



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA BIOLOGIJU I EKOLOGIJU



MSc Milana Rakić

DIVERZITET MAKROGLJIVA I NJIHOVA ULOGA U MONITORINGU STANJA ŠUMSKIH EKOSISTEMA SRBIJE

Doktorska disertacija



Mentori:

dr Maja Karaman, vanredni profesor
dr Vladislava Galović, viši naučni saradnik

Novi Sad, 2019.

“...
Zato leti.
Sanjaj.
Trči.
Stvaraj zoru kad je več.
Nek od tebe život uči
da se peni i da teče.
Budi takvo neko čudo
što ne ume ništa malo,
pa kad kreneš – kreni ludo,
ustreptalo,
radoznalo.
...”

Mika Antić “Nepovratna pesma”

Posvećeno mojoj porodici,
koja je izvor i ishod svega.

ZAHVALNICA

Zahvaljujem se mojoj mentorki, **dr Maji Karaman**, za sve važne profesionalne i životne lekcije, za ukazano poverenje, strpljenje i razumevanje, za svu podršku i povezivanje sa ljudima koji su bili značajni za izradu ove teze. Zahvalna sam i za onu neophodnu dozu slobode tokom istraživačkog rada zahvaljujući kojoj sam imala prilike da iskusim i naučim mnogo toga.

Hvala komentorki **dr Vladislavi Galović** za nesebičan prijem u svoju laboratoriju, za ukazano poverenje, brigu, dragocenu podršku i korisne savete u svim segmentima našeg zajedničkog rada.

Veliko hvala mikolegi, **dr Miroslavu Markoviću**, zahvaljujući kojem je terenski deo istraživanja bio mnogo lakši, bogatiji i zanimljiviji. Hvala za korisna znanja iz oblasti šumarstva i sva podeljena iskustva, za nesebičnu pomoć i podršku u mnogim segmentima rada na ovoj tezi.

Veliko hvala **dr Marku Kebertu**, za analize sadržaja teških metala, za pomoć pri obradi podataka, izuzetno korisne savete tokom pisanja same teze, za dragocenu podršku tokom svih faza rada, kao i za razmenu mnogih životno važnih tema.

Zahvaljujem se izuzetnoj ekipi sa Departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu - **dr Sofiji Forkapić**, **dr Kristini Bikit**, **dr Dušanu Mrđi**, **dr Janu Hansmanu**, bez kojih istraživanje radioaktivnosti ne bi bilo moguće, a koji su ovo kompleksno polje učinili tako laganim i zanimljivim. Hvala vam što ste bezrezervno bili tu kad god je zatrebalo! Izuzetnu zahvalnost dugujem i prof **dr Ištvanu Bikit**u, koji je omogućio ovu saradnju.

Zahvaljujem se i brojnim kolegama sa Instituta za nizijsko šumarstvo i zaštitu životne sredine, za pomoć i druženje tokom terenskog dela ovog istraživanja, a posebno prof. **dr Saši Orloviću** koji je naš, mikološki tim uključio u projekat III43002 "Biosensing tehnologije i globalni sistem za kontinuirana istraživanja i integrisano upravljanje ekosistemima", u okviru kojeg je došlo do ove disertacije, i koji nam je otvorio vrata Laboratorija pomenutog Instituta. Hvala **dr Zoranu Galiću**, za ustupljene, obrađene podatke merenja abiotičkih faktora na istraživanim lokalitetima i korisne savete. Hvala laborantu, **Sretenu Vasiću** za izuzetnu pomoć i podršku tokom molekularnih analiza.

Hvala kolegama, mojim biologima i ekolozima, sa Departmana za biologiju i ekologiju, sa kojima sam delila sjajna iskustva i avanture tokom terenskog dela istraživanja – prijatelju **Marku Rućandu**, sa kojim je sve uvek bilo lakše, lepše, vedrije, koji je zajedničkim radom na terenu i savetima uvek rado pomogao, kao i doktorima prirodnjacima **Oliveri Babić**, **Milošu Iliću**, **Milanu Boriševu** i **Milanu Župunskom**.

Hvala dragoj koleginici **Eleonori Čapelji**, za dragocenu pomoć tokom rada na delu molekularnih analiza, kao i za podršku tokom završnice rada na disertaciji. Drago mi je što smo prošle kroz ovo iskustvo zajedno.

Zahvaljujem se i profesoru, **dr Draganu Radnoviću**, koji me je kao studenta osnovnih studija primio u laboratoriju Katedre za mikrobiologiju i preneo mnogo znanja i iskustva, pružio brojne korisne prilike i savete. Hvala Vam za poverenje i ogromnu podršku, posebno u završnici ove trke.

Veliku zahvalnost dugujem i mojoj prvoj, terenskoj mentorki **Mirjani Davidović** (prof. Radnoviću hvala i za povezivanje sa njom) koja me je prihvatila kao člana porodice i pružila

mi bezrezervno poverenje, nesebično delila svoje znanje i pomogla mi da napravim prve, izuzetno važne korake u istraživanju sveta gljiva.

*Hvala **Grušanovićima, Josipi i Srđanu**, za srdačnu pomoć pri delu terenskih istraživanja i determinacije uzoraka.*

*Hvala i **Bojanu Šeguljevu**, koji je učestvovao u jednom delu molekularnih analiza u okviru ove disertacije i time ostvario i svoju master tezu.*

*Neizmerno se zahvaljujem dragim kolegicama i prijateljicama **Ljiljani Janjušević i Dajani Kovač**, dragocenim saborcima na putu doktorskih studija, koje su pružile pomoć na mnogo načina, kad god je trebalo. Rad je uvek lepši u vašem društvu.*

*Hvala profesorima sa Katedre za mikrobiologiju (**dr Milanu Matavulju, dr Jelici Simeunović, dr Olgi Petrović, dr Slavki Gajin, dr Petru Kneževiću**), što su me prihvatili još kao studentkinju osnovnih studija željnu znanja, kao i za svu ukazanu podršku i znanje.*

*Hvala našoj laborantkinji, **Sandi Savić**, za podršku, pomoć i brigu, kao i svim **kolegama, doktorantima** na Katedri za mikrobiologiju, koji su učinili radne dane još lepšim i zanimljivijim. Posebno **Kristini Atlagić**, kao i **Dragani Tamindžiji, Petru Davidoviću i Jovani Marić**, na pomoći u samoj završnici teze.*

*Neizmerno hvala mojim **prijateljima**, koji su bili moja snaga i vetar u leđa tokom izrade ove disertacije, kao i uvek.*

*Više nego zahvalna svojim **roditeljima, sestri, suprugu i našim biserima, Dunji i Vidanu** – za snagu koju samo vi možete da mi date, za sve što ste uložili i za sve što ste žrtvovali da bismo stigli do ovoga.*

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	OPŠTI DEO.....	2
2.1.	Klasifikacija i filogenija Carstva gljiva.....	2
2.2.	Značenje pojma “makrogljive”.....	4
2.3.	Funkcionalne grupe makrogljiva.....	6
2.4.	Različiti koncepti vrste u mikologiji.....	8
2.5.	Istraživanje biodiverziteta gljiva.....	8
2.5.1.	Različita staništa u istraživanju biodiverziteta.....	9
2.5.2.	Fungalna jedinica.....	10
2.5.3.	Pojam mikocenoze.....	11
2.6.	Klasične metode u istraživanju mikodiverziteta.....	11
2.6.1.	Metodologija terenskih istraživanja.....	12
2.6.2.	Kvantitativne mere mikodiverziteta.....	12
2.7.	Molekularne metode u istraživanju mikodiverziteta.....	14
2.7.1.	Primena ITS regiona u molekularnim mikološkim istraživanjima.....	14
2.7.2.	Filogenetske analize.....	16
2.8.	Istraživanja mikodiverziteta u šumskim ekosistemima.....	18
2.9.	Uticaj faktora sredine na makrogljive.....	20
2.10.	Makrogljive kao akumulatori metala.....	21
2.10.1.	Interakcija metala i gljiva.....	21
2.10.2.	Gljive kao akumulatori i bioindikatori.....	23
2.11.	Makrogljive kao akumulatori radionuklida.....	25
2.11.1.	Radioaktivnost u životnoj sredini.....	25
2.11.2.	Radionuklidi u gljivama.....	25
2.11.3.	Faktori koji utiču na akumulaciju radionuklida.....	26
2.12.	Istaknute vrste makrogljiva.....	28
2.12.1.	<i>Cerioporus varius</i> (Pers.) Zmitr. & Kovalenko - promjenljiva rupičavka.....	28
2.12.2.	<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst. - jelov trud, borova guba, kopitnica.....	29
2.12.3.	<i>Ganoderma applanatum</i> (Pers.) Pat. - pljosnata sjajnica.....	30
2.12.4.	<i>Hymenopellis radicata</i> (Rehhan) R.H. Petersen - korenjača, vitka korenka.....	31
2.12.5.	<i>Phallus impudicus</i> L. - strčak, smrdljivi pevac, đavolje jaje, obična bestidnica.....	32
2.12.6.	<i>Mycena pura</i> (Pers.) P. Kumm. - ljubičasta šlemovka.....	33
2.12.7.	<i>Mycena pelianthina</i> (Fr.) Quél.	34
2.12.8.	<i>Mycetinis alliaceus</i> (Jacq.) Earle ex A.W. Wilson & Desjardin - vitka češnjakinja.....	35
2.13.	Istraživana planinska područja u Srbiji.....	36
2.13.1.	Vidlič.....	36
2.13.2.	Kopaonik.....	38
2.13.3.	Tara.....	40
3.	CILJ.....	43
4.	EKSPERIMENTALNI DEO.....	44
4.1.	Dizajniranje eksperimentalnih površina.....	44
4.1.1.	Lokalitet Vzganica (Vidlič) – sastojine bukve i duglazije.....	45
4.1.2.	Lokalitet Metode (Kopaonik) – sastojina smrče i bukve.....	47
4.1.3.	Lokalitet Mitrovac (Tara) – sastojine bukve, smrče i jele.....	48
4.2.	Uzorkovanje gljiva i obrada uzoraka.....	51
4.2.1.	Uzorkovanje gljiva i njihovog supstrata.....	51
4.2.2.	Morfološka identifikacija gljiva.....	52
4.2.3.	Priprema uzoraka za potrebe daljih analiza.....	53
4.3.	Određivanje abiotičkih faktora (temperatura i vlažnost vazduha, vlažnost zemljišta, količina padavina).....	54
4.4.	Molekularne analize odabranih vrsta makrogljiva.....	55
4.4.1.	Izolacija DNK.....	55
4.4.2.	PCR amplifikacija ITS regiona.....	56
4.4.3.	Priprema PCR produkata za sekvencioniranje.....	57
4.4.4.	Komparativna analiza dobijenih ITS sekvenci.....	58
4.4.5.	Filogenetska analiza i konstrukcija dendograma.....	59
4.5.	Određivanje sadržaja radionuklida gama - spektrometrijskom metodom.....	60
4.5.1.	Gamaspektrometrijska očitavanja.....	61
4.5.2.	Izračunavanje transfer faktora.....	62

4.6.	Određivanje sadržaja makro- i mikroelemenata atomskom apsorpcionom spektrofotometrijom (AAS)	62
4.6.1.	Priprema matičnih rastvora	62
4.6.2.	Merenje sadržaja makro- i mikroelemenata u matičnim rastvorima	63
4.7.	Statistička obrada podataka	64
5.	REZULTATI I DISKUSIJA	65
5.1.	Istraživanje mikodiverziteta kao pokazatelj stanja specifičnih šumskih zajednica	65
5.1.1.	Pregled ukupnog diverziteta makrogljiva	65
5.1.2.	Uporedna analiza šumskih staništa na osnovu broja i sastava taksona u sklopu mikocenoza	71
5.1.3.	Uporedna analiza šumskih staništa prema zastupljenosti funkcionalnih grupa u mikocenzama	75
5.1.4.	Korespondentne analize sastava vrsta i distribucije u okviru funkcionalnih grupa	79
5.1.5.	Istaknute vrste makrogljiva i evaluacija ispitivanih šumskih staništa sa konzervacionog stanovišta	85
5.1.5.1.	Vidlič - sastojina bukve i sastojina duglazije	87
5.1.5.2.	Kopaonik – sastojina smrče i bukve	89
5.1.5.3.	Tara – sastojine smrče, jele i bukve	89
5.2.	Uticaj abiotičkih faktora na diverzitet makrogljiva	91
5.2.1.	Analiza mikodiverziteta šumskih sastojina u odnosu na abiotičke faktore	92
5.2.2.	Uticaj abiotičkih faktora na brojnost makrogljiva	94
5.2.3.	Uticaj abiotičkih faktora na sastav mikocenoza	96
5.3.	Molekularna analiza odabranih vrsta makrogljiva	101
5.3.1.	<i>Cerioporus varius</i> (syn. <i>Polyporus varius</i>)	104
5.3.2.	<i>Fomitopsis pinicola</i>	109
5.3.3.	<i>Ganoderma applanatum</i>	116
5.3.4.	<i>Hymenopellis radicata</i>	124
5.3.5.	<i>Phallus impudicus</i>	130
5.3.6.	<i>Mycena pura</i> i <i>Mycena pelianthina</i>	135
5.3.7.	<i>Mycectinus alliaceus</i>	142
5.4.	Sadržaj metala i radionuklida u zemljištu	145
5.4.1.	Sadržaj metala u zemljištu	147
5.4.2.	Sadržaj radionuklida	151
5.4.3.	Uporedna analiza šumskih staništa na osnovu sadržaja metala i radionuklida u zemljištu	154
5.5.	Ispitivanje sadržaja radionuklida u makrogljivama	155
5.5.1.	Analiza sadržaja radionuklida i sposobnost akumulacije različitih vrsta makrogljiva	156
5.5.2.	Statistička analiza podataka o sadržaju radionuklida među različitim vrstama makrogljiva	161
5.5.3.	Varijabilnost u sadržaju radionuklida među različitim funkcionalnim grupama	163
5.5.4.	Rizici upotrebe jestivih i lekovitih makrogljiva sa aspekta akumulacije radionuklida	166
5.6.	Ispitivanje sadržaja metala u makrogljivama	166
5.6.1.	Analiza sadržaja metala i sposobnost akumulacije različitih vrsta makrogljiva	168
5.6.2.	Statistička analiza podataka o sadržaju metala među različitim vrstama makrogljiva	172
5.6.3.	Intraspecijska varijabilnost sadržaja metala	174
5.6.4.	Varijabilnost u sadržaju metala među različitim funkcionalnim grupama i unutar njih	177
5.6.5.	Rizici upotrebe jestivih i lekovitih makrogljiva sa aspekta akumulacije teških metala	178
5.6.6.	Uporedni pregled makrogljiva na osnovu sadržaja polutanata i njihov potencijal u bioindikaciji zagađenja životne sredine	180
6.	ZAKLJUČAK	182
7.	LITERATURA	186
8.	PRILOZI	202

LISTA TABELA

Tabela 1. Uobičajen sadržaj metala u plodnim telima makrogljiva nezagađenih područja (mg kg^{-1}) i akumulatorske vrste i rodovi.....	24
Tabela 2. Program PCR reakcije.....	57
Tabela 3. Analizirane vrste gljiva i odgovarajuće kontrole korišćene pri konstrukciji filogenetskih stabala	60
Tabela 4. Temperaturni program mikrotalasne peći	63
Tabela 5. Vrste prisutne svake godine tokom trogodišnjeg istraživačkog perioda	68
Tabela 6. Vrste prisutne više puta tokom.....	68
Tabela 7. Utvrđene frekvence pojavljivanja različitih makrogljiva.....	69
Tabela 8. Vrste sa najvećom prostornom distribucijom.....	70
Tabela 9. Korelacija brojnosti taksona makrogljiva i različitih stanišnih parametara	73
Tabela 10. Žakardov (<i>Ji</i>) i Sorensenov (<i>Si</i>) indeks sličnosti.....	74
Tabela 11. Spisak istaknutih vrsta istraživanih staništa sa podacima o ugroženosti u Srbiji i zemljama Evrope ("Sl. glasnik RS", br. 2010 i 47/2011, IUCN 5/, 2012)	86
Tabela 12. Uzorci makrogljiva korišćeni za molekularne analize	102
Tabela 13. Procena prosečnih intraspecijskih genetičkih distanci (GDu) ITS sekvenci unutar grupa filogenetski analiziranih vrsta	103
Tabela 14. Intraspecijska varijabilnost ITS1, 5.8S, ITS2 regiona u sekvencama odabranim za analizu polimorfizama unutar svake ispitivane vrste	103
Tabela 15. Procena prosečnih genetičkih distanci (GDi) u ITS sekvencama između grupa analizirane vrste <i>C. varius</i>	105
Tabela 16. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1 – 5.8S – ITS2 regiona za vrstu <i>P. varius</i> u odnosu na <i>P. varius</i> RefSeq.....	107
Tabela 17. Procena prosečnih genetičkih distanci (GDi) u ITS sekvencama između grupa analiziranih vrsta roda <i>Fomes</i>	113
Tabela 18. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1 – 5.8S – ITS2 regiona za vrste <i>F. pinicola</i> i <i>F. ochracea</i> u odnosu na <i>F. pinicola</i> RefSeq	115
Tabela 19. Procena prosečnih genetičkih distanci (GDi) u ITS sekvencama između grupa analiziranih vrsta roda <i>Ganoderma</i>	122
Tabela 20. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1-5.8S-ITS2 regiona za vrstu <i>G. applanatum</i> u odnosu na <i>G. applanatum</i> RefSeq	123
Tabela 21. Procena prosečnih genetičkih distanci u ITS sekvencama između grupa analiziranih vrsta roda <i>Hymenopellis</i>	128
Tabela 22. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1-5.8S-ITS2 regiona za vrstu <i>H. radicata</i> u odnosu na <i>H. radicata</i> RefSeq	129
Tabela 23. Procena prosečnih genetičkih distanci (GDi) u ITS sekvencama između grupa analiziranih vrsta roda <i>Phallus</i>	132
Tabela 24. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1-5.8S-ITS2 regiona za vrstu <i>P. impudicus</i> u odnosu na <i>P. impudicus</i> RefSeq	134
Tabela 25. Procena prosečnih genetičkih distanci u ITS sekvencama između različitih vrsta roda <i>Mycena</i>	139
Tabela 26. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1-5.8S-ITS2 regiona za vrstu <i>M. pelianthina</i> u odnosu na <i>M. pelianthina</i> RefSeq	140
Tabela 27. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1-5.8S-ITS2 regiona za vrstu <i>M. pura</i> u odnosu na <i>M. pura</i> RefSeq	141

Tabela 28. Procena prosečnih genetičkih distanci u ITS sekvencama između grupa vrste <i>M.alliaceus</i> u odnosu na <i>M. alliaceus RefSeq</i>	143
Tabela 29. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja ITS1-5.8S-ITS2 regiona za vrstu <i>M.alliaceus</i>	144
Tabela 30. Sadržaj metala i radionuklida u zemljištu	146
Tabela 31. Pregled literaturnih podataka za radioaktivnost zemljišta u Republici Srbiji	152
Tabela 32. Transfer faktori radionuklida iz drveta (TFd) / zemljišta (TFz) u plodno telo makrogljiva	159
Tabela 33. Deskriptivna statistika za grupe mikoriznih i lignikolnih makrogljiva	164
Tabela 34. Korelacioni matriks među različitim radionuklidima	165
Tabela 35. Deskriptivna statistika sadržaja elemenata u gljivama	167
Tabela 36. Korelacije između sadržaja TM u zemljištu i makrogljivama	168
Tabela 37. Razlike u sadržaju metala (mg kg^{-1}) među funkcionalnim grupama makrogljiva	177

LISTA GRAFIKONA

Grafikon 1. Važeća klasifikacija gljiva zasnovana na filogenetskim istraživanjima	3
Grafikon 2. Faktori koji utiču na interakciju metala, gljive i životne sredine.....	21
Grafikon 3. Faktori koji utiču na akumulaciju radionuklida.....	26
Grafikon 4. Zastupljenost različitih funkcionalnih grupa	66
Grafikon 5. Prikaz akumulacije vrsta tokom istraživačkog perioda - odnos broja	67
Grafikon 6. Brojnost vrsta sa različitom prostornom distribucijom	70
Grafikon 7. Broj nalaza i broj taksona registrovanih u okviru različitih eksperimentalnih površina ...	72
Grafikon 8. Distribucija različitih funkcionalnih grupa makrogljiva.....	76
Grafikon 9. Korespodentna analiza sastava vrsta u okviru grupe mikoriznih makrogljiva	81
Grafikon 10. Korespodentna analiza sastava vrsta u okviru grupe lignikolnih makrogljiva	82
Grafikon 11. Korespodentna analiza sastava vrsta u okviru grupe terikolnih makrogljiva	84
Grafikon 12. PCA analiza istraživanih plotova na osnovu abiotičkih faktora.....	93
Grafikon 13. PLS analiza zavisnosti broja makrogljiva od abiotičkih faktora	95
Grafikon 14. CCA analiza uticaja abiotičkih faktora na sastav mikorizne grupe makrogljiva.....	97
Grafikon 15. CCA analiza uticaja abiotičkih faktora na sastav lignikolne grupe makrogljiva.....	100
Grafikon 16. Filogenetsko stablo vrste <i>P. varius</i>	104
Grafikon 17. Filogenetsko stablo vrste <i>Fomitopsis pinicola</i> – prvi deo	111
Grafikon 18. Filogenetsko stablo vrste <i>Fomitopsis pinicola</i> – drugi deo	112
Grafikon 19. Filogenetsko stablo odabranih vrsta roda <i>Ganoderma</i> – prvi deo	118
Grafikon 20. Filogenetsko stablo odabranih vrsta roda <i>Ganoderma</i> – drugi deo	119
Grafikon 21. Filogenetsko stablo odabranih vrsta roda <i>Hymenopellis</i>	126
Grafikon 22. Filogenetsko stablo odabranih vrsta <i>P. impudicus</i> i <i>P. hadriani</i>	131
Grafikon 23. Filogenetsko stablo odabranih vrsta roda <i>Mycena</i> – prvi deo	136
Grafikon 24. Filogenetsko stablo odabranih vrsta roda <i>Mycena</i> – drugi deo	137
Grafikon 25. Filogenetsko stablo vrste <i>Mycetinis alliaceus</i>	143
Grafikon 26. Sadržaj metala u zemljištu (mg/kg s.m.)	147
Grafikon 27. Sadržaj radionuklida u zemljištu (Bq/kg)	153
Grafikon 28. PCA analiza zemljišta na osnovu sadržaja	154
Grafikon 29. Sadržaji radionuklida u analiziranim makrogljivama (Bq/kg)	158
Grafikon 30. Dendrogram hijerarhijske klaster analize makrogljiva na osnovu ukupnog sadržaja radionuklida	162
Grafikon 31. Sadržaj mikroelemenata (mg kg ⁻¹) u makrogljivama na različitim plotovima (P1-P5)	169
Grafikon 32. Transfer faktori (TF) za makrogljive sa različitih plotova	170
Grafikon 33. Sadržaj makroelemenata (mg kg ⁻¹) u makrogljivama na različitim plotovima (P1 – P5)	171
Grafikon 34. Klaster analiza sadržaja K u analiziranim makrogljivama	173
Grafikon 35. Klaster analiza sadržaja Zn u analiziranim makrogljivama	174
Grafikon 36. Variranje sadržaja metala unutar vrsta	176

LISTA SLIKA

Slika 1. Tipovi plodnih tela makrogljiva	5
Slika 2. ITS region između male i velike subjediničice rDNK gljiva.....	15
Slika 3. Osnovni pojmovi filogenetskog stabla	17
Slika 4. Šumska podzemna mreža za razmenu nutrijenata	19
Slika 5. Vrsta <i>Cerionopus varius</i>	28
Slika 6. Vrsta <i>Fomitopsis pinicola</i>	29
Slika 7. Vrsta <i>Ganoderma applanatum</i>	30
Slika 8. Vrsta <i>Hymenopellis radicata</i>	31
Slika 9. Vrsta <i>Phallus impudicus</i>	32
Slika 10. Vrsta <i>Mycena pura</i>	33
Slika 11. Vrsta <i>Mycena pelianthina</i>	34
Slika 12. Vrsta <i>Mycetinis alliaceus</i>	35
Slika 13. Planina Vidlič	36
Slika 14. Planina Kopaonik.....	38
Slika 15. Planina Tara.....	40
Slika 16. Mapa R Srbije sa istraživanim lokalitetima	44
Slika 17. Položaj lokaliteta Vzganica na Vidliču i položaji eksperimentalnih površina P1 i P2	45
Slika 18. Izgled sastojina bukve (prva eksperimentalna površina - P1) i	46
Slika 19. Položaj lokaliteta Metode na Kopaoniku i položaj eksperimentalne površine P3	47
Slika 20. Izgled sastojine smrče i bukve na Kopaoniku u kojoj je postavljena treća eksperimentalna površina (P3).....	48
Slika 21. Položaj lokaliteta Mitrovac na Tari i položaji eksperimentalnih površina P4 i P5	49
Slika 22. Izgled sastojine smrče, jele i bukve na Tari u kojoj je postavljena eksperimentalna površina P4	50
Slika 23. Izgled sastojine smrče, bukve i jele na Tari, sa postavljenom eksperimentalnom površinom P5	50
Slika 24. Uzorkovanje makrogljiva i fotodokumentacija	51
Slika 25. Primeri elektroferograma izolovane genomske DNK.....	56
Slika 26. Gama spektri vrsta <i>Cerionopus varius</i> i <i>Tricholoma pessundatum</i>	61

1. UVOD

Tokom prethodnih godina u Republici Srbiji su pokrenute značajne aktivnosti na formiranju baza podataka gljiva (u okviru programa “NATURA 2000” i BioRaS) i okupljanju hobista ali i mikologa, u okviru nevladinih organizacija poput Mikološko - gljivarskog saveza Srbije, međutim, još uvek ne postoji konačan zvanično publikovan ili javno objavljen osnovni popis do sada poznatih vrsta gljiva („bela lista“ gljiva), niti organizovano objedinjavanje podataka o mikodiverzitetu na nivou države, za razliku od nekih zemalja u regionu (Hrvatska). Višegodišnja, uporedna praćenja ukupne brojnosti različitih taksonomskih i ekoloških grupa makrogljiva u okviru šumskih ekosistema do sada su u Srbiji vršena sporadično i na osnovu ličnih inicijativa samostalnih naučnika i ljubitelja gljiva ili u okviru različitih gljivarskih društava (22 registrovana društva), čiji je zajednički rad tek nedavno adekvatno povezan ali još uvek nedovoljno koordinisan. To ukazuje na izuzetnu potrebu za što većim brojem raznovrsnih i sistematičnih istraživanja, počev od monitoringa samih staništa, preko popisa vrsta, procene njihovog stanja do formiranja objedinjenih baza podataka gljiva i njihovo korišćenje u bioindikaciji stanja šumskih ekosistema. Ovakva istraživanja pružila bi bolje razumevanje stanja i funkcionisanje mikopopulacija u okviru planinskih regiona Srbije, ali i bolji uvid o stanju naših šumskih ekosistema koja su do sada samo sporadično istraživana.

