



**УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“-**

**БИТОЛА**

**ТЕХНОЛОШКО-ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ - ВЕЛЕС**



**НАПРЕДНА АНАЛИЗА НА ПОДАТОЦИ  
НА МЕД ЗБОГАТЕН СО АРОМАТИЧНИ БИЛКИ**

**ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА**

**МЕНТОР**

**ред. проф. д-р Весна (Ангоска) Knights**

**КАНДИДАТ**

**м-р Берат Дурмиши**

**ВЕЛЕС, 2026 година**

**ЧЛЕНОВИ НА КОМИСИЈА:**

**д-р Весна Knights - ментор, редовен професор на  
Технолошко-технички факултет-Велес**

---

**д-р Јасенка Гајдош Кљусуриќ –член, редовен  
професор на Прехранбено-биотехнолошки факултет,  
Универзитет во Загреб**

---

**д-р Валентина Велковски - член, редовен професор на  
Технолошко-технички факултет-Велес**

---

**д-р Горица Павловска - член, редовен професор на  
Технолошко-технички факултет-Велес**

---

**д-р Везирка Јанкулоска - член, вонреден професор на  
Технолошко-технички факултет-Велес**

---

## ИЗЈАВА ЗА ОРИГИНАЛНОСТ НА ТРУДОТ

Јас, м-р Берат Дурмиши, кандидат за одбрана на докторската дисертација, со наслов: **„Напредна анализа на податоци на мед збогатен со ароматични билки”**, изјавувам под морална, материјална и друга одговорност, дека при изработката на трудот ги почитувам позитивните законски прописи од областа на заштитата на интелектуалната сопственост и не користев трудови на други автори без да бидат почитувани пропишаните методолошки стандарди. Користената литература достојно ја бележев во подбелешките и во литературата, составен дел од темата. Тоа значи дека трудот е оригинален, не е плагијат.

Изјава за достапност на податоци: Податоците кои се користат за наодите од оваа докторска дисертација, дадени се во анекс - прилозите.

Финансирање: Студијата е реализирана со самофинансирање.

Конфликт на интереси: Авторот нема конфликт на интереси

Велес, 2026

Кандидат: м-р Берат Дурмиши

## ИЗЈАВА ЗА ЛЕКТОРИРАЊЕ НА ДОКТОРСКИОТ ТРУД

Јас, м-р Берат Дурмиши, студент на трет циклус студии, на студиската програма Иновативни технологии за храна и нутриционизам, со број на досие 30, изјавувам дека докторскиот труд под наслов: **“НАПРЕДНА АНАЛИЗА НА ПОДАТОЦИ НА МЕД ЗБОГАТЕН СО АРОМАТИЧНИ БИЛКИ”** е лекториран од лектор Елена Боцевска бр. 27-117/5.

Извршеното лекторирање е документирано на соодветен начин во моето досие.

Велес, 2026

Кандидат: м-р Берат Дурмиши

## ТРУДОВИ ОБЈАВЕНИ ОД ОБЛАСТА НА ДОКТОРАТОТ

**Durmishi, B.** Knights, V.; Jurina, T.; Rizani, S.; Pavlovska, G.; Mehmeti, V.; Jurinjak Tušek, A.; Benković, M.; Valinger, D.; Gajdoš Kljusurić, J. Integrated (Statistical) Analysis of Honey Enriched with Aromatic Herbs: Phenolic Profile, Heavy Metal and NIR Spectroscopy. Processes 2025, 13, 2598. <https://doi.org/10.3390/pr13082598>

Gajdoš Kljusurić, J.; Knights, V.; **Durmishi, B.**; Rizani, S.; Jankuloska, V.; Velkovski, V.; Jurinjak Tušek, A.; Benković, M.; Valinger, D.; Jurina, T. Data Analyses and Chemometric Modeling for Rapid Quality Assessment of Enriched Honey. Chemosensors 2025, 13, 246. <https://doi.org/10.3390/chemosensors13070246>

**Durmishi B.**, Knights V., Mehmeti I., Stamatovska V., Nuha D., Rizani S., et al. DETERMINING THE QUALITY OF HONEY IN THE REGION OF KOSOVA WITH PHYSIOCHEMICAL ANALYSIS. U. Ari. D.-U. Bee J. 2023;23(2):202-14. <https://doi.org/10.31467/uluaricilik.1349616>

**Durmishi, Berat**; Mehmeti, Ibrahim; Rizani, Smajl; Sadiku, Valon; Rizani, Hyzer; and Knights, Vesna, "Determination of the quality of local and imported honey bees in Kosovo" (2022). UBT International Conference. 357. <https://knowledgecenter.ubt-uni.net/conference/2022/all-events/357>

## УЧЕСТВО ВО ПРОЕКТИ ОД ОБЛАСТА НА ДОКТОРАТОТ

Durmishi, B. Participation in the project “**Development of an Open-Access Honey Quality Database (BeeQual Data)**”, submitted to the OSCARS 2nd Call for Open Science Projects and Services, in collaboration with the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Croatia.

## БЛАГОДАРНОСТ

*Ја изразувам мојата огромна благодарност до сите тие кои, на различни начини, придонесоа за нејзината реализација и за обликувањето на нејзината научна содржина.*

*Мојата најискрена и огромна благодарност до мојата почитувана менторка, проф. д-р Весна Книгхтс, за нејзиното континуирано водство, професионална и морална поддршка, како и за нејзините вредни совети и постојано насочување во текот на целиот процес на подготовка на оваа дисертација.*

*Посебна благодарност упатувам до проф. д-р Јасенка Гајдош Кљусуриќ за нејзината стручна помош и поддршка при лабораториските испитувања на антиоксидантната активност и фенолните соединенија во примероците од мед, реализирани во лабораториите на Прехранбено-биотехнолошкиот факултет, Универзитет во Загреб.*

*Исто така, им изразувам голема благодарност и на членовите на комисијата: проф. д-р Валентина Велковски, проф. д-р Горица Павловска и проф. д-р Везирка Јанкулоска, за нивните совети, предлози и академска поддршка, кои го збогатија овој труд.*

*Посебна благодарност му се упатува на Советот од третиот циклус за одобрувањето и поддршката на темата на оваа дисертација, која претставува прашање од значаен професионален и научен интерес за мене.*

*Би сакал да ја изразам мојата искрена благодарност до моето семејство за нивното постојано морално охрабрување во текот на целиот процес на подготовка и одбрана на овој научен труд. Исто така, благодарен сум им и на сите што обезбедија материјали, стручно водство и поддршка, што во голема мера придонесе за оригиналноста и успехот на мојата теза.*

*м-р Берат Дурмиши*

## СИМБОЛИ

English symbol	Meaning (English)	Значење (македонски)
a*	Red–green axis	Црвено-зелена оска
AL	Albania	Албанија
АОАС	Association of Official Analytical Chemists	Здружение на официјални аналитички хемичари
b*	Blue–yellow axis	Сино-жолта оска
BW	Body Weight	Телесна маса
C	Chroma (color saturation)	Хрома (заситеност на бојата)
DPPH	2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl	2,2-дифенил-1-пикрилхидразил
h	Hue angle	Агол на нијанса
HMF	Hydroxymethylfurfural	Индикатор за свежина
I (%)	DPPH radical inhibition (%)	Процент на инхибиција на DPPH радикали
L*	Lightness	Светлост
МК	Macedonia	Македонија
NIR	Near-infrared	Блиско инфрацрвена спектроскопија
PCA	Principal component analysis	Анализа на главни компоненти
PLS	Partial least squares	Парцијални најмали квадрати
PLS-DA	Partial least squares discriminant analysis	Анализа со парцијални најмали квадрати
Rc <sup>2</sup>	Coefficient of determination (calibration)	Коефициент на детерминација (калибрација)
RMSEC	Root mean square error of calibration	Корен од средна квадратна грешка на калибрација
RMSEV	Root mean square error of validation	Корен од средна квадратна грешка на валидација
RPD	Ratio of performance to deviation	Однос на стандардна девијација
Rv <sup>2</sup>	Coefficient of determination (validation)	Коефициент на детерминација (валидација)
TPC	Total phenolic compounds	Вкупни фенолни соединенија
ХК	Kosovo	Косово

## СОДРЖИНА

АВСТРАКТ	i
АПСТРАКТ	ii
1. ВОВЕД	1
1.1. Теоретска основа и значење	1
1.2. Предици за функционално збогатување и проценка на квалитетот	2
1.3. Блиско-инфрацрвена спектроскопија и хеометрија во анализата на мед	3
1.4. Празнини во досегашни истражувања и образложение	3
1.5. Цели и хипотези	4
1.6. Очекувани придонеси	5
2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА	6
2.1. Состав и функционални својства на медот	6
2.2. Хемиски состав на медот	6
2.2.1. Јаглехидрати	7
2.2.2. Вода	7
2.2.3. Протеини, ензими и аминокиселини	8
2.2.4. Органски киселини	9
2.2.5. Минерали и елементи во трагови	10
2.2.6. Витамини	10
2.2.7. Антиоксиданси (полифеноли и флавоноиди)	11
2.2.8. Испарливи соединенија и ароматичен профил	11
2.2.9. Пигменти и соединенија на бои	12
2.2.10. Хидроксиметилфурфурал (HMF) и други секундарни соединенија	12
2.3. Функционални импликации на хемискиот состав на медот	13
2.4. Збогатување на мед со ароматични и лековити билки	14
2.4.1. Лековити билки што се користат за збогатување на медот во нашата студија	14
2.4.1.1. Рузмарин ( <i>Rosmarinus officinalis</i> L.)	15
2.4.1.2. Лаванда ( <i>Lavandula officinalis</i> )	18
2.4.1.3. Масло од бел бор ( <i>Pinus sylvestris</i> )	21
2.4.1.4. Жалфија ( <i>Salvia officinalis</i> L.)	24
2.4.1.5. Оригано ( <i>Origanum vulgare</i> L.)	28
2.5. Ефекти од збогатувањето врз својствата на медот	31
2.6. Ефекти од збогатувањето со ароматични билки врз составот на медот	32
2.7. Фитохемиски придонес на ароматичните билки	32
2.8. Влијание врз вкупната содржина на феноли (TPC) и антиоксидантната активност	33
2.9. Промени во физичко-хемиските параметри	34
2.10. Синергистичка биоактивност и хемиски интеракции	36
2.11. Спектроскопски и хеометриски импликации	36
2.12. Безбедносни и регулаторни аспекти	37
2.13. Механизми на интеракција помеѓу матрицата на мед и билни биоактивни соединенија	37
2.13.1. Интеракции шеќер-полифенол	38
2.13.2. Интеракции помеѓу протеини и полифеноли	38
2.13.3. Ефекти врз активноста и вискозитетот на водата	39

2.13.4. pH-зависна стабилност на билни биоактивни соединенија	39
2.13.5. Синергија на водород пероксид и полифенол	40
2.13.6. Интеракции на испарливи соединенија	40
2.13.7. Хелација на полифенол-метал	40
2.13.8. Биорасположивост и дигестивно ослободување	41
2.13.9. Ензимски и Маиларови интеракции	41
2.14. Терапевтски ефекти на мед збогатен со ароматични билки	43
2.14.1. Антиоксидантна и цитопротективна активност	43
2.14.2. Антивоспалителни и имуномодулаторни ефекти	44
2.14.3. Антимикробно и антигабично дејство	44
2.14.4. Заздравување на рани и регенерација на ткива	45
2.14.5. Метаболни и антидијабетични ефекти	46
2.14.6. Невропротективни и когнитивни ефекти	46
2.14.7. Гастроинтестинални и хепатопротективни придобивки	47
2.14.8. Потенцијални антиканцерогени својства	47
2.15. Безбедносни и токсиколошки аспекти	47
2.16. Проценка на квалитетот на медот збогатен со ароматични билки	49
2.17. Физичко-хемиски и функционални параметри на квалитетот на медот	49
2.17.1. Физичко-хемиски параметри на квалитет	50
2.17.2. Проценка на хемискиот и функционалниот квалитет	50
2.17.3. Проценка на безбедноста	51
2.17.4. Сензорна и органолептичка евалуација	52
2.18. Спектроскопска и хеометриска проценка	52
2.19. Интегриран индекс на квалитет	53
2.20. Предизвици во проценката на квалитетот	53
2.21. Безбедносни проблеми и контаминација со тешки метали	54
2.22. Блиско-инфрацрвена спектроскопија (NIRS) во анализата на храна и мед	54
2.23. Хеометриски техники за анализа на повеќеваријантни податоци	55
2.24. <b>Ограничувања</b> во истражувањето и оправданост за оваа студија	55
2.25. Сензорна евалуација и перцепција на потрошувачите за мед збогатен со билки	56
3. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ИСТРАЖУВАЧКАТА РАБОТА	60
4. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДИ	63
4.1. Материјали	63
4.2. Физичкохемиска анализа	64
4.3. Мерење на бојата на примероците од мед	65
4.4. Мерење на антиоксидантната активност	66
4.5. Одредување на вкупната содржина на феноли (TPC)	66
4.6. Одредување на тешки метали	67
4.7. Блискоинфрацрвена спектроскопија	67
4.8. <b>Напредна</b> анализа на податоци	69
4.9. Хеометрија	71
4.10. Сензорна анализа	73
5. ДЕСКРИПТИВАНА СТАТИСТИЧКА АНАЛИЗА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ	77
5.1. Физичко-хемиски параметри на бојата и антиоксидантна активност на збогатени примероци од мед	77
5.2. Колориметриски параметри (L*, a*, b*, C, h) на бојата на медот	90

5.3. Статистичка анализа на експерименталните податоци за тешки метали и минерален состав на медот	100
5.4. Антиоксидантна активност на збогатен мед (DPPH)	103
6. ХЕМОМЕТРИСКО МОДЕЛИРАЊЕ	107
6.1. NIR спектри на примероци од мед	107
6.2. PCA анализа на NIR спектри	108
6.3. Вкупна содржина на феноли (TPC) и NIR моделирање	109
6.4. Мултиваријабилна анализа на TPC и метали	112
6.5. Мултиваријабилна анализа и моделирање на колориметриски параметри	116
6.6. Перформанси на NIR уредите: повторливост, репродуктивност и PLS/PLS-DA модели	118
7. СТАТИСТИЧКА АНАЛИЗА НА СЕНЗОРНИТЕ ПОДАТОЦИ	124
8. ДИСКУСИЈА ЗА РЕЗУЛТАТИТЕ	130
9. ЗАКЛУЧОЦИ	139
КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА	143
АНЕКС 1- Прашалник за мед	175
АНЕКС 2- Фотографија А2: PLSR за лабораторискиот (столниот) NIR уред – графички приказ на калибрациските, валидациските и тест примероците.	184
АНЕКС 3- фотографија А3: PLSR за преносливиот NIR уред – графички приказ на калибрациските, валидациските и тест примероците.	185

## СПИСОК НА ТАБЕЛИ

Табела 1. Состав на мед	13
Табела 2. Споредбен профил на лековити билки за збогатување на мед	29
Табела 3. Фитохемикалии што ги даваат одбрани билки	33
Табела 4. Механизми на интеракција	42
Табела 5. Антимикробна и антигабична активност	45
Табела 6. Терапевтски потенцијал на мед збогатен со ароматични билки	48
Табела 4.1. Ознаки и кратенки на примероците од мед	63
Табела 4.2. Просечни вредности на физичко-хемиските параметри на набљудуваните примероци од мед, со соодветни стандардни отстапувања	78
Табела 4.3. Просечни физичко-хемиски параметри за примероци од мед (Н1) со додадени ароматични растенија	79
Табела 4.4. Просечни физичко-хемиски параметри за примероци од мед (Н2) со додадени ароматични растенија	80
Табела 4.5. Просечни физичко-хемиски параметри за примероци од мед (Н3) со додадени ароматични растенија	81
Табела 4.6. Просечни физичко-хемиски параметри за примероци од мед (Н4) со додадени ароматични растенија	82
Табела 4.7. Просечни физичко-хемиски параметри за примероци од мед (Н5) со додадени ароматични растенија	83
Табела 4.8. Просечни физичко-хемиски параметри за примероци од мед (Н6) со додадени ароматични растенија	84
Табела 4.9. Просечни физичко-хемиски параметри за примероци од мед (Н7) со додадени ароматични растенија	85
Табела 4.10. Просечни физичко-хемиски параметри за примероци од мед (Н8) со додадени ароматични растенија	86
Табела 4.11. Просечни физичко-хемиски параметри за примероци од мед (Н9) со додадени ароматични растенија	87
Табела 4.12. Просечни вредности на измерените параметри на бојата за набљудуваните примероци од мед, со соодветни стандардни отстапувања	90
Табела 4.13. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н1) со додадени ароматични растенија	91
Табела 4.14. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н2) со додадени ароматични растенија	92
Табела 4.15. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н3) со додадени ароматични растенија	93
Табела 4.16. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н4) со додадени ароматични растенија	94
Табела 4.17. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н5) со додадени ароматични растенија	95
Табела 4.18. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н6) со додадени ароматични растенија	96
Табела 4.19. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н7) со додадени ароматични растенија	97
Табела 4.20. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н8) со додадени ароматични растенија	98
Табела 4.21. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н9) со додадени ароматични растенија	99

Табела 4.22. Резултати од ANOVA и Kruskal-Wallis тестовите за параметрите на составот на медот низ Косово, Албанија и Македонија	111
Табела 4.23. Ефикасност на моделот на калибрација и валидација на физичко-хемиските и бојните својства врз основа на апсорпцијата на NIR како влезни податоци	113
Табела 4.24. Тестирање на прецизност врз основа на релативната стандардна девијација (RSD) за повторливост и репродуктивност на NIR скенирање	119
Табела 4.25. Резултати од PLS регресијата за ефикасноста на моделот врз основа на NIR скенирања од два уреди	121
Табела 4.26. Предвидување на квалитативни варијабли (земја и вид на додадени ароматични растенија) со PLS-DA модели	122
Табела 4.27. Дозволен дневен внес на тешки метали	134

## СПИСОК НА ФОТОГРАФИИ

Фотографија 1. Мед збогатен со лековити билки	15
Фотографија 2. Рузмарин ( <i>Rosmarinus officinalis</i> L.)	16
Фотографија 3. Лаванда ( <i>Lavandula officinalis</i> )	19
Фотографија 4. Масло од бел бор ( <i>Pinus sylvestris</i> )	22
Фотографија 5. Жалфија ( <i>Salvia officinalis</i> L.)	24
Фотографија 6. Оригано ( <i>Origanum vulgare</i> L.)	27
Фотографија 4.1. Примери од мед за време на анализата	64
Фотографија 4.2. Дијаграм на тек за имплементација на хемометриски модели за предвидување на параметри од NIR спектри	72
Фотографија бр. 4.3. Концентрација на тешки метали во примероци од мед од различни региони (А), со изолирани примери на промени во концентрациите на тешки метали во зависност од додаденото ароматично растение, за Pb и Ni (В), без оглед на додадената концентрација. Различни букви за истиот параметар означуваат статистички значајна разлика ( $p < 0,05$ ).	101
Фотографија бр. 4.3С. Концентрации на тешки метали во примероци од чист мед и во примероци во кои се додадени ароматични растенија, без оглед на додадената концентрација	102
Фотографија бр. 4.4 (А). Инхибиција на радикалите на DPPH за мед (Н1–Н9) без додадени ароматични растенија.	104
Фотографија бр. 4.4 (В). Инхибиција на радикалите на DPPH за мед (Н1–Н9) со додадени ароматични растенија во концентрации од 0,5, 0,8 и 1%.	105
Фотографија 4.5. NIR спектри (апсорпција) за чист и збогатен мед со означени бранови должини	107
Фотографија 4.6. Анализа на главните компоненти, вклучувајќи физичко-хемиски својства и својства на бојата на примерокот од мед (А) и вклучувајќи NIR спектри (В). F1 и F2 се првите две главни компоненти на PCA	109
Фотографија 4.7. Вкупна содржина на феноли (TPC) по земји (А) и според додадено растение (В)	110
Фотографија бр. 4.8. Би-графикон од анализата на главните компоненти (PCA) за вкупни феноли (TPs) и вредности на тешки метали (Zn, Cd, Fe, Cu, Ni, Cr, Pb, Co, Mg, Mn, K и Na) во три региони (Косово-ХК, Албанија (AL) и Македонија (МК) со додадени ароматични растенија	114
Фотографија 4.9. Тридимензионален приказ на резултатите на збогатениот мед	117
Фотографија 4.10. NIR спектри, скенирани со преносен уред, за аналогниот (линии) и 144 примероци од мед (жолтата површина)	118
Фотографија 4.11. Мед збогатен со лековити билки и масло – евалуација на арома	125
Фотографија 4.12. Сензорна евалуација на вкус на збогатен мед	126
Фотографија 4.13. Општа прифатливост на збогатен мед	127
Фотографија бр. А2: PLSR за лабораторискиот (столниот) NIR уред – графички приказ на калибрациските, валидациските и тест примероците	184

## ABSTRACT

Honey is a nutritionally valuable functional food widely used as a natural sweetener due to its content of sugars, vitamins, minerals, enzymes, and antioxidants. Its antioxidant and antimicrobial properties are well established. Recently, interest has increased in functional honey enriched with aromatic plant extracts such as rosemary, lavender, oregano, sage, and white pine, which may enhance phenolic content and antioxidant capacity. However, enrichment can also modify sensory properties and introduce contaminants, including heavy metals, requiring reliable quality assessment.

This study evaluated the chemical, functional, and spectral characteristics of honey enriched with aromatic plants from Kosovo, Albania, and North Macedonia. Physicochemical parameters, color, total phenolic content (TPC), antioxidant activity, heavy metals, and consumer acceptability were determined. Near-infrared (NIR) spectroscopy was applied using laboratory and portable devices to analyze pure and enriched honey containing five plant extracts at three concentrations (0.5%, 0.8%, and 1%).

Geographical origin and botanical enrichment significantly affected TPC and heavy metal levels. Honey from Kosovo showed the highest TPC, whereas Albanian samples contained higher iron and nickel concentrations. Enrichment with oregano and rosemary increased phenolic content but also elevated certain heavy metals, indicating both functional improvement and safety concerns. Chemometric models (PCA and PLS) enabled discrimination between pure and enriched honey and prediction of antioxidant activity and color from NIR spectra. Distinct spectral patterns corresponded to plant type and concentration.

These results demonstrate that NIR spectroscopy coupled with chemometrics provides a rapid, non-destructive approach for monitoring quality, authenticity, and safety of enriched honey.

**Key words:** Honey enrichment; aromatic plants; total phenolic content; NIR spectroscopy; heavy metals; chemometrics; modeling

## АПСТРАКТ

Медот претставува нутритивна функционална храна која широко се користи како природен засладувач поради содржината на шеќери, витамини, минерали, ензими и антиоксиданти. Неговите антиоксидантни и антимикуробни својства се добро познати. Во последниве години расте интересот за функционален мед збогатен со екстракти од ароматични растенија, како: рузмарин, лаванда, оригано, жалфија и бел бор, кои можат да ја зголемат содржината на феноли и антиоксидантниот капацитет. Сепак, збогатувањето може да ги измени сензорните својства и да внесе контаминенти, вклучувајќи тешки метали, што бара сигурна процена на квалитетот.

Оваа студија ги оцени хемиските, функционалните и спектралните карактеристики на мед збогатен со ароматични растенија од Косово, Албанија и Македонија. Беа определени физичко-хемиските параметри, бојата, вкупната содржина на феноли (TPC), антиоксидантната активност, тешките метали и прифатливоста од страна на потрошувачите. Блиско-инфрацрвената (NIR) спектроскопија беше применета со лабораториски и преносни уреди за анализа на чист и збогатен мед со пет растителни екстракти во три концентрации (0,5%, 0,8% и 1%).

Географското потекло и растителното збогатување значајно влијаеја врз TPC и содржината на тешки метали. Медот од Косово покажа највисоки TPC вредности, додека примероците од Албанија содржеа повисоки концентрации на железо и никел. Збогатувањето со оригано и рузмарин ја зголеми фенолната содржина, но истовремено и одредени тешки метали, што укажува на функционално подобрување, но и безбедносни аспекти. Хемометриските модели (PCA и PLS) овозможиле диференцијација помеѓу чист и збогатен мед и предвидување на антиоксидантната активност и бојата од NIR спектрите. Беа забележани препознатливи спектрални обрасци зависно од видот и концентрацијата на растението.

Резултатите потврдуваат дека NIR спектроскопијата во комбинација со хемометрија претставува брз и недеструктивен пристап за следење на квалитетот, автентичноста и безбедноста на збогатениот мед.

**Клучни зборови:** Збогатување на мед; ароматични растенија, вкупна содржина на феноли, NIR спектроскопија, тешки метали, хемометрија и моделирање.

# 1. ВОВЕД

## 1.1. Теоретска основа и значење

Медот е природен производ со сложен хемиски состав, произведен од медоносните пчели (*Apis mellifera*) од нектарот на цветовите или од медната роса (honeydew) – излучени од инсекти кои се хранат со растителни сокови (Fernandes et al., 2022). Уште од античко време медот е многу ценет поради неговите хранливи и лековити својства, но и својства на природен конзерванс (Eteraf-Oskoueï & Najafi, 2013). Освен неговата примарна улога како природен засладувач, медот претставува биолошки активна матрица што содржи широк спектар од компоненти, вклучувајќи: шеќери (главно гликоза и фруктоза), аминокиселини, органски киселини, минерали, витамини, фенолни соединенија, ензими и испарливи супстанции (Ajibola et al.2012; Al-Kafaween et al.2023). Ова композициско богатство придонесува за неговите разновидни биолошки својства, како што се: антиоксидантни, антибактериски, антиинфламаторни и здравувачки активности (Bogdanov et al., 2008; da Silva et al., 2016).

Во последниве години, глобалната прехранбена индустрија доживеа изразен пресврт кон функционални производи и производи со додадена вредност кои комбинираат нутритивни и терапевтски придобивки (Samarghandian et al.2017). Медот, поради неговата хемиска разновидност и перцепцијата на потрошувачите како „природен“ и „здрав“ производ, обезбедува идеална основа за функционално збогатување. Вклучувањето биоактивни растителни екстракти, како што се тие добиени од ароматични билки, се појави како ветувачка стратегија за подобрување на фенолната содржина на медот, антиоксидантниот капацитет и потенцијалните здравствени придобивки (Czernicka et al.2024). Ароматичните билки, вклучувајќи рузмарин (*Rosmarinus officinalis*), лаванда (*Lavandula angustifolia*), оригано (*Origanum vulgare*), жалфија (*Salvia officinalis*) и бел бор (*Pinus sylvestris*), се познати по нивната висока концентрација на полифеноли, флавоноиди, терпени и други фитохемикалии со докажани антиоксидантни и антимицробни ефекти (Grigore-Gurgu et al.2025). Кога се инкорпорираат во медот, овие биоактивни соединенија можат синергистички да ги подобрат неговите функционални и сензорни карактеристики (Czira et al., 2025).

Сепак, збогатувањето на медот со растителни екстракти воведува нови аналитички и безбедносни предизвици (Durmishi et al.2025). Додавањето растителни

материјали може да ги промени физичко-хемиските параметри (како што се: рН, електрична спроводливост, влага и боја), да влијае врз сензорните атрибути (вкус, арома, текстура) и потенцијално да ги зголеми нивоата на загадувачи, вклучувајќи тешки метали, како што се: олово (Pb), никел (Ni) и железо (Fe) (Džugan et al.2017). Овие загадувачи може да потекнуваат од самиот растителен материјал, загадувањето на животната средина или условите за преработка (Inaudi et al., 2025). Затоа, оценувањето на хемискиот состав, антиоксидантните својства и безбедноста на збогатените производи од мед, бара интегриран аналитички пристап што ги комбинира класичните хемиски анализи и модерните инструментални техники (Wang et al.2023).

## 1.2. Предизвици за функционално збогатување и процена на квалитетот

Функционалното збогатување на медот со употреба на билни екстракти е релативно неодамнешна иновација во прехранбената наука и развојот на производи (Grabek-Lejko et al.2022). Иако неколку студии покажаа подобрена антиоксидантна или антимицробна активност по збогатувањето на медот, помалку студии систематски ја проценија компромисната разлика помеѓу функционалноста и безбедноста или влијанието на збогатувањето врз параметрите за квалитет, како што се: бојата, вискозитетот и сензорната перцепција (Kumar et al.2024).

Клучен предизвик при збогатувањето на медот е стандардизацијата на контролата на квалитетот, бидејќи традиционалните физичко-хемиски анализи (на пр., спектрофотометриски методи за определување на вкупни фенолни соединенија, титриметриски мерења на киселост или хроматографско профилирање) често одземаат многу време, се деструктивни и бараат обемна подготовка на примерокот (Pušcion-Jakubik et al., 2020; Schaffel et al., 2025). Дополнително, ваквите техники можеби нема да ја опфатат целосната сложеност на матричните интеракции помеѓу медот и биоактивните растителни соединенија (Bonsignore et al., 2024).

Следствено, недеструктивните спектроскопски техники, особено блиско инфрацрвената спектроскопија (NIR), добиваат сè поголемо внимание за брза и сигурна проценка на квалитетот на храната (Fodor et al.2024). NIR спектроскопијата обезбедува информации на молекуларно ниво врз основа на обертонови и комбинации на вибрациони режими на функционални групи ( $-CH_3$ ,  $-OH$ ,  $-NH_3$ ) (Već et al.2020). Кога се комбинира со техники на хеометриско моделирање, како што се: анализа на главни компоненти (PCA), парцијална регресија на најмали квадрати (PLS) и дискриминантна

анализа (DA), NIR може да понуди моќни предикативни модели за класификација и квантификација во сложени прехранбени системи (Rocha et al. 2020; Yu et al.2021).

### **1.3. Блиско-инфрацрвена спектроскопија и хеометрија во анализата на мед**

Во последниве години, блиско-инфрацрвена спектроскопија (near-infrared spectroscopy (NIR)) е широко применета за автентификација на ботаничкото и географското потекло на медот, откривање на фалсификување и проценка на физичко-хемиските параметри за квалитет, како што се: содржината на влага, составот на шеќер и бојата. Неговите предности се брзината, минималната подготовка на примероците и одржливоста на животната средина, што ја прават особено погодна за следење на квалитетот на медот и производите врз база на мед на само место или преносливо (Escuredo et al. 2021; Caredda et al. 2024; Durmishi et al. 2025).

Интегрирањето на хеометријата го подобрува интерпретативниот капацитет на NIR податоците дозволувајќи им на истражувачите да извлечат значајни информации од сложените спектри и да развијат сигурни модели за предвидување (El Hajj & Estephan, 2024). Овие модели можат да се калибрираат за да ги корелираат спектралните потписи со референтните мерења овозможувајќи проценка на клучните параметри како што се вкупната содржина на феноли (TPC), антиоксидантната активност и концентрацијата на тешки метали (Kljusurić et al.2016; Bobková et al.2021). Таквото мултивариантно моделирање поддржува не само аналитичка точност, туку и класификација на примероците според потеклото, ботаничкиот тип или составот на збогатување, нудејќи нови перспективи за контрола на автентичност и откривање измами во индустријата за мед.

### **1.4. Празнини во досегашни истражувања и образложение**

И покрај растечкиот истражувачки интерес за функционализиран мед, постојат неколку клучни празнини во знаењето:

- 1. Ограничени регионални студии:** Податоците за збогатување на мед и билки од Западен Балкан (Косово, Албанија и Македонија) остануваат оскудни, и покрај тоа што овие региони се богати со цветна разновидност и ароматични растителни ресурси;

2. **Безбедносни проблеми:** Влијанието на збогатувањето врз акумулацијата на тешки метали и други потенцијални загадувачи не е сеопфатно оценето;
3. **Интегрирана аналитичка евалуација:** Малку студии ги комбинирале традиционалните хемиски анализи со напредни спектроскопски и хеометриски пристапи за да воспостават интегрирана рамка за евалуација на квалитетот и безбедноста;
4. **Ефекти на концентрација и моделирање:** Систематското истражување на различните концентрации на збогатување и нивното влијание врз спектралните, хемиските и функционалните карактеристики е ограничено.

Оваа студија ги опфаќа овие празнини преку повеќедимензионална процена на мед збогатен со ароматични растенија, комбинирајќи хемиски, функционални и спектроскопски податоци за да ги разјасни композициските обрасци и да идентификува предикативни маркери за процена на квалитетот.

### 1.5. Цели и хипотези

Главната цел на ова докторско истражување е да се изврши напредна анализа на податоци преку интегрирани математички и статистички методи за компаративна анализа на медот збогатен со одбрани ароматични билки, користејќи класични аналитички и NIR спектроскопски методи, поткрепени со хеометриско моделирање.

Специфичните цели се:

1. да се утврдат физичко-хемиските својства, вкупната содржина на феноли, антиоксидантната активност, содржината на тешки метали и прифатливоста на примероците од чист и збогатен мед од страна на потрошувачите,
2. да се процени содржината на тешки метали (Ni, Cu, Pb, итн.) во примероци од мед збогатени со различни растителни екстракти и од различно географско потекло,
3. да се снимаат NIR спектри со користење лабораториски и преносни инструменти и да се развијат хеометриски модели (PCA, PLS) за класификација на примероци и предвидување клучни параметри,
4. да се процени влијанието на видот на растението и концентрацијата врз составните и функционалните атрибути на медот,
5. да се воспостават корелации помеѓу спектроскопските и хемиските податоци, поддржувајќи го развојот на алатки за недеструктивно следење на квалитетот.

Истражувањето е водено од следниве хипотези:

- Збогатувањето на медот со екстракти од ароматични растенија ја зголемува содржината на вкупни феноли и антиоксидантниот капацитет, при што ефектот зависи од видот на растението и неговата концентрација.
- Различните растителни видови и концентрации создаваат препознатливи спектрални отпечатоци во NIR регионот.
- NIR спектроскопијата, во комбинација со хеометриски математички модели (PCA, PLS/PLSR, PLS-DA), овозможува ефикасна класификација и предвидување на параметрите на квалитетот на медот.
- Географското потекло значајно влијае врз хемискиот состав и NIR профилот на основниот и збогатениот мед, овозможувајќи нивна диференцијација и автентикација.
- Збогатувањето со ароматични растенија и географското потекло влијаат врз содржината на тешки метали во медот.
- Додавањето ароматични растенија влијае врз сензорните својства и прифатливоста на функционалниот мед.

## 1.6. Очекувани придонеси

Оваа докторска работа придонесува кон растечкото поле на иновации во функционалната храна и аналитичката хемија на храната преку:

- Обезбедување на првото сеопфатно множество од податоци за збогатување мед со балкански ароматични билки, поврзувајќи ги композициските, спектроскопските и безбедносните податоци;
- Демонстрирање на применливоста на преносливата NIR спектроскопија како недеструктивен аналитички метод за збогатен мед;
- Хеометриско моделирање за предвидување и класификација на атрибутите на квалитетот на медот;
- Генерирање научни докази за стандардизација на производи и регулативи за безбедност на храната поврзани со производство на збогатен мед.

Конечно, студијата има за цел да го премости јазот помеѓу традиционалната аналитичка хемија и модерните спектроскопски технологии поддржувајќи го развојот на брзи, сигурни и одржливи методи за обезбедување на квалитетот на природните и збогатените производи од мед.

## 2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА

### 2.1. Состав и функционални својства на медот

Медот е комплексна природна супстанција составена првенствено од јаглехидрати (приближно 80-85%), вода (15-18%) и споредни состојки, како што се: аминокиселини, органски киселини, витамини, минерали, ензими, полифеноли и испарливи соединенија (Khan et al.2018). Доминантните шеќери, гликоза и фруктоза, ја одредуваат неговата сладост и вискозитет, додека ензимите, како што се: инвертаза, дијастаза и гликоза оксидаза се одговорни за неговата биолошка активност и формирање глуконска киселина и водород пероксид, клучни фактори во антимицробните својства на медот (Bogdanov et al., 2008; Alaerjani et al., 2022). Фенолните соединенија, вклучувајќи ги флавоноидите (кверцетин, кемпферол, хризин, галангин) и фенолните киселини (кофеински, ферулни и п-кумарински киселини), ги претставуваат примарните антиоксидантни состојки на медот.

Нивната концентрација варира во голема мера во зависност од ботаничкото и географското потекло, изворот на цветот, условите за обработка и времето на складирање (Cianciosi et al. 2018; Olas, 2020). Овие соединенија значително придонесуваат за бојата, аромата и терапевтскиот потенцијал на медот, особено во спречувањето на нарушувања поврзани со оксидативен стрес и микробни инфекции (Ogwu & Izah, 2025). Неколку студии покажаа корелации помеѓу вкупната содржина на феноли (TPC), интензитетот на бојата и антиоксидантната активност мерена преку DPPH, FRAP или ABTS анализи, што сугерира дека потемниот мед, како што е: шумскиот или медот од хељда, често покажуваат поголема биоактивност (Becerril-Sánchez et al. 2021; Jaśkiewicz et al. 2025). Затоа, TPC и антиоксидантниот капацитет се широко признати како клучни индикатори за функционалниот квалитет на медот (Tananaki et al.2024).

### 2.2. Хемиски состав на медот

Од хемиски аспект, медот претставува презаситен природен раствор на шеќери, во кој доминираат моносахаридите фруктоза и гликоза, растворени во ограничена количина вода. Односот помеѓу овие шеќери, како и присуството на дисахариди и олигосахариди, го одредуваат неговото физичко однесување, особено: вискозитетот, хигроскопноста и тенденцијата кон кристализација (Ball, 2007; Vijan et al., 2023).

Хемискиот профил на медот е природно варијабилен и зависи од ботаничкото и географското потекло, климатските услови и технологијата на добивање и складирање. Оваа варијабилност се рефлектира во шеќерниот состав, минералната содржина, киселоста и

електропроводливоста, кои претставуваат важни параметри за карактеризација, класификација и утврдување на автентичноста на медот (Chentoufi et al., 2025).

### 2.2.1. Јаглехидрати

Јаглехидратите се главните состојки на медот, сочинувајќи 80-85% од неговата вкупна тежина. Тие вклучуваат моносахариди, дисахариди и разни олигосахариди (Khan et al. 2018).

#### Моносахариди

- Фруктоза ( $C_6H_{12}O_6$ ): 35–45%
- Гликоза ( $C_6H_{12}O_6$ ): 25–35%

Фруктозата и гликозата заедно сочинуваат околу 70–80% од вкупните шеќери. Односот фруктоза-гликоза (F/G) е клучен индикатор за тенденцијата за кристализација и сладоста. Фруктозата, бидејќи е похигроскопска и послатка, преовладува во медот од багрем и жалфија, додека гликозата доминира во медот од сончоглед и репка (Weber et al. 2022).

#### Дисахариди

- Сахароза: <5% (конвертирана за време на зреењето од инвертаза)
- Малтозата, изомалтозата, туранозата, коџибиозата, нигерозата и малтулозата се присутни во помали количини (0,1–2%).

Овие дисахариди потекнуваат од ензимското разградување и интерконверзијата на шеќерите за време на обработката на нектарот од страна на пчелите (Lichtenberg-Kraag, 2014).

#### Олигосахариди

Малите шеќери, како што се мелезитоза, рафиноза, кестоза, ерлоза, паноза и изомалтотриоза се присутни во концентрации под 1%. Иако квантитативно мали, тие играат важна улога во сложеноста на вкусот, пребиотската активност и автентикацијата на ботаничкото потекло на медот (Consonni et al. 2012).

### 2.2.2. Вода

Водата е суштинска компонента на медот, обично сочинува околу 17-20% од неговата вкупна тежина. Содржината на влага во медот игра важна улога во неговата текстура, вискозитет и рок на траење. Медот со поголема содржина на влага е повеќе склон кон ферментација и расипување, додека медот што е премногу сув може да кристализира побрзо и да ги изгуби своите карактеристични својства. Содржината на вода во медот може да варира во зависност од фактори, како што се: изворот на цветот,

климата и методите на берба (Singh & Singh, 2018; Khan et al.2018).

Водата сочинува 15-20% од тежината на медот и е најкритичниот фактор што влијае врз неговата стабилност, вискозитет и микробен раст (Olaitan et al. 2007).

- Оптимална содржина на влага:  $\leq 18\%$  за стабилно складирање.
- Повисоката влажност ја фаворизира ферментацијата на квасецот, што доведува до формирање алкохол и киселина.

Содржината на вода зависи од потеклото на нектарот, климата и ракувањето по бербата.

Активноста на водата ( $a_w$ ) е обично помеѓу 0,55-0,62, доволно ниска за да го инхибира растот на повеќето бактерии и габи, што придонесува за природниот капацитет на медот како конзерванс (Almasaudi, 2021).

### 2.2.3. Протеини, ензими и аминокиселини

Иако се присутни во мали количини (0,1-0,5%), протеините и ензимите се клучни фактори кои придонесуваат за биолошките и сензорните квалитети на медот (Bryś & Strachecka, 2024).

#### Ензими

Медот содржи разни ензими извлечени од пчели и цветни извори, кои играат важна улога во формирањето, созревањето и зачувувањето на медот (Cucu et al.2021). Главните ензими вклучуваат инвертаза (сахараза), дијастаза (амилаза) и гликоза оксидаза. Инвертазата катализира хидролиза на сахароза во гликоза и фруктоза, придонесувајќи за сладоста и сварливоста на медот (Alshareef et al.2022). Дијастазата го олеснува разградувањето на сложените јаглехидрати во поедноставни шеќери, помагајќи во варењето и трансформацијата на медот за време на созревањето. Гликоза оксидазата произведува водород пероксид во присуство на гликоза и кислород, давајќи му на медот антимикробни својства (Bogdanov et al.2008; Ogwu & Izah, 2025).

Главните ензими потекнуваат од пчелните секрети и вклучуваат:

- Инвертаза ( $\beta$ -фруктофуранозидаза): хидролизира сахароза во гликоза и фруктоза за време на зреењето на медот;
- Дијастаза ( $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаза): ги разградува скробот и декстрините, нејзината активност (дијастазен број) е индикатор за свежина;
- Гликоза оксидаза: катализира оксидација на гликоза до глюконска киселина и водород пероксид - одговорна за антимикробната активност на медот;

- Каталаза: го разградува водородниот пероксид модулирајќи ја оксидативната рамнотежа;
- Кисела фосфатаза и пероксидаза: придонесуваат за редокс стабилноста на медот.

Активноста на ензимите се намалува со термичка обработка и продолжено складирање, што го прави чувствителен маркер за квалитетот на преработката на медот (Мајтан, 2024).

### **Аминокиселини и протеини**

Медот содржи разновиден спектар на аминокиселини, градежни единици на протеините, кои придонесуваат за неговата хранлива вредност (Yang et al.2024). Есенцијалните аминокиселини како што се лизин, леуцин, фенилаланин и валин се присутни во различни концентрации, заедно со неесенцијални аминокиселини како што се аланин, глутаминска киселина и пролин. Аминокиселините играат важна улога во синтезата на протеините, метаболизмот и целокупното здравје (Dalangin et al. 2020). Медот содржи околу 18-20 слободни аминокиселини, од кои пролинот е најзастапен (50-85% од вкупниот број) (Dimins et al.2022).

Содржината на пролин служи како индикатор за зрелост, а вредностите за автентичност под 180 mg/kg често укажуваат на фалсификување или незрел мед (Zhang et al. 2021). Други аминокиселини вклучуваат глутаминска киселина, аспарагинска киселина, аланин, фенилаланин, тирозин и лизин, кои придонесуваат за реакциите на Маилард и развојот на аромата на медот (Chairpoot et al.2025).

#### **2.2.4. Органски киселини**

Органските киселини придонесуваат за киселоста и вкусот на медот. Вообичаени органски киселини што се наоѓаат во медот се: глуконска киселина, опетна киселина, мравја киселина, лимонска киселина и млечна киселина (FuenteMolina et al. 2020). Овие киселини ги произведуваат пчелите за време на процесот на конверзија на нектарот и ферментација. Органските киселини не само што влијаат врз вкусот и аромата на медот, туку придонесуваат и за неговото зачувување со инхибирање на растот на микробите и ензимската деградација (Estevinho et al., 2008).

Органските киселини сочинуваат 0,2-0,5% од медот и играат клучна улога во одредувањето на вкусот, киселоста и антимицробната активност (Mato et al. 2003).

Доминантна киселина е глуконската киселина, формирана ензимски од гликоза со помош на гликоза оксидаза. Други киселини вклучуваат:

- Оцетни, лимонски, млечни, јаболкова, сукцинска, винска и мравја киселина.

Вкупната киселост (мерена како meq/kg) обично се движи од 8 до 50 meq/kg.

Овие киселини, во комбинација со лактони и естри, придонесуваат за карактеристичната кисела рН-вредност на медот (3,2-4,5), што ја подобрува стабилноста и антимиڪробната ефикасност (Bogdanov et al., 2008).

### 2.2.5. Минерали и елементи во трагови

Содржината на минерали претставува 0,1-0,5% од сувата тежина на медот, што го одразува ботаничкото и географското потекло, како и составот на почвата (Pavlin et al. 2023).

Вообичаени минерали вклучуваат:

- Макроеlementи: калиум (K), калциум (Ca), натриум (Na), магнезиум (Mg) и фосфор (P).
- Микроelementи: железо (Fe), цинк (Zn), бакар (Cu), манган (Mn).

Калиумот е најзастапен (200-800 мг/кг), сочинувајќи до 50% од содржината на пепел.

Тешките метали, како што се: оловото (Pb), кадмиумот (Cd), никелот (Ni), хромот (Cr) и арсенот (As) може да бидат присутни во траги, што често е поврзано со контаминација на животната средина. Нивната концентрација мора да биде во согласност со безбедносните стандарди (на пр., Pb < 0,1 mg/kg според Регулацијата на ЕУ 1881/2006).

Минералниот состав е важен геохемиски маркер за одредување на географското потекло на медот и за откривање на загадување на животната средина (Ligor et al. 2022).

### 2.2.6. Витамини

Медот содржи мали количини витамини растворливи во вода (Б-комплекс, Ц) и растворливи во масти (А, Д, Е, К) (Ranneh et al. 2021).

Главните витамини вклучуваат:

- Витамин Б2 (рибофлавин), Б3 (ниацин), Б5 (пантотенска киселина), Б6 (пиридоксин), Б9 (фолна киселина);
- Витаминот Ц (аскорбинска киселина) придонесува за антиоксидантен

потенцијал.

Иако содржината на витамини е нутритивно скромна (<2 mg/100 g), таа го подобрува биоактивниот и антиоксидантниот профил на медот (Zawawi et al. 2021).

### **2.2.7. Антиоксиданти (полифеноли и флавоноиди)**

Медот содржи низа антиоксиданти вклучувајќи фенолни соединенија, флавоноиди и други полифеноли, кои играат важна улога во отстранувањето на слободните радикали и намалувањето на оксидативниот стрес (Wilczyńska & Žak, 2024). Овие антиоксиданти придонесуваат за потенцијалните здравствени придобивки од медот вклучувајќи антиинфламаторни, антиканцерогени и кардиопротективни ефекти (Iftikhar et al. 2022). Антиоксидантната активност на медот варира во зависност од фактори, како што се: изворот на цветот, методите на обработка и условите за складирање (Ahmed et al. 2018).

Полифенолите се меѓу биолошки најзначајните споредни состојки на медот, придонесувајќи за бојата, вкусот и антиоксидантните својства (Wilczyńska & Žak, 2024).

#### **Фенолни киселини**

- Кофеинска, хлорогенска, ферулна, п-кумарна, гална, шпрингична и ванилинска киселина.

#### **Флавоноиди**

- Кверцетин, кемпферол, хризин, галангин, пиноцембрин, пинобанксин и апигенин.

Вкупната содржина на феноли (TPC) во медот се движи од 30 до 900 мг еквиваленти на гална киселина (GAE)/кг, во зависност од изворот и обработката на цветот. Потемниот мед обично има повисок TPC и антиоксидативен капацитет (Abouelenein et al., 2025).

Овие соединенија покажуваат отстранување на радикали, хелатирање метали и антиинфламаторни својства, што придонесува за улогата на медот во модулацијата на оксидативниот стрес и превенцијата на хронични заболувања (Paulius et al. 2020).

### **2.2.8. Испарливи соединенија и ароматичен профил**

Аромата и вкусот на медот се под влијание на неговите испарливи компоненти, кои се добиени од цветни извори и метаболизмот на медоносните пчели (Tripodi et al. 2025). Овие испарливи компоненти вклучуваат алдехиди, кетони, алкохоли, естри, терпени и соединенија што содржат сулфур, при што секое од нив придонесува за

уникатниот сензорен профил на медот и ароматичниот букет (Mulheron et al. 2024). Составот и концентрацијата на испарливи компоненти во медот може да варираат во зависност од фактори, како што се: цветниот извор, климата и методите на обработка. Испарливите компоненти играат клучна улога во сензорните атрибути на медот, влијаејќи врз неговата арома, вкус и целокупен квалитет (Manyi-Loh et al. 2011).

Испарливите соединенија во медот потекнуваат од нектар, растителни есенцијални масла, метаболизам на пчелите и реакции на Мајард (Panseri et al.2023).

#### **Примери:**

- Бензалдехид, фенилацеталдехид и метил антранилат од цветни извори.
- Линалоол и хотриенол монотерпени карактеристични за медот од лаванда и цитрус.
- Нонални и хексански производи на оксидација на липиди.

Профилирањето на испарливи материи со GC-MS е широко користено за автентикација на цветното потекло и сензорната карактеризација (Castell et al.2023).

#### **2.2.9. Пигменти и соединенија на бои**

Бојата на медот се движи од бледожолта до темно килибарна или црвеникаво-кафеава. Пигментацијата произлегува од:

- каротеноиди ( $\beta$ -каротен, лутеин),
- флавоноидни пигменти,
- производи на маилардова реакција (меланоидини),
- производи на оксидација на полифеноли.

Интензитетот на бојата е позитивно во корелација со содржината на феноли и антиоксидантната активност.

Мерењето обично се врши со користење на скалата Pfund или просторот на бои CIE Lab\* (Bertoncelj et al., 2007).

#### **2.2.10. Хидроксиметилфурфурал (HMF) и други секундарни соединенија**

HMF е производ на разградување на хексозите формирани под кисели и термички услови.

Прифатлива граница:  $\leq 40$  mg/kg во свеж мед (Codex Alimentarius, 2001). Зголемените нивоа на HMF во медот укажуваат на прегревање, продолжено складирање или фалсификување.

Други секундарни соединенија вклучуваат формалдехид, метилглиоксал и

меѓупроизводи на реакцијата на Маилард, кои влијаат и врз бојата и врз антиоксидантниот потенцијал (Shapla et al.2018).

**Табела бр. 1.** Состав на мед

Класа на компоненти	Концентрација (% или mg/kg)	Главни составни делови / Функција
Јаглехидрати	80-85%	фруктоза, гликоза, сахароза, малтоза. контролира
Вода	15-20%	вискозитет, стабилност.
Протеини и ензими	0,1-0,5%	инвертаза, дијастаза, гликоза оксидаза.
Аминокиселини	50-800 мг/кг	пролин (доминантен).
Органски киселини	0,2-0,5%	глуконска киселина, оцетна киселина.
Минерали	0,1-0,5%	К, Са, Mg, Fe, Zn
Витамини	Трага	Б-комплекс, Ц, Е.
Феноли	30-900 мг GAE/кг	флавоноиди, фенолни киселини.
Испарливи соединенија	<1%	алдехиди, терпени, алкохоли.
НMF (Hydroxymethylfurfural)	<40 мг/кг	индикатор за свежина.

### 2.3. Функционални импликации на хемискиот состав на медот

Секоја класа на соединенија во медот синергистички придонесува за неговите функционални својства:

- Шеќери: извор на енергија и хигроскопност;
- Органски киселини и ниска рН-вредност: антибактериска активност;
- Ензими и водород пероксид: антимицробна одбрана;
- Феноли и флавоноиди: антиоксидантни и антиинфламаторни функции;
- Минерали и витамини: нутритивна вредност и метаболичка поддршка;

- Испарливи материи: маркери за сензорен квалитет и автентичност (Aga et al.2023).

Разбирањето на оваа хемиска комплексност е фундаментално за процена на тоа како збогатувањето со ароматични билки ги модифицира хранливите, функционалните и безбедносните атрибути на медот (Гајдош Кљусуриќ и др. 2025).

## 2.4. Збогатување мед со ароматични и ароматични билки

Збогатувањето на медот со растителни екстракти и есенцијални масла се појави како иновативна стратегија за развој на функционален мед со зголемен биоактивен потенцијал (Kumar et al.2024). Ароматичните и лековитите билки се богати со секундарни метаболити, како што се: фенолни киселини, флавоноиди, терпеноиди и алкалоиди, кои покажуваат силни антиоксидантни, антимицробни и антиинфламаторни својства (Sun & Shahrajabian, 2023).

### 2.4.1. Ароматични билки користени за збогатување на медот во нашата студија

Ароматичните и лековитите билки се богати со биоактивни фитохемикалии, како што се: фенолни киселини, флавоноиди, терпеноиди и есенцијални масла, кои даваат: антиоксидантни, антимицробни, антиинфламаторни и терапевтски својства. Во оваа студија, пет билки беа избрани за збогатување на медот: масло од лаванда (*Lavandula angustifolia*), рузмарин (*Rosmarinus officinalis* L.), оригано (*Origanum vulgare*), жалфија (*Salvia officinalis*) и масло од бел бор (*Pinus sylvestris*). Овие билки беа избрани врз основа на нивното фитохемиско богатство, традиционалната медицинска употреба и потенцијалот за синергистичка активност со мед.

**Рузмарин (*Rosmarinus officinalis* L.):** содржи фенолни дитерпени (карнозинска киселина, карнозол) и рузмаринска киселина, познати по нивните високи антиоксидантни и липидно-заштитни ефекти (Meziane et al., 2025).

**Лаванда (*Lavandula angustifolia*):** богат со линалоол, линалил ацетат и фенолни киселини, кои нудат антимицробни и анксиолитички својства (Manzoor et al. 2025).

**Оригано (*Origanum vulgare*):** значаен по неговата висока содржина на карвакрол и тимол, кои обезбедуваат моќни антибактериски и антиоксидантни ефекти (Nurzyńska-Wierdak & Walasek-Janusz, 2025).

**Жалфија (*Salvia officinalis* L.):** содржи розмаринска киселина, кофеинска киселина и флавоноиди со антимицробни и невропротективни својства (Köse et al. 2025).

**Бел бор (*Pinus sylvestris* L.):** произведува есенцијални масла богати со  $\alpha$ -пинен

и  $\beta$ -пинен, кои придонесуваат за здравјето на респираторниот систем и оксидативната заштита (Csikós et al. 2022).



Фотографија бр. 1. Мед збогатен со лековити билки

#### 2.4.1.1. Рузмарин (*Rosmarinus officinalis* L.)

Рузмаринот (*Rosmarinus officinalis* L.) е ароматично повеќегодишно лековито растение, по потекло од медитеранскиот регион, кое припаѓа на семејството Lamiaceae и е попознато како рузмарин (Andrade et al.2018). Рузмаринот е познат по својата широка употреба, како во кујната, поради неговиот препознатлив вкус и арома, така и во традиционалната и модерната медицина, благодарение на неговите антиоксидантни, антиинфламаторни и антимикробни својства (Nieto et al.2018). Како вообичаено растение на медитеранската клима, има висока приспособливост на суша и е широко одгледувано низ целиот свет за кулинарски, фармацевтски и козметички цели.

Неговите листови содржат значителна количина на биоактивни соединенија, како што се: розмаринска киселина, карнозол, еукалиптол и флавоноиди, кои му даваат на растението важни терапевтски својства (Borrás-Linares et al.2014). Екстрактите од рузмарин се користат како природен антиоксиданс, со што се подобрува рокот на траење на лесно расипливата храна. Всушност, ЕУ го одобри екстрактот од рузмарин (E392)

како безбеден и ефикасен природен антиоксиданс за зачувување на храната (EFSA, 2015). Етеричното масло од рузмарин најчесто се користи во ароматерапијата поради неговиот освежителен мирис и потенцијалните терапевтски придобивки. Се верува дека вдишувањето на есенцијално масло од рузмарин ја подобрува менталната будност, го намалува стресот и го подобрува расположението и концентрацијата (Ghasemzadeh Rahbardar & Hosseinzadeh, 2020).



**Фотографија бр. 2.** Рузмарин (*Rosmarinus officinalis* L.)

#### **Фитохемиски состав**

Рузмаринот е богат со полифеноли, дитерпени и испарливи соединенија, кои придонесуваат за неговите антиоксидантни, антимицробни и терапевтски својства (Rašković et al. 2014).

#### **Испарливи соединенија (есенцијално масло)**

Монотерпени: 1,8-цинеол,  $\alpha$ -пинен, камфор, лимонен;

Сесквитерпени:  $\beta$ -кариофилен,  $\alpha$ -хумулен;

Придонес на арома: дрвенеста, смолеста, малку камфореста.

#### **Фенолни соединенија**

Фенолни дитерпени: карнозинска киселина, карносол (главни антиоксидантни соединенија);

Фенолни киселини: розмаринска киселина, кофеинска киселина, ферулинска киселина;

Флавоноиди: лутеолин, апигенин, генкванин.

## **Други биоактивни соединенија**

Танини: придонесуваат за антимикробна активност;

Органски киселини: поддржуваат антиоксидантни и ароматични својства.

### **Терапевтски својства**

Рузмариот покажува мултифункционална биоактивност поради неговата комплексна фитохемија. Главните терапевтски својства вклучуваат:

#### **Антиоксидантна активност**

Карнозинската киселина и розмаринската киселина ги отстрануваат ROS, хелатираат метали и ги стабилизираат клеточните мембрани.

Студиите ин витро покажуваат дека екстрактите од рузмарин ја инхибираат пероксидацијата на липидите и ја штитат ДНК од оксидативно оштетување. Го подобрува целокупниот антиоксидативен потенцијал на медот кога се користи за збогатување (Loussouarn et al. 2017).

#### **Антивоспалително дејство**

Ги инхибира сигналните патишта COX-2, LOX и NF-κB, намалувајќи го производството на TNF-α, IL-1β и IL-6. Ги намалува воспалителните маркери кај животински модели на артритис, едем и невроинфламација (Gambari et al.2022).

#### **Антимикробни и антифунгални ефекти**

Монотерпените и фенолните соединенија ги нарушуваат микробните мембрани и се мешаат во формирањето биофилм. Ефикасни се против грам-позитивни бактерии (*Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*), грам-негативни бактерии (*E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*) и габи (*Candida albicans*) (Meccatti et al. 2022). Кога се комбинира со мед, антимикробната ефикасност се зголемува поради осмотскиот притисок, генерирањето на H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и полифенолната активност.

#### **Невропротективни и когнитивни ефекти**

Го намалува оксидативниот стрес и невроинфламацијата, ја модулира активноста на ацетилхолинестеразата, го подобрува задржувањето на меморијата и когнитивните перформанси кај моделите на глодари (Kosmopoulou et al.2024).

Релевантност за медот: Придонесува за функционален мед насочен кон невропротекција.

#### **Антиканцероген потенцијал**

Фенолните дитерпени индуцираат апоптоза, ја инхибираат пролиферацијата и го намалуваат оксидативното оштетување на ДНК во туморските клетки. Истражувано кај клеточни линии на рак на дојка, дебело црево и црн дроб (Moore et al.2016).

### **Механизми на дејство при збогатување мед**

Полифенолите од рузмарин (карнозинска киселина, карносол) ги стабилизираат антиоксидантите на медот и ја зголемуваат вкупната содржина на феноли (TPC). Терпените и фенолите реагираат со  $H_2O_2$  на медот и осмотскиот притисок за да ја зголемат антибактериската активност. Додава смолеста арома слична на бор и малку горчлив вкус и ја подобрува ароматичната комплексност. Полифенолите формираат водородни врски со шеќерите и протеините од медот зголемувајќи го рокот на траење и намалувајќи ја оксидацијата.

### **Аналитички размислувања за збогатен мед**

**Вкупна содржина на феноли и флавоноиди:** мерење на подобрување поради додавање рузмарин.

**Антиоксидантно дејство:** DPPH, ABTS, FRAP покажуваат значително зголемување на активноста за чистење радикали.

**NIR/FTIR спектроскопија:** детектира спектрални отпечатоци од прсти специфични за рузмарин овозможувајќи контрола на квалитетот.

**Процена на тешки метали:** обезбедува безбедност бидејќи рузмариноот може да акумулира траги од метали од почвата.

### **Релевантност во оваа студија:**

- користен опсег на концентрација: 0,5%, 0,8%, 1% (w/w) мед,
- очекувани ефекти,
- најголемо зголемување на вкупната содржина на феноли меѓу тестираните билки,
- значително подобрување на антиоксидантните и антимицробните својства,
- силен придонес кон профилот на билна арома без да се наруши сладоста на медот,
- безбедносни аспекти: низок ризик од цитотоксичност при применети концентрации; мониторирана е содржината на тешки метали.

#### **2.4.1.2. Лаванда (*Lavandula officinalis*)**

Меѓу растенијата од семејството Lamiaceae, лавандата (*Lavandula officinalis*) е позната по своите лековити својства (Batiha et al. 2023). Лавандата е широко користена во ароматерапијата, прехранбената, козметичката и парфемската индустрија. Испарливите масла (линалол), лимонен, перилил алкохол, линалил ацетат, терпен, кумарин, танини, кофеинска киселина и камфор се сметаат за главни компоненти на лавандата (Habán et al. 2023). Есенцијалното масло од лаванда покажа ефикасност против широк спектар од грам-позитивни и грам-негативни бактерии, вклучувајќи ги

*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* и *Salmonella* spp. Растителните екстракти влијаат врз модулацијата на воспалителните процеси и можат да помогнат во справувањето со хронични воспалителни заболувања (Truong & Mudgil, 2023).



**Фотографија бр. 3.** Лаванда (*Lavandula officinalis*)

#### **Фитохемиски состав**

Лавандата содржи богата мешавина од испарливи масла, фенолни соединенија и флавоноиди кои се одговорни за нејзините терапевтски својства (Dobros et al. 2022).

#### **Испарливи соединенија (есенцијално масло)**

Монотерпени: линалоол, линалил ацетат, камфор, 1,8-цинеол,  $\beta$ -пинен.

Сесквитерпени: кариофилен, хумулен.

Придонес на арома: цветна, слатка и малку камфорична.

#### **Фенолни соединенија**

Фенолни киселини: розмаринска киселина, кофеинска киселина.

Флавоноиди: апигенин, лутеолин, кверцетин.

Танини и кумарини: придонесуваат за антимицробна и антиоксидантна активност.

#### **Други биоактивни соединенија**

Испарливи алдехиди и кетони (ја подобруваат аромата).

Мала количина сапонини.

#### **Терапевтски својства**

Лавандата покажува широк спектар од биофункционални ефекти поради нејзината комплексна фитохемија.

#### **Антиоксидантна активност**

Линалоолот и полифенолите ги отстрануваат слободните радикали, хелираат

метали и го намалуваат оксидативниот стрес. Студиите ин витро покажуваат инхибиција на липидната пероксидација и заштита на ДНК и протеините од оксидативно оштетување (Stelmach et al. 2025).

Релевантност за збогатување мед: ја зголемува вкупната содржина на феноли и активноста на отстранување радикали.

### **Антивоспалителни ефекти**

Супресија на NF- $\kappa$ B сигнализацијата, инхибиција на проинфламаторни цитокини, како што се: TNF- $\alpha$  и IL-6. Примени за намалување на локалното и системското воспаление кај експериментални модели (Pandur et al. 2021).

Го подобрува антиинфламаторниот потенцијал на медот.

### **Антимикробно и антифунгално дејство**

Ги нарушува мембраните на микробните клетки, го инхибира растот на бактериите и габите. Ефикасен против: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Candida albicans*. (Benaiche et al.2023).

Синергија со мед: осмотскиот притисок, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и полифенолите се комбинираат за да го зголемат антимикробниот ефект.

### **Заздравување рани**

Антивоспалителните и антиоксидантните својства го поттикнуваат таложењето на колаген и регенерацијата на ткивата. Примената во топикални или голтачки формулации го подобрува заздравувањето на помали рани и изгореници (Teymouri et al. 2024).

### **Механизми на дејство при збогатување мед**

Зајакнување на антиоксидантното дејство: полифенолите и линалоолот ја зголемуваат вкупната содржина на феноли и активноста на отстранување радикали.

Антимикробна синергија: се комбинира со H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> од медот и осмотските ефекти за посилна инхибиција на патогените.

Сензорен придонес: цветната, слатка арома ја надополнува сладоста на медот, го подобрува прифаќањето од страна на потрошувачите.

Хемиска стабилизација: формира водородни врски со шеќерите и протеините во медот зголемувајќи го рокот на траење и биоактивната стабилност.

### **Аналитички размислувања за збогатен мед**

Вкупна содржина на феноли (TPC): значително се зголемува по додавањето лаванда.

Антиоксидантна активност: DPPH, ABTS и FRAP тестовите покажуваат зголемено отстранување радикали.

Профил на испарливост: GC-MS анализата ги идентификува линалоолот и линалил ацетатот како клучни маркери.

Спектроскопска анализа: NIR и FTIR детектираат промени во спектралните потписи што корелираат со збогатувањето со лаванда.

#### **Релевантност во оваа студија**

Користена концентрација: 0,5%, 0,8%, 1% (w/w) мед

Очекувани ефекти:

- умерено зголемување на TPC и антиоксидантниот капацитет,
- придонесува за благ цветен мирис без претеран вкус на мед,
- ги подобрува невропротективните, антиинфламаторните и антимикробните својства на медот,
- безбедносни мерки: безбедно при применети концентрации; низок ризик од цитотоксичност.

#### **2.4.1.3. Масло од бел бор (*Pinus sylvestris*)**

Маслото од бел бор е есенцијално масло кое се добива од зелените делови на неколку видови бор, главно од игличките, гранчињата и шишарките на боровите како што се *Pinus sylvestris* и *Pinus strobus* (Koukos et al. 2000). *Pinus* (Pinaceae), со над 110 познати видови, е најголемиот постоечки род на четинари и еден од најважните извори на есенцијални масла во светот (Dziedziński et al. 2021). Маслото од бел бор е познато по својата карактеристична арома, како и по високата содржина на биоактивни соединенија, комплексни мешавини од монотерпенски јаглеводороди (алфа, бета-пинен) и оксигенирани монотерпени (терпинеол, борнеол, борнил ацетат) кои му даваат на маслото бројни терапевтски и функционални вредности. Есенцијалните масла од видовите бор се користат за многу намени со векови (Salehi et al. 2019).

#### **Фитохемиски состав**

Маслото од бел бор е богато со терпени и смолни киселини кои придонесуваат за неговите ароматични, антиоксидантни и антимикробни својства (Mirковиќ et al. 2025).

#### **Испарливи соединенија**

Монотерпени:  $\alpha$ -пинен,  $\beta$ -пинен, лимонен,  $\delta$ -3-карен.

Сесквитерпени:  $\beta$ -кариофилен.

Придонес на арома: смолеста, дрвенеста, малку слична на бор.



**Фотографија бр. 4.** Масло од бел бор (*Pinus sylvestris*)

#### **Фенолни соединенија**

Мали фенолни киселини: гална киселина, ферулична киселина.

Флавоноидите присутни во мали количини придонесуваат за блага антиоксидантна активност.

#### **Други биоактивни соединенија**

Смолни киселини: абиетинска киселина, пимарна киселина.

Терпеноидни алкохоли и кетони.

#### **Терапевтски својства**

Маслото од бел бор покажува биофункционални ефекти првенствено поради терпени и смолни киселини.

#### **Антимикробна активност**

Монотерпените ги нарушуваат мембраните на микробните клетки, ја инхибираат ензимската активност. Ефикасни против *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Candida albicans* и респираторни патогени (Oh et al. 2023).

#### **Антивоспалителни ефекти**

Ги потиснува проинфламаторните цитокини и го модулира оксидативниот стрес. Примени за намалување на воспалението во респираторниот тракт и ткивата на кожата (Oh et al. 2023).

#### **Антиоксидантна активност**

Терпените и помалите феноли ги отстрануваат слободните радикали и ги

стабилизираат мембраните. Умерено отстранување радикали во споредба со рузмарин или оригано.

Функционална улога во медот: придонесува скромно за целокупниот антиоксидативен потенцијал.

### **Ароматични и сензорни својства**

Смолестата арома слична на бор додава уникатен сензорен профил на збогатениот мед. Ги балансира цветните или билните ноти од други лековити билки.

### **Механизми на дејство при збогатување мед**

Стабилизација на испарливи соединенија: вискозитетот на медот и ниската активност на водата ги задржуваат монотерпените, продолжувајќи ја аромата и терапевтскиот ефект.

Антимикробна синергија: боровите терпени го надополнуваат  $H_2O_2$  и осмотскиот ефект на медот за посилна инхибиција на бактериите и габите.

Функционална разновидност: додава биоактивност што ја поддржува респираторната функција на медот збогатен со повеќе билки.

Хемиска интеракција: малите феноли формираат водородни врски со медените шеќери стабилизирајќи ги испарливите соединенија.

### **Аналитички размислувања за збогатен мед**

Анализа на испарливи материи: GC-MS ги идентификува  $\alpha$ -пинен и  $\beta$ -пинен како маркерски соединенија.

Мерење антиоксиданти: мало зголемување на активноста на чистење на радикалите FRAP и DPPH.

Спектроскопско следење: NIR и FTIR можат да детектираат мали хемиски промени и да потврдат збогатување.

Ниска токсичност при применети концентрации, содржината на тешки метали се следи ако растителниот материјал е набавен од почва со висока содржина на метали.

### **Релевантност во оваа студија**

Користена концентрација: 0,5%, 0,8%, 1% (w/w) мед.

Очекувани ефекти:

- додава смолеста арома подобрувајќи ја сензорната комплексност,
- обезбедува антимикробни и респираторни поддржувачки ефекти,
- малку го зголемува антиоксидантниот капацитет,
- безбеден за човечка конзумација при тестирани концентрации и обезбедува компатибилност со други билки.

#### 2.4.1.4. Жалфија (*Salvia officinalis* L.)

*Салвија официналис* Л., попозната како жалфија, е повеќегодишно ароматично и лековито растение кое припаѓа на семејството Lamiaceae и е богат извор на полифенолни соединенија со над 160 идентификувани полифеноли кои содржат разни фенолни и флавоноидни киселини, сагерничка киселина и карнозинска киселина (Ghorbani & Esmailizadeh, 2017). Растението се карактеризира со дебели листови, со густо влакнеста површина кои испуштаат силна карактеристична арома. Таа е со мали цветови, зимзелено, грмушесто, растение високо до 60 см со дрвенести стебла и влакнести листови со виолетово-сини, розови или бели цветови. Неговата арома е силна и продорна, карактеристична за растенија што содржат богати ароматични соединенија (Jažo et al. 2023).



**Фотографија бр. 5.** Жалфија (*Salvia officinalis* L.)

#### **Фитохемиски состав**

Жалфијата (*Salvia officinalis* L.) е богата со фенолни соединенија, флавоноиди и терпеноиди, кои придонесуваат за нејзините функционални својства (Mamache et al. 2025).

#### **Испарливи соединенија (есенцијално масло)**

Монотерпени: тујон, камфор, 1,8-цинеол,  $\alpha$ -пинен.

Сесквитерпени:  $\beta$ -кариофилен, хумулен.

Придонес на аромата: тревен, малку камфорест, остар.

#### **Фенолни соединенија**

Фенолни киселини: розмаринска киселина, кофеинска киселина, салвијанолни

киселини.

Флавоноиди: апигенин, лутеолин, диосметин.

Други биоактивни супстанции: танини, дитерпени.

### **Терапевтски својства**

Жалфијата покажува повеќеслојни биофункционални ефекти поради нејзината фитохемиска структура.

### **Антиоксидантна активност**

Фенолните киселини и флавоноидите ги отстрануваат ROS и хелатни метали. Студиите *in vitro* и *in vivo* покажуваат инхибиција на липидната пероксидација и заштита од оксидативна реакција (El Jery et al. 2020).

Релевантност за мед: ја зголемува вкупната содржина на феноли и ја подобрува активноста на чистење радикали.

### **Антивоспалителни ефекти**

Ги инхибира NF- $\kappa$ B, COX-2 и проинфламаторните цитокини (IL-6, TNF- $\alpha$ ) и го намалува воспалението во експериментални модели и студии за заздравување рани (Margetts et al. 2022).

### **Антимикробна активност**

Терпеноидите и фенолите ги нарушуваат микробните мембрани. Ефикасни против *S. aureus*, *E. coli*, *Listeria monocytogenes*, *Candida albicans* (Zdolec et al. 2024), а во комбинација со мед, се зголемува антибактериското дејство.

### **Когнитивни и невропротективни ефекти**

Ја инхибира ацетилхолинестеразата, ја модулира невротрансмисијата, го намалува оксидативниот стрес кај неврните, ја подобрува меморијата, вниманието и когнитивната функција во претклиничките студии (Лопрести, 2017).

Релевантност во медот: поддржува функционален мед за невропротективни придобивки.

### **Заздравување на раните и здравје на кожата**

Антивоспалителното и антиоксидантното дејство кое ја поттикнува синтезата на колаген и обновувањето на ткивата. Го забрзува заздравувањето на помали рани, изгореници и кожни лезии (Bodnár et al. 2025).

### **Механизми на дејство при збогатување мед**

Зајакнување на антиоксидантите: полифенолите од жалфија го зголемуваат ТРС и отстранувањето на радикалите во медот.

Антимикробна синергија: терпеноидите ја зголемуваат антимикробната ефикасност на медот против патогени.

Сензорен придонес: билната, малку горчлива арома ја балансира сладоста и цветните ноти.

Хемиска стабилизација: полифенолите формираат водородни врски со шеќери и протеини подобрувајќи ја биоактивната стабилност.

#### **Аналитички размислувања за збогатен мед**

Вкупна содржина на феноли (TPC): значително зголемување поради додавање листови од жалфија или есенцијално масло.

Антиоксидантна активност: DPPH, ABTS, FRAP тестовите покажуваат подобрување на способноста за отстранување радикали.

Испарлив профил: GC-MS идентификува тујонот, камфорот и 1,8-цинеолот како маркери.

Спектроскопска анализа: NIR и FTIR детектираат хемиски промени што корелираат со збогатувањето со жалфија.

#### **Релевантност во оваа студија**

Користена концентрација: 0,5%, 0,8%, 1% (w/w) мед.

Очекувани ефекти:

- зголемување на антиоксидантниот капацитет и вкупната содржина на феноли,
- дава билен мирис и блага горчина на медот,
- ги подобрува невропротективните, антимикробните и антиинфламаторните својства,
- одржува безбедни нивоа на тујонот и други испарливи соединенија.

#### **2.4.1.5. Оригано (*Origanum vulgare* L.)**

Ориганото (*Origanum vulgare* L.) е важна лековита билка од семејството Lamiaceae. Членовите на родот *Origanum* ги сочинуваат најважните тревни и ароматични лековити растенија од семејството Lamiaceae кои се распространети во топлите и планински подрачја (Soltani et al. 2021). Растенијата, генерално, се повеќегодишни билки кои достигнуваат висина до 80 cm и имаат овални листови, бели или виолетови цветови и терминален коримбозен цим. Растенијата се карактеризираат и со гинодиоециозни и машки стерилни услови (Maithani et al. 2023).



**Фотографија бр. 6.** Оригано (*Origanum vulgare* L.)

#### **Фитохемиски состав**

Ориганото е богато со испарливи масла, фенолни соединенија и флавоноиди обезбедувајќи силни функционални својства (Gutiérrez-Grijalva et al. 2017).

#### **Испарливи соединенија (есенцијално масло)**

Монотерпени: карвакрол, тимол,  $\gamma$ -терпинен, п-цимен,  $\alpha$ -пинен.

Сесквитерпени:  $\beta$ -кариофилен.

Придонес на аромата: луто, зачинето, топло и тревно.

#### **Фенолни соединенија**

Фенолни киселини: розмаринска киселина, кофеинска киселина.

Флавоноиди: кверцетин, лутеолин, апигенин.

Други биоактивни супстанции: танини, сапонини.

#### **Терапевтски својства**

Ориганото покажува моќни биофункционални ефекти, главно поради неговата висока содржина на феноли и монотерпени (Soltani et al. 2021).

#### **Антимикробна активност**

Монотерпените (карвакрол, тимол) ги нарушуваат мембраните на микробните клетки и ја инхибираат ензимската активност. Ефикасни се против грам-позитивни (*S. aureus*), грам-негативни (*E. coli*, *Pseudomonas* spp.) и габи (*Candida albicans*) (Tejada-Muñoz et al. 2024). Во комбинација со мед ги засилува антимикробните ефекти.

#### **Антиоксидантна активност**

Ги отстранува ROS, хелатира метали, ја инхибира пероксидацијата на липидите.

Високи вредности на DPPH и FRAP *in vitro*; еден од најсилните антиоксиданти меѓу тестираните билки (Coccimiglio et al. 2016).

Релевантност за мед: ја зголемува вкупната содржина на феноли (TPC) и капацитетот за отстранување радикали.

### **Метаболни ефекти**

Модулира липиден метаболизам, хомеостаза на гликоза и антиоксидантна одбрана. Потенцијална функционална корист кај модели на метаболички синдром и дијабетес (Гитеа и др. 2021).

### **Механизми на дејство при збогатување мед**

Моќно антиоксидантско подобрување: фенолите како што е рузмаринската киселина ја зголемуваат активноста на TPC и FRAP во медот.

Антимикробна синергија: Испарливите масла дејствуваат заедно со H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и осмотските ефекти на медот за да ја зајакнат инхибицијата на патогените.

Сензорен придонес: острата и топла арома го збогатува профилот на вкус на мед и може да бара внимателно балансирање за да се избегне горчина.

Функционална стабилизација: полифенолите реагираат со шеќерите и протеините во медот подобрувајќи ја стабилноста на биоактивните соединенија.

### **Аналитички размислувања за збогатен мед**

Вкупна содржина на феноли (TPC): најголемо зголемување меѓу испитуваните ароматични растенија, што се припишува на присуството на розмаринска киселина, салвианолна киселина B (salvianolic acid B) и карвакрол.

Антиоксидантна активност: DPPH, ABTS и FRAP тестовите потврдуваат значително зголемување на антиоксидантниот капацитет по збогатувањето.

Анализа на испарливи соединенија: GC-MS анализата ги идентификува карвакролот и тимолот како карактеристични маркер-соединенија за оригано.

Спектроскопско следење: NIR и FTIR спектроскопијата детектираат промени во хемискиот состав и го потврдуваат збогатувањето на медот.

Безбедност и сензорен профил: при применетите концентрации ориганото не покажува токсичност; неговата изразена лутост и горчина се контролирани преку ниски масени удели (w/w).

### **Релевантност во оваа студија**

- Користена концентрација на мед: 0,5%, 0,8%, 1% (w/w).

Очекувани ефекти:

- силно зголемување на антиоксидантниот капацитет и вкупната содржина на

феноли,

- зголемено антимикурно и антиинфламаторно дејство,
- зачинетоста со билната арома додава сензорна комплексност на збогатениот мед,
- безбедносни аспекти: одржува безбеден органолептички и цитотоксичен профил.

**Табела бр. 2:** Компаративен профил на лековити билки за збогатување мед

Билка	Ботаничко име и семејство	Користен дел од растението	Главни биоактивни соединенија	Терапевтски својства	Придонес кон збогатување на медот
Лаванда	<i>Lavandula officinalis</i> (Lamiaceae)	цвеќиња, есенцијално масло	Linalool, linalyl acetate, camphor, 1,8-cineole; Rosmarinic acid, caffeic acid; Flavones, tannins	антиоксиданс, антиинфламаторно, антимикурно, невропротективно, анксиолитичко здравување на рани	го подобрува TPC и антиоксидативниот капацитет; дава цветна арома; обезбедува невропротективни и смирувачки ефекти.
Рузмарин	<i>Rosmarinus officinalis</i> (Lamiaceae)	листови, есенцијално масло	Carnosic acid, carnosol; Rosmarinic acid, caffeic acid; 1,8-cineole, $\alpha$ -pinene, camphor	силен антиоксиданс, антиинфламаторно, антимикурно, невропротективно, кардиопротективно	значително ги зголемува TPC и FRAP; ја подобрува заштитата од оксидативен стрес; додава смолеста арома

Оригано	<i>Origanum vulgare</i> (Lamiaceae)	листов и, есенци јално масло	Carvacrol, thymol, $\gamma$ -terpinene; Rosmarinic acid, caffeic acid; Flavonoids (quercetin, luteolin)	моќен антимикробен, антиоксидати вен, антиинфламат орен, метаболички модулатор	ја зголемува антимикробната и антиоксидативната активност; лута/зачинета арома; ги подобрува функционалните својства поврзани со метаболизмот
Жалфија	<i>Salvia officinalis</i> (Lamiaceae)	листо ви	Thujone, camphor, 1,8-cineole; Rosmarinic acid, caffeic acid, salvianolic acids; Flavonoids (apigenin, luteolin)	антиоксиданс, антиинфламат орно, антимикробно, когнитивна поддршка, заздравување на рани	ја подобрува содржината на полифеноли и антиоксидантната активност; билен мирис; ги поддржува невропротективните и метаболичките функции
Бел бор	<i>Pinus sylvestris</i> (Pinaceae)	есенци јално масло добиен од игли	$\alpha$ -Pinene, $\beta$ -Pinene, limonene; Minor phenolic acids (gallic, ferulic); Resin acids	антимикробно, антиинфламатно, антиоксидатив но, респираторна поддршка	обезбедува смолеста арома; умерено го зголемува антиоксидативниот капацитет; го поддржува здравјето на респираторниот систем и функционалната разновидност

### Употребата на ароматични и лековити билки користени во оваа докторска дисертација

#### 1. Образложение за избор:

- Секоја билка е избрана поради синергистичките ефекти со мед, насочени кон антиоксидантни, антимикробни, антиинфламаторни, невропротективни и

метаболички придобивки.

## 2. Функционални интеграции со мед:

- Полифенолите и флавоноидите го стабилизираат медот и ја зголемуваат биолошката активност.
- Испарливите соединенија го подобруваат мирисот и сензорната привлечност.
- Синергистичките терапевтски ефекти го подобруваат целокупниот функционален потенцијал на збогатениот мед.

## 3. Разгледување на концентрацијата:

- Билки додадени во количини од 0,5%, 0,8% и 1% (w/w) за оптимални функционални придобивки без да се загрози сензорниот квалитет или безбедноста.

## 4. Критериуми за функционална компатибилност

Избраните билки исполнуваат повеќе критериуми за функционален развој на медот:

1. Висока содржина на полифеноли и флавоноиди → ја зголемува вкупната содржина на феноли и антиоксидантната активност;
2. Добро документирани терапевтски својства → антимикробно, антиинфламаторно и невропротективно;
3. Комплементарни ароми → цветни (лаванда), смолести (рузмарин, бор), зачинети (оригано) и билни (жалфија);
4. Компатибилност со матрицата на мед → минимална ензимска инхибиција, добра растворливост во мед и стабилна при складирање.

Со комбинирање на овие билки во контролирани концентрации (0,5%, 0,8%, 1%), студијата има за цел да го максимизира терапевтскиот потенцијал, да го подобри сензорниот квалитет и да ја одржи безбедноста.

### 2.5. Ефекти од збогатувањето врз својствата на медот

Неколку студии известуваат дека медот збогатен со растителни екстракти покажува значително зголемена вкупна содржина на феноли и антиоксидативен капацитет, што укажува на синергистички интеракции помеѓу внатрешните соединенија на медот и додадените фитохемикалии (Кауа & Özbay, 2023). Сепак, збогатувањето може да влијае и врз физичко-хемиските параметри, како што се: рН, електричната спроводливост и интензитетот на бојата, обично зголемувајќи ги вторите поради

додадените пигменти и феноли (Juszczak et al. 2009).

Дополнително, сензорниот профил може значително да се промени, што доведува до променет ароматичен интензитет, горчина или послевкус, во зависност од концентрацијата на билката. Така, иако збогатувањето ја подобрува биолошката активност, може да го предизвика прифаќањето од страна на потрошувачите и стандардизацијата на производот.

## **2.6. Ефекти од збогатувањето со ароматични билки врз составот на медот**

Збогатувањето на медот со екстракти од ароматични и лековити билки претставува неодамнешен и брзо растечки тренд во развојот на функционална храна (Kumar et al. 2023). Примарната цел на овој процес е да се зголеми биоактивниот потенцијал на медот со воведување дополнителни фенолни соединенија, флавоноиди, терпени и есенцијални масла, кои се природно присутни во ароматичните билки (Zawawi et al. 2021). Таквото збогатување не само што го зголемува антиоксидативниот капацитет, туку ги модифицира и сензорните карактеристики, физичко-хемиските параметри, а во некои случаи и профилите на загадувачи, како што се концентрациите на тешки метали (Durmishi et al. 2025).

Иако самиот мед е природно биоактивна матрица, неговото функционално збогатување со растителни екстракти (на пр: рузмарин, оригано, жалфија, лаванда и бор) создава синергистички систем, каде што метаболитите добиени од растенијата комуницираат со внатрешните компоненти на медот. Сепак, овие композициски интеракции се сложени и можат да влијаат врз стабилноста, вкусот и безбедноста на медот, што бара сеопфатна евалуација преку интегрирани хемиски и спектроскопски анализи.

## **2.7. Фитохемиски придонес на ароматични билки**

Ароматичните билки се богати со полифеноли, флавоноиди, фенолни киселини и терпеноиди, од кои многу се растворливи во етанол или екстракти на база од вода и лесно се инкорпорираат во матрицата на мед (Yamani & Ali, 2023).

Следново ги сумира главните фитохемикалии што ги даваат одбрани билки што најчесто се користат за збогатување:

Овие соединенија придонесуваат за создавање фенолни хидроксилни групи, ароматични прстени и конјугирани системи кои значително влијаат врз редокс рамнотежата на медот, апсорпцијата на UV-VIS и NIR спектрите.

**Табела бр. 3.** Фитохемикалии придонесени од одбрани билки

Видови билки	Главни биоактивни соединенија	Функционални својства
<i>Rosmarinus officinalis L.</i> (рузмарин)	карнозинска киселина, карнозол, розмаринска киселина	силно антиоксидативно и липидно заштитно дејство
<i>Origanum vulgare</i> (оригано)	карвакрол, тимол, рузмариинска киселина	антимикробни својства и својства за отстранување на радикали
<i>Salvia officinalis</i> (жалфија)	розмаринска киселина, кофеинска киселина, салвијанолна киселина	антиоксиданс, антиинфламаторно, невропротективно
<i>Lavandula angustifolia</i> (лаванда)	линалоол, линалил ацетат, хидроксицинамински киселини	антиоксидантни и седативни ефекти
<i>Pinus sylvestris</i> (бел бор)	$\alpha$ -пинен, $\beta$ -пинен, лимонен, фенолни киселини	респираторни и антимикробни придобивки

## 2.8. Влијание врз вкупната содржина на феноли (TPC) и антиоксидантната активност

Збогатувањето со ароматични билки постојано води до зголемување на вкупната содржина на феноли (TPC) и антиоксидантната активност, поради вклучувањето на полифенолни соединенија од растителните екстракти (Czernicka et al. 2024).

Медот збогатен со рузмариин покажува значително зголемување на TPC и антиоксидантната моќ за намалување на железото (FRAP), што се припишува на карнозинската киселина и рузмариинската киселина, кои можат да дејствуваат синергистички со природните феноли во медот.

Медот збогатен со оригано и жалфија покажува висока активност на отстранување радикали (DPPH и ABTS тестови), што го одразува присуството на тимол, карвакрол и деривати на розмаринска киселина.

Збогатувањето со мед од лаванда го зголемува вкупниот антиоксидативен капацитет, но може малку да ја намали фенолната стабилност со текот на времето поради испарливи интеракции.

Набљудуваното подобрување на антиоксидантната активност не е чисто

адитивно, туку е резултат од синергистички интеракции помеѓу шеќерите во медот (кои ги стабилизираат фенолните радикали) и растителните полифеноли (кои донираат водородни атоми или електрони). Оваа синергија ја засилува способноста на медот да ги неутрализира реактивните кислородни видови (ROS).

## **2.9. Промени во физичко-хемиските параметри**

### **pH и слободна киселост**

Додавањето растителни екстракти малку ја зголемува слободната киселост на медот, првенствено поради органските киселини (на пр. рузмарин, кафеин, лимонска) присутни во билките.

Вообичаеното зголемување е од 20-30 meq/kg (чист мед) до 35-50 meq/kg (збогатен мед).

pH вредностите генерално остануваат во рамките на прифатливиот опсег (3,2-4,5), иако може да се појават мали намалувања поради киселите компоненти на екстрактите.

### **Електрична спроводливост (ЕК)**

Збогатувањето со билки често ги зголемува вредностите на ЕС, што одразува зголемена јонска и минерална содржина во растителните ткива. Овој параметар служи како индиректен индикатор за збогатување со пепел и минерали, при што вредностите на ЕС се зголемуваат за 10-40% во зависност од концентрацијата на билката.

### **Влажност и вискозитет**

Вклучувањето течни или хидроетанолни екстракти може малку да ја зголеми содржината на влага влијаејќи врз вискозитетот на медот и однесувањето на кристализација. Затоа, контролираното сушење и хомогенизацијата се неопходни за да се обезбеди стабилност на производот.

### **Карактеристики на бојата**

Бојата на медот се продлабочува по збогатувањето поради вградувањето на хромофорни фенолни соединенија (на пр. розмаринска киселина, хлорогена киселина, флавонони).

Мерењата на скалата Pfund или CIE Lab\* покажуваат намалена L\* (светлост) и зголемена a\* (црвенило) и b\* (жолтост).

Затемнувањето на бојата, исто така, е поврзано со зголемен антиоксидативен потенцијал и честопати служи како индикатор за визуелен квалитет.

## **Модификации во профилот на шеќер**

Иако шеќерите се најстабилната компонента на медот, збогатувањето може да предизвика мали промени во составот.

Може да се појави мало намалување на редуцирачките шеќери поради интеракциите на гликозата и фруктозата со фенолните карбонилни групи (слаби Маиларови реакции под благи услови).

Формирањето шеќерно-фенолни комплекси може малку да ја измени перцепцијата на сладост и кинетиката на кристализација (Džugan et al. 2017).

Овие промени, генерално, се минимални и не ја загрозуваат усогласеноста на производот со стандардите за мед на Codex Alimentarius.

## **Влијание врз органските киселини и рН-зависната стабилност**

Екстрактите од билки воведуваат дополнителни органски киселини (особено розмаринска, кафеинска, јаболкова и лимонска киселина) кои можат да влијаат врз пуферскиот капацитет на медот и на рН-зависната ензимска стабилност.

Зголемувањето на киселоста го зголемува антимиќробниот потенцијал, но може да влијае врз активноста на ензимите, како што се: дијастазата и инвертазата, кои се чувствителни на варијации на рН вредноста. Продолженото изложување на ензимите на кисела средина може да доведе до постепено намалување на ензимската активност, особено за време на складирањето (Liu et al. 2013).

## **Содржина на минерали и тешки метали**

### **Макро- и микронутриенти**

Збогатувањето обично ги зголемува нивоата на есенцијални минерали, како што се: калиум, калциум, магнезиум и железо, добиени од растителни ткива. Овие микронутриенти придонесуваат за подобрена хранлива вредност.

### **Тешки метали**

Критичен фактор при збогатувањето на билките е потенцијалното внесување тешки метали.

Ароматичните растенија можат да биоакумулираат елементи од почвата и загадувањето на животната средина. Пријавените модели вклучуваат:

Железо (Fe) и никел (Ni): зголемено со екстракти од оригано и жалфија;

Олово (Pb): повремено се открива во примероци од рузмарин или оригано добиени од контаминирани региони;

Цинк (Zn) и бакар (Cu): вообичаено се зголемуваат малку, но остануваат во безбедни граници.

За збогатениот мед од Западен Балкан, студиите покажаа:

Примери од Косово: највисока вкупна содржина на феноли (TPC) и ниски нивоа на тешки метали.

Албански мед: нешто повисоко ниво на Fe и Ni, што е во согласност со регионалната геохемија.

Затоа, збогатувањето ја зголемува функционалната вредност, но исто така бара следење на безбедноста преку ICP-MS или AAS анализа за да се обезбеди усогласеност со ограничувањата од Регулативата на ЕУ 1881/2006.

## **2.10. Синергистичка биоактивност и хемиски интеракции**

Коегзистенцијата на редуктивните шеќери во медот, системот на водород пероксид и растителните полифеноли води до синергистички ефекти:

1. Антиоксидантна синергија: фенолите ја зголемуваат способноста на медот да ги отстранува слободните радикали, додека шеќерите ги стабилизираат феноксилните радикали преку водородни врски;
2. Хелација на метали: билните киселини (на пр., розмаринска) хелираат јони на  $Fe^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ , намалувајќи ги прооксидантните Фентонови реакции;
3. Антимикробно засилување: ниската рН-вредност на медот и водородниот пероксид дејствуваат синергистички со растителните терпени (тимол, карвакрол) за да го инхибираат растот на бактерии и габи;
4. Таквиот синергизам обезбедува биохемиска основа за развој на функционални нутрицевтици базирани врз мед.

## **2.11. Спектроскопски и хеометриски импликации**

Додавањето ароматични билки ги менува карактеристиките на молекуларната апсорпција на медот, особено во блиските инфрацрвени (NIR) и видливите региони:

Зголемената апсорпција во опсезите од 1400 до 1600 nm и од 1900 до 2100 nm одговара на O–H и C–H вибрации на истегнување на полифенолите и терпеноидите.

Промените во спектралната основна линија и наклонот одразуваат разлики во влагата и интеракциите шеќер-полифенол.

Хеометриските модели (на пр., PCA, PLS) затоа можат да го разликуваат збогатениот мед според видот на растението и концентрацијата. Ова спектрално однесување обезбедува брзо, недеструктивно средство за контрола на квалитетот и верификација на автентичноста.

## **2.12. Безбедносни и регулаторни аспекти**

Иако збогатувањето го подобрува нутритивниот и биоактивниот потенцијал на медот, тоа исто така воведува предизвици:

Хемиска безбедност: акумулација на тешки метали, остатоци од растворувачи;

Микробиолошка стабилност: зголемената влага може да ја поттикне ферментацијата;

Регулаторна класификација: збогатениот мед често спаѓа во категоријата „ароматизирани или мешани производи од мед“, за што е потребна транспарентност на етикетањето и документација за составот според Директивата на ЕУ 2001/110/ЕЗ.

Оттука, сеопфатната аналитичка валидација, вклучувајќи ТРС, анализи на антиоксиданти, квантификација на тешки метали и NIR хеометрија, е од суштинско значење за обезбедување и квалитет и усогласеност.

Збогатувањето на медот со ароматични растителни екстракти значително влијае врз неговите хемиски, функционални и сензорни карактеристики:

Зголемен ТРС и антиоксидантен капацитет, поради полифенолно збогатување;

Модифицирани физичко-хемиски параметри (рН, спроводливост, боја);

Можно покачување на нивоата на минерали и тешки метали, во зависност од ботаничкиот извор;

Изменет испарлив профил и сензорни атрибути, што придонесува за препознатливи идентитети на производите;

Синергистички интеракции помеѓу шеќерите од мед, ензимите и билни метаболити кои ја подобруваат биолошката ефикасност.

Оваа трансформација ја истакнува двојната природа на збогатувањето на функционалното подобрување наспроти композициската комплексност, што бара интегрирани методи за процена со повеќе параметри за стандардизација на производот, обезбедување безбедност и верификација на автентичност.

## **2.13. Механизми на интеракција помеѓу матрицата од мед и билни биоактивни соединенија**

Медот служи не само како хранливо богат медиум, туку и како комплексна биохемиска матрица што може да ја модулира стабилноста, растворливоста и биоактивноста на растителните соединенија кога се збогатени со ароматични растенија. Интеракциите помеѓу компонентите на медот и растителните биоактивни соединенија,

вклучувајќи: фенолни киселини, флавоноиди и терпеноиди, се фундаментални за разбирање како збогатувањето влијае врз терапевтската ефикасност, рокот на траење и сензорните својства (Bonsignore et al. 2024).

Овие интеракции се случуваат на повеќе нивоа вклучувајќи врзување шеќер-полифенол, комплексирање протеин-полифенол, ензимска модулација и стабилизација на испарливи соединенија. Разбирањето на овие механизми дава образложение за оптимизирани функционални формулации на мед (Lešnik et al. 2025).

### **2.13.1. Интеракции шеќер-полифенол**

Примарните шеќери во медот, гликозата и фруктозата, сочинуваат над 70% од неговата маса. Овие моносахариди реагираат со растителните полифеноли преку водородни врски, хидрофобни интеракции и слаби ван дер Валсови сили, создавајќи комплекси кои влијаат врз растворливоста, стабилноста и антиоксидантната активност (Shahidi & Athiyappan, 2025).

Механизми

1. Водородни врски: хидроксилните групи на гликоза/фруктоза формираат водородни врски со фенолни хидроксиди стабилизирајќи ги полифенолните радикали (Xiang et al. 2025);
2. Хидрофобни интеракции: ароматичните прстени во флавоноидите комуницираат со хидрофобните региони на шеќерот подобрувајќи ја растворливоста во вискозната матрица на медот;
3. Реакции слични на Маилар: редуктивните шеќери можат бавно да реагираат со алдехидни или кетонски групи во полифенолите под благи кисели услови, формирајќи адукти шеќер-фенол. Овие адукти можат малку да влијаат врз бојата и антиоксидантните својства, но ретко ја нарушуваат терапевтската активност (Shahidi & Athiyappan, 2025).

### **2.13.2. Интеракции помеѓу протеини и полифеноли**

Иако се присутни во мали количини (0,1-0,5%), протеините од мед, главно главните протеини од матичен млеч (MRJP), ензимите и помалите пептиди, комуницираат со билни феноли преку нековалентни и ковалентни врски влијаејќи врз биоактивната достапност и ензимската активност (Feng et al. 2023).

Видови интеракции:

1. Нековалентно врзување;
2. Водородните врски, хидрофобните интеракции и електростатските привлечности ги стабилизираат фенолните соединенија.  
Пример: Розмаринската киселина се врзува за MRJP намалувајќи ја деградацијата при складирање;
3. Ковалентна конјугација (оксидативно спојување);
4. Под оксидативен стрес или изложеност на водород пероксид, фенолите можат да формираат ковалентни адукти со amino групи на протеини, потенцијално формирајќи протеин-полифенол комплекси (Zhang et al. 2024).

Ензимска модулација:

5. Врзувањето на полифенолите за ензими како што се дијастазата и гликоза оксидазата може да ја зголеми или инхибира каталитичката активност во зависност од концентрацијата. Ниските концентрации често ги стабилизираат ензимите, високите концентрации може да ги инхибираат активните места (Lešnik et al. 2025).

### 2.13.3. Ефекти врз активноста и вискозитетот на водата

Ниската активност на водата во медот ( $a_w$  0,55-0,62) и високиот вискозитет создаваат полуцврста средина што ја забавува дифузијата и оксидацијата на билни биоактивни соединенија (Hunter et al. 2021).

Ограничена пенетрација на кислород: го намалува оксидативното разградување на фенолите и терпеноидите.

Стабилизација на вискозитет: суспендира испарливи соединенија и фини растителни честички продолжувајќи го ароматичниот интензитет.

Контролирано ослободување: за време на ингестија, разредувањето со плунка и гастрични течности постепено ослободува биоактивни соединенија подобрувајќи ја биолошката достапност (Faustino & Pinheiro, 2021).

### 2.13.4. рН-зависна стабилност на билни биоактивни соединенија

Киселата рН-вредност на медот (3,2-4,5) обезбедува поволна средина за стабилизација на многу феноли добиени од растенија (Grinn-Gofroń et al. 2025).

Механизми

1. Фенолна стабилност: киселите услови спречуваат автооксидација на фенолните хидроксилни групи;

2. Модулација на ензимската активност: ниската рН-вредност ја зачувува активноста на гликоза оксидазата, индиректно одржувајќи ја антимикробната активност посредувана од водород пероксид;
3. Задржување испарливи соединенија: киселата средина го намалува испарувањето на терпеноидите како што се: линалоол и карвакрол, зачувувајќи ја аромата и биолошката активност (Cianciosi et al. 2018).

#### **2.13.5. Синергија на водород пероксид и полифенол**

Медот генерира ниски концентрации на водород пероксид преку гликоза оксидаза, која игра улога во антимикробните и антиоксидантните ефекти (Bizerra et al. 2012). Полифенолите од билките можат да реагираат со  $H_2O_2$  на два начина:

1. Синергистички антимикробен ефект: полифенолите го засилуваат оштетувањето на бактериската клеточна мембрана предизвикано од  $H_2O_2$ ;
2. Редокс стабилизација: полифенолите го неутрализираат вишокот ROS, заштитувајќи ги ензимите и витамините во медот од оксидативно оштетување.

Оваа двојна улога ја поддржува терапевтската ефикасност, а воедно го одржува хемискиот интегритет на медот (Бучекова и др. 2018).

#### **2.13.6. Интеракции на испарливи соединенија**

Испарливите ароматични соединенија од билки вклучувајќи ги терпените и естрите, реагираат со шеќерите и протеините во медот преку хидрофобни интеракции и интеракции со водородни врски влијаејќи на задржувањето на аромата, стабилноста на вкусот и биоактивноста.

Овие интеракции го забавуваат испарувањето продолжувајќи го рокот на траење.

Матрицата од мед делува како носач на липофилни соединенија, подобрувајќи ја биодостапноста за време на варењето на храната.

Формирањето комплекси помеѓу испарливи материи и шеќери може да ја модулира перцепцијата на вкусот балансирајќи го интензитетот на билките и сладоста (Panseri et al.2023).

#### **2.13.7. Хелација на полифенол-метал**

Билните полифеноли внесени во медот имаат силни хелатирачки својства:

1. Врзување прооксидантни метали ( $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ): ги спречува Фентоновите реакции, намалувајќи го оксидативното оштетување и на медот и на човечките клетки;

2. Синергистичка антиоксидантна заштита: хелацијата ги стабилизира полифенолите, а воедно го намалува формирањето слободни радикали.

Овој механизам е особено важен за безбедноста од тешки метали, осигурувајќи дека збогатениот мед ги задржува функционалните придобивки без да промовира токсичност (Brudzynski et al. 2012).

### **2.13.8. Биорасположивост и ослободување преку дигестивниот тракт**

Матрицата од мед влијае врз апсорпцијата и биоактивноста на билни соединенија:

1. Комплексирањето со шеќери и протеини ги штити биоактивните соединенија од гастрична деградација (Ounjaïjean et al. 2025);
2. Постепеното ослободување за време на цвакањето и гастроинтестиналниот транзит го зголемува времето на изложеност за цревна апсорпција (Alcoléa et al. 2024);
3. Микробни интеракции: Пребиотските олигосахариди во медот можат да ја модулираат цревната микробиота подобрувајќи го метаболизмот на полифенолите и биолошката активност (Mohan et al. 2017).

Овие фактори заедно го подобруваат терапевтскиот потенцијал на медот збогатен со билки во споредба со изолираните растителни екстракти (Alevia et al. 2021).

### **2.13.9. Ензимски и Маилар (Maillard) слични интеракции**

За време на складирањето на медот збогатен со билни екстракти може да се одвиваат Маиларови (Maillard) реакции на ниско ниво, односно неензимски реакции помеѓу редуцирачките шеќери и амински или фенолни соединенија, при што се формираат меланоидини. Овие реакции:

- придонесуваат за затемнување на бојата,
- поседуваат антиоксидантни и радикал-сврзувачки својства,
- можат да ги стабилизираат полифенолите и испарливите соединенија со текот на времето.

Ензимските интеракции, исто така, влијаат врз биоактивната стабилност.

Активноста на гликоза оксидазата генерира  $H_2O_2$ , кој реагира со билни феноли за подобрена антимикробна активност.

Интеракциите помеѓу полифенолите и ензимите можат да ги заштитат ензимите од денатурација или инактивација (Han et al. 2022).

**Табела бр. 4.** Механизми на интеракција

Тип на интеракција	Механизам	Функционална последица
Шеќер-полифенол	Н-врска, хидрофобни интеракции, адукти слични на Маилар	стабилизација на полифеноли, антиоксидативно подобрување
Протеин-полифенол	нековалентно/ковалентно врзување	ензимска заштита, контролирано ослободување на биоактивни материи
Активност на водата и вискозитет	ниска вискозност, висок вискозитет	забавена оксидација, контролирано ослободување, задржување на ароматични материи
pH ефекти	киселинска стабилизација	ги зачувува фенолите и испарливите материи, ја одржува ензимската активност
Синергија на H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -полифенол	антимикробно дејство со посредство на ROS	зголемена антимикробна ефикасност
Испарлива матрица	Н-врска, хидрофобни интеракции	стабилизација на аромата, подобрен сензорен профил
Хелација на метали	полифенолите врзуваат Fe <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup>	намалена оксидативна деградација и токсичност
Реакции слични на Маилар	адукти на шеќер-полифенол	развој на боја, подобрена антиоксидантна активност

Овие механизми заедно ја подобруваат терапевтската ефикасност, стабилноста и биорасположивоста на медот збогатен со билки, а воедно ги одржуваат неговите сензорни и хранливи квалитети (Bose et al. 2024).

Матрицата од мед делува како природен носач и стабилизатор за билни биоактивни соединенија олеснувајќи синергистички антиоксидантни, антиинфламаторни и антимикробни ефекти, а истовремено регулирајќи го ослободувањето и биорасположивоста на овие соединенија за време на варењето (Tlak Gajger et al. 2025). Разбирањето на овие интеракции е од суштинско значење за оптимизирање на стратегиите за збогатување, предвидување на рокот на траење и максимизирање на терапевтските придобивки (Durmishi et al. 2025).

## 2.14. Терапевтски ефекти на мед збогатен со ароматични билки

Медот е препознаен со милениуми како природен терапевтски агенс, ценет по неговите антиоксидантни, антимицробни, антиинфламаторни и заздравувачки својства на рани (Gościński et al. 2025). Додавањето ароматични растителни екстракти ги засилува овие ефекти преку синергистичка комбинација на биоактивни феноли, флавоноиди, терпеноиди и есенцијални масла од билки со вродените биофункционални компоненти на медот (Kumar et al. 2023).

Збогатениот мед функционира како комплексна нутрицевтска матрица нудејќи превентивни и дополнителни придобивки за хронични и заразни болести. Неговиот терапевтски потенцијал произлегува од биохемиски интеракции со повеќе цели вклучувајќи модулација на оксидативен стрес, воспаление, микробен раст и метаболичка хомеостаза (Czernicka et al. 2024).

### 2.14.1. Антиоксидантна и цитопротективна активност

Најопширно документиран терапевтски ефект на медот збогатен со билки е неговиот зголемен антиоксидативен капацитет, што е резултат од покачените нивоа на фенолни соединенија и флавоноиди што ги придонесуваат и медот и растителните екстракти (Socha et al. 2009; Loussouarn et al. 2017).

Механизми на дејство

1. Отстранување слободни радикали: полифенолите, како што се: розмаринската киселина, карнозинската киселина, тимолот и карвакролот ги неутрализираат реактивните кислородни видови (ROS) и реактивните азотни видови (RNS) со донирање водородни атоми или електрони;
2. Хелација на метали: соединенијата од рузмарин, жалфија и оригано хелираат  $Fe^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ , со што ги инхибираат реакциите од типот фентон кои генерираат хидроксилни радикали;
3. Регенерација на ендогени антиоксиданти: збогатениот мед покажа зголемување на активноста на антиоксидантните ензими вклучувајќи супероксид дисмутаза (SOD), каталаза (CAT) и глутатион пероксидаза (GPx) во експериментални модели;
4. Синергистичка стабилизација: шеќерите во медот ги стабилизираат фенолните радикали преку водородни врски продолжувајќи ја антиоксидантната активност во биолошките системи.

### **2.14.2. Антивоспалителни и имуномодулаторни ефекти**

Медот збогатен со ароматични билки врши силни антиинфламаторни дејства, посредувани преку инхибиција на проинфламаторните медијатори и модулација на имунолошките сигнални патишта (Masad et al. 2021).

Медот збогатен со жалфија и рузмарин го намали едемот на шепата и инфилтрацијата на воспалителни клетки кај глумчешки модели на акутно воспаление.

Формулациите од мед од оригано го инхибираа производството на азотен оксид (NO) во макрофагните култури покажувајќи силен имуномодулаторен потенцијал.

Медот збогатен со лаванда го поттикна заздравувањето на изгорениците, што се припишува на намаленото локално воспаление и оксидативниот стрес.

Ваквите наоди укажуваат дека медот збогатен со билки може да послужи како дополнителна терапија за воспалителни нарушувања, како што се: артритис, дерматитис и метаболичко воспаление поврзано со дебелина и дијабетес.

### **2.14.3. Антимикробно и антифунгално дејство**

Комбинацијата од мед со есенцијални масла од ароматични растенија резултира со синергистичко антимикробно дејство, при што биоактивните фенолни и терпеноидни соединенија ја потенцираат природната инхибиторна активност на медот. Како што е прикажано во табела бр. 5, различни фитохемикалии придонесуваат за специфични механизми на дејство врз бактериски и габични клетки вклучувајќи нарушување на клеточната мембрана, оксидативно оштетување и инхибиција на биофилм или ергостеролна синтеза (Assaggaf et al., 2022). Овие резултати ја потврдуваат потенцијалната примена на медот збогатен со билни компоненти како природен антимикробен и антифунгален систем со широк спектар.

Механистички дејства

1. Осмотската и киселата средина на медот предизвикува бактериска дехидратација и оштетување на клеточниот сид.
2. Генерирањето на водород пероксид го зголемува оксидативниот стрес кај патогените.
3. Хербалните феноли и терпени ги нарушуваат бактериските мембрани и се мешаат во чувството за кворум.
4. Синергистичко дејство: комбинираниите биоактивни соединенија ја намалуваат веројатноста за појава на антимикробна резистенција.

**Табела бр. 5.** Антимикробно и антифунгално дејство

Микроорганизам	Придонес на билни соединенија	Набљудуван ефект
<i>Staphylococcus aureus</i>	карвакрол (Carvacrol)-оригано, тимол (thymol)	нарушување на клеточната мембрана
<i>Escherichia coli</i>	розмаринска киселина, фенолни киселини	оксидативно оштетување на мембраната
<i>Candida albicans</i>	линалол (Linalool)- лаванда, тујона (thujone)-жалфија	инхибиција на синтезата на ергостерол
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	карнозинска киселина (Carnosic acid), флавоноиди	инхибиција на биофилм

#### Апликации

Локална апликација за инфекции на рани и изгореници.

Природни конзервансни системи во храната и козметиката.

Потенцијална употреба во оралното здравје (антибактериски средства за плакнење уста, таблети за голтање).

Студиите покажуваат дека медот збогатен со билки покажува поголема антимикробна ефикасност од која било од состојките поединечно, особено против грам-позитивни бактерии и квасни видови (Kumar et al. 2023).

#### 2.14.4. Заздравување рани и регенерација на ткива

Способноста на медот да го забрза заздравувањето на раните е добро утврдена, а збогатувањето со билки дополнително го подобрува овој ефект преку синергистички антиоксидантни, антиинфламаторни и антимикробни дејства (Ташканди, 2021).

Механистички патишта

1. Промовирање на формирање гранулационо ткиво преку стимулација на пролиферација на фибробласти и синтеза на колаген;
2. Намалување на воспалението и ексудатот преку фенолна модулација на ослободувањето цитокини;
3. Антибактериска заштита што спречува секундарни инфекции и формирање биофилм;
4. Одржување влажна средина на раната, подобрување на регенерацијата на епителот.

## Доказ

- Медот збогатен со лаванда ја подобрува реепителизацијата кај моделите на изгореници поради антиинфламаторното дејство посредувано од линалоол;
- Медот збогатен со рузмарин и жалфија ја подобрува контракцијата на раните и таложењето колаген;
- Медот од оригано покажува моќно антимикуробно и антиоксидативно дејство, скратувајќи го времето на заздравување кај кожните лезии.

Комбинираните биолошки активности го прават билниот мед силен кандидат за биомедицински преврски на рани и топикални формулации.

### 2.14.5. Метаболни и антидијабетични ефекти

Медот збогатен со лековити билки може да има корисни ефекти врз метаболизмот на гликозата, регулацијата на липидите и чувствителноста на инсулин, што е важно за превенција и управување со дијабетес тип 2 (Ерецува и др. 2012).

#### Механизми

Полифенолна модулација на метаболизмот на гликоза: соединенија како што се розмаринската и карнозинската киселина ја инхибираат  $\alpha$ -амилазата и  $\alpha$ -глукозидазата, намалувајќи ја постпрандијалната хипергликемија (Aryal et al. 2024).

Подобрена чувствителност на инсулин: флавоноидите и терпеноидите ја активираат АМР-активираната протеинска киназа (АМПК) подобрувајќи ја апсорпцијата на гликоза и оксидацијата на липидите (Singh et al. 2022).

Антиоксидантна заштита на  $\beta$ -клетките на панкреасот: хербалните полифеноли го неутрализираат оксидативниот стрес зачувувајќи го капацитетот за лачење инсулин (Liu et al. 2025).

Ефекти врз намалувањето на липидите: ориганото и рузмариноот ја намалуваат оксидацијата на LDL и нивоата на вкупен холестерол *in vivo* (Abbas et al. 2022).

### 2.14.6. Невропротективни и когнитивни ефекти

Неодамнешните студии почнаа да го истражуваат невропротективниот потенцијал на збогатените формулации на мед.

Розмаринската киселина и линалоолот, кои се изобилни во медот од рузмарин и лаванда, покажуваат антинеуроинфламаторни ефекти преку инхибиција на микроглијалната активација (Borgonetti et al. 2022). Полифенолите од оригано и жалфија го модулираат холинергичкото сигнализирање и ја инхибираат ацетилхолинестеразата,

потенцијално подобрувајќи ја когнитивната функција. Во моделите на оксидативен стрес, суплементацијата со билен мед ја намали невронската апоптоза и ги подобри перформансите на меморијата кај глодарите. Овие наоди сугерираат можна примена кај невродегенеративни нарушувања, како што се: Алцхајмеровата и Паркинсоновата болест, иако е потребна понатамошна клиничка валидација (Faridzadeh et al. 2022).

#### **2.14.7. Гастроинтестинални и хепатопротективни придобивки**

Збогатениот мед придонесува за гастроинтестинална заштита преку модулирање на цревната микробиота и намалување на оксидативното оштетување на мукозните клетки (Kumar et al. 2023).

Медот од оригано и рузмарин покажува антицирни и хепатопротективни својства намалувајќи ја пероксидацијата на липидите и зголемувајќи ја активноста на антиоксидантните ензими во црниот дроб (Rašković et al. 2014).

Медот збогатен со лаванда покажува благи спазмолитички и анксиолитички ефекти врз мазните мускули на цревата, што се припишува на линалоолот (Manzoor et al. 2025).

Пребиотските олигосахариди во медот, во комбинација со растителни полифеноли, го поттикнуваат растот на корисните цревни бактерии (*Lactobacillus*, *Bifidobacterium*) (Schell et al. 2022).

#### **2.14.8. Потенцијални антиканцерогени својства**

Синергистичките антиоксидантни и антиинфламаторни дејства на збогатениот мед придонесуваат за неговиот хемопреентивен потенцијал (Nan et al. 2025). Докажано е дека розмаринската киселина, карнозинската киселина и тимолоот предизвикуваат апоптоза и запирање на клеточниот циклус кај туморските клеточни линии (Messeha et al. 2020; Noor et al. 2022). Компонентите на медот ги подобруваат овие ефекти со модулирање на редокс сигнализацијата и намалување на оштетувањето на ДНК (Patouna et al. 2025). Комбинацијата од мед и екстракт од оригано ја инхибира пролиферацијата на клетките на ракот на дебелото црево и дојката ин витро (Kumar et al. 2023).

#### **2.15. Безбедносни и токсиколошки аспекти**

И покрај терапевтските придобивки, треба да се земат предвид потенцијалните безбедносни проблеми.

Акумулацијата на тешки метали од контаминирани билки (на пр., Pb, Ni, Cd)

може да претставува токсиколошки ризик.

Прекумерниот внес може да доведе до калориско преоптоварување кај дијабетични пациенти.

Стандардизацијата на концентрацијата на екстракција и ботаничкиот извор е клучна за да се обезбеди репродуктивност и безбедност.

Затоа, сеопфатната токсиколошка процена и протоколите за стандардизација се од суштинско значење за клиничките и комерцијалните апликации.

Медот збогатен со ароматични билки покажува мултифункционален терапевтски потенцијал, комбинирајќи го нутритивното богатство на медот со фитохемиската разновидност на лековитите растенија.

**Табела бр. 6.** Терапевтски потенцијален мед збогатен со ароматични билки

Терапевтски домен	Примарни механизми	Главни биоактивни придонесувачи
антиоксидантно и цитопротективно	ROS/RNS чистење, ензимска модулација	розмаринска киселина, карнозинска киселина, флавоноиди
антивоспалително	NF-κB инхибиција, цитокинска модулација	тимол, карвакрол, кофеинска киселина
антимикробно	нарушување на мембраната, синергија на пероксид	терпени, феноли
здравување рани	стимулација на колаген, антибактериско	линалоол, розмаринска киселина
антидијабетик	инхибиција на ензими, активирање на АМПК	карнозинска киселина, карвакрол
невропротективен	инхибиција на холинестераза, антиоксиданс	розмаринска киселина, линалоол
кардиопротективни	АСЕ инхибиција, вазорелаксација	кофеинска киселина, тимол

Како што е прикажано во табела бр. 6, медот збогатен со ароматични билки поседува мултидимензионален терапевтски профил, кој опфаќа антиоксидантни, антивоспалителни, антимикробни, метаболни и невропротективни ефекти. Овие биолошки активности се резултат од синергистичкото дејство на фенолни киселини,

терпени и флавоноиди присутни во билните додатоци, кои ги модулираат клучните клеточни патеки и ензимски системи. Ваквата мултифункционалност го позиционира медот збогатен со ароматични растенија како перспективен природен нутрицевтик со широк терапевтски опсег (Czernicka et al., 2024; Durmishi et al., 2025).

Генерално, медот збогатен со ароматични растенија нуди широк спектар на терапевтски потенцијал како природен, мултифункционален нутрицевтик. Сепак, стандардизацијата, клиничката валидација и следењето на безбедноста се неопходни за да се преведат овие наоди во регулирани функционални производи (Czernicka et al. 2024; Durmishi et al. 2025).

### **2.16. Процена на квалитетот на медот збогатен со ароматични билки**

Процената на квалитетот на медот е мултифакторски процес кој ја проценува хранливата вредност, безбедноста, автентичноста и функционалните својства (Сана Ахмад и др. 2025). Збогатувањето на медот со ароматични билки додава комплексност, бидејќи ги менува физичко-хемиските карактеристики, биоактивната содржина, сензорните атрибути и потенцијалните загадувачи (Ал-Кафавин и др. 2023). Сеопфатната процена гарантира дека збогатениот мед ги исполнува регулаторните стандарди, ја задржува терапевтската ефикасност и ги задоволува очекувањата на потрошувачите (Гајдош Кљусуриќ и др. 2025).

Евалуацијата на квалитетот може широко да се категоризира на:

1. физичко-хемиска анализа,
2. хемиско и функционално профилирање,
3. процена на загадувачите и безбедноста,
4. сензорна и органолептичка евалуација,
5. спектроскопски и хеометриски пристапи.

### **2.17. Физичко-хемиски и функционални параметри на квалитетот на медот**

Директивите на Codex Alimentarius и ЕУ (2001/110/ЕС) ги специфицираат стандардните параметри за квалитет на медот вклучувајќи ја содржината на влага (<20%), рН (3,2–4,5), слободна киселост (<50 meq/kg), електрична спроводливост (<0,8 mS/cm за цветен мед) и редуцирачки шеќери (>65%). Овие параметри ја обезбедуваат стабилноста, автентичноста и микробната безбедност на медот.

Функционалното збогатување може да ги промени овие вредности, особено влажноста (поради растителните екстракти) и рН-вредноста (поради органските

киселини). Понатаму, параметрите на бојата, квантифицирани преку скалите CIE Lab\* или Pfund, служат како показатели за фенолната концентрација и антиоксидантната активност. Разбирањето на овие меѓусебни односи е од суштинско значење за дефинирање на функционалните и сензорните профили на збогатениот мед (Halagarda et al. 2020; Zaldivar-Ortega et al. 2025).

### **2.17.1. Физичко-хемиски параметри за квалитет**

Основните физичко-хемиски параметри служат како примарни индикатори за свежината, автентичноста и соодветноста на медот за збогатување:

1. содржина на влага (15–20%),
2. се одредува со рефрактометрија или титрација по Карл Фишер,
3. зголемената влага од течните растителни екстракти може да ја наруши стабилноста и да ја поттикне ферментацијата,
4. рН-вредност и слободна киселост (3,2–4,5; 8–50 meq/kg),
5. се мери преку потенциометрија или титрација,
6. киселата рН-вредност фаворизира микробна инхибиција и стабилизација на полифенолите, но може да ја промени ензимската активност,
7. електрична спроводливост (EC, 0,2–1,0 mS/cm),
8. одразува минерална содржина и пепел,
9. збогатувањето често го зголемува EC поради јони добиени од растенија.

Состав на шеќер

Квантифицирано со HPLC или GC.

Обезбедува усогласеност со стандардите и ги следи суптилните интеракции со полифенолите.

Боја (скала Pfund, CIE Lab)\*

Под влијание на растителни пигменти и полифеноли.

Корелира со антиоксидантен потенцијал.

Вискозитет и текстура.

Се мониторира со вискозиметри или реометри.

Зголемениот вискозитет од растителните полисахариди може да влијае врз ракувањето и перцепцијата на потрошувачите.

### **2.17.2. Процена на хемискиот и функционалниот квалитет**

Вкупна содржина на феноли (TPC).

Се утврдува преку анализа на Фолин-Чокалтеу.

Укажува ефикасност на збогатување и е во корелација со антиоксидантниот капацитет.

TPC обично се зголемува за 20-100% во зависност од видот на растението и концентрацијата.

Профилирање на флавоноиди и полифеноли.

HPLC-DAD, LC-MS/MS се користат за квантифицирање на поединечни флавоноиди и фенолни киселини.

Овозможува ботаничка автентикација и следење специфични функционални соединенија од билки (Codex Alimentarius, 2001).

#### **Антиоксидантна активност**

Проценето преку DPPH, ABTS, FRAP, ORAC тестови.

Збогатениот мед генерално покажува подобрена моќ на отстранување радикали и редукција.

Резултатите се во корелација со содржината на TPC и флавоноиди обезбедувајќи индекс на функционален квалитет (Codex Alimentarius, 2001).

#### **Ензимска активност**

Се мери бројот на дијастаза, активноста на инвертазата, глукоза оксидазата.

Укажува на свежината на медот, ензимскиот интегритет и ефектот на збогатувањето врз функционалните протеини.

#### **Органски киселини и шеќери**

Органските киселини придонесуваат за вкусот, киселоста и антимицробната функција.

HPLC анализата гарантира дека збогатувањето нема претерано да го промени профилот на киселина или соодносот на шеќери (Codex Alimentarius, 2001).

### **2.17.3. Процена на безбедноста**

#### **Тешки метали**

ICP-MS или AAS анализа за Pb, Cd, Ni, Cr, As.

Збогатувањето може да внесе метали во траги од растителни материјали.

Усогласеноста со Регулативата на ЕУ 1881/2006 ја гарантира безбедноста на производот.

Хидроксиметилфурфурал (HMF)

HMF служи како индикатор за термичка обработка или деградација на

складирањето.

Се одредува преку UV спектрофотометрија или HPLC.

Вишокот на HMF (>40 mg/kg) може да го загрози квалитетот и терапевтската безбедност.

#### **2.17.4. Сензорна и органолептичка евалуација**

Сензорниот квалитет е клучен за прифаќање од страна на потрошувачите, особено за функционален мед со билни ароми:

1. Изглед: униформност на бојата, присуство на растителни честички;
2. Арома: придонес на испарливи растителни материи (на пр., линалоол, тимол, карвакрол);
3. Вкус: баланс на сладост и билни ноти, избегнување горчина;
4. Текстура: мазност, вискозитет и отсуство на несакана гранулација.

Сензорните панели и хедонистичкото бодување се користат заедно со инструменталната анализа за квантифицирање на органолептичките својства.

#### **2.18. Спектроскопска и хеометриска процена**

Недеструктивните техники како што се блиску-инфрацрвеното (NIR), инфрацрвеното со Фуриеова трансформација (FTIR) и UV-VIS спектроскопијата сè повеќе се применуваат за евалуација на квалитетот:

##### **1. NIR спектроскопија**

Детектира промени во содржината на шеќер, вода, фенолни и испарливи материи.

Овозможува брза класификација на чист наспроти збогатен мед и квантификација на концентрацијата на адитиви.

##### **2. FTIR и UV-VIS спектроскопија**

Идентификувајте специфични функционални групи (феноли, флавоноиди, карбоксилни киселини).

Корисно за верификација на автентичност и следење на хемиската стабилност.

##### **3. Хеометриски модели**

PCA, PLS и LDA се применија на спектрални податоци за да се направи разлика помеѓу видот на билката и нивоата на збогатување.

Овозможува корелација на спектралните карактеристики со физичко-хемиските и функционалните својства обезбедувајќи мултипараметриски индекс на квалитет.

## 2.19. Интегриран индекс на квалитет

За збогатен мед, процената на квалитетот често се врши со користење интегриран систем за бодување кој комбинира:

Физичко-хемиски параметри (влажност, рН, ЕС, боја, шеќери);

Функционални маркери (ТРС, флавоноиди, антиоксидантна активност, ензимска активност);

Индикатори за безбедност (тешки метали, НМФ, микробно оптоварување);

Сензорна евалуација (вкус, арома, текстура);

Спектроскопски отпечатоци од прсти (NIR, FTIR, хеометриска класификација).

Овој холистички пристап гарантира дека збогатениот мед ги исполнува нутритивните, функционалните, сензорните и регулаторните стандарди, а воедно ја одржува терапевтската ефикасност и безбедност.

## 2.20. Предизвици во процената на квалитетот

1. Сложеност на матрицата: збогатениот мед содржи шеќери, протеини, полифеноли и испарливи соединенија кои можат да се мешаат во аналитичките анализи.
2. Варијабилност на билките: биоактивната содржина зависи од видот на растението, времето на берба и методот на екстракција, што влијае врз репродуктивноста.
3. Складирање и обработка: температурата, светлината и влагата можат да ги разградат полифенолите и испарливите материи, менувајќи го функционалниот квалитет.
4. Регулаторни празнини: ароматизираниот или збогатениот мед бара јасно етикетирање и стандардизација за комерцијална усогласеност.

Процената на квалитетот на медот збогатен со ароматични билки бара повеќедимензионален пристап, кој комбинира:

Физичко-хемиска анализа за свежина, шеќерен профил, боја и киселост;

Хемиско и функционално профилирање за биоактивна и антиоксидантна содржина;

Тестирање за безбедност на тешки метали, НМФ и микробиолошки загадувачи;

Сензорна евалуација за прифаќање од страна на потрошувачите;

Спектроскопски и хеометриски алатки за брз, недеструктивен и интегративен мониторинг.

Оваа сеопфатна процена гарантира дека збогатувањето со билки го подобрува терапевтскиот потенцијал без да се загрози безбедноста или органолептичкиот квалитет, обезбедувајќи научно потврдена основа за развој на функционална храна.

### **2.21. Безбедносни проблеми и контаминација со тешки метали**

Помалку проучен, но важен аспект на збогатувањето на медот се однесува на контаминацијата со тешки метали. Ароматичните билки, поради нивниот висок капацитет за апсорпција на минерали, можат да акумулираат метали, како што се: Fe, Ni, Pb, Cd и Zn, во зависност од составот на почвата и изложеноста на животната средина (Dinu et al. 2021; Hlihor et al. 2022). Пренесувањето на овие метали во матриците на медот може да ја загрози безбедноста на храната. Затоа, збогатувањето треба да биде придружено со ригорозен токсиколошко скрининг и квантитативна анализа на концентрациите на тешки метали со користење методи, како што се атомска апсорпциона спектроскопија (AAS) или масена спектрометрија со индуктивно поврзана плазма (ICP-MS) (Aghamirlou et al. 2015; Naccari et al. 2025).

### **2.22. Блиско-инфрацрвена спектроскопија (NIRS) во анализата на храна и мед**

Блиско-инфрацрвената спектроскопија (NIRS) работи во спектралниот опсег од 780–2500 nm и детектира обертонови и комбинации од ленти на фундаментални молекуларни вибрации на –OH, –CH и –NH групите. Во прехранбените системи, овие апсорпции се директно поврзани со содржината на вода, шеќери, протеини, липиди и фенолни соединенија (Ruoff et al. 2006; Fodor et al. 2024; Qi et al. 2025).

Главните предности на NIRS се:

- Недеструктивно мерење без подготовка на примерок;
- Брза анализа на повеќе параметри истовремено;
- Еколошка работа, без потреба од реагенси;
- Висок потенцијал за теренско или мониторинг на само место при користење преносни уреди.

Во истражувањето на медот, NIRS е применет за:

Определете ја влагата, составот на шеќерот и содржината на HMF. Автентизирајте го ботаничкото и географското потекло. Откријте фалсификување со сирупи или вештачки засладувачи. Предвидете ги параметрите на бојата и антиоксидантите. (Puścion-Jakubik et al. 2020; Caredda et al. 2024).

## **2.23 Хеометриски техники за анализа на повеќеваријантни податоци**

Огромната количина на спектрални податоци генерирани од NIRS бара хеометриска анализа, односно примена на мултиваријантни статистички и математички алатки за извлекување релевантни информации од сложени збирки од податоци. Клучните хеометриски техники вклучуваат:

Анализа на главни компоненти (PCA): Метод без надзор за истражување податоци и препознавање обрасци, корисен за класификација на примероци од мед по потекло или третман врз основа на спектрална варијанса.

Парцијална регресија на најмали квадрати (PLS): Надгледуван метод за градење предикативни модели што ги корелираат спектралните податоци (независни променливи) со референтните хемиски вредности (зависни променливи).

Дискриминантна анализа (DA) или PLS-DA: Се користи за класификација на примероците во предефинирани групи, како што се чист наспроти збогатен мед.

Хиерархиска кластерска анализа (HCA): групира примероци со слични спектрални или композициски карактеристики.

Овие пристапи се успешно применети во класификацијата на мед збогатен со медицински билки и предвидувањето на вкупната содржина на феноли, антиоксидантната активност и тешките метали (Gajdoš Kljusurić et al. 2025; Durmishi et al., 2025). Нивната интеграција со NIR спектроскопијата овозможува холистичка процена на физичко-хемиските, функционалните и композициските карактеристики на медот.

## **2.24. Ограничувања во истражувањето и оправданост за оваа студија**

И покрај широката примена на NIR и хеометријата во прехранбената наука, систематските студии што комбинираат NIR спектроскопија, хеометрија и класични аналитички методи за евалуација на мед збогатен со билки остануваат ограничени. Повеќето претходни истражувања се фокусираат или врз автентикација на чист мед или врз анализа на екстракт од билки, без интегрирање на двете матрици.

Покрај тоа, податоците за ресурсите на мед и ароматични билки од регионот на Западен Балкан (Косово, Албанија, Македонија) се особено оскудни. Овие земји поседуваат богата ботаничка разновидност и традиционална употреба на лековити билки, што претставува вредна, но недоволно истражена можност за развој на функционални производи од мед со регионален идентитет.

Затоа, интегриран аналитички пристап кој ги комбинира физичко-хемиските

мерања, анализата на тешки метали, антиоксидантните анализи и NIR-хеометриското моделирање е од суштинско значење за:

- Разбирање на композициските и функционалните промени по збогатувањето;
- Процена на потенцијалните безбедносни ризици предизвикани од тешки метали;
- Развивање брзи и сигурни методи за недеструктивна контрола на квалитетот.

Оваа сеопфатна стратегија ја формира основата на сегашното докторско истражување.

Накратко, претходната литература го нагласува нутритивното и терапевтското значење на медот, како и растечкиот тренд на функционално збогатување со ароматични билки. Иако таквото збогатување го подобрува биоактивниот потенцијал, тоа бара робустна аналитичка евалуација за да се обезбеди квалитет, безбедност и автентичност на производот. Блискоинфрацрвената спектроскопија, заедно со хеометриската анализа, нуди одржливо и ефикасно решение за следење на варијациите во составот и функцијата кај збогатениот мед.

Затоа, оваа студија има за цел да ги премости постојните празнини преку имплементација на интегрирана аналитичка рамка за евалуација на мед збогатен со ароматични растенија од Западен Балкан, со што ќе придонесе за научно разбирање, регионална валоризација и технолошки напредок во функционалното производство на мед.

## **2.25. Сензорна евалуација и перцепција на потрошувачите за мед збогатен со билки**

Перцепцијата е дефинирана како процес на селекција, организирање и толкување информации и стимулации за да се создаде значајно чувство за производите околу нас. Општо земено, перцепцијата во однесувањето на потрошувачите е поврзана со цената, квалитетот, перцепираната вредност, придобивките и практичноста. Перцепцијата за квалитетот и цената генерално се користат како егзогени варијабли (Horská & Siringoringo, 2012). Цената се претпоставува дека е рационален и одлучувачки фактор (Kubicová & Kádeková, 2011; Predanocuyová et al. 2018), додека квалитетот на храната силно зависи од нејзините сензорни атрибути (Nagyová et al. 2018). Според Berčík et al. (2016a), однесувањето при купување на местото на продажба е под влијание на перцепциите на потрошувачите, вклучително и перцепцијата за околината во продавницата (Berčík et al. 2016b). Покрај тоа, одлуките на потрошувачите во случај на прехранбени производи се под влијание на различни фактори, вклучувајќи не само културни, социјални, психолошки, туку и лични варијабли. Некои од нив се менуваат

под влијание на новите трендови, на пример, зголемената важност на квалитетот и потеклото на производот (Pierański et al. 2017; Géci et al. 2017). Сепак, треба да се каже дека перцепцијата на потрошувачите за квалитетот е поважна од самиот квалитет (Mokry et al. 2016). Квалитетот, количината и ценовното ниво на стоките што ги избираат потрошувачите зависи од индивидуалното ниво на приход, но потребно е да се истакне важноста на приходот во семејниот буџет (Kubicová et al., 2013). Покрај тоа, потрошувачите претпочитаат да ги купуваат претежно прехранбените производи што ќе го задоволат нивното задоволство (Golian et al., 2018).

Сензорните карактеристики се критични детерминанти на прифаќањето на збогатените медни производи од страна на потрошувачите. Збогатувањето со ароматични билки (лаванда, рузмарин, оригано, жалфија, бел бор) може да ги подобри биоактивните својства, но може да го промени и вкусот, аромата, бојата и текстурата, што потенцијално влијае врз преференциите на потрошувачите. Затоа, структурираната сензорна евалуација е од суштинско значење за процена на квалитетот и одржливоста на пазарот.

Цели на сензорната евалуација:

1. да се процени влијанието на различни билки и концентрации (0,5%, 0,8%, 1% w/w) врз сензорните својства на медот,
2. да се утврди прифаќањето и преференциите на потрошувачите за збогатен мед,
3. да се поврзат сензорните атрибути со физичко-хемиските и антиоксидантните својства,
4. да се оптимизира концентрацијата на збогатување за максимална функционална корист, а воедно да се одржи поволен сензорен квалитет,
5. селекција и обука на панелисти.

Состав на панелот:

10–12 обучени панелисти (со искуство во дегустација на мед) за квантитативна дескриптивна анализа (QDA);

50–100 необучени потрошувачи за хедонистичко и преференцијално тестирање.

Обука:

Панелистите беа обучени за стандардни атрибути на медот: сладост, арома, цветни ноти, горчина, вискозитет, боја и повкус.

Стандардни референци што се користат за калибрирање на перцепциите на билни ноти (на пр. рузмарин, лаванда, оригано).

Подготовка на примерокот:

- примери од мед изедначени на собна температура (22–25°C),
- приближно 10 g по примерок, сервирано во прозирни стаклени чаши без мирис,
- примерите се кодирани со случајни трицифрени броеви за да се спречи пристрасност,
- редоследот на презентацијата е рандомизиран за да се минимизира заморот и ефектите на пренесување.

Проценети се сензорни атрибути:

1. изглед / боја: светлина, транспарентност, нијанса и визуелна привлечност,
2. арома / мирис.

Интензитет на сладост, цветни ноти, билен мирис (рузмарин, лаванда, оригано, жалфија, бор).

Перципиран интензитет оценет на скала од 5 или 9 поени.

Вкус / Вкус:

слаткост, горчина, киселост, тревни ноти,

баланс помеѓу сладоста на медот и лутината на билките.

Текстура / Конзистенција:

вискозитет, мазност и способност за ширење.

Повкус / Перзистентност:

времетраење и квалитет на вкусот по голтањето.

Целокупна прифатливост:

општо допаѓање или преференција, оценето со 9-степен хедонистичка скала (1 = екстремно не ми се допаѓа, 9 = екстремно ми се допаѓа).

Методологија

Квантитативна описна анализа (QDA):

1. Обучениот панел го оценува интензитетот на специфичните атрибути на структурирана скала (0–10);
2. Овозможува детално профилирање на сензорното влијание на секоја билка и концентрација.

Хедонистичко тестирање на потрошувачите:

3. Необучените потрошувачи ја оценуваат целокупната симпатија и подготвеноста за купување;
4. Податоци што се користат за процена на прифатливоста на пазарот;
5. Собирање и анализа на податоци.

Резултати внесени во Excel или SPSS за статистичка анализа.

ANOVA се користи за процена на разликите помеѓу билките, концентрациите и географското потекло.

Анализа на главни компоненти (PCA) или кластерска анализа за идентификување шеми во сензорната перцепција.

#### 6. Влијание на билките и концентрациите:

Лаванда: цветна, слатка арома, ја подобрува ароматичната комплексност и прекумерната концентрација може да даде силна билна нота;

Рузмарин: смолеста арома слична на бор, придонесува за антиоксидантна перцепција и повисоките концентрации може да додадат мала горчина;

Оригано: остра, зачинета арома, ја зголемува антимикуробната перцепција и високите нивоа може да ја намалат целокупната прифатливост;

Жалфија: билен, малку горчлив вкус, умерените нивоа ја подобруваат функционалната перцепција и прекумерното додавање може да ја надвлее сладоста;

Масло од бел бор: смолеста, свежа арома, ја подобрува сензорната новина и високата концентрација може да ја прикрие сладоста на медот.

#### 7. Корелација со физичко-хемиски и функционални својства.

Сензорните резултати можат да бидат поврзани со:

Вкупна содржина на феноли (TPC): повисока TPC често се поврзува со посилен билен вкус или горчина;

Антиоксидантна активност: перципираната „здравост“ може да влијае врз хедонските резултати;

Боја и арома: потемниот мед или силната билна арома може да влијаат врз визуелното и мирисното прифаќање.

#### 8. Толкување

Оптимална концентрација на билки: целта е максимално функционално подобрување (антиоксиданси, TPC, антимикуробна активност) додека се одржува пријатен сензорен квалитет.

Преференции на потрошувачите: генерално се претпочита умерено додавање билки (0,5–0,8% w/w), со што се балансираат биоактивните придобивки со вкусот и аромата.

Сензорна интеграција: резултатите помагаат во дизајнирањето производи од збогатен мед подготвени за пазарот и даваат увид во етикетањето и маркетингот на производите.

### **3. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ИСТРАЖУВАЧКАТА РАБОТА**

#### **1. Општа цел**

Главната цел на ова истражување е да се испита хемискиот, функционалниот и сензорниот квалитет на медот збогатен со одбрани лековити билки користејќи интегриран аналитички пристап. Студијата се фокусира врз билки што најчесто се наоѓаат во балканскиот регион (лаванда, рузмарин, оригано, жалфија и бел бор) и нивното влијание врз физичко-хемиските својства на медот, антиоксидантните и биоактивните својства, како и безбедносните аспекти, вклучително и содржината на тешки метали. Работата, исто така, има за цел да евалуира брзи, недеструктивни аналитички методи, како што е блиску инфрацрвената спектроскопија (NIRS) заедно со хеометриско моделирање, за контрола на квалитетот и автентикација на збогатениот мед.

Според нашите сознанија, ова е прва студија за анализа на мед од три земји од јужна Европа (Косово, Албанија и Македонија) на кои се додадени пет ароматични растенија. Целта на оваа работа е да се испита промената на бојата, основните физичко-хемиски параметри и антиоксидантната активност на медот кога се додаваат претходно споменатите адитиви (ароматични растенија). Промените беа следени и со NIR спектроскопија.

Клучна цел е преку напредна анализа на податоци да се дале увид во сличностите/разликите и потенцијалните промени на мед збогатен со ароматични билки.

#### **2. Специфични цели**

##### **1. Хемиска и функционална карактеризација на збогатен мед**

Определување на вкупната содржина на феноли (TPC) и флавоноиди во чист мед и мед збогатен со билки.

Оцена на антиоксидантната активност користејќи DPPH, ABTS и FRAP тестови.

##### **2. Физичко-хемиски и процена на безбедноста**

Определување стандардни физичко-хемиски параметри на медот: влажност, рН, електрична спроводливост, боја и шеќерен профил.

Анализа на содржината на тешки метали (олово, кадмиум, никел, железо итн.) за да се осигурате дека збогатените производи се безбедни.

##### **3. Сензорна и ароматична евалуација**

Проценете го влијанието на билките врз аромата, вкусот и бојата на медот.

Определете прифатливи концентрации на збогатување билки за прифаќање од страна на потрошувачите.

#### **4. Примена на блиску инфрацрвена спектроскопија (NIRS)**

Снимете ги NIR спектрите на чист мед и мед збогатен со билки користејќи лабораториски и преносни NIR уреди.

Развијте хеометриски модели (PCA, PLS регресија, модели на класификација) за да ги поврзете NIR спектрите со физичко-хемиските и антиоксидантните својства.

Истражете го потенцијалот на NIRS како брза, недеструктивна, еколошка алатка за контрола на квалитетот за откривање специфични билни адитиви и процена на автентичноста на медот.

#### **5. Процена на географско влијание**

Споредете примероци од мед од Косово, Албанија и Македонија за да го процените влијанието на географското потекло врз TPC, антиоксидантната активност и содржината на тешки метали.

#### **6. Оптимизација на услови за збогатување**

Определете ја оптималната концентрација на билни екстракти (0,5%, 0,8%, 1% w/w) за да ги максимизирате биоактивните својства без да го загорите сензорниот квалитет или безбедноста.

### **3. Истражувачки задачи**

За да се постигнат горенаведените цели, студијата ќе ги спроведе следниве задачи:

#### **1. Примерок прибирање и подготовка**

Соберете примероци од чист мед од Косово, Албанија и Македонија.

Набавете висококвалитетни билни екстракти (лаванда, рузмарин, оригано, жалфија, бел бор) и подгответе збогатен мед во однапред дефинирани концентрации.

#### **2. Хемишка анализа**

Определете ја вкупната содржина на феноли, флавоноиди и антиоксидантна активност со користење стандардни тестови.

Анализирајте ги физичко-хемиските својства (влажност, pH вредност, спроводливост, боја, состав на шеќер).

#### **3. Безбедност и процена на загадувачите**

Определете ја содржината на тешки метали со помош на ICP-MS или атомска апсорпциона спектроскопија.

#### **4. Сензорна анализа**

Спроведете колориметриска и органолептичка евалуација за да ја процените аромата, вкусот и целокупната прифатливост.

## **5. Спектроскопска и хеометриска анализа**

Запишете ги NIR спектрите на сите примероци од мед.

Применувајте хеометриски модели (PCA, PLS) за класификација, предвидување на антиоксидантна активност, TPC, боја и детекција на билни адитиви.

## **6. Податоци, анализа и интеграција**

Спроведете статистички анализи за да ги процените разликите помеѓу примероците од чист и збогатен мед и меѓу географското потекло.

Интегрирајте хемиски, функционални, сензорни и спектроскопски податоци за холистичка процена на квалитетот.

## **7. Препораки за функционално производство на мед**

Идентификувајте ги најефикасните билни додатоци и концентрации за оптимален функционален и сензорен квалитет.

Да се обезбедат упатства за методи за брза контрола на квалитетот (NIRS) за индустриски апликации.

## 4. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДИ

### 4.1. Материјали

Анализирани се вкупно 144 примероци мед од производители во Косово, Македонија и Албанија, собрани во периодот од октомври 2023 до март 2024 година. Од секоја земја се избрани по три различни производители (вкупно 9 основен мед). Секој основен мед е збогатен со пет ароматични растителни адитиви: рузмарин (*Rosmarinus officinalis* L.), лаванда (*Lavandula officinalis*), оригано (*Origanum vulgare*), жалфија (*Salvia officinalis* L.) и масло од бел бор (*Pinus strobus*), во три концентрации (0,5; 0,8 и 1%). Првите четири ароматични растенија се додадени во форма на прав, додека белиот бор (Terra Organica) е додаден во форма на масло. Експерименталниот дизајн опфати 5 видови ароматични растенија × 3 концентрации × 9 основен мед, како и 9 основен мед без збогатување, што резултира со вкупно 144 примероци (табела бр. 4.1).

**Табела бр. 4.1.** Ознаки и кратенки на примероците од мед според земја, растителен додаток и концентрација

Земја	Примери од мед	Додадено ароматично растение	Концентрација (%)	Броеви на примероци*
Косово	3 (Н1 – Н3)	Рузмарин (R)	0; 0,5; 0,8; 1	1-48
		Лаванда (L)	0; 0,5; 0,8; 1	
		Оригано (O)	0; 0,5; 0,8; 1	
		Жалфија (S)	0; 0,5; 0,8; 1	
		Масло од бел бор (W)	0; 0,5; 0,8; 1	
Македонија	3 (Н4-Н6)	Рузмарин (R)	0; 0,5; 0,8; 1	49-96
		Лаванда (L)	0; 0,5; 0,8; 1	
		Оригано (O)	0; 0,5; 0,8; 1	
		Жалфија (S)	0; 0,5; 0,8; 1	
		Масло од бел бор (W)	0; 0,5; 0,8; 1	
Албанија	3 (Н7-Н9)	Рузмарин (R)	0; 0,5; 0,8; 1	97-144
		Лаванда (L)	0; 0,5; 0,8; 1	
		Оригано (O)	0; 0,5; 0,8; 1	
		Жалфија (S)	0; 0,5; 0,8; 1	
		Масло од бел бор (W)	0; 0,5; 0,8; 1	

Растителните адитиви се внесени со цел да се симулира природно збогатување на медот, релевантно за потенцијалната примена и прифатливост од страна на потрошувачите (Sowa et al., 2019; Kumar et al., 2023; Czernicka et al., 2024). Девет примероци оставени се за анализа во нивната оригинална форма без додатоци (0%).

Подготовката на примероците извршена е со додавање на растителните компоненти во медот на температура од 35 °C, со цел да се обезбеди униформна дисперзија и хомогенизација. Секоја комбинација на збогатување е подготвена индивидуално, при што секој примерок содржи само еден вид растителен адитив. По хомогенизацијата, примероците складирали се во стерилни, херметички затворени и соодветно означени стаклени садови, во темни услови на собна температура до моментот на анализа.



**Фотографија бр. 4.1.** Примери од мед за време на анализата

#### **4.2. Физичко-хемика анализа**

Содржината на влага во примероците од мед определена е со помош на АВВЕ рефрактометар (220 V ВОЕ 32.400 Модел RMT). Индексот на прекршување на примерокот е измерен на 20 °C. Табела базирана врз индекс на прекршување е искористена за да се утврди содржината на вода (%) во милилитри на милиметар, според

АОАС 969.38–1969 (АОАС,1969).

Брикс нивоата на примероците мерени се со помош на АВВЕ рефрактометар според BRIX методот на  $20 \pm 2$  °C. Меѓународната комисија за хармонизирани методологии за мед беше користена за анализа на физичко-хемиските параметри, како што се: електричната спроводливост (EC), слободната киселост (FA), влагата, пепелта и °Brix (Juszczak et al. 2009). За одредување pH вредноста беше користен дигитален pH метар (HI 8314, Hanna Instruments, Woonsocket, RI, САД).

Спроводливоста беше измерена со користење стандардни АОАС методи (АОАС, 2000). Очекуваната спроводливост не треба да биде над  $0,8 \mu\text{S}/\text{cm}$ , освен ако не станува збор за мед направен од медена роса (Puścion-Jakubik et al. 2020).

Слободната киселост е проценета со титрација. Во овој процес,  $0,1 \text{ N}$  натриум хидроксид беше употребен за титрирање на примерокот од мед ( $10 \text{ g}$  разреден со  $75 \text{ mL}$  дестилирана вода), додека фенолфталеин беше употребен како индикатор.

Содржината на пепел определена е со согорување на примерокот на  $600$  °C во порцелански тигел, претходно исушен и оладен во десикатор. Примерокот од мед е измерен на аналитичка вага ( $m_1$ ) во празен тигел ( $m_0$ ). Потоа се додаваат  $10 \text{ mL}$  дестилирана вода загреана речиси до вриење и примерокот се загрева во муфелна печка на  $100$ – $300$  °C, при што температурата постепено се зголемува до  $600$  °C. На оваа температура примерокот се согорува до добивање сиво-бела пепел. Тигелот се лади во десикатор и се мери ( $m_2$ ). Содржината на пепел се пресметува според равенка (1) и се изразува во %:

$$\text{Ash (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \cdot 100 \quad (1)$$

каде е:

$m_0$  = маса на празен тигел (g),

$m_1$  = маса на тигел со примерок пред согорување (g),

$m_2$  = маса на тигел со пепел по согорување (g).

#### 4.3. Мерење на бојата на примероците од мед

За мерење на бојата на примероците од мед, користен е колориметар PCE-CSM3 (PCE Instruments, Берлин, Германија). За одредување на промената на бојата ( $\Delta E$ ) помеѓу примероците од чист мед и примероците што содржат различни концентрации на ароматични растителни екстракти, мерени се Хантеровите параметри ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), со чист мед како референтни примероци. Вкупната промена на бојата ( $\Delta E$ ) пресметана е

според следнава равенка:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (2)$$

каде што вредностите  $L_0$ ,  $a_0$  и  $b_0$  беа измерени за примероци од чист мед, а вредностите  $L^*$ ,  $a^*$  и  $b^*$  беа измерени за примероци од мед што содржат различни концентрации на ароматични растенија. За секој примерок беа извршени три паралелни мерења, а резултатите претставени се како средна вредност  $\pm$  стандардна девијација (SD).

#### 4.4. Мерење на антиоксидантната активност

Антиоксидантната активност на примероците од мед беше измерена со методот на 2,2-дифенил-1-пикрилхидразил (DPPH) според Бертонцел и сор. (2007), со мали модификации. Волумен од 200  $\mu\text{L}$  од 30% воден раствор на мед беше измешан со 2 mL DPPH (0,06 M) растворен во метанол. Смесата беше енергично протресена на Vortex миксер 1 минута. Подготвените примероци беа чувани во темнина 1 час, по што апсорпцијата беше измерена на 515 nm во однос на слепата проба, користејќи го UV-vis спектрофотометарот (Biochrom, Кембриџ, Велика Британија).

Слепата проба беше аналог на меден шеќер, кој беше подготвен според Берета и сор. (2005) како воден раствор на шеќер чиј состав е како што следува: 20% вода, 10% малтоза, 30% гликоза и 40% фруктоза. Процентот на инхибиција на радикалите на DPPH (активност на отстранување на радикалите, I (%)) беше пресметан со користење на следнава формула (Берета и сор. 2005):

$$I (\%) = \frac{(A_S - A_B)}{A_C} \cdot 100 \quad (3)$$

каде што I (%) го претставува процентот на инхибиција на радикалот на DPPH,  $A_B$  е апсорпцијата на контролниот (слепа) примерок при  $t = 0$ , додека  $A_S$  и  $A_C$  се апсорпцијата на примерокот (S) и контролниот (C) по времето на реакција ( $t = 1$  час). Мерењата на DPPH беа извршени во дупликати и резултатите беа изразени како просечна вредност  $\pm$  стандардна девијација (SD).

#### 4.5. Одредување на вкупната содржина на феноли (TPC)

Вкупната содржина на феноли (TPC) на збогатените примероци од мед беше измерена спектрофотометриски користејќи го модифициран метод Фолин-Чокалтеу, со

аналог на меден шеќер (40% фруктоза, 30% гликоза, 8% малтоза и 2% сахароза) како празен примерок (Seraglio et al. 2021; Valinger et al. 2021). Волумен од 100  $\mu$ L од 30% воден раствор на мед (30 g/100 mL), што одговара на 10 mg свеж мед, беше измешан со 1 mL реагенс Фолин-Чокалтеу (10%) и 1 mL натриум карбонат (7,5%).

Подготвените примероци беа складирани во темнина 30 минути на собна температура, по што нивната апсорпција беше измерена на 760 nm. ТРС беше пресметан од калибрациската крива на гална киселина (0–500 mg/L) и резултатите беа изразени како mg еквиваленти на гална киселина (GAE) на грам од примерокот. ТРС мерењата беа извршени во дупликат и резултатите беа изразени како просечна вредност  $\pm$  стандардна девијација.

#### 4.6. Одредување тешки метали

Тефлонска микробранова цевка (сад) се става на аналитичка вага, а примерокот што треба да се подложи на процесот на минерализација се мери. Маса од 0,5 g од примерокот потоа се третира со 9 mL 65% азотна киселина и 1 mL 30% водород пероксид (забелешка: вкупниот волумен на реагенси не треба да надминува 50 mL). Садот, цврсто затворен, се става во дигестор за да се овозможи апсорпција на пареата во тек на приближно 30 минути.

Последователно, садот за микробранова печка се затвора со капаче за притисок и се поставува во соодветниот ротор. Истата постапка се применува и на слепата проба како и на вистинскиот примерок. И вистинскиот и слепата проба се ставаат во микробрановата печка за минерализација. Процесот на минерализација трае 55 минути, за време на кои температурата се приспособува на температурата на околината.

Потоа садот темелно се празни и се чисти од сите остатоци, а финалниот раствор се префрла во тефлонска цевка од 50,0 mL за понатамошна анализа со употреба на индуктивно поврзана плазма-оптичка емисиона спектрофотометрија (ICP-OES).

#### 4.7. Блиско инфрацрвена спектроскопија

Блиско инфрацрвените (NIR) спектри на примероци од мед (вкупно 144 примероци) беа снимени со помош на работниот NIR спектрофотометар; NIR-128-1.7-USB/6.25/50  $\mu$ m (Control Development, Саут Бенд, Индијана, САД), со инсталираниот софтвер SPEC32 верзија 1.6 (Control Development, Саут Бенд, Индијана, САД) и халогенски извор на светлина (HL-2000), кој работи во опсегот на бранови должини од 904 nm до 1699 nm. Три NIR спектри за секој примерок од мед беа снимени низ целиот

спектрален опсег, а просечниот спектар беше користен за понатамошни анализи (Valinger et al. 2021; Klinar et al. 2024; Mata et al. 2022).

Континуираните спектри во близина на инфрацрвениот спектар на примероци од мед (вкупно 144 примероци) беа снимени со помош на два различни спектрометри. Првиот, NIR спектрофотометар за на маса, NIR-128-1.7-USB/6.25/50  $\mu\text{m}$  (Control Development, Саут Бенд, Индијана, САД) со инсталиран софтвер SPEC32 верзија 1.6 (Control Development, Саут Бенд, Индијана, САД) и халоген извор на светлина (HL-2000), работи во опсегот на бранови должини од 904 nm до 1699 nm. Вториот, преносен NIR спектрометар, NIR-S-G1 (Innospectra, Хсинчу, Тајван), со инсталиран софтвер ISC NIRScan верзија 2.18 (Innospectra, Хсинчу, Тајван), работи во опсегот на бранови должини од 900 nm до 1700 nm.

Примероците од мед беа поставени во пластични кивети со должина на патеката од 1 mm. Секој примерок беше скениран три пати, а просечниот спектар беше користен за анализа (Valinger et al. 2021; Klinar et al. 2024). Корекцијата на позадината и калибрацијата со користење бела референтна и темно скенирање беа извршени пред секој сет мерења.

### **Репродуктивност и повторливост на NIR спектрите**

Како мерка за точност, спектрите беа испитани за повторување и репродуктивност пред каква било претходна обработка и моделирање. Избраните примероци треба да се скенираат десет пати на два различни начина, како што препорачуваат Посом и сор. (2016). Повторливоста ќе се постигне кога пресметката се базира врз десет последователни скенирања во кои примерокот не треба да се поместува. За примероците што повторно се полнат и повторно се скенираат, повторувањето треба да се пресмета и на десет NIR скенирања. За гореспоменатите скенирања, беа пресметани просечната апсорпција на специфични бранови должини и стандардната девијација (SD).

Релативната стандардна девијација ( $RSD = SD/\text{просек}$ ) по набљудувана бранова должина беше искористена за прикажување на резултатот (10 последователни скенирања: повторливост на RSD, 10 повторни скенирања на истиот примерок, но повторно наполнет 1 пат: репродуктивност на RSD). Аналогните и трите примероци од мед беа случајно избрани (секој од еден регион): H1\_W1, H4\_L1 и H9 беа користени за тие пресметки (поврзани со табела бр. 4.1). Клучните бранови должини се избрани за пресметка на RSD во согласност со специфичните врвови поврзани со ОН истегнувањата

(Williams, 2019; Giangiacoimo et al. 1981).

Суровите NIR спектри беа проверени за шум, поместување на основната линија и отстапувања пред претходната обработка (Huang et al. 2010). За секој од 144-те примероци, беше нацртана крива за три паралели и средната вредност за визуелно да се идентификуваат отстапувањата. Разликите во вредностите на апсорпција на дадена бранова должина беа пресметани за да се утврди потенцијалното отстапување (максималната толерирана разлика беше 0,01%). Исто така, беше применета анализа на главни компоненти (PCA), во која отстапувањето би отстапувало на начин што би било далеку од главниот кластер.

Методот на претходна обработка со стандардна нормална променлива (SNV) беше користен токму за да се минимизираат варијациите предизвикани од расејување на светлината и промените во оптичката патека (поради големината на честичките, густината на примерокот итн.). Алгоритмот Савицки-Голеј беше користен за да се намали влијанието на случаен шум во спектарот. Дериватите ќе го решат совпаѓањето на врвовите, а во оваа студија го користевме вториот дериват. Комбинацијата на претходна обработка помага во создавање почисти спектри за понатамошна хеометриска анализа.

#### **4.8. Напредна нализа на податоци**

За сите измерени примероци од мед (вкупно 144), од кои 9 беа чисти медови, на секој од чистите медови беа додадени 5 ароматични билки (рузмарин, лаванда, оригано, жалфија и масло од бел бор) во 3 различни концентрации (0,5%, 0,8% и 1%), што резултираше со дополнителни 135 примероци. Во податоците, презентацијата беше користена за средната вредност и поврзаната стандардна девијација.

Еднонасочна ANOVA и Kruskal-Wallis H тест беа користени за да се испитаат потенцијалните статистички значајни разлики во средните вредности на TPC и тешките метали помеѓу регионите. Моделирањето беше спроведено со користење хеометриски техники на мултиваријантна анализа. Податоците беа анализирани и групирани или одделени, врз основа на сличности и разлики, со користење на анализата на главни компоненти (PCA) (Klinar et al. 2024).

За да ги процениме статистичките разлики во составот на медот во трите региони (Косово, Албанија и Македонија), применивме и параметарски и непараметарски методи.

Еднонасочната анализа на варијансата (ANOVA) е користена за да се процени

дали средните вредности на секој анализиран параметар статистички значајно се разликуваат помеѓу регионите. F-статистиката на ANOVA се дефинира како однос помеѓу варијансата помеѓу групите и варијансата во рамките на групите:

$$F = \frac{MS_{between}}{MS_{within}}$$

каде што  $MS_{between}$  е средниот квадрат помеѓу групите, а  $MS_{within}$  е средниот квадрат во рамките на групите. Овие се добиваат со делење на соодветните зборови од квадрати ( $SS_{between}$ ,  $SS_{within}$ ) со нивните степени на слобода. Статистички значајна F-вредност ( $p < 0,05$ ) укажува дека барем една групна средина статистички значајно се разликува од останатите.

Бидејќи некои променливи не ги исполнуваат претпоставките за нормалност и хомоскедастичност, Крускал-Валисовиот H-тест беше спроведен како алтернатива на ANOVA. H-статистиката (равенка (2)) е дефинирана на следниов начин:

каде што N е вкупниот број на набљудувања, k е бројот на групи,  $R_i$  е збирот од рангови во групата  $i$ , а  $n_i$  е бројот на набљудувања во групата  $i$ . Тестот проценува дали распределбите на групите се разликуваат и приближно пресметува хи-квадрат распределба со  $k-1$  степени на слобода под нулта хипотеза.

Овие статистички тестови обезбедија робустна рамка за идентификување на регионалната варијабилност во физичко-хемиските и антиоксидантните својства на медот.

Суровите NIR спектри беа проверени за шум, поместување на основната линија и отстапувања пред претходната обработка. За секој од 144-те примероци, беше нацртана крива за три паралели и средната вредност за визуелно да се идентификуваат отстапувањата. Разликите во вредностите на апсорпција на дадена бранова должина беа пресметани за да се утврди потенцијалното отстапување (максималната толерирана разлика беше 0,01%). Исто така, беше применета анализа на главни компоненти (PCA), во која отстапувањето би отстапувало на начин што би било далеку од главниот кластер.

По следниов редослед, мултипликативна корекција на расејување (MSC), отстранување на трендот, стандардна нормална варијабла (SNV) и нормализација беа меѓу неколкуте техники за претходна обработка на спектри што беа испитани (Rinnan et al. 2009). За презентираниите модели, беше користена SNV на суровите податоци, проследена со SG 2-ри дериват. Пред моделирањето, беше пресметана важноста на променливата за проекција (VIP). Клучниот критериум за VIP е резултат поголем од 1

(Mata et al. 2022). Методот за претходна обработка на стандардна нормална променлива (SNV) беше користен за да се минимизираат варијациите предизвикани од расејување на светлината и промените во оптичката патека (поради големината на честичките, густината на примерокот итн.). Алгоритмот Савицки-Голеј беше користен за да се намали влијанието на случаен шум во спектарот. Оваа комбинација на претходна обработка помага во создавање почисти спектри за понатамошна хеометриска анализа.

Матрицата на податоци беше случајно поделена на три сета: (i) 94 примероци за калибрација (~65%), (ii) 36 примероци за валидација (25%) и (iii) 14 примероци за тестирање (~10%). Сепак, бидејќи додавањето на ароматични растенија во различни концентрации не покажа јасен тренд во претходното истражување (Гајдош Кљусуриќ и др. 2025) во овој труд, резултатите се претставени како средни вредности за секое растение. Врз претходно обработените податоци од NIR скенирање, беше извршена делумна регресија на најмали квадрати (PLSR). Следните параметри беа користени за да се процени успехот на валидацијата на моделот: (i) коефициент на детерминација ( $R^2$ ), (ii) коренска средна квадратна грешка на валидацијата (RMSEV) и (iii) односот на стандардната грешка на перформансите кон стандардната девијација (RPD) (Fearn, 2002). Бидејќи земјата на потекло на медот и додадените ароматични растенија се категорични варијабли, беше применета делумна дискриминантна анализа на најмали квадрати (PLS-DA). За PLS-DA моделите, вредностите на апсорпција на NIR скенирањата беа користени како влезни променливи. За обработка на сите експериментално добиени податоци беше користена програмата XLSTAT верзија 2022.4.5 (AddinSoft, Париз, Франција). За хеометриско моделирање беше користен Unscrambler X 10.5.1 (CAMO, Осло, Норвешка).

#### 4.9. Хеометрија

За да се обезбеди точна калибрација и валидација, од суштинско значење е претходна обработка на NIR спектрите. Специфичните процедури за обработка на податоци и развој на модел се илустрирани на дијаграмот на тек (фотографија бр. 4.2), кој ги прикажува чекорите преземени за изградба на хеометриските модели.

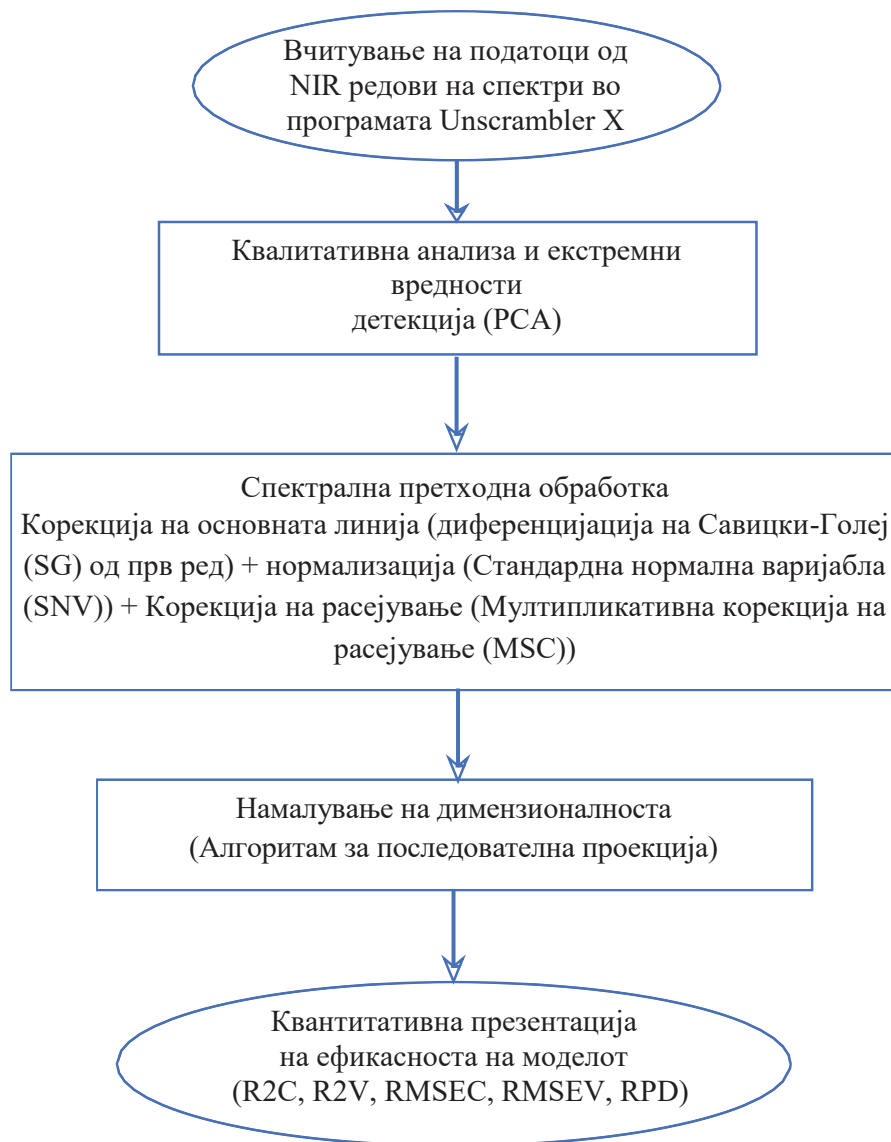
Анализата на главните компоненти овозможува квалитативна визуализација на шемите (Biplot) во четири квадранти од координатниот систем (врз основа на сличност или различност во набљудуваната матрица на податоци). PCA, исто така, овозможува идентификација на отстапувања поради грешки во мерењето и нивно отстранување (Rinnan et al.2009).

Како што може да се види на фотографија бр. 4.2, во спектралните податоци има шум и расејување што мора да се коригираат, и

(i) корекција на основната линија (диференцијација на Савицки-Голеј од прв ред),

(ii) корекција на мултипликативно расејување (MSC), и

(iii) беше применета нормализација (Стандардна нормална варијација, SNV).



**Фотографија бр. 4.2.** Дијаграм на тек што ја претставува имплементацијата на хеометриски модели за предвидување на параметрите на бојата и физичко-хемиските параметри од NIR спектри на збогатен мед

Корекцијата на расејувањето е потребна за да се компензираат сите варијации во мерењата поради разлики во големината на честичките (како што е случајот со додадените ароматични растенија), додека MSC и SNV се потребни за да се намали

ефектот на нерамномерно расејување на светлината (поради големината на честичките, индексот на прекршување и растојанието на светлината) (Beć et al. 2022; Mencede et al. 2023).

Мултивариантната анализа беше спроведена со користење стандардни хеометриски алатки, како што се анализата на главните компоненти (PCA) и парцијалната регресија на најмали квадрати (PLS). Првата алатка овозможува квалитативно набљудување на сличностите/разликите на примероците, додека PLS регресијата беше користена како квантитативна хеометриска алатка (Klinar et al. 2024; Mata et al. 2022; Knights & Prchkovska, 2024). За да се изврши калибрација, валидација и верификација на моделот, матрицата на податоци беше поделена на 94 примероци за калибрација (~65%), 36 за валидација (25%) и 10% (14 примероци) за проверка на моделот.

Примероците беа случајно распределени во кластери. Во PLS регресионите модели, влезните променливи беа NIR спектрите, додека зависните променливи беа бојата, физичко-хемиските својства, концентрацијата на ароматични билки и антиоксидантната активност. За да се процени адекватноста на PLS регресионите модели, беа користени следниве параметри: коефициент на детерминација ( $R^2$ ), средна квадратна грешка на валидација (RMSEP) и односот на стандардната грешка на перформансите кон стандардната девијација (RPD) (Fearn, 2002). За анализата на податоците беше користен XLStat (Addinsoft, Њујорк, Њујорк, САД), а за хеометриското моделирање беше користен Unscrambler X 10.5.1 (CAMO, Осло, Норвешка).

#### **4.10. Сензорна анализа**

Квалитативна дескриптивна анализа (QDA) беше извршена на примероци од мед од капар следејќи ги стандардните процедури на ISO за избор на панел и протоколите за обука на судии (ISO, 2023). Сензорен панел составен од 8 обучени судии (4 мажи и 4 жени) на возраст помеѓу 22 и 65 години, беше регрутиран од персоналот на Универзитетот за бизнис и технологија (UBT) Приштина, Косово. Панелистите беа избрани и обучени во согласност со Фереира и др. (2009). Учесниците дадоа писмена согласност во согласност со принципите на Хелсиншката декларација. Испитаниците не доживеаа никаков ризик како резултат од сензорниот тест. Судииите потпишаа формулар за согласност за да се подложат на сензорна анализа.

#### **Подготовка на примерокот**

За студијата за сензорна евалуација беа подготвени шест примероци од мед:  
Природен мед (контрола) – без вкус, комерцијално достапен повеќецветен мед;  
Мед збогатен со лаванда (пример I) – мед збогатен со 0,02% (w/w) сушен екстракт од лаванда;

Мед збогатен со рузмарин (пример II) – мед збогатен со 0,02% (w/w) екстракт од рузмарин;

Мед збогатен со жалфија (пример III) – мед збогатен со 0,02% (w/w) екстракт од жалфија;

Мед збогатен со оригано (пример IV) – мед збогатен со 0,02% (w/w) екстракт од оригано;

Мед збогатен со масло од бел бор (пример V) – мед збогатен со 0,02% (w/w) екстракт од масло од бел бор.

#### **Постапка за подготовка:**

Сите билни екстракти беа добиени од сертифицирани добавувачи за храна и складирани во ладилници (4 °C) до употреба. Примероците од мед беа нежно загреани ( $\leq 40$  °C) за да се намали вискозитетот и да се обезбеди хомогено мешање на екстрактите, избегнувајќи термичка деградација на биоактивните соединенија. На примероците им беше дозволено да се изедначат на собна температура (20–25 °C) пред сензорното тестирање. Секој примерок беше кодиран со трицифрен случаен број за да се обезбеди заслепување на учесникот.

#### **Селекција и регрутирање панели**

- Број на учесници: 100 лица (50 мажи, 50 жени) на возраст од 18 до 65 години;
- Критериуми за вклучување: редовни потрошувачи на мед ( $\geq 1$  порција/неделно), без пријавени алергии на мед или билки, подготвеност за доброволно учество;
- Регрутирање: учесниците беа регрутирани од универзитетскиот персонал, студентите и локалната заедница преку огласи и покани преку е-пошта;
- Етички аспекти: протоколот за студијата беше во согласност со Хелсиншката декларација, а од сите учесници беше добиена писмена информирана согласност пред учеството.

#### **Дизајн на сензорна евалуација**

Окружување за евалуација

- Сензорните тестови беа спроведени во добро проветрена просторија без мирис, под контролирани услови на осветлување (флуоресцентни, ~500 лукса) и

температура (20–22 °C);

- Учесниците седеа индивидуално за да се спречи комуникација или влијание од други панелисти;
- Примероците беа презентирани во безмирисни, прозирни чаши (по 20 мл секоја), обележани со трицифрени случајни кодови;
- Беа обезбедени вода и несолени крекери за чистење на непцето помеѓу примероците.

### **Проценети сензорни атрибути**

Следниве атрибути беа оценети за секој примерок од мед:

1. Арома: интензитет и пријатност, оценети на категорична скала (многу слаб, слаб, пријатен, премногу силен, вештачки/неприроден, не можам да судам);
2. Вкус: сладост, интензитет, горчина и целокупен квалитет на вкусот, со користење скала (благ, пријатен, премногу интензивен, не е погодно за мед, слатко, горчливо);
3. Вкупна прифатливост: мерено на хедонистичка скала од 6 точки (1 = минимум, 6 = максимум);
4. Компатибилност на вкусот и медот: учесниците оценија колку добро секој билен вкус го надополнува природниот вкус на медот (да, многу добро, донекаде, воопшто не, зависи од сортата на медот, не сум сигурен, не ми се допаѓа);
5. Намера за купување: подготвеност за купување и наменета употреба (чај, леб/тост, десерти, јогурт, смути, подарок) оценети со користење на опции со повеќекратен избор (да/не/можеби).

### **Експериментална постапка**

На учесниците им беше дадена кратка ориентација за постапката на сензорното тестирање и беа упатени за скалите за евалуација.

Примероците беа презентирани по рандомизиран редослед за да се минимизираат ефектите на редоследот и пренесувањето.

Од учесниците беше побарано:

- Помирисајте го примерокот и оценете ја неговата арома!

- Вкусете го примерокот и оценете ја сладоста, интензитетот на вкусот, горчината и целокупниот квалитет на вкусот!

- Запишете ја целокупната прифатливост и компатибилност на вкусовите во дадениот прашалник!

Чистење на непцето: помеѓу примероците беа користени вода и несолени крекери, со интервал од 2 до 3 минути помеѓу сесиите за дегустација.

Секој учесник ја пополни евалуацијата поединечно за да се избегне социјално влијание или предрасуди.

### **Собирање и анализа на податоци**

Прашалник: За собирање на оценките на учесниците беше користен структуриран формулар за сензорна евалуација.

Кодирање: Одговорите беа анонимизирани со користење броеви на учесници.

Анализа на податоци:

Описната статистика (средна вредност  $\pm$  SD, фреквенција, процент) беше пресметана за арома, вкус и целокупна прифатливост.

Разликите меѓу примероците беа оценети со еднонасочна ANOVA, проследена со Tukey-ov post-hoc тест (ниво на значајност  $p < 0,05$ ).

Корелациите помеѓу аромата, вкусот и целокупната прифатливост беа оценети со користење на Пирсонови корелациски коефициенти.

Статистичката анализа беше извршена со користење на SPSS верзија 26.0 (IBM Corp., Армонк, Њујорк, САД).

### **Ограничувања на сензорната евалуација**

- Учесниците беа необучени потрошувачи, па затоа податоците ги одразуваат преференциите на потрошувачите, а не стручното сензорно профилирање;
- Сензорната перцепција може да биде под влијание на индивидуалните разлики во чувствителноста на вкус, претходното искуство или културните преференции;
- Концентрациите на екстрактот беа фиксни; варијациите можеа да го променат хедонскиот одговор и не беа тестирани во оваа студија.

### **Етички и безбедносни аспекти**

- Сите учесници беа информирани за состојките и потенцијалните алергени;
- Студијата се придржуваше до Хелсиншката декларација и универзитетските етички упатства;
- Личните податоци и одговорите беа третирали доверливо и користени исклучиво за истражувачки цели.

## **5. ДЕСКРИПТИВАНА СТАТИСТИЧКА АНАЛИЗА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ**

Во ова поглавје прикажана е дескриптивна анализа на физичко-хемиските, колориметриските и антиоксидантните својства на примероците од мед со различно географско потекло и различена концентрација на збогатување со ароматични растителни адитиви. Најпрво анализиран е основниот мед (Н1–Н9) без додатоци, со цел да се утврдат почетните разлики поврзани со потеклото (табела бр. 4.2). Потоа прикажани се резултатите за медот збогатен со пет ароматични растенија (рузмарин, лаванда, оригано, жалфија и бел бор) во три концентрации (0,5; 0,8 и 1%), при што за секој основен мед дадени се посебни табели (табели бр. 4.3–4.11).

Прикажаните вредности претставуваат средни вредности  $\pm$  стандардна девијација. Различните мали букви во истата колона означуваат статистички значајни разлики помеѓу примероците при ниво на значајност  $p < 0,05$ . Параметарот I (%) ја претставува процентуалната инхибиција на DPPH радикалите и служи како индикатор за антиоксидантната активност на медот.

Ваквата организација на резултатите овозможува систематска споредба на влијанието на географското потекло, видот на растителниот адитив и концентрацијата врз физичко-хемиските својства и антиоксидантниот потенцијал на медот.

### **5.1. Физичко-хемиски параметри и антиоксидантна активност на збогатени примероци од мед**

Вредностите на физичко-хемиските параметри на примероците од мед (Н1–Н9) прикажани се во табела бр. 4.2, додека физичко-хемиските параметри и антиоксидантната активност (I (%)) се менуваат во зависност од додаденото растение и концентрацијата на адитивот, а вредностите за сите 144 видови мед наведени се во табелите бр. 4.3-4.11.

Вредностите изразени се како средна вредност  $\pm$  стандардна девијација, а различните букви во истата колона означуваат статистички значајни разлики ( $p < 0,05$ ).

**Табела бр. 4.2.** Просечни вредности на физичко-хемиските параметри на набљудуваните примероци од мед, со соодветни стандардни отстапувања

потекло	примерок	pH	Brix (°)	спроводливо ст (mS/cm)	киселост (meq/kg)	влажност (%)	пепел (%)
Косово	H1	4.18 ± 0.02 <sup>ab</sup>	83.2 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.51 ± 0.03 <sup>b</sup>	25 ± 0.1 <sup>b</sup>	14.8 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.28 ± 0.04 <sup>b</sup>
	H2	3.89 ± 0.01 <sup>a</sup>	84.5 ± 0.8 <sup>b</sup>	0.20 ± 0.03 <sup>a</sup>	8 ± 0.1 <sup>a</sup>	13.4 ± 0.8 <sup>a</sup>	0.01 ± 0.01 <sup>a</sup>
	H3	3.85 ± 0.01 <sup>a</sup>	84.4 ± 0.3 <sup>b</sup>	0.44 ± 0.01 <sup>b</sup>	31 ± 0.1 <sup>b</sup>	13.4 ± 0.3 <sup>a</sup>	0.27 ± 0.03 <sup>b</sup>
Македонија	H4	4.72 ± 0.01 <sup>b</sup>	82.9 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>a</sup>	8 ± 0.1 <sup>a</sup>	14.2 ± 0.1 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>ab</sup>
	H5	4.10 ± 0.01 <sup>ab</sup>	84.2 ± 0.1 <sup>ab</sup>	0.18 ± 0.01 <sup>a</sup>	7 ± 0.1 <sup>a</sup>	14.0 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.01 <sup>a</sup>
	H6	4.18 ± 0.01 <sup>ab</sup>	84.2 ± 0.3 <sup>ab</sup>	0.20 ± 0.01 <sup>a</sup>	5 ± 0.1 <sup>a</sup>	14.1 ± 0.3 <sup>a</sup>	0.02 ± 0.01 <sup>a</sup>
Албанија	H7	3.77 ± 0.01 <sup>a</sup>	83.5 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.16 ± 0.01 <sup>a</sup>	12 ± 0.1 <sup>a</sup>	14.6 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>
	H8	4.10 ± 0.08 <sup>ab</sup>	83.5 ± 0.3 <sup>a</sup>	0.21 ± 0.02 <sup>a</sup>	6 ± 0.1 <sup>a</sup>	14.6 ± 0.3 <sup>a</sup>	0.02 ± 0.01 <sup>a</sup>
	H9	3.70 ± 0.07 <sup>a</sup>	84.0 ± 0.1 <sup>ab</sup>	0.16 ± 0.01 <sup>a</sup>	11 ± 0.1 <sup>a</sup>	14.6 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.19 ± 0.01 <sup>b</sup>

Различни мали букви, во истата колона, укажуваат на статистички значајни разлики ( $p < 0,05$ ).

**Табела бр. 4.3.** Просечни физичко-хемијски параметри за примероци од мед (Н1) со додани ароматични растенија

додадени аромат. растенија	тип на мед	концентрација (%)	pH	°Brix	спроводливост (mS/cm)	киселост (meq/kg)	влага (%)	пепел (%)	I (%)
/	Н1	0	4.18 ± 0.02	83.2 ± 0.1	0.51 ± 0.03	25 ± 0.1	14.8 ± 0.1	0.28 ± 0.04	33.76 ± 0.08
Рузмарин		0.5	4.36 ± 0.01	80.1 ± 0.1	0.48 ± 0.01	25 ± 0.1	18 ± 0.1	0.11 ± 0.01	33.92 ± 0.52
		0.8	4.31 ± 0.01	80 ± 0.5	0.5 ± 0.01	26 ± 0	18.2 ± 0.5	0.15 ± 0	32.35 ± 0.15
		1	4.09 ± 0	81.2 ± 0.1	0.44 ± 0	26 ± 0	17.2 ± 0.1	0.16 ± 0.01	30.86 ± 1.82
Лаванда		0.5	4.08 ± 0	82.1 ± 0.1	0.44 ± 0.01	25 ± 0	16.2 ± 0.1	0.24 ± 0.01	27.75 ± 0.53
		0.8	4.09 ± 0.01	81.2 ± 0.5	0.42 ± 0.01	26 ± 0	17.2 ± 0.5	0.26 ± 0.01	25.98 ± 3.09
		1	4.08 ± 0	80.6 ± 0	0.44 ± 0.01	26 ± 0	17.6 ± 0	0.31 ± 0.01	27.05 ± 0.21
Оригано		0.5	4.87 ± 0.01	81.4 ± 0.2	0.49 ± 0.07	24 ± 0	16.8 ± 0.2	0 ± 0.01	10.45 ± 0.4
		0.8	4.08 ± 0.01	81.9 ± 0.1	0.44 ± 0.01	23 ± 0	16.8 ± 0.1	0 ± 0.01	4.93 ± 1.78
		1	4.18 ± 0.02	82.3 ± 1.3	0.48 ± 0.04	25 ± 0.1	15.8 ± 1.3	0.28 ± 0.01	10.06 ± 0.37
Жалфија		0.5	4.07 ± 0.01	82.3 ± 0.3	0.48 ± 0.01	26 ± 0	15.8 ± 0.3	0 ± 0	24.72 ± 0.01
		0.8	4.08 ± 0.02	80.3 ± 0.8	0.48 ± 0.02	26 ± 0	18 ± 0.8	0 ± 0	24.5 ± 3.85
		1	4.15 ± 0	81.8 ± 0.1	0.42 ± 0	25 ± 0	16.6 ± 0.1	0.63 ± 0	28.61 ± 0.03
масло од бел бор		0.5	4.21 ± 0.01	82.3 ± 0.4	0.48 ± 0.01	26 ± 0	16 ± 0.4	0 ± 0	34.36 ± 3.66
		0.8	4.14 ± 0.01	80.3 ± 0.1	0.48 ± 0.01	26 ± 0	18 ± 0.1	0 ± 0.01	39.13 ± 0.42
		1	4.06 ± 0.01	81.8 ± 0.1	0.42 ± 0.01	25 ± 0	16.6 ± 0.1	0.29 ± 0.01	27.37 ± 0.46

**Табела бр. 4.4.** Просечни физичко-хемијски параметри за примероци од мед (H2) со додани ароматични растенија

примерок	додадени аромат. растенија	конц. (%)	pH	°Brix	спроводливост (mS/cm)	киселост (mEq/L Ca)	влага (%)	пепел (%)	I (%)
H2	/	0	3.89 ± 0.01	84.5 ± 0.8	0.20 ± 0.03	8 ± 0	13.4 ± 0.8	0.01 ± 0.01	28.66 ± 19.56
	рузмарин	0.5	3.99 ± 0.01	84.4 ± 0.1	0.20 ± 0.01	10 ± 0	14.0 ± 0.1	0.00 ± 0.01	26.15 ± 7.53
		0.8	3.88 ± 0.00	84.9 ± 0.0	0.20 ± 0.00	10 ± 0	13.4 ± 0.0	0.00 ± 0.00	22.94 ± 5.85
		1.0	3.88 ± 0.01	83.4 ± 1.0	0.21 ± 0.03	10 ± 0	14.8 ± 1.0	0.00 ± 0.00	24.01 ± 14.31
	лаванда	0.5	3.85 ± 0.01	82.8 ± 0.4	0.20 ± 0.03	7 ± 0	15.4 ± 0.4	0.01 ± 0.02	22.99 ± 1.09
		0.8	3.89 ± 0.01	82.8 ± 0.0	0.21 ± 0.01	7 ± 0	15.4 ± 0.0	0.00 ± 0.01	30.10 ± 2.83
		1.0	3.97 ± 0.01	84.4 ± 0.7	0.20 ± 0.02	7 ± 0	14.0 ± 0.7	0.01 ± 0.01	24.32 ± 0.09
	оригано	0.5	3.99 ± 0.01	84.3 ± 0.5	0.20 ± 0.02	8 ± 0	14.0 ± 0.5	0.00 ± 0.01	5.93 ± 1.71
		0.8	3.99 ± 0.01	83.8 ± 0.0	0.20 ± 0.01	8 ± 0	14.6 ± 0.0	0.00 ± 0.01	1.96 ± 1.78
		1.0	3.81 ± 0.01	82.9 ± 0.0	0.20 ± 0.01	8 ± 0	15.4 ± 0.0	0.00 ± 0.01	6.23 ± 1.15
	жалфија	0.5	3.90 ± 0.01	83.2 ± 0.8	0.21 ± 0.02	8 ± 0	14.8 ± 0.8	0.00 ± 0.01	24.87 ± 2.23
		0.8	4.15 ± 0.01	82.8 ± 0.5	0.21 ± 0.02	7 ± 0	15.4 ± 0.5	0.00 ± 0.01	30.08 ± 0.91
		1.0	3.77 ± 0.02	82.6 ± 0.7	0.20 ± 0.01	8 ± 0.1	15.4 ± 0.7	0.00 ± 0.01	20.50 ± 1.09
	масло од бел бор	0.5	3.76 ± 0.01	82.8 ± 0.4	0.20 ± 0.01	9 ± 0.2	15.4 ± 0.4	0.00 ± 0.00	18.00 ± 1.81
		0.8	3.77 ± 0.01	83.5 ± 0.2	0.20 ± 0.00	10 ± 0	14.6 ± 0.2	0.00 ± 0.00	25.08 ± 4.27
		1.0	4.00 ± 0.01	83.0 ± 0.3	0.21 ± 0.02	10 ± 0	15.2 ± 0.3	0.00 ± 0.02	16.12 ± 2.49

Табела бр. 4.5. Просечни физичко-хемијски параметри за примероци од мед (НЗ) со додани ароматични растенија

примерок	додадени аромат. растенија	конц. (%)	pH	°Brix	спроводливост (mS/cm)	киселост (meq/kg)	влага (%)	пепел (%)	I (%)
НЗ	/	0	3.85 ± 0.01	84.4 ± 0.3	0.44 ± 0.01	31 ± 0	13.4 ± 0.3	0.27 ± 0.00	32.28 ± 0.40
	рузмарин	0.5	3.74 ± 0.01	81.7 ± 0.2	0.46 ± 0.00	35 ± 0	16.8 ± 0.2	0.00 ± 0.00	32.89 ± 2.02
		0.8	3.71 ± 0.01	81.4 ± 0.2	0.46 ± 0.01	38 ± 0	18.6 ± 0.2	0.00 ± 0.01	34.07 ± 0.36
		1.0	3.75 ± 0.01	81.5 ± 0.3	0.46 ± 0.00	38 ± 0	18.6 ± 0.3	0.00 ± 0.01	-0.76 ± 2.27
	лаванда	0.5	3.73 ± 0.01	81.8 ± 1.0	0.45 ± 0.04	37 ± 0	16.8 ± 1.0	0.00 ± 0.03	-3.68 ± 4.26
		0.8	3.81 ± 0.00	81.7 ± 0.1	0.44 ± 0.01	37 ± 0	16.8 ± 0.1	0.00 ± 0.01	22.66 ± 5.98
		1.0	3.71 ± 0.00	81.4 ± 0.2	0.45 ± 0.01	36 ± 0	18.6 ± 0.2	0.00 ± 0.01	26.52 ± 2.10
	оригано	0.5	3.71 ± 0.01	80.5 ± 0.5	0.44 ± 0.01	36 ± 0.1	17.8 ± 0.5	0.00 ± 0.00	13.57 ± 0.23
		0.8	3.72 ± 0.01	81.9 ± 0.4	0.45 ± 0.01	36 ± 0	16.4 ± 0.4	0.00 ± 0.00	-1.53 ± 4.69
		1.0	3.71 ± 0.01	81.3 ± 0.3	0.45 ± 0.02	36 ± 0	17.0 ± 0.3	0.00 ± 0.02	9.75 ± 0.16
	жалфија	0.5	3.70 ± 0.01	81.3 ± 0.7	0.43 ± 0.02	35 ± 0.1	17.0 ± 0.7	0.00 ± 0.01	27.61 ± 2.11
		0.8	3.82 ± 0.01	81.2 ± 0.3	0.44 ± 0.01	38 ± 0	17.0 ± 0.3	0.00 ± 0.01	30.17 ± 0.40
		1.0	3.87 ± 0.01	81.3 ± 0.0	0.44 ± 0.01	34 ± 0	17.0 ± 0.0	0.00 ± 0.02	24.14 ± 9.02
	масло од бел бор	0.5	3.72 ± 0.01	81.6 ± 0.4	0.43 ± 0.01	33 ± 0	16.8 ± 0.4	0.00 ± 0.01	27.63 ± 6.08
		0.8	3.85 ± 0.02	81.5 ± 0.5	0.44 ± 0.01	35 ± 0	16.8 ± 0.5	0.00 ± 0.01	30.95 ± 0.05
		1.0	3.69 ± 0.01	81.0 ± 0.5	0.43 ± 0.01	33 ± 0.1	17.2 ± 0.5	0.00 ± 0.00	3.76 ± 1.22

Табела бр. 4.6. Просечни физичко-хемиски параметри за примероци од мед (Н4) со додани ароматични растенија

примерок	додадени аромат. растенија	конц. (%)	pH	°Brix	спроводливост (mS/cm)	киселост (meq/kg)	влага (%)	пепел (%)	I (%)
Н4	/	0	4,72 ± 0,01	82,9 ± 0,1	0,25 ± 0,01	8 ± 0	14,2 ± 0,1	0,10 ± 0,01	18,27 ± 7,13
	рузмарин	0,5	4,38 ± 0,01	83,8 ± 0,1	0,31 ± 0,01	10 ± 0	14,6 ± 0,1	0,19 ± 0,01	7,71 ± 1,91
		0,8	4,40 ± 0,01	82,5 ± 0,1	0,20 ± 0,01	9 ± 0	14,8 ± 0,1	0,00 ± 0,00	16,96 ± 1,35
		1.0	4,27 ± 0,01	83,3 ± 0,1	0,29 ± 0,00	10 ± 0	14,8 ± 0,1	0,05 ± 0,01	27,48 ± 5,90
	лаванда	0,5	4,38 ± 0,00	84,5 ± 0,0	0,29 ± 0,01	9 ± 0	14,0 ± 0,0	0,24 ± 0,01	27,47 ± 7,88
		0,8	4,40 ± 0,00	83,4 ± 0,1	0,28 ± 0,01	10 ± 0	14,6 ± 0,1	0,00 ± 0,00	22,22 ± 0,44
		1.0	4,27 ± 0,02	83,0 ± 0,3	0,19 ± 0,00	10 ± 0	15,2 ± 0,3	0,00 ± 0,00	19,44 ± 22,35
	оригано	0,5	4,36 ± 0,00	85,0 ± 0,0	0,19 ± 0,01	9 ± 0	13,2 ± 0,0	0,00 ± 0,01	17,15 ± 0,28
		0,8	4,18 ± 0,01	85,6 ± 0,2	0,19 ± 0,00	9 ± 0	13,0 ± 0,2	0,00 ± 0,00	24,69 ± 3,06
		1.0	4,12 ± 0,00	85,0 ± 0,0	0,19 ± 0,01	10 ± 0	13,2 ± 0,0	0,00 ± 0,01	35,37 ± 3,51
	жалфија	0,5	4,35 ± 0,01	84,5 ± 0,2	0,26 ± 0,00	9 ± 0,1	13,8 ± 0,2	0,00 ± 0,01	8,26 ± 0,47
		0,8	4,37 ± 0,01	84,5 ± 0,3	0,29 ± 0,02	9 ± 0	13,8 ± 0,3	0,00 ± 0,01	20,42 ± 1,01
		1.0	4,38 ± 0,01	84,5 ± 0,1	0,28 ± 0,00	10 ± 0	13,8 ± 0,1	0,00 ± 0,01	6,96 ± 4,48
	масло од бел бор	0,5	4,34 ± 0,01	84,7 ± 0,3	0,19 ± 0,01	9 ± 0	13,4 ± 0,3	0,00 ± 0,00	40,13 ± 2,47
		0,8	4,25 ± 0,00	84,7 ± 0,1	0,20 ± 0,01	8 ± 0	13,4 ± 0,1	0,00 ± 0,00	17,23 ± 1,27
		1.0	4,26 ± 0,01	84,7 ± 0,0	0,19 ± 0,01	9 ± 0	13,4 ± 0,0	0,00 ± 0,01	17,09 ± 3,26

Табела бр. 4.7. Просечни физичко-хемијски параметри за примероци од мед (Н5) со додани ароматични растенија

примерок	додадени аромат. растенија	конц. (%)	pH	°Brix	спроводливост (mS/cm)	киселост (meq/kg)	влага (%)	пепел (%)	I (%)
Н5	/	0	4,10 ± 0,01	84,2 ± 0,0	0,18 ± 0,00	7 ± 0	14,0 ± 0,0	0,03 ± 0,01	7,84 ± 7,20
		0,5	3,94 ± 0,01	85,1 ± 0,2	0,19 ± 0,00	9 ± 0	13,0 ± 0,2	0,00 ± 0,00	11,97 ± 5,94
	рузмарин	0,8	3,81 ± 0,04	85,1 ± 1,1	0,20 ± 0,01	9 ± 0	13,0 ± 1,1	0,00 ± 0,03	26,41 ± 1,50
		1.0	3,86 ± 0,02	85,1 ± 0,5	0,20 ± 0,01	9 ± 0	13,0 ± 0,5	0,00 ± 0,01	14,39 ± 9,29
		0,5	3,80 ± 0,01	83,2 ± 0,2	0,20 ± 0,01	8 ± 0	15,0 ± 0,2	0,00 ± 0,00	11,77 ± 0,34
	лаванда	0,8	3,70 ± 0,01	83,2 ± 0,9	0,20 ± 0,04	8 ± 0	15,0 ± 0,9	0,00 ± 0,02	6,00 ± 0,38
		1.0	3,81 ± 0,01	83,2 ± 0,5	0,20 ± 0,01	9 ± 0	15,0 ± 0,5	0,00 ± 0,01	8,74 ± 2,18
		0,5	3,74 ± 0,00	83,4 ± 0,0	0,19 ± 0,00	11 ± 0	14,8 ± 0,0	0,00 ± 0,00	5,47 ± 2,37
	оригано	0,8	3,76 ± 0,02	83,1 ± 0,8	0,20 ± 0,01	11 ± 0	15,0 ± 0,8	0,00 ± 0,01	1,55 ± 0,98
		1.0	3,81 ± 0,00	83,6 ± 0,6	0,20 ± 0,02	11 ± 0	14,6 ± 0,6	0,00 ± 0,01	36,23 ± 2,07
		0,5	3,75 ± 0,01	82,9 ± 0,1	0,18 ± 0,01	9 ± 0	15,2 ± 0,1	0,00 ± 0,00	16,88 ± 6,89
	жалфија	0,8	3,76 ± 0,01	83,5 ± 0,4	0,18 ± 0,00	12 ± 0	14,6 ± 0,4	0,00 ± 0,01	15,78 ± 6,66
		1.0	3,98 ± 0,01	82,9 ± 0,1	0,19 ± 0,00	9 ± 0	15,2 ± 0,1	0,00 ± 0,01	12,99 ± 4,72
		0,5	3,75 ± 0,01	83,5 ± 0,1	0,19 ± 0,00	10 ± 0	14,6 ± 0,1	0,00 ± 0,01	4,29 ± 0,92
	масло од бел бор	0,8	3,67 ± 0,01	83,4 ± 0,2	0,19 ± 0,01	9 ± 0	14,8 ± 0,2	0,00 ± 0,01	1,65 ± 2,00
		1.0	3,80 ± 0,01	83,3 ± 0,0	0,20 ± 0,01	10 ± 0	14,8 ± 0,0	0,00 ± 0,01	5,38 ± 1,38

Табела бр. 4.8. Просечни физичко-хемиски параметри за примероци од мед (Н6) со додадени ароматични растенија

примерок	додадени аромат. растенија	конц. (%)	pH	°Brix	спроводливост (mS/cm)	киселост (meq/kg)	влага (%)	пепел (%)	I (%)
Н6	/	0	4,18 ± 0,01	84,2 ± 0,3	0,20 ± 0,01	5 ± 0	14,0 ± 0,3	0,01 ± 0,00	16,13 ± 0,16
	рузмарин	0,5	4,58 ± 0,01	82,5 ± 0,3	0,19 ± 0,01	9 ± 0	14,8 ± 0,3	0,00 ± 0,00	12,62 ± 0,43
		0,8	4,43 ± 0,01	81,0 ± 0,8	0,20 ± 0,02	6 ± 0	17,2 ± 0,8	0,00 ± 0,01	17,75 ± 4,34
		1.0	4,01 ± 0,01	81,5 ± 0,1	0,22 ± 0,01	9 ± 0	16,8 ± 0,1	0,00 ± 0,01	15,57 ± 3,04
	лаванда	0,5	3,68 ± 0,00	81,5 ± 0,7	0,19 ± 0,03	7 ± 0	16,8 ± 0,7	0,00 ± 0,01	21,00 ± 5,94
		0,8	3,67 ± 0,04	81,5 ± 1,6	0,19 ± 0,04	9 ± 0,3	16,8 ± 1,6	0,00 ± 0,01	11,59 ± 5,62
		1.0	3,63 ± 0,01	80,8 ± 0,3	0,19 ± 0,01	7 ± 0	17,6 ± 0,3	0,00 ± 0,01	23,39 ± 1,22
	оригано	0,5	3,80 ± 0,01	82,5 ± 0,4	0,20 ± 0,01	9 ± 0	14,5 ± 0,4	0,00 ± 0,00	29,29 ± 2,91
		0,8	3,60 ± 0,00	81,8 ± 0,2	0,20 ± 0,01	9 ± 0	16,4 ± 0,2	0,00 ± 0,01	29,41 ± 6,02
		1.0	3,60 ± 0,00	82,8 ± 0,0	0,20 ± 0,00	9 ± 0	15,2 ± 0,0	0,00 ± 0,01	18,75 ± 7,53
	жалфија	0,5	4,05 ± 0,01	81,7 ± 0,2	0,19 ± 0,00	9 ± 0	16,6 ± 0,2	0,00 ± 0,01	23,50 ± 8,25
		0,8	3,70 ± 0,01	81,2 ± 0,4	0,19 ± 0,00	9 ± 0	17,2 ± 0,4	0,00 ± 0,01	18,25 ± 14,15
		1.0	3,70 ± 0,01	81,4 ± 0,2	0,19 ± 0,00	9 ± 0	17,0 ± 0,2	0,00 ± 0,01	16,14 ± 0,38
	масло од бел бор	0,5	3,77 ± 0,00	82,1 ± 0,3	0,20 ± 0,01	7 ± 0	16,2 ± 0,3	0,00 ± 0,00	7,58 ± 3,82
		0,8	3,50 ± 0,01	82,2 ± 0,4	0,19 ± 0,01	8 ± 0	16,0 ± 0,4	0,00 ± 0,00	1,63 ± 0,87
		1.0	3,70 ± 0,01	81,6 ± 0,5	0,19 ± 0,01	7 ± 0	16,8 ± 0,5	0,00 ± 0,01	1,94 ± 1,30

Табела бр. 4.9. Просечни физичко-хемиски параметри за примероци од мед (Н7) со додани ароматични растенија

примерок	додани аромат. растенија	конц. (%)	pH	°Brix	спроводливост (mS/cm)	киселост (meq/kg)	влага (%)	пепел (%)	I (%)
Н7	/	0	3,77 ± 0,01	83,5 ± 0,1	0,16 ± 0,00	12 ± 0	14,6 ± 0,1	0,01 ± 0,00	15,22 ± 4,78
	рузмарин	0,5	3,76 ± 0,01	82,3 ± 0,1	0,17 ± 0,01	10 ± 0	15,8 ± 0,1	0,00 ± 0,01	16,14 ± 0,38
		0,8	3,71 ± 0,01	82,1 ± 0,1	0,16 ± 0,01	10 ± 0	16,0 ± 0,1	0,00 ± 0,00	16,21 ± 0,17
		1.0	3,76 ± 0,01	82,0 ± 0,1	0,18 ± 0,00	10 ± 0	16,2 ± 0,1	0,00 ± 0,01	2,58 ± 2,45
	лаванда	0,5	3,82 ± 0,00	82,1 ± 0,0	0,16 ± 0,01	10 ± 0	16,0 ± 0,0	0,00 ± 0,01	11,47 ± 13,66
		0,8	3,70 ± 0,00	81,4 ± 0,1	0,14 ± 0,01	10 ± 0	16,8 ± 0,1	0,00 ± 0,00	8,76 ± 5,93
		1.0	3,73 ± 0,02	82,0 ± 0,3	0,14 ± 0,00	10 ± 0	16,2 ± 0,3	0,00 ± 0,00	6,93 ± 1,92
	оригано	0,5	3,65 ± 0,00	82,1 ± 0,0	0,16 ± 0,01	11 ± 0	16,0 ± 0,0	0,00 ± 0,01	16,79 ± 7,22
		0,8	3,65 ± 0,01	82,3 ± 0,2	0,16 ± 0,00	11 ± 0	15,8 ± 0,2	0,00 ± 0,00	6,67 ± 6,44
		1.0	3,59 ± 0,00	82,1 ± 0,2	0,16 ± 0,01	11 ± 0	16,0 ± 0,2	0,00 ± 0,01	19,36 ± 6,48
	жалфија	0,5	3,53 ± 0,01	81,2 ± 0,0	0,16 ± 0,02	10 ± 0	17,0 ± 0,0	0,00 ± 0,01	7,55 ± 1,47
		0,8	3,65 ± 0,01	82,2 ± 0,5	0,16 ± 0,02	10 ± 0	16,0 ± 0,5	0,00 ± 0,01	13,19 ± 3,00
		1.0	3,67 ± 0,01	83,2 ± 0,2	0,15 ± 0,01	10 ± 0	15,0 ± 0,2	0,00 ± 0,01	12,41 ± 3,43
	масло од бел бор	0,5	5,38 ± 0,01	82,3 ± 0,2	0,16 ± 0,01	0 ± 0	15,8 ± 0,2	0,00 ± 0,01	4,70 ± 5,01
		0,8	4,06 ± 0,01	81,9 ± 0,1	0,16 ± 0,01	0 ± 0	16,4 ± 0,1	0,00 ± 0,02	11,87 ± 5,30
		1.0	3,97 ± 0,01	81,5 ± 0,1	0,16 ± 0,08	0 ± 0	16,8 ± 0,1	0,00 ± 0,01	3,28 ± 0,36

Табела бр. 4.10. Просечни физичко-хемијски параметри за примероци од мед (Н8) со додани ароматични растенија

примерок	додани аромат. растенија	конц. (%)	pH	°Brix	спроводливост (mS/cm)	киселост (meq/kg)	влага (%)	пепел (%)	I (%)
Н8	/	0	4,10 ± 0,00	83,5 ± 0,3	0,21 ± 0,02	6 ± 0	14,6 ± 0,3	0,00 ± 0,01	26,02 ± 2,28
	рузмарин	0,5	5,30 ± 0,01	82,6 ± 0,4	0,20 ± 0,01	4 ± 0	15,6 ± 0,4	0,00 ± 0,01	27,51 ± 0,05
		0,8	5,15 ± 0,01	82,2 ± 0,1	0,20 ± 0,02	4 ± 0	16,0 ± 0,1	0,00 ± 0,01	28,07 ± 2,59
		1.0	5,40 ± 0,00	82,6 ± 0,0	0,20 ± 0,01	3 ± 0	15,6 ± 0,0	0,00 ± 0,00	23,32 ± 3,10
	лаванда	0,5	4,84 ± 0,01	82,9 ± 0,3	0,19 ± 0,01	3 ± 0	15,4 ± 0,3	0,00 ± 0,00	28,22 ± 0,83
		0,8	4,80 ± 0,02	82,7 ± 0,4	0,19 ± 0,00	5 ± 0	15,4 ± 0,4	0,00 ± 0,01	17,12 ± 4,57
		1.0	5,00 ± 0,01	82,3 ± 0,0	0,19 ± 0,01	3 ± 0	15,8 ± 0,0	0,00 ± 0,00	19,30 ± 6,31
	оригано	0,5	5,70 ± 0,01	82,6 ± 0,4	0,19 ± 0,01	4 ± 0	12,6 ± 0,4	0,00 ± 0,01	34,14 ± 0,45
		0,8	5,30 ± 0,01	82,4 ± 0,3	0,20 ± 0,01	7 ± 0	15,8 ± 0,3	0,00 ± 0,00	28,16 ± 5,35
		1.0	4,98 ± 0,01	82,3 ± 0,2	0,20 ± 0,01	6 ± 0	15,8 ± 0,2	0,00 ± 0,00	24,44 ± 7,96
	жалфија	0,5	5,10 ± 0,01	82,9 ± 0,2	0,19 ± 0,01	3 ± 0	15,4 ± 0,2	0,00 ± 0,00	18,00 ± 0,48
		0,8	5,40 ± 0,00	82,6 ± 0,0	0,20 ± 0,01	4 ± 0	15,6 ± 0,0	0,00 ± 0,00	25,94 ± 3,71
		1.0	4,95 ± 0,00	82,7 ± 0,0	0,20 ± 0,01	4 ± 0	15,4 ± 0,0	0,00 ± 0,00	25,40 ± 1,40
	масло од бел бор	0,5	5,38 ± 0,01	82,3 ± 0,3	0,20 ± 0,01	3 ± 0	15,8 ± 0,3	0,00 ± 0,00	23,65 ± 6,41
		0,8	4,06 ± 0,01	81,9 ± 0,1	0,19 ± 0,01	4 ± 0	16,4 ± 0,1	0,00 ± 0,00	27,57 ± 3,36
		1.0	3,97 ± 0,00	81,5 ± 0,1	0,15 ± 0,00	4 ± 0	16,8 ± 0,1	0,00 ± 0,01	23,19 ± 7,38

Табела бр. 4.11. Просечни физичко-хемијски параметри за примероци од мед (Н9) со додани ароматични растенија

примерок	додани аромат. растенија	конц. (%)	pH	°Brix	спроводливост (mS/cm)	киселост (meq/kg)	влага (%)	пепел (%)	I (%)
Н9	/	0	3,70 ± 0,07	84 ± 0	0,16 ± 0,01	11 ± 0	14,6 ± 0	0,19 ± 0,01	5,41 ± 5,56
	рузмарин	0,5	4,30 ± 0,01	82,5 ± 0,1	0,16 ± 0,01	6 ± 0	16 ± 0,1	0 ± 0,01	19,98 ± 5,16
		0,8	4,17 ± 0,01	82 ± 0,5	0,16 ± 0,23	8 ± 0,1	16,2 ± 0,5	0 ± 0,01	12,57 ± 3,43
		1.0	4,67 ± 0,01	82,3 ± 0,4	0,16 ± 0,01	9 ± 0	15,8 ± 0,4	0 ± 0,01	24,65 ± 4,32
	лаванда	0,5	4,09 ± 0	81,9 ± 0,4	0,16 ± 0,04	7 ± 0	16,4 ± 0,4	0 ± 0,02	15,66 ± 0,95
		0,8	4,10 ± 0,02	82,6 ± 0,2	0,16 ± 0	7 ± 0	15,6 ± 0,2	0 ± 0,01	16,80 ± 23,2
		1.0	4,15 ± 0,01	82,2 ± 0,4	0,14 ± 0,01	7 ± 0	15,8 ± 0,4	0 ± 0	9,51 ± 0,68
	оригано	0,5	4,70 ± 0,02	83 ± 0,7	0,16 ± 0,01	12 ± 0	15,2 ± 0,7	0 ± 0	10,85 ± 3,41
		0,8	4,60 ± 0,01	82,1 ± 0,1	0,16 ± 0	12 ± 0	16 ± 0,1	0 ± 0,01	16,47 ± 4,57
		1.0	4,52 ± 0,01	81,2 ± 0,1	0,16 ± 0	12 ± 0	17,2 ± 0,1	0 ± 0	12,47 ± 0,87
	жалфија	0,5	4,47 ± 0,02	81,5 ± 0,6	0,16 ± 0,01	12 ± 0	16,8 ± 0,6	0 ± 0,13	22,88 ± 22,48
		0,8	4,39 ± 0,01	83 ± 0,3	0,17 ± 0,01	11 ± 0	15,2 ± 0,3	0 ± 0	11,84 ± 1,1
		1.0	4,30 ± 0,01	82,4 ± 0,2	0,17 ± 0,01	11 ± 0	16 ± 0,2	0 ± 0,01	9,36 ± 1,08
	масло од бел бор	0,5	5,41 ± 0,02	82,7 ± 0,4	0,20 ± 0,01	8 ± 0	15,4 ± 0,4	0 ± 0,01	4,81 ± 4,47
		0,8	4,70 ± 0,01	82,5 ± 0,3	0,20 ± 0,01	8 ± 0,1	15,8 ± 0,3	0 ± 0	7,88 ± 1,4
		1.0	4,60 ± 0,02	82,7 ± 0,4	0,20 ± 0,01	8 ± 0	15,4 ± 0,4	0 ± 0	9,59 ± 0,1

pH вредноста на медот е важен индикатор за неговата киселост, што влијае врз рокот на траење и микробната стабилност (Juszczak et al.2009; Durmishi et al.2023). Примероците од мед од Косово се движеа од 3,85 до 4,18. Примероците од Македонија покажаа малку повисоки вредности, особено H4 со 4,72, што укажува на понеутрален карактер. Албанските примероци имаа pH опсег од 3,7 до 4,1, при што H9 беше најкисел. Генерално, примероците покажаа вообичаена киселост на медот, корисна за спречување микробен раст (Sukarni et al.2025).

Брикс вредностите, кои ја претставуваат концентрацијата на шеќер во медот, се клучни за процена на неговата зрелост и квалитет. Сите примероци покажаа високи Брикс вредности (82,9–84,5%), што потврдува висока содржина на шеќер во согласност со зрел, неразреден мед, а тие вредности се малку повисоки од референтните нивоа на концентрација за комерцијален мед (Ајкас, 2023). H2 и H3 на Косово имаа највисоки Брикс вредности (84,4% и 84,5%), што укажува на повисока концентрација на шеќер во споредба со другите региони, иако примероците од разреден мед со сируп од пченка покажуваат и повисоки Брикс вредности (Шидиќ и др. 2019).

Спроводливоста го одразува присуството на минерали и други спроводливи супстанции (Durmishi et al. 2023; Shiddiq et al. 2019). H1 од Косово имаше највисока спроводливост (0,51 mS/cm), што укажува на побогата содржина на минерали. Спротивно на тоа, албанските медови имаа најниски вредности (0,16–0,21 mS/cm), што укажува на можни разлики во цветното потекло или помала содржина на минерали.

Слободната киселост како следниов показател за квалитет покажа дека за H3 на Косово е највисока киселост (31 meq/kg), што може да укажува на варијабилност на ферментација или цветен извор. Медот од Македонија беше помалку кисел (само 5 meq/kg), а примероците од Албанија покажаа умерени нивоа (6–12 meq/kg). Сите мерења се во очекуваниот опсег од <50 милиликвиваленти киселина/1000 g (Puścion-Jakubik et al.2020; Durmishi et al. 2023; Robin Lim et al.2022).

Влажноста (%) или содржината на вода во медот влијае врз неговата вискозност и рокот на траење. Примероците покажаа опсег на влага помеѓу 13,4% и 18,2%, сите во прифатливи граници. H4 од Македонија имаше највисока содржина на влага (18,2%), што може да доведе до ризик од ферментација доколку не е правилно складирано. Пониската влажност во H2 и H3 на Косово (13,4%) укажува на подобри карактеристики на зачувување. Влашувањето на квалитетот вклучува висока содржина на влага бидејќи ја намалува стабилноста на медот (Singh & Singh, 2018).

Содржината на пепел е поврзана со минералниот состав и ботаничкото потекло.

H1 и H3 на Косово имаа релативно висока содржина на пепел (0,28% и 0,27%, соодветно), додека примероците од Македонија и Албанија беа пониски, особено H2 (0,01%), H6 (0,02%) и H8 (0,02%), што укажува на различни минерални профили низ регионите (Аукas, 2023).

За разлика од природните регионални разлики опишани кај суровиот мед (H1–H9), додавањето на ароматични растенија дополнително влијаеа врз физичко-хемиските својства и антиоксидантниот потенцијал на медот. Податоците презентирани во табелите бр. 4.2–4.11 ги прикажуваат промените во рН, °Brix, спроводливост, киселост, влажност, содржина на пепел и антиоксидантна инхибиција кај примероците збогатени со рузмарин, лаванда, оригано, жалфија и масло од бел бор во три концентрации (0,5%, 0,8% и 1%).

рН-вредностите се движат од 3,63 (H6 + додадено 1% лаванда) до 5,4 (H8 + 1% рузмарин и 0,7% жалфија). Вредностите на °Brix имаат тенденција да варираат и во зависност од видот на растението и од концентрацијата. Ориганото покажува мало зголемување на °Brix зависно од концентрацијата, потенцијално поради испарување или интеракции на содржината на шеќер, а највисоката вредност е откриена во H4 со 0,8% оригано (85,6%), додека најниската вредност е во H6 со 1% лаванда (80,8%).

Вредностите на спроводливоста се движеа од 0,14 mS/cm (H9 + 1% лаванда) до 0,51 mS/cm во H1 контролната група, и се највисоки кај немодифицираниот мед и се намалуваат со додавање растенија, особено лаванда и жалфија. Рузмариноот значително ја зголемува киселоста, особено при повисоки концентрации (највисока кај H3 со 0,8% рузмарин, 38 meq/kg, додека маслото од див бор драстично ја намалува киселоста низ примероците (најниска вредност: H8 со 1% масло од див бор: 3 meq/kg).

Влажноста значително се зголемува со додаден рузмарин (H3 со 0,8 и 1% рузмарин: 18,6%) и лаванда ( $\geq 16\%$  за повеќето примероци) при повисоки концентрации, веројатно поради хигроскопско однесување или својства за задржување вода. Рузмариноот и лавандата при концентрации од 0,8–1% постојано доведоа до зголемена содржина на пепел и малку намалена влага.

Во медот H1, содржината на пепел значително се зголемува со додавање лаванда од 0,24% на 0,31%, како што концентрацијата се зголемува од 0,5% на 1%. Ова се совпаѓа со стабилна киселост и намалена влажност, што промовира подобро зачувување и евентуално поголемо задржување на антиоксидантите (Durmishi et al. 2023).

## 5.2. Колориметриски параметри ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $C$ , $h$ ) на бојата на медот

Бојата во медот е клучен квалитет и маркетиншки атрибут, под влијание на ботаничкиот извор и обработка. Таа беше квантифицирана со користење на  $L^*$  (светлост),  $a^*$  (црвено-зелена оска),  $b^*$  (жолто-сина оска), хроматски ( $C$ ) и агол на нијанса ( $h$ ) и беше прикажана во табела бр. 3 за контролните примероци (Н1–Н9).

**Табела бр. 4.12.** Просечни вредности на измерените параметри на бојата за набљудуваните примероци од мед, со соодветни стандардни отстапувања

Земја	Мед	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C$	$h$
Косово	Н1	37,43 ± 0,13 б	1,03 ± 0,02 а	2,03 ± 0,03 б	2,28 ± 0,04 а, б	63,21 ± 0,09 б, в
	Н2	35,35 ± 0,02 а, б	1,43 ± 0,01 б	0,78 ± 0,03 а	1,63 ± 0,01 а	28,65 ± 0,81 а
	Н3	35,59 ± 0,02 а, б	1,31 ± 0,01 ab	1,08 ± 0,01 а	1,69 ± 0,01 а	39,50 ± 0,29 а, б
Македонија	Н4	37,54 ± 0,01 б	1,08 ± 0,01 а	3,19 ± 0,01 с	3,36 ± 0,01 с	71,43 ± 0,06 с
	Н5	35,24 ± 0,01 а, б	1,38 ± 0,01 б	0,79 ± 0,01 а	1,59 ± 0,01 а	29,78 ± 0,04 а
	Н6	35,13 ± 0,01 а, б	1,39 ± 0,01 б	0,77 ± 0,01 а	1,58 ± 0,01 а	28,83 ± 0,26 а
Албанија	Н7	35,89 ± 0,05 а, б	1,51 ± 0,01 с	1,92 ± 0,01 а, б	2,44 ± 0,01 а, б	51,86 ± 0,09 б
	Н8	36,08 ± 0,03 а, б	1,55 ± 0,02 с	2,16 ± 0,02 б	2,66 ± 0,01 с	54,28 ± 0,30 б
	Н9	34,95 ± 0,04 а	1,24 ± 0,07 а	1,16 ± 0,01 а	1,73 ± 0,01 а	41,75 ± 0,04 б

Табела бр. 4.13. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н1) со додадени ароматични растенија

Тип	Концентрација (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C$	$H$
/	0	37,43 ± 0,13	1,03 ± 0,02	2,03 ± 0,03	2,28 ± 0,04	63,21 ± 0,09
Рузмарин	0,5	37,62 ± 0,10	1,04 ± 0,01	2,15 ± 0,01	2,39 ± 0,01	64,24 ± 0,15
	0,8	35,73 ± 0,02	1,36 ± 0,01	1,36 ± 0,01	1,92 ± 0,00	44,78 ± 0,53
	1	37,41 ± 0,02	1,06 ± 0,00	2,17 ± 0,00	2,42 ± 0,01	63,97 ± 0,07
Лаванда	0,5	37,50 ± 0,03	1,08 ± 0,00	2,22 ± 0,01	2,47 ± 0,01	63,96 ± 0,06
	0,8	37,42 ± 0,01	1,10 ± 0,01	2,29 ± 0,01	2,54 ± 0,01	64,23 ± 0,45
	1	37,10 ± 0,02	1,08 ± 0,00	2,24 ± 0,01	2,49 ± 0,01	64,26 ± 0,01
Оригано	0,5	36,90 ± 0,01	0,96 ± 0,01	2,05 ± 0,07	2,22 ± 0,01	64,45 ± 0,20
	0,8	37,17 ± 0,01	1,04 ± 0,01	2,24 ± 0,01	2,47 ± 0,01	65,16 ± 0,06
	1	36,62 ± 0,08	1,27 ± 0,02	1,32 ± 0,04	1,83 ± 0,01	46,10 ± 1,26
Жалфија	0,5	36,94 ± 0,00	1,34 ± 0,01	1,66 ± 0,01	2,13 ± 0,00	50,99 ± 0,35
	0,8	36,11 ± 0,02	1,31 ± 0,02	1,44 ± 0,02	1,94 ± 0,00	47,74 ± 0,81
	1	36,11 ± 0,00	1,30 ± 0,00	1,46 ± 0,00	1,96 ± 0,00	48,32 ± 0,09
Масло од бел бор	0,5	36,16 ± 0,05	1,27 ± 0,01	1,30 ± 0,01	1,81 ± 0,00	45,81 ± 0,43
	0,8	37,35 ± 0,05	1,01 ± 0,01	2,18 ± 0,01	2,40 ± 0,01	65,20 ± 0,09
	1	36,25 ± 0,01	1,32 ± 0,01	1,53 ± 0,01	2,02 ± 0,01	49,28 ± 0,08

Табела бр. 4.14. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (H2) со додадени ароматични растенија

Тип	Концентрација (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C$	$H$
/	0	37,43 ± 0,13	1,03 ± 0,02	2,03 ± 0,03	2,28 ± 0,04	63,21 ± 0,09
Рузмарин	0,5	37,62 ± 0,10	1,04 ± 0,01	2,15 ± 0,01	2,39 ± 0,01	64,24 ± 0,15
	0,8	35,73 ± 0,02	1,36 ± 0,01	1,36 ± 0,01	1,92 ± 0,00	44,78 ± 0,53
	1	37,41 ± 0,02	1,06 ± 0,00	2,17 ± 0,00	2,42 ± 0,01	63,97 ± 0,07
Лаванда	0,5	37,50 ± 0,03	1,08 ± 0,00	2,22 ± 0,01	2,47 ± 0,01	63,96 ± 0,06
	0,8	37,42 ± 0,01	1,10 ± 0,01	2,29 ± 0,01	2,54 ± 0,01	64,23 ± 0,45
	1	37,10 ± 0,02	1,08 ± 0,00	2,24 ± 0,01	2,49 ± 0,01	64,26 ± 0,01
Оригано	0,5	36,90 ± 0,01	0,96 ± 0,01	2,05 ± 0,07	2,22 ± 0,01	64,45 ± 0,20
	0,8	37,17 ± 0,01	1,04 ± 0,01	2,24 ± 0,01	2,47 ± 0,01	65,16 ± 0,06
	1	36,62 ± 0,08	1,27 ± 0,02	1,32 ± 0,04	1,83 ± 0,01	46,10 ± 1,26
Жалфија	0,5	36,94 ± 0,00	1,34 ± 0,01	1,66 ± 0,01	2,13 ± 0,00	50,99 ± 0,35
	0,8	36,11 ± 0,02	1,31 ± 0,02	1,44 ± 0,02	1,94 ± 0,00	47,74 ± 0,81
	1	36,11 ± 0,00	1,30 ± 0,00	1,46 ± 0,00	1,96 ± 0,00	48,32 ± 0,09
Масло од бел бор	0,5	36,16 ± 0,05	1,27 ± 0,01	1,30 ± 0,01	1,81 ± 0,00	45,81 ± 0,43
	0,8	37,35 ± 0,05	1,01 ± 0,01	2,18 ± 0,01	2,40 ± 0,01	65,20 ± 0,09
	1	36,25 ± 0,01	1,32 ± 0,01	1,53 ± 0,01	2,02 ± 0,01	49,28 ± 0,08

Табела бр. 4.15. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н3) со додадени ароматични растенија

Тип	Концентрација (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C$	$H$
/	0	35,59 ± 0,02	1,31 ± 0,01	1,08 ± 0,01	1,69 ± 0,00	39,50 ± 0,29
Рузмарин	0,5	35,61 ± 0,01	1,34 ± 0,01	1,10 ± 0,00	1,73 ± 0,00	39,54 ± 0,19
	0,8	35,64 ± 0,01	1,37 ± 0,01	1,18 ± 0,01	1,80 ± 0,01	40,67 ± 0,16
	1	35,73 ± 0,01	1,36 ± 0,01	1,25 ± 0,00	1,85 ± 0,01	42,72 ± 0,28
Лаванда	0,5	35,83 ± 0,01	1,45 ± 0,01	1,52 ± 0,04	2,10 ± 0,03	46,46 ± 0,99
	0,8	35,85 ± 0,02	1,43 ± 0,00	1,50 ± 0,01	2,08 ± 0,01	46,31 ± 0,15
	1	35,71 ± 0,00	1,41 ± 0,00	1,29 ± 0,01	1,91 ± 0,01	42,39 ± 0,16
Оригано	0,5	35,61 ± 0,06	1,29 ± 0,01	1,03 ± 0,01	1,65 ± 0,00	38,51 ± 0,49
	0,8	35,76 ± 0,03	1,39 ± 0,01	1,36 ± 0,01	1,94 ± 0,00	44,23 ± 0,45
	1	35,85 ± 0,03	1,41 ± 0,01	1,39 ± 0,02	1,98 ± 0,02	44,57 ± 0,25
Жалфија	0,5	35,63 ± 0,07	1,37 ± 0,01	1,21 ± 0,02	1,82 ± 0,01	41,44 ± 0,65
	0,8	35,89 ± 0,01	1,38 ± 0,01	1,21 ± 0,01	1,83 ± 0,01	41,20 ± 0,33
	1	36,01 ± 0,01	1,46 ± 0,01	1,41 ± 0,01	2,03 ± 0,02	43,87 ± 0,04
Масло од бел бор	0,5	35,55 ± 0,01	1,47 ± 0,01	1,36 ± 0,01	2,00 ± 0,01	42,85 ± 0,43
	0,8	35,86 ± 0,02	1,45 ± 0,02	1,60 ± 0,01	2,15 ± 0,01	47,78 ± 0,52
	1	36,03 ± 0,07	1,42 ± 0,01	1,51 ± 0,01	2,07 ± 0,00	46,78 ± 0,51

Табела бр. 4.16. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н4) со додадени ароматични растенија

Тип	Концентрација (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C$	$H$
/	0	37,54 ± 0,01	1,08 ± 0,01	3,19 ± 0,01	3,36 ± 0,01	71,43 ± 0,06
Рузмарин	0,5	37,61 ± 0,00	1,07 ± 0,01	3,09 ± 0,01	3,27 ± 0,01	70,91 ± 0,13
	0,8	38,19 ± 0,02	1,09 ± 0,01	3,71 ± 0,01	3,86 ± 0,00	73,63 ± 0,10
	1	37,67 ± 0,01	1,06 ± 0,01	3,26 ± 0,00	3,43 ± 0,01	72,02 ± 0,13
Лаванда	0,5	37,36 ± 0,01	1,13 ± 0,00	3,16 ± 0,01	3,35 ± 0,01	70,28 ± 0,05
	0,8	37,42 ± 0,01	1,12 ± 0,00	3,05 ± 0,01	3,24 ± 0,00	69,79 ± 0,06
	1	38,30 ± 0,01	1,10 ± 0,02	3,29 ± 0,00	3,47 ± 0,00	71,60 ± 0,28
Оригано	0,5	38,05 ± 0,01	1,27 ± 0,00	3,42 ± 0,01	3,65 ± 0,01	69,54 ± 0,04
	0,8	37,81 ± 0,01	1,30 ± 0,01	3,59 ± 0,00	3,82 ± 0,00	70,18 ± 0,16
	1	37,94 ± 0,01	1,33 ± 0,00	3,73 ± 0,01	3,96 ± 0,01	70,39 ± 0,04
Жалфија	0,5	38,23 ± 0,07	1,04 ± 0,01	3,41 ± 0,00	3,57 ± 0,01	73,00 ± 0,16
	0,8	38,23 ± 0,01	0,92 ± 0,01	2,65 ± 0,02	2,80 ± 0,01	70,83 ± 0,29
	1	38,52 ± 0,01	1,03 ± 0,01	3,49 ± 0,00	3,64 ± 0,01	73,63 ± 0,11
Масло од бел бор	0,5	37,78 ± 0,04	1,08 ± 0,01	3,41 ± 0,01	3,57 ± 0,00	72,42 ± 0,26
	0,8	38,29 ± 0,00	1,08 ± 0,00	3,71 ± 0,01	3,86 ± 0,00	73,76 ± 0,06
	1	38,45 ± 0,04	1,03 ± 0,01	3,64 ± 0,01	3,78 ± 0,01	74,27 ± 0,02

Табела бр. 4.17. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н5) со додадени ароматични растенија

Тип	Концентрација (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C$	$H$
/	0	35,24 ± 0,00	1,38 ± 0,01	0,79 ± 0,00	1,59 ± 0,01	29,78 ± 0,04
Рузмарин	0,5	35,17 ± 0,00	1,36 ± 0,01	0,71 ± 0,00	1,53 ± 0,00	27,69 ± 0,24
	0,8	35,18 ± 0,04	1,43 ± 0,04	0,87 ± 0,01	1,67 ± 0,03	31,14 ± 1,10
	1	35,24 ± 0,01	1,44 ± 0,02	0,87 ± 0,01	1,68 ± 0,01	31,09 ± 0,54
Лаванда	0,5	35,23 ± 0,01	1,44 ± 0,01	0,91 ± 0,01	1,70 ± 0,00	32,33 ± 0,18
	0,8	35,16 ± 0,00	1,46 ± 0,01	0,89 ± 0,04	1,71 ± 0,02	31,34 ± 0,86
	1	35,23 ± 0,01	1,48 ± 0,01	0,94 ± 0,01	1,76 ± 0,01	32,40 ± 0,52
Оригано	0,5	35,31 ± 0,01	1,48 ± 0,00	0,88 ± 0,00	1,72 ± 0,00	30,75 ± 0,02
	0,8	35,09 ± 0,01	1,52 ± 0,02	0,93 ± 0,01	1,78 ± 0,01	31,43 ± 0,76
	1	35,17 ± 0,01	1,48 ± 0,00	0,90 ± 0,02	1,73 ± 0,01	31,23 ± 0,64
Жалфија	0,5	35,16 ± 0,01	1,43 ± 0,01	0,88 ± 0,01	1,67 ± 0,00	31,61 ± 0,14
	0,8	35,14 ± 0,00	1,36 ± 0,01	0,74 ± 0,00	1,55 ± 0,01	28,52 ± 0,40
	1	35,15 ± 0,02	1,45 ± 0,01	0,82 ± 0,00	1,66 ± 0,01	29,57 ± 0,06
Масло од бел бор	0,5	35,23 ± 0,01	1,39 ± 0,01	1,01 ± 0,00	1,72 ± 0,01	36,18 ± 0,10
	0,8	35,46 ± 0,00	1,31 ± 0,01	1,05 ± 0,01	1,68 ± 0,01	38,55 ± 0,21
	1	35,57 ± 0,01	1,32 ± 0,01	1,13 ± 0,01	1,73 ± 0,01	40,50 ± 0,01

Табела бр. 4.18. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н6) со додадени ароматични растенија

Тип	Концентрација (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C$	$H$
/	0	35,13 ± 0,01	1,39 ± 0,01	0,77 ± 0,01	1,58 ± 0,00	28,83 ± 0,26
Рузмарин	0,5	35,17 ± 0,01	1,46 ± 0,01	0,82 ± 0,01	1,67 ± 0,00	29,13 ± 0,31
	0,8	35,16 ± 0,01	1,45 ± 0,01	0,80 ± 0,02	1,65 ± 0,01	28,82 ± 0,76
	1	35,04 ± 0,04	1,45 ± 0,01	0,81 ± 0,01	1,66 ± 0,01	29,20 ± 0,13
Лаванда	0,5	35,14 ± 0,04	1,49 ± 0,00	0,96 ± 0,03	1,77 ± 0,01	32,71 ± 0,71
	0,8	35,76 ± 0,28	1,38 ± 0,04	0,88 ± 0,04	1,63 ± 0,01	32,52 ± 1,60
	1	35,45 ± 0,01	1,48 ± 0,01	0,98 ± 0,01	1,77 ± 0,01	33,39 ± 0,32
Оригано	0,5	35,30 ± 0,01	1,41 ± 0,01	0,85 ± 0,01	1,64 ± 0,00	31,12 ± 0,42
	0,8	35,19 ± 0,05	1,42 ± 0,00	0,84 ± 0,01	1,65 ± 0,01	30,49 ± 0,19
	1	35,30 ± 0,02	1,40 ± 0,00	0,84 ± 0,00	1,64 ± 0,01	30,87 ± 0,03
Жалфија	0,5	35,20 ± 0,01	1,44 ± 0,01	0,79 ± 0,00	1,64 ± 0,01	28,89 ± 0,17
	0,8	35,03 ± 0,04	1,42 ± 0,01	0,82 ± 0,00	1,64 ± 0,01	29,88 ± 0,35
	1	35,20 ± 0,01	1,36 ± 0,01	0,72 ± 0,00	1,54 ± 0,01	27,92 ± 0,18
Масло од бел бор	0,5	35,32 ± 0,04	1,34 ± 0,00	1,00 ± 0,01	1,67 ± 0,00	36,71 ± 0,26
	0,8	35,46 ± 0,01	1,26 ± 0,01	1,10 ± 0,01	1,66 ± 0,00	41,15 ± 0,35
	1	35,51 ± 0,01	1,21 ± 0,01	1,11 ± 0,01	1,64 ± 0,01	42,63 ± 0,46

Табела бр. 4.19. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н7) со додадени ароматични растенија

Тип	Концентрација (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C$	$H$
/	0	35,89 ± 0,00	1,51 ± 0,01	1,92 ± 0,00	2,44 ± 0,00	51,86 ± 0,09
Рузмарин	0,5	37,61 ± 0,00	1,07 ± 0,01	3,09 ± 0,01	3,27 ± 0,01	70,91 ± 0,13
	0,8	38,19 ± 0,02	1,09 ± 0,01	3,71 ± 0,01	3,86 ± 0,00	73,63 ± 0,10
	1	37,67 ± 0,01	1,06 ± 0,01	3,26 ± 0,00	3,43 ± 0,01	72,02 ± 0,13
Лаванда	0,5	37,36 ± 0,01	1,13 ± 0,00	3,16 ± 0,01	3,35 ± 0,01	70,28 ± 0,05
	0,8	37,42 ± 0,01	1,12 ± 0,00	3,05 ± 0,01	3,24 ± 0,00	69,79 ± 0,06
	1	38,30 ± 0,01	1,10 ± 0,02	3,29 ± 0,00	3,47 ± 0,00	71,60 ± 0,28
Оригано	0,5	38,05 ± 0,01	1,27 ± 0,00	3,42 ± 0,01	3,65 ± 0,01	69,54 ± 0,04
	0,8	37,81 ± 0,01	1,30 ± 0,01	3,59 ± 0,00	3,82 ± 0,00	70,18 ± 0,16
	1	35,96 ± 0,01	1,49 ± 0,00	2,00 ± 0,01	2,49 ± 0,01	53,19 ± 0,21
Жалфија	0,5	35,99 ± 0,02	1,52 ± 0,01	2,10 ± 0,02	2,58 ± 0,01	54,11 ± 0,02
	0,8	36,04 ± 0,00	1,45 ± 0,01	2,07 ± 0,02	2,53 ± 0,01	55,03 ± 0,46
	1	36,22 ± 0,00	1,44 ± 0,01	2,14 ± 0,01	2,58 ± 0,01	56,19 ± 0,20
Масло од бел бор	0,5	36,06 ± 0,01	1,48 ± 0,01	2,12 ± 0,01	2,58 ± 0,01	55,05 ± 0,19
	0,8	36,14 ± 0,01	1,45 ± 0,01	2,01 ± 0,01	2,48 ± 0,02	54,18 ± 0,10
	1	36,16 ± 0,07	1,47 ± 0,01	2,16 ± 0,08	2,57 ± 0,01	55,16 ± 0,08

Табела бр. 4.20. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н8) со додадени ароматични растенија

Тип	Концентрација (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C$	$H$
/	0	36,08 ± 0,00	1,55 ± 0,00	2,16 ± 0,02	2,66 ± 0,01	54,28 ± 0,30
Рузмарин	0,5	36,16 ± 0,01	1,53 ± 0,01	2,05 ± 0,01	2,56 ± 0,01	53,27 ± 0,35
	0,8	36,07 ± 0,01	1,57 ± 0,01	2,26 ± 0,02	2,74 ± 0,01	55,25 ± 0,15
	1	36,06 ± 0,01	1,57 ± 0,00	2,29 ± 0,01	2,77 ± 0,00	55,53 ± 0,01
Лаванда	0,5	36,16 ± 0,01	1,60 ± 0,01	2,35 ± 0,01	2,84 ± 0,00	55,74 ± 0,33
	0,8	36,22 ± 0,01	1,57 ± 0,02	2,59 ± 0,00	3,04 ± 0,01	58,81 ± 0,35
	1	36,18 ± 0,04	1,53 ± 0,01	2,46 ± 0,01	2,89 ± 0,00	58,11 ± 0,05
Оригано	0,5	36,05 ± 0,01	1,59 ± 0,01	2,25 ± 0,01	2,76 ± 0,01	54,74 ± 0,35
	0,8	36,02 ± 0,01	1,57 ± 0,01	2,18 ± 0,01	2,69 ± 0,00	54,23 ± 0,27
	1	36,16 ± 0,01	1,57 ± 0,01	2,31 ± 0,01	2,79 ± 0,01	55,84 ± 0,23
Жалфија	0,5	36,25 ± 0,01	1,60 ± 0,01	2,49 ± 0,01	2,95 ± 0,00	57,30 ± 0,23
	0,8	36,18 ± 0,00	1,59 ± 0,00	2,42 ± 0,01	2,89 ± 0,00	56,70 ± 0,04
	1	36,11 ± 0,01	1,54 ± 0,00	2,22 ± 0,01	2,70 ± 0,01	55,13 ± 0,02
Масло од бел бор	0,5	36,07 ± 0,02	1,56 ± 0,01	2,32 ± 0,01	2,80 ± 0,01	56,15 ± 0,28
	0,8	36,20 ± 0,01	1,61 ± 0,01	2,40 ± 0,01	2,88 ± 0,00	56,18 ± 0,15
	1	36,34 ± 0,01	1,55 ± 0,00	2,31 ± 0,00	2,79 ± 0,01	56,19 ± 0,06

Табела бр. 4.21. Просечни параметри на бојата за примероци од мед (Н9) со додадени ароматични растенија

Тип	Концентрација (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C$	$H$
/	0	34,95 ± 0,04	1,24 ± 0,07	1,16 ± 0,01	1,73 ± 0,01	41,75 ± 0,04
Рузмарин	0,5	35,94 ± 0,01	1,45 ± 0,01	1,96 ± 0,01	2,43 ± 0,01	53,51 ± 0,06
	0,8	36,01 ± 0,06	1,46 ± 0,01	1,83 ± 0,23	2,47 ± 0,01	53,66 ± 0,47
	1	35,98 ± 0,04	1,48 ± 0,01	2,14 ± 0,01	2,61 ± 0,01	55,26 ± 0,38
Лаванда	0,5	35,95 ± 0,04	1,49 ± 0,00	2,07 ± 0,04	2,55 ± 0,02	54,17 ± 0,35
	0,8	36,02 ± 0,01	1,50 ± 0,02	2,02 ± 0,00	2,52 ± 0,01	53,50 ± 0,25
	1	35,92 ± 0,01	1,49 ± 0,01	1,98 ± 0,01	2,47 ± 0,00	53,00 ± 0,41
Оригано	0,5	36,04 ± 0,01	1,49 ± 0,02	2,07 ± 0,01	2,55 ± 0,00	54,38 ± 0,71
	0,8	35,93 ± 0,01	1,50 ± 0,01	2,05 ± 0,00	2,54 ± 0,01	53,92 ± 0,15
	1	36,03 ± 0,05	1,49 ± 0,01	1,98 ± 0,00	2,47 ± 0,00	53,14 ± 0,06
Жалфија	0,5	36,11 ± 0,01	1,42 ± 0,02	1,88 ± 0,01	2,44 ± 0,13	53,00 ± 0,59
	0,8	36,01 ± 0,01	1,44 ± 0,01	2,01 ± 0,01	2,47 ± 0,00	54,43 ± 0,32
	1	36,29 ± 0,03	1,48 ± 0,01	2,07 ± 0,01	2,54 ± 0,01	54,51 ± 0,22
Масло од бор бор	0,5	35,94 ± 0,00	1,46 ± 0,02	2,08 ± 0,01	2,54 ± 0,01	55,02 ± 0,39
	0,8	35,94 ± 0,07	1,34 ± 0,01	1,76 ± 0,01	2,21 ± 0,00	52,67 ± 0,28
	1	35,87 ± 0,01	1,37 ± 0,02	1,74 ± 0,01	2,21 ± 0,01	51,82 ± 0,41

Повеќето примероци имаа  $L^*$  вредности од околу 35–37, што укажува на среден интензитет на бојата. Најсветлиот беше Н4 од Македонија ( $L^* = 37,54$ ), додека Н9 од Албанија беше најтемниот ( $L^* = 34,95$ ). Вредностите на  $a^*$  (црвено-зелена) се движеа од 1,03 (Н1) до 1,55 (Н8), покажувајќи мали црвеникави тонови. Вредностите на  $b^*$  (жолто-сина) варираа повеќе, при што Н4 покажуваше најсилна жолта нијанса (3,19), што укажува на светла, златна нијанса.

Ова се совпаѓа со вообичаената варијација на бојата кај медот од различни цветни извори (Beretta et al. 2005). Исто така, беа собрани податоци за хроматскиот ( $C$ ,

интензитет на бојата) и аголот на нијансирање (h, тип на боја).

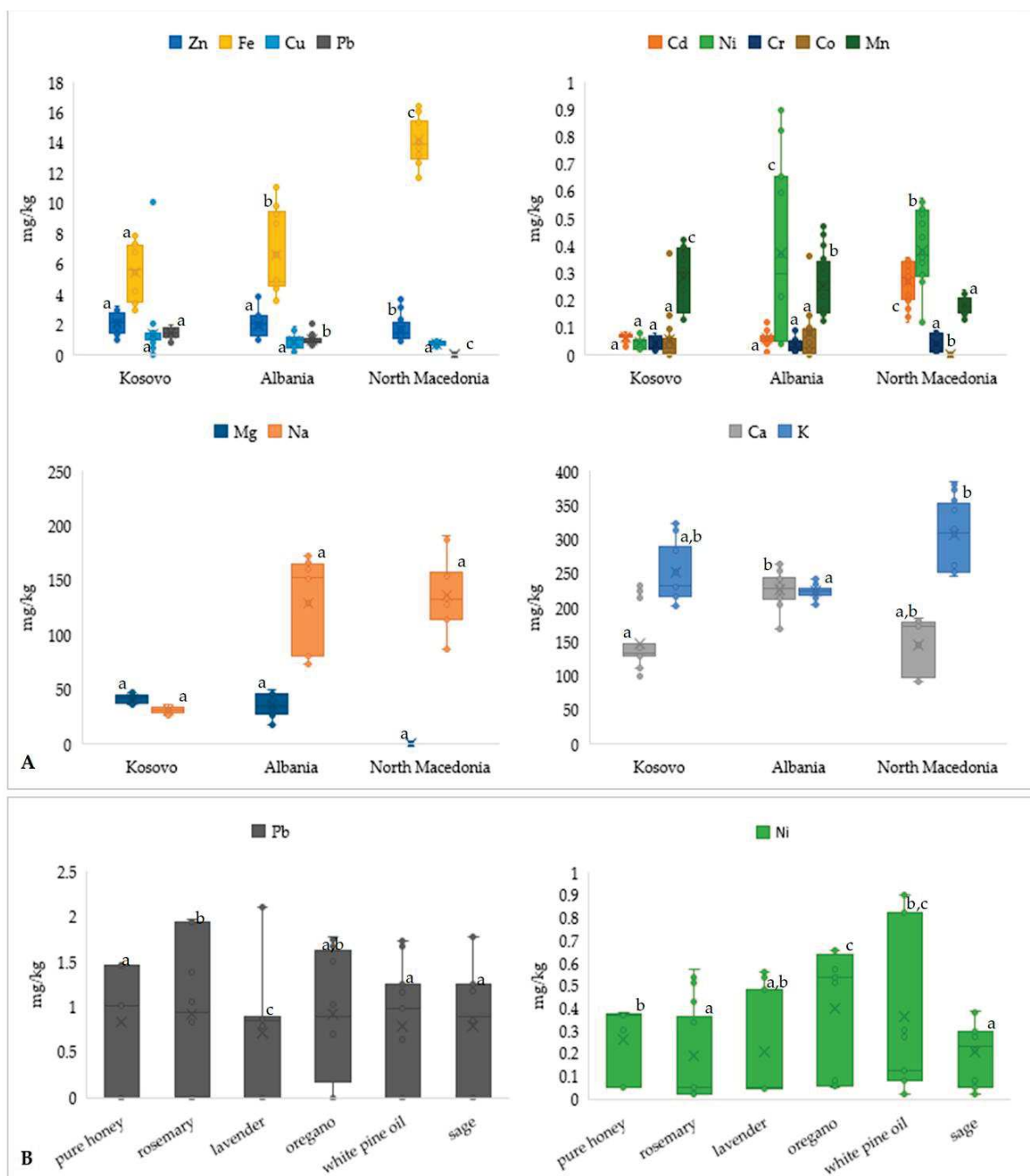
Хромата е највисока во Н4 (3,36), потврдувајќи живописна сатурација на боите, додека аголот на нијанси се движеше од 28,65° (Н2) до 71,43° (Н4), покажувајќи прогресија од црвеникави до пожолтеникави нијанси. Примероците од Македонија генерално покажаа посветли и позаситени бои, што укажува на потенцијални ботанички и географски влијанија.

### **5.3. Статистичка анализа на експерименталните податоци за тешки метали и минерален состав на медот**

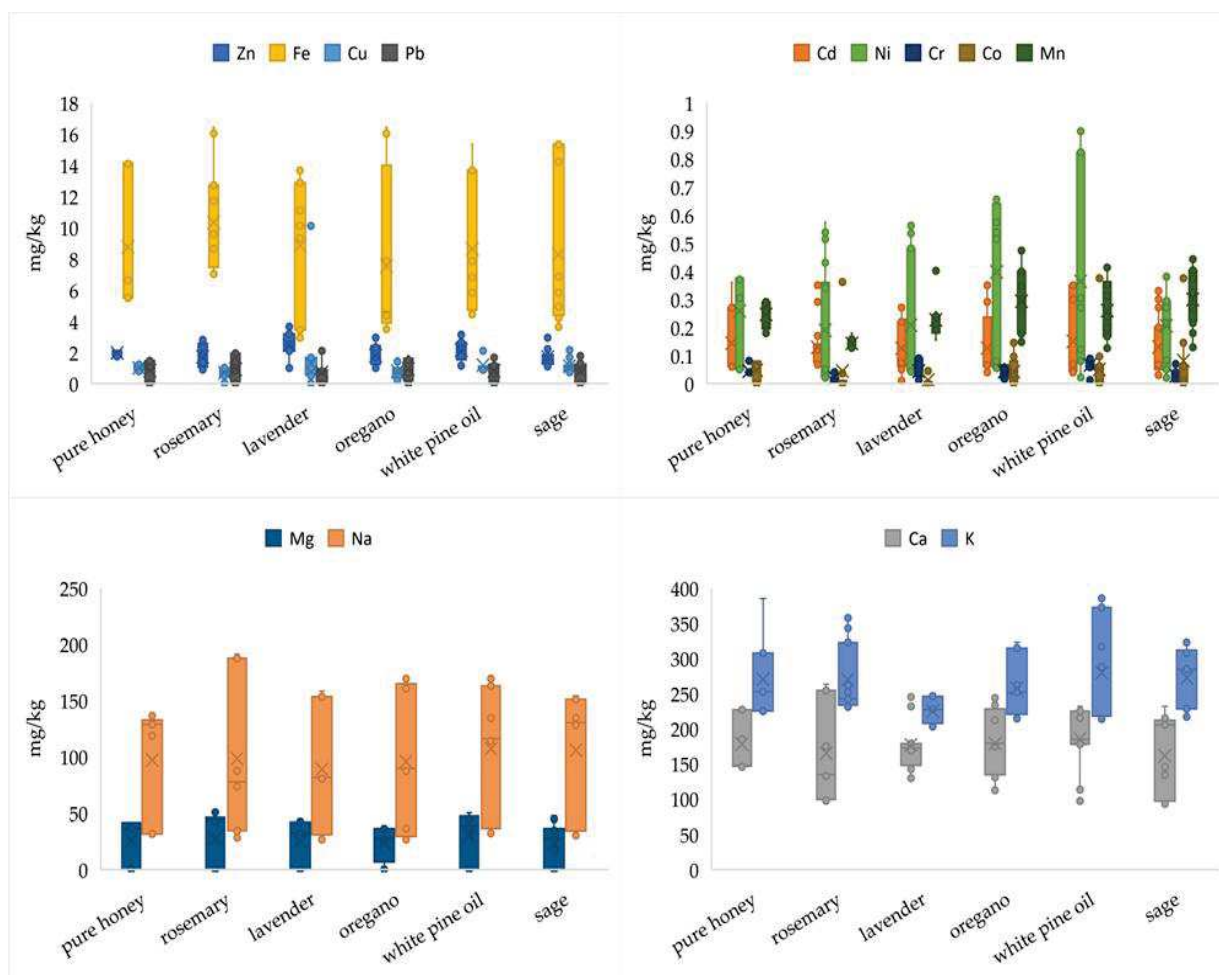
Следниот чекор беше да се идентификуваат тешки метали и минерали во примероците од мед кои треба да се контролираат поради нивните потенцијално штетни ефекти врз здравјето. Сепак, тука треба да се нагласи дека трудот не ја дискутира содржината на метали во медот од перспектива на безбедносни ризици за здравјето на луѓето, бидејќи целта на трудот е фокусирана врз потенцијалот на методот за одредување на присуството на метали. Трендовите на присуство на тешки метали во примероците од мед прикажани се на фотографија бр. 4.3 според земјите на потекло на медот и според додадените ароматични растенија (фотографија бр. 4.3В, а подетално, фотографија бр. S1 во прилог бр. 2).

Содржината на тешки метали и минерали во примероците од мед од Косово, Албанија и Македонија (фотографија бр. 4.3А), како и во медот збогатен со ароматични растенија (фотографија бр. 4.3Б) покажуваат одредени карактеристики во зависност од регионот и додаденото ароматично растение. Промените во сите тешки метали во примероците од мед, во зависност од додаденото растение, прикажани се во дополнителниот материјал како на фотографија бр. 4.3С. Меѓу тешките метали, железото (Fe) и цинкот (Zn) се најзастапени во сите региони, иако нивоата значително варираат.

Имено, медот од Албанија покажува највисоки концентрации на Fe (до ~16 mg/kg), што укажува на потенцијални еколошки или цветни извори богати со железо или можна контаминација. Бакарот (Cu) е релативно конзистентен низ регионите, додека оловото (Pb), токсичен елемент, останува во пониски граници, но е малку покачено во некои примероци од Албанија и Македонија. Фотографија бр. 4.3А е прикажана во горниот десен дел, кадмиум (Cd), никел (Ni), хром (Cr), кобалт (Co) и манган (Mn).



**Фотографија бр. 4.3.** Концентрација на тешки метали во примероци од мед од различни региони (A), со изолирани примери на промени во концентрациите на тешки метали во зависност од додаденото ароматично растение, за Pb и Ni (B), без оглед на додадената концентрација. Различни букви за истиот параметар означуваат статистички значајна разлика ( $p < 0,05$ ).



**Фотографија бр. 4.3С.** Концентрации на тешки метали во примероци од чист мед и во примероци во кои се додадени ароматични растенија, без оглед на додадената концентрација

Нивоата на никел се највисоки во албанскиот мед (просек: 0,370 mg/kg) и покажуваат поголеми варијации (0,043–0,660 mg/kg), што предизвикува загриженост поради потенцијалната токсичност на Ni при покачени нивоа. Кадмиумот и кобалтот се генерално ниски, иако некои примероци од Албанија покажуваат покачен Cd, веројатно од антропогени извори. Mn е највисок во Косово (0,286 mg/kg) и Албанија (0,256 mg/kg), што го одразува природното минерално богатство во почвите во овие региони.

Основните макроелементи, како што се: магнезиум (Mg), натриум (Na), калциум (Ca) и калиум (K), исто така, прикажани се во долниот дел од фотографија бр. 4.3А. Северно-македонскиот мед имаат значително повисоки нивоа на Na (136,1 mg/kg) и Ca (307,2 mg/kg), додека Косово и Албанија покажуваат покачени нивоа на Mg (41,6 mg/kg и 36,4 mg/kg, соодветно). Овие разлики го истакнуваат влијанието на географијата и

флората врз минералниот профил на медот. Фотографија бр. 4.3В го покажува влијанието на збогатувањето со ароматични растенија врз нивоата на Pb и Ni.

Концентрациите на Pb се највисоки кај примероците збогатени со рузмарин (0,9 mg/kg) и оригано (0,7 mg/kg), иако сè уште се во умерени граници. Содржината на Ni значително се зголемува кај ориганото (0,40 mg/kg), маслото од бел бор (0,36 mg/kg) и жалфијата (0,21 mg/kg), што укажува на акумулација на растителна основа. Додека збогатувањето ја зголемува содржината на феноли (како што претходно е прикажано на фотографија бр. 4.3), исто така може да внесе или концентрира одредени метали, нагласувајќи ја потребата од следење за да се обезбеди безбедноста на потрошувачите кај функционалните производи од мед.

За статистички да се проценат значајните разлики во составот на медот меѓу различните региони, имено Косово, Албанија и Македонија, беа извршени еднонасочни ANOVA и Kruskal-Wallis H тестови на низа параметри, вклучувајќи тешки метали и макроелементи. ANOVA тестот откри статистички значајни ( $p < 0,05$ ) варијации кај сите варијабли, вклучувајќи Zn, Cd, Ca, Fe, Cu, Ni, Pb, Co, Mg, Mn, K, Na, како и антиоксидантни параметри (TPC, DPPH, IC50), меѓу трите земји.

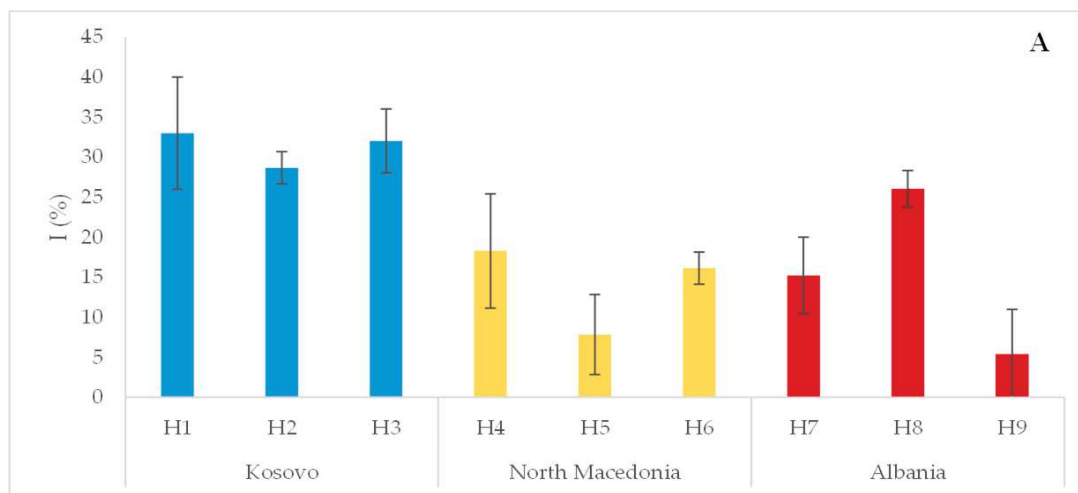
Cr и As не се разликуваа значително меѓу земјите, откривајќи ниски концентрации на мед во трите нации. Бидејќи некои варијабли не ги исполнија претпоставките за нормалност и хомоскедастичност, ја дополниме анализата со примена на непараметричниот Крускал-Валис тест. Постапката го потврди присуството на драстични регионални диспаритети за 15 од 17 испитани параметри. Бидејќи некои варијабли не ги исполнија претпоставките за нормалност и хомоскедастичност, ги извршивме и непараметричните Крускал-Валис тестови за сите параметри.

Крускал-Валисовите тестови потврдија големи значајни разлики по регион за 15 од 17-те испитани параметри. Значајните статистички разлики беа откриени и потврдени за сите елементи. Исто така, беше потврдено дека концентрациите на Cr ( $H = 3,26$ ,  $p = 0,196$ ) и As ( $H = 0,00$ ,  $p = 1,00$ ) не беа значително различни помеѓу сите локации за земање примероци. Статистичките пресметки потврдуваат дека географските региони на медот имаат клучна улога во одредувањето на неговите елементарни и антиоксидантни карактеристики. Разликите најверојатно укажуваат на варијации во животната средина, извори на вегетација и локализирана земјоделска практика и затоа служат за оправдување на мултиваријантните модели опишани во следниот дел.

#### 5.4. Статистичка анализа на антиоксидантниот потенцијал на мед со додадени ароматични растенија (DPPH)

Резултатите од анализата на DPPH (фотографија бр. 4.4) го оценуваат антиоксидантниот потенцијал на примероците од мед, и во чиста форма (A) и со растителни екстракти (B) додадени во концентрација од 0,5%, 0,8% и 1%, без оглед на тоа кој екстракт од ароматични растенија е додаден.

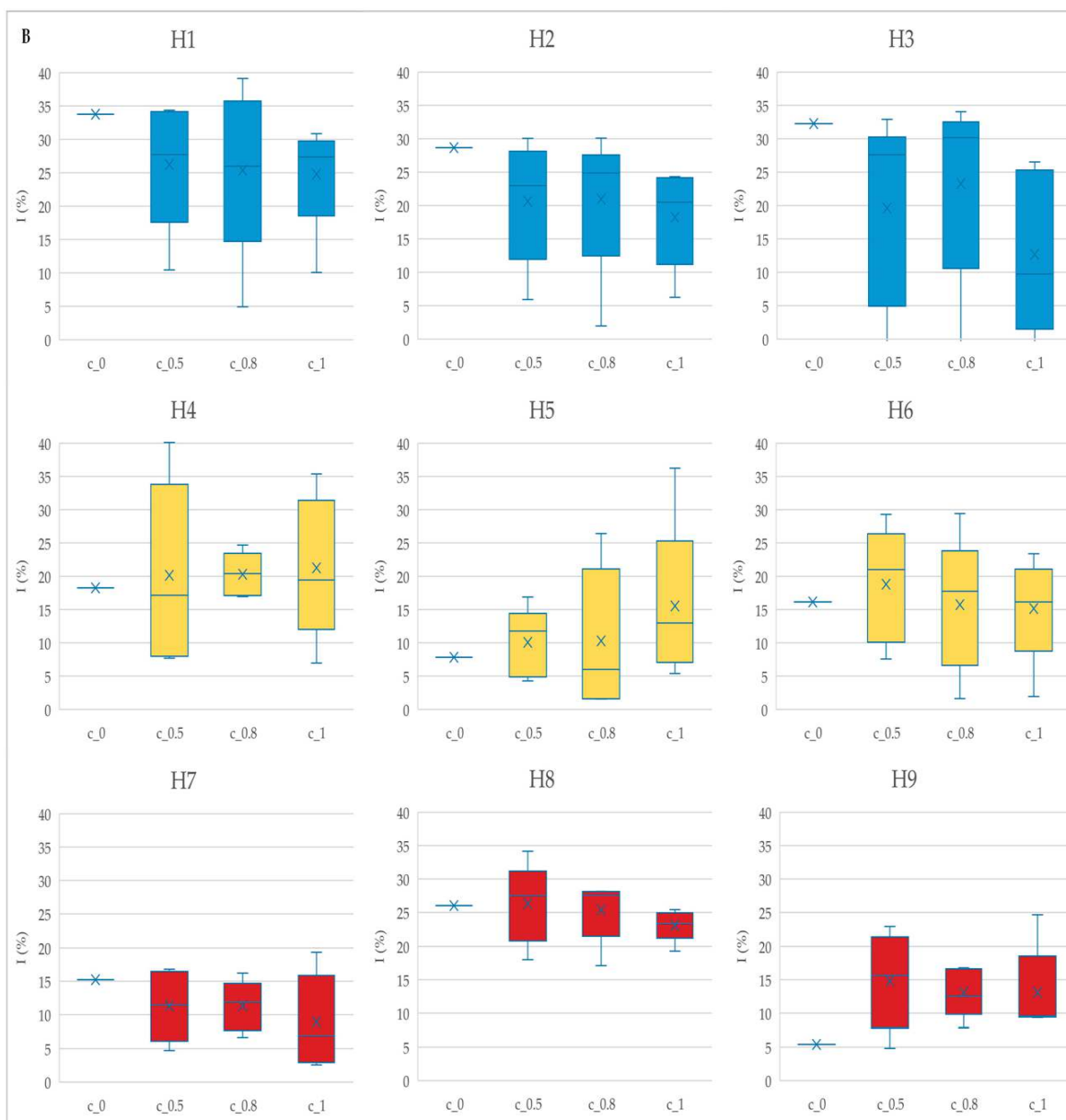
Примероците од мед, без адитиви, покажаа умерени инхибиторни ефекти, со варијации што го одразуваат нивниот антиоксидантен потенцијал поврзан со додадените ароматични растенија (Quintero-Rincón et al. 2025). Антиоксидативната активност се зголемува пропорционално со зголемувањето на додадената концентрација на ароматичното растение. Овој тренд ја покажува ефикасноста на маслото од рузмарин, лаванда, оригано, жалфија и бел бор во подобрувањето на биоактивноста на медот. Зголемената инхибиција на DPPH при концентрација од 1% сугерира потенцијал за формулирање функционални производи од мед со здравствени придобивки (Dikme, 2023).



Фотографија бр. 4.4 (A). Инхибиција на радикалите на DPPH за мед (H1–H9) без додадени ароматични растенија.

Антиоксидантната инхибиција, често поврзана со полифенолната содржина и способноста на медот за отстранување радикали (Rinnan et al. 2009; Mencede et al. 2023), и генерално, додавањето ароматични растенија го подобри антиоксидантниот капацитет на медот во неколку примероци. Додека некои примероци како H5 со 1% оригано покажуваат висока инхибиција (36,23%), други, како H2 со 0,8%, покажуваат значително ниски вредности (1,96%), а концентрацијата на додадено растение покажува

неконзистентно однесување.



**Фотографија бр. 4.4 (В).** Инхибиција на радикалите на DPPH за мед (H1–H9) со додадени ароматични растенија во концентрации од 0,5, 0,8 и 1%.

Овие несовпаѓања може да се припишат на интеракциите помеѓу компонентите на матрицата на медот и соединенијата добиени од оригано, кои би можеле да имаат антагонистички ефекти под одредени услови (Mencede et al. 2023). Ориганото постојано

влијае врз антиоксидантниот потенцијал на двоен начин. Додека при ниски концентрации (0,5%), тоа довело до многу ниски вредности на антиоксидантна инхибиција (на пр., Н1 покажува 10,45%), ова било уште пониско на 0,8% (4,93%), а само малку се обновило на 1% (10,06%). Ова може да укажува на нелинеарна интеракција помеѓу состојките на ориганото и природните антиоксиданси на медот.

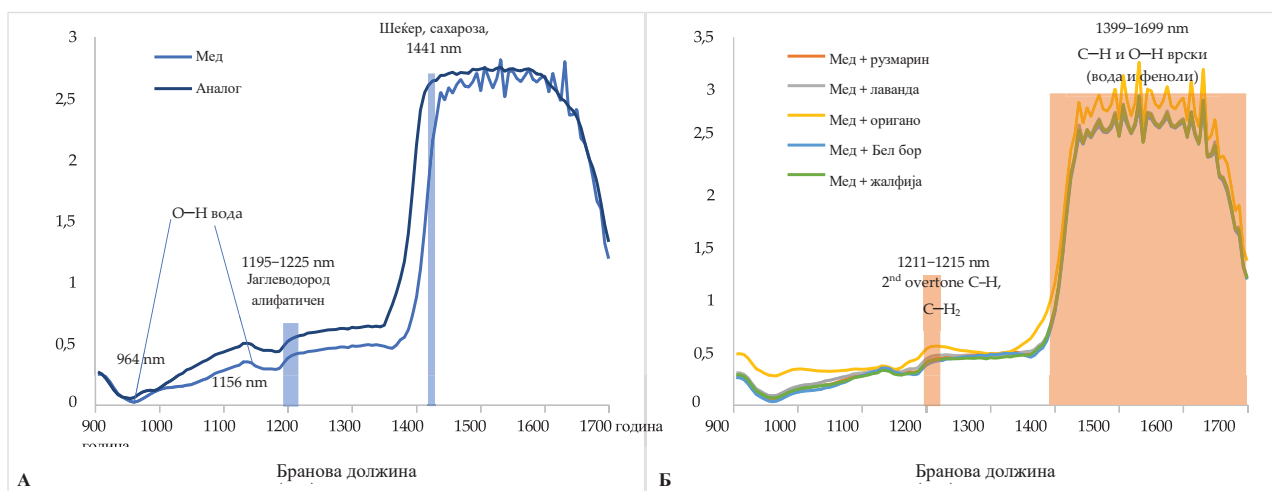
Маслото од жалфија и див бор покажаа значајни антиоксидантни ефекти при повисоки концентрации. На пример, во Н4, маслото од див бор со 0,5% даде највисока инхибиција (40,13%), додека 1% оригано, исто така, резултираше со висока инхибиција (35,37%), што укажува дека ефикасноста на растителните адитиви во голема мера зависи од типот на медниот примерок. Спротивно на тоа, инхибицијата беше многу ниска или дури негативна во одредени случаи, како кај лавандата со 0,5% во Н3 (-3,68%) и рузмариот со 1% (-0,76%), што упатува на можни антагонистички или деградирани интеракции помеѓу специфичните соединенија.

Овие резултати нагласуваат дека и видот и концентрацијата на растителниот адитив значително влијаат врз антиоксидантното однесување на медот. Дополнително, од претходно презентираниите резултати за физичко-хемискиот состав, параметрите на бојата и антиоксидантната активност е очигледна комплексноста и совпаѓањето на карактеристиките на примероците, кои потенцијално се групираат според нивниот состав и додадените растителни адитиви. Бидејќи молекуларните вибрации во блиско-инфрацрвениот регион можат да се следат со NIR спектроскопија (Basri et al., 2017), ваквите мерења беа дополнително извршени со цел подлабоко разбирање на варијабилноста помеѓу примероците и нивните хемиски својства.

## 6. ХЕМОМЕТРИСКО МОДЕЛИРАЊЕ

### 6.1. NIR спектри на примероци од мед

Од претходно презентираниите резултати, јасно е колку се сложени примероците и како се совпаѓаат, потенцијално групирајќи се врз основа на нивниот физичко-хемиски состав, боја и антиоксидантна инхибиција што е слична или различна (во набљудуваниот збир од податоци). Бидејќи возбудувањето на молекулите во регионот близу инфрацрвено може да се следи со NIR спектроскопија (Basri et al. 2017), овие мерења, исто така, беа извршени и презентирани на фотографија бр. 4.5.



**Фотографија бр. 4.5.** Ред NIR спектри (апсорпција) за чист мед и аналог на мед (А) и збогатен мед (Б). Означени се специфичната бранова должина за вода и шеќер (Вилијамс и др. 2019) (сина) и брановата должина поврзана со фенолите (Бек и др. 2022; Гајдош Кљусуриќ и др. 2016) и физичко-хемиските индикатори од додадени растенија

NIR спектрите на чист мед и аналози покажуваат специфична форма, но и шум што укажува на потребата од претходна обработка на спектрите пред дополнителна обработка. Williams et al. (2019) и Веќ et al. (2022) ги наведуваат NIR спектралните бранови должини кои се поврзани со шеќери, вода, вкупни феноли и специфични промени во O–H и C–H врските. Во работата на Гајдош Кљусуриќ et al. (2016), опсегот на бранови должини од 1399 до 1699 nm е применет во анализата на фенолниот профил на екстракти од бобинки. Од сето погоре, јасно е дека е потребно да се применат хеометриски алатки кои би овозможиле подобро разбирање на промените во набљудуваните примероци.

За да се извлечат значајни информации од сложени хемиски податоци, се применуваат математички, статистички и пресметковни методи, т.е. хеометрија.

Бидејќи ботаничкото и географското потекло може да се утврдат и за медот (Caredda et al. 2024), сакавме да ја провериме оваа можност на нашите примероци.

## 6.2. PCA анализа на NIR спектри

Врз основа на добиените NIR спектри беше извршена мултиваријантна анализа со цел да се идентификуваат обрасци на варијабилност и потенцијално групирање на примероците од мед. За таа цел беше применета анализа на главните компоненти (PCA) како стандардна хеометриска метода за редуција на димензионалноста и визуализација на сличностите и разликите помеѓу примероците. Бидејќи целта беше квалитативна дискриминација помеѓу видовите мед и додадените ароматични билки, PCA беше применета врз NIR спектралните податоци (фотографија бр. 4.6). Понатаму, за квантитативно поврзување на NIR спектрите со податоците за физичко-хемискиот состав, бојата и антиоксидантната активност, беше применет методот на парцијална регресија на најмали квадрати (PLS).

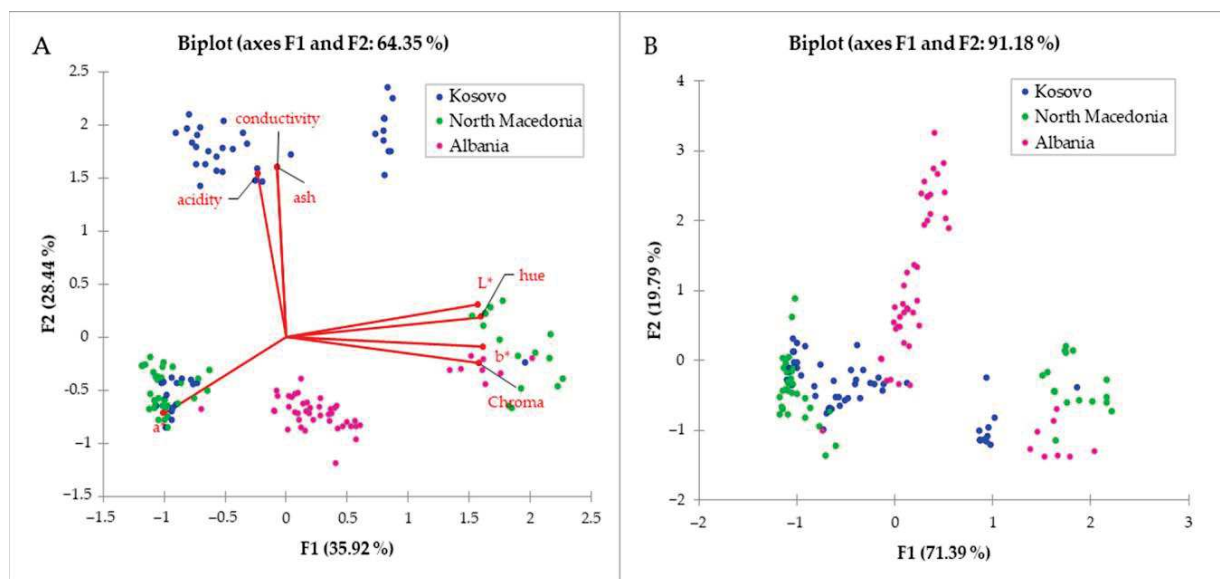
И двата PCA биплота (фотографија бр. 4.6) покажуваат јасно групирање на примероците. Сепак, покриеноста на варијансата во набљудуваниот сет од податоци е значително поголема кога се користат само NIR спектри (фотографија бр. 4.6B;  $F1 + F2 = 91,18\%$ ) отколку кога се користат физичко-хемиски податоци и параметри на бојата (фотографија бр. 4.6A;  $F1 + F2 = 64,35\%$ ). PCA биplotот ги интегрира графиконот на бодување и графиконот на оптоварување, при што оските  $F1$  и  $F2$  ја претставуваат количината на објаснета варијанса во податоците. Поголем збир на  $F1$  и  $F2$  укажува на поголем процент на варијабилност опфатен со моделот.

Фотографија бр. 4.6 потврдува дека вклучувањето на NIR спектралните информации значително го зголемува опфатот на варијабилноста поврзана со бојата, антиоксидантната активност и физичкохемиските својства на примероците. Параметрите на бојата, освен параметарот „a“, имаат поголема тежина во  $F1$ , додека физичко-хемиските параметри спроводливост, pepел и киселост доминираат во  $F2$ . Фотографија бр. 4.6A покажува значително совпаѓање на примероците според земјата на потекло, додека интеграцијата на NIR податоците (фотографија бр. 4.6B) овозможува појасна, иако не целосна, дискриминација.

Иако географската класификација не беше примарна цел, резултатите укажуваат на потенцијал на NIR спектрите за нивно поврзување со други аналитички параметри. Клучна предност на PCA е редуцијата на димензионалноста на податоците. Врз основа на резултатите, физичко-хемиските параметри како влажност, DPPH и °Brix покажаа

факторско оптоварување помало од 0,5 во првите две главни компоненти и затоа не беа вклучени во биplotот, што укажува на нивно помало влијание во анализираната матрица. Од друга страна, NIR спектрите содржат 796 апсорпциски вредности (904–1699 nm), при што редукцијата на варијаблите е особено значајна.

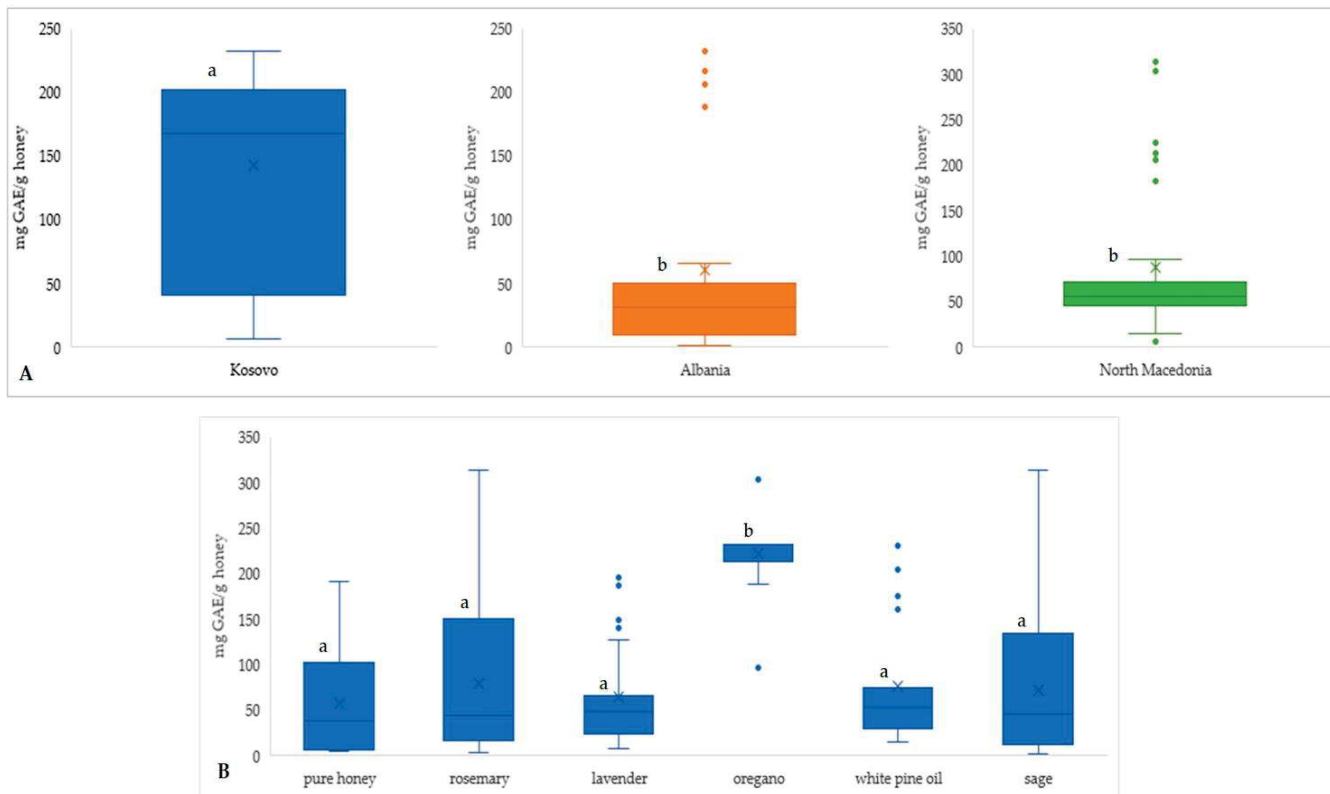
Според литературата, беше применето правилото  $VIP > 1$  (Mata et al., 2022), со што бројот на бранови должини беше намален за приближно 50%. Задржаните региони го опфаќаат (i) третиот обертон регион на C–H, Ar–OH, R–OH и H<sub>2</sub>O врски (904–1027 nm), (ii) вториот обертон регион (1373–1629 nm) и (iii) првиот обертон на C–H и Ar–CH врски (1631–1699 nm) (Beć et al., 2022; Williams et al., 2019; Gajdoš Kljusurić et al., 2016; Caredda et al., 2024; NIRLab, 2022).



**Фотографија бр. 4.6.** Анализа на главните компоненти, вклучувајќи физичко-хемиски својства и својства на бојата на примерокот од мед (A) и вклучувајќи NIR спектри (B). F1 и F2 се првите две главни компоненти на PCA

### 6.3. Вкупна содржина на феноли (TPC) и NIR моделирање

При презентирањето на резултатите за девет примероци од мед на кои беа додадени пет ароматични билки (рузмарин, лаванда, оригано, жалфија, масло од бел бор) во три различни концентрации (0,5%, 0,8% и 1%), се водевме од споредби на ниво на три различни земји од кои потекнува медот, но и од истакнување на влијанието на додавањето ароматични билки во медот. Со ова почнавме на фотографија бр. 4.7, каде што е даден преглед на содржината на вкупните феноли.



Фотографија бр. 4.7. Вкупна содржина на феноли (TPC mg GAE/g мед) по земји на купен мед (A) и разлики врз основа на додаденото ароматично растение (B), без оглед на додадената концентрација. Различните букви за истиот параметар означуваат статистички значајна разлика ( $p < 0,05$ ).

Графиконите (фотографија бр. 4.7) ја илустрираат вкупната содржина на феноли (TPC), изразена во mg GAE/g мед, низ различни региони (Косово, Албанија и Македонија (фотографија бр. 4.7A) и кај медот збогатен со разни ароматични растенија (фотографија бр. 4.7B). Споредбата меѓу земјите покажува дека медот од Косово има највисока медијана и средна TPC (просек: 167,5 mg GAE/g и медијана: 142,7 mg GAE/g), по што следат Македонија (просек: 87,3 mg GAE/g) и Албанија (просек: 61,1 mg GAE/g). Косовскиот мед, исто така, покажуваат најширок опсег и интерквartilно ширење, што укажува на разновиден фенолен состав, потенцијално поради разновидност на цветот или фактори на животната средина.

Спротивно на тоа, медот во Албанија покажува најниска средна вредност на TPC (31,6 mg GAE/g) и потесна дистрибуција, иако со некои отстапувања со висока вредност. Примероците од мед збогатени со ароматични растенија генерално покажуваат повисока вредност на TPC од чистиот мед. Меѓу нив, ориганото се издвојува со највисока средна вредност (221,8 mg GAE/g) и најмал интерквartilен опсег (213,1–232,5 mg GAE/g), што

укажува на постојано високо фенолно збогатување. Рузмариот и жалфијата, исто така, покажуваат покачени нивоа на ТРС, иако со поголема варијабилност, што укажува дека овие адитиви можат значително да ја зголемат содржината на феноли, иако неконзистентно. Маслото од лаванда и бел бор додадени во медот покажуваат пониска вредност на ТРС, но збогатувањето сепак резултира со умерено зголемување во споредба со контролата (чист мед; просечен ТРС 57,3 mg GAE/g).

За статистички да се потврдат забележаните разлики во вкупната содржина на феноли (ТРС) меѓу регионите (Косово, Албанија и Македонија), беа применети и параметарски и непараметарски тестови. Еднонасочната ANOVA (табела бр. 4.22) не покажа статистички значајна разлика во средната вредност на ТРС меѓу регионите ( $F = 2,98$ ,  $p = 0,0678$ ), што потенцијално се должи на отстапувања од нормалноста и нееднакви варијанси.

**Табела бр. 4.22.** Резултати од ANOVA и Kruskal-Wallis тестовите за параметрите на составот на медот низ Косово, Албанија и Македонија.

Параметар	F (ANOVA)	p-Вредност (ANOVA)	H (Kruskal-Wallis)	p-Вредност (K-W)
Zn	3.388	0.037	8.572	0.014
Cd	294.034	0.000	98.570	0.000
Ca	85.911	0.000	74.400	0.000
Fe	275.034	0.000	98.035	0.000
Cu	5.092	0.007	23.623	0.000
Ni	42.743	0.000	62.215	0.000
Cr	0.792	0.455	3.257	0.196
As	-	-	0.000	1.000
Pb	305.661	0.000	110.487	0.000
Co	10.709	0.000	93.471	0.000
Mg	630.440	0.000	97.794	0.000
Mn	16.207	0.000	16.545	0.000
K	58.645	0.000	67.907	0.000
Na	176.688	0.000	95.615	0.000
TPC	12.928	0.000	24.023	0.000

Затоа, беше спроведен Kruskal-Wallis H тестот, кој не претпоставува нормалност

и откри статистички значајна разлика меѓу регионите ( $H = 6,68$ ,  $p = 0,0355$ ). Овој резултат ја поддржува интерпретацијата дека барем еден регион значително се разликува во дистрибуцијата на ТРС, потврдувајќи ги моделите забележани на фотографија бр. 4.7А. Овие наоди сугерираат дека регионалните разлики во разновидноста на цветот и условите на животната средина влијаат врз содржината на полифеноли во медот.

За статистичка евалуација на разликите во минералниот состав и ТРС меѓу примероците од мед од различни региони, беа применети ANOVA и Kruskal–Wallis тестови, чии резултати се прикажани во табела бр. 4.23.

#### 6.4. Мултиваријабилна анализа на ТРС и метали

По квалитативната анализа на примероците од мед со примена на анализа на главните компоненти (PCA), беше спроведена квантитативна хеометриска анализа со цел да се воспостави врска помеѓу NIR спектралните податоци и физичко-хемиските и колориметриските параметри на медот. За таа цел беше применет методот на парцијална регресија на најмали квадрати (PLS/PLSR), кој претставува стандардна техника за моделирање кај спектроскопски податоци кога постојат референтни лабораториски параметри. Резултатите од моделирањето прикажани се во табела бр. 4.23.

PLS моделите беа изградени со максимално седум латентни варијабли (LV), при што беа отстранети помалку од 5% од отстапувањата, согласно пристапот опишан од Rambo et al. (2020). Коефициентот на детерминација ( $R^2$ ) поблиску до 1 укажува на подобра калибрација ( $R^2C$ ) и валидација ( $R^2V$ ), додека вредностите на RMSE (RMSEC и RMSEV), како мерка за точност и прецизност на моделот, треба да бидат што е можно пониски. Дополнително, односот на стандардната грешка на перформансите кон стандардната девијација (RPD) со повисоки вредности укажува на поголема предиктивна моќ на моделот, при што вредности  $RPD > 5$  се сметаат за погодни и за квантитативни предвидувања (Valinger et al., 2021).

Како што може да се забележи од табела бр. 4.22, вредностите на  $R^2V$  се разликуваат во зависност од параметарот, при што најниски вредности се добиени за параметарот на боја **a** (кој ја опишува осква црвено (+a) – зелено (-a)) и за °Brix ( $R^2V = 0,737$ ). Сепак, земајќи предвид дека целта на оваа работа беше квалитативно да се опишат физичко-хемиските и колориметриските својства на медот и да се согледаат нивните сличности и/или разлики, резултатите потврдуваат дека NIR спектроскопијата има многу добар потенцијал за ваков тип процена и поврзување со референтни

параметри.

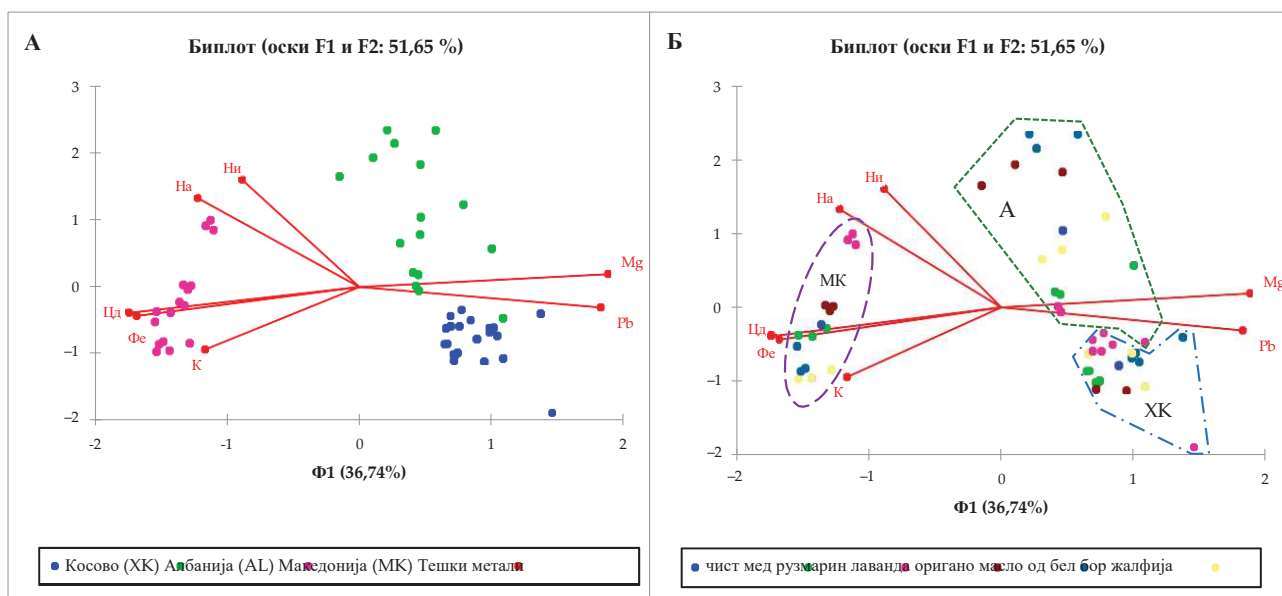
Покрај показателите за ефикасност на моделите ( $R^2$  и RMSE за калибрација и валидација, како и RPD), беше извршено и тестирање на 10% од примероците ( $n = 14$ ). За секој набљудуван параметар (првата колона во табела бр.4.22) беа пресметани очекувани (предвидени) вредности со користење на PLS моделот. Потоа беше применета спарена t-Student анализа помеѓу лабораториски измерените вредности и вредностите предвидени со моделот. p-вредност помала од 0,05 укажува на статистички значајни разлики помеѓу средните вредности утврдени во лабораторија и тие проценети со моделот.

**Табела бр. 4.23.** Ефикасност на PLS калибрација и валидација за физичко-хемиски својства и параметри на боја, врз основа на NIR апсорпција како влезни податоци.

Набљудуван параметар	LVs	R <sup>2</sup> C	RMSEC	R <sup>2</sup> V	RMSEV	RPD
Географски регион #	7	0,987	0,174	0,860	0,291	3,59
Концентрација (%) *	9	0,985	0,541	0,849	0,777	1.159
pH	6	0,997	0,098	0,834	0,178	1,00
°Brix	5	0,984	0,221	0,737	0,325	1.03
Спроводливост (mS/cm)	5	0,996	0,044	0,817	0,073	1,82
Киселост (meq/kg)	6	0,994	0,973	0,987	1.142	3.19
Влажност (%)	4	0,982	1.578	0,972	2.131	2,65
Пепел (%)	4	0,996	0,022	0,855	0,042	1.04
I (%)	5	0,996	3.221	0,796	3.904	3.04
<i>L</i>	6	0,989	0,547	0,872	0,669	1,87
<i>A</i>	7	0,989	0,044	0,782	0,071	0,58
<i>B</i>	5	0,996	0,347	0,885	0,546	1.12
<i>C</i>	4	0,995	0,326	0,843	0,449	1,05
<i>H</i>	4	0,997	1.003	0,986	1.112	3,28

# Земја на потекло на мед; \* додадено ароматично растение (0%; 0,5%; 0,8% и 1%); LVs - латентни варијабли; R<sup>2</sup> - коефициент на детерминација за калибрација (R<sup>2</sup>C) и валидација (R<sup>2</sup>V); RMSEC – корен од средна квадратна грешка на калибрацијата; RMSEV - коренска средна стандардна грешка на валидацијата; RPD - однос на стандардна грешка на перформансите кон стандардната девијација.

Графички приказ на резултатите за калибрација, валидација и тестирање за набљудуваните параметри прикажан е во анекс 2 и анекс 3 (фотографија бр. A2 и фотографија бр. A3).



Variables	Zn	Cd	Ca	Fe	Cu	Ni	Cr	Pb	Co	Mg	Mn	K	Na	TP	XK	AL	MK	H	R	L	O	W	S	
Zn	1.0																							
Cd	-0.16	1.0																						
Ca	0.15	-0.20	1.0																					
Fe	-0.01	0.84	-0.24	1.0																				
Cu	0.15	-0.15	0.03	-0.16	1.0																			
Ni	-0.10	0.22	0.21	0.16	-0.22	1.0																		
Cr	0.45	0.12	-0.01	-0.08	-0.07	0.23	1.0																	
Pb	0.31	-0.78	0.08	-0.70	0.16	-0.49	0.01	1.0																
Co	0.11	-0.29	0.32	-0.30	0.15	-0.10	-0.12	0.31	1.0															
Mg	0.28	-0.82	0.36	-0.81	0.19	-0.34	-0.02	0.84	0.34	1.0														
Mn	0.15	-0.36	0.14	-0.45	0.24	-0.15	-0.03	0.41	0.48	0.30	1.0													
K	-0.28	0.60	-0.35	0.50	-0.01	-0.11	0.07	-0.44	-0.13	-0.58	-0.02	1.0												
Na	-0.28	0.27	0.15	0.31	-0.25	0.78	0.07	-0.63	-0.10	-0.55	-0.21	0.15	1.0											
TP	-0.06	0.02	-0.18	-0.12	0.09	0.02	0.01	0.16	-0.06	0.03	0.21	-0.04	-0.32	1.0										
XK	0.15	-0.43	-0.36	-0.54	0.25	-0.61	0.05	0.66	0.09	0.56	0.31	-0.13	-0.84	0.37	1.0									
AL	0.06	-0.47	0.74	-0.35	-0.07	0.29	-0.11	0.20	0.26	0.38	0.10	-0.51	0.38	-0.29	-0.50	1.0								
MK	-0.21	0.90	-0.39	0.89	-0.18	0.32	0.05	-0.86	-0.35	-0.94	-0.41	0.64	0.47	-0.08	-0.50	-0.50	1.0							
H	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	-0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	-0.01	-0.12	0.00	0.00	0.00	1.0						
R	-0.17	-0.02	-0.09	0.18	-0.18	-0.16	-0.37	0.07	-0.01	0.04	-0.50	0.08	-0.01	-0.11	-0.04	-0.04	0.07	-0.13	1.0					
L	0.31	-0.03	0.03	0.01	0.14	-0.11	0.08	-0.08	-0.18	-0.02	-0.07	-0.34	-0.09	-0.18	0.00	0.00	0.00	-0.12	-0.25	1.0				
O	-0.09	-0.03	0.05	-0.13	-0.11	0.23	0.05	0.07	-0.02	-0.05	0.23	-0.04	-0.03	0.65	0.04	0.04	-0.08	-0.12	-0.23	-0.21	1.0			
W	0.12	0.08	0.12	-0.02	0.09	0.18	0.46	-0.02	0.02	0.10	0.09	0.17	0.07	-0.12	0.00	0.00	0.00	-0.12	-0.25	-0.23	-0.21	1.0		
S	-0.17	-0.01	-0.12	-0.06	0.06	-0.12	-0.23	-0.03	0.19	-0.08	0.28	0.10	0.06	-0.14	0.00	0.00	0.00	-0.12	-0.25	-0.23	-0.21	-0.23	1.0	

**Фотографија бр. 4.8.** Би-графикон од анализата на главните компоненти (PCA) за вкупни феноли (TPs) и вредности на тешки метали (Zn, Cd, Fe, Cu, Ni, Cr, Pb, Co, Mg, Mn, K и Na) во три региони (Косово-ХК, Албанија (AL) и Македонија (МК) со додадени ароматични растенија (R-рузмарин, L-лаванда, O-оригано, W-масло од бел бор и S-жалфија), без оглед на додадената концентрација. PCA е претставена со земјите како квалитативни варијабли (A) и ароматичните растенија како квалитативни варијабли (B). Меѓусебни односи на Пирсоновата корелациона матрица во набљудуваниот сет од варијабли (C) каде што корелацијата укажува на силна врска (вредност 1, сина во

легендата) и обратно пропорционална врска што може да оди до -1, црвена во легендата.

Со идентификување на трендовите и промените во зависност од земјата и додаденото ароматично растение, можна е подлабока анализа со користење мултиваријантна анализа, поточно анализа на главни компоненти (PCA). Фотографија бр. 4.10 прикажува биплан во кој може да се набљудува врска помеѓу ТРС и некои тешки метали.

Фотографија бр. 4.8 ја претставува првата мултиваријантна анализа, која ги поврзува вкупната содржина на феноли и концентрациите на тешки метали во примероците од мед користејќи ја анализата на главните компоненти (PCA) и Пирсоновата корелација.

Фотографија бр. 4.8А ја прикажува PCA бипланот што ги категоризира примероците од мед според географското потекло (Косово—ХК, Албанија—AL и Македонија—МК), додека фотографија бр. 4.10В ги класифицира врз основа на збогатување со ароматични растенија. Фотографија бр. 4.10 С ја прикажува Пирсоновата корелација што открива меѓупроменливи врски.

На фотографија бр. 4.8А, В, бипланот PCA објаснува 51,65% од вкупната варијанса (F1: 36,74%, F2: 14,91%). Групирањето на примероците од мед од Косово (ХК) е различно од Албанија (AL) и Македонија (МК), што укажува на метални и фенолни профили специфични за регионот. Албанските примероци покажуваат силни асоцијации со Na, Ni, Fe, Cd и K - елементи кои генерално се покачени во овој мед, како што е поткрепено од претходните кути-планови. Останатите минерали не беа вклучени во анализата поради нивното ниско факторско оптоварување.

Спротивно на тоа, примероците од Косово се групирани тесно со Mg и Zn, што укажува на почист профил со минерален состав под влијание повеќе на природните цветни извори отколку на контаминацијата. Примероците од Македонија повеќе се совпаѓаат со Pb, што имплицира потенцијална изложеност на животната средина. Фотографија бр. 4.10Б ги воведува ароматичните растенија како категорични варијабли. Примероците збогатени со рузмарин, оригано и жалфија имаат тенденција кон насоката на векторите Pb, Mg и Ni, што укажува дека овие збогатувања можат да ги зголемат нивоата на одредени тешки метали (Gajdoš Kljurić et al. 2025; Nyarko et al. 2022).

Ова се совпаѓа со претходните набљудувања дека растителните адитиви, особено маслото од оригано и бел бор, ја зголемуваат вкупната содржина на феноли, но исто така можат да внесат или концентрираат метали во трагови. Матрицата за корелација на фотографија бр. 4.10С ги поддржува овие шеми. Вкупните феноли (ТРС) значително се корелирани со тешките метали, (i) негативно со Ca (-0,18) и Na (-0,12), додека (ii)

позитивно со Mn (0,21), што укажува дека фенолното богатство можеби не произлегува од содржината на метали. Нивото на значајност,  $\alpha = 0,05$ , означува вредности со задебелени букви. Силните позитивни корелации помеѓу металите (на пр., Pb–Mg: 0,84; Na–N: 0,78) укажуваат на заеднички извори или патишта.

Во Македонија беа утврдени екстремно негативни корелации за Pb (-0,86) и Mg (-0,94), додека позитивно корелираат со вредностите на Cd (0,90) и Fe (0,89). Ваквите резултати се важни бидејќи акумулацијата на тешки метали може да биде токсична за човечкото тело. На пример, акумулираниот Cd може да резултира со труење со сериозни влијанија врз здравјето на коските и бубрезите, како и со намалена густина на коскените минерали поради оштетување на бубрезите (Карам и сор. 2023).

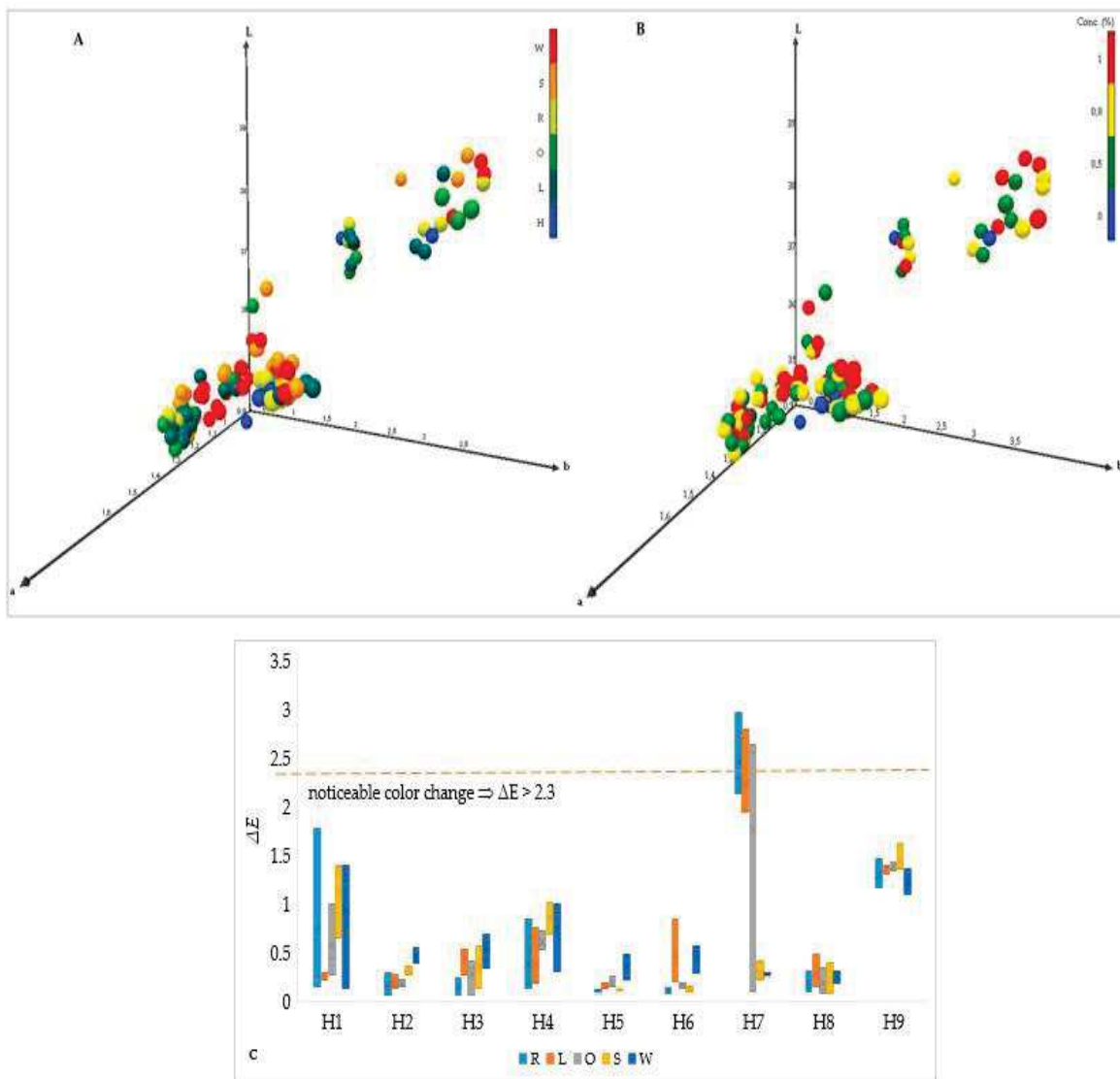
### **6.5. Мултиваријабилна анализа и моделирање на колориметриски параметри**

За да се прикаже групирањето на примероците од мед со додадени ароматични растенија околу нивните соодветни контролни примероци, изработен е тридимензионален приказ на сите примероци (фотографија бр. 4.9А,В). Дополнително, промените во бојата предизвикани од додавањето ароматични растенија се прикажани преку параметарот  $\Delta E$  (фотографија бр. 4.9С), кој ја квантифицира разликата во бојата во однос на контролниот мед. Резултатите покажуваат дека и видот на растителниот адитив и неговата концентрација доведуваат до јасно одвојување на примероците од нивниот контролен мед, што укажува на значително влијание врз колориметриските својства.

Поконкретно на фотографија бр. 4.9 илустрирано е како додавањето ароматични растенија (рузмарин, лаванда, оригано, жалфија и масло од бел бор) и нивните концентрации (0%, 0,5%, 0,8% и 1%) ги промениле својствата на медот. Фотографија бр. 2С ги прикажува вредностите на  $\Delta E$ , кои ја претставуваат разликата во бојата, што квантификува забележливи промени. Дури и при ниски концентрации, додавањето на овие екстракти видливо го променило профилот на бојата на медот, потврдувајќи го нивното влијание врз визуелната привлечност и евентуално антиоксидантниот капацитет. Сепак, само еден примерок може да го види ова со голо око (Н7, каде што само додадената жалфија и маслото од бел бор не ја промениле значително бојата од оригиналниот примерок на мед).

Параметрите на бојата, исто така, обезбедуваат индиректен увид во антиоксидантните својства на медот. Примероците со повисока хрома (С) и специфични агли на нијансирање (h) често се поврзуваат со зголемена биоактивност и присуство на

фенолни соединенија. Во ова истражување, кај примероците Н4 и Н7, зголемените концентрации на жалфија и оригано доведоа до повисоки вредности на хрома и умерени агли на нијансирање, што укажува на можен придонес на растителните адитиви кон антиоксидантниот потенцијал на збогатениот мед.



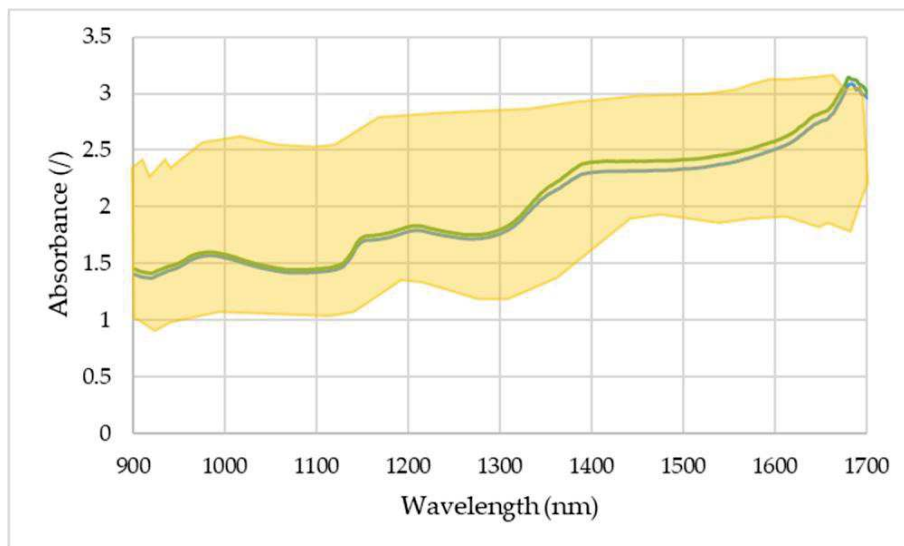
**Фотографија бр. 4.9.** Тридимензионален приказ на резултатите на збогатениот мед: (A) додадени ароматични растителни екстракти (различни бои на примероците претставуваат различни додадени ароматични растенија: рузмарин (R), лаванда (L), оригано (O), жалфија (S) и масло од бел бор (W)) и (B) концентрација на додадени растителни екстракти (различни бои претставуваат различни концентрации на додадени ароматични растенија: 0 - чист мед; 0,5, 0,8 и 1 се проценти на додадени ароматични растенија). Промената на бојата во сите примероци од мед е претставена со  $\Delta E$  (C).

## 6.6. Перформанси на NIR уредите: повторливост, репродуктивност и PLS/PLS-DA модели

Сигурноста и прецизноста на NIR уредите се клучни за процена на нивната аналитичка применливост во анализа на мед. Во оваа работа беа користени два NIR уреди – стационарен (десктоп) и пренослив – со ист спектрален опсег (900–1700 nm). Перформансите на уредите беа оценети преку параметрите на повторливост и репродуктивност, како и преку ефикасноста на PLS и PLS-DA хеометриските модели.

Вообичаениот облик на NIR спектрите претставен е на фотографија бр. 4.11. Според литературата, NIR регионот со карактеристични ленти за феноли е во опсег од 1415 до 1512 nm (Toledo-Martín et al. 2018), додека за металите се наведени предложените спектрални опсези помеѓу 1110–1300 nm и 1500–1700 nm (Revilla et al. 2024). Првиот опсег одговара на доминацијата на СН врските во јаглехидратите и шеќерите, ароматичните соединенија и помало влијание на водата.

Вториот опсег одговара на врските СН, ОН и NH и може да се поврзе со присуството на јаглехидрати и протеини. Металите ќе се врзат за некои од групите, што индиректно ќе овозможи нивно откривање. NIR спектрите покажуваат вибрации што вклучуваат водородни врски (на пр., C–H, O–H, N–H, S–H), т.е. молекулите што содржат водород (органски соединенија, вода) се силни апсорбери во NIR регионот, додека металите и минералите (во чиста форма) не вибрираат во NIR регионот бидејќи немаат ковалентни врски со водород што би создале апсорпциони ленти во NIR регионот (Sundaram et al. 2015).



**Фотографија бр. 4.10.** NIR спектри, скенирани со преносен уред, за аналогниот (линии) и 144 примероци од мед (жолтата површина)

Сепак, NIR спектроскопијата може да се користи за индиректно откривање и/или квантификација на метали преку хеометриски модели (како што е PLS), искористувајќи го нивното индиректно влијание врз матрицата на примерокот (преку формирање на метално-органски комплекси со органски молекули кои се активни во NIR регионот (на пр., аминокиселини, протеини, феноли, јаглехидрати или специфични лиганди додадени во примерокот). Кога метален јон формира комплекс, тој може да ги модифицира вибрационите карактеристики на овие органски лиганди (на пр. промени во О-Н или С-Н вибрациите), што потоа се рефлектира во форма на суптилни промени во NIR спектарот.

Хеометријата е клучна овде бидејќи моделот ги „учи“ корелациите помеѓу NIR спектарот и концентрацијата на металот. Бидејќи квалитетот на прехранбен производ како што е медот е варијабилен, анализата е исклучително важна. Понатаму, за анализата се претпочитаат брзи, евтини, но сепак сигурни методи кои се еколошки, како што е NIR спектроскопијата. Во оваа работа, користевме два уреди, еден десктоп и еден преносен, со ист опсег на бранови должини (900–1700 nm). Сепак, информациите за сигурноста и прецизноста на двата NIR уреди се клучни за да се процени потенцијалот на нивната примена (Klinar et al. 2024), а тоа е прикажано во табела бр. 4.24.

**Табела бр. 4.24.** Прецизно тестирање врз основа на релативната стандардна девијација (RSD) пресметана за повторување и репродуктивност на скенирањето за два NIR уреди (на маса и преносни)

Бранова должина (nm)	Повторливост (RSD) на стационарен	Повторливост (RSD) пренослив	Репродуктивност (RSD) на работна маса	Репродуктивност (RSD) пренослива
964	$1,9 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-2}$	$6,5 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-2}$
1433	$7,1 \times 10^{-4}$	$9,5 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-2}$
1688	$6,8 \times 10^{-4}$	$8,1 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-2}$

Резултатите од повторувањето беа извршени врз основа на вредностите на апсорпција за десет NIR мерења во кои примерокот не беше поместен, на три бранови должини (964 nm, 1433 nm и 1688 nm). Овие бранови должини се поврзани со растот на ОН врските и, покрај водата (бранова должина 964 nm), се поврзани со гликоза (1688 nm) и сахароза (1433 nm) (Williams, 2019; Giangiacomo et al. 1981). Репродуктивноста се базира врз податоците за апсорпција на истите бранови должини, исто така за 10 мерења,

но овие мерења се резултат од поместување и препозиционирање на примерокот.

Резултатите укажуваат на значително подобри перформанси за уредот на работна површина, што е во согласност со студијата на (Klinar et al. 2024). Сепак, вредностите на RSD за преносниот уред се малку повисоки на одредени бранови должини (на пр., повторување на 964 nm и/или репродуктивност на 1433 nm), што е ветувачко кога се разгледува прифатливоста на преносните NIR уреди во споредба со тие на работна површина.

Со оглед на бројот на предности што ги нудат NIR уредите, целта беше да се потврди нивната способност квалитативно и/или квантитативно да ги поврзува NIR спектрите со TPC и метали и да препознава примероци според земјата од која потекнува примерокот од мед.

Затоа, NIR спектрите беа поврзани со податоците од примерокот и содржината на TPC и тешки метали, а PLS регресионите анализи беа извршени одделно за секој уред. Резултатите се прикажани во табела бр. 4.25.

Презентираната табела (табела бр. 4.25) ги илустрира резултатите од парцијалната регресија на најмали квадрати (PLS) што се користи за процена на перформансите на рецепционерни и преносни уреди во близина на инфрацрвениот (NIR) спектар при предвидување на концентрациите на разни тешки метали и вкупни феноли (TPs) во примероци од мед. Овие параметри се оценуваат со користење коефициенти на детерминација ( $R^2$ ), RMSEV и RPD, што ги одразуваат точноста, грешката и предикативната моќ на моделот, соодветно.

Овие вредности на RPD можат да се контекстуализираат преку наодите од студијата на Сундарам и сор. (2015), каде што повисоките вредности на RPD (над 3,0) се сметаа за индикативни за добри предикативни перформанси, погодни за скрининг или дури и за контрола на квалитетот кога вредностите се приближуваа или надминуваа 5. Ова се совпаѓа директно со нашата табела, каде што параметрите, како што се: Pb, Co, Mg и TP постигнаа вредности на RPD над 5 користејќи резервни уреди, што укажува на силна сигурност на моделот и соодветност за контрола на квалитетот.

За уредот на работна површина, вредностите на  $R^2$  се генерално многу високи ( $\geq 0,99$  за повеќето елементи), што укажува на силни линеарни врски помеѓу предвидените и набљудуваните вредности. Вредностите на RPD над 5 (на пр., Pb: 9,9, Co: 9,5, Mg: 9,8) укажуваат на многу робусни модели за предвидување, во согласност со

наодите во референтната студија, каде што модел со RPD од 4,46 се сметал за оптимален. Сепак, елементи како Cd и Mn покажале пониски RPD (2,8 и 2,6), што укажува на послаби модели, погодни можеби само за грубо скрининг, а не за точна квантификација.

**Табела бр. 4.25.** Резултати од PLS регресијата презентирани со параметри што укажуваат на ефикасноста на моделот врз основа на NIR скенирања на два уреди

параметар	Стационарен уред					Пренослив уред				
	LVs	Rc <sup>2</sup>	Rv <sup>2</sup>	RMSEV	RPD	LVs	Rc <sup>2</sup>	Rv <sup>2</sup>	RMSEV	RPD
<b>Zn</b>	10	0.92	0.84	0.6876	1.2	7	0.999	0.766	0.1028	1.6
<b>Cd</b>	9	0.998	0.869	0.0426	2.8	6	0.997	0.817	0.003	3.0
<b>Ca</b>	7	0.995	0.948	11.739	4.4	5	0.999	0.749	7.2849	1.1
<b>Fe</b>	8	0.998	0.977	0.6662	6.6	5	0.999	0.828	0.3103	3.4
<b>Cu</b>	8	0.991	0.912	0.1236	3.4	4	0.999	0.771	0.1883	1.7
<b>Ni</b>	9	0.998	0.979	0.0346	6.9	5	0.999	0.81	0.0323	2.9
<b>Cr</b>	10	0.994	0.4	0.0228	1.3	6	0.998	0.755	0.0032	1.3
<b>Pb</b>	10	0.999	0.995	0.0465	9.9	6	0.999	0.765	0.0588	1.5
<b>Co</b>	10	0.995	0.953	0.0184	4.6	5	0.999	0.745	0.0148	1.0
<b>Mg</b>	8	0.999	0.994	0.5013	9.8	5	0.999	0.936	0.972	9.3
<b>Mn</b>	7	0.999	0.991	0.0086	9.7	4	0.999	0.844	0.0153	3.8
<b>K</b>	9	0.993	0.937	13.7083	4.0	6	0.996	0.745	5.0607	1.0
<b>Na</b>	9	0.997	0.675	28.824	1.8	6	0.999	0.882	6.9663	4.9
<b>TPC</b>	8	0.999	0.926	22.3166	3.7	4	0.999	0.913	10.6488	9.2

TPC - вкупна содржина на феноли; LV - латентни варијабли; Rc<sup>2</sup>, Rv<sup>2</sup> - коефициент на детерминација за калибрација (C) и валидација (V); RMSEV - коренска квадратна грешка на валидацијата; RPD - однос на стандардна грешка на перформансите кон стандардната девијација

Спротивно на тоа, преносните уреди, иако генерално покажуваат пониски вредности на Rv<sup>2</sup> и RPD, сепак покажаа пристојни перформанси (Fearn, 2002). На пример, TPC (RPD = 9,2) и Mg (RPD = 9,3) на преносни уреди покажаа силна предвидлива способност, потврдувајќи дека преносните NIR алатки, иако малку помалку точни, сепак можат да понудат значителна корисност, особено во теренски апликации каде што инструментите на работна површина можеби не се изводливи. Вредностите на RMSEV ги следат очекуваните пониски вредности во корелација со поголема точност на предвидување. На пример, Cd и Ni покажаа многу ниски вредности на RMSEV со преносниот уред (0,0030 и 0,0833, соодветно), истакнувајќи минимална грешка во предвидувањето.

За да се испитаат перформансите на два уреди во близу инфрацрвено (NIR)

подрачје, рецепционерни и преносни, беше користена матрица на конфузија и беа презентирани резултатите од % на точни класификации. Резултатите се сумирани во табела бр. 4.26, користејќи ја вредноста „% точно“, што ја одразува стапката на успех на моделот во идентификувањето на точната категорија за секоја набљудувана променлива.

**Табела бр. 4.26.** Предвидување на квалитативни варијабли, земја на потекло на медот и вид на додадени ароматични растенија, без оглед на додадената концентрација, со употреба на PLS-DA модели

Примерок	Точност (%) – стационарен NIR уред	Точност (%) – пренослив NIR уред
<b>Земја на потекло</b>		
Косово (ХК)	87,5	100
Албанија (АЛ)	90,6	88,9
Македонија (МК)	97,9	76,1
<b>Додадено ароматично растение</b>		
Рузмарин	85,7	50,0
Лаванда	0	40,0
Оригано	53,3	100
Масло од бел бор	0	0,0
Жалфија	0	22.2

Во PLS-DA моделите, NIR спектрите беа користени како квантитативни влезни променливи, а квалитативните излезни податоци беа „земја на потекло“ и „додадено ароматично растение“. Литературата потврдува дека регионалниот карактер е тешко да се утврди во оваа географска област (Гајдош Кљусуриќ и др. 2025). Во однос на класификацијата по земја на потекло (табела бр. 4.26), преносливиот уред покажа одлична точност за косовскиот мед (100%) и силни резултати за Албанија (88,9%). Сепак, тој покажа помалку ефикасност за Македонија (76,1%), што укажува на можни спектрални сличности или варијабилност на примерокот што ја намали точноста на класификацијата.

Спротивно на тоа, уредот за мерење на мед покажа конзистентно високи перформанси во сите земји, при што Македонија постигна највисока точност (97,9%), по што следуваат Албанија (90,6%) и Косово (87,5%). Ова ги покажува супериорните аналитички способности на инструментот за мерење на мед во откривањето суптилни разлики во составот на медот поврзани со географското потекло.

Во однос на идентификацијата на додадени ароматични растителни екстракти, уредот на работната површина повторно ги надмина преносните, особено за рузмарин (85,7%) и оригано (53,3%). Сепак, не успеа правилно да идентификува примероци со лаванда, жалфија или бел бор. Преносниот уред беше најуспешен со оригано (100%), но помалку сигурен со други адитиви, постигнувајќи само 50% точност за рузмарин и целосно неуспешен со бел бор.

## 7. СТАТИСТИЧКА АНАЛИЗА НА СЕНЗОРНИТЕ ПОДАТОЦИ

Со цел да се процени прифатливоста и сензорната перцепција на медот збогатен со ароматични растителни екстракти, беше спроведена потрошувачка студија базирана врз структуриран прашалник и сензорна евалуација. Сензорната анализа претставува стандардна метода за оценување на органолептичките својства на храната (арома, вкус и општа прифатливост) и за утврдување на потрошувачките преференции кон нови функционални производи.

Студијата опфати панел од 100 необучени испитаници, редовни потрошувачи на мед. Беа оценети шест примероци: природен мед (контрола) и мед збогатен со лаванда (пример бр. I), рузмарин (пример бр. II), жалфија (пример бр. III), оригано (пример бр. IV) и масло од бел бор (пример бр. V).

Прашалникот се состои од 43 прашања, групирани во три целини:

- (1) демографски карактеристики и навики на консумација на мед (затворени прашања со повеќекратен избор),
  - (2) запознатост и перцепција на ароматични растенија во мед (петстепенски скали и категоријски одговори), и
  - (3) сензорна евалуација на примероците (категоријски и хедонистички скали).
- Запознаеноста со ароматичните вкусови (лаванда, рузмарин, оригано, жалфија и борово масло) беше оценета со петстепенска скала (1 = воопшто непознато; 5 = многу познато).

Сензорната евалуација беше спроведена со хедонистички пристап. Испитаниците ги оценуваа аромата и вкусот преку категоријални скали со пет понудени одговори (многу слаб, слаб, пријатен, премногу силен, неприроден), додека општата прифатливост на секој примерок беше оценета со шестстепенска хедонистичка скала (1 = многу не ми се допаѓа; 6 = многу ми се допаѓа).

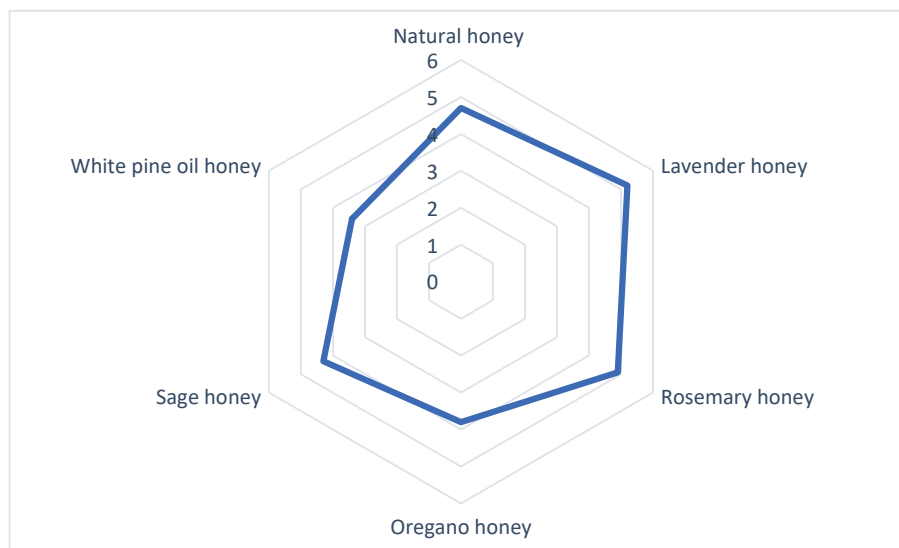
Дополнително, испитаниците ја оценуваа компатибилноста на поединечните ароматични растенија со мед, преференцијата кон различни видови ароматизиран мед и намерата за купување (скали со повеќекратен избор). Прашалникот прикажан е во анекс бр. 1. Сензорната евалуација беше комбинирана со физичко-хемиските и антиоксидантните анализи со цел сеопфатна процена на квалитетот, функционалните својства и потрошувачката прифатливост на медот збогатен со ароматични растителни екстракти како потенцијален функционален и нишен пчеларски производ.

Сите испитаници учествуваа доброволно и беа информирани за целта на истражувањето, а нивните одговори беа анонимни и користени исклучиво за научни цели, во согласност со принципите на етичко спроведување на истражувања со потрошувачи.

### Евалуација на аромата

Ароматичниот профил на медот претставува клучен фактор за вкусот на потрошувачите, бидејќи потекнува од комплексна мешавина од испарливи соединенија, како што се: алдехиди, кетони, терпени и феноли (Tripodi et al. 2025). Во оваа студија, природниот мед добил постојано високи оценки за пријатност на аромата (средна вредност  $\pm$  SD =  $4,7 \pm 0,8$  на скала од 6 степени), потврдувајќи го неговиот познат и избалансиран мирис. Меѓу варијантите со вкус, медот збогатен со лаванда постигнал највисока оценка на аромата ( $5,2 \pm 0,7$ ), веднаш по него медот збогатен со рузмарин ( $4,9 \pm 0,9$ ).

Над 60% од учесниците ги опишаа овие ароми како пријатни или хармонично измешани со внатрешниот мирис на медот. Резултатот се совпаѓа со наодите на Мулерон и сор. (2024) и Штефаникова и сор. (2021), кои забележаа дека цветните или нежно ароматичните билки (на пр. лаванда, мајчина душица, рузмарин) можат да го надополнат испарливиот состав на медот без да внесат сензорна дискорданција.



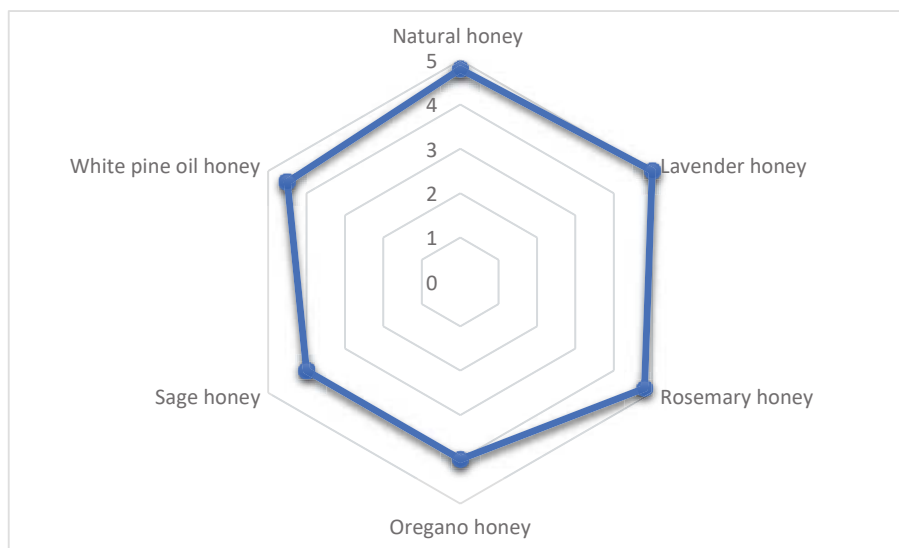
**Фотографија бр. 4.11.** Мед за евалуација на аромата збогатен со медицински билки и масло

Спротивно на тоа, медот од оригано и борово масло покажа најниска

прифатливост на аромата (средна вредност  $3,8 \pm 1,0$  и  $3,4 \pm 1,1$ , соодветно). Учесниците често ги оценуваа овие примероци како премногу силни или вештачки, што укажува дека високата содржина на терпеноиди и феноли во овие екстракти (карвакрол, тимол,  $\alpha$ -пинен, лимонен) може да ја засени природната арома на мед. Примерокот збогатен со жалфија (средна вредност =  $4,3 \pm 0,9$ ) заземаше средна позиција, при што испитаниците беа поделени помеѓу пријатни и премногу интензивни описи. Овие резултати се во согласност со сензорните теории кои ја нагласуваат рамнотежата и конгруентноста помеѓу профилите на мириси како предиктори за прифатливост од страна на потрошувачите (Oravec & Kovács, 2019).

### Евалуација на вкусот

Перцепцијата на вкусот ги отсликуваше трендовите забележани при евалуацијата на аромата. Природниот мед најчесто беше опишуван како сладок и пријатен, со просечен резултат од  $4,8 \pm 0,7$ . Медот збогатен со лаванда и рузмарин повторно доби највисоко прифаќање, со просечни резултати за вкус од  $5,0 \pm 0,6$  и  $4,8 \pm 0,8$ , соодветно. Учесниците ги ценеа нивните благи цветни нијанси, кои ја надополнуваа, а не ја маскираа сладоста на медот.



**Фотографија бр. 4.12.** Вкусна евалуација на мед збогатен со лековити билки и масло

Спротивно на тоа, медот од оригано и борово масло предизвика покритични реакции, при што приближно 40–45% од учесниците ги перцепираше како премногу интензивни или горчливи ( $4,0 \pm 0,8$  и  $4,5 \pm 0,8$ , соодветно). Овие сензорни впечатоци одговараат на познати фитохемиски состави: ориганото содржи фенолни монотерпени

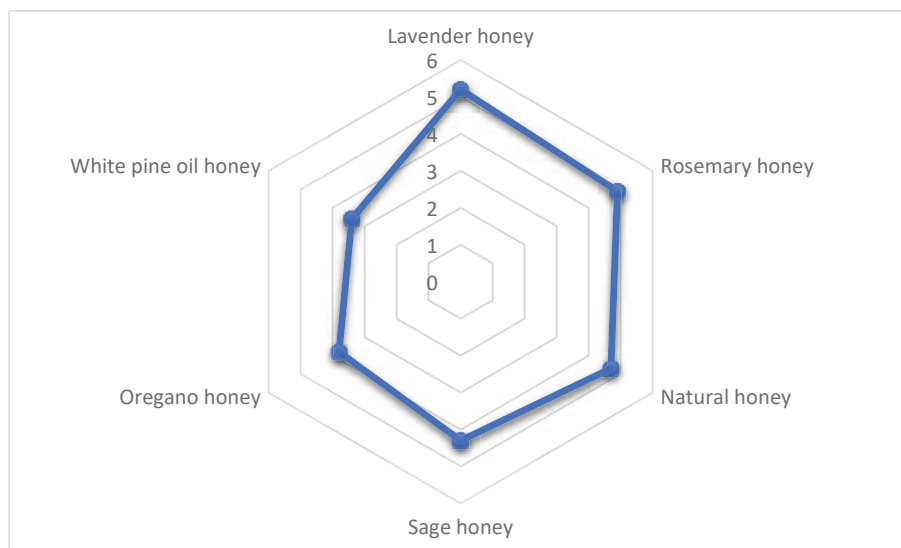
(карвакрол, тимол) одговорни за остри, зачинети ноти, додека во маслото од бор доминираат  $\alpha$ - и  $\beta$ -пинен и лимонен, соединенија поврзани со смолести, лековити вкусови (Crocoll et al. 2010; Han et al. 2017; Kamaitytė-Bukelskienė et al. 2021). Иако ваквите испарливи материи се вредни од биофункционална перспектива, тие можат да ја намалат хедоничната привлечност кога се користат над нивните сензорни прагови (Pasiaš et al., 2021).

Медот збогатен со жалфија (просечен вкус =  $4,0 \pm 0,8$ ) покажа поприфатлива рамнотежа. Некои учесници опишаа пријатен билен повкус, во согласност со поблагит дитерпенски профил на жалфија (1,8-цинеол, камфор). Овие резултати сугерираат дека концентрацијата на секој екстракт игра клучна улога: умереното вклучување може да обезбеди диференцијација и перцепирана здравствена вредност, додека вишокот води до сензорно отфрлање.

### Целокупна прифатливост

Интеграцијата на процените за аромата и вкусот создаде јасна хиерархија на целокупната преференција (средна вредност  $\pm$  SD):

Мед од лаванда:  $5,2 \pm 0,6$ ; Мед од рузмарин:  $4,9 \pm 0,7$ ; Природен мед:  $4,7 \pm 0,8$ ; Мед од жалфија:  $4,3 \pm 0,9$ ; Мед од оригано:  $3,8 \pm 1,0$ ; Мед од бел бор:  $3,4 \pm 1,1$



**Фотографија бр. 4.13.** Општа прифатливост на медот збогатен со медицински билки и масло

Еднонасочната ANOVA покажа статистички значајни разлики меѓу примероците ( $p < 0,05$ ). Постхок споредбите потврдија дека медот од лаванда и рузмарин е значително

претпочитан во однос на варијантите од оригано и бор. Овие наоди ја потврдуваат хипотезата дека умерено ароматичните цветни екстракти ја зголемуваат сензорната привлечност, додека силно смолестите или фенолните екстракти ја намалуваат.

Моделот на прифатливост ги отсликува тенденциите на потрошувачите објавени од Преданочива и Шедик (2024), каде што потрошувачите претпочитаат мед со суптилна ароматична комплексност и ги отфрлаат тие со медицински или камфорести призвуци. Затоа, иновациите на производите треба да се фокусираат врз компатибилни, природно конгруентни ароми кои го зајакнуваат идентитетот на медот.

### **Перципирана компатибилност на вкусови со мед**

Кога биле конкретно прашани дали секоја арома „добро се вклопува со мед“, 82% од испитаниците потврдиле да, многу добро за лаванда, 76% за рузмарин и 63% за жалфија. Спротивно на тоа, само 38% и 31% сметале дека ориганото и маслото од бор се компатибилни, соодветно. Неколку учесници забележале дека компатибилноста „зависи од сортата мед“, што имплицира дека основниот извор на цвет и интензитетот на екстрактот треба да се оптимизираат.

Ова го зајакнува концептот на сензорна конгруенција, каде што комбинациите на вкусови што делат совпаѓачки испарливи соединенија (на пр., линалоол, гераниол) се перципираат како хармонични (Chambers IV & Koppel, 2013). Лавандата и рузмаринот содржат терпеноиди природно присутни во многу видови мед, што ја објаснува нивната поголема интеграција и прифатливост (Jerković & Kuš, 2014).

### **Перцепција за здравјето и функционалноста**

Надвор од хедонизмот, 71% од учесниците верувале дека додавањето природни екстракти ќе ја зголеми медицинската или функционалната вредност на медот. Ова перцепција била најсилна за жалфијата (82%) и рузмаринот (78%), кои имаат долга етномедицинска употреба за респираторна и имунолошка поддршка. Резултатот го илустрира ефектот на ореол за здравје, каде што потрошувачите им припишуваат дополнителни придобивки за благосостојба на производите што се сметаат за природни или билни (Фернан и др. 2018). Овој став е особено вреден за позиционирање билен мед во сегментот на пазарот на функционална храна.

### **Подготвеност за купување и наменета употреба**

Мнозинство ( $\approx 68\%$ ) изразиле подготвеност да купат ароматизиран мед, во

зависност од разумните цени и автентичноста на производот. Преферираните контексти на употреба вклучуваат чај (84%), леб или тост (72%) и десерти (61%), што ја потврдува разновидната улога на медот и како засладувач и како ароматни агенс. Помал дел (38%) навеле дека би купиле такви производи како подароци истакнувајќи потенцијални можности за нишен маркетинг за премиум, занаетчиски или мед со брендови за велнес.

Перцепцијата за цените беше умерена: повеќето испитаници го сметаа збогатениот мед за „средно“ до „донекаде скап“. Сепак, квалитативните коментари открија прифаќање на повисоки цени кога се оправдани со природно потекло и здравствени придобивки, што се совпаѓа со претходните истражувања на потрошувачите кои нагласуваат диференцијација на додадена вредност (Baker et al. 2022).

## 8. ДИСКУСИЈА ЗА РЕЗУЛТАТИТЕ

Главниот фокус на оваа студија е истражување на интеграцијата на спектроскопија во близок-инфрацрвен (NIR) спектар и хеометриски техники за евалуација на мед збогатен со ароматични растенија, со цел да се проценат промените во неговите физичко-хемиски својства, бојата, вкупната фенолна содржина (total phenolic content-TPC) изразена во еквиваленти на гална киселина (gallic acid equivalents-GAE), антиоксидантната активност и тешките метали. Ова истражување опфаќа примероци од мед од Косово, Албанија и Македонија, испитувајќи како ботаничките и географските варијабли влијаат врз квалитетот на медот.

Податоците откриваат значителни варијации меѓу примероците од мед од различни региони, што е во согласност со неодамнешните студии (Raweh et al. 2023; Sharma et al. 2024; Brelis et al. 2023). Косовскиот мед покажа поголема спроводливост и содржина на пепел, што укажува на побогати минерални профили, веројатно поради локалните цветни извори или условите на животната средина. Сите вредности на содржината на пепел беа под 0,6%, што е максималната дозволена вредност за цветен мед (Brelis et al. 2023). Во меѓувреме, северно-македонскиот мед покажаа малку повисоки нивоа на влага и рН вредност, што укажува на различен состав на нектар (Abebe, 2022).

Албанските примероци одржуваа поконзистентна содржина на шеќер и посветла боја, што се совпаѓа со порамномерна боја на примероците. Влијанието на додавањето ароматични растенија, имено: рузмарин, лаванда, оригано, жалфија и масло од бел бор, беше значајно во сите тестирани параметри. Дури и при ниски концентрации (0,5%), овие екстракти ги изменија визуелните карактеристики на медот, што е очигледно преку вредностите на бојата на Хантер и мерењата на  $\Delta E$  (Mokrzycki & Tatol, 2011). Ова не само што влијае врз продажбата, туку може да сигнализира и основни промени во составот (Sharma et al. 2024; Brelis et al. 2023).

Накратко, податоците покажуваат дека додавањето ароматични растенија може значително да го зголеми антиоксидантниот потенцијал на медот, мерено со инхибиција на DPPH. Сепак, овој ефект е многу специфичен за видот на растението, концентрацијата и матрицата на мед. Маслото од див бор и жалфијата се меѓу најдоследно најефикасните адитиви, додека рузмаринот, лавандата и ориганото покажуваат варијабилни перформанси. Овие наоди ја нагласуваат потребата од целна формулација при развој на функционални производи од мед со подобрени антиоксидантни својства. Тоа што секако

се очекуваше беше промена во антиоксидантниот капацитет со додавање ароматични билки (Quintero-Rincón et al. 2025; Durmishi et al. 2023) и антиоксидантната активност, мерена со методот DPPH.

Антиоксидантната активност значително се подобри со вклучувањето на ароматични екстракти, што ја поддржува хипотезата дека растителните адитиви можат да ги подобрат функционалните својства на медот. Корелацијата помеѓу концентрацијата и зголемениот антиоксидативен капацитет беше особено евидентна на ниво на додавање од 1%. Ова укажува на потенцијален пат за развој на функционална храна со додадена вредност, привлечна за потрошувачите кои се свесни за здравјето. Сепак, не е пронајден јасен линеарен тренд каде што со зголемување на концентрацијата на додадени билки, медот има сè посилен антиоксидантна активност, што најверојатно е последица од нееднаквата распределба и големината на честичките на прашоците од додадените билки (Kolayli et al. 2024; Biswas & Chaudhari, 2024).

Употребата на хеометрија, особено анализата на главните компоненти (PCA) и регресијата на парцијални најмали квадрати (PLS), се покажа како клучна за разбирање на сложениот, високодимензионален збир од податоци (Czernicka et al. 2024; Everstine et al. 2022). PCA овозможи групирање примероци врз основа на спектрални и физичко-хемиски сличности, додека моделите на регресија на PLS покажаа висока предикативна моќ за параметрите на квалитетот, со вредности на R<sup>2</sup> близу до 1 (Puścion-Jakubik et al. 2020; Beretta et al. 2005; Klinar et al. 2024), за неколку карактеристики, како што се: содржината на пепел, антиоксидантната активност и киселоста.

Нашето истражување истакнува дека NIR, кога е поврзан со хеометриски алатки, нуди недеструктивна, брза и еколошка алтернатива на традиционалните аналитички техники, како што е потврдено и во други студии (Czernicka et al. 2024; Sowa et al. 2019; Basri et al. 2017; Everstine et al. 2024). Ова е особено вредно за контрола на квалитетот во реално време во средини за производство на храна (Everstine et al. 2024; Puścion-Jakubik et al. 2020; Dikme, 2023). Друг значаен придонес на оваа работа е демонстрацијата на географска следливост. Моделот PLS-DA успешно го разликува потеклото на медот со точност од над 96%, особено силно кај примероците од Албанија.

Оваа способност е клучна во борбата против измамите со храна и зголемувањето на довербата на потрошувачите (Raweh et al. 2023; Brelis et al. 2023). Со поврзување на спектралните податоци со потеклото и составот, системот би можел да се прошири во протоколи за автентикација низ целиот синџир на снабдување со мед. Иако оваа студија

дава солидни сознанија, постојат некои ограничувања: (i) географска тесност (примероците се по потекло од Косово, Албанија и Македонија, што потенцијално ја ограничува генерализацијата на нашите заклучоци); (ii) ограничен опсег на додадени билки (тестирани се само пет ароматични билки во три различни концентрации, а не е извршена сензорна и микробиолошка анализа); (iii) форма на додадени примероци (прав и масло, со кои требаше да се симулира „домашен“ препарат) што, исто така, може да влијае врз мерењата поради големината на честичките).

Во сензорната евалуација, можевме да ги оцениме само исклучително пријатните мириси на препаратите, но не беше извршена нивна евалуација или евалуација на вкусот. Ова е секако неопходно ако збогатениот меден препарат треба да им се понуди на потрошувачите. Понатаму, не беа длабоко истражени варијаблите на животната средина како што се сезонската зависност и складирањето, што би можело да влијае врз репродуктивноста на резултатите (Prasedya et al. 2021; Kocalka, 2024).

Генерално, интеграцијата на NIR и хеометријата претставува значаен напредок во анализата на медот, комбинирајќи ја научната ригорозност со потенцијалот за практична примена (Caredda et al. 2024).

Важноста на фенолните компоненти е одразена во серија студии кои ги поддржуваат нивните здравствени придобивки (Nobahar et al. 2021). Во оваа студија, вкупната содржина на феноли (TPC) беше изразена во еквиваленти на гална киселина (GAE), стандарден пристап што го олеснува споредувањето меѓу студиите. Нашите наоди потврдуваат дека и географското потекло и ботаничкото збогатување значително влијаат врз фенолниот профил на медот.

Имено, медот збогатен со оригано и рузмарин покажа највисока TPC, што е во согласност со постојната литература за силните антиоксидантни својства на овие билки. Овие примероци богати со феноли веројатно придонесуваат за зголемен антиоксидативен потенцијал, делумно поради нивната способност да хелираат прооксидантни метали, со што ги заштитуваат клеточните структури од оксидативен стрес (Nobahar et al. 2021; Goncharuk & Zagoskina, 2023).

Од друга страна, здравата храна, како што е медот, може да содржи непосакувани елементи кои се присутни како резултат од загадување и/или мешање со растенија кои, исто така, се лековити, но содржат високо ниво на тешки метали (кои, исто така, завршиле во растението поради загадување на воздухот, водата и/или почвата). Затоа,

важноста на нивното откривање е клучна.

Тешките метали се хемиски елементи кои генерално се опасни за здравјето на луѓето и животната средина, а клучните елементи во оваа група вклучуваат олово (Pb), кадмиум (Cd), кобалт (Co), хром (Cr), бакар (Cu), железо (Fe), арсен (As), никел (Ni), цинк (Zn) и жива (Hg) (Mititelu et al. 2025; Scutaras u et al. 2023). Поради проширувањето на индустриите, интензивното земјоделство и автомобилскиот сообраќај, нивоата на овие загадувачи во животната средина значително се зголемија (Gajdoš Kljusurić et al. 2025), што претставува сериозен проблем поради потенцијалните ризици за потрошувачите и потребата од континуирано следење.

Тешките метали не се раствораат лесно и се акумулираат во животната средина, што ги прави подвижни и подложни на биоаккумуляција во водните ресурси и, следствено, во храна како што се: зеленчук, месо, риба и млеко (Nobahar et al. 2021). Откако ќе влезат во телото, тие се оксидираат и формираат стабилни врски со ензими или протеински молекули, што доведува до дисфункции, абнормалности или оштетувања (Gajdoš Kljusurić et al. 2025; Fearn, 2002; Nyarko et al. 2022; Nyarko et al. 2022; Sundaram et al. 2015; Sundaram et al. 2015; Nobahar et al. 2021). Медот се смета за корисен биоиндикатор за загадување на животната средина, кој се користи за процена на присуството на неоргански и органски загадувачи.

Пчелите, кои патуваат до 5 до 10 км во потрага по храна, се многу подложни на загадувачи од загадени растенија, почва, вода и воздух, претворајќи ги во мед и други пчелни производи. Затоа, анализата на медот овозможува следење на контаминацијата во областите каде што се наоѓаат пчеларници (Naccari et al. 2025; Šerevičienė et al. 2022). Тешките метали се потенцијално токсични во големи количини или подолготрајна изложеност.

Овие елементи можат да се движат и концентрираат во различни органи, што доведува до разни здравствени проблеми, на пример, Pb влијае на нормалната активност на ензимите и е поврзан со канцерогенеза, мутагенеза и тератогенеза кај експериментални животни (Goncharuk & Zagoskina, 2023). Cd е кумулативен токсикант кој влијае врз уринарниот и респираторниот систем (Fearn, 2002). Токсичноста на Cr се однесува на алергиски реакции, анемија, патофизиолошки дефекти, изгореници и респираторни и гастроинтестинални карциноми (Nobahar et al. 2021). Co се акумулира во човечкото тело и предизвикува алергиски контактен дерматитис, астма, хепатотоксичност, губење на меморијата, срцеви заболувања и намалена плодност

(Mititelu et al. 2025), а токсичноста на Ni вклучува главоболки, вртоглавица и тахикардија (Goncharuk, EA; Zagoskina, 2023).

Во табелата бр. 4.27 наведени се толерантните вредности за внес на тешки метали, затоа, дефинитивно е препорачливо да се провери нивото на тешки метали во растенијата и да се приспособи концентрацијата на додатокот на дневните препораки. Препораките за деца се дури и пониски од наведените, затоа, за оваа популациска група, треба да бидеме исклучително внимателни и одговорни.

**Табела бр. 4.27.** Дозволен дневен внес на тешки метали

Тешки метали	Концентрација (µg/kg BW/day)	Литература (референца)
As	0.3 10-500	Wong et al. 2022; Aghamirlou et al.2015
Cd	1#	Wong et al. 2022
Co	23	Aghamirlou et al.2015
Cr(III)	1500	Wong et al. 2022
Cu	50	Aghamirlou et al.2015
Fe	800	Aghamirlou et al.2015
Ni	5000	Aghamirlou et al.2015
Pb	0.16# 300	Wong et al. 2022 Aghamirlou et al.2015
Zn*	12-15	Aghamirlou et al.2015

BW– телесна маса; #референтна вредност; \* препорачана вредност на ден (без оглед на телесна маса)

Сето погоре наведено укажува на потребата од редовна и брза контрола, што го поттикнува развојот и примената на методи, како што е блиско инфрацрвената спектроскопијаспектар. Нашите резултати потврдуваат дека географското потекло и ботаничкото збогатување значително влијаат врз фенолната содржина на медот, како и врз концентрацијата на тешки метали. Набљудуваните разлики може да се должат на различни услови на животната средина, извори на флора и фенолен профил на додадените растенија. Имено, ориганото и рузмаринот покажуваат најголеми ветувања за функционално подобрување на антиоксидантните својства на медот.

Ваквите наоди го поддржуваат развојот на мед со додадена вредност со подобрени здравствени придобивки (Godebo et al. 2025). Генерално, PCA и корелациските анализи потврдуваат дека и географското потекло и збогатувањето на

растенијата значително влијаат врз хемискиот профил на медот, со импликации за безбедноста и квалитетот на исхраната. Секако, примената на PCA ја потврди нејзината ефикасност и конзистентност во оваа работа, како и во кој било друг збир од податоци (Klinar et al. 2024). Растечката побарувачка на потрошувачите за обезбедување квалитет, автентичност и следливост значително влијае врз глобалниот пазар на мед. Ова е особено важно за премиум производи, како што е медот збогатен со ароматични растителни екстракти, поради нивните дополнителни здравствени придобивки и различни сензорни профили (Tarapatskyu et al. 2021; Czernicka et al. 2024; Tripodi et al. 2025).

Во овој контекст, развојот на брзи, недеструктивни и еколошки техники за анализа на квалитетот на медот е предизвик. За да се реши проблемот со автентикацијата и следливоста на храната, развиени се различни аналитички методологии (Tripodi et al. 2025). Меѓу нив, примената на технологија во близу инфрацрвениот спектар во индустријата за свежа храна и преработка на храна се појави во последните децении. Бројни студии ја покажаа ефикасноста на NIR спектроскопијата, во комбинација со хеометриски алатки, во предвидувањето на различни физичко-хемиски својства, сите клучни за процена на квалитетот на медот (Careda et al. 2024; Valinger et al. 2021; Biancolillo et al. 2020; Escuredo et al. 2013; Belščak-Cvitanović et al. 2017; Escuredo et al. 2021; Rysha et al. 2022).

Примената на NIR спектроскопијата во квантификацијата на биоактивни соединенија, како што е вкупната содржина на полифеноли е истражена за различни растителни екстракти и прехранбени матрици (Johnson et al. 2023; Fodor et al. 2024). NIR спектралните региони се погодни за оваа намена поради нивната чувствителност на вибрациите на O–H, C–H и N–H врските, кои се вообичаени кај: шеќерите, водата, органските киселини, протеините и полифенолите (Fodor et al. 2024; Dufour, 2009; Abbas et al. 2017). Сепак, толкувањето на NIR спектрите станува тешко поради сложената матрица што произлегува од комбинацијата на мед и растителни екстракти. Разновидниот спектар на биоактивни соединенија како резултат од новата матрица може значително да го промени целокупниот спектрален отпечаток на медот, што бара методи за анализа на податоци со повеќе варијанти (Valinger et al. 2021; Johnson et al. 2023).

Надвор од општите параметри за квалитет, присуството на тешки метали во медот претставува критична загриженост за безбедноста на потрошувачите и интегритетот на производот. Тешките метали, како што се: Pb, Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Mn се

токсични загадувачи кои можат да навлезат во медот преку различни еколошки патишта, како и преку контаминирани практики за пчеларство или опрема за преработка (Mititelu et al. 2025; Godebo et al. 2025). Иако NIR спектроскопијата се покажа како многу ефикасна за предвидување на различни органски состојки во медот, нејзината директна примена за квантифицирање на тешките метали е предизвикувачка бидејќи овие неоргански елементи не покажуваат карактеристични вибрациони нијанси во NIR регионот.

Иако високите концентрации на одредени тешки метали може индиректно да влијаат врз NIR спектралниот отпечаток со менување на органската матрица на медот, NIR спектроскопијата не може да се користи за директна квантификација. Сепак, во комбинација со попрецизни аналитички техники, како што се: индуктивно поврзана плазма, масена спектрометрија или атомска апсорпциона спектрометрија, може да се примени како метод за скрининг на тешки метали (Bora et al. 2023; Daci-Ajvazi et al. 2017; Guindo et al. 2021). Како заклучок, наодите се совпаѓаат со тие на други студии (Valinger et al. 2021; Klinar et al. 2024; Vaudour et al. 2018) во потврдувањето на корисноста на NIR спектроскопијата за брза хемиска анализа.

Уредите на маса постојано испорачуваат супериорни перформанси, додека преносните уреди обезбедуваат практични, иако малку помалку прецизни, алтернативи за процени на терен. Ова ја поддржува пошироката употреба на NIR алатките и за лабораториски и за аналитички потреби на самото место. Иако оваа студија дава увид во разновидноста на квалитетот на медот (гледајќи ја содржината на метали, минерали и вкупни феноли) во збогатен мед со ароматични растенија, дефинитивно треба да се истакнат следниве ограничувања: (i) ограничен опсег и концентрации на додадени билки (тестирани се само три, произволно избрани концентрации за пет ароматични растенија, за кои вредностите на квалитативните параметри не беа споредени со границите, што е клучно за безбедноста на храната), (ii) чувствителност на примерокот (на влажност, температура) и (iii) употреба на два NIR уреди (кои собираат помалку податоци во NIR спектарот и секако вредностите на RPD за десктоп и преносните уреди немаат иста „тежина“.

Иако беше спроведен тест за репродуктивност и повторување кој не покажа значајни разлики, фотографиите бр. S3 и S4 (во анекс бр. 3) покажуваат дека отстапувањата на примероците за тестирање, исто така, имаа статистички значајни отстапувања во предвидените концентрации на тешки метали (Cd, Pb и Co) во споредба

со тие утврдени во лабораторијата ( $p < 0,05$ ).

Генерално, NIR уредот на работна површина нуди поголема сигурност во класификацијата и на потеклото и на додатоците на ароматични растенија. Сепак, преносливиот уред покажува ветувачки ефект, особено во полеви услови, особено за класификација на потеклото, иако треба да се забележат неговите ограничувања во откривањето специфични адитиви.

Со оглед дека NIR спектроскопијата детектира варијации во хемискиот состав поврзани со додадените растителни екстракти и потеклото на медот, очекувано е овие разлики да се манифестираат и во сензорните својства што ги перцепираат потрошувачите. Оваа поврзаност помеѓу инструменталните и сензорните параметри ја оправдува интегрираната анализа на NIR и сензорните податоци во процената на функционалниот и пазарниот потенцијал на збогатениот мед.

Комбинираното разгледување на NIR и сензорните резултати укажува дека прифаќањето од страна на потрошувачите претставува мултидимензионален концепт, обликуван од хедонистички (вкус и арома) и когнитивни фактори (перцепција за здравствена вредност, природност и чесна цена). Од аспект на развој на производи, се забележуваат различни сензорни синергии помеѓу медот и растителните адитиви.

Екстрактите од лаванда и рузмарин покажуваат оптимална сензорна синергија со медот подобрувајќи ја аромата и вкусот без да го нарушат природниот идентитет.

Жалфијата нуди умерено прифаќање и силен потенцијал за здравствена перцепција, што заслужува оптимизација на формулацијата (на пр., пониска концентрација, мешање со цветен мед).

Медот од оригано и борово масло бара преформулирање за да се ублажат преголемите испарливи материји или горчината, потенцијално преку микроенкапсулација, контролирана инфузија или мешање со поблаги екстракти.

Од теоретска гледна точка, овие резултати го поддржуваат моделот на очекување-непотврдување на задоволството на потрошувачите: производите што ги исполнуваат сензорните очекувања (пријатна конгруенција на арома/вкус) генерираат позитивен афект и намера за купување, додека сензорното несовпаѓање (премногу силни или лековити ноти) води до отфрлање (Schiebler et al. 2025).

Покрај тоа, интеграцијата на биофункционалната привлечност со сензорното

задоволство е од суштинско значење. Потрошувачите се отворени за иновации, но остануваат чувствителни на отстапувања од традиционалниот профил на мед (Bratosin et al. 2025).

Кога би направиле споредба со литературата, постојат модели на мед со билки и нивно сензорно прифаќање од страна на Wilczyńska et al. (2017) и Kumar et al. (2023), каде што лавандата и рузмариот постигнаа највисоки хедонистички резултати меѓу тестираните ботанички додатоци. Слично на тоа, студиите за полифлорален мед збогатен со есенцијални масла покажа поголема желба на потрошувачите за примероци со цветни, наместо зачинети или смолести испарливи материи (Lazăr et al. 2022).

Овие конзистентности ја потврдуваат робусноста на тековните наоди и ја позиционираат аромата на билки како ветувачка насока за валоризација и диференцијација на мед на пазарите на функционална храна.

### **Ограничувања и идни истражувања**

Иако големината на примерокот ( $n = 100$ ) дава сигурна процена на преференциите на потрошувачите, понатамошните истражувања треба да земат предвид:

- Инструментална анализа на испарливи материи (GC-MS) за корелација на хемискиот состав со сензорните резултати;
- Меѓукултурни студии на потрошувачите за испитување на регионалните разлики во толеранцијата на вкусови;
- Тестови за лонгитудинална сензорна стабилност за да се процени задржувањето на аромата за време на складирањето;
- Оптимизација на концентрацијата на екстрактот користејќи методологија на површина на одговор за максимизирање на прифаќањето.

## 9. ЗАКЛУЧОЦИ

Оваа студија обезбеди сеопфатна евалуација на мед збогатен со ароматични растенија од Косово, Албанија и Македонија, фокусирајќи се врз физичко-хемиските параметри, бојата, вкупната содржина на феноли (TPC), антиоксидантната активност, концентрациите на тешки метали, сензорната евалуација и потенцијалот на спектроскопија во близок инфрацрвен (NIR) спектар во комбинација со хеометриско моделирање за процена на квалитетот и автентикација. Главната цел беше да се придонесе кон воспоставување стандардизирани методологии за евалуација на квалитетот и автентичноста на функционалниот мед.

### 1. Влијание на збогатувањето на ароматични растенија врз физичко-хемиските својства

Додавањето ароматични растителни екстракти покажа ефекти специфични за растенијата и ефекти зависни од концентрацијата врз физичко-хемиските својства на медот:

- Маслото од див бор ја зголемува рН вредноста и ги намалува атрибутите на киселост и влага, што може да ја зголеми стабилноста и рокот на траење.
- Екстрактот од рузмарин има тенденција да ја зголеми и киселоста и влагата, особено при концентрација од 0,8%.
- Екстрактот од лаванда ги намали рН, °Vrix и спроводливоста, особено при повисоки концентрации.
- Екстрактите од оригано умерено го зголемија °Vrix и ја подобрија антиоксидантната инхибиција, во зависност од основниот мед.
  - Екстрактот од жалфија одржуваше °Vrix вредности блиску до контролните, со само мало намалување на рН вредноста и спроводливоста.

Овие наоди укажуваат дека збогатувањето влијае не само врз антиоксидантните својства, туку и врз основните параметри за квалитет на медот. Меѓу проучуваните растенија, жалфијата се покажа како најбалансиран додаток, подобрувајќи го антиоксидантниот потенцијал, а воедно зачувувајќи ја целокупната физичко-хемиска стабилност.

### 2. Антиоксидантна активност и вкупна содржина на феноли (TPC)

Антиоксидантната инхибиција (I%) кај збогатениот мед е под влијание на

комплексна интеракција на фактори вклучувајќи го видот на растението, концентрацијата и вродените својства на основниот мед.

- Збогатувањето со оригано, рузмарин и жалфија значително ги зголеми вредностите на ТРС.
- Ориганото покажа највисок медијален ТРС меѓу збогатените примероци.

Крускал-Валис Н-тестот ( $H = 6,68$ ,  $p = 0,0355$ ) потврди статистички значајни разлики во ТРС меѓу регионите, што веројатно одразува разлики во разновидноста на флората и условите на животната средина.

Затоа, оптимизирањето на видот и концентрацијата на ароматични растителни адитиви е клучно за максимизирање на функционалните квалитети на медот, особено антиоксидантниот капацитет.

### **3. Содржина на тешки метали и безбедносни аспекти**

Студијата, исто така, истакна важни безбедносни импликации во врска со присуството на тешки метали.

Железото (Fe) и цинкот (Zn) беа најзастапени метали во сите медови, при што највисоки концентрации на Fe беа откриени во примероците од Албанија (16 mg/kg).

Збогатувањето понекогаш ги зголемува концентрациите на тешки метали: оловото (Pb) било највисоко во медовите збогатени со рузмарин и оригано, додека нивоата на никел (Ni) значително се зголемиле со додавање оригано, масло од бел бор и жалфија.

Овие наоди ја нагласуваат потребата од континуирано следење на тешките метали бидејќи збогатувањето може ненамерно да внесе или концентрира загадувачи, што претставува потенцијален ризик врз здравјето.

### **4. Применливост на NIR спектроскопија и хеометриско моделирање**

NIR спектроскопијата се покажа како моќна, брза и недеструктивна аналитичка техника за проценка на параметрите за квалитет како што се ТРС, антиоксидантна активност и боја.

Хеометриските алатки (PCA и PLS) ефикасно правеа разлика помеѓу чистиот и збогатениот мед и прецизно ги предвидоа параметрите за квалитет.

Бенчтоп NIR уредите нудеа поголема прецизност и сигурност, додека преносните NIR инструменти обезбедија практични решенија за теренски процени, поддржувајќи ја интеграцијата на NIR технологијата во лабораториски и теренски средини.

Спектралната анализа, исто така, откри потенцијал за индиректно следење на металните јони врзани за органски матрици преку промени во вибрациите на О-Н и С-Н врските, подобрувајќи ја способноста на NIR како алатка за скрининг на комплексни хемиски матрици.

## **5. Географска и ботаничка диференцијација**

И географското потекло и ботаничкото збогатување значително влијаеле врз фенолните и антиоксидантните профили на медот. Медот од Косово покажал највисоки вредности на ТРС вкупно, додека тој од Албанија содржел повисоки нивоа на Fe и Ni. Овие наоди обезбедуваат научна основа за системи за означување и автентикација на географското потекло, кои се сè поважни за довербата на потрошувачите и диференцијацијата на пазарот.

## **6. Сензорна евалуација и прифатливост од страна на потрошувачите**

Сензорното тестирање во кое беа вклучени 100 потрошувачи покажа дека медот збогатен со екстракти од лаванда и рузмарин постигнал највисоки оценки за арома, вкус и целокупна прифатливост.

Спротивно на тоа, медот збогатен со оригано и масло од бор, иако потенцијално нуди посилна биоактивност, беше помалку фаворизиран поради интензивните или неурамнотежените профили на вкус.

Ова ја истакнува потребата од балансирање на функционалното подобрување со сензорната хармонија осигурувајќи дека билни ноти ја надополнуваат, а не ја надминуваат природната сладост и арома на медот.

## **7. Општи импликации и идни насоки**

Заедно, резултатите потврдуваат дека збогатувањето со ароматични растенија може да ја подобри функционалната вредност на медот, но исто така воведува предизвици поврзани со рамнотежата на составот и безбедноста.

NIR спектроскопијата, особено кога е интегрирана со хеометриско

моделирање, претставува одржлив, ефикасен и неинвазивен метод за процена на квалитетот на медот, верификација на автентичноста и усогласеност со регулативите.

Идните истражувања треба:

- да воспостават регулаторни прагови за збогатени производи од мед,
- понатамошно истражување на долгорочната безбедност и биорасположивоста на билни компоненти,
- развивање на стандардизирани протоколи за мониторинг базиран врз NIR,
- да го прошират сензорното профилирање низ пошироки потрошувачки групи и културни контексти.

Како заклучок, оваа работа обезбедува научна основа за развој на стандардизирани методологии во функционалното производство на мед, обезбедување квалитет и заштита на потеклото, што во крајна линија поддржува иновации и транспарентност на глобалниот пазар на мед.

## КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

1. Abbas O., Compère G., Larondelle Y., Pompeu D., Rogez H., Baeten V. (2017). Phenolic compound explorer: A mid-infrared spectroscopy database. *Vib. Spectrosc.* 92, 111–118.
2. Abbas Q., Al-Thawadi S. M., S. Perna S. Chapter 5: Phytochemicals in the Management of Diabetes. *The Royal Society of Chemistry*, 2022, ch. 5, pp. 128-164. Special Collection: 2022 ebook collection. <https://doi.org/10.1039/9781839165498-00128>.
3. Abebe T. (2022). Characterization of Beekeeping Systems, Flora Calendar and Honey Quality Determination around Ellala Forest in Guangua Woreda, Awi Zone, Amhara Regional State, Ethiopia. Doctoral Dissertation, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia, 2022.
4. Abouelenein D., Acquaticci L., Spinozzi E., Santanatoglia A., Khamitova G., Mustafa A. M., Cespi M., Preziuso S., Bianchi L., Maggi F., Caprioli G. (2025). Analysis of the Phenolic Compounds, Volatile Profile, and Evaluation of the Antioxidant Activity of 18 Different Varieties of Honey from the Italian Market. *Plants*, 14(19), 3109. <https://doi.org/10.3390/plants14193109>.
5. Acquarone C., Buera P., Elizalde B. (2007). Pattern of pH and electrical conductivity upon honey dilution as a complementary tool for discriminating geographical origin of honeys. *Food Chemistry*, 101, 695–703.
6. Aga M. B., Sharma V., Dar A. H., Dash K. K., Singh A., Shams R., Khan S. A. (2023). Comprehensive review on functional and nutraceutical properties of honey. *eFood*, 4(2), e71. <https://doi.org/10.1002/efd2.71>.
7. Aghamirlou H.M., Khadem M., Rahmani A., Sadeghian M., Mahvi A.H., Akbarzadeh A., Nazmara S. (2015). Heavy metals determination in honey samples using inductively coupled plasma-optical emission spectrometry. *J. Environ. Health Sci. Eng.* 13, 39.
8. Ahmed S., Sulaiman S.A., Baig A.A., Ibrahim M., Liaqat S., Fatima S., Jabeen S., Shamim N., Othman N.H. (2018). Honey as a Potential Natural Antioxidant Medicine: An Insight into Its Molecular Mechanisms of Action. *Oxid Med Cell Longev.* 2018:8367846. <https://doi.org/10.1155/2018/8367846>.
9. Ajibola A., Chamunorwa J.P., Erlwanger K.H. (2012). Nutraceutical values of natural honey and its contribution to human health and wealth. *Nutr Metab (Lond).* 20; 9:61. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-9-61>.

10. Alaerjani W.M.A., Abu-Melha S., Alshareef R.M.H., Al-Farhan B.S., Ghramh H.A., Al-Shehri B.M.A., Bajaber M.A., Khan K.A., Alrooqi M.M., Modawe G.A., Mohammed M.E.A. (2022). Biochemical Reactions and Their Biological Contributions in Honey. *Molecules*. 27(15):4719. <https://doi.org/10.3390/molecules27154719>.
11. Alcoléa M., Santana Junior M.B., Oliveira K.A.M., Tussolini L., Leite M.A.G., Honorio-França A.C., França E.L., Pertuzatti P.B. (2024). Bioactive compounds of honey from different regions of Brazil: the effect of simulated gastrointestinal digestion on antioxidant and antimicrobial properties. *Food Function*. 15(3):1310-1322. <https://doi.org/10.1039/d3fo03620k>.
12. Alevia M., Rasines S., Cantero L., Sancho M. T., Fernández-Muiño M. A., Osés S. M. (2021). Chemical Extraction and Gastrointestinal Digestion of Honey: Influence on Its Antioxidant, Antimicrobial and Anti-Inflammatory Activities. *Foods*, 10(6), 1412. <https://doi.org/10.3390/foods10061412>.
13. Alghamdi M., Gutierrez J., Komarnytsky S. (2023). Essential minerals and metabolic adaptation of immune cells. *Nutrients*, 15, 123. <https://doi.org/10.3390/nu15010123>.
14. Aghamirlou H.M., Khadem M., Rahmani A., Sadeghian M., Mahvi A.H., Akbarzadeh A., Nazmara S. (2015). Heavy metals determination in honey samples using inductively coupled plasma-optical emission spectrometry. *J Environ Health Sci Eng*. 13:39. <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0189-8>.
15. Al-Kafaween M.A., Alwahsh M., Mohd Hilmi A.B., Abulebdah D.H. (2023). Physicochemical Characteristics and Bioactive Compounds of Different Types of Honey and Their Biological and Therapeutic Properties: A Comprehensive Review. *Antibiotics (Basel)*. 6;12(2):337. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12020337>.
16. Almasaudi S. (2021). The antibacterial activities of honey. *Saudi J Biol Sci*. 28(4):2188-2196. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.10.017>.
17. Alshareef R. M. H., Al-Farhan B. S., Mohammed M. E. A. (2022). Glucose Oxidase and Catalase Activities in Honey Samples from the Southwestern Region of Saudi Arabia. *Applied Sciences*, 12(15), 7584. <https://doi.org/10.3390/app12157584>.
18. Alvarez-Suarez J.M., Tulipani S., Romandini S., Bertoli E., Battino M. (2010). Contribution of honey in nutrition and human health: A review. *Mediterr J Nutr Metab*. 3:15–23. <https://doi.org/10.1007/s12349-009-0051-6>.

19. Andrade J.M., Faustino C., Garcia C., Ladeiras D., Reis C.P., Rijo P. (2018). *Rosmarinus officinalis* L.: an update review of its phytochemistry and biological activity. *Future Sci OA*. 4(4): FSO283. <https://doi.org/10.4155/fsoa-2017-0124>.
20. Anupama, D., Bhat, K. K., & Sapna, V. K. (2003). Sensory and physico-chemical properties of commercial samples of honey. *Food Research International*, 36,183–191.
21. Aryal D., Joshi S., Thapa N.K., Chaudhary P., Basaula S., Joshi U., Bhandari D., Rogers H.M., Bhattarai S., Sharma K.R., Regmi B.P., Parajuli N. (2024). Dietary phenolic compounds as promising therapeutic agents for diabetes and its complications: A comprehensive review. *Food Sci Nutr*. 12(5):3025-3045. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3983>.
22. Assaggaf H.M., Naceiri Mrabti H., Rajab B.S., Attar A.A., Hamed M., Sheikh R.A., Omari N.E., Menyiy N.E., Belmehdi O., Mahmud S., Alshahrani M.M., Park M.N., Kim B., Zengin G., Bouyahya A. (2022). Singular and Combined Effects of Essential Oil and Honey of *Eucalyptus Globulus* on Anti-Inflammatory, Antioxidant, Dermatoprotective, and Antimicrobial Properties: In Vitro and In Vivo Findings. *Molecules*. 11;27(16):5121. <https://doi.org/10.3390/molecules27165121>.
23. AOAC 969.38-1969, Moisture in Honey. Available online: [http://www.aoacofficialmethod.org/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=2876](http://www.aoacofficialmethod.org/index.php?main_page=product_info&products_id=2876) (accessed on 15 November 2024).
24. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). *Official Methods of Analysis International*, 17th ed.; AOAC: Washington, DC, USA, 2000.
25. Aykas D.P. (2023). Determination of Possible Adulteration and Quality Assessment in Commercial Honey. *Foods*. 12, 523.
26. Baker M. T., Lu P., Parrell, J. A., Leggette H. R. (2022). Consumer Acceptance toward Functional Foods: A Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1217. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031217>.
27. Ball D.W. (2007). The chemical composition of honey. *J Chem Educ*. 84(10):1643–6. <https://doi.org/10.1021/ed084p1643>.
28. Basri K.N., Hussain M.N., Bakar J., Sharif Z., Khir M.F.A., Zoolfakar A.S. (2017). Classification and quantification of palm oil adulteration via portable NIR spectroscopy. *Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc*. 173, 335–342.

29. Batiha G.E., Teibo J.O., Wasef L., Shaheen H.M., Akomolafe A.P., Teibo T.K.A., Al-Kuraishy H.M., Al-Garbeeb A.I., Alexiou A., Papadakis M. (2023). A review of the bioactive components and pharmacological properties of *Lavandula* species. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol.* 396(5):877-900. <https://doi.org/10.1007/s00210-023-02392-x>.
30. Beć K. B., Grabska J., Huck C. W. (2020). Near-Infrared Spectroscopy in Bio-Applications. *Molecules*, 25(12), 2948. <https://doi.org/10.3390/molecules25122948>.
31. Beć K.B., Grabska J., Huck C.W. (2022). Miniaturized NIR Spectroscopy in Food Analysis and Quality Control: Promises, Challenges, and Perspectives. *Foods*. 11, 1465. <https://doi.org/10.3390/foods11101465>.
32. Becerril-Sánchez A.L., Quintero-Salazar B., Dublán-García O., Escalona-Buendía H.B. (2021). Phenolic Compounds in Honey and Their Relationship with Antioxidant Activity, Botanical Origin, and Color. *Antioxidants (Basel)*. 10(11):1700. <https://doi.org/10.3390/antiox10111700>.
33. Belščak-Cvitanović A., Valinger D., Benković M., Jurinjak Tušek A., Jurina T., Komes D. (2017). Gajdoš Kljusurić, J. Integrated approach for bioactive quality evaluation of medicinal plant extracts using HPLC-DAD, spectrophotometric, near infrared spectroscopy and chemometric techniques. *Int. J. Food Prop.* 20, S2463–S2480.
34. Benaiche H., Bouredja N., Terbeche R., Alioua A. (2023). Antibacterial and antifungal activity of *Lavandula angustifolia* and *Thymus vulgaris* essential oils grown in the Algerian west coast. *International Journal of Environmental Studies*, 80(6), 1853–1862. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2251325>.
35. Beretta G., Granata P., Ferrero M., Orioli M., Facino R.F. (2005). Standardization of antioxidant properties of honey by a combination of spectrophotometric/fluorimetric assays and chemometrics. *Anal. Chim. Acta.* 533, 185–191.
36. Berčík J., Horská E., Wang W. R., Chen Y. (2016a). The impact of parameters of store illumination on food shopper response. *Appetite*, 106, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.04.010>.
37. Berčík J., Paluchová J., Vietoris V., Horská E. (2016b). Placing of aroma compounds by food sales promotion in chosen services business. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 10(1), 672--679. <https://doi.org/10.5219/666>.
38. Bertonecelj J., Dobersček U., Jamnik M., Golob T. (2007). Evaluation of the phenolic

content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chemistry* 105 (2007) 822–828. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.060>.

39. Biancolillo A., Marini F., Ruckebusch C., Vitale R. (2020). Chemometric Strategies for Spectroscopy-Based Food Authentication. *Appl. Sci.*10, 6544.

40. Biswas A., Chaudhari S.R. (2024). Exploring the role of NIR spectroscopy in quantifying and verifying honey authenticity: A review. *Food Chemistry*. 445, 138712.

41. Bizerra F.C., Da Silva P.I. Jr., Hayashi M.A. (2012). Exploring the antibacterial properties of honey and its potential. *Front Microbiol.* 3:398. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00398>.

42. Bratosin E. D., Tit D. M., Pasca M. B., Purza A. L., Bungau G., Marin R. C., Radu A. F., Gitea D. (2025). Physicochemical and Sensory Evaluation of Romanian Monofloral Honeys from Different Supply Chains. *Foods*, 14(13), 2372. <https://doi.org/10.3390/foods14132372>.

43. Brelis L.E., Genevois C.E., Primost D., Busch V.M. (2023). Geographical Differentiation of Honeys from Entre Ríos (Argentina) through Physicochemical Analysis: A Scientific Approach for the Characterization and Authentication of Regional Honeys. *Biol. Life Sci. Forum*. 26, 53.

44. Brudzynski K., Abubaker K., Miotto D. (2012). Unraveling a mechanism of honey antibacterial action: polyphenol/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced oxidative effect on bacterial cell growth and on DNA degradation. *Food Chem.* 133(2):329-36. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.035>.

45. Bryś, M. S., Strachecka, A. (2024). The Key Role of Amino Acids in Pollen Quality and Honey Bee Physiology—A Review. *Molecules*, 29(11), 2605. <https://doi.org/10.3390/molecules29112605>.

46. Bobková A., Demianová A., Belej L., Harangozo L., Bobko M., Jurčaga L., Poláková K., Božiková M., Bilčík M., Árvay J. (2021). Detection of Changes in Total Antioxidant Capacity, the Content of Polyphenols, Caffeine, and Heavy Metals of Teas in Relation to Their Origin and Fermentation. *Foods*, 10(8), 1821. <https://doi.org/10.3390/foods10081821>.

47. Bodnár K., Papp B., Sinka D., Fehér P., Ujhelyi Z., Lekli I., Kajtár R., Nacsá F., Bácskay I., Józsa L. (2025). Development of *Salvia officinalis*-Based Self-Emulsifying Systems for Dermal Application: Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Skin Penetration Enhancement. *Pharmaceutics*, 17(2), 140. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17020140>.

48. Bogdanov S., Haldimann M., Luginbühl W., Gallmann P. (2007). Minerals in honey: environmental, geographical and botanical aspects. *J Apic Res.* 46(4):269–75. <https://doi.org/10.1080/00218839.2007.11101407>.
49. Bogdanov S., Ruoff K., Oddo L. P. (2008). Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: A review. *Apidologie*, 35(Suppl. 1), S4–S17. <https://doi.org/10.1051/apido:2004047>.
50. Bogdanov, S., Jurendic, T., Sieber, R., & Gallmann, P. (2008). Honey for nutrition and health: A review. *Journal of the American College of Nutrition*, 27(6), 677–689. <https://doi.org/10.1080/07315724.2008.10719745>.
51. Bogdanov S. (2014). Honey in medicine. *Bee Product Science*, (February), 1–24. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1359950>.
52. Bonsignore G., Martinotti S., Ranzato E. (2024). Honey Bioactive Molecules: There Is a World Beyond the Sugars. *BioTech* (Basel). 13(4):47. <https://doi.org/10.3390/biotech13040047>.
53. Borgonetti V., Pressi G., Bertaiola O., Guarnerio C., Mandrone M., Chiocchio I., Galeotti N. (2022). Attenuation of neuroinflammation in microglia cells by extracts with high content of rosmarinic acid from in vitro cultured *Melissa officinalis* L. cells. *J Pharm Biomed Anal.* 220:114969. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2022.114969>.
54. Borrás-Linares I., Stojanović Z., Quirantes-Piné R., Arráez-Román D., Švarc-Gajić J., Fernández-Gutiérrez A., Segura-Carretero A. (2014). Rosmarinus officinalis leaves as a natural source of bioactive compounds. *Int J Mol Sci.* 15(11):20585-606. <https://doi.org/10.3390/ijms151120585>.
55. Bonsignore G., Martinotti S., Ranzato E. (2024). Honey Bioactive Molecules: There Is a World Beyond the Sugars. *BioTech*, 13(4), 47. <https://doi.org/10.3390/biotech13040047>.
56. Bora F.D., Babeş A.C., Călugăr A., Jitea M.I., Hoble A., Filimon R.V., Bunea A., Nicolescu A., Bunea C.I. (2023). Unravelling heavy metal dynamics in soil and honey: A case study from Maramures, region, Romania. *Foods.* 12, 3577.
57. Bose D., Famurewa A.C., Akash A., Othman E.M. (2024). The Therapeutic Mechanisms of Honey in Mitigating Toxicity from Anticancer Chemotherapy Toxicity: A Review. *J Xenobiot.* 14(3):1109-1129. <https://doi.org/10.3390/jox14030063>.

58. Bucekova M., Buriova M., Pekarik L., Majtan V., Majtan J. (2018). Phytochemicals-mediated production of hydrogen peroxide is crucial for high antibacterial activity of honeydew honey. *Sci Rep.* 8(1):9061. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27449-3>.
59. Caredda M., Ciulu M., Tilocca F., Langasco I., Núñez O., Sentellas S., Saurina J., Pilo M.I., Spano N., Sanna G., Mara A. (2024). Portable NIR Spectroscopy to Simultaneously Trace Honey Botanical and Geographical Origins and Detect Syrup Adulteration. *Foods.* 13(19):3062. <https://doi.org/10.3390/foods13193062>.
60. Castell A., Arroyo-Manzanares N., Guerrero-Núñez Y., Campillo N., Viñas P. (2023). Headspace with Gas Chromatography-Mass Spectrometry for the Use of Volatile Organic Compound Profile in Botanical Origin Authentication of Honey. *Molecules.* 28(11):4297. <https://doi.org/10.3390/molecules28114297>.
61. Cerny, B. A., & Kaiser, H. F. (1977). A study of a measure of sampling adequacy for factor-analytic correlation matrices. *Multivariate Behavioral Research,* 12, 43–47. [https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1201\\_3](https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1201_3).
62. Chaipoot S., Wiriyacharee P., Pathomrungsyounggul P., Kanthakat G., Somjai C., Boonyapranai K., Srinuanpan S., Wongwatcharayothin W., Phongphisutthinant R. (2025). Antioxidant Activity and Chemical Alterations of Honeybee Brood Bio-Peptides Interacting with Honey Under Moist-Dried Thermal Aging. *Antioxidants,* 14(3), 254. <https://doi.org/10.3390/antiox14030254>.
63. Chambers E., IV, Koppel, K. (2013). Associations of Volatile Compounds with Sensory Aroma and Flavor: The Complex Nature of Flavor. *Molecules,* 18(5), 4887-4905. <https://doi.org/10.3390/molecules18054887>.
64. Chentoufi S., Boutagayout A., Benabderrahmane A., Goubi A., Atmani M., El Ghadraoui L. (2025). Comprehensive analysis of physicochemical and phytochemical characterisation of honey from various provinces of Morocco. *International Journal of Environmental Studies,* 1–24. <https://doi.org/10.1080/00207233.2025.2568334>.
65. Cheung Y., Meenu M., Yu X., Xu B. (2019). Phenolic acids and flavonoids profiles of commercial honey from different floral sources and geographic sources. *International Journal of Food Properties,* 22(1), 290–308. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1579835>.
66. Chung, S., Park, T. S., Park, S. H., Kim, J. Y., Park, S., Son, D., Bae, Y. M., & Cho, S. I. (2015). Colorimetric sensor array for white wine tasting. *Sensors,* 15, 18197–18208.

<https://doi.org/10.3390/s150818197>.

67. Cianciosi D., Forbes-Hernández T.Y., Afrin S., Gasparri M., Reboredo-Rodríguez P., Manna P.P., Zhang J., Bravo Lamas L., Martínez Flórez S., Agudo Toyos P., Quiles J.L., Giampieri F., Battino M. (2018). Phenolic Compounds in Honey and Their Associated Health Benefits: A Review. *Molecules*. 23(9):2322. <https://doi.org/10.3390/molecules23092322>.

68. Crocoll C., Asbach J., Novak J. et al. (2010). Terpene synthases of oregano (*Origanum vulgare* L.) and their roles in the pathway and regulation of terpene biosynthesis. *Plant Mol Biol* 73, 587–603. <https://doi.org/10.1007/s11103-010-9636-1>.

69. Coccimiglio J., Alipour M., Jiang Z.H., Gottardo C., Suntres Z. (2016). Antioxidant, Antibacterial, and Cytotoxic Activities of the Ethanolic *Origanum vulgare* Extract and Its Major Constituents. *Oxid Med Cell Longev*. 2016:1404505. <https://doi.org/10.1155/2016/1404505>.

70. Codex Alimentarius Commission. (2001). Codex Standard for Honey (CODEX STAN 12–1981), revised in 1987 and 2001. FAO/WHO. [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCODEX%2B12-1981%252FCXS\\_012e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCODEX%2B12-1981%252FCXS_012e.pdf)

71. Consonni R., Cagliani L.R., Cogliati C. (2012). NMR characterization of saccharides in Italian honeys of different floral sources. *J Agric Food Chem*. 60(18):4526-34. <https://doi.org/10.1021/jf3008713>.

72. Conti M. E. (2000). Lazio region (central Italy) honeys: A survey of mineral content and typical quality parameters. *Food Control*, 11, 459–463. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(00\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(00)00011-6).

73. Council EU. (2002). Council directive 2001/110/EC of 20 December 2001 relating to honey. *Off J Eur Commun*, L10, 47–52.

74. Csikós E, Csekő K, Kemény Á, Draskóczi L, Kereskai L, Kocsis B, Böszörményi A, Helyes Z, Horváth G. (2022). *Pinus sylvestris* L. and *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L. M. Perry Essential Oils Inhibit Endotoxin-Induced Airway Hyperreactivity despite Aggravated Inflammatory Mechanisms in Mice. *Molecules*. 27(12):3868. <https://doi.org/10.3390/molecules27123868>.

75. Cucu A.-A., Baci G.-M., Moise A. R., Dezsi Ş., Marc B. D., Stângaciu Ş., Dezmirean D.

- S. (2021). Towards a Better Understanding of Nutritional and Therapeutic Effects of Honey and Their Applications in Apitherapy. *Applied Sciences*, 11(9), 4190. <https://doi.org/10.3390/app11094190>.
76. Czernicka M. A., Sowa-Borowiec P., Dudek T., Cichoński J., Puchalski C., Chrzanowski G. (2024). Antioxidant Capacity of Honey Enriched by Wildflowers. *Applied Sciences*, 14(5), 2018. <https://doi.org/10.3390/app14052018>.
77. Czipa, N., Phillips, C.J.C., Topa, E. et al. (2025). Release of elements and phenolic and flavonoid compounds from herbs and spices into acacia honey during infusion. *J Food Sci Technol* 62, 167–177. <https://doi.org/10.1007/s13197-024-06019-8>.
78. Daci-Ajvazi M., Mehmeti A., Zeneli L., Daci N. (2017). Evaluation of antioxidant activity, heavy metals and colour intensity of honeys from different parts of Kosovo. *J. Environ. Prot. Ecol.* 18, 737–748.
79. Dalangin R., Kim A., Campbell R.E. (2020). The Role of Amino Acids in Neurotransmission and Fluorescent Tools for Their Detection. *Int J Mol Sci.* 21(17):6197. <https://doi.org/10.3390/ijms21176197>.
80. da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>.
81. Dikme T.G. (2023). Use of medicinal and aromatic plants in food. *Eu. Clin. Anal. Med.* 11, 6–10.
82. Dinu C., Gheorghe S., Tenea A.G., Stoica C., Vasile G.G, Popescu R.L., Serban E.A., Pascu L.F. (2021). Toxic Metals (As, Cd, Ni, Pb) Impact in the Most Common Medicinal Plant (*Mentha piperita*). *Int J Environ Res Public Health.* 18(8):3904. <https://doi.org/10.3390/ijerph18083904>.
83. Dimins F., Cinkmanis I., Radenkovs V., Augspole I., Valdovska A. (2022). Analysis of 18 Free Amino Acids in Honeybee and Bumblebee Honey from Eastern and Northern Europe and Central Asia Using HPLC-ESI-TQ-MS/MS Approach Bypassing Derivatization Step. *Foods*, 11(18), 2744. <https://doi.org/10.3390/foods11182744>.
84. Directive. (2014). /63/EU of the European parliament and of the Council amending Council directive 2001/110/EC relating to honey. *Off. J. Eur. Communities*, 164, 1–5, 2014.

85. Dziuban, C. D., & Shirkey, E. C. (1974). When Is a Correlation Matrix Appropriate for Factor Analysis? Some Decision Rules. *Psychological Bulletin*, 81, 358-361. <https://doi.org/10.1037/h0036316>.
86. Dobros N., Zawada K.D., Paradowska K. (2022). Phytochemical Profiling, Antioxidant and Anti-Inflammatory Activity of Plants Belonging to the *Lavandula* Genus. *Molecules*. 28(1):256. <https://doi.org/10.3390/molecules28010256>.
87. Durmishi B., Knights V., Mehmeti I., Stamatovska V., Nuha D., Rizani S., Bytyçi P., Haziri V., Sadiku V. (2023). Determining the quality of honey in the region of Kosovo with physico-chemical analysis. *Uludağ Arıcılık Derg.* 23, 202–214.
88. Durmishi B., Knights V., Jurina T., Rizani S., Pavlovska G., Mehmeti V., Jurinjak Tušek A., Benković M., Valinger D., Gajdoš Kljusurić J. (2025). Integrated (Statistical) Analysis of Honey Enriched with Aromatic Herbs: Phenolic Profile, Heavy Metal and NIR Spectroscopy. *Processes*, 13(8), 2598. <https://doi.org/10.3390/pr13082598>.
89. Dufour E. (2009). Principles of infrared spectroscopy. In *Infrared Spectroscopy for Food Quality Analysis and Control*; Sun, D.-W., Ed.; Academic Press: Burlington, MA, USA, 1–27.
90. Dziędziński M., Kobus-Cisowska J., Stachowiak B. (2021). Pinus Species as Prospective Reserves of Bioactive Compounds with Potential Use in Functional Food-Current State of Knowledge. *Plants (Basel)*. 10(7):1306. <https://doi.org/10.3390/plants10071306>.
91. Dżugan M., Sowa, P., Kwaśniewska M. et al. (2017). Physicochemical Parameters and Antioxidant Activity of Bee Honey Enriched With Herbs. *Plant Foods Hum Nutr* 72, 74–81. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0593-y>.
92. European Food Safety Authority, 2015 (EFSA). Food Additives and Flavourings. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4090>.
93. El Hajj R., & Estephan N. (2024). Advances in infrared spectroscopy and chemometrics for honey analysis: a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2439055>.
94. El Jery A., Hasan M., Rashid M.M., Al Mesfer M.K., Danish M., Ben Rebah F. (2020). Phytochemical characterization, and antioxidant and antimicrobial activities of essential oil from leaves of the common sage *Salvia officinalis* L. from Abha, Saudi Arabia. *Asian Biomed (Res Rev News)*. 14(6):261-270. <https://doi.org/10.1515/abm-2020-0035>.

95. Erejuwa O.O., Sulaiman S.A., Wahab M.S. (2012). Honey--a novel antidiabetic agent. *Int J Biol Sci.* 8(6):913-34. <https://doi.org/10.7150/ijbs.3697>.
96. Escuredo O., Carmen Seijo M., Salvador J., Inmaculada González-Martín M. (2013). Near infrared spectroscopy for prediction of antioxidant compounds in the honey. *Food Chemistry.* 141, 3409–3414.
97. Escuredo O., Rodríguez-Flores M.S., Meno L., Seijo M.C. (2021). Prediction of Physicochemical Properties in Honeys with Portable Near-Infrared (microNIR) Spectroscopy Combined with Multivariate Data Processing. *Foods.* 10(2):317. <https://doi.org/10.3390/foods10020317>.
98. Estevinho L., Pereira A. P., Moreira L., Dias, L. G., Estevinho J. M. (2008). Antioxidant and antimicrobial effects of phenolic compounds extracts of Northeast Portugal honey. *Food and Chemical Toxicology*, 46(12), 3774–3779. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.09.062>.
99. Eteraf-Oskouei T., Najafi M. (2013). Traditional and modern uses of natural honey in human diseases: a review. *Iran J Basic Med Sci.* 16(6):731-42.
100. EU (2001): Council directive 2001/110/EC of 20 December 2001 relating to honey.
101. EU (2015): EU labelling rules for honey. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM%3A121124a>, Last update: 20 February 2015.
102. EU (2018): Key facts about Europe's honey market. <http://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20180222STO98435/key-facts-about-europe-s-honey-market-infographic>. Last download: 23 March 2019.
103. Everstine K.D., Chin H.B., Lopes F.A., Moore J.C. (2024). Database of Food Fraud Records: Summary of data from 1980 to 2022. *J. Food Prot.* 87, 100227.
104. Faridzadeh A., Salimi Y., Ghasemirad H., Kargar M., Rashtchian A., Mahmoudvand G., Karimi M.A., Zerangian N., Jahani N., Masoudi A., Sadeghian Dastjerdi B., Salavatizadeh M., Sadeghsalehi H., Deravi N. (2022). Neuroprotective Potential of Aromatic Herbs: Rosemary, Sage, and Lavender. *Frontiers in Neuroscience.* 16:909833. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.909833>.
105. Faustino C., Pinheiro L. (2021). Analytical Rheology of Honey: A State-of-the-Art Review. *Foods*, 10(8), 1709. <https://doi.org/10.3390/foods10081709>.
106. Fearn T. (2002). Assessing Calibrations: SEP, RPD, RER and R2. *NIR News.* 13, 12–13.

<http://dx.doi.org/10.1255/nirn.689>.

107. Feng Y., Jin C., Lv S., Zhang H., Ren F., Wang J. (2023). Molecular Mechanisms and Applications of Polyphenol-Protein Complexes with Antioxidant Properties: A Review. *Antioxidants (Basel)*. 2023 Aug 8;12(8):1577. <https://doi.org/10.3390/antiox12081577>.

108. Fernan C., Schuldt J.P., Niederdeppe J. (2018). Health Halo Effects from Product Titles and Nutrient Content Claims in the Context of "Protein" Bars. *Health Commun*. 33(12):1425-1433. <https://doi.org/10.1080/10410236.2017.1358240>.

109. Fernandes K.E., Frost E.A., Remnant E.J., Schell K.R., Cokcetin N.N., Carter D.A. (2022). The role of honey in the ecology of the hive: Nutrition, detoxification, longevity, and protection against hive pathogens. *Front Nutr*. 25; 9:954170. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.954170>.

110. Ferreira E.L., Lencioni C., Benassi M.T., Barth M.O., Bastos D.H.M. (2009). Descriptive sensory analysis and acceptance of stingless bee honey. *Food Sci. Technol. Int*. 15, 251–258.

111. Flanjak I., Kenjeri D., Bubalo D., Primorac L. (2016). Characterization of selected Croatian honey types based on the combination of antioxidant capacity, quality parameters, and chemometrics. *Eur Food Res Technol*, 242, 467–475. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2557-0>.

112. Fodor M., Matkovits A., Benes E.L., Jókai Z. (2024). The Role of Near-Infrared Spectroscopy in Food Quality Assurance: A Review of the Past Two Decades. *Foods*. 13(21):3501. <https://doi.org/10.3390/foods13213501>.

113. Fuentes Molina O., Alizadeh K., Bucarey S. A., Castaneza Zúñiga E., Vásquez-Quitral P. (2020). Analysis of organic molecules, physicochemical parameters, and pollen as indicators for authenticity, botanical origin, type and quality of honey samples examined. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 2242–2256. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1850775>.

114. Géci A., Nagyová E., Rybanská J. (2017). Impact of sensory marketing on consumer's buying behaviour. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 11(1), 709-717. <https://doi.org/10.5219/835>.

115. Ghasemzadeh Rahbardar M., Hosseinzadeh H. (2020). Therapeutic effects of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and its active constituents on nervous system disorders. *Iran J Basic Med Sci*. 23(9):1100-1112. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2020.45269.10541>.

116. Ghitea T.C., El-Kharoubi A., Ganea M., Bimbo-Szuhai E., Nemeth T.S., Ciavoi G., Foghis M., Dobjanschi L., Pallag A., Micle O. (2021). The Antimicrobial Activity of *Origanum vulgare* L. Correlated with the Gastrointestinal Perturbation in Patients with Metabolic Syndrome. *Molecules*. 26(2):283. <https://doi.org/10.3390/molecules26020283>.
117. Grabek-Lejko D., Miłek M., Sidor E., Puchalski C., Dżugan M. (2022). Antiviral and Antibacterial Effect of Honey Enriched with *Rubus spp.* as a Functional Food with Enhanced Antioxidant Properties. *Molecules*. 27(15):4859. <https://doi.org/10.3390/molecules27154859>.
118. Grinn-Gofroń A., Kołodziejczak M., Hryniewicz R., Lewandowski F., Bębnowska D., Adamski C., Niedźwiedzka-Rystwej P. (2025). Antimicrobial Potential of Bee-Derived Products: Insights into Honey, Propolis and Bee Venom. *Pathogens*, 14(8), 780. <https://doi.org/10.3390/pathogens14080780>.
119. Grigore-Gurgu L., Dumitraşcu L., Aprodu I. (2025). Aromatic Herbs as a Source of Bioactive Compounds: An Overview of Their Antioxidant Capacity, Antimicrobial Activity, and Major Applications. *Molecules*, 30(6), 1304. <https://doi.org/10.3390/molecules30061304>.
120. Gajdoš Kljusurić J., Mihalev K., Bečić I., Polović I., Georgieva M., Djaković S., Kurtanek Ž. (2016). Near-Infrared Spectroscopic Analysis of Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Berry Fruits. *Food Technol. Biotechnol.* 54, 236–242.
121. Gajdoš Kljusurić J., Knights V., Durmishi B., Rizani S., Jankuloska V., Velkovski V., Jurinjak Tušek A., Benković M., Valinger D., Jurina T. (2025). Data Analyses and Chemometric Modeling for Rapid Quality Assessment of Enriched Honey. *Chemosensors*, 13(7), 246. <https://doi.org/10.3390/chemosensors13070246>.
122. Gambari L., Cellamare A., Grassi F., Grigolo B., Panciera A., Ruffilli A., Faldini C., Desando G. (2022). Overview of Anti-Inflammatory and Anti-Nociceptive Effects of Polyphenols to Halt Osteoarthritis: From Preclinical Studies to New Clinical Insights. *Int J Mol Sci*. 23(24):15861. <https://doi.org/10.3390/ijms232415861>.
123. Ghorbani A., Esmailizadeh M. (2017). Pharmacological properties of *Salvia officinalis* and its components. *J Tradit Complement Med.* 7(4):433-440. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.12.014>.
124. Giangiaco R., Magee J.B., Birth G.S., Dull G.G. (1981). Predicting concentrations of individual sugars in dry mixtures by near-infrared reflectance spectroscopy. *J. Food Sci.* 46, 531–534.

125. Godebo T.R., Stoner H., Taylor P., Jeuland M. (2025). Metals in honey from bees as a proxy for environmental contamination in the United States. *Environ. Pollut.* 2025, 364, 125221.
126. Golian J., Nagyová L., Andocsová A., Zajác P., Palkovič J. (2018). Food safety from consumer perspective: Health safety. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 313—322. <https://doi.org/10.5219/917>.
127. Goncharuk E.A., Zagoskina N.V. (2023). Heavy Metals, Their Phytotoxicity, and the Role of Phenolic Antioxidants in Plant Stress Responses with Focus on Cadmium: Review. *Molecules*. 28, 3921.
128. Gościński A., Attard E., Malesza I. J., Kamiński A., Cielecka-Piontek J. (2025). Modern Honey-Based Delivery Systems for Wound Healing: A Review of Current Trends and Future Perspectives. *Applied Sciences*, 15(18), 9997. <https://doi.org/10.3390/app15189997>.
129. Guindo M.L., Kabir M.H., Chen R., Liu F. (2021). Potential of Vis-NIR to measure heavy metals in different varieties of organic-fertilizers using Boruta and deep belief network. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 228, 112996.
130. Gutiérrez-Grijalva E.P., Picos-Salas M.A., Leyva-López N., Criollo-Mendoza M.S., Vazquez-Olivo G., Heredia J.B. (2017). Flavonoids and Phenolic Acids from Oregano: Occurrence, Biological Activity and Health Benefits. *Plants (Basel)*. 7(1):2. <https://doi.org/10.3390/plants7010002>.
131. Habán M., Korczyk-Szabó J., Čerteková S., Ražná K. (2023). Lavandula Species, Their Bioactive Phytochemicals, and Their Biosynthetic Regulation. *Int J Mol Sci.* 24(10):8831. <https://doi.org/10.3390/ijms24108831>.
132. Halagarda M., Groth S., Popek S., Rohn S., Pedan V. (2020). Antioxidant Activity and Phenolic Profile of Selected Organic and Conventional Honeys from Poland. *Antioxidants (Basel)*. 9(1):44. <https://doi.org/10.3390/antiox9010044>.
133. Halouzka R., Tarkowski P., Cavar Zeljkovi S. (2016). Characterization of phenolics and other quality parameters of different types of honey. *Czech Journal of Food Sciences*, 3, 244–253. <https://doi.org/10.17221/321/2015-CJFS>.
134. Han F., Ma G.Q., Yang M., Yan L., Xiong W., Shu J.C., Zhao Z.D., Xu H.L. (2017). Chemical composition and antioxidant activities of essential oils from different parts of the oregano. *J Zhejiang Univ Sci B.* 2017 Jan.;18(1):79-84. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1600377>

135. Han Z., Zhu M., Wan X., Zhai X., Ho C. T., Zhang L. (2022). Food polyphenols and Maillard reaction: regulation effect and chemical mechanism. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(15), 4904–4920. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2146653>.
136. Hlihor R.M., Roşca M., Hagi-Zaleschi L., Simion I.M., Daraban G.M., Stoleru V. (2022). Medicinal Plant Growth in Heavy Metals Contaminated Soils: Responses to Metal Stress and Induced Risks to Human Health. *Toxics*. 10(9):499. <https://doi.org/10.3390/toxics10090499>.
137. Hoffman J. I. E. (2019). Chapter 25 - analysis of variance. I. One-way. In J. I. E. Hoffman (Ed.), *Basic biostatistics for medical and biomedical practitioners* (2nd ed., pp.391–417). Academic Press, 978-0-12-817084-7.
138. Horská E. & Siringoringo H. (2012). *European consumer and consumer behaviour*, Nitra: Slovak University of Agriculture.
139. Huang J., Rommero-Torres S., Moshgbar M. (2010). Practical Considerations in Data Pre-treatment for NIR and Raman Spectroscopy. Available online: <https://www.americanpharmaceuticalreview.com/Featured-Articles/116330-Practical-Considerations-in-Data-Pre-treatment-for-NIR-and-Raman-Spectroscopy/> (accessed on 14 April 2025).
140. Hunter M., Ghildyal R., D'Cunha N.M., Gouws C., Georgousopoulou E.N., Naumovski N. (2021). The bioactive, antioxidant, antibacterial, and physicochemical properties of a range of commercially available Australian honeys. *Curr Res Food Sci*. 4:532-542. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.08.002>.
141. Inaudi P., Garzino M., Abollino O., Malandrino M., Giacomino A. (2025). Honey: Inorganic Composition as Possible Marker for Botanical and Geological Assignment. *Molecules*. 30(7):1466. <https://doi.org/10.3390/molecules30071466>.
142. Isadorov V.A., Bagan R., Bakier S., Swiecicka I. (2015). Chemical composition and antimicrobial activity of Polish herbhoneys. *Food Chem* 171:84–88. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.112>.
143. ISO 8586:2023; *Sensory Analysis—Selection and Training of Sensory Assessors*. ISO: Geneva, Switzerland, 2023. Available online: <https://www.iso.org/standard/76667.html> (accessed on 15 April 2025).
144. Iftikhar A., Nausheen R., Mukhtar I., Iqbal R. K., Raza A., Yasin A., Anwar H. (2022). The regenerative potential of honey: a comprehensive literature review. *Journal of Apicultural*

- Research, 62(1), 97–112. <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2028969>.
145. Jaśkiewicz K., Szczęsna T., Jachuła J. (2025). How Phenolic Compounds Profile and Antioxidant Activity Depend on Botanical Origin of Honey—A Case of Polish Varietal Honeys. *Molecules*, 30(2), 360. <https://doi.org/10.3390/molecules30020360>.
146. Jažo Z., Glumac M., Paštar V., Bektić S., Radan M., Carev I. (2023). Chemical Composition and Biological Activity of *Salvia officinalis* L. Essential Oil. *Plants (Basel)*. 12(9):1794. <https://doi.org/10.3390/plants12091794>.
147. Jerković I., Kuš M. P. (2014). Terpenes in honey: occurrence, origin and their role as chemical biomarkers. *RSC Advances*, 4, 31710-31728. <https://doi.org/10.1039/C4RA04791E>.
148. Jaganathan S., Balaji A., Vellayappan M., Asokan M., Subramanian A., John A., et al. (2014). A review on Antiproliferative and apoptotic activities of natural honey. *Anti Cancer Agents Med Chem*. 15(1):48–56. <https://doi.org/10.2174/1871520614666140722084747>.
149. Johnson J.B., Walsh K.B., Naiker M., Ameer K. (2023). The use of infrared spectroscopy for the quantification of bioactive compounds in food: A review. *Molecules*. 28, 3215.
150. Juszczak L., Socha R., Rożnowski J., Fortuna T., Nalepka K. (2009). Physicochemical properties and quality parameters of herbhoney. *Food Chemistry*. 113, 2, 538-542. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.098>.
151. Kamaitytė-Bukelskienė L., Ložienė K., Labokas J. (2021). Dynamics of Isomeric and Enantiomeric Fractions of Pinene in Essential Oil of *Picea abies* Annual Needles during Growing Season. *Molecules*. 26(8):2138. <https://doi.org/10.3390/molecules26082138>.
152. Karabagias I. K., Badeka A. V., Kontakos S., Karabournioti S., Kontominas M. G (2014). Botanical discrimination of Greek unifloral honeys with physicochemical and chemometric analyses. *Food Chemistry*, 165, 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.033>.
153. Karami E., Goodarzi Z., Ghanbari A., Dehdashti A., Bandegi A.R., Yosefi S. (2023). Atorvastatin prevents cadmium-induced renal toxicity in a rat model. *Toxicol. Ind. Health*. 39, 218–228.
154. Kaya E., & Özbay N. (2023). A Scientific Investigation on Antioxidant Activities, Total Phenolic and Flavonoid Contents of Honeys Enriched with Different Spices. *BinBee – Arı ve Doğal Ürünler Dergisi*, 3(2), 1-9.
155. Kaygusuz H., Tezcan F., Bedia Erim F., Yildiz O., Sahin H., Can Z., Kolayli S. (2016).

Characterization of Anatolian honeys based on minerals, bioactive components and principal component analysis. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 273–279. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.005>.

156. Khan S.U., Anjum S.I., Rahman K., Ansari M.J., Khan W.U., Kamal S., Khattak B., Muhammad A., Khan H.U. (2018). Honey: Single food stuff comprises many drugs. *Saudi J Biol Sci.* 25(2):320-325. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.08.004>.

157. King A. P., Eckersley R. J. (2019). Inferential statistics IV: Choosing a hypothesis test. *Stat. Biomed. Eng. Sci.*, 147–171. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102939-8.00016-5>.

158. Klinar M., Benković M., Jurina T., Jurinjak Tušek A., Valinger D., Tarandek S.M., Prskalo A., Tonković J., Gajdoš Kljusurić J. (2024). Fast Monitoring of Quality and Adulteration of Blended Sunflower/Olive Oils Applying Near-Infrared Spectroscopy. *Chemosensors*, 12, 150. <https://doi.org/10.3390/chemosensors12080150>.

159. Kljusurić J.G., Mihalev K., Bečić I., Polović I., Georgieva M., Djaković S., Kurtanjek Ž. (2016). Near-Infrared Spectroscopic Analysis of Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Berry Fruits. *Food Technol Biotechnol.* 54(2):236-242. <https://doi.org/10.17113/ftb.54.02.16.4095>.

160. Knights V., Prchkovska M. (2024). From Equations to Predictions: Understanding the Mathematics and Machine Learning of Multiple Linear Regression. *J. Math. Comput. Applications. SRC/JMCA.* 3, 1–8. [https://doi.org/10.47363/JMCA/2024\(3\)137](https://doi.org/10.47363/JMCA/2024(3)137).

161. Kocalka P. (2024). Seasonal Honey Production: Insights from Bee Colonies. Available online: <https://beehivemonitoring.com/seasonal-honey-production-insights-from-bee-colonies/> (accessed on 15 November 2024).

162. Kolayli S., Can Z., Kara Y., Ozkok A., Ozmert Ergin S., Kemal M., Demir Kanbur E. (2024). Physicochemical Characteristics, Phenolic Components, and Antioxidant Capacities of Lavender Honey (*Lavandula spp.*) from Isparta Region of Türkiye. *Chemistry & Biodiversity.* 21, e202400718.

163. Köse Y. B., İşcan G., Göger F., Demirci B. (2025). Phytochemical Composition and Evaluation of Antimicrobial Activities of Five *Salvia* Species. *Processes*, 13(7), 2011. <https://doi.org/10.3390/pr13072011>.

164. Kosmopoulou D., Lafara M.-P., Adamantidi T., Ofrydopoulou A., Grabrucker A. M., Tsoupras A. (2024). Neuroprotective Benefits of *Rosmarinus officinalis* and Its Bioactives

against Alzheimer's and Parkinson's Diseases. *Applied Sciences*, 14(15), 6417. <https://doi.org/10.3390/app14156417>.

165. Koukos P.K., Papadopoulou K.I., Patiaka D.T., Papagiannopoulos A.D. (2000). Chemical composition of essential oils from needles and twigs of balkan pine (*Pinus peuce grisebach*) grown in Northern Greece. *J Agric Food Chem.* 48(4):1266-8. <https://doi.org/10.1021/jf991012a>.

166. Kowalczyk I., Stangierska D., Widera K., Fornal-Pieniak B., Latocha P. (2023). Determinants of honey consumption with special reference to the influence of nutritional knowledge and health status on consumption habits. *Applied Sciences*, 13, 979. <https://doi.org/10.3390/app13020979>.

167. Kubicová E., & Kádeková Z. (2011). Comparison of the income development and the food demand elasticities of the private households in Slovakia. *Agricultural Economics - Czech Republic*, 57, 404-411.

168. Kumar S., Verma M., Hajam A.Y., Kumar R. (2024). Honey infused with herbs: A boon to cure pathological diseases. *Heliyon*. 10 (1), e23302. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23302>.

169. Küçük M., Kolaylı S., Karaoğlu Ş., Ulusoy E., Baltacı C., Candan F. (2007). Biological activities and chemical composition of three honeys of different types from Anatolia. *Food Chemistry*. 100(2):526–34. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.010>.

170. Kwakman P.H.S., te Velde A.A., de Boer L., Vandenbroucke-Grauls C.M.J.E., Zaat S.A.J. (2011). Two major medicinal honeys have different mechanisms of bactericidal activity. *PLoS One*. 6(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017709>.

171. Lazăr N.R., Alexa E., Obiștioiu D., Rășinar A., Pătruică S. (2022). Effects of the Use of Essential Oils on the Organoleptic Characteristics of Honey. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*, 2022, 55(1).

172. Lešnik S., Jukić M., Bren U. (2025). Unveiling polyphenol-protein interactions: a comprehensive computational analysis. *J Cheminform.* 17(1):50. <https://doi.org/10.1186/s13321-025-00997-3>.

173. Lichtenberg-Kraag B. (2014). Evidence for correlation between invertase activity and sucrose content during the ripening process of honey. *Journal of Apicultural Research*, 53(3), 364–373. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.53.3.03>.

174. Ligor M., Kowalkowski T., Buszewski B. (2022). Comparative Study of the Potentially Toxic Elements and Essential Microelements in Honey Depending on the Geographic Origin. *Molecules*. 27(17):5474. <https://doi.org/10.3390/molecules27175474>.
175. Liu J.R., Ye Y.L., Lin T.Y., Wang Y.W., Peng C.C. (2013). Effect of floral sources on the antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory activities of honeys in Taiwan. *Food Chemistry*. 139(1-4):938-43. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.015>.
176. Liu J., Dong K., Deng Q., Zou Z., Chen S., Feng N., Wang J., Huang H., Wu Q. (2025). Regulation of aging-related chronic diseases by dietary polyphenols: An updated overview. *Curr Res Food Sci*. 11:101163. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2025.101163>.
177. Lopresti A.L. (2017). Salvia (Sage): A Review of its Potential Cognitive-Enhancing and Protective Effects. *Drugs R D*. 17(1):53-64. <https://doi.org/10.1007/s40268-016-0157-5>.
178. Loussouarn M., Krieger-Liszkay A., Svilar L., Bily A., Birtić S., Havaux M. (2017). Carnosic Acid and Carnosol, Two Major Antioxidants of Rosemary, Act through Different Mechanisms. *Plant Physiol*. 175(3):1381-1394. <https://doi.org/10.1104/pp.17.01183>.
179. Naccari C., Ferrantelli V., Cammilleri G., Barbaccia G., Riolo P., Ferrante M. C., Procopio A., Palma E. (2025). Study of Toxic Metals and Microelements in Honey as a Tool to Support Beekeeping Production and Consumer Safety. *Foods*, 14(11), 1986. <https://doi.org/10.3390/foods14111986>.
180. Nagyová E., Golian J., Géci A., Palkovič J., Čapla J., Kádeková Z. (2018). Food Safety From A Consumers' Point Of View: Food Quality, *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 355-363. <https://doi.org/10.5219/918>.
181. Nan A., Dumitrascu V., Flangea C., Dumitrescu G., Puscasu D., Vlad T., Popescu R., Vlad C. (2025). From Chemical Composition to Antiproliferative Effects Through In Vitro Studies: Honey, an Ancient and Modern Hot Topic Remedy. *Nutrients*, 17(9), 1595. <https://doi.org/10.3390/nu17091595>.
182. Nieto G., Ros G., Castillo J. (2018). Antioxidant and Antimicrobial Properties of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.): A Review. *Medicines (Basel)*. 5(3):98. <https://doi.org/10.3390/medicines5030098>.
183. NIRLab. How Does Near-Infrared Spectroscopy Work? 2022. Available online: <https://www.nirlab.com/blog/nir-spectroscopy-nutshell/> (accessed on 10 April 2025).

184. Nobahar A., Carlier J.D., Miguel M.G., Costa M.C. (2021). A review of plant metabolites with metal interaction capacity: A green approach for industrial applications. *Biometals*. 34, 761–793.
185. Noor S., Mohammad T., Rub M.A. et al. (2022). Biomedical features and therapeutic potential of rosmarinic acid. *Arch. Pharm. Res.* 45, 205–228. <https://doi.org/10.1007/s12272-022-01378-2>.
186. Nurzyńska-Wierdak R., Walasek-Janusz M. (2025). Chemical Composition, Biological Activity, and Potential Uses of Oregano (*Origanum vulgare* L.) and Oregano Essential Oil. *Pharmaceuticals*, 18(2), 267. <https://doi.org/10.3390/ph18020267>.
187. Nyarko F., Tack F.M.G., Mouazen A.M. (2022). Potential of visible and near infrared spectroscopy coupled with machine learning for predicting soil metal concentrations at the regional scale. *Sci. Total Environ.* 841, 156582.
188. Maithani A., Maithani U., Singh M. (2023). Botanical Description, Cultivation Practices, Essential Oil Composition and Therapeutic Values of *Origanum vulgare* L. and its Future Prospective. *Curr Agri Res* 2023; 11(2). <http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.11.2.01>.
189. Majtan J. (2024). In vitro testing of honey quality and biological functionality: underestimated elements in the clinical testing of honey. *Front Nutr.* 11:1433786. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1433786>.
190. Manyi-Loh C.E., Ndip R.N., Clarke A.M. (2011). Volatile compounds in honey: a review on their involvement in aroma, botanical origin determination and potential biomedical activities. *Int J Mol Sci.* 12(12):9514-32. <https://doi.org/10.3390/ijms12129514>.
191. Manzoor S., Rakha A., Rasheed H., Bhat Z.F., Khan M.S.A., Abdi G., Aadil R.M. (2025). A Comprehensive Review on Anxiolytic Effect of *Lavandula Angustifolia* Mill. in Clinical Studies. *Food Sci Nutr.* 13(9):e70993. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70993>.
192. Mamache W., Benchiekh A., Benslama A., Benchiekh F., Benabdallah H., Amira S. (2025). *Salvia* extracts: Unraveling phenolic compounds and assessing their antiglycation, anti-inflammatory, and cytotoxic properties. *Research Results in Pharmacology* 11(2): 1–16. <https://doi.org/10.18413/rrpharmacology.11.534>.
193. Margetts G., Kleidonas S., Zaibi N.S., Zaibi M.S., Edwards K.D. (2022). Evidence for anti-inflammatory effects and modulation of neurotransmitter metabolism by *Salvia officinalis* L. *BMC Complement Med Ther.* 22(1):131. <https://doi.org/10.1186/s12906-022-03605-1>.

194. Martinez-Armenta C., Camacho-Rea M. C., Martínez-Nava G. A., Espinosa- Velazquez R., Pineda C., Gomez-Quiroz L. E., L'opez-Reyes A. (2021). Therapeutic potential of bioactive compounds in honey for treating osteoarthritis. *Frontiers in Pharmacology*, 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphar.2021.642836>.
195. Mata M.M.D., Rocha P.D., Farias I.K.T., Silva J.L.B.D., Medeiros E.P., Silva C.S., Simões S.D.S. (2022). Distinguishing cotton seed genotypes by means of vibrational spectroscopic methods (NIR and Raman) and chemometrics. *Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc.* 266, 120399. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.120399>.
196. Mato I., Huidobro J.F., Simal-Lozano J., Sancho M.T. (2003). Significance of nonaromatic organic acids in honey. *J Food Prot.* 66(12):2371-6. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-66.12.2371>.
197. Masad R.J., Haneefa S.M., Mohamed Y.A., Al-Sbiei A., Bashir G., Fernandez-Cabezudo M.J., Al-Ramadi B.K. (2021). The Immunomodulatory Effects of Honey and Associated Flavonoids in Cancer. *Nutrients.* 13(4):1269. <https://doi.org/10.3390/nu13041269>.
198. Meccatti V.M., Figueiredo-Godoi L.M.A., Pereira T.C. et al. (2022). The biocompatibility and antifungal effect of *Rosmarinus officinalis* against *Candida albicans* in *Galleria mellonella* model. *Sci Rep* 12, 15611 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19425-9>.
199. Mencede R.F., Yaptenco K., Lozada E., Carpio E., Manila-Fajardo A.C., Fajardo A. Jr. (2023). Short-Wave Near-Infrared Spectroscopy and Chemometrics to Detect Adulteration of Honey with Sucrose Syrup. *Philipp. J. Agric. Biosyst. Eng.* 19, 49–62. <https://www.ukdr.uplb.edu.ph/journal-articles/6276>.
200. Messeha S.S., Zarmouh N.O., Asiri A., Soliman K.F.A. (2020). Rosmarinic acid-induced apoptosis and cell cycle arrest in triple-negative breast cancer cells. *Eur J Pharmacol.* 885:173419. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2020.173419>.
201. Meziane H., Zraibi L., Albusayr R. et al. (2025). *Rosmarinus officinalis* Linn.: unveiling its multifaceted nature in nutrition, diverse applications, and advanced extraction methods. *J.Umm Al-Qura Univ. Appl. Sci.* 11, 9–37. <https://doi.org/10.1007/s43994-024-00144-y>.
202. Mirković S., Martinović M., Tadić V. M., Nešić I., Jovanović A. S., Žugić A. (2025). Antimicrobial and Antioxidant Activity of Essential Oils from Selected *Pinus* Species from Bosnia and Herzegovina. *Antibiotics*, 14(7), 677. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14070677>.
203. Mititelu M., Neacșu S.M., Busnatu S.S., Scafa-Udriște A., Andronic O., Lăcraru A.-E.,

- Ioniță-Mîndrican C.-B., Lupuliasa D., Negrei C., Olteanu G. (2025). Assessing Heavy Metal Contamination in Food: Implications for Human Health and Environmental Safety. *Toxics*. 13, 333.
204. Mohan A., Quek Y-S., Gutierrez-Maddox N., Gao Y., Shu Q. (2017). Effect of honey in improving the gut microbial balance, *Food Quality and Safety*. 1, 2, 1; 107–115, <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx015>.
205. Mokry S., Birčiaková N., Slovackova T., Stávková J., Nagyová E. (2016). Perception of wine labels by generation Z: Eye-tracking experiment. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 10(1), 524-531. <https://doi.org/10.5219/647>.
206. Mokrzycki W.S., Tatol M. (2011). Colour Difference  $\Delta E$ —A Survey. *Mach. Graph. Vis.* 20, 383–412.
207. Moniruzzaman M., Chowdhury M.A., Rahman M.A., Sulaiman S.A., Gan S.H. (2014). Determination of mineral, trace element, and pesticide levels in honey samples originating from different regions of Malaysia compared to manuka honey. *Biomed Res Int*. 2014:359890. <https://doi.org/10.1155/2014/359890>.
208. Moore J., Yousef M., Tsiani E. (2016). Anticancer Effects of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) Extract and Rosemary Extract Polyphenols. *Nutrients*. 8(11):731. <https://doi.org/10.3390/nu8110731>.
209. Mulheron H., DuBois A., Mayhew E.J. (2024). Quantifying the sweetness intensity and impact of aroma in honey from four floral sources. *J Food Sci*. 89(12):9732-9741. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17461>.
210. Ogwu M.C., Izah S.C. (2025). Honey as a Natural Antimicrobial. *Antibiotics (Basel)*. 14(3):255. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14030255>.
211. Oh Y.J., Kim Y.S., Kim J.W., Kim D.W. (2023). Antibacterial and Antiviral Properties of *Pinus densiflora* Essential Oil. *Foods*. 12(23):4279. <https://doi.org/10.3390/foods12234279>.
212. Olaitan P.B., Adeleke O.E., Ola I.O. (2007). Honey: a reservoir for microorganisms and an inhibitory agent for microbes. *Afr Health Sci*. 7(3):159-65. <https://doi.org/10.5555/afhs.2007.7.3.159>.
213. Olas B. (2020). Honey and Its Phenolic Compounds as an Effective Natural Medicine for Cardiovascular Diseases in Humans? *Nutrients*. 12(2):283.

<https://doi.org/10.3390/nu12020283>.

214. Oravec T., Kovács I. (2019). Sensory examination of honey and the effect of sensory characteristics on purchase decisions. *Analecta Technica Szegedinensia*, 13(1), 64–71.

<https://doi.org/10.14232/analecta.2019.1.64-71>

215. Ounjaijean S., Chaipoot S., Phongphisutthinant R., Kanthakat G., Taya S., Pathomrungsyounggul P., Wiriyacharee P., Boonyapranai K. (2025). Honey-Conjugated Honeybee Brood Biopeptides Improve Gastrointestinal Stability, Antioxidant Capacity, and Alleviate Diet-Induced Metabolic Syndrome in a Rat Model. *Foods*. 14(16):2907.

<https://doi.org/10.3390/foods14162907>.

216. Pandur E., Balatináč A., Micalizzi G., Mondello L., Horváth A., Sipos K., Horváth G. (2021). Anti-inflammatory effect of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) essential oil prepared during different plant phenophases on THP-1 macrophages. *BMC Complement Med Ther*. 21(1):287. <https://doi.org/10.1186/s12906-021-03461-5>.

217. Panseri S., Borgonovo F., Guarino M., Chiesa L., Piana M. L., Rizzi R., Mortarino M. (2023). Monitoring Volatile Organic Compounds and Aroma Profile of *Robinia pseudoacacia* L. Honey at Different Storage Temperatures during Shelf Life. *Foods*, 12(16), 3105.

<https://doi.org/10.3390/foods12163105>.

218. Pasiás I. N., Ntakoulas D. D., Raptopoulou K., Gardeli C., Proestos, C. (2021). Chemical Composition of Essential Oils of Aromatic and Medicinal Herbs Cultivated in Greece—Benefits and Drawbacks. *Foods*, 10(10), 2354. <https://doi.org/10.3390/foods10102354>.

219. Patouna A., Tekos F., Charouli M., Vardakas P., Kouretas D. (2025). Greek Raw Honey from Pindos Mountain Improves Redox Homeostasis of RAW264.7 Macrophages. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(7), 2868.

<https://doi.org/10.3390/ijms26072868>.

220. Pauliuc D., Dranca F., Oroian M. (2020). Antioxidant Activity, Total Phenolic Content, Individual Phenolics and Physicochemical Parameters Suitability for Romanian Honey Authentication. *Foods*. 9(3):306. <https://doi.org/10.3390/foods9030306>.

221. Pavlin A., Kočar D., Imperl J., Kolar M., Marolt G., Petrova P. (2023). Honey Origin Authentication via Mineral Profiling Combined with Chemometric Approaches. *Foods*, 12(15), 2826. <https://doi.org/10.3390/foods12152826>.

222. Pierański B., Borusiak B., Horská E. (2017). The wine market - An empirical

- examination of in-store consumer behaviour. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 11(1), 739-746. <https://doi.org/10.5219/671>.
223. Prasedy, E.S., Frediansyah A., Martyasari N.W.R., Ilhami B.K., Abidin A.S., Padmi H., Fahrurrozi Juanssilfero A.B., Widyastuti S., Sunarwidhi A.L. (2021). Effect of particle size on phytochemical composition and antioxidant properties of *Sargassum cristaefolium* ethanol extract. *Scientific Report*. 11, 17876.
224. Predanocyová K., Kubicová E., Kádeková Z. (2018). Factors affecting consumer decisionmaking in the market of bakery products. In 18th International Scientific Conference: Globalization and Its Socio-Economic Consequences (pp. 854-862). Žilina: University of Žilina.
225. Predanócyová K., Šedík P. (2024). HONEY MARKET CHALLENGES: FLAVORED HONEY AS HEALTHY FOOD CHOICE FOR CONSUMERS. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 13(6), e11021. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.11021>.
226. Pohorecka K. (2004). Effect of standardized plant herb extracts on general condition of the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Bull Vet Inst Pulawy* 48:415–419, [http://www.piwet.pulawy.pl/doc/biuletyn\\_484/13\\_Pohorecka.pdf](http://www.piwet.pulawy.pl/doc/biuletyn_484/13_Pohorecka.pdf)
227. Posom J., Shrestha A., Saechua W., Sirisomboon P. (2016). Rapid non-destructive evaluation of moisture content and higher heating value of *Leucaena leucocephala* pellets using near infrared spectroscopy. *Energy*, 107 (2016), pp. 464-472.
228. Puścion-Jakubik A., Borawska M.H., Socha K. (2020). Modern Methods for Assessing the Quality of Bee Honey and Botanical Origin Identification. *Foods*. 9(8):1028. <https://doi.org/10.3390/foods9081028>.
229. Qi W., Jiang Q. Erihemu (2025). Research progress on the application of near-infrared spectroscopy in liquid food quality testing. *Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci* 14, 75. <https://doi.org/10.1186/s43088-025-00660-8>.
230. Quintero-Rincón P., Caballero-Gallardo K., Olivero-Verbel J. (2025). Natural anticancer agents: Prospection of medicinal and aromatic plants in modern chemoprevention and chemotherapy. *Nat. Prod. Bioprospecting*.15, 25.
231. Ranneh Y., Akim A.M., Hamid H.A. et al. (2021). Honey and its nutritional and anti-inflammatory value. *BMC Complement Med Ther* 21, 30. <https://doi.org/10.1186/s12906-020-03170-5>

232. Rambo M.K.D., Ferreira M.M.C., de Melo P.M., Santana Junior C.C., Brertuol D.A., Rambo C.D. (2020). Prediction of quality parameters of food residues using NIR spectroscopy and PLS models based on proximate analysis. *Food Sci. Technol.* 40, 444–450.
233. Rašković A., Milanović I, Pavlović N., Čebović T., Vukmirović S., Mikov M. (2014). Antioxidant activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) essential oil and its hepatoprotective potential. *BMC Complement Altern Med.*14:225. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-225>.
234. Raweh H.S.A., Badjah-Hadj-Ahmed A.Y., Iqbal J., Alqarni A.S. (2023). Physicochemical Composition of Local and Imported Honey Associated with Quality Standards. *Foods.* 12, 2181.
235. Revilla I., Hernández Jiménez M., Martínez-Martín I., Valderrama P., Rodríguez-Fernández M., Vivar-Quintana A.M. (2024). The Potential Use of Near Infrared Spectroscopy (NIRS) to Determine the Heavy Metals and the Percentage of Blends in Tea. *Foods* 2024, 13, 450.
236. Rinnan Å., van den Berg F., Balling Englelsen S. (2009). Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. *TrAC Trends Anal. Chem.* 28, 1201–1222. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.07.007>.
237. Robin Lim A.H., Sam L.M., Gobilik J., Ador K., Choon J.L.N., Majampan J., Benedick S. (2022). Physicochemical Properties of Honey from Contract Beekeepers, Street Vendors and Branded Honey in Sabah, Malaysia. *Trop. Life Sci. Res.* 33, 61–83.
238. Rocha W.F.C., Prado C.B.D., Blonder N. (2020). Comparison of Chemometric Problems in Food Analysis Using Non-Linear Methods. *Molecules.* 25(13):3025. <https://doi.org/10.3390/molecules25133025>.
239. Rodríguez-Ramos F., Marcano E., Aguiar G. et al. (2020). Mineral composition of artisanal and commercial honeys from Venezuela: a comparison of sample pre-treatment strategies. *SN Appl. Sci.* 2, 2080. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03917-2>.
240. Rosenbalt G., Angonnet S., Goroshit A., Tabak M., Neeman I. (1997). Antioxidant properties of honey produced by bees fed with medical plant extracts. In: Mizrahi A, Lensky Y (ed) *Bee products. Properties, applications and apitherapy.* Springer Science + Business Media, LLC pp 49–55. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9371-0>.
241. Ruoff K., Luginbühl W., Bogdanov S., Bosset J.O., Estermann B., Ziolkó T., Amado R.

- (2006). Authentication of the botanical origin of honey by near-infrared spectroscopy. *J Agric Food Chem.* 54(18):6867-72. <https://doi.org/10.1021/jf060770f>.
242. Rysha A., Kastrati G., Biber L., Sadiku V., Rysha A., Zogaj F., Kabashi-Kastrati E. (2022). Evaluating the physicochemical properties of some Kosovo's and imported honey samples. *Appl. Sci.* 12, 629.
243. Salehi B., Upadhyay S., Erdogan Orhan I., Kumar Jugran A., L.D. Jayaweera S., A. Dias D., Sharopov F., Taheri Y., Martins N., Baghalpour N., C. Cho W., Sharifi-Rad J. (2019). Therapeutic Potential of  $\alpha$ - and  $\beta$ -Pinene: A Miracle Gift of Nature. *Biomolecules*, 9(11), 738. <https://doi.org/10.3390/biom9110738>
244. Sana Ahma, W., Anwar F., Ismail H., Farid M., Ayub M. A., Sumrra S. H., Emenike C., Starowicz M., Zubair M. (2025). Multifactorial Evaluation of Honey from Pakistan: Essential Minerals, Antioxidant Potential, and Toxic Metal Contamination with Relevance to Human Health Risk. *Foods*, 14(14), 2493. <https://doi.org/10.3390/foods14142493>
245. Samarghandian S., Farkhondeh T., Samini F. (2017). Honey and Health: A Review of Recent Clinical Research. *Pharmacognosy Res.* 9(2):121-127. <https://doi.org/10.4103/0974-8490.204647>.
246. Schaffel I.F., Dos Santos G.F.S., Damm B.M., Santos R.A.S., Almeida J.G.L., Resende H.C., Matos V.R., Gaglianone M.C., Oliveira E.C.D.S., Aroucha E.M.M., Ferreira R.Q. (2025). Physicochemical Properties and Antioxidant Capacity of Honey from Honey Bee (*Apis mellifera*): Spectrophotometric and Electrochemical Assay. *ACS Omega.* 10(10):10653-10661. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c11602>.
247. Shapiro S. S., Wilk M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52, 591–611.
248. Schell K.R., Fernandes K.E., Shanahan E., Wilson I., Blair S.E., Carter D.A., Cokcetin N.N. (2022). The Potential of Honey as a Prebiotic Food to Re-engineer the Gut Microbiome Toward a Healthy State. *Frontiers in Nutrition.* 9:957932. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.957932>.
249. Schiebler T., Lee N., Brodbeck F.C. (2025). Expectancy-disconfirmation and consumer satisfaction: A meta-analysis. *J. of the Acad. Mark. Sci.* <https://doi.org/10.1007/s11747-024-01078-x>.
250. Scutaras u E.C., Trincă L.C. (2023). Heavy Metals in Foods and Beverages: Global

- Situation, Health Risks and Reduction Methods. *Foods*. 12, 3340.
251. Seraglio S.K.T., Schulz M., Brugnerotto P., Silva B., Gonzaga L.V., Fett R., Costa A.C.O. (2021). Quality, composition and health-protective properties of citrus honey: A review. *Food Res. Int.* 2021, 143, 110268.
252. Shahidi F., Athiyappan K.D. (2025). Polyphenol-polysaccharide interactions: molecular mechanisms and potential applications in food systems – a comprehensive review. *Food Prod Process and Nutr* 7, 42. <https://doi.org/10.1186/s43014-025-00322-3>.
253. Shapla U.M., Solayman M., Alam N., Khalil M.I., Gan S.H. (2018). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. *Chem Cent J*. 12(1):35. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0408-3>.
254. Sharma K., Sharma K., Kumar R. (2024). A review of physico-chemical and biological properties of honey. *J. Entomol. Zool. Stud.* 12, 153–161.
255. Shiddiq M., Asyana V., Aliyah H. (2019). Identification of Pure and Adulterated Honey Using Two Spectroscopic Methods. *J. Phys. Conf. Ser.* 1351, 012022.
256. Silva, L. R., Videira, R., Monteiro, A. P., Valent˜ao, P., & Andrade, P. B. (2009). Honey from Luso region (Portugal): Physico-chemical characteristics and mineral contents. *Microchemical Journal*, 93, 73–77. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2009.05.005>.
257. Singh I., Singh S. (2018). Honey moisture reduction and its quality. *J Food Sci Technol.* 55(10):3861-3871. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3341-5>.
258. Singh S., Bansal A., Singh V., Chopra T., Poddar J. (2022). Flavonoids, alkaloids and terpenoids: a new hope for the treatment of diabetes mellitus. *J Diabetes Metab Disord.* 21(1):941-950. <https://doi.org/10.1007/s40200-021-00943-8>.
259. Smalheiser, N. R. (2017). Chapter 12 - nonparametric tests. In N. R. Smalheiser (Ed.), *Data literacy* (pp. 157–167). Academic Press, 978-0-12-811306-6.
260. Socha R., Juszczak L., Pietrzyk S., Fortuna T. (2009). Antioxidant activity and phenolic composition of herbhoney. *Food Chemistry*. 113, 568–574.
261. Solayman M., Islam M.A., Paul S., Ali Y., Khalil M.I., Alam N., Gan S.H. (2016). Physicochemical properties, minerals, trace elements, and heavy metals in honey of different origins: A comprehensive review. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 15(1):219–33. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12182>.

262. Soltani S., Shakeri A., Iranshahi M., Boozari M. (2021). A Review of the Phytochemistry and Antimicrobial Properties of *Origanum vulgare* L. and Subspecies. *Iran J Pharm Res.* 20(2):268-285. <https://doi.org/10.22037/ijpr.2020.113874.14539>.
263. Sowa P., Tarapatsky M., Puchalski C., Jarecky W., Dżugan M. (2019). A novel honey-based product enriched with coumarin from *Melilotus* flowers. *Food Meas.* 13, 1748–1754. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00092-w>.
264. Stelmach M., Klimowicz A., Wróblewska A., Oshetkova D., Gajewski S., Siemak J. (2025). Antioxidative and Photoprotective In Vitro Potential of *Lavandula Angustifolium*. *Applied Sciences*, 15(11), 6004. <https://doi.org/10.3390/app15116004>.
265. Sukarni S., Aminuddin M., Kunimitsu M., Mukai K., Okuwa M., Haryanto H., Jais S., Oe M. (2025). Trigona honey effect on wound pH and healing in diabetes-related foot ulcers: A case series. *Complement. Ther. Clin. Pract.* 59, 101975.
266. Sun W., Shahrajabian M.H. (2023). Therapeutic Potential of Phenolic Compounds in Medicinal Plants-Natural Health Products for Human Health. *Molecules.* 28(4):1845. <https://doi.org/10.3390/molecules28041845>.
267. Sundaram J., Mani S., Kandala C., Holser R. (2015). Application of NIR Reflectance Spectroscopy on Rapid Determination of Moisture Content of Wood Pellets. *Am. J. Anal. Chem.* 6, 923–932.
268. Šerevičienė V., Zigmontienė A., Paliulis D. (2022). Heavy Metals in Honey Collected from Contaminated Locations: A Case of Lithuania. *Sustainability.* 14, 9196.
269. Štefániková J., Martišová P., Šnirc M., Šedík P., Vietoris V. (2021). Screening of the Honey Aroma as a Potential Essence for the Aromachology. *Applied Sciences*, 11(17), 8177. <https://doi.org/10.3390/app11178177>.
270. Tananaki C., Rodopoulou M.-A., Dimou M., Kanelis D., Liolios V. (2024). The Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Nine Monofloral Honey Types. *Applied Sciences*, 14(10), 4329. <https://doi.org/10.3390/app14104329>.
271. Tashkandi H. (2021). Honey in wound healing: An updated review. *Open Life Science.* 16(1):1091-1100. <https://doi.org/10.1515/biol-2021-0084>.
272. Tejada-Muñoz S., Cortez D., Rascón J., Chavez S. G., Caetano A. C., Díaz-Manchay R. J., Sandoval-Bances J., Huyhua-Gutierrez S., Gonzales L., Chenet S. M., Tapia-Limonchi R.

- (2024). Antimicrobial Activity of *Origanum vulgare* Essential Oil against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Pharmaceuticals*, 17(11), 1430. <https://doi.org/10.3390/ph17111430>.
273. Tarapatsky M., Gumienna A., Sowa P., Kapusta I., Puchalski C. (2021). Bioactive phenolic compounds from *Primula veris* L. *Influ. Extr. Cond. Purif. Mol.* 26, 997.
274. Teymouri H., Mohammadimehr M., Ahanjan M., Sheidaei S., Saeedi M., Mellati A. (2024). Effect of collagen hydrogel containing *Lavandula officinalis* essential oil nanoemulsion in wound healing of infectious burn. *Iran J Microbiol.* 16(3):376-388. <https://doi.org/10.18502/ijm.v16i3.15795>.
275. Tlak Gajger I., Dar S.A., Ahmed M.M.M., Aly M.M., Vlainić J. (2025). Antioxidant Capacity and Therapeutic Applications of Honey: Health Benefits, Antimicrobial Activity and Food Processing Roles. *Antioxidants* (Basel). 14(8):959. <https://doi.org/10.3390/antiox14080959>.
276. Tripodi G., Merlino M., Torre M., Condurso C., Verzera A., Cincotta F. (2025). Characterization of Aroma, Sensory Properties, and Consumer Acceptability of Honey from *Capparis spinosa* L. *Foods*. 14(11):1978. <https://doi.org/10.3390/foods14111978>.
277. Truong S., Mudgil P. (2023). The antibacterial effectiveness of lavender essential oil against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: a systematic review. *Front Pharmacol.* 14:1306003. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1306003>.
278. Toledo-Martín E.M., García-García M.d.C., Font R., Moreno-Rojas J.M., Salinas-Navarro M., Gómez P., Del Río-Celestino M. (2018). Quantification of Total Phenolic and Carotenoid Content in Blackberries (*Rubus fruticosus* L.) Using Near Infrared Spectroscopy (NIRS) and Multivariate Analysis. *Molecules*. 23, 3191.
279. Valinger D., Longin L., Grbeš F., Benković M., Jurina T., Gajdoš Kljusurić J., Jurinjak Tušek A. (2021). Detection of honey adulteration – The potential of UV-VIS and NIR spectroscopy coupled with multivariate analysis. *LWT* 2021, 145, 111316. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111316>
280. Vaudour E., Cerovic Z.G., Ebengo D.M., Latouche G. (2018). Predicting Key Agronomic Soil Properties with UV-Vis Fluorescence Measurements Combined with Vis-NIR-SWIR Reflectance Spectroscopy: A Farm-Scale Study in a Mediterranean Viticultural Agroecosystem. *Sensors*. 18, 1157.

281. Vîjan L.E., Mazilu I.C., Enache C., Enache S., Topală C.M. (2023). Botanical Origin Influence on Some Honey Physicochemical Characteristics and Antioxidant Properties. *Foods*. 12(11):2134. <https://doi.org/10.3390/foods12112134>.
282. Wang H., Li L., Lin X., Bai W., Xiao G., Liu G. (2023). Composition, functional properties and safety of honey: a review. *J Sci Food Agric*. 103(14):6767-6779. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12720>.
283. Weber M., Meixner M., Dasbach R., Rozhon W., Dasbach M. (2022). Analysis of sugar crystal size in honey. *MethodsX*. 9:101823. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101823>.
284. Wehrens R. (2011). *Chemometrics with R: Multivariate data analysis in the natural sciences and life sciences*. Heidelberg: Springer.
285. Wilczyńska A., Newerli-Guz J., Szweda P. (2017). Influence of the Addition of Selected Spices on Sensory Quality and Biological Activity of Honey, *Journal of Food Quality*. 6963904, 7. <https://doi.org/10.1155/2017/6963904>.
286. Wilczyńska A., Żak N. (2024). Polyphenols as the Main Compounds Influencing the Antioxidant Effect of Honey-A Review. *Int J Mol Sci*. 25(19):10606. <https://doi.org/10.3390/ijms251910606>.
287. Williams P., Antoniszyn J., Manley M. (2019). *Near Infrared Technology—Getting the Best Out of Light; AFRICAN SUN MeDIA: Stellenbosch, South Africa, 2019*.
288. Wong C., Roberts S.M., Saab I.N. (2022). Review of regulatory reference values and background levels for heavy metals in the human diet. *Regul. Toxicol. Pharmacol. RTP*. 130, 105122.
289. Xiang Y., Xiang M., Mao Y., Huang L., He Q., Dong Y. (2025). Insights into structure-antioxidant activity relationships of polyphenol-phospholipid complexes: The effect of hydrogen bonds formed by phenolic hydroxyl groups. *Food Chemistry*. 485:144471. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144471>.
290. Yang J., Liu Y., Cui Z., Wang T., Liu T., Liu G. (2024). Analysis of Free Amino Acid Composition and Honey Plant Species in Seven Honey Species in China. *Foods*. 13(7):1065. <https://doi.org/10.3390/foods13071065>.
291. Yamani A. H., Ali M. W. (2023). Medicinal plant (*Ocimum basilicum*) based enhancement of honey bioactivity. *South African Journal of Botany*. 163, 427-432.

<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.11.001>.

292. Yaniv Z., Rudich M. (1997). Medicinal herbs as a potential source of high-quality honeys. In: Mizrahi A, Lensky Y (ed) Bee products. Properties, applications and apitherapy. Springer Science + Business Media, LLC pp 77–81. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9371-0>.

293. Yayinie M., Atlabachew M., Tesfaye A., Hilluf W., Reta C., Alemneh T. (2022). Polyphenols, flavonoids, and antioxidant content of honey coupled with chemometric method: Geographical origin classification from amhara region, Ethiopia. International Journal of Food Properties, 25(1), 76–92. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.2021940>.

294. Yu H., Guo L., Kharbach M., Han W. (2021). Multi-Way Analysis Coupled with Near-Infrared Spectroscopy in Food Industry: Models and Applications. Foods, 10(4), 802. <https://doi.org/10.3390/foods10040802>.

295. Zaldivar-Ortega A. K., Morfín N., Angeles-Hernandez J. C., González-Montiel L., Vicente-Flores M., Aguirre-Álvarez G., Cenobio-Galindo A. d. J. (2025). Functional Characterization of *Scaptotrigona mexicana* Honey: Physicochemical Properties, Antioxidant Capacity, and  $\alpha$ -Amylase Inhibition for Food Process Applications. Processes, 13(9), 2788. <https://doi.org/10.3390/pr13092788>.

296. Zawawi N., Chong P.J., Mohd Tom N.N., Saiful Anuar N.S., Mohammad S.M., Ismail N., Jusoh A.Z. (2021). Establishing Relationship between Vitamins, Total Phenolic and Total Flavonoid Content and Antioxidant Activities in Various Honey Types. Molecules. 26(15):4399. <https://doi.org/10.3390/molecules26154399>.

297. Zdolec N., Franičević M., Klanac L., Kavain I., Batinić J., Zadavec M., Pleadin J., Čobanov D., Kiš, M. (2024). Antimicrobial Properties of Basil (*Ocimum basilicum* L.), Sage (*Salvia officinalis* L.), Lavender (*Lavandula officinalis* L.), Immortelle (*Helichrysum italicum* (Roth) G. Don), and Savory (*Satureja montana* L.) and Their Application in Hard Cheese Production. Hygiene, 4(2), 135-145. <https://doi.org/10.3390/hygiene4020010>.

298. Zhang G.Z., Tian J., Zhang Y.Z., Li S.S., Zheng H.Q., Hu F.L. (2021). Investigation of the Maturity Evaluation Indicator of Honey in Natural Ripening Process: The Case of Rape Honey. Foods. 10(11):2882. <https://doi.org/10.3390/foods10112882>.

299. Zhang K., Huang J., Wang D., Wan X., Wang Y. (2024). Covalent polyphenols-proteins interactions in food processing: formation mechanisms, quantification methods, bioactive effects, and applications. Front Nutr. 11:1371401. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1371401>.

300. Zinno P. (2023). Chemical composition and biological activities of essential oils from *origanum vulgare* genotypes belonging to the carvacrol and thymol chemotypes. *Plants*, 12, 1344. <https://doi.org/10.3390/plants12061344>.

## АНЕКС 1

### Прашалник за мед

Спроведуваме студија на тема „Фактори што влијаат врз потрошувачката на мед“ како дел од барањата за докторат по иновативни технологии за храна и исхрана.

Ве молиме за соработка во обезбедувањето точни и искрени информации за да се осигураме дека резултатите од студијата одразуваат веродостојни и значајни наоди.

Ве молиме бидете сигурни дека вашите одговори ќе бидат третирани со строга доверливост. Ви благодариме многу за вашето време и труд вложен во пополнувањето на овој прашалник.

#### 1. Пол\*

- Машки
- Женски

#### 2. Возраст\*

- 18-25
- 26-35
- 36-45
- 46-55
- Над 55 години
- Претпочитам да не кажам

#### 3. Брачна состојба\*

- Сам
- Оженет/а
- Одделени
- Разведен
- Вдовец/вдовица
- Претпочитам да не кажам

#### 4. Образовен статус\*

- Без формално образование
- Основно

- Средно училиште (9-12 одделение)
- Диплома за BSc
- Магистерска диплома
- Горе

**5. Занимање\***

- Јавен службеник
- Приватен вработен
- Сопственик на бизнис
- Студент
- Невработени
- Друго

**6. Во кое годишно време најмногу консумирате мед?\***

- Лето
- Есен
- Зима
- Пролет
- Го консумирам подеднакво во сите годишни времиња
- Јас не консумирам мед

**7. Во кое време консумирате мед?\***

- Појадок
- Ручек
- Вечера
- Помеѓу оброците (време за ужина)
- Пред спиење
- Јас не консумирам мед

**8. Дали мислите дека шеќерот може да се замени со мед?\***

- Да
- Не
- Многу
- Мала количина
- Средно
- Не сум сигурен.

**9. Кои се вашите главни употреби на мед?\***

- Како засладувач во чај или пијалоци
- Во готвење или печење
- За медицински цели (на пр. болки во грлото, имунитет)
- Како намаз (на леб, палачинки итн.)
- Сурова/свежа потрошувачка
- Јас не користам мед

**10. Колку чини еден килограм мед?\***

- Многу евтино
- Евтино
- Средно
- Скапо
- Многу скапо
- Не знам

**11. Што ве тера да користите мед?\***

- Достапно е во изобилство
- Прифатлива е (разумна цена)
- Лична преференција
- Неговиот сладок вкус
- Актуелна влада во пчеларството (Свест)
- Нејзините здравствени придобивки

**12. Кој вкус најмногу ви се допаѓа?\***

- Природен мед, без додадени ароми или вкусови
- Мед со екстракт од жалфија
- Мед со екстракт од лаванда
- Мед со екстракт од рузмарин
- Мед со екстракт од масло од бел бор
- Мед со екстракт од оригано

**13. Како мислите дека додавањето екстракти би влијаело на квалитетот на медот?\***

- Значително подобрување
- Малку се подобри
- Нема ефект

- Малку се влошува
- Значително се влошува
- Не сум сигурен / Немам доволно информации за да донесам одлука

**14. Дали мислите дека консумирањето мед со природни екстракти како што се жалфија, лаванда, рузмарин, оригано или масло од бел бор ќе го зголеми неговиот лековит ефект?\***

- Да, значително
- Да, до одреден степен
- Неутрално / Не сум сигурен/на
- Не, не баш
- Не, воопшто не
- Не сум сигурен

**15. Колку сте запознаени со следниве вкусови/ароми?\***

(Скала 1–5: Воопшто не – Многу познато)

Колона

	1	2	3	4	5
Лаванда	o	o	o	o	o
Рузмарин	o	o	o	o	o
Оригано	o	o	o	o	o
Жалфија	o	o	o	o	o
Борово масло	o	o	o	o	o
Природен мед	o	o	o	o	o

**16. Пример I: Како би ја оцениле аромата? \***

- Многу слаб
- Слаб
- Плеанс
- Премногу силно
- Вештачко/Неприродно
- Не можам да судам / Немам мислење

**17. Пример II: Како би ја оцениле аромата? \***

- Многу слаб
- Слаб
- Плеанс
- Премногу силно
- Вештачко/Неприродно
- Не можам да судам / Немам мислење

**18. Пример III: Како би ја оцениле аромата? \***

- Многу слаб
- Слаб
- Плеанс
- Премногу силно
- Вештачко/Неприродно
- Не можам да судам / Немам мислење

**19. Пример IV: Како би ја оцениле аромата? \***

- Многу слаб
- Слаб
- Плеанс
- Премногу силно
- Вештачко/Неприродно
- Не можам да судам / Немам мислење

**20. Пример V: Како би ја оцениле аромата? \***

- Многу слаб
- Слаб
- Плеанс
- Премногу силно
- Вештачко/Неприродно
- Не можам да судам / Немам мислење

**21. Пример VI: Како би ја оцениле аромата? \***

- Многу слаб
- Слаб
- Плеанс
- Премногу силно

- Вештачко/Неприродно
- Не можам да судам / Немам мислење

**22. Пример I: Како би го оцениле вкусот? \***

- Благ
- Плеанс
- Премногу интензивно
- Не е погодно за мед
- Слатко
- Горчлив

**23. Пример II: Како би го оцениле вкусот? \***

- Благ
- Плеанс
- Премногу интензивно
- Не е погодно за мед
- Слатко
- Горчлив

**24. Пример III: Како би го оцениле вкусот? \***

- Благ
- Плеанс
- Премногу интензивно
- Не е погодно за мед
- Слатко
- Горчлив

**25. Пример IV: Како би го оцениле вкусот? \***

- Благ
- Плеанс
- Премногу интензивно
- Не е погодно за мед
- Слатко
- Горчлив

**26. Пример V: Како би го оцениле вкусот? \***

- Благ
- Плеанс

- Премногу интензивно
- Не е погодно за мед
- Слатко
- Горчлив

**27. Пример VI: Како би го оцениле вкусот? \***

- Благ
- Плеанс
- Премногу интензивно
- Не е погодно за мед
- Слатко
- Горчлив

**28. Дали аромата/вкусот на лаванда добро се вклопува со медот? \***

- Да, многу добро
- Донекаде
- Воопшто не
- Зависи од сортата на мед
- Не сум сигурен
- Не ми се допаѓа

**29. Дали аромата/вкусот на рузмаринот се совпаѓа добро со медот? \***

- Да, многу добро
- Донекаде
- Воопшто не
- Зависи од сортата на мед
- Не сум сигурен
- Не ми се допаѓа

**30. Дали аромата/вкусот на ориганото добро се вклопува со медот? \***

- Да, многу добро
- Донекаде
- Воопшто не
- Зависи од сортата на мед
- Не сум сигурен
- Не ми се допаѓа

**31. Дали аромата/вкусот на жалфијата добро се вклопува со медот? \***

- Да, многу добро
- Донекаде
- Воопшто не
- Зависи од сортата на мед
- Не сум сигурен
- Не ми се допаѓа

**32. Дали аромата/вкусот на маслото од бор се вклопува добро со медот? \***

- Да, многу добро
- Донекаде
- Воопшто не
- Зависи од сортата на мед
- Не сум сигурен
- Не ми се допаѓа

**33. Дали природната арома/вкус се вклопува добро со медот? \***

- Да, многу добро
- Донекаде
- Воопшто не
- Зависи од сортата на мед
- Не сум сигурен
- Не ми се допаѓа

**34. Пример I: Генерално, како би го оцениле овој производ? \***

Минимум 1 2 3 4 5 6 Максимум

**35. Пример II: Генерално, како би го оцениле овој производ? \***

Минимум 1 2 3 4 5 6 Максимум

**36. Пример III: Генерално, како би го оцениле овој производ? \***

Минимум 1 2 3 4 5 6 Максимум

**37. Пример IV: Генерално, како би го оцениле овој производ? \***

Минимум 1 2 3 4 5 6 Максимум

**38. Пример V: Генерално, како би го оцениле овој производ? \***

Минимум 1 2 3 4 5 6 Максимум

**39. Пример VI: Генерално, како би го оцениле овој производ? \***

Минимум 1 2 3 4 5 6 Максимум

**40. Кој од следниве ароматизирани медови ви се допадна најмногу? \***

- Лаванда
- Рузмарин
- Оригано
- Жалфија
- Борово масло
- Природно

**41. Дали би го користеле овој вид мед во: \***

(Да / Не / Можеби)

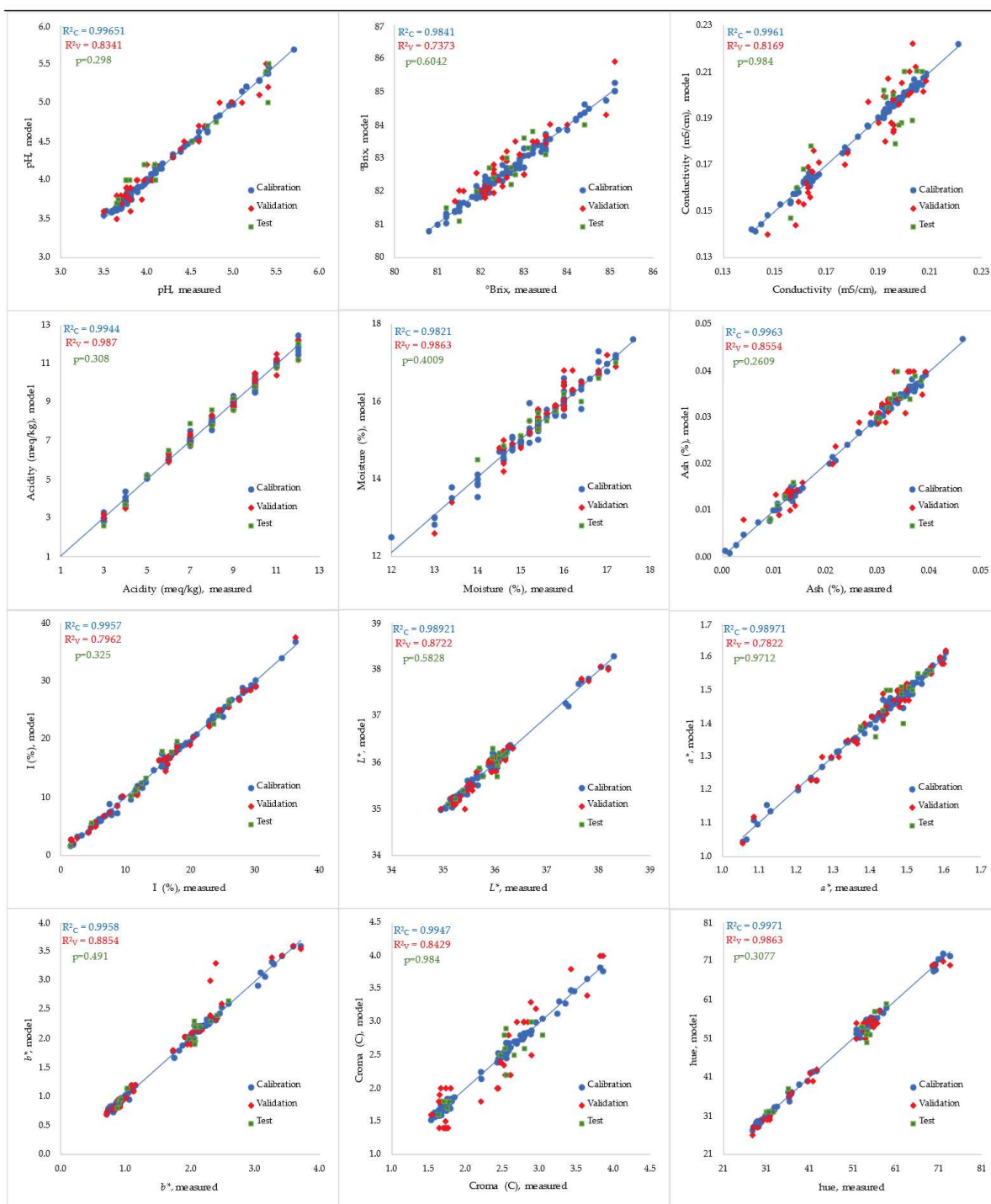
	Да	Не	Можеби
Чај	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Леб/Гост	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Десерти	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Како подарок	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Јогурт	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Смути	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**42. Дали би биле подготвени да го купите овој производ доколку е достапен на пазарот? \***

- Да
- Не
- Можеби
- Би го разгледал доколку цената е разумна
- Ќе ми требаат повеќе информации пред да одлучам
- Јас би го купил само од доверлив извор

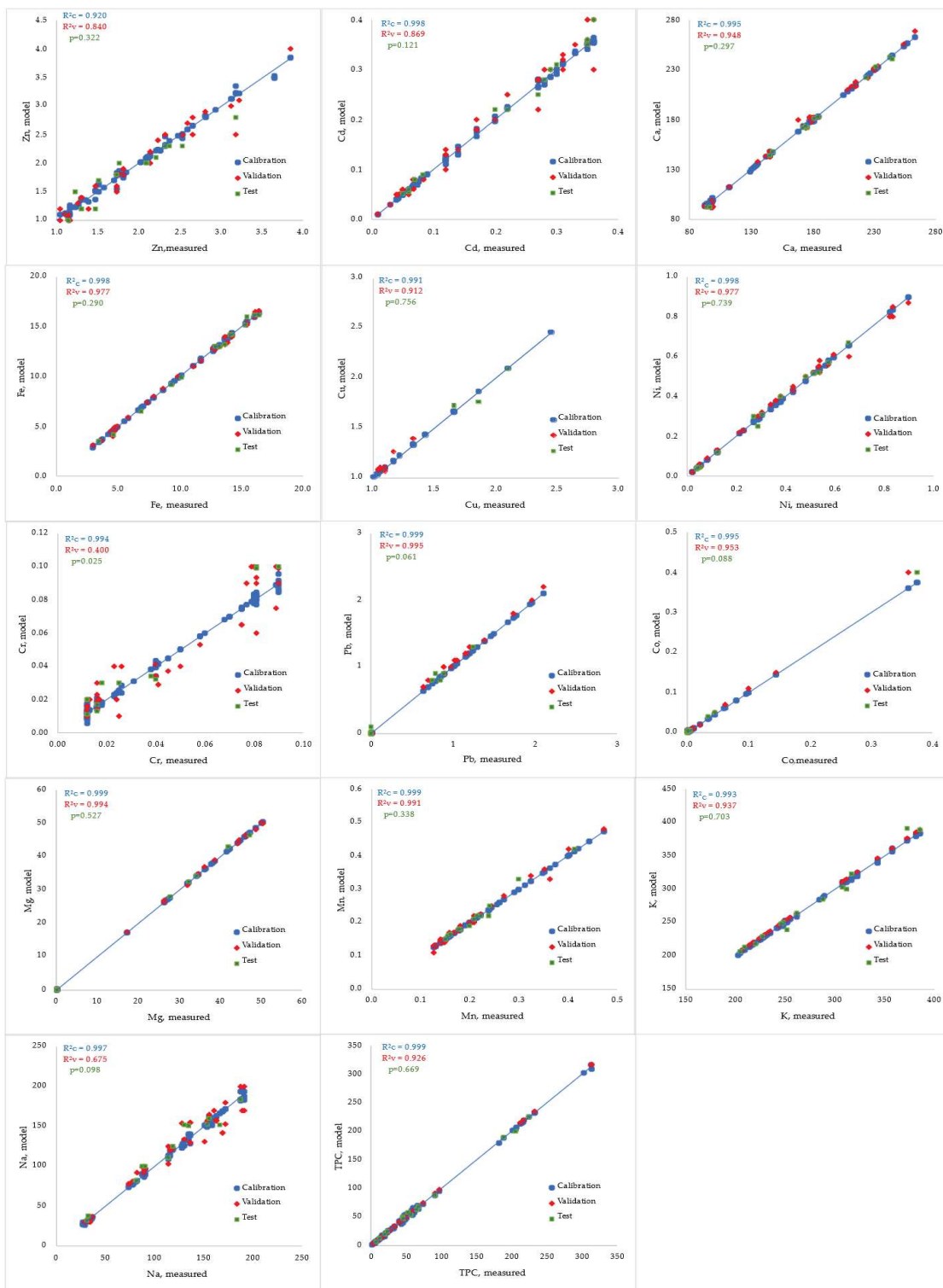
**43. Коментари / Предлози за подобрување: \***

## AHEKC 2



**Фотографија бр. А2: PLSR за лабораторискиот (столниот) NIR уред – графички приказ на калибрациските, валидациските и тест примероците.**

### АНЕКС 3



Фотографија бр. А3: PLSR за преносливиот NIR уред – графички приказ на калибрациските, валидациските и тест примероците.