



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

НЕНАД М. ЗЛАТИЋ

**ЕКОЛОШКА ДИФЕРЕНЦИЈАЦИЈА ВРСТЕ
Teucrium montanum L. (Lamiaceae) НА
СТАНИШТИМА СА КРЕЧЊАЧКОМ И
СЕРПЕНТИНИТСКОМ ГЕОЛОШКОМ
ПОДЛОГОМ**

докторска дисертација

Крагујевац, 2023



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF SCIENCE

NENAD M. ZLATIĆ

ECOLOGICAL DIFFERENTIATION OF *Teucrium montanum* L. (Lamiaceae) ON HABITATS WITH CALCAREOUS AND SERPENTINE GEOLOGICAL SUBSTRATES

Doctoral Dissertation

Kragujevac, 2023

Аутор
Име и презиме: Ненад М. Златић
Датум и место рођења: 02. 09. 1991. године у Ивањици
Садашње запослење: асистент на Природно-математичком факултету, Универзитета у Крагујевцу
Докторска дисертација
Наслов: Еколошка диференцијација врсте <i>Teucrium montanum</i> L. (Lamiaceae) на стаништима са кречњачком и серпентинитском геолошком подлогом
Број страна: 159
Број слика: 26 слика, 53 графикона, 17 табела
Број библиографских података: 273
Установа и место где је рад израђен: Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу
Научна област (УДК): Биологија, ужа научна област: Екологија, биогеографија и заштита животне средине (581.5:582.949.2(043.3))
Ментор: др Милан Станковић, ванредни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу
Оцена и одбрана
Датум пријаве теме: 15. 11. 2018. године
Број одлуке и датум прихватања теме докторске дисертације: IV-01-18/8; 23. 01. 2019. године
Комисија за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата: <ul style="list-style-type: none"> 1. Др Милан Станковић, ванредни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу 2. Др Марина Топузовић, редовни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу 3. Др Данијела Мишић, научни саветник, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду
Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације: <ul style="list-style-type: none"> 1. Др Јасмина Шинжар-Секулић, ванредни професор, Биолошки факултет, Универзитет у Београду 2. Др Данијела Мишић, научни саветник, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду 3. Др Сања Будечевић, научни сарадник, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду
Датум одбране докторске дисертације:

ЗАХВАЛНИЦА

*Истраживања у оквиру Докторске дисертације под насловом „Еколошка диференцијација врсте *Teucrium montanum* (Lamiaceae) на стаништима са кречњачком и серпентинитском геолошком подлогом“ спроведена су у лабораторијама Института за биологију и екологију Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу, лабораторијама Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Института од националног значаја за Републику Србију и лабораторијама Хемијског факултета Универзитета у Београду.*

Изработом Докторске дисертације руководио је др Милан С. Станковић, ванредни професор Природно-математичког факултета, Универзитета у Крагујевцу, који је предложио тему Докторске дисертације и који је непрестано пружао савете и помоћ током њене израде. Зато желим да искажем своју најдубљу захвалност за подршку и стручно вођење током израде моје дисертације. Ваша посвећеност и стрпљење су итали кључну улогу на мом академском путу, чинећи га не само успешним, већ и изузетно лепим искуством. Посебно желим истаћи помоћ у научном приступу и теренском раду. Осим тога, хвала Вам на оствареним научним сарадњама и приступу лабораторијама што је обогатило моје истраживачке могућности и допринело научном напретку. Још једном, неизмерно Вам хвала на свему што сте учинили за мене и моје истраживање.

Захваљујем се др Јасмини Шинжар-Секулић, ванредном професору Биолошког факултета, Универзитета у Београду, на корисним коментарима и предлозима приликом прегледа рукописа Докторске дисертације јер су тиме значајно допринели њеном квалитету.

Захваљујем се др Данијели Мишић, научном саветнику Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду, на великој помоћи током експерименталног рада и корисним саветима приликом прегледа рукописа Докторске дисертације.

Велику захвалност дугујем др Сањи Будечевић, научном сараднику Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Института од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду за велику помоћ у истраживању и презентацији резултата приликом примене методе геометријске морфометрије.

Срдечно се захваљујем својим пријатељима, колегама и професорима који су били уз мене током израде Докторске дисертације.

Посебну захвалност дугујем својој породици на великој подршци која је била непроцењива током свих година мог образовања.

Највећу захвалност дугујем својој супрузи Мири и кћерци Софији јер су ваша неизмерна љубав, непрекидно разумевање и подршка били несумњиво главна снага на овом путовању. Не могу да искажем колико сте важне у овом животном истраживању и колико ми ваша посвећеност и подршка значи.

Ненад М. Златић

АПСТРАКТ

Хемијски састав и физичка структура геолошке подлоге и земљишта утичу као скуп еколошких фактора на распрострањење биљних врста и њихову диференцијацију. Серпентинитска земљишта се одликују високим садржајем тешких метала (Cr, Mn, Ni) и ниским садржајем есенцијалних елемената (Ca, K, N, P), док је код кречњачких земљишта супротно. На основу наведеног, спроведена су истраживања садржаја 20 елемената у земљишту и биљном материјалу врсте *Teucrium montanum* (Lamiaceae) пореклом са различитих станишта, као и садржај укупних фенолних једињења и антиоксидативне активности. Поред тога, одређен је квантитативни састав појединачних фенолних једињења у метанолним екстрактима биљног материјала UHPLC/DAD/(-)HESI-MS² методом. У узорцима етарских уља, применом GCxGC/MS анализе је испитан квалитативни састав и проценат релативне заступљености испарљивих једињења. Методом геометријске морфометрије испитани су обрасци морфолошког варирања са аспекта постојања диференцијације врсте у односу на тип подлоге. На основу добијених резултата, може се закључити да тип подлоге на испитиваним стаништима има значајан утицај на екофизиолошке и морфо-анатомске карактеристике, при чему су неке од њих потенцијално значајне у адаптивном одговору врсте *Teucrium montanum* на специфичне едафске услове. Регулација интензитета биосинтезе и акумулације секундарних метаболита представља један од механизма прилагођавања који поред тога утиче и на диференцирање едафских екотипова.

Кључне речи: геолошка подлога, факултативна серпентинофита, тешки метали, секундарни метаболити, етарска уља, геометријска морфометрија.

ABSTRACT

The chemical composition and physical structure of the geological substrate and soil influence the distribution of plant species and their differentiation as a set of ecological factors. Serpentinite soils are characterized by high content of heavy metals (Cr, Mn, Ni) and low content of essential elements (Ca, K, N, P), while the opposite is for calcareous soils. Based on the above, the content of 20 elements in the soil and plant material of the species *Teucrium montanum* (Lamiaceae), originating from different habitats, as well as the content of total phenolic compounds and antioxidant activity were studied. In addition, the quantitative composition of each phenolic compound in methanolic extracts of the plant material was determined by the UHPLC/DAD/(-)HESI-MS² method. In the samples of essential oils, the qualitative composition and percentage of relative representation of volatile compounds were investigated by GCxGC/MS analysis. Using the method of geometric morphometrics, the patterns of morphological variation were studied from the point of view of the presence of species differences depending on the type of substrate. Based on the obtained results it can be concluded that the type of substrate in the studied habitats has a significant influence on the ecophysiological and morpho-anatomical characteristics, where some of them are potentially important for the adaptive response of the species *Teucrium montanum* to specific edaphic conditions. Regulation of the intensity of biosynthesis and accumulation of secondary metabolites is one of the adaptive mechanisms that also influences the differentiation of edaphic ecotypes.

Keywords: geological substrate, facultative serpentinophyte, heavy metals, secondary metabolites, essential oils, geometric morphometrics.

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
1.1. Основне карактеристике врста рода <i>Teucrium</i> L.	1
1.2. Морфолошке и систематске карактеристике врсте <i>Teucrium montanum</i> L.	2
1.3. Еколошке карактеристике врсте <i>Teucrium montanum</i> L.	3
1.4. Основне карактеристике кречњачке и серпентинитске геолошке подлоге.....	4
1.5. Распрострањење кречњачких и серпентинитских стена у Србији	6
1.6. Утицај едафских фактора на биљке	8
1.7. Секундарни метаболити биљака.....	16
1.8. Секундарни метаболити врсте <i>Teucrium montanum</i> L.	18
1.9. Етарска уља.....	21
1.10. Компоненте морфолошког варирања	22
2. ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА.....	25
3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА	26
3.1. Узорковање биљног материјала и земљишта	26
3.2. Припрема узорака за анализу.....	26
3.3. Основне карактеристике истраживаних локалитета.....	26
3.4. Климатске карактеристике истраживаних локалитета.....	29
3.5. Опрема коришћена у току експерименталног рада	32
3.6. Хемикалије коришћене у току експерименталног рада	33
3.7. Одређивање количине макро- и микроелемената ICP-OES методом	33
3.7.1. Микроталасна дигестија	33
3.7.2. Мерење на ICP-OES	34
3.7.3. Одређивање рН вредности узорака земљишта	34
3.7.4. Биоакумулациони фактор	34
3.8. Анализа укупних фенолних једињења и флавоноида у екстрактима врсте <i>Teucrium montanum</i>	35
3.8.1. Припрема биљних екстраката	35
3.8.2. Одређивање садржаја укупних фенолних једињења.....	35
3.8.3. Одређивање садржаја флавоноида.....	35
3.8.4. Испитивање антиоксидативне активности секундарних метаболита	35
3.9. Одређивање садржаја појединачних фенолних једињења UHPLC/DAD/(-)HESI-MS ² анализом.....	36

3.9.1. Припрема екстраката за UHPLC/DAD анализу	36
3.9.2. Одређивање садржаја појединачних фенолних једињења	36
3.10. Испитивање квалитативног и квантитативног састава етарског уља врсте <i>Teucrium montanum</i>	37
3.10.1. Процес изолоције етарског уља	37
3.10.2. GCxGC-MS хроматографија.....	37
3.11. Препарација биљних органа за геометријско-морфометријске анализе	38
3.11.1. Узорковање цветова, конзервирање и дисековање	38
3.11.2. Узорковање листова и конзервирање	38
3.11.3. Узорковање стабла, конзервирање и дисековање	39
3.12. Статистичка обрада резултата	39
4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА	41
4.1. Приказ упоредне анализе количине елемената у узорцима земљишта и биљног материјала врсте <i>Teucrium montanum</i>	41
4.1.1. Приказ односа Са и Mg.....	55
4.1.2. Испитивање рН вредности земљишта	55
4.1.3. Одређивање биоакумулационог фактора	56
4.1.4. Приказ корелационих односа између количине елемената у узорцима земљишта и биљака.....	56
4.1.5. Приказ анализе главних компоненти (енгл. <i>Principal component analysis</i> – PCA) у узорцима земљишта и биљака.....	56
4.2. Приказ садржаја укупних фенолних једињења, флавоноида и испитивање антиоксидативне активности врсте <i>Teucrium montanum</i>	62
4.2.1. Приказ садржаја количине укупних фенолних једињења врсте <i>Teucrium montanum</i>	62
4.2.2. Приказ садржаја количине флавоноида врсте <i>Teucrium montanum</i>	63
4.2.3. Приказ антиоксидативне активности екстраката врсте <i>Teucrium montanum</i> ..	63
4.3. Приказ варијабилности појединачних фенолних једињења применом UHPLC/DAD/(-)HESI-MS ² анализе.....	65
4.3.1 Приказ анализе главних компонената (PCA) појединачних фенолних једињења.....	78
4.3.2. Конструисање топлотне карте и ROC криве.....	78
4.4. Приказ упоредне анализе варијабилности етарског уља врсте <i>Teucrium montanum</i>	81
4.4.1. Приказ анализе главних компоненти састава етарског уља врсте <i>Teucrium montanum</i>	93

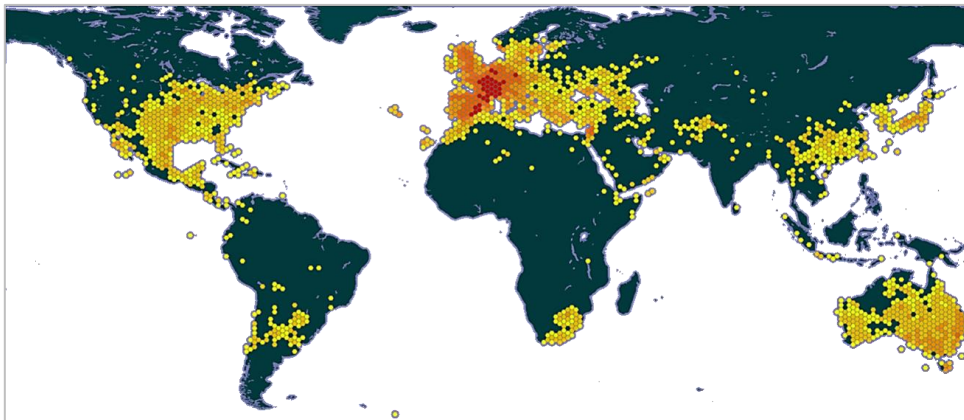
4.5. Утицај геолошке подлоге на варирање величине, облика и асиметрије код крунице, листа и стабла врсте <i>Teucrium montanum</i>	96
4.6. Варирање облика биљних органа врсте <i>Teucrium montanum</i>	97
4.6.1. Симетрична компонента варирања облика крунице.....	97
4.6.2. Асиметрична компонента варирања облика крунице.....	97
4.6.3. Симетрична компонента варирања облика листа	100
4.6.4. Асиметрична компонента варирања облика листа	100
4.6.5. Симетрична компонента варирања облика стабла.....	103
4.6.6. Асиметрична компонента варирања облика стабла.....	103
4.7. Обрасци варирања облика биљних органа код <i>Teucrium montanum</i>	106
4.8. Алометрија биљних органа код <i>Teucrium montanum</i>	106
4.9. Дискриминантна анализа на симетричним и асиметричним компонентама морфолошких целина врсте <i>Teucrium montanum</i>	108
4.9.1. Дискриминантна анализа на резидуалима који су статистички значајни.....	109
5. Дискусија	110
5.1. Садржај елемената у узорцима земљишта и надземног биљног материјала врсте <i>Teucrium montanum</i> са серпентинитских и кречњачких станишта.....	110
5.2. Садржај укупних фенолних једињења, флавоноида и антиоксидативна активност врсте <i>Teucrium montanum</i> са серпентинитских и кречњачких станишта.....	121
5.3. Садржај појединачних фенолних једињења врсте <i>Teucrium montanum</i> са серпентинитских и кречњачких станишта.....	124
5.4. Садржај етарског уља врсте <i>Teucrium montanum</i> са серпентинитских и кречњачких станишта	127
5.5. Варирање морфолошких особина врсте <i>Teucrium montanum</i> на серпентинитским и кречњачким стаништима.....	130
6. ЗАКЉУЧЦИ	135
7. ЛИТЕРАТУРА.....	138

1. УВОД

1.1. Основне карактеристике врста рода *Teucrium* L.

Род *Teucrium* припада фамилији Lamiaceae и подфамилији Ajugoideae и обухвата око 300 биљних врста (Navarro, 2020). Врсте које припадају роду *Teucrium* су претежно вишегодишње, жбунасте и полужбунасте, ретко једногодишње зељасте биљке. Изданци већине врста које припадају овом роду су усправни или полегли, јако до умерено гранати. На попречном пресеку стабло је углавном четвороуганог облика као код већине представника фамилије Lamiaceae, до округлог код малог броја врста. Листови су лацентастог или елипсастог облика, пршљенасто распоређени, са редукованом или добро развијеном лисном дршком. Обод листова је назубљен, усечен, или цео. Већина врста које припадају роду *Teucrium* су прекривене дужим или краћим жлезданим и нежлезданим длакама. Цветови су зигоморфни, са кратком цветном дршком, организовани у дихазијуме. Чашаца је звонастог облика, углавном прекривена длакама и састављена од пет листића, који су међусобно срасли. Круница је састављена од пет листића, који су такође срасли и у доњем делу формирају цевасто проширење. Крунични листићи су тако постављени да формирају доњу и горњу усну. Доњу усну чине три, а горњу два листића. Прашници се састоје од два краћа и два дужа прашника са антерама. Тучак је надцветан и састоји се од два оплодна листића. Плод је мерикарпијум који се састоји од 4 орашице са мрежастим наборима на површини (Diklić, 1974; Özcan, 2020).

Врсте рода *Teucrium* претежно су распрострањене у умереним областима, првенствено у Средоземљу и југозападној Азији (Слика 1). Међу најраспрострањенијим врстама заступљеним на простору Европе, налазе се врсте *Teucrium chamaedrys*, *T. montanum* и *T. scordium* (Станковић, 2012).



Слика 1. Распрострањење рода *Teucrium* (<http://www.gbif.org/> модификовано).

Врсте рода *Teucrium* су распрострањене на свим типовима кречњачке подлоге. Заступљене су и на серпентинитској и силикатној подлози, док су неке врсте заступљене и на заслањеним типовима подлоге. Могу се наћи у листопадним, мешовитим, лишћарско-четинарским и четинарским шумама, у заједницама зељасте вегетације и заједницама камењара, ливада, пашњака, континенталних степа и пешчара. Мали број врста је заступљен у хигрофилним заједницама дуж речних токова, као и на рудералним стаништима (Diklić, 1974; Станковић, 2012).

1.2. Морфолошке и систематске карактеристике врсте *Teucrium montanum* L.

Teucrium montanum L. (трава ива) (Слика 2) је вишегодишња хамефита са веома развијеним вретенастим кореном. Изданци су разгранати, танки, издижу се или леже на земљи, дужине од 5 до 25 cm.



Слика 2. Хабитус врсте *Teucrium montanum* L. (Фото: Н. Златић)

Код врсте *T. montanum* стабло је округло на попречном пресеку, док су изданци обрасли длакама сиве боје. Листови су унакрсно распоређени, лацентастог облика и постепено сужени у кратку дршку. Дужине су од 0,5 до 2 cm и широки од 3 до 5 mm, неназубљени по ободу, благо увијени и сужени при врху. На абаксијалној страни листа су прекривени белим длакама са израженим лисним нервом, а на адаксијалној су тамнозелене боје, са или без длака (Diklić, 1974).

Цветови су зигоморфни са кратком цветном дршком, дужине од 12 до 15 mm. Налазе се у пазуху листова и сложени су у дихазијуме од једног до три цвета, чинећи привидне главице. Чашица је дорзално проширена, звонастог облика, са пет приближно једнаких троугластих зубаца по ободу, са бочним мрежастим нервима, често прекривена длакама или је гола. Круница је два пута дужа од чашица, бледо жуте до беле боје, при чему је у доњем делу често прекривена длакама. Круница се састоји од пет режњева од којих горња два чине горњу усну а доња три доњу усну, док при основу чине цевасто сужење. Средњи режањ доње усне је много дужи од горњих режњева. Повијен је на доле, није дељен и јајастог је облика. Бочни режњеви су доста мањи од средњег нерва и такође

су повијени на доле. Горњи режњеви су усправни, са заобљеним врхом, често зеленкасте боје са љубичастим пругама. Након цветања, круница отпада, а чашица остаје и зелене је боје. Прашници премашују круницу и налазе се између горњих круничних режњева, прашнице су бледо жуте до тамно љубичасте. Плодови су орашице, јајастог облика, дужине до 2 mm са привидном мрежастом површином и израженим хилумом. Цвета у периоду од јуна до августа (Diklić, 1974; Özcan, 2020; Navarro, 2020).

Врста *T. montanum* је представљена са неколико инфраспецијских таксона због изражене морфолошке варијабилности, при чему је велики број са недефинисаним статусом или статусом синонима. Подврсте са прихваћеним статусом су *Teucrium montanum* subsp. *helianthemoides* (Adamovic) Baden и *Teucrium montanum* subsp. *montanum* (Govaerts, 2003).

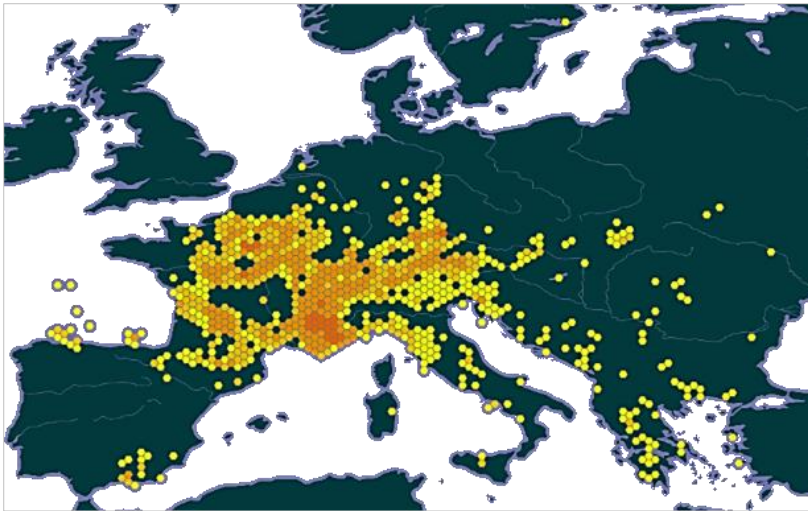
Табела 1. Систематска припадност врсте *T. montanum* L.

Classis	Magnoliopsida
Subclassis	Asteridae
Superordo	Asterales
Ordo	Lamiales
Familia	Lamiaceae/Labiatae
Genus	<i>Teucrium</i> L.
Sectio	<i>Polium</i> (Miller) Schreber
Species	<i>Teucrium montanum</i> L.

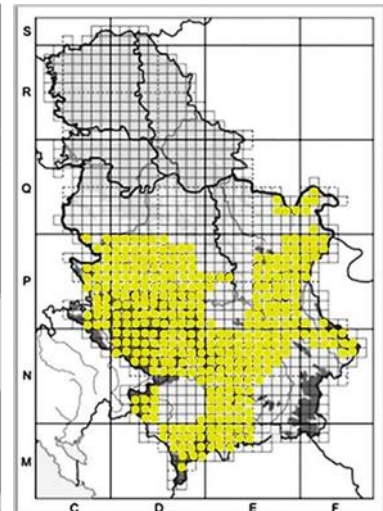
Поједине врсте рода *Teucrium* имају дугу примену у народној медицини. Међу њима је и врста *Teucrium montanum*. Примена ове врсте је најчешће код инфламаторних процеса респираторног система, за јачање имуног система, стреса, напорних физичких активности, замора, главобоље, реуматизма и артритиса. Поред тога, чајеви припремљени од изданака са цветовима се користе за стимулацију секреције жучи, подстицање варења, болести јетре и желуца, за побољшање апетита и ублажавање осталих проблема дигестивних органа (Stanković и Zlatić, 2019). Значајан квалитативно-квантитативни састав секундарних метаболита врсте *Teucrium montanum* доприноси разноврсној биолошкој активности која је потврђена у претходно спроведеним испитивањима (Stanković, 2020).

1.3. Еколошке карактеристике врсте *Teucrium montanum* L.

Врста *T. montanum* је распрострањена на територији јужне Европе, такође је заступљена у јужним деловима западне и источне Европе, Мале Азије и северним деловима Африке (Слика 3). На подручју Србије, заступљена је у централним, западним, југозападним, источним и југоисточним деловима (Слика 4). Врста *T. montanum* је прилагођена различитим типовима подлоге, тако да је једнако заступљена на базним карбонатима, ултрабазичним серпентинитима и киселим силикатима. Имајући у виду њену заступљеност на серпентинитској подлози, у оквиру поделе серпентинофита, *T. montanum* је сврстана у групу факултативних серпентинофита. На територији Србије, врста *T. montanum* је најраспрострањенија на кречњачким и серпентинитским камењарима, каменитим ливадама и сувим пашњацима око проређених борових састојина. Познати локалитети ове врсте у Србији су планине Златибор, Копаоник, Гоч, Тара, Столови, Сува планина, Ибарска, Јелашничка, Сићевачка и Ђердапска клисура (Diklić, 1974; POWO, 2023).



Слика 3. Распрострањење врсте *Teucrium montanum* на територији Европе (Станковић, 2012 модификовано)



Слика 4. Распрострањење врсте *T. montanum* на територији Републике Србије (Станковић, 2012 модификовано)

У погледу надморске висине, распрострањена је у висинском опсегу од 100 до 2000 m надморске висине. Заступљена је у заједницама листопадних, мешовитих, лишћарско-четинарских и четинарских шума, у заједницама серпентинитских камењара и континенталних кречњачких сипара, клисура и кањона, у заједницама субмедитеранског региона, заједницама ксерофилног типа, и падина планинско-брдских региона. Наведена врста је честа у светлим четинарским шумама црног и белог бора на кречњачким планинским висоравнима, док је ретка је у тамним четинарским шумама где доминира смрча. Такође је заступљена у зељастој вегетацији субмедитерана *Symbopogono-Brachypodietea* као и брдских ксерофилних ливада, пашњака и камењара *Festuco-Brometea*. Врста се такође јавља у вегетацији високопланинских рудина на серпентиниту и кречњаку из класе *Festuco-Seselerietea* са високим степеном сталности (Lakušić, 2000).

1.4. Основне карактеристике кречњачке и серпентинитске геолошке подлоге

Литосфера је слој Земље који обухвата слој матичних стена и дебљине је око 100 km. Литосферу чине континентална кора, океанска кора, и горњи слој плашта (мантл). Земљин плашт је омотач (2900 km) сачињен углавном од отопљених стена, који чини око 84% запремине Земље. Преко слоја плашта најближег литосфери тектонским процесима „клизе“ континенталне и океанске плоче, а испод дубоког слоја плашта се налази спољашње и унутрашње језгро планете (Morse и Mackenzie, 1990; Voggs, 2009).

Кречњачке стене су најраспрострањенија врста седиментних стена у свету. Изграђене су од калцијум карбоната (CaCO_3) и према пореклу се деле на хемијске (као хемијски седименти), преталожене (настале као резултат механичког распадања и преталожења раније створених кречњака) и стене органогеног порекла (настају уз учешће живих организама). Обично садрже примесе других метала као што су манган (Mn), гвожђе (Fe), магнезијум (Mg), као и примесе глине, органске материје, песка и др. (Morse и Mackenzie, 1990).

Као и већина других седиментних стена, већина кречњака се састоји од агрегата. Кречњачки агрегати су скелетни фрагменти који воде порекло од морских организама. Љуштуре морских организама су грађене од калцита и арагонита, које остају када организми угину. Кречњаци углавном садрже и различите количине силицијума (Si).

Неки кречњаци нису изграђени од агрегата, већ су формиран у потпуности деловањем хемијских продуката калцита и арагонита. Калцит може бити растворљив у води али то зависи од многих фактора као што су температура, рН и концентрација растворљивих јона. Калцит може попримити неспецифичну форму чиме постаје слабије пропустљив за воду и више је подложен загревању. Присуство секундарних примеса као што су глина, песак, остаци организама и оксиди гвожђа могу допринети да кречњак поприми другачију боју и физичке карактеристике. Кречњаци могу бити масивни, грануларни или хоризонтални што углавном зависи од методе формације. Одређени кристали калцита, кварца и доломита могу формирати пукотине у стени. У кишним периодима године, калцит формира превлаку на стенама чиме су делови стене спојени или цементиран, док уколико постоје пукотине оне ће постајати још веће због утицаја воде и калцита као абразивног средства које утиче на ерозију кречњачких стена (Morse и Mackenzie, 1990; Kishchik, 2000).

Од свих седиментних стена у свету, 10% припада кречњацима. Кречњак је делимично растворљив, посебно у киселинама. Кречњак је мање ограничен за разлику од стена вулканског порекла, али је више ограничен од других типова седиментних стена. Ова констатација важи за брдовите и равничарске пределе у којима су седиментне стене углавном повезане глином (Morse и Mackenzie, 1990).

Неравна топографија кречњачких стена настала је због растворљивости кречњака у закишељеним водама и падавинама. Растворљивост кречњака у води или слабим киселим растворима води до формирања неравних терена. Подручја на којима је формирана кречњачка маса углавном имају потоке који одводе сувишну воду са површине чиме се кречњачка станишта дренирају. Површински делови кречњака су углавном еродирани посредством организама који различито обликују стену. Овај процес је познат као биоерозија (Folk, 1974; Voggs, 2009).

Упркос значајном уделу у запремини Земље, појава ултрамафичних стена на површини континенталних плоча представља изузетно мали део, чинећи мање од једног процента укупне површине (Kazakou *и сар.*, 2008). Разлог за ретку присутност на површини Земље и њихову дистрибуцију лежи у специфичним механизмима којима ови типови стена доспевају на континенталне плоче. Континентална кора се састоји од разноврсних седиментних, метаморфних и магматских стена, док се океанска кора састоји од базалтних стена. Океанска кора се формира дуж океанских гребена и шири се према континентима, али већим делом се потапа назад у Земљин плашт дуж рубова континенталних маргина, у процесу који се назива субдукција. Током овог процеса, мањи изоловани комади ултрамафичних стена могу бити одвојени од главног плашта и везани уз седименте дуж обода континента (Alexander *и сар.*, 2007; Vicić, 2014).

Делови океанске плоче могу бити пренесени преко континенталних маргина у процесу названом обдукција. Када се делови океанске плоче нанесу на копно, заједно са ултрамафичним стенама, формирају офиолите. Термин „офиолит“ је некада означавао само ултрамафичне стене, али касније је обухватио и друге типове стена као што су магматске, метаморфне и седиментне (Alexander *и сар.*, 2007; Vicić, 2014). У офиолитску групу спадају ултрамафити (серпентинит, перидотит), габро, дијабаз и спилит. Појам „ултрамафичност“ се односи на висок садржај магнезијума (Mg) и гвожђа (Fe) у стенама (од лат. "ma-f" - magnesium, ferrum). „Ултрабазичност“, често повезана са ултрамафичним стенама и земљиштем, се односи на низак садржај силиката, а не директно на рН земљишта које обично показује благо киселу реакцију (Kruskeberg, 1984; Brooks, 1987; Alexander *и сар.*, 2007). Перидотити су ултрабазне стене које су састављене од оливина, хромита и пироксена. Перидотити и серпентинит су хемијски веома слични.

Серпентинит (енгл. ultramafic rock, serpentine) припада групи силикатних стена са општом формулом $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$ три-октаедрал (Deer и сар., 1992). Назив серпентин потиче од латинске речи „*serpentinus*“ што значи „змијски“. Назив је дат због тога што је минерал зелене боје, а прожет је белим вијугавим линијама (Best, 2003).

Серпентинитске стене садрже један или више минерала, који имају исти састав али различиту атомску структуру. Најпознатији минерали који граде серпентинитску стену су: антигорит (ламинарне структуре и тамно зелене боје), серпентин (мање-више влакнаст и бледо зелене боје), хризолит (влакнаст и блеђи од серпентина) и серпофилит (без изражене структуре и најблеђи од свих минерала). Боја стене зависи од комбинације ових минерала. Најчешћа примарна (неметаморфисана) ултрамафична стена је перидотит, која има тамну и густу структуру, а састоји се претежно од минерала оливина и пироксена. Оливин је силикатни минерал који садржи магнезијум и гвожђе поред силицијума и кисеоника. Пироксен је комбинација два минерала, један богат магнезијумом и гвожђем, други са значајном количином калцијума. Алуминијум, калијум и натријум нису заступљени у великој мери ни у оливину ни у пироксену (Deer и сар., 1992; Alexander и сар., 2007).

Серпентинит настаје у дуготрајном процесу који се назива серпентинизација. Серпентинизација представља температурну ауто-метаморфозу перидотита остатком сопственог растопа, чија је температура око 400 °С. Густина серпентинита варира од 3,3 до 2,7 g/cm³ (Sleep и сар., 2011). У процесу настанка стене серпентинита реакција је егзотермна при чему температура стене може достићи температуру око 260 °С, при чему се ствара могућност за формирање не-вулканских хидротермалних извора (Carmignano и сар., 2020).

1.5. Распрострањење кречњачких и серпентинитских стена у Србији

Кречњак у Србији заузима периферне делове земље (Слика 5). У западној и југозападној Србији припада тектонској јединици Динарида, где је кречњачка маса разбијена на веће и мање комплексе, и то најчешће дубоким кањонским долинама. У овом делу Србије кречњаци су веће моћности него у Карпатско-балканској јединици.

Кречњак у источној Србији припада Карпатско балканској геотектонској јединици. Карактеришу га изоловане кречњачке површине између којих су неогени басени, чији седименти прекривају ободне делове кречњака. Кречњаци су такође одвојени и стенама терцијарног вулканизма. Кречњак је изграђен на планинским површинама различитих висина, између 500 и 1600 метара надморске висине. Прва зона, знатно већег пространства и боље повезаности, почиње са Голубачким планинама па се преко Хомољских планина, Бељанице, Кучаја, Ртња, Озрена и Девице и Сврљишких планина наставља, преко Сићевачке клисуре на Суву планину са Црним врхом, Белавом и Столовима. Друга, источна зона, знатно мањих површина, веће расчлањености и разбијености, пружа се од Великог и Малог Штрпца над Казаном, преко Мироча, Дели Јована, Великог и Малог крша, Тупижнице и Тресибабе до Видлича и Басаре, обухватајући и један део Висока у подножју Старе планине. Источно од долине Тимока кречњачке партије се показују у виду мањих, изолованих острваца која немају већег значаја за крш Источне Србије (Petrović, 1974).

Непотпуна кречњачка маса је издељена на јасно издвојене и неповезане блокове. Геолошку средину чине млади миоценски кречњаци средње дебљине. Развијенији тип кречњачких маса са јавља на високим платоима, раздвојеним дубоким кањонским долинама алогених река, насталих изван крашких области. Реке су усекле корита у нерастворљиве стене, које чине подлогу краса. Овакав тип кречњака се у Србији јавља на Пештерској висоравни, у околини Сјенице. Прелазни тип чине смена кречњачких и

лапоровитих, слабо растворљивих и вододрживих стена. Те стене, изузев регионалног набирања, обично нису интензивније тектонски поремећене. Прелазни кречњаки тип се јавља у источној Србији, на планинама Гребену, Столу, Великом Кршу, Бељаници, Кучају, Ртњу, Озрену, Сувој планини (Pešić, 2001; Marković *u cap.*, 2003).

Серпентинитске стене су мање распрострањене него остали типови геолошке подлоге у Европи. Најзаступљеније су на Балканском полуострву и Алпима. У Србији, серпентинит заузима око 15% укупне површине, а у извесној мери учествује и у формирању планинских масива. Серпентинит је најзаступљенији у југозападном делу Србије, где се налазе највеће масе серпентинита (Слика 5). Планина Златибор чини централни и највећи масив у Србији. Одатле се серпентинитска маса распростире у неколико различитих праваца. Северозападни део досеже до Босне и Хрватске, док јужни део иде током реке Ибар. Такође, једна грана се протеже западним делом од Копаоника до Албаније док се друга грана простире преко Косова и Метохије где улази у Грчку преко Македоније (Vasić и Diklić, 2001).

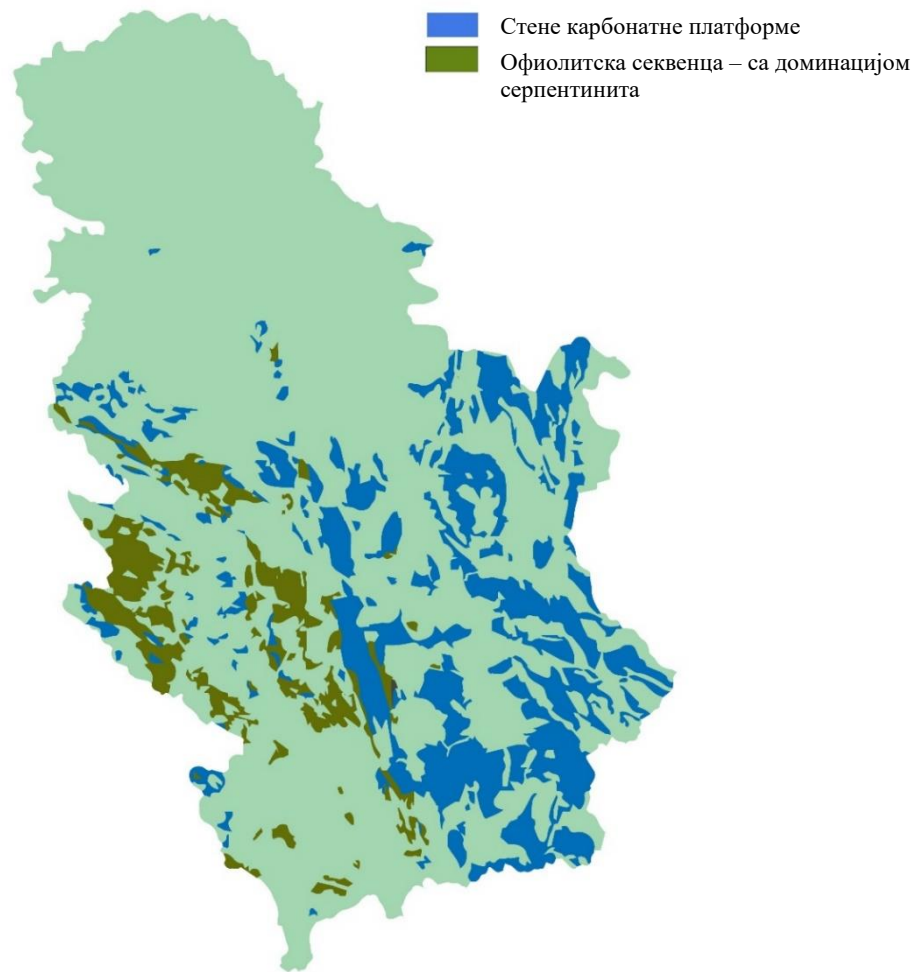
Серпентинитске стене се састоје из различитих минерала серпентинита, који је у Србији редак, али у разматрање се узима постанак тла из измењених перидотита. Перидотити су стене које се састоје из минерала оливина. Ове стене такође могу да садрже у свом саставу малу количину пироксена или хромита, међутим, у њима нема никаквих других састојака. У Србији постоје различити варијетети перидотита од којих су најчешћи харцбургит и лерзолит. Ови варијетети по хемијској структури су готово идентични и оба дају серпентинитско тло, које у себи садржи и до 50% силицијума (Si) (Tatić, 1969).

Према хемијским анализама спроведеним на терену Златибора и других планинских масива Србије, дошло се до истоветних резултата у погледу заступљених количина неорганичних материја у серпентиниту. Процент силицијума је око 45%, магнезијума око 40%, значајно је учешће гвожђа у облику феро или фери једињења, док се други елементи налазе у много мањим количинама. На пример, калцијум оксида (CaO) има веома мало у оваквим подлогама, међутим, ако у тлу има више од 3% CaO може доћи до насељавања биљних врста са кречњачких терена на серпентинитске (Tatić, 1969).

Механичка дезинтеграција ултрамафичних стена наставља се под свим климатским околностима, при чему су физички и хемијски процеси распадања међусобно повезани. Распадањем оливина и пироксена перидотити прелазе у серпентинит. Трансформација серпентинита врши се у дубљим деловима Земљине коре уз учешће високог притиска и воде. Распадање серпентинита врши се на великим просторствима у исто време, тако да се серпентинит јавља као стена а не као минерал, иако се битно не разликују по саставу (Alexander *u cap.*, 2007).

Површинско распадање серпентинитских стена врши се и данас, али у знатно мањем обиму због садашњих атмосферских прилика. Процес распадања прво ремети структуру зрна оливина у чијим се пукотинама надзире антигорит који добија мрко-црвенкасту боју. Након површинског распадања на перидотским теренима појављује се црвенкаста до жуто-мрка земља, која је најчешће спрана са површине и налази се у дубљим деловима земљишта. Услед атмосферских падавина долази до неутрализације изразито базичне средине земљишта, јер се тиме врши испирање магнезијума, док се гвожђе оксидише (Carmignano *u cap.*, 2020).

Што се тиче рН вредности на серпентинитској подлози, вредности базичне стене серпентинита износе 9,58 док у процесу распадања рН вредност знатно мења и на серпентинитском тлу пада на 6,83 при чему настаје неутрално или благо кисело земљиште (Carmignano *u cap.*, 2020).



Слика 5. Распрострањеност карбонатних стена и стена офиолитске секвенце (са доминацијом серпентинита) на територији Србије (<http://www.geoliss.mre.gov.rs> модификовано)

1.6. Утицај едафских фактора на биљке

Земљишта формирана на кречњачкој геолошкој подлози садрже CaCO_3 у слободној форми. Овакав тип земљишта карактеристичан је за сушне и полусушне пределе, као и влажне и умерено влажне регионе, посебно у оним деловима где је матична стена богата CaCO_3 . На хемијском нивоу, присуство CaCO_3 одређује алкалну реакцију у кречњачким земљиштима и утиче на доступност одређених елемената биљкама као што су натријум (Na), фосфор (P), калијум (K), магнезијум (Mg), цинк (Zn), бакар (Cu) и гвожђе (Fe). Присутни карбонати у земљишту доприносе већој рН вредности која се креће између 7,5 и 8,5. Осим хемијског утицаја CaCO_3 у кречњачким земљиштима утичу и на физичке карактеристике истог (Lambers *и сар.*, 2008).

Кречњачко земљиште садржи више од 15% CaCO_3 . Овакви типови земљишта су широко распрострањени у сушним пределима. Земљишта засићена калцијумом (Ca) имају добру агрегатну форму као и физичке услове. Уколико земљиште садржи тврд непропустив слој, исто ће трпети због недовољног система за дренажу. Кречњачка земљишта углавном имају мале количине Na, P, Zn и Fe као и органских материја (Folk, 1974; Kishchuk, 2000).

Кречњачка земљишта су формирана како у сушним тако и у влажним регионима, али су чешћа у сушним регионима. Оваква земљишта се формирају због утицаја временских услова на матичну стену која је изграђена од CaCO_3 . Умерене количине падавина у сушним и полусушним регионима нису довољне за спирање површинских слојева кречњачких земљишта. Када је сушно време, CaCO_3 из земљишта се капиларно уздиже на површину где се раствара. Кречњачка земљишта секундарног порекла налазе се у доњим слојевима одређених подручја или у основи стена које се вертикално издижу. Генерално, дренарање није толико изражено у доњим слојевима земљишта. Када је кишна сезона, растворљиви калцијум бикарбонат $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ се акумулира у доњим слојевима кречњачког земљишта. Када је сушна сезона, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ прелази у CaCO_3 који се складишти на површини земљишта капиларним кретањем (Lambers *u cap.*, 2008).

Основне карактеристике земљишта формираних на кречњачкој геолошкој подлози су да иста углавном садрже CaCO_3 у слободној форми као и магнезијум карбонат (MgCO_3) који је заступљен у малим количинама. У реакцији са киселинама земљишта пенушају. Земљишни колоиди садрже око 90% CaCO_3 и MgCO_3 као апсорбованих база. Наведена земљишта углавном су базне рН вредности, око рН 8,0 или могу да варирају између 7,0 и 8,3. Физичка својства кречњачких земљишта огледају се у томе да су углавном састављена од гранула и да је само земљиште пропусно за воду и ваздух због великог броја пора којима је испуњено. Такође, присуство глине у земљишту повећава порозност и дренарање, док присуство песка у истом умањује пропусност воде задржавајући капацитет исте (Lambers *u cap.*, 2008).

Што се тиче доступности нутријената у кречњачким земљиштима, растворљивост фосфора је умањена тако да су количине истог у оваквим земљиштима умањене. Доступност калијума је умањена због присуства великих количина CaCO_3 . Доступност цинка је редукована. Доступност воде је веома битна за активност микроорганизама. Активност микроорганизама на влажним кречњачким земљиштима је у нормали али је умањена на сушним кречњачким земљиштима (Kishchuk, 2000).

Вегетацијске заједнице заступљене на различитим кречњачким земљиштима имају заједничке карактеристике без обзира у каквим се климатским појасевима налазе (Слика 6). До оваквог формирања специфичне флоре довеле су карактеристике кречњачког тла, које се одликује јединственим хемијским и физичким особинама у одређеним деловима света. Подручја са кречњачким земљиштима одликују се високом разноврсношћу и бројношћу врста (Voggs, 2009).

У зависности од орографских фактора, температуре, недостатка воде, алкалног тла и минералног састава који се доста разликује од места до места формирају се специфичне еколошке групе биљака. Присуство Са у земљишту одређује како физичка, тако и хемијска својства земљишта. Земљишта богата Са су базичне реакције, пропустљива за воду, добро аерисана, са повољним односом хумуса, као и адсорптивном способношћу. Поред оваквих земљишта у влажнијим климатским областима, развијају се земљишта која су киселе реакције, сиромашна Са и непропустљива за воду (Folk, 1974).



Слика 6. Изглед вегетације заступљене на кречњачкој геолошкој подлози (Фото: Н. Златић)

Вегетација која се формира на оваквим типовима земљишта се у многоструку разликује јер биљке у зависности од станишта поседују различите структурне и функционалне карактеристике. На основу тога, разликују се два типа еколошких група биљака у односу на количину Са у подлози:

- 1) калциколне врсте које насељавају земљишта са великом количином Са у подлози, где је земљиште базне реакције. Калциколне врсте се деле на две подгрупе:
 - а. облигатне калциколне које насељавају земљишта богата Са;
 - б. факултативне калциколне које се развијају на земљиштима богатим Са, али подносе земљишта са смањеном количином Са;
- 2) калцифугне врсте које насељавају земљишта са малом количином Са, где је земљиште углавном киселе реакције (Stevanović и Janković, 2001).

Кречњачка геолошка подлога има изузетно велики утицај на карактер и сложеност биљног света. Биљне врсте заступљене на кречњачкој геолошкој подлози се разликују од биљака заступљених на некој другој геолошкој подлози у морфоанатомским и физиолошким карактеристикама. У зависности од геолошке подлоге, на неразвијеном или слабо развијеном земљишту налази се аутохтона шумска, зељаста и хазмофитска вегетација (Stevanović и Janković, 2001).

Серпентинитска земљишта која се формирају на перидотитима поседују специфичне физичке и хемијске карактеристике, које су неповољне за раст биљака (Brooks, 1987). Серпентинитска земљишта представљају посебан супстрат за флору. Биљке заступљене на серпентиниту имају бројне функционалне и структурне адаптације, чиме се разликују од биљака заступљених на другим типовима земљишта. За биљке серпентинита карактеристичан је „серпентинитски синдром“ који је праћен неравнотежом Mg и Са, токсичношћу тешких метала, токсичношћу Mg и ниским нивоом есенцијалних нутријената (Kruckeberg, 1984; Brooks, 1987).

Клима је главни фактор од кога зависи тип формираног тла на серпентинитској геолошкој подлози. Серпентинитска земљишта имају екстремне физичке и хемијске карактеристике. Ова земљишта су каменита и плитка, одликују се високом порозношћу и имају низак капацитет задржавања воде. Серпентинитска земљишта садрже мале количине есенцијалних нутријената (Са, Р, N, К) и високе концентрације тешких метала (Mn, Ni, Cr) (Whittaker, 1954; Kruckeberg, 1984; Brooks, 1987; Proctor и Nagy, 1992; Brady, 2005).

Суша неповољно делује на физиолошке и морфолошке карактеристике биљака чиме се биљке ових станишта доста разликују од биљака заступљених на другим стаништима. Поред ниског водног потенцијала земљишта, биљке серпентинита имају велику толеранцију на повишену концентрацију тешких метала у подлози. Поседују бољи механизам стоматерног апарата, чиме контролишу прекомерни губитак воде (Proctor, 1999). Типичне серпентинофите се одликују нанизмом, глаусценцијом, плагиотропизмом, атипичним индументумом и стенофилијом, пурпуресценцијом, глабресценцијом, добро развијеним кореновим системом, деколорацијом лисних површина и све ове карактеристике се описују називом „серпентинитског синдрома“ (Kruckeberg, 1984; Proctor и Woodell, 1975; Brady *u cap.*, 2005).



Слика 7. Изглед вегетације затупљене на серпентинитској геолошкој подлози (Фото: Н. Златић)

Бројна истраживања показују да вегетацијске заједнице заступљене на различитим серпентинитским земљиштима (Слика 7) имају заједничке карактеристике без обзира у каквим се климатским појасевима налазе. До оваквог формирања специфичне флоре довеле су карактеристике серпентинитског тла, које се одликује јединственим физичким и геохемијским особинама у свим деловима света. Серпентинитска подручја одликују се ниском бројношћу и разноврсношћу врста, присуством посебних морфолошких особина, и присуством палео- и неоендемских врста (Proctor и Woodell, 1975; Kruckeberg, 1984; Proctor и Nagy, 1992).

Услед високе температуре, недостатка воде, алкалног тла и неповољног минералног састава, серпентинитска земљишта се сматрају неплодним. Вегетација заступљена на оваквим земљиштима је деградирана, биљке се одликују ниским растом и специфичним функционалним и структурним адаптивним карактеристикама, због чега су класификоване у посебну еколошку групу серпентинофита (Brady *u cap.*, 2005).

Две основне групе биљака заступљених на серпентиниту су: облигатне серпентинофите, које се јављају искључиво на серпентиниту и факултативне серпентинофите, које се углавном јављају на серпентиниту (Stevanović *u cap.*, 2003).

Облигатне серпентинофите имају посебан метаболизам којим избегавају токсично дејство тешких метала (Brady *u cap.*, 2005). Факултативне серпентинофите показују „серпентинитски синдром“ као што је комплекс морфо-функционалних адаптација по којима се разликују биљне популације заступљене на серпентинитским земљиштима и оних биљака које живе на другим подлогама. Најзначајнија област у Европи за облигатне серпентинофите је Балкан, на коме је заступљено 123 таксона (Stevanović *u cap.*, 2003).

Облигатне серпентинофите најчешће су ендемичне врсте серпентинита на Балкану. Њихова станишта су места диференцијације и специјације у овом делу Европе. Између факултативних и облигатних серпентинофита, постоје одређене разлике у структури и функцији биљних органа, што им омогућава да се изборе са недостатком хранљивих материја и другим типовима еколошких стресова. Из овог следи да је едафска специјализација биљака од изузетног значаја, посебно када су у питању ендемичне врсте (Stevanović *u cap.*, 2003).

Досадашња истраживања, спроведена на биљним врстама заступљеним на серпентинитским земљиштима, показују позитиван утицај на обнову контаминираних земљишта и биоремедијацију. Биљне заједнице заступљене на оваквим подлогама адаптирале су се на повишене концентрације тешких метала, и то коришћењем механизма којима је унос метала ограничен или толеранцијом на тешке метале путем „хиперакумулације“, где биљне врсте акумулирају тешке метале у надземним деловима (Baker, 1981; Brooks, 1998; Brady *u cap.*, 2005).

Утицај серпентинитског супстрата на вегетацију не представља ограничавајући фактор за одређене биљке, већ утиче да се одређене биљке у морфолошким и анатомским карактеристикама разликују у зависности од других. Специфичности вегетације на серпентинитима углавном су везане за хазмофитске заједнице јер је утицај међу врстама између матичних стена директнији (Vasić и Diklić, 2001).

Биљне врсте су на природним стаништима изложене деловању срединских фактора, међу којима се утицај геолошке подлоге и земљишта издваја као комплексан еколошки, односно едафски фактор. Утицаји едафског фактора пореклом су од абиотичке и биотичке компоненте тла као динамичног система. Физичке, хемијске и биотичке одлике геолошке подлоге и земљишта утичу на квантитативне и квалитативне особине биљног света у флористичком и вегетацијском погледу, као и на морфо-анатомске и екофизиолошке особине биљака које се испољавају кроз изражен формативни и дистрибутивни ефекат. Процес педогенезе је комплексан физичко-хемијски процес одређен типом геолошке подлоге, климатским условима и живим светом. Имајући у виду варијабилност наведених фактора, како у простору, тако и у времену, као резултат педогенезе настају различити типови земљишта са више или мање повољним физико-хемијским особинама за биљке. Едафски фактори код биљака условљавају појаву различитих морфо-анатомских и екофизиолошких особина у функцији прилагођавања, при чему се диференцирају групе врста прилагођене ширем опсегу варирања едафских услова, као и групе врста специјализоване за одређени тип подлоге чинећи посебне едафске екотипове. Због развијања комплексних механизма прилагођености на одређени тип подлоге, распрострањење неких еколошких група је у потпуности одређено типом подлоге, док је за неке групе својствен изванредан степен толерантности у погледу варирања едафских услова, при чему се диференцирају облигатне и факултативне еколошке групе, односно едафски екотипови према типу подлоге (Zlatić и Stanković, 2019).

Едафски фактори као комбинација бројних физичких и хемијских својстава супстрата значајно одређују распрострањеност, разноликост и састав биљних врста. Веома важан фактор земљишта је комбинација и концентрација доступних минералних хранљивих састојака у земљишту. Постоје две класе међу хемијским елементима које се сматрају битним за биљке: макро- и микроелементи. Макроелементи попут К и Mg су потребни у великим количинама, јер чине основу кључне ћелијске компоненте попут протеина и нуклеинских киселина. Микроелементи попут Zn, Mn, Cu, Fe, Ni су често потребни као кофактори за активност ензима и потребни су у малим количинама, док у већим количинама постају токсични. Биљке не могу да разликују токсичне елементе као што су Cd, Pb, Hg за разлику од минералних материја (Kabata-Pendias, 2011).

Унос елемената у биљне органе зависи од:

- 1) кретања елемената из земљиште до биљног корена,
- 2) преласка елемената мембране епидермалних ћелија корена,
- 3) транспорта елемената из ћелија епидермиса у ксилем, при чему се исти транспортују од корена до изданака и
- 4) мобилизације елемената од листова до осталих ткива.

Многи фактори могу утицати на ефикасност уноса хемијских елемената из земљишта путем корена. Макро- и микроелементи доприносе хомеостази у биљкама на различите начине. Јони метала доспевају у биљно ткиво путем размене јона, пасивне дифузије или путем мембранских транспортера локализованих у корену. Постоје разни одбрамбени механизми које су биљке развиле услед присуства токсичних елемената, а то су: ванћелијска имобилизација у близини корена (помоћу ексудата корена или микоризне асоцијације), интрацелуларна детоксикација путем формирање комплекса између металних јона и пептида – фитохелатина, или комплекса са органским киселинама или аминокиселинама. С друге стране, толерантност биљака на неке метале повезана је са повећаном синтезом фитохелатина пролина или антиоксидативних ензима (Pavlova *и сар.*, 2020).

Биљне врсте на стаништима са специфичним типом подлоге су развиле комплексне адаптивне механизме на присутне едафске услове. Овакве биљне врсте су погодан објекат за упоредну анализу адаптивне стратегије према типу подлоге. Међу представницима са оваквим типом распрострањења су врсте на стаништима са кречњачком подлогом, али које подносе и услове станишта са серпентинитском подлогом. Земљишта формирана на кречњачкој подлози садрже CaCO₃ у слободној форми, који на хемијском нивоу одређује алкалну реакцију и ограничену доступност одређених елемената биљкама као што су N, P, K, Mg, Zn, Cu и Fe. Земљишта формирана на серпентинитској геолошкој подлози представљају посебан супстрат са екстремним физичким и хемијским карактеристикама. Нарушен минерални режим, поремећен однос Ca и Mg, недостатак есенцијалних нутријената Ca, P, N, K, повећане концентрације тешких метала Mn, Ni, Cr и варирање рН вредности од киселих до јако алкалних неке су од најзначајнијих карактеристика серпентинитских земљишта (Zlatić и Stanković, 2019).

Дистрибуција и степен присуства одређених биљних врста директно је повезана са едафским факторима. Екстремни едафски услови на серпентиниту и кречњаку пружају добре могућности за испитивање утицаја едафских фактора у екологији, хорологији и природној селекцији биљних организама (Rajakaruna, 2004; Rajakaruna *и сар.*, 2009). Pollard *и сар.* (2002) наводе да постоји јака селекција која фаворизује генотипове, који су отпорни на повећане концентрације метала у подлози. Такви генотипови повећавају просечну толеранцију популације на елементе у траговима при

чему настају метал-толерантни екотипови и расе. Адаптивни механизми оваквих биљних врста су усмерени на искључивање метала, толеранцију на токсичност, раздвајање метала у различитим органима. Ниво толеранције повезан је са количином метала у земљишту и њиховом биодоступношћу (Pavlova *u cap.*, 2020)

Поред осталих едафских фактора, рН вредност је важан фактор који утиче на својства тла и биорасположивост хемијских елемената. Кисела тла у великој мери доприсе растворљивости метала. Јасно је да са порастом рН вредности смањује растворљивост Fe, Cr, Ni и Co у серпентинским земљиштима (Brooks, 1987). Према Blake и Goulding (2002), олово се не мобилише док рН не буде < 4,5. Цинк је лако растворљив у односу на остале метале у земљишту и доступан је у киселој средини. Сматра се да је фракција Zn повезана са Fe и Mn оксидима вероватно најдоступнија биљкама. У киселим земљиштима, доступност Cd је много већа него у неутралним и благо алкалним земљиштима. Раздвајање фактора је могуће уколико биљка има способност да регулише биодоступност хемијских елемената као одговор на промене у земљишту и биорасположивост хемијских елемената (Kabata-Pendias, 2011).

Равнотежа између различитих хемијских елемената у земљишту је изузетно сложена у зависности од различитих биотичких и абиотичких фактора. Са такве тачке гледишта испитивање земљишта са необичним карактеристикама прихваћено је као доминантна селективна сила која обликује еволуцију биљака које су веома осветљавање на специфичан однос земља-биљка. Заједно, ови механизми омогућавају биљкама да повећају своје способности прикупљања хранљивих састојак док се уједно штите од накупљања вишка других елемената, који узгред могу бити токсични. Јасно је да способност биљака да користе такве механизме има значајну улогу на структуру биљних заједница, екологију тла и биодиверзитет (Pavlova *u cap.*, 2020).

Тешки метали су означени као они који имају густину већу од 5 g/cm³. Широко су заступљени у Земљиној кори и могу се ослободити из метаморфних стена, седимената и стена вулканског порекла. Јони неких тешких метала као што су Fe, Zn, Cu, Co и Ni представљају важне микронутријенте, који су укључени у функционисање биљних органа. При вишим концентрацијама од дозвољених, ови јони метала могу постати штетни за биљне организме. Поред ових есенцијалних метала, постоји низ других неесенцијалних метала као што су Hg, Pb, и Cd, који имају високо токсично дејство на биљна ткива и органе уколико су им количине веће од дозвољених (Clemens, 2001; Peralta-Videa *u cap.*, 2009). Излагање биљака утицају тешких метала покреће широк спектар физиолошких и метаболичких адаптивних промена, које су условљене интеракцијом између спољашње средине и генотипа (Dubey, 2011). Адаптивна толеранција биљака на тешке метале укључује комплекс гена, који детерминишу механизме отпорности према токсичном ефекту тешких метала. Ти механизми су искључивање метала и спречавање уласка у ћелије или њихова инактивација (Shah и Nongkynrih, 2007).

Токсичан ефекат тешких метала у биљним ткивима уочава се на молекуларном, биохемијском и микроструктурном нивоу, као и на нивоу хабитуса (Gamalero *u cap.*, 2009). Најочљивији симптоми токсичности тешких метала су смањење раста биљака, затим хлороза листова, некроза, губитак тургора, смањење вијабилности семена при клијању, деструкција фотосинтетског апарата, као и прогресија процеса старења (Sharma и Dubey, 2007; DalCorso *u cap.*, 2010). Тешки метали инхибирају комплексне физиолошке процесе на нивоу целог биљног организма, као што је одржавање процеса хомеостазе, водни режим, транспорт, метаболизам хранљивих материја и минерални режим у оквиру кога посебно усвајање Ca, Mg, K и P (Benavides *u cap.*, 2005). Повишен ниво тешких метала умањује ефективност фотосинтезе због директног утицаја на фотосинтетски апарат. Неколико студија показују да тешки метали утичу на отпуштање

протеина, липида и елемената који улазе у састав мембране тилакоида, ометајући фотосистем II (Hsu и Као, 2004). Поред тога, неки тешки метали могу да замене Mg у хлорофилу, што има за последицу инхибицију ензима који су укључени у синтетски пут (Shakya *u cap.*, 2008). Тешки метали умањују усвајање CO₂ тако што врше инхибицију ензима, који су укључени у процес фиксације CO₂ (Perfus-Barbeoch *u cap.*, 2002). Такође, тешки метали ремете метаболизам угљених хидрата (Jha и Dubeu, 2004).

Постоје различити механизми толеранције биљака на повишене количине тешких метала у подлози. Механизми су одређени тежњом биљака да акумулирају метале у нетоксичним облицима или да умање њихов унос. Многе серпентинофите теже да смање унос тешких метала из подлоге, тако да њихова количина у самој биљци буде сведена на минимум. Ендемичне серпентинофите су уско специјализоване за серпентинска земљишта и оне имају способност акумулације тешких метала у надземним деловима (Baker, 1987).

Биљке су се прилагодиле оваквим утицајима тако што су развиле сложене мреже транспорта и друге битне кораке у развоју физиолошких процеса (Clemens, 2001). Биљке поседују механизме на ћелијском нивоу који су укључени у детоксикацију и толеранцију на стрес изазван присуством тешких метала. Битне компоненте које одржавају хомеостазу и детоксикацију тешких метала у биљци су мембрански транспортери за тешке метале, интрацелуларни молекули који реагују са јонима метала, хелација и утицај молекула који спречавају таложење метала у ћелији (Williams *u cap.*, 2000).

У зависности од оксидативних статуса, тешки метали могу бити високо реактивни, што разултира токсичношћу у већини организама. Способност биљака да повећају антиоксидативну активност у борби против негативних последица стреса изазваног тешким металима је ограничена, што је показала изложеност повишеним концентрацијама редокс реактивних метала. При томе је утврђено да се активност антиоксидативних ензима умањује пре него што се повећава. Токсични ефекти тешких метала на биљке огледају се у продукцији реактивних врста кисеоника, ометању функционисања есенцијалних група биомолекула и дислокацији есенцијалних јона метала у биомолекулима (Schützendübel и Polle, 2002).

Механизми који утичу на толеранцију биљака на подлогу са тешким металима, захтевају да биљне врсте поседују комплексне биохемијске и физиолошке процесе, који су одређени променом у генетичком апарату (DalCorso *u cap.*, 2010). Отпорност на тешке метале биљке постижу „избегавањем“, када ограничавају унос метала, или „толеранцијом“, када преживљавају у присуству високих концентрација метала у свом организму. Избегавање подразумева смањење концентрације метала у екстрацелуларном простору, као и модификацију ћелијског зида која подразумева смањену апсорпцију и умањивање рецептора за метале. Толеранција се односи на то да су тешки метали интрацелуларно хелатирани кроз синтезу аминокиселина, органских киселина, GSH или НМ-везујући лиганди као што су металотионеини (MTs), фитохелатини (PCs), који се раздвајају на делове у вакуоли, утичу на антиоксидативну активност и неутралишу штетне последице изазване ROS (Hossain *u cap.*, 2010; Yadav, 2010; Seth *u cap.*, 2012). Активација супероксид димутаза (SOD) и каталазе (CAT) представља један од основних механизма за детоксификацију тешких метала у биљкама (Shanker *u cap.*, 2003). Што је мања концентрација тешких метала у биљци, то је активност антиоксидативних ензима већа, док се при већим концентрацијама SOD активност не повећава а активност каталазе је умањена (Gwózdź *u cap.*, 1997). Количина тешких метала присутних у подлози утиче на повећану активност ензима укључених у процес биосинтезе секундарних метаболита, што је у корелацији са повећаном продукцијом ових биолошки активних супстанци (Michalak, 2006).

1.7. Секундарни метаболити биљака

Метаболизам биљака диференцира се на примарни, чији продукти (примарни метаболити) омогућавају раст и развој биљке и секундарни, чији се процеси настављају на процесе примарног и његови продукти (секундарни метаболити) омогућавају интеракције биљака са спољашњом средином и прилагођавање биљака (Klibenstein и Osbourn, 2012). Према хемијском саставу, секундарни метаболити се деле у две групе. У прву групу спадају молекули који не садрже атоме азота – терпеноиди и фенолна једињења. У другу групу спадају молекули који садрже атоме азота – алкалоиди (Quideau *и сар.*, 2011).

Најпознатији путеви биосинтезе секундарних метаболита су биосинтетски пут шикимске киселине, мевалонске киселине и поликетидни синтетски пут. Метаболичким путем шикимске киселине настаје група фенолних и ароматичних једињења (Vogt, 2010). Велики број фенолних киселина чини деривате *trans*-циметне киселине која је формирана деаминацијом L-фенилаланина уз помоћ ензима L-фенилаланин амонијум лиаза (PAL). Овеј ензим повезује примарни и секундарни метаболизам, односно повезује биосинтетске путеве шикимске киселине са фенилпропаноидним биосинтетским путем. Као одговор на абиотичке факторе активност PAL се повећава и ензим активира многобројне гене који су укључени у синтезу фенилпропаноида (Stanković *и сар.*, 2015). Биосинтетски путеви секундарних метаболита су у одређеној мери под утицајем еколошких фактора као што су надморска висина, водни режим станишта, присуство тешких метала у подлози, зрачење, присуство паразита, а поред ових фактора значајни процеси биосинтезе метаболита су одређени генетичким факторима (Endt *и сар.*, 2002; Polityска и Adamska, 2003). Место синтезе секундарних метаболита у биљним ћелијама није увек и место њихове акумулације. Количина синтетисаних продуката који су настали секундарним метаболизмом је различита у различитим биљним деловима и зависи од старости биљке, сезонске варијабилности и низа еколошких фактора (Achakzai *и сар.*, 2009; Filippini *и сар.*, 2010).

Фенолна једињења представљају велику групу секундарних метаболита, која у структури имају један или више ароматичних прстенова са једном или више хидроксилних група. У оквиру групе фенолних једињења разликују се две подгрупе – флавоноиди и фенолне киселине (Chong *и сар.*, 2009; Stalikas, 2010; Quideau *и сар.*, 2011).

Молекулска структура фенолних киселина је типа (C₆-C₁ и C₆-C₃) и према пореклу се деле на деривате бензоеве (један угљеников атом у бочном низу) и циметне киселине (три угљеникова атома у бочном низу). Услед тога, фенолне киселине класификоване као једноставни феноли подељене су у две подгрупе: хидроксибензоеве киселине и хидроксициметне киселине. Улога фенолних киселина у биљкама је многобројна и огледа се у процесу активације ензима фотосинтезе, усвајању потребних материја из подлоге и адаптацији биљке на абиотичке и биотичке факторе стреса (Robbins и Bean, 2004; Mandal *и сар.*, 2010).

Познати представници фенолних киселина из групе хидроксибензоєвих киселина су гална киселина, ванилинска киселина, протокатехинска киселина и др. (Briemann *и сар.*, 2006). Најчешћи представници хидроксициметних киселина су кафеинска, *p*-кумарна, ферулинска и синапинска киселина (Mihailović *и сар.*, 2020). Фенолне киселине су битни прекурсори у процесу биосинтезе сложенијих фенолних киселина и неких флавоноида. У реакцијама одбрамбених механизма учествују у реакцији отпуштања водониковог атома и реакцијама неутрализације слободних радикала. Бројним испитивањима је показано да је антиоксидативна активност фенолних киселина боља уколико имају већи број хидроксилних група (Rice-Evans *и сар.*, 1996; Cuvelier *и сар.*, 1992; Jomová *и сар.*, 2019; Mihailović *и сар.*, 2020).

Флавоноиди су најзаступљенија група фенолних једињења која се налазе у биљкама. Састоје се од 15 атома угљеника, и карактеришу се хетероцикличним молекулским скелетом типа C₆-C₃-C₆, који има основну структуру са два ароматична прстена (А и В) повезана преко три угљеника атома који формирају кисеонични хетероцикл (С прстен). Ова класа секундарних метаболита је добила назив по жутој боји (флавус – жут), међутим, у природи постоје и безбојни флавоноиди. Флавоноиди су обично подељени у 6 главних подкласа, као што су флавоноли, флаволи, флаванолни (флаван-3-ол), флаванони, антоцијанидини и изофлаволи (Ignat *u cap.*, 2011).

Флавоноиди су заступљени у свим биљним органима, док им количина варира у зависности од еколошких и генетичких фактора (Stanković *u cap.*, 2010; Stanković *u cap.*, 2012). Међу најзаступљенијим флавоноидима у природним производима су кверцетин, који спада у групу флавонола и апигенин из групе флавола, затим цијанидин из групе антоцијанина, и катехин, који спада у групу флавонола (Ribas-Augusti *u cap.*, 2011).

Главна улога флавоноида још увек није у потпуности разјашњена, међутим, до сада је утврђено да једињења која припадају овој групи фенола делују као снажни антиоксиданси, чему доприноси положај хидроксилних група. Антиоксидативни механизми флавоноида подразумевају хелатизацију метала и способност отпуштања водоникових атома, што је условљено присуством хидроксилних група у В прстену. Хелатизација метала се врши помоћу хидроксилних група у В прстену и карбонилне групе у С прстену. Када је карбонилна група у С прстену хидрогенизована, флавоноид губи способност хелатизације метала, из разлога што је онемогућена реакција међу електронима која се одиграва током стварања комплекса метала са флавоноидом (Bors *u cap.*, 1990).

Секундарни метаболити учествују у процесу адаптације биљних организама на еколошке услове животне средине, и њихова количина варира у биљним органима у зависности од абиотичких и биотичких фактора којима је биљка изложена. Абиотички фактори који узрокују повећање секундарних метаболита код биљака су екстремне вредности температуре, зрачење, надморска висина, интензитет светлости, поремећај водног режима станишта, присуство полутаната, присуство тешких метала, поремећај минералне исхране и др. (Oh *u cap.*, 2009; Ramakrishna и Ravishankar, 2011).

Зрачење је битан абиотички фактор за биљке јер се интензитет зрачења повећава са порастом надморске висине (Dvorkin и Steinberger, 1998). Количина секундарних метаболита расте са порастом надморске висине, што је у корелацији са заштитом биљака од негативног ефекта зрачења (Bakhshi и Arakawa, 2006). Поремећај водног режима станишта код биљака је најчешће праћен повећаном синтезом секундарних метаболита (Marchese *u cap.*, 2010; Khan *u cap.*, 2010).

Фенолна једињења се синтетишу током раста и развића биљака, али и као одговор на различите стресне еколошке услове (Naczki и Shahidi, 2004). Синтезу фенолних једињења у биљкама врши биосинтетски пут шикимске киселине и повезан је са метаболизмом угљених хидрата (Isabelle *u cap.*, 2010; Steffen *u cap.*, 2003). Дистрибуција и акумулација фенолних једињења унутар биљке нису једноличне, већ су одређене њиховом растворљивошћу. У том смислу, феноли растворљиви у води налазе се у ћелијским вакуолама и другим органелама (Naczki и Shahidi, 2004). Присуство фенолних једињења у одређеним деловима биљке условљено је фазама растења и развића биљке (Mihailović *u cap.*, 2020).

Примена фенолних једињења заснива се на њиховој антиоксидативној, антиканцерогеној и антимицробној активности, као и бројним терапеутским активностима. Биљке поседују низ механизма којима спречавају или ублажавају последице настале услед оксидационог стреса. Ензимски и неензимски антиоксиданси учествују у процесу смањења оксидативног стреса у биљним ћелијама. Групи

неензимских антиоксиданаса припадају витамини Ц и Е, фенолна једињења (фенолне киселине, флавоноиди) и др. (Sakihama *u cap.*, 2002; Blokhina *u cap.*, 2003). Фенолна једињења делују као редукујући агенси, донори водоника, а имају и особине хелирања метала (Quideau *u cap.*, 2011).

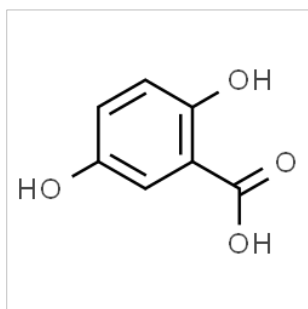
Биљни секундарни метаболити поред својих биолошких активности утичу и на еколошку адаптацију биљака. Варијабилност квалитативног и квантитативног састава секундарних метаболита указује на широк спектар генетичких варијација и развоја биљних организама. Секундарни метаболити имају бројне еколошке улоге код биљних организама, попут прилагођавања одређеним типовима станишта, настањивању нових станишта, итд. (Porović *u cap.*, 2019). Интерпопулациона варијабилност секундарних метаболита зависи од различитих фактора средине у којој се врсте налазе. Популациона варијабилност је изражена разликама у морфолошким параметрима, које би могле бити последица специфичних адаптивних функција и промена у генетској структури под утицајем фактора животне средине (Moore *u cap.*, 2014; Porović *u cap.*, 2019). Хемијска варијабилност међу популацијама са природних станишта указује да постоји значајна варијабилност у синтези одређених секундарних метаболита, чиме је изражена способност биљне популације да се прилагоди и одговори на различите промене у окружењу (Bennett, 1994). Секундарни метаболити имају велику структурну разноликост и њихов квантитативни састав се разликује у односу на различите биљне делове. Разлика у квантитативном саставу је вероватно резултат генетски регулисане биосинтезе и развоја током онтогенезе (De Jong, 2005). Одређене таксоне карактерише присуство групе секундарних метаболита који могу имати функцију адаптације и који могу играти улогу у хемотаксономији. Секундарни метаболити имају велику структурну разноликост одређених једињења у биљним групама, што би могло допринети познавању еколошке улоге неких једињења (Stanković *u cap.*, 2017).

1.8. Секундарни метаболити врсте *Teucrium montanum* L.

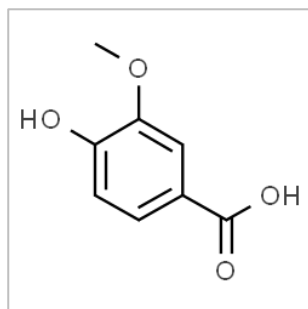
Врсте које припадају роду *Teucrium* углавном синтетишу секундарне метанобите из класе фенола, и терпеноида из група иридоидних гликозида и испарљивих моно- и ди-терпеноида, који су углавном пронађени у етарским уљима. Фитохемијским испитивањима врста рода *Teucrium*, показано је да су три групе фенолних једињења, деривати хидроксицинамичне киселине, фенилетаноидни гликозиди и флавоноидни гликозиди, најзаступљенији феноли код ових врста. У истраживању спроведеном од стране Mitreski *u cap.* (2014), одређена једињења из подгрупе флавоноида су означена као хемотаксономски маркери за класификацију различитих врста овог рода, док су неки фенилетаноиди представљали главну групу полифенола код неких врста рода *Teucrium*.

Род *Teucrium* карактерише присуство различитих група фенолних једињења. Прегледом литературних података о фитохемијском саставу биљних врста рода *Teucrium* запажено је присуство фенолних киселина и деривата бензоеве киселине (Manach *u cap.*, 2004). Фитохемијски састав екстракта или инфузума добијеног од листова или цвасти врста рода *Teucrium* најчешће је одређиван коришћењем HPLC-DAD, HPLC-MS и UPLC-MS/MS анализом (Mihailović *u cap.*, 2020).

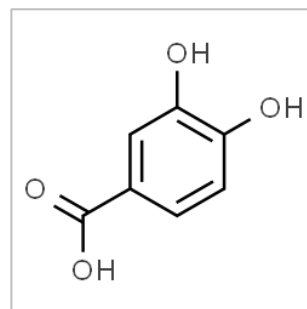
Фенолне киселине као што су гентизинска (Слика 8), ванилинска (Слика 9) и протокатехинска (Слика 10) су идентификоване у екстрактима врсте *T. montanum*. Гална киселина је пронађена код неколико врста рода *Teucrium*, али и код врсте *T. montanum* у великим количинама, посебно у воденом екстракту (345 mg 100 g⁻¹ сувог екстракта). У литературним подацима наводи се присуство сиригинске киселине и других деривата бензоеве киселине у екстрактима врста *Teucrium montanum* и *T. arduini* (Mihailović *u cap.*, 2020).



Слика 8. Структурна формула гентизинске киселине



Слика 9. Структурна формула ванилинске киселине

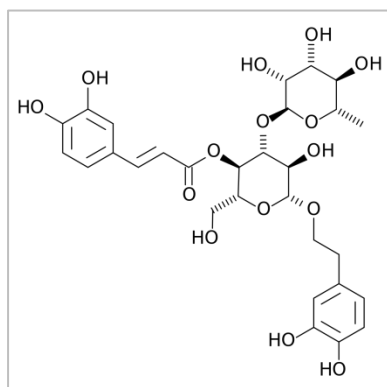


Слика 10. Структурна формула протокатехинске киселине

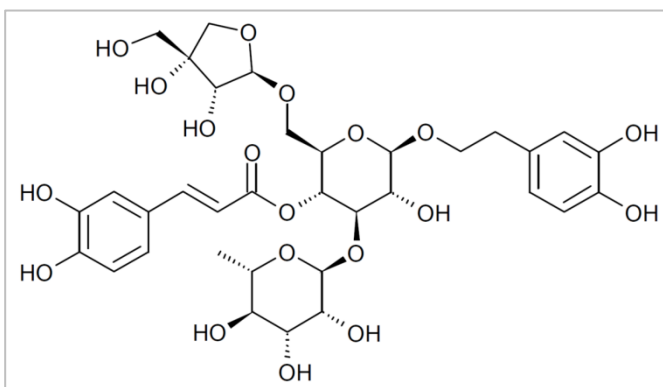
Код већег броја биљних врста рода *Teucrium*, идентификовани су деривати хидроксицинамичне киселине. Хидроксицинамичне киселине су заступљеније у биљним екстрактима од хидроксибензоєвих киселина. Наведене киселине се углавном налазе као деривати или естри шикимске киселине, док се ретко налазе у слободном облику (Manach *u cap.*, 2004). Присуство доминантних секундарних метаболита у биљкама настаје у процесу биосинтезе фенилпропаноида, кафеинске и ферулинске киселине, што је потврђено код врсте *T. montanum* али и код других врста које припадају овом роду (Mihailović *u cap.*, 2020). У екстрактима врсте *T. montanum* идентификована је хлорогенска киселина, док је примећен висок садржај *p*-кумарне киселине ($1794 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) (Tumbas *u cap.*, 2004).

Фенилетаноидни гликозиди су секундарни метаболити широког распрострањења у биљном свету и често се јављају заједно са иридоидима. Карактеришу се хидроксифенилетил групом у којој молекул шећера (β -глукопираноза) учествује у стварању гликоуидне везе (Mihailović *u cap.*, 2020).

Вербаскозид (Слика 11) је најчешћи фенилетаноидни гликозид, који је идентификован код 12 врста рода *Teucrium*. Поред вербаскозида, међу најзаступљенијим фенилетаноидним гликозидима су форситозид Б (Слика 12) и полиумозид. У досадашњим истраживањима идентификовано је 7 различитих фенилетаноидних гликозида у екстрактима врсте *T. montanum*. На основу резултата, Mitreski *u cap.* (2014) су показали да је форситозид Б најзаступљенији фенилетаноидни гликозид код врста рода *Teucrium*. Концентрације једињења форситозид Б кретале су се у опегу од $10,2 \text{ mg g}^{-1}$ суве материје за врсту *T. montanum* до $39,0 \text{ mg g}^{-1}$ суве материје за врсту *T. chamaedrys*. Поред наведеног једињења, квантификоване су концентрације вербаскозида од 2 mg g^{-1} суве материје за врсту *T. montanum*.



Слика 11. Структурна формула вербаскозида

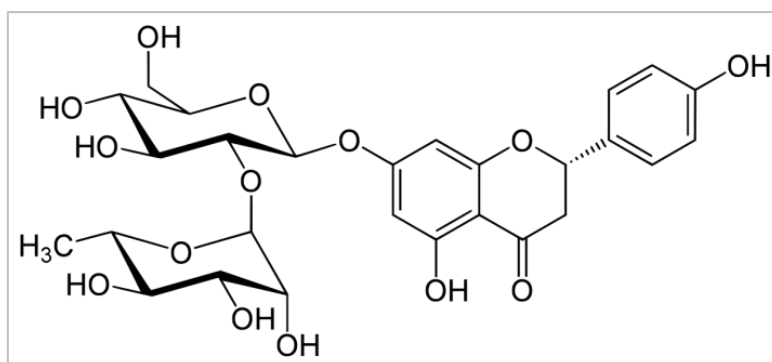


Слика 12. Структурна формула форситосида Б

Флавоноиди представљају највећу групу међу фенолним једињењима која су идентификована код врста рода *Teucrium*. Увидом у литературне податке, до сада је идентификовано укупно 44 једињења, која припадају овој класи фенолних једињења. Код врста наведеног рода, идентификоване су четири подкласе флавоноида: флаволи, флавоноли, флаван-3-оли и флаванони (Mihailović *u cap.*, 2020).

Флаволи представљају најбројнију подкласу флавоноида идентификованих код врста наведеног рода, који су представљени дериватима лутеолина и апигенина. Лутеолин је идентификован код 42 врсте рода *Teucrium*. Такође, лутеолин 7-О-глукозид и лутеолин 7-О-рутинозид су широко распрострањени флаван гликозиди. Апигенин је идентификован код пет врста, док су његови деривати апигенин 7-О-глукозид и апигенин 7-О-рутинозид, пронађени у више од 20 врста рода *Teucrium*. Флаван агликони као што су салвигенин, цирсимаритин, цирсилиол и цирсилинеол наводе се као уобичајени флаван агликони за врсте које припадају роду *Teucrium* (Mihailović *u cap.*, 2020).

Поред флавана, бројни флавоноли су идентификовани у екстрактима врста рода *Teucrium*. Најзаступљенији флавоноли су гликозиди кверцетина, изокверцитрин и рутин. Nastić *u cap.* (2018) су идентификовали флаван-3-оле, катехин и епикатехин за врсте *Teucrium montanum* и *T. chamaedrys*. Флаванон гликозид, нарингин (Слика 13), је идентификован само у екстрактима врсте *T. montanum*. До сада је укупно 17 различитих флавоноида идентификовано у екстрактима врсте *T. montanum* (Mihailović *u cap.*, 2020).



Слика 13. Структурна формула нарингина

Иако постоје бројни литературни подаци о саставу флавоноида врста рода *Teucrium*, публикације о њиховој квантитативној анализи су релативно ретке. Флавоноид гликозиди представљају око 7% укупног садржаја фенола за врсте *Teucrium montanum* и *T. chamaedrys* и око 30% за врсте *T. polium* и *T. scordium*. Једињења као што су рутин, лутеолин и апигенин 7-О-гликозиди се налазе у највишим концентрацијама међу свим идентификованим флавоноидима код предходно наведених врста (Mitreski *u cap.*, 2014).

Nastić *u cap.* (2018) су показали да је екстракт врсте *T. montanum*, добијен субкритичном екстракцијом воде, садржао епикатехин, рутин и нарингин у концентрацијама од 120, 125 и 996 mg 100 g⁻¹ сувог екстракта. Резултати квантитативне и квалитативне анализе секундарних метаболита код врста које припадају роду *Teucrium* указују да су фенолетаноидни гликозиди више заступљености од флавоноида, док флавоноиди представљају најразноврснију подкласу фенолних једињења присутни код врста наведеног рода.

1.9. Етарска уља

Етарска уља представљају смешу секундарних метаболита која се углавном састоје од органских испарљивих и липофилних једињења. Етарска уља се углавном састоје од терпена, фенилпропаноида, масних киселина, естра, кетона и алдехида. Наведена једињења се синтетишу у свим биљним органима, при чему се квантитативни састав разликује од биљних органа и присуства секреторних ткива у истим. Етарска уља се углавном синтетишу у секреторним каналима и жлезданим длакама (Barra, 2009).

Жлездани трихоми су модификоване епидермалне длаке које садрже ћелије специјализоване за синтезу и секрецију етарских уља. Жлездани трихоми се налазе на листовима, стаблима, а ређе на латицама, чашицама и петелкама код већине биљака. Највише су распрострањени код биљних врста које припадају фамилијама *Lamiaceae* и *Asteraceae*. Жлездани трихоми су вишећелијске структуре и састоје се од три врсте ћелија: базалних, стабљичних и апикалних, а по морфолошким одликама разликујемо пелататне и капитатне трихоме. Капитатни жлездани трихоми обично излучују неиспарљива или слабоиспарљива једињења. Пелататни жлездани трихоми производе већину испарљивих једињења, која се складиште у субкутикуларном простору (Sharifi-Rad *u cap.*, 2017).

Постоје два главна пута за биосинтезу терпена, који се одвијају у самим секреторним ћелијама. Пут мевалонске киселине (МВА) делује у цитосолу и синтетише прекурсоре сесквитерпена, мада у неким случајевима постоји врло мала производња монотерпена. Сви ензими другог пута, 2Ц-метил-Д-еритритол 4-фосфат (МЕП), налазе се у пластидима. МЕП синтетише само монотерпенска једињења, мада у неким случајевима постоји врло мала производња сесквитерпена. Иако се МЕП налази на пластидном нивоу, ензими неопходни за синтезу сесквитерпена су у цитосолу. Стога, интермедијари изопентенил пирофосфат (ИПП) или диметилалил пирофосфат (ДМАПП) изведени из МЕП-а морају да путују од пластида до цитосола. Претпоставља се да МЕП доминира производњом терпена (Sharifi-Rad *u cap.*, 2017).

На биосинтезу компоненти етарских уља утиче низ фактора као што су биотички и абиотички фактори. Ови еколошки фактори у које спадају клима, температура, светлост, падавине, надморска висина и земљиште у великој мери утичу на садржај и количину етарских уља (Ormeño *u cap.*, 2007b; Barra, 2009; Marčetić *u cap.*, 2017).

Квалитативни и квантитативни састав етарских уља може бити један од показатеља адаптације биљака на одређене услове станишта. Еколошка улога етарских уља се огледа у интеракцији биљних орагнизама са факторима околине. Природна селекција фаворизује опстанак популација са најпогоднијим односом квалитативног и квантитативног профила етарског уља, који има највећу адаптивну вредност на одређене услове станишта. Етарска уља доприносе бољем прилагођавању стресним условима у окружењу као што су висока температура, физичка и физиолошка суша, интензитет зрачења, као и висок садржај тешких метала у земљишту. Квалитативни и квантитативни састав етарских уља није сталан и мења се услед утицаја спољашњих фактора. Услед деловања различитих стресних услова, као што су неповољни геолошки, педолошки или климатски, долази до измене у саставу етарског уља. Количина и састав етарских уља утичу на адаптацију биљака, преживљавање услед привлачења опрашивача и одбијање биљоједа (Stevović *u cap.* 2011).

Земљиште делује као комплекс еколошких фактора на биљне организме. Утицај подлоге на биосинтезу етарских уља зависи од биљне врсте. Многобројни аутори су приметили да постоји разлика у квалитативном и квантитативном саставу етарских уља одређених биљака у зависности од типа подлоге на којој су заступљене (Robles и Garzino, 1999; Ormeño *u cap.*, 2007b; Marčetić *u cap.*, 2017). У појединим истраживањима

се наводи да рН вредност земљишта значајно утиче на хемијски састав етарских уља. Популације врсте *Eryngium campestre* L. које су расле на киселим земљиштима имале су веће концентрације терпенских једињења за разлику од популација са алкалних земљишта (Palá-Paúl *u cap.*, 2008). У другим истраживањима спомиње се утицај кречњачке и силикатне подлоге на састав етарских уља. De Feo *u cap.* (2003) су показали да се популације врсте *Thymus spinulosus* Ten. узорковане са кречњачких станишта карактеришу високим садржајем монотерпена, док се популације са силикатних станишта карактеришу високим садржајем сесквитерпена. Такође, примећене су значајне квалитативне разлике у хемијском саставу етарског уља врсте *Cistus monspeliensis* L. узорковане са кречњачке и силикатне подлоге (Robles и Garzino, 1999).

Високе температуре утичу на биохемијске процесе и на ензимску активност одређених једињења. Figueiredo *u cap.* (2008) су показали да температура значајно утиче на биосинтезу терпена. Повећан интензитет светлости и висока температура позитивно утичу на биосинтезу терпенских прекурсора, док смањен интензитет светлости и ниска температура негативно утичу на биосинтезу испарљивих једињења. Marčetić *u cap.* (2017) наводе да етарска уља штите биљку од прегревања на интензивно осветљеном станишту. Испаравањем етарских уља се умањује дефицит влажности вадуха, чиме се смањује интензитет транспирације и температура листа.

Услед нарушеног водног режима станишта долази до поремећаја метаболизма биљке чиме су умањене синтетске способности биљке. Недостатак воде утиче на примарни метаболизам и доводи до редукције раста биљних организама. Међутим, недостатак воде утиче на повећану синтезу секундарних метаболита а самим тим на повећање биосинтезе испарљивих једињења (Ormeño *u cap.*, 2007a). Figueiredo *u cap.* (2008) су показали да се повећава синтеза испарљивих једињења под утицајем суше код одређених врста које припадају фамилијама Lamiaceae, Apiaceae и Asteraceae.

1.10. Компоненте морфолошког варирања

Симетрија биолошких структура представља једну од морфолошких карактеристика која је погодна за испитивање фенотипске варијабилности (Klingenberg, 2015). Билатерална симетрија је карактеристична за многе организме и одликује се постојањем парних делова, коју су правилно распоређени са леве и десне стране централно позициониране осе.

Деловање различитих срединских и генетичких фактора утиче на одступања у симетрији која могу да пруже увид у биолошке феномене који до тих одступања доводе. Биолошки процеси који, између осталих, јесу извори фенотипског варирања су фенотипска пластичност и развојна нестабилност (Debat и David, 2001). Фенотипска пластичност представља способност генотипа да формира различите фенотипове у различитим срединама (Pigliucci, 2001), док се развојна нестабилност огледа у фенотипским променама насталим упркос истим генетичким и срединским условима под којим се развије организма одвија (Willmore *u cap.*, 2007).

Један од најзначајнијих еколошких фактора који утичу на фенотипске промене биљних органа јесте светлост. На пример, лист повећава своју површину на засенченим стаништима, за разлику од отворених станишта где се лисна површина редукује због претеране инсолације и потенцијалног губитака воде транспирацијом. (Gratani, 2014). Emery *u cap.* (1994) су показали да екотип биљне врсте *Stellaria longipes* који настањује веће надморске висине имају мању пластичност него екотип који се налази на нижим надморским висинама.

За разлику од пластичности, стабилност развића омогућава организму отпорност на присуство развојних шума. Са друге стране, нестабилност развића настаје као последица развојног шума, која се огледа у морфолошким променама на једној од страна билатерално симетричних структура. Одступања у величини и облику различитих страна билатерално симетричних структура узрокованих развојним шумом дефинише се као мера нестабилности развића или флукутирајућа асиметрија (ФА) (Будечевић, 2018). Флукутирајућа асиметрија представља разлику у величини и/или облику између леве и десне стране билатерално симетричног организма. Углавном настаје као резултат немогућности развојних механизма да управљају онтогенетским процесима услед стреса изазваног одређеним условима животне средине. Због тога, флукутирајућа асиметрија се углавном користи као индикатор стреса (Klingenberg, 2015).

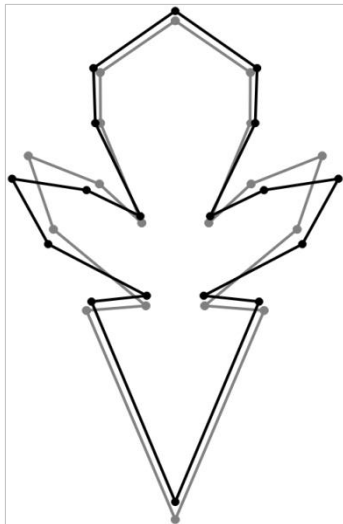
Морфометрија се бави истраживањем односа величине и облика морфолошких целина, користећи се мерењима и тестирањем података различитим мултиваријантним анализама (Rohlf, 1990). Подаци добијени анализом величине и облика морфолошких целина су од великог значаја у области екологије (Ivanović и Kalezić, 2009). Традиционална морфометрија се користи мерењем линераних величина и обрадом добијених података различитим статистичким методама. Међутим, само нека од ограничења традиционалне морфометрије су изостанак информације о стварном облику целина, као и немогућност раздвајања варирања у величини и облику. Новији приступ у изучавању морфологије је геометријска морфометрија. У геометријској морфометрији, облик морфолошке целине се дефинише као скуп геометријских информација, које су непроменљиве у односу на транслацију, скалирање и ротацију (Klingenberg и Monteiro, 2005). Обрада података морфолошких целина истражује математички облик преко њихове геометрије. Геометријски односи се одређују преко распореда специфичних тачака у две или три равне простора. Применом геометријске морфометрије могу се открити мале промене у варирању облика морфолошких целина, док се традиционалном морфометријом ове промене не могу утврдити (Ivanović и Kalezić, 2009).

Један од најважнијих корака у анализама геометријске морфометрије јесте одређивање и постављање специфичних тачака (енгл. landmarks), које одговарају унапред дефинисаним морфолошким структурама. Избор позиције специфичних тачака зависи од облика анализираног објекта као и од типа анализе. Специфичне тачке се групишу у неколико типова. Први тип специфичних тачака чине тачке које су дефинисане спојевима различитих делова морфолошких целина. Други тип чине тачке које се постављају на места највећег закривљења, док трећем типу припадају екстремне тачке. У морфолошким истраживањима, највећи број студија базиран је на анализама дводимензионалних тачака. У геометријској морфометрији, може се описати величина објекта помоћу специфичних тачака мером величине центроида (енгл. Centroid Size). Величина центроида се углавном дефинише као мера растојања специфичних тачака од центра одређене конфигурације, односно, центроида (Zelditch и *срп.*, 2012).

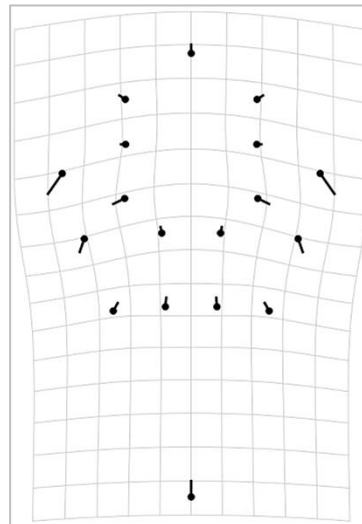
Генерализована Прокрустова анализа представља методу којом се из узорка издвајају варијабле облика сваке јединке. Наведеном анализом се скалирањем, транслацијом и ротацијом неутралишу разлике условљене величином, положајем и оријентацијом, чиме се уклањају све разлике условљене овим ефектима (Ivanović и Kalezić, 2009). Након скалирања, центрирања и ротације добијају се координате специфичних тачака, које имају информацију о облику и означавају се као Прокрустове координате (Ivanović и Kalezić, 2009). Наведене координате представљају полазне податке за анализирање варирања облика. Поред Прокрустових координата за представљање разлика у конфигурацијама облика користи се Прокрустова дистанца, која се израчунава као квадратни корен суме квадратних растојања између одговарајућих тачака (Dryden и Mardia 2016).

Промена облика код организама настаје услед различитих стопа раста морфолошких целина. Један од проблема смањења односа површине и запремине је смањење стопе метаболизма (Ivanović и Kalezić, 2009). Алометријски раст представља диспропорционални раст који условљава промене у облику током онтогеније. Међутим, промене облика које нису праћене променама у величини морфолошких структура називају се неалометријске компоненте. Раздвајањем алометријске и неалометријске компоненте омогућава се приказивање варирања облика морфолошких целина независно од промена у величини (Klingenberg и Monteiro, 2005).

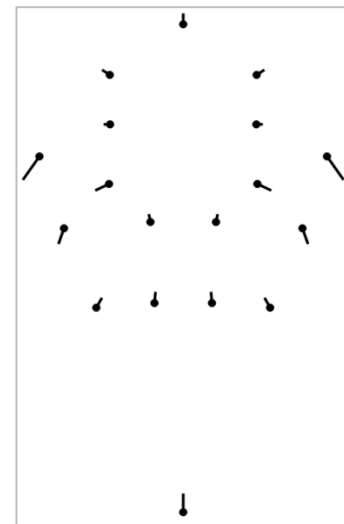
Геометријска морфометрија пружа низ предности у односу на традиционалне методе, а једна од тих могућности је графичко приказивање промене облика. Након Прокрустове анализе могуће је на различите начине приказати промене у облику. Један од начина представљања промене облика јесте употреба правих линија (енгл. *wireframe*) (Слика 14) или линија (енгл. *outline drawings*), које мењају свој облик на основу положаја специфичних тачака, које се налазе на танкој савитљивој плочи (енгл. *thin plate spline*) (Слика 15). Други начин представљања промене облика јесте употреба графика „лизалица“ (енгл. *lollipop*) који пружају информацију о положају тачака (Слика 16) (Klingenberg, 2002).



Слика 14. Промена облика представљена правим линијама (енгл. *wireframe*)



Слика 15. Промена облика на танкој савитљивој плочи (енгл. *thin plate spline*)



Слика 16. Промена облика представљена графиком „лизалица“ (енгл. *lollipop*)

Имајући у виду да је врста *T. montanum* факултативна серпентинофита, која има широку амплитуду у односу на геолошку подлогу, постоји потреба за испитивањем еколошке диференцијације споменуте врсте у односу на тип геолошке подлоге.

2. ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет истраживања је врста *Teucrium montanum* L. узоркована на различитим стаништима на кречњачкој и серпентинитској геолошкој подлози. Општи циљ истраживања је утврђивање разлика у екофизиолошким и морфо-анатомским особинама врсте *Teucrium montanum* L. условљених типом подлоге на станишту, укључујући количину метала у надземним деловима, варијабилност квантитативног садржаја фенолних једињења, квалитативни састав и проценат релативне заступљености етарског уља, као и разлика на морфо-анатомском нивоу са аспекта еколошке диференцијације испитиване врсте.

Из наведеног општег циља, произилазе посебни циљеви:

- Утврђивање садржаја елемената (метала, металоида и неметала) у узорцима земљишта са кречњачких и серпентинитских станишта врсте *Teucrium montanum* применом ICP-OES методе;
- Утврђивање садржаја елемената (метала, металоида и неметала) у узорцима надземних делова врсте *Teucrium montanum* са кречњачких и серпентинитских станишта применом ICP-OES методе;
- Утврђивање биоакумулационог фактора и фактора корелације између садржаја елемената у узорцима земљишта и надземних делова врсте *Teucrium montanum* са кречњачких и серпентинитских станишта;
- Утврђивање садржаја укупних фенолних једињења, као и флавоноида у узорцима врсте *Teucrium montanum* са кречњачких и серпентинитских станишта;
- Утврђивање антиоксидативне активности метанолних екстраката врсте *Teucrium montanum* са кречњачких и серпентинитских станишта;
- Утврђивање разлика у садржају доминантних фенолних једињења у узорцима врсте *Teucrium montanum* у односу на тип подлоге применом UHPLC/DAD/(-)HESI-MS² методе.
- Утврђивање разлика у квалитативном и квантитативном садржају етарског уља врсте *Teucrium montanum* условљених типом подлоге, а применом GCxGC-MS методе;
- Утврђивање образаца варирања величине и облика круница, листова и анатомских особина стабла јединки врсте *Teucrium montanum* са различитих станишта на кречњачкој и серпентинитској подлози применом методе геометријске морфометрије уз додатну статистичку обраду података.

3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

3.1. Узорковање биљног материјала и земљишта

Врста *T. montanum* је прикупљена током периода цветања са 20 локалитета на кречњачкој и серпентинитској геолошкој подлози (Слика 17), при чему је узорковано по 20 репрезентативних јединки са сваког локалитета. Идентификација узоркованих примерака је извршена у Институту за биологију и екологију, Природно-математичког факултета, Универзитета у Крагујевцу.

Поред биљних узорака врсте *T. montanum*, са истих локалитета узорковано је земљиште за упоредну анализу количине 20 елемената (Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Se и Zn). Процес узорковања и лабораторијске припреме узорака земљишта, спроведен је према стандардној процедури за узорковање земљишта (Kastori *и сар.*, 2006). Земљиште је узорковано на 15 cm дубине у зони корена сваке узорковане јединке, при чему је прикупљено по три независна узорка.

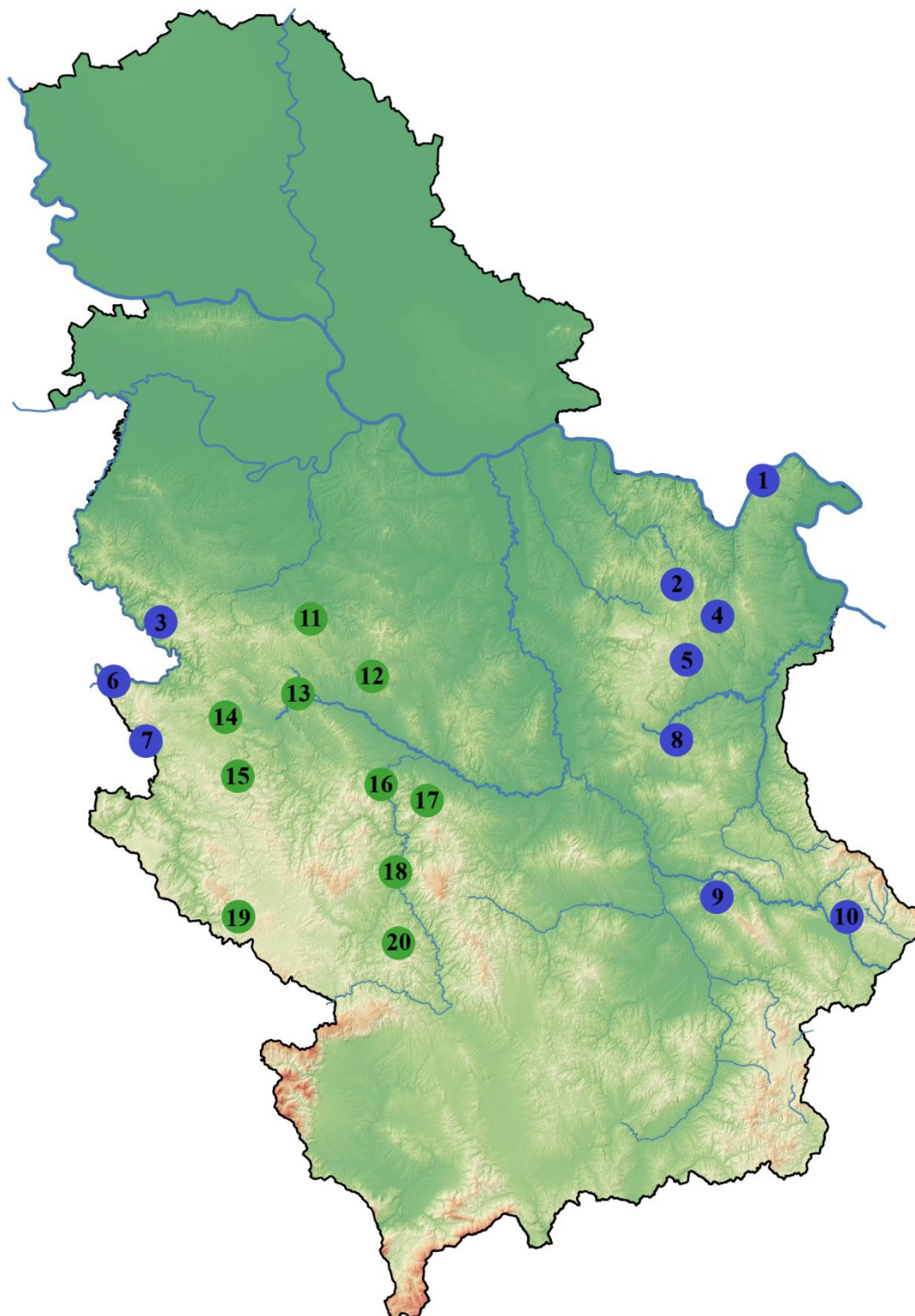
3.2. Припрема узорака за анализу

У циљу припреме за анализу елемената, узорковане јединке *T. montanum* су испране дестилованом водом, како би се темељно очистиле од спољашњих контаминаната. Након сушења природним путем у тамној просторији на собној температури, извршено је пулверизовање. Добијени узорци су чувани у папирним кесама на собној температури до даљих анализа. У циљу припреме за анализу секундарних метаболита, биљни материјал након узорковања је очишћен од физичких нечистоћа и осушен на тамном месту.

Поступак сушења узорака земљишта природним путем на собној температури трајао је месец дана. Након сушења узорци су пулверизовани и просејани кроз сито промера 2 mm и ускладиштени у обележене папирне кесе до даљих анализа. Интеграцијом по 1 g од сваког од 20 узорака земљишта са места узорковања биљног материјала добијен је композитни узорак по локалитету. Од композитног узорка, 1 g земљишта је издвојен за даље анализе.

3.3. Основне карактеристике истраживаних локалитета

Подручја истраживања у овој студији обухватила су локалитете на територији Србије са кречњачком геолошким подлогом (Мали Штрбац, Жежевац, Кањон реке Трешњице, Велики Крш, Кањон Лазареве реке, Растиште, Котроман, Ртањ, Јелашничка клисура, Басарски камен) и са серпентинитском геолошким подлогом (Дивчибаре, Брђанска клисура, Оровица, Кремна, Смиљански закоси, Маглич, Каменица, Трнава, Крајиновиће и Неготинац). Географски положај локалитета приказан је на Слици 17, док су основне карактеристике локалитета приказане у Табели 2.



Слика 17. Географска позиција локалитета са којих су узорковане популације врсте *Teucrium montanum* као и узорци земљишта за упоредну анализу (Бројеви локалитета одговарају бројевима приказаним у Табели 2), (зелени кругови – локалитети на серпентиниту; плави кругови – локалитети на кречњаку)

Табела 2. Основне карактеристике локалитета са којих је узоркована врста *T. montanum*.

Редни број	Шири локалитет	Ужи локалитет са скраћеницом	Тип станишта	Географска ширина и дужина	Надморска висина
1.	Планина Мироч	Мали Штрбац/МС	термофилни камењар, кречњачка подлога	N 44°38'3.065" E 22°18'48.022"	576 m
2.	Хомољске планине	Јежевац/ЈЕ	термофилно полу-ливадско каменито станиште	N 44°16'0.396" E 21°31'1.672"	675 m
3.	Кањон Трешњице	Кањон реке Трешњице/КТ	термофилни камењар, кречњачка подлога	N 44°8'40.877" E 19°31'52.859"	476 m
4.	Планина Велики Крш	Велики Крш/ВК	термофилни камењар, кречњачка подлога	N 44°9'34.597" E 22°5'48.285"	872 m
5.	Лазарев кањон	Кањон Лазареве реке/КЈ	кречњачке камените осулине	N 44°1'47.94" E 21°57'27.009"	368 m
6.	Планина Тара	Растиште/РА	кречњачке камените осулине	N 43°56'36.132" E 19°21'30.533"	477 m
7.	Клисуре реке Рзав	Котроман/КО	кречњачке камените осулине	N 43°46'23.747" E 19°27'51.856"	517 m
8.	Планина Ртањ – близу врха Шиљак	Ртањ/РТ	термофилно полу-ливадско каменито станиште	N 43°46'21.516" E 21°53'39.029"	1323 m
9.	Јелашничка клисура	Јелашничка клисура/ЈК	термофилни камењар, кречњачка подлога	N 43°16'43.619" E 22°4'6.975"	373 m
10.	Планина Видлич	Басарски камен/БК	термофилно полу-ливадско каменито станиште	N 43°10'32.524" E 22°40'13.964"	1014 m
11.	Планина Маљен	Дивчибаре/ДИ	прогала четинарске шуме, серпентинска подлога	N 44°5'12.199" E 20°0'39.43"	873 m
12.	Брђанска клисура	Брђанска клисура/БР	серпентински камењар	N 43°59'24.545" E 20°25'14.454"	325 m
13.	Планина Оровица – у близини планине Каблар	Оровица/ОР	серпентински камењар	N 43°54'51.852" E 20°7'40.082"	538 m
14.	Планина Златибор	Кремна/КР	прогала четинарске шуме, серпентинска подлога	N 43°50'7.305" E 19°37'7.45"	815 m
15.	Планина Златибор	Смиљански закоси/СЗ	пашњаци са серпентинском подлогом	N 43°40'15.066" E 19°42'19.579"	1044 m
16.	Клисуре реке Ибар	Маглич/МА	серпентински камењар	N 43°36'46.218" E 20°33'5.414"	305 m
17.	Планина Гоч	Каменица/КА	прогала четинарске шуме, серпентинска подлога	N 43°33'22.878" E 20°42'20.631"	447 m
18.	Рашка	Трнава/ТР	серпентински камењар	N 43°17'19.665" E 20°35'53.466"	516 m
19.	Планина Гиљева	Крајиновиће/КЈ	прогала четинарске шуме, серпентинска подлога	N 43°11'4.859" E 19°51'43.409"	1264 m
20.	Нови Пазар	Неготинац/НЕ	серпентински камењар	N 43°6'23.842" E 20°39'2.104"	1095 m

К – кречњак; С – серпентинит

3.4. Климатске карактеристике истраживаних локалитета

За приказивање климатских карактеристика истраживаних локалитета коришћени су подаци глобалне базе климатских података WorldClim база верзија 2.1 (Fick и Hijmans, 2017).

У Табели 3 су представљени климатски подаци за истраживане локалитете на кречњачкој геолошкој подлози. Примећује се да средња годишња температура (БИО1) на овим локалитетима варира од 7,1 °C (Планина Ртањ) до 10,2 °C (Планина Мироч и Јелашничка клисура). Што се тиче средње температуре највлажнијег квартала (БИО8), она се креће од 14,1 °C (Планина Видлич) до 18 °C (Планина Мироч). Средња температура најсушнијег квартала (БИО9) се креће од -1,0 °C (Планина Ртањ) до 2,2 °C (Јелашничка клисура). Највећа годишња количина падавина (БИО12) је забележена у Клисуре реке Рзав – Котроман (972 mm), док је Јелашничка клисура имала најмању количину падавина (623 mm). Количине падавина највлажнијег квартала (БИО16) су се кретале од 195 mm (Јелашничка клисура) до 297 mm (Планина Тара), док су количине падавина најсушнијег квартала (БИО17) варирале од 125 mm (Планина Мироч) до 195 mm (Клисура реке Рзав – Котроман). Најнижа просечна количина падавина у најтоплијем кварталу (БИО18) је забележена на Јелашничкој клисури (168 mm), док је највећа количина забележена на Планини Тара (274 mm). Што се тиче најнижих падавина у најхладнијем кварталу (БИО19), оне су регистроване на Планини Мироч (136 mm), док је Клисура реке Рзав – Котроман имала највећу количину падавина (212 mm).

У Табели 4 су представљени климатски подаци за истраживане локалитете на серпентинитској геолошкој подлози. Примећује се да средња годишња температура (БИО1) на овим локалитетима варира од 6,8 °C (Планина Гиљева) до 10,3 °C (Брђанска клисура). Што се тиче средње температуре највлажнијег квартала (БИО8), она се креће од 3,2 °C (Планина Гиљева) до 17,4 °C (Брђанска клисура). Средња температура најсушнијег квартала (БИО9) варира од -0,4 °C (Нови Пазар – Неготинац) до 14,8 °C (Планина Гиљева). Највећа годишња количина падавина (БИО12) је забележена на локалитету Планина Гиљева (1085 mm), док је најмања количина падавина забележена на локалитету Брђанска клисура (809 mm). Количине падавина највлажнијег квартала (БИО16) су се кретале од 251 mm (Рашка – Трнава) до 304 mm (Планина Гиљева), док су количине падавина најсушнијег квартала (БИО17) варирале од 161 mm (Брђанска клисура и Планина Гоч) до 245 mm (Планина Гиљева). Најнижа просечна количина падавина у најтоплијем кварталу (БИО18) је забележена на локалитету Рашка – Трнава (221 mm), док је највиша количина падавина забележена на Планини Маљен (272 mm). Што се тиче најнижих падавина у најхладнијем кварталу (БИО19), оне су регистроване на локалитету Планина Гоч (171 mm), док је највећа количина падавина забележена на локалитету Планина Гиљева (265 mm).

Табела 3. Климатски параметри истраживаних локалитета на кречњачкој геолошкој подлози.

Климатски параметри	Л1*	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7	Л8	Л9	Л10
Средња годишња температура (БИО1)	10,2	9,8	8,9	8,3	10,1	7,8	7,9	7,1	10,2	7,3
Опсег средњих месечних температура (БИО2)	9,4	9,4	9,3	8,3	9,5	9,1	9,0	8,1	10,2	9,3
Изотермалност (БИО2/БИО7) (* 100) (БИО3)	30,9	31,6	32,2	29,2	31,7	31,9	31,7	29,4	33,4	32,2
Температурна сезоналност (стандардно одступање * 100) (БИО4)	797,2	764,9	722,1	766,8	775,6	709,4	709,0	739,4	754,6	722,7
Максимална температура најтоплијег месеца (БИО5)	26,5	25,8	23,9	23,5	26,3	22,7	22,7	21,8	26,5	22,5
Минимална температура најхладнијег месеца (БИО6)	-3,8	-4,1	-5,0	-5,0	-3,8	-5,7	-5,8	-5,9	-4,0	-6,4
Годишњи температурни опсег (БИО5-БИО6) (БИО7)	30,3	29,9	28,9	28,5	30,1	28,4	28,5	27,7	30,5	28,9
Средња температура највлажнијег квартала (БИО8)	18,0	17,2	15,8	15,7	17,7	14,5	14,5	14,2	17,4	14,1
Средња температура најсушнијег квартала (БИО9)	1,6	1,6	1,2	0,0	1,9	0,2	0,3	-1,0	2,2	-0,7
Средња температура најтоплијег квартала (БИО10)	19,7	18,8	17,5	17,4	19,3	16,3	16,3	15,9	19,1	15,9
Средња температура најхладнијег квартала (БИО11)	0,1	0,0	-0,2	-1,4	0,3	-1,2	-1,1	-2,2	0,6	-1,9
Годишња количина падавина (БИО12)	666	706	896	747	663	962	972	768	623	665
Падавине највлажнијег месеца (БИО13)	92	91	101	99	83	104	102	95	72	79
Падавине најсушнијег месеца (БИО14)	41	44	56	47	43	62	63	48	42	43
Сезоналност падавина (коэффициент варијације) (БИО15)	28,5	25,6	19,2	26,9	23,6	16,9	15,9	23,9	19,3	22,1
Падавине највлажнијег квартала (БИО16)	236	245	286	262	223	297	294	261	195	218
Падавине најсушнијег квартала (БИО17)	125	136	175	144	131	192	195	153	129	138
Падавине најтоплијег квартала (БИО18)	217	221	263	239	199	274	270	234	168	190
Падавине најхладнијег квартала (БИО19)	136	147	194	155	142	210	212	163	141	147

* Број одговара редном броју локалитета са описом основних карактеристика приказаним у Табели 2.

Табела 4. Климатски параметри истраживаних локалитета на серпентинитској геолошкој подлози.

Климатски параметри	Л11*	Л12	Л13	Л14	Л15	Л16	Л17	Л18	Л19	Л20
Средња годишња температура (БИО1)	7,8	10,3	9,8	8,7	7,6	9,7	9,7	9,8	6,8	7,4
Опсег средњих месечних температура (БИО2)	8,5	9,7	9,5	9,1	8,3	9,6	9,8	9,7	8,5	8,7
Изотермалност (БИО2/БИО7) (* 100) (БИО3)	30,3	32,4	32,1	31,7	30,2	32,2	32,5	32,2	30,9	30,9
Температурна сезоналност (стандардно одступање * 100) (БИО4)	717,6	745,8	734,7	717,6	702,4	745,2	748,2	752,0	697,9	721,0
Максимална температура најтоплијег месеца (БИО5)	22,1	25,7	25,0	23,5	21,7	25,3	25,4	25,5	21,2	22,2
Минимална температура најхладнијег месеца (БИО6)	-5,9	-4,2	-4,5	-5,3	-5,9	-4,6	-4,6	-4,5	-6,4	-6,1
Годишњи температурни опсег (БИО5-БИО6) (БИО7)	28,0	29,9	29,5	28,8	27,6	29,9	30,0	30,0	27,6	28,3
Средња температура највлажнијег квартала (БИО8)	14,6	17,4	16,8	15,4	14,1	16,8	16,8	16,9	3,2	10,9
Средња температура најсушнијег квартала (БИО9)	0,0	2,3	1,9	1,0	0,1	1,7	1,6	1,8	14,8	-0,4
Средња температура најтоплијег квартала (БИО10)	16,3	19,1	18,5	17,2	16,0	18,5	18,5	18,7	15,1	15,9
Средња температура најхладнијег квартала (БИО11)	-1,4	0,7	0,4	-0,5	-1,3	0,1	0,1	0,2	-2,0	-1,8
Годишња количина падавина (БИО12)	886	809	864	937	956	839	814	855	1085	933
Падавине највлажнијег месеца (БИО13)	105	91	94	100	104	95	94	94	111	98
Падавине најсушнијег месеца (БИО14)	54	51	55	60	59	52	50	56	76	64
Сезоналност падавина (коэффициент варијације) (БИО15)	23,1	19,8	17,9	17,0	18,4	18,4	19,3	15,3	12,1	13,2
Падавине највлажнијег квартала (БИО16)	299	262	271	288	298	264	259	251	304	259
Падавине најсушнијег квартала (БИО17)	168	161	173	186	185	168	161	179	245	207
Падавине најтоплијег квартала (БИО18)	272	235	244	263	271	235	230	221	254	227
Падавине најхладнијег квартала (БИО19)	183	175	189	203	199	179	171	192	265	222

* Број одговара редном броју локалитета са описом основних карактеристика приказаним у Табели 2.

3.5. Опрема коришћена у току експерименталног рада

Приликом испитивања укупне количине елемената у узорцима земљишта и биљном материјалу врсте *T. montanum*, квалитативног и квантитативног састава секундарних метаболита, укупне количине фенолних једињења, флавоноида и антиоксидативне активности биљних екстраката, као и одређивање морфоанатомских разлика међу популацијама методом геометријске морфометрије, коришћена је следећа опрема:

Опрема за одређивање укупне количине елемената и рН вредности:

- Микроталасни дигестациони систем (ETHOS 1, Milestone, Italy);
- Уређај за продукцију ултрачисте воде Barnstead™ GenPure™ Pro (Thermo Scientific, Germany);
- Уређај за мерење индуктивно куплованом плазмом на оптичком емисионом спектрометру (ICP-OES) – Thermo Scientific iCAP 6500 Duo ICP (Thermo Fisher Scientific, Cambridge, United Kingdom);
- рН метар (Mettler-Toledo AG; Switzerland).

Опрема за одређивање појединачних фенолних једињења:

- Ултразвучно купатило (Fisherbrand FB 11021, Germany);
- UHPLC уређај (Dionex Ultimate 3000 UHPLC, Thermo Fisher Scientific, Бремен, Немачка) у чијем се склопу налази UV/VIS детектор (DAD, eng. diode array detector), и који је конфигуриран са *triple-quadrupole* масеним спектрометром (TSQ Quantum Access MAX, Thermo Fisher Scientific, Бремен, Немачка).

Опрема за одређивање квалитативног и квантитативног састава етарског уља:

- Апарат по Клевенцери (Thermo Scientific, Germany);
- GC-MS уређај GCMS-QP2010 Plus (Shimadzu, Kyoto, Japan).

Опрема за одређивање укупне количине фенолних једињења, флавоноида и антиоксидативне активности биљних екстраката:

- Soxlet апарат (Thermo Scientific, Germany);
- Вакуум упаривач (IKA RV 10 digital V-C, IKA®-Werke GmbH & Co. KG, Germany);
- Спектрофотометар (Jenway 6105, Bibby Scientific Limited, Staffordshire, UK).

Опрема за одређивање морфоанатомских разлика међу популацијама методом геометријске морфометрије:

- Скенер (Epson Perfection V19, Seiko Epson Corporation, Amsterdam, Netherland);
- Светлосни микроскоп (Nikon Eclipse Ti, Nikon Instruments Inc., New York, USA);
- Софтверски пакет tpsUtil и tpsDig (F. James Rohlf, Stony Brook University, USA);
- Софтверски пакет MorphoJ (Christian Peter Klingenberg, University of Manchester, UK).

3.6. Хемикалије коришћене у току експерименталног рада

Хемикалије за одређивање укупне количине елемената и рН вредности:

- Концентрована азотна киселина, HNO_3 (70 wt. %, ACS reagent, Sigma Aldrich);
- Хидроген пероксид, H_2O_2 (30 wt. %, ACS reagent, Sigma Aldrich);
- Ултрачиста вода;
- Дестилована вода;
- LPC раствор за 30 анализата (ULTRA Scientific, USA);
- Multi-Element Plasma Standard Solution 4, Specpure® (Alfa Aesar GmbH & Co KG, Germany);
- ILM 05.2 ICS Stock 1 мулти-елементни стандард;
- SS-Low Level Elements ICV Stock (VHG Labs, Inc- Part of LGC Standards, Manchester, NH 03103 USA).

Хемикалије за одређивање укупне количине елемената и појединачних фенолних једињења:

- Метанол HPLC чистоће (Fisher Scientific, Leics, Велика Британија)
- Ацетонитрил MS квалитета (Fisher Scientific, Leics, Велика Британија)
- Дејонизована вода

Хемикалије за одређивање квалитативног и квантитативног састава етарског уља:

- Дестилована вода;
- n-хексан HPLC чистоће (Zorka Pharma Hemija d.o.o., Šabac, Србија);
- Анхидриован натријум сулфат NaHSO_3 (Sigma Aldrich, Co., St. Louis, USA);
- $\text{C}_{10}\text{-C}_{25}$ смеша n-алкана (смеша за одређивање DRO, Accu standard).

Хемикалије за одређивање укупне количине фенолних једињења, флавоноида и антиоксидативне активности биљних екстраката:

- Метанол;
- Рутин и гална киселина;
- Натријум хидроген карбонат (NaHCO_3);
- Алуминијум хлорид хексахидрат (AlCl_3);
- Folin-Ciocalteu's реагенс;
- DPPH (1,1-dyphenyl-2-picrylhydrazyl).

Хемикалије за одређивање морфоанатомских разлика међу популацијама методом геометријске морфометрије:

- 70% етанол (Zorka, Šabac);
- 50% глицерин (Zorka, Šabac).

3.7. Одређивање количине макро- и микроелемената ICP-OES методом

3.7.1. Микроталасна дигестија

Дигестија узорака (земљишта и биљног материјала) извршена је помоћу микроталасног дигестационог система (ETHOS 1, Milestone, Italy) коришћењем HPR-1000/10S сегментираног ротора високог притиска. Одмерено је 0,5 g узорака са тачношћу од $\pm 0,1$ mg и помешано са 10 mL концентроване азотне киселине, (HNO_3 ; 70

wt. %, ACS reagent, Sigma Aldrich) и 1 mL хидроген пероксида (H_2O_2 ; 30 wt. %, ACS reagent, Sigma Aldrich), уз загревање микроталасном енергијом у периоду од 30 минута. Температура је у првих 10 минута постепено повишена до 200°C . Након тога је температура одржавана наредних 20 минута, а затим је нагло смањена до собне температуре. Након хлађења, раствор је разблажен ултрачистом водом до фиксне запремине од 25 mL. Ултрачиста вода са отпорношћу од $18,2 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ (једнака $0,05 \mu\text{S cm}^{-1}$) припремљена је коришћењем уређаја Barnstead™ GenPure™ Pro (Thermo Scientific, Germany) (Šavkin *u cap.*, 2014).

3.7.2. Мерење на ICP-OES

Количине макро- и микроелемената су одређене индуктивно куплованом плазмом на оптичком емисионом спектрометру (ICP-OES). ICP-OES мерење је извршено коришћењем Thermo Scientific iCAP 6500 Duo ICP уређаја (Thermo Fisher Scientific, Cambridge, United Kingdom). Три мулти-елементна стандардна раствора плазме коришћена су за припрему калибрационих раствора за мерење ICP-OES: Multi-Element Plasma Standard Solution 4, Specpure®, $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ (Alfa Aesar GmbH & Co KG, Germany), ILM 05,2 ICS Stock 1, and SS-Low Level Elements ICV Stock (VHG Labs, Inc-Part of LGC Standards, Manchester, NH 03103 USA). За сваки дигестиран узорак, мерење ICP-OES је вршено у три примерка ($n = 3$). Процес аналитичке контроле квалитета извршен је коришћењем Е РРА методе 200,7 LPC раствор сертифициваног референтног материјала (CRM) за 30 анализа у различитим концентрацијама (ULTRA Scientific, USA), при чему је показано да су добијене концентрације између вредности 97 и 103. Добијени резултати за укупну количину елемената у земљишту и биљном материјалу изражени су у mg kg^{-1} (Šavkin *u cap.*, 2014).

3.7.3. Одређивање рН вредности узорака земљишта

рН вредности узорака земљишта одређене су рН-метром (Mettler-Toledo AG; Switzerland) у односу земљиште/дестилована вода (w/v, 1:2,5) 10 g земљишта и 25 mL дестиловане воде.

3.7.4. Биоакумулациони фактор

Акумулациона способност испитиване врсте је детерминисана преко биоакумулационог фактора. Фактор се изражава као однос између количине елемената у биљкама и концентрације истих у земљишту (Balabanova *u cap.*, 2015). Биоакумулациони фактор је израчунат користећи следећу једначину:

$$\text{БАФ} = K_{\text{биљке}} / K_{\text{земљиште}}$$

Ознака „ $K_{\text{биљке}}$ “ представља количину елемента у надземним деловима биљака изражених у mg kg^{-1} , док ознака „ $K_{\text{земљишта}}$ “ представља количину елемента у земљишту изражених у mg kg^{-1} .

3.8. Анализа укупних фенолних једињења и флавоноида у екстрактима врсте *Teucrium montanum*

3.8.1. Припрема биљних екстраката

Осушен биљни материјал (20 g) је уситњен помоћу блендера и екстракција је вршена помоћу *Soxhlet* система. Уситњен биљни материјал је пренет у екстракциону чауру и постављен у ексикатор након чега је извршена екстракција метанолом. После завршене екстракције, екстракти су упарени на ротационом вакуум упаривачу, након чега су одложени у обележене стаклене бочице и чувани на 4°C степена до даљих анализа. Количина укупних фенолних једињења, флавоноида и антиоксидативне активности одређивана је уз коришћење метанола као растварача, у концентрацији од 1 mg mL⁻¹.

3.8.2. Одређивање садржаја укупних фенолних једињења

Садржај укупних фенолних једињења у биљним екстрактима је одређен помоћу спектрофотометра. Коришћена концентрација метанолног екстракта је 1 mg mL⁻¹. Приликом припреме смеше, коришћен је метанолни раствор биљног екстракта, NaHCO₃ и Folin-Ciocalteu реагенса. Након инкубације узорка, очитана је апсорбанца на 765 nm таласне дужине. По три тест узорка су припремљена за израчунавање средње вредности. Сличан процес је поновљен за стандардни раствор галне киселине на основу кога је конструисана калибрациона крива. Садржај укупних фенолних једињења у биљном екстракту изражен је као еквивалент галне киселине (mg GA g⁻¹ екстракта) (Singleton *и сар.*, 1999).

3.8.3. Одређивање садржаја флавоноида

Количина флавоноида у биљним екстрактима одређена је помоћу спектрофотометра. Узорак се састојао од раствора екстракта и AlCl₃. Након инкубације узорка, очитана је апсорбанца на 415 nm таласне дужине. За сваку анализу припремљена су три тест узорка и одређена је средња вредност апсорбанце. Сличан процес поновљен је за стандардни раствор рутина на основу кога је конструисана калибрациона крива. Укупна количина флавоноида у биљном екстракту очитана је са калибрационе криве и вредности су изражене као еквивалент рутина (mg RU g⁻¹ екстракта) (Quettier *и сар.*, 2000).

3.8.4. Испитивање антиоксидативне активности секундарних метаболита

Способност биљних екстраката да неутралишу DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical) радикале одређена је спектрофотометријском методом (Такао *и сар.*, 1994). Раствори биљних екстраката припремљени су у опсегу концентрација од 500 до 0,97 µg mL⁻¹. Након додавања реагенса и инкубације узорка, очитана је апсорбанца на 517 nm таласне дужине. Контролни узорци су садржали метанол и DPPH. Од процената инхибиције одређене су IC₅₀ вредности. Процент инхибиције је израчунат преко следеће једначине:

$$\% \text{ инхибиције} = 100 \times (A_{\text{контроле}} - A_{\text{узорка}}) / A_{\text{контроле}}$$

Вредности IC_{50} су процењене на основу сигмоидне криве представљајући зависност процента DPPH од концентрације у узорку. Антиоксидативна активност је изражена као половина максималне инхибиторне концентрације (вредности IC_{50} у $mg\ mL^{-1}$). Антиоксидативна ефикасност екстракта повећана је са умањењем IC_{50} вредности. Подаци су приказани као средње вредности \pm стандардна девијација ($n = 3$). Од процената инхибиције помоћу статистичког програма, одређене су IC_{50} вредности.

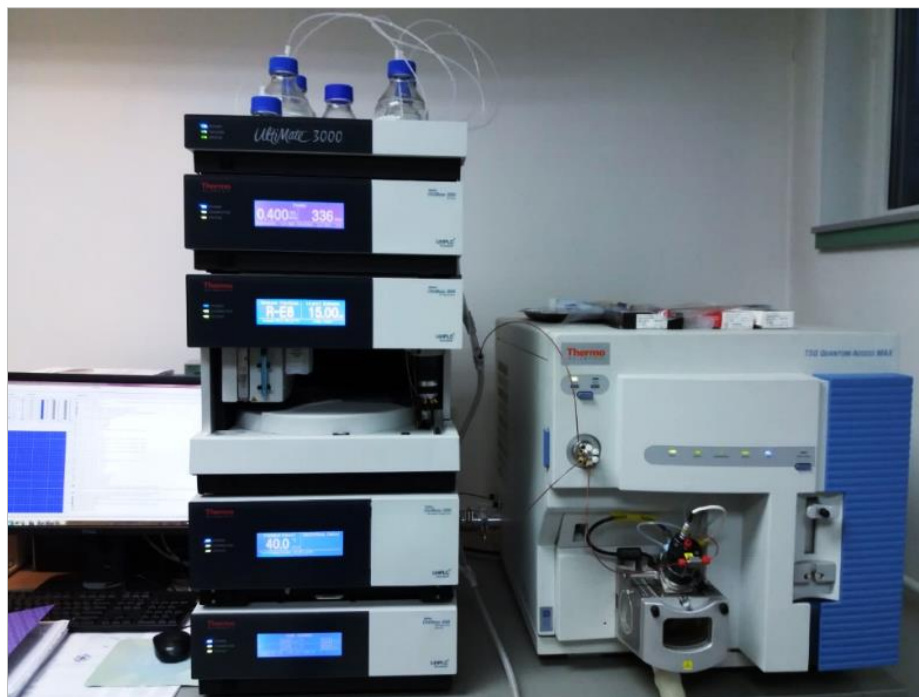
3.9. Одређивање садржаја појединачних фенолних једињења УHPLC/DAD/(-)HESI-MS² анализом

3.9.1. Припрема екстракта за УHPLC/DAD анализу

По пет репрезентативних изданака од пет јединки из сваке популације је обједињено како би се добио композитни узорак по популацији. Сваки узорак (10 μg) је екстрахован са 700 μL метанола мешањем на вортексу током 1 минута, а потом у ултразвучном купатилу у трајању од 10 минута. Након центрифугирања у трајању од 15 минута на 10000 g, добијени супернатанти су пропуштени кроз филтере са целулозним мембранама, са порама промера 0,2 μm (Agilent Technologies, Santa Clara, CA), и чувани на 4 °C до даљих анализа.

3.9.2. Одређивање садржаја појединачних фенолних једињења

Квантитативно одређивање појединачних фенолних једињења у узорцима врсте *T. montanum* са различитих геолошких подлога спроведено је методом течне хроматографије под ултра високим притиском помоћу Dionex Ultimate 3000 УHPLC система (Thermo Fisher Scientific, Bremen, Germany) конфигурисаног са детектором састављеног од низа диода (DAD) и повезаног на масеним спектрометром са троструким квадриполима (TSQ Quantum Access Max, Thermo Fisher Scientific, Basel, Switzerland) (Слика 18). За хроматографско раздвајање једињења, коришћена је *Hypersil gold C18* колона (50 \times 2,1 mm) (Thermo Fisher Scientific, USA), са промером честица од 1,9 μm , која је термостатирана на 30 °C. Брзина протока мобилне фазе је постављена на 0,4 $mL\ min^{-1}$ и састојала се од 0,1% мравље киселине у дејонизованој води (А) и ацетонитрила LC-MS чистоће (Б). Проток елуента је постављен у режим реверзне фазе, како је описану у Мишић и сар. (2015). Ињекциона запремина је била 10 μL . DAD спектри су одређивани на таласним дужинама од 260 и 320 nm. Масени спектрометар, опремљен електроспреј јонизацијом (HESI), подешен је на следеће параметре: температура јонске пробе од 300 °C, са волтажа од 4000 V, притисак носећег гаса (N_2) од 50 AU, притисак гаса у јонском извору од 1,0 AU, притисак ауксиларног гаса од 10 AU, температуром капиларе од 275 °C и подешавањем јонских сочива од 0 V. Енергија колизије је подешена на 30 eV за сва анализирана фенолна једињења. Једињења од интереса су квантификована у SRM (eng. *selected reaction monitoring*) модалитету инструмента. Идентификација фенолних једињења у биљним екстрактима извршена је упоређивањем MS, MS², UV спектра и ретенционих времена са изворним стандардима, као и претрагом литературних података. Једињења су квантификована поступком екстерног стандарда. Шток раствори стандарда су припремљени растварањем 1 mg сваког од чистих стандарда у 1 mL метанола. Радни раствори су припремљени мешањем шток раствора једињења како би се добила концентрација од 100 $\mu g\ mL^{-1}$. Остали калибрациони нивои су добијени разблаживањем радног раствора метанолом. Радни стандардни раствори су припремљени у 15 различитих концентрација у распону од 100 $\mu g\ mL^{-1}$ до 0.001 $\mu g\ mL^{-1}$.



Слика 18. УНPLC/DAD/(±)HESI-MS² уређај који је коришћен за квантитативно одређивање садржаја доминантних фенолних једињења у узорцима *T. montanum* (Фото: Н. Златић)

3.10. Испитивање квалитативног и квантитативног састава етарског уља врсте *Teucrium montanum*

3.10.1. Процес изолоције етарског уља

Осушен и пулверизован биљни материјал из сваке популације је коришћен у процесу изоловања етарског уља. 100 g биљног материјала је убачено у апарат по Клевенцеру. Након 3 сата хидродестилације, 1 mL *n*-хексана HPLC чистоће је додат у узорак етарског уља. Добијено уље је осушено помоћу анхидридованог натријум сулфата (NaHSO₃), након чега је смештено у тамне стерилне вајле и чувано на 4 °C до даљих GC-MS анализа. Принос уља је израчунат за сваки узорак на основу суве масе.

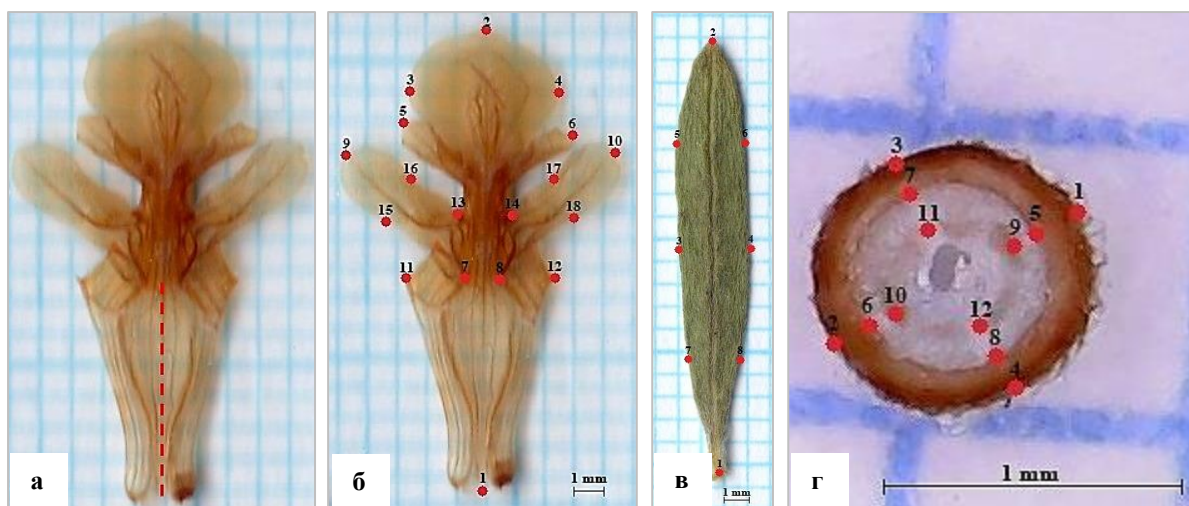
3.10.2. GCxGC-MS хроматографија

За одређивање квалитативног и квантитативног састава етарског уља врсте *T. montanum* са станишта на кречњачкој и серпентинитској геолошкој подлози коришћен је GCxGC-MS уређај GCMS-QP2010 Plus (Shimadzu, Kyoto, Japan). Колонa Rtx®-1 (RESTEK, Crossbond® 100% диметил полисилоксан, 30 m × 0,25 mm ID, 0,25 μm дебљина филма) је повезан са BPX50 (SGE Analytical Science, 1 m × 0,1 mm ID, df = 0,1 μm) GC × GC преко модулатора (Zoex Corp.). Пећ је програмирана на почетну температуру од 60 °C током 3 минута, загревана брзином од 4 °C / минуту до 260 °C, а затим још 5 минута на 260 °C. Период модулације је био 6 секунди. Подаци GCxGC-MS анализирани су коришћењем GC Image 2,8 софтвера, док су MS спектри упоређени са NIST MS библиотеком. За одређивање LR индекса коришћена је C₁₀-C₂₅ смеша *n*-алкана (смеша за одређивање DRO, Accu standard). Метода је спроведена према стандардној процедури (Troncozo *и сар.*, 2019) са одређеним модификацијама.

3.11. Препарација биљних органа за геометријско-морфометријске анализе

3.11.1. Узорковање цветова, конзервирање и дисековање

За одређивање обрасца варирања величине и облика крунице цветова врсте *T. montanum* коришћено је укупно 800 цветова. Узорковани цветови су стављани у обележене бочице запремине 50 mL напињене 70% етанолом. Биљни материјал је складиштен у кутију и чуван на температури од 20 °C до дисекције. Дисекција цветова је вршена помоћу маказица и пинцета. Раздвајање цветних органа извршено је једним резом кроз цветну тубу, на споју горње две усне (Слика 19а). Након дисекције, цветни делови су постављени на стаклену плочицу, на коју је претходно био нанет 50% глицерин. Цветни делови су развучени пинцетом до њиховог природног облика. Након овог поступка, делови цвета су скенирани скенером (Epson Perfection V19) на резолуцији од 600 dpi. За одређивање величине и облика, дефинисано је 18 тачака (Слика 19б). Опис специфичних тачака дат је у Табели у Прилогу 1. Постављање специфичних тачака на крунице цветова вршено је у софтверском програму tpsDig2 (Rohlf, 2006).



Слика 19. Припремање биљних органа врсте *Teucrium montanum* за анализирање геометријском морфометријом: (а) Дисекција цветне тубе, (б) положај специфичних тачака на цветној круници, (в) листу и (г) попречном пресеку стабла. (Фото: Н. Златић)

3.11.2. Узорковање листова и конзервирање

За одређивање обрасца варирања величине и облика листова врсте *T. montanum* коришћено је укупно 1200 листова. Свеже узорковани листови су стављани у обележене целулозне кесице у којима су се сушили и пресовали до скенирања. За скенирање су коришћени листови који су се налазили у средњој зони изданка. По три листа су била насумице изабрана са три изданка од једне јединке из средишњег дела хабитуса. Дехидрирани листови су скенирани на резолуцији од 600 dpi. За одређивање величине и облика листова, дефинисано је 8 тачака (Слика 19в).

3.11.3. Узорковање стабла, конзервирање и дисековање

За одређивање варирања величине и облика попречних пресека стабла испитиване врсте са кречњачких и серпентинитских станишта коришћено је укупно 1200 попречних пресека стабла. Попречни пресеци стабла су прављени у зони средњег дела стабла. Након овог поступка, попречни пресеци стабла су фотографисани на светлосном микроскопу (Nicon Ti-Eclipse), на резолуцији од 96 dpi. За одређивање облика и величине попречних пресека стабла дефинисано је 12 тачака (Слика 19г). Узорковање и складиштење попречних пресека су идентични као за цветове и листове.

3.12. Статистичка обрада резултата

Статистичка анализа резултата извршена је помоћу софтверских пакета STATISTICA (верзија 12.0, TIBCO Software Inc., California USA) и Excel (верзија 16.0 Microsoft, Washington, USA). Вредности добијене за концентрације испитиваних елемената биле су статистички обрађене помоћу основне дескриптивне статистике. Корелација је примењена као метода за проверу података о корелације између концентрација елемената. Мултиваријантна статистичка метода (PCA) коришћена је за откривање односа између хемијских елемената и локалитета.

Статистички параметри за квантитативну анализу појединачних једињења из групе фенолних једињења испитивана су једнофакторском анализом ANOVA. На основу хијерархијске анализе кластера која је направљена на основу Еуклидских дистанци конструисана је Хеатмапа коришћењем gplots R пакета. Вард-ова метода је коришћена за агломерацију кластера. Једињења су поређана по редоследу у хијерархијској анализи кластера која је направљена на основу дистанционе матрице конструисане на основу Спечманових (Spearman) корелација. Оптималан број кластера је одређен Kelley-Gardner-Sutcliffe методом. Како би се извршила провера да ли се на основу хемијског профила може закључивати о типу земљишта коришћена су два алгорита - рекурсивно партиционисање имплементирано у R пакет rpart (Therneau и Atkinson, 2022) и random forest алгоритам (Wright и Ziegler, 2017) имплементиран у R пакет. Конструикција и евалуација поменутих графова урађена је коришћењем mlr3 пакета (Lang и сар., 2019). Евалуација је урађена нестованом k-fold унакрсном валидацијом.

Поред наведених анализа, за одређивање хемијске варијабилности етарских уља коришћена је униваријантна анализа како би се показао однос међу популацијама и одредила сличност методом кластера појединачним повезивањем (енгл. Single Linkage) поређењем Еуклидових дистанци.

За утврђивање образаца морфолошког варирања облика крунице, листа и попречног пресека стабла популација са кречњачких и серпентинитских станишта коришћене су Прокрстова суперимпозиција, Прокрстова ANOVA, дискриминантна анализа и мултиваријантна регресија.

Прокрстов метод (енгл. Procrustes superimposition) је коришћен за издвајање информација о облику и елиминисање ефеката ротације, транслације и позиције. Величина центроида (енгл. Centroid Size (CS)) је коришћена као мера величине морфолошких целина врсте *T. montanum*. Како би се уочила варијабилност симетричних и асиметричних компоненти варијације у облику морфолошких целина врсте *T. montanum*, примењена је анализа главних компоненти (енгл. Principal Component Analysis (PCA)). Математички гледано, улазни подаци за израчунавање главних компоненти у геометријској морфометрији представљају матрице коваријансе координата одређених тачака. Значајна разлика у облику морфолошких целина са

различитих станишта тестирана је анализом дискриминантне функције (енгл. Discriminant Function Analysis (DFA)). Разлика између средњих облика различитих морфолошких целина врсте *T. montanum* тестирана је коришћењем укупне варијације облика. Како би се уклониле разлике у средњим облицима које су настале променом у величини, DFA је поновљена користећи резидуалне вредности мултиваријатне регресије променљивих облика на величину центроида као улазне податке. Статистичка значајност разлика између средњих облика парова морфолошких целина одређена је пермутационим тестовима са 10000 интеракција користећи Прокрустове дистанце као улазне податке. Присуство алометрије, тестирано је применом мултиваријантна регресија варијабли облика на логаритамску вредност величине центроида (енгл. Log. CS). Добијени проценат укупне варијације морфолошких целина, који се може објаснити променом њихове величине, описује зависност варијације облика морфолошких целина од њихове величине. Статистички значај у односу на нулту хипотезу о независности облика и величине тестиран је пермутационим тестовима са 10000 интеракција. Све анализе су извршене користећи софтверски пакет MorphoJ (Klingenberg, 2011).

4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Испитивањем врсте *T. montanum* са локалитета на кречњачкој и серпентинитској геолошкој подлози истражено је постојање диференцијације анализираних особина у односу на тип геолошке подлоге. Параметри који су праћени у оквиру истраживања подразумевају квалитативни и квантитативни састав минералних елемената у узорцима земљишта и биљака, садржај укупних фенолних једињења, флавоноида и антиоксидативна активност, квантитативни садржај доминантних фенолних једињења као и морфолошка варијабилност величине и облика појединих биљних органа. Параметри су упоредно анализирани код узорака *T. montanum* пореклом са кречњачке и серпентинитске геолошке подлоге.

4.1. Приказ упоредне анализе количине елемената у узорцима земљишта и биљног материјала врсте *Teucrium montanum*

У резултатима спроведених истраживања, анализирано је присуство и одређена количина 20 различитих елемената (Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Se и Zn) у узорцима земљишта и биљака узоркованих са локалитета на кречњачкој и серпентинитској геолошкој подлози и вршена је упоредна анализа.

Количина алуминијума (Al) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге била је у опсегу од 6558,67 mg kg⁻¹ до 30525,59 mg kg⁻¹, док је у биљним узорцима количина била од 65,70 mg kg⁻¹ до 768,05 mg kg⁻¹. Количина Al у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге је била у опсегу од 6970,39 mg kg⁻¹ до 14238,51 mg kg⁻¹ док је у биљним узорцима била од 21,79 mg kg⁻¹ до 243,39 mg kg⁻¹ (Графикон 1а и 1б). Резултати указују да је количина Al, како у узорцима земљишта тако и у узорцима биљака са кречњачке подлоге, већа у односу на количину у узорцима са серпентинитске подлоге, као и да повећана количина Al у земљишту у великој мери утиче на количину Al у биљкама. Састав матичне стене, структура земљишта, присуство органских материја, еколошки фактори, рН вредност, само су неки од фактора који утичу на количину Al у земљишту.

Количина арсена (As) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге је била у опсегу од 3,53 mg kg⁻¹ до 98,35 mg kg⁻¹, док је у биљним узорцима As детектован само на локалитету Кањон Лазареве реке (0,24 mg kg⁻¹). Количина As у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је испод граница детекције за одређене локалитете до 11,40 mg kg⁻¹ за локалитет Брђанска клисура, док у узорцима биљака није детектована (Графикон 2а и 2б). Резултати указују да је количина As у узорцима земљишта са кречњачке подлоге већа у односу на узорке са серпентинитске подлоге. У биљним узорцима As није детектован, осим за локалитет Басарски камен.

Количина бора (B) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге је била у опсегу од 5,64 mg kg⁻¹ до 30,87 mg kg⁻¹, док је количина B у биљним узорцима била од 13,83 mg kg⁻¹ до 25,82 mg kg⁻¹. Количина B у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге је била у опсегу од 2,65 mg kg⁻¹ до 34,47 mg kg⁻¹, док је у узорцима биљака била од 15,90 mg kg⁻¹ до 23,09 mg kg⁻¹ (Графикон 3а и 3б). Резултати указују да је количина B у узорцима земљишта са кречњачке подлоге већа у односу на узорке са серпентинитске подлоге, изузев локалитета Оровица. У биљним узорцима се уочава једнака заступљеност овог елемента у оба типа локалитета.

Количина калцијума (Ca) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге је била у опсегу од 5188,59 mg kg⁻¹ до 105180,10 mg kg⁻¹, док је у узорцима биљака била од 6888,71 mg kg⁻¹ до 10538,87 mg kg⁻¹. Количина Ca у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге је била у опсегу од 2415,04 mg kg⁻¹ до 18603,51 mg kg⁻¹, док је у узорцима биљака била од 3057,66 mg kg⁻¹ до 7681,32 mg kg⁻¹ (Графикон 4а и 4б). Резултати указују да је количина Ca, како у узорцима земљишта тако и у узорцима биљака са кречњачке подлоге већа у односу на узорке са серпентинитске подлоге, као и да повећана количина Ca у земљишту у великој мери утиче на количину Ca у биљкама.

Количина кадмијума (Cd) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге је била у опсегу од 0,06 mg kg⁻¹ до 3,58 mg kg⁻¹, док је у узорцима биљака била од 0,03 mg kg⁻¹ до 0,39 mg kg⁻¹. Количина Cd у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге на свим локалитетима била је испод граница детекције, док је у биљним узорцима била у опсегу од 0,04 mg kg⁻¹ до 0,06 mg kg⁻¹ (Графикон 5а и 5б.). Резултати указују да је количина Cd у узорцима земљишта са кречњачке подлоге већа у односу на узорке са серпентинитске подлоге. Није примећена значајна разлика у количини Cd у биљним материјалима, осим за кречњачки локалитет Басарски камен.

Количина кобалта (Co) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге је била у опсегу од 4,48 mg kg⁻¹ до 12,62 mg kg⁻¹, док је у узорцима биљака била од 0,04 mg kg⁻¹ до 0,40 mg kg⁻¹. Количина Co у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге је била у опсегу од 111,39 mg kg⁻¹ до 167,79 mg kg⁻¹, док је у узорцима биљака била од 0,49 mg kg⁻¹ до 3,03 mg kg⁻¹ (Графикон 6а и 6б). Резултати указују да је количина Co, како у узорцима земљишта тако и у узорцима биљака са серпентинитске подлоге, већа у односу на узорке са кречњачке подлоге, као и да повећана количина Co у земљишту у великој мери утиче на количину Co у биљкама.

Количина хрома (Cr) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге била је у опсегу од 18,26 mg kg⁻¹ до 48,88 mg kg⁻¹, док је у узорцима биљака опсег концентрација био од 0,52 mg kg⁻¹ до 2,64 mg kg⁻¹. Количина Cr у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је у опсегу од 284,84 mg kg⁻¹ до 910,44 mg kg⁻¹, док је у узорцима биљака била од 2,05 mg kg⁻¹ до 14,66 mg kg⁻¹ (Графикон 7а и 7б). Резултати указују да је количина Cr, како у узорцима земљишта тако и у узорцима биљака са серпентинитске подлоге, већа у односу на количину у узорцима са кречњачке подлоге. Већа количина Cr у земљишту у значајној мери утиче на количину Cr у биљкама.

Количина бакра (Cu) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге је била у опсегу од 7,51 mg kg⁻¹ до 184,03 mg kg⁻¹ док је у узорцима биљака била од 3,35 mg kg⁻¹ до 7,64 mg kg⁻¹. Количина Cu у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге је била у опсегу од 10,67 mg kg⁻¹ до 23,75 mg kg⁻¹, док је у узорцима биљака била од 4,55 mg kg⁻¹ до 7,17 mg kg⁻¹ (Графикон 8а и 8б). Резултати указују да је количина Cu у узорцима земљишта са кречњачке подлоге релативно већа од серпентинитске. Количина овог елемента је подједнако заступљена у биљним узорцима.

Количина гвожђа (Fe) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге била је у опсегу од 8582,44 mg kg⁻¹ до 24313,59 mg kg⁻¹ док је у узорцима биљака била од 81,16 mg kg⁻¹ до 655,20 mg kg⁻¹. Количина Fe у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је у опсегу од 20593,87 mg kg⁻¹ до 25267,75 mg kg⁻¹ док је у узорцима биљака била од 217,52 mg kg⁻¹ до 1674,07 mg kg⁻¹ (Графикон 9а и 9б). Резултати указују да је количина Fe, како у узорцима земљишта тако и у узорцима биљака са серпентинитске подлоге, већа у односу на узорке са кречњачке подлоге. Повећана количина Fe у земљишту у значајној мери утиче на количину Fe у биљкама.

Количина калијума (K) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге била је у опсегу од 1559,60 mg kg⁻¹ до 11972,94 mg kg⁻¹, док је у узорцима биљака била од 5476,28 mg kg⁻¹ до 11355,08 mg kg⁻¹. Количина K у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је у опсегу од 164,30 mg kg⁻¹ до 470,78 mg kg⁻¹ док је у узорцима биљака била од 5762,78 mg kg⁻¹ до 8191,01 mg kg⁻¹ (Графикон 10а и 10б). Резултати указују да је количина K, како у узорцима земљишта тако и у узорцима биљака са кречњачке подлоге, већа у односу на узорке са серпентинитске подлоге, као и да повећана количина K у земљишту у великој мери утиче на доступну количину K у биљкама.

Количина литијума (Li) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге била је у опсегу од 5,95 mg kg⁻¹ до 45,25 mg kg⁻¹ док је у узорцима биљака била од 0,10 mg kg⁻¹ до 0,70 mg kg⁻¹. Количина Li у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је у опсегу од 1,57 mg kg⁻¹ до 3,12 mg kg⁻¹ док је у узорцима биљака била од 0,08 mg kg⁻¹ до 0,22 mg kg⁻¹ (Графикон 11а и 11б). Резултати указују да је количина Li, како у узорцима земљишта тако и у узорцима биљака са кречњачке подлоге, већа у односу на узорке са серпентинитске подлоге. Повећана количина Li у земљишту у великој мери утиче на количину Li у биљкама.

Количина магнезијума (Mg) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге била је у опсегу од 1610,14 mg kg⁻¹ до 3518,83 mg kg⁻¹ док је у узорцима биљака била од 964,54 mg kg⁻¹ до 1599,05 mg kg⁻¹. Количина Mg у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је у опсегу од 2398,06 mg kg⁻¹ до 3991,86 mg kg⁻¹ док је у узорцима биљака била од 1669,79 mg kg⁻¹ до 3047,17 mg kg⁻¹ (Графикон 12а и 12б). Резултати указују да је количина Mg, како у узорцима земљишта тако и у узорцима биљака са серпентинитске подлоге, већа у односу на количину у узорцима са кречњачке подлоге, као и да повећана количина Mg у земљишту у значајној мери утиче на количину Mg у биљкама.

Количина мангана (Mn) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге била је у опсегу од 224,84 mg kg⁻¹ до 929,05 mg kg⁻¹ док је у узорцима биљака била од 17,39 mg kg⁻¹ до 36,57 mg kg⁻¹. Количина Mn у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је у опсегу од 1169,52 mg kg⁻¹ до 1856,90 mg kg⁻¹ док је у узорцима биљака била од 20,04 mg kg⁻¹ до 62,27 mg kg⁻¹ (Графикон 13а и 13б). Резултати указују да је количина Mn, како у узорцима земљишта тако и у узорцима биљака са серпентинитске подлоге, већа у односу на узорке са кречњачке подлоге. Повећана количина Mn у земљишту у значајној мери утиче на количину Mn у биљкама.

Количина натријума (Na) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге била је у опсегу од 25,59 mg kg⁻¹ до 412,43 mg kg⁻¹, док је у узорцима биљака била од 4,54 mg kg⁻¹ до 21,63 mg kg⁻¹. Количина Na у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је у опсегу од 263,44 mg kg⁻¹ до 397,76 mg kg⁻¹, док је у узорцима биљака била од 8,72 mg kg⁻¹ до 46,54 mg kg⁻¹ (Графикон 14а и 14б). Резултати указују да је количина Na, како у узорцима земљишта тако и у узорцима биљака са серпентинитске подлоге, већа у односу на узорке са кречњачке подлоге. Повећана количина Na у земљишту у значајној мери утиче на количину Na у биљкама.

Количина никла (Ni) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге била је у опсегу од 24,01 mg kg⁻¹ до 50,28 mg kg⁻¹ док је у узорцима биљака количина била од 0,52 mg kg⁻¹ до 3,59 mg kg⁻¹. Количина Ni у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је у опсегу од 1134,02 mg kg⁻¹ до 1687,16 mg kg⁻¹ док је у узорцима биљака била од 12,08 mg kg⁻¹ до 37,09 mg kg⁻¹ (Графикон 15а и 15б). Резултати указују да је количина Ni, како у узорцима земљишта тако и у узорцима биљака са серпентинитске подлоге, већа у односу на узорке са кречњачке подлоге. Повећана количина Ni у земљишту у значајној мери утиче на количину Ni у биљкама.

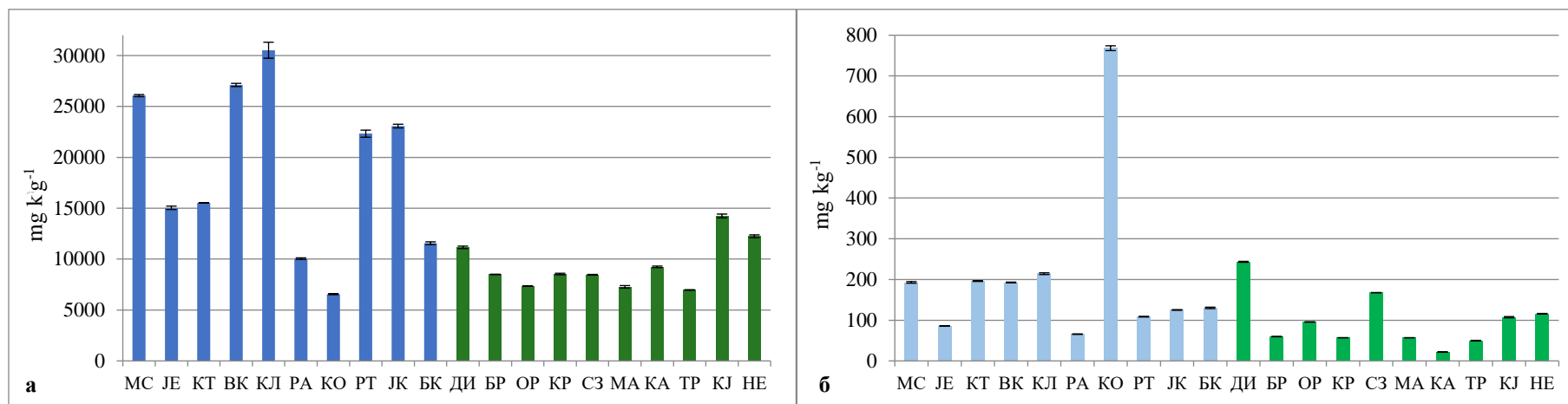
Количина фосфора (P) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге била је у опсегу од $199,64 \text{ mg kg}^{-1}$ до $3385,69 \text{ mg kg}^{-1}$, док је у узорцима биљака била од $738,78 \text{ mg kg}^{-1}$ до $1218,18 \text{ mg kg}^{-1}$. Количина P у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је у опсегу од $327,78 \text{ mg kg}^{-1}$ до $588,91 \text{ mg kg}^{-1}$ док је у узорцима биљака била од $593,98 \text{ mg kg}^{-1}$ до $1018,85 \text{ mg kg}^{-1}$ (Графикон 16а и 16б). Резултати указују да је количина P у узорцима земљишта са кречњачке подлоге релативно већа од узорака са серпентинитске подлоге. Подједнака количина овог елемента је заступљена у биљним узорцима са обе врсте подлоге.

Количина олова (Pb) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге била је у опсегу од $6,18 \text{ mg kg}^{-1}$ до $105,15 \text{ mg kg}^{-1}$ док је у узорцима биљака била испод граница детекције за локалитет Басарски камен до $0,67 \text{ mg kg}^{-1}$. Количина Pb у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је у опсегу од $21,43 \text{ mg kg}^{-1}$ до $134,99 \text{ mg kg}^{-1}$ док је у узорцима биљака била испод граница детекције за два локалитета до $0,63 \text{ mg kg}^{-1}$ (Графикон 17а и 17б). Количина Pb у узорцима земљишта и биљака са оба типа подлоге у великој мери варира и зависи од локалитета до локалитета. На основу резултата може се закључити да је количина олова подједнако заступљена међу испитиваним узорцима са различите подлоге.

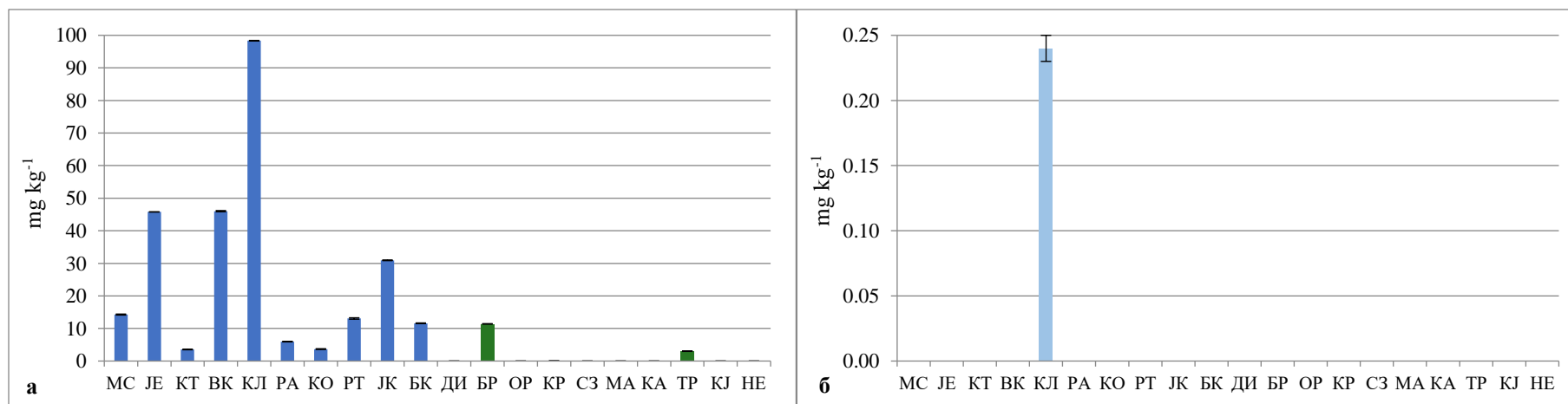
Количина сумпора (S) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге била је у опсегу од $379,21 \text{ mg kg}^{-1}$ до $4000,19 \text{ mg kg}^{-1}$, док је у узорцима биљака била од $1679,82 \text{ mg kg}^{-1}$ до $2618,60 \text{ mg kg}^{-1}$. Количина S у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је у опсегу од $279,29 \text{ mg kg}^{-1}$ до $563,94 \text{ mg kg}^{-1}$ док је у узорцима биљака била од $1606,01 \text{ mg kg}^{-1}$ до $2071,34 \text{ mg kg}^{-1}$ (Графикон 18а и 18б). Резултати указују да је количина S у узорцима земљишта са кречњачке подлоге већа од узорака са серпентинитске подлоге. Подједнака количина овог елемента је заступљена у биљним узорцима са обе врсте подлоге.

Количина селена (Se) у узорцима земљишта са кречњачке подлоге била је у опсегу од $0,60 \text{ mg kg}^{-1}$ до $3,22 \text{ mg kg}^{-1}$, док је у узорцима биљака била од $0,14 \text{ mg kg}^{-1}$ до $0,73 \text{ mg kg}^{-1}$. Количина Se у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је у опсегу од $0,53 \text{ mg kg}^{-1}$ до $0,91 \text{ mg kg}^{-1}$ док је у узорцима биљака била од $0,22 \text{ mg kg}^{-1}$ до $0,65 \text{ mg kg}^{-1}$ (Графикон 19а и 19б). Резултати указују да је количина Se у узорцима земљишта са кречњачке подлоге већа од количине у узорцима са серпентинитске. Већа количина овог елемента је заступљена у биљним узорцима са серпентинита.

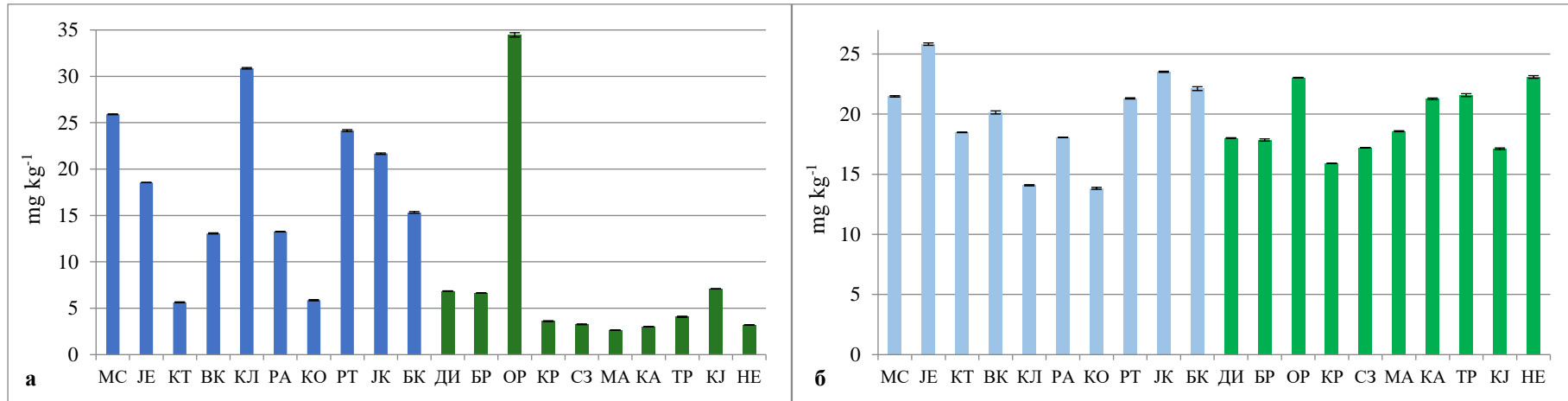
Количина цинка (Zn) у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге била је у опсегу од $20,89 \text{ mg kg}^{-1}$ до $184,96 \text{ mg kg}^{-1}$, док је у узорцима биљака била од $15,65 \text{ mg kg}^{-1}$ до $37,17 \text{ mg kg}^{-1}$. Количина Zn у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге била је у опсегу од $38,71 \text{ mg kg}^{-1}$ до $63,94 \text{ mg kg}^{-1}$ док је у узорцима биљака била од $21,28 \text{ mg kg}^{-1}$ до $27,96 \text{ mg kg}^{-1}$ (Графикон 20а и 20б). Резултати указују да је количина Zn, како у узорцима земљишта тако и у узорцима биљака са кречњачке подлоге, већа у односу на узорке са серпентинитске подлоге. Повећана количина Zn у земљишту у великој мери утиче на количину Zn у биљкама.



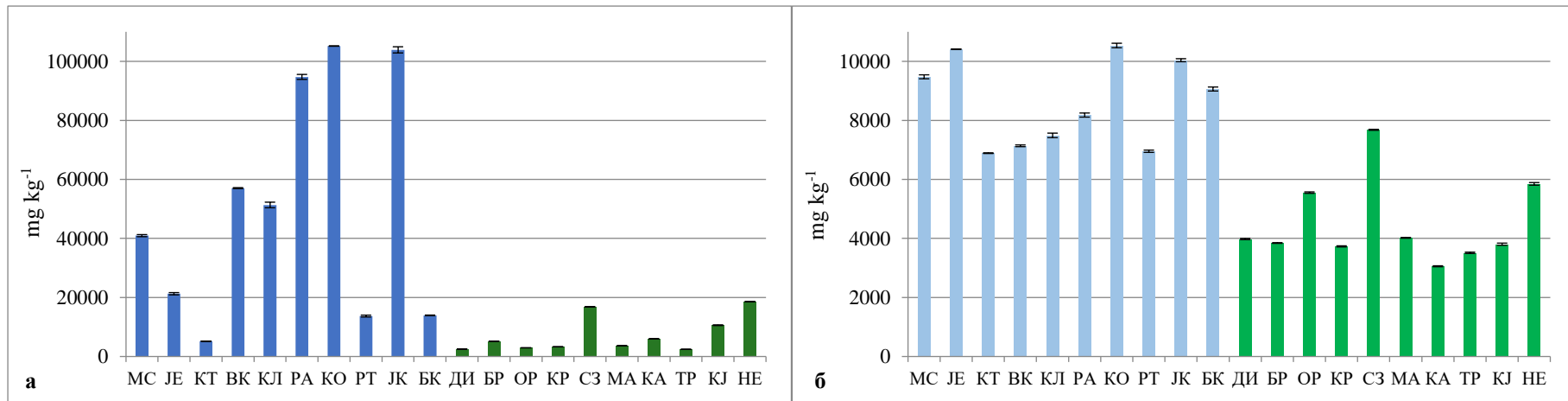
Графикон 1. Количина Al у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



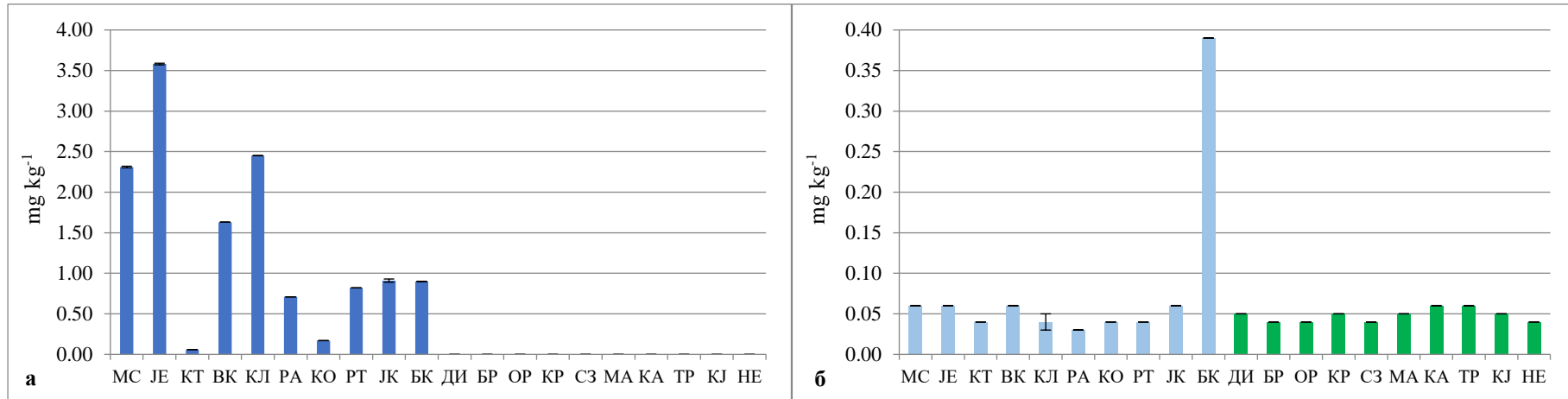
Графикон 2. Количина As у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



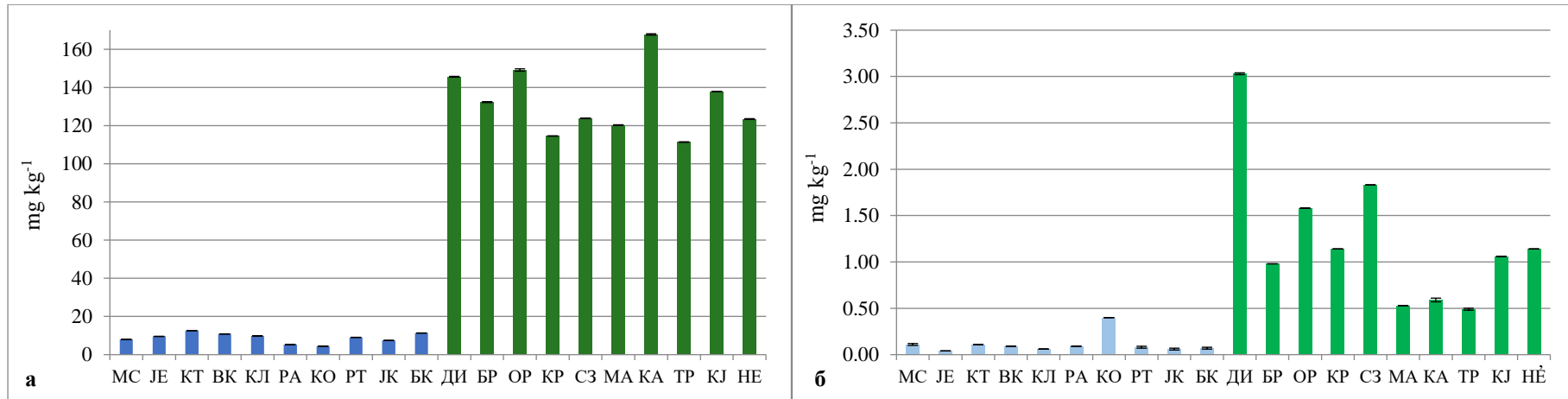
Графикон 3. Количина В у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



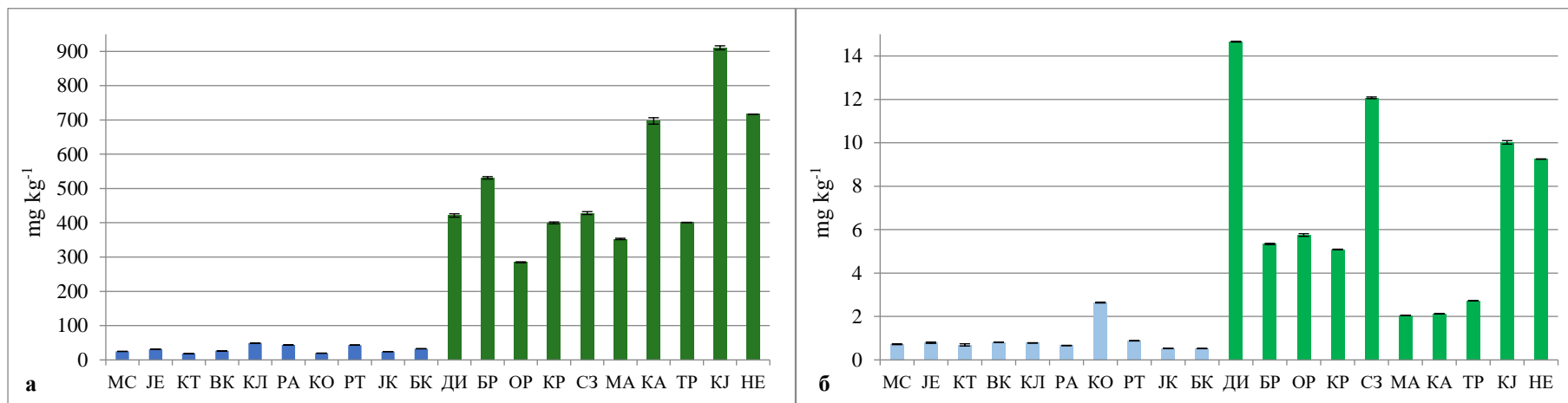
Графикон 4. Количина Са у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



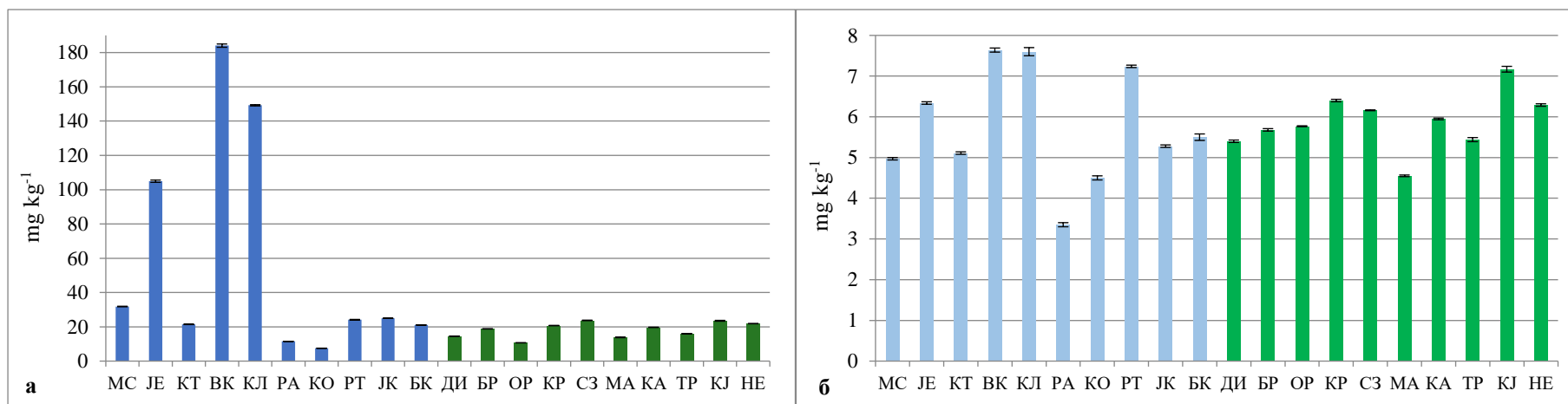
Графикон 5. Количина Cd у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



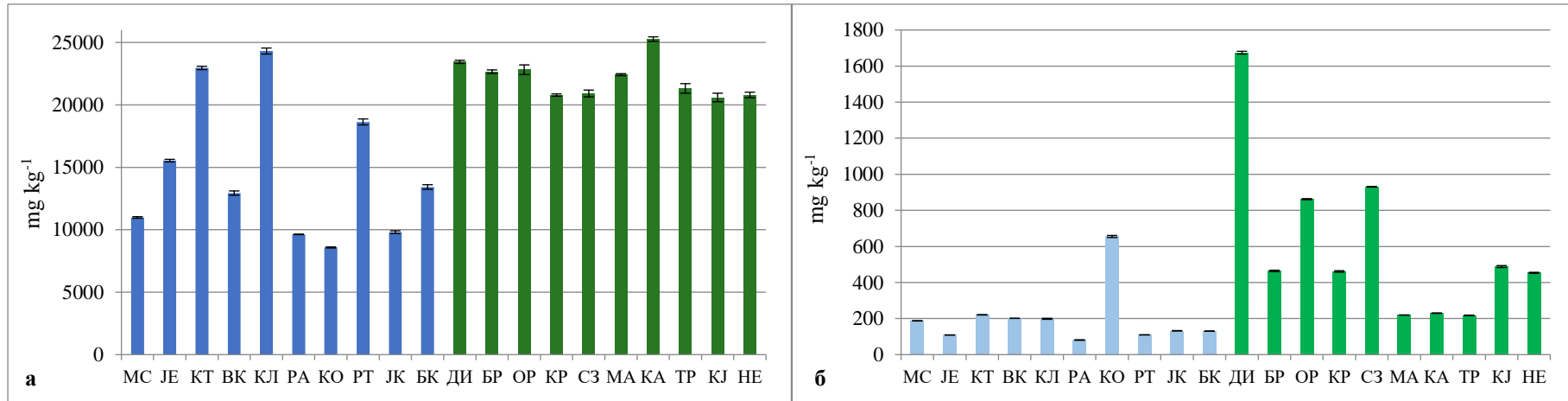
Графикон 6. Количина Со у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



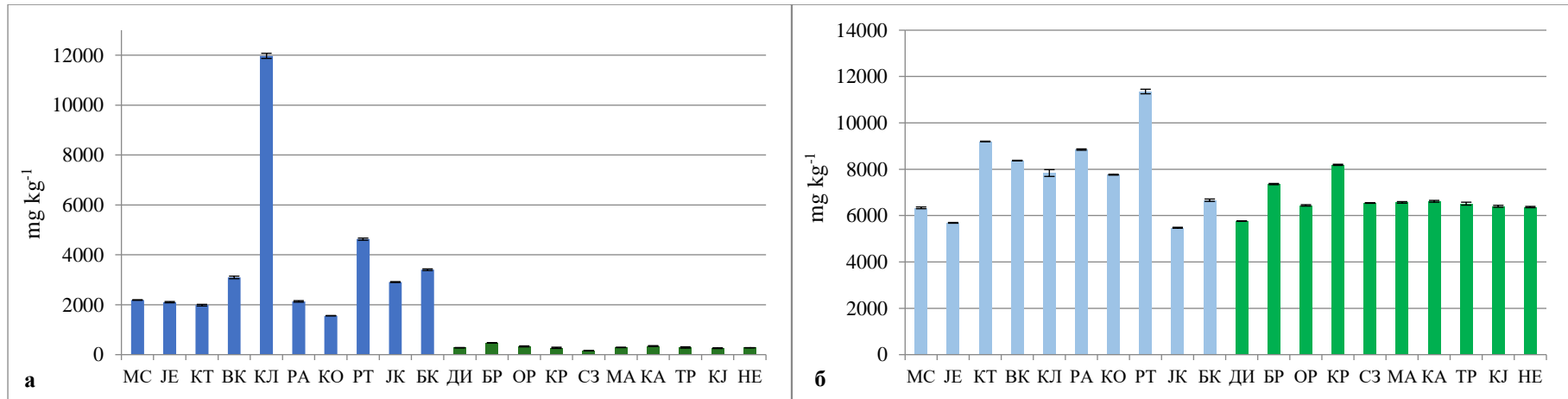
Графикон 7. Количина Сг у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



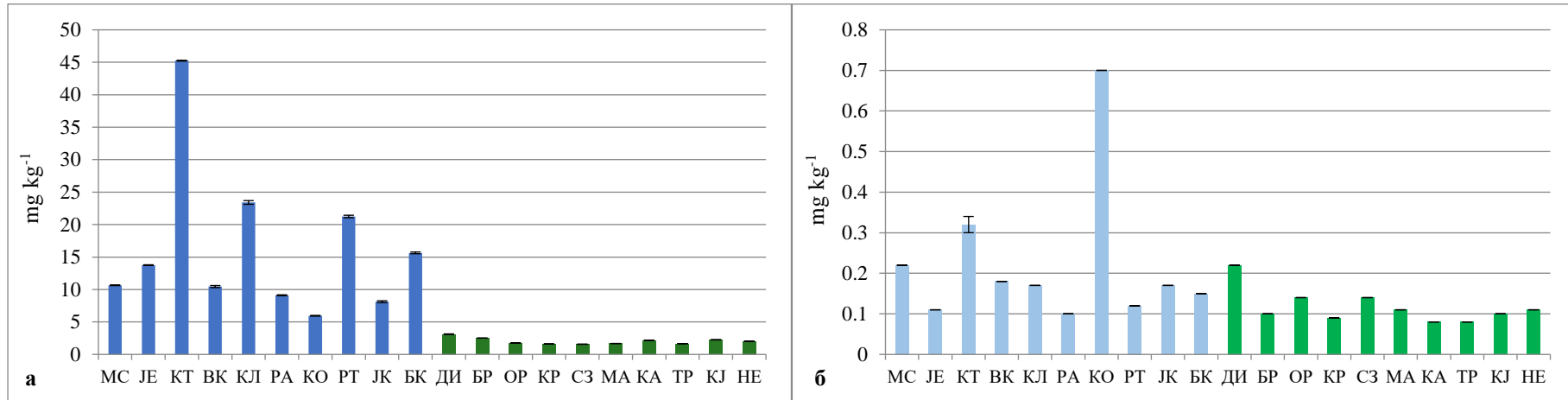
Графикон 8. Количина Си у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



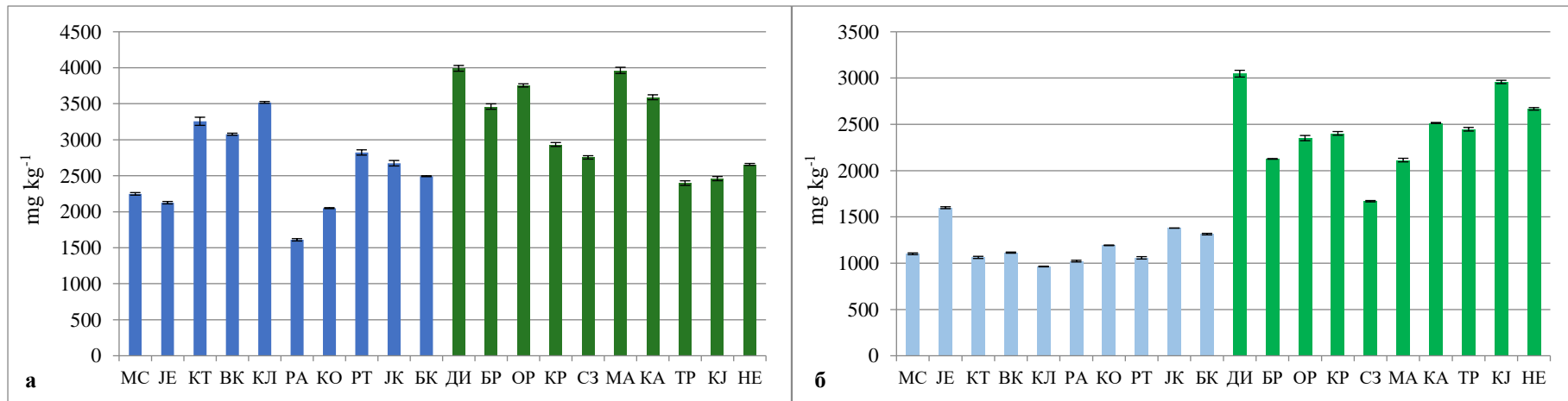
Графикон 9. Количина Fe у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



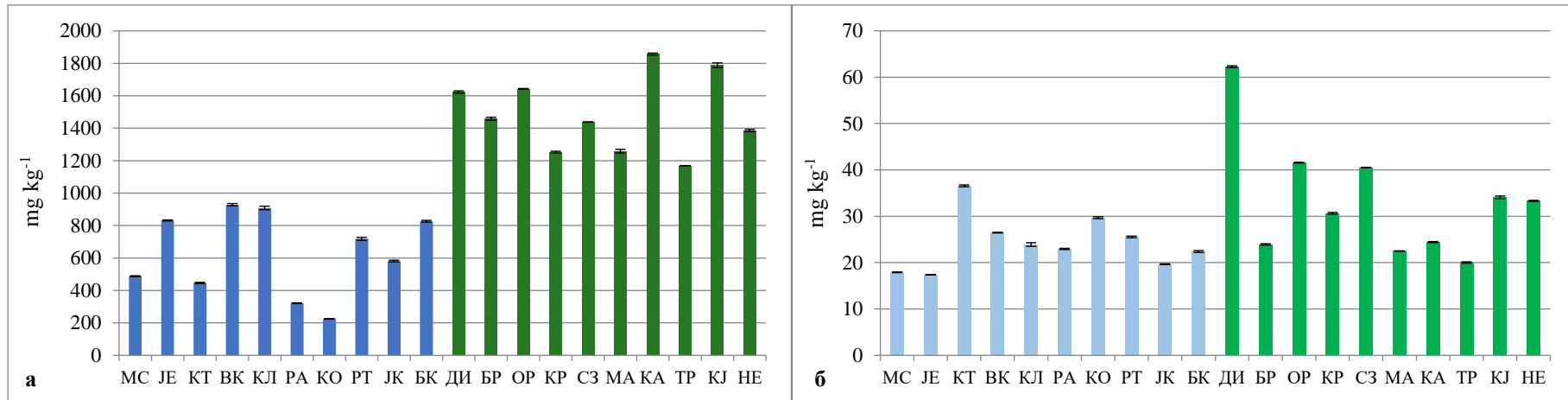
Графикон 10. Количина K у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



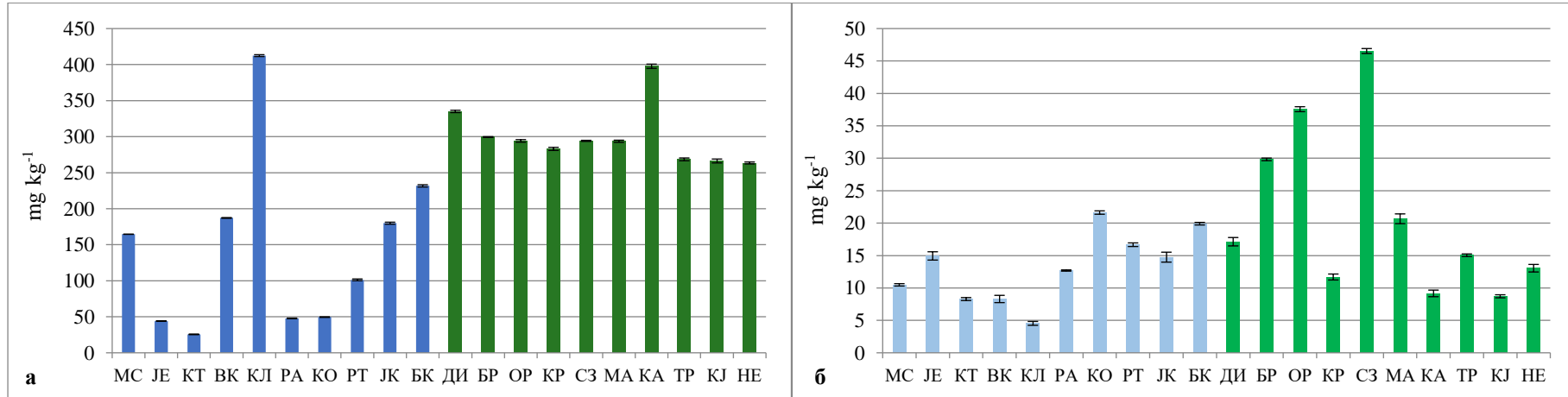
Графикон 11. Количина Li у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg⁻¹



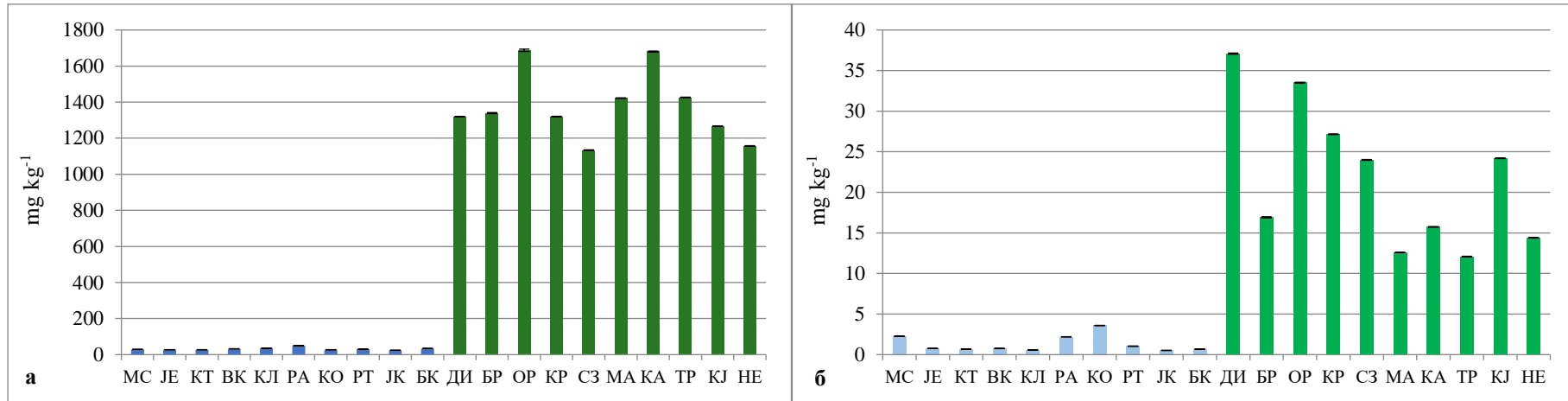
Графикон 12. Количина Mg у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg⁻¹



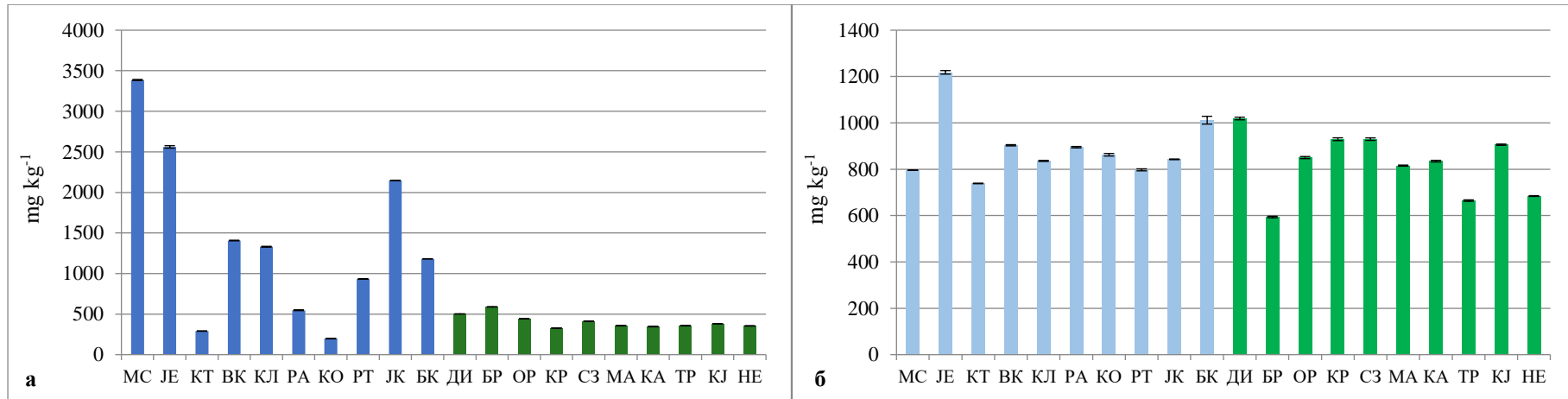
Графикон 13. Количина Mn у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



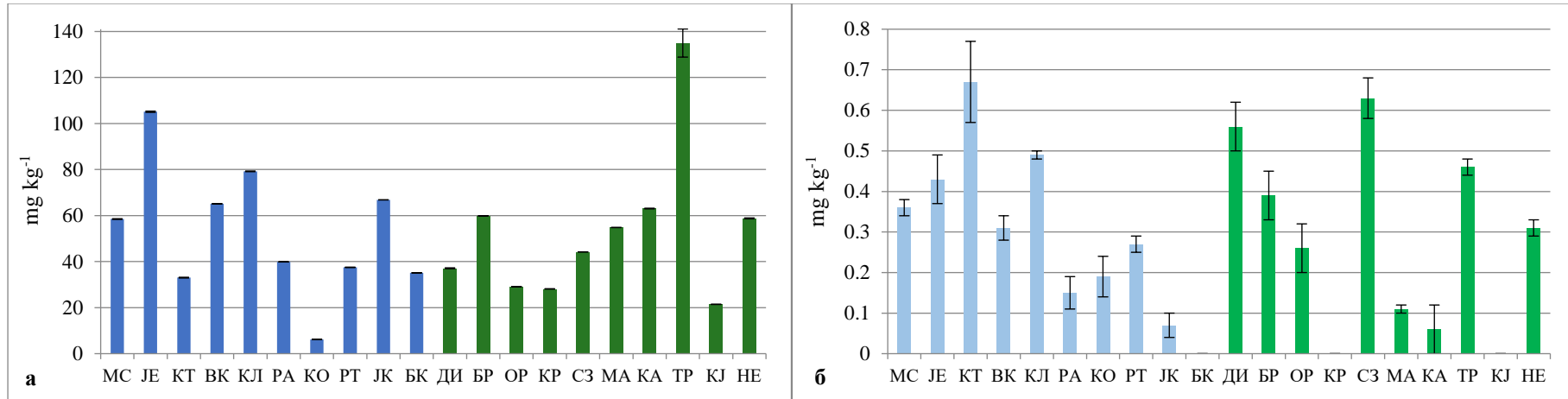
Графикон 14. Количина Na у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



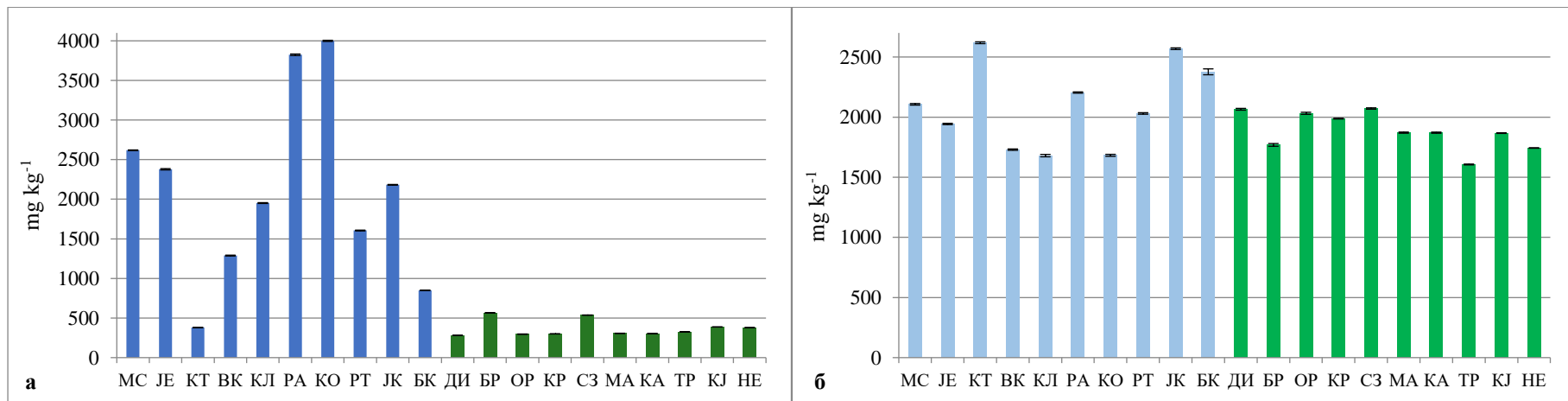
Графикон 15. Количина Ni у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



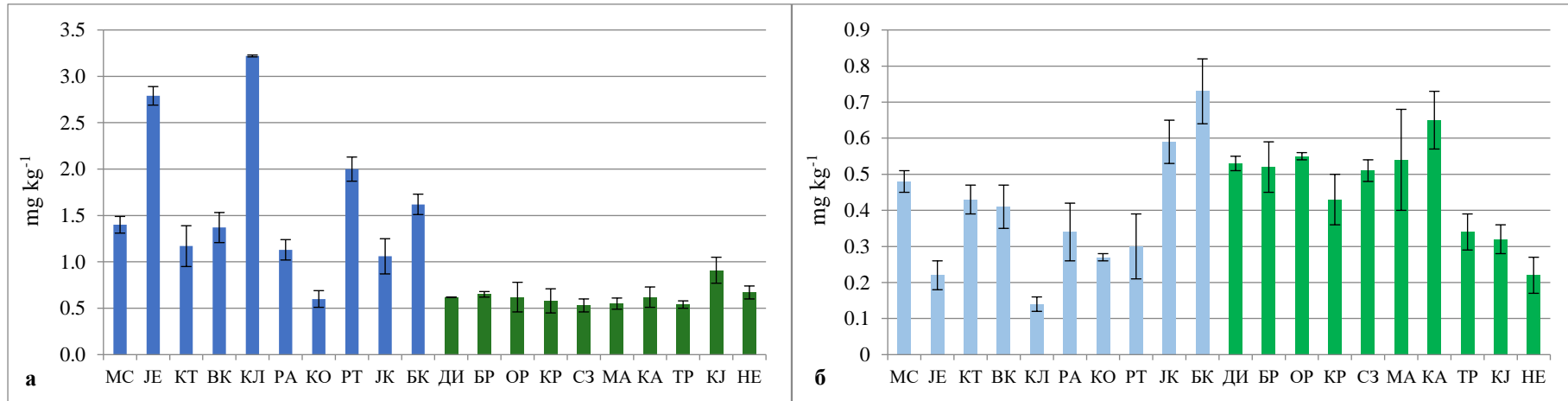
Графикон 16. Количина P у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg^{-1}



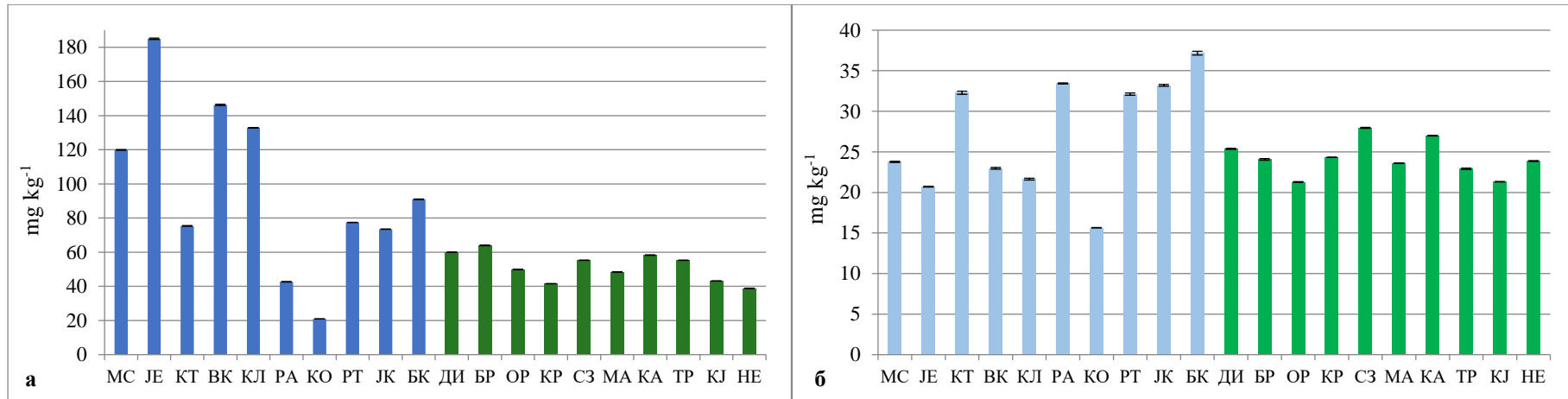
Графикон 17. Количина Pb у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg⁻¹



Графикон 18. Количина S у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg⁻¹



Графикон 19. Количина Se у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg⁻¹



Графикон 20. Количина Zn у испитиваним узорцима земљишта (а) и надземних биљних делова (б) врсте *T. montanum* са различитих локалитета изражена у mg kg⁻¹

На основу приказаних резултата, примећује се да узорци земљишта формирани на серпентинитској геолошкој подлози садрже више Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Na и Ni у односу на узорке земљишта прикупљених са кречњачке геолошке подлоге, који се одликују високим садржајем Al, As, B, Ca, Cd, Cu, K, Li, P, Se и Zn. Примећене су виши садржај Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Na, Ni и Se у узорцима биљног материјала са серпентинитских станишта у односу на биљне узорке са кречњачких станишта, које имају виши садржај Al, Ca, Li и Zn. Елементи Cd, Cu, K, P, Pb и S су више или мање подједнако заступљени у узорцима биљака са оба типа станишта. Може се закључити да количина појединих елемената у биљкама зависи од количине елемената у земљишту.

На основу средњих вредности количине елемената у узорцима земљишта формираним на кречњачкој геолошкој подлози, могу се поређати следећим редоследом: Ca > Al > Fe > K > Mg > S > P > Mn > Na > Zn > Cu > Pb > Ni > Cr > As > B > Li > Co > Se > Cd. Редослед елемената на основу средњих вредности количине елемената у биљним узорцима са кречњачких станишта је следећи: Ca > K > S > Mg > P > Al > Fe > Zn > Mn > B > Na > Cu > Ni > Cr > Se > Pb > Li > Co > Cd > As. На основу средњих вредности количине елемената у узорцима земљишта формираним на серпентинитској геолошкој подлози, могу се поређати следећим редоследом: Fe > Al > Ca > Mg > Mn > Ni > Cr > P > S > Na > K > Co > Pb > Zn > Cu > B > Li > As > Se > Cd. Редослед елемената на основу средњих вредности у биљним узорцима са серпентинитских станишта је следећи: K > Ca > Mg > S > P > Fe > Al > Mn > Zn > Ni > Na > B > Cr > Cu > Co > Se > Pb > Li > Cd > As.

На основу резултата средњих вредности количине елемената у кречњачком и серпентинитском земљишту, може се приметити да се количина одређених елемената у биљном материјалу разликује од количине елемента у земљишту. Поред велике количине одређених елемената, биљка акумулира макробиогене елементе попут K, Ca, Mg, S и P, како би се умањио штетан утицај токсичних елемената и обезбедила хомеостаза на серпентинитским стаништима. Присуство одређених елемената у земљишту није одређено само саставом елемената у матичној стени, већ количина истих зависи од утицаја разних биолошки и климатских фактора.

4.1.1. Приказ односа Ca и Mg

Испитивањем односа Ca и Mg за врсту *T. montanum*, уочено је да је укупна количина Mg увек већа од количине Ca. Однос Ca и Mg за узорке са кречњачке подлоге се кретао у опсегу од 0,016 до 0,154. За узорке са серпентинитске подлоге, однос Ca и Mg је био већи него у узорцима са кречњачке подлоге и кретао се у опсегу од 0,217 до 0,822. Највеће вредности односа Ca и Mg (0,822) су израчунате за серпентинитски локалитет Каменица, где је количина Mg била 0,822 пута већа од количине Ca. На основу добијених резултата, може се закључити да узорци са серпентинитских станишта имају незнатно већу количину Mg у односу на Ca. Међутим, однос ова два елемента никада не прелази вредност 1.

4.1.2. Испитивање рН вредности земљишта

рН вредности узорака земљишта са кречњачких локалитета су варирали од 7,37 до 7,91. рН вредности узорака земљишта са серпентинитских локалитета су биле од слабо киселих 6,81 до слабо базних 7,46. Обзиром да се рН вредности крећу у распону од 6,81 до 7,91, може се закључити да врста *T. montanum* насељава слабо кисела до слабо базна земљишта. Разлика између рН вредности је највероватније узрокована специфичним хемијским саставом геолошке подлоге на којој је земљиште формирано.

4.1.3. Одређивање биоакумулационог фактора

Биоакумулациони фактор (БАФ) је дефинисан као однос између количине одређеног елемента у биљци и земљишту, а израчунат је за сваки од анализираних елемената (Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Se и Zn). Биоакумулациони фактори за врсту *T. montanum* узорковану са кречњачких и серпентинитских станишта приказани су у Табели 5 и Табели 6. Фактор биоакумулације у надземним деловима биљке је углавном низак са вредностима близу 1. Вредности веће од 1 су примећене за узорке са оба типа станишта за елементе B, Ca, K, P и S. Поред наведених елемената, вредности Mg и Se су веће од 1 у узорцима са серпентинитских станишта. Вредности фактора биоакумулације се разликују између кречњачких и серпентинитских узорака. Узорци биљака са серпентинитских локалитета имају неколико пута веће вредности него узорци са кречњака. Највећа разлика између узорака примећена је за елемент K. Највеће вредности фактора биоакумулације за кречњачка станишта примећени су за локалитет Котроман (Тара) (4,978), док је за серпентинитска станишта највеће вредности имао узорак са локалитета Смиљански закоси (Златибор) (39,824). Узорак са локалитета Смиљански закоси (Златибор) има осам пута већу количину K у надземним биљним органима за разлику од количине овог елемента у земљишту.

4.1.4. Приказ корелационих односа између количине елемената у узорцима земљишта и биљака

Резултати добијени коришћењем корелационог теста за врсту *T. montanum* показали су да у погледу концентрације елемената постоји повезаност између количине елемената у земљишту и биљкама. Резултати корелационе анализе су приказани у Табели 7. На основу добијених резултата, показано је да постоји значајна корелација између количине одређених елемената у земљишту и биљном материјалу. У Табели 7 су приказане вредности корелације више од $R = \pm 0,600$.

4.1.5. Приказ анализе главних компоненти (енгл. *Principal component analysis – PCA*) у узорцима земљишта и биљака

Резултати добијени испитивањем количине одређених елемената у земљишту и биљним узорцима са кречњачких и серпентинитских станишта су тестирани мултиваријантном статистичком анализом. Графикон 21а приказује резултате анализе главних компоненти испитиваних елемената у узорцима земљишта, док су на Графикону 21б приказани резултати анализе испитиваних елемената у узорцима биљака. Две главне компоненте (фактор 1 и фактор 2) за количину елемената у узорцима земљишта су представљене варијацијом од 70,54%, док је за биљне узорке представљен варијацијом од 47,37%. Прва два фактора јасно показују разлике у количини елемената између кречњачких и серпентинитских локалитета. Елементи у траговима, као што су Cr, Co, Ni, Mn, Fe и Mg, су укључени у фактор 2. Високе количине наведених елемената су карактеристичне за серпентинитске локалитете, који су груписани на позитивној страни PCA осе и највише утичу на раздвајање популација. Количине Zn, Cd, S и B имају негативне вредности у односу на фактор 1 у биљним узорцима. Елементи као што су Co, Cr, Mn, Fe, Pb и Cu највише доприносе раздвајању популација са кречњачких и серпентинитских локалитета.

Табела 5. Вредности биоакумулационог фактора за врсту *T. montanum* са кречњачких станишта.

Елементи	МС	ЈЕ	КТ	ВК	КЛ	РА	КО	РТ	ЈК	БК
Al	0,007	0,005	0,012	0,007	0,007	0,006	0,117	0,004	0,005	0,011
As	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B	0,829	1,391*	3,276**	1,540*	0,456	1,363*	2,356**	0,882	1,085*	1,442*
Ca	0,231	0,489	1,327*	0,125	0,145	0,086	0,100	0,507	0,096	0,650
Cd	0,025	0,016	0,666	0,036	0,016	0,042	0,235	0,048	0,065	0,433
Co	0,013	0,004	0,008	0,008	0,006	0,017	0,089	0,008	0,008	0,006
Cr	0,029	0,025	0,037	0,030	0,015	0,015	0,135	0,020	0,021	0,016
Cu	0,156	0,060	0,238	0,041	0,050	0,290	0,599	0,300	0,211	0,261
Fe	0,017	0,007	0,009	0,015	0,008	0,008	0,076	0,005	0,013	0,009
K	2,893**	2,704**	4,637**	2,706**	0,654	4,145**	4,978**	2,452**	1,881*	1,959*
Li	0,020	0,007	0,007	0,001	0,007	0,010	0,117	0,005	0,020	0,009
Mg	0,489	0,752	0,326	0,362	0,273	0,634	0,582	0,347	0,515	0,526
Mn	0,036	0,020	0,081	0,028	0,026	0,071	0,132	0,035	0,033	0,027
Na	0,063	0,338	0,323	0,044	0,011	0,265	0,436	0,164	0,081	0,085
Ni	0,078	0,027	0,024	0,023	0,016	0,043	0,130	0,034	0,021	0,020
P	0,235	0,475	2,541**	0,642	0,628	1,633*	4,320**	0,854	0,392	0,856
Pb	0,006	0,004	0,020	0,004	0,006	0,003	0,030	0,007	0,001	0,000
S	0,804	0,817	6,905**	1,342*	0,860	0,576	0,420	1,265*	1,176*	2,798**
Se	0,342	0,078	0,367	0,299	0,043	0,300	0,450	0,150	0,556	0,450
Zn	0,198	0,111	0,428	0,157	0,162	0,783	0,749	0,414	0,451	0,408

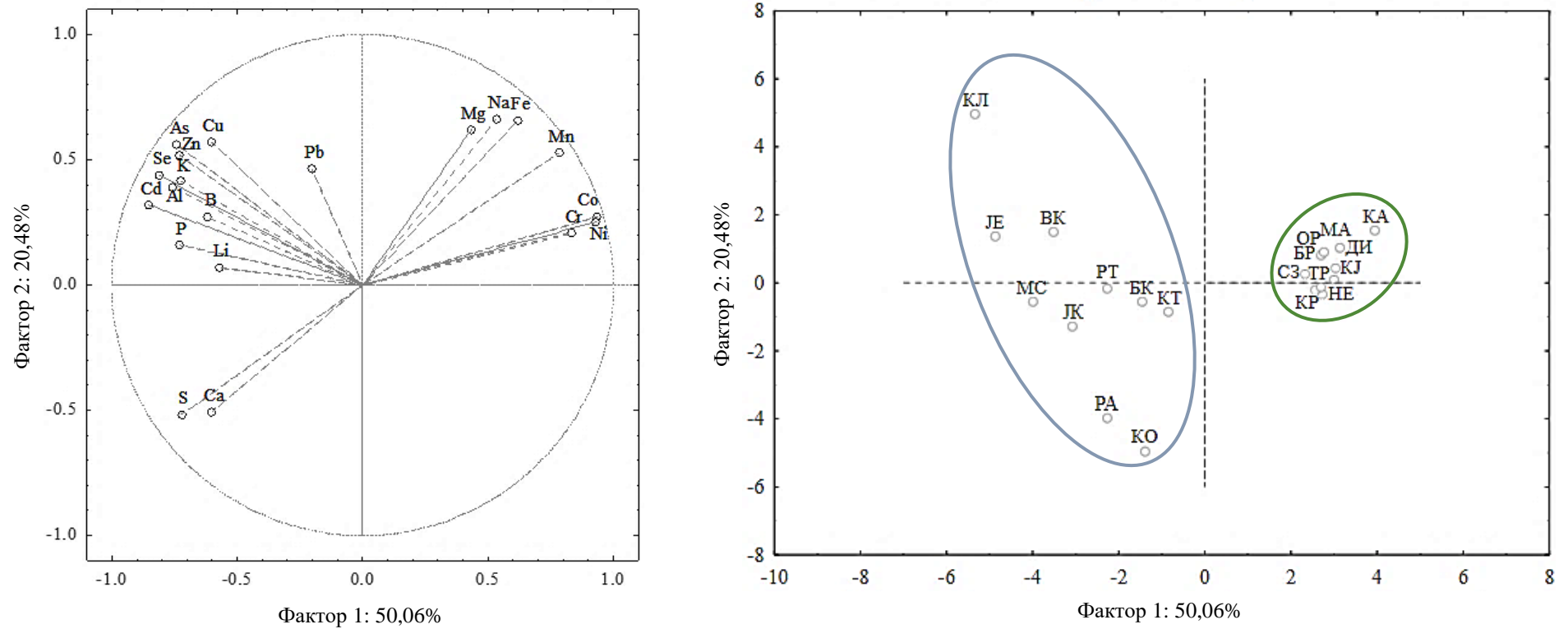
Табела 6. Вредности биоакумулационог фактора за врсту *T. montanum* са серпентинитских станишта.

Елементи	ДИ	БР	ОР	КР	СЗ	МА	КА	ТР	КЈ	НЕ
Al	0,021	0,007	0,012	0,006	0,019	0,007	0,002	0,007	0,007	0,009
As	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B	2,625**	2,688**	0,668	4,404**	5,262**	7,011**	7,043**	5,289**	2,414**	7,215**
Ca	1,557*	0,738	1,884*	1,136*	0,456	1,110*	0,512	1,454*	0,358	0,314
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,020	0,007	0,010	0,009	0,014	0,004	0,003	0,004	0,007	0,009
Cr	0,034	0,010	0,020	0,012	0,028	0,005	0,003	0,006	0,011	0,012
Cu	0,370	0,302	0,540	0,308	0,259	0,329	0,301	0,340	0,304	0,288
Fe	0,071	0,020	0,037	0,022	0,044	0,009	0,009	0,010	0,023	0,021
K	20,742**	15,633**	19,502**	29,883**	39,824**	22,799**	19,241**	22,563**	24,806**	22,830**
Li	0,070	0,039	0,078	0,056	0,089	0,065	0,036	0,048	0,044	0,053
Mg	0,763	0,614	0,626	0,818	0,606	0,533	0,700	1,020*	1,202*	1,003*
Mn	0,038	0,016	0,025	0,024	0,028	0,017	0,013	0,017	0,019	0,024
Na	0,051	0,099	0,127	0,041	0,158	0,070	0,023	0,056	0,032	0,049
Ni	0,028	0,012	0,019	0,020	0,021	0,008	0,009	0,008	0,019	0,012
P	2,029**	1,008*	1,919*	2,834**	2,245**	2,272**	2,415**	1,860*	2,368**	1,928*
Pb	0,015	0,006	0,008	0,000	0,014	0,002	0,000	0,003	0,000	0,005
S	7,394**	3,136**	6,852**	6,638**	3,855**	6,092**	6,181**	4,946**	4,832**	4,619**
Se	0,854	0,800	0,887	0,741	0,962	0,981	1,048*	0,629	0,351	0,328
Zn	0,423	0,376	0,426	0,585	0,505	0,487	0,463	0,414	0,494	0,616

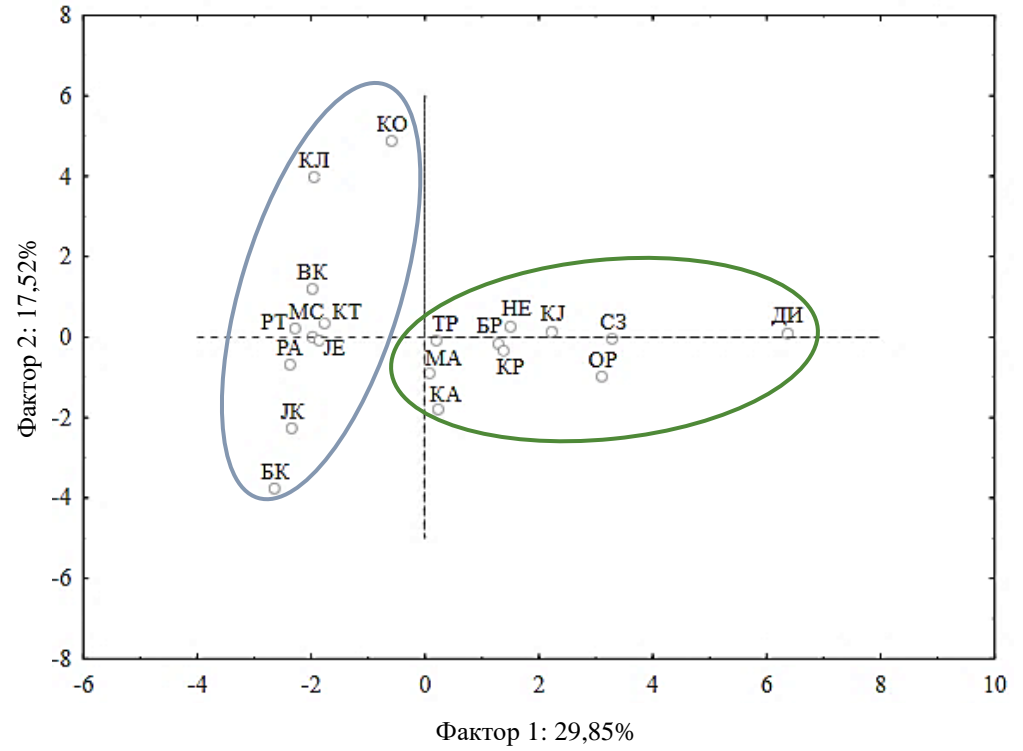
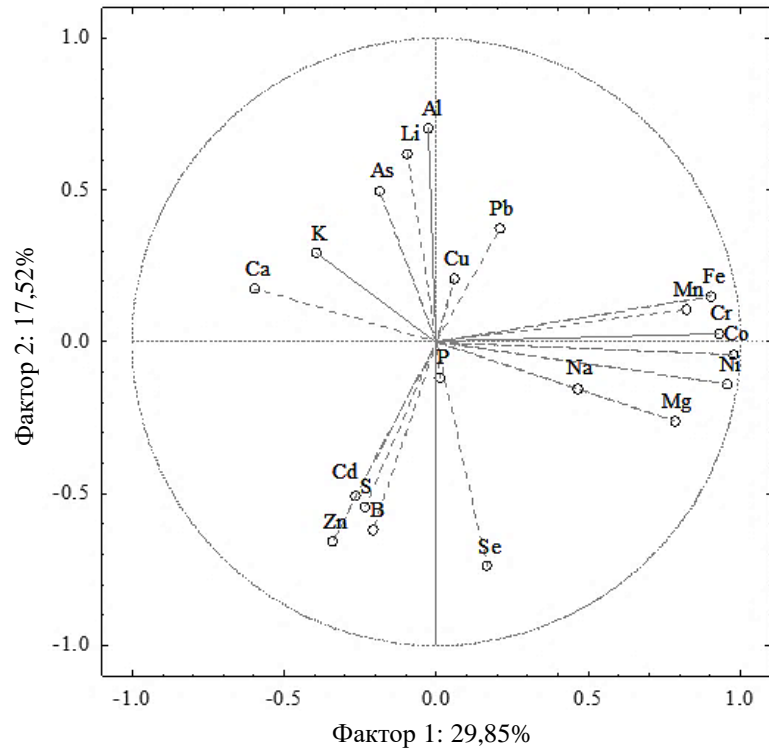
Табела 7. Вредности корелационог коефицијента (R) између концентрације елемената у узорцима земљишта и биљног материјала.

Кречњачка Станишта			Серпентинитска Станишта				Популације са кречњака		Популације са серпентинита		
З/З	З/Б		З/З	З/Б		Б/Б		Б/Б			
Co/S	-0,960	As/K	0,957	Co/Mn	0,919	Fe/Se	0,798	Al/Fe	0,997	Co/Fe	0,993
Cd/Pb	0,894	Cu/Mn	0,864	Fe/Na	0,917	Na/Se	0,788	Fe/Li	0,981	Co/Mn	0,978
Cd/Zn	0,893	As/As	0,840	Al/Se	0,840	Mg/Se	0,780	Al/Li	0,971	Fe/Mn	0,972
Pb/Zn	0,880	Mn/P	0,807	Al/Cr	0,832	Pb/S	-0,777	Al/Co	0,967	Fe/Li	0,962
Li/Fe	0,849	Ni/S	0,802	Cr/Se	0,812	Cu/Cu	0,739	Co/Fe	0,964	Co/Li	0,946
As/K	0,827	Co/Ni	-0,794	Co/Fe	0,800	Ca/Ca	0,699	Co/Cr	0,961	Al/Cr	0,943
As/Cu	0,822	As/Na	0,792	Co/Na	0,791	Al/Mg	0,692	Co/Li	0,961	Li/Mn	0,937
Ca/Co	-0,819	Ni/Mn	-0,774	As/K	0,771	Cr/Cu	0,684	Al/Cr	0,958	Al/Co	0,934
Mn/Zn	0,792	Cu/Cu	0,767	Fe/Mg	0,758	Cu/Se	0,682	Cr/Fe	0,950	Al/Mn	0,924
As/Se	0,786	Fe/Pb	0,739	Fe/Ni	0,733	Al/Cu	0,671	Cr/Li	0,911	Al/Fe	0,924
Fe/Mg	0,777	Li/Pb	0,730	Ca/Cu	0,728	Ni/Pb	-0,660	Co/Ni	0,833	Al/Li	0,917
Cu/Zn	0,765	Cu/Mg	0,729	As/P	0,709	Se/Zn	0,654	S/Zn	0,813	Mn/Ni	0,869
As/Na	0,761	Al/Na	-0,709	Cr/Cu	0,686	Cu/Mg	-0,653	Ca/K	-0,783	Co/Cr	0,861
Cd/Se	0,757	Al/Cu	0,702	Cu/Mg	-0,685	P/Pb	-0,638	Cr/Ni	0,773	Cr/Mn	0,855
Cu/Mn	0,754	As/Cu	0,696	P/Zn	0,671	Li/Mg	0,628	Al/Ni	0,720	P/S	0,850
Cd/P	0,754	Cd/Mn	-0,692	Ca/Ni	-0,656	Cr/Ni	-0,622	Cd/Se	0,703	Fe/Ni	0,847
Ca/S	0,752	Co/Pb	-0,686	Li/P	0,633	K/P	-0,614	Fe/Ni	0,702	Co/Ni	0,844
Mg/S	-0,745	As/Se	0,683	Fe/Zn	0,632	Mg/Se	0,612	Li/Ni	0,696	Cr/Fe	0,827
Al/B	0,739	Cu/Se	0,663	As/S	0,629	Ni/Se	0,607	S/Se	0,693	Ni/S	0,814
Mn/Se	0,729	Cu/Zn	0,656	Co/Ni	0,604	Al/Cr	0,605	Na/Pb	-0,683	Cr/Li	0,763

З (земљиште); Б (Биљке)



Графикон 21. Анализа главних компоненти (PCA) у зависности од количине елемената у узорцима земљишта. Кречњачка подлога (плава елипса), серпентинитска подлога (зелена елипса).



Графикон 22. Анализа главних компоненти (PCA) у зависности од количине елемената у узорцима земљишта. Кречњачка подлога (плава елипса), серпентинитска подлога (зелена елипса).

Разлика између локалитета у количини елемената у узорцима земљишта и биљака приказани на Графикону 22а. Показано је да се узорци са кречњачких станишта раздајају у односу на узорке са серпентинитских станишта, као и да се биљне популације са кречњачких станишта разликују у односу на популације са серпентинитских станишта по количини испитиваних елемената. Узорци земљишта са кречњачких локалитета се разликују од серпентинитских по већим количинама Li, P, B, Cd, Al, K, Se, S и Ca, док се серпентинитски локалитети разликују од кречњачких по већим количинама Cr, Co и Ni. На основу количине елемената у биљним узорцима, може се уочити да се популације серпентинитских станишта диференцирају у односу на популације са кречњачких станишта и обрнуто (Графикон 22б). Количине Co, Cr, Fe, Mn, Ni и Mg су биле веће у узорцима са серпентинитских станишта, док су количине K, Ca, Cd и S биле веће у узорцима са кречњака. Елементи који доприносе највећој варијабилности за серпентинитске популације су Cr и Co, док елементи као што су Ca и K доприносе варијабилности за кречњачке популације.

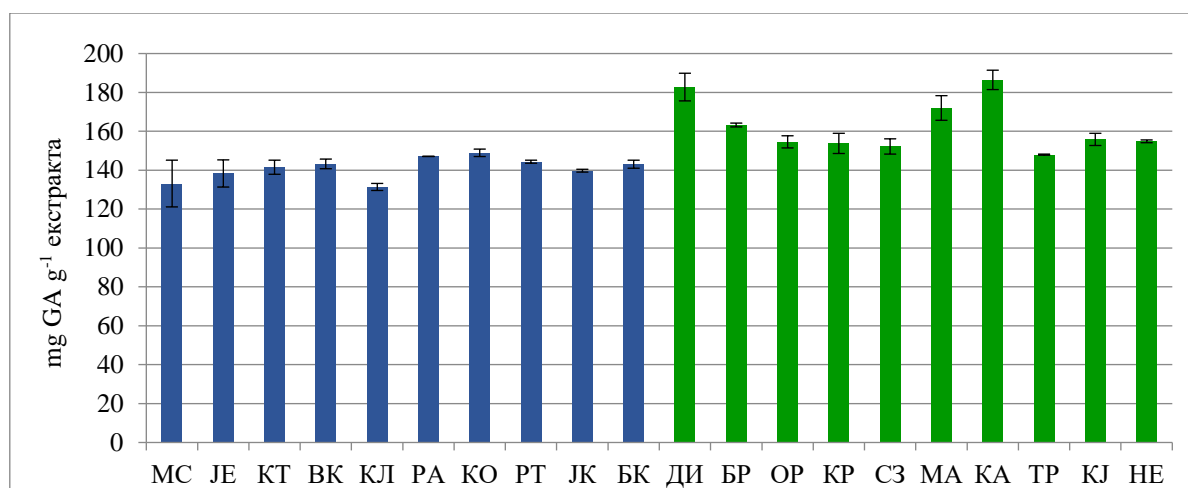
На основу добијених резултата може се закључити да количина одређених елемената у биљном материјалу *T. montanum* зависи од количине истих у земљишту, као и способности биљне врсте да акумулира елементе у одређеној количини, без обзира на ниску концентрацију елемената у земљишту.

4.2. Приказ садржаја укупних фенолних једињења, флавоноида и испитивање антиоксидативне активности врсте *Teucrium montanum*

Присуство и упоредна анализа укупних фенолних једињења и флавоноида врсте *T. montanum* узорковане са кречњачке и серпентинитске геолошке подлоге, као и антиоксидативна активност, је испитивана у метанолним екстрактима надземних делова биљне врсте.

4.2.1. Приказ садржаја количине укупних фенолних једињења врсте *Teucrium montanum*

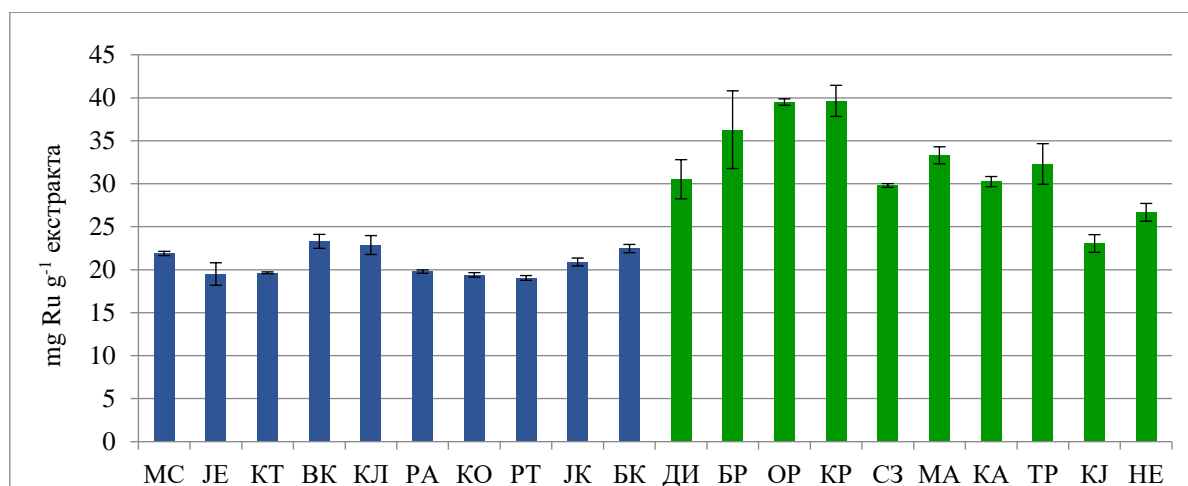
Количина укупних фенолних једињења у узорцима биљних екстраката врсте *T. montanum* са кречњачких станишта била је у опсегу од 131,40 до 148,95 mg GA g⁻¹ екстракта, док је у екстрактима узорака са серпентинитских станишта била у опсегу од 148,02 до 186,45 mg GA g⁻¹ екстракта (Графикон 23). Резултати указују да је укупна количина фенолних једињења у екстрактима врсте *T. montanum* са серпентинитских станишта већа у односу на количину у екстрактима врсте са кречњачке подлоге. Екстракти врсте *T. montanum* са планине Гоч (Каменица) и са планине Дивчибаре издвају се по већој количини фенолних једињења у односу на остале узорке са серпентинитске подлоге.



Графикон 23. Укупна количина фенолних једињења (mg GA g⁻¹ екстракта) у екстрактима надземних биљних делова врсте *T. montanum* са различитих локалитета.

4.2.2. Приказ садржаја количине флавоноида врсте *Teucrium montanum*

Количина флавоноида у биљним екстрактима врсте *T. montanum* са кречњачких станишта била је у опсегу од 19,04 до 23,30 mg Ru g⁻¹ екстракта, док је у екстрактима узорака са серпентинитских станишта била у опсегу од 23,05 до 39,64 mg Ru g⁻¹ екстракта (Графикон 24). Резултати указују да је укупна количина фенолних једињења у екстрактима врсте *T. montanum* са серпентинитских станишта већа у односу на количину у екстрактима са кречњачке подлоге. Екстракти врсте *T. montanum* са планине Златибор (Кремна) и Оровица издвајају се по већој количини флавоноида у односу на остале узорке са серпентинске подлоге.

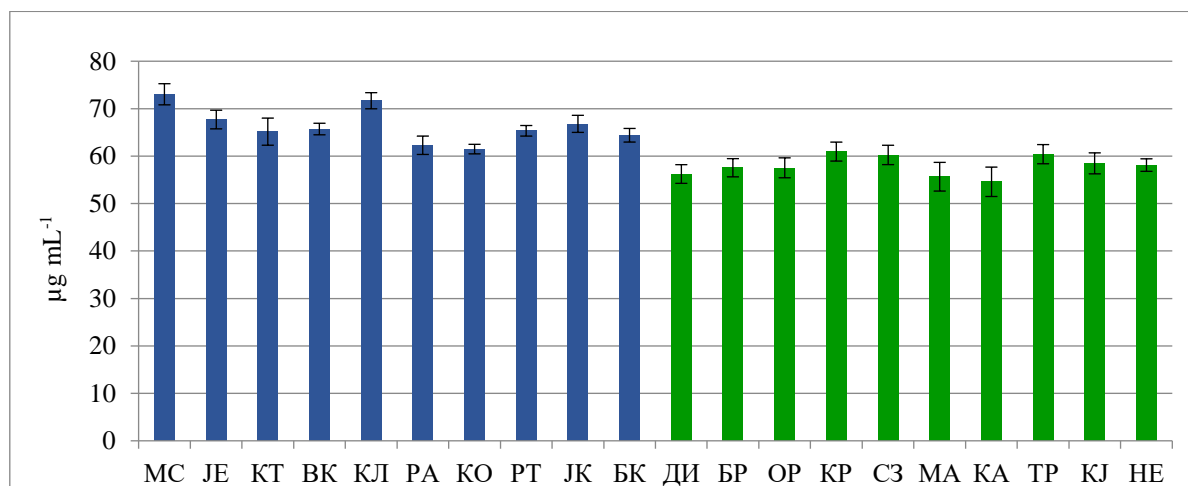


Графикон 24. Укупна количина флавоноида (mg Ru g⁻¹ екстракта) у екстрактима надземних биљних делова врсте *T. montanum* са различитих локалитета.

4.2.3. Приказ антиоксидативне активности екстраката врсте *Teucrium montanum*

Резултати антиоксидативне активности метанолних екстраката врсте *T. montanum* добијених од биљног материјала са локалитета са кречњачком и серпентинитском геолошком подлогом приказани су на Графикону 25. Резултати су изражени у виду IC₅₀ вредности, где мања вредност представља већи капацитет антиоксидативне активности и обрнуто.

Резултати антиоксидативне активности метанолних екстраката надземних биљних делова са кречњачких станишта била су у опсегу концентрација од 73,03 до 61,48 $\mu\text{g mL}^{-1}$, док са серпентинитских станишта варира у опсегу концентрација од 60,96 до 54,59 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Способност неутрализације слободних радикала већа је код екстраката врсте *T. montanum* заступљене на земљишту са серпентинском геолошком подлогом, у односу на биљке са кречњака. Екстракт врсте *T. montanum* са локалитета Каменица се издваја по највећој способности неутрализације слободних радикала у односу на остале узорке са серпентинитске и кречњачке геолошке подлоге.



Графикон 25. Резултати антиоксидативне активности (IC_{50} вредности изражене у $\mu\text{g mL}^{-1}$) у екстракту надземних делова врсте *T. montanum* са различитих локалитета.

На основу добијених резултата уочено је да се узорци биљака са серпентинских станишта издвајају по већој количини укупних фенолних једињења, флавоноида и бољом антиоксидативном активности, у односу на биљне узорке са кречњачких станишта. Ове разлике се могу приписати различитом типу станишта као и абиотичким факторима који су на истим заступљени.

Резултати количине укупних фенолних једињења и флавоноида, као и антиоксидативна активност екстраката врста *T. montanum* статистички су анализирани у циљу утврђивања степена корелације, који указују на значајну везу између анализираних параметара на неколико нивоа.

Значајна вредност корелације утврђена је између количине укупних фенолних једињења и антиоксидативне активности биљних екстраката (-0,885), као и између количине флавоноида и антиоксидативне активности (-0,632) биљних екстраката. Поређењем вредности количине укупних фенолних једињења и антиоксидативне активности биљних екстраката са кречњачких локалитета уочена је значајна корелација (-0,972), док је корелација између количине флавоноида и антиоксидативне активности износила 0,482. Вредност корелације између количине укупних фенолних једињења и антиоксидативне активности биљних екстраката са серпентинитских локалитета је била -0,872, док је између количине флавоноида и антиоксидативне активности вредности била 0,135.

Вредности корелације између количине укупних фенолних једињења и антиоксидативне активности екстраката имају негативну вредност јер је повећање вредности количине испитиваних једињења праћено смањењем вредности за антиоксидативну активност, имајући у виду да је боља антиоксидативна активност изражена мањим IC_{50} вредностима.

Добијене вредности корелације између количине фенолних једињења и антиоксидативне активности указују да су секундарни метаболити из групе фенолних једињења главне активне супстанце носиоци антиоксидативне активности и биолошког потенцијала врсте.

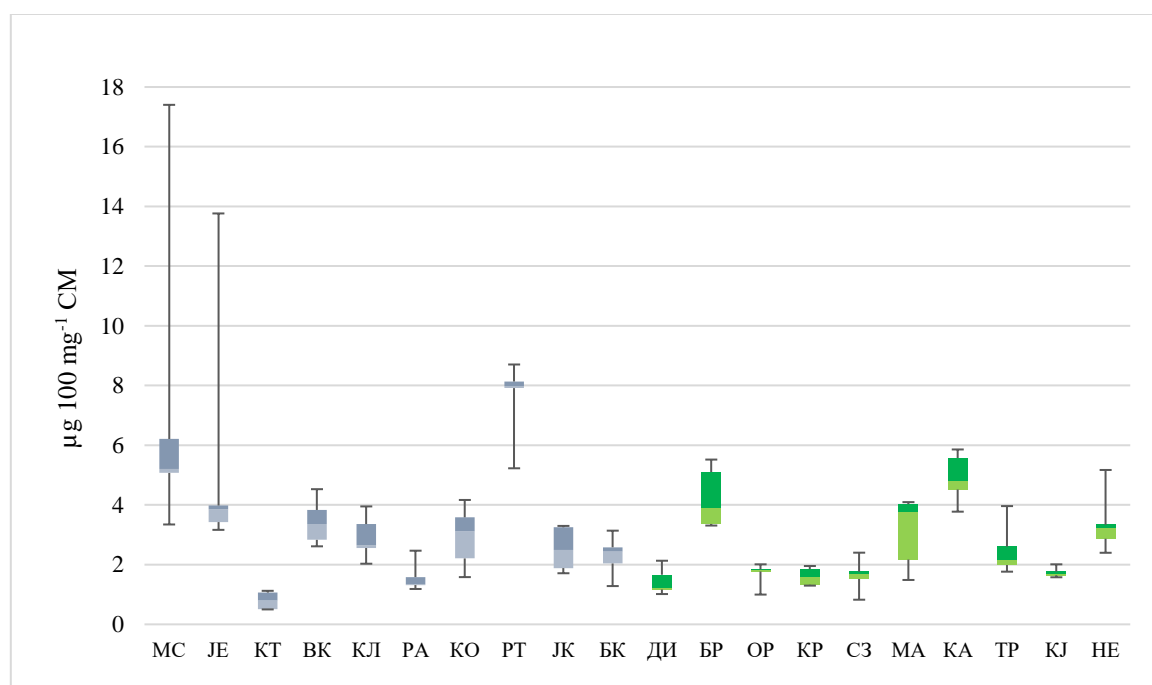
4.3. Приказ варијабилности појединачних фенолних једињења применом UHPLC/DAD/(-)HESI-MS² анализе

Применом UHPLC/DAD/(-)HESI-MS² анализе метанолних екстраката надземних биљних делова врсте *T. montanum* узоркованих на локалитетима са кречњачком и серпентинском подлогом, испитан је квантитативни садржај укупно седамнаест метаболита која припадају групи фенолних једињења.

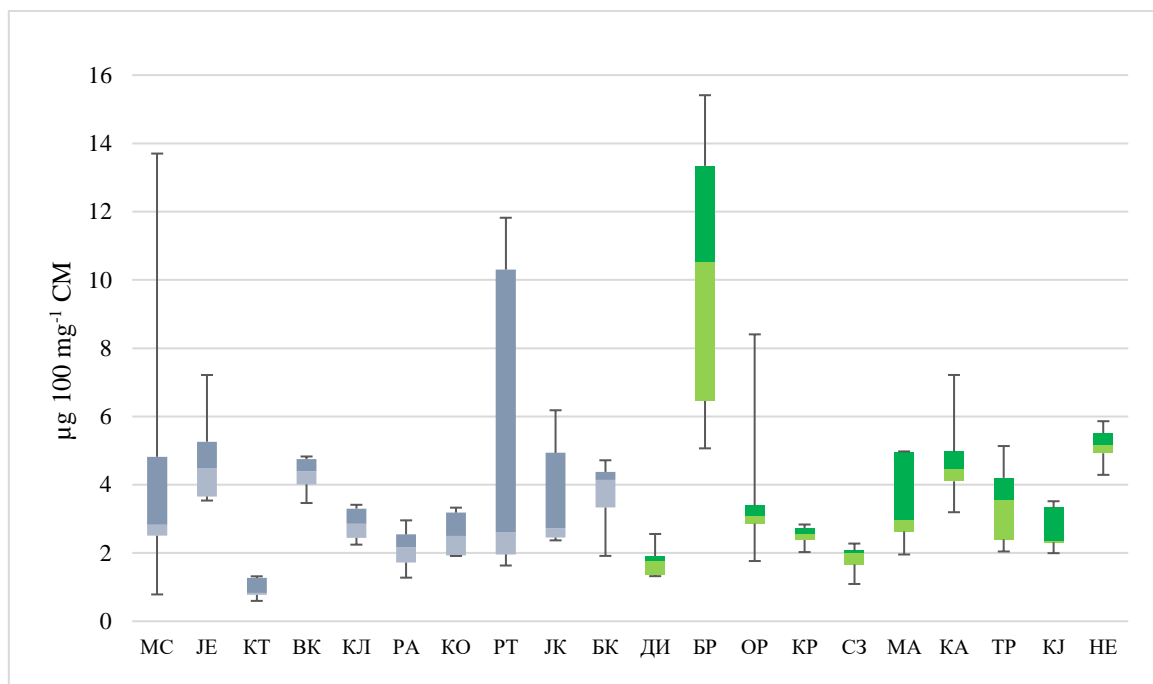
Пет фенолних киселина (хлорогенска киселина, сиригинска киселина, кафеинска киселина, протокатехинска киселина и *p*-кумарна киселина), једанаест флавоноида из група флавонола (кверцетин, рутин, изокверцитрин и кемпферол), флавона (лутеолин, апигенин, витексин, апигетрин), флаванола (катехин), флаванона (нарингенин, наргинин), као и један фенолни алдехид сириггалдехид, су идентификовани и квантификовани у анализираним узорцима.

Количина кемпферола у екстрактима узорака са кречњачких станишта кретала се у опсегу од 0,80 (КТ) до 7,59 (РТ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док је у екстрактима узорака са серпентинитских станишта била у опсегу од 1,44 (ДИ) до 4,91 (КА) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 26). Количина апигенина у екстрактима узорака са кречњачких станишта била је у опсегу од 0,96 (КТ) до 5,66 (РТ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док је у екстрактима узорака са серпентинитских станишта била у опсегу од 1,78 (ДИ) до 10,16 (БР) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 27). Узорци *T. montanum* пореклом са кречњачких станишта садржали су нарингенин у концентрацијама између 0,57 (ЈЕ) и 2,20 (МС) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док су концентрације у екстрактима узорака са серпентинитских станишта била у опсегу од 0,52 (КЈ) до 1,69 (ТР) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 28). Квалитативни садржај лутеолина у екстрактима узорака са кречњачких станишта кретао се у опсегу од 3,09 (КТ) до 23,40 (МС) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, а у екстрактима узорака са серпентинитских станишта у опсегу од 5,36 (КР) до 14,68 (КА) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 29). Квалитативни садржај кверцетина у екстрактима узорака са кречњачких станишта варирао је у опсегу од 0,41 (КЈ) до 1,09 (КТ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док је у екстрактима узорака са серпентинитских станишта био у опсегу од 1,03 (БР) до 2,63 (СЗ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 30). Узорци *T. montanum* пореклом са кречњачких станишта садржали су нарингин у концентрацијама између 0,32 (КТ) и 0,73 (ВК) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док су узорци са серпентинитских станишта садржали од 0,29 (МА) до 0,70 (КЈ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 31). Квалитативни садржај апигетрина у екстрактима узорака са кречњачких станишта варирао је у опсегу од 0,09 (КТ) до 0,49 (МС) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док је у екстрактима узорака са серпентинитских станишта количина овог једињења била у опсегу од 0,11 (ДИ) до 0,71 (ОР) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 32). Екстракти узорака са кречњачких станишта се одликују садржајем витексина у границама између 0,25 (РА) и 1,15 (ВК) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док је у екстрактима узорака са серпентинитских станишта забележено између 0,25 (СЗ) и 1,03 (БР) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ витексина (Графикон 33). Количина протокатехинске киселине у екстрактима узорака са кречњачких станишта варирао је у опсегу од 1,71 (МС) до 4,52 (ЈЕ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док је у екстрактима узорака са серпентинитских станишта била у опсегу од 1,74 (ТР) до 3,41 (СЗ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 34). Екстракти узорака са кречњачких станишта се одликују садржајем изокверцитрина у границама између 7,43 (ЈЕ) и 30,05 (КТ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док је забележена количина овог једињења у екстрактима узорака са серпентинитских

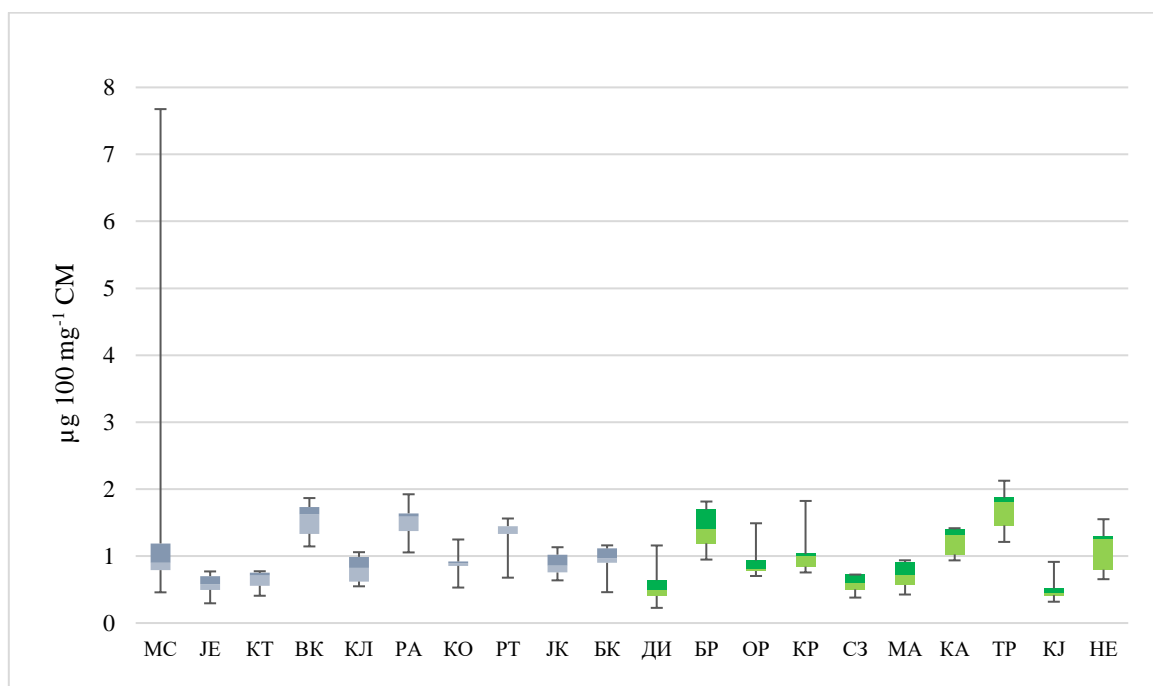
станишта била у опсегу од 17,43 (ДИ) до 41,13 (КА) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 35). Забележено је варирање садржаја хлорогенске киселине у опсегу од 0,50 (РА) до 32,24 (БК) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ у екстрактима узорака са кречњачких станишта, док су се у екстрактима узорака са серпентинитских станишта вредности кретале у опсегу од 0,33 (СЗ) до 4,77 (ТР) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 36). Количина кафеинске киселине у екстрактима узорака са кречњачких станишта била је у опсегу од 1,51 (КЛ) до 4,27 (МС) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док су у екстрактима узорака са серпентинитских станишта детектоване вредности између 1,52 (БР) и 4,50 (СЗ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 37). Квалитативни садржај катехина у екстрактима узорака са кречњачких станишта је био у опсегу од 1,26 (КТ) до 7,22 (РТ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док је у екстрактима узорака са серпентинитских станишта количина овог једињења била у опсегу од 3,21 (ОР) до 8,55 (БР) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 38). Узорци *T. montanum* пореклом са кречњачких станишта садржали су сиригинску киселину у концентрацијама између 3,39 (РА) и 16,63 (МС) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док је у екстрактима узорака са серпентинитских станишта концентрација сиригинске киселине била у опсегу од 2,01 (БР) до 7,63 (ТР) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 39). Количина сиригалдехида у екстрактима узорака са кречњачких станишта била је у опсегу од 0,33 (ЈЕ) до 0,75 (КЛ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док је у екстрактима узорака са серпентинитских станишта количина овог једињења варијала између 0,32 (КА) и 0,70 (КР) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 40). Екстракти узорака са кречњачких станишта се одликују садржајем рутина у границама између 23,22 (ЈЕ) и 132,89 (КТ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док се узорци са серпентинита одликују садржајем рутина у границама између 40,86 (БР) и 120,58 (КР) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 41). Количина *p*-кумарне киселине у екстрактима узорака са кречњачких станишта била је у опсегу од 1,43 (БК) до 2,35 (КТ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$, док је у екстрактима узорака са серпентинитских станишта била у опсегу од 1,34 (КЈ) до 4,98 (СЗ) $\mu\text{g } 100 \text{ mg}^{-1} \text{ CM}$ (Графикон 42).



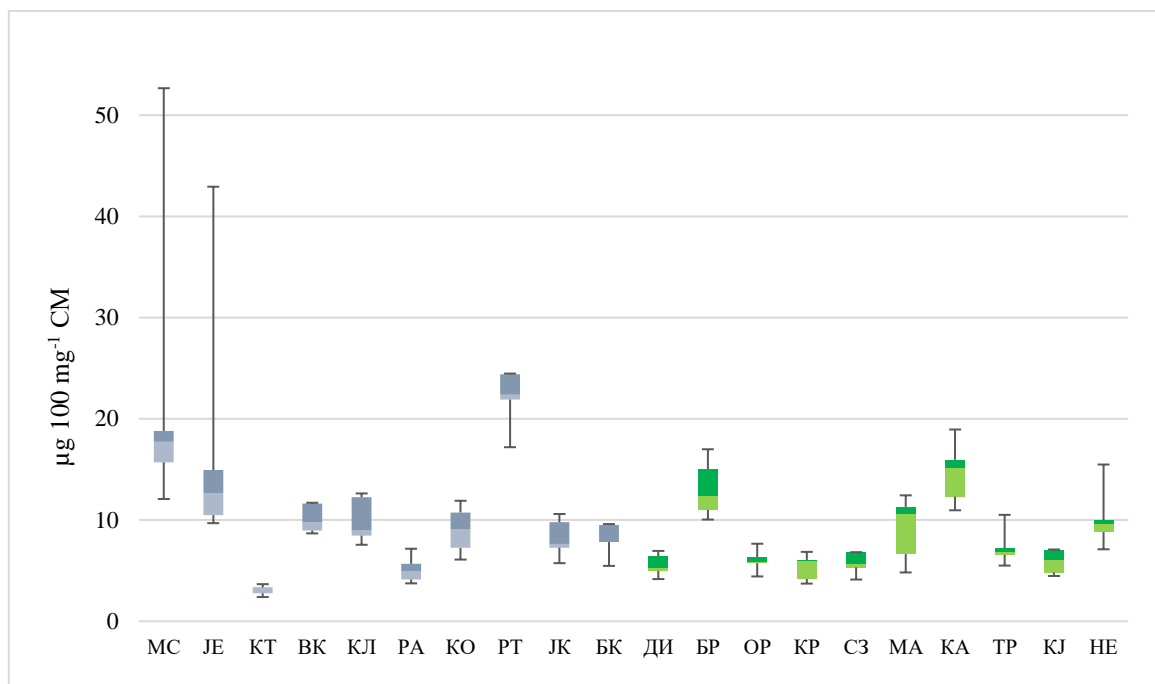
Графикон 26. Квалитативни садржај кемпферола у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



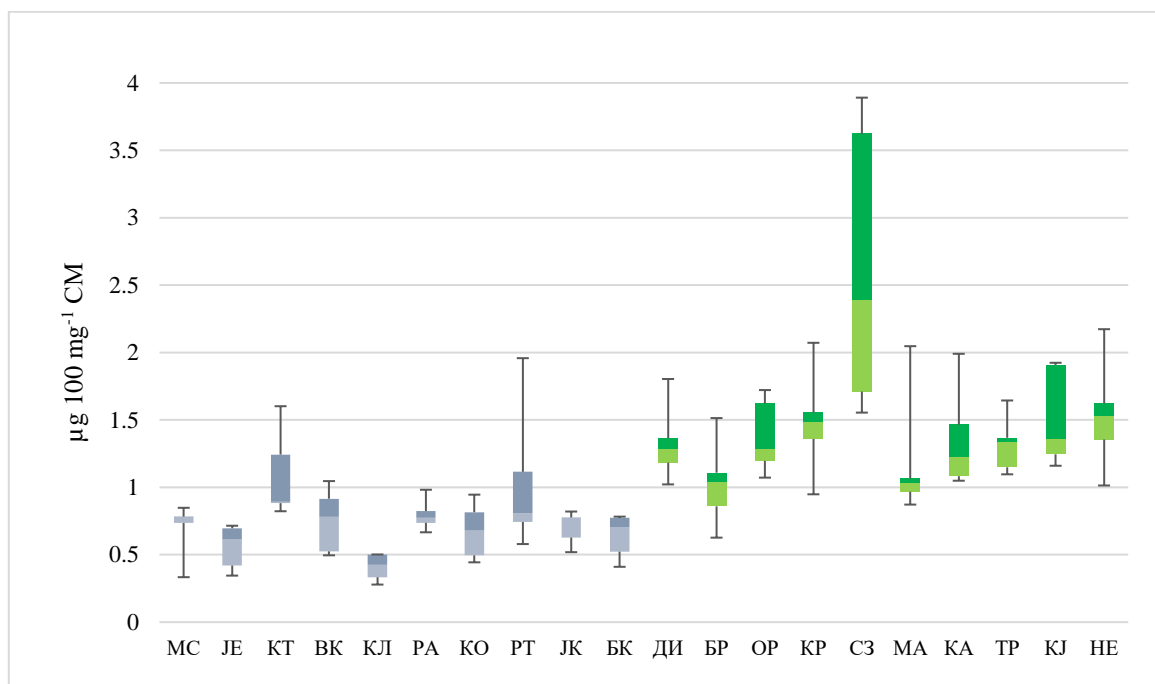
Графикон 27. Квалитативни садржај апигенина у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



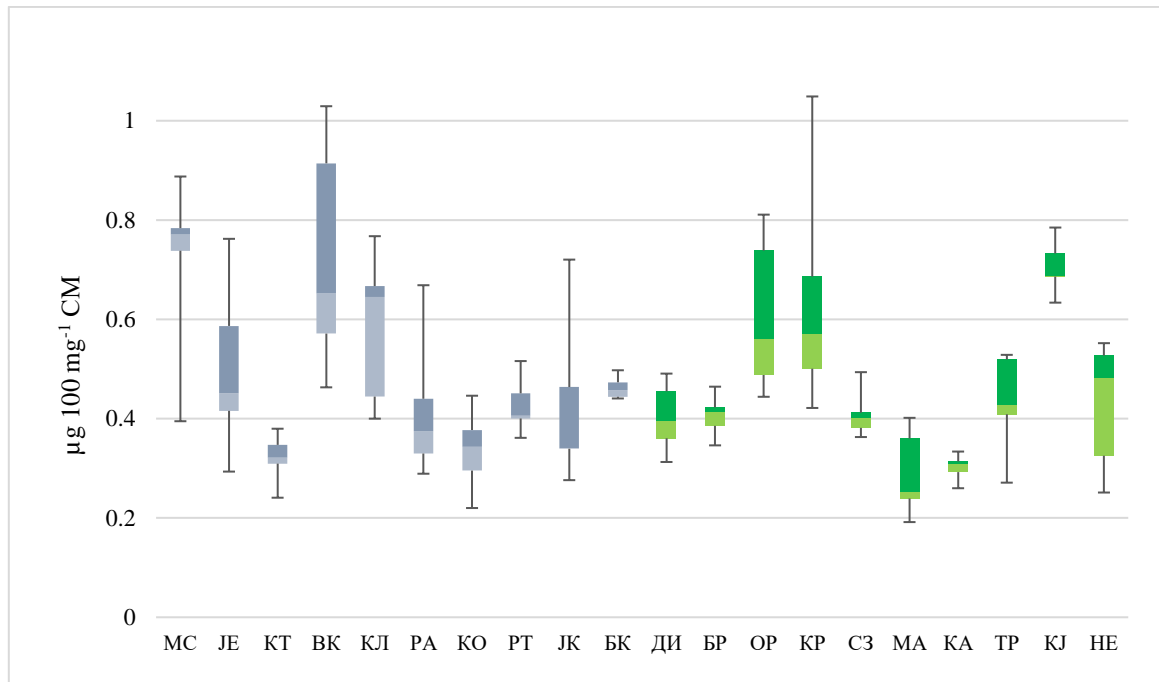
Графикон 28. Квалитативни садржај нарингенина у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



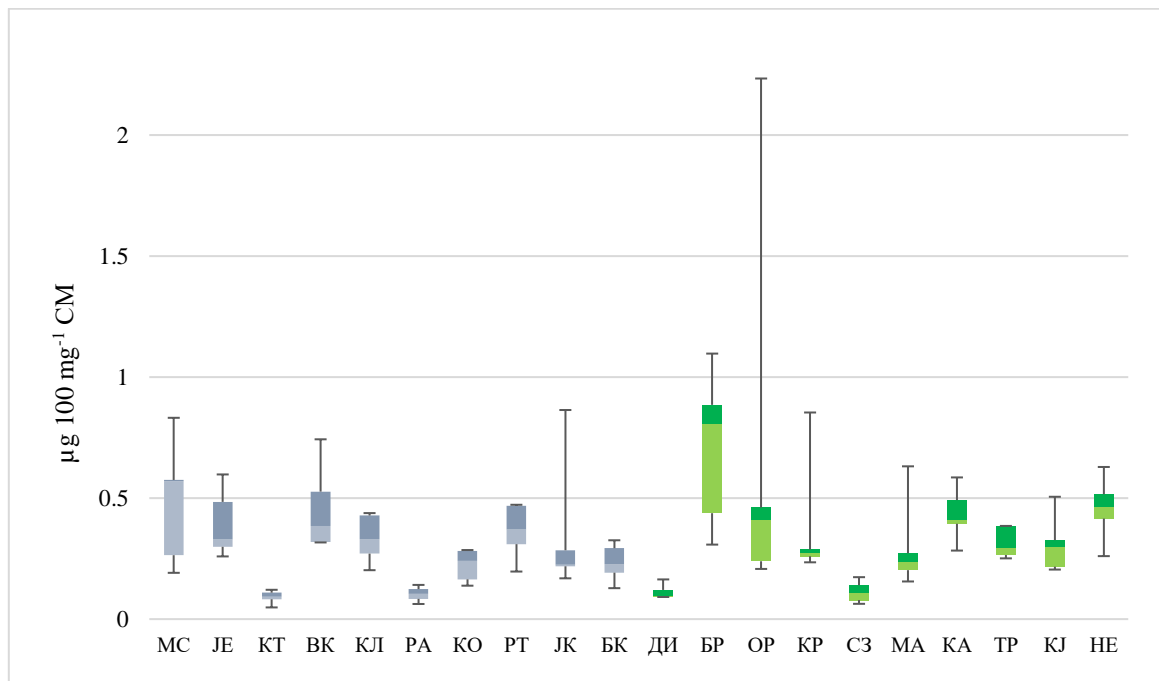
Графикон 29. Квалитативни садржај лутеолина у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



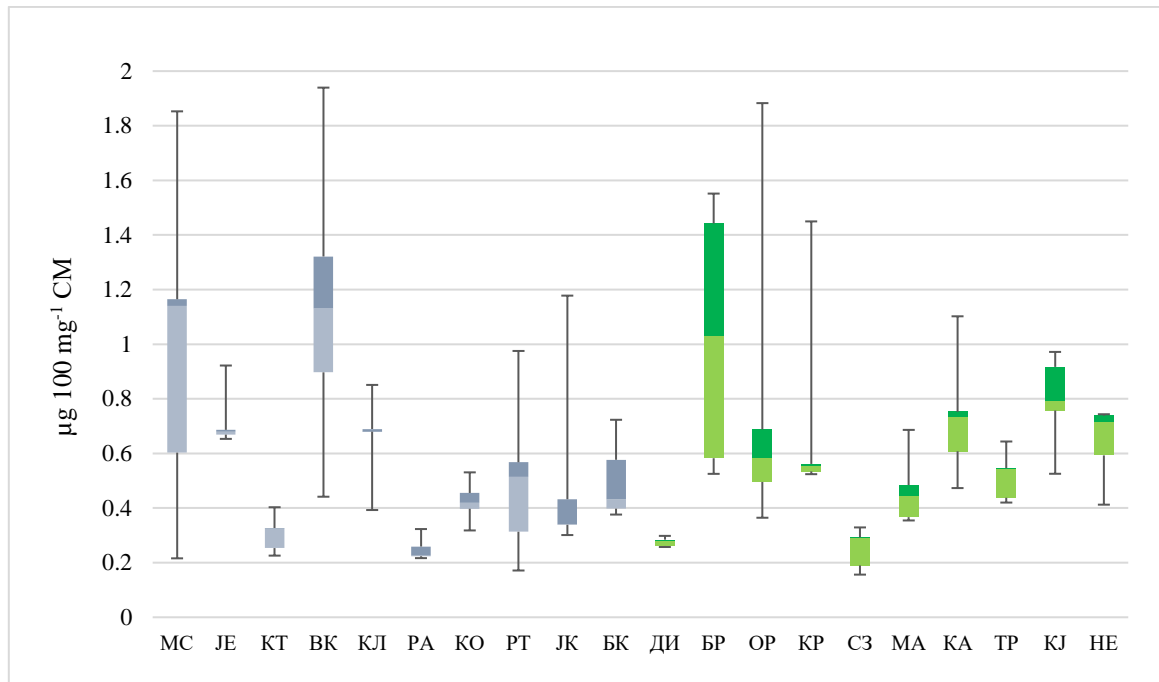
Графикон 30. Квалитативни садржај кверцетина у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



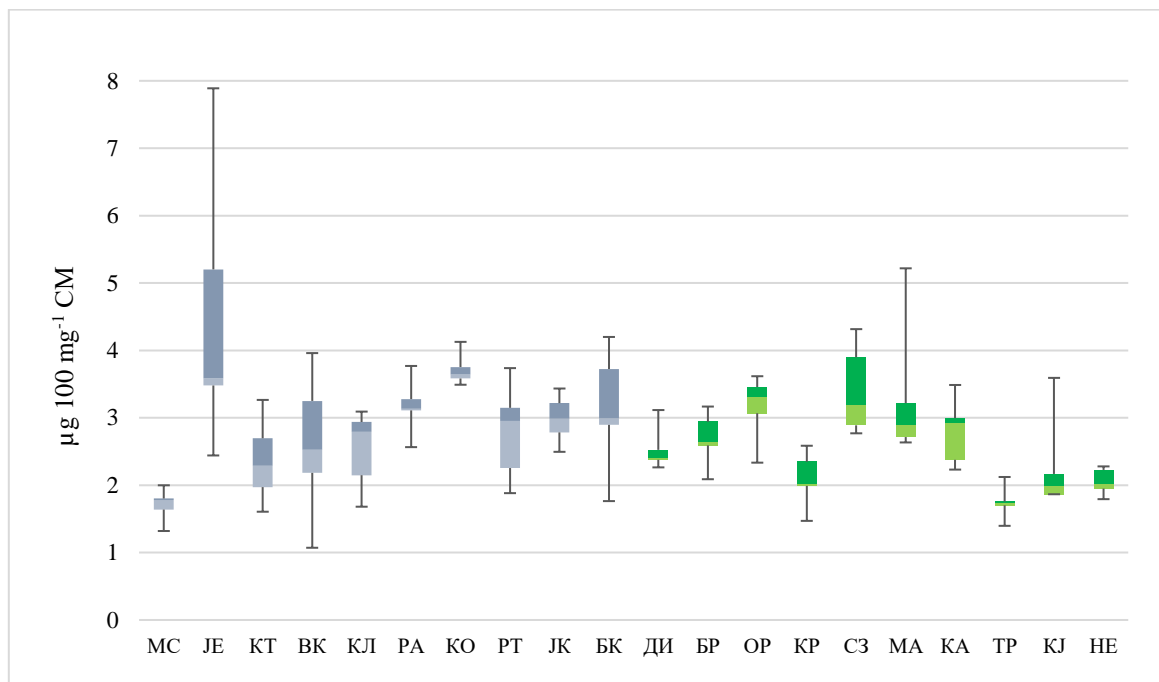
Графикон 31. Квалитативни садржај нарингина у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



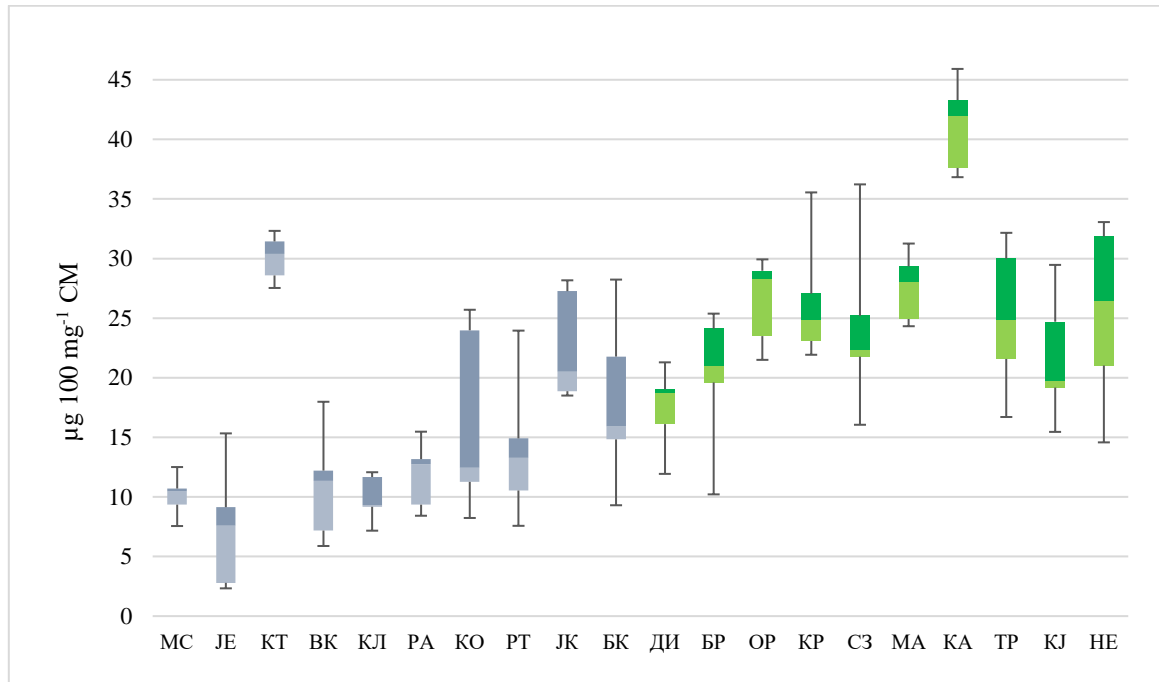
Графикон 32. Квалитативни садржај апигетрина у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



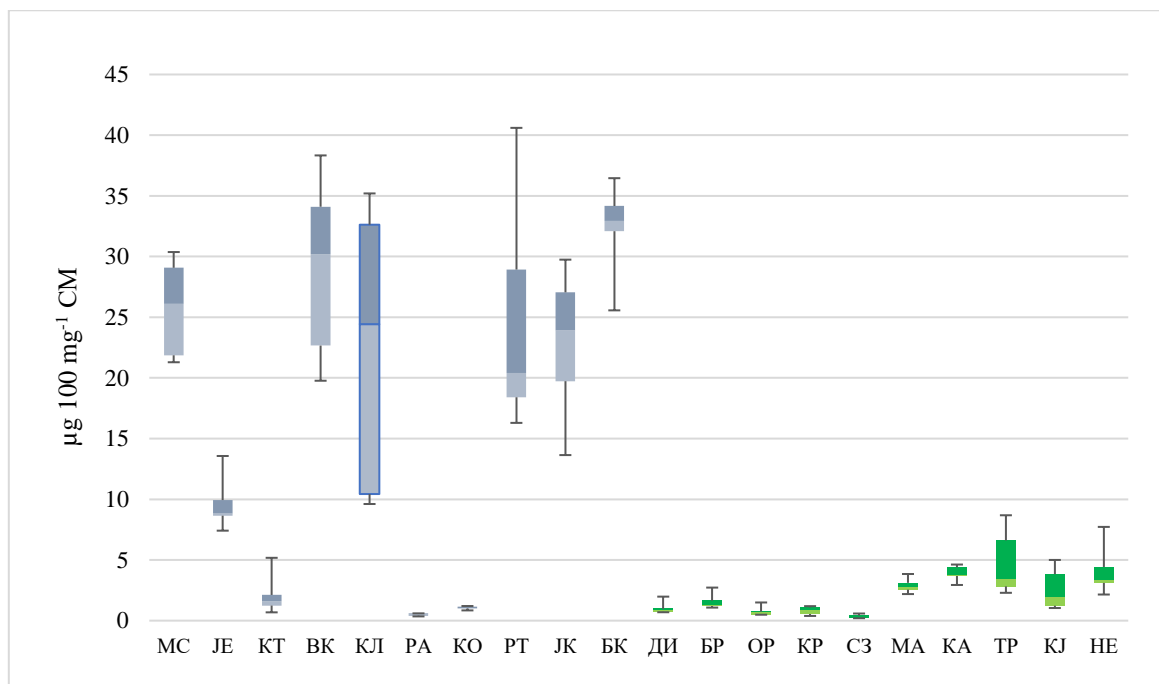
Графикон 33. Квалитативни садржај витексина у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



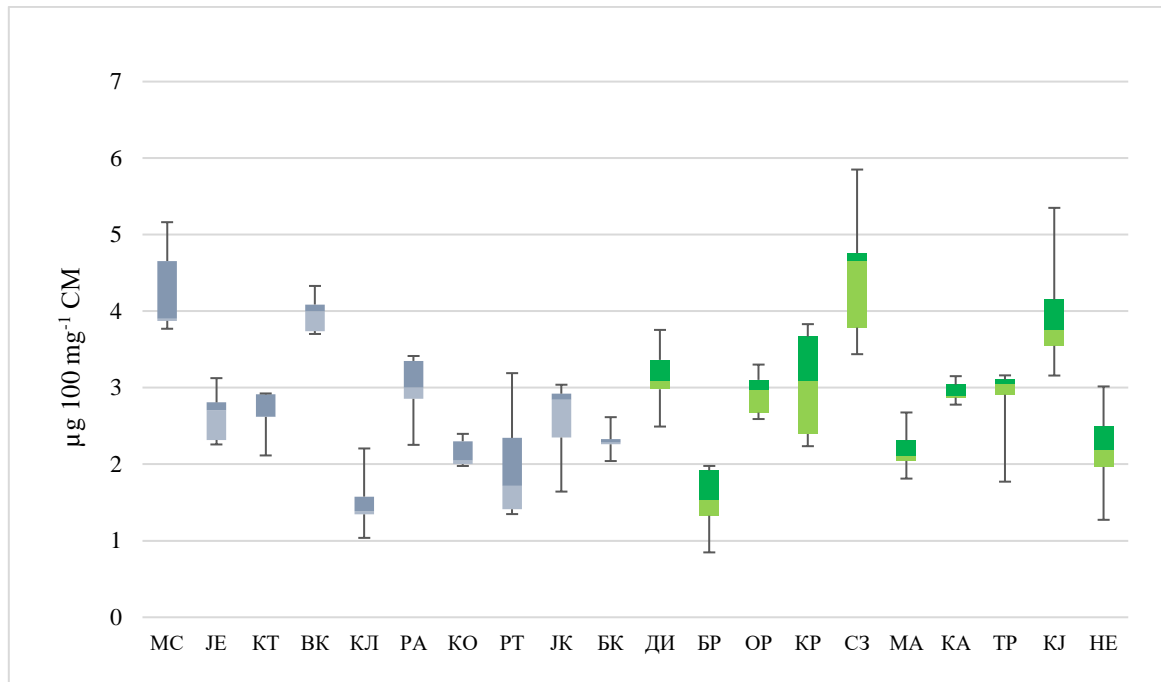
Графикон 34. Квалитативни садржај протокатехинске киселине у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



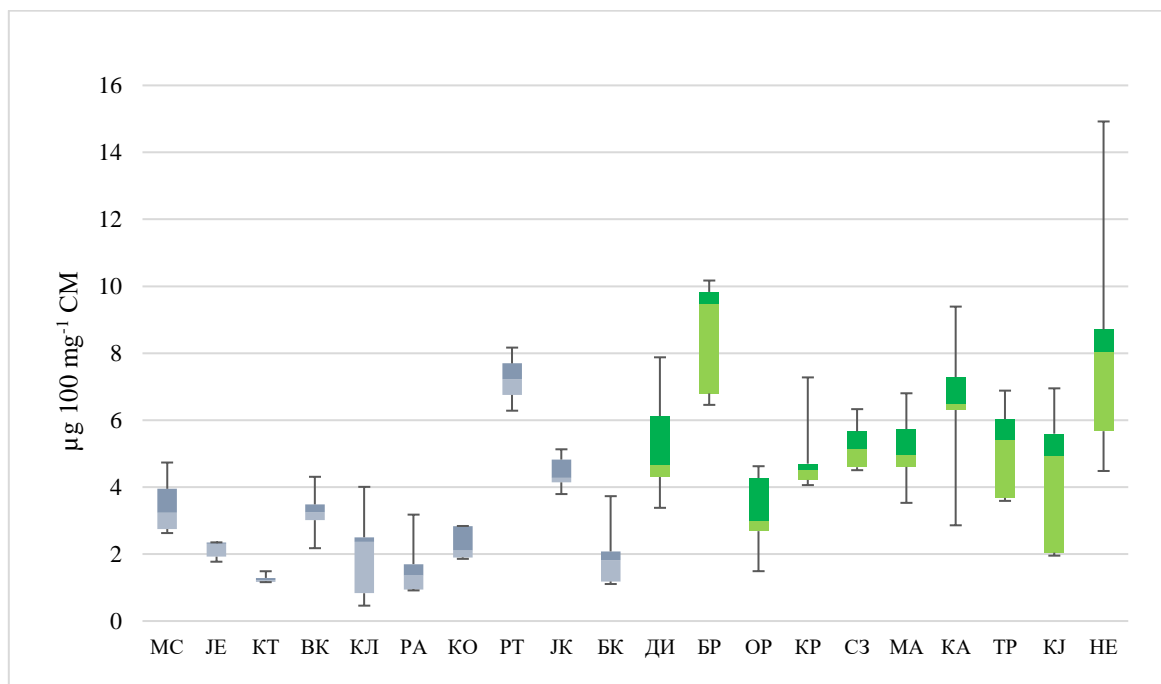
Графикон 35. Квалитативни садржај изокверцитрина у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



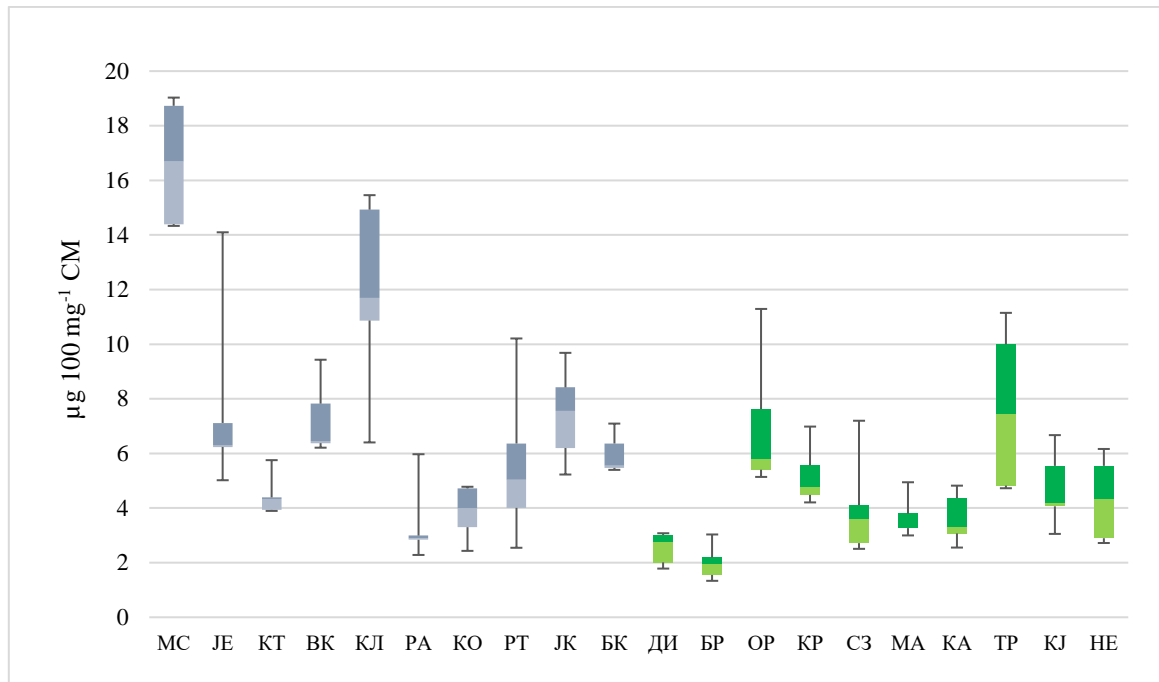
Графикон 36. Квалитативни садржај хлорогенске киселине у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



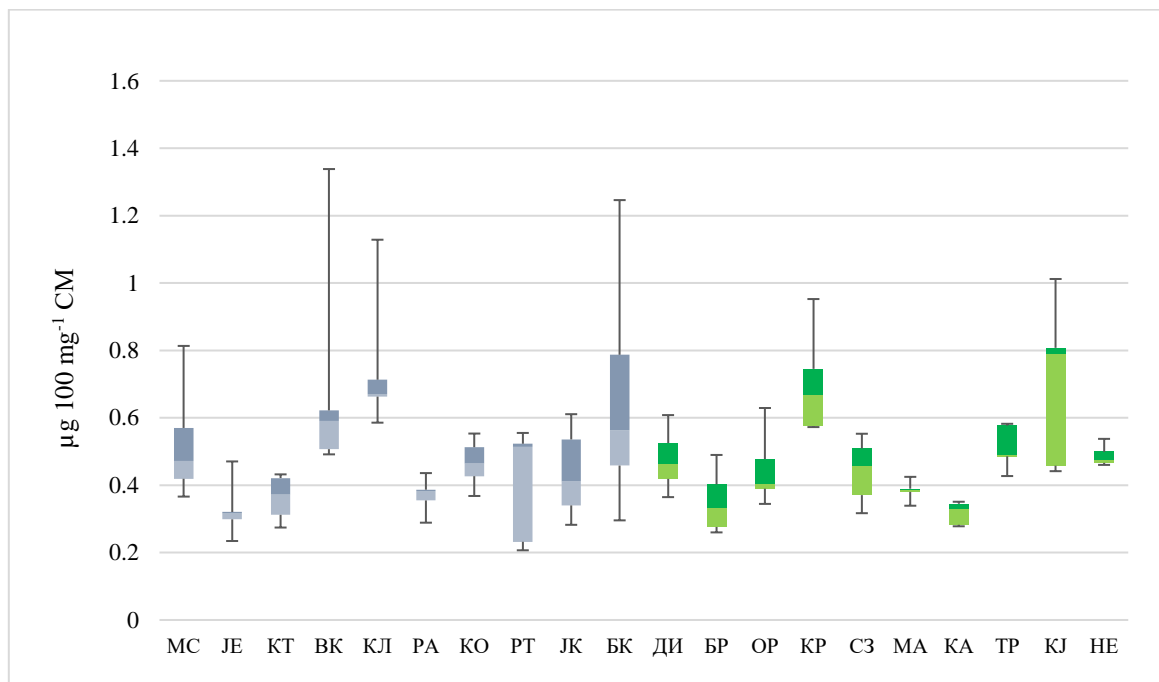
Графикон 37. Квалитативни садржај кафеинске киселине у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плавни стубићи) подлогом.



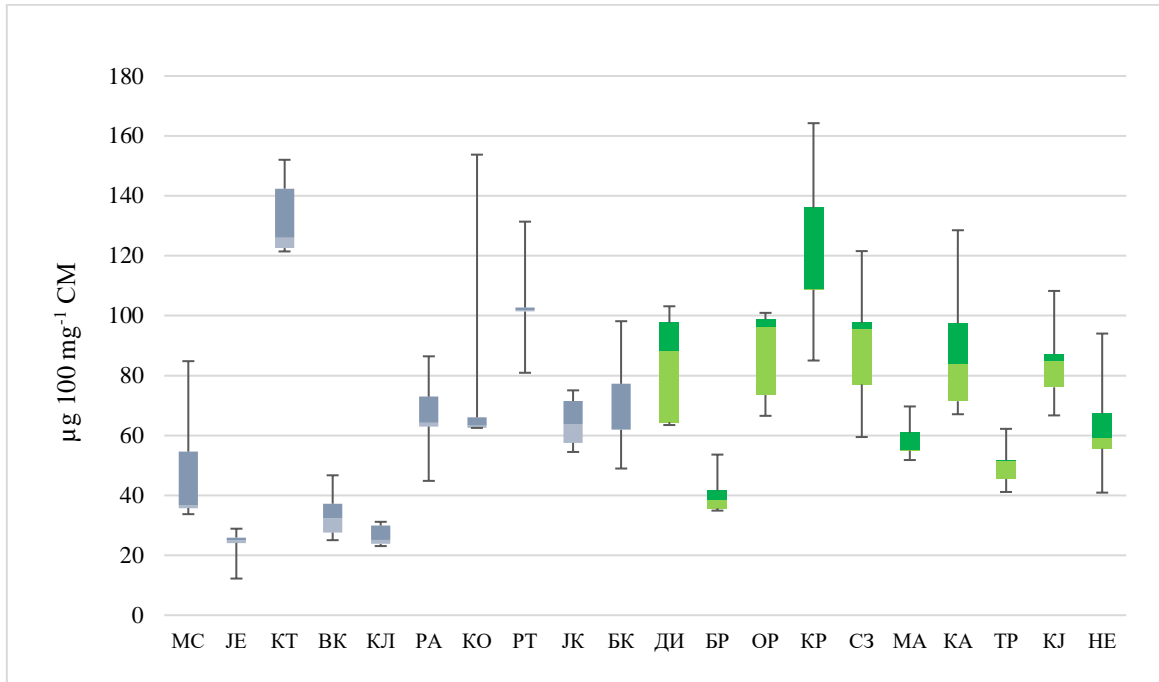
Графикон 38. Квалитативни садржај катехина у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плавни стубићи) подлогом.



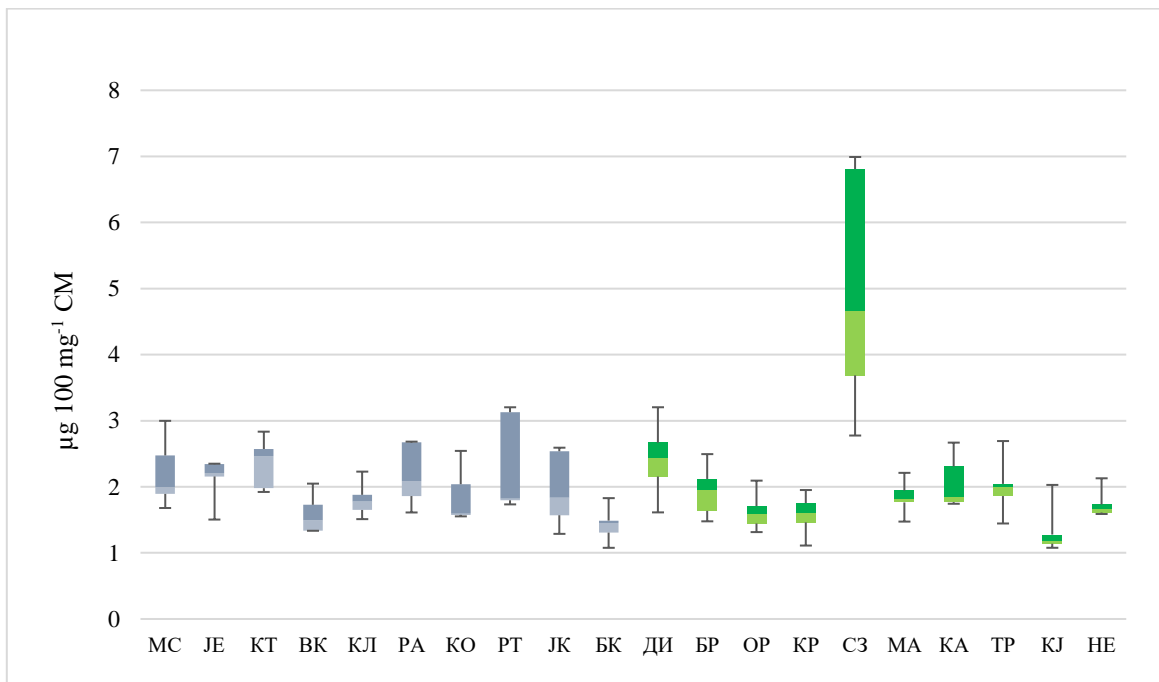
Графикон 39. Квалитативни садржај синрингине киселине у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



Графикон 40. Квалитативни садржај синрингалдехида у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



Графикон 41. Квалитативни садржај рутина у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.



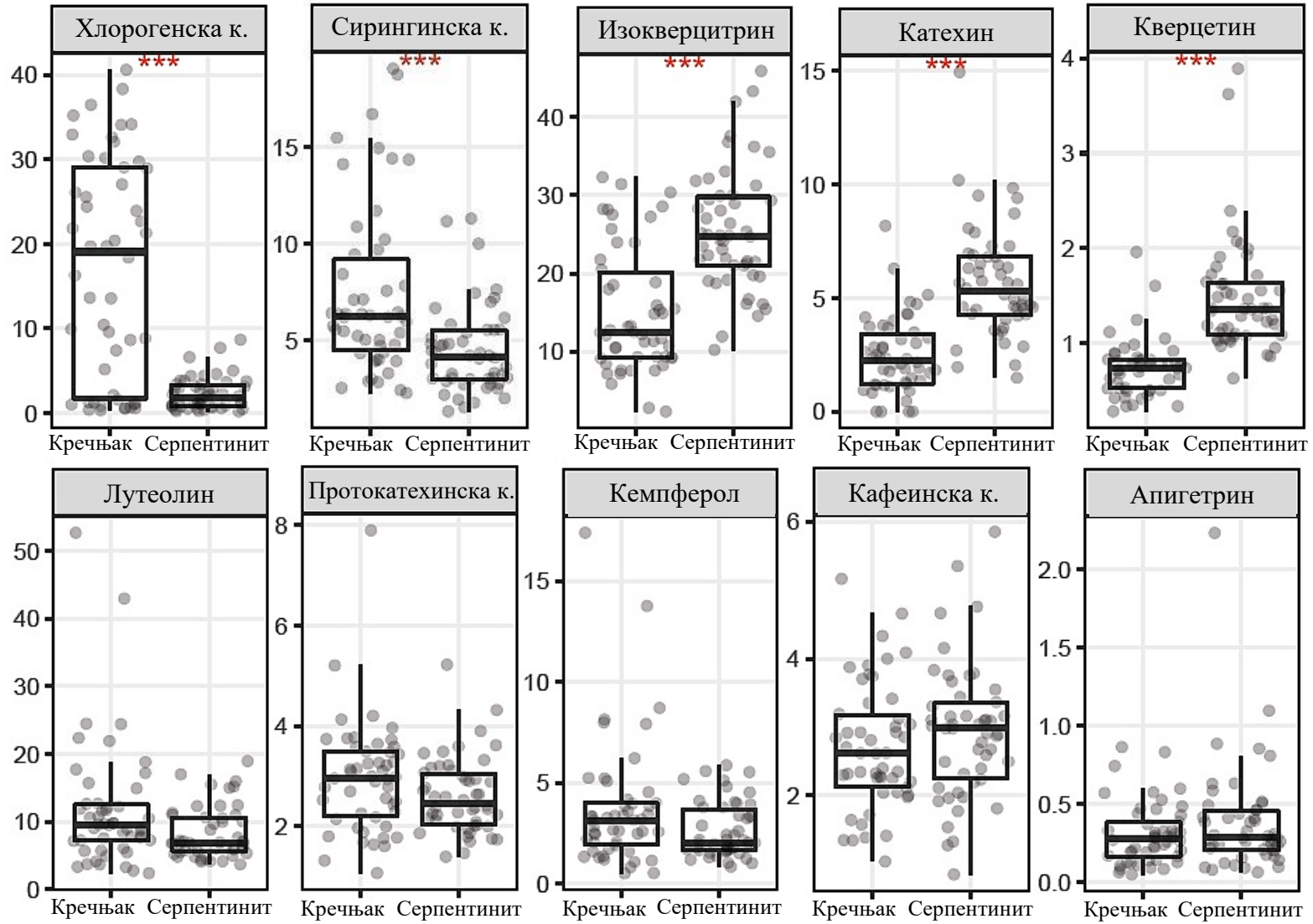
Графикон 42. Квалитативни садржај *p*-кумарне киселине у узорцима *T. montanum* пореклом са станишта са серпентинском (зелени стубићи) и кречњачком геолошком (плави стубићи) подлогом.

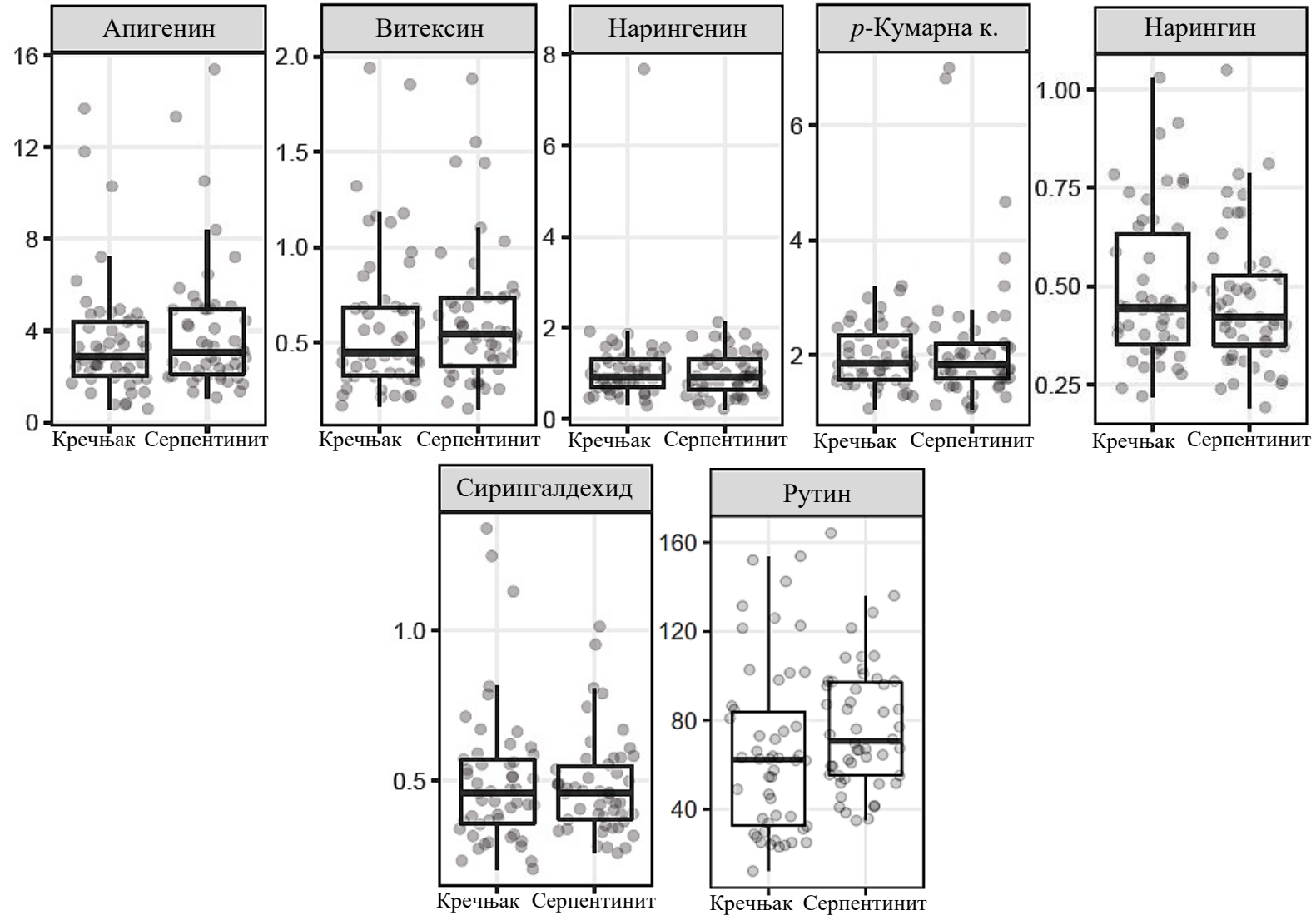
Количина појединачних фенолних једињења значајно се разликовала у зависности од врсте геолошке подлоге. Редослед заступљености фенолних једињења у узорцима са кречњака био је следећи: рутин > хлорогенска киселина > изокверцитрин > лутеолин > сиригинска киселина > кемпферол > апигенин > протокатехинска киселина > кафеинска киселина > катехин > *p*-кумарна киселина > нарингенин > кверцетин > витексин > сиригалдехид > наргинин > апигетрин.

Редослед заступљености фенолних једињења у узорцима са серпентинита био је следећи: рутин > изокверцитрин > лутеолин > катехин > сиригинска киселина > апигенин > кафеинска киселина > кемпферол > протокатехинска киселина > хлорогенска киселина > *p*-кумарна киселина > кверцетин > наргинин > витексин > наргинин > апигетрин.

Статистички параметри за квалитативну и квантитативну анализу испитиваних једињења између популација представљени су на Графикону 43. Wilcoxon тест је урађен за свако једињење у зависности од типа станишта и претпоставља да је дистрибуција релативно симетрична око медијане. Статистичке разлике су значајне за пет једињења ($P < 0.001$) између типа станишта док за преосталих 12 једињења нису детектоване.

Упоредивањем вредности испитиваних једињења за узорке са кречњака и серпентинита, уочено је да се једињења могу поделити у три групе. Прву групу чине једињења која су значајно заступљенија у кречњачким узорцима, као што су хлорогенска и сиригинска киселина, која припадају фенолним киселинама (Графикон 43). Хлорогенска киселина је седам пута више заступљена у узорцима са кречњака него у узорцима са серпентинита (Графикон 43), док је сиригинска киселина два пута више заступљена у узорцима са кречњака (Графикон 43). Другу групу чине једињења која су статистички значајније заступљена у биљним узорцима са серпентинита него у оним са кречњака, као што су катехин, кверцетин и изокверцитрин. Количине катехина, кверцетина и изокверцитрина су два пута веће у узорцима пореклом са серпентинита у поређењу са узорцима са кречњака (Графикон 43). Трећу групу чине преостала једињења која су подједнако заступљена у биљним узорцима са кречњачких и серпентинитских станишта.

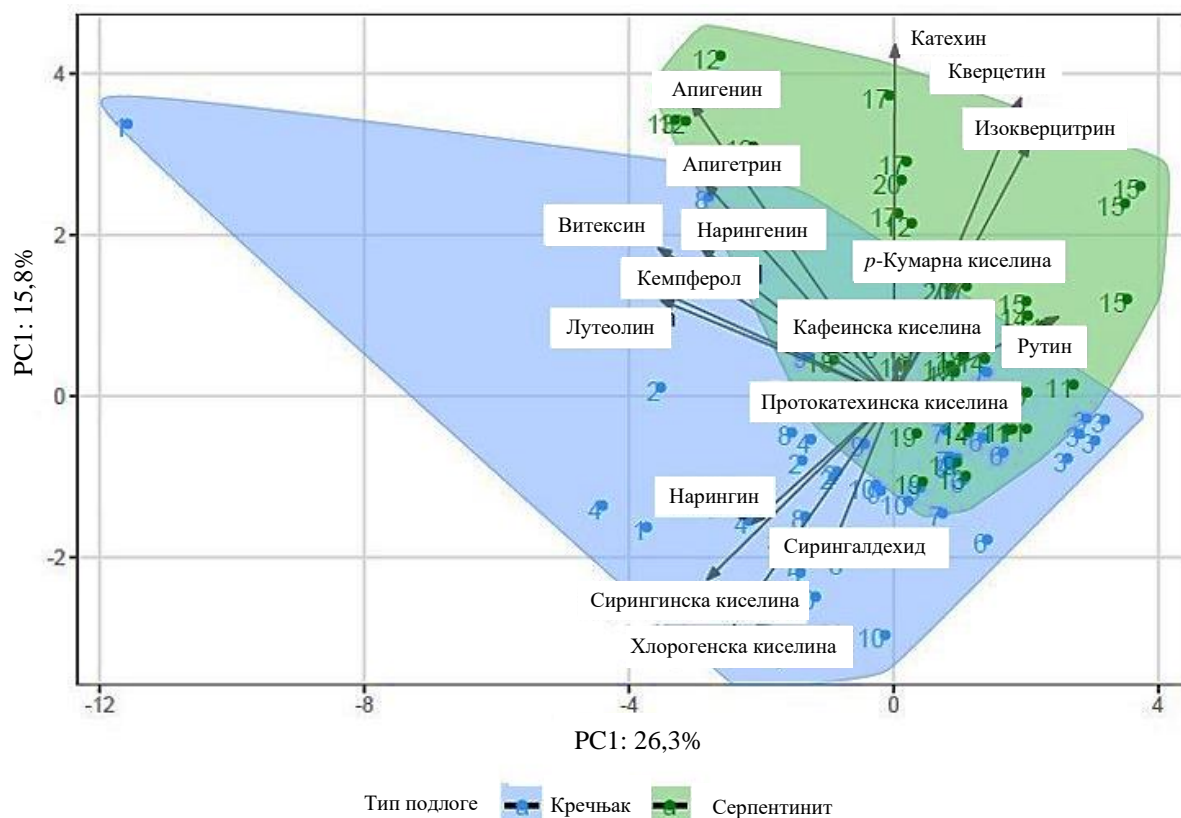




Графикон 43. Боксплот графикони на којима су изражене вредности садржаја фенолних једињења и њихова диференцијација у односу на геолошку подлогу. Звездицама су означене статистички значајне разлике између количина једињења у узорцима са кречњачких и серпентинитских подлога.

4.3.1 Приказ анализе главних компонената (*PCA*) појединачних фенолних једињења

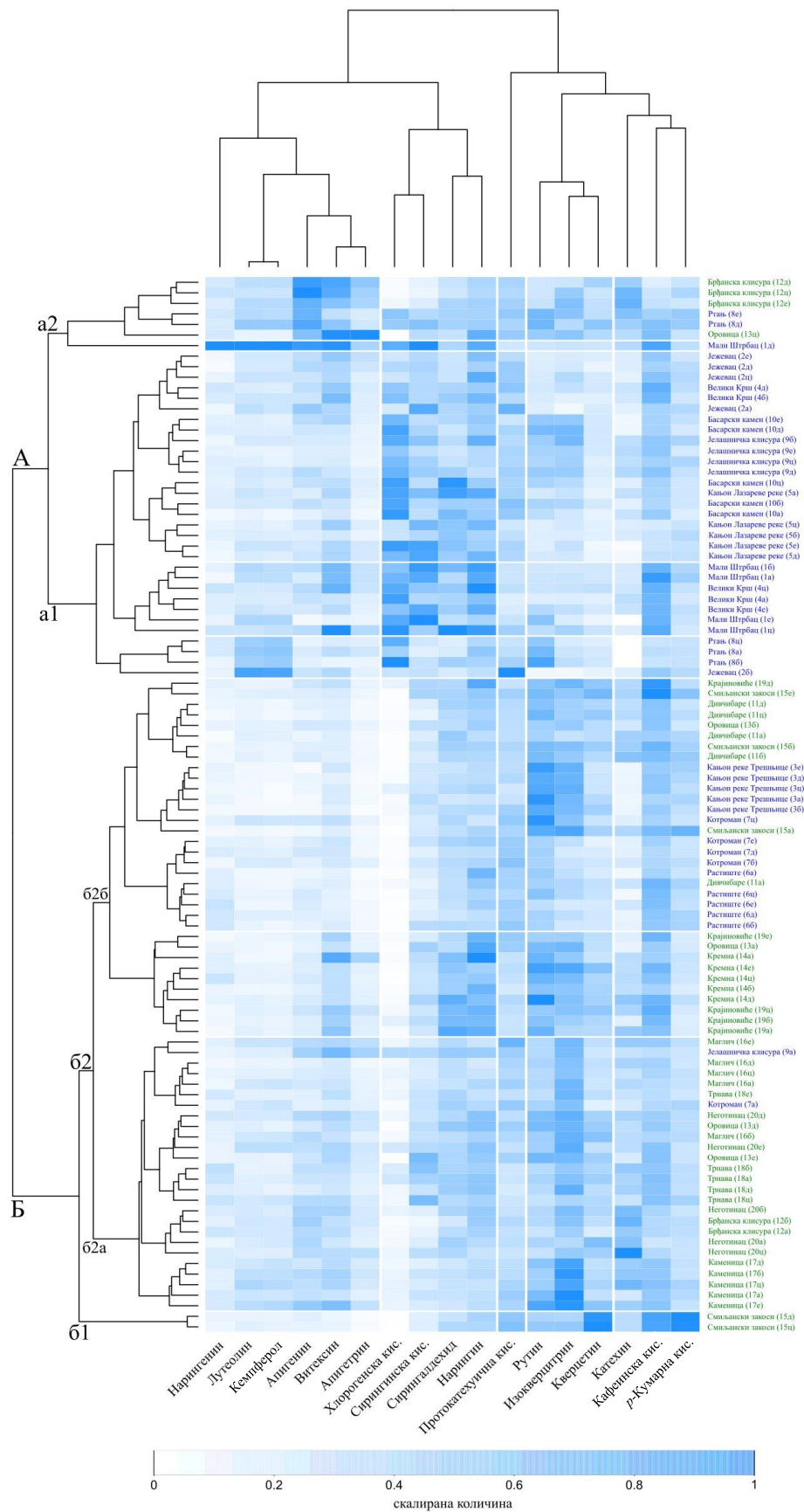
Резултати анализе главних компонената (*PCA*) показали су да прве две осе описују укупно 42,1% укупне варијабилности података (Графикон 44). Прва оса објашњава 26,3%, док друга објашњава 15,8%, са ајгенвредностима > 1 . Најзначајнија фенолна једињења који утичу на варијабилност у узорцима су хлорогенска и сиригинска киселина, кверцетин, катехин и изокверцитрин. Најзначајнији карактери за прву осу биле су хлорогенска и сиригинска киселина, док су за другу осу била једињења кверцетин, катехин и изокверцитрин. Резултати *PC* анализе указују на добро раздвајање између кречњачких и серпентинских популација на основу квантитативног садржаја анализираних фенолних једињења. Диференцијација између јединки на нивоу популације је расута и позиционирана на основу квантитативног садржаја фенолних једињења. У деловима „облака“ који се преклапају постоје јединке из обе популације, који имају сличне количине одређених фенолних једињења, као што су протокатехинска и кафеинска киселина.



Графикон 44. Анализа главних компоненти (*PCA*) у зависности од квантитативног састава иститиваних фенолних једињења у екстрактима *T. montanum* са различитих типова геолошке подлоге.

4.3.2. Конструисање топлотне карте и *ROC* криве

Хијерархијска кластер анализа (*HCA*) је спроведена како би се уочила веза између узорака и испитиваних једињења за врсту *T. montanum*. Резултати, представљени у виду топлотне карте на којој су узорци обојени према врсти подлоге, указују на неколико одвојених група узорака (Слика 20). Примећено је да се доњи доминантни кластер (Б) састоји превентствено од популација серпентинита (зелена боја), док се горњи (А) углавном састоји од кречњачких популација (плава).



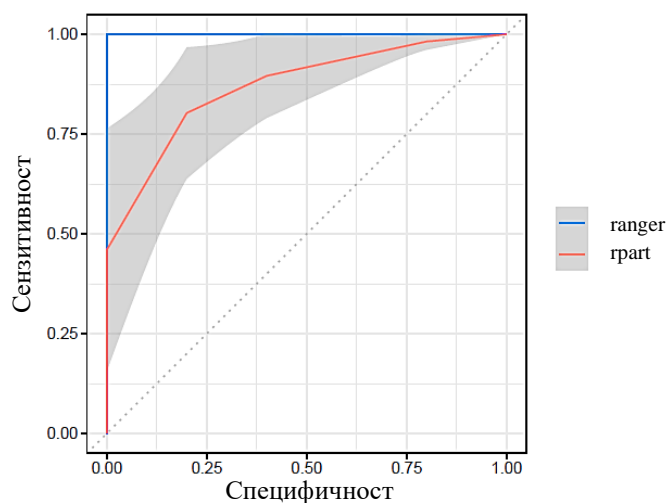
Слика 20. Топлотна карта (енгл. *Heatmap*) генерисана од квантитативних података за 17 фенолних једињења у узорцима *T. montanum* са серпентинских (зелено) и кречњачких (плаво) подлога, са груписањем једињења у односу на тип подлоге и заступљеност фенолних једињења у биљним узорцима.

Хоризонтални кластер (А) садржи већину узорака *T. montanum* са кречњачких станишта (РТ, МС, ЈЕ, ВК, БК и КЛ). Овај кластер је одвојен у два поткластера (а1 и а2). Први поткластер (а1) формиран је од узорака са кречњачких станишта (РТ, МС, ЈЕ, ВК, БК и КЛ), док је други поткластер (а2) формиран од укупно седам узорака, пореклом са серпентинита (БР и ОР) и кречњака (МС и РТ).

Други кластер (Б), уз неколико изузетака, садржи већину узорака *T. montanum* са серпентинитских станишта. Кластер Б је одвојен у два поткластера (б1 и б2). Први поткластер (б1) је формиран од једне популације са серпентинита (С3). Други поткластер (б2) подељен је на два поткластера (б2а и б2б). Поткластер б2а садржи већину узорака *T. montanum* са серпентинитских станишта (МА, ТР, НЕ, ОР, БК, КА и С3). Поткластер б2б диференциран је на 5 поткластера који су одвојени у зависности од типа станишта.

Вертикални кластер приказује однос између фенолних једињења и популација (Табела 4). Први кластер А чине нарингенин, лутеолин, кемпферол, апигенин, витексин, апигетрин, хлорогенска киселина, сиригинска киселина, сиригалдехид, нарингин, док други кластер Б чине протокатехинска киселина, рутин, изокверцитрин, кверцетин, кафеинска киселина и *p*-кумарна киселина. Кластер А је подељен у два поткластера а1 и а2. Поткластер а1 се састоји од шест фенолних једињења (нарингенин, лутеолин, кемпферол, апигенин, витексин и апигетрин), док се поткластер а2 састоји од четири фенолна једињења (хлорогенске киселине, сиригинске киселине, сириналдехида и нарингина). Кластер б је подељен у два поткластера б1 и б2, где се б1 састоји само од протокатехинске киселине чиме се разликује од осталих. Поткластер б2 се састоји од 2 поткластера б1а и б1б. Поткластер б1а се састоји од рутина, изокверцитрина и кверцетина, док се поткластер б1б састоји од катехина, кафеине киселине и *p*-кумарне киселине. Приказане везе између популација и испитиваних фенолних једињења указују да су скоро сви узорци са кречњака одређени присуством хлорогенске киселине, сиригинске киселине, сиригалдехидом, нарингином, док су узорци са серпентинита обогаћени изокверцитрином и кверцетином.

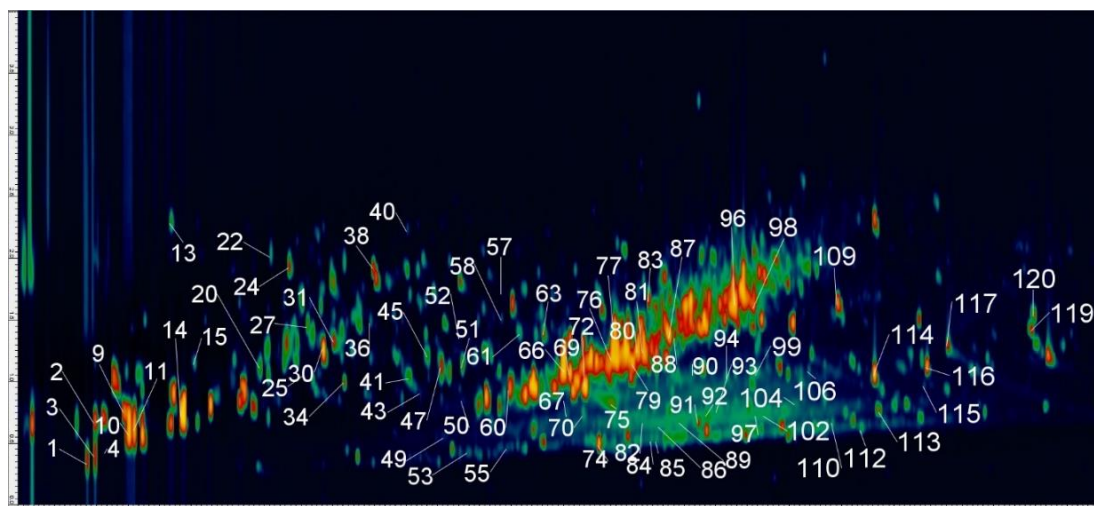
Како би се испитало да ли се на основу хемијског профила узорака може закључити о типу земљишта коришћена је ROC метода. На основу резултата (Графикон 45) може се приметити да је процењена поузданост модела 90% да предвиди тип земљишта на основу хемисјког профила биљке.



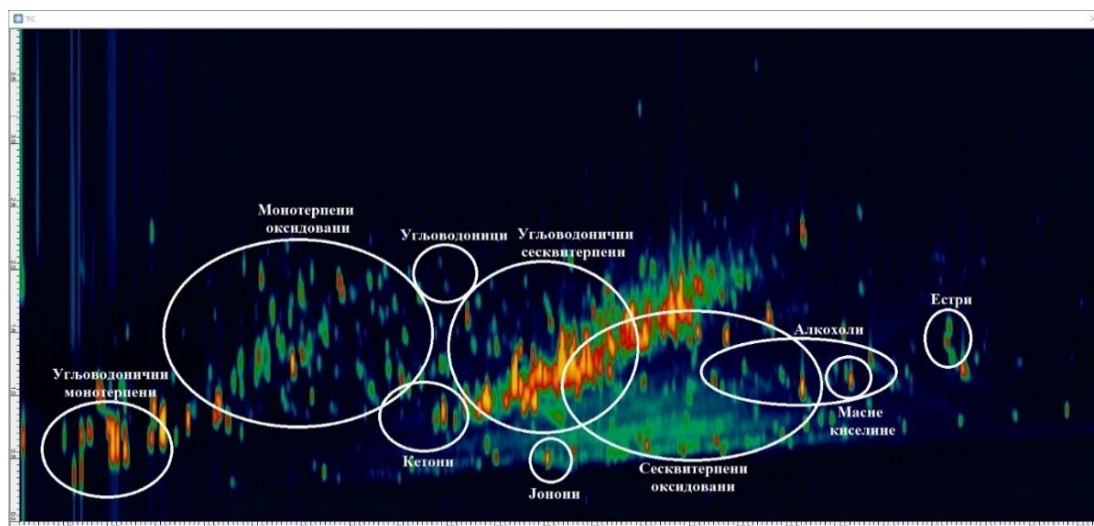
Графикон 45. РОК крива са приказом степена сензитивности и специфичности одређивања подлоге у односу на заступљеност фенолних једињења у биљном узорку (P:5, N:5).

4.4. Приказ упоредне анализе варијабилности етарског уља врсте *Teucrium montanum*

У спроведеним истраживањима, извршена је упоредна анализа варијабилности у квалитативном саставу и релативној заступљености једињења у узорцима етарског уља надземних биљних делова врсте *T. montanum* са кречњачких и серпентинитских станишта. Резултати су приказани у Табели 8а и 8б. Састав етарског уља узорака *T. montanum* са кречњачких и серпентинитских станишта се одликује присуством преко хиљаду пикова у узорцима, при чему је за упоредну анализу резултата одабрано 122 најзаступљенија једињења (Слика 21) који припадају различитим групама (Слика 22).



Слика 21. Двоструки хроматограм етарских уља врсте *T. montanum*.



Слика 22. Основне групе једињења у узорцима етарских уља врсте *T. montanum* уочене на двоструком хроматограму.

Принос етарског уља у узорцима са кречњака се кретао у распону од 0,04% до 0,08%, док се у узорцима са серпентинита кретао у распону од 0,08% до 0,37%. Највећи принос етарског уља забележен је за узорак са серпентинитског локалитета Трнава, док је најнижи принос забележен за узорке са кречњачких локалитета Мали Штрбац и Велики крш. Просечан принос етарског уља за узорке са кречњака је био 0,07%, док је за серпентинита био 0,24%, што је три пута више од узорака са кречњака.

Табела 8. Квалитативни састав и % релативне заступљености једињења у узорцима старских уља врсте *T. montanum* са кречњачких станишта.

Редни број	Једињење	Локалитети										Просек (%)**	P1	P2	ЛРИ	ЛРИ Adams
		МС	ЈЕ	КТ	ВК	КЛ	РА	КО	РТ	ЈК	БК					
1.	α-тујен	0,26*	0,02	0,29	0,20	0,16	0,33	0,32	0,38	0,35	0,24	0,26	10,50	0,24	1021	924
2.	α-пинен	0,14	0,17	0,12	0,08	0,25	0,25	0,33	0,22	0,21	0,20	0,20	10,80	0,60	1341	932
3.	норпинен	0,10	0,11	0,18	0,14	0,10	0,00	0,00	0,06	0,11	0,04	0,08	10,80	0,36	1275	1275
4.	сабина кетон	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	11,00	0,42	1189	1154
5.	кемпфен	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	11,30	3,75	/	946
6.	пинокарвеол	0,05	0,00	0,00	0,04	0,06	0,07	0,07	0,03	0,00	0,00	0,03	11,40	4,74	/	1135
7.	октен-3-ол	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,03	0,00	0,01	12,00	1,26	1984	974
8.	хептанон	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	12,10	1,53	1238	889
9.	β-феландрен	0,08	0,02	0,06	0,02	0,05	0,15	0,02	0,04	0,08	0,23	0,08	12,10	0,84	1247	1025
10.	β-пинен	0,45	0,40	0,11	0,42	0,41	0,25	0,13	0,38	0,32	0,28	0,32	12,20	0,33	1159	974
11.	мента-1(7),8-диен-2-ол	0,06	0,10	0,23	0,11	0,19	0,25	0,30	0,23	0,19	0,13	0,18	12,40	0,51	1394	1187
12.	терпинолен	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,03	0,05	0,05	0,13	0,19	0,06	13,80	1,95	/	1086
13.	цимен*	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	13,90	2,28	1005	1022
14.	силвестрен	0,07	0,07	0,05	0,00	0,15	0,15	0,05	0,12	0,16	0,42	0,12	14,10	0,66	1406	1025
15.	лимонен оксид	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	14,40	1,26	1352	1137
16.	карен	0,05	0,00	0,03	0,03	0,17	0,18	0,14	0,08	0,08	0,09	0,09	15,30	2,10	1490	1008
17.	ментол	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,05	0,05	0,03	0,03	0,02	15,50	1,95	1509	1167
18.	пиронен	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	2,49	1685	1685
19.	линалол	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,03	0,04	0,00	0,03	0,03	0,02	16,60	5,13	1244	1095
20.	тујон	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	17,20	1,08	1988	1112
21.	кемпфенол	0,00	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	17,50	2,40	1782	1111
22.	нопинон	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	17,60	2,37	1764	1135
23.	инданол	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	18,10	5,97	/	1338
24.	вербенол	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	18,40	2,04	1892	1140
25.	пинокарвон	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	18,80	1,08	1739	1160
26.	α-феландрен	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03	0,04	0,02	19,00	0,51	1453	1002
27.	мент-1-ен-7-ал	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	19,10	1,56	1078	1273

28.	кар-3-ен-2-оне	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	0,04	0,01	19,20	0,69	1678	1244
29.	терпинен-4-ол	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,02	19,60	3,72	/	1174
30.	цимен-8-ол	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,02	19,80	1,14	1216	1179
31.	α -терпинеол	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,04	0,07	0,07	0,09	0,07	20,00	1,11	2013	1186
32.	миртенал	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	20,00	4,20	/	1195
33.	миртенол	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	20,30	2,34	1186	1194
34.	вербенон	0,03	0,03	0,03	0,07	0,10	0,12	0,08	0,03	0,03	0,00	0,05	20,40	0,42	1317	1204
35.	карвеол	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,04	0,02	21,00	5,82	/	1215
36.	борнил ацетат	0,04	0,03	0,00	0,04	0,04	0,07	0,04	0,04	0,04	0,00	0,03	21,30	1,47	1213	1284
37.	геранил ацетат	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	21,40	4,98	/	1379
38.	карвон	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,04	0,03	0,00	0,00	0,02	21,60	2,04	1789	1239
39.	гераниол	0,03	0,03	0,11	0,03	0,00	0,10	0,08	0,07	0,07	0,04	0,06	22,30	0,21	1008	1249
40.	карвон оксид	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	22,30	2,07	1283	1273
41.	нонаноична киселина	0,03	0,03	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	22,90	0,93	1696	1267
42.	3-карен-2-ол	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,90	0,90	1558	1558
43.	сафранал	0,03	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,02	23,20	0,90	1208	1196
44.	3-карен-10-ал	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,00	0,00	0,02	23,20	0,51	1462	1462
45.	α -терпинен	0,08	0,00	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08	0,08	0,04	0,09	0,06	23,30	1,08	1233	1014
46.	цуменол	0,03	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	23,40	0,69	1944	1224
47.	додекан	0,08	0,17	0,09	0,16	0,84	0,07	0,00	0,00	0,09	0,00	0,15	24,00	0,93	1944	1200
48.	пинокарвил ацетат	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	24,00	5,55	/	1311
49.	дихидроедулан	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	24,10	0,45	1382	1382
50.	теаспиран	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	24,40	0,87	1054	1054
51.	мента-1,4-диен-7-ол	0,04	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	24,80	1,23	1194	1325
52.	хексил октаноат	0,04	0,08	0,00	0,09	0,00	0,05	0,00	0,00	0,13	0,06	0,05	24,80	1,38	1272	1581
53.	деканол	0,35	0,46	0,43	0,41	1,95	0,98	0,29	0,47	0,68	0,63	0,67	25,10	0,30	1186	1266
54.	γ -илемен	0,11	0,09	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,10	0,06	25,90	3,78	/	1434
55.	α -кубебен	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05	0,00	0,00	0,05	0,01	26,30	0,54	1653	1345
56.	деканоична киселина	0,04	0,04	0,00	0,05	0,04	0,05	0,05	0,00	0,05	0,05	0,04	26,30	0,09	1361	1364
57.	хептадекан	1,65	0,52	0,41	1,34	0,98	0,38	0,75	2,99	4,36	1,14	1,45	26,30	1,74	1382	1700

58.	α-копаен	0,09	0,13	0,22	0,10	0,09	0,11	0,00	0,17	0,10	0,14	0,12	26,40	1,56	1108	1374
59.	лавандулил ацетат	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	26,70	4,38	1241	1288
60.	дамашенон	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	26,80	0,90	1844	1383
61.	циклосативен	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	27,10	1,35	1561	1369
62.	β-бурбонен	0,05	0,04	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,06	0,03	27,60	2,22	1391	1387
63.	сесквисабинен хидрат	0,00	0,32	0,42	0,58	0,40	0,18	0,66	0,70	0,88	0,78	0,49	28,00	1,41	1110	1542
64.	γ-химахален	0,05	0,04	0,19	0,19	0,05	0,05	0,49	0,14	0,12	0,31	0,16	28,40	1,20	1888	1481
65.	α-гурјунен	0,00	0,05	0,06	0,00	0,71	0,05	0,58	0,00	0,00	0,78	0,22	28,50	1,77	1233	1409
66.	кариофилен	0,10	0,05	0,06	0,06	0,00	0,05	0,11	0,17	0,06	0,14	0,08	28,80	1,53	1400	1417
67.	β-кубебен	0,18	0,17	0,27	0,14	0,15	0,16	0,28	0,07	0,07	0,08	0,16	29,00	0,78	1280	1387
68.	геранил ацетон	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,00	0,06	0,07	0,05	29,00	0,57	1632	1453
69.	α-бергамотен	0,05	0,00	0,06	0,06	0,05	0,05	0,00	0,06	0,06	0,13	0,05	29,10	1,11	1760	1432
70.	валенцен	0,06	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,02	29,30	0,75	2000	1496
71.	α-кедрен	0,12	0,24	0,06	0,06	0,36	0,00	0,12	0,00	0,27	0,07	0,13	29,50	0,66	1035	1410
72.	β-фарнесен	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,00	0,06	0,07	0,07	0,00	0,05	29,60	0,72	1635	1454
73.	тетрадекан	0,06	0,19	0,72	0,15	4,54	0,00	0,08	0,29	2,07	0,00	0,81	29,90	0,72	1450	1400
74.	β-јонон	0,06	0,05	0,07	0,06	0,05	0,04	0,06	0,07	0,07	0,08	0,06	30,20	0,63	1764	1487
75.	α-акорадиен	0,06	0,05	0,00	0,00	0,08	0,00	0,06	0,07	0,08	0,00	0,04	30,40	0,99	1186	1464
76.	β-копаен	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,09	0,15	0,12	0,00	0,06	30,60	0,60	1541	1430
77.	β-иланген	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	30,80	1,56	1512	1419
78.	еџи-купенол	0,43	0,25	1,30	0,50	0,74	0,63	1,04	0,48	0,41	0,92	0,67	31,10	0,15	1692	1627
79.	β-куркумен	0,00	0,00	0,00	0,07	0,12	0,00	0,00	0,00	0,08	0,12	0,04	31,40	0,96	1186	1514
80.	шиобунол	0,00	0,11	1,31	0,76	0,04	0,14	0,54	0,76	0,87	1,69	0,62	31,50	1,14	1005	1688
81.	α-кадинен	0,07	0,06	0,16	0,00	0,08	0,16	0,07	0,00	0,00	0,00	0,06	31,80	1,05	1639	1537
82.	лонгипинокарвеол	0,50	0,27	0,35	0,21	0,04	0,23	0,77	0,63	0,05	0,00	0,31	32,00	0,66	1108	1108
83.	α-иланген	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,10	0,05	0,00	0,00	0,03	32,10	1,17	1241	1373
84.	додеканол	0,56	0,54	0,47	1,09	0,69	1,53	1,55	0,91	0,69	0,77	0,88	32,30	0,33	1434	1469
85.	каламанен	0,08	0,06	0,18	0,08	0,24	0,09	0,07	0,09	0,17	0,32	0,14	32,30	0,45	1300	1528
86.	кедрен-13-ол, 8-	0,00	0,00	0,07	0,11	0,20	0,26	0,11	0,09	0,12	0,15	0,11	32,30	0,63	1261	1688
87.	α-калакорен	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,02	32,50	1,56	1782	1544

88.	аромадендрен	1,09	0,66	2,73	1,12	1,06	3,01	3,17	0,34	1,05	2,30	1,65	33,00	1,20	1216	1439
89.	(Z,E)-2,13- октадекадиенол	0,50	0,30	0,00	0,57	0,09	0,41	0,12	0,13	0,42	0,14	0,27	33,10	0,69	1596	1596
90.	кариофилен оксид	0,09	0,26	0,37	0,39	0,35	0,24	0,44	0,49	0,36	0,25	0,32	33,60	1,02	1628	1582
91.	хененикосил формат	0,47	1,82	0,90	1,12	0,77	1,08	0,64	0,86	1,41	1,70	1,08	33,90	0,54	1503	1503
92.	еикосан	11,90	7,93	4,97	4,31	10,60	6,48	3,53	0,92	3,31	0,11	5,41	34,20	0,72	1018	2000
93.	α -еудезмол	0,11	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,06	34,70	0,66	1800	1652
94.	α -акоренол	0,37	0,08	0,18	0,14	0,07	0,13	1,82	0,34	0,39	0,19	0,37	34,90	0,96	1108	1632
95.	α -санталол	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00	1,86	0,90	0,00	0,00	0,00	0,32	35,00	1,44	1587	1674
96.	α -кадинол	0,24	0,17	0,40	0,27	0,29	0,28	0,14	0,32	0,31	0,20	0,26	35,30	1,38	1403	1652
97.	β -бисаболол	0,13	0,15	0,15	0,16	0,18	0,00	0,18	0,19	0,18	0,26	0,16	36,00	0,69	/	1674
98.	кадален	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	36,00	1,50	1900	1675
99.	октадеканоол	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,14	0,18	0,00	0,00	0,00	0,05	36,10	1,05	/	2077
100.	азулен	0,00	0,00	0,00	0,15	0,18	0,16	0,19	0,00	0,17	0,23	0,11	36,20	0,93	1418	1298
101.	β -ватиренен	0,14	0,00	0,19	0,00	0,00	0,22	0,09	0,00	0,00	0,00	0,06	36,20	0,75	1554	1554
102.	α -бисаболол	0,14	0,10	0,52	0,16	0,21	0,17	0,00	1,15	0,37	0,27	0,31	36,30	0,60	1391	1685
103.	α -бисаболене	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,44	1,75	0,00	1,12	0,00	0,53	36,80	0,78	1094	1506
104.	акоренон	0,43	0,14	0,27	0,20	0,38	0,47	0,37	1,18	0,26	0,39	0,41	37,50	0,63	1529	1692
105.	циперен	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,26	0,96	0,00	0,00	0,00	0,16	38,10	1,05	/	1398
106.	1-хептатриакотаноол	3,46	0,47	1,04	0,66	0,59	6,58	3,28	2,97	1,36	0,39	2,08	38,10	0,81	1078	1078
107.	хептакосаноол	1,31	0,91	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,73	0,37	38,20	1,14	1465	1465
108.	тетрадеканоична киселина	0,00	0,17	0,35	0,23	0,96	0,28	0,46	0,46	0,34	0,63	0,39	38,20	1,11	1288	1288
109.	муурола-3,5-диен	0,59	0,18	0,25	0,45	0,75	0,87	0,07	0,00	0,00	0,37	0,35	38,70	1,62	1219	1451
110.	β -гуаин	0,00	0,47	0,71	0,00	0,13	0,60	1,14	1,50	0,71	0,17	0,54	39,00	0,69	1008	1492
111.	лимонен-10-ол	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78	0,63	3,07	0,00	0,00	0,00	0,45	39,90	0,69	1110	1288
112.	коримболон	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,47	2,73	0,69	0,00	0,00	0,49	40,00	0,66	1021	1021
113.	фитон	0,50	0,30	0,82	0,53	0,84	0,56	0,82	1,02	0,81	1,11	0,73	40,60	0,81	1484	1484
114.	фитол	6,03	5,21	4,29	5,17	4,90	2,39	4,13	4,94	4,98	6,30	4,83	40,80	1,05	1434	1942
115.	фарнесил ацетон	0,57	0,03	1,03	0,86	1,18	0,75	1,03	1,25	1,11	1,55	0,94	42,30	0,93	1364	1860

116.	хексадеканоична киселина	1,76	3,14	4,72	4,71	6,26	2,69	3,59	4,32	5,54	9,19	4,59	42,60	1,23	1538	1959
117.	изофитол	0,00	0,81	0,00	1,21	1,22	0,00	0,00	1,40	0,00	1,67	0,63	43,30	1,32	1570	1946
118.	глицерил линолеат	1,62	1,53	1,97	0,00	2,12	0,91	1,97	1,90	2,08	2,23	1,63	46,40	0,96	1453	1453
119.	метил линолеат	0,92	1,70	1,60	1,97	0,00	1,30	1,68	0,00	1,81	2,15	1,31	46,60	1,17	1487	2095
120.	метил октадеканоат	2,10	1,83	0,00	2,10	2,02	0,00	0,00	1,88	0,00	0,00	0,99	46,70	1,56	1607	2124
121.	тетракосан	3,36	6,15	13,20	14,30	10,50	8,53	7,15	6,25	7,06	13,70	9,02	51,50	1,26	1500	2400
122.	хенсикосан	0,00	3,00	2,05	0,00	0,00	2,94	4,11	5,96	5,28	2,88	2,62	52,90	1,59	1642	2100
	Угљоводонични монотерпени	1,31	0,86	0,88	0,96	1,43	1,46	1,15	1,44	1,53	1,82	1,28				
	Монотерпени оксидовани	1,09	1,03	1,43	1,22	3,69	2,85	4,71	1,29	1,55	1,52	2,04				
	Укупни монотерпени	2,4	1,89	2,31	2,18	5,12	4,31	5,86	2,73	3,08	3,34	3,32				
	Угљоводонични сесквитерпени	3,16	2,39	5,62	2,53	4,15	8,31	9,30	2,97	4,23	5,25	4,79				
	Сесквитерпени оксидовани	2,44	1,85	5,73	3,61	2,90	6,06	10,07	7,02	4,20	5,10	4,90				
	Укупни сесквитерпени	5,60	4,24	11,35	6,14	7,05	14,37	19,37	9,99	8,43	10,35	9,689				
	Угљоводоници	17,08	17,96	21,48	20,45	27,68	18,60	15,85	16,45	22,38	18,10	19,603				
	Алкохоли	11,88	8,44	5,82	8,75	7,49	11,07	9,28	10,35	8,19	10,00	9,127				
	Естри	0,58	1,93	0,94	1,25	0,88	1,20	0,73	0,90	1,62	1,80	1,18				
	Масне киселине	6,43	8,40	8,64	9,05	11,40	5,22	7,74	8,60	9,81	14,24	8,95				
	Јонони	0,10	0,09	0,12	0,11	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,14	0,11				
	Кетони	0,69	0,13	1,17	0,97	1,31	0,88	1,17	1,30	1,22	1,66	1,05				
	Принос % (V/m)	0,04	0,06	0,06	0,04	0,06	0,10	0,08	0,08	0,06	0,08	0,07				

P1 (ретенционо време на првој колони), P2 (ретенционо време на другој колони), ЛРИ (литературни ретенциони индекс), ЛРИ Adams (литературни ретенциони индекс по Adams (2007)).

* Вредности представљају % релативне заступљености једног пика упоређеног са запремином свих пикова хроматограма

**Приказ просечних вредности % релативне заступљености једног пика упоређеног са запремином свих пикова хроматограма: 0.00% – одсутно једињење, <0.1% – једињење у траговима

***Подебљане вредности у колони указују на већи проценат једињења у узорцима са кречњачке подлоге у поређењу са узорцима са серпентинитске подлоге

Табела 9. Квалитативни састав и % релативне заступљености једињења у узорцима старских уља врсте *T. montanum* са серпентинитских станишта.

Редни број	Једињење	Локалитети										Просек (%)**	P1	P2	ЛРИ	ЛРИ Adams
		ДИ	БР	ОР	КР	СЗ	МА	КА	ТР	КЈ	НЕ					
1.	α -тујен	0,28*	0,37	0,27	0,21	0,00	0,12	0,27	0,33	0,04	0,25	0,21	10,50	0,24	1021	924
2.	α -пинен	0,46	0,15	0,14	0,14	0,29	0,26	0,31	0,11	0,14	0,25	0,23	10,80	0,60	1341	932
3.	норпинен	0,00	0,09	0,16	0,23	0,07	0,06	0,04	0,04	0,24	0,16	0,11	10,80	0,36	1275	1275
4.	сабина кетон	0,06	0,05	0,05	0,05	0,00	0,04	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	11,00	0,42	1189	1154
5.	кемпфен	0,07	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,00	0,06	0,02	0,03	11,30	3,75	/	946
6.	пинокарвеол	0,19	0,11	0,21	0,32	0,09	0,12	0,11	0,02	0,10	0,04	0,13	11,40	4,74	/	1135
7.	октен-3-ол	0,09	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	12,00	1,26	1984	974
8.	хептанон	0,03*	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	12,10	1,53	1238	889
9.	β -феландрен	0,05	0,17	0,09	0,13	0,00	0,08	0,17	0,30	0,19	0,25	0,14	12,10	0,84	1247	1025
10.	β -пинен	0,38	0,62	0,33	0,29	0,16	0,49	0,56	0,39	0,46	0,20	0,39	12,20	0,33	1159	974
11.	мента-1(7),8-диен-2-ол	1,16	0,22	0,75	0,46	2,81	0,26	0,43	0,54	0,55	0,41	0,76	12,40	0,51	1394	1187
12.	терпинолен	0,31	0,11	0,36	0,26	0,02	0,12	0,44	0,29	0,15	0,11	0,22	13,80	1,95	/	1086
13.	цимен*	0,08	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,03	0,08	0,03	0,03	13,90	2,28	1005	1022
14.	силвестрен	0,52	0,52	0,55	0,54	0,68	0,41	0,40	0,63	0,40	0,52	0,52	14,10	0,66	1406	1025
15.	лимонен оксид	0,04	0,00	0,00	0,07	0,09	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	14,40	1,26	1352	1137
16.	карен	0,81	0,38	0,46	0,45	0,19	0,43	0,49	0,78	0,80	0,46	0,53	15,30	2,10	1490	1008
17.	ментол	0,05	0,09	0,04	0,09	0,00	0,08	0,00	0,04	0,11	0,04	0,05	15,50	1,95	1509	1167
18.	пиронен	0,10	0,00	0,09	0,12	0,14	0,11	0,22	0,13	0,00	0,11	0,10	16,50	2,49	1685	1685
19.	линалол	0,05	0,04	0,04	0,06	0,05	0,04	0,04	0,12	0,07	0,06	0,06	16,60	5,13	1244	1095
20.	тујон	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,05	0,00	0,00	0,02	17,20	1,08	1988	1112
21.	кемпфенол	0,10	0,05	0,05	0,13	0,10	0,12	0,22	0,09	0,11	0,04	0,10	17,50	2,40	1782	1111
22.	нопинон	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	17,60	2,37	1764	1135
23.	инданол	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,04	0,00	0,05	0,00	0,04	0,02	18,10	5,97	/	1338
24.	вербенол	0,00	0,05	0,05	0,05	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	18,40	2,04	1892	1140
25.	пинокарвон	0,12	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,00	0,04	0,05	18,80	1,08	1739	1160
26.	α -феландрен	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	19,00	0,51	1453	1002
27.	мент-1-ен-7-ал	0,08	0,07	0,05	0,11	0,11	0,04	0,05	0,11	0,07	0,04	0,07	19,10	1,56	1078	1273

28.	кар-3-ен-2-оне	0,00	0,00	0,07	0,06	0,00	0,00	0,11	0,07	0,08	0,06	0,05	19,20	0,69	1678	1244
29.	терпинен-4-ол	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,00	0,05	0,06	0,05	0,05	19,60	3,72	/	1174
30.	цимен-8-ол	0,06	0,05	0,06	0,00	0,06	0,00	0,05	0,05	0,06	0,00	0,04	19,80	1,14	1216	1179
31.	α -терпинеол	0,17	0,15	0,15	0,13	0,15	0,13	0,15	0,14	0,15	0,12	0,14	20,00	1,11	2013	1186
32.	миртенал	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	20,00	4,20	/	1195
33.	миртенол	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,06	20,30	2,34	1186	1194
34.	вербенон	0,37	0,23	0,34	0,26	0,39	0,22	0,09	0,20	0,44	0,28	0,28	20,40	0,42	1317	1204
35.	карвеол	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,06	21,00	5,82	/	1215
36.	борнил ацетат	0,41	0,13	0,20	0,20	0,07	0,23	0,24	0,12	0,15	0,11	0,19	21,30	1,47	1213	1284
37.	геранил ацетат	0,07	0,06	0,06	0,00	0,00	0,05	0,06	0,06	0,00	0,05	0,04	21,40	4,98	/	1379
38.	карвон	0,07	0,06	0,00	0,06	0,07	0,05	0,06	0,06	0,07	0,05	0,06	21,60	2,04	1789	1239
39.	гераниол	0,07	0,06	0,15	0,20	0,17	0,06	0,06	0,06	0,14	0,13	0,11	22,30	0,21	1008	1249
40.	карвон оксид	0,08	0,00	0,00	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,03	22,30	2,07	1283	1273
41.	нонаноична киселина	0,08	0,07	0,21	0,13	0,07	0,12	0,12	0,14	0,08	0,11	0,11	22,90	0,93	1696	1267
42.	3-карен-2-ол	0,00	0,03	0,00	0,03	0,10	0,00	0,00	0,06	0,03	0,00	0,03	22,90	0,90	1558	1558
43.	сафранал	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	23,20	0,90	1208	1196
44.	3-карен-10-ал	0,08	0,00	0,07	0,06	0,00	0,00	0,06	0,07	0,08	0,06	0,05	23,20	0,51	1462	1462
45.	α -терпинен	0,08	0,16	0,07	0,07	0,00	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06	0,07	23,30	1,08	1233	1014
46.	цуменол	0,08	0,07	0,07	0,07	0,00	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06	0,06	23,40	0,69	1944	1224
47.	додекан	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,00	0,93	1944	1200
48.	пинокарвил ацетат	0,09	0,07	0,08	0,07	0,08	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,05	24,00	5,55	/	1311
49.	дихидроедулан	0,00	0,08	0,00	0,07	0,08	0,32	0,55	0,22	0,08	0,06	0,15	24,10	0,45	1382	1382
50.	теаспиран	0,09	0,16	0,16	0,14	0,16	0,21	0,48	0,08	0,25	0,13	0,19	24,40	0,87	1054	1054
51.	мента-1,4-диен-7-ол	0,09	0,08	0,08	0,07	0,00	0,07	0,08	0,08	0,09	0,07	0,07	24,80	1,23	1194	1325
52.	хексил октаноат	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	24,80	1,38	1272	1581
53.	деканол	0,34	0,00	0,76	0,82	0,00	0,00	0,73	0,00	0,00	0,10	0,28	25,10	0,30	1186	1266
54.	γ -илемен	0,30	0,30	0,09	0,08	0,09	0,15	0,76	0,61	0,09	0,07	0,25	25,90	3,78	/	1434
55.	α -кубобен	0,11	0,09	0,09	0,08	0,10	0,16	0,65	0,28	0,19	0,00	0,18	26,30	0,54	1653	1345
56.	деканоична киселина	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,09	0,11	0,00	0,00	0,08	0,04	26,30	0,09	1361	1364
57.	хептадекан	0,00	0,13	0,14	0,11	0,53	0,12	0,16	0,15	0,16	0,11	0,16	26,30	1,74	1382	1700

58.	α -копаен	0,47	0,22	0,24	0,09	0,26	0,26	0,73	0,32	0,27	0,27	0,31	26,40	1,56	1108	1374
59.	лавандулил ацетат	0,12	0,09	0,00	0,00	0,00	0,09	0,02	0,00	0,10	0,00	0,04	26,70	4,38	1241	1288
60.	дамашенон	0,12	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,11	0,10	0,10	0,08	0,10	26,80	0,90	1844	1383
61.	цикласативен	0,00	0,09	0,19	0,09	0,00	0,09	0,00	0,00	0,11	0,15	0,07	27,10	1,35	1561	1369
62.	β -бурбонен	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,19	0,13	0,00	0,00	0,00	0,04	27,60	2,22	1391	1387
63.	сесквисабинен хидрат	3,54	0,27	2,45	0,60	0,46	0,00	0,00	0,75	1,12	1,61	1,08	28,00	1,41	1110	1542
64.	γ -химахален	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,38	0,11	28,40	1,20	1888	1481
65.	α -гурјунен	0,00	0,10	0,00	0,52	0,00	0,00	0,29	1,05	0,97	0,94	0,39	28,50	1,77	1233	1409
66.	кариофилен	0,00	0,10	0,00	0,20	0,13	0,11	0,15	0,12	0,13	0,09	0,10	28,80	1,53	1400	1417
67.	β -кубебен	0,67	0,15	0,00	0,15	0,55	0,37	0,66	0,00	0,00	0,48	0,30	29,00	0,78	1280	1387
68.	геранил ацетон	0,17	0,11	0,00	0,10	0,14	0,00	0,15	0,00	0,14	0,09	0,09	29,00	0,57	1632	1453
69.	α -бергамотен	0,27	0,11	0,23	0,00	0,14	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,09	29,10	1,11	1760	1432
70.	валенцен	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,10	0,13	0,19	0,00	0,00	0,05	29,30	0,75	2000	1496
71.	α -кедрен	1,73	0,45	0,81	0,10	0,17	0,77	0,43	1,29	0,43	0,87	0,71	29,50	0,66	1035	1410
72.	β -фарнесен	0,37	0,12	0,13	0,11	0,00	0,11	0,16	0,26	0,00	0,19	0,15	29,60	0,72	1635	1454
73.	тетрадекан	1,69	3,12	0,47	0,12	0,00	0,00	1,61	0,19	0,18	0,00	0,74	29,90	0,72	1450	1400
74.	β -јонон	0,20	0,13	0,00	0,08	0,17	0,12	0,16	0,00	0,00	0,11	0,10	30,20	0,63	1764	1487
75.	α -акорадиен	0,21	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	30,40	0,99	1186	1464
76.	β -копаен	0,00	0,15	0,30	0,12	0,32	0,25	0,17	0,50	0,00	0,33	0,21	30,60	0,60	1541	1430
77.	β -иланген	0,00	0,13	0,14	0,00	0,00	0,25	0,16	0,16	0,00	0,00	0,08	30,80	1,56	1512	1419
78.	еџи-купенол	1,12	2,03	1,21	2,04	1,98	2,07	1,43	2,95	2,50	2,54	1,99	31,10	0,15	1692	1627
79.	β -куркумен	0,26	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,18	0,00	0,06	31,40	0,96	1186	1514
80.	шиобунол	0,65	0,78	0,75	2,14	0,74	2,79	4,10	0,53	3,02	3,40	1,89	31,50	1,14	1005	1688
81.	α -кадинен	0,81	0,33	0,16	0,00	0,49	0,30	0,21	0,00	0,00	0,16	0,25	31,80	1,05	1639	1537
82.	лонгипинокарвеол	0,12	0,76	0,40	0,38	0,00	1,57	0,11	0,63	0,19	0,17	0,43	32,00	0,66	1108	1108
83.	α -иланген	0,25	0,00	0,10	0,00	0,20	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,07	32,10	1,17	1241	1373
84.	додеканол	0,00	0,69	0,00	0,28	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	32,30	0,33	1434	1469
85.	каламанен	0,29	0,19	0,00	0,00	0,27	0,19	0,44	0,00	0,00	0,18	0,16	32,30	0,45	1300	1528
86.	кедрен-13-ол, 8-	1,07	0,00	0,45	0,00	0,00	0,65	0,00	0,77	0,00	0,00	0,29	32,30	0,63	1261	1688
87.	α -калакорен	0,00	0,17	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,16	0,07	32,50	1,56	1782	1544

88.	аромадендрен	2,92	4,31	2,46	3,98	5,31	4,02	3,03	4,34	4,10	6,46	4,09	33,00	1,20	1216	1439
89.	(Z,E)-2,13-октадекадиенол	0,00	0,26	0,47	0,00	0,00	0,24	0,60	0,34	0,00	0,23	0,21	33,10	0,69	1596	1596
90.	кариофилен оксид	0,00	0,64	0,85	0,39	0,63	0,35	2,72	0,33	0,60	0,54	0,71	33,60	1,02	1628	1582
91.	хененикосил формат	0,24	0,00	0,00	0,45	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00	0,90	0,26	33,90	0,54	1503	1503
92.	еикосан	0,00	3,51	0,00	0,21	0,00	4,56	0,00	0,00	2,77	0,38	1,14	34,20	0,72	1018	2000
93.	α -еудезмол	0,00	0,00	0,00	0,65	1,28	0,00	0,00	2,51	0,29	1,73	0,65	34,70	0,66	1800	1652
94.	α -акоренол	2,14	0,81	1,07	1,11	1,40	1,61	0,00	1,39	0,56	1,60	1,17	34,90	0,96	1108	1632
95.	α -санталол	1,36	1,19	1,77	0,00	0,00	2,15	0,00	3,54	0,00	1,25	1,13	35,00	1,44	1587	1674
96.	α -кадинол	1,97	0,40	0,00	0,62	0,46	1,38	2,58	0,00	0,35	0,73	0,85	35,30	1,38	1403	1652
97.	β -бисаболол	0,58	0,44	0,37	0,00	0,49	0,38	0,00	0,00	0,36	0,42	0,30	36,00	0,69	/	1674
98.	кадален	0,00	0,00	0,00	0,09	0,11	0,09	0,13	0,11	0,00	0,08	0,06	36,00	1,50	1900	1675
99.	октадеканол	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,04	36,10	1,05	/	2077
100.	азулен	0,54	0,45	0,77	0,23	0,51	0,41	0,48	0,00	0,37	0,44	0,42	36,20	0,93	1418	1298
101.	β -ватиренен	0,00	0,00	0,27	0,00	0,57	0,00	0,00	0,00	0,47	0,51	0,18	36,20	0,75	1554	1554
102.	α -бисаболол	0,59	0,53	0,40	0,00	0,54	0,43	0,51	0,51	0,45	0,95	0,49	36,30	0,60	1391	1685
103.	α -бисаболене	0,00	1,33	1,72	0,63	0,00	0,00	3,55	2,29	0,00	2,84	1,24	36,80	0,78	1094	1506
104.	акоренон	0,00	0,82	1,78	0,00	0,74	0,56	0,88	1,58	0,11	0,61	0,71	37,50	0,63	1529	1692
105.	циперен	0,00	0,91	0,56	0,00	0,00	0,63	0,86	0,75	0,00	0,72	0,44	38,10	1,05	/	1398
106.	1-хептатриакотанол	3,14	0,79	3,74	8,21	5,30	0,82	0,00	2,47	3,39	0,18	2,80	38,10	0,81	1078	1078
107.	хептакосанол	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,02	38,20	1,14	1465	1465
108.	тетрадеканоишна киселина	0,85	0,98	0,00	0,38	0,00	0,62	0,88	0,75	0,00	0,73	0,52	38,20	1,11	1288	1288
109.	мурола-3,5-диен	1,65	3,20	2,03	1,59	1,28	2,26	2,40	2,15	1,01	2,30	1,99	38,70	1,62	1219	1451
110.	β -гуаин	1,34	1,11	1,36	0,33	0,00	1,71	1,14	1,11	1,06	0,00	0,92	39,00	0,69	1008	1492
111.	лимонен-10-ол	9,67	0,00	3,28	8,72	6,72	2,51	1,31	0,07	14,70	1,13	4,81	39,90	0,69	1110	1288
112.	коримболол	0,00	0,00	1,98	0,54	1,88	1,33	1,70	0,00	1,76	0,00	0,92	40,00	0,66	1021	1021
113.	фитон	1,17	1,23	0,87	0,60	1,63	0,95	1,46	1,22	1,02	1,14	1,13	40,60	0,81	1484	1484
114.	фитол	2,18	2,07	2,19	3,62	2,81	2,58	3,21	2,48	2,90	4,11	2,82	40,80	1,05	1434	1942
115.	фарнесил ацетон	0,00	1,37	1,12	0,74	0,00	1,46	1,50	1,31	0,00	1,28	0,88	42,30	0,93	1364	1860
116.	хексадеканоишна киселина	3,02	4,71	1,26	2,73	3,77	4,82	5,21	2,70	2,78	4,12	3,51	42,60	1,23	1538	1959

117.	изофитол	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,30	1,32	1570	1946
118.	глицерил линолеат	0,00	1,94	1,02	0,85	0,00	2,03	2,23	0,09	0,00	1,67	0,98	46,40	0,96	1453	1453
119.	метил линолеат	2,00	1,73	1,51	1,22	2,22	1,78	0,00	1,58	0,00	1,64	1,37	46,60	1,17	1487	2095
120.	метил октадеканат	0,00	0,00	1,56	1,40	0,00	1,81	0,00	1,61	0,00	0,00	0,64	46,70	1,56	1607	2124
121.	тетракосан	0,00	6,33	4,29	5,61	3,62	0,00	3,53	5,08	3,02	4,28	3,58	51,50	1,26	1500	2400
122.	хенекосан	4,26	4,59	0,00	3,38	0,00	2,43	2,57	0,00	0,00	2,13	1,94	52,90	1,59	1642	2100
	Угљоводонични монотерпени	3,14	2,68	2,54	2,46	1,63	2,16	3,01	3,10	2,64	2,42	2,58				
	Монотерпени оксидовани	13,20	1,98	6,64	12,37	11,56	4,64	5,01	2,43	17,61	3,18	7,86				
	Укупни монотерпени	16,34	4,66	9,18	14,83	13,19	6,80	8,02	5,53	20,25	5,60	10,44				
	Угљоводонични сесквитерпени	11,65	13,77	11,59	8,38	9,99	12,15	16,50	15,56	9,20	17,18	12,60				
	Сесквитерпени оксидовани	13,14	8,67	13,48	8,47	10,60	15,27	14,03	15,49	11,31	15,55	12,601				
	Укупни сесквитерпени	24,79	22,44	25,07	16,85	20,59	27,42	30,53	31,05	20,51	32,73	25,198				
	Угљоводоници	6,57	18,20	5,74	9,73	4,66	7,58	8,41	5,49	6,58	7,40	8,036				
	Алкохоли	5,41	3,81	6,40	12,13	8,98	3,66	4,01	5,29	6,31	4,69	6,069				
	Естри	0,93	0,35	0,34	0,72	0,35	1,33	0,32	0,18	0,33	1,06	0,591				
	Масне киселине	5,95	9,43	5,56	6,71	6,06	11,18	8,44	6,87	2,86	8,27	7,133				
	Јонони	0,32	0,22	0,09	0,17	0,27	0,21	0,27	0,10	0,10	0,19	0,194				
	Кетони	0,26	0,23	0,07	0,22	0,14	0,08	0,22	0,12	0,22	0,17	0,173				
	Принос % (V/m)	0,35	0,08	0,36	0,20	0,18	0,22	0,23	0,37	0,18	0,20	0,24				

P1 (ретенционо време на првој колони), P2 (ретенционо време на другој колони), ЛРИ (литературни ретенциони индекс), ЛРИ Adams (литературни ретенциони индекс по Adams (2007)).

* Вредности представљају % релативне заступљености једног пика упоређеног са запремином свих пикова хроматограма

**Приказ просечних вредности % релативне заступљености једног пика упоређеног са запремином свих пикова хроматограма: 0.00% – одсутно једињење, <0.1% – једињење у траговима

***Подебљане вредности у колони указују на већи проценат једињења у узорцима са серпентинитске подлоге у поређењу са узорцима са кречњачке подлоге

На основу просечних вредности релативне заступљености приказаних у Табели 6, показано је да су једињења са највећом релативном заступљеношћу сесквитерпени са 34,89% од чега оксидованим сесквитерпенима припада 17,50% а угљоводоничним сесквитерпенима 17,39%. Затим следе угљоводоници са 27,64%, масне киселине 16,08%, алкохоли са 15,20%, монотерпени са 13,76% од чега оксидованим монотерпенима припада 9,90% а угљоводоничним монотерпенима 3,86%. Процентуално су најмање заступљени естри 1,77%, кетони са 1,22% и јонони са 0,30%. Поређењем узорака са кречњачких и серпентинитских станишта примећено је да узорци са серпентинита имају два пута већу релативну заступљеност моно- и сесквитерпена за разлику од узорака са кречњака. Једињења као што су јонони су више заступљена у серпентинитским узорцима. Узорци са кречњака имају више од два пута већу релативну заступљеност угљоводоничних једињења и нешто мање од два пута већу релативну заступљеност алкохола и естера.

Процентуално најзаступљенија једињења у узорцима врсте *T. montanum* била су тетракосан (6,30%), хексадеканоишна киселина (4,05%), фитол (3,82) и еикосан (3,27%). Једињење са највећом релативном заступљеношћу из групе угљоводоничних монотерпена је β -пинен (0,71%). Међу оксидованим монотерпенима једињење са највећом релативном заступљеношћу било је лимонен-10-ол (5,26%). Једињење са највећом релативном заступљеношћу међу угљоводоничним сесквитерпенима било је аромадендрен (5,74%), док је епи-кубенол (2,66%) најзаступљенији од свих оксидованих сесквитерпена. Од угљоводоничних једињења, са највећом релативном заступљеношћу издвојио се тетракосан (12,60%). Међу алкохолима је био фитол (7,65%), међу естрима хенеикосил формат (1,34%), међу масним киселинама хексадеканоишна киселина (8,10%), међу јононима β -јонон (0,16%) и међу кетонима фарнесил ацетон (1,82%).

У узорцима са кречњака, процентуално најзаступљеније једињење међу свим угљоводоничним монотерпенима било је β -пинен (0,32%), међу оксидованим монотерпенима мента-1(7),8-диен-2-ол (0,18%). Међу угљоводоничним сесквитерпенима, најзаступљенији је био аромадендрен (1,65%), међу оксидованим сесквитерпенима епи-кубенол (0,67%), међу угљоводоничним тетракосан (9,02%), међу алкохолима фитол (4,73%), међу естрима хенеикосил формат (1,08%), међу масним киселинама хексадеканоишна киселина (4,59%), међу јононима β -јонон (0,06%) и међу кетонима фарнесил ацетон (0,94%).

У узорцима са серпентинита, процентуално најзаступљеније једињење међу свим угљоводоничним монотерпенима било је карен (0,53%), међу оксидованим монотерпенима лимонен-10-ол (4,81%), међу угљоводоничним сесквитерпенима аромадендрен (4,09%), међу оксидованим сесквитерпенима епи-кубенол (1,99%), међу угљоводоничним тетракосан (3,58%), међу алкохолима фитол (2,82%), међу естрима хенеикосил формат (0,26%), међу масним киселинама хексадеканоишна киселина (3,51%), међу јононима β -јонон (0,06%) и међу кетонима фарнесил ацетон (0,88%).

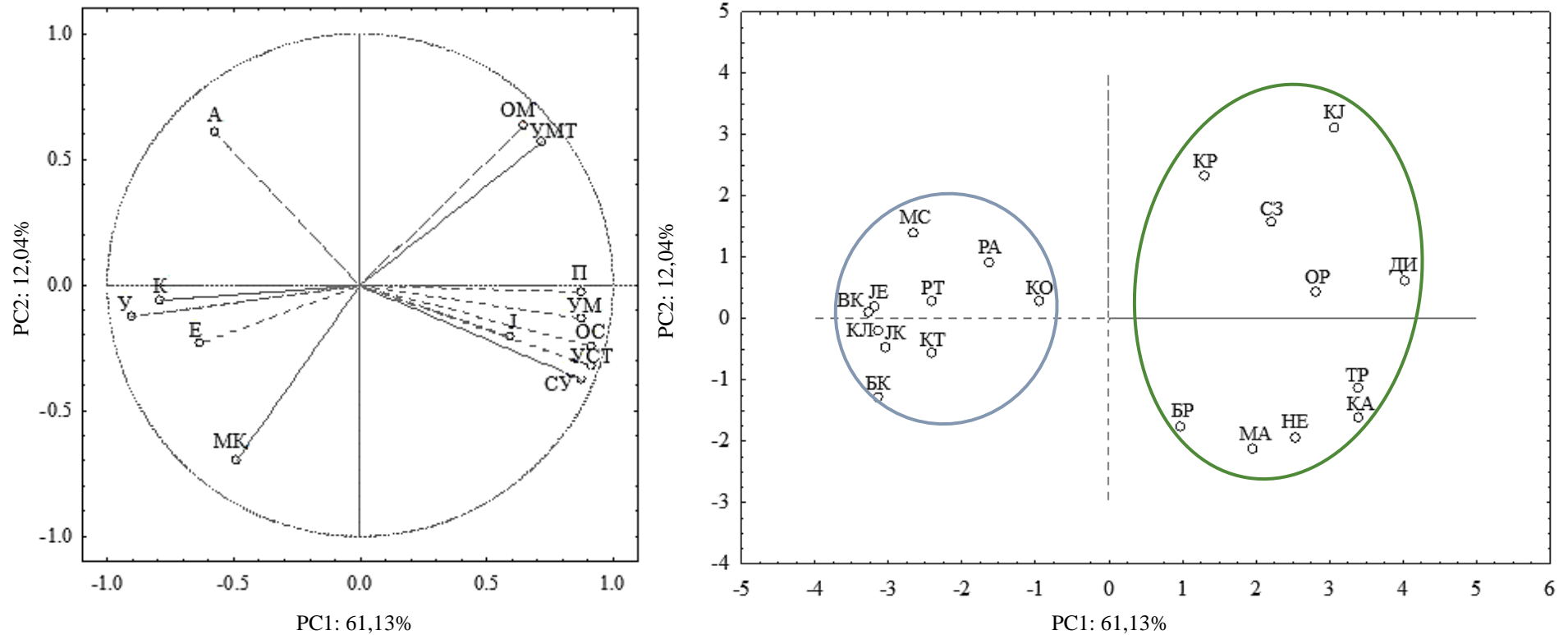
Једињења која су идентификована само у узорцима са кречњака су: додекан (угљоводоник) и изофитол (алкохол). Једињења која су детектована само у узорцима са серпентинита су: 3-карен-2-ол (оксидовани монотерпен), карвон оксид (оксидовани монотерпен) и пиронен (угљоводонични монотерпен).

4.4.1. Приказ анализе главних компоненти састава етарског уља врсте *Teucrium montanum*

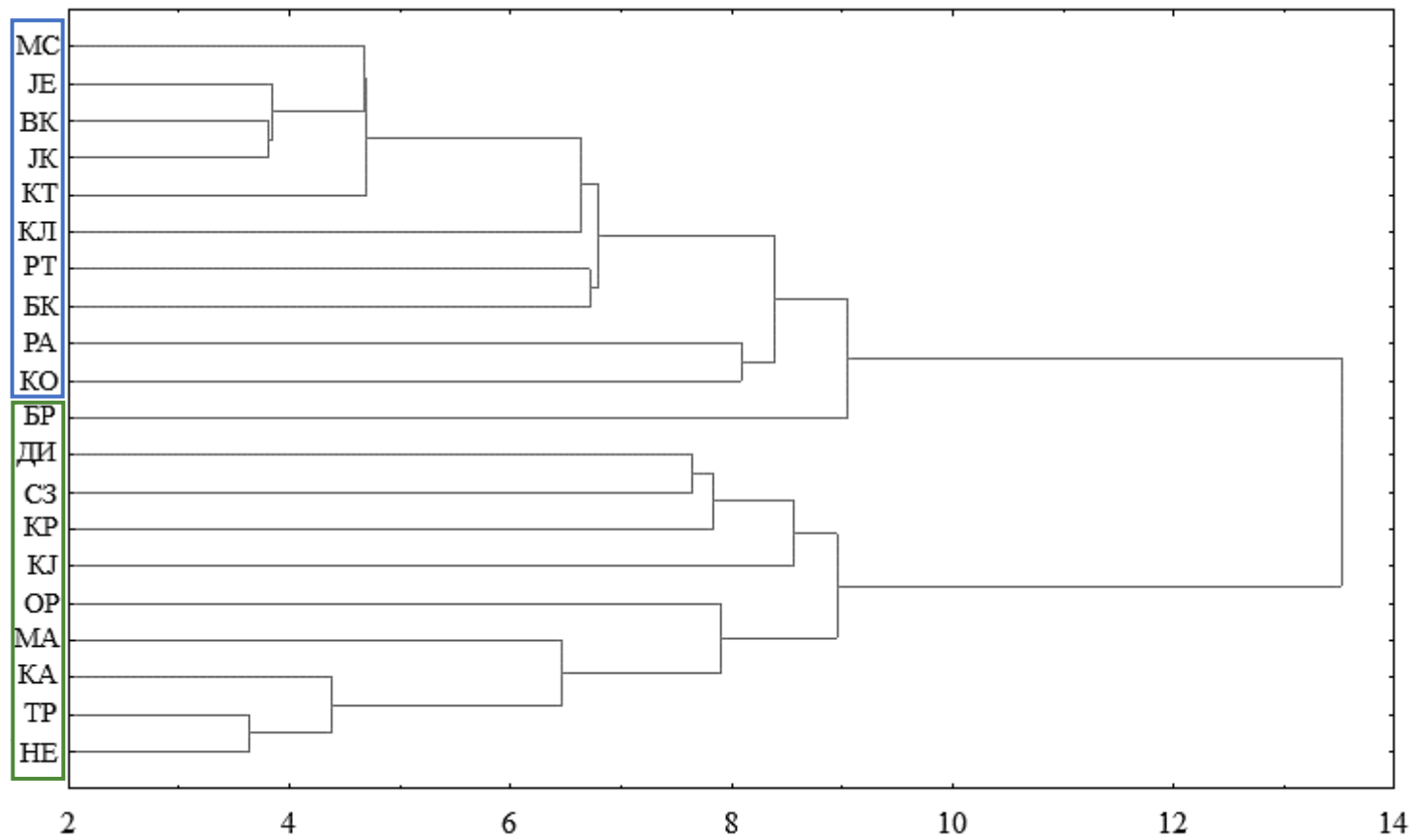
Резултати анализе главних компоненти састава етарског уља у узорцима врсте *T. montanum* са кречњачких и серпентинитских станишта приказани су на Графикону 46а и 46б. Прве две РС осе су претпостављене са укупном варијацијом од 74,84%. Квантитативни састав моно- и сесквитерпена има значајну везу у узорцима етарског уља (Графикон 46а). Фактори оптерећења за ОС (0,919), ТС (0,918), Ј (0,877), ХМ (0,876), ХС (0,874), ТМ (0,722) и ОМ (0,647) у узорцима етарског уља имају јаке позитивне вредности, док су Х (-0,905) и К (-0,792) имале јаке негативне вредности. За РС1 концентрација ОС (0,919), ТС (0,918) је имала највећа оптерећења у узорцима етарског уља.

Такође, РС осе раздвајају тип станишта у зависности од релативне заступљености етарског уља врсте *T. montanum* (Графикон 46б). Заједно са главном компонентом (1 и 2), осе су показале да се кречњачки локалитети разликују од серпентинитских. Популације биљака са серпентинитских станишта се разликују према високим вредностима ТС, ОС, ХС, ТМ, ОМ и Ј, док се популације са кречњачких станишта разликују по високим вредностима К, Х и Е. Укупни Ј, ХМ, ОС, ТС и ХС су једињења која доприносе највећој варијабилности међу популацијама.

На основу релативног процента заступљености свих идентификованих једињења у етарском уљу, популације *T. montanum* су груписане у две групе (Графикон 47). Прва групу чине популације са кречњачких станишта, док другу групу чине популације са серпентинитских станишта са изузетком за локалитет Брђанска клисура. У првој групи, најјача веза је примећена између кречњачких популација Велики крш (ВК), Јелашничка клисура (ЈК), Жежевац (ЈЕ), које су веома удаљене, али су повезане сличним еколошким факторима карактеристичним за планинске регионе у источном делу Србије. У другој групи најјача веза је примећена између серпентинитних популација Трнава (ТР) и Неготинац (НЕ) чије груписање може бити повезано са просторном расподелом популација јер се исте налазе у југозападној Србији.



Графикон 46. Анализа главних компоненти (PCA) на основу укупних вредности главних група једињења у етарком уљу врсте *T. montanum*. (а). УМ (монотерпени угљоводонични); ОМ (оксидовани монотерпени); УМТ (укупни монотерпени); СУ (сесквитерпени угљоводонични); ОС (оксидовани сесквитерпени); УСТ (укупни сесквитерпени); У (угљоводоници); А (алкохоли); Е (естри); МК (масне киселине); Ј (јонони); К (кетони); П (принос). (б) PCA у односу на заступљеност различитих група једињења у етарком уљу. Кречњачка подлога (плава елипса), серпентинитска подлога (зелена елипса).



Графикон 47. Кластер приказа раздвајања локалитета у односу на заступљеност различитих група јдињења у етарком уљу. Кречњачка подлога (плави правоугаоник), серпентинитска подлога (зелени правоугаоник).

4.5. Утицај геолошке подлоге на варирање величине, облика и асиметрије код крунице, листа и стабла врсте *Teucrium montanum*

Средње вредности величине центроида (CS) за испитиване биљне органе су приказани у Табели 10. Применом једнофакторске анализе варијансе потврђено је да постоји значајна статистичка разлика између просечне величине центроида за лист и стабло, док није уочена статистички значајна разлика за величину центроида крунице (Табела 11). Применом Tukey post hoc теста утврђено је да постоје статистички значајне разлике у величини између листа и стабла са кречњака и серпентинита, док не постоји статистички значајна разлика између величине крунице између наведених типова станишта (Табела 12).

Табела 10. Дескриптивна статистика за испитиване биљне органе врсте *T. montanum*.

CS	Величина узорка	Средња вредност	Минималне вредности	Максималне вредности	Стандардна девијација	Стандардна грешка
Цвет	800	359,458	249,903	463,804	39,690	1,403
Лист	1200	339,533	174,143	618,234	83,315	2,405
Стабло	1200	190,603	104,637	340,391	37,156	1,073

Табела 11. Анализа варијансе (ANOVA) за величину центроида крунице, листа и стабла врсте *T. montanum*. df – степен слободе, MS – средња вредност суме квадрата, *F* – вредност *F* теста, *P* – ниво статистичке значајности.

Извор варирања	df	MS	<i>F</i>	<i>P</i>
<i>Круница</i>				
Геолошка подлога	1	0,020	2	0,170
Грешка	798	0,010		
<i>Лист</i>				
Геолошка подлога	1	17,960	396,0	<0,0001
Грешка	1198	0,050		
<i>Стабло</i>				
Геолошка подлога	1	5,100	155,6	<0,0001
Грешка	1198	0,030		

Табела 12. Разлике у средњим вредностима величине центроида испитиваних органа врсте *T. montanum* у односу на тип подлоге добијене Tukey тестом. Статистички значајне разлике су ($P \leq 0.05$) су означене подељаним фонтом.

	df	MS	Кречњак	Серпентинит	<i>P</i>
<i>Круница</i>	798	0,013	5,884	5,873	0,169
<i>Лист</i>	1198	0,045	5,908	5,662	<0,0001
<i>Стабло</i>	1198	0,033	5,291	5,160	<0,0001

4.6. Варирање облика биљних органа врсте *Teucrium montanum*

Варирање облика репродуктивних и вегетативних органа у популацијама врсте *T. montanum* на стаништима са кречњачком и серпентинитском геолошком подлогом процењено је анализом главних компоненти (РСА). На основу добијених резултата показано је да се највећи проценат варирања облика може описати са прве три РС осе за анализирани биљне органе.

4.6.1. Симетрична компонента варирања облика крунице

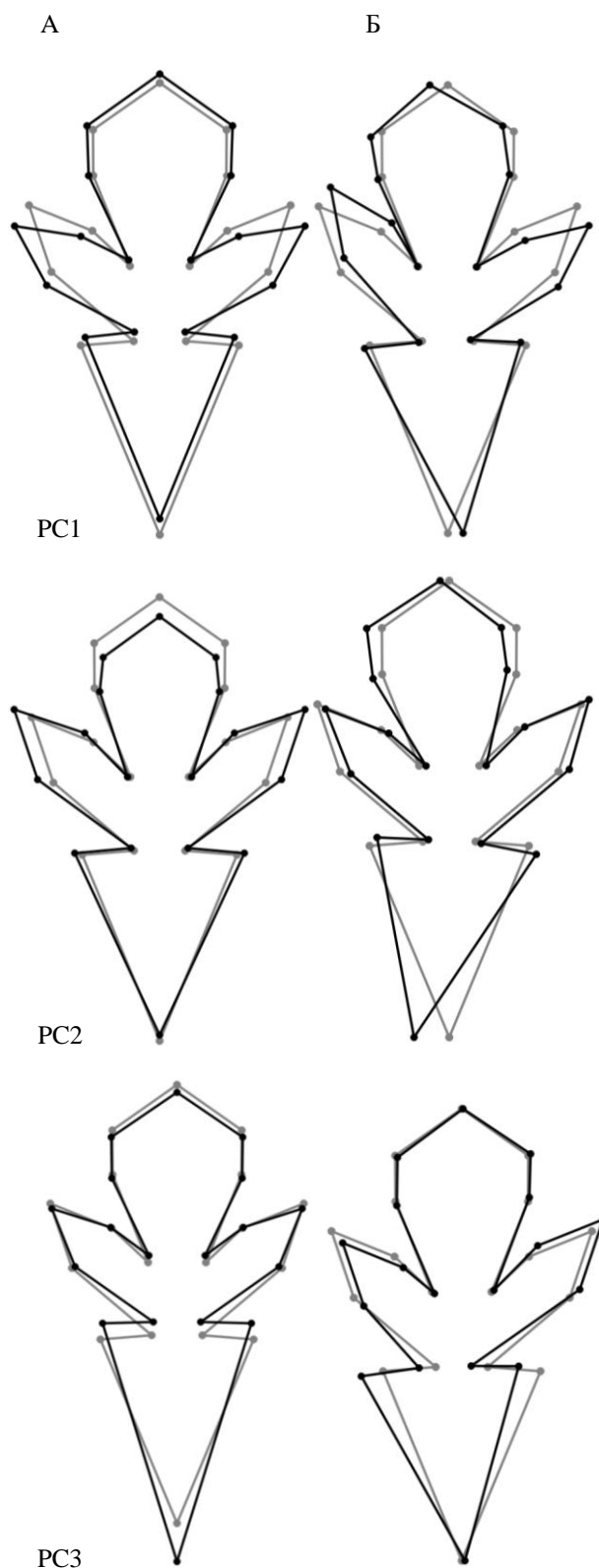
Прва РС оса описује 25,3% варирања облика крунице (Табела 13). Промене у облику крунице описане првом РС осом односе се на ширење средњег и бочних режњева доње усне и издуживање горњих режњева горње усне у позитивном делу осе (Слика 24а). Друга РС оса описује 19,4% варирања облика крунице. Промене у облику крунице описане другом РС осом односе се на сужавање средњег и бочних режњева доње усне у позитивном смеру и ширењем и издуживањем горњих режњева горње усне у позитивном смеру РС осе (Слика 24а). Трећа РС оса описује 13,2% варирања облика крунице. Промене у облику крунице описане трећом РС осом односе се на скраћивање средњег режња доње усне, сужавање бочних делова горњих режњева горње усне и ширењем базе крунице у позитивном смеру осе (Слика 24а).

4.6.2. Асиметрична компонента варирања облика крунице

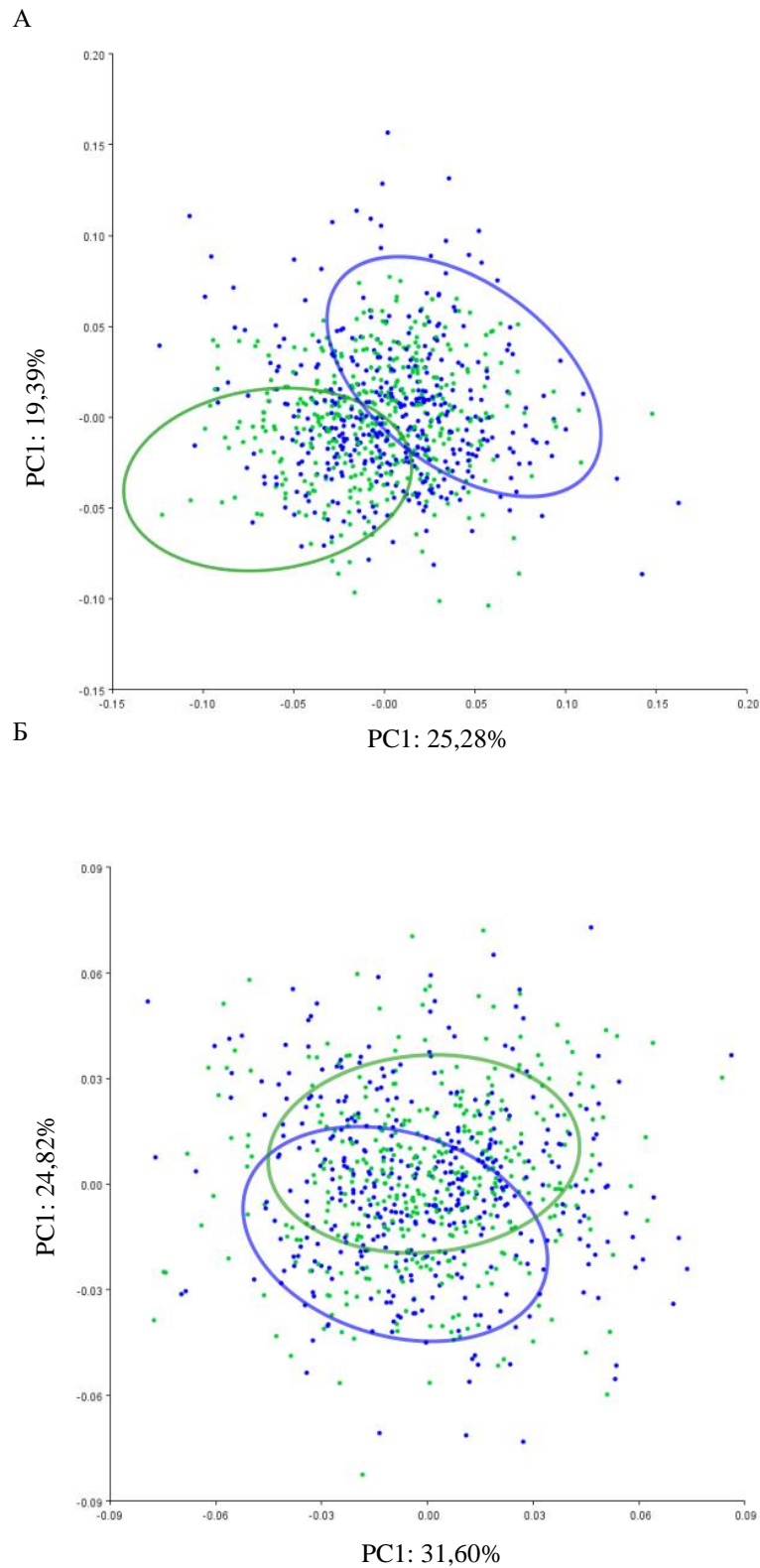
Прва РС оса описује 31,6% варирања облика крунице (Табела 13). Промене у облику крунице описане првом РС осом односе се на благо нагињање средњег и бочних режњева доње усне на леву, односно нагињање горњих режњева горње усне и базе крунице на десну страну у позитивном смеру РС осе (Слика 24б). Друга РС оса описује 24,8% варирања облика. Промене се односе на благо повијање средњег, бочних режњева доње усне и базе крунице на леву страну, као и издуживање десне стране горњих режњева горње усне и скраћивање леве стране горњих режњева горње усне у позитивном смеру РС осе (Слика 24б). Трећа РС оса описује 7,9% варирања облика. Промене се односе на нагињање базе крунице на леву страну, као и издуживање и сужавање десне стране горњих режњева горње усне и скраћивање и ширење леве стране горњих режњева горње усне у позитивном смеру РС осе (Слика 24б).

Табела 13. Анализа главних компоненти (РСА) за симетричну и асиметричну варијансу крунице.

	Симетрична компонента			Асиметрична компонента		
	Сопствени вектор (10^{-5})	% Варирања	% Кумулативно	Сопствени вектор (10^{-5})	% Варирања	% Кумулативно
РС ₁	164,058	25,283	25,283	72,566	31,600	31,600
РС ₂	125,839	19,393	44,676	57,005	24,823	56,423
РС ₃	85,848	13,230	57,906	18,281	7,961	64,384
РС ₄	74,605	11,497	69,403	14,308	6,231	70,614
РС ₅	39,971	6,160	75,563	10,056	4,379	74,994
РС ₆	32,148	4,954	80,518	8,852	3,855	78,848
РС ₇	27,859	4,293	84,811	8,127	3,539	82,387
РС ₈	21,654	3,337	88,148	6,662	2,901	85,288
РС ₉	16,933	2,610	90,758	6,436	2,802	88,091
РС _{10...}	13,502	2,081	92,838	5,907	2,572	90,663
РС ₁₆	4,478	0,690	100,000	1,790	0,779	100,000
Укупна варијанса (10^{-5})		648,888			229,642	



Слика 23. Промене облика крунице *T. montanum* описане главним компонентама (PC). А – Образац варирања облика крунице симетричне компоненте. Б - Образац варирања облика крунице асиметричне компоненте. Представљени су дијаграми три главне компоненте (PC1-PC3). Промена облика у позитивном правцу приказана је пуном црном линијом са испуњеним круговима, док је промена у негативном правцу приказана пуном сивом линијом са испуњеним круговима.



Графикон 48. Утицај подлоге на диференцијацију облика крунице *T. montanum* са кречњачких (плава елипса) и серпентинитских станишта (зелена елипса). Приказане су 95% елипсе поверења за просечне вредности на симетричне (А) и асиметричне (Б) компоненте варирања облика крунице.

4.6.3. Симетрична компонента варирања облика листа

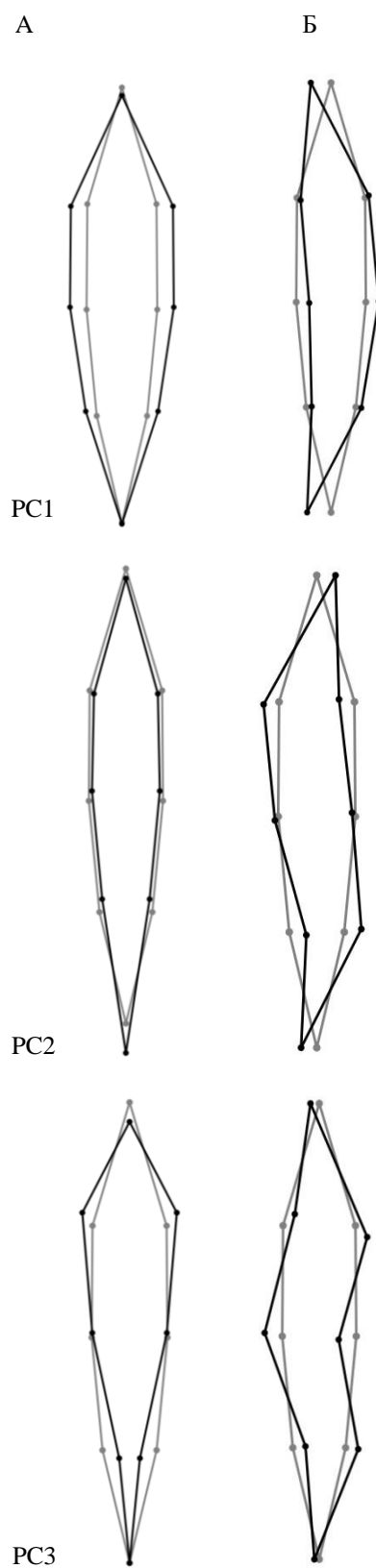
Прва РС осе описује 65,5% варирања облика листа (Табела 14). Промене у облику листа описане првом РС осом односе се на ширење горње и доње половине, као и скраћивање горње половине у позитивном смеру (Слика 25а). Друга РС оса описује 13,2% варирања облика листа. Промене у облику листа описане другом РС осом односе се на сужавање горње и доње половине листа, као и на издуживање доње половине и скраћивање горње половине листа у позитивном смеру (Слика 25а). Трећа РС оса описује 9,6% варирања облика листа. Промене у облику листа описане трећом РС осом односе се на ширење и скраћивање горње половине и на сужавање доње половине листа у позитивном смеру РС осе (Слика 25а).

4.6.4. Асиметрична компонента варирања облика листа

Прва РС оса описује 85,9% варирања облика листа (Табела 14). Промене у облику листа описане првом РС осом односе се на нагињање горње и доње половине листа у леву страну, и средишњег дела на десну страну у позитивном смеру РС осе (Слика 25б). Друга РС оса описује 7,9% варирања облика. Промене се односе на нагињање горње половине на десну страну и доње половине на леву страну, као и нагињање средње половине горњег дела на леву и средње половине доњег дела на десну страну у позитивном смеру РС осе (Слика 25б). Трећа РС оса описује 2,8% варирања облика. Промене се односе на нагињање горњег, средњег и доњег дела на леву страну, као и нагињање средњих половина доњег и горњег дела на десну страну у позитивном смеру РС осе (Слика 25б).

Табела 14. Анализа главних компоненти (РСА) за симетричну и асиметричну варијансу листова.

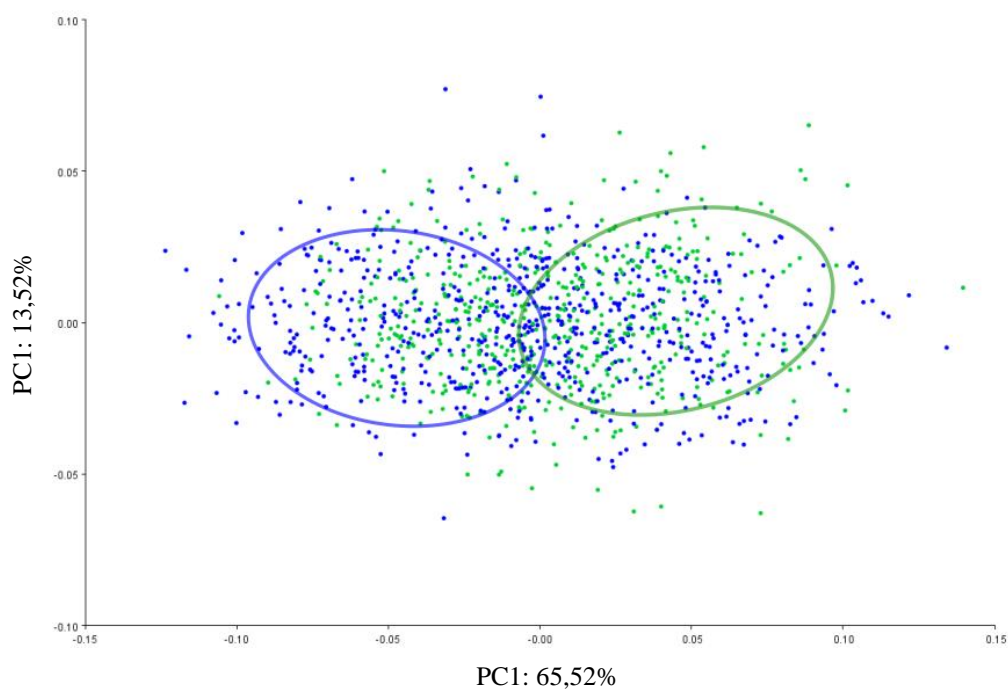
	Симетрична компонента			Асиметрична компонента		
	Сопствени вектор (10^{-5})	% Варирања	% Кумулативно	Сопствени вектор (10^{-5})	% Варирања	% Кумулативно
РС ₁	204,603	65,520	65,520	148,909	85,863	85,863
РС ₂	41,236	13,205	78,726	13,829	7,974	93,836
РС ₃	30,125	9,647	88,372	4,788	2,761	96,598
РС ₄	20,102	6,437	94,810	3,051	1,759	98,357
РС ₅	10,254	3,284	98,093	1,681	0,969	99,326
РС ₆	5,954	1,907	100,000	1,168	0,674	100,000
Укупна варијанса (10^{-5})		312,274			173,427	



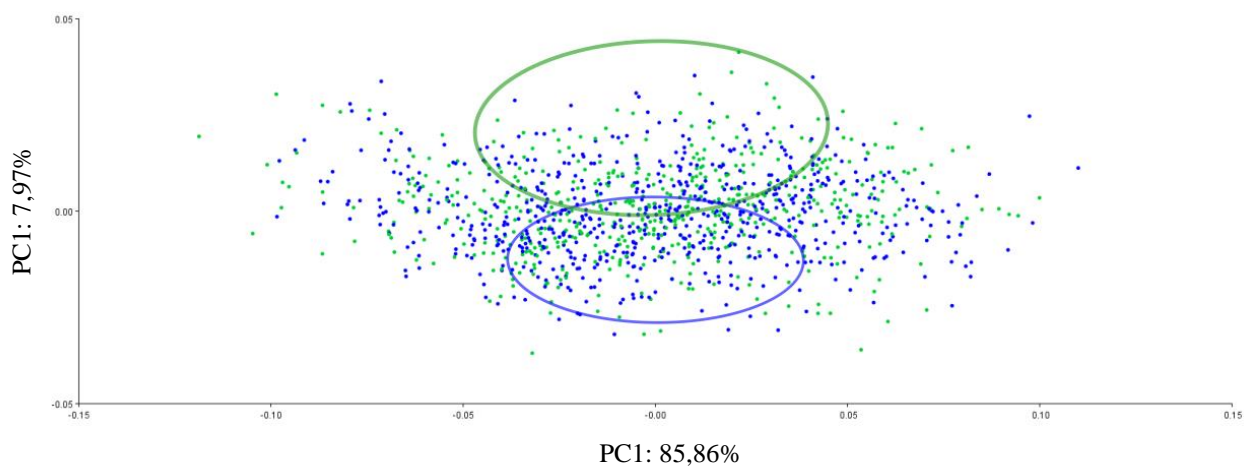
Слика 24. Промене облика листа *T. montanum* описане главним компонентама (PC). А – Образац варирања облика листа симетричне компоненте. Б - Образац варирања облика листа асиметричне компоненте. Представљени су дијаграми три главне компоненте (PC1-PC3). Промена облика у

позитивном правцу приказана је пуном црном линијом са испуњеним круговима, док је промена у негативном правцу приказана пуном сивом линијом са испуњеним круговима.

А



Б



Графикон 49. Утицај подлоге на диференцијацију облика листа *T. montanum* са кречњачких (плава елипса) и серпентинитских станишта (зелена елипса). Приказане су 95% елипсе поверења за просечне вредности на симетричне (А) и асиметричне (Б) компоненте варирања облика крунице.

4.6.5. Симетрична компонента варирања облика стабла

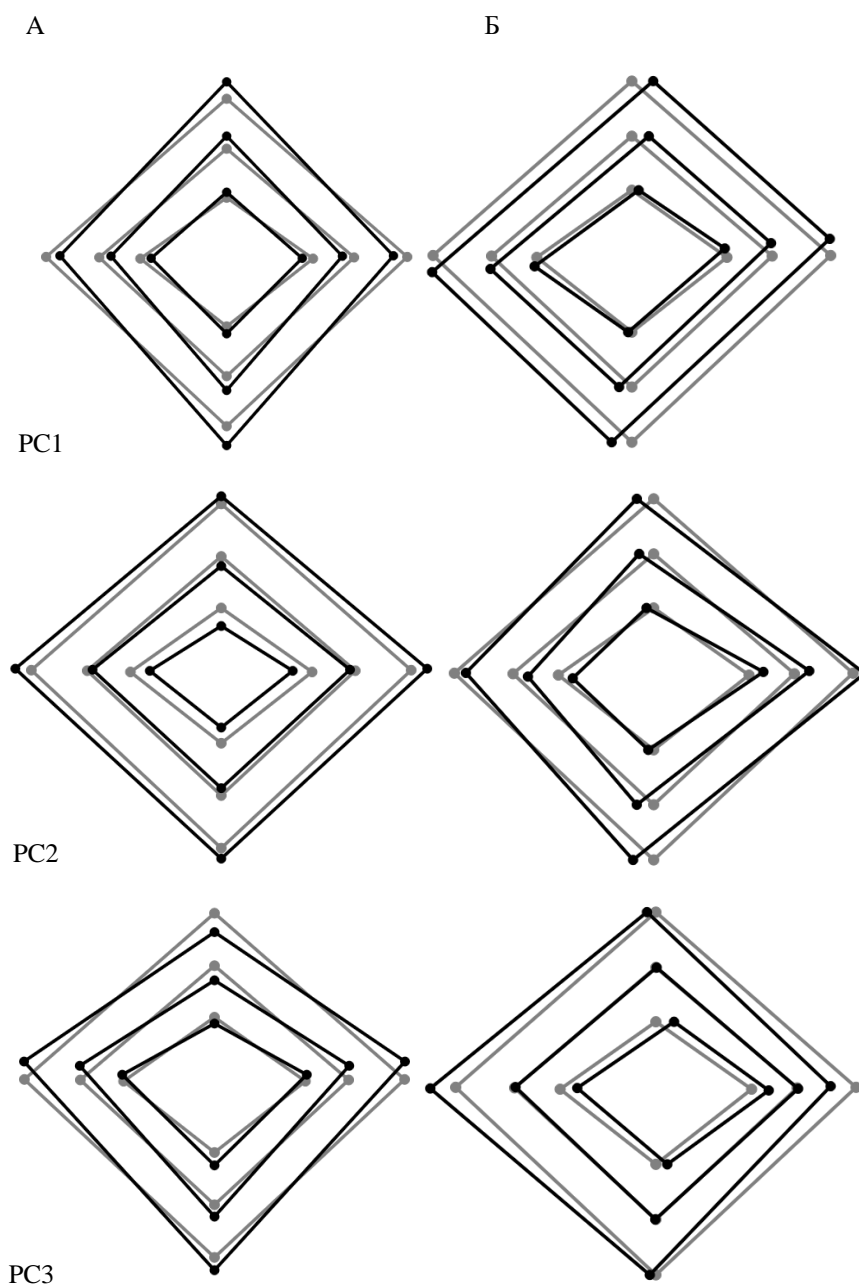
Прве РС оса описује 42,8% варирања облика стабла (Табела 15). Промене у облику стабла описане првом РС осом односе се на издуживање горње и доње половине кутикуларних, флоемских и ксилемских елемената, као и сужавање средишњег дела наведених елемената у позитивном смеру РС осе (Слика 26а). Друга РС оса описује 26,2% варирања облика стабла. Промене у облику стабла описане другом РС осом односе се на издуживање кутикуларних елемената у доњем, средњем и горњем делу, као и сужавање флоемских и ксилемских елемената у горњем, доњем и средњем делу у позитивном смеру РС осе (Слика 26а). Трећа РС оса описује 11,1% варирања облика стабла. Промене у облику стабла описане трећом РС осом односе се на сужавање горње половине кутикуларних, флоемских и ксилемских елемената, на ширење доње половине наведених елемената, ако и нагињање свих елемената ка горњој половини у позитивном смеру РС осе (Слика 26а).

4.6.6. Асиметрична компонента варирања облика стабла

Прва РС оса описује 40,1% варирања облика стабла (Табела 15). Промене у облику стабла описане првом РС осом односе се на нагињање горње половине кутикуларних, флоемских и ксилемских елемената у десну страну и нагињање доње половине наведених елемената у леву страну, као и померање десне стране средишњег дела на горе и леве стране на горе у позитивном смеру РС осе (Слика 26б). Друга РС оса описује 23,9% варирања облика. Промене се односе на нагињање свих испитиваних елемената горње и доње половине на леву страну, као и издуживање и сужавање средишњег дела на десну страну у позитивном смеру РС осе (Слика 26бж). Трећа РС оса описује 11,0% варирања облика. Промене се односе на издуживање горњег, средњег и доњег дела кутикуларних елемената и сужавањем истог на леву страну у позитивном смеру РС осе. Поред наведене промене, учача се померање свих делова ксилемског елемента у десну страну у позитивном смеру РС осе (Слика 26б).

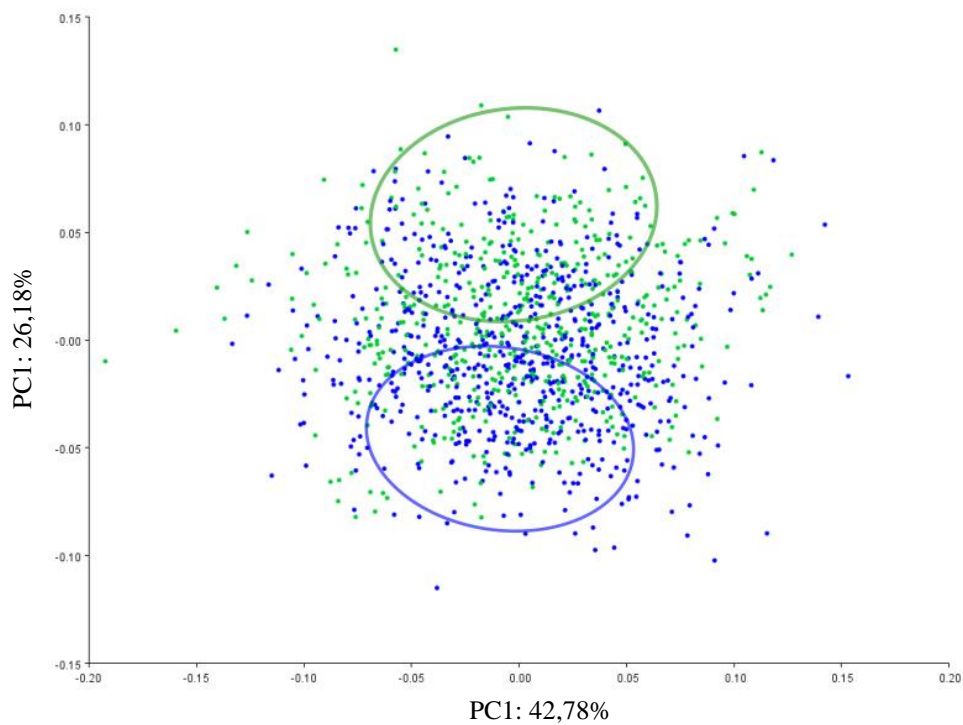
Табела 15. Анализа главних компоненти (РСА) за симетричну и асиметричну варијансу стабла.

	Симетрична компонента			Асиметрична компонента		
	Сопствени вектор (10^{-5})	% Варирања	% Кумулативно	Сопствени вектор (10^{-5})	% Варирања	% Кумулативно
РС ₁	225,606	42,780	42,780	90,623	40,116	40,116
РС ₂	138,066	26,180	68,960	54,048	23,925	64,042
РС ₃	58,459	11,085	80,045	24,903	11,024	75,065
РС ₄	29,249	5,546	85,592	13,325	5,898	80,964
РС ₅	27,056	5,130	90,722	11,895	5,266	86,229
РС ₆	16,673	3,162	93,884	10,485	4,641	90,871
РС ₇	10,422	1,976	95,860	7,339	3,249	94,119
РС ₈	10,127	1,920	97,780	4,992	2,210	96,329
РС ₉	7,676	1,455	99,235	4,543	2,011	98,340
РС ₁₀	4,032	0,765	100,000	3,750	1,660	100,000
Укупна варијанса (10^{-5})		527,366			225,903	

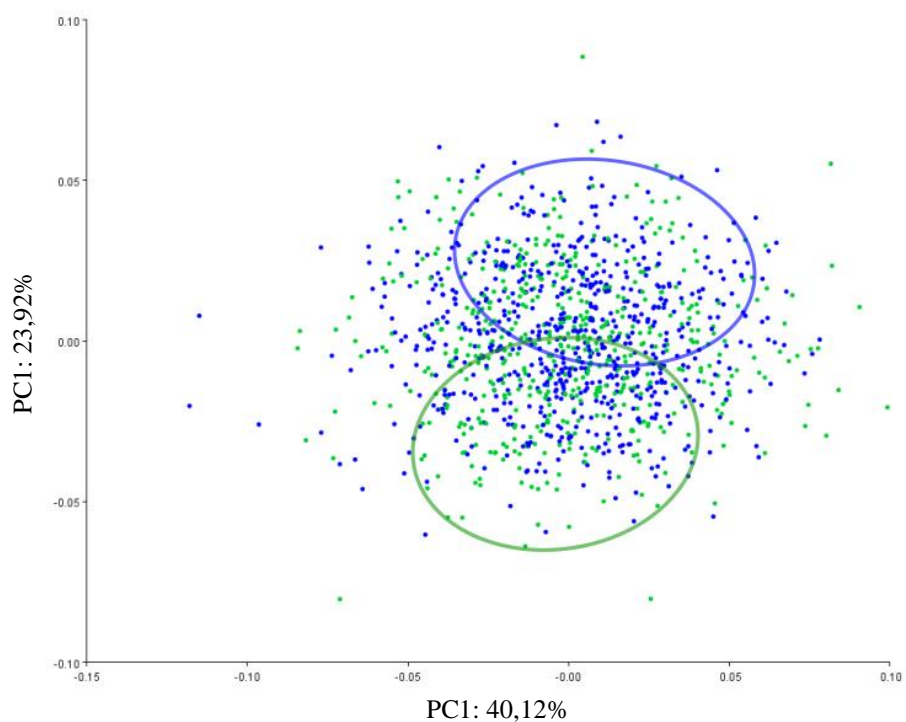


Слика 25. Промене облика стабла *T. montanum* описане главним компонентама (PC). А – Образац варирања облика стабла симетричне компоненте. Б – Образац варирања облика стабла асиметричне компоненте. Представљени су дијаграми три главне компоненте (PC1-PC3). Промена облика у позитивном правцу приказана је пуном црном линијом са испуњеним круговима, док је промена у негативном правцу приказана пуном сивом линијом са испуњеним круговима.

А



Б



Графикон 50. Утицај подлоге на диференцијацију облика стабла *T. montanum* са кречњачких (плава елипса) и серпентинитских станишта (зелена елипса). Приказане су 95% елипсе поверења за просечне вредности на симетричне (А) и асиметричне (Б) компоненте варирања облика крунице.

4.7. Обрасци варирања облика биљних органа код *Teucrium montanum*

Обрасци варирања облика крунице за симетричну и асиметричну компоненту приказани су на Графикону 48. Оно што је карактеристично за обе компоненте варирања облика јесте да се елипсе поверења за симетричну компоненту малим делом преклапају (Графикон 48а), док је за асиметричну компоненту преклапање елипси доста израженије (Графикон 48б). Пермутационим тестом утврђена је статистички значајна разлика између облика крунице за симетричну ($P < 0,0001$) и асиметричну компоненту ($P < 0,0001$).

Обрасци варирања облика листова за симетричну и асиметричну компоненту приказани су на Графикону 49. Елипсе поверења се за симетричну компоненту делимично преклапају (Графикон 49а), док је за асиметричну компоненту израженије (Графикон 50б). Пермутационим тестом утврђена је статистички значајна разлика између облика листова за симетричну компоненту ($P < 0,0001$) врсте *T. montanum* у односу на тип станишта, док за асиметричну компоненту нема значајне разлике ($P = 0,5630$).

Обрасци варирања облика стабла за симетричну и асиметричну компоненту приказани су на Графикону 50. Оно што је карактеристично за обе компоненте варирања облика јесте да су елипсе поверења за симетричну компоненту у потпуности одвојене (Графикон 50а), док се за асиметричну компоненту незнатно додирују (Графикон 50б). Пермутационим тестом утврђена је статистички значајна разлика између облика стабла за симетричну компоненту ($P < 0,0001$), док за асиметричну компоненту нема значајне разлике ($P = 0,1200$) у односу на тип станишта.

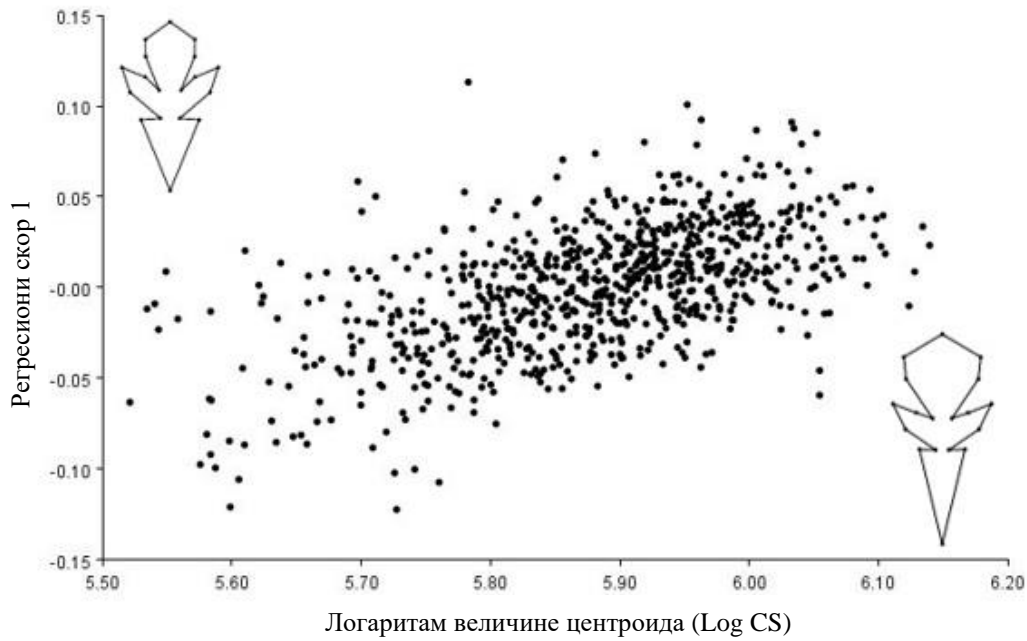
4.8. Алометрија биљних органа код *Teucrium montanum*

Статистички значајан утицај алометрије утврђен је за симетричну компоненту сва три анализирани биљна органа ($P < 0,01$). Удео алометрије у варирању симетричних компоненти облика крунице је био 5,83%, листа 0,38% и попречног пресека стабла 6,14% (Табела 16).

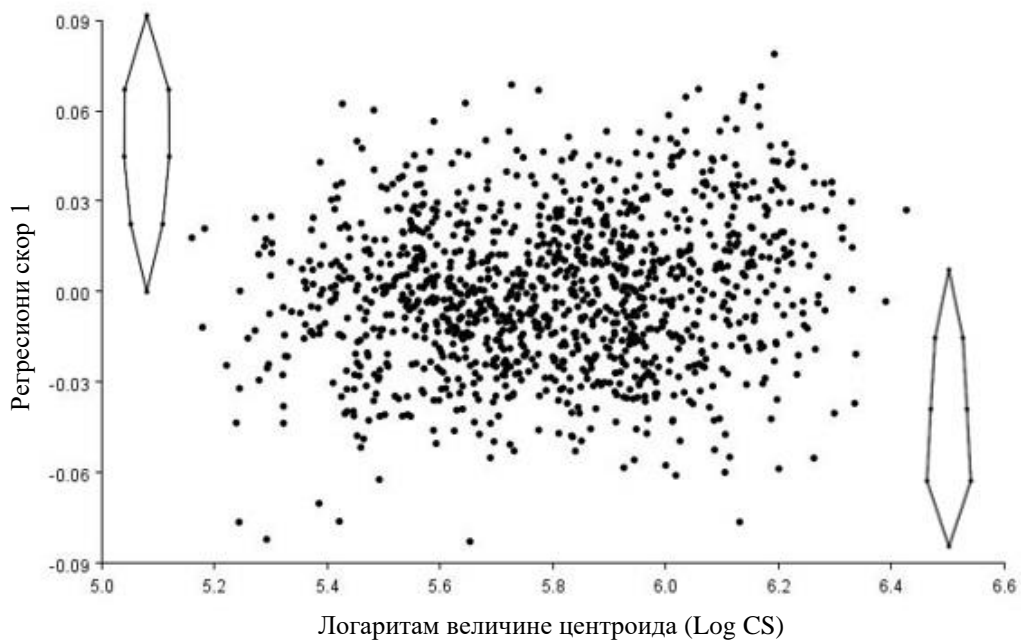
Табела 16. Мултиваријантна регресија варијабли облика на величину центроида испитиваних биљних органа врсте *T. montanum*. % - проценат варирања облика завистан од варирања величине, P – ниво статистичке значајности.

		%	P
Цвет	Симетрична	5,829	<0,0001
	Асиметрична	0,394	0,009
Лист	Симетрична	0,382	0,010
	Асиметрична	0,075	0,349
Стабло	Симетрична	6,136	<0,0001
	Асиметрична	0,153	0,111

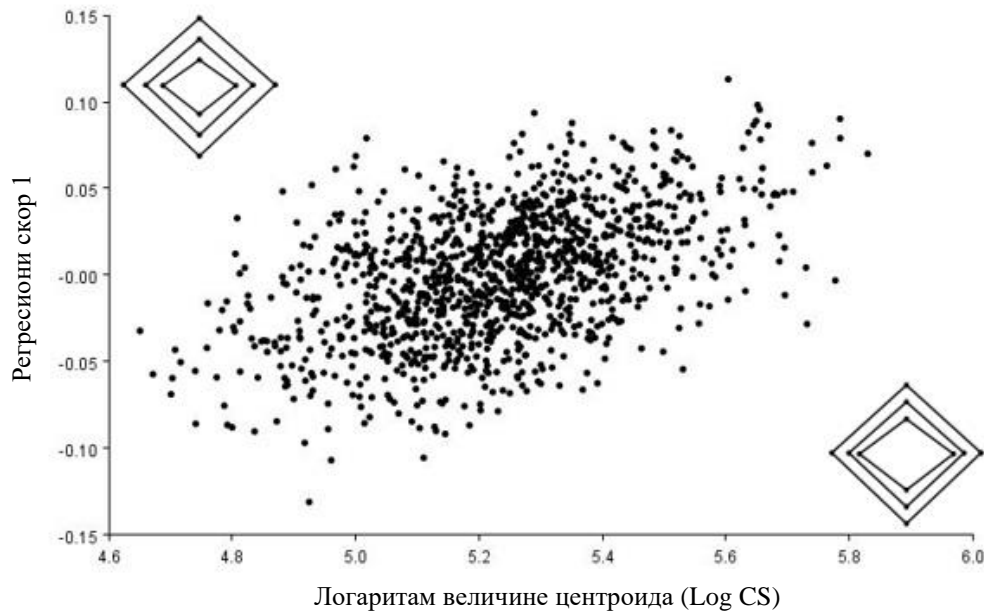
Утицај алометрије на промену облика крунице могао се уочити као проширивање средњег режња и сужавање базе крунице (Графикон 51). Код листа је са повећањем величине долазило до сужавања горње половине листа и ширењем доње половине листа (Графикон 52). Код попречног пресека стабла са повећањем величине долазило је до ширења ксилемског елемента у свим правцима (Графикон 53).



Графикон 51. Мултиваријантна регресија варијабли облика на величину центроида (CS) код крунице *T. montanum*. Представљени су скатер дијаграми регресионих скорова у оквиру којих се налазе модели облика крунице са максималном вредношћу (доњи десни угао) и са минималном вредношћу CS (горњи леви угао)



Графикон 52. Мултиваријантна регресија варијабли облика на величину центроида (CS) код листа *T. montanum*. Представљени су скатер дијаграми регресионих скорова у оквиру којих се налазе модели облика листа са максималном вредношћу (доњи десни угао) и са минималном вредношћу CS (горњи леви угао)



Графикон 53. Мултиваријантна регресија варијабли облика на величину центроида (CS) код стабла *T. montanum*. Представљени су скатер дијаграми регресионих скорова у оквиру којих се налазе модели облика стабла са максималном вредношћу (доњи десни угао) и са минималном вредношћу CS (горњи леви угао)

4.9. Дискриминантна анализа на симетричним и асиметричним компонентама морфолошких целина врсте *Teucrium montanum*

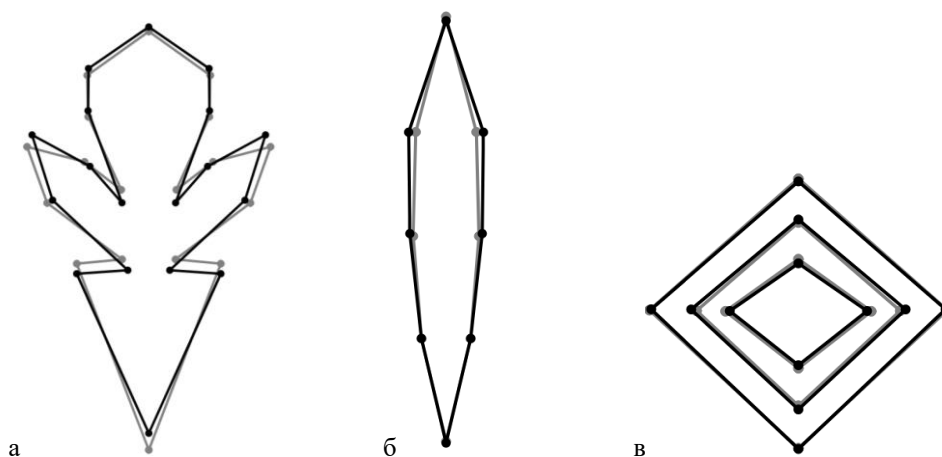
Применом дискриминантне анализе (DFA) са алометријском и без алометријске компоненте приказане су разлике настале променама у облику крунице, листа и стабла врсте *T. montanum* са кречњачке и серпентинитске геолошке подлоге (Табела 17). Симетрична и асиметрична компонента варирања облика биљних органа анализиране су одвојено. Статистички значајне разлике су примећене за све тестиране биљне органе са алометријом и без алометрије за симетричне компоненте крунице, листа и стабла. Додатно, статистички значајна разлика је примећена и за асиметричну компоненту крунице где је алометрија елиминисана. На основу добијених резултата показано је да алометрија није у великој мери утицала на значајност разлика у облику испитиваних органа.

Поређењем средњих облика испитиваних органа добијених дискриминантном анализом на резидуалима утврђене су њихове разлике које се углавном испољавају кроз ширење и сужавање структурних елемената (Слика 27а). Промене средњег облика крунице популације са кречњачких станишта се односе на благо ширење средњег режња доње усне, издуживање горњих режњева горње усне листића и сужавање базе крунице. Разлике у облику листова у односу на средњи облик за узорке са кречњака се односе на ширење горње половине листа у односу на узорке са серпентинита (Слика 27б). Средњи облици попречних пресека стабала биљака са различитих геолошких подлога разликују се у ширини. Флоемски елементи стабала са кречњачке подлоге нешто су шири у односу на она са серпентинитске, док су ксилемски елементи са кречњачке подлоге ужи у односу на она са серпентинитске (Слика 27в).

Табела 17. Дискриминантна анализа. Приказане су вредности Прокрустових дистанци између средњих облика испитиваних органа у односу на тип подлоге са и без алометријске компоненте. Статистички значајне разлике су означене подебљаним фонтом.

		Прокрустова дистанца			
		Са алометријом	Значајност (P)	Без алометрије	Значајност (P)
Круница	Симетрична компонента	0,017	<0,0001	0,018	<0,0001
	Асиметрична компонента	0,004	0,228	0,018	<0,0001
Лист	Симетрична компонента	0,007	0,015	0,009	<0,0001
	Асиметрична компонента	0,001	0,739	0,002	0,563
Стабло	Симетрична компонента	0,007	0,033	0,016	<0,0001
	Асиметрична компонента	0,003	0,343	0,004	0,120

4.9.1. Дискриминантна анализа на резидуалима који су статистички значајни



Слика 26. Представљени су дијаграми испитиваних органа са статистички значајним разликама у алометријском компонентама. Представљени су дијаграми крунице, листа и попречног пресека стабла.

Промена облика код популација са кречњака је приказана пуном црном линијом са испуњеним круговима, док је промена код популација са серпентинита приказана пуном сивом линијом са испуњеним круговима.

5. Дискусија

5.1. Садржај елемената у узорцима земљишта и надземног биљног материјала врсте *Teucrium montanum* са серпентинитских и кречњачких станишта

У оквиру овог истраживања испитивана је количина двадесет елемената (Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Se, и Zn) у узорцима земљишта и надземног биљног материјала врсте *T. montanum* како би се испитао утицај земљишта и подлоге на еколошку варијабилност испитиване биљне врсте. Приликом испитивања укупне количине макро- и микроелемената у узорцима земљишта и биљног материјала примењена је ICP-OES метода, где су количине елемената одређиване индуктивно куплованом плазмом на оптичком емисионом спектрометру. ICP-OES метода омогућава прецизно одређивање количине различитих елемената у узорцима. Ова метода се заснива на употреби индуктивно купловане плазме, која генерише високу температуру и ствара јонизоване атоме елемената, као и светлост у јединственом спектру. Мерење ове светлости омогућава одређивање количине елемената у узорцима (Šavkin *u cap.*, 2014).

Испитивање садржаја елемената у подлози има кључну улогу у разумевању бројних еколошких процеса на датом станишту. Истраживања су спроведена како би се утврдио утицај подлоге на варијабилност морфолошких и екофизиолошких особина и идентификовали фактори који утичу на растење и развиће биљака на анализираним стаништима, као и особине биљака које представљају адаптивни одговор на едафске услове станишта. Серпентинитска и кречњачка станишта имају специфичне услове и ограничења у погледу доступности одређених елемената и утичу на диференцијацију одређених особина код биљака. У контексту ботаничких и еколошких истраживања, индикаторски елементи представљају важан податак за прецизну оцену и анализу биопотенцијала различитих биљних врста на различитим стаништима. Путем анализе индикаторских елемената на одређеним стаништима, може се стећи боље разумевање о прилагођености врста датим условима (Michalak, 2006; Šinžar-Sekulić *u cap.*, 2019; Pavlova *u cap.*, 2020).

Одређивање индикаторских елемената у земљишту и биљкама може имати улогу у детаљном картирању и мапирању различитих типова станишта. Картирање станишта представља процес систематичног прикупљања, анализе и приказивања података о различитим физичким, хемијским и биолошким аспектима станишта. Информације добијене путем картирања омогућавају увид у географску распрострањеност и карактеристике различитих станишта (Xia *u cap.*, 2020).

Добијени резултати указују да је садржај Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Na и Ni знатно већи у узорцима земљишта са серпентинитских станишта у поређењу са узорцима са кречњачких станишта, које одликује већи садржај Al, As, B, Ca, Cd, Cu, K, Li, P, Se и Zn. Добијени резултати су у складу са претходним истраживањима (Kruckeberg, 1984; Brooks, 1987; Brady *u cap.*, 2005; Alexander *u cap.*, 2007; Pavlova и Karadjova, 2012; Zlatić *u cap.*, 2017), која указују на већи садржај Cr, Ni и Mn, као и на мањи садржај макроелемената Ca, K, N и P у земљишту формираном на серпентинитској геолошкој подлози. Хемијски састав узорака земљишта прикупљених са кречњачких и серпентинитских станишта на територији Србије је сличан хемијском саставу узорака кречњачких и серпентинитских земљишта других делова света (Kabata-Pendias, 2011).

Добијени резултати указују да је садржај елемената Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Na, Ni и Se већи у узорцима биљног материјала врсте *T. montanum* са серпентинитских станишта у односу на биљни материјал популација са кречњачких станишта, које имају већи садржај Al, Ca, Li и Zn. Количине елемената, као што су Cd, Cu, K, P, Pb и S, су подједнако заступљене у узорцима биљног материјала узоркованог са оба типа подлоге. На основу приказаних резултата може се закључити да садржај појединих елемената у биљкама зависи од заступљености елемената у земљишту, али и од функције коју дати елементи имају у биљкама. Присуство и количина одређених елемената у биљкама не зависе само од заступљености одређених елемената у земљишту, већ и од типа геолошке подлоге на којој је земљиште формирано (Brady *u cap.*, 2005; Alexander *u cap.*, 2007). Биљне врсте које су заступљене на серпентинитским стаништима имају веће количине тешких метала у надземним органима у односу на врсте које су заступљене на другим типовима станишта (Kruskeberg, 1984; Brooks, 1987; Pavlova и Karadjova, 2012), што је показано у резултатима спроведених истраживања. Међутим, за одређене елементе је показано да постоји дисбаланс у количини истих код одређених биљних врста које су заступљене на серпентинитским стаништима (Pavlova и Karadjova, 2012).

У испитиваним узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге, количина Al је више од два пута већа него у узорцима са серпентинитске подлоге. Највећа количина Al у узорцима биљног материјала је измерена на кречњачком локалитету Котроман ($768,05 \text{ mg kg}^{-1}$) где је количина Al била три пута већа него у узорцима биљака сакупљених са серпентинитских станишта. Алуминијум се у кречњачком земљишту обично налази у облику глине и других минерала Al, који су присутни као примесе. Серпентинит је метаморфна стена која се формира из магматске стене познате као перидотит. Перидотит садржи велике количине Mg и Fe, али релативно мало Al. Када перидотит дође у контакт са водом, долази до реакције хидратације, при чему се Mg и Fe претварају у хидроксиде Mg и Fe (Brady *u cap.*, 2005; Alexander *u cap.*, 2007). Ова реакција не доводи до ослобађања Al, већ узрокује стварање серпентина, који је доминантни минерал у серпентиниту. Разлика у количини Al између кречњачких и серпентинитских земљишта произилази из различитог геолошког порекла и састава ових стена. Кречњачко земљиште је формирано таложењем CaCO_3 који садржи примесе Al, док серпентинит потиче од перидотита који је сиромашан Al, а богат Mg и Fe. Такође, Al је елемент који је доста заступљен у земљишту у ком се количина овог елемента креће између 1 и 4%, док се количина Al у биљкама креће између 7 и 104 mg kg^{-1} , при чему је количина истог у махунаркама и травама много већа од просечне и достиже вредности до 3000 mg kg^{-1} (Kabata-Pendias, 2011).

Резултати спроведених истраживања указују да је количина As осам пута већа у узорцима земљишта са кречњачке подлоге у односу на узорке са серпентинитске подлоге. Арсен је у биљном материјалу измерен само на кречњачком локалитету кањон Лазареве реке ($0,24 \text{ mg kg}^{-1}$), док су вредности As у узорцима са серпентинита биле испод граница детекције. Арсен може бити присутан у земљишту као природни елемент и може бити укључен у састав седиментних стена током процеса таложења. У неким подручјима, геолошки процеси могу допринети већој количини As у кречњачком земљишту. На пример, геотермалне активности или присуство минерала As у изворима воде могу допринети већој количини As у кречњачком земљишту. Током процеса хидратације и метаморфозе перидотита у серпентините, минерали As обично нису присутни. Кречњачко земљиште се формира у окружењима где је количина As већа или постоји геолошка активност која доприноси присуству истог. С друге стране, серпентинитско земљиште настаје из стена које су обично сиромашне овим елементом, при чему је количина As у серпентинитском земљишту обично нижа. Просечна количина As у земљишту широм света процењује се на 5 mg kg^{-1} . У узорцима земљишта

са територије Аустрије, количине As су биле између 100 и 115 mg kg⁻¹. Количина As у биљкама доста варира и креће се у распону од 10 до 60 µg kg⁻¹. На основу досадашњих података, биљке могу да толеришу As у количини до 2 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias, 2011).

Бор је елемент који се може наћи у природи у различитим минералима и једињењима. Количина В у узорцима земљишта и биљака са оба типа геолошке подлоге је била уједначена. У кречњачком земљишту, минерали В могу бити присутни као примесе или као резултат трансформације минерала В у седиментима. Кречњачко земљиште може бити богато органском материјом која може садржати В, а који се може акумулирати током процеса таложења и распадања биљног и животињског материјала. Ови процеси могу допринети повећаној количини В у кречњачком земљишту (Mugvang *и сар.*, 2016). Серпентинитско земљиште које се формира од серпентинита, обично нема велике количине В (Kabata-Pendias, 2011). Количина В у кречњачком и серпентинитском земљишту може бити слична, али то може варирати у зависности од геолошког порекла, присуства минерала В, садржаја органске материје и других фактора који утичу на количину В у тим земљиштима. Резултати спроведених истраживања су у складу са резултатима представљеним од стране Kabata-Pendias (2011). Просечне вредности В у узорцима земљишта широм света крећу се између 10 и 100 mg kg⁻¹. Исти аутор наводи да је В неизоставан елемент за нормално растење и развиће биљних врста. Количина В у многим биљкама се креће између 5 и 30 mg kg⁻¹.

Највећа количина Са (105,18 g kg⁻¹) је измерена је у узорцима земљишта са кречњачке геолошке подлоге, што је пет пута више него у узорцима са серпентинитске подлоге. У узорцима биљака са кречњачких локалитета, количина Са је скоро два пута већа у односу на узорке са серпентинита. Према Ghaderian *и сар.*, (2007), количина Са у узорцима земљишта са серпентинита се креће између 1895 и 5750 mg kg⁻¹. Већа количина Са у узорку земљишта са кречњачког локалитета Котроман може се објаснити специфичним педогенетским процесима изазваним различитим микроклиматским и едафским факторима. Shallari *и сар.*, (1998) истичу да је најповољнија количина Са у биљним органима око 5 g kg⁻¹. Код биљних врста које расту на серпентинитским стаништима, Са је заступљен у количини до 0,8% (Kataeva *и сар.*, 2004), док је код биљних врста које насељавају кречњачка станишта заступљен у количини до 5% (Marschner, 2011), што је у складу са резултатима спроведених истраживања. Истраживања у области екологије биљака указују на присуство значајних количина Са у надземним деловима биљака. Ова појава може бити директно повезана са реализацијом вишеструких функција Са у областима као што су структурна подршка ћелијама, пермеабилност мембрана, подршка цитоплазматским реакцијама и трансдукција сигнала (Taiz и Zeiger, 1998; Marschner, 2011). Важно је напоменути да количина Са у земљишту може варирати и унутар исте врсте земљишта, што зависи од различитих геолошких услова, климатских и других фактора. Међутим, познато је да кречњачко земљиште има већу количину Са у поређењу са серпентинитским земљиштем, због геолошког порекла и састава (Pavlova *и сар.*, 2020). Показано је да постоје адаптације код одређених биљних врста заступљеним на серпентинитним стаништима на недостатак Са. Ове врсте су еволуирале тако да су развиле специфичне механизме који им омогућавају да ефикасно апсорбују Са у условима мале заступљености овог елемента у подлози. Овакав прилагођени метаболизам Са им омогућава да успешно функционишу на стаништима где су количине Са у земљишту обично ограничене. Студије на ову тему обично се ослањају на анализу биохемијских и морфолошких аспеката биљака које су развиле ове адаптације, како би се разумео комплексан однос између Са и специфичних услова станишта на којима су ове биљне врсте заступљене (Pavlova *и сар.*, 2020).

У резултатима који су добијени у оквиру спроведених истраживања, Cd је детектован само у узорку земљишта са кречњачког локалитета Жежевац ($3,58 \text{ mg kg}^{-1}$). Значајна разлика је уочена у количини Cd између биљних узорака са кречњачких станишта за разлику од серпентинитских станишта, где је количина Cd у биљкама са кречњачких станишта преко шест пута већа у поређењу са биљкама са серпентинитских станишта. Кадмијум се у земљишту налази у различитим хемијским облицима, укључујући растворљиве и везане форме које су мање доступне биљкама (Cornara *u cap.*, 2007; Gonneau *u cap.*, 2014). Кречњачко земљиште обично има вишу рН вредност што олакшава апсорпцију Cd из земљишта и његов транспорт до корена биљке. Кречњачко земљиште може имати више растворљивих форми Cd у поређењу са серпентинитским земљиштем, што повећава његову доступност за биљке (Kabata-Pendias, 2011; Pavlova *u cap.*, 2020). Различите врсте биљака могу показати различиту способност акумулације Cd, што додатно утиче на количину Cd у биљкама које расту на серпентинитском или кречњачком земљишту. Према резултатима истраживања које су урадили Kabata-Pendias (2011), количина Cd у узорцима земљишта широм света креће се између $0,2$ и $1,1 \text{ mg kg}^{-1}$. Средња количина Cd у одређеним биљним врстама које припадају фамилији Poaceae је између $0,07$ и $0,27 \text{ mg kg}^{-1}$, док је у узорцима биљака које припадају фамилији Fabaceae просечна количина Cd између $0,08$ и $0,46 \text{ mg kg}^{-1}$ (Kabata-Pendias, 2011).

Резултати спроведених истраживања указују на различите концентрације Co у узорцима земљиштима са серпентинитских станишта у поређењу са кречњачким стаништима. Конкретно, количина Co у узорцима земљиштима са серпентинита је 13 пута већа него у узорцима земљишта са кречњака. Супротно томе, биљни узорци са серпентинитних станишта имају седам пута већу количину испитиваног елемента у поређењу са кречњачким стаништима. Серпентинити често садрже велике количине Mg, Fe и Co. Током процеса хидратације и метаморфозе перидотита у серпентинит, Co се може концентрисати у серпентинитској стени и пренети у земљиште. Кречњачко земљиште није познато по великим количинама Co (Vicić *u cap.*, 2013a; Zlatić и Stanković, 2019). Кобалт се може појавити као спорадична примеса у кречњачким стенама, али у нижим количинама у поређењу са серпентинитом (Pavlova *u cap.*, 2020). Разлика у количини Co између серпентинитског и кречњачког земљишта произлази из њиховог геолошког порекла и присуства Co у минералима који чине та земљишта. Серпентинити имају тенденцију да имају веће количине Co због присуства Co у серпентинитским минералима (Cornara *u cap.*, 2007; Kabata-Pendias, 2011). Према Kabata-Pendias (2011), количина Co у кречњачком земљишту достиже вредности од 200 mg kg^{-1} , док у серпентинитном земљишту достиже вредности од 520 mg kg^{-1} . Други аутори наводе да се количина Co у биљкама креће између $0,02$ и 1 mg kg^{-1} , док се, као токсична вредност Co, процењује количина између 15 и 50 mg kg^{-1} у зависности од биљне врсте (Palit *u cap.*, 1994; Kastori *u cap.*, 2006;). Унос Co у биљку контролише се различитим механизмима, где физички фактори попут температуре, рН земљишта и присуства других елемената у великој мери утичу на процес акумулације Co (Marschner, 2011).

Добијени резултати указују да је количина Cr измерена у узорцима земљишта са серпентинита 18 пута већа него у узорцима са кречњачких локалитета. Највећа количина Cr у узорцима биљног материјала је измерена код узорака са серпентинита ($14,66 \text{ mg kg}^{-1}$). Количина Cr је пет пута већа у односу на биљне узорке са кречњачких локалитета. Разлог повећане количине Cr у серпентинитском земљишту у односу на кречњачко земљиште је због геолошког порекла и присуства минерала који садрже Cr. Серпентинитско земљиште настаје од серпентинита, метаморфне стене која настаје од перидотита (Reeves и Baker, 2000). Хром се обично налази у перидотиту као хромит (FeCr_2O_4), или магнезиохромит (MgCr_2O_4) минерал који је богат Cr (Brunetti *u cap.*, 2008)

Током хидратације и метаморфозе перидотита у серпентинит, Cr се из минерала хромита може пренети у серпентинитско земљиште, повећавајући његову количину. Иако Cr може бити присутан у неким минералима кречњака као спорадична примеса, количине Cr су обично ниже у кречњачком земљишту у поређењу са серпентинским земљиштем (Kabata-Pendias, 2011; Vicić *u cap.*, 2013a; Pavlova *u cap.*, 2020). Ghaderian *u cap.* (2007) истичу да серпентинитска земљишта садрже између 60 и 265 mg kg⁻¹ Cr, док Kabata-Pendias (2011) наводи да земљишта формирана на серпентинитској геолошкој подлози садрже више од 100 000 mg kg⁻¹ Cr. Reeves и Baker (2000) наводе да су нормалне вредности Cr у биљкама између 2 и 5 mg kg⁻¹, јер је количина приступачног Cr врло ниска. Kabata-Pendias (2011) указује да количина Cr досеже до 100 mg kg⁻¹ код биљака које расту на серпентинитима.

Добијени резултати указују да је највећа количина Cu измерена за узорак земљишта са кречњачког локалитета (184,03 mg kg⁻¹) и да земљишта са кречњака садрже седам пута већу количину Cu од узорака земљишта са серпентинита. Међутим, количина Cu у узорцима биљака са кречњачких и серпентинитних станишта је слична, па се може закључити да овај елемент биљци није есенцијалан, с обзиром да усвајање не зависи од доступности у земљишту. Разлог за већу количину Cu у кречњачком земљишту у поређењу са серпентинитским земљиштем је у њиховом геолошком пореклу, присуству Cu у минералима и другим факторима. Кречњачко земљиште се формира од таложења седимента богатим CaCO₃ (Morse и Mackenzie, 1990). Бакар може бити присутан у кречњачком земљишту као резултат таложења седимента који садржи Cu или као резултат присуства бакарних минерала као примесе. Минерали попут азурита (Cu карбонат – Cu₃(CO₃)₂(OH)₂), малахита (Cu хидроксид – Cu₂CO₃(OH)₂) или борнита (Cu сулфид – Cu₅FeS₄) се могу јавити у кречњаку и допринети већој количини Cu у земљишту (Brunetti *u cap.*, 2008; Kabata-Pendias, 2011). Количина Cu у узорцима земљишта широм света има вредности између 14 и 109 mg kg⁻¹. Количина Cu у узорцима биљкама не прелази 20 mg kg⁻¹, док се праг количине Cu креће између 20 и 100 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias, 2011).

Резултати спроведених истраживања указују да је количина Fe у узорцима земљишта слична на оба типа станишта. Разликује се једино серпентинитски локалитет Каменица, који има највећу количину Fe (25,27 g kg⁻¹). Количина Fe у биљном материјалу узоркованом на серпентинитима је три пута већа него у узорцима са кречњачких станишта. Гвожђе је један од најчешћих елемената у Земљиној кори и може се наћи у различитим минералима. С обзиром на то да је Fe распрострањено у многим стенама, присутно је у различитим врстама земљишта, укључујући кречњачко и серпентинитско земљиште (Pavlova *u cap.*, 2020). Серпентинитско земљиште, које се формира од серпентинита, обично садржи велике количине Fe. Серпентинити, који потичу од перидотита, садрже Fe као саставни део минерала, попут оливина – (Mg,Fe)₂SiO₄ или пироксена – Fe(Si,Al)₂O₆, који се трансформишу у серпентинитско земљиште (Kabata-Pendias, 2011). Добијени резултати су у складу са литературним подацима у којима се наводи да земљиште формирано на серпентинској геолошкој подлози садржи велику количину Fe (Ghaderian *u cap.*, 2007; Reeves *u cap.*, 2007). Количина Fe у земљишту достиже вредности и до 3,5% (Kabata-Pendias, 2011). Johnston и Proctor (1977) указују да биљне врсте које расту на серпентинским земљиштима садрже количину Fe у распону од 2127 до 3580 mg kg⁻¹. Велика количина Fe је забележена у активним фотосинтетским органима код биљака (Marschner, 2011). Fe је неопходан микронутријент, али има тенденцију да буде мање доступан биљкама у серпентинитном земљишту због високих рН вредности, тако да његова апсорпција зависи од рН вредности земљишта (Vert *u cap.*, 2002; Gonneau *u cap.*, 2014).

Добијени резултати указују да је количина К 25 пута већа у земљишту са кречњачких локалитета у односу на серпентинитска. У узорцима биљног материјала, количина К је скоро два пута већа у односу на узорке са серпентинита. Кречњачко земљиште се формира таложењем седимената који садрже значајне количине CaCO_3 . Међутим, кречњачко земљиште такође може садржати велике количине К јер се К често јавља у органском материјалу који може бити присутан у кречњачком земљишту. Органски материјал, попут биљних остатака, може садржати К и допринети укупном садржају К у земљишту (Boggs, 2009).

Серпентинитско земљиште, са друге стране, се формира од серпентинита, метаморфне стене која се углавном састоји од минерала серпентина. Серпентинитско земљиште обично има нижи садржај К у поређењу са кречњачким земљиштем. То је делом последица различитог геолошког порекла серпентинита и мање присутности К у серпентинским минералима. Укупна количина К у земљишту широм света варира између 0,2 и 3%. Биљне врсте акумулирају велику количину К у својим надземним органима, јер је К основни макроелемент потребан у физиолошким процесима. Katori и сар., (2013) наводе да количина К у биљним органима варира између 4 и 5%.

Количина Li у узорцима са кречњачке подлоге је 14 пута већа у земљишту ($45,25 \text{ mg kg}^{-1}$) и три пута већа у узорцима биљака ($0,70 \text{ mg kg}^{-1}$) у поређењу са узорцима земљишта и биљака са серпентинита. Разлог за већу количину Li у кречњачком земљишту у односу на серпентинитско земљиште је да Li обично није присутан у серпентинитском земљишту у великим количинама (Zlatic и Stanković, 2019). Добијени резултати су у складу са резултатима других аутора који тврде да су највеће количине Li забележене у кречњачким земљиштима (Kabata-Pendias, 2011). Вредности просечне количине Li у земљиштима широм света се крећу између 3,7 и 45 mg kg^{-1} (Kabata-Pendias, 2011). Литијум је лако доступан биљкама, али се усваја у малим количинама. Биљке које припадају фамилији Solanaceae акумулирају Li у количини од $1,9 \text{ mg kg}^{-1}$, док су за биљне врсте из фамилије Brassicaceae забележене вредности између 0,3 и $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (Kabata-Pendias, 2011).

Количина Mg у узорцима земљишта за оба типа станишта имала је сличне вредности, при чему су незнатно веће количине квантификоване у узорцима земљишта са серпентинитске геолошке подлоге. Количина Mg у биљном материјалу са серпентинитских локалитета је 2 пута већа у односу на вредности са кречњачких локалитета. Иако кречњачко земљиште има велике количине Ca, оно такође може имати значајне количине Mg. Ово се дешава због присуства минерала попут доломита $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ – (калцијум магнезијум карбоната) који садржи Mg. Доломит је често присутан у кречњаку као резултат дијагенетских процеса, а доприноси повећаној количини Mg у земљишту (Lambers и сар., 2008).

Серпентинитско земљиште се формира од серпентинита, метаморфне стене која је богата Mg. Серпентинити су углавном састављени од минерала серпентинита који садрже Mg (Brady и сар., 2005). Ова сличност у количини Mg између кречњачког и серпентинитског земљишта може се приписати њиховом геолошком пореклу и присуству минерала који садрже Mg. Кречњачко земљиште може садржати Mg због присуства доломита, док серпентинитско земљиште има природно велики садржај Mg због минералног састава серпентинита (Šinžar-Sekulić и сар., 2019; Pavlova и сар., 2020). Добијени резултати су у складу са вредностима добијеним од стране других аутора (количина Mg од 10 060 до $118\,400 \text{ mg kg}^{-1}$) у серпентинитским земљиштима (Ghaderian и сар., 2007). Количина Mg у биљкама узоркованим на серпентинским стаништима може достићи вредност преко 7000 mg kg^{-1} (Lombini и сар., 1998). Повећана количина Mg у биљкама са серпентинитских станишта је узрокована повећаним количинама у земљишту и матичној стени на којој је земљиште формирано (Cornara и сар., 2007).

Дефицит Mg код биљака није узрокован недостатком у земљишту, већ инхибиторним механизмима којима се биљке штите од повећане количине Mg и нарушавања хомеостазе. Недостатак Mg у биљкама доводи до смањења ефикасности фотосинтезе (Marschner, 2011).

Количина Mn је два пута већа како за узорке земљишта, тако и за узорке биљака са серпентинитских станишта. Многи серпентинити садрже значајне количине Mn. Минерали Mn, попут браунита ($Mn^{2+}Mn^{3+}_6SiO_{12}$) и хаусманита $Mn^{2+}Mn^{3+}_2O_4$, могу бити присутни у серпентиниту као примесе. Током хидратације и метаморфозе перидотита у серпентинит, Mn из ових минерала може се пренети у серпентинитско земљиште, повећавајући његову заступљеност. Кречњачко земљиште нема велике количине Mn. Иако Mn може бити присутан у кречњачком земљишту као резултат примесе, количина Mn обично није значајна у поређењу са серпентинитским земљиштем (Brunetti *u cap.*, 2008; Kabata-Pendias, 2011). У истраживању које су спровели Ghaderian *u cap.* (2007), утврђено да је количина Mn у серпентинитском земљишту већа него у другим типовима земљишта (Ghaderian *u cap.*, 2007), што је показано и резултатима спроведених истраживања. Количина Mn у земљишту широм света варира између 411 и 550 mg kg⁻¹ (Kabata Pendias, 2011). Kastori *u cap.* (2006) наводе да је 20 mg kg⁻¹ Mn количина која је неопходна биљкама, док је код већине биљних врста Mn присутан у количини између 20 и 300 mg kg⁻¹ (Kastori *u cap.*, 2006; Marschner, 2011). Велике количине Mn у земљишту су неприступачне биљкама, које углавном зависе од количине органске материје и pH земљишта. Транслокација Mn из корена у надземне биљне делове варира међу биљним врстама, а може се разликовати и међу различитим екотиповима исте врсте (Marschner, 2011).

Количина Na има сличне вредности у узорцима земљишта са кречњака и серпентинита, док је количина истог у биљном материјалу два пута већа на серпентинитским стаништима. Упркос присуству Ca као доминантног елемента, кречњачко земљиште садржи и одређене количине Na. Натријум се може јавити као резултат таложења седимента. Серпентинитско земљиште такође може садржати одређену количину Na. Натријум се може наћи у серпентиниту као резултат присуства минерала Na (Lambers *u cap.*, 2008). У литератури се наводи да кречњачко земљиште садржи највећу количину Na од свих седиментних стена, до 5400 mg kg⁻¹ (Bilings и Ragland, 1968). Неки аутори наводе да је то један од најзаступљенијих елемената у свим стенама вулканског порекла, осим код серпентинита. Stueber и Goles (1967) наводе да је просечна количина Na у земљишту 105 mg kg⁻¹, мада је показано да серпентинити садрже и до 1490 mg kg⁻¹. Ata *u cap.* (2011) наводе да се количине Na за 24 анализираних лековите биљке крећу између 144 и 792 ppm.

Добијени резултати указују да је највећа количина Ni квантификована у узорцима земљишта са серпентинита, при чему је 33 пута већа од количине Ni квантификованог у узорцима земљишта са кречњака. Највеће количине Ni измерене су за узорке надземних биљних органа са серпентинита. На њима је количина Ni 10 пута већа од узорака са кречњачких локалитета. Серпентинити често садрже велике количине Ni. Никл је присутан у серпентиниту као резултат минерала који садрже Ni, минерала Ni и пентландита – $(Fe,Ni)_9S_8$. Током хидратације и метаморфозе перидотита у серпентинит, Ni из ових минерала се може пренети у серпентинитско земљиште, повећавајући његову количину (Brady *u cap.*, 2005; Vicić *u cap.*, 2013a; Šinžar-Sekulić *u cap.*, 2019; Zlatić и Stanković, 2019). Кречњачко земљиште обично нема велике количине Ni. Важно је напоменути да количина Ni у земљишту може варирати и унутар исте врсте земљишта, што зависи од геолошких услова, минералног састава стена, климатских и других фактора (Brunetti *u cap.*, 2009; Kabata-Pendias, 2011; Pavlova *u cap.*, 2020). Количина Ni у земљишту у великој мери зависи од количине у матичном супстрату. Земљишта широм

света садрже Ni у количини између 13 и 37 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias, 2011). Ghaderian *и сар.* (2007) наводе да количина Ni у серпентинитним земљиштима варира између 500 и 8000 mg kg⁻¹. Међутим, укупна количина Ni није најбољи показатељ његове расположивости, јер се покретљивост Ni повећава у киселим земљиштима и његова доступност зависи од рН земљишта (Brown *и сар.*, 1989). Повећањем рН вредности земљишта смањује се количина измењивог Ni који се таложи и тако постаје недоступан биљним врстама (Chiarucci, 2004; Cornara *и сар.*, 2007; Gonneau *и сар.*, 2014).

Резултати спроведених истраживања показују да је количина следећих елемената у узорцима са кречњачака већа него у серпентиниту: P – пет пута већа; S – седам пута већа; Se – три пута већа и Zn – три пута већа. Количина Pb је готово једнака за узорке са кречњака и серпентинита. Количине елемената P, Pb, S, Se и Zn у биљним узорцима са оба типа станишта имају готово једнаке вредности. На основу резултата студије коју су спровели Kabata-Pendias (2011), показано је да земљишта формирана на кречњачкој геолошкој подлози садрже веће количине Zn, Se и Pb, што је у координацији са резултатима спроведених истраживања. Серпентинитска земљишта садрже велике количине тешких метала. Прилагођавање биљних врста на повећане количине тешких метала у земљишту представља једну од адаптивних способности. Прилагођавање се заснива на смањењу уноса тешких метала у коренов систем и ограничавању транслокације метала у надземне биљне делове (Cornara *и сар.*, 2007; Gonneau *и сар.*, 2014; Šinžar-Sekulić *и сар.*, 2019; Pavlova *и сар.*, 2020).

Толеранција биљних врста на повећану количину елемената који се налазе у траговима у супстрату може се дефинисати као способност биљке да са другим биљкама опстане на станишту које је токсично и манифестује се интеракцијом између окружења и генотипа (Reeves, 2017). Бројна истраживања су показала да адаптивна толеранција на одређене метале код биљних организама укључује мали број гена. Како би се заштитиле од повећане количине појединих елемената у супстрату, биљке развијају механизме, који одмах избацују елемент или га везују за неко једињење чиме се врши инактивација елемента након уласка у цитосол (Banival *и сар.*, 2004; Shah и Nongkinrih, 2007; Reboredo *и сар.*, 2018).

Серпентинитска земљишта су позната по већим количинама Mg за разлику од Ca. Ова земљишта садрже велике количине Mg због геолошких процеса који укључују појаву серпентинита, који садржи велике количине Mg. Биљне врсте које настајују серпентинитска станишта су адаптиране на мале количине Ca и низак однос између Ca и Mg у серпентинитским типовима земљишта (Brooks, 1987; Brady *и сар.*, 2005; Asemaneh *и сар.*, 2007; Šinžar-Sekulić *и сар.*, 2019; Pavlova *и сар.*, 2020).

На основу добијених резултата, факултативна серпентинофита *T. montanum* са серпентинитских станишта поседује незнатно већу количину Mg у односу на Ca, чије вредности никада не прелазе 1. Добијени резултати су у складу са литературним подацима који наводе да се серпентинитска станишта карактеришу неповољним односом Ca и Mg за биљне организме, што представља разлог за формирање специфичне флоре и вегетације на стаништима са серпентинитском геолошком подлогом (Kruskeberg, 1954; Brady *и сар.*, 2005; Vicić *и сар.*, 2013b).

Биљке које расту на серпентинским земљиштима су изложене утицају велике количине Mg и мале количине Ca (Brooks, 1987). Биљке које су присутне на серпентинитским земљиштима развиле су механизме да опстану у условима са великом количином Mg и малом количином Ca. Врсте могу поднети ове услове и прилагодити се на начине који им омогућавају да користе доступне елементе за свој раст (Kruskeberg, 1954; Brady *и сар.*, 2005).

Билјке на серпентинитским земљиштима поседују механизме усмерене апсорпције који им омогућавају да акумулирају већу количину Mg у односу на Ca (Brady *u cap.*, 2005). Ово се дешава због специфичних транспортера и механизма за апсорпцију који су развијени у овим билјкама. Магнезијум је важан за процесе фотосинтезе, употребу енергије и синтезу хлорофила, док је Ca кључан за структурну целовитост ћелија. Иако билјке на серпентинитским земљиштима имају више Mg, исте морају бити у стању да исправно регулишу однос између ова два елемента како би одржале своју оптималну физиолошку функцију (Vicić *u cap.*, 2013b). Магнезијум компетитивно инхибира апсорпцију Ca код билјака и има антагонистичко деловање у односу на друге елементе, тако да је количина Mg у биљном ткиву обрнуто пропорционална количинама елемената као што су Fe, Co и Mn (Kruskeberg, 1954; Brady *u cap.*, 2005). Поремећен однос Ca и Mg код билјака може имати различите последице и указивати на проблеме у њиховом метаболизму. Калцијум и Mg су есенцијални макроелементи за билјке и играју кључну улогу у многим физиолошким процесима (White *u cap.*, 2018).

Недостатак Ca може узроковати проблеме као што су успорен раст, деформисани листови, неразвијени цветови и плодови, као и смањена отпорност билјака на болести. Недостатак Ca може бити резултат мале количине Ca у земљишту или поремећаја у апсорпцији и транспорту Ca у биљци (Pavlova *u cap.*, 2020). Недостатак Mg може довести до спорог раста билјака, слабе производње плодова и опште неразвијености билјака. Магнезијум је кључан састојак хлорофила, пигмента који билјкама омогућава да обављају фотосинтезу, при чему недостатак Mg негативно утиче на фотосинтетичку активност билјака (Pavlova *u cap.*, 2020).

Укратко, билјке на серпентинитским земљиштима су изложене великим количинама Mg и малим количинама Ca због природе земљишта и њихових адаптација на те услове. Оне имају механизме за апсорпцију и усмерено коришћење ових елемената, што им омогућава опстанак и раст на серпентинитским земљиштима (Brady *u cap.*, 2005).

Водоникови јони (H^+) у земљишту имају кључну улогу у различитим физичким, хемијским и биолошким процесима. рН вредност земљишта утиче на многе аспекте биохемијских процеса земљишта, укључујући доступност макро- и микроелемената за билјке и расположивост хемијских једињења (Blake и Goulding, 2002; Kabata-Pendias, 2011; Marschner, 2011).

Базност, односно киселост земљишта, једни су од главних фактора који одређују доступност елемената биљним организмима, што има велики утицај на биолошке процесе и оксидационо стање (Marschner, 2011). рН вредност директно или индиректно утиче на количину одређених елемената у билјкама (Brooks, 1987; Marschner, 2011). Добијени резултати указују да врста *T. montanum* расте на земљишту, чија се рН вредност креће у распону од 6,81 до 7,91. Приказани резултати су у складу са резултатима аутора Brooks (1987), који наводи да се серпентинитска земљишта карактеришу рН вредностима између 6,5 и 8. Други аутори наводе да различити физички фактори, као што су близина матичног супстрата, плитко тло, нагиб и седиментација, значајно утичу на рН вредност земљишта (Robinson *u cap.*, 1996; Chiarucci, 2004).

Разлика између рН вредности серпентинитских и кречњачких земљишта је значајна и има велики утицај на екологију испитиване врсте. Серпентинитска земљишта су позната по својој високој рН вредности, често изнад неутралног ($pH > 7$). Ова земљишта су алкална или базна због присуства минерала попут серпентинита, који садржи Mg и Fe (Brady *u cap.*, 2005). Висока рН вредност у серпентинитским земљиштима често доводи до алкалности и смањења доступности одређених хранљивих материја, посебно микроелемената као што су Fe, Mn и Zn. Специфична рН вредност и алкалност серпентинитских земљишта могу ограничити раст и развој неких биљних врста које преферирају неутралније или киселије услове на станишту (Harrison и

Rajakaruna, 2011). Кречњачка земљишта карактерише виша рН вредност, често алкална, због присуства CaCO_3 . Ова земљишта имају тенденцију да буду алкална или благо алкална ($\text{pH} > 7$). Висока рН вредност кречњачких земљишта обезбеђује повољне услове за раст биљака које преферирају алкалне услове. Такође, алкална природа кречњачких земљишта омогућава бољу доступност неких хранљивих материја, попут фосфора (Lambers *u cap.*, 2008).

Разлика између рН вредности кречњачких и серпентинитских земљишта је највероватније узрокована специфичним хемијским саставом геолошке подлоге (Brady *u cap.*, 2005). На основу резултата добијених анализом природних популација врсте *T. montanum* са кречњачких и серпентинитских станишта, може се закључити да врста не подноси велика одступања рН вредности земљишта и да преферира рН неутрална до слабо кисела или слабо базна земљишта.

Биљке имају различите рН преференције и могућности да се прилагоде специфичним рН вредностима земљишта. Разумевање рН вредности серпентинитских и кречњачких земљишта омогућава бољи увид у дистрибуцију и екологију биљних врста које расту на специфичним условима станишта (Lambers *u cap.*, 2008).

Резултати добијени у оквиру овог истраживања показали су значајну корелацију између количине елемената у земљишту и њихове заступљености у биљкама. Корелациона анализа указује на јачину и смер линеарне повезаности трансфера елемената из земљишта у надземне делове биљке, што је битно за проучавање фитоекстракционих способности биљних врста.

Резултати наведеног истраживања, који су приказани у Табели 7, потврђују значајну корелацију између количине појединих елемената у земљишту и биљкама. Добијени резултати су у складу са ранијим истраживањима (Kabata-Pendias, 2011; Zlatić *u cap.*, 2017). Примећена је негативна корелација између Ca, Co и Ni у земљишту, као и синергистички односи између Ca и Cu, као и између Ca и Zn, што је у сагласности са претходним истраживањима (Kabata-Pendias, 2011; Zlatić *u cap.*, 2017). Уочена је негативна корелацију између P и Pb, као и синергистичка веза између P и Mn, P и Zn, што је у складу са резултатима Kabata-Pendias (2011). Резултати добијени у оквиру овог истраживања показују синергистичку везу између P у интеракцији са Cd, Zn и S. Примећена је позитивна корелација између Co, Cr, Fe, Ni и Mn код биљака са серпентинитских станишта (Lazarus *u cap.*, 2011). Akash *u cap.* (2023) наводе постојање синергистичке интеракције између Cr и елемената као што су Ca, Cu, Fe, Mg и Mn. Добијени резултати у оквиру истраживања су у складу са резултатима других истраживача који су потврдили постојање синергистичких и антагонистичких односа између елемената (Kabata-Pendias, 2011; Gonpeau *u cap.*, 2014). Наведени резултати пружају увид у комплексне интеракције између елемената у земљишту и у биљкама. Резултати спроведених истраживања указују на антагонистички ефекат одређених елемената на апсорпцију појединих микроелемената. Добијени резултати су у сагласности са претходним истраживањима која су показала постојање антагонизма између одређених елемената у биљкама (Kabata-Pendias, 2011). Важно је напоменути да синергистички и антагонистички ефекти између елемената значајно варирају у зависности од специфичне реакције биљних врста у односу на тип станишта (Kabata-Pendias, 2011).

Анализа фактора биоакумулације елемената је од великог значаја за разумевање интеракција између биљака и њиховог станишта. У оквиру наведеног истраживања, испитивани су фактори биоакумулације за врсту *T. montanum* са серпентинитских и кречњачких станишта. Резултати, приказани у Табели 5 и 6, показују факторе биоакумулације у надземним деловима биљке.

Генерално, фактор биоакумулације у надземним деловима биљке је низак, са вредностима близу један. Међутим, за врсту *T. montanum*, забележене су вредности веће од један за елементе као што су В, Са, К, Р и S у кречњачком и серпентинитском земљишту. Поред ових елемената, Mg и Se имају вредности веће од један код биљака са серпентинитских станишта. Вредности фактора биоакумулације се разликују између кречњачких и серпентинитских станишта. За већину значајних вредности, узорци са серпентинитских станишта имају два или више пута веће вредности од узорака са кречњачких станишта. Највећа разлика у фактору биоакумулације примећена је за елемент К. Највећа вредност фактора биоакумулације је измерена за серпентинитски локалитет Златибор – Смиљански закоси и износи 39,824, док за кречњачки локалитет Тара – Котроман износи 4,978. Биљке узорковане са серпентинитских станишта имају осам пута веће концентрације К у изданицима у односу на биљке са кречњачких станишта.

Резултати добијени у оквиру овог истраживања показују да *T. montanum* акумулира одређене макроелементе. Веће вредности фактора биоакумулације карактеришу узорке са серпентинитских станишта, што указује на то да испитивана врста акумулира веће количине одређеног елемента како би се прилагодила специфичним условима серпентинитског станишта. Елементи у траговима у изданицима *T. montanum* су генерално ниски. Вредности за елементе Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Pb потврђују да испитивана врста не акумулира наведене елементе, што указује на то да врста поседује посебне механизме при чему се може класификовати као фитостабилизатор.

Истраживања су показала да се биљне врсте са вредностима фактора биоакумулације у распону од 0,1 до 0,5 могу дефинисати као потенцијални фитостабилизатори, док се врсте са вредностима између 0,5 и 1,0 могу дефинисати као парцијални фитостабилизатори (Balabanova *и сар.*, 2015). Толеранција биљних врста на повећану количину токсичних елемената у подлози се може дефинисати као способност биљке да преживи на станишту које је токсично за друге биљке, а манифестује се интеракцијом између генотипа и околине (Shah и Nongkynrih, 2007). Бројне студије су показале да се адаптивна толеранција биљака на токсичне елементе односи на мали број гена. Биљке развијају механизме за избацивање токсичних елемената из подлоге или их елиминишу након уласка у цитосол како би се заштитиле од високих количина токсичних елемената (Banival *и сар.*, 2004; Shah и Nongkynrih, 2007; Reboredo *и сар.*, 2018).

Спроведена анализа фактора биоакумулације елемената указује на специфичну акумулацију елемената у надземним деловима врсте *T. montanum* са серпентинитских и кречњачких станишта. Веће вредности фактора биоакумулације код биљака са серпентинитских станишта сугеришу на већу способност акумулације одређених елемената. Добијени резултати спроведених истраживања пружају додатне информације о механизмима адаптације биљака на стаништима која садрже високе количине токсичних елемената и могу имати значај у проучавању фитостабилизације и адаптације биљака на специфичним и стаништима контаминираним токсичним елементима.

На основу истраживања утицаја геолошке подлоге на количину елемената у земљишту и надземним деловима биљне врсте *T. montanum*, може се закључити да количина елемената у земљишту варира у зависности од типа подлоге. Земљишта настала на кречњачкој геолошкој подлози имају веће количине елемената као што су Al, As, В, Са, Cd, Cu, K, Li, P, Se и Zn, док земљишта формирана на серпентинитској геолошкој подлози садрже веће количине Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Na и Ni. Надземни делови биљака узоркованих са кречњачких подлога садрже веће количине Al, Са, Li и Zn, док узорци са серпентинитске подлоге садрже веће количине Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Na, Ni и Se.

Такође, анализа односа Mg и Ca у земљишту указује на нарушен однос између ова два елемента, где је количина Mg већа у серпентинитским земљиштима, док је количина Ca већа у кречњачким земљиштима. Биљке са серпентинитске подлоге имају веће количине K у надземним деловима, док биљке са кречњачке подлоге имају ниже вредности за наведени елемент. Истраживана врста *T. montanum* није метал-хиперакумулирајућа, али дистрибуција врсте није одређена геолошком подлогом. Ова истраживања указују на способност прилагођавања врсте *T. montanum* повећаним количинама одређених елемената уз потенцијално постојање и диференцирање едафских екотипова.

5.2. Садржај укупних фенолних једињења, флавоноида и антиоксидативна активност врсте *Teucrium montanum* са серпентинитских и кречњачких станишта

У оквиру овог истраживања испитиван је квантитативни састав укупних фенолних једињења, укупних флавоноида и антиоксидативна активност, како би се утврдио утицај подлоге на варијабилност секундарних метаболита врсте *T. montanum* под утицајем типа подлоге. Приликом одређивања квантитативног састава наведених једињења, као и антиоксидативне активности коришћене су спектофотометријске методе које се заснивају на особинама апсорпције светлости од стране биомолекула у спектралном опсегу. Мерење апсорпције светлости на одређеним таласним дужинама омогућава квантификацију одређених секундарних метаболита у узорцима.

Значај спроведене упоредне анализе садржаја секундарних метаболита из групе фенолних једињења у узорцима врсте *T. montanum* са серпентинитских и кречњачких станишта може се разматрати у контексту разумевања утицаја еколошких фактора на екофизиолошке особине испитиване врсте. Истраживање је спроведено са циљем како би се боље схватио утицај подлоге на екофизиолошку варијабилност секундарних метаболита. Оваква истраживања пружају почетне информације о постојању адаптивног одговора испитиване биљне врсте на утицај подлоге.

Добијени резултати указују да постоји разлика у квантитативном саставу количине секундарних метаболита у биљним узорцима са серпентинитских станишта у односу на узорке са кречњачких станишта. Метанолни екстракти надземних биљних делова врсте *T. montanum* са серпентинитских станишта садрже значајно већу количину фенолних једињења од од са кречњачких станишта (Графикон 23). У претходним истраживањима концентрације фенолних једињења и флавоноида код врсте *T. montanum* са пет различитих локалитета, показано је да је су највеће концентрације испитивањих једињења забележене у узорцима врсте *T. montanum* са серпентинитских локалитета за разлику од несерпентинитских (Станковић, 2012). Сходно томе, највећу антиоксидативну активност су показали екстракти биљака са серпентинитских локалитета за разлику од несерпентинитских (Станковић, 2012). Постоји неколико механизма који би могли објаснити зашто биљке са серпентинита имају веће концентрације секундарних метаболита у односу на биљке са кречњака. Један од њих је да серпентинити садрже веће количине токсичних елемената, попут Ni и Cr, који могу изазвати оксидативни стрес код биљака. Биљке развијају механизме за ублажавање оксидативног стреса, што укључује повећану продукцију секундарних метаболита, као одговор на овај стрес (Michalak, 2006; Sharma *и сар.*, 2019; Jańczak-Pieniżek *и сар.*, 2022). Други механизам може бити укљученост антиоксидативних ензима, као што су супероксид дизмутаза, каталаза, глутатион редуксидаза, који су одговорни за редукцију слободних радикала. Промене у ензимској активности и регулацији могу довести до повећане синтезе секундарних метаболита код биљака са серпентинита (Pavlova, 2009). Утицај тешких метала на синтезу секундарних метаболита биљака у оквиру адаптивног одговора зависи од њихове концентрације у подлози и времена изложености (Berni *и*

cap., 2018). У научним студијама је показано да присуство одређених елемената и њихове повећане количине у земљишту директно или индиректно утичу на повећање синтезе секундарних метаболита код биљака (Pavlova, 2009; Zlatić *u cap.*, 2017), што је потврђено у оквиру спроведених истраживања. Експерименталним путем је показано да одређене биљне врсте могу да повећају синтезу фенолних једињења због присуства веће количине елемената који су заступљени у траговима у земљишту (Michalak, 2006; Stanković, 2011; Veličković *u cap.*, 2014). Повећана количина фенолних једињења у биљкама је одговор на штетне ефекте одређених елемената, који доводе до стварања неповољних услова за раст и развиће биљних организама (Lavid *u cap.*, 2001). Међутим, у неким случајевима са повећањем количине елемената који су заступљени у траговима долази до повећања количине фенолних једињења (Hamid *u cap.*, 2010). Студија коју су спровели Zlatić *u cap.* (2017) истиче значајне разлике у концентрацијама фенолних једињења у екстрактима *T. montanum* са серпентинитских и кречњачких станишта. Резултати показују да су узорци биљних екстраката са серпентинитских станишта имали веће концентрације фенолних једињења у поређењу са узорцима са кречњачких станишта. Подаци приказани за врсту *Teucrium chamaedrys* су указали на већу синтезу фенолних једињења код популација са серпентинитских станишта за разлику од несерпентинитских (Zdraveva *u cap.*, 2018). Ganeva и Zozikova (2007) су доказали да се количина фенолних једињења код пшенице повећава уколико се одређени елементи додају у медијум у већој количини.

Фенолна једињења су одговорна за антиоксидативну активност, која се огледа у способности биљака да хелирају јоне одређених метала и инхибирају реакције изазване супероксидима. Способност неутрализације слободних радикала једна је од заштитних улога једињења која се синтетишу под стресним условима изазваним присуством тешких метала у биљним органима и супстрату (Michalak, 2006). Приказане вредности корелације између количине фенолних једињења врсте *T. montanum* и антиоксидативне активности указују да су секундарни метаболити из групе фенолних једињења главни носиоци антиоксидативне активности. Многобројне студије су потврдиле постојање значајне корелације између количине фенолних једињења и антиоксидативне активности (Piluzza и Bullitta, 2011; Stanković, 2011; Kumar *u cap.*, 2014; Turumtay *u cap.*, 2014; Zlatić *u cap.*, 2017). Фенолна једињења и друге групе секундарних метаболита имају различита фармаколошка својства и зато свака промена у количини или саставу фитохемијских једињења може потенцијално утицати на ефикасност биљних производа. Ипак, информације о специфичним физиолошким одговорима лековитих биљака на токсичне елементе у земљишту и ефектима на њихову ефикасност су ограничене (Ibrahim *u cap.*, 2017). Да би се боље разумео утицај токсичних елемената на производњу секундарних метаболита и фармаколошка својства лековитих биљака, потребна су додатна истраживања и детаљније проучавање физиолошких одговора биљака на овај тип стреса.

Добијени резултати указују да популације са серпентинита садрже већу количину флавоноида за разлику од популација са кречњака (Графикон 24). Резултати истраживања које су спровели Zlatić *u cap.* (2017) истичу значајне разлике у концентрацијама флавоноида у екстрактима *T. montanum* са серпентинитских и кречњачких станишта. Узорци биљних екстраката са серпентинитских станишта имали су веће концентрације флавоноида у поређењу са узорцима са кречњачких станишта. Флавоноиди граде комплексе са металима, а ова особина има значајну улогу у адаптацији биљних организама на негативне ефекте неесенцијалних елемената заступљених на одређеном станишту (Rusak *u cap.*, 2005; Michalak, 2006; Korkina, 2007).

Добијени резултати указују да биљни екстракти узорака заступљених на стаништима са серпентинитском геолошком подлогом испољавају бољу антиоксидативну активност од екстраката узорака са станишта са кречњачком геолошком подлогом (Графикон 25). Поред осталих механизма, антиоксидативни капацитет секундарних метаболита има значајну улогу у адаптацији биљних организама на серпентинитска станишта и станишта са повећаним количинама тешких метала. Изложеност тешким металима има значајан утицај на биљке и може довести до акумулације штетних реактивних врста кисеоника (енгл. – reactive oxygen species ROS) Током стреса изазваног повећаном количином тешких метала у подлози, настали реактивни молекули изазвају пероксидацију липида у биљкама. Пероксидација липида активира производњу високо активних сигналних једињења која су способна да индукују синтезу биоактивних једињења, укључујући и секундарне метаболите (Nasim and Dhir 2010; Berni et al. 2018). Повећање антиоксидативне активности представља један од главних адаптивних механизма на повећану количину елемената у траговима у биљним органима врста које припадају роду *Atriplex* (Kachoutetal, 2009). У зависности од изложености стресу, биљке прилагођавају свој секундарни метаболизам као одговор на спољашње факторе. Земљишта формирана на серпентинитској геолошкој подлози карактерише и неповољан водни режим. Због физичких карактеристика серпентинита, водни режим на оваквим стаништима је у сталном дисбалансу (Brady *u cap.*, 2005). Дисбаланс водног режима доводи до повећане синтезе секундарних метаболита код биљних организама (Khan *u cap.*, 2010). Због саме структуре земљишта и поремећеног водног режима, серпентинска земљишта су аридна (Kruckeberg, 1984; Brooks, 1987). Температурни стрес код биљака значајно утиче на продукцију флавоноида и других једињења из групе секундарних метаболита (Rivero *u cap.*, 2001).

Важно је напоменути да се варијабилност у концентрацијама секундарних метаболита и антиоксидативној активности могу приписати специфичним условима станишта, укључујући различите количине елеманата, термички и водни режим станишта (Dresler *u cap.*, 2017). Ови налази истичу значај карактеристика станишта и абиотичких фактора у квантитативном саставу секундарних метаболита и антиоксидативних својстава биљака које расту на различитим стаништима, посебно на серпентинитским стаништима (Pavlova *u cap.*, 2020).

На основу испитивања садржаја укупних фенолних једињења, флавоноида и антиоксидативне активности, може се уочити да узорци са локалитета на серпентинитској геолошкој подлози имају већу концентрацију укупних фенолних једињења, флавоноида и антиоксидативну активност у поређењу са узорцима са кречњачке геолошке подлоге. Добијени резултати указују на постојање везе између количине и активности секундарних метаболита и типа геолошке подлоге. Већа концентрација укупних фенолних једињења и флавоноида на стаништима са серпентинском геолошком подлогом у вези је са већом антиоксидативном активношћу екстраката *T. montanum* у односу на станишта са кречњачком геолошком подлогом.

Оваква разлика у садржају и активности фенолних једињења на стаништима са серпентинском геолошком подлогом указује на њихов адаптивни значај у екофизиолошком прилагођавању испитиваних врста на специфичне услове станишта. Ова адаптација је од значаја имајући у виду да се станишта на серпентинитској геолошкој подлози карактеришу не само повећаном количином елемената, већ и специфичним водним и температурним режимом. Добијени резултати нам пружају увид у еколошку варијабилност врсте *T. montanum* и омогућавају разумевање механизма прилагођавања на различитим типовима станишта, са фокусом на улогу секундарних метаболита у том процесу.

5.3. Садржај појединачних фенолних једињења врсте *Teucrium montanum* са серпентинитских и кречњачких станишта

Спроведена истраживања заснивају се на упоредној хроматографској анализи одабраних секундарних метаболита из групе фенолних једињења у узорцима врсте *T. montanum* пореклом са станишта на серпентинитским и кречњачким подлогама. Циљ истраживања је утврђивање разлике у присуству и садржају најзаступљенијих фенолних једињења врсте *T. montanum* у односу на тип подлоге. Имајући у виду да се адаптивни одговор биљака заснива како на морфолошким, тако и на физиолошким прилагођеностима, утврђивање присуства секундарних метаболита карактеристичних за биљне узорке са одређеног типа подлоге може указати на њихов потенцијални значај у адаптивном одговору на специфичне едафске услове станишта. Оправданост овакве концепције истраживања потврђују претходно спроведене анализе секундарних метаболита биљака са природних станишта (Srivastava и Srivastava, 2010; Li, 2011; Meier и сар., 2012; Kisa и сар., 2016; Zhu, 2016; Luo и сар., 2017; Ashraf и сар., 2018; Hu и сар., 2018; Jiang и сар., 2018; Chen и сар., 2019; Erb и Kliebenstein, 2020; Li и сар., 2020; Jan и сар., 2021; Karimi и Venditti, 2021; Li и сар., 2021; Živković и сар., 2021; Xu и сар., 2022; Makhumbila и сар., 2023).

У упоредној анализи фенолних једињења врсте *T. montanum*, њихов садржај у узорцима квантификован је УНПЛС/ДАД/(-)НЕСИ-МС² хроматографском анализом. Примена УНПЛС/ДАД/(-)НЕСИ-МС² анализе омогућава прецизно квантификовање фенолних једињења у биљним узорцима. УНПЛС/ДАД анализа се заснива на течной хроматографији високог притиска за брже и ефикасније раздвајање једињења у узорку (УНПЛС) у комбинацији са детекцијом помоћу диодног низа (ДАД), који омогућава регистровање апсорпционог спектра једињења у широком опсегу таласних дужина. Поред тога, масена спектрометрија је омогућила идентификацију и квантификацију једињења од интереса на основу маса псевдомолкуларних јона, и на основу карактеристичних фрагментационих профила. У узорцима врсте *T. montanum* са станишта на кречњачкој и серпентинитској подлози овом методом квантификоване су фенолне киселине (хлорогенска киселина, сиригинска киселина, кафеинска киселина, протокатехинска киселина, *p*-кумарна киселина), флавоноли (кверцетин, рутин, изокверцитрин, кемпферол), флавоноли (лутеолин, апигенин, витексин, апигетрин), флаванолни (катехин), флаванони (нарингенин, наргинин) и фенолни алдехид сириггалдехид.

Добијени резултати указују да се тип подлоге на којима биљке расту одражава значајно на квантитативни састав фенолних једињења од интереса. Садржај хлорогенске и сиригинске киселине показује статистички значајне разлике између узорака са кречњачке подлоге и оних са серпентинитске подлоге. Генерално, узорци врсте *T. montanum* са кречњачке подлоге одликују се вишим садржајем ових фенолних киселина. Једињења као што су катехин, кверцетин и изокверцитрин заступљенија су у узорцима са серпентинитске подлоге.

У погледу хемијског састава, врсте рода *Teucrium* карактерише присуство фенолних киселина које припадају два класама: дериватима бензоеве киселине и дериватима циметне киселине (Mihailović и сар., 2020). У метанолним екстрактима врсте *T. montanum* анализираним у оквиру докторске дисертације, најзаступљеније фенолне киселине су хлорогенска киселина, која је дериват хидроксициметне киселине, и сиригинска киселина која припада групи хидроксибензоевих киселина. Присуство фенолних киселина као што су гентизинска, ванилинска, протокатехинска, кафеинска, хлорогенска, сиригинска, *p*-кумарна и ферулинска киселина утврђено је у претходним анализама фитохемијског састава врсте *T. montanum* (Tumbas и сар., 2004; Čanadanović-

Brunet *u cap.*, 2006; Станковић, 2012; Mitreski *u cap.*, 2014). Према Tumbas *u cap.*, 2004, најзаступљеније фенолне киселине у метанолним екстрактима су сиригинска и кафеинска киселина, док Mitreski *u cap.* (2014) наводе да су кафеинска и хлорогенска киселина најзаступљеније у узорцима *T. montanum* са територије Северне Македоније. Наведене разлике су највероватније резултат различитих типова екстракције, аналитичке инструментације и порекла биљног материјала.

Флавоноиди представљају карактеристичну групу фенолних једињења за врсте рода *Teucrium*, при чему су флавоноли, флавоноли, флавонол-3-оли, и флаванони најзаступљеније класе (Mihailović *u cap.*, 2020). Добијени резултати, као и резултати претходних истраживања (Čanadanović-Brunet *u cap.*, 2006; Mitreski *u cap.*, 2014) потврђују да су кверцетин, кемпферол, лутеолин и апигенин најзаступљенија једињења из групе флавоноида у узорцима врсте *T. montanum*.

Показано је да еколошки услови станишта значајно доприносе квалитативним и квантитативним разликама у саставу секундарних метаболита биљака (Anttonen *u cap.*, 2006). Варијабилност секундарних метаболита биљака у односу на услове станишта у великој мери је повезана са њиховим значајем у адаптивном одговору. Имајући у виду претходно утврђене разлике у едафским карактеристикама испитиваних подлога, као и специфичности у садржају минералних елемената на стаништима са серпентинитском геолошком подлогом, утврђена варијабилност квантитативног састава фенолних једињења у узорцима врсте *T. montanum* може, макар делимично бити условљена саставом геолошке подлоге. Разлике у хемијским и физичким параметрима кречњачких и серпентинитних станишта су мање или више изражене, у зависности од параметра који се посматра. Претходна истраживања указују да се серпентинитска станишта разликују од кречњачких по количини макро- и микроелемената доступних биљкама, односу Mg и Ca, као и по већем садржају тешких метала као што су Ni, Cd и Cr (Kruckeberg, 1984; Brooks, 1987; Brady *u cap.*, 2005; Zlatić и Stanković, 2019). Веза између повећаног садржаја метала у подлози и акумулације појединих секундарних метаболита у вегетативним деловима биљака потврђена је приликом претходних истраживања. Резултати приказани од стране Meier *u cap.* (2012) указују на акумулацију појединих фенолних једињења у присуству метала у подлози. Врста *Imperata condensata* синтетише катехин, *Oenothera picensis* синтетише циметну киселину, док врста *Helianthus annuus* синтетише кумарну киселину при повећаној концентрацији Zn у супстрату. У истим условима, врсте *Plantago lanceolata*, *Pinus sylvestris* и *Silene paradoxa* значајно интензивирају синтезу фенолних киселина и флавоноида. У кореновима биљака анализираних у наведеној студији, утврђено је присуство *p*-хидроксисбензоје, протокатехинске, ванилинске и сиригинске киселине, док су међу флавоноидима идентификовани нарингенин, кемпферол и кверцетин (Meier *u cap.*, 2012). Слично истраживање је спроведено и од стране Luo *u cap.* (2017). У овој упоредној студији анализирани су екотипови врсте *Sedum alfredii* при различитим нивоима стреса под утицајем тешких метала. Аутори наведеног истраживања су идентификовали 15 једињења из групе фенолних једињења која су потенцијално значајна у адаптивном одговору на присуство тешких метала у подлози. Фенолна једињења су веома важна компонента адаптивног одговора биљака на стрес изазван присуством метала (Lavid *u cap.*, 2001; Michalak, 2006; Ganeva и Zozikova, 2014). Фенолна једињења су значајна у неутрализацији реактивних врста кисеоника (ROS) и у смањењу оксидативног оштећења протеина, ДНК и хелијских компоненти (Chen *u cap.*, 2019). У оквиру фенолних једињења, флавоноиди имају кључну улогу у адаптацији биљака на негативне ефекте изазване присуством одређених тешких метала. Механизам деловања се огледа у томе да флавоноиди са одређеним тешким металима граде комплексе и на тај начин неутралишу њихово штетно дејство (Michalak, 2006; Korkina, 2007).

Добијени резултати упоредне анализе феноних једињења у односу на тип подлоге указују да узорци врсте *T. montanum* са кречњачких станишта садрже више хлорогенске и сиригинске киселине, за разлику од узорака са серпентинитских станишта. Фенолне киселине се синтетишу путем фенилпропаноида, изопропаноида и алкалоида (Kumar и Goel, 2019). Хлорогенска киселина је једна од најзаступљенијих фенолних киселина код биљака и има важну улогу у различитим метаболичким функцијама. Ова киселина делује као кључни прекурсор за синтезу суберина, лигнина и делује као одбрамбени молекул. Смањује пероксидацију ћелијске мембране и уклања прекомерно произведене реактивне форме кисеоника, чиме штити ћелије од оксидативног стреса (Soviguidi *u cap.*, 2021). Сиригинска киселина се синтетише низом ензимских реакција путем шикимске киселине у биљкама. Ова киселина значајно доприноси неутрализацији слободних радикала јер има два метокси дела везана за ароматични прстен. Експерименталним путем је показано да се концентрација сиригинске киселине повећава услед изложености врсте *Amaranthus tricolor* аридним условима (Sarker *u cap.*, 2020).

Узорци врсте *T. montanum* са серпентинитских станишта садрже више катехина, кверцетина, и изокверцитрина од узорака са кречњачких станишта. Истраживања о утицају абиотичког стреса на синтезу и акумулацију катехина углавном су фокусирана на утицај светлости и водног режима станишта (Zhang *u cap.*, 2019). Изложеност већем интензитету светлости утиче на повећану биосинтезу катехина код врсте *Camellia sinensis* (Zhang *u cap.*, 2019). С друге стране, катехин утиче на раст примарног и бочног корена, на повећање површине листа, као и на формирање непрекидног ксилемског прстена код врсте *Camellia sinensis* што повећава апсорпцију хранљивих материја (Rani *u cap.*, 2011). Наведено једињење има изражену антиоксидативну активност и утиче на неутрализацију реактивних врста кисеоника и хелирање јона тешких метала. Антиоксидативна активност катехина укључује инхибицију прооксидативних ензима и индукцију антиоксидативних ензима (Bernatoniene и Korustinskiene 2018). Кверцетин је значајан за бројне метаболичке процесе биљака, као и у адаптивном одговору (Singh *u cap.*, 2021). Биљке изложене повећаном УВ зрачењу интензивирају синтезу кверцетина (Agati *u cap.*, 2012). Експерименталним путем је показано да врста *Phillyrea latifolia* након преласка из сенке на светлост замењује деривате кверцетина дериватима хидроксициметне киселине у епидермалним ћелијама и секреторним трихомима (Agati *u cap.*, 2002). Такође, кверцетин инхибира терминални раст корена, истовремено повећавајући његово бочно формирање, утиче на задебљање ћелијског зида паренхима и кортикалног слоја ћелија повећавајући лигнификацију (Franco *u cap.*, 2015). Деривати кверцетина утичу на сигналне путеве апсцисинске киселине (ABA) и обезбеђују покретање стома (Agati *u cap.*, 2012). Флавоноли поседују ОН групу на позицији 3 флавоноидног скелета што их чини ефикасним у неутрализацији ROS и омогућава хелирање метала. Keulig и Ludvig-Muller (2009) су показали да кверцетин антагонизује штетне ефекте Cd и Zn код врсте *Arabidopsis thaliana*. Изокверцитрин је један од главних гликозидних облика природног флавонола кверцетина и делује као антиоксиданс (Valentová *u cap.*, 2014). На основу спроведених истраживања, показано је да изокверцитрин има потенцијалну улогу у адаптацији врсте *T. montanum* на серпентинитска станишта, поред катехина и кверцетина.

На основу резултата добијених у докторској дисертацији утврђено је да се узорци са серпентинитских и кречњачких станишта значајно разликују у квантитативном садржају пет фенолних једињења. Ова једињења се могу користити као хемијски маркери за диференцијацију популација врсте *T. montanum* на основу типа станишта. Што се тиче осталих испитиваних једињења, њихов садржај није варирао под утицајем подлоге. Варијабилност у квантитативном саставу фенолних једињења врсте *T. montanum* указује на постојање кречњачких и серпентинитских екотипова/хемотипова.

Диференцијација екотипова у односу на хемијски састав указује на способност врсте да се адаптира на различите услове станишта модификацијама биосинтетских путева. Ови резултати наглашавају улогу геолошке подлоге у формирању специфичног хемијског профила биљних популација и указују на адаптивне стратегије врсте *T. montanum* у односу на услове станишта.

5.4. Садржај етарског уља врсте *Teucrium montanum* са серпентинитских и кречњачких станишта

Упоредна анализа садржаја и састава етарског уља врсте *T. montanum* са двадесет анализираних локалитета спроведена је са циљем утврђивања квалитативне варијабилности и процента релативне заступљености појединачних компоненти етарског уља у узорцима са кречњачких и серпентинских станишта. Методологија истраживања се базира на анализи етарског уља добијеног из надземних делова врсте *T. montanum* са различитих локалитета на кречњачким и серпентинским стаништима. Квалитативна анализа извршена помоћу специјализованих аналитичких техника, као што су гасна хроматографија и масена спектрометрија (GCxGC-MS хроматографија) омогућила је идентификацију и квантификацију различитих једињења у узорцима етарског уља. Главни циљ овог дела истраживања је утврђивање разлика у садржају и присуству једињења у етарском уљу у односу на тип подлоге, као и компоненти етарског уља које су под директним утицајем подлоге и могу имати потенцијални значај у адаптивном одговору испитиване врсте.

На основу резултата спроведене упоредне анализе најпре је утврђено да садржај етарског уља врсте *T. montanum* варира у зависности од типа геолошке подлоге. Просечан принос етарског уља у узорцима са кречњачких станишта је износио 0,07%, док је у узорцима са серпентинитских станишта износио 0,24%, што је три пута већи принос у односу на садржај у узорцима са кречњачких станишта. Vuković *u cap.* (2007) су показали да је принос етарског уља узорака врсте *T. montanum* са територије Србије 0,47% на основу суве масе, при чему није приказан и разматран утицај подлоге. Резултати упоредне анализе узорака других врста из рода *Teucrium*, као што је врста *Teucrium chamaedrys* указују на постојање већег броја жлезданих длака у индументуму код јединки са серпентинске подлоге у односу на јединке са кречњачке подлоге (Pavlova, 2009). Имајући у виду да заступљеност жлезданих длака у индументуму биљака директно утиче на садржај етарског уља, разлике добијене у садржају се могу приписати једним делом и специфичностима анализираних подлога које се одржавају и на састав индументума, тиме и на садржај етарског уља. Разлике у садржају етарског уља у односу на тип подлоге утврђене су и у претходним истраживањима (Zlatić *u cap.*, 2021).

На основу добијених средњих вредности релативне заступљености једињења у етарском уљу врсте *T. montanum*, утврђено је да су најзаступљенија једињења сесквитерпени, са релативном заступљеношћу од 34,89%. Од ове вредности, оксидовани сесквитерпени чине 17,50%, док угљоводонични сесквитерпени чине 17,39%. Друга најзаступљенија група су угљоводоници са релативном заступљеношћу од 27,64%, за њима следе масне киселине са 16,08%, алкохоли са 15,20% и монотерпени са 13,76%. Од укупне релативне заступљености монотерпена, оксидовани монотерпени чине 9,90%, док угљоводонични монотерпени износе 3,86%. Најнижу заступљеност имају естри са 1,77%, кетони са 1,22% и јонони са 0,30%. Упоређујући узорке са кречњачких и серпентинитских станишта, уочава се да узорци са серпентинита показују значајно већу релативну заступљеност монотерпена и сесквитерпена у односу на узорке са кречњака. Посебно се истичу јонони, који су значајно заступљенији у серпентинитским узорцима.

Претходно објављени резултати испитивања састава етарског уља врсте *T. montanum* са територије Србије указују да су најзаступљеније компоненте сесквитерпени (Vuković *u cap.*, 2007), што је у складу са резултатима спроведених истраживања. Pavela *u cap.* (2020) су испитивали састав етарског уља врсте *T. montanum* subsp. *jailae* са територије Словачке и потврдили да су сесквитерпени доминантни у односу на остале групе једињења. Исти аутори наводе да су у оквиру њих најзаступљенији оксидовани сесквитерпени и угљоводонични сесквитерпени (39,7% односно 35,6%), при чему су веће вредности забележене за оксидоване сесквитерпене, што је у складу са резултатима спроведених истраживања.

На основу резултата спроведених истраживања за све узорке, не узимајући у обзир подлогу, процентуално најзаступљенија једињења у узорцима врсте *T. montanum* била су тетракосан (6,30%), хексадеканоишна киселина (4,05%), фитол (3,82) и еикосан (3,27%). У односу на припадност групама, једињење са највећом релативном заступљеношћу из групе угљоводоничних монотерпена је β -пинен (0,71%). Међу оксидованим монотерпенима са највећом релативном заступљеношћу је лимонен-10-ол (5,26%). Једињење са највећом релативном заступљеношћу међу угљоводоничним сесквитерпенима је аромадендрен (5,74%), док је епи-кубенол (2,66%) најзаступљенији од свих оксидованих сесквитерпена. Од угљоводоничних једињења, са највећом релативном заступљеношћу издвојио се тетракосан (12,60%). Међу алкохолима је фитол (7,65%), док је међу естрима најзаступљенији хенеикосил формат (1,34%), међу масним киселинама хексадеканоишна киселина (8,10%), међу јононима β -јонон (0,16%) и међу кетонима фарнесил ацетон (1,82%).

У анализираним узорцима врсте *T. montanum* са кречњачких станишта, највећи проценат релативне заступљености имају тетракосан (9,02%), еикосан (5,41%), фитол (4,83%), хексадеканоишна киселина (4,59%), хенеикосан (2,62%), 1-хептатриакотанол (2,08%) и аромадендрен (1,65%). У анализираним узорцима врсте *T. montanum* са серпентинитских станишта, највећи проценат релативне заступљености имају лимонен-10-ол (4,81%), аромадендрен (4,09%), тетракосан (3,58%), хексадеканоишна киселина (3,51%), фитол (2,82%) и 1-хептатриакотанол (2,80%).

На основу добијених резултата спроведених истраживања показано је да је једињење тетракосан двоструко више заступљено у узорцима биљака са кречњака у односу на узорке са серпентинита, док је једињење аромадендрен двоструко више заступљено у узорцима биљака са серпентинита у односу на узорке са кречњака. Добијени резултати указују да су једињења додекан и изофитол идентификована само у узорцима са кречњака, док су једињења 3-карен-2-ол, карвон оксид и пиронен идентификована само у узорцима са серпентинита. Једињења која су индиферентна у односу на тип подлоге су деканоична киселина, тујон, инданол и хептанон.

Резултати истраживања врсте *T. montanum* од стране других аутора (Kovačević *u cap.*, 2001) указују да су у етарском уљу врсте *T. montanum* значајно заступљена једињења као што су гермакрен Д (15,0%), α -пинен (12,4%) и β -еудезмол (10,1%), док је у истраживању спроведеном од стране Baser *u cap.* (1997) за исту врсту забележено присуство једињења као што су сабинен (11,3%), δ -кадинен (6,3%), гермакрен Д (5,8%), α -копаен (5,7%), (Е)- β -фарбнесен (5,5%) и α -пинен (5,2%). Истраживања других аутора (Vuković *u cap.*, 2007) такође указују да су најзаступљенија једињења у узорцима етарског уља врсте *T. montanum* са станишта у Србији δ -кадинен (17,19%), β -селинен (8,16%) и α -калакорен (4,97%). Pavela *u cap.* (2020) су показали да је етарско уље врсте *T. montanum* subsp. *jailae* из Словачке имало највећи садржај једињења као што су гермакрен Д (12,8%), два непозната оксидована сесквитерпена (10,9 и 8,4%), епи- α -кадиол (4,5%), α -пинен (3,1%), бициклогермакрен (3,1%), кубебол (3,0%) и епи-кубебол (3,0%). На основу резултата спроведених истраживања, може се приметити

варијабилност у процентуалној заступљености појединих једињења, која у многоне зависи од еколошких фактора који су заступљени на одређеном станишту. Поједини аутори су дошли до сличних закључака у претходним студијама варијабилности етарских уља (Nikolić *u cap.*, 2015; Nogues *u cap.*, 2015; Rajčević *u cap.*, 2020). Варијабилност састава и заступљености појединачних компоненти етарског уља врсте *T. montanum* са кречњачких и серпентинитских станишта може се приписати еколошким факторима на анализираним типовима станишта, првенствено едафским еколошким факторима међу којима је значајно приметан утицај типа подлоге.

Ако су присутне квалитативне разлике у саставу етарског уља, сматра се да популације припадају различитим хемотиповима, али уколико је изражена квантитативна разлика поред осталих фактора, онда се иста може приписати утицају подлоге (Marčetić *u cap.*, 2017). Станишта која су неповољна за раст и развиће биљака могла би да имају ретке хемотипове, што се дешава због различитог утицаја еколошких фактора на датом станишту. Овако настала новосинтетизована једињења могла би да имају улогу у прилагођавању биљака на неповољним стаништима (Thompson *u cap.*, 2003). Бројне студије указују да постоје разлике у квалитативном и квантитативном саставу етарског уља код једне врсте узорковане са различитих станишта (Flamini *u cap.*, 2004; Palá-Paúl *u cap.*, 2008; Marčetić *u cap.*, 2017). Међутим, Ормењо *u cap.* (2008) истичу да је утицај врсте подлоге на биосинтезу етарских уља специфичан за врсту, па је самим тим и постојање хемотипова специфично за врсту. Кречњачка и серпентинитна станишта слична су у погледу ерозије и суше због утицаја високих температура на станишту. Као што је већ речено, најважнија разлика између ових типова станишта је присуство макро- и микроелемената у земљишту. Земљишта формирана на кречњачкој геолошкој подлози не садрже велику количину тешких метала, али зато садрже већу количину макроелемената (Ca, N, K и P) који су потребни биљним организмима за нормалан онтогенетски развој. За разлику од кречњачких, земљишта формирана на серпентинитској геолошкој подлози се карактеришу већим количинама тешких метала (Cr, Ni, Mn) и недостатком основних хранљивих састојака (Zlatić и Stanković, 2019). Glynn *u cap.* (2007) су указали да недостатак одређених елемената позитивно утиче на синтезу једињења из групе терпена, што је потврђено у резултатима спроведених истраживања. Истраживање које су спровели Rivoal *u cap.* (2010), указује да је количина терпена у популацијама врсте *Cistus monspeliensis* била већа код узорака са силикатне подлоге у односу на кречњачку. Силикатна подлога садржи мање макроелемената од кречњачке. Због недостатка макроелемената, биљке преусмеравају биосинтетске процесе ка стварању веће количине секундарних метаболита на бази терпена или потпуно нових једињења различите хемијске структуре. Као резултат, доступност различитих елемената на кречњачким и серпентинитским стаништима може утицати на експресију гена укључених у биосинтезу специфичних једињења у етарским уљима (Вага *u cap.*, 2009).

Добијени резултати указују да постоје значајне разлике у квантитативном саставу етарског уља врсте *T. montanum* узорковане са кречњачке и серпентинитске подлоге, што је највероватније последица утицаја различитих едафских фактора и различитог састава земљишта на тим подлогама. Зато се може говорити о различитим хемотиповима врсте *T. montanum*. Истраживање природних популација врсте *T. montanum* са кречњачке и серпентинитске геолошке подлоге открива значајан утицај едафских фактора на квалитативни састав и проценат релативне заступљености компоненти у етарском уљу. Узорци врсте *T. montanum* са серпентинита имају три пута већи принос етарског уља у односу на узорке са кречњачке подлоге. Ово се објашњава већим уделом моно- и сесквитерпена у етарском уљу узорака са серпентинитске подлоге, док узорци са кречњачке подлоге имају већи удео угљоводоника. Најзаступљенија једињења

припадају групи сесквитерпена, при чему је алифатични угљоводоник тетракосан најзаступљенији у узорцима са кречњачке подлоге, док је оксидовани сесквитерпен лимонен-10-ол у узорцима са серпентинитске подлоге. Ово истраживање пружа увид у различите механизме синтезе и заступљености једињења у етарском уљу *T. montanum* на различитим геолошким подлогама и истиче значај геолошке подлоге у диференцијацији хемотипских разлика и квантитативно-квалитативног састава етарског уља испитиване врсте. Поред тога, постојање компоненти етарског уља које су специфичне за тип подлоге указује на њихов потенцијални значај у прилагођавању, односно адаптивном одговору на специфичне едафске услове, имајући у виду да је врста *T. montanum* осим на стаништима са кречњачком подлогом заступљена и на стаништима са серпентинитском подлогом.

5.5. Варирање морфолошких особина врсте *Teucrium montanum* на серпентинитским и кречњачким стаништима

У овом истраживању спроведена је упоредна анализа морфолошких особина код јединки врсте *T. montanum* са серпентинитских и кречњачких станишта. Основни циљ морфометријске анализе обухвата утврђивање фенотипског варирања код јединки врсте *T. montanum*, као и евентуалне диференцијације морфолошких особина вегетативних и генеративних органа под утицајем подлоге. Методолошки приступ се заснива на упоредној анализи величине и облика круница, листова и попречних пресека стабла јединки врсте *T. montanum* применом методе геометријске морфометрије, као и поређење наведених карактеристика између популација које се развијају на кречњачким и серпентинитским стаништима. Овакав приступ омогућава утврђивање степена утицаја геолошке подлоге на морфолошке карактеристике, као и диференцирање структурних особина и њихов потенцијални значај у адаптивном одговору испитиване врсте.

Применом методе геометријске морфометрије утврђени су обрасци варирања величине и облика круница, листова и стабала врсте *T. montanum*, при чему је применом анализе варијансе показано да се просечна величина круница статистички не разликује, док се просечне величине листова и стабала статистички значајно разликују у односу на тип подлоге. На основу добијених резултата и применом анализе главних компоненти (РСА) показано је да се највећи проценат укупног варирања круница, листова и стабала може описати РС1 осом за симетричну и асиметричну компоненту (Табеле 10-12). Резултатима спроведених истраживања показано је да алометрија има статистички значајан утицај на варирање облика круница, листова и стабала врсте *T. montanum* за симетричну компоненту, док за асиметричну компоненту то није био случај (Табела 13).

Настале промене код испитиваних органа, за симетричну компоненту варирања облика, могу да буду условљене утицајем еколошких фактора (Klingenberg *u cap.*, 2012). Биљке могу реаговати на исти начин према одређеном фактору средине (Gratani, 2014) при чему је потребно одредити постојање разлика у односу на фактор средине. Постојање разлика у биљним органима се утврђује на основу варирања симетричне и асиметричне компоненте (Klingenberg, 2015). Приказане разлике у просечним облицима круница, листова и стабала врсте *T. montanum* показују да се наведене компоненте разликују међу собом. Добијеним резултатима се може потврдити присуство асиметрије испитиваних биљних органа. Присуство асиметрије у односу на подлогу представља одговор биљне врсте на одређени еколошки фактор (Klingenberg, 2015).

Флукутирајућа асиметрија може бити резултат варијација у симетрији као одговор биљних организама на факторе животне средине (Tusić *u cap.*, 1990). Како биљке расту, њихови делови су изложени различитим утицајима животне средине, који могу да утичу на дестабилизацију развића, односно, на флукутирајућу асиметрију.

Стога, узроци флукутирајуће асиметрије су пре свега фактори животне средине, а не генетички фактори (Klingenberg *u cap.*, 2012). У овом истраживању показано је да присуство макроелемената у подлози доводи до повећаног раста и асиметрије и да је степен флукутирајуће асиметрије у фотосинтетичким и проводним органима врсте *T. montanum* са кречњачког станишта већи у поређењу са серпентинитским (Zlatić *u cap.*, 2023). Добијене резултате потврђује истраживање у којем је предложено да листови који се брже развијају имају већу флукутирајућу асиметрију (Martel *u cap.* 1999). Møller и Eriksson, (1994) су показали да је величина флукутирајуће асиметрије слична између вегетативних и репродуктивних органа. Међутим, истраживања Sandner и Matthies, (2017) су показала да, иако је стрес довео до смањења биомасе и броја цветова код врсте *Silene vulgaris*, флукутирајућа асиметрија листа се није повећала под стресним условима. У овом случају, листови нису били најпоузданији показатељ еколошког стреса, за разлику од цветова који су представљали индикатор развојне нестабилности биљака. Резултати овог рада нису у складу са претходно наведеним литературним подацима, тако да промена асиметрије под утицајем стреса може да зависи од биологије и екологије испитиване врсте (Zlatić *u cap.*, 2023).

Опстанак биљних организама у великој мери зависи од њихове способности да се прилагоде локалним условима и новонасталим променама на станишту. Фенотип који је заступљен на одређеном станишту поседује најбољи систем адаптација (Gratani, 2014). У том случају, фенотипска пластичност се може користити као показатељ адаптивне способности популације и генетичке стабилности (Klingenberg *u cap.*, 2012). Фенотипска пластичност може да доведе до промена у величини и облику биљних органа. Tusić *u cap.* (2018) су показали да фенотипска пластичност врсте *Iris pumila*, доприноси морфолошкој асиметрији, што представља одговор на хетерогеност фактора животне средине. Осим у спроведеним истраживањима, слични закључци су наведени и након анализа морфолошког варирања од стране других аутора (Klingenberg *u cap.*, 2012; Savriama *u cap.*, 2012; Klingenberg, 2015).

Поређењем средњих облика испитиваних органа показано је да се разликују у односу на подлогу са које потичу (Слика 26). Крунице код популација са кречњачких станишта имају шири режањ доње усне и издужене режњеве горње усне. Листови код популација са кречњачких станишта имају шире листове у односу на популације са серпентинита, док су се средњи облици попречних пресека стабала разликовали у ширини између популација са кречњачких и серпентинитских станишта. У овом случају, морфолошка варијација се може користити као индикатор генетске стабилности популације (Klingenberg, 2015). У оквирима еволуционе екологије, морфолошки одговори на варирање срединских чинилаца испитивани су код различитих биљних врста. Тако на пример, Tusić *u cap.* (1990) су показали да фенотипска пластичност код врсте *Iris pumila* доприноси морфолошкој асиметрији, што је одговор на хетерогеност фактора животне средине. До истих закључака дошли су и други аутори у својим студијама спроведеним на дрвенастим и зељастим биљкама *Sorbus aucuparia*, *Robinia pseudoacacia*, *Matricaria perforata* (Møller, 1998), *Quercus pyrenaica* (Puerta-Pinero *u cap.*, 2008), *Iris pumila* (Miljković, 2012), *Erysimum mediohispanicum* (Savriama *u cap.*, 2012), *Quercus frainetto*, *Q. petraea*, *Q. pubescens* (Viscosi, 2015), *Polylepis incana* и *P. racemosa* (Caiza Guamba *u cap.*, 2021).

На основу резултата спроведених истраживања показано је да се промене средњег облика крунице популација са кречњачких станишта односе на благо ширење средњег режња доње усне, издуживање горњих режњева горње усне и сужавање базе крунице. На пример, Vujić *u cap.* (2015) су истраживали цветове *Iris pumila* и открили да су у загађеним подручјима цветови били мањих димензија у односу на цветове из незагађених средина, што је потврђено у оквиру спроведених истраживања у смислу

присуства тешких метала у серпентинитском земљишту. Овакве промене у морфологији цветова могу имати значајне последице на репродуктивне процесе. Слично томе, истраживања Syed *u cap.* (2008) сугеришу да загађивачи имају негативан утицај на раст биљака и морфологију цветова. Ови негативни ефекти могу бити директно повезани са хемијским саставом земљишта. Истраживање Meindl *u cap.* (2013) пружа доказе о директном утицају хемијског састава земљишта на морфологију цветова, указујући да серпентинитска земљишта утичу на величину цветова код врсте *Mimulus guttatus*. Биљке које расту на серпентинитским стаништима имају значајно мање цвасти и круничне листиће у односу на врсте са несерпентинитских станишта. У студијама које су спроведене на различитим биљним врстама, истраживачи су утврдили значајне промене у морфологији цветова као резултат еколошког загађења и хемијског састава земљишта. Примери претходних истраживања (Vujić *u cap.* (2015), Syed *u cap.* (2008) и Meindl *u cap.* (2013)), наглашавају важност ових феномена у контексту репродуктивне биологије и морфологије цветова. Резултатима спроведених истраживања потврђено је да присуство одређених макро- и микроелемената у подлози значајно утиче на величину и облик цветова, што је у складу са резултатима које су добили и други аутори (Nagy и Proctor 1997; Murren *u cap.*, 2006; Burnett *u cap.*, 2008). Присуство тешких метала у земљишту често резултира смањеним растом цветова (Hladun *u cap.*, 2011) и њиховим бројем (Saikkonen *u cap.*, 1998). Истраживање (Berygina *u cap.*, 2012) такође указује на утицај тешких метала, као што је Ni, на репродукцију биљака. Сматра се да ова конзервативна стратегија, која се назива „синдром отпорности на стрес“ уобичајена међу биљкама у аридним подручјима. Ова стратегија, коју користе серпентиофите, омогућава одржавање хомеостазе у њиховим вегетативним структурама и омогућава биљци да изврши довољну фотосинтезу за производњу развојно стабилних репродуктивних органа (Alados *u cap.*, 1998).

Резултати овог истраживања показују да су листови популација са серпентинита мањи и ужи за разлику од популација са кречњачког станишта. Dudić *u cap.* (2007) су испитивали морфолошке параметре серпентиофита при чему су приметили да облигатна серпентиофита *Fumana bonapartei* има слабо развијене гране, танке листове и ксероморфну структуру. Палисадно ткиво и кутикула су добро развијени, док су ћелијски зидови епидермалних ћелија јако задебљали. Наведене структурне карактеристике представљају адаптивни одговор биљке на специфичне услове аридних станишта, која се карактеришу интензивном инсолацијом, високим температурама и недостатком воде у подлози. Мањи и ужи листови врсте *T. montanum* која расте на серпентинитском земљишту се могу објаснити различитим адаптацијама како би се иста прилагодила специфичним условима. На пример, земљишта настала на серпентинитској геолошкој подлози се одликују слабом доступности воде (Kruskeberg, 2002), док мањи и ужи листови утичу на смањење губитака воде кроз транспирацију која настаје услед интензивне инсолације и високе температуре (Ackerly *u cap.*, 2002). Вишеслојно палисадно ткиво развијено је код облигатне (*Fumana bonapartei*) и факултативне (*Seseli rigidum*) серпентиофите, што представља одговор на интензивну инсолацију на серпентинитским стаништима. Ћелије у стаблу врсте *Fumana bonapartei* су густе и задебљале због присуства секундарних метаболита чија је улога везивање токсичних јона и спречавање негативног дејства истих (Dudić *u cap.*, 2007). Литературни подаци указују да је геном врсте *T. montanum* са различитих станишта пластичан у односу на ксероморфна својства. Тако, на пример, *T. montanum* са кречњачких и серпентинитских станишта указује на постојање специфичних својстава у морфолошкој структури, при чему су исте код биљака са серпентинита означене као серпентиноморфозе (Stevanović и Stevanović, 1985). Морфолошке разлике су забележене код различитих популација као одговор на адаптивне способности врсте на одређене услове околине. Листови су мали,

прекривени длакама и умерено закривљени на абаксијалну страну. Код биљака са серпентинитских станишта ксероморфне карактеристике су јако изражене у вези са серпентинитским супстратом и ефектом физичке суше. Потребно је напоменути да интеракција биљака са подлогом указује на разлике у одговорима врста на различита окружења, при чему је показано да постоји диференцијација у одговорима биљних врста на промене у животној средини, где варијабилност особина унутар врсте није само значајна већ и специфична за врсту (Gratani, 2014). Vieira *u cap.* (2014) су показали да постоје разлике међу популацијама исте врсте на основу облика листова. Adamidis *u cap.* (2014) су спровели истраживање на 17 биљних врста заступљеним на серпентинитским и несерпентинитским стаништима. Исти аутори наводе да су специфична површина, дужина и ширина листа имале веће вредности на несерпентинитским стаништима, док су проценат суве масе и дебљина листа имале веће вредности за јединке са серпентинита. Познато је да су ширина и дужина листова мања на аридним стаништима и стаништима са недостатком хранљивих материја као што су серпентинитска (Ackerly *u cap.*, 2002). Врсте са серпентинитских станишта улажу више ресурса у структурна једињења због чега су листови дебљи и имају мању специфичну површину лисне плоче. Узимајући у обзир да је дебљина листа повезана са процесима складиштења воде (Lamont и Lamont, 2000), веће вредности наведене карактеристике код биљака са серпентинитских станишта могу се односити на низак капацитет ретенције воде (Kruckeberg, 2002). Pollicelli *u cap.* (2018) су истраживали утицај тешких метала у земљишту на величину и облик листова *Cressa truxillensis* из сланих мочвара. Открили су да нивои тешких метала у земљишту нису утицали на величину листа код испитиване врсте, али јесу на облик. Локалитети са већом количином елемената као што су Zn, Pb и Cu су утицали на појаву листова у облику копља, док су локалитети са најнижом количином метала у земљишту резултирала округлим обликом листова (Pollicelli *u cap.*, 2018). Утврђено је да су високе количине Ni и Pb у листовима *Iris pumila* у загађеном подручју биле око шест пута веће него у незагађеном подручју и да су утицале на величину истих (Miljković *u cap.*, 2014). Такође, показано је да се варијације у симетричним компонентама листова разликују код две врсте и њихових хибрида, у зависности од утицаја одређених фактора средине (Liu *u cap.*, 2018). Показано је да фактори животне средине имају већи утицај на екофизиолошке особине и фенологију листа него генетске варијације (Vitasse *u cap.*, 2010). Добијени резултати указују да су листови популација са серпентинита ужи за разлику од популација са кречњака. Наведене разлике су у складу са претходно поменутих истраживањима.

Према резултатима овог истраживања, средњи облици попречних пресека стабала биљака са различитих геолошких подлога су се разликовали у ширини. Ксилемски елементи стабла са кречњачке подлоге били су ужи у односу на она са серпентинитске, док су флоемски елементи стабала са кречњачке подлоге нешто су шири у односу на стабла са серпентинитске подлоге. Биљке које расту на серпентинитском земљишту, које се одликује присуством тешких метала у великим количинама и слабој доступности хранљивих материја, често развијају шира стабла и развијеније ксилемске елементе као одговор на специфичне услове животне средине (Dudić *u cap.*, 2007). Развијеније и шире стабло има већу површину која служи за пренос воде и минерала из корена ка врху биљке (Hopkins и Huner, 2008), што је важно у екстремним условима који владају на серпентинитском станишту. Такође, развијенији ксилемски елементи могу помоћи биљкама да одрже стабилност и интегритет стабла. С друге стране, биљке које расту на кречњачким земљиштима имају уже стабло и развијеније флоемске елементе због адаптације на специфичне услове ових станишта. Наведене адаптације биљкама омогућавају да оптимално функционишу на кречњачким земљиштима, која су обично сува и карактеришу се slabим присуством воде и већим

присуством есенцијалних макроелемената. На пример, Dudić *u cap.* (2007) наводе да је врста *Seseli rigidum* са серпентинитских станишта била виша и да је стабло било развијеније од врсте са кречњачких станишта. Исти аутори наводе да је разлог за то довољна количина Са и повећана количина Mg у подлози омогућила бољи развој јединки заступљеним на серпентинитској подлози. Са и Mg имају регулаторне способности за многе ензиме и утичу на формирање структурних промена код биљака (Hopkins и Huner, 2008).

Резултати истраживања указују на присуство варирања у величини и облику круница, листова и стабала врсте *T. montanum* у зависности од подлоге. Анализа података открива значајне разлике у облику круница и листова у односу на тип станишта, при чему геолошка подлога има значајан утицај на морфолошке карактеристике биљке. Примећене су разлике у облику стабала за симетричну и асиметричну компоненту у зависности од врсте подлоге. Примећена је статистички значајна разлика у величини центроида биљке за листове и стабла, али не и за величину центроида круница. Разлика у величини између вегетативних и репродуктивних органа код биљака произлази из прилагођавања, времена развоја и расподеле ресурса, како би се оптимизовала укупна способност преживљавања и репродукције у одређеном еколошком окружењу. Ова стратегија расподеле ресурса еволуирала је током времена како би побољшала шансе за преживљавање и репродукцију различитих врста биљака. Флукутирајућа асиметрија код одређених врста показује већу корелацију са карактеристикама вегетативних органа (Møller и Shykoff 1999; Alados *u cap.*, 2001). Анализа указује на значајне разлике у величини између листова и стабла са упоређиваних геолошких подлога, наглашавајући да едафски фактори могу имати кључну улогу у обликовању морфолошких карактеристика биљака. Поређењем средњих облика испитиваних органа, примећене су разлике које се манифестују кроз промене у одређеним структурним елементима, што указује на комплексне механизме који утичу на морфолошке варијације код врсте *T. montanum*.

6. ЗАКЉУЧЦИ

На основу испитивања утицаја типа геолошке подлоге на количину метала у земљишту и надземним деловима испитиване врсте *Teucrium montanum*, количину укупних фенолних једињења, флавоноида и антиоксидативне активности, квантитативног састава 17 појединачних фенолних једињења, квалитативног састава и процента релативне заступљености етарског уља, као и разлика на морфолошком нивоу, могу се извести следећи закључци:

- Количина испитиваних елемената у узорцима земљишта са двадесет анализираних локалитета врсте *Teucrium montanum* варира у широком опсегу у зависности од типа геолошке подлоге. Количина елемената у надземним биљном деловима, је у великој мери одређена количином елемената у земљишту.
 - ✓ Елементи као што су Al, As, B, Ca, Cd, Cu, K, Li, P, Se и Zn су заступљенији у узорцима земљишта са кречњачке подлоге, док су Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Na и Ni заступљенији у узорцима земљишта са серпентинитске подлоге.
 - ✓ Надземни биљни делови врсте *Teucrium montanum* узорковани на стаништима са кречњачком подлогом одикују се већим садржајем Al, Ca, Li и Zn за разлику од узорака са серпентинита, који се одикују већим садржајем Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Na, Ni и Se.
 - ✓ Упоредни приказ садржаја Mg и Ca указује на нарушен однос ова два елемента у узорцима земљишта. Количина Mg је драстично већа у узорцима земљишта са серпентинитске подлоге у односу на узорке земљишта са кречњачке геолошке подлоге, док је количина Ca знатно већа у узорцима земљишта са кречњачке подлоге у односу на узорке са серпентинитске геолошке подлоге.
 - ✓ Узорци врсте *T. montanum* са серпентинита имају неколико пута веће количине K у надземним деловима за разлику узорака ове врсте са кречњака.
 - ✓ Испитивана врста *T. montanum* не припада метал-хиперакумулирајућим биљним врстама.
- Факултативна серпентинофита *T. montanum* поседује способност толеранције на присуство одређених елемената у подлози, услед еволуционих промена насталих деловањем природне селекције унутар популација, што указује на диференцијацију едафских екотипова.
- Количина укупних фенолних једињења, флавоноида, као и антиоксидативна активност екстракта *T. montanum* је већа у узорцима са локалитета на серпентинској геолошкој подлози у односу на узорке са кречњачке геолошке подлоге.
 - ✓ Већа количина укупних фенолних једињења и флавоноида, праћена бољом антиоксидативном активношћу екстракта *T. montanum* са станишта на серпентинитској геолошкој подлози у односу на узорке са станишта на кречњачкој геолошкој подлози, доказује везу између количине и активности секундарних метаболита и типа станишта.
 - ✓ Повећана количина и активност фенолних једињења на стаништима са серпентинитском геолошком подлогом, указује на њихов адаптивни значај у механизму екофизиолошког прилагођавања испитиваних врста на специфичне услове станишта на серпентинској геолошкој подлози која се поред повећане количине тешких метала карактеришу и специфичним водним и температурним режимом.

- Узорци врсте *T. montanum* са станишта на кречњачкој и серпентинитској геолошкој подлози разликују се према квантитативном саставу појединачних фенолних једињења.
 - ✓ Узорци са кречњачких станишта садрже седам пута више хлорогенске киселине и два пута више сиригинске киселине од узорака са серпентинита, док узорци са серпентинитских станишта садрже два пута више катехина, кверцетина и изокверцитрина за разлику од узорака ове врсте са кречњаких станишта.
 - ✓ Међу испитиваним фенолним једињењима, рутин је најзаступљеније једињење у узорцима врсте *T. montanum* пореклом са оба типа станишта.
- Диференцијација у квантитативном саставу одређених група секундарних метаболита врсте *T. montanum* у односу на тип подлоге указује на постојање кречњачких и серпентинитских екотипова/хемотипова.
- Диференцијација екотипова врсте *T. montanum* у односу на хемијски састав указује на способност врсте да се адаптира на различите едафске услове станишта модификацијом биосинтетских путева биоактивних једињења из класе фенола.
- Упоредна анализа садржаја етарских уља врсте *T. montanum* са кречњачких и серпентинитских станишта указује на значајан утицај подлоге на садржај и квалитативни састав ове групе једињења.
 - ✓ Узорци са серпентинитских станишта имају три пута већи принос етарских уља у односу на узорке са кречњаких станишта.
 - ✓ Узорци са серпентинитских станишта садрже двоструко више моно- и сесквитерпена у односу на узорке са кречњаких станишта, док узорци са кречњачких станишта садрже двоструко више угљоводоника у односу на узорке са серпентинита.
 - ✓ Једињења са највећим процентом релативне заступљености у узорцима етарских уља врсте *T. montanum* припадају групи сесквитерпена.
 - ✓ Међу једињењима са највећим процентом релативне заступљености у узорцима са кречњачких станишта је алифатични угљоводоник тетракосан.
 - ✓ Међу једињењима са највећим процентом релативне заступљености у узорцима са серпентинитских станишта је окидовани сесквитерпен лимонен-10-ол.
 - ✓ Једињења која су детектована само у узорцима са кречњачких станишта су додекан и изофитол.
 - ✓ Једињења која су детектована само у узорцима са серпентинита су 3-карен-2-ол, карвон оксид и пиронен.
- Степен фенотипског варирања величине и облика крунице, листова и стабла врсте *T. montanum* зависи од подлоге.
 - ✓ Постоји статистички значајна разлика између облика крунице и листова за симетричну компоненту у односу на подлогу.
 - ✓ Постоји статистички значајна разлика између облика стабла за симетричну и асиметричну компоненту у односу на подлогу.
 - ✓ Постоји значајна статистичка разлика између просечне величине центроида за лист и стабло, док није примећена статистички значајна разлика за величину центроида крунице.

- ✓ Постоје статистички значајна разлике у величини између листа и стабла јединки узоркованих на са кречњачким и серпентинитским стаништима.
- На основу добијених резултата у оквиру спроведених истраживања, показано је да алометрија не утиче у великој мери на значајност разлика у облику испитиваних органа.
- Поређењем средњих облика испитиваних органа утврђене су разлике између њихових облика, који се углавном испољавају кроз ширење и сужавање одређених структурних елемената.

7. ЛИТЕРАТУРА

1. Achakzai, A.K.K., Achakzai, P., Masood, A., Kayani, A., Tareen, R.B. (2009). Response of plant parts and age on the distribution of secondary metabolites on plants found in Quetta. *Pakistan Journal of Botany*, 41(5), 2129-2135.
2. Ackerly, D., Knight, C., Weiss, S., Barton, K., Starmer, K. (2002). Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. *Oecologia*, 130, 449-457.
3. Adamidis, G.C., Kazakou, E., Fyllas, N.M., Dimitrakopoulos, P.G. (2014). Species adaptive strategies and leaf economic relationships across serpentine and non-serpentine habitats on Lesbos, Eastern Mediterranean. *PLoS ONE*, 9 (5), e96034.
4. Agati, G., Galardi, C., Graveno, E., Romani, A., Tattini, M. (2002). Flavonoid distribution in tissues of *Phillyrea latifolia* L. leaves as estimated by microspectrofluorometry and multispectral fluorescence microimaging. *Photochemistry and Photobiology*, 76(3), 350-360.
5. Agati, G., Azzarello, E., Pollastri, S., Tattini, M. (2012). Flavonoids as antioxidants in plants: location and functional significance. *Plant Science*, 196, 67-76.
6. Akash, M.S.H., Yaqoob, A., Rehman, K., Imran, M., Assiri, M.A., Al-Rashed, F., Al-Mulla, F., Ahmad, R., Sindhu, S. (2023). Metabolomics: a promising tool for deciphering metabolic impairment in heavy metal toxicities. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 10.
7. Alados, L., Navarro, T., Cabezero, B., Emlen, M.J., Freeman, C. (1998). Developmental instability in gynodioecious *Teucrium lusitanicum*. *Evolution and Ecology*, 12, 21-34.
8. Alados C.L., T. Navarro, J. Escós, Cabezero, B., Emlen, J.M. (2001). Translational and fluctuating asymmetry as tools to detect stress in stress-adapted and sonadapted plants. *International Journal of Plant Sciences*, 162, 607-616.
9. Alexander, E.B., Coleman, R.G., Keeler-Wolf, T., Harrison, S.P. (2007). Serpentine geocology of western North America: Geology, soils, and vegetation. Oxford University Press, New York, 512 pp.
10. Anttonen, M.J., Hoppula, K.I., Nestby, R., Verheul, M.J., Karjalainen, R.O. (2006). Influence of fertilization, mulch color, early forcing, fruit order, planting date, shading, growing environment, and genotype on the contents of selected phenolics in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(7), 2614-2620.
11. Asemaneh, T., Ghaderian, S. M., Baker, A.J.M. (2007). Responses to Mg/Ca balance in an Iranian serpentine endemic plant, *Cleome heratensis* (Capparaceae) and a related nonserpentine species, *C. foliolosa*. *Plant and Soil*, 293, 49-59.

12. Ata, S., Farooq, F., Javed, S. (2011). Elemental profile of 24 common medicinal plants of Pakistan and its direct link with traditional uses. *Journal of Medicinal Plant Research*, 5(26), 6164-6168.
13. Baker, A.J.M. (1981). Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3(1-4), 643-654.
14. Baker, A.J.M. (1987). Metal tolerance. *New Phytologist*, 106(1), 93-111.
15. Bakhshi, D., Arakawa, O. (2006). Induction of phenolic compounds biosynthesis with light irradiation in the flesh of red and yellow apples. *Journal of Applied Horticulture*, 8(2), 101-104.
16. Balabanova, B., Stafilov, T., Bačeva, K. (2015). Bioavailability and bioaccumulation characterization of essential and heavy metals contents in *R. acetosa*, *S. oleraceae* and *U. dioica* from copper polluted and referent areas. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(2), 1-13.
17. Baniwal, S. K., Bharti, K., Chan, K. Y., Fauth, M., Ganguli, A., Kotak, S., Mishra, S. K., Nover, L., Port, M., Scharf, K.D., Tripp, J., Weber, C., Zielinskim, D., Von Koskull Döring, P. (2004). Heat stress response in plants: a complex game with chaperones and more than twenty heat stress transcription factors. *Journal of Biosciences*, 29(4), 471-487.
18. Barra, A. (2009). Factors affecting chemical variability of essential oils: a review of recent developments. *Natural Product Communications*, 4(8), 1147-1154.
19. Baser, K.H.C., Demirçakmak, B., Duman, H. (1997). Composition of the essential oils of three *Teucrium* species from Turkey. *Journal of Essential Oil Research*, 9(5), 545-549.
20. Benavides, M.P., Gallego, M.S., Tomaro, L.M. (2005). Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 21-34.
21. Bennett, R.N., Wallsgrove, R.M. (1994). Secondary metabolites in plant defense mechanisms. *The New Phytologist*, 127, 617-633.
22. Bernatoniene, J., Kopustinskiene, D.M. (2018). The role of catechins in cellular responses to oxidative stress. *Molecules*, 23(4), 965.
23. Berni, R., Luyckx, M., Xu, X., Legay, S., Sergeant, K., Hausman J.F., Lutts, S., Cai, G., Guerriero, G. (2019). Reactive oxygen species and heavy metal stress in plants: Impact on the cell wall and secondary metabolism. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 98-106.
24. Best, G.M. (2003). Igneous and metamorphic petrology. 2nd edition. Blackwell Publishing, New Jersey, 752 pp.

25. Bilings, G.K., Ragland, P.C. (1968). Geochemistry and mineralogy of the Recent reef and lagoonal sediments south of Belize (British Honduras). *Chemical Geology*, 3(2), 135-153.
26. Blake, L., Goulding, K.W.T. (2002). Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK. *Plant and Soil*, 240, 235-251.
27. Blokhina, O., Virolainen, E., Fagerstedt, K.V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany*, 91(2), 179-194.
28. Boggs, S. (2009). Petrology of sedimentary rocks. 2nd edition. Cambridge University Press, 612 pp.
29. Bors, W., Heller, W., Michel, C., Saran, M. (1990). Flavonoids as antioxidants: determination of radical-scavenging efficiencies. *Methods in Enzymology*, 186, 343-355.
30. Brady, U.K., Kruckeberg, R.A., Bradshaw, J.H.D. (2005). Evolutionary ecology of plant adaptation to serpentine soils. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 36, 243-266.
31. Bresson, C.C., Vitasse, Y., Kremer, A., Delzon, S. (2011). To what extent is altitudinal variation of functional traits driven by genetic adaptation in European oak and beech? *Tree Physiology*, 31(11), 1164-1174.
32. Breygina, M., Matveyeva, N., Polevova, S., Meychik, N., Nikolaeva, Y., Mamaeva, A., Yermakov, I. (2012). Ni²⁺ effects on *Nicotiana tabacum* L. pollen germination and pollen tube growth. *BioMetals*, 25, 1221-1233.
33. Brielmann, H.R., Setzer, W.N., Kaufman, P.B., Kirakosyan, A., Cseke, L.J. (2006). Phytochemicals: The chemical components of plants. In: Cseke, L.J., Kirakosyan, A., Kaufman, P.B., Warber, S.L., Dule J.A., Brielmann, H.R. eds. Natural products from plants. 2nd edition. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 1-50 pp.
34. Brooks, R.R. (1987). Serpentine and its vegetation: A multidisciplinary approach (ecology, phytogeography and physiology). Dioscorides Press, Portland, USA, 462 pp.
35. Brooks, R.R. (1998). Geobotany and hyperaccumulators. In: Brooks, R.R. ed. Plants that hyperaccumulate heavy metal. CAB International, Wallingford, UK. 55-94 pp.
36. Brown, P.H., Dunemann, L., Schultz, R., Marschner, H. (1989). Influence of redox potential and plant species on the uptake of nickel and cadmium from soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 152(1), 85-91.
37. Brunetti, G., Soler-Rovira, P., Farrag, K., Senesi, N. (2008). Tolerance and accumulation of heavy metals by wild plants species grown in contaminated soils in Apulia region – Southern Italy. *Plant and Soil*, 318, 285-298.

38. Budečević, S. (2018). Morfološko variranje, fenotipska plastičnost i fluktuirajuća asimetrija oblika cvetnih organa kod *Iris pumila* L, Doktorska disertacija. Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
39. Caiza Guamba, J.C., Corredor, D., Galárraga, C., Herdoiza, J.P., Santillán, M., Segovia-Salcedo, M.C. (2021). Geometry morphometrics of plant structures as a phenotypic tool to differentiate *Polylepis incana* Kunth. and *Polylepis racemose* Ruiz & Pav. Reforested jointly in Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 7(1), 121-134.
40. Carmignano, O.R.D.R., Vieira, S.S., Brandão, P.R.G., Bertoli, A.C., Lago, R.M. (2020). Serpentinites: Mineral structure, properties, and technological applications. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 32(1), 2-14.
41. Čanadanović-Brunet, J.M., Djilas, S.M., Četković, G.S., Tumbas, V.T., Mandić, A.I., Čanadanović, V.M. (2006). Antioxidant activities of different *Teucrium montanum* L. extracts. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(6), 667-673.
42. Chen, S., Wang, Q., Lu, H., Li, J., Yang, D., Liu, J., Yan, C. (2019). Phenolic metabolism and related heavy metal tolerance mechanism in *Kandelia obovata* under Cd and Zn stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169, 134-143.
43. Chiarucci, A. (2004). Vegetation ecology and conservation on Tuscan ultramafic soils. *The Botanical Review*, 69(3), 252-268.
44. Chong, J., Poutaraud, A., Huguene, P. (2009). Metabolism and roles of stilbenes in plants. *Plant Science*, 177(3), 143-155.
45. Clemens, S. (2001). Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. *Planta*, 212(4), 475-486.
46. Cornara, L., Roccotiello, E., Minganti, V., Drava, G., De Pellegrini, R., Mariotti, M.G. (2007). Level of trace elements in plants growing on serpentine and metalliferous soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 17, 781-787.
47. Cuvelier, M.E., Richard, H., Berset, C. (1992). Comparison of the antioxidative activity of some acid-phenols: structure-activity relationship. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 56(2), 324-325.
48. Станковић, С.М. (2012). Биолошки ефекти секундарних метаболита врста рода *Teucrium* L. флоре Србије, Докторска дисертација, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац.
49. DalCorso, G., Farinati, S., Furini, A. (2010). Regulatory networks of cadmium stress in plants. *Plant Signaling and Behaviour*, 5(6), 663-667.
50. De Feo, V., Bruno, M., Tahiri, B., Napolitano, F., Senatore, F. (2003). Chemical composition and antibacterial activity of essential oils from *Thymus spinulosus* Ten (Lamiaceae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(13), 3849-3853.

51. de Jong, G. (2005). Evolution of phenotypic plasticity: patterns of plasticity and the emergence of ecotypes. *The New Phytologist*, 166(1), 101-117.
52. Debat, V., David, P. (2001). Mapping phenotypes: canalization, plasticity and developmental stability. *Trends in Ecology and Evolution*, 16(10), 555-561.
53. Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. (1992). An introduction to the rock-forming minerals. 2nd edition. Longmans, Green and Company Limited, London, 696 pp.
54. Diklić, N. (1974). *Teucrium* L. In: Josifović, M. ed. Flora SR Srbije. SANU, Beograd. 349-356 pp.
55. Đorđević, V., Đorđević, P., Milovanović, D. (1991). Osnovi petrologije. Nauka, Beograd, 223 pp.
56. Dresler, S., Rutkowska, E., Bednarek, W., Stanisławski, G., Kubrak, T., Bogucka-Kocka, A., Wójcik, M. (2017). Selected secondary metabolites in *Echium vulgare* L. populations from nonmetalliferous and metalliferous areas. *Phytochemistry*, 133, 4-14.
57. Dubey, R.S. (2011). Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: Gupta, S.D. ed. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 177-203 pp.
58. Dudić, B., Rakić, T., Šinžar-Sekulić, J., Atanacković, V., Stevanović, B. (2007). Differences of metal concentrations and morpho-anatomical adaptations between obligate and facultative serpentinophytes from Western Serbia. *Archives of Biological Sciences*, 59(4), 341-349.
59. Dvorkin, A.Y., Steinberger, E.H. (1999). Modeling the altitude effect on solar UV radiation. *Solar Energy*, 65(3), 181-187.
60. Elguera, J.C.T., Barrientos, E.Y., Wrobel, K., Wrobel, K. (2013). Effect of cadmium (Cd (II)), selenium (Se (IV)) and their mixtures on phenolic compounds and antioxidant capacity in *Lepidium sativum*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 431-441.
61. Emery, R.J.N., Reid, D.M., Chinnappa, C.C. (1994). Phenotypic plasticity of stem elongation in two ecotypes of *Stellaria longipes*: the role of ethylene and response to wind. *Plant, Cell and Environment*, 17, 691-700.
62. Endt, D.V., Kijne, J.W., Memelink, J. (2002). Transcription factors controlling plant secondary metabolism: what regulates the regulators? *Phytochemistry*, 61(2), 107-114.
63. Fick, S.E., Hijmans, R.J. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315.
64. Figueiredo, A.C., Barroso, J.G., Pedro, L.G., Scheffer, J.C. (2008). Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 23(4), 213-226.

65. Filippini, R., Piovan, A., Borsarini, A., Caniato, R. (2010). Study of dynamic accumulation of secondary metabolites in three subspecies of *Hypericum perforatum*. *Fitoterapia*, 81(2), 115-119.
66. Flamini, G., Cioni, P.L., Morelli, I., Maccioni, S., Baldini, R. (2004). Phytochemical typologies in some populations of *Myrtus communis* L. on caprione promontory (east Liguria, Italy). *Food Chemistry*, 85(4), 599-604.
67. Folk, R.L. (1974). Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, 170 pp.
68. Franco, D.M., Silva, E.M., Saldanha, L.L., Adachi, S.A., Schlay, T.R., Rodrigues, T.M., Dokkedal, A.L., Nogueira, F.T.S., Rolim de Almeida, L.F. (2015). Flavonoids modify root growth and modulate expression of SHORT-ROOT and HD-ZIP III. *Journal of Plant Physiology*, 188, 89-95.
69. Gamalero, E., Lingua, G., Berta, G., Glick, B. (2009). Beneficial role of plant growth promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on plant responses to heavy metal stress. *Canadian Journal of Microbiology*, 55(5), 501-514.
70. Ganeva, G., Zozikova, E. (2007). Effect of increasing Cu²⁺ concentrations on growth and content of free phenols in two lines of wheat (*Triticum aestivum*) with different tolerance. *General and Applied Plant Physiology*, 33(1-2), 75-82.
71. Ghaderian, A.M., Mohtadi, A., Rahiminejad, R., Reeves, R.D., Baker, A.J.M. (2007). Hyperaccumulation of nickel by two *Alyssum* species from the serpentine soils of Iran. *Plant and Soil*, 293(1), 91-97.
72. Glynn, C., Herms, D.A., Orians, C.M., Hansen, R.C., Larsson, S. (2007). Testing the growth-differentiation balance hypothesis: dynamic responses of willows to nutrient availability. *The New Phytologist*, 176(3), 623-634.
73. Gonneau, C., Genevois, N., Frerot, H., Sirguey, C., Streckeman, T. (2014). Variation of trace metal accumulation, major nutrient uptake and growth parameters and their correlations in 22 populations of *Noccaea caerulea*. *Plant and Soil*, 384, 271-287.
74. Govaerts, R. (2003). World checklist of selected plant families database in access: 1-216203. The Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew.
75. Gratani, L. (2014). Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. *Advanced in Botany*, 4, 1-17.
76. Gwózdź, E.A., Przymusiński, R., Rucińska, R., Deckert, J. (1997). Plant cell responses to heavy metals: molecular and physiological aspects. *Acta Physiologiae Plantarum*, 19, 459-465.
77. Hamid, N., Bukhari, N., Jawaid, F. (2010). Physiological responses of *Phaseolus vulgaris* to different lead concentrations. *Pakistan Journal of Botany*, 42(1), 239-246.

78. Harrison, S.P., Rajakaruna, N. (2011). What have we learned from serpentine about evolution, ecology, and other sciences. In: Harrison, S.P., Rajakaruna, N. eds. *Serpentine: Evolution and ecology of a model system*. University of California Press, Berkeley, California, USA, 417-427 pp.
79. Hladun, R.K., Parker, R.D., Trumble, T.J. (2011). Selenium accumulation in the floral tissues of two Brassicaceae species and its impact on floral traits and plant performance. *Environmental and Experimental Botany*, 74, 90-97.
80. Hopkins, G.W., Huner, P.A.N. (2008). *Introduction to plant physiology*. Fourth edition. Wiley, John Wiley and Sons, Inc, 528 pp.
81. Hossain, M.A., Hasanuzzaman, M., Fujita, M. (2010). Upregulation of antioxidant and glyoxalase system by exogenous glycinebetaine and proline in mung bean confertolerance to cadmium stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 16(3), 259-272.
82. Hsu, Y.T., Kao, C.H. (2004). Cd toxicity is reduced by nitric oxide in rice leaves. *Plant Growth Regulation*, 42, 227-238.
83. Ibrahim, M.H., Chee Kong, Y., Mohd Zain, N.A. (2017). Effect of cadmium and copper exposure on growth, secondary metabolites and antioxidant activity in the medicinal plant Sambung Nyawa (*Gynura procumbens* (Lour.) Merr). *Molecules*, 22, 1623.
84. Ignat, I., Volf, I., Popa, V.I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126(4), 1821-1835.
85. Isabelle, M., Lee, B.L., Lim, M.T., Koh, W.P., Huang, D., Ong, C.N. (2010). Antioxidant activity and profiles of common vegetables in Singapore. *Food Chemistry*, 120(4), 993-1003.
86. Ivanović, A., Kalezić, M. (2013). *Evoluciona morfologija: teorijske postavke i geometrijska morfometrija*. Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 216 pp.
87. Jańczak-Pieniążek, M., Cichoński, J., Michalik, P., Chrzanowski, G. (2022). Effect of heavy metal stress on phenolic compounds accumulation in winter wheat plants. *Molecules*, 28(1), 241.
88. Jha, A.B., Dubey, S.R. (2004). Arsenic exposure alters activity behaviour of key nitrogen assimilatory enzymes in growing rice plants. *Plant Growth Regulation*, 43(3), 259-268.
89. Johnston, W.R., Proctor, J. (1977). Metal concentrations in plants and soil from two British serpentine sites. *Plant and Soil*, 46, 275-278.
90. Jomová, K., Hudecova, L., Lauro, P., Simunkova, M., Alwasel, S.H., Alhazza, I.M., Valko, M. (2019). A switch between antioxidant and prooxidant properties of the phenolic compounds myricetin, morin, 3',4'-dihydroxyflavone, taxifolin and 4-

- hydroxy-coumarin in the presence of copper (II) ions: A spectroscopic, absorption titration and DNA damage study. *Molecules*, 24(23), 4335.
91. Kabata-Pendias, A. (2011). Trace elements in soils and plants. 4th edition. Boca Ration, Florida, USA, 548 pp.
 92. Kachout, S.S., Mansoura, B.A., Leclerc, C.J., Mechergui, R., Rejeb, N.M., Ouerghi, Z. (2009). Effects of heavy metals on antioxidant activities of *Atriplex hortensis* and *A. rosea*. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(3), 938-945.
 93. Kastori, R., Bogdanović, D., Kádár, I., Milošević, N., Sekulić, P., Pucarević, M. (2006). Uzorkovanje zemljišta i biljaka nezagađenih i zagađenih staništa. Naučni Institut za Ratarstvo i Povrtarstvo, Novi Sad, 244 pp.
 94. Kastori, R., Ilin, Ž., Maksimović, I., Putnik-Delić, M. (2013). Kalijum u ishrani biljaka - kalijum i povrće. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet Novi Sad, Novi Sad, 325 pp.
 95. Kataeva, M.N., Alexeeva-Popova, N.V., Drozdova, I.V., Beljaeva, A.I. (2004). Chemical composition of soils and plant species in the Polar Urals as influence by rock type. *Geoderma*, 122(2-4), 257-268.
 96. Kazakou, E., Dimitrakopoulos, P.G., Baker, A.J.M., Reeves, R.D., Troumbis, A.Y. (2008). Hypotheses, mechanisms and trade-offs of tolerance and adaptation to serpentine soils: from species to ecosystem level. *Biological Reviews*, 83(4), 495-508.
 97. Keilig, K., Ludwig-Müller, J. (2009). Effect of flavonoids on heavy metal tolerance in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Botanical Studies*, 50, 311-318.
 98. Khan, M.A.M., Ulrichs, C., Mewis, I. (2010). Influence of water stress on the glucosinolate profile of *Brassica oleracea* var. *italica* and the performance of *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 137(3), 229-236.
 99. Kim, M.S., Kim, C., Jo, H.D., Ryu, W.Y. (1999). Effect of fungal elicitor and heavy metals on the production of flavonol glycosides in cell cultures of *Ginkgo biloba*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 9(5), 661-667.
 100. Kishchuk, B.E. (2000). Calcareous soils, their properties and potential limitations to conifer growth in southeastern British Columbia and Western Alberta: a literature review. *Canadian Forest Service Publications*, NOR-X-370.
 101. Kliebenstein, D.J., Osbourn, A. (2012). Making new molecules - evolution of pathways for novel metabolites in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 15(4), 415-423.
 102. Klingenberg, C.P., Duttke, S., Whelan, S., Kim, M. (2012). Developmental plasticity, morphological variation and evolvability: a multilevel analysis of morphometric integration in the shape of compound leaves. *Journal of Evolutionary Biology*, 25, 115-129.

103. Klingenberg, C.P. (2009). Morphometric integration and modularity in configurations of landmarks: tools for evaluating a priori hypotheses. *Evolution and Development*, 11(4), 405-421.
104. Klingenberg, C.P. (2010). Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches. *Nature Reviews Genetics*, 11(9), 623-635.
105. Klingenberg, C.P. (2011). MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11, 353-357.
106. Klingenberg, C.P. (2015). Analyzing fluctuating asymmetry with geometric morphometrics: concepts, methods, and applications. *Symmetry*, 7(2), 843-934.
107. Klingenberg, C.P., Duttke, S., Whelan, S., Kim, M. (2012). Developmental plasticity, morphological variation and evolvability: a multilevel analysis of morphometric integration in the shape of compound leaves. *Journal of Evolutionary Biology*, 25(1), 115-129.
108. Klingenberg, C.P., Monteiro, L.R. (2005). Distances and directions in multidimensional shape spaces: implications for morphometric applications. *Systematic Biology*, 54(4), 678-688.
109. Korkina, L.G. (2007). Phenylpropanoids as naturally occurring antioxidants: From plant defense to human health. *Cellular and Molecular Biology*, 53(1), 15-25.
110. Kovačević, N.N., Lakušić, B.S., Ristić, M.S. (2001). Composition of the essential oils of seven *Teucrium* species from Serbia and Montenegro. *Journal of Essential Oil Research*, 13(3), 163-165.
111. Kruckeberg, A.R. (1954). The ecology of serpentine soils III. Plant species in relation to serpentine soils. *Ecology*, 35(2), 267-274.
112. Kruckeberg, A.R. (1984). California serpentines: flora, vegetation, geology, soils, and management problems. University of California Press, Berkeley, 196 pp.
113. Kumar, N., Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, 24:e00370.
114. Kumar, S., Sandhir, R., Ojha, S. (2014). Evaluation of antioxidant activity and total phenol in different varieties of *Lantana camara* leaves. *BMC Research Notes*, 7, 560.
115. Lakušić, B. (2000). Morfološka varijabilnost i ekološka diferencijacija vrsta roda *Teucrium* L. (Lamiaceae) u Jugoslaviji, Doktorska disertacija. Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
116. Lakušić, D., Lakušić, B. (2014). Morpho-anatomical differentiation of the species *Teucrium montanum* (Lamiaceae) in the Central Balkan Peninsula. *Botanica Serbica*, 38(1), 109-120.

117. Lambers, H., Stuart Chapin III, F., Pons, L.T. (2008). Plant physiological ecology. 2nd edition. Springer, New York, 605 pp.
118. Lamont, B.B., Lamont, C.H. (2000). Utilizable water in leaves of 8 arid species as derived from pressure-volume curves and chlorophyll fluorescence. *Physiologia Plantarum*, 110(1), 64-71.
119. Lang, M., Binder, M., Richter, J., Schratz, P., Pfisterer, F., Coors, S., Au, Q., Casalicchio, G., Kotthoff, L., Bischl, B. (2019). mlr3>: A modern object-oriented machine learning framework in R. *Journal of Open Source Software*, 4(44), 1903.
120. Lavid, N., Schwartz, A., Yarden, O., Tel-Or, E. (2001). The involvement of polyphenols and peroxidase activities in heavy metal accumulation by epidermal glands of the waterlily (Nymphaeaceae). *Planta Medica*, 212, 323-331.
121. Lazarus, B.E., Richards, J.H., Claassen, V.P., O'Dell, R.E., Ferrell, M.A. (2011). Species specific plant-soil interaction influence plant distribution on serpentine soils. *Plant and Soil*, 342, 327-344.
122. Liu, Y., Li, Y., Song, J., Zhang, R., Yan, Y., Wang, Y., Du, F.K. (2018). Geometric morphometric analyses of leaf shapes in two sympatric Chinese oaks: *Quercus dentata* Thunberg and *Quercus aliena* Blume (Fagaceae). *Annals of Forest Science*, 75, 90.
123. Lombini, A., Dinelli, E., Ferrari, C., Simoni, A. (1998). Plant-soil relationships in the serpentinite screes of Mt Prinzera (Northern Apennines, Italy). *Journal of Geochemical Exploration*, 64(1-3), 19-33.
124. Luo, Q., Wang, S., Sun, L.N., Wang, H. (2017). Metabolic profiling of root exudates from two ecotypes of *Sedum alfredii* treated with Pb based on GC-MS. *Scientific Reports*, 7(1), 1-9.
125. Ma, X., Laaksonen, O., Zheng, J., Yang, W., Trépanier, M., Kallio, H., Yang, B. (2016). Flavonol glycosides in berries of two major subspecies of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) and influence of growth sites. *Food Chemistry*, 200, 189-198.
126. Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727-747.
127. Mandal, M.S., Chakraborty, D., Dey, S. (2010). Phenolic acids act as signaling molecules in plant-microbe symbioses. *Plant Signaling & Behavior*, 5(4), 359-368.
128. Marčetić, M., Kovačević, N., Lakušić, B., Lakušić, B. (2017). Habitat-related variation in composition of the essential oil of *Seseli rigidum* Waldst. & Kit. (Apiaceae). *Phytochemistry*, 135, 80-92.
129. Marchese, A.J., Ferreira, F.S.J, Rehder, L.G.V., Rodrigues, O. (2010). Water deficit effect on the accumulation of biomass and artemisinin in annual wormwood (*Artemisia annua* L., Asteraceae). *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 22(1), 1-9.

130. Marković, M., Pavlović, R., Čupković, T. (2003). Geomorfologija. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva. Beograd, 235 pp.
131. Marschner, H. (2011). Mineral nutrition of higher plants. 3rd edition. Elsevier Academic Press, Amsterdam, Netherlands, 684 pp.
132. Martel, J., Lempa, K., Haukioja, E. (1999). Effects of stress and rapid growth on fluctuating asymmetry and insect damage in birch leaves. *Oikos*, 86, 208-216.
133. Wright, N.M., Ziegler, A. (2017). ranger: A fast implementation of random forest for high dimensional data in C++ and R. *Journal of Statistical Software*, 77(1), 1-17.
134. Meier, S., Alvear, M., Borie, F., Aguilera, P., Ginocchio, R., Cornejo, P. (2012). Influence of copper on root exudate patterns in some metallophytes and agricultural plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 75, 8-15.
135. Meindl, A.G., Bain, J.D., Ashman, L.T. (2013). Edaphic factors and plant–insect interactions: direct and indirect effects of serpentine soil on florivores and pollinators. *Oecologia*, 173, 1355-1366.
136. Michalak, A. (2006). Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(4), 523-530.
137. Mihailović, V., Katanić Stanković, J.S., Mihailović, N. (2020). Phenolic compounds diversity of *Teucrium* species. In: Stanković, M. ed. *Teucrium* species: Biology and applications. Springer, Cham, Switzerland, 143-177 pp.
138. Miljkovic D. (2012). Developmental stability of *Iris pumila* flower traits: A common garden experiment. *Archives of Biological Sciences*, 64(1), 123-133.
139. Miljković, D., Avramov, S., Vujić, V., Rubinjoni, L., Barišić Klisarić, N., Živković, U., Tarasjev, A. (2014). Lead and nickel accumulation in *Iris pumila*: consideration of its usefulness as a potential bioindicator in the natural protected area of Deliblato sands, Serbia. *Archives of Biological Science*, 66, 331-336.
140. Mišić, D., Šiler, B., Gašić, U., Avramov, S., Živković, S., Nestorović Živković, J., Milutinović, M., Tešić, Ž. (2015). Simultaneous UHPLC/DAD/(+/-)HESI-MS/MS analysis of phenolic acids and nepetalactones in methanol extracts of *Nepeta* species: a possible application in chemotaxonomic studies. *Phytochemical Analysis*, 26(1), 72–85.
141. Mitreski, I., Stanoeva, J.P., Stefova, M., Stefkov, G., Kulevanova, S. (2014). Polyphenols in representative *Teucrium* species in the flora of R. Macedonia: LC/DAD/ESI-MS n profile and content. *Natural Product Communications*, 9(2), 1934578X1400900211.
142. Møller, A.P., Eriksson, M. (1994). Patterns of fluctuating asymmetry in flowers: Implications for sexual selection in plants. *Journal of Evolution and Biology*, 7, 97-113.

143. Møller, A.P. (1998). Developmental instability of plants and radiation from Chernobyl. *Oikos*, 81, 444-448.
144. Møller, A.P., Shykoff, P. (1999). Morphological developmental stability in plants: patterns and causes. *International Journal of Plant Sciences*, 160, 135-146.
145. Moore, B.D., Andrew, R.L., Külheim, C., Foley, W.J. (2014). Explaining intraspecific diversity in plant secondary metabolites in an ecological context. *The New Phytologist*, 201(3), 733-750.
146. Morse, J.W., Mackenzie, F.T. (1990). Geochemistry of sedimentary carbonates. Amsterdam, Elsevier, 706 pp.
147. Murren, J.C., Douglass, L., Gibson, A., Dudas, R.M. (2006). Individual and combined effects of Ca/Mg ratio and water on trait expression in *Mimulus guttatus*. *Ecology*, 87(10), 2591-2602.
148. Myrvang, M.B., Gjengedal, E., Heim, M., Krogstad, T., Almås, A.R. (2016). Geochemistry of barium in soils supplied with carbonatite rock powder and barium uptake to plants, *Applied Geochemistry*, 75, 1-8.
149. Naczki, M., Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 95-111.
150. Nasim, S.A., Dhir, B. (2010). Heavy metals alter the potency of medicinal plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 203, 139-149.
151. Nastić, N., Švarc-Gajić, J., Delerue-Matos, C., Barroso, M.F., Soares, C., Moreira, M.M., Morais, S., Mašković, P., Srček, V.G., Slivac, I., Radošević, K., Radojković, M. (2018). Subcritical water extraction as an environmentally-friendly technique to recover bioactive compounds from traditional Serbian medicinal plants. *Industrial Crops & Products*, 111, 579-589.
152. Navarro, T. (2020). Systematics and biogeography of the genus *Teucrium* (Lamiaceae). In: Stanković, M. ed. *Teucrium* species: Biology and applications. Springer, Cham, Switzerland, 1-38 pp.
153. Nikolić, B., Ristić, M., Bojović, S., Krivošej, Z., Matevski, V., Marin, P.D. (2015). Population variability of essential oils of *Pinus heldreichii* from the Scardo-Pindic Mountains Ošljak and Galičica. *Chemistry & Biodiversity*, 12(2), 295-308.
154. Nogués, I., Muzzini, V., Loreto, F., Bustamante, M.A. (2015). Drought and soil amendment effects on monoterpene emission in rosemary plants. *Science of Total Environment*, 538, 768-778.
155. Oh, M., Trick, H.N., Rajashekar, C.B. (2009). Secondary metabolism and antioxidants are involved in environmental adaptation and stress tolerance in lettuce. *Journal of Plant Physiology*, 166(2), 180-191.

156. Oleszek, W., Stochmal, A., Karolewski, P., Simonet, A.M., Macias, F.A., Tava, A. (2002). Flavonoids from *Pinus sylvestris* needles and their variation in trees of different origin grown for nearly a century at the same area. *Biochemical Systematics and Ecology*, 30(11), 1011-1022.
157. Ormeño, E., Baldy, V., Ballini, C., Fernandez, C. (2008). Production and diversity of volatile terpenes from plants on calcareous and siliceous soils: effect of soil nutrients. *Journal of Chemical Ecology*, 34(9), 1219-1229.
158. Ormeño, E., Bousquet-Melou, A., Mévy, J.P., Greff, S., Robles, S., Bonin, G., Fernandez, C. (2007b). Effect of infraspecific competition and substrate type on terpene emissions of some Mediterranean species. *Journal of Chemical Ecology*, 33(2), 277-286.
159. Ormeño, E., Mévy, J.P., Vila, A., Bousquet-Melou, A., Greff, S., Bonin, G., Fernandez, C. (2007a). Water deficit stress induces different monoterpene and sesquiterpene emission changes in Mediterranean species. Relationship between terpene emission and plant water potential. *Chemosphere*, 67(2), 276-284.
160. Özcan, T. (2020). Morphological characteristics of *Teucrium* species: Vegetative morphology. In: Stanković, M. ed. *Teucrium* species: Biology and applications. Springer, Cham, Switzerland, 39-52 pp.
161. Palá-Paúl, J., Usano-Aleman, J., Soria, A.C., Pérez-Alonso, M.J., Brophy, J.J. (2008). Essential oil composition of *Eringium campestre* L. growing in different soil types. A preliminary study. *Natural Product Communications*, 3(7), 1121-1126.
162. Palit, S., Sharma, A., Talukder, G. (1994). Effects of cobalt on plants. *The Botanical Review*, 60(2), 150-181.
163. Pavela, R., Benelli, G., Canale, A., Maggi, F., Mártonfi, P. (2020). Exploring essential oils of Slovak medicinal plants for insecticidal activity: The case of *Thymus alternans* and *Teucrium montanum* subsp. *jailae*. *Food and Chemical Toxicology*, 138, 111203.
164. Pavlova, D., Karadjova, I., Stanković, M., Zlatić, N. (2020). Ecology of *Teucrium* species: Habitat related metal content dynamics. In: Stanković, M. ed. *Teucrium* species: Biology and applications. Springer, Cham, Switzerland, 73-110 pp.
165. Pavlova, D. (2009). Morphological variation in *Teucrium chamaedrys* from serpentine and non-serpentine populations, soil and biota of serpentine: a world view. *Northeast Naturalist*, 16(5), 39-55.
166. Pavlova, D., Karadjova, I. (2012). Chemical analysis of *Teucrium* species (Lamiaceae) growing on serpentine soils in Bulgaria. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(6), 891-899.
167. Peralta Vide, J.R., Lopez, M.L., Narayan, M., Saupe, G., Gardea Torresdey J. (2009). The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. *The International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 41(8-9), 1665-1677.

168. Perfus-Barbeoch, L., Leonhardt, N., Vavasseur, A., Forestier, C. (2002). Heavy metal toxicity: cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status. *Plant Journal*, 32(4), 539-548.
169. Pešić, L. (2001). Opšta geologija - Egzodinamika. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd. 337 pp.
170. Petrović, J. (1974). Krš istočne Srbije. Srpsko geografsko društvo, Posebna izdanja, Knjiga 40, Beograd.
171. Pigliucci, M. (2001). Phenotypic plasticity: beyond nature and nurture. John Hopkins University Press, Baltimore, 328 pp.
172. Piluzza, G., Bullitta, S. (2011). Correlations between phenolic content and antioxidant properties in twenty-four plant species of traditional ethnoveterinary use in the Mediterranean area. *Pharmaceutical Biology*, 49(3), 250-247.
173. Politycka, B., Adamska, D. (2003). Release of phenolic compounds from apple residues decomposing in soil and the influence of temperature on their degradation. *Polish Journal of Environmental Studies*, 12(1), 95-98.
174. Pollard, A.J., Powell, K.D., Harper, F.A., Andrew, Smith, J.A.C. (2002). The genetic basis of metal hyperaccumulation in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 21(6), 539-566.
175. Pollicelli, D.L.P.M., Idaszkin, Y., Gonzalez-Jose, R., Márquez, F. (2018). Leaf shape variation as a potential biomarker of soil pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164, 69-74.
176. Popović, Z., Krstić-Milošević, D., Stefanović, M., Matić, R., Vidaković, V., Bojović, S. (2019). Chemical and morphological inter- and intrapopulation variability in natural populations of *Gentiana pneumonanthe* L. *Chemistry & Biodiversity*, 16, e1800509.
177. Popović, Z., Matić, R., Bajić-Ljubičić, J., Tešević, V., Bojović, S. (2018). Geographic variability of selected phenolic compounds in fresh berries of two *Cornus* species. *Trees*, 32(1), 203-214.
178. POWO (2023). "Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; [http://www.plantsoftheworldonline.org/Retrieved 09 September 2023](http://www.plantsoftheworldonline.org/Retrieved%2009%20September%202023)."
179. Proctor, J. (1999). Toxins, nutrient shortages and droughts: The serpentine challenge. *Trends in Ecology & Evolution*, 14(9), 334-335.
180. Proctor, J., Nagy, L. (1992). Ultramafic rocks and their vegetation: an overview. In: Baker, A.J.M., Proctor, J., Reeves, R.D. eds. The vegetation of ultramafic (serpentine) soils. Intercept Limited, Andover, UK, 469-494 pp.

181. Proctor, J., Woodell, S.R.J. (1975). The ecology of serpentine soils. *Advances in Ecological Research*, 9, 255-365.
182. Puerta-Pinero C., J. M. Gomez, J. A. Hodar. 2008. Shade and herbivory induce fluctuating asymmetry in a Mediterranean oak. *International Journal of Plant Sciences*. 169(5): 631-635
183. Quettier, D.C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C., Luyckx, M.C., Cayin, J.C., Bailleul, F., Trotin, F. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*, 72, 35-42.
184. Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C., Pouysegu, L. (2011). Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis. *Natural Products*, 50(3), 586-621.
185. Rajakaruna, N. (2004). The edaphic factor in the origin of species. *International Geology Review*, 46(5), 471-478.
186. Rajakaruna, N., Boyd, R.S., Kruckeberg, A.R., Rajakaruna, N. (2009). Soil and biota of serpentine: A world view. *Northeastern Naturalist*, 16(5), 422-440.
187. Rajčević, N., Dođoš, T., Novaković, J., Janačković, P., Marin P.D. (2020). Epicuticular wax variability of *Juniperus deltoides* R.P. Adams from the central Balkan - Ecology and chemophenetics. *Biochemical Systematics and Ecology*, 89, 104008.
188. Ramakrishna, A., Ravishankar, G.A. (2011). Influence of biotic stress signaling on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling and Behavior*, 6(11), 1720-1731.
189. Rani, A., Kumar Vats, S., Sharma, M., Kumar, S. (2011). Catechin promotes growth of *Arabidopsis thaliana* with concomitant changes in vascular system, photosynthesis and hormone content. *Biologia Plantarum*, 55(4), 779-782.
190. Reboredo, F.H., Pelica, J., Lidon, F.C., Ramalho, J.C., Pessoa, M.F., Calvão, T., Simões, M., Guerra, M. (2018). Heavy metal content of edible plants collected close to an area of intense mining activity (southern Portugal). *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 484.
191. Reeves, R.D., Baker, A.J.M. (2000). Metal-accumulating plants. In: Raskin, I., Ensley, B.D. eds. *Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment*. Wiley, New York, 193-229 pp.
192. Ribas-Agustí, A., Gratacós-Cubarsí, M., Sárraga, C., García-Regueiro, J.A., Castellari, M. (2011). Analysis of eleven phenolic compounds including novel *p*-coumaroyl derivatives in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by ultra-high-performance liquid chromatography with photodiode array and mass spectrometry detection. *Phytochemical Analysis*, 22(6), 555-563.

193. Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity, relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(7), 933-938.
194. Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, 2(4), 152-159.
195. Rivero, R.M., Ruiz, J.M., Garcia, P.C., Lopez-Lefebvre, L.R., Sanchez, E., Romero, L. (2001). Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Science*, 160(2), 315-321.
196. Rivoal, A., Fernandez, C., Lavoie, A.V., Olivier, R., Lecareux, C., Greff, S., Roche, P., Vila, B. (2010). Environmental control of terpene emissions from *Cistus monspeliensis* L. in natural Mediterranean shrublands. *Chemosphere*, 78(8), 942-949.
197. Robbins, R.J., Bean, S.R. (2004). Development of a quantitative high-performance liquid chromatography-photodiode array detection measurement system for phenolic acids. *Journal of Chromatography*, 1038(1-2), 97-105.
198. Robinson, H.B., Brooks, R.R., Kirkman, H.J., Gregg, H.E.P., Gremigni, P. (1996). Plant available elements in soils and their influence on the vegetation over ultramafic ("serpentine") rocks in New Zealand. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 26(4), 457-468.
199. Robles, C., Garzino, S. (1999). Intraspecific variability in the essential oil composition of *Cistus monspeliensis* leaves. *Phytochemistry*, 53(1), 71-75.
200. Rohlf, F.J. (2006). tpsDig, Digitize Landmarks and Outlines, Version 2.05. Stony Brook, NY: Department of Ecology and Evolution, State University of New York.
201. Rohlf, F.J., Slice, D. (1990). Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Biology*, 39(1), 40-59.
202. Rusak, G., Gutzeit, H., Ludwig-Müller, J. (2005). Structurally related flavonoids with antioxidative properties differentially affect cell cycle progression and apoptosis of human acute leukemia cells. *Nutrition Research*, 25(2), 143-155.
203. Saikkonen, K., Koivunen, S., Vuorisalo, T., Mutikainen, P. (1998). Interactive effects of pollination and heavy metals on resource allocation in *Potentilla anserina* L. *Ecology*, 79(5), 1620-1629.
204. Sakihama, Y., Cohen, M.F., Grace, S.C., Yamasa-Ki, H. (2002). Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenol-induced oxidative damage mediated by metals in plants. *Toxicology*, 177(1), 67-80.
205. Sarker, U., Oba, S. (2020). Phenolic profiles and antioxidant activities in selected drought-tolerant leafy vegetable amaranth. *Scientific Reports*, 10, 18287.
206. Šavkin, K.P., Živković, J.C., Zdunić, G.M., Gođevac, D.M., Djorđević, B.S., Dojčinović, B.P., Đorđević, N.O. (2014). Phenolic and mineral profiles of four Balkan

- indigenous apple cultivars monitored at two different maturity stages. *Journal of Food Composition and Analysis*, 35(2), 101-111.
207. Savriama, Y., Gómez, J.M., Perfectti, F., Klingenberg, C.P. (2012). Geometric morphometrics of corolla shape: dissecting components of symmetric and asymmetric variation in *Erysimum mediohispanicum* (Brassicaceae). *New Phytologist*, 196(3), 945-954.
208. Scheiner S.M. (1993). Genetics and evolution of phenotypic plasticity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 24, 35-68.
209. Schützendübel, A., Polle, A. (2002). Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of Experimental Botany*, 53(372), 1351-1365.
210. Sequeira, E.M.D, Pinto da Silva, A.R. (1991). The ecology of serpentinized areas of north-east Portugal. In: Roberts, B.A., Proctor, J. eds. The ecology of areas with serpentinized rocks. A world review. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 169-197 pp.
211. Seth, C.S., Misra, V., Chauhan, L.K.S. (2012). Accumulation, detoxification, and genotoxicity of heavy metals in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *International Journal of Phytoremediation*, 14(1), 1-13.
212. Shah, K., Nongkynrih, J.M. (2007). Metal hyperaccumulation and bioremediation. *Biologia Plantarum*, 51(4), 618-634.
213. Shakya, K., Chettri, M.K., Sawidis, T. (2008). Impact of heavy metals (copper, zinc and lead) on the chlorophyll content of some mosses. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 54, 412-421.
214. Shallari, S., Schwartz, C., Hasko, A., Morel, J.L. (1998). Heavy metal in soils and plants of serpentine and industrial sites of Albania. *Science of The Total Environment*, 209(2-3), 133-142.
215. Shanker, A.K., Sudhagar, R., Pathmanabhan, G. (2003). Growth, phytochelatin SH and antioxidative response of sunflower as affected by chromium speciation. 2nd International congress of plant physiology on sustainable plant productivity under changing environment. New Delhi, India.
216. Sharifi-Rad, J., Sureda, A., Tenore, G.C., Daglia, M., Sharifi-Rad, M., Valussi, M., Tundis, R., Sharifi-Rad, M., Loizzo, M.R., Oluwaseun Ademiluyi, A., Sharifi-Rad, R., Abdulmajid Ayatollahi, S., Iriti, M. (2017). Biological activities of essential oils: From plant chemoecology to traditional healing systems. *Molecules*, 22, 70.
217. Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., Zheng, B. (2019). Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, 24.

-
218. Sharma, P., Dubey, S.R. (2007). Involvement of oxidative stress and role of antioxidative defense system in growing rice seedlings exposed to toxic levels of aluminium. *Plant Cell Reports*, 26(11), 2027-2038.
219. Singh, P., Arif, Y., Bajguz, A., Hayat, S. (2021). The role of quercetin in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 10-19.
220. Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.
221. Šinzar-Sekulić, J., Stamenković, M.U., Tomović, G., Tumi, F.A., Andrejić, G., Mihailović, N., Lazarević, R.M. (2019). Assessment of trace element accumulation potential of *Noccaea kovatsii* from ultramafics of Bosnia and Herzegovina and Serbia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 540.
222. Seep, N.H., Bird, D.K., Pope, E.C. (2011). Serpentine and the dawn of life. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 366(1580), 2857-2869.
223. Soviguidi, D.R.J., Pan, R., Liu, Y., Rao, L., Zhang, W., Yang, X. (2021). Chlorogenic acid metabolism: the evolution and roles in plant response to abiotic stress. *International Journal of Experimental Botany*, doi: 10.32604/phyton.2022.018284.
224. Stalikas, C.D. (2010). Phenolic acids and flavonoids: Occurrence and analytical methods. *Methods in Molecular Biology*, 610, 65-90.
225. Stanković, M. (2020). Antioxidant activity of secondary metabolites of *Teucrium* species. In: Stanković, M. ed. *Teucrium* species: Biology and applications. Springer, Cham, Switzerland, 275-308 pp.
226. Stanković, M. (2020). *Teucrium* Species: Biology and applications. Springer, Cham, Switzerland, 435 pp.
227. Stanković, M., Nicifirović, N., Topuzović, M., Solujić, S. (2011). Total phenolic content, flavonoid concentrations and antioxidant activity, of the whole plant and plant parts extracts from *Teucrium montanum* L. var. *montanum*, f. *supinum* (L.) Reichenb. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 25(1), 2222-2227.
228. Stanković, M., Zlatić, N. (2019). Ethnobotany of *Teucrium* species. In: Martinez, J.L., Muñoz-Acevedo, A., Rai, M. eds. *Ethnobotany: Local knowledge and traditions*. CRS Press, Taylor and Francis Group, UK, 18 pp.
229. Stanković, M.S. (2010). Total phenolic content, flavonoid concentration and antioxidant activity of *Marrubium peregrinum* L. extracts. *Kragujevac Journal of Science*, 33, 63-72.
230. Stanković, M.S., Nićiforović, N., Mihailović, V., Topuzović, M., Solujić, S. (2012). Antioxidant activity, total phenolic content and flavonoid concentrations of different

- plant parts of *Teucrium polium* L. subsp. *polium*. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 81(2), 117-122.
231. Stanković, M.S., Petrović, M., Godjevac, D., Dajić-Stevanović, Z. (2015). Screening inland halophytes from central Balkan for their antioxidant activity in relation to total phenolic compounds and flavonoids: Are there any prospective medicinal plants? *Journal of Arid Environments*, 120, 26-32.
232. Stanković, M.S., Radić, Z.S., Blanco-Salas, J., Vázquez-Pardo, F. M., Ruiz-Téllez, T. (2017). Screening of selected species from Spanish flora as a source of bioactive substances. *Industrial Crops and Products*, 95, 493-501.
233. Stefanović, O. (2020). Antibacterial and antifungal activity of secondary metabolite of *Teucrium* species. In: Stanković, M. ed. *Teucrium* species: Biology and applications. Springer, Cham, Switzerland, 319-354 pp.
234. Steffen, L.M., Jacobs, J.D.R., Stevens, J., Shahar, E., Carithers, T., Folsom, A.R. (2003). Associations of whole-grain, refined-grain, and fruit and vegetable consumption with risks of all-cause mortality and incident coronary artery disease and ischemic stroke: the Atherosclerosis risk in communities (ARIC) study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3), 383-390.
235. Stevanović, B., Stevanović V. (1985). Morfo-anatomske karakteristike vrste *Teucrium montanum* L. sa različitim staništa. *Glasnik Botaničkog zavoda i bašte Univerziteta u Beogradu*, 19, 73-89.
236. Stevanović, B.M., Janković, M.M. (2001). Ekologija biljka sa osnovama fiziološke ekologije biljaka. NNK Internacional, Beograd, 500 pp.
237. Stevanović, V., Tan, K., Iatrou, G. (2003). Distribution of the endemic Balkan flora on serpentine I. - obligate serpentine endemics. *Plant Systematics and Evolution*, 242, 149-170.
238. Stevović, S., Calić, D., Zdravković-Korać, S. (2011). Correlation between environment and essential oil production in medical plants. *Advances in Environmental Biology*, 5(2), 465-468.
239. Stueber, A.M., Goles, G.G. (1967). Abundances of Na, Mn, Cr, Sc and Co in ultramafic rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31(1), 75-93.
240. Syed, K., Tiwari, S., Sikka, J., Panwar, K. (2008). Impact of air pollution on floral morphology and characteristics of *Cassia glauca* Lamk. In Indore (India). *Journal of Environmental Research and Development*, 3, 91-96.
241. Taiz, L., Zeiger, E. (1998). Plant physiology. 2nd edition. Sinauer Associates Publishers, Sunderland, Massachusetts, 792 pp.
242. Takao, T., Watanabe, N., Yagi, I., Sakata, K. (1994). A simple screening method for antioxidant and isolation of several antioxidants produced by marine bacteria from fish and shellfish. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 58, 1780-1783.

-
243. Tatić, B. (1969). Flora i vegetacija Studene planine kod Kraljeva. *Glasnik Botaničkog zavoda i bašte Univerziteta u Beogradu*, 4, 1-4.
244. Therneau, T., Atkinson, B. (2022). rpart: Recursive partitioning and regression trees. R package version 4.1.19.
245. Thompson, J.D., Chalchat, J.C., Michet, A., Linhart, Y.B., Ehlers, B. (2003). Qualitative and quantitative variation in monoterpene co-occurrence and composition in the essential oil of *Thymus vulgaris* chemotypes. *Journal of Chemical Ecology*, 29, 859-880.
246. Troncozo, M.I., Lješević, M., Beškoski V.P., Anđelković, B., BALatti, A.P., Saparrat, M.C.N. (2019). Fungal transformation and reduction of phytotoxicity of grape pomace waste. *Chemosphere*, 237, 124458.
247. Tucić, B., Tarasjev, A., Vujčić, S., Milojković, S., Tucić, N. (1990). Phenotypic plasticity and character differentiation in a subdivided population of *Iris pumila* (Iridaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 170, 1-9.
248. Tucić, B., Budečević, S., Manitašević Jovanović, S., Vuleta, A., Klingenberg, C.P. (2018). Phenotypic plasticity in response to environmental heterogeneity contributes to fluctuating asymmetry in plants: first empirical evidence. *Journal of Evolutionary Biology*, 31(2), 197-210.
249. Tumbas, T.V., Mandić, I.A., Četković, S.G., Djilas, M.S., Čanadanović-Brunet, M.J. (2004). HPLC analysis of phenolic acids in Mountain germander (*Teucrium montanum* L.) extracts. *Acta Periodica Technologica*, 35, 265-273.
250. Turumtay, E.A., İslamoğlu, F., Çavuş, D., Şahin, H., Turumtay, H., Vanholme, B. (2014). Correlation between phenolic compounds and antioxidant activity of Anzer tea (*Thymus praecox* Opiz subsp. *caucasicus* var. *caucasicus*). *Industrial Crops and Products*, 52, 687-694.
251. Valentová, K., Vrba, J., Bancířová, M., Ulrichová, J., Křen, V. (2014). Isoquercitrin: pharmacology, toxicology, and metabolism. *Food Chemistry and Toxicology*, 68, 267-282.
252. Vasić, O., Diklić, N. (2001). The flora and vegetation on serpentinites in Serbia - a review. *Boccone*, 13, 151-164.
253. Veličković, M.J., Dimitrijević, S.D., Mitić, S.S., Mitić, N.M., Kostić, A.D. (2014). The determination of the phenolic composition, antioxidative activity and heavy metals in the extracts of *Calendula officinalis* L. *Advanced Technologies*, 3(2), 46-51.
254. Vert, G., Grotz, N., Dédaldéchamp, F., Gaymard, F., Guerinot, M. L., Briat, J. F., Curie, C. (2002). IRT1, an *Arabidopsis* transporter essential for iron uptake from the soil and for plant growth. *Plant Cell*, 14(6), 1223-1233.

255. Vicić, D. (2014). Adaptivni odgovor vrsta *Halacsya sendtneri* (Boiss.) Dörf., *Cheilanthes marantae* (L.) Domin. i *Seseli rigidum* Waldst. et Kit. na fizičko-hemijske uslove serpentinituskog zemljišta. Doktorska disertacija. Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
256. Vieira, M., Mayo, S.J., Andrade, I.M. (2014). Geometric morphometrics of leaves of *Anacardium microcarpum* Ducke and *A. occidentale* L. (Anacardiaceae) from the coastal region of Piauí, Brazil. *Brazilian Journal of Botany*, 37, 315-327.
257. Viscosi, V. (2015). Geometric morphometrics and leaf phenotypic plasticity: assessing fluctuating asymmetry and allometry in European white oaks (*Quercus*). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 179, 335-348.
258. Vitasse, Y., Bresson, C.C., Kremer, A. (2010). Quantifying phenological plasticity to temperature in two temperate tree species. *Functional Ecology*, 24(6), 1211-1218.
259. Vogt, T. (2010). Phenylpropanoid biosynthesis. *Molecular Plant*, 3(1), 2-20.
260. Vujić, V., Avramov, S., Tarasjev, A., Barišić Klisarić, N., Živković, U., Miljković, D. (2015). The effects of traffic-related air pollution on the flower morphology of *Iris pumila* – comparison of a polluted city area and the unpolluted deliblato sands (nature reserve). *Applied Ecology and Environmental Research*, 13(2), 405-415.
261. Vuković, N., Milošević, T., Sukdolak, S., Solujić, S. (2008). The chemical composition of the essential oil and the antibacterial activities of the essential oil and methanol extract of *Teucrium montanum*. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 73(3), 299-305.
262. White, P.J., Broadley, M.R., El-Serehy, H.A., George, T.S., Neugebauer, K. (2018). Linear relationships between shoot magnesium and calcium concentrations among angiosperm species are associated with cell wall chemistry. *Annals of Botany*, 1, 122(2), 221-226.
263. Whittaker, R.H. (1954). The vegetational responses to serpentine soils. *Ecology*, 35(2), 258-288.
264. Williams, L.E., Pittman, J.K., Hall, J.L. (2000). Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*, 1465(1-2), 104-126.
265. Willmore, K.E., Young, N.M., Richtsmeier, J.T. (2007). Phenotypic variability: its components, measurement and underlying developmental processes. *Evolutionary Biology*, 34(3-4), 99-120.
266. Winkel-Shirley, B. (2002). Biosynthesis of flavonoids and effect of stress. *Current Opinion in Plant Biology*, 5(3), 218-223.
267. Xia, F., Hu, B., Zhu, Y., Ji, W., Chen, S., Xu, D., Shi, Z. (2020). Improved mapping of potentially toxic elements in soil via integration of multiple data sources and various geostatistical methods. *Remote Sensing*, 12, 3775.

-
268. Yadav, K.S. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76(2), 167-179.
269. Zdraveva, P., Pavlova, D., Krasteva, I., Pencheva, I. (2018). Phytochemical analysis on populations of *Teucrium chamaedrys* from serpentine sites in Bulgaria. *Comptes rendus de l' Académie bulgare des Sciences*, 71(2), 185-192.
270. Zhang, L., Ho, C.T., Zhou, J., Santos, J.S., Armstrong, L., Granato, D. (2019). Chemistry and biological activities of processed *Camellia sinensis* teas: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(5), 1474-1495.
271. Zlatić, N., Jakovljević, D., Stanković, M. (2019). Temporal, plant part, and interpopulation variability of secondary metabolites and antioxidant activity of *Inula helenium* L. *Plants*, 8(6), 179.
272. Zlatić, N., Stanković, M., Simić, Z. (2017). Secondary metabolites and metal content dynamics in *Teucrium montanum* L. and *Teucrium chamaedrys* L. from habitats with serpentine and calcareous substrate. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 110.
273. Zlatić, N.M., Stanković M.S. (2019). Effects of calcareous and serpentinite parent material on the mineral characteristics of soils and plant material of *Teucrium montanum* L. (Lamiaceae). *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 564.

Интернет странице:

- <http://www.gbif.org/>
- <http://www.geoliss.mre.gov.rs>

ЛИСТА СЛИКА

Слика 1.	Распрострањење рода <i>Teucrium</i>	1
Слика 2.	Хабитус врсте <i>Teucrium montanum</i> L.....	2
Слика 3.	Распрострањење врсте <i>Teucrium montanum</i> на територији Европе.....	4
Слика 4.	Распрострањење врсте <i>T. montanum</i> на територији на територији Републике Србије.....	4
Слика 5.	Распрострањеност карбонатних стена и стена офиолитске секвенце (са доминацијом серпентинита) на територији Србије.....	8
Слика 6.	Изглед вегетације заступљене на кречњачкој геолошкој подлози.....	10
Слика 7.	Изглед вегетације затупљене на серпентинитској геолошкој подлози.....	11
Слика 8.	Структурна формула гентизинске киселине.....	19
Слика 9.	Структурна формула ванилинске киселине.....	19
Слика 10.	Структурна формула протокатехинске киселине.....	19
Слика 11.	Структурна формула вербаскозида.....	19
Слика 12.	Структурна формула форситосида Б.....	19
Слика 13.	Структурна формула нарингина.....	20
Слика 14.	Представљање промене облика правим линијама (енгл. <i>wireframe</i>).....	24
Слика 15.	Представљање промене облика на танкој савитљивој плочи (енгл. <i>thin plate spline</i>).....	24
Слика 16.	Представљање промене облика употреба графика „лизалица (енгл. <i>lollipop</i>).....	24
Слика 17.	Географска позиција локалитета са којих су узорковане популације врсте <i>Teucrium montanum</i> као и узорци земљишта за упоредну анализу (Бројеви локалитета одговарају бројевима приказаним у Табели 2).....	27
Слика 18.	UHPLC/DAD систем за квантитативно одређивање фенолних једињења.....	37
Слика 19.	Препарација биљних органа врсте <i>Teucrium montanum</i> за анализирање геометријском морфометријом: (а) Дисекција цветне тубе, (б) положај специфичних тачака на цветној круници, (в) листу и (г) попречном пресеку стабла.....	38
Слика 20.	Хитмапа (енгл. <i>Heatmap</i>) са груписањем једињења у односу на тип подлоге и заступљеност секундарних метаболита у биљним узорцима.....	79
Слика 21.	Хроматограм квалитативног састава једињења етарких уља врсте <i>T. montanum</i>	81
Слика 22.	Основне групе једињења у узорцима етарских уља врсте <i>T. montanum</i>	81
Слика 23.	Промене облика крунице <i>T. montanum</i> описане главним компонентама (PC). А – Образац варирања облика крунице симетричне компоненте. Б - Образац варирања облика крунице асиметричне компоненте. Представљени су дијаграми три главне компоненте (PC1-PC3). Промена облика у позитивном правцу приказана је пуном црном линијом са испуњеним круговима, док је промена у негативном правцу приказана пуном сивом линијом са испуњеним круговима.....	98
Слика 24.	Промене облика листа <i>T. montanum</i> описане главним компонентама (PC). А – Образац варирања облика листа симетричне компоненте. Б - Образац варирања облика листа асиметричне компоненте. Представљени су дијаграми три главне компоненте (PC1-PC3). Промена облика у позитивном правцу приказана је пуном црном линијом са испуњеним круговима, док је промена у негативном правцу приказана пуном сивом линијом са испуњеним круговима.....	101
Слика 25.	Промене облика стабла <i>T. montanum</i> описане главним компонентама (PC). А – Образац варирања облика стабла симетричне компоненте. Б – Образац варирања облика стабла асиметричне компоненте. Представљени су дијаграми три главне компоненте (PC1-PC3). Промена облика у позитивном правцу приказана је пуном црном линијом са испуњеним круговима, док је промена у негативном правцу приказана пуном сивом линијом са испуњеним круговима.....	104
Слика 26.	Представљени су дијаграми испитиваних органа са статистички значајним разликама у алометријском компонентама. Представљени су дијаграми крунице, листа и попречног пресека стабла. Промена облика код популација са кречњака је приказана пуном црном линијом са испуњеним круговима, док је промена код популација са серпентинита приказана пуном сивом линијом са испуњеним круговима.....	109

ЛИСТА ГРАФИКОНА

Графикон 1.	Количина Al у испитиваним узорцима земљишта (1а) и надземних биљних делова (1б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	45
Графикон 2.	Количина As у испитиваним узорцима земљишта (2а) и надземних биљних делова (2б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	45
Графикон 3.	Количина B у испитиваним узорцима земљишта (3а) и надземних биљних делова (3б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	46
Графикон 4.	Количина Ca у испитиваним узорцима земљишта (4а) и надземних биљних делова (4б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	46
Графикон 5.	Количина Cd у испитиваним узорцима земљишта (5а) и надземних биљних делова (5б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	47
Графикон 6.	Количина Co у испитиваним узорцима земљишта (6а) и надземних биљних делова (6б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	47
Графикон 7.	Количина Cr у испитиваним узорцима земљишта (7а) и надземних биљних делова (7б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	48
Графикон 8.	Количина Cu у испитиваним узорцима земљишта (8а) и надземних биљних делова (8б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	48
Графикон 9.	Количина Fe у испитиваним узорцима земљишта (9а) и надземних биљних делова (9б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	49
Графикон 10.	Количина K у испитиваним узорцима земљишта (10а) и надземних биљних делова (10б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	49
Графикон 11.	Количина Li у испитиваним узорцима земљишта (11а) и надземних биљних делова (11б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	50
Графикон 12.	Количина Mg у испитиваним узорцима земљишта (12а) и надземних биљних делова (12б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	50
Графикон 13.	Количина Mn у испитиваним узорцима земљишта (13а) и надземних биљних делова (13б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	51
Графикон 14.	Количина Na у испитиваним узорцима земљишта (14а) и надземних биљних делова (14б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	51
Графикон 15.	Количина Ni у испитиваним узорцима земљишта (15а) и надземних биљних делова (15б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	52
Графикон 16.	Количина P у испитиваним узорцима земљишта (16а) и надземних биљних делова (16б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	52
Графикон 17.	Количина Pb у испитиваним узорцима земљишта (17а) и надземних биљних делова (17б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	53
Графикон 18.	Количина S у испитиваним узорцима земљишта (18а) и надземних биљних делова (18б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	53
Графикон 19.	Количина Se у испитиваним узорцима земљишта (19а) и надземних биљних делова (19б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	54
Графикон 20.	Количина Zn у испитиваним узорцима земљишта (20а) и надземних биљних делова (20б) врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета изражена у mg kg ⁻¹	54
Графикон 21.	Анализа главних компоненти (РСА) у зависности од количине елемената у узорцима земљишта. Кречњачка подлога (плава елипса), серпентинитска подлога (зелена елипса).....	60
Графикон 22.	Анализа главних компоненти (РСА) у зависности од количине елемената у узорцима земљишта. Кречњачка подлога (плава елипса), серпентинитска подлога (зелена елипса).....	61
Графикон 23.	Укупна количина фенолних једињења (mg GA g ⁻¹ екстракта) у екстрактима надземних биљних делова врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета.....	63
Графикон 24.	Укупна количина флавоноида (mg Ru g ⁻¹ екстракта) у екстрактима надземних биљних делова врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета.....	63
Графикон 25.	Резултати антиоксидативне активности (IC ₅₀ вредности изражене у µg mL ⁻¹) у екстракту надземних делова врсте <i>T. montanum</i> са различитих локалитета.....	64
Графикон 26.	Количина кемпферола у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	66
Графикон 27.	Количина апигенина у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	67
Графикон 28.	Количина нарингенина у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	67
Графикон 29.	Количина лутеолина у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	68
Графикон 30.	Количина кверцетина у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	68

Графикон 31.	Количина нарингина у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	69
Графикон 32.	Количина апигетрина у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	69
Графикон 33.	Количина витексина у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	70
Графикон 34.	Количина протокатехинске кис. у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	70
Графикон 35.	Количина изокверцитрина у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	71
Графикон 36.	Количина хлорогенске кис. у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	71
Графикон 37.	Количина кафеене кис. у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	72
Графикон 38.	Количина катехина у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	72
Графикон 39.	Количина сиригинске кис. у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	73
Графикон 40.	Количина сиригалдехида у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	73
Графикон 41.	Количина рутина у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	74
Графикон 42.	Количина <i>p</i> -кумарне кис. у биљним екстрактима <i>T. montanum</i>	74
Графикон 43.	Боксплот секундарних метаболита са значајним утицијам на диференцијацију у односу на подлогу.....	77
Графикон 44.	Анализа главних компоненти (РСА) у зависности квантитативног и квалитативног састава истинитиваних секундарних метаболита у екстрактима <i>T. montanum</i> са различитих типова подлоге.....	78
Графикон 45.	РОК крива са приказом степена сензитивности и специфичности одређивања подлоге у односу на тзаступљеност секундарних метаболита у биљном узорку (P:5, N:5).....	80
Графикон 46.	Анализа главних компоненти (РСА) на основу укупних вредности главних група једињења у етарком уљу врсте <i>T. montanum</i> . (а) УМ (монотерпени угљоводонични); ОМ (оксидовани монотерпени); УТМ (укупни монотерпени); СУ (сесквитерпени угљоводонични); ОС (оксидовани сесквитерпени); УСТ (укупни сесквитерпени); Д (дистерпени); Т (тристерпени); У (угљоводоници); А (алкохоли); Е (естри); МК (масне киселине); Ј (јонони); К (кетони); П (принос). (б) РСА у односу на заступљеност различитих група једињења у етарком уљу. Кречњачка подлога (плава елипса), серпентинитска подлога (зелена елипса)....	94
Графикон 47.	Кластер приказа раздвајања локалитета у односу на заступљеност различитих група једињења у етарком уљу. Кречњачка подлога (плави правоугаоник), серпентинитска подлога (зелени правоугаоник).....	95
Графикон 48.	Утицај подлоге на диференцијацију облика крунице <i>T. montanum</i> са кречњачких (плава елипса) и серпентинитских станишта (зелена елипса). Приказане су 95% елипсе поверења за просечне вредности на симетричне (А) и асиметричне (Б) компоненте варирања облика крунице.....	99
Графикон 49.	Утицај подлоге на диференцијацију облика листа <i>T. montanum</i> са кречњачких (плава елипса) и серпентинитских станишта (зелена елипса). Приказане су 95% елипсе поверења за просечне вредности на симетричне (А) и асиметричне (Б) компоненте варирања облика крунице.....	102
Графикон 50.	Утицај подлоге на диференцијацију облика стабла <i>T. montanum</i> са кречњачких (плава елипса) и серпентинитских станишта (зелена елипса). Приказане су 95% елипсе поверења за просечне вредности на симетричне (А) и асиметричне (Б) компоненте варирања облика крунице.....	105
Графикон 51.	Мултиваријантна регресија варијабли облика на величину центроида (ЦС) код крунице <i>T. montanum</i> . Представљени су скатер дијаграми регресионих скорова у оквиру којих се налазе модели облика крунице са максималном вредношћу (доњи десни угао) и са минималном вредношћу ЦС (горњи леви угао).....	107
Графикон 52.	Мултиваријантна регресија варијабли облика на величину центроида (ЦС) код листа <i>T. montanum</i> . Представљени су скатер дијаграми регресионих скорова у оквиру којих се налазе модели облика листа са максималном вредношћу (доњи десни угао) и са минималном вредношћу ЦС (горњи леви угао).....	107
Графикон 53.	Мултиваријантна регресија варијабли облика на величину центроида (ЦС) код стабла <i>T. montanum</i> . Представљени су скатер дијаграми регресионих скорова у оквиру којих се налазе модели облика стабла са максималном вредношћу (доњи десни угао) и са минималном вредношћу ЦС (горњи леви угао).....	108

ЛИСТА ТАБЕЛА

Табела 1.	Систематска припадност врсте <i>T. montanum</i> L.....	3
Табела 2.	Основне карактеристике локалитета са којих је узоркована врста <i>T. montanum</i>	28
Табела 3.	Климатски параметри истраживаних локалитета на кречњачкој геолошкој подлози.....	30
Табела 4.	Климатски параметри истраживаних локалитета на серпентинитској геолошкој подлози.....	31
Табела 5.	Вредности биоакумулационог фактора за врсту <i>T. montanum</i> са кречњачких станишта.....	57
Табела 6.	Вредности биоакумулационог фактора за врсту <i>T. montanum</i> са серпентинитских станишта.....	58
Табела 7.	Вредности корелационог коефицијента (R) између концентрације елемената у узорцима земљишта и биљног материјала.....	59
Табела 8.	Квалитативни састав и % релативне заступљености једињења у узорцима старских уља врсте <i>T. montanum</i> са кречњачких станишта.....	82
Табела 9.	Квалитативни састав и % релативне заступљености једињења у узорцима старских уља врсте <i>T. montanum</i> са серпентинитских станишта.....	87
Табела 10.	Дескриптивна статистика за испитиване биљне органе врсте <i>T. montanum</i>	96
Табела 11.	Анализа варијансе (ANOVA) за величину центроида крунице, листа и стабла врсте <i>T. montanum</i> . <i>df</i> – степен слободe, <i>MS</i> – средња вредност суме квадрата, <i>F</i> – вредност <i>F</i> теста, <i>P</i> – ниво статистичке значајности.....	96
Табела 12.	Разлике у средњим вредностима величине центроида испитиваних органа врсте <i>T. montanum</i> у односу на тип подлоге добијене Тукеу тестом. Статистички значајне разлике су ($P \leq 0.05$) су означене подељаним фонтом.....	96
Табела 13.	Анализа главних компоненти (PCA) за симетричну и асиметричну варијансу крунице.....	97
Табела 14.	Анализа главних компоненти (PCA) за симетричну и асиметричну варијансу листова.....	100
Табела 15.	Анализа главних компоненти (PCA) за симетричну и асиметричну варијансу стабла.....	103
Табела 16.	Мултиваријантна регресија варијабли облика на величину центроида испитиваних биљних органа врсте <i>T. montanum</i> . % - проценат варирања облика завистан од варирања величине, <i>P</i> – ниво статистичке значајности.....	106
Табела 17.	Дискриминантна анализа. Приказане су вредности Прокрустових дистанци између средњих облика испитиваних органа у односу на тип подлоге са и без алометријске компоненте. Статистички значајне разлике су означене подељаним фонтом.....	109

ЛИСТА ПРИЛОГА

Прилог 1.	Опис положаја специфичних тачака на цветним органима врсте <i>T. montanum</i>
Прилог 2.	Опис положаја специфичних тачака на листовима врсте <i>T. montanum</i>
Прилог 3.	Опис положаја специфичних тачака на попречном пресеку стабла врсте <i>T. montanum</i>
Прилог 4.	Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Мали Штрбац
Прилог 5.	Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Жежевац
Прилог 6.	Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Кањон реке Трешњице
Прилог 7.	Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Велики Крш
Прилог 8.	Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Кањон Лазареве реке
Прилог 9.	Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Растиште

Прилог 1. Опис положаја специфичних тачака на цветним органима врсте *T. montanum*

Положај специфичних тачака

Круница

1. Крај централног нерва
2. Врх централног нерва
3. Најшири део леве стране доње усне
4. Најшири део десне стране доње усне
5. Крај левог периферног нерва средње усне
6. Крај десног периферног нерва средње усне
7. Пресек левог периферног нерва и краја леве горње усне.
8. Пресек десног периферног нерва и краја десне горње усне.
9. Крај левог периферног нерва
10. Крај десног периферног нерва
11. Лева маргина у нивоу тачке 7
12. Десна маргина у нивоу тачке 8
13. Спој између леве горње усне и леве средње усне.
14. Спој између десне горње усне и десне средње усне.
15. Најужи део леве горње усне
16. Најужи део леве горње усне у нивоу тачке 15
17. Најужи део десне горње усне у нивоу тачке 18
18. Најужи део десне горње усне

Прилог 2. Опис положаја специфичних тачака на листовима врсте *T. montanum*

Положај специфичних тачака

Лист

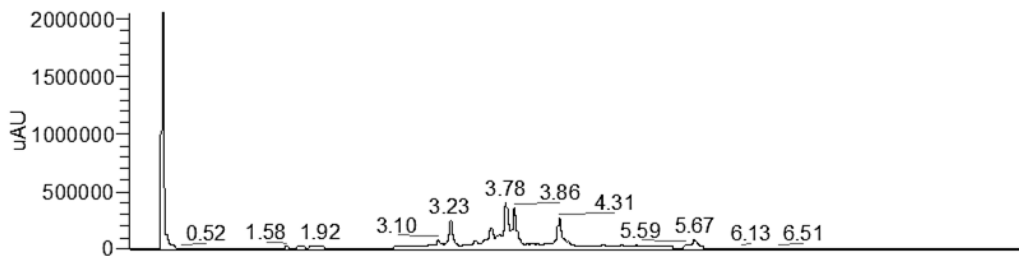
1. Крај централног нерва
2. Врх централног нерва
3. Лева половина дужине између тачака 1 и 2
4. Десна половина дужине између тачака 1 и 2
5. Лева половина дужине између тачака 2 и 3
6. Десна половина дужине између тачака 2 и 4
7. Лева половина дужине између тачака 1 и 3
8. Десна половина дужине између тачака 1 и 4

Прилог 3. Опис положаја специфичних тачака на попречном пресеку стабла врсте *T. montanum*

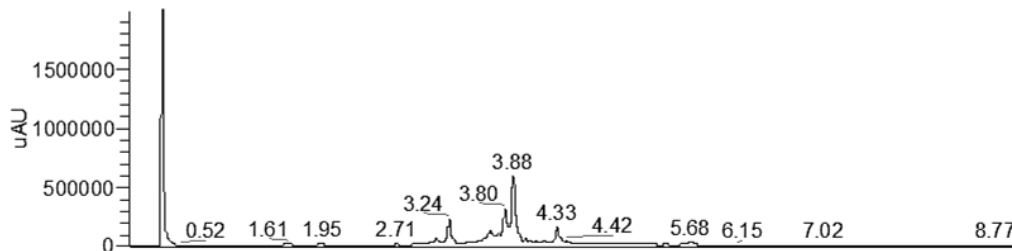
Положај специфичних тачака

Попречни пресек стабла

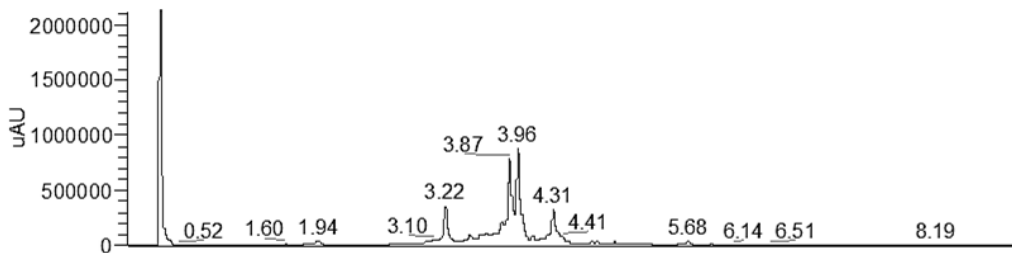
1. Најшири део десне стране попречног пресека
2. Најшири део леве стране попречног пресека
3. Највиши део половине леве и десне стране попречног пресека
4. Најнижи део половине леве и десне стране попречног пресека
5. Најшири део десне стране флоема у нивоу тачке 1
6. Најшири део леве стране флоема у нивоу тачке 2
7. Највиши део половине леве и десне стране флоема у нивоу тачке 3
8. Најнижи део половине леве и десне стране флоема у нивоу тачке 4
9. Најшири део десне стране ксилема у нивоу тачке 5
10. Најшири део леве стране ксилема у нивоу тачке 6
11. Највиши део половине леве и десне стране ксилема у нивоу тачке 7
12. Најнижи део половине леве и десне стране ксилема у нивоу тачке 8



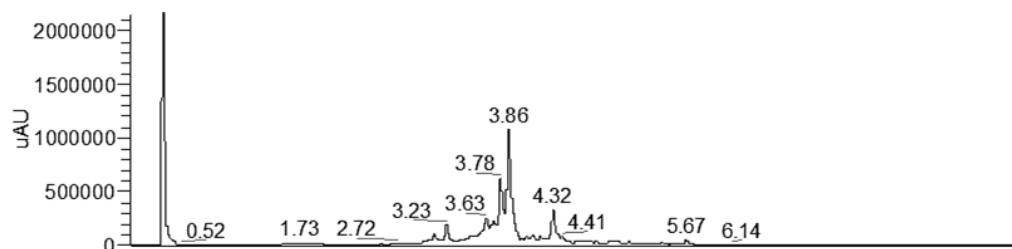
Прилог 4. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Мали Штрбац



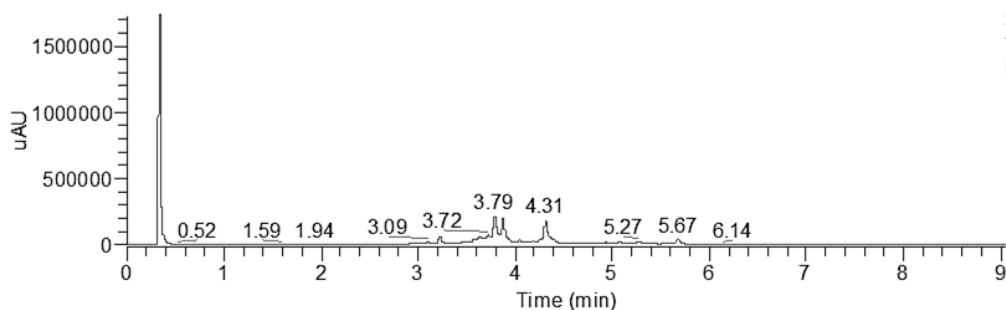
Прилог 5. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Жежевац



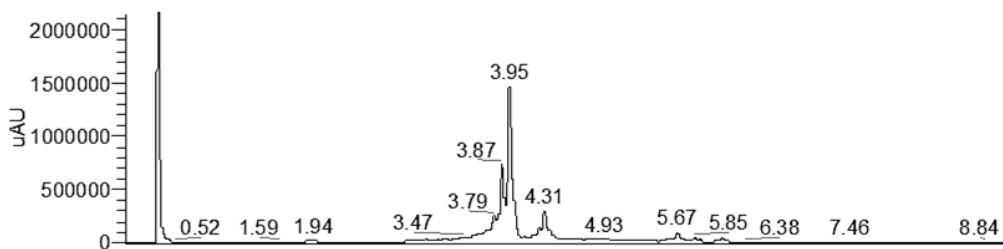
Прилог 6. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Кањон реке Трешњице



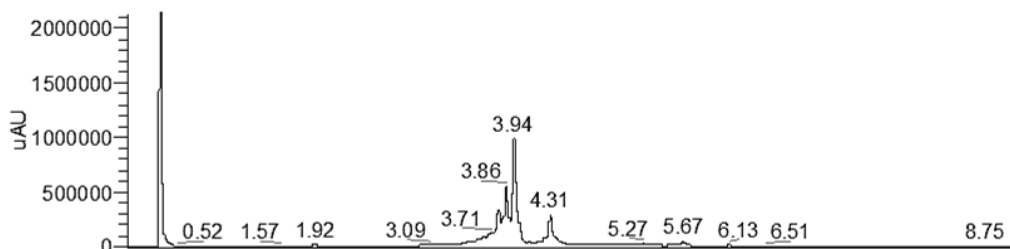
Прилог 7. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Велики Крш



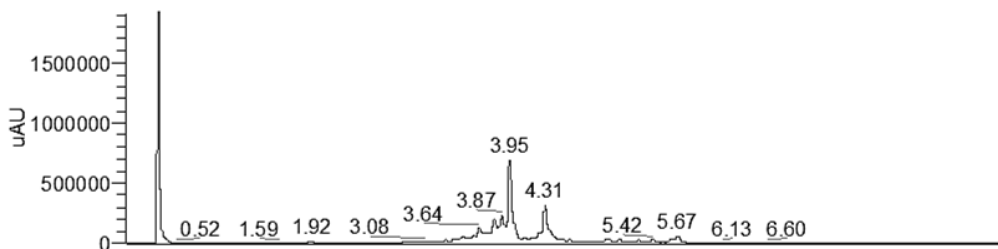
Прилог 8. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Кањон Лазареве реке



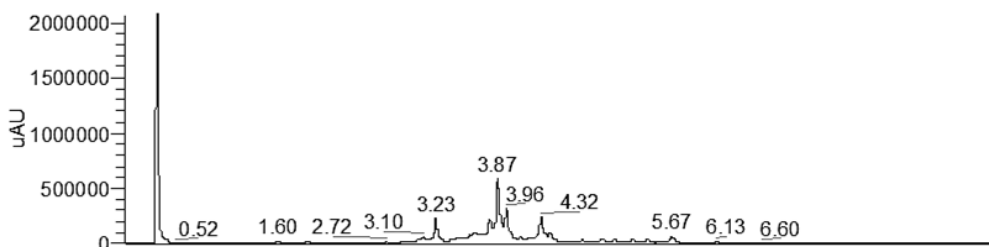
Прилог 9. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Растисhte



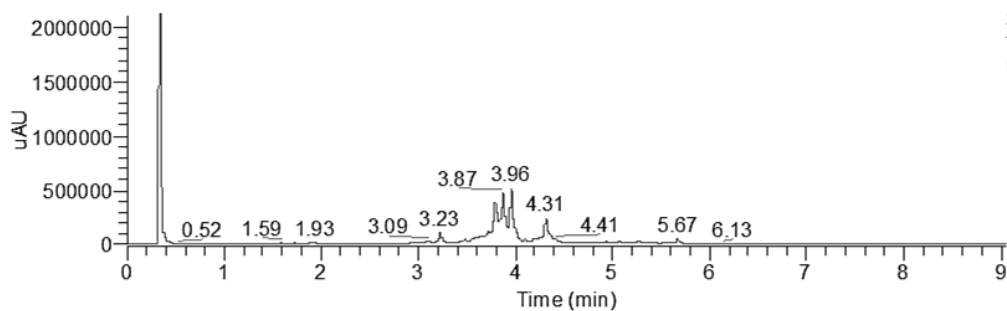
Прилог 10. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Котроман



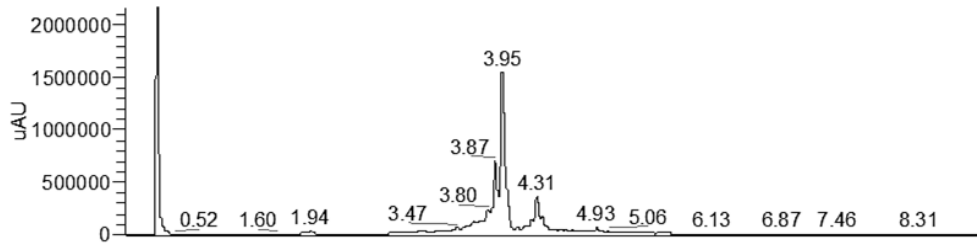
Прилог 11. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Ртањ



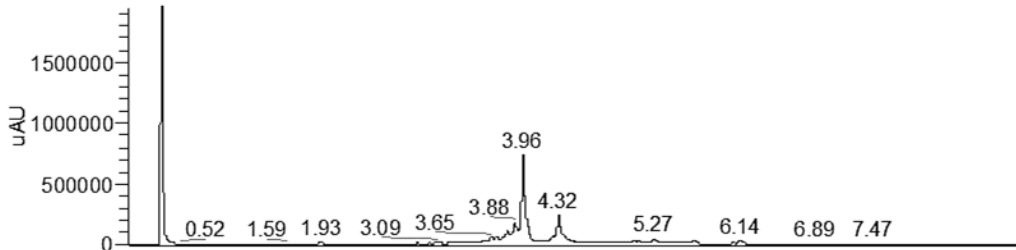
Прилог 12. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Јелаšничка клисура



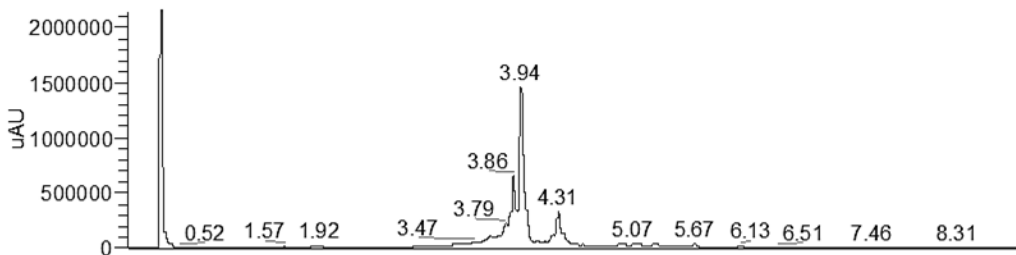
Прилог 13. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Басарски камен



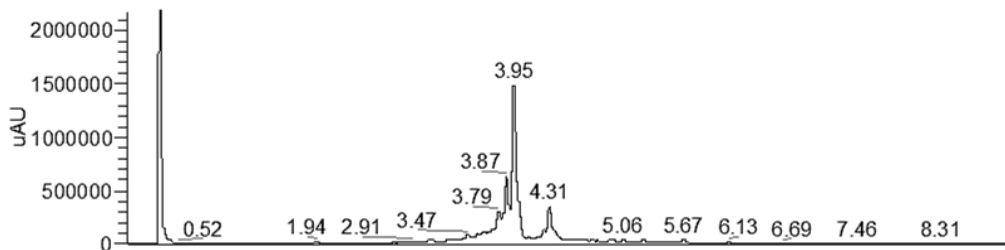
Прилог 14. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узока са локалитета Дивчибаре



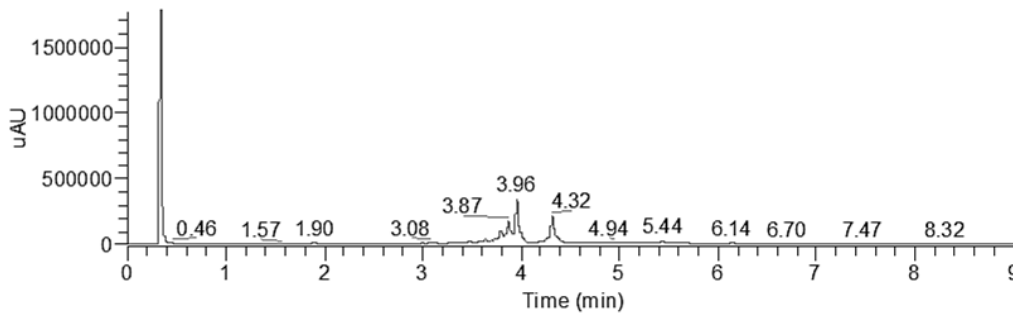
Прилог 15. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узока са локалитета Брђанска клисура



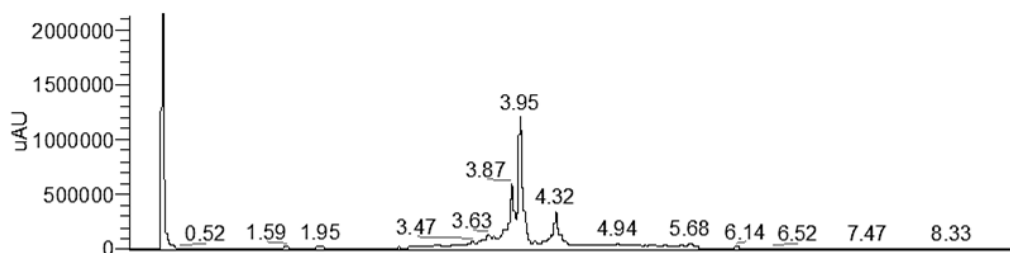
Прилог 16. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узока са локалитета Оровица



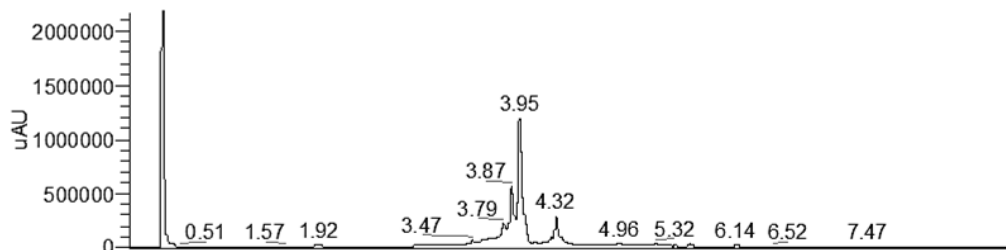
Прилог 17. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узока са локалитета Кремена



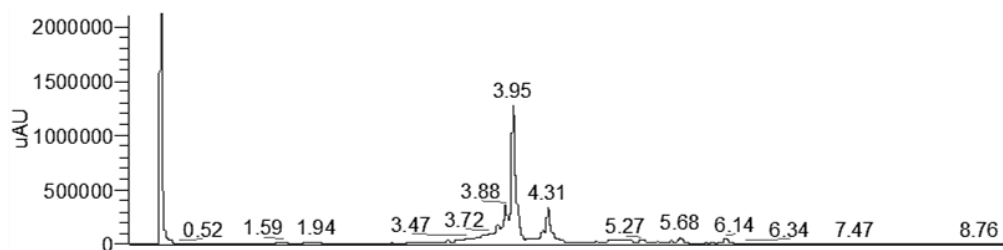
Прилог 18. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узока са локалитета Смиљански закоси



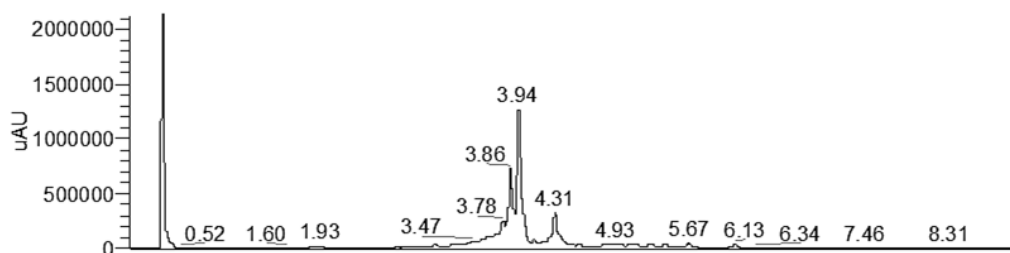
Прилог 19. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Маглич



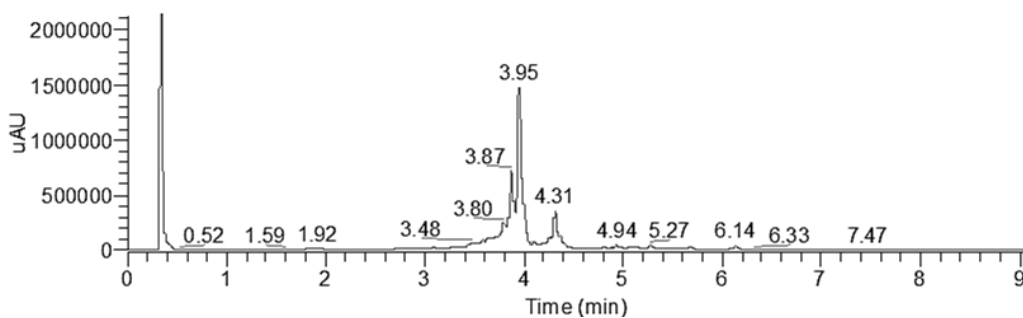
Прилог 20. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Каменица



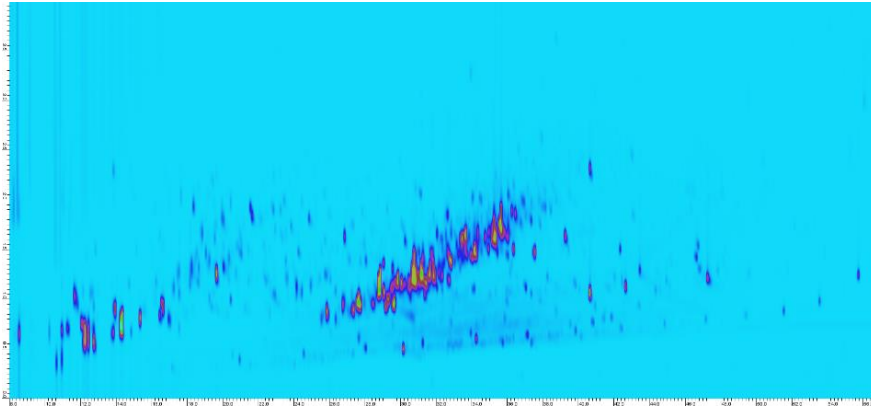
Прилог 21. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Трнава



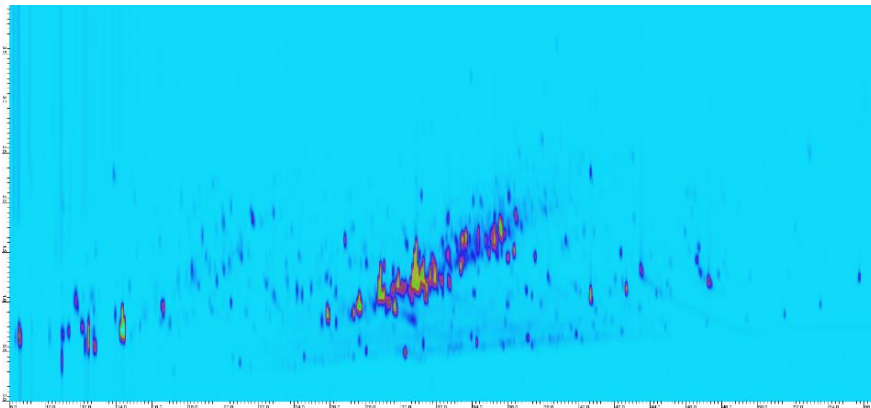
Прилог 22. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Крајиновиће



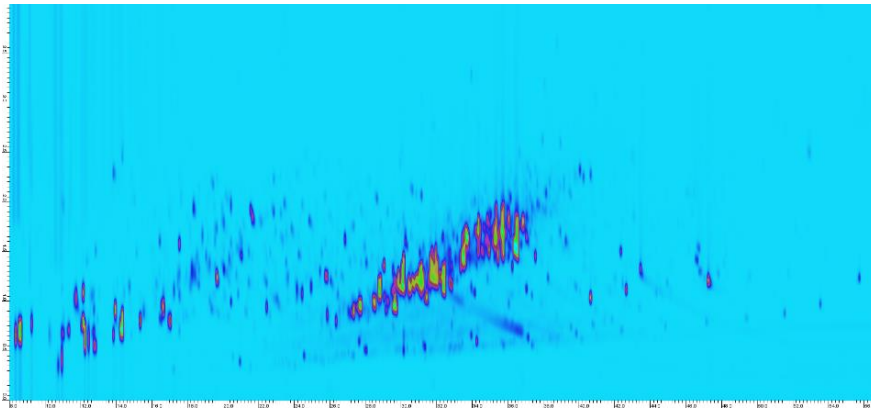
Прилог 23. Хроматограм испитиваних секундарних метаболита у екстрактима биљних узорака са локалитета Неготинац



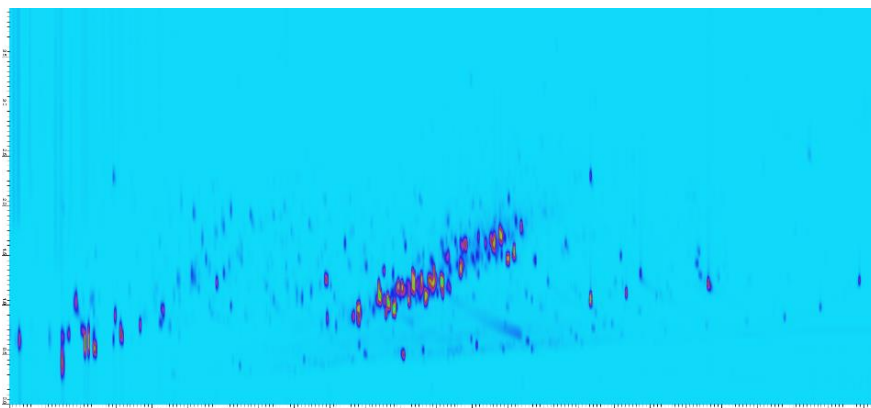
Прилог 24. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Мали Штрбац



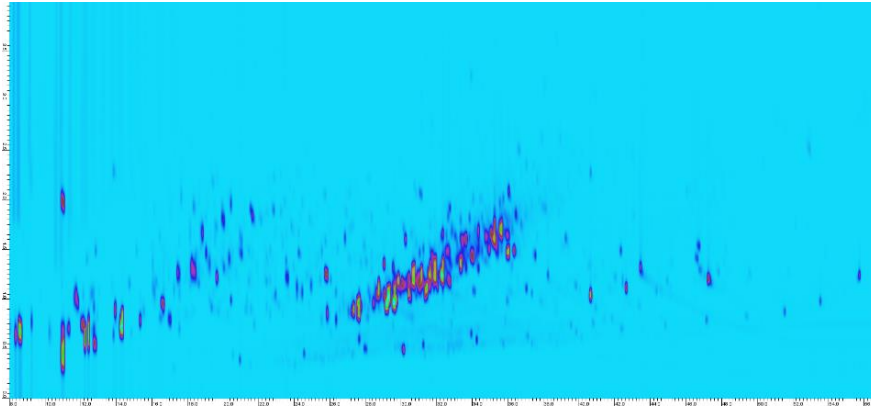
Прилог 25. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Жевац



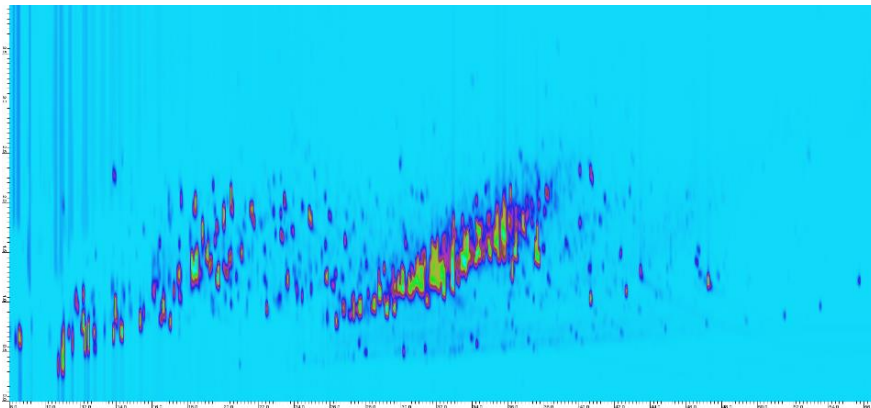
Прилог 26. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Кањон реке Трешњице



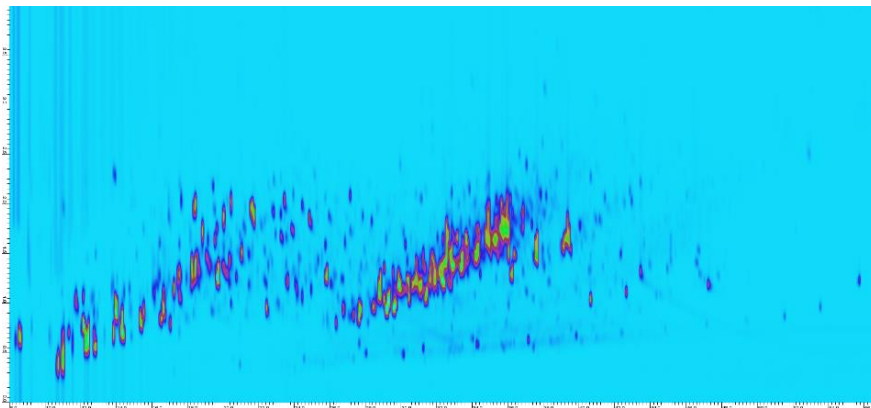
Прилог 27. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Велики Крш



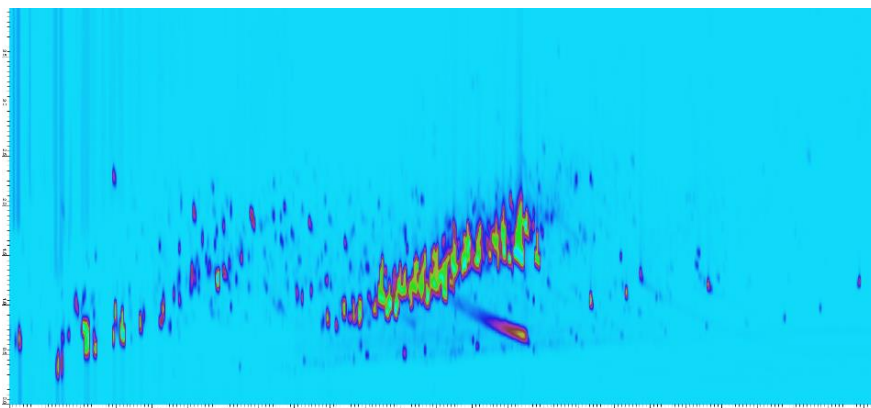
Прилог 28. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Кањон Лазареве реке



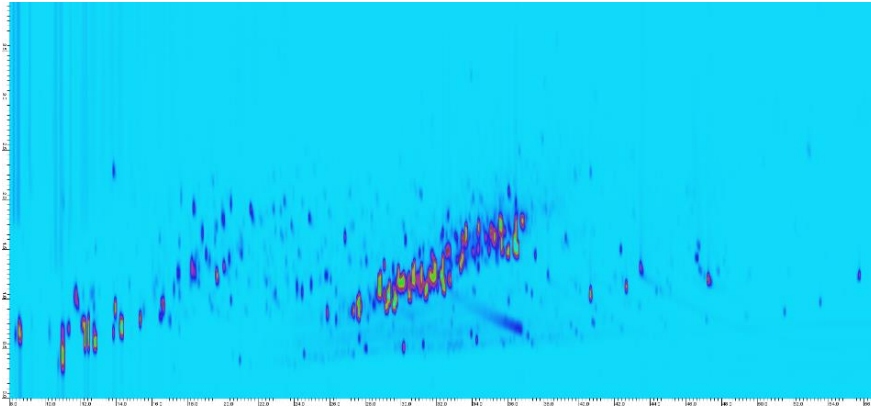
Прилог 29. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Растиште



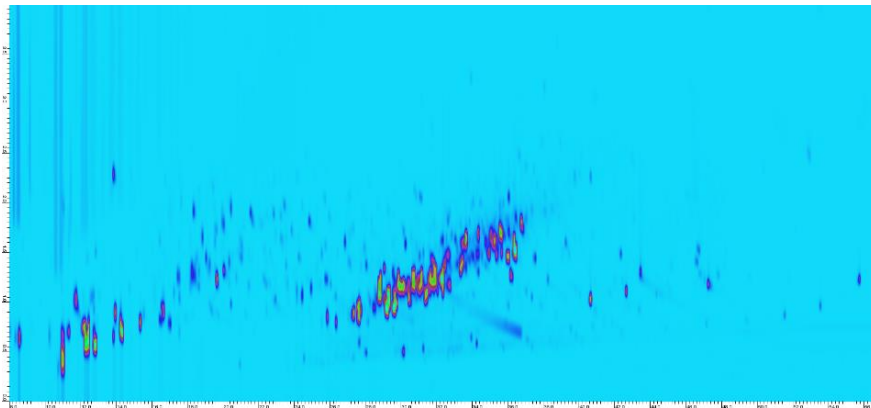
Прилог 30. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Котроман



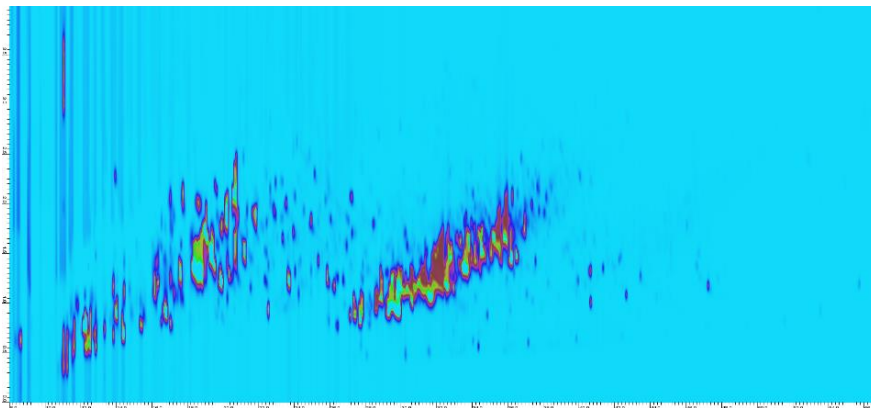
Прилог 31. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Ртањ



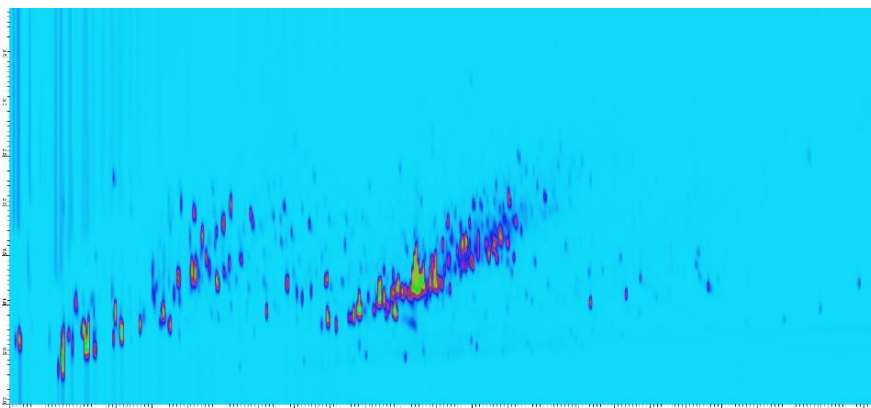
Прилог 32. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Јелашничка клисура



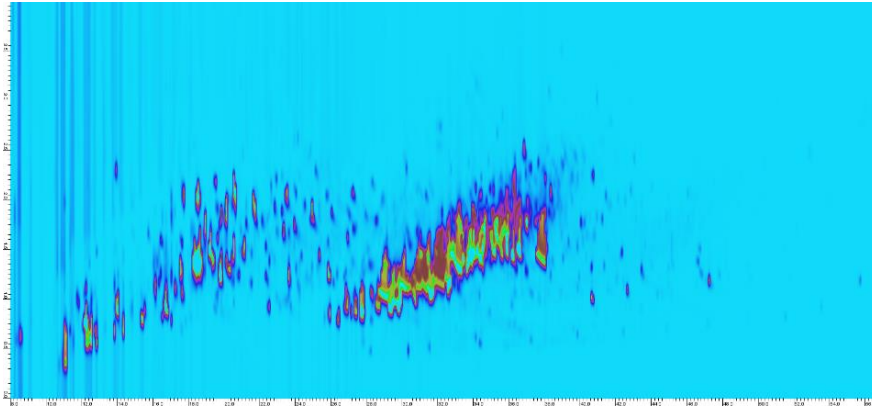
Прилог 33. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Басарски камен



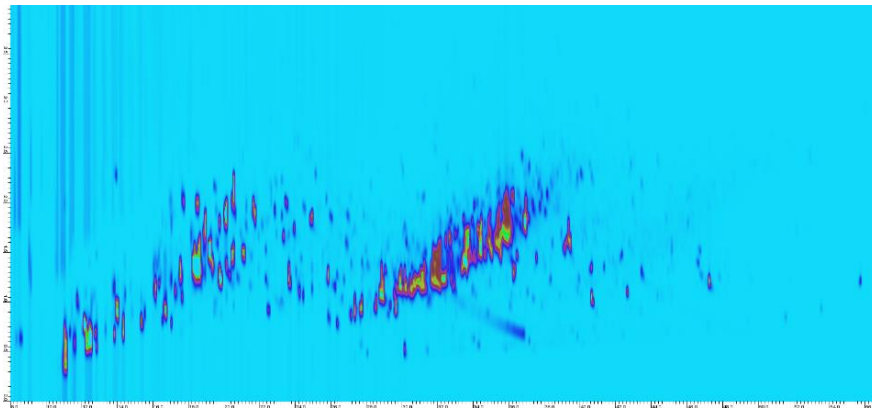
Прилог 34. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Дивчибаре



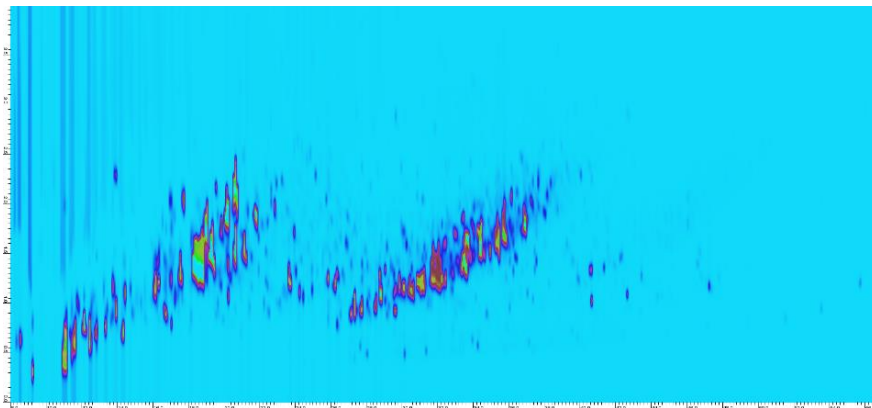
Прилог 35. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Брђанска клисура



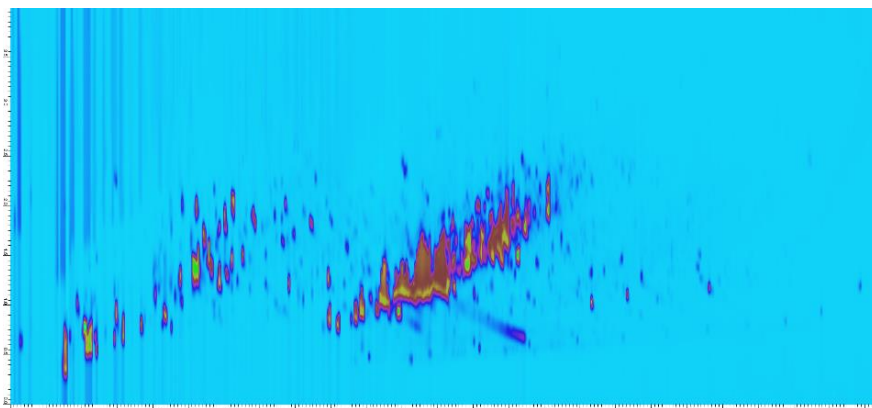
Прилог 36. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Оровица



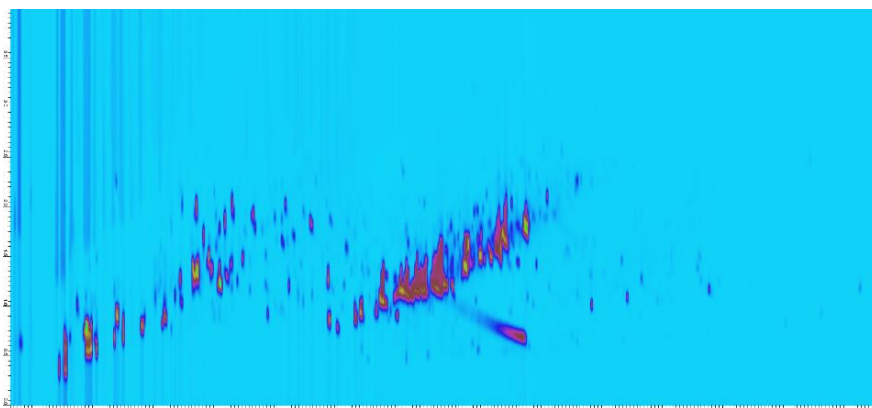
Прилог 37. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Кремна



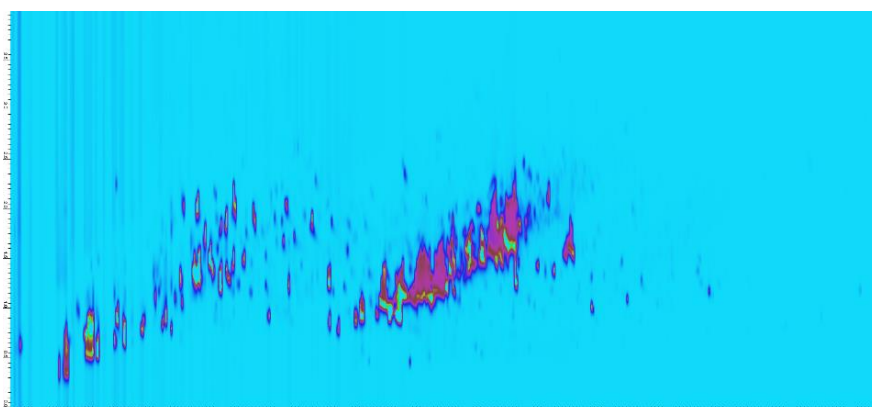
Прилог 38. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Смиљански закоси



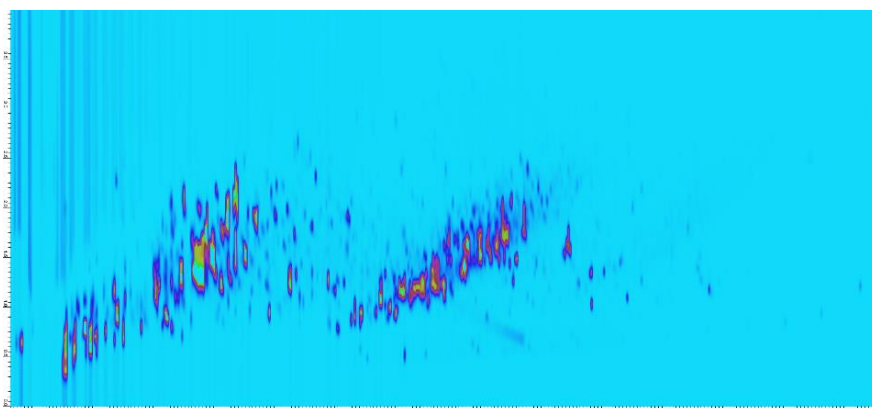
Прилог 39. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Маглич



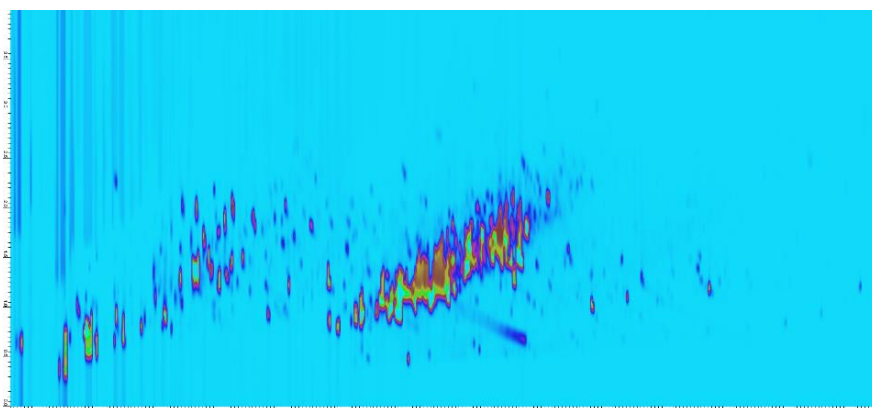
Прилог 40. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Каменица



Прилог 41. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Трнава



Прилог 42. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Крајиновиће



Прилог 43. Хроматограм састава етарских уља биљне популације са локалитета Неготинац

Резултати истраживања спроведених у оквиру ове докторске дисертације објављени су у следећим публикацијама:

Поглавље у монографији од међународног значаја – категорија М₁₄

- Pavlova D., Karadjova I., Stanković M., **Zlatić N.** (2020) Ecology of *Teucrium* species: habitat related metal content dynamics. In: Stanković M. (ed) *Teucrium* species: biology and applications. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52159-2_4. ISBN 978-3-030-52158-5

Научни рад публикован у истакнутом врхунском међународном часопису – категорија М₂₁

- **Zlatić N.**, Budečević S, Stanković M. (2023). Geological substrate effects on *Teucrium montanum* L. (Lamiaceae) morphological traits: Geometric morphometrics approach. *Plants*, 12, 2381. DOI: 10.3390/plants12122381. IF₂₀₂₁: 4,658.

Научни рад публикован у истакнутом међународном часопису – категорија М₂₂

- **Zlatić N.**, Stanković M. (2019). Effects of calcareous and serpentinite parent material on the mineral characteristics of soils and plant material of *Teucrium montanum* L. (Lamiaceae). *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(9), 564. ISSN: 0167-6369. DOI: 10.1007/s10661-019-7750-3. IF₂₀₁₈: 1,959.

Научни рад публиковани у међународном часопису – категорија М₂₃

- **Zlatić N.**, Mihailović V, Lješević M, Beškoski V, Stanković M. (2022). Geological substrate-related variability of *Teucrium montanum* L. (Lamiaceae) essential oil. *Biochemical Systematics and Ecology*. 100, 104372. ISSN: 0305-1978. DOI: 10.1016/j.bse.2021.104372. IF₂₀₂₀: 1,381.

Саопштења на међународним научним скуповима штампана у изводу – категорија М₃₄

- **Zlatić N.**, Mihailović V, Lješević M, Beškoski V, Stanković M. (2021). Monoterpenes variability in *Teucrium montanum* L. essential oils. Serbian Biochemical Society Tenth Conference, Kragujevac, Serbia. *Abstract book*, 187. ISBN: 987-86-7220-108-6
- **Zlatić N.**, Mihailović V, Lješević M, Beškoski V, Stanković M. (2020). Variability of sesquiterpenes in essential oil of *Teucrium montanum* L. (Lamiaceae) from serpentinite and calcareous habitats. The 4th Symposium of Biologist and Ecologist of Republika Srpska (SBERS 2015), Banja Luka, Republika Srpska. *Abstract book*, 129. ISBN 978-99955-21-43-1.
- **Zlatić N.**, Stanković M. (2018). Metal content in aerial parts of the species *Teucrium montanum* L. sampled from habitats with serpentine and calcareous substrate. 3rd International Conference on Plant Biology (22nd SPPS Meeting). *Abstract book*, 93. ISBN 978-86-912591-4-3.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63):

- **Zlatić N.**, Mihailović V, Đelić G, Lješević M, Beškoski V, Stanković M. (2021). Variability of sesquiterpenes in essential oils of the species *Teucrium montanum* L. The 26th Conference about Biotechnology with international participation, Čačak, Serbia, *Conference Proceeding*, 453–458. ISBN: 978-86-87611-80-1.

Саопштења на националним научним скуповима штампана у изводу – категорија М64

- **Златић, Н.**, Будечевић, С., Станковић, М. (2023). Утицај геолошке подлоге на величину и облик листа врсте *Teucrium montanum* (Lamiaceae): примена методе геометријске морфометрије. Прва Конференција Српског Биолошког Друштва „Стеван Јаковљевић“, Крагујевац, Србија. Књига извода, 29. ISBN: 978-86-905643-4-7.
- **Златић, Н.**, Мишић, Д., Милутиновић, М., Драгићевић, М., Станковић, М. (2023). Ефекат геолошке подлоге на варијабилност секундарних метаболита врсте *Teucrium montanum* (Lamiaceae). Прва Конференција Српског Биолошког Друштва „Стеван Јаковљевић“, Крагујевац, Србија. Књига извода, 43. ISBN: 978-86-905643-4-7.

Биографија

Ненад Златић је рођен 02. 09. 1991. године у Ивањици, Република Србија, где је завршио основно и средње образовање са одличним успехом. Основне академске студије Биологије уписао је школске 2010/11. године на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу. Студије је завршио 03. 09. 2012. године са просечном оценом 9,48 и стекао звање Биолог. Школске 2013/14. године уписао је Дипломске академске студије – мастер на студијском програму Биологија. Завршни рад одбранио је 01. 07. 2015. године оценом 10,00 и завршио студије са просечном оценом 9,95, чиме је стекао академски назив Дипломирани биолог – мастер. Школске 2015/16. године уписао је Докторске академске студије Биологије на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу. У звање истраживач-приправник за научну област Биологија изабран је 09. 03. 2016. године, док је у звање истраживач-сарадник за научну област Биологија изабран 13. 03. 2019. године у Институту за биологију и екологију Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу. У звање асистент за ужу научну област Морфологија, фитохемија и систематика биљака у Институту за биологију и екологију Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу изабран је 14. 09. 2022. године. Изводи практичну наставу на Основним академским студијама у Институту за биологију и екологију из предмета Екологија и географија биљака, Систематика виших биљака 2, Практичан рад и теренска истраживања у екологији и Синекологија.

Кандидат Ненад Златић се бави научно-истраживачким радом у области ботаничких наука, испитивањем еколошке варијабилности различитих еколошких група биљака заступљеним на различитим типовима подлоге, утицајем подлоге на морфо-анатомске карактеристике биљака, екофизиолошким адаптацијама и геометријском морфометријом.

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

„Еколошка диференцијација врсте *Teucrium montanum* L. (Lamiaceae) на стаништима са кречњачком и серпентинитском геолошком подлогом“

представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Крагујевцу, 25. 09. 2023. године,



потпис аутора

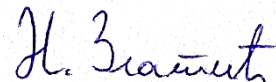
**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Изјављујем да су штампана и електронска верзија докторске дисертације под насловом:

„Еколошка диференцијација врсте *Teucrium montanum* L. (Lamiaceae) на стаништима са кречњачком и серпентинитском геолошком подлогом“

истоветне.

У Крагујевцу, 25. 09. 2023. године,



потпис аутора

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Ненад М. Златић,

дозвољавам

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

„Еколошка диференцијација врсте *Teucrium montanum* L. (Lamiaceae) на стаништима са кречњачком и серпентинитском геолошком подлогом“

и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

дозвољавам

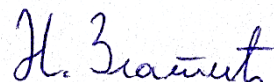
не дозвољавам¹

¹ Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално
- 5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
- 6) Ауторство - некомерцијално - без прерада²

У Крагујевцу, 25. 09. 2023. године,



потпис аутора

² Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org.rs/>