Za razliku od mnogih drugih evropskih zemalja u kojima monitoring šumskih ekosistema ima višedecenijsku tradiciju krunisanu internacionalnim mrežama za monitoring (ICP Forests,ILTER), Srbija je dugi niz godina imala isključivo inventarizacione programe, usmerene na popisivanje šumskog fonda tj. zastupljenosti drvenastih biljnih vrsta (Orlović *i sar.*, 2012). Zahvaljujući projektu „*Biosensing tehnologije i globalni sistem za kontinuirana istraživanja i integrisano upravljanje ekosistemima*“ (III43002), finansiranom od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja (projektni ciklus 2011-2019.), po prvi put je u Srbiji postavljena i interdisciplinarna osnova za monitoring stanja šumskih ekosistema koja omogućava sagledavanje šuma ne samo kao sklopa drvenastih vrsta, već kao kompleksa različitih grupa organizama i njihovih interakcija. Sastavni deo navedenog projekta je i mikološka studija obuhvaćena ovom doktorskom disertacijom.

2. OPŠTI DEO

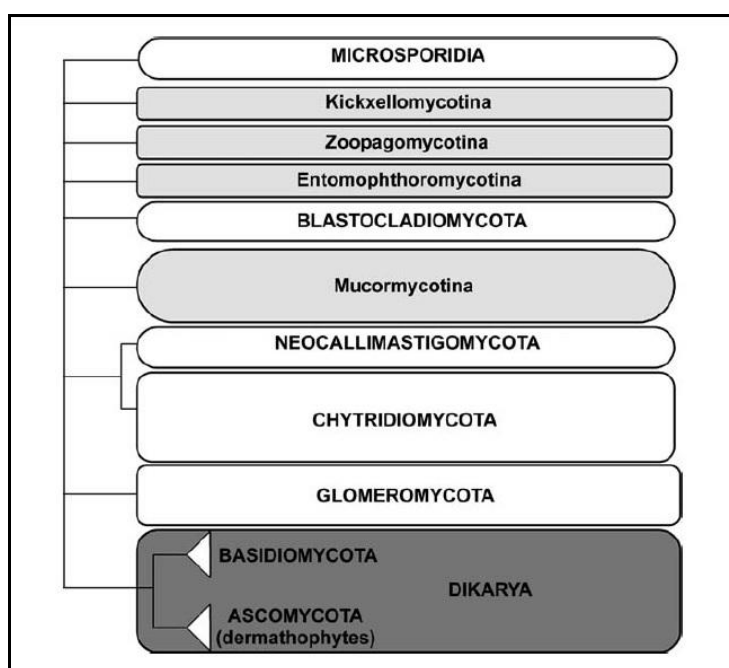
2.1. Klasifikacija i filogenija Carstva gljiva

Ukupna brojnost vrsta gljiva danas se približava broju 1 500 000, iako se smatra da je do sada opisano samo 5% gljiva (Mueller i Bills, 2004). Gljive od uvek predstavljaju veliku, misterioznu grupu organizama, a naučnici i dalje naporno rade kako bi pronašli odgovarajuće mesto u klasifikaciji živih organizama. Njihove specifične karakteristike i veliki diverzitet su dugo zbunjivali naučnike širom svijeta, često ih vodeći u pogrešnom smeru kada je u pitanje njihovo mesto u živom svetu. U Lineovom sistemu klasifikacije dva carstva, gljive su bile uključene u carstvo biljaka u skladu sa svojom nepokretnošću i načinom apsorpcije nutrijenata. Ova tradicionalna ideja klasifikacije prevladavala je gotovo do sredine XX veka kada su uspostavljeni novi pristupi: Haeckel - ov sistem tri carstva (Haeckel, 1866), Chattona - ov sistem dva carstva (Chatton, 1925), Copeland - ov sistem četiri carstva (Copeland, 1938), međutim ni jedan od njih nije prepoznao gljive kao posebnu grupu organizama.

Napredak u elektronskoj mikroskopiji i biohemijskim tehnikama ukazao je na značajne razlike između živih organizama, prepoznajući gljive kao organizme koji se značajno razlikuju od drugih po načinu ishrane, apsorpciji, organizaciji i strukturi ćelije, haploidnim jedrima, fotomorfogenezi, hormonskom sistemu, itd. Po Whittaker-ovoj klasifikaciji iz 1969., fungalni organizmi su napokon stekli poziciju odvojenog Carstva gljiva u sistemu sa pet carstava (Whittaker, 1969), uključujući Monera, Protista, Planta, Fungi i Animalia, u skladu sa njihovom višćelijskom organizacijom i životnim stilom.

Nova revolucija u biološkoj klasifikaciji počela je upotrebom molekularnih filogenetskih analiza 1970-ih, zasnovanih prvenstveno na genima ribozomske RNK (rRNK) koji su visoko očuvani, prisutni u svim organizmima i koji sadrže dovoljno informacija. Poređenje male subjedinice rRNK, po Carl Woese-u, pokazalo je da postoje tri različite evolutivne grupe organizama, domeni, dva prokariotska – Bacteria i Arhaea i jedna eukariotska - Eucarya (Woese *i sar.*, 1990; Woese, 2000). U ovom filogenetskom stablu, tri carstva: biljaka, gljiva i životinja formiraju klaster na vrhu domena Eucarya (Deacon, 2006). Analize gena za kodiranje rDNK i proteina pokazale su da su gljive bliže povezane sa životinjama, kao najbližim rođacima, nego sa biljkama (Baldauf i Palmer, 1993; Berbee i Taylor, 2000; Richards i Cavalier – Smith, 2005). U poslednje tri decenije, molekularne filogenetske studije omogućile su bolje razumevanje diverziteta gljiva i izazvale su stalne promene unutar životnog stabla gljiva.

Četiri velike grupe koje su tradicionalno prepoznate kao „prave gljive“: Chytridiomycota, Zygomycota, Ascomycota i Basidiomycota, pretrpele su dramatične promene u pogledu molekularne filogenije. Tradicionalna Chytridiomycota i Zygomycota predstavljaju bazalne fungalne razdele sa najranijom divergencijom i odavno su poznate kao polifiletske i parafiletske (Lutzoni *i sar.*, 2004, Tanabe, 2005). Tako su 2001. godine, arbuskularne mikorizne gljive, ranije poznate kao red Glomerales/Glomales, koje su primarno filamentozne i nemaju flagele, isključene iz Zygomycota i prepoznate kao jedinstvena grupa Glomeromycota (Schüßler *i sar.*, 2001). Prema prethodno objavljenim filogenetskim istraživanjima, dokazano je da Ascomycota i Basidiomycota predstavljaju monofiletsku kladu i sestrinske taksone, danas svrstane u podcarstvo Dikarya (James *i sar.*, 2006), iako je ranije bila prepoznata kao Dicarionomycota (Schaffer, 1975). Kao što je pokazano analizom rDNK, Glomeromycota i Dikarya su sestrinske klade (Lutzoni *i sar.*, 2004; Schüßler *i sar.*, 2001, Sugiyama 1998, Tehler *i sar.*, 2003) koje formiraju kladu označenu kao «Symbiomycota» (pošto većina članova formira simbioze) (Tehler *i sar.*, 2003).



Grafikon 1. Vazeća klasifikacija gljiva zasnovana na filogenetskim istraživanjima preuzeto i modifikovano iz Hibett *i sar.* (2007)

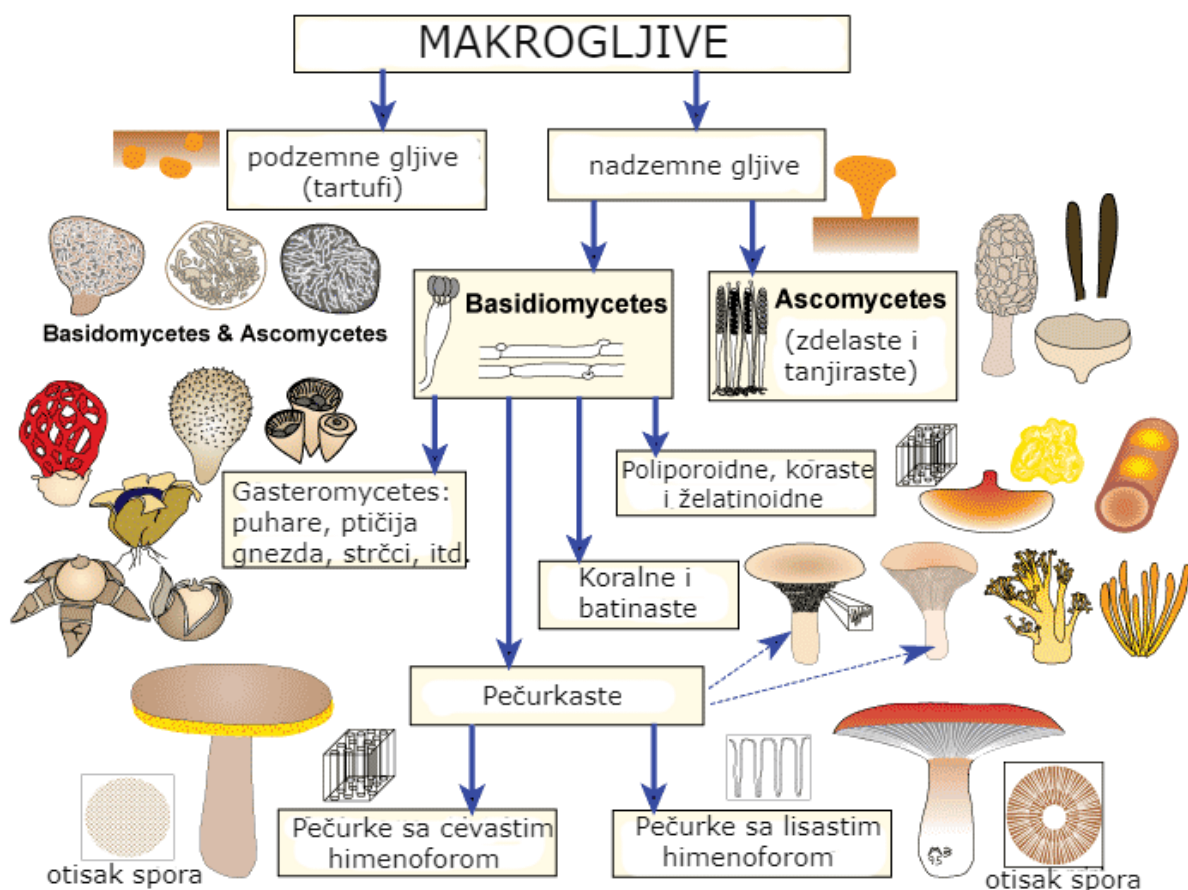
U nedavnoj klasifikaciji po Hibbet-u i grupi saradnika (Hibett *i sar.*, 2007), zasnovanoj na monofiletskim odnosima i podržanoj brojnim objavljenim molekularnim filogenetskim studijama, predložene su nove promene za mnoge bazalne fungalne grupe (Graf. 1). Chytridiomycota je zadržana kao razdeo koji sadrži dve klase: Chytridiomycetes i

Monoblepharidomycetes; redovi Blastocladales i Neocallimastigales podignuti su do nivoa razdela: Blastocladiomycota i Neocallimastigomycota. Zygomycota nema rang razdela, a njeni raniji članovi su razvrstani u razdeo Glomeromycota i četiri podrazdela *Incertae sedis*: Mucoromycotina, Kickxellomycotina, Zoopagomycotina i Entomoftoromycotina (Hibett *i sar.*, 2007).

Savremena istraživanja zasnovana na molekularnoj filogenetskoj analizi su prepoznala carstvo gljiva kao jedno od pet eukariotskih carstava sa sedam razdela: Chytridiomycota, Neocallimastigomycota, Blastocladiomycota, Microsporidia, Glomeromycota, Ascomycota, Basidiomycota. Podcarstvo Dikarya sadrži dva razdela: Ascomycota i Basidiomycota, koja predstavljaju monofiletsku klasu „krunskih gljiva“ koje se prepoznaju kao makrogljive zbog jasno vidljivih plodnih tela. Za razliku od njih, mikrogljive, kvasci i plesni, su najpoznatije kao proizvođači mikotoksina. Organizmi koje smo dugo poznavali samo kao nesavršene gljive - “Fungi Imperfecti” / Deuteromycetes / mitosporne gljive, konačno su, zahvaljujući molekularnim istraživanjima, adekvatno klasifikovani u okviru različitih razdela, dok ostale još uvek nisu klasifikovane.

2.2. Značenje pojma “makrogljive”

Pojam “makrogljive” se koristi za gljive gljive koje formiraju makroskopska plodna tela, vidljiva golim okom (Chang i Miles, 2004). Grupa makrogljiva obuhvata taksonomski različite pripadnike carstva gljiva, iz razdela (phyla) Ascomycota i Basidiomycota (Deacon, 2006; Karaman *i sar.*, 2012). Različite morfološke grupe makrogljiva su u zavisnosti od tipa plodnog tela poznate pod nazivima: pečurke (agarikoidne), puhare (gasteroidne), strčci, ptičja gnezda, smrčci (morheloidne), zvezdače (asteroidne), tartufi (hipogeična plodna tela), koralne gljive (koraloidne), koraste (kortikoidne), zdelaste/tanjiraste (pezizoidne), batinaste (klavaroidne) itd. (Lodge *i sar.*, 2004; Uzelac, 2009) (Sl. 1).



Slika 1. Tipovi plodnih tela makrogljiva

preuzeto i modifikovano sa: <https://mycorrhizas.info/ecmf.html>

Makrogljive imaju važnu ulogu u opstanku drugih organizama, prvenstveno biljaka i životinja. Mikorizne makrogljive su neophodne za rast biljaka, a posebno šumskih drvenastih vrsta (fam. Fagaceae, Betulaceae, Pinaceae itd.). Saprotrofne makrogljive razgrađuju mrtve biljne i životinjske ostatke i vraćaju zemljištu hranljive materije u procesu kruženja materije i energije. Jestive makrogljive koriste se u ishrani životinja i ljudi, a veliki deo njih poseduje i lekovita svojstva sa izuzetnim potencijalom u farmaciji i medicini (Karaman *i sar.*, 2009; 2012; 2014).

Sa stanovišta monitoringa prirodnih staništa, posebna pažnja pridaje se upravo ovoj grupi gljiva, koja nije taksonomska grupa, već grupa koja je veoma značajna za ljude i upotrebu u njihovom svakodnevnom životu. Zahvaljujući makroskopskim plodnim telima, one su jednostavne za evidentiranje i uzorkovanje u cilju kasnije identifikacije vrsta (Chang i Miles, 2004).

2.3. Funkcionalne grupe makrogljiva

Gljive su heterotrofni organizmi koji su se adaptirali na upotrebu različitih organskih supstrata iz prirode. U skladu sa tipom supstrata koji koriste i mikrostaništima koja zauzimaju, makrogljive se dele na više različitih trofičkih / ekoloških / funkcionalnih grupa, među kojima su tri osnovne: saprotrofi, paraziti i mutualisti.

Saprotrofne makrogljive – razvijaju se i hrane na uginulim ostacima različitih organizama (drvo, lišće, mrtve životinje i gljive...), uzrokujući kataboličke procese razgradnje, zahvaljujući ekstracelularnim enzimima koje izlučuju u svoje okruženje i tako ragrađuju složena organska jedinjenja, čineći ih upotrebljivim od strane drugih živih organizama. Ova sposobnost čini gljive vitalnim komponentama zdravih prirodnih ekosistema, posebno šuma. Saprotrofne gljive se razlikuju po svom ponašanju i sposobnosti da ragrađuju specifične vrste supstrata, što je posledica kolonizacije istog izvora hranljivih materija u različito vreme, a ponekad se i preklapaju (Deacon, 2006). Pionirske vrste koriste jednostavne, lako rastvorljive supstrate i obično ne mogu da razgrade kompleksne strukturne polimere. One su dobri konkurenti, koji se odlikuju brzim rastom i kratkim životnim ciklusom (*Trichoderma spp.*, *Verticillium spp.*). Gljive koje ragrađuju složenije supstrate, uglavnom su specifične za supstrat i kolonizuju i razlažu glavne strukturne polimere domaćina (celuloza, hemiceluloza, hitin), dok su druge specijalizovane za razgradnju vrlo specifičnih organskih materija (lignin, suberin, keratin, itd.) (Shortle i Dudzik, 2011).

Parazitske makrogljive – razvijaju se na još uvek živim organizmima (biljkama, životinjama, drugim gljivama) od kojih uzimaju neophodne hranljive materije, nanoseći im štetu. Među parazitskim gljivama prepoznaju se tri glavne grupe: 1) - obligantni paraziti, 2) - paraziti slabosti, 3) - fakultativni paraziti. Neki paraziti imaju vrlo specifične zahteve i specijalizovani su za jednu vrstu domaćina, dok drugi mogu parazitizirati na različitim rodovima domaćina (Carlile i sar, 2006).

Obligatne parazitske gljive, među kojima ima biljnih (*Phytophthora spp.*, *Plasmopara spp.*, *Erysiphe spp.*, *Puccinia spp.*), životinjskih (*Haptoglossa humicola*, *Zoopagus insidians*, *Brachymyces megalosporus*) i ljudskih patogena (*Plasmodium falciparum*, *Microsporium spp.*, *Histoplasma spp.*), napadaju žive organizme koji uzrokuju oštećenje tkiva i bolesti koje mogu dovesti do uginuća organizma domaćina (Barron, 2004; Callan i Carris, 2004). Nasuprot njima, *paraziti slabosti* nisu u stanju da napadaju zdrav organizam, već zahtevaju izvesnu slabost domaćina (*Fomitopsis pinicola*, *Ganoderma applanatum*, *Phellinus spp.*, *Inonotus spp.*) i napadaju inicijalno oštećene, oslabljene ili imunološki ugrožene organizme

(Shortle i Dudzik, 2011). Gljive koje mogu zaraziti domaćina samo na mestima oštećenog tkiva, kao što je površina rane, često se nazivaju paraziti rane. *Fakultativni paraziti* prvobitno napadaju žive domaćine, a nakon njihove smrti nastavljaju da koriste tkiva kao saprotrofi. U prirodi je često teško odrediti jasne granice među ovim potkategorijama (Harley, 1971).

Lignikolne gljive – gljive koje razgrađuju drveni materijal, pri čemu mogu biti saprotrofi ili paraziti. One svojim specifičnim enzimima dovode do razgradnje složenih molekula i omogućavaju povratak jednostavnih nutrijenata u zemljište (Shortle i Dudzik, 2011). U zavisnosti od tipa razgradnje do koje dovode, razlikju se tri osnovne grupe: 1) gljive bele truleži, 2) gljive mrke truleži i 3) gljive meke truleži.

Bele truležnice razgrađuju lignin, usled čega preostaje svetlije obojena celuloza, ili ređe razgrađuju i lignin i celulozu (*Fomes fomentarius*, *Ganoderma applanatum*, *Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus*). Rezultat njihovog delovanja je promena teksture drveta, koje postaje vlažno, sunderasto, beličasto do žuto obojeno (Mester *i sar.*, 2004; Karaman *i sar.*, 2012).

Mrke truležnice razgrađuju hemicelulozu i celulozu, koje su odgovorne za strukturu drveta (*Fomitopsis pinicola*, *Piptoporus betulinus*). Prilikom razgradnje hemiceluloze, nastaje vodonik peroksid, slobodni radikal odgovoran za razgradnju celuloze, koji se brzo provlači kroz drvo znatno dalje od same micelije koja ga produkuje (Karaman *i sar.*, 2012). Kao rezultat ovog procesa, drvo se skuplja, menja boju u braon i puca u obliku kockastih parčića.

Meke truležnice razgrađuju celulozu uz pomoć enzima celulaza (*Kretzschmaria deusta*, *Chaetomium spp.*), pri čemu se formiraju mikroskopske šupljine u drvetu, gubitak boje i pucanje slično onom kod mrke truleži (Mester *i sar.*, 2004; Karaman *i sar.*, 2012).

Mutualisti - su gljive koje formiraju obostrano korisne zajednice sa biljkama, životinjama ili prokariotima. Neke od najpoznatijih korisnih asocijacija u kojima gljive učestvuju su lišajevi (alge kao partneri) i **mikorize** koje predstavljaju esencijalne zajednice sa korenjem gotovo svih živih biljaka. U mikoriznoj zajednici, biljka obezbeđuje gljivu organskim jedinjenjima, dok gljiva obezbeđuje biljku vodom i mineralnim materijama (Kendrick, 2003). Mikorizne gljive mogu štititi biljke od patogenih organizama, kao i od štetnog dejstva teških metala i radionuklida (Katanić, 2013). One ne mogu da opstanu bez svog domaćina i mnoge od njih su specifično vezane za određenog domaćina, često samo sa jednom vrstom biljke. Dva osnovna tipa mikoriza su: ektomikorize i endomikorize. Ektomikorize su zajednice uglavnom drvenastih biljaka i gljiva koje pripadaju razdelima Basidiomycota (*Amanita spp.*, *Russula spp.*, *Lactarius spp.*, *Cantharellus spp.*, itd.),

Ascomycota (Pezizales) i nekadašnjeg Zygomycota (*Endogone spp.*). Kod ovog tipa mikorize, hife ne prodiru unutar ćelija korena, za razliku od endomikoriza, kod kojih hife prodiru kroz ćelijski zid i ćelijsku membranu korenovih ćelija. Endomikorize su znatno varijabilnije i dele se dalje u pet različitih grupa (Katanić, 2013; Peterson *i sar.*, 2004).

Terikolne makrogljive – ovo je pojam određen na osnovu lokalizacije micelije i plodnih tela, a ne na osnovu nutritivnog tipa same gljive. Ovo je grupa gljiva koje nastanjuju zemljište, pri čemu trofički mogu biti mutualisti ili saprotrofi (Karaman *i sar.*, 2012).

2.4. Različiti koncepti vrste u mikologiji

U biologiji postoje koncepti koji posmatraju vrstu sa različitih stanovišta. U mikološkim istraživanjima od posebnog značaja su sledeći (Guarro *i sar.*, 1999):

Morfološki koncept - posmatra vrstu kao skup međusobno morfološki sličnih jedinki. On karakteriše vrstu po obliku tela i drugim strukturnim karakteristikama i posebno je koristan u slučaju kada su informacije o protoku gena nepoznate. S obzirom da je morfološki koncept subjektivan, istraživači se ne moraju složiti o tome koje karakteristike treba koristiti za razlikovanje vrste (Guarro *i sar.*, 1999).

Biološki koncept - definiše vrstu kao grupu jedinki koje u prirodi imaju sposobnost *inbridinga* - mogu isključivo međusobno da se ukrštaju pri čemu nastaje reproduktivno sposobno potomstvo. Prema tome, vrsta je grupa jedinki koje su reproduktivno izolovane u odnosu na jedinke drugih vrsta (Guarro *i sar.*, 1999).

Filogenetski koncept - posmatra vrstu kao grupu čiji članovi potiču od zajedničkog pretka i svi poseduju kombinaciju određenih jedinstvenih ili izvedenih osobina. Drugim rečima, vrsta je definisana kao grupa jedinki koje dele zajedničku, jedinstvenu evolutivnu istoriju. Ona je manje restriktivna od koncepta bioloških vrsta, jer razmnožavanje jedinkama različitih vrsta ne predstavlja problem. Takođe, dozvoljava da se sukcesivne vrste definišu čak i ako su evoluirale u neprekinutoj liniji (na filogenetskom stablu) u odnosu na pretka, sa kontinuitetom seksualne plodnosti (Cardoso *i sar.*, 2014).

2.5. Istraživanje biodiverziteta gljiva

Proučavanje biodiverziteta i praćenje promena u raznovrsnosti živog sveta koje su poslednjih decenija sve veće i brže je od ključnog značaja za otkrivanje štetnih antropogenih

uticaja i uspostavljanje odgovarajućih programa za monitoring i zaštitu biodiverziteta (Cardinale *i sar.*, 2012).

2.5.1. Različita stanovišta u istraživanju biodiverziteta

Istraživanju biodiverziteta može se pristupiti sa različitih stanovišta (Branco, 2011; Cardoso *i sar.*, 2014):

Specijski (SD) / taksonski diverzitet (TD) se odnosi na raznovrsnost vrsta u nekom ekosistemu ili nekoj zajednici, u smislu njihove brojnosti i distribucije, koje zavise u velikoj meri od ekoloških faktora (Lahde *i sar.*, 1999). Veliki broj postojećih vrsta može da pomogne ekosistemu u oporavku od različitih ekoloških pretnji (Devictor *i sar.*, 2010).

Genetički diverzitet (GD) se odnosi na raznovrsnost gena zastupljenih unutar neke vrste ili populacije na određenom području i pokazuje koliko su članovi jedne vrste / populacije blisko povezani u datom ekosistemu. Ukoliko svi članovi imaju veliki broj sličnih gena, vrsta ima nizak GD. Male populacije, kao što je to slučaj kod ugroženih vrsta, mogu imati nisku genetsku raznovrsnost usled inbridinga. Ovo može predstavljati opasnost za populaciju ukoliko dovodi do nasleđivanja neželjenih osobina ili čini vrstu podložnom bolestima. Visok GD pomaže vrstama da se prilagode promenljivim uslovima životne sredine (Stevanović i Vasić, 1995).

Taksonski diverzitet je još uvek glavna mera procene biodiverziteta uprkos činjenici da ona ne uzima u obzir različite ekološke funkcije pojedinih vrsta u sklopu cele zajednice i zanemarujući činjenicu da su zajednice sastavljene od vrsta sa različitim evolutivnim istorijama (Cardoso *i sar.*, 2014), što je posebno izraženo u slučaju gljiva. Ukoliko se uzme u obzir samo TD, ne mogu se pravilno proceniti uticaji promena biodiverziteta na funkcioniranje ekosistema (Jarzyna i Jetz, 2018).

Tako je u poslednjoj deceniji zabeležen rastući interes za komplementarne aspekte biodiverziteta, uključujući filogenetski i funkcionalni diverzitet (Devictor *i sar.*, 2010; Cardoso *i sar.*, 2014).

Filogenetski diverzitet (FiD) uzima u obzir filogenetske odnose između taksona i procenjuje koliko evolutivna istorija ima uticaj na vrste u sklopu različitih zajednica (Faith, 1992). Zajednice sa identičnim TD-om mogu biti znatno drugačije u odnosu na njihovu evolutivnu prošlost, u zavisnosti od toga koliko daleko su vrste divergirale od najbližeg zajedničkog pretka (Graham i Fine, 2008). FiD se procenjuje na osnovu filogenetskih stabala ili kladograma, odražavajući količinu filogenetskih informacija koje zajednica nosi (Faith, 1992).

Funkcionalni diverzitet (FuD) kvantifikuje komponente biodiverziteta koje utiču na funkcionisanje ekosistema (Tilman *i sar.*, 2001). Prema tome, FD neke zajednice se može posmatrati kao skup bioloških funkcija (osobina) vrsta koje se u njoj javljaju. FuD uzima u obzir da se vrste često preklapaju u svojim biološkim osobinama, i kao takve, njihovi odnosi mogu biti slični odnosima na filogenetskom nivou. Zajednice sa potpuno različitim sastavom vrsta mogu se odlikovati niskom varijabilnošću u funkcionalnim osobinama, pri čemu nesrodne vrste mogu zamenjivati druge, sa sličnim ulogama u zajednici. Smanjenje ili povećanje brojnosti različitih vrsta mogu u različitoj meri uticati na funkcionisanje ekosistema, a samim tim mogu različito uticati i na funkcionalni diverzitet zajednica. Prepoznavanje funkcionalnih karaktera vrsta smatra se ključnim za razumevanje procesa odgovornih za prostornu i vremensku dinamiku pojavljivanja vrsta i sastava zajednice, a pored toga sve više se smatra ključnim i za samu konzervaciju (Devictor *i sar.*, 2010; Belmaker i Jetz, 2011).

2.5.2. Fungalna jedinica

Osnovna jedinica građe makrogljiva je *hifa* – nitasta, višćelijska struktura čijim se neprekidnim vršnim rastom i grananjem obrazuje vegetativno telo – *micelija*, po kojem se gljive veoma razlikuju od biljaka i životinja. Svojim rastom, micelija ima sposobnost da zauzima velike površine i osvaja heterogena mikrostaništa, pri čemu njeni udaljeni delovi ostaju međusobno povezani, uz aktivnu međućelijsku komunikaciju (Smith *i sar.*, 1992).

Ovakva, micelijska priroda makrogljiva utiče na definisanje i interpretaciju mikodiverziteta i čini metodologiju njegovog proučavanja veoma drugačijom od one koja se koristi za proučavanje diverziteta biljaka ili životinja. Pod pojmom jedinka, najčešće se podrazumeva jedinica određene vrste koju je moguće prebrojati (npr. micelija gljive koja se razvija iz spore ili supstrata inokulisanog na površinu hranljive podloge). Međutim, jedinkom se može smatrati i funkcionalno nezavisna jedinica neke vrste (Andrews, 1991). Na primer, izolati jedne vrste gljive dobijeni iz delova stelje (različitih listova) sa različitih mesta u okviru jedne šumske sastojine mogu predstavljati miceliju jedne jedinke ili miceliju nekoliko različitih individua. Usled toga, prebrojavanjem pojedinačnih kolonija gljiva na hranljivoj podlozi, ne dobijaju se isti podaci kao prebrojavanjem insekata na određenoj definisanoj površini ili u određenoj količini šumske stelje (Zak i Willing, 2004).

2.5.3. Pojam mikocenoze

Sposobnost istraživača da prepozna obrasce biodiverziteta gljiva (mikodiverziteta) i mehanizme koji ih oblikuju zavisi od pristupa koji se koristi za procenu ekološke struktuiranosti fungalnih zajednica (**mikocenoza**). Parametri koji definišu zajednicu i koji su značajni za procenu aspekata njenog biodiverziteta uključuju (Zak i Willing, 2004):

1. sastav / sklop vrsta (SD), zajedno sa njihovim funkcionalnim i genetskim osobinama (FuD i GD),
2. tipove i intenzitet interspecijskih interakcija (odnosa među vrstama) i načine kojima regulišu gustinu i pojavljivanje vrsta,
3. kao i dinamiku navedenih osobina kroz vreme i prostor ili putem antropogenog uticaja.

Da bi se zaista razumeli obrasci biodiverziteta i mehanizmi koji doprinose tim obrascima, moraju se uzeti u obzir svi aspekti organizacije i dinamike zajednice (Zak i Willing, 2004).

2.6. Klasične metode u istraživanju mikodiverziteta

Uprkos napretku u upotrebi molekularnih metoda, još uvek postoje brojne prednosti klasičnih metoda za ispitivanje mikodiverziteta.

Jedan od najvažnijih rezultata klasičnih istraživanja je formiranje spiska vrsta zabeleženih nakon terenskih istraživanja. Usled malog broja vrsta koje su sekvencirane i pohranjene u javnim bazama podataka (GenBank: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>, UNITE: <https://unite.ut.ee/>), u istraživanjima koja se zasnivaju samo na molekularnim metodama nemoguće je otkriti kompletan sastav vrsta u okviru mikocenoza. Stoga formiranje liste vrsta omogućava istraživačima da uporede podatke između različitih lokaliteta, istraživanja i među različitim taksonomskim ili ekološkim grupama. Kombinujući liste vrsta iz više studija, istraživači mogu odrediti osnovne informacije o pojedinim vrstama, kao što su: geografska rasprostranjenost, odnosi sa domaćinima i ekološka distribucija (Schmit i Lodge, 2004).

Klasične metode omogućavaju poređenje mikocenoza različitih oblasti u cilju prepoznavanja različitih specifičnosti mikodiverziteta. Osim toga, podaci iz različitih studija mogu se kombinovati kako bi se izvršile meta-analize (statističke analize koje kombinuju rezultate većeg broja naučnih studija sa istim predmetom istraživanja), koje se mogu koristiti za određivanje bioloških i ekoloških faktora koji utiču na strukturu mikozaednice u velikim razmerama. Klasične metode su takođe jedine metode koje se mogu koristiti da bi se

pokazalo koje se gljive pojavljuju i plodonose u određenom okruženju ili na datom supstratu, za razliku od onih koje su prisutne ali se ne mogu reprodukovati (Schmit i Lodge, 2004).

2.6.1. Metodologija terenskih istraživanja

Najčešće primenjivana klasična metoda za proučavanje mikodiverziteta je *oportunistički pristup* koji podrazumeva sakupljanje plodnih tela koja su primetna duž uobičajenih šetačkih staza i koja su u “dobrom stanju”, što omogućava njihovu identifikaciju (Lodge *i sar.*, 2004). Na ovaj način se prilično efikasno utvrđuju nove vrste na posmatranom području, međutim ova metoda ima isključivo kvalitativni karakter i ne omogućava poređenje među zajednicama različitih područja. Takođe, ovom metodom često budu detektovane samo krupne ili lako uočljive vrste, dok one sitne ili sličnije uobičajenim vrstama budu izostavljene (Lodge *i sar.*, 2004).

Najčešći cilj mikoloških terenskih istraživanja jeste dokumentovanje diverziteta vrsta makrogljiva prisutnih na određenom području. Plot metode (eng. *plot based methods* ili *area-based plots*) spadaju među najčešće korišćene kvantitativne metode koje omogućavaju određivanje broja vrsta po jedinici površine, a samim tim i poređenje različitih površina upotrebom statističkih metoda (Molina *i sar.*, 2001; Lodge *i sar.*, 2004; Mueller *i sar.*, 2004).

Kvantitativna istraživanja diverziteta daju osnovnu sliku o zajednici koja može da posluži za kasnija praćenja promena usled sukcesije biljnih zajednica, čovekovih uticaja, klimatskih promena ili zagađenja (Arnolds, 2001). Takva istraživanja se koriste za poređenje mikozajednica različitih područja u cilju analize faktora koji utiču na sastav mikozajednica, varijacija u plodonošenju ili za utvrđivanje konzervacionih mera (Coutrecuisse, 2001; Heilmann-Clausen, 2001; Straatsma *i sar.*, 2001).

2.6.2. Kvantitativne mere mikodiverziteta

Veoma adekvatan i jednostavan parametar, koji se najčešće koristi za istraživanje taksonskog mikodiverziteta je **bogatstvo vrsta** (eng. *species richness*), koja se može podeliti na (Hurlbert, 1971; Brown, 1995):

1. numeričko bogatstvo vrsta (eng. *numerical species richness*) – broj vrsta u uzorku sa standardizovanom biomasom ili brojem jedinki,
2. gustina vrsta (eng. *species density*) – broj vrsta u uzorku u kojem su standardizovani površina, zapremina ili težina jedinice koja se uzorkuje,

3. ukupno bogatstvo vrsta (eng. *total species richness*) – kumulativni broj vrsta koji se zasniva na seriji uzoraka iz određenog staništa ili supstrata.

Utvrđivanje bogatstva vrsta, zahteva manje vremenskog ulaganja od tačnog brojanja plodnih tela u okviru svake vrste tj. utvrđivanja **abundance** (eng. *abundance*). Samim tim, on daje jednaku “težinu” vrstama sa malim brojem jedinki kao i onima sa velikim brojem zastupljenih jedinki. Primenom ovog parametra može se sprovesti brza analiza podataka jer će tačna identifikacija vrsta, kao i formirana lista ili tabela koja pokazuje prisustvo vrsta tokom datog istraživačkog perioda biti dobra osnova za dalja istraživanja (Straatsma *i sar.*, 2001).

Pored brojnosti vrsta, važan parametar u proceni biodiverziteta je **ujednačenost** (eng. *evenness*), koja predstavlja stepen u kom su jedinke podjednako raspoređene u okviru vrsta, tj. meru abundance različitih vrsta koje čine bogatstvo jednog područja (Zak i Willing, 2004). Zajednica u kojoj dominiraju jedinke jedne ili dve vrste se smatra manje raznolikom u odnosu na zajednice u kojima više različitih vrsta imaju sličnu abudancu (broj prisutnih jedinki). Sa porastom brojnosti tj. bogatstva vrsta i ujednačenosti, raste is am diverzitet.

Indeksi diverziteta – su mere diverziteta koje se oslanjaju na prethodno pomenute parametre - brojnost i ujednačenost vrsta. U upotrebi je više različitih indeksa diverziteta, a među najčešće korišćenim su Simpsonov i Šenonov indeks (Zak i Willing, 2004).

Simpsonov indeks (D) meri verovatnoću pod kojom dve jedinke nasumično odabrane iz posmatranog uzorka pripadaju istoj vrsti/taksonu. Izračunava se po formuli (Maguran, 2004):

$$D = \sum (n / N)^2$$

pri čemu je **n** = ukupan broj jedinki određene vrste, **N** = ukupan broj jedinki svih utvrđenih vrsta. Simpsonov indeks daje prednost tj., veću „težinu“ čestim ili dominantnim vrstama. U ovom slučaju, mali broj retkih vrsta, prisutnih sa malim brojem jedinki, neće imati uticaja na celokupnu procenu diverziteta.

Šenonov indeks (H) se izračunava po sledećoj formuli (Maguran, 2004):

$$H = - \sum (n/N)_i \ln (n/N)_i$$

pri čemu je **n** = ukupan broj jedinki određene vrste, **N** = ukupan broj jedinki svih utvrđenih vrsta. Šenonov indeks funkcioniše na osnovu pretpostavke da su sve postojeće vrste na ispitivanom terenu prisutne u uzorku i da mogu biti nasumično uzorkovane.

Indeksi sličnosti – omogućavaju poređenje biodiverziteta između više različitih područja / lokaliteta / staništa. Najčešće se upotrebljavaju *Žakardov indeks* i *Sorensenov indeks* (Mueller *i sar.*, 2004), koji koriste podatke o prisustvu/odsustvu vrsta određene grupe organizama (u ovom slučaju gljiva), a rezultat je predstavljen u opsegu vrednosti od 0 (nema

sličnih vrsta) do 1 (sve vrste su iste). Sličnost među setovima ispitivanih zajednica se može izraziti i u procentima (%) ukoliko se vrednosti dobijenih indeksa pomnoži sa 100 (Roberts *i sar.*, 2004).

Formula za izračunavanje *Žakardovog indeksa* (J_i):

$$J_i = z / a + b - z$$

Formula za izračunavanje *Sorensenovog indeksa* (S_i):

$$S_i = 2z / a + b$$

pri čemu je z – broj vrsta koje su zajedničke za dva upoređena staništa, a – ukupan broj vrsta na staništu A , b – ukupan broj vrsta na staništu B .

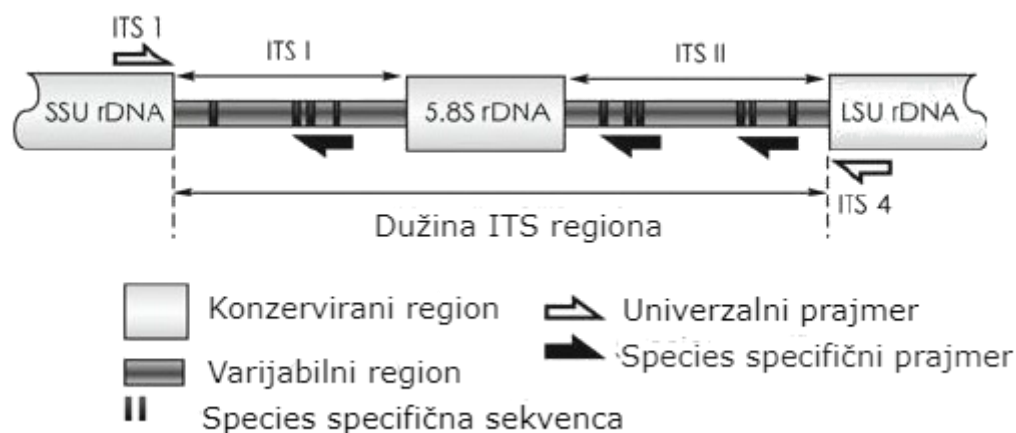
2.7. Molekularne metode u istraživanju mikodiverziteta

Pored istraživanja morfološkog diverziteta makrogljiva, od izuzetnog značaja je i istraživanje njihovog genetskog diverziteta, ne samo zbog preciznijeg razlikovanja evidentiranih vrsta (Čapelja *i sar.*, 2014; Stević *i sar.*, 2014), već i zbog utvrđivanja eventualne varijabilnosti unutar samih vrsta (Galović *i sar.*, 2015), a koja se odražava i na biohemijску varijabilnost pojedinih izolata poreklom sa različitih staništa. Ovakve "fine" razlike važne su i sa aspekta upotrebne vrednosti divlje rastućih makrogljiva kao izvora bioaktivnih supstanci (Karaman *i sar.*, 2007, 2010, 2012a), ali i u bioremedijacionim procesima (Karaman *i sar.*, 2012b). U novije vreme, razvoj molekularnih metoda u mikološkim istraživanjima omogućio je napredak u smislu poznavanja genetskog diverziteta gljiva, što je dovelo do promena na nivou klasifikacije velikog broja taksonomskih grupa gljiva (Hibbet *i sar.*, 2001), ali i do promena u samom konceptu pojedinih vrsta (Simon i Weiß, 2008). Kada se radi o gljivama, ove tehnike su nam pokazale da se ne možemo potpuno osloniti na morfološke osobine i da mnoge neotkrivene vrste i filogenetske veze leže skrivene u svetu gena (Karaman *i sar.*, 2012).

2.7.1. Primena ITS regiona u molekularnim mikološkim istraživanjima

Molekularne metode ne samo da pružaju informacije za identifikaciju taksona, već olakšavaju i testiranje ekoloških hipoteza, doprinoseći boljem razumevanju strukture i funkcionisanja ekosistema. Tako veliki broj novijih studija koje se bave istraživanjem zajednica gljiva su zasnovane na podacima o njihovim DNK sekvencama (Leonard *i sar.*, 2005; Tailor, 2008; Parveen *i sar.*, 2017). Većina molekularnih studija mikodiverziteta koristi region interni transkribovani spejser - ITS (Sl. 2), nuklearnu repetativnu jedinicu - rDNK

sastavljenu iz tri dela, brzo evoluirajući ITS1, veoma konzervisani 5,8 S i deo sa umerenom evolutinom brzinom ITS2 (Horton i Bruns, 2001; Bridge *i sar.*, 2005).



Slika 2. ITS region između male i velike subjednice rDNK gljiva

preuzeto i modifikovano: Horisawa *i sar.*, 2009.

ITS je region DNK koji se najčešće koristi u istraživanju diverziteta i ekologije gljiva i široko je prihvaćen kao univerzalni bar kod za identifikaciju gljiva (Hibett *i sar.*, 2011). Potvrdio se kao koristan u taksonomskim i sistematskim istraživanjima na nivou vrsta i rodova, pa čak i na intraspecijskom nivou, za utvrđivanje geografski razdvojenih grupa (Hibett *i sar.*, 2016). Genomi sadrže brojne gene koji kodiraju ribozomsku rDNK, koji su distribuirani u tandemske nizovima duž istih ili različitih hromozoma (Roonei i Vard, 2005) i smatra se da su ove kopije ekstremno slične (Li, 1997). Ova karakteristika, kao i činjenica da se ITS lako amplifikuje iz uzoraka niskog kvaliteta (za razliku od DNK regiona sa jednom ili manjim brojem kopija), čine ga brzom i lakom alatom za istraživanje genetskog diverziteta gljiva (Nilsson *i sar.*, 2008).

Međutim, postoje nekoliko problema povezanih sa upotrebom ITS-a u identifikaciji gljiva. S jedne strane, javljaju se problemi sa ekstrakcijom i amplifikacijom DNK koji mogu dovesti do nepravilnih opisa mikocenoza ukoliko se istraživanje oslanja isključivo na molekularne metode (Avis *i sar.*, 2009). S druge strane, unutar ITS-a postoji intraspecijska varijabilnost, jer različite kopije unutar genoma nisu potpuno identične. Ova intraspecijska varijabilnost ITS regiona se značajno razlikuje među različitim grupama gljiva (O'Donnell i Cigelnik, 1997; Horton, 2002; Roonei i Ward, 2005; Avis *i sar.*, 2006; Nilsson *i sar.*, 2008). Ovo predstavlja izazov pri određivanju značajnih granica u sličnosti sekvenci (O'Brien *i sar.*, 2005). Najčešće se kao granica između sekvenci iste vrste navodi sličnost od 95-97% sa

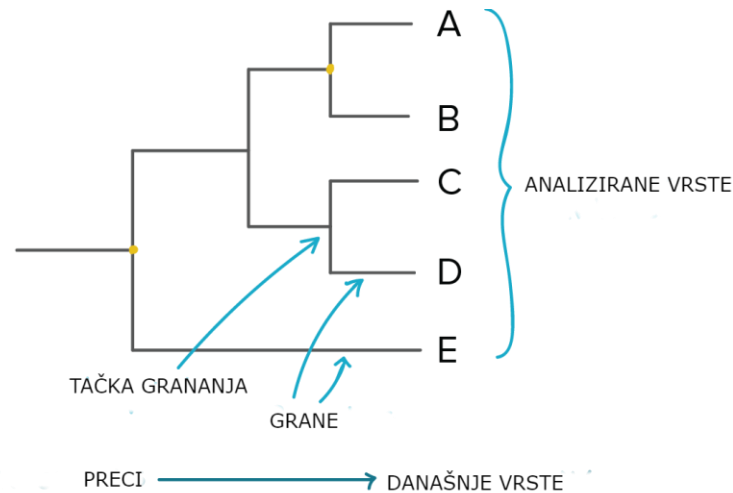
osnovnom pretpostavkom da su dobijene sekvence donekle ekvivalentne vrstama gljiva. Međutim, dokumentovano je i da se među nekim različitim vrstama gljiva javlja sličnost ITS-a od čak 99% (Dettman *i sar.*, 2001; Johannesson i Stenlid, 2003), dok je među drugim vrstama otkrivena sličnost od 90% ili manje (Kuniaga *i sar.*, 1997; O'Donnell, 2000).

2.7.2. Filogenetske analize

Za filogeniju filamentoznih gljiva se najčešće koristi 18S rDNK (tzv. mala subjedinica ili eng. *small subunit* – SSU), kao sekvenca pune dužine ili kao poddomen od oko 600 bp (Bruns *i sar.* 1992). Divergentni domeni 25–28S rDNA, koji se još nazivaju i velika subjedinica (eng. *large subunit* - LSU) su veoma informativni i omogućavaju poređenja od viših taksonomskih nivoa do nivoa vrsta, iako je prisutan samo ograničen broj varijabilnih pozicija. U okviru 18S rRNK genu, varijabilni domeni uglavnom daju nedovoljnu informaciju za dijagnostičke svrhe, a moraju biti sekvencirani veliki delovi molekula da bi se dobilo razgraničenje neophodno za identifikaciju vrsta (de Hoog i Gerrits van den Ende, 1992). Nasuprot tome, 5,8 S rDNK je premala i ima najmanju varijabilnost. Molekul 5S je uglavnom korišćen za utvrđivanje odnosa na nivou reda, gde se razlike mogu pratiti do sekundarne strukture molekula (Walker i Doolittle, 1982). Nasuprot tome, ITS regioni su mnogo varijabilniji, a sekvence mogu biti poravnate sa sigurnošću samo između blisko povezanih taksona. ITS regioni se često koriste za procenu intraspecijske varijabilnosti (Kurtzman i Robnett 1998; Hinrikson *i sar.*, 2005).

Filogenetske analize predstavljaju proračunavanje najverovatnijih obrazaca filogenetske evolucije a rezultat analiza predstavlja filogenetsko stablo (FS). Različite metode filogenetke analize (Neighbor-Joining, Maximum Parsimony, Maximum Likelihood) uglavnom daju istu topologiju stabla, uz male razlike u statističkoj podršci tj. bootstrap vrednostima (Moncalvo *i sar.*, 1995; De Lima Junior *i sar.*, 2014; Gomes Silva *i sar.*, 2015). U filogenetskom stablu, vrste ili grupe od interesa nalaze se na vrhovima linija koje se nazivaju grane FS (Sl. 3). Obrazac po kojem su grane povezane predstavlja naše razumevanje o tome kako su vrste u okviru stabla evoluirale iz niza zajedničkih predaka. Svaka tačka grananja (tzv. unutrašnji čvor ili eng. *internal node*) predstavlja trenutak divergencije ili razdvajanje jedne grupe u dve nove potomačke grupe. Svaka tačka grananja predstavlja najskorijeg zajedničkog pretka svih grupa koje su se dalje razvile iz te tačke grananja. Svaka horizontalna linija filogenetskog stabla predstavlja niz predaka, koji vode do vrste na njenom kraju. Slično tome, koren stable predstavlja niz predaka koji vode do najskorijeg zajedničkog pretka svih vrsta u drvetu. U

filogenetskom stablu, povezanost dve vrste je veoma specifična. Dve vrste su srodnije što im je bliži zajednički predak, a manje su srodne što im je zajednički predak dalje postavljen na stablu.



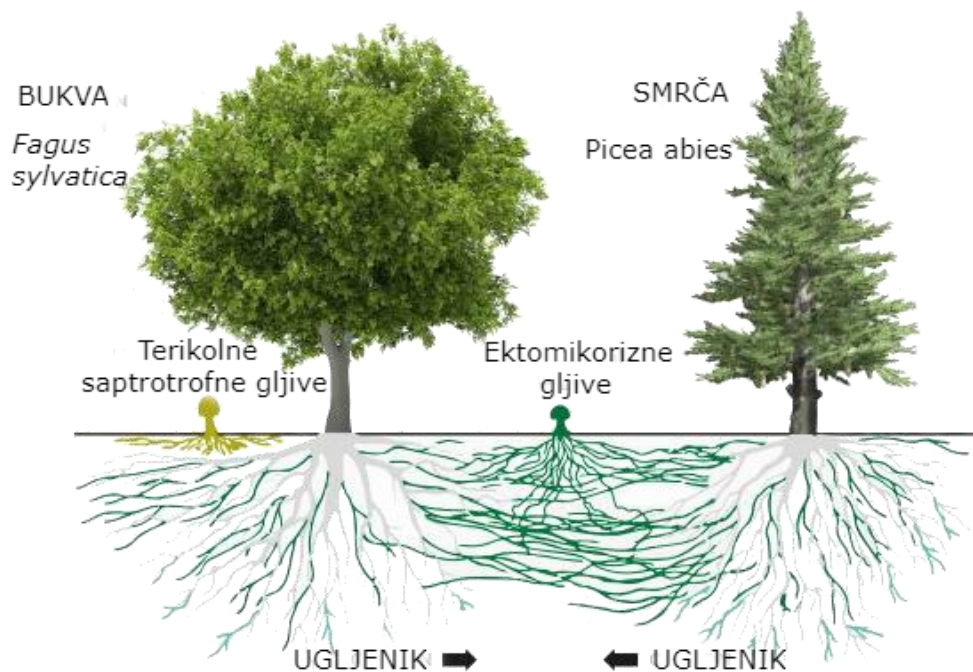
Slika 3. Osnovni pojmovi filogenetskog stabla
preuzeto i modifikovano: <https://www.khanacademy.org>

Spoljašnja grupa (eng. *outgroup*) je grupa koja deli zajedničkog pretka sa grupom analiziranih vrsta i ona je ta koja definiše koren stabla. Izbor spoljne grupe nije od presudnog značaja, ali da bi se lakše interpretirao kladogram i uporedilo nekoliko stabala, veoma je korisno imati dobru spoljnu grupu. U teoriji, spoljašnja grupa ne treba da pripada vrsti koja se ispituje (eng. *ingroup*), ali ne bi trebala biti ni previše evolutivno udaljena jer bi odnos sa *ingroupom* mogao biti izgubljen, a ni previše blizu jer bi se mogla pozicionirati unutar grupe tj. stabla. Poseban problem podrazumeva izbor pojedinačnih spoljašnjih grupa. Smith (1994) je sugerisao da je upotreba dve najbliže uzajamne sestrinske grupe idealna šema za izbor spoljašnjih grupa. Međutim, uzimanje uzoraka izvan dve najbliže sestrinske grupe omogućava još jedan test da li se radi o sestrinskim grupama (Graham *i sar.*, 2002). Brusatte i saradnici (2010) su takođe dali predlog za korišćenje većeg broja taksona kao spoljašnjih grupa u istom stablu, pri čemu treba biti oprezan da bi se izbeglo korišćenje previše udaljenih taksona, jer se očekuje da taksoni koji su veoma udaljeni imaju manji broj relevantnih karakteristika u grupi i da imaju više vremena da akumuliraju homoplazije.

2.8. Istraživanja mikodiverziteta u šumskim ekosistemima

Šume spadaju među najvažnije kopnene ekosisteme neophodne za opstanak života na Zemlji (Bravo-Oviedo *i sar.*, 2014). One pokrivaju oko 31% kopnenih površina i pružaju čitav niz ekosistemskih usluga kao što su: proizvodnja kiseonika, deponovanje ugljenika, regulisanje klime, održavanje vodnog balansa i prečišćavanje kopnenih voda (Global Forest Resources Assessment, 2010: www.fao.org; Trudić *i sar.*, 2015). Istovremeno one pripadaju i najugroženijim ekosistemima usled neodrživog korišćenja njihovih resursa, povećanog zagađenja i ubrzanih promena klimatskih faktora u poslednjih nekoliko decenija (Marchetti *i sar.*, 2004). Dugoročna istraživanja i praćenja šuma mogu da pruže dragocene pokazatelje funkcionisanja ovih ekosistema i predstavljaju ključne faktore za poboljšanje njihovog stanja i planiranje adekvatnih upravljačkih aktivnosti (Bengtsson *i sar.*, 2000).

Gljive predstavljaju veoma raznovrsnu grupu organizama zastupljenu u gotovo svim životnim staništima (Hood, 2006), ali su od posebne važnosti u šumskim ekosistemima gde ispunjavaju čitav niz različitih funkcija i čine značajan deo njihovog ukupnog biodiverziteta (Hawksworth, 2004). Njihova micelija čini i do 89% ukupne mikrobne biomase u zemljištu (Mueller *i sar.*, 2004), gde su pretežno prisutne kao saprotrofi - razgrađivači uginule organske materije i kao članovi simbiotskih zajednica, tzv. mikoriza – u okviru kojih biljkama obezbeđuju lakše usvajanje mineralnih materija (Sl.4) čime se povećava njihova otpornost na sušu, štetne materije i patogene mikroorganizme (Deacon, 2006). Pored toga, gljive se javljaju na živim biljnim i životinjskim organizmima kao paraziti, ali i na uginulim organizmima kao saprotrofi, pri čemu je posebno značajna grupa lignikolnih gljiva koje razgrađuju lignoceluloznu materiju kao nedovoljno iskorišćeni prirodni resurs (Karaman *i sar.*, 2012b). S obzirom na sve navedeno, biodiverzitet tj. raznovrsnost gljiva i njihovih populacija su jedan od najvažnijih indikatora vitalnosti šuma (Karaman *i sar.*, 2012). Praćenje stanja mikopopulacija tj. zajednica gljiva u šumskim staništima (njihove brojnosti, dinamike pojavljivanja i međusobnih odnosa) može poslužiti kao rani, izuzetno osetljiv indikator promena u datoj sredini (kao što su suša i eutrofikacija, zakišeljavanje zemljišta, zagađenje štetnim materijama) koje mogu imati negativan uticaj i na biljne vrste, a posebno na drveće koje čini osnovnu biomasu šumskih ekosistema (Hawksworth, 1991).



Slika 4. Šumska podzemna mreža za razmenu nutrijenata

preuzeto i modifikovano sa: <https://www.nzgeo.com/stories/the-wood-wide-web/>

Usled izuzetnog ekološkog, ali i ekonomskog značaja makrogljiva, istraživanja njihove sinekologije, biogeografije i konzervacionog statusa polako postaju sve brojnija (Dahlberg *i sar.*, 2010; Pecoraro *i sar.*, 2014; Abrego *i sar.*, 2016). Uprkos tome, radovi koji se odnose na ispitivanja u šumskim staništima najčešće se bave problematikom samo pojedinih ekoloških grupa makrogljiva: isključivo mikoriznih (Richard *i sar.*, 2011; Lazarević, 2013; Rudavska *i sar.*, 2011; Katanić, 2014) ili lignikolnih (Gilbert *i sar.*, 2002; Schmit, 2005; Yamashita *i sar.*, 2008; Gibertoni *i sar.*, 2016). Nasuprot njima, studije koje pokrivaju ukupan diverzitet svih ekoloških i taksonomskih grupa makrogljiva su znatno ređe (De Dominicis i Barluzzi, 1983; Straatsma *i sar.*, 2001; Pal-Fam *i sar.*, 2007). Time je zanemaren značaj kompleksnih podataka, koji se dobijaju istraživanjem različitih činioca mikopopulacija, za sagledavanje vitalnosti celokupne zajednice gljiva a prema tome i šumskih staništa, za koja su makrogljive tesno vezane.

Naučna istraživanja na temu raznovrsnosti, specifičnih odnosa različitih grupa makrogljiva i uticaja faktora spoljne sredine na njihove zajednice u šumskim ekosistemima Srbije još uvek su retka (Karaman i Matavulj, 2005). Dosadašnja istraživanja su se uglavnom bazirala na popisima vrsta (Cvijanović *i sar.*, 2009; Ivančević i Davidović, 2011; Karaman *i sar.*, 2012c; Novaković *i i sar.*, 2012), priloge poznavanju rasprostranjenja i ekologije

isključivo pojedinih grupa ili vrsta makrogljiva (Keča *i sar.*, 2006, 2009; Lukić, 2008, 2009) i istraživanja gljiva truležnica sa šumarskog stanovišta (Karadžić, 2003; Lazarev i Karadžić, 2006; Marković i Karadžić, 2006; Karadžić, 2008; Zlatković *i sar.*, 2012). Do sada je objavljeno svega nekoliko radova koji se odnose na istraživanje diverziteta makrogljiva u šumskim ekosistemima planinskih područja koji su predmet ove doktorske disertacije: jedno istraživanje sprovedeno na Tari (Čolić, 1967) i tri na Kopaoniku (Tortić, 1979; Karadžić, 1989; Ivančević, 1996).

2.9. Uticaj faktora sredine na makrogljive

Činjenica da su gljive kao i biljke sa kojima koegzistiraju na zajedničkom prostoru izložene sličnim promenama klimatskih faktora i ugrožavajućim činiocima, kao što su zagađenje štetnim materijama i izmena habitata u vidu seče šuma (Rydin *i sar.*, 1997, Giauque i Hawkes, 2016), ide u prilog sagledavanju makrogljiva kao potencijalnih bioindikatora sveobuhvatnog stanja njihovih staništa.

Dosadašnja istraživanja (Eveling *i sar.*, 1990; Mingui, 2012; Zotti i Pautasso, 2013) ukazuju na to da sve češće promene klimatskih faktora utiču na specifične promene unutar zajednica makrogljiva nekog staništa, koje se odnose na:

- *dinamiku fruktifikacije* (brojnost formiranih sporokarpa, sezonu fruktifikacije i dužinu fruktifikacionog perioda tokom godine),
- *brojnost evidentiranih vrsta*,
- *različitu zastupljenost pojedinih funkcionalnih grupa* (mikorizne, parazitske, saprotrofne).

Pomenuti uticaji zapažaju se i na širem nivou, u smislu promene areala rasprostranjenja pojedinih vrsta (Boddy *i sar.*, 2013). Veliki broj istraživanja ukazuje i na važan uticaj zagađenja životne sredine na zajednice gljiva, anaiمة utvrđeno je da zagađenje vazduha i njime uzrokovano zakišeljavanje zemljišta dovode do smanjenja raznovrsnosti, brojnosti i sastava vrsta unutar zajednica, posebno ektomikoriznih gljiva (Gadd, 2007). Sa druge strane, potvrđena je i sposobnost makrogljiva da lako i u značajnoj meri akumuliraju štetne materije iz životne sredine, prvenstveno teške metale (Gadd, 1993; Baldrian, 2003, Karaman i Matavulj, 2005) i radionuklide (Kalač, 2001; Steiner *i sar.*, 2002; Calmon *i sar.*, 2009, Rakić *i sar.*, 2014).

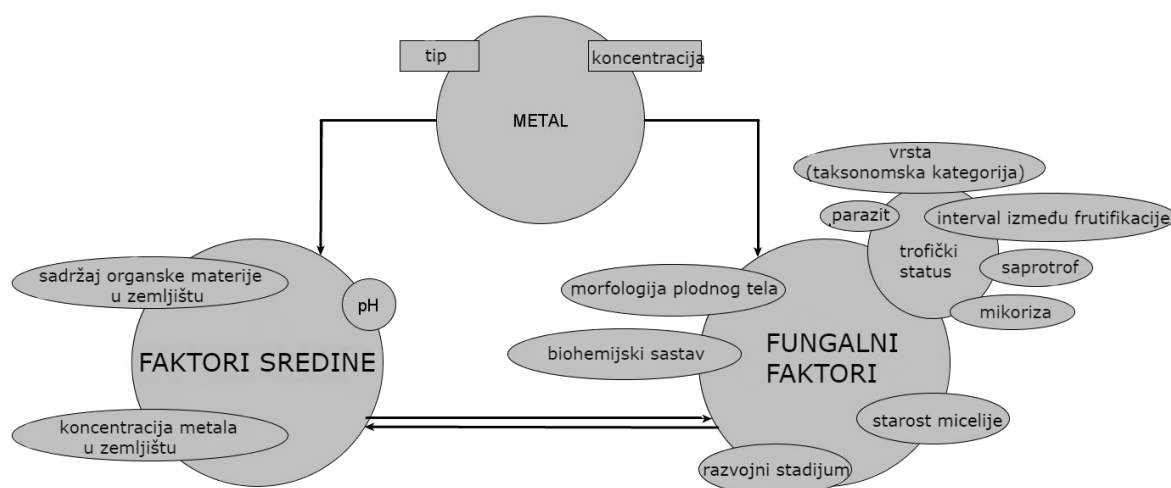
2.10. Makrogljive kao akumulatori metala

2.10.1. Interakcija metala i gljiva

Mineralne materije imaju brojne funkcije u metabolizmu gljiva, učestvujući u izgradnji organskih jedinjenja, u aktiviranju specifičnih biohemijskih puteva, itd. Metal može imati pozitivan ili negativan uticaj na sve životne faze gljiva, zavisno od koncentracije i tipa metala, ali može i da promeni fizičko-hemijske karakteristike životne sredine (Karaman *i sar.*, 2012).

Esencijalni mikroelementi uglavnom pripadaju grupi teških metala čija je aktivnost jako specifična, pretežno katalitička kada su prisutni u vrlo niskim koncentracijama. Esencijalne elementi za gljive su: kalijum (K), natrijum (Na), magnezijum (Mg), kalcijum (Ca), mangan (Mn), gvožđe, (Fe), bakar (Cu), cink (Zn), kobalt (Co) i nikal (Ni), dok su neesencijalni: rubidijum (Rb), cezijum (Cs), aluminijum (Al), kadmijum (Cd), srebro (Ag), živa (Hg), olovo (Pb), hrom (Cr) i dr (Karaman, 2002).

Uticaj teških metala na gljive, kao i sam process akumulacije zavise od sledećih faktora (Graf. 2): 1) fizičko-hemijski faktori (pH, sadržaj anjona, vlažnost, aeracija, sadržaj gline i organske materije), 2) hemijska svojstva i koncentracija teškog metala, 3) specifične karakteristike vrsta i starost micelije, 4) temperatura i vreme izlaganja; 5) hemijski sastav gljiva u datom staništu (Svoboda *i sar.*, 2001, Govedarica *i sar.*, 1997).



Grafikon 2. Faktori koji utiču na interakciju metala, gljive i životne sredine

Preuzeto i modifikovano iz: Karaman *i sar.*, 2012.

Toksični efekti teških metala podrazumevaju sledeće (Gadd, 1993):

- 1) blokiranje funkcionalnih grupa enzima i transportnih sistema,
- 2) uklanjanje (precipitacijom ili heliranjem) ili supstitucija esencijalnih metala iz biomolekula ili organela,
- 3) promene konformacije organskih molekula,
- 4) denaturacija i inaktivacija enzima,
- 5) degradacija integriteta ćelijske membrane ili membrana organela.

Kod gljiva postoje dva osnovna mehanizma odbrane (Baker, 1981):

- 1) strategija “isključenja” (kod osetljivih vrsta) – koncentracija metala se održava na niskom nivou do kritičnog momenta kada metal prodire u ćeliju i ispoljava toksičnost,
- 2) strategija “akumulacije” (kod rezistentnih/tolerantnih vrsta) – metal se aktivno akumulira u organizmu gljive.

Rezistencija (otpornost) gljiva na toksične metale podrazumeva sposobnost organizama da prežive u prisustvu visokih koncentracija metala primenom različitih ekstracelularnih mehanizama odbrane kao direktan odgovor na štetan uticaj metala. Nasuprot tome, tolerancija predstavlja sposobnost organizma da preživi u prisustvu toksičnih metala primenom intracelularnih mehanizama (Karaman, 2002; Karaman *i sar.*, 2012).

Biološki mehanizmi odbrane koji učestvuju u procesima rezistencije i tolerancije podrazumevaju:

- 1) ekstracelularnu precipitaciju,
- 2) formiranje kompleksa (helati) i kristala (oksalati),
- 3) transformacija metala oksidacijom, redukcijom i dealkalizacijom,
- 4) adsorpcija na ćelijskom zidu (učestvuju hitin, hitozan, melanin, polimeri fenola), pigmentima ili ekstracelularnim polisaharidima,
- 5) sprečavanje transporta ili potpuna membranska neporopustljivost za specifični element,
- 6) aktivni transport metala van ćelije,
- 7) intracelularna kompartmentacija i precipitacija.

Različiti tipovi peptida i proteina (npr. metalotionini i fitohelatini) kod gljiva imaju sposobnost vezivanja metala (Karaman, 2002).

Odbrana se obično zasniva na imobilizaciji teških metala korišćenjem ekstracelularnih i intracelularnih helatnih jedinjenja, npr. sinteza metalotioneina (vezivanje bakra ili srebra kod *Agaricus bisporus* (Munger, 1982) ili γ -glutamil peptida, mikofosfatina i fosfoserina (vezivanje Cd u *A. macrosporus* (Meisch, 1983)). U intracelularne mehanizmi se ubrajaju:

nerastvorljivost ćelijskog zida, proizvodnja ekstracelularnih polisaharida i metaboličkih izlučevina čija je uloga detoksikacija metala korišćenjem vezivanja ili taloženja (Mehra i Winge, 1991).

2.10.2. Gljive kao akumulatori i bioindikatori

Potvrđeno je da veliki broj makrogljiva akumulira visoke koncentracije metala različitim fizičko-hemijskim i biološkim mehanizmima (Kalač i Svodoba, 2000). Pod pojmom akumulacije određenog elementa u gljivama podrazumeva se nakupljanje datog elementa u sporokarpima ili miceliji u koncentracijama koje prevazilaze one u supstratu, a kao mera akumulacije koristi se transfer faktor koji se izračunava po sledećoj formuli:

$$TF = C_{gljiva} / C_{supstrat}$$

C – koncentracija metala

Filamentozne gljive su jedan od najboljih akumulatora metalnih jona iz zemljišta, zahvaljujući biološkim svojstvima i velikoj površini vegetativne micelije koja je u bliskom kontaktu sa korenjem biljaka i česticama zemlje. Micelija koji živi u zemljištu više meseci ili godina, moćna je apsorpciona biomasa za akumulaciju elemenata, ali i plodna tela pokazuju još veće koncentracije ovih elemenata (Karaman *i sar.*, 2012). Iako starost plodnog tela i njegova veličina nemaju veliki uticaj, po nekim autorima sadržaj metala može biti viši u mlađim plodnim telima, što se objašnjava intenzivnim transportom nutrijenata iz micelije u sporokarpe tokom plodonošenja (Kalač i Svodoba, 2000). Smatra se zapravo, da je sadržaj metala u plodnim telima makrogljiva u velikoj meri uslovljen starošću micelije i intervalima između fruktifikacije (Kalač i Svodoba, 2000). Udeo metala koji potiču od atmosferske depozicije je manji kod efemernih plodnih tela sa kratkim životnim vekom (najčešće 10 – 14 dana), a veći kod dugotrajnih, posebno višegodišnjih sporokarpa.

Dosadašnjim istraživanjima je utvrđeno da među makrogljivama postoje velike razlike u usvajanju različitih metala, uprkos sastavu supstrata, kao i da su koncentracije metala u sporokarpima generalno *species* specifične (Tab. 1) - variraju od vrste do vrste (Gast *i sar.*, 1988; Michelot *i sar.*, 1998).

Tabela 1. Uobičajen sadržaj metala u plodnim telima makrogljiva nezagađenih područja (mg kg^{-1}) i akumulatorske vrste i rodovi*

Metal	Sadržaj (mg kg^{-1})	AKUMULATORI
Arsen (As)	< 1	<i>Laccaria amethystina, L. laccata, Lepista nuda, Agaricus spp.</i> ,
Kadmijum (Cd)	0,5 – 5	<i>Agaricus spp., Cyclocybe aegerita, Armillaria mellea</i>
Hrom (Cr)	0,1 – 2	<i>Agaricus spp., Macrolepiota procera, Lactarius deliciosus, Polyporus squamosus, Meripilus giganteus</i> Boletales, Aphylophorales, Auriculariales, Lycoperdales, Sclerodermatales, Tremellales
Kobalt (Co)	< 0,1 – 3	<i>Agaricus arvensis</i>
Bakar (Cu)	10 – 70	<i>Agaricus spp., Macrolepiota procera, Chlorophyllum rhacodes</i>
Gvožđe (Fe)	30 – 150	<i>Suillus variegates, Suillus luteus, Hygrophoropsis aurantiaca, Meripilus giganteus, Ganoderma lucidum, Armillaria polymyces</i>
Olovo (Pb)	1 – 5	<i>Macrolepiota procera, Chlorophyllum rhacodes, Lycoperdon perlatum, Agaricus spp., Lepista nuda, Fistulina hepaticca, Meripilus giganteus, Craterellus cornucopioides, Cantharellus cibarius, Armillaria mellea, Auriculariales</i>
Mangan (Mn)	5 – 60	<i>Agaricus spp., Boletales, Aphylophorales, Auriculariales, Lycoperdales, Sclerodermatales, Tremellales</i>
Živa (Hg)	< 0,5 – 5	<i>Agaricus spp., Macrolepiota procera, Chlorophyllum rhacodes, Lepista nuda, Calocybe gambosa, Pleurotus eryngii</i>
Nikal (Ni)	0,4 – 2	<i>Laccaria amethystina, Leccinum spp.</i>
Selen (Se)	1 – 5	<i>Albatrellus pes-caprae, Boletus edulis, B. pinicola, B. aestivalis, Xerocomus badius, Boletales, Aphylophorales, Auriculariales, Lycoperdales, Sclerodermatales, Tremellales</i>
Srebro (Ag)	0,2 – 3	<i>Amanita strobiliformis, Agaricus spp., Boletus edulis, Lycoperdon perlatum</i>
Cink (Zn)	30 – 150	<i>Suillus variegatus, Suillus luteus, Lycoperdon perlatum, Ganoderma applanatum, Craterellus cornucopioides</i>

*prilagođeno iz: Kalač i Svodoba, 2000 i Karaman *i sar.*, 2012

Analiza sprovedenih istraživanja na temu potencijalne uloge makrogljiva u bioindikaciji zagađenja životne sredine TM (Wondratschek i Roder, 1993) je pokazala da, usled njihovih izrazitih sposobnosti akumulacije, ni jedna vrsta ne može da posluži kao precizan indikator zagađenja, ali odsustvo ili prisustvo vrsta na posmatranom području može poslužiti u prepoznavanju zagađenih i nezagađenih područja. Istraživanja sadržaja metala u makrogljivama u okruženju različitih industrijskih postrojenja ukazala su na to da koncentracije zabeležene u plodnim telima koreliraju sa zabeleženom emisijom teških metala i koncentracijama utvrđenim u zemljištu i drugim predstavnicima biote (Lepšova i Kral, 1988; Murati *i sar.*, 2019), što ukazuje da makrogljive predstavljaju dobru alatku za biomonitoring.

2.11. Makrogljive kao akumulatori radionuklida

2.11.1. Radioaktivnost u životnoj sredini

Testiranja i eksplozije nuklearnog oružja u atmosferi, od 1945. do 1980.-ih, prouzrokovali su zagađenje veštačkim radioaktivnim elementima na globalnom nivou (Falandysz *i sar.*, 2016). Nakon međunarodnog dogovora o zabrani ispitivanja nuklearnog oružja u atmosferi, dogodile su se dve velike nesreće u nuklearnim elektranama – prva u Černobilu u Ukrajini, 1986., a druga u Fukušimi 2011. godine. Obe katastrofe, izazvale su emisiju ogromne količine radioaktivnosti u životnu sredinu (Steinhauser *i sar.* 2014; Trappe *i sar.* 2014) i kao rezultat toga, zabrinutost zbog oslobođenih radionuklida i bezbednosti hrane i vode za upotrebu.

Nakon taloženja radioaktivnih čestica iz atmosfere putem padavina, registrovana je visoka akumulacija radioaktivnog Cs u živim organizmima, prvo u lišajima i mahovinama, a kasnije i u makrogljivama (Mattson i Liden, 1975). Čini se da su šume ugroženije od poljoprivrednih područja, preuzimajući najveću količinu radionuklida iz vazduha (Heinrich *i sar.*, 1989). Šume su složeni ekosistemi koji se sastoje od različitih biljnih asocijacija i višeslojnih profila tla koji određuju transfer radionuklida i njihovu sudbinu u ovim ekosistemima (Calmon *i sar.*, 2009).

2.11.2. Radionuklidi u gljivama

Gljive predstavljaju najveći deo biomase u zemljištu šuma, gde pored neophodnih nutrijenata iz zemljišnog rastvora preuzimaju i prisutne radionuklide, koje mogu da akumuliraju u svojoj miceliji i plodnim telima. Plodna tela gljiva bogata su stabilnim oblikom cezijuma - ^{133}Cs , elementom koji se javlja u različitim koncentracijama u različitim vrstama makrogljiva sa istog područja (Falandisz *i sar.* 2007; Ismail *i sar.* 1995; Vinichuk *i sar.* 2010). Sličan obrazac primećen je i za veštačke radionuklide, antropogenog porekla, kao što su ^{134}Cs , ^{137}Cs i ^{90}Sr koji dospevaju do gljiva putem radioaktivnog taloženja iz atmosfere (Birne 1998; Falandisz i Borovička, 2013; Falandisz *i sar.*, 2015a). Smatra se da terikolne gljive, s obzirom na ogromne površine prisutne micelije, predstavljaju glavni depo radiocezijuma u zemljištu (Olsen *i sar.*, 1990). Prema nekim istraživanjima, radiocezijum čak može u potpunosti biti imobilisan od strane gljiva iz zemljišta, a zatim naknadno uključen u lanac ishrane putem jestivih plodnih tela makrogljiva (Karaman *i sar.*, 2012).

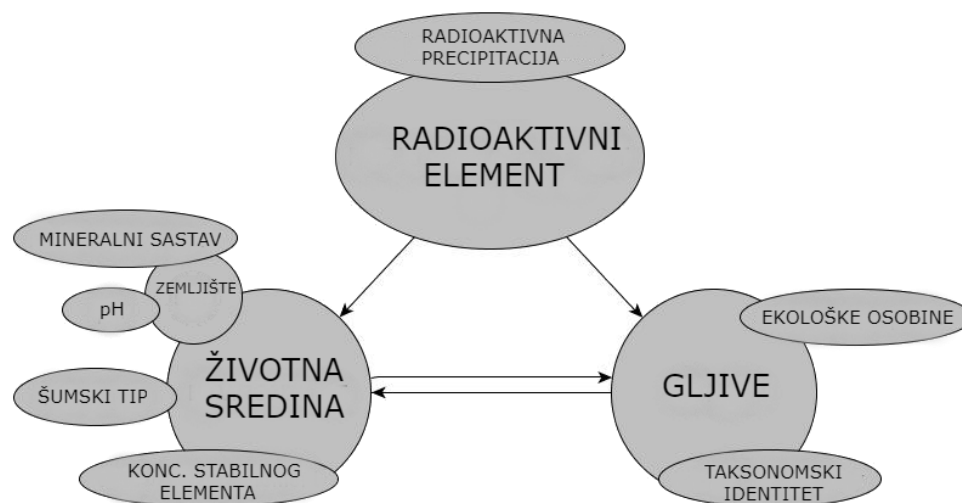
Ukupnoj dozi zračenja životne sredine i živih organizama značajno doprinose prirodni radionuklidi u zemljištu (Fisenne, 1993). Radionuklid ^{40}K (vreme poluraspada 1.248 109 godina) je izotop K koji je u izobilju prisutan u prirodi i ključan je za funkcionisanje svih živih ćelija. Prirodni uranijum je mešavina tri radioizotopa: ^{238}U (99%, poluživot 4.5 109 godina), ^{235}U (0.71%) i ^{234}U (0.006%). Njegov najvažniji potomak je ^{226}Ra (polu-život 1602 godine), koji se raspada na drugi važan radioaktivni izotop - radon. Torijum-232 (vreme poluraspada 1.405 1010 godina) je manje radioaktivan od uranijuma, ali više prisutan u prirodi.

Sadržaj radionuklida u gljivama označava se kao koncentracijska aktivnost, obično izražena kao količina radioaktivnosti po jedinici težine, suve mase gljiva (Bq kg^{-1} s.m.) ili sveže mase (Bq kg^{-1} sv.m.). Za procenu akumulacije radionuklida, kao i u slučaju teških metala, koristi se pojam *transfer faktora* (TF) koji predstavlja odnos sadržaja radionuklida u plodnim telima i supstratu (zemljištu ili drvetu): $\text{TF} = C_{\text{gljiva}} / C_{\text{supstrata}}$

2.11.3. Faktori koji utiču na akumulaciju radionuklida

Koncentracija radioaktivnih elemenata u gljivama je određena velikim brojem faktora među kojima su (Graf. 3):

1) količina radioaktivnog taloženja, 2) tip staništa na kojem se gljiva javlja i mikrostanite micelije, 3) koncentracija stabilnog (neaktivnog) ili analognog elementa u zemljištu, 4) karakteristike zemljišta (mineralni sastav i pH), 5) taksonomski i ekološki identitet gljiva (Eckl *i sar.*, 1986; Heinrich, 1992; Yoshida i Muramatsu, 1998).



Grafikon 3. Faktori koji utiču na akumulaciju radionuklida

Preuzeto i modifikovano iz: Karaman *i sar.*, 2012.

Prema pojedinim autorima, akumulacija radionuklida u gljivama u najvećoj meri zavisi od faktora sredine (De Meijer, 1988). S obzirom na to da koncentracije radioaktivnih elemenata značajno variraju u okviru rodova, pa čak i u okviru različitih populacija (sojeva) iste vrste, često se navodi da lokacija, tj. specifično stanište i vreme uzorkovanja imaju primarni uticaj (De Meijer, 1988; Elstner *i sar.*, 1989). Takođe je dobro dokumentovano da je najveća raspoloživost Cs za gljive u pozitivnoj korelaciji sa najvišim sadržajem Cs u zemljištu, najvišim sadržajem humusa, kao i sa najnižim pH vrednostima ili nižim sadržajem esencijalnih minerala, posebno K. Nasuprot tome, niži sadržaj peska i najveći sadržaj gline mogu uzrokovati manju kontaminaciju gljiva. Efikasno vezivanje Cs za minerale gline, čini ga nedostupnim za biljke, međutim pojedine gljive imaju sposobnost da razgrade i usvoje većinu komponenata u zemljištu koje biljkama nisu dostupne (Karaman *i sar.*, 2012).

Nasuprot prethodnom stavu, ima autora koji smatraju da akumulacija radionuklida u većoj meri zavisi od taksonomskih i nutritivnih osobina samih vrsta makrogljiva (Elstner *i sar.*, 1989; Clint *i sar.*, 1991, Heinrich, 1992). Pojedine familije su prepoznate kao Cs – akumulatorske (Cortinariaceae, Clavariaceae, Entolomataceae, Strophariaceae), dok su druge Cs – diskriminatori (Amanitaceae, Boletaceae, Russulaceae) (Heinrich, 1992).

Pored toga, različite funkcionalne grupe sadrže različite koncentracije radiocezijuma, koja najčešće opada u sledećem nizu: saprotrofne, terikolne gljive čija je micelija prisutna u najplićim slojevima zemljišta - na uginulom biljnom materijalu iznad ili u površinskim slojevima zemljišta, su one koje prve podležu kontaminaciji nakon radioaktivnog taloženja, dok mikorizne gljive koje su u bliskoj vezi sa drvećem mogu biti najviše kontaminirane, a pored toga bivaju kontaminirane kasnije nakon deponovanja pošto njihova micelije egzistira u dubljim slojevima zemljišta. Kontaminacija lignikolnih gljiva zavisi od stepena kontaminacije stabla domaćina, ali i direktno od vazdušnog zagađenja (Steiner *i sar.*, 2002, Calmon *i sar.*, 2002).

2.12. Istaknute vrste makrogljiva

2.12.1. *Cerioporus varius* (Pers.) Zmitr. & Kovalenko - promenljiva rupičavka

Klasifikacija (Indexfungorum, 2019):

Polyporaceae, Polyporales, Incertae sedis, Agaricomycetes, Agaricomycotina, Basidiomycota



Slika 5. Vrsta *Cerioporus varius*

foto: lična arhiva

Ekologija: lignikolna vrsta koja se javlja od početka leta do kasne jeseni, kao saprotrof na delovima trulih stabala i granama na zemlji. Raste najčešće na bukvi (*Fagus sp.*) ili retko na četinarskim stablima, uzrokujući belu trulež drveta (Bernicchia 2005).

Šešir: 2 – 6 cm, okruglast do bubrežast, sa ravnim, talasastim ili rascepljenim ivicama, žućkasto krem do cimetasto smeđe boje, ujednačenih nijansi, sa slabo uočljivim radijalnim linijama ili koncentričnim zonama različitih nijansi osnovne boje.

Himenofor: otvori cevastog himenofora su u vidu uglastih pora (2 – 3 po mm), koja se spuštaju niz dršku, beličasto sive boje kod mladih primeraka, do svetlo braonkaste boje kod starijih primeraka (Kuo, 2015).

Drška: čvrsta, tanka, kratka ili dugačka, ravna do talasasta, centralno ili bočno postavljena, crne boje, barem pri osnovi.

Meso: beličasto do prljavo žućkasto - smeđe, bez promene boje na preseku, tanko i vrlo čvrsto.

Hemijske reakcije: uticaj KOH na meso i površinu šešira – pojava braonkasto-narandžaste boje.

Otisak spora: beo.

Mikroskopija: spore (9 - 12 x 2,5 - 4 µm) cilindrične, glatke, hijaline u KOH, dimitičan sistem hifa (Kuo, 2015).

2.12.2. *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst. - jelov trud, borova guba, kopitnica

Klasifikacija (Indexfungorum, 2019):

Fomitopsidaceae, Polyporales, Incertae sedis, Agaricomycetes, Agaricomycotina, Basidiomycota



Slika 6. Vrsta *Fomitopsis pinicola*

foto: lična arhiva

Ekologija: lignikolna vrsta koja se razvija kao saprotrof ili slabi parazit na stablima različitih četinarskih, ređe listopadnih vrsta (najčešće na *Pinus nigra*, *Pinus pinea*, *Pinus silvestris*, *Picea abies* i *Abies alba*) izazivajući mrku trulež drveta (Bernicchia 2005; Rivarden 1993); jedna od najupadljivijih i najrasprostranjenijih poliporoidnih makrogljiva u četinarskim šumama severne hemisfere (Gilbertson i Ryvarden, 1986).

Plodno telo: višegodišnje, konzolasto, kopitasto, bočnom stranom pričvršćeno za supstrat, sa sjajnom, kao lakiranom, naboranom gornjom površinom koja može postati mat kod starijih primeraka, crveno-braon boje, sa tipičnom belo-žutom ivicom.

Himenofor: krem do žućkast himenofor, sa okruglastim porama (3 – 6 po m), ne menja boju pri dodiru, cevčice visine do 8 mm (Kuo, 2010), kod mladih plodnih tela prisutne gutacione kapi.

Meso: čvrste, drvenaste konzistencije, beličasto - krem boje, vrlo jakog i neprijatnog, kiselkastog mirisa, gorkog ukusa.

Hemijske reakcije: uticaj KOH na meso – crvenskasta do tamno crveno – pojava braon boje.

Otisak spora: beo.

Mikroskopija: spore (6 - 9 x 3,5 – 4,5 µm) cilindrične, glatke, neamiloidne, trimitičan sistem hifa (Kuo, 2010).

2.12.3. *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat. – pljosnata sjajnica

Klasifikacija (Indexfungorum, 2019):

Ganodermataceae, Polyporales, Incertae sedis, Agaricomycetes, Agaricomycotina, Basidiomycota



Slika 7. Vrsta *Ganoderma applanatum*

foto: lična arhiva

Ekologija: lignikolna vrsta koja raste najčešće kao saprotrof na deblima i panjevima ili ređe kao parazit slabosti na oštećenim delovima živih stabala, izazivajući uglavnom belu trulež., prvenstveno se razvija na različitim listopadnim vrstama (*Fagus, Acer, Populus, Tilia, Quercus; Platanus, Aesculus, Alnus, Betula, Fraxinus, Salix*), a ređe može da se javi i na četinarima (*Picea, Abies*) (Schwarze i Ferner, 2003).

Plodna tela: višegodišnja, konzolasta, bočno postavljena na supstratu, često raspoređena u nizovima jedno iznad drugog, sa glatkom braon, kvrgavom i izbrazdanom, zoniranom gornjom površinom, često pokrivenom slojem spora.

Himenofor: belo - sive boje, tamni u modro-braon nijansama pri dodiru, postaje prljavo braon kod starijih primeraka; otvori cevčica u vidu okruglastih pora (4 – 6 po mm), cevčice visine 0,5 – 2 cm (Kuo, 2018).

Meso: čvrste, drvenaste konzistencije, tanko, braon boje.

Hemijske reakcije: uticaj KOH na meso, površinu sporokarpa i cevčice – pojava crne boje.

Otisak spora: braon do narandžasto - braon.

Mikroskopija: spore (6 - 9 x 4 – 5 µm) elipsoidne, glatke, zaravnjene na jednom kraju, sa dvostrukim zidom, sa nizom „stubića“ između zidova, neamiloidne, braon u KOH, trimitičan sistem hifa (Kuo, 2018).

2.12.4. *Hymenopellis radicata* (Relhan) R.H. Petersen – korenjača, vitka korenka

Klasifikacija (Indexfungorum, 2019):

Physalacriaceae, Agaricales, Agaricomycetidae, Agaricomycetes, Agaricomycotina, Basidiomycota



Slika 8. Vrsta *Hymenopellis radicata*

foto: lična arhiva

Ekologija: jedna od „atipičnih“ lignikolna vrsta koja ne raste direktno na stablu ili granama drvenastih vrsta, već je vezana za korenje listopadnog drveća (posebno na vrstama rodova *Fagus* i *Quercus*), izazivajući belu trulež drveta, javlja se od leta do jeseni (Knudsen i Vesterholt 2008; Barrasa *i sar.* 2014).

Šešir: 4 – 10 cm, zvonast do zaravnjen, sa ispupčenim centralnim delom, radijalno naboran, sjajan i lepljiv po vlažnom vremenu, varijabilne boje, od belo-krem do smeđe-braon nijansi.

Himenofor: relativno razmaknuti listići, različite dužine, belo-krem boje, pričvršćeni za dršku preko kratkog spuštajućeg „zuba“.

Drška: 10 – 20 x 0,5 – 1 cm, vitka i izdužena, glatka do naborana, sa dugim, korenastim podzemnim delom beličasta sa braonkastim nijansama u donjem delu.

Meso: beličasto, bez promene boje na preseku, tanko, meko u šesiru, u dršci žilavo, provodnjeno, slatkastog ukusa i mirisa.

Hemijske reakcije: nepoznate.

Otisak spora: beo.

Mikroskopija: spore (12 - 17 x 9 - 14 µm) elipsoidne do limunaste, glatke, neamiloidne, sa germinativnom porom, heilocistidije klavatne, glatke, pleurocistidije široko klavatne, zaobljene (Parker i O'Reilly, 2019).

2.12.5. *Phallus impudicus* L. – strčak, smrdljivi pevac, đavolje jaje, obična bestidnica

Klasifikacija (Indexfungorum, 2019):

Phallaceae, Phallales, Phallomycetidae, Agaricomycetes, Agaricomycotina, Basidiomycota



Slika 9. Vrsta *Phallus impudicus*

foto: lična arhiva

Ekologija: saprotrof, na zemljištu bogatom organskom materijom, u dvorištima, parkovima, na livadama, u listopadnim i četinarskim šumama, na različitim nadmorskim visinama, najčešće tokom leta i jeseni (Kuo, 2006; Karadelev *i sar.*, 2008).

Plodno telo je u obliku šiljka koji se razvija iz „jajeta“ delimično uronjenog u stelju. Jaje predstavlja mlado, nerazvijeno plodno telo obavijeno univerzalnim velumom.

Šešir: 1,5 – 4 cm, objajast i potpuno naleže na dršku, neravne površine - sa naborima i udubljenjima koja podsećaju na saće.

Himenijum: maslinasto - braon sluzava gleba, prekriva udubljenja šešira, jakog i neprijatnog mirisa.

Drška: 25 x 1,5 - 3 cm, bela, šuplja, pri dnu pokrivena beličastom volvom (ostatkom univerzalnog veluma).

Meso: beličasto, vrlo tanko i meko.

Hemijske reakcije: nepoznate.

Mikroskopija: spore (3,5 x 1,5 – 2,5 µm) eliptične, glatke, (Kuo, 2006).

2.12.6. *Mycena pura* (Pers.) P. Kumm. – ljubičasta šlemovka

Klasifikacija (Indexfungorum, 2019):

Mycenaceae, Agaricales, Agaricomycetidae, Agaricomycetes, Agaricomycotina, Basidiomycota



Slika 10. Vrsta *Mycena pura*

foto: lična arhiva

Ekologija: je široko rasprostranjena vrsta, koja se od proleća do jeseni razvija kao saprotrof na šumskoj stelji, u listopadnim i četinarskim šumama.

Šešir: 2-6 cm, konveksan do zaravnjen, gladak, vlažan ili suv, sa strijama po obodu, vrlo varijabilne boje: tipično ružičasto – ljubičasto ali često razvija i čitav niz drugih nijansi i boja (crvenkasta, beličasta, plava, žućkasta ili braonkasta).

Himenofor: listići beličaste do ružičasto - ljubičaste boje, međusobno bliski do relativno udaljeni, pričvršćeni za dršku preko malog „zubića“.

Drška: 4-10 cm x 2-6 mm, čvrsta i šuplja, u boji šešira, glatka ili sa sitnim dlačicama (Kuo, 2010).

Meso: provodnjeno, sivkasto – bele boje, miris i ukus podsećaju na rotkvicu.

Hemijske reakcije: uticaj KOH – odsustvuje ili daje žućkasto – zelenkastu boju na površini šešira.

Otisak spora: beo.

Mikroskopija: spore (6 - 10 x 3 - 4 μm) eliptične do cilindrične, glatke, vrlo slabo amiloidne ili neamiloidne, heilocistidije i pleurocistidije retke do česte, fuzoidno – ventrikozne do široko fuziformne ili vrečaste (Kuo, 2010).

2.12.7. *Mycena pelianthina* (Fr.) Quél.

Klasifikacija (Indexfungorum, 2019):

Mycenaceae, Agaricales, Agaricomycetidae, Agaricomycetes, Agaricomycotina, Basidiomycota



Slika 11. Vrsta *Mycena pelianthina*

foto: lična arhiva

Ekologija: saprotrofna vrsta koja se od proleća do jeseni razvija na šumskoj stelji, u listopadnim šumama i to posebno uz bukvu (*Fagus sp.*), retko u četinarskim šumama.

Šešir: 1,5 - 5 cm, konveksan do zaravnjen sa uzdignutim centrom, gladak, vlažan ili suv, sa strijama po obodu, ružičaste do svetlo ljubičaste boje.

Himenofor: listići himenofora – ljubičasto - sive do sivo - braon boje, sa tamnim cistidijama koje daju boju ivici lamela, međusobno bliski do relativno udaljeni, slobodni.

Drška: 3-7 cm x 2-8 mm, blago se sužava ka vrhu, glatka i šuplja, bleđa sa tamnijim uzdužnim linijama.

Meso: provodnjeno, sivkasto – bele boje, miris i ukus podsećaju na rotkvice.

Otisak spora: beo.

Mikroskopija: spore (6,5 – 8,5 x 3,5 – 4,5 μm) eliptične do subcilindrične, glatke, amiloidne, heilocistidije izdužene, ispunjene ljubičasto – braon sadržajem (Parker i O'Reilly, 2019).

2.12.8. *Mycetinis alliaceus* (Jacq.) Earle ex A.W. Wilson & Desjardin – vitka češnjakinja

Klasifikacija (Indexfungorum, 2019):

Omphalotaceae, Agaricales, Agaricomycetidae, Agaricomycetes, Agaricomycotina, Basidiomycota



Slika 12. Vrsta *Mycetinis alliaceus*

foto: lična arhiva

Ekologija: evropska vrsta, koja raste tokom leta i jeseni kao saprotrof u šumskoj stelji, najčešće uz bukvu (*Fagus sp.*).

Šešir: 2 – 4 cm, krem - sive do smeđe - braonkaste boje, glatke i suve površine, često sa ispupčenim centralnim delom.

Himenofor: listići beličastokrem boje, relativno gusti i tanki, nejednake dužine, usko srasli sa drškom.

Drška: duga i tanka (10 - 15 cm x 1,5 - 3 mm), ali vrlo čvrsta, baršunasta, celom dužinom tamno sivo - braon do skoro crne boje, donji deo se produžava u „pseudokoren“ koji je zakopan u podlozi.

Meso: tanko, relativno meko u šeširu, vrlo čvrsto u dršci, izrazito jak miris i ukus na beli luk.

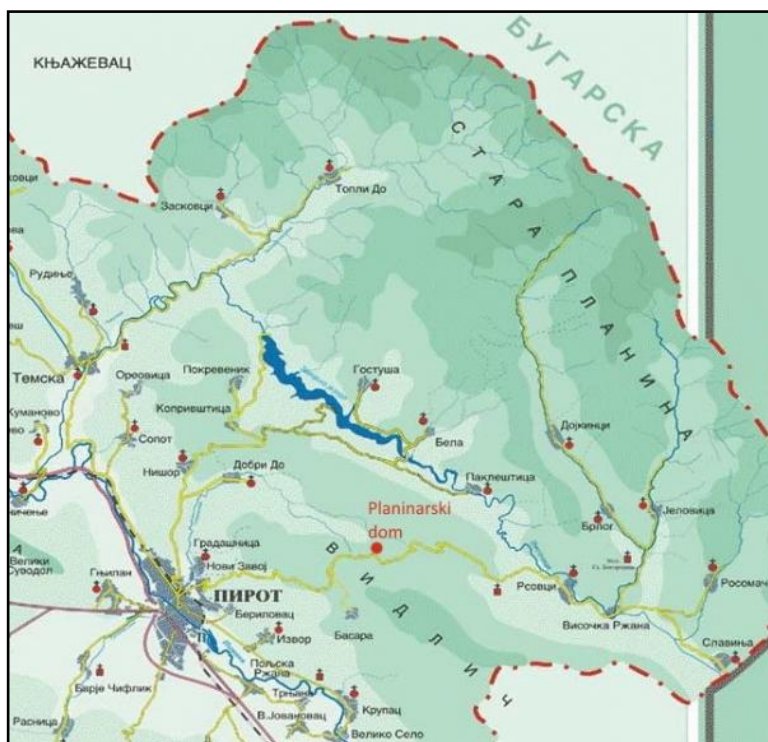
Otisak spora: beo.

Mikroskopija: spore (7,5 – 11,5 x 1,5 - 9 µm) eliptične do klavatne, heilocistidije jednostavne, klavatne, pleurocistidije usko do široko fuziformne (Petersen i Hughes, 2017).

2.13. Istraživana planinska područja u Srbiji

2.13.1. Vidlič

Planina Vidlič (Sl. 13) se nalazi u jugoistočnom delu Srbije, između Pirota, Stare Planine i tokova reka Nišave, Visočice i Temštice (pritoka reke Temske). Planinski masiv Vidliča je dugačak oko 40 km i širok između 250 i 1500 m (Marinkov, 1999). Najviši vrh ove planine je Golemi vrh (1413 m). Greben Vidliča započinje iznad Pirota, a pruža se u pravcu severozapad-jugoistok sve do granice sa Bugarskom, a zatim se nastavlja do Sofije. Iako ga jedna grupa autora smatra delom masiva Stare Planine (Mišić *i sar.*, 1978), Vidlič zapravo



Slika 13. Planina Vidlič

preuzeto sa: www.skijanje.rs

predstavlja zasebnu orografsko-tektonsku celinu navučenu preko staroplaninskog masiva, od kojeg se razlikuje manjom nadmorskom visinom, drugačijom podlogom (krečnjak) i hidrogeografskim karakteristikama (Vidanović, 1960; Martinović, 1979). Planina se odlikuje dinamičnim reljefom i velikom ogoljenom području bez šume, koje je veoma izloženo eroziji (Anđelković, 1980).

Vidlič pripada mezozojskoj zoni zapadnog Balkana. Asimetrični oblik Vidliča specifičan je po odsecima visne do 200 m, koji se pružaju prema prema dolini reke Visočice. Tektonski reljef se odlikuje sledećim navlakama - Vidličkom, Tepoškom i Visočkom. U geološkoj građi Vidliča najzastupljeniji su peščari, laporci, konglomerati i krečnjaci, dok su najstarije stene su izgrađene od dolomita i krečnjaka. U jugoistočnom delu Vidliča su zastupljeni najčešće slojeviti ili nešto ređe bankoviti krečnjaci iz perioda Jure. Za slojevite krečnjake je karakteristično da su uglavnom nagužvani, posebno u zonama koje su bile izložene jačem navlačenju i nabiranju. U jugozapadnom delu, smenjuju se krečnjaci sa sedimentima (Marković, 1990).

S obzirom na kraški tip reljefa, zemljište je na većem delu Vidliča isprano a zadržalo se samo po škrapama, zbog čega mnogi delovi planine podsećaju na krečnjačku golet. Na zaravnjenim vrhovima, kao i na strmim stranama sloj zemljišta je tanji, dok se u uvalama i vrtačama povećava. Na kraškom delu terena, zastupljena su tri osnovna zemljišna tipa: plitka skeletna rendzina (crvenkasto zemljište ili pseudocrvenica), smeđe rudo zemljište (tzv. Terra fusca) i planinski podzol u zoni bukovih šuma (Marković, 2013).

Po svom položaju, duboko u središtu Balkanskog poluostrva, Vidlič pripada kontinentalnoj klimatskoj zoni. Za Vidlič je karakteristična umereno kontinentalna klima, pri čemu se iznad 600 m nadmorske visine javljaju prelazne odlike subplaninske i planinske klime (Ćirić, 1989). Srednja godišnja temperatura se kreće oko 7,5°C, najtopliji mesec je jul, dok je najhladniji mesec januar. Vegetacioni period na Vidliču traje svega 7 meseci. Zavisno od nadmorske visine, variraju i količine padavina – najniži delovi planine su relativno suvi, dok su najviši predeli relativno vlažni. Cela Vidlička oblast je zapravo prelazna zona između vlažnijih oblasti na Staroj Planini i suvih u Dimitrovgradskoj i Pirotskoj kotlini (Vidanović, 1960).

Vidlič je većim delom bez rečnih tokova, osim kraćih potoka koji se javljaju u njenom jugoistočnom delu. Hidrologija planine nije u saglasnosti sa registrovanim količinama padavina i ispod je optimalnih vrednosti. Najvećim delom, voda kroz ponore i pukotine otiče u dublje slojeve, a samo manjim delom se zadrži na površini u krečnjačkim šupljinama. Samim tim, ne dolazi do formiranja značajnijih hidrografskih struktura osim malog broja izvora, lokvi i povremenih bujičnih tokova. Siromaštvo vodom je odlika po kojoj je Vidlič sličniji Suvoj planini (sa krečnom podlogom), nego Staroj planini (sa silikatnom podlogom) (Vidanović, 1960).

Klimatogena vegetacija Vidliča predstavljena je listopadnim šumama. Izdvajaju se dva visinska šumska pojasa: 1) pojas hrastovih šuma (od 300 - 400 m do 1000 - 1100 m n.v.), i 2) pojas bukovih šuma (preko 1000 - 1100 m n.v.). Najrasprostranjeniju i najznačajniju šumsku vegetaciju na planini čine termofilne listopadne zajednice hrasta sladuna i cera (*Quercetum frainetto-cerris*). Južne padine planine su velikim delom obešumljene i ogolele, usled intenzivne seče u prošlosti, kao i denudacije i erozije koje zatim su usledile (Ćirić, 1989). Oko hrastovih šuma i šibljacka grabića degradacionog tipa, nalaze se suvi pašnjaci, livade i kamenjari, sekundarnog karaktera koji su nastali krčenjem šume. Gornji vegetacijski region Vidliča, uglavnom na severnim padinama, odlikuje se zajednicama mezijske bukove šume (*Fagetum moesiaca montanum* Job. 1953 (non Rudski 1949)). Istraživanjem tla u monodominantnim i polu-dominantnim bukovim šumama Vidliča, ustanovljeno je da su ovim

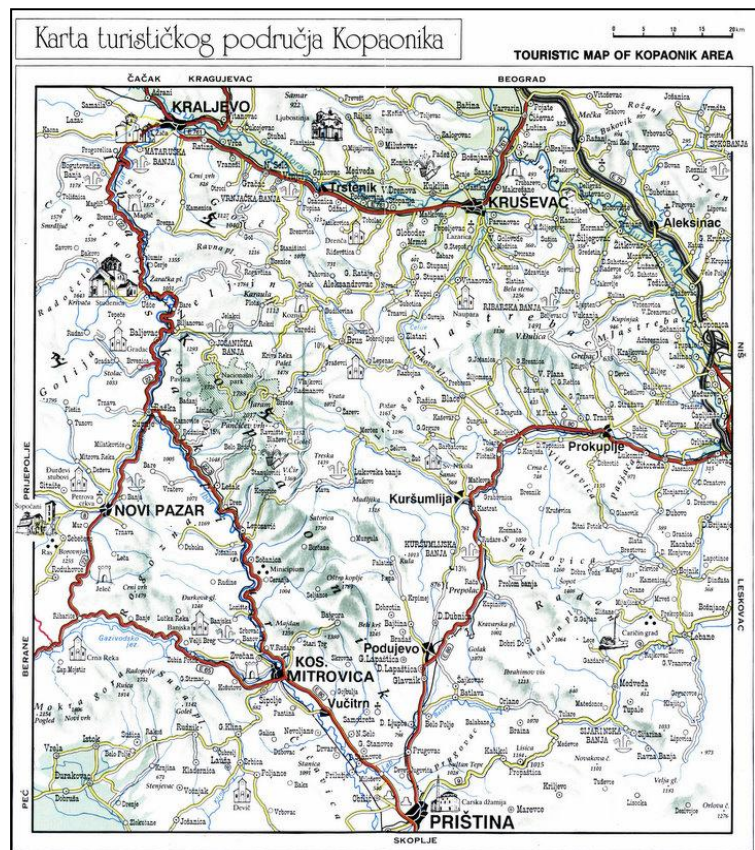
područjem tokom nekoliko hiljada godina dominirale isključivo bukove šume (Marković 2013), pri čemu su danas očuvani samo manji ili veći šumski kompleksi. To su uglavnom stare sastojine u kojima dominira balkanska bukva (*Fagus moesiaca* (K. Maly) Czech), izuzev na velikim površinama koje su u nekoliko navrata tokom prethodnih 60 godina bile zahvaćene požarima (Marković 2013).

2.13.2. Kopaonik

Kopaonik (Sl. 14) predstavlja najveći planinski venac u centralnom delu Srbije, dužine oko 80 km, koji se pruža u pravcu severozapad - jugoistok. Okružuje ga nekoliko reka: Jošanica (severno), Sitnica i Ibar (zapadno), Lab (južno i jugozapadno), gornji tokovi Toplice i Rasine (istočno). Najviši vrh Kopaonika je Pančičev vrh na 2177 m. Zahvaljujući tektonskim pokretima i vulkanskim aktivnostima u prošlosti, geološki sastav ove planine je vrlo raznolik. Stene su različitog porekla i starosti, pri čemu su najrasprostranjeniji serpentiniti, graniti i peridotiti, a krečnjaci su dosta retki (Anđelković, 1980).

Dejstvom visokih temperatura i snažnih pritisaka tokom vulkanskih aktivnosti došlo je do promena na stenama, pri čemu je nastala tzv. „kopaonička rudna oblast“ koja je bogata rudama metala (gvožđa, cinka, olova) i retkih metala (zlata, srebra), kao i retkih minerala (volastonita, azbesta, fluorita).

Usled relativno malih godišnjih padavina na Kopaoniku nema izvorišta velikih reka, ali postoji gusta mreža manjih površinskih tokova nastalih od brojnih izvora, pri čemu su neki sa hladnom vodom, neki sa lekovitom vodom koja se odlikuje povećanom radioaktivnošću, dok su neki sa mineralnom vodom. Na Kopaoniku postoje i neobične hidrološke pojave u vidu pištevine i tresava.



Slika 14. Planina Kopaonik
preuzeto sa: www.kopaonik-online.net

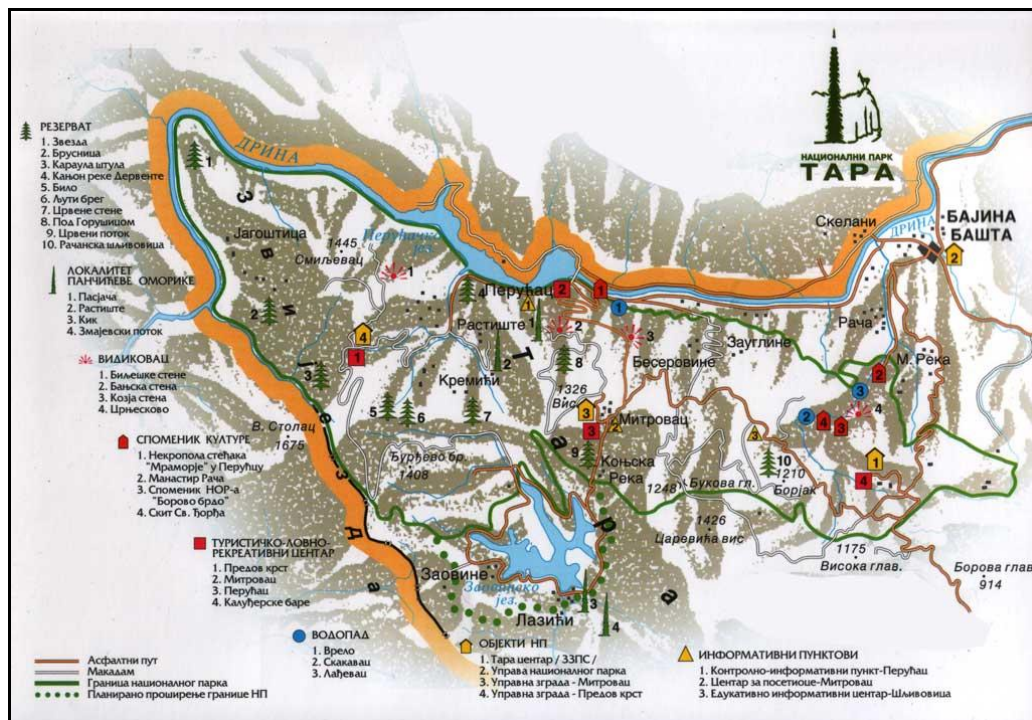
Tresave, stare i preko 1000 god., nastale su usled velikog isparenja bara i potoka. Najveća od njih je Jankova bara. Pištevine predstavljaju prirodne ustave od busenaste trave u kojima se zadržava voda, a vremenom prerastaju u tresave. Na Kopaoniku se nalazi i nekoliko urvinskih jezera, među kojima je najveće Semeteško jezero.

S obzirom da se nalazi na prelazu mediteranskih i kontinentalnih vazdušnih masa, subalpijska klima Kopaonik dobija specifične odlike (veliki broj sunčanih dana, izražene snežne padavine i relativno visoke temperature tokom zime). Zbog velike visinske razlike, na Kopaoniku se duž vertikalne linije smenjuju različite klimatske zone - od pojasa tople, brdske klime sa submediteranskim karakterom, do surovog pojasa predalpijske klime (Lakušić, 1995). Srednja godišnja temperatura na Kopaoniku se kreće oko 3,7 °C. Snegovi padaju prosečno 180 do 230 dana godišnje, najčešće od kraja novembra pa do maja. Prosečne padavine uglavnom prevazilaze 1000 mm godišnje.

Kopaonik spada među najznačajnije centre vegetacijskog i florističkog diverziteta, kako u Srbiji, tako i na čitavom Balkanskom poluostrvu. Pored toga, pripada i najvažnijim endemskim centrima u regionu, sa velikim brojem endemičnih, subendemičnih i retkih vrsta. U skladu sa vertikalnom promenom klime, na Kopaoniku se javlja i pravilna smena vegetacije. Van granica Nacionalnog parka (NP), u najnižim delovima planine u kojim vlada najtoplija i najsuvlja klima, zastupljena je zona termofilnih hrastovih šuma. U njoj se usled degradacije hrastovih šuma, javljaju šikare, šibljac, livade i kamenjari. U okviru NP, iznad zone planinskih hrastovih šuma (1000 – 1550 m n.v.), nastavlja se zona planinskih bukovih šuma, zastupljenih sa četiri osnovna tipa. Na serpentinskoj i slikatnoj, umereno vlažnoj podlozi javljaju se mono-dominantne bukove šume. Na vlažnijim terenima se javljaju bogatije i složenije bukove šume čije su važne komponente kisele mahovine i trave. Floristički najsloženije i najbogatije bukove šume javljaju se na strmim stranama kanjona Brzečke i Duboke reke, na krečnjačkim terenima, u kojima se javljaju i druge vrste grmlja i drveća. Na gornjoj šumskoj granici, u zoni smrčevih šuma, ponegde su prisutne i subalpijske bukove šume sa veoma starim, zakržljanim, niskim i krivim stablima bukve. Na višim delovima Kopaonika, između vegetacijskog pojasa bukve i smrče, javljaju se mešovite, listopadno-četinarske šume: bukovo-jelove i bukovo-smrčevo-jelove. Iznad 1500m n.v. su se formirale tamne četinarske šume smrče, sa različitim biljnim zajednicama. Na granitnim terenima, smrča je skoro jedini član zajednice i takve smrčeve šume su najrasprostranjenije. Na krečnjaku su zastupljene floristiki bogatije ali reliktna siromašne šume, u kojim se osim smrče javljaju i druge vrste grmlja i drveća. U klisuri Samokovske reke se javlja specifičan oblik tamnih smrčevih šuma - reliktna šume u kojima su važne komponente crnjuša i jela.

Ovakav tip šumske zajednice je karakterističan za Kopaonik i postoji isključivo ovde (Lakušić, 1995).

2.13.3. Tara



Slika 15. Planina Tara
preuzeto sa: <http://www.tara-planina.com>

Planina Tara (Sl. 15) se nalazi u zapadnoj Srbiji i pripada Starovlaškim planinama, koje su deo Dinarskih Alpa. Najviši vrh je Kozji rid (1591 m). Tara se odlikuje raznovrsnim reljefom za koji su karakteristične veliki platoi (zaravnjene površi), ispresecani dolinama reka i potoka, kao i strmi planinski vrhovi. Dva najizraženija platoa su: viša planinska površ, čija je prosečna n.v. oko 1300 m, i niža planinska površ sa n.v. oko 1000 m (Vilotić i sar., 2011). U geološkom sastavu Tare dominira krečnjak srednjeg i gornjeg trijasa, iznad mase verfenskih škriljaca ili silikatnih serpentina. Serpentina se po ivicama planine javljaju i na samoj površini. Za karstni deo Tare, koji ima odliku plitkog karsta, specifične su plitke, male vrtače (Milojković, 1953).

Na Tari je zastupljeno nekoliko tipova zemljišta, u zavisnosti od stena na kojima su obrazovani. Za krečnjak su tipični: krečni sirozem, smeđa rendzina, prava rendzina, protodenzina i terra fusca (smeđe rudo zemljište). Na silikatnim stenama su formirani: humusno-silikatno zemljište (na škriljcima) i kiselo smeđe zemljište (na peščaru i škriljcima)

(Knežević, 1992). U šumskim staništima na serpentinitima javlja se posmeđena rendzina i smeđe zemljište (Jović, 1973).

Tare se odlikuje prisustvom graničnih reka – Belog Rzava, Drine, Dervente i Rače, dok je sama planina siromašna vodom i izvorima. Atmosferska voda koji dospe na plato Tare najvećim delom ponire kroz šupljikavu masu krečnjaka (Obradović, 2015). Velikih vodotokova na Tari nema, osim nekoliko potoka. Malobrojni izvori, koji se uglavnom javljaju van šume, su slabog kapaciteta usled čega tokom leta uglavnom presušuju (Milojković, 1953). Najznačajniji trajni izvori u šumskim predelima se nalaze na Mitrovcu i u Vasića ponoru, a javljaju se na kontaktu krečnjačke mase sa serpentinom i kvarcevitim šljuncima (Obradović, 2015).

Klima Tare je umereno kontinentalna, prelaznog tipa. Duž Drine klima se odlikuje vlažnim, subhumidnim karakterom, u pojasu od 300 do 800 m n.v. prevladava humidna klima, dok je na planinskom platou vrhovima zastupljen izrazito humidni klimatski karakter (Gburčik, 1992). Srednja godišnja temperatura je oko 5,2 °C, dok je u vegetacionom periodu srednja T oko 10,8 °C. Najtopliji mesec na Tari je jul, a najhladniji je januar, pri čemu je proleće hladnije od jeseni. Prosečna količina godišnjih padavina iznosi 1 004,5 mm. Najviše kiše pada tokom leta a najmanje padavina se javlja tokom zime. Najsuvlji meseci su januar i mart, dok je najvlažniji maj mesec. Obilnije padavine tokom vegetacionog perioda pogodne su za razvoj šumske vegetacije.

Zahvaljujući pomenutim karakteristikama, na Tari se razvio vrlo specifičan ekosistemski diverzitet koji se odlikuje velikim brojem složenih, mešovitiš šumskih zajednica. Do sada su opisane 33 različite šumske asocijacije (Kojić i Vilotić, 2006). Najveći deo Tare zauzimaju kvalitetne mešovite šume smrče, bukve i jele, koje se ubrajaju među najočuvanije ekosisteme ne samo u Srbiji, već i u Evropi (Vilotić *i sar.*, 2011). U zavisnosti od klimatskih faktora, ali i antropogenih uticaja, zastupljenost smrče, jele i bukve u asocijacijama se vremenom menjao. Uslovi za rast ovih vrsta su veoma slični, a osim toga i areali njihovog rasprostranjenja se poklapaju.

Tara je jedno od najvažnijih refugijalnih evropskih staništa, sa velikim brojem reliktnih, endemskih i retkih vrsta. Tara je 1981. god., zahvaljujući velikoj biološkoj raznovrsnosti sa jedne strane i značajnom kulturno-istorijskom nasleđu sa druge, proglašena za Nacionalni park (“*Službeni glasnik SR Srbije*” br.41/81). Tara se nalazi i na listi Svetske kulturne baštine, a od strane UNESCO-a je nominovana za Rezervat biosfere. Nacionalni park zauzima najveći deo planine, sa ukupnom površinom od 19 175 ha.

3. CILJ

U skladu sa navedenom temom i problematikom istraživanja, **OPŠTI CILJ** ove doktorske disertacije je utvrđivanje stanja specifičnih zajednica makrogljiva (mikocenoza) šumskih ekosistema odabranih planinskih područja u Srbiji (Vidlič, Tara, Kopaonik).

SPECIFIČNI CILJEVI odnose se na:

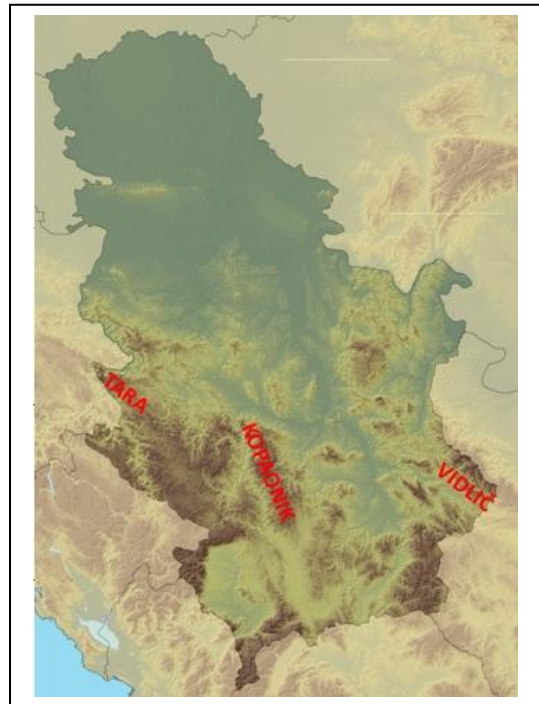
1. utvrđivanje biodiverziteta makrogljiva odabranih šumskih staništa (na lokalitetima Vzganica, Mitrovac i Metode) sa:
 - morfološkog (specijski diverzitet),
 - ekološkog (funkcionalni diverzitet) i
 - genetskog stanovišta (analiza polimorfizama, genetskih distanci i filogenetskih odnosa),
2. utvrđivanje stanja mikopopulacija - analizom i poređenjem istraživanih staništa na osnovu različitih parametara koji ukazuju na:
 - brojnost vrsta,
 - specifičan sastav vrsta unutar mikocenoza,
 - zastupljenost i sastav različitih funkcionalnih grupa,
 - uticaj abiotičkih faktora staništa na mikocenoze,
3. ispitivanje metala i radionuklida u makrogljivama, sa aspekta:
 - utvrđivanja akumulatorske sposobnosti makrogljiva
 - utvrđivanja uticaja specifičnog staništa i pripadnosti makrogljiva različitim funkcionalnim grupama na njihovu akumulaciju;
 - procene bezbednosti konzumiranja akumulatorskih vrsta,
4. procenu značaja makrogljiva kao indikatora stanja samih staništa.

4. EKSPERIMENTALNI DEO

4.1. Dizajniranje eksperimentalnih površina

Istraživanja obuhvaćena ovom tezom su vršena na tri lokaliteta (Sl. 16), sa šumskim zajednicama koje predstavljaju reprezentativne delove nekih od najvažnijih planinskih šumskih ekosistema u našoj zemlji:

- **lokalitet Vzganica** (planina Vidlič) – ispitivane su 2 šumske zajednice: izdanačka sastojina autohtone bukve i sađena sastojina alohtone duglazije (treći stepen zaštite),
- **lokalitet Metode** (planina Kopaonik) – ispitivana 1 šumska zajednica: sastojina smrče i bukve (prvi stepen zaštite),
- **lokalitet Mitrovac** (planina Tara) – ispitivane 2 šumske zajednice: sastojina smrče, jele i bukve (drugi stepen zaštite) i sastojina smrče, bukve i jele (prvi stepen zaštite).



Slika 16. Mapa R Srbije sa istraživanim lokalitetima

Terenski deo istraživanja sproveden je tokom tri uzastupne godine (2011., 2012., 2013.). Zajedničke ekspedicije, u kojima su učestvovali istraživači sa Instituta za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu i istraživači sa Departmana za biologiju i ekologiju, PMF-a, (Univerzitet u Novom Sadu) su organizovane 4 - 5 puta godišnje tokom vegetacionog perioda (maj - septembar). Svaka istraživačka ekspedicija, u trajanju od 4 dana, podrazumevala je obilazak svih navedenih lokaliteta.

U cilju kontinuiranog monitoringa diverziteta makrogljiva, na pomenutim lokalitetima su specifično dizajnirane trajne eksperimentalne površine (eng. “*permanent plots*”), po standardima postavljenim za analizu mikodiverziteta u šumskim ekosistemima (Mueller *i sar.*, 2004.). Za razliku od preliminarnih istraživanja mikodiverziteta nekog područja kada se primenjuje metoda nasumičnog pretraživanja vrsta ili transekt metoda (pravolinijsko

pretraživanje), u slučaju istraživanja kojima je cilj dugogodišnje praćenje stanja mikopopulacije ili poređenje mikodiverziteta između različitih lokaliteta, kao mnogo pouzdaniji i efikasniji se pokazao metod trajnih eksperimentalnih površina, koja pored kvalitativnih obezbeđuje i kvantitativne podatke (Lodge *i sar.*, 2004).

U svakoj od pet ispitivanih šumskih sastojina trajno je obeležen po jedna četvrtasta (pravougaoni ili kvadratni) eksperimentalna površina veličine 1000 m². Svaki plot je izabran tako da predstavlja reprezentativni, homogeni uzorak proučavane šumske zajednice.

4.1.1. Lokalitet Vzganica (Vidlič) – sastojine bukve i duglazije

Lokalitet Vzganica se nalazi na severoistočnoj strani planine Vidlič, ispod Visoke stene, na nadmorskoj visini od 900 do 1200 m (Sl. 17). Za ovaj deo Vidliča karakteristično je prisustvo mezijskih bukovih šumskih asocijacija – *Fagetum moesiacaе montanum* Job. 1953 (non Rudski 1949). Lokalitet Vazganica odlikuje se krečnjačkom podlogom iz doba Jure koja je prekrivena smeđim zemljištem. Na ovom delu Vidliča, u prošlosti je u nekoliko navrata dolazilo do požara tokom kojih su izgoreli veliki delovi starih bukovih šuma.



Slika 17. Položaj lokaliteta Vzganica na Vidliču i položaji eksperimentalnih površina P1 i P2

Na lokalitetu Vzganica postavljene su dve esperimentalne površine, označene kao “plot 1” i “plot 2” (Sl. 17). Obe se nalaze na području pod III stepenom zaštite, koje pripada zaštićenom zoni Parka prirode Stara planina ("Službeni glasnik RS", br. 23/2009).



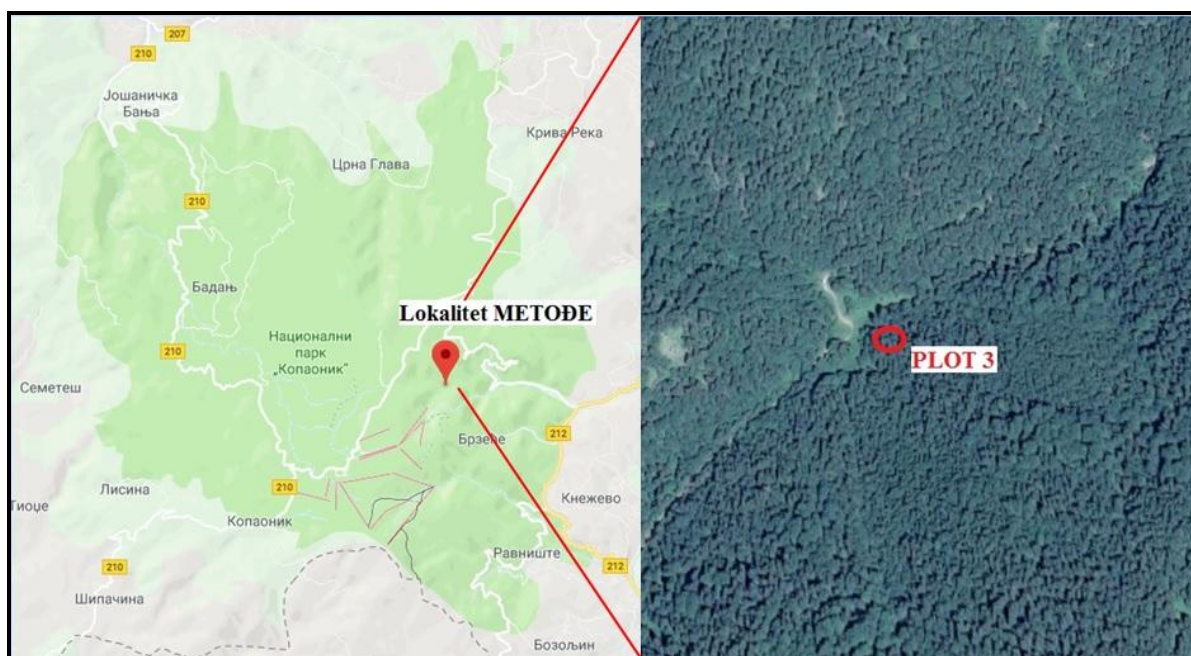
Slika 18. Izgled sastojina bukve (prva eksperimentalna površina - P1) i duglazije (druga eksperimentalna površina – P2)

Plot 1 nalazi se u izdanačkoj sastojini autohtone mezijske bukve (*Fagus moesiaca* (K. Malý) Czech.) koja se samostalno regenerisala posle požara 1962. godine (GPS koordinate: N 43°10'36.65'', E 22°43'02.41'', SI ekspozicija, 1097 mnv). U ovoj sastojini dominiraju visoka stabla bukve (preko 20 m) sa gustim sklopom krošnji, dok su u njihovoj senci zastupljene biljne vrste tipične za žbunasti i prizemni sprat bukovih šuma (Sl. 18). Teren na kojem je postavljena sama eksperimentalna površina je pod blagim nagibom (6 – 15°) i nalazi se na 10 m ispod tvrdog šumskog puta.

Plot 2 je postavljen u sađenoj sastojini alohtone drvene vrste - duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), podignutoj na staništu bukve nakon pomenutog požara (GPS koordinate: N 43°10'53.94'', E 22°42'29.60'', SI ekspozicija, 1015 mnv). U pitanju je veštački podignuta sastojina sa dobro razvijenim, pravilno raspoređenim stablima duglazije, visine do 30 m ispod kojih se javlja bogat sprat žbunja i prizemnog rastinja (Sl. 18). Slično prethodnom plotu, teren je i ovde pod blagim nagibom (oko 10°) i nalazi se na 10 m ispod glavnog asfaltnog puta.

4.1.2. Lokalitet Metode (Kopaonik) – sastojina smrče i bukve

Lokalitet Metode predstavlja Rezervat prirode, pod I stepenom zaštite, u okviru Nacionalnog parka Kopaonik ("Službeni glasnik RS", br.39/93 i 44/93) (Sl.19). Na području rezervata javljaju se, po fitocenološkim karakteristikama, šest različitih bukovih i smrčevih zajednica sa brojnim retkim i reliktnim vrstama biljaka. Prisustvo različitih klimatskih zona, ovde je dovelo do razvoja niza prelaznih florističkih oblika. Specifična geološka podloga u vidu granita, metamorfnih stena i serpentina, pogodovala je razvoju smrče (*Picea abies* (L.) Karst.) u nižim planinskim delovima, u zajednici sa bukvom i jelom. Na konkretnom delu lokaliteta, na kom se odvijalo ovo istraživanje, zastupljen je šumski tip fitocenoza: smrča sa bekicom – *Luzula sylvatica* (*Picetum - excelsea serbicum luzuletosom*).



Slika 19. Položaj lokaliteta Metode na Kopaoniku i položaj eksperimentalne površine P3

Eksperimentalna površina, “plot 3”, nalazi se na severnoj padini jednog od visokih grebena koji okružuju dolinu potoka koji protiče kroz Metode (Sl. 19). Postavljena je u sastojini kojom dominiraju stabla smrče različite starosti, uz manji broj prisutnih stabala bukve u stadijumu letvenjaka (GPS koordinate: N 43°18'18.1", E 20°50'38.4", 1450 mnv, SI ekspozicija, 30% nagib) (Sl. 20).



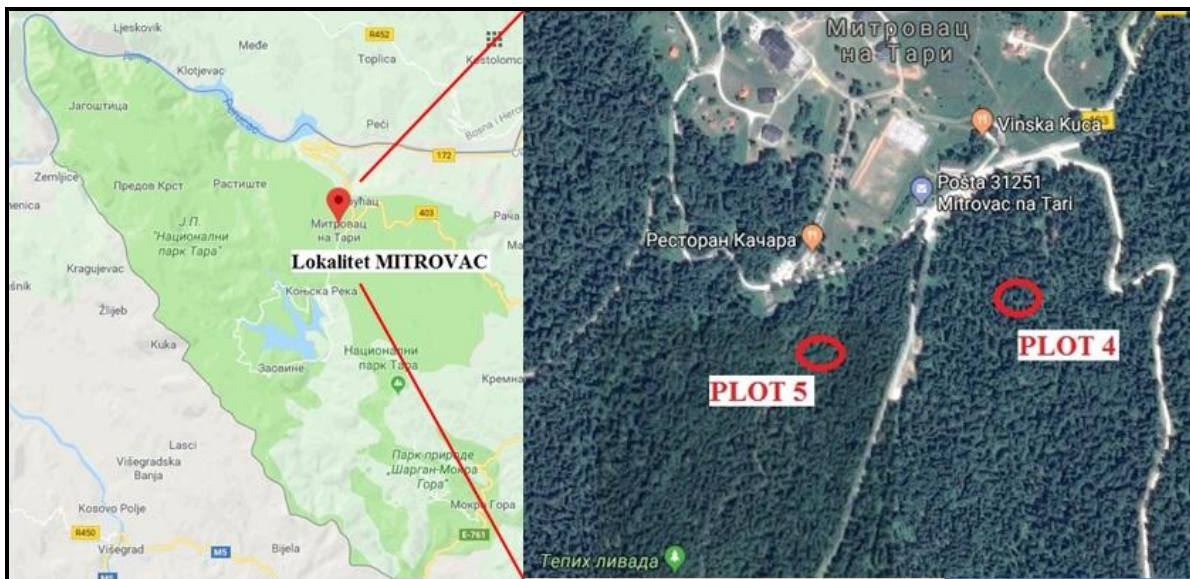
Slika 20. Izgled sastojine smrče i bukve na Kopaoniku u kojoj je postavljena treća eksperimentalna površina (P3)

4.1.3. Lokalitet Mitrovac (Tara) – sastojine bukve, smrče i jele

Mitrovac se nalazi u centralnom delu Tare, na oko 1 080 mnv (Sl. 21). Ovaj lokalitet pripada jednom od dva velika tarska platoa i upravo zbog toga ima specifične geološke, hidrološke, klimatske i vegetacijske odlike. Najveći deo platoa pokriva trijaski krečnjak sa kraškim karakteristikama. Pedološkim istraživanjima ovog područja (Čolić, 1953), na blago nagnutom terenu, u mešovitoj šumi bukve i jele, sa primesama smrče, javora i drugih lišćara, utvrđeno je prisustvo smeđeg zemljišta dubokog preko 1,20 m sa veoma različitom pH vrednošću. U samoj udolini Mitrovca, spiranjem sa okolnih viših predela i nagomilavanjem organskog materijala, formirano je dublje zemljište, slabo kiselog do baznog karaktera, koje zapravo predstavlja nanos humusa i neraspadnutih delova šumske prostirke, pa je nestruktuirano i ne pruža stabilnost korenovom sistemu usled čega često dolazi do izvaljivanja stabala (Milojković, 1953). Za razliku od većine drugih delova Tare, za Mitrovac je karakterističan prostran vodoodrživi sloj koji je omogućio formiranje jednog od najznačajnijih trajnih izvora – Crveni potok, kao i dva tresetišta sa specifičnom biljnom zajednicom – Crvena bara (Crveni potok) i Kurtina bara.

Za istraživani deo Mitrovca karakteristično je prisustvo šumske asocijacije smrče, jele i bukve – *Piceo-Abietetum* Čol. 1965 (syn. *Piceo-Abieti-Fagetum moesiicum* Mišić et al.,

1978), koje predstavljaju najzastupljeniju fitocenozu na planini Tari. Ona je takođe i klimaregionalna šuma (Tomić i Rakonjac, 2013) koja je rezultat uticaja specifične makro i mikro klime. Sastojine ove šumske zajednice razvile su se na visini od 900 do 1450 m, na krečnjačkoj podlozi sa različitim tipovima zemljišta.



Slika 21. Položaj lokaliteta Mitrovac na Tari i položaj eksperimentalnih površina P4 i P5

Eksperimentalne površine na Mitrovcu označene su kao “plot 4” i “plot 5” (Sl. 21). Područje na kojem se one nalaze predstavlja najniži deo mitrovačkog platoa i specifično je po prisustvu brojnih vrtača i efemernih potoka.

Plot 4 postavljen je u sastojini smrče, jele i bukve (Sl. 22), nedaleko od Info centra Nacionalnog Parka „Tara“ i glavnog puta koji prolazi kroz Mitrovac ka Zavojskom jezeru, u okviru područja pod II stepenom zaštite (GPS koordinate: N 43°55’06.1”, E 19°25’33.6”, 1080 mnv, SI ekspozicija, 3-5° nagiba). Ova eksperimentalna površina nalazi se na zaravnjenom platou koji je sa dve susedne strane oivičen potocima i vrtačama, dok se druge dve strane graniče sa delovima šume koja je proređena sanitarnom sečom.



Slika 22. Izgled sastojine smrče, jele i bukve na Tari u kojoj je postavljena eksperimentalna površina P4

U drugom delu šume između dva glavna asfaltna puta na Mitrovcu, udaljen oko pola kilometra od plota 4, postavljen je plot 5 (Sl. 23), takođe u sastojini smrče, jele i bukve. Ova eksperimentalna površina (GPS koordinate: N 43°55'00.18'', E 19°25'11.61'', 1080 mnv, SI ekspozicija, 3-5° nagiba) pripada obodnom delu Rezervata prirode "Crveni potok" (I stepen zaštite) u kome se pored navedenih drvenastih vrsta javljaju i Pančičeva omorika (*Picea omorica*) i jova (*Alnus sp.*).



Slika 23. Izgled sastojine smrče, bukve i jele na Tari, sa postavljenom eksperimentalnom površinom P5

Rezervat je dobio ime po potoku koji kroz njega protiče, a koji se u svom gornjem toku razliva preko zemljišta od crvene ilovače, usled čega pri obilnijim padavinama dobija crvenu boju. Na ovom lokalitetu u prošlosti nije bilo intenzivne eksploatacije drveta pa se zahvaljujući tome očuvala šuma prašumskog tipa. U centralnom delu rezervata "Crveni

potok”, zadržavanje vode u površinskom delu uzrokovano nepropusnom podlogom je dovelo do formiranja tresetišta koje nosi naziv “Tepih livada” i koje raste na godišnjem nivou po 1 mm. Ovo tresetište, staro nekoliko hiljada godina, ima izuzetan značaj jer čuva podatke kako o istoriji biljnog sveta, tako i o klimatskim promenama i uslovima koji su tokom istorije vladali na staništima Tare i čitave Srbije. Zbog nestabilne, humusno-tresetne podloge na području rezervata je prisutan veliki broj izvaljenih, poleglih stabala.

4.2. Uzorkovanje gljiva i obrada uzoraka

4.2.1. Uzorkovanje gljiva i njihovog supstrata

Istraživanje mikodiverziteta i uzorkovanje gljiva na svakom ispitivanom lokalitetu, unutar ustanovljenih plotova, vršeno je jednom mesečno, od juna do septembra meseca tokom trogodišnjeg perioda (2011. – 2013.). Detaljno je ispitivano prisustvo plodnih tela makrogljiva iz razdela (phylum) Basidiomycota i Ascomycota. Metodologija mikoloških istraživanja unutar trajnih eksperimentalnih površina podrazumeva pažljivo pregledanje cele površine označenih oglednih plotova i evidentiranje svih prisutnih vrsta gljiva. Sporokarpi su uzorkovani samo za potrebe identifikacije (ukoliko se radilo o nepoznatoj vrsti) ili daljih laboratorijskih analiza, pri čemu je uzimano čitavo plodno telo.



Slika 24. Uzorkovanje makrogljiva i fotodokumentacija

Za potrebe determinacije i deponovanja vaučer primeraka u mikoteku uzorkovana su 1-3 reprezentativna plodna tela gljiva, ukoliko se radi o vrsti koja je prvi put evidentirana na datom plotu. U slučaju vrsta koje su prethodno već utvrđene na datom plotu, evidentiranje je vršeno isključivo fotografisanjem (Nikon Coolpix P90) i zapisivanjem specifičnih zapažanja

kako bi se što manje remetilo zatečeno stanje. Za svaki sakupljeni uzorak beležen je lokalitet, datum sakupljanja i supstrat na kojem je pronađen (Sl. 24). Pojedinačni uzorci su pažljivo pakovani u odvojene pregrade čvrstih plastičnih kutija, koje su u ručnim frižiderima transportovane do laboratorije. Svaki uzorak gljiva je pakovan zajedno sa pristupačnim, vlažnim organskim materijalom (listovi ili mahovina) kako bi se sprečilo isušivanje tokom transporta i oštećenje specifičnih delova i karaktera sporokarpa važnih za determinaciju. Jedan deo sakupljenih uzoraka je izgubljen usled dugotrajnog transporta ili nepovoljnih uslova u periodu uzorkovanja (visoke temperature vazduha, oštećenja plodnih tela).

Za potrebe molekularnih analiza, odvojeno je po nekoliko komadića plodnog tela već uzorkovanog za potrebe makromorfološke determinacije. Ovako uzorkovano tkivo je sterilisano 96% etanolom, deponovano u sterilne epruvete i do daljih analiza čuvano na +4°C.

Za ispitivanje mineralnog sadržaja i sadržaja radionuklida bila je neophodna veća količina uzorka svežih plodnih tela (200 - 500 g), u zavisnosti od sadržaja vode), pa je izbor vrsta za ove analize zavisio upravo od toga koliko bogato plodonose u realnim uslovima u prirodi. Za ovakva ispitivanja najpogodnije su lignikolne vrste koje formiraju krupna plodna tela ili plodna tela u većim grupama i imaju manji sadržaj vode u svom sastavu.

Uporedo sa uzorkovanjem gljiva, sakupljeni su i uzorci odgovarajućih supstrata (10 – 20 g), za potrebe analize sadržaja radionuklida, makro- i mikroelemenata. Prilikom sakupljanja lignikolnih gljiva, uzorkovano je i drvo na kome je određena vrsta rasla i to u neposrednoj blizini uzorkovanog plodnog tela gljive, sa dela supstrata u kome nije bila prisutna micelij. U slučaju terikolnih vrsta gljiva, kao supstrat je uzorkovano zemljište. Uzimajući u obzir da se micelij gljiva može razviti na ogromnim površinama supstrata, umesto malih količina zemljišta pored samog uzorka gljive, uzimani su kompozitni uzorci tla kao reprezentativni predstavnici ukupne kontaminacije ispitivane eksperimentalne površine. Na svakom plotu, zemljišni uzorci su uzeti sa četiri slučajne tačke, na dubini od 10 cm, nakon čega je mešanjem napravljen jedan kompozitni uzorak za svaku eksperimentalnu površinu.

4.2.2. Morfološka identifikacija gljiva

Taksonomska identifikacija uzoraka nepoznatih vrsta makrogljiva je vršena u Laboratoriji za mikologiju, Katedre za mikrobiologiju na Departmanu za biologiju i ekologiju (PMF, Univerzitet u Novom Sadu), na osnovu analize makro- i mikromorfoloških karaktera plodnih tela, kao i specifičnih hemijskih reakcija. Za ispitivanje anatomskih

struktura i njihovih karakteristika (oblik, veličina, boja i organizacija spora, bazidija, askusa, cistidija, hifa) korišćen je svetlosni mikroskop Olympus BX51 (Japan) pri uvećanju 400 – 1000 x. Mikroskopski preparati su pripremani disekcijom himenijuma žiletom i uranjanjem tkiva u vodu ili rastvor KOH. Determinacija vrsta je izvršena uz pomoć dostupne literature mikološke laboratorije (ključevi i mikološki atlas), kao i elektronskih knjiga i specijalizovanih mikoloških sajtova: Assyov, 2014; Dennis, 1968; Emberger, G., 2008; Moser, 1978; Courtecuisse & Duhem, 1995; Bon, 2000; Jordan, 2004; Uzelac, 2009; Kuo, 2007; Philips, 2017, Rogers *i sar.*, 2002, Smith, 2017 Tulloss & Yang, 2017. Klasifikacija i nomenklatura vrsta su u skladu sa “Species 2000 & ITIS Catalogue of Life: 2011 Annual Checklist” (Bisby *i sar.*, 2011) i “Index Fungorum” (Kirk, 2019).

Formiran je spisak svih identifikovanih vrsta makrogljiva, sa oznakama lokaliteta, plata i datuma uzorkovanja (Prilog 8.1.). Pored toga, za svaku vrstu određena je i pripadnost odgovarajućoj funkcionalnoj (ekološkoj / trofičkoj) grupi, na osnovu primarne životne strategije (lignikolna / terikolni saprotrof / mikorizna). Vaučer primerci (osušeni, reprezentativni primerci), otisci spora i mikroskopski preparati identifikovanih vrsta makrogljiva su deponovani u okviru Mikološke zbirke pri BUNS herbarijumu Departmana za biologiju i ekologiju (PMF, Univerzitet u Novom Sadu).

4.2.3. Priprema uzoraka za potrebe daljih analiza

Plodna tela gljiva, sakupljena za potrebe određivanja sadržaja radionuklida (^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th), makro- i mikroelemenata (K, Mg, Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Mn, Fe, Zn), su pažljivo uz pomoć četkice očišćena od ostataka supstrata i isečena na manje delove. Vrste sa krupnim plodnim telima ispitivane su u vidu pojedinačnih sporokarpa, dok je kod sitnijih vrsta gljiva sakupljeno više plodnih tela koja su zatim kombinovana u jednom uzorku da bi se postigla efikasna masa za potrebe daljih analiza. Uzorci gljiva, kao i njihovi supstrati (zemljište / drvo), su sušeni u pećnici (Scholtes FP 955.3) na temperaturi od 60 °C do postizanja apsolutno suve mase (s.m.). U cilju dobijanja homogenog materijala, osušeni komadići plodnih tela i drveta su samleveni u fini prah, a zemljište je prosejano kroz sito promera 2 mm. Homogenizovani uzorci su čuvani u zatvorenim, staklenim posudama na sobnoj temperaturi (25 °C) do daljih analiza.

Za potrebe molekularnih analiza, uzimana su pojedinačna plodna tela odabranih vrsta gljiva. U slučaju vrsta sa krupnim plodnim telima, sterilnim skalpelom ili sterilnom pincetom su izdvajani komadići iz unutrašnjeg dela sporokarpa. Kod vrsta sa sitnim plodnim telima,

korišćen je ceo sporokarp sa koga su uklonjeni svi tragovi supstrata. Ovako uzorkovano tkivo je odmah deponovano u čiste epruvete sa 96% etanolom i do daljih analiza čuvano na +4°C.

4.3. Određivanje abiotičkih faktora (temperatura i vlažnost vazduha, vlažnost zemljišta, količina padavina)

Tokom svake godine istraživanja praćeni su sledeći parametri spoljašnje sredine:

- temperatura vazduha – TV (°C)
- vlažnost vazduha – VV (%)
- momentalna vlažnost zemljišta – MVZ (%)
- količina atmosferskih padavina – P (mm).

Podaci o ovim abiotičkim parametrima su dobijeni sa Instituta za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, Univerziteta u Novom Sadu, od strane stručnog lica zaduženog za merenja.

Podaci o temperaturi vazduha (merni opseg: 40 – 85 °C, osetljivost 0.1°C) i relativnoj vlažnosti vazduha (merni opseg 0 – 100 %, osetljivost 1 %) u sastojinama prikupljeni su kontinuirano na svakih sat vremena posebnim senzorima („mikroklimatske stanice“). Senzori su postavljeni na 2m visine iznad tla. Na osnovu ovih podataka je izvršena analiza srednjih dnevnih i mesečnih vrednosti. Jedini plot na kojem nije bilo zasebne mikroklimatske stanice je plot 5, za čiju analizu su korišćeni podaci sa plota 4 (usled blizine eksperimentalnih površina, sličnosti biljnih zajednica i sastava tla).

Momentalna vlažnost zemljišta (MVZ) određena je direktnim gravimetrijskim metodom (Dobriyal *i sar.*, 2012; Romano, 2014). Uzorci zemljišta su uzimani jednom mesečno, sa dubine od 10 cm, uvek sa približno istog mesta na svakom istraživanom plotu. Masa svakog uzorka (g) je merena na mestu uzorkovanja, mobilnom tehničkom vagom. U laboratoriji, zemljište je zagrevano na 105 °C do postizanja konstantne mase, a zatim ponovo mereno. Vlažnost zemljišta dobijena je kao odnos mase vode u zemljištu (m_v) i mase suvog zemljišta (m_z) i izražena je u procentima (%), po sledećoj formuli:

$$MVZ = m_v \cdot 100 / m_z$$

Podaci o atmosferskim padavinama (mesečni proseki) za istraživani period, dobijeni su od Republičkog Hidrometeorološkog Zavoda Srbije, iz stanica koje su se nalazile najbliže ispitivanim lokalitetima:

- za ispitivani lokalitet Vazganica, na Vidliču, podaci su dobijeni iz meteorološke stanice „Dimitrovgrad“ (450 mnv),
- za ispitivani lokalitet Metode, na Kopaoniku, podaci su dobijeni iz meteorološke stanice „Kopaonik“ (1711 mnv),
- za lokalitet Mitrovac, na Tari, podaci su dobijeni iz merne stanice „Zlatibor“ (1028 mnv).

4.4. Molekularne analize odabranih vrsta makrogljiva

Ispitivanje potencijalnih razlika na molekularnom nivou, među vrstama makrogljiva koje su bile prisutne u okviru više različitih eksperimentalnih plotova, izvršeno je na nivou ITS regiona ribozomalne DNK gljiva (preciznije: ITS1 - 5,8S rRNK - ITS2 region). Molekularni deo istraživanja podrazumevao je:

- izolaciju DNK,
- amplifikaciju i sekvencioniranje ITS regiona,
- poravnavanje i komparaciju dobijenih sekvenci,
- utvrđivanje razlika između ispitivanih sekvenci različitih uzoraka u okviru iste vrste,
- filogenetsku analizu svake analizirane vrste.

Navedene analize su urađene u Laboratoriji za molekularna istraživanja, Instituta za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu u Novom Sadu.

4.4.1. Izolacija DNK

Za izolaciju DNK korišćeni su sterilni isecci plodnih tela gljiva, koji su sterilnom pipetom izdvajani iz epruveta u kojima su čuvani. Iz uzoraka je izolovana genomska DNK pomoću DNeasy® Plant Mini Kit-a (Qiagen, CA, www.qiagen.com) praćenjem uputstva proizvođača. Pomenuti kit koji je namenjen izolaciji do 30 µg ukupne ćelijske DNA iz biljnih ćelija i tkiva, tokom ranijih analiza pokazao je efikasnost i u izolaciji DNK gljiva. Standardnom protokolu dodata je i jedna izmena u prvom koraku – maceracija uzorka vršena je u keramičkim avanima uz dodatak tečnog azota, radi što boljeg razaranja tkiva.

Kontrola prisustva i kvaliteta izolovane genomske DNK vršena je elektroforezom na 1,5 % agaroznom gelu, na 100 V u trajanju od 1,5 h. Nakon završene elektroforeze gel je bojen u etidium bromidu, a zatim analiziran DIAS sistemom (SERVA Electrophoresis GmbH,

Deutschland, www.serva.de), pod UV svetlom. Prisustvo DNK u dobijenom rastvoru utvrđeno je na osnovu prisustva svetlih traka u vršnom delu gela (Sl. 25).



Slika 25. Primeri elektroferograma izolovane genomske DNK

Čistoća i koncentracija izolovane DNK su određene spektrofotometrijski (BioSpec-nano Spectrophotometer, Shimadzu) merenjem apsorbanci DNK rastvora na 260 i 280nm. Čistoća DNK se određuje na osnovu odnosa očitanih apsorbanci (A_{260}/A_{280}), a u idealnom slučaju vrednosti ovog odnosa treba da se kreću u intervalu 1,8 – 2. Vrednosti ispod ili iznad ovog intervala ukazuju na nečistoće u vidu proteina i različitih ugljenih hidrata ili u vidu rezidua organskih rastvarača zaostalih u ekstraktu. Ukoliko su dobijene vrednosti manje od 1,8 u rastvoru su prisutni proteini i različiti ugljeni hidrati, koji su izolovani zajedno sa DNK. Očitavanje veće od 2,0 ukazuje na prisustvo organskih rastvarača u ekstraktu. Uzorci kod kojih je ovaj parametar odstupao od idealnih vrednosti prečišćeni su uz pomoć QIAquick PCR Purification Kit-a (Qiagen, CA, www.qiagen.com), po protokolu koji je dat od strane proizvođača. Količina dobijene DNK u $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ izračunava se formulom ($A_{260} \times 50 \times \text{faktor razblaženja}$) $\times 50 \mu\text{g}/\text{ml} / 1000$. Pri apsorpciji od 1,0 na 260 nm količina DNK je $50 \mu\text{g}/\text{ml}$.

4.4.2. PCR amplifikacija ITS regiona

Za PCR amplifikaciju ITS regiona ispitivane DNK korišćeni su ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') i ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') prajmeri (White *i sar.*, 1990). Amplifikacija je rađena u Thermal cycler-u (Eppendorf, Germany, <http://www.eppendorf.com>), a program PCR reakcije dat je u tabeli 2. PCR reakcija, ukupne zapremine 25 μl , se odvijala u PCR tubicama od 200 μl . Protocol za PCR reakciju sadržao je sledeće komponente: 10 $\text{ng}/\mu\text{l}$ DNK matrice (uzorak), 400 mM oba prajmera, 2,5 mM MgCl_2 , 200 mM dNTPs, 1x PCR puffer, 2,5 jedinica Taq polimeraze (Fermentas, <http://www.fermentas.com>).

Tabela 2. Program PCR reakcije

Faze reakcije	Temperatura (°C)	Vreme trajanja	Broj ponavljanja faza PCR ciklusa
1. Inicijalna denaturacija	94	1 min 25 sek	13 puta
2. Denaturacija	95	35 sek	
3. Aniling	55	55 sek	
4. Izduživanje	72	45 sek	
5. Denaturacija	95	35 sek	13 puta
6. Aniling	55	55 sek	
7. Izduživanje	72	2 min	
8. Denaturacija	95	55 sek	9 puta
9. Aniling	55	55 sek	
10. Izduživanje	72	3 min	
11. Finalno izduživanje	72	10 min	1 put
12.	4	HOLD	

Da bi se proverila uspešnost PCR reakcije rađena je separacija produkata elektroforetski na 2% agaroznom gelu (2% agarose, 0,5xTBE buffer) bojenim EtBr (Ethidium bromide) uz marker GeneRuler™ 50 bp DNA Ladder (Fermentas, <http://www.fermentas.com>). Elektroforetsko razdvajanje vršeno je u 0,5xTBE buffer-u u trajanju od 45 minuta pri konstantnoj jačini struje od 80V. Vizuelizacija je izvršena DIAS sistemom (SERVA Electrophoresis GmbH, Deutschland, [www.servade](http://www.servade.com)), pod UV svetlom (Elektroferogram – PCR).

4.4.3. Priprema PCR produkata za sekvencioniranje

PCR produkti za sekvenciranje uzimaju se direktno sa gela tako što se pod kratkom ekspozicijom UV zraka (radi vizualizacije DNK) isecaju delovi gela u kojima se nalazi DNK. Komadići gela koji sadrže PCR produkte prebačeni su u 1,5 ml mikropruvete (Eppendorf), gde su zatim prečišćeni pomoću QIAquick Gel Extraction Kit-a, praćenjem uputstva proizvođača (Qiagen, www.qiagen.com). Koncentracija prečišćene DNK je određena spektrofotometrijski, a uzorci kvantifikovani na 5 ng/μl. Uzorci su sekvencionirani u oba smera (forward, reverse) na DNK sekvenceru ABI3730xl DNA Analyzer, Applied Biosystems, (<http://www.appliedbiosystems.com/>) u Institutu za molekularnu medicinu u Finskoj (FIMM - <https://www.fimm.fi/>), metodom kapilarne elektroforeze.

4.4.4. Komparativna analiza dobijenih ITS sekvenci

Nakon sekvencioniranja ITS regiona, pristupljeno je analizi dobijenih sekvenci čiji su fragmenti bili dužine preko 500bp. Svaka sekvenca je putem BLAST algoritma (eng. *Basic Local Alignment Search Tool*, <http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) upoređena sa sekvencama iz NCBI banke gena (GenBank: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>) i UNITE baze podataka (<https://unite.ut.ee/index.php/>), što je omogućilo proveru identifikacije vrsta, prethodno izvršene na makromorfološkom nivou, kao i komparaciju ispitivanih sekvenci sa drugim dostupnim sekvencama. BLAST pronalazi regione lokalne sličnosti između sekvenci. On poredi nukleotidne ili proteinske sekvence sa sekvencama iz dostupnih baza podataka i izračunava statističku značajnost među njima. BLAST se može koristiti za utvrđivanje funkcionalnih i evolutivnih veza između sekvenci, kao i za identifikaciju.

Banka gena „GenBank®“ predstavlja bazu podataka svih javno dostupnih genetskih sekvenci za preko 380 000 različitih organizama, koja je rezultat međunarodne saradnje različitih baza koje raspolažu podacima o nukleotidnim sekvencama (International Nucleotide Sequence Database Collaboration). Čine je tri organizacije koje svakodnevno razmenjuju podatke: GenBanka Nacionalnog centra za biotehnoške informacije (NCBI - *National Coalition Building Institute*), DNK banka podataka Japana (DDBJ) i Evropski nukleotidni arhiv (ENA). GenBank bazi podataka se može pristupiti putem BLAST pretraživača, direktno preko internet pretraživača ili posredstvom nekog od specijalizovanih softvera kao što su MEGA6 (www.megasoftware.net) ili FinchTV (www.geospiza.com). UNITE predstavlja još jednu javno dostupnu bazu podataka, ali za razliku od GenBank baze, isključivo sekvenci koje pripadaju gljivama. UNITE baza je prvobitno kreirana za potrebe molekularne identifikacije ektomikoriznih gljiva, a zatim je proširena i na gljive koje pripadaju drugim ekološkim grupama. Ona prvenstveno sadrži sekvence vrsta iz validno determinisanih herbarskih uzoraka koji poseduju kompletne podatke (herbarski referentni broj, podatak o legatoru/determinatoru, lokalitetu i relevantne ekološke podatke). UNITE trenutno sadrži 817 130 ITS sekvenci iz 87 551 vrsta gljiva (<https://unite.ut.ee/index.php/>). Ovoj bazi se pristupa direktno preko internet pretraživača (<http://unite.zbi.ee>), a može se pretraživati po nazivu taksona, putem sličnosti sekvenci koristeći Blastn ili putem Galaxy bioinformatičke platforme.

Nakon izlistavanja javno dostupnih sekvenci iz GenBank i Unite baze koje su najbližije sekvencama generisanim istraživanjima ove doktorske teze, za potrebe komparativne analize odabrane su sve sekvence koje su pokazale minimum 97% sličnosti. Ovakva granična

vrednost (eng. *cut-off value*) u sličnosti sekvenci se rutinski koristi u istraživanjima fungalnih zajednica kao pokazatelj (eng. *proxy*) za istu vrstu, uzimajući u obzir intraspecijske varijabilnosti i moguće greške tokom PCR-a (Bjorbækmo *i sar.*, 2010; Geml *i sar.*, 2009, 2010, 2012; Higgins *i sar.*, 2007; Nilsson *i sar.*, 2011). Komparativna analiza sekvenci u okviru vrste, podrazumevala je najpre njihovo poravnavanje a zatim utvrđivanje polimorfizama i genetičkih distanci.

Za poravnavanje sekvenci korišćen je ClastalW algoritam u okviru MEGA6 softvera (Tamura *i sar.*, 2013), prilikom izračunavanja genetskih distanci. Navedeni algoritam prvo poravnava najbližnje sekvence a zatim udaljenije grupe sekvenci, sve dok ne postigne globalno poravnanje (Higgins *i sar.*, 1994). ClastalW algoritam prepoznaje konzervisane regione u genomu, preraspodele i inverzije u istim i precizno identifikuje mesta takvih preraspodela u genomima, što omogućava jednostavno utvrđivanje mutacija po kojima se sekvence pojedinih uzoraka iste vrste razlikuju (Higgins *i sar.*, 1994). Rezultati poravnavanja su prikazani u vidu horizontalnih panela u kojima se nalazi po jedna sekvenca ITS regiona predstavljena u vidu blokova različitih boja i tačkica u okviru njih. Ove tačkice predstavljaju region analizirane sekvence, koji je poravnat sa identičnim delom ostalih analiziranih sekvenci, tj. prikazuje delove različitih ispitivanih sekvenci koji su međusobno homologni. Indeli su prikazani crticama, dok su supstitucije prikazane obeležjem (slovom) odgovarajuće nukleotidne baze. U panelima se takođe nalaze nazivi i koordinate sekvenci.

Sve sekvence koje su obuhvaćene ovom disertacijom, a odgovarale su standardima NCBI banke gena, deponovane su u okviru banke gena (GenBank baze), a njihove šifre date su u sklopu Tab. 12, u okviru potpoglavlja 5.3., str. 21.

4.4.5. Filogenetska analiza i konstrukcija dendograma

Program MEGA6 je korišćen i za utvrđivanje filogenetske sličnosti između sekvenciranih ITS regiona. Za svaku analiziranu vrstu gljive konstruisano je filogenetsko stablo na osnovu razlika između sekvenci dobijenih ovim istraživanjem i odabranih sekvenci iz GenBank ili UNITE baze, sličnosti preko 97%. Ovakva granična vrednost (97% “cut-off value”) u sličnosti sekvenci se rutinski koristi u istraživanjima fungalnih zajednica kao pokazatelj (“proxy”) za istu vrstu, uzimajući u obzir intraspecijske varijabilnosti i moguće greške tokom PCR-a (Geml *i sar.*, 2009, 2010, 2012; Higgins *i sar.*, 2007; Nilsson *i sar.*, 2011).

Pri konstruisanju dendrograma korišćen je Neighbor-Joining metod, Bootstrap metod sa 1000 replikacija i grananje (eng. *rooting*), na osnovu čega su analizirane sekvence razvrstane u klastere.

Najčešći metod za rutovanje stabla je upotreba jedne ili nekoliko kontrola u vidu tzv. spoljne grupe (eng. *outgroup*). Kao takva kontrola koristi se vrsta koja je sa jedne strane dovoljno bliska analiziranim vrstama da omogući zaključivanje na osnovu dobijenih podataka tj. sekvenci, a sa druge strane dovoljno udaljena da predstavlja jasnu spoljnu tj. različitu grupu. U Tab. 3 su navedene kontrole korišćene pri konstruisanju filogenetskih stabala za svaku analiziranu vrstu gljive.

Tabela 3. Analizirane vrste gljiva i odgovarajuće kontrole korišćene pri konstrukciji filogenetskih stabala

R.br.	Analizirane vrste gljiva	Kontrola (“ <i>outgroup</i> ”) i njen identifikacioni broj u GenBank / UNITE bazi
1.	<i>Cerioporus varius</i>	<i>Polyporus tuberaster</i> (GenBank: MG735335) <i>Trametes versicolor</i> (GenBank: KF054739)
2.	<i>Fomitopsis pinicola</i>	<i>Antrodia malicola</i> (GenBank: KC585286) <i>Melanoporia nigra</i> (GenBank: KC585356)
3.	<i>Ganoderma applanatum</i>	<i>Polyporus tuberaster</i> (GenBank: MG735335) <i>Trametes versicolor</i> (GenBank: KF054739)
4.	<i>Hymenopellis radicata</i>	<i>Gloiocephala aquatica</i> (GenBank: DQ097356) <i>Strobilurus stephanocystis</i> (Unite: UDB011403) <i>Rhodotus palmatus</i> (GenBank: MG748585)
5.	<i>Mycena pura</i> <i>Mycena pelianthina</i>	<i>Mycena zephirus</i> (GenBank: JF908461) <i>Mycena rubromarginata</i> (GenBank: JF908430) <i>Panellus stipticus</i> (GenBank: FJ481038)
6.	<i>Mycetinis alliaceus</i>	<i>Gymnopus gibbosus</i> (GenBank: MF100978) <i>Mycetinis scorodonius</i> (GenBank: KY696727)
7.	<i>Phallus impudicus</i>	<i>Clathrus archeri</i> (GenBank: MH380189) <i>Aseroe arachnoidea</i> (GenBank: KJ764820)

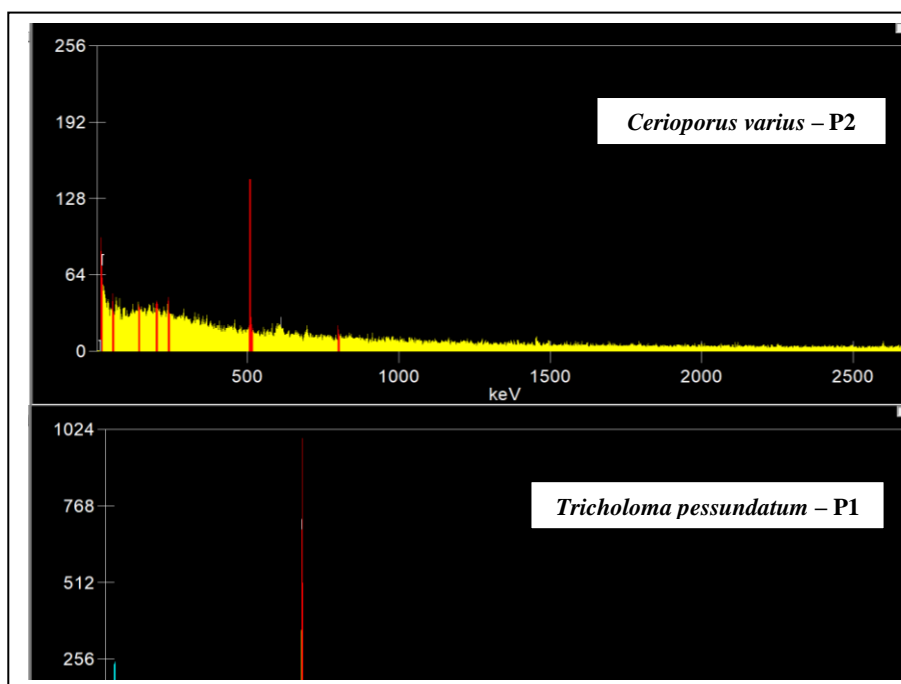
4.5. Određivanje sadržaja radionuklida gama - spektrometrijskom metodom

U cilju ispitivanja sposobnosti usvajanja i akumulacije radionuklida, u odabranim vrstama makrogljiva šumskih ekosistema i njihovom supstratu vršena je analiza sadržaja sledećih radionuklida: cezijuma ^{137}Cs antropogenog porekla i prirodnih radionuklida kalijuma ^{40}K , radijuma ^{226}Ra i torijuma ^{232}Th . Koncentracije aktivnosti radionuklida gama emitera određene su nisko-fonskim gama-spektrometrijskim sistemom, a dobijene vrednosti su izražene kao aktivnost radionuklida po jedinici mase suve materije uzorka (Bq kg^{-1}).

4.5.1. Gamaspektrometrijska očitavanja

Pripremljeni uzorci gljiva i supstrata upakovani su u plastične merne posude cilindrične geometrije (dimenzija 60×72 mm – dve kutije ili 30×72 mm – jedna kutija). Mase ispitivanih vrsta gljiva su varirale u zavisnosti od njihove dostupnosti tokom uzorkovanja, a tipična masa uzorka iznosila je oko 100 g. Merenje je vršeno poluprovodničkim germanijumskim detektorom, visoke čistoće i visoke rezolucije (HPGe), u trajanju od 70 000 s. Korišćeni detektor marke ORTEC je GMX tipa sa proširenim opsegom merenja (10 keV do 3 MeV), nominalne efikasnosti od 32% i rezolucije od 1,9 keV. Detektor je zaštićen cilindričnim olovnim štitom debljine 12 cm.

Validnost i kvalitet rezultata u svim gamaspektrometrijskim merenjima obezbeđena je upotrebom ISO 9001 sertifikovanog softvera za prikupljanje i analizu gama spektara GENIE2000 (GENIE 2000 Gamma Acquisition & Analysis Software, proizvođača Canberra Industries, Inc.) (Sl. 26), kao i sertifikovanim referentnim izvorom za kalibraciju efikasnosti detektora (proizveden od strane Češkog meteorološkog Instituta). Ovaj standard ima cilindričnu geometriju zapremine 250 cm^3 , sa gustinom od $0,985 \text{ g/cm}^3$ i poznatim matriksom smole sa sledećim odnosom masa: C, 0,321; H, 0,080; O, 0,214; Si, 0,375; S, 0,01. Korekcije geometrije i matriksa su izvršene uz pomoć ANGLE softvera za izračunavanje efikasnosti poluprovodničkih detektora (ANGLE verzija 3, Semiconductor Detector efficiency Calculations) u zavisnosti od različitih visina izmerenih uzoraka (koja se kretala u rasponu od 1 do 60 mm), kao i organskog sastava uzoraka.



Slika 26. Gama spektri vrsta *Cerioporus varius* i *Tricholoma pessundatum*

4.5.2. Izračunavanje transfer faktora

Transfer faktor (TF) predstavlja odnos između koncentracije radionuklida u plodnom telu gljive i njenom supstratu (Muramatsu *i sar.*, 1994). TF su izračunati za sve uzorke gljiva uz koje su bili dostupni i odgovarajući uzorci supstrata (TF_Z: transfer zemljište – gljiva, TF_D: transfer drvo – gljiva).

4.6. Određivanje sadržaja makro- i mikroelemenata atomskom apsorpcionom spektrofotometrijom (AAS)

Sadržaj odabranih makroelemenata (K, Mg) i mikroelemenata (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Mn, Fe, Zn) u makrogljivama i njihovom supstratu određen je plamenom tehnikom na atomskom apsorpcionom spektrofotometru, modelu FS AAS240/GTA120, Varian, po standardnoj metod Varian-a (Arsenijević-Maksimović i Pajević, 2002).

Sadržaj elemenata je određen iz matičnih rastvora dobijenih digestijom, odnosno mokrim putem mineralizacije. Matični rastvor predstavlja rastvor mineralnog dela prirodnog materijala (gljive) poznate početne mase. Priprema matičnih rastvorapodrazumeva odstranjivanje (razaranje, mineralizacija) organske materije iz uzorka pod povišenim temperaturama i pritiskom u zatvorenim teflonskim sudovima, gde je sam proces potpomognut aplikacijom mikrotalasa snage 900 W.

4.6.1. Priprema matičnih rastvora

Matični rastvori plodnih tela makrogljiva su pripremani mikrotalasn timer digestijom tako što je u kivete odmereno po 0,3 g osušenog i samlevenog materijala plodnog tela, odnosno po 1 g vazdušno - suvog zemljišta, a zatim je automatskom pipetom dodato po 10 ml ccHNO₃ i 2 ml ccH₂O₂. Kivete su zatvorene odgovarajućim poklopcem, stavljene u omotače, te zaptivane prstenom i zaključavane imbus torzionim zavrtnjem momenta sile 10 Nm, kako bi se u svakoj kiveti uspostavio isti pritisak. Kivete su, zaštićene segmentima, postavljene u rotor unutar peći koja je podešena na temperaturni program prikazan u Tab. 4. Rotor, segmenti i sami sudovi kao i poklopci za uzorke unutar mikrotalassne peći su napravljeni od PTFE (politetrafluoroetilen, TEFLON™).

Tabela 4. Temperaturni program mikrotalasne peći

t [min]	T [°C]	E [W]
10	180	900
10	180	900
15	Ventilacija	

Referentna temperaturna sonda je postavljena u najreaktivniji uzorak, pri čemu su svi uzorci bili iste vrste i zapremine, kako bi protok mikrotalasa bio ravnomeran kroz sve sudove. Primenjena energij mikrotalasa se može modifikovati u zavisnosti od broja uzoraka koji se istovremeno obrađuju. Digerovani materijal je iz ohlađenih kiveta kvantitativno prenet i profiltriran kroz plavu hartiju u normalni sud od 50 ml, a zatim je dopunjen destilovanom vodom do crte.

4.6.2. Merenje sadržaja makro- i mikroelemenata u matičnim rastvorima

Sadržaj metala u plodnim telima gljiva i odgovarajućim supstratima određen je na atomskom apsorpcionom spektrofotometru proizvođača Varian, konfiguracije FSAAS240/GTA120/VGA77. Svi metali su određeni plamenom tehnikom u režimu apsorpcije, u modu integracije u tri ponavljanja, sa vremenom čitanja i odlaganja čitanja od po 10 s po ponavljanju i brzinom aspiriranja uzorka u raspršivač između 5 i 10 ml/min. Svi metali su atomizirani u oksidujućem svetlo-plavom plamenu smeše komprimovanog vazduha (13,5 l/min) i acetilena (2 l/min) kao goriva, i određeni na talasnim dužinama i otvorima monohromatora, koji su bili specifični za svaki metal i koji su preporučeni prema tzv. cookbook-u koji se nalazi u elektronskom manuelu samog proizvođača aparata.

Za izračunavanje rezultata, korišćena je sledeća formula:

$$C_m = \frac{C_u - C_{sp}}{100} \cdot \frac{1000}{m_u}$$

Pri čemu su: C_m - koncentracija metala u uzorku (mg kg^{-1})

C_u - očitana koncentracija metala u uzorku (mg l^{-1})

C_{sp} - očitana koncentracija metala u slepoj probi (mg l^{-1})

m_u - odvaga uzorka (g)

Dobijene vrednosti za količine analiziranih elemenata su izražene u mg kg^{-1} suve mase (s.m.) gljiva.

4.7. Statistička obrada podataka

Dobijeni podaci o brojnosti makrogljiva, uticaju abiotičkih faktora, sadržaju radionuklida, makro- i mikroelemenata, obrađeni su statistički pomoću sledećih programskih paketa: Microsoft Excel i XLStat. Primenjene su sledeće statističke analize: korelaciona analiza, analiza osnovnih komponenata (PCA), analiza parcijalnih projekcija najmanjih kvadrata (PLS), korespondentna analiza (CA), kanonska korespondentna analiza (CCA) i klaster analiza (Joining clustering method - tree clustering - single linkage, Euclidean distances). Za analizu statistički značajnih razlika u usvajanju metala među različitim grupama makrogljiva, korišćen je Tukey test višestrukog poređenja (eng. *multiple comparison*) (https://astatsa.com/OneWay_Anova_with_TukeyHSD/).

Za potrebe uporedne analize sličnosti mikocenoza između različitih eksperimentalnih površina korišćeni su *Žakardov indeks* i *Sorensenov indeks* (Mueller *i sar.*, 2004), koji predstavljaju indekse sličnosti koji za poređenje 2 staništa koriste podatke o prisustvu/odsustvu vrsta određene grupe organizama (u ovom slučaju gljiva), a rezultat je predstavljen u opsegu vrednosti od 0 (nema sličnih vrsta) do 1 (sve vrste su iste). Sličnost među setovima ispitivanih zajednica se može izraziti i u procentima (%) ukoliko se vrednosti dobijenih indeksa pomnoži sa 100 (Roberts *i sar.*, 2004).

Formula za izračunavanje *Žakardovog indeksa*:

$$J_i = z / a + b - z$$

Formula za izračunavanje *Sorensenovog indeksa*:

$$S_i = 2z / a + b$$

pri čemu je z – broj vrsta koje su zajedničke za dva upoređena staništa, a – ukupan broj vrsta na staništu A, b – ukupan broj vrsta na staništu B.

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1. Istraživanje mikodiverziteta kao pokazatelj stanja specifičnih šumskih zajednica

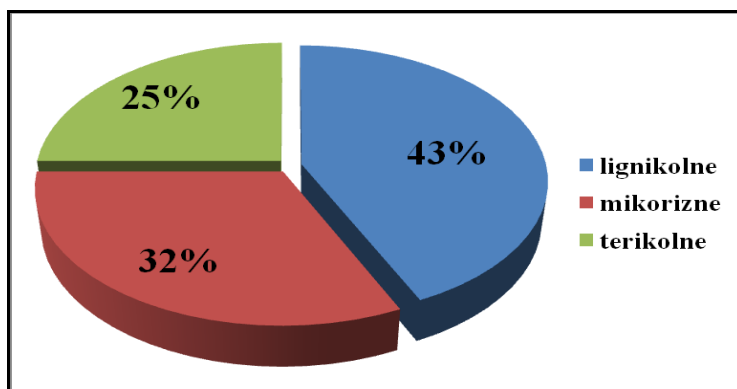
5.1.1. Pregled ukupnog diverziteta makrogljiva

Tokom trogodišnjeg (2011 – 2013.) mikocenološkog istraživanja, kojim su obuhvaćena tri planinska lokaliteta (Vidlič, Kopaonik i Tara) sa ukupno četiri različite šumske zajednice, uzorkovano je i analizirano ukupno 435 plodnih tela različitih vrsta makrogljiva.

Morfološkom analizom, identifikovano je ukupno 245 taksona, 160 do nivoa vrste i 85 do nivoa roda, pri čemu deo uzoraka nije bilo moguće identifikovati, prvenstveno zbog lošeg stanja sporokarpa (osušena ili raspala plodna tela zbog brzog propadanja).

Većina evidentiranih taksona pripada ph. Basidiomycota (227, 93%), dok svega 7% (18 taksona) pripada ph. Ascomycota. Identifikovane makrogljive su dalje razvrstane u okviru 100 rodova, 53 familija, 16 redova i 5 klasa. U okviru Priloga 8.1. prikazana je lista svih registrovanih vrsta makrogljiva sa podacima o funkcionalnoj (ekološkoj) grupi kojoj pripadaju, distribuciji u okviru analiziranih plotova, periodu i frekvenci pojavljivanja tokom istraživanog perioda. Najzastupljeniji rodovi su sledeći: *Mycena* (43) i *Russula* (34), čiji predstavnici čine 31% ukupnog diverziteta. Veoma slične rezultate dobili su Roberts *i sar.* (2004), u čijem su višegodišnjem istraživanju mikodiverziteta 5 različitih staništa u Kanadi, najzastupljeniji bili rodovi *Cortinarius*, *Mycena* i *Russula*. U mnogim mikocenološkim radovima *Russula* i *Mycena* spadaju među najzastupljenije rodove (Li *i sar.*, 2018; Kutszegi *i sar.*, 2015a).

Prema podeli koja se najčešće koristi u mikocenološkim istraživanjima makrogljiva šumskih staništa (Winterhoff, 1992; Kutszegi *i sar.* 2015), identifikovane vrste gljiva grupisane su u okviru tri funkcionalne grupe: lignikolne (104 vrste, 43 %), mikorizne (79 vrsta, 32 %) i terikolni saprotrofi (62 vrsta, 25 %) (Graf. 4). Zastupljenost i sastav vrsta svake funkcionalne grupe su detaljnije obrađene u okviru analize pojedinačnih šumskih zajednica (poglavlja 5.1.3. i 5.1.4.) i uticaja abiotičkih faktora (poglavlje 5.2.) na posmatrane mikocenoze (mikozaednice koje se razvijaju u okviru određenih staništa) (Arnolds, 1981, 1988).



Grafikon 4. Zastupljenost različitih funkcionalnih grupa u ukupnom broju evidentiranih taksona

Ukupna brojnost taksona

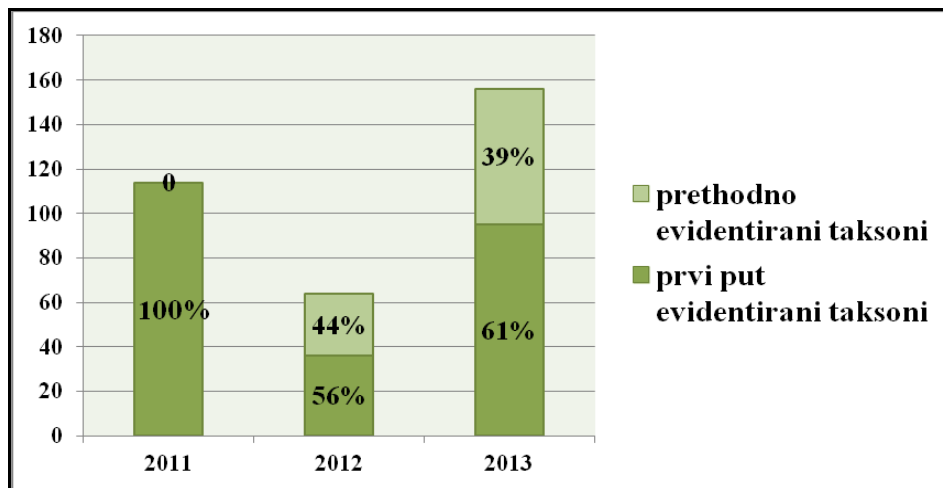
Ukoliko se posmatra brojnost taksona tokom svake pojedinačne istraživačke godine, zapažaju se razlike kako u ukupnom broju evidentiranih makrogljiva za svaku godinu, tako i u odnosu taksona prvi put evidentiranih date godine i taksona koji su već zabeleženi prethodnih godina istraživačkog perioda (Graf. 5). Tako je tokom prve godine istraživanja zabeleženo ukupno 114 taksona, druge godine je utvrđeno svega 64 taksona, od toga 36 novih i 28 taksona koji su bili prisutni i prethodne godine, dok je poslednje godine od ukupno 156 taksona, bilo čak 95 koji su predstavljali nove nalaze i 61 takson prisutan i tokom prve dve godine istraživanja. Značajan pad