina, već i poboljšanju nutritivnog sastava, produženju trajnosti proizvoda i očuvanju senzorskih svojstava. U poređenju sa hemijskim i fizičkim metodama detoksifikacije, biološki procesi su sigurniji, ekološki prihvatljiviji i često ekonomičniji.
- Zbog složenosti pesticida i mikotoksina, kao i raznolikosti prehrambenih proizvoda, neophodno je dalje sistematsko istraživanje mehanizama degradacije i optimizacija uslova fermentacije radi šire primjene održivih i ekološki prihvatljivih metoda.
- Preporučuje se da buduća istraživanja budu usmjerena na identifikaciju i razvoj specifičnih sojeva mikroorganizama sa najvećim potencijalom za detoksifikaciju, kao i na proučavanje sinergističkih efekata kombinovanja fermentacije sa drugim metodama obrade hrane.

## 6. LITERATURA

1. Abbès, S., Salah-Abbès, J.B., Sharafi, H., Jebali, R., Noghabi, K.A., Oueslati R., (2013). Ability of *Lactobacillus rhamnosus* GAF01 to remove AFM1 in vitro and to counteract AFM1 immunotoxicity in vivo. *J. Immunot.* 10, 279–286.
2. Abou-Arab, A.A.K. (2002). Degradation of organochlorine pesticides by meat starter in liquid media and fermented sausage. *Food and Chemical Toxicology*, 40(1): 33–41.
3. Armenova, N., Tsigoriyna, L., Arsov, A., Petrov, K., Petrova, P. (2023). Microbial Detoxification of Residual Pesticides in Fermented Foods: Current Status and Prospects *Foods*. 12, 1163. [https://doi.org/ 10.3390/fo-ods12061163](https://doi.org/10.3390/fo-ods12061163).
4. Assaf, J. C., Nahle, S., Chokr, A., Louka, N., Atoui, A., El Khoury, A. (2019). Assorted Methods for Decontamination of Aflatoxin M1 in Milk Using Microbial Adsorbents. *Toxins (Basel)* 11, 304.
5. Assunção, R., Martins, C., Viegas, S., Jakobsen, L. S., Pires, S., Alvito, P. (2018). Climate change and the health impact of aflatoxins exposure in Portugal-an overview, *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 35 (8): 1610-1621.
6. Azizi, A., Homayouni, A. (2009). Bacterial-degradation of pesticides residue in vegetables during fermentation. *Asian Journal of Chemistry*, 21(8): 6255 6264.
7. Babović, M. (2003). Osnovi patologije biljaka. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu, str 1–651.
8. Bakirci, I. (2001). A study on the occurrence of aflatoxin M, in milk and milk products produced in van province of Turkey. *Food Control*, 12, 47-51.
9. Banna, A.A., Kwar, N.S. (1982). Behavior of parathion in apple juice processed into cider and vinegar. *Journal of Environmental Science and Health – Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 17 (5): 505–514.
10. Barnett, J.A., Entian, K.D. (2005). A history of research on yeasts 9: regulation of sugar metabolism. *Yeast*, 22, 835–894.
11. Ben Salah-Abbes, J., Abbes, S., Jebali, R., Haous, Z., Oueslati, R. (2015). Potential preventive role of lactic acid bacteria against Aflatoxin M1 immuno-toxicity and genotoxicity in mice. *J. Immunot.* 12, 107–114.

12. Ben Taheura, F., Kouidhib, B., Yasir, M. A., Qurashib, A., J Ben Salah-Abbès, J., Chaieb, K. (2019). Review: Biotechnology of mycotoxins detoxification using microorganisms and enzymes. *Toxicon*, Volume 160, 2019, Pages 12-22, ISSN 0041-0101.
13. BenTaheur, F., Fedhila, K., Chaieb, K., Kouidhi, B., Bakhrouf, A., Abrunhosa, L., (2017). Adsorption of aflatoxin B1, zearalenone and ochratoxin A by microorganisms isolated from Kefir grains. *Int. J. Food Microbiol.* 251, 1–7.
14. Binder, EM., Binder, J., Ellend, N., Schaffer, E., Krska, R., Braun, R. (1998). Microbiological degradation of deoxynivalenol and 3-acetyl-deoxynivalenol. In: Miraglia M, van Egmond HP, Brera C, Gilbert J (eds) *Mycotoxins and phycotoxins: Developments in chemistry, toxicology and food safety*. Alaken, Fort Collins, pp 279–285.
15. Binder, J., Horvath, EM., Schatzmayr, G., Ellend, N., Danner, H., Krska, R., Braun, R. (1997). Screening for deoxynivalenol-detoxifying anaerobic rumen microorganisms. *Cereal Res Commun* 25:343–346.
16. Bo, L.-Y., Zhao, X.-H. (2010). Preliminary study on the degradation of seven organophosphorus pesticides in bovine milk during lactic acid fermentation or heat treatment. *African Journal of Microbiology Research*, 4(11): 1171–1179
17. Bock, C.H., Mackey, B., Cotty, P.J. (2004). Population dynamics of *Aspergillus flavus* in the air of an intensively cultivated region of south-west Arizona. *Plant Pathology* 53: 422-433.
18. Böhm, J., Grajewski, J., Asperger, H., Cecon, B., Rabus, B., Razzazi, E., (2000). Study on biodegradation of some A-and B-trichothecenes and ochratoxin A by use of probiotic microorganisms. *Mycotoxin Res.* 16, 70–74
19. Bui-Klimke, T. R., & Wu, F. (2015). Ochratoxin A and Human Health Risk: A Review of the Evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(13), 1860–1869.
20. Buz'as, H., Csilla Szab'o-S'arv'ari L., Szab'o, K., Nagy-Kov'ac K., Bukovics, S., Süle, J., Szafner, G., Hucker, A., Kocsis, R., J'ozsef Kov'acs, A. (2023). Aflatoxin M1 detection in raw milk and drinking milk in Hungary by ELISA - A one-year survey. *Journal of Food Composition and Analysis* 121 (2023) 1053682.
21. Cabib, E., Roberts, R., Bowers, B. (1982). Synthesis of the Yeast Cell Wall and its Regulation. *Annual Review of Biochemistry.*, 51, 763–793.

22. Cabras, P. (2003). Pesticides: Toxicology and Residues in Food. U: Food safety: Contaminants and Toxins, D'Mello J.P.F., ur., The Scottish Agricultural College, CABI Publishing, str. 91-120.
23. Carraro, A., De Giacomo, A., Giannossi, M. L., Medici, L., Muscarella, M., Pallazzo, L., Quaranta, V., Summa, V., Tateo F. (2014) . Clay minerals as adsorbents of aflatoxin M1 from contaminated milk and effects on milk quality. Appl. Clay Sci. 88-89, 92-99.
24. Cavalier, H., Trasande, L., Porta, M. (2023). Exposures to pesticides and risk of cancer: evaluation of recent epidemiological evidence in humans and paths forward, Int. J. Cancer 152 (5) (2023) 879–912.
25. Cho, K.M., Math, R.K., Islam, S.M., Lim, W.J., Hong, S.Y., Kim, J.M., Yun, M.G., Cho, J.J., Yun, H.D. (2009). Biodegradation of Chlorpyrifos by Lactic Acid Bacteria during Kimchi Fermentation. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(5): 1882–1889.
26. Chu, FS., Chang, CC., Ashoor, SH., Prentice N. (1975). Stability of aflatoxin B, and ochratoxin A in brewing. Appl. Microbiol. 29: 313-316.
27. Cimurovski, M. (2023). Izvori štetnih tvari u hrani.Veleučilište u Karlovcu. Odjel sigurnosti i zaštite.
28. Coelho, A., Celli, M., Sataque Ono, E., Hoffmann, F.L., Pagnocca, F.C., Garcia, S., Sabino, M., Harada, K.-I., Wosiacki, G., Hirooka, E., (2008). Patulin biodegradation using *Pichia ohmeri* and *Saccharomyces cerevisiae*. World Mycotoxin J. 1, 325–331.
29. Čavrak, V. (2024). *Ohratoksin A kao kontaminat hrane (Završni rad)*. Zagreb: Zdravstveno veleučilište. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:139:215553>.
30. Decastelli L., Lai J., Gramaglia M., Monaco A., Nachtmann C., Oldano F. (2007). Aflatoxins occurrence in milk and feed in Northern Italy during 2004-2005. Food Control 18: 1263-1266.
31. Dhaliwal, G.S. (2009). An Outline Of Entomology. Kalyani Publishers, Ludhiana.
32. Dhuldhaj, U.P., Singh, R., Singh, V.K. (2023). Pesticide contamination in agro-ecosystems: toxicity, impacts, and bio-based management strategies, Environ. Sci. Pollut. Control Ser. 30 (4) (2023) 9243–9270.
33. Drčelić, M. (2011). Plijesni i toksini. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet

34. Dronjak D. (2016). Pesticidi-utjecaj i posljedice. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
35. Duan J.; Cheng Z.; Bi J.; Xu Y. (2018). Residue behavior of organochlorine pesticides during the production process of yogurt and cheese. *Food Chem.* 2018, 254, 119–124.
36. Đorđević T., (2013). Uticaj Fermentacije na degradaciju ostataka pesticida u fermentisanim proizvodima od žita. Univerzitet u Beogradu. Tehnološko-metalurški fakultet.
37. Đulančić, N., Jamaković, N. (2016). Toksikologija hrane, Poljoprivredno-prehrambeni fakultet. Univerzitet u Sarajevu.
38. El Khoury, A., Atoui, A. (2010). Ochratoxin A: General Overview and Actual Molecular Status. *Toxins*, 2, 461-493.
39. El-Nezami, HS., Polychronaki, N., Salminen, S., Mykkänen, H. (2002). Binding rather metabolism may explain the interaction of two food-grade *Lactobacillus* strains with zearalenone and its derivative  $\alpha$ -zearalenol. *Appl. Environ. Microb.* 68: 3545-3549.
40. Eskola, M., Kos, G., Elliott, C. T., Hajšlová, J., Mayar, S., Krska, R. (2019). Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-17.
41. European Food Safety Authority (2020). Scientific opinion. Risk assessment of aflatoxins in food.
42. European food Safety Authority. (2025). The 2023 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA Journal*. 23: e9398.
43. Fakhri, Y., Rahmani, J., Oliveira, C.A.F., de Franco, L.T., Corassin, C.H., Saba, S., Rafique, J., Khaneghah, A.M. (2019). Aflatoxin M1 in human breast milk: a global systematic review, meta-analysis, and risk assessment study (Monte Carlo simulation). *Trends Food Sci. Technol.* 88, 333–342.
44. Fallah, A. A., Jafari, T., Fallah, A., & Rahnama, M. (2009). Determination of aflatoxin M1 levels in Iranian white and cream cheese. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 1872-1875.
45. FAO - Food and Agriculture organization of the United Nation (2002). International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides, FAO, Rome.

46. FAO/WHO (2003). Codex Alimentarius: CAC/RCP 50—Code of practice for the prevention and reduction of patulincontamination in apple juice and apple juice ingredients in other beverages. Food and Agriculture Organization.
47. Faraj, M. K., Smith, J. E., Harran, G. (1991). Interaction of water activity and temperature on aflatoxin production by *Aspergillus flavus* and *A. parasiticus* in irradiated maize seeds; *Food Additives and Contaminants* 8 (6): 731-736.
48. Gancedo, J.M. (1988). La regulation du metabolisme des sucres chez la levure. In P. Bidan, J.R. Bonneville (Eds.), *Application `a l'oenologie des progr`es r`ecents en microbiologie et en fermentation*. (133–143). Paris: OIV.
49. Gao, X., Mu, P., Wen, J., Sun, Y., Chen, Q., Deng, Y., (2018a.) Detoxification of trichothecene mycotoxins by a novel bacterium, *Eggerthella* sp. DII-9. *Food Chem. Toxicol.* 112, 310–319.
50. Goldblatt, L. (1969). *Aflatoxin: Scientific Background, Control, and Implications*, Academic Press, New York. Goryacheva Y., De Saeger S., Eremin S. A., Van Peteghem
51. Govaris A, Roussi V, Koidis PA, Botsoglou NA (2002) Distribution and stability of aflatoxin M1 during production and storage of yoghurt. *Food Addit. Contam.* 19: 1043-1050.
52. Gregurek, Lj. (1996). Bakterije propionskohg vrenja:probiotička svojstva. *Mljekarstvo : časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka* God. 46 (1996), 2
53. Gu, X., Sun, J., Cui, Y., Wang, X., Sang, Y. (2018). Biological degradation of aflatoxin M1 by *Bacillus pumilus* E-1-1-1. College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding, China.
54. Hassan, Y. I., Zhou, T., Bullerman, L., B. (2015). Sourdough lactic acid bacteria as antifungal and mycotoxin-controlling agents. *Food Science and Technology International*, 22 (1), 79–90.
55. Hathout, A.S., Aly, S.E. (2014). Biological detoxification of mycotoxins: a review. *Ann Microbiol* 64, 905–919.
56. Hawar, S., Vevers, W., Karieb, S., Ali, B.K., Billington, R., Beal, J., (2013). Biotransformation of patulin to hydroascladiol by *Lactobacillus plantarum*. *Food Control* 34, 502–508.

57. Heinisch J., Rodicio R. (1997). Fructose -1,6-bisphosphate aldolase, triosephosphate isomerase, glyceraldehyde dehydrogenases, and phosphoglycerate mutase. In: Zimmermann FK., Entian KD (eds). Yeast sugar metabolism. Technomic, Lancaster, pp 119-140.
58. Huskić, M. (2018). Strukturna karakterizacija fumonizina masenom spektrometrijom. Sveučilište u Zagrebu, Farmaceutsko biokemijski fakultet.
59. IARC - International Agency for Research on Cancer (2012). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 1-628.
60. Iqbal, S.Z., Asi, M.R., Ariño, A. (2017). Aflatoxins, Reference Module in Life Science, Elsevier. 43-47.
61. Izvještaj o provedenom programu kontrole ostataka pesticida u i na hrani biljnog i životinjskog porijekla u BiH za 2023. godinu. Agencija za bezbjednost hrane BiH, 2024.
62. Izvještaj o rezultatima sprovedenih laboratorijskih analiza hrane, pojavi i kretanjima oboljenja čiji je uzrok ili put prenosa hrana i prijavljenim slučajevima zoonoza za 2024. godinu. Agencija za bezbjednost hrane, 2025.
63. Jard, G., Liboz, T., Mathieu, F., Guyonvarc'h, A., Lebrihi, A. (2011). Review of mycotoxin reduction in food and feed: from prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation. Food Additives and Contaminants: Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment, 28 1590-1609.
64. Jebali R., Abbes S., Salah-Abbes J.B., Younes R.B., Haous Z., Oueslati R., (2015). Ability of *Lactobacillus plantarum* Mon03 to mitigate aflatoxins (B1 and M1) immunotoxicities in mice. J. Immunot. 12, 290–299.
65. Joannis-Cassan, C., Tozlovanu, M., Hadjeba-Medjdoub, K., Ballet, N., Pfohl-Leskowicz, A. (2011). Binding of zearalenone, aflatoxin B1, and ochratoxin A by yeast-based products: A method for quantification of adsorption performance. *Journal of Food Protection*, 74 1175–1185.
66. Juodeikiene, G., Bartkiene, E., Viskelis, P., Urbonaviciene, D., Eidukonyte, D., and Bobinas, C. (2012). Fermentation Processes Using Lactic Acid Bacteria Producing Bacteriocins for Preservation and Improving Functional Properties of Food Products.
67. Kekelj, L. (2012). Fitoremedijacija pesticida. Sveučilište u Zagrebu. Prirodoslovno-matematički fakultet.

68. Keller, L., Abrunhosa, L., Keller, K., Rosa, C.A., Cavaglieri, L., & Venâncio, A. (2015). Zearalenone and its derivatives  $\alpha$ -zearalenol and  $\beta$ -zearalenol decontamination by *Saccharomyces cerevisiae* strains isolated from bovine forage. *Toxins*, 7(8), 3297-3308.
69. Koehler, P.E., Beuchat, L.R., Chinnan, M.S. (1985). Influence of temperature and water activity on aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds and meal; *J. Food Protect.* 48: 1040–1043.
70. Kopic, M. (2021). Ocjena fitotoksičnosti octene i limunske kiseline testom klijavosti. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
71. Kunter, I., Hurer, N., Gulcan, H.O., Ozturk, B., Dogan, I., Sahin, G. (2017). Assessment of aflatoxin M1 and Heavy metal levels in mothers breast milk in famagusta, Cyprus. *Biological Trace Element Research*, 175, 42–49.
72. Lagunas, R. (1993). Sugar transport in *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Microbiology Reviews*. 1993; 16: 229–242.
73. Lakićević, S. (2020). Kinetika alkoholne fermentacije i karakterizacija vina dobijenog od šire sa dodatkom lekovitog bilja. Tehnološki fakultet. Univerzitet u Nišu. Leskovac.
74. Li, X., Tang, H., Yang, C., Meng, X., Liu, B. (2019). Detoxification of mycotoxin patulin by the yeast *Rhodotorula mucilaginosa*. *Food Control* 96, 47–52.
75. Luz, C., Ferrer, J., Mañes, J., Meca, G. (2018). Toxicity reduction of ochratoxin A by lactic acid bacteria. *Food Chem. Toxicol.* 2018, 112, 60–66.
76. Marin, S., Ramos, A. J., Cano-Sancho, G., Sanchis, V. (2013). Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 60, 218-238.
77. Martinić, M. (2015). Opasnosti primjene pesticida. Stručni studij Sigurnosti i zaštite. Sveučilište u Karlovcu.
78. Mašek T., Šerman V. (2006). Utjecaj mikotoksina na zdravlje i proizvodnost preživača, *Krmiva*, 19-21, Vol. 48, 19-31.
79. Matovina M. (2015). Mikroorganizmi u prehrambenoj industriji. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek.
80. Milićević D. (2016). Mikotoksini u lancu hrane – hemijski, biološki i zdravstveni aspekt. Institut za higijenu i tehnologiju mesa, Beograd.

81. Molnar, O., Schatzmayr, G., Fuchs, E., Prillinger, H. (2004). *Trichosporon mycotoxinivorans* sp. nov., a new yeast species useful in biological detoxification of various mycotoxins. *Syst Appl Microbiol* 27:661–671.
82. Moretti, A.F., Gamba, R.R., Puppo, J., Malo, N., Gómez-Zavaglia, A., Peláez, Á.L., Golowczyc, M.A. (2018). Incorporation of *Lactobacillus plantarum* and zeolites in poultry feed can reduce aflatoxin B1 levels. *J. Food Sci. Technol.* 55, 431–436.
83. Moss, M.O., Long, M.T. (2002). Fate of patulin in the presence of the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Additives and Contaminants*, 19 387–399.
84. Mrvčić, J. (2015). Voćne, žitne i šećerne rakije.
85. Nathanail, A. V., Gibson, B., Han, L., Peltonen, K., Ollilainen, V., Jestoi, M., et al. (2016). The lager yeast *Saccharomyces pastorianus* removes and transforms *Fusarium* trichothecene mycotoxins during fermentation of brewer's wort. *Food Chemistry*, 203, 448–455.
86. Navarro, S., Pérez, G. Navarro, G., Vela N. (2007). Decline of pesticide residues from barley to malt. *Food Additives and Contaminants*, 24(8): 851–859.
87. Niderkorn, V., Boudra, H., Morgavi, D.P. (2006). Binding of *Fusarium* mycotoxins by fermentative bacteria *in vitro*. *Applied and Environmental Microbiology*, 101, 849-856.
88. Palanisamy, M., Vijila, K. (2022). Potential Protective Role of Probiotic Strains of lactobacilli Against Pesticide Toxicity. *J. Curr. Crop. Sci. Technol.* 2022; 109: 10–12.
89. Pepeljnjak, S., Cvetnić, Z., Šegvić-Klarić, M. (2008). Okratoksin A i Zearalenon: Kontaminacija žitarica i krmiva u Hrvatskoj (1977-2007) i utjecaj na zdravlja životinja i ljudi, *Krmiva*, Vol. 50, 147-159, 2008.
90. Petruzzi, L., Bevilacqua, A., Baiano, A., Beneduce, L., Corbo, M.R., Sinigaglia, M. (2014). In vitro removal of ochratoxin A by two strains of *Saccharomyces cerevisiae* and their performances under fermentative and stressing conditions. *Journal of Applied Microbiology*, 116 60–70.
91. Piotrowska, M. (2014). The adsorption of ochratoxin A by *Lactobacillus* species. *Toxins*, 6 2826–2839.
92. Pleadin, J., Bogdanović, T., Murati, T., Kmetič, I. Kemijska onečišćivala iz okoliša i njihovi ostaci u hrani životinjskog podrijetla. *Food Technol Biotechnol.* 2017;12(1-2),19-29.

93. Pleadin, J., Kiš, M., Frece, J., Markov, K. (2018). Primjena fizikalnih i kemijskih metoda u uklanjanju mikotoksina iz hrane i hrane za životinje. *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*, 12 24-3.
94. Pleadin, J., Kiš, M., Frece, J., Markov, K. (2018). Primjena fizikalnih i kemijskih metoda u uklanjanju mikotoksina iz hrane i hrane za životinje. *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*, 12 24-31.
95. Pleadin, J., Markov, K., Frece, J. (2014a). Aflatoksini - Onečišćenje, učinci i metode redukcije. *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*, 9 75-82.
96. Pleadin, J., Markov, K., Frece, J., Vulić, A., Perši, N. (2014b). Bio-Prevalence, determination and reduction of aflatoxin B1 in cereals. U: Adina G. (ed): *Aflatoxins: Food Sources, Occurrence and Toxicological Effects*. Faulkner, Nova Science Publishers, USA. str. 1-34.
97. Pleadin, J., Zadavec, M., Free, J., Rezić, T., Kmetič, I., Markov, K. (2019). Biološka detoksifikacija mikotoksina: dosadašnje spoznaje i budući aspekti. *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition* 14 (1 – 2), 39 – 46.
98. Prandini, A., Tansini, G., Sigolo, S., Filippi, L., Laporta, M., Piva, G. (2009). On the occurrence of aflatoxin M, in milk and dairy products. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 984-991.
99. Pravilnik o maksimalno dozvoljenim količinama za određene kontaminante u hrani („Službeni glasnik BiH“, br. 68/14, 79/16, 84/18).
100. Pravilnik o metodama uzorkovanja i analiza za službenu kontrolu količine mikotoksina u hrani („Službeni glasnik BiH“, br. 37/09, 68/12, 62/17).
101. Pravilnik o neželjenim supstancama u hrani za životinje („Službeni glasnik BiH“, br.72/11, 70/16).
102. Pravilnik o uslovima koje moraju ispunjavati ovlaštene laboratorije koji provode analize hrane i postupku ovlašćivanja laboratorija („Službeni glasnik BiH“, broj 37/09).
103. Pravilnika o maksimalnim nivoima ostataka pesticida („Službeni glasnik BiH“, broj 48/21).
104. Pravilnikom o provođenju plana praćenja - monitoringa hrane („Službeni glasnik BiH“, broj 21/11).

105. Rahimirad, A., Maalekinejad, H., Ostadi, A., Yeganeh, S., Fahimi, S. (2014). Aflatoxin M1 Concentration in Various Dairy Products: Evidence for Biologically Reduced Amount of AFM1 in Yoghurt. *Iran J. Public Heal.* 43, 1139-1144.
106. Rezaei, F., Nejati, R., Sayadi, M., Nematollahi A. (2021). Diazinon reduction in apple juice using probiotic bacteria during fermentation and storage under refrigeration. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2021, 28, 61213–61224.
107. Rodriguez, H., Reveron, I., Doria, F., Costantini, A., De Las Rivas, B., Munoz, R., Garcia-Moruno, E., (2011). Degradation of ochratoxin a by *Brevibacterium* species. *J. Agric. Food Chem.* 59, 10755–10760.
108. Ruiyu, Z., Juan, C., Qingqiang, Y., Ping, W., Wei, C., Xiao, W., Junxi, L., Qiuhong, Z., (2012). Inhibiting *Aspergillus flavus* growth and degrading aflatoxin B1 by combined beneficial microbes. *Afr. J. Biotechnol.* 11, 12903–12909.
109. Sadeghi, E., Mohammadi, R., Karami, F. (2017). Toxicity of aflatoxin in milk and milk products (Chapter 2). In: Mortazavian, A. M., N. Khorshidian (eds.). *Aflatoxin in milk and milk products*. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, pp. 23-41.
110. Samardžija, D. (2015). *Fermentirana mlijeka*. Hrvatska mljekarska udruga. Zagreb
111. Sforza, S., Dall'Astra, C., Marchelli, R. (2006). Recent advances in mycotoxin determination in food and feed by hyphenated chromatographic techniques/mass spectrometry. Mass.
112. Singh, N. S., Sharma, R., Parween, T., Patanjali, P. K. (2018). Pesticide contamination and human health risk factor. U: M. Oves i sur., ur. *Modern age environmental problems and their remediation*. Cham: Springer International Publishing.
113. Śliżewska, K., Smulikowska, S. (2011). Detoxification of aflatoxin B. *J. Anim. Feed Sci.* 20, 300–309.
114. Sokolović, M. (2005). Značaj trikotecenskih mikotokisna u hrani za perad, VI. simpozij Peradarski dani, Poreč, 2005. *Spectrometry Reviews*, 25 54-76.
115. Stamenković, S., Milošević, D. (2016). *Primjena pesticida u zaštiti voćaka i vinove loze*. Univerzitet u Prištini, Poljoprivredni fakultet Lešak, str 1–208.
116. Stanišić, S. (2021). *Ishrana i zdravlje*, Univerzitet Singidunum, Beograd.
117. Stojanović, M. (1989). *Mikrobiologija*. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd.

- 118.Sutlović D.(2011). Toksikologija hrane. Split, Hrvatska: Redak.
- 119.Šovljanski, R., Lazić, S. (2007). Osnovi fitofarmacije. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, str 1–433.
- 120.Tian, F., Chun, H. S. (2017). Natural Products for Preventing and Controlling Aflatoxin Contamination of Food (Chapter 2). In: Abdurra'uf, L. B. (ed.): Aflatoxin - Control, Analysis, Detection and Health Risks. InTechOpen, Rijeka, Croatia, pp. 13-44.
- 121.Titlić, M., Punda, A., Jukić, I., Tonkić, A., Josipović-Jelić, Ž. (2007). Symptomatology of Detrimental Effects of Pesticides - Literature Review. Acta clinica Croatica 46: 229-23.
- 122.Turner, N. W., Subrahmayam, S., Piletsky, S. A. (2009). Analytical methods for determination of mycotoxins. Analytica Chimica Acta 632: 168-180.
- 123.Ujlaki I. (2024). Utjecaj fermentirane hrane na mikrobiotu čovjeka. Sveučilište Sjever. Koprivnica.
- 124.UREDBA (EZ) br. 1107/2009 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 21. oktobra 2009. o stavljanju na tržište sredstava za zaštitu bilja i stavljanju izvan snage direktiva Vijeća 79/117/EEZ i 91/414/EEZ.
- 125.UREDBA (EZ) br. 396/2005 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 23. februara 2005. o maksimalnim razinama ostataka pesticida u ili na hrani i hrani za životinje biljnog i životinjskog podrijetla i o izmjeni Direktive Vijeća 91/414/EEZ.
- 126.Uredba Komisije (EU) 2023/915 od 25. travnja 2023. o najvećim dopuštenim količinama određenih kontaminanata u hrani i o stavljanju izvan snage Uredbe (EZ) br. 1881/2006.
- 127.Varga I., Solomun Kolanović B., Varenina I., Božić Luburić Đ., Bilandžić N. (2020). Kontaminacija mliječnih proizvoda aflatoksinom M1. Veterinarska stanica 51 (5), 547-556, 2020.
- 128.Varga, J., Péteri, Z., Tábori, K., Téren, J., Vagvolgyi, C. (2005). Degradation of ochratoxin-A and other mycotoxins by *Rhizopus* isolates. Int. J. Food Microbiol. 99: 321-328.
- 129.Vega, M.F., Dieguez, S.N., Riccio, B., Aranguren, S., Giordano, A., Denzoin, L., Soraci, A.L., Tapia, M.O., Ross, R., Apas, A. (2017). Zearalenone Adsorption Capacity of Lactic Acid Bacteria Isolated from Pigs. Braz. J. Microbiol. 48, 715–723.

130. Wang, G., Yu, M., Dong, F., Shi, J., Xu, J. (2017). Esterase activity inspired selection and characterization of zearalenone degrading bacteria *Bacillus pumilus* ES-21. *Food Control* 77, 57–64.
131. Wang, N., Wu, W., Pan, J., & Long, M. (2019). Detoxification strategies for zearalenone using microorganisms: A review. *Microorganisms*, 7(7), 208.
132. [www.tehnologijahrane.com](http://www.tehnologijahrane.com)
133. Y. Li, C. Zhang, Y. Yin, F. Cui, J. Cai, Z. Chen, Y. Jin, M.G. Robson, M. Li, Y. Ren. (2014). Neurological effects of pesticide use among farmers in China, *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 11 (4) (2014) 3995–4006.
134. Yi, P.-J., Pai, C.-K., Liu, J.-R. (2011). Isolation and characterization of a *Bacillus licheniformis* strain capable of degrading zearalenone. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 27, 1035–1043.
135. Zakona o hrani ("Službeni glasnik BiH", broj 50/04).
136. Zhang, H., Xu, D., Zhao, H., Song, Y., Liu, L., Li N. (2016). Biodegradation of two organophosphorus pesticides in whole corn silage as affected by the cultured *Lactobacillus plantarum*. *Biotech.* 2016;6:73. doi: 10.1007/s13205-016-0364-3.
137. Zhu, R., Feussner, K., Wu, T., Yan, F., Karlovsky, P., Zheng, X. (2015). Detoxification of mycotoxin patulin by the yeast *Rhodosporidium paludigenum*. *Food Chem.* 179, 1–5.
138. Želježić, D., Perković, P. (2011). „Uporaba pesticida i postojeće pravne odredbe za njezinu regulaciju“, *Sigurnost*, 53 (2), 2011., str. 141-150.

## Prilog 1

### UNIVERZITETU U BANJOJ LUCI

#### PODACI O AUTORU ODBRANJENOG MASTER RADA

Ime i prezime autora master rada: Vesna Samardžić

Datum, mjesto i država rođenja autora: 06. 12. 1987., Mostar, FBiH, BiH

Naziv završenog fakulteta i godina diplomiranja: Tehnološki fakultet, 2011.

Datum odbrane završnog rada autora: 13. 07. 2011.

Naslov završnog rada autora: „Uticaj ručnog pranja jabuka sorte “Gala“ na ukupan broj mikroorganizama

Akademsko zvanje koje je autor stekao odbranom završnog rada: Diplomirani inženjer prehrambene tehnologije, odsjek Biotehnoško-prehrambeni, smjer Kontrola kvaliteta i higijenske ispravnosti namirnica, 240 ECTS

Akademsko zvanje koje je autor stekao odbranom master rada: Master prehrambenog inženjerstva - 300 ECTS.

Naziv fakulteta na kome je master rad odbranjen: Tehnološki fakultet

Naslov master rada i datum odbrane: „Uticaj fermentacije na sadržaj pesticida i mikotoksina u hrani“

Naučna oblast master rada prema CERIF šifarniku: T 430 – Tehnologija hrane i pića

Imena mentora i članova komisije za odbranu master rada:

- Prof. dr Aleksandar Savić, redovni profesor - mentor

- Prof. dr Ljiljana Topalić-Trivunović, redovni profesor - član

- Prof. dr Danica Savanović, vanredni profesor – član

U Banjoj Luci, 20. 9. 2025.



Dekan

## BIOGRAFIJA

### ***Lični podaci:***

Ime i prezime: Vesna Samardžić

Datum rođenja: 6. 12. 1987. godine

Mjesto rođenja: Mostar

Državljanstvo: RS, BiH

Adresa prebivališta: Jesenjinova 2, 88280 Nevesinje

Kontakt telefon: 0038765 799 050

E-mail adresa: [vesna.samardzic@hotmail.com](mailto:vesna.samardzic@hotmail.com)

### ***Obrazovanje:***

2023. - danas: Tehnološki fakultet drugi ciklus, Banja Luka

2006. - 2011. godine: Tehnološki fakultet prvi ciklus, Banja Luka

2002 - 2006. godine: Gimnazija, S.Š.C. „Aleksa Šantić“, Nevesinje

### ***Radno iskustvo:***

#### **Od 3. 5. 2012 - 14. 8. 2013 „HERKON“ d.o.o. Mostar**

Radila kao Zamjenik tehničkog voditelja laboratorije

- Fizičko-hemijske analize hrane, vode, duvana, cigareta, nafte, zemljišta, itd.,
- Instrumentalne metode analize (*Gasna hromatografija (GC), Atomska apsorpciona spektrofotometrija (AAS) - plamena i grafitna tehnika, UV-VIS spektrofotometrija, kalorimetrija s bombom*)
- Rad na akreditaciji, prema standardu ISO /IEC 17025

#### **Od 15. 8. 2013 - 1. 6. 2014 „Swisslion Takovo“ d.o.o. - Nevesinje**

Radila kao direktor proizvodnje

*Djelatnost firme: Proizvodnja voćnih sokova, OBP, džemova i marmelada, alkoholnih pića, kečapa i majoneza.*

- Organizovanje posla,
- Raspodjela radne snage
- Praćenje toka proizvodnje
- Kontrola kvaliteta sirovina, materijala, i gotovih proizvoda
- Implementacija i kontrola HACCP sistema
- Rad na projektima novih proizvoda i njihova integracija u proizvodnju
- Izrada deklaracija, proizvođačkih specifikacija, receptura, normativa, tehnološke dokumentacije (izvještaja i sl.)

**Od 1. 6. 2019. godine do danas Agencija za bezbjednost hrane BiH**, na poziciji višeg stručnog saradnika za naučnu saradnju i opasnosti u hrani.

#### **Ostale vještine:**

Strani jezici: engleski jezik - položen kurs „*Cambridge*“- nivo „*Intermediate*“

Rad na računaru: *Microsoft Office, SAP*

## **BIBLIOGRAFIJA**

### **Zborniku radova**

1. Topalić - Trivunović LJ., Savić A., Tovarišić V., Stjepanović I., Matoš S., Šolaja M. (2013). Mikrobiološki status jabuka sorta Gala prije i nakon pranja. X. Savjetovanje hemičara, tehnologa i ekologa Republike Srpske, Zbornik radova, 2013.
2. Hajrić Dž., Arar K., Brenjo D., Samardžić V., Odak L. (2021). Frequency of consumption of nutritional supplements in the population of Bosnia and Herzegovina. Serbian nutrition society. 14<sup>th</sup> International Congress on nutrition, Beograd, 2021.

НАУЧНО-НАСТАВНОМ ВИЈЕЋУ  
ТЕХНОЛОШКОГ ФАКУЛТЕТА  
УНИВЕРЗИТЕТА У БАЊОЈ ЛУЦИ

Primljeno: 01.07.2025.			PRILOGA:
ORG. JED.	BROJ	ARH. ŠIFRA	
15/3	1306	/25	VRJEDNOST:

ПРЕДМЕТ: Извјештај Комисије о оцјени урађеног мастер рада кандидаткиње Весне Самарцић, дипл.инж. прехранбене технологије

Одлуком Научно-наставног вијећа Технолошког факултета Универзитета у Бањој Луци бр. 15/3.1082-13/25 од 11.06.2025.године, именовани смо у Комисију за оцјену и јавну одбрану завршног (мастер) рада кандидаткиње Весне Самарцић, дипломираног инжењера прехранбене технологије, под насловом „Утицај ферментације на садржај пестицида и микотоксина у храни“.

Комисија у саставу:

1. Др Даница Савановић, ванредни професор Технолошког факултета Универзитета у Бањој Луци, ужа научна област Прехранбене технологије намирница животињског поријекла, председник,
2. Др Александар Савић, ванредни професор Технолошког факултета Универзитета у Бањој Луци, ужа научна област Биохемијско инжењерство, ментор,
3. Др Љилана Топалић-Гривуновић, редовни професор Технолошког факултета Универзитета у Бањој Луци, ужа научна област Микробиологија, биологија ћелије, члан,

прегледала је достављени мастер (завршни) рад и Научно-наставном вијећу Технолошког факултета Универзитета у Бањој Луци подноси сљедећи

## ИЗВЈЕШТАЈ

Мастер рад кандидата Весне Самарцић, дипл.инж. прехранбене технологије, написан је на 72 странице текста, илустрован са 14 слика, 4 табеле, а коришћено је 138 литературних цитата. Рад је написан прегледно кроз слиједећа поглавља: Увод, Теоретски дио, Хипотеза и циљ рада, Материјали и методе, Резултати и дискусија, Закључак и Литература.

## УВОД И ТЕОРЕТСКИ ДИО

У овом дијелу, кандидаткиња наводи да безбједност хране представља један од кључних фактора у очувању јавног здравља и квалитета живота становништва. Коришћење здравствено неисправне хране може довести до бројних акутних и хроничних обољења, укључујући тровања, инфекције, као и дугорочне посљедице попут карцинома или оштећења органа. Један од кључних изазова у области безбједности хране је присуство разних контаминената, међу којима се издвајају пестициди и микотоксини. Кандидаткиња је дала преглед најчешће коришћених пестицида и наводи да су то хемијска и микробиолошка средства која се употребљавају у пољопривредној производњи. Ова средства служе за уништавање и сузбијање узрочника биљних болести, корова, штетних инсеката, гриња, глодара и осталих штетника, али, такође, и за регулисање раста биљака (Сутловић, 2011). Иако доприносе повећању приноса и очувању квалитета усјева, могу заостати у прехранбеним производима, а ако су присутни у већим количинама представљају озбиљан здравствени ризик (Pleadin et al., 2017). Микотоксини су токсични секундарни метаболити које производе плијесни из различитих родова, као што су *Aspergillus*, *Penicillium* и *Fusarium*. До данас је познато преко 400 врста микотоксина, од којих су најзначајнији афлатоксини (AFB1, AFM1), охратоксини, зеараленон, фумонизини, трихотецени и патулин (Hassan et al., 2015), а које је кандидаткиња детаљно описала. Најчешће се налазе у житарицама, орашастим плодовима, сушеном воћу и зачинима. Микотоксини представљају озбиљан ризик по здравље јер могу изазвати акутна и хронична обољења код људи и животиња. Најзначајнији разлог за забринутост представља хронична изложеност ниским нивоима различитих микотоксина, који у организму могу

дјеловати појединачно, али и синергистички (Pleadin et al., 2017). Даље, кандидаткиња наводи да је све већа потражња за безбједном и функционалном храном, те расте интересовање за природне процесе попут ферментације. Овај процес има вишеструки значај у прехранбеној индустрији. Осим што утиче на побољшање сензорних и нутритивних својстава хране, може допринијети разградњи или трансформацији токсичних једињења, укључујући микотоксине и пестициде, чиме се повећава безбједност производа. Duan et al. (2018) су установили да ферментација значајно смањује заосталу концентрацију органохлорних пестицида у јогурту, при чему је кључна била активност starter култура, а Ђорђевић (2013) је у свом истраживању доказала да ферментација пшенице, помоћу бактерије *Lactobacillus plantarum* и квасца *Saccharomyces cerevisiae*, може ефикасно смањити контаминацију пшенице пиримифос-метилом, хлорпирифос-метилом и бифентрином. Abbès et al. (2013), Ben Salah-Abbes et al. (2015) и Jebali et al. (2015) су својим студијама потврдили да микотоксини, као што су деоксиниваленол, зеараленон, фумонизин В1 и афлатоксини, могу нестати у року од 24 часа када се *in vitro* инкубирају са одговарајућим микроорганизмима. Jebali et al. (2015) су утврдили да је *Lactobacillus plantarum* MON03 (LP), изолован из туниског маслаца, показао изузетну способност везивања микотоксина АFB1 и АFM1 (82% и 89%, појединачно) у року од 24 сата од инкубације. Будући да се овај сој показао сигурним за примјену, може се сматрати добрим кандидатом за биотехнолошке процесе детоксикације микотоксина. У савременим условима, када климатске промјене, повећана глобална трговина и индустријализација производње хране додатно доприносе појави контаминената, потреба за ефикасним, еколошки прихватљивим и економичним методама за њихово уклањање постаје све израженија. Ферментација, као природан процес, представља обећавајућу алтернативу за побољшање безбједности хране, што додатно подстиче интересовање за истраживања у овој области.

## **ХИПОТЕЗА И ЦИЉ РАДА**

Да би се испитао утицај разних процеса ферментације на садржај резидуа пестицида и концентрацију микотоксина у храни, постављене су сљедеће хипотезе:

### **Хипотеза 1:**

Праћење (мониторинг) садржаја резидуа пестицида и концентрације микотоксина у храни је веома битан сегмент у погледу оцјене њене безбједности.

### **Хипотеза 2:**

Процес ферментације утиче на садржај резидуа пестицида у храни.

### **Хипотеза 3:**

Процес ферментације утиче на концентрацију микотоксина у храни.

## **МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА**

Правилником о провођењу плана праћења - мониторинга хране („Службени гласник БиХ“, број 21/11) утврђени су начин и поступци провјере здравствене исправности и хигијене хране, ради утврђивања количина нутријената, адитива, контаминената, генетски модификованих организама, микробиолошких критеријума хране, других састојака и материја. Циљ мониторинга хране је утврђивање уноса појединих штетних састојака или материја у организам, процјена ризика и угрожености здравља потрошача. У овом мастер раду, коришћени су извјештаји о мониторингу садржаја пестицида и микотоксина, објављени од стране Агенције за безбједност хране Босне и Херцеговине. То су: „Извјештај о проведеном програму контроле остатака пестицида у и на храни биљног и животињског поријекла у БиХ за 2023. годину“ и „Извјештај о резултатима спроведених лабораторијских анализа хране, појави и кретањима обољења чији је узрок или пут преноса храна и пријављеним случајевима зооноза за 2024. годину“. Након тога, проучавани су и анализирани подаци из домаћих и међународних научних и стручних радова, те осталих публикација, у којима је испитиван утицај ферментације на разградњу пестицида и микотоксина.

## **РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА**

Коришћење здравствено неисправне хране може изазвати акутна и хронична обољења, укључујући тровања, инфекције, па чак и карциноме или оштећења органа. Пестициди и микотоксини спадају у

најважније хемијске контаминенте, због њихове учесталости и негативног утицаја на здравље потрошача. У оквиру овог рада анализирани су подаци из годишњег извјештаја Агенције за безбједност хране БиХ о присуству остатака пестицида у храни биљног и животињског поријекла за 2023. годину. Током 2023. године проведено је испитивање 155 узорака различитих врста хране, у оквиру којег је извршено укупно 23591 лабораторијска анализа на присуство резидуа пестицида. Резултати овог испитивања су показали да у 97 узорака (62,6 %) резидуе пестицида нису детектоване у концентрацијама које прелазе ниво квантификације. У преосталих 58 узорака (37,4 %) резидуе пестицида су детектоване у концентрацијама које омогућавају квантификацију. Подаци из Извјештаја о резултатима спроведених лабораторијских анализа хране, појави и кретањима обољења чији је узрок или пут преноса храна, те пријављеним случајевима зооноза за 2024. годину, коришћени су као извор за дио рада. На основу пристиглих и обрађених података, у периоду од 1. јануара до 31. децембра 2024. године, у Босни и Херцеговини је извршено укупно 1 063 лабораторијских анализа на присуство микотоксина. На основу добијених резултата, установљено је да 31 узорак (2,92 %) није био у складу са важећим прописима. Детаљна анализа по категоријама хране показује да је највећи проценат неодговарајућих узорака забиљежен у групи житарица и примарних производа од житарица. Од укупно 573 анализирана узорка, њих 29 (5,06 %) није испуњавало прописане стандарде. Овакав резултат је донекле и очекиван, с обзиром на то да су житарице посебно подложне контаминацији микотоксинима, нарочито афлатоксином и деоксиниваленолом. У наставку свог рада, кандидаткиња је дала детаљан преглед научно-стручних истраживања у погледу употребе ферментације као ефикасног поступка за смањење садржаја резидуа пестицида у прехранбеним производима, што доприноси побољшању њихове безбједности и квалитета. Микроорганизми, посебно бактерије млијечне киселине и квасци, могу разградити или трансформисати различите врсте пестицида, укључујући органохлорне, органскофосфорне и друге инсектициде и фунгициде, што зависи од доста фактора ферментације, као што су: рН вриједност, температура, трајање процеса и врста стартер култура. Такође, кандидаткиња је, изучавањем великог броја научно-стручних радова, установила да ферментација представља значајан и ефикасан биолошки процес за смањење концентрације микотоксина у прехранбеним производима, јер је примјеном специфичних микроорганизама (нпр. бактерија млијечне киселине, бактерија из рода *Bacillus*, квасаца из рода *Saccharomyces* итд.) омогућена разградња, везивање или деактивација микотоксина попут афлатоксина (AFB1, AFM1), зеараленона, охратоксина А, патулина и трихотецена. На крају, кандидаткиња препоручује да будућа истраживања буду усмјерена на идентификацију и развој специфичних сојева микроорганизама са највећим потенцијалом за детоксификацију, као и на проучавање синергистичких ефеката комбиновања ферментације са другим методама обраде хране.

### ЗАКЉУЧАК И ПРИЈЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Имајући у виду све наведено, Комисија једногласно даје своје позитивно мишљење о мастер раду кандидаткиње Весне Самарцић, дипломираног инжењера прехранбене технологије, под насловом „Утицај ферментације на садржај пестицида и микотоксина у храни“ и предлаже Научно-наставном вијећу Технолошког факултета Универзитета у Бањој Луци да одобри јавну одбрану рада.

У Бањој Луци, 30.6.2025.год.

Чланови Комисије:

1. Др Даница Савановић, ванр.професор, предсједник
2. Др Александар Савић, ванр. професор, ментор
3. Др Љиљана Топалић-Тривуновић, ред. професор,члан

## Izjava 1

### IZJAVA O AUTORSTVU

#### Izjavljujem da je master rad

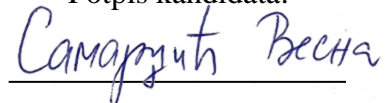
**Naslov rada:** Uticaj fermentacije na sadržaj pesticida i mikotoksina u hrani

**Naslov rada na engleskom jeziku:** „The Influence of Fermentation on the Content of Pesticides and Mycotoxins in Food“

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da master rad, u cjelini ili u dijelovima, nije bio predložen za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršila autorska prava i koristila intelektualnu svojinu drugih lica.

U Banjoj Luci, 20. 9. 2025. godine

Potpis kandidata:



Vesna Samardžić, dipl. inž. tehn.

## Izjava 2

### Izjava kojom se ovlašćuje Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjoj Luci da master rad učini javno dostupnim

Ovlašćujem Tehnološki fakultet Univerziteta u Banjoj Luci da moj master rad, pod naslovom  
**Uticaj fermentacije na sadržaj pesticida i mikotoksina u hrani**

koji je moja autorsko djelo, učini javno dostupnim.

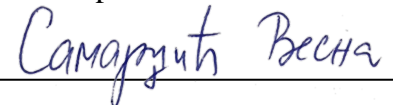
Master rad sa svim priložima predala sam u elektronskom formatu, pogodnom za trajno arhiviranje.

Moj master rad, pohranjen u digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Banjoj Luci, mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons), za koju sam se odlučila.

1. Autorstvo\*
2. Autorstvo – nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – dijeliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – dijeliti pod istim uslovima

U Banjoj Luci, 20. 9. 2025.

Potpis kandidata:



Vesna Samardžić, dipl. inž. tehn.

### Izjava 3

#### Izjava o identičnosti štampane i elektronske verzije master rada

Ime i prezime autora: Vesna Samardžić

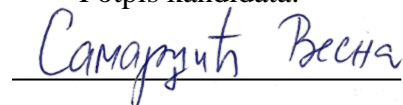
Naslov rada: **Uticaj fermentacije na sadržaj pesticida i mikotoksina u hrani**

Mentor: Prof. dr Aleksandar Savić, redovni profesor

Izjavljujem da je štampana verzija mog master rada identična elektronskoj verziji koju sam predala za digitalni repozitorijum Univerziteta u Banjoj Luci.

U Banjoj Luci, 20. 9. 2025.

Potpis kandidata:

Handwritten signature of Vesna Samardžić in blue ink, written over a horizontal line.

Vesna Samardžić, dipl. inž. tehn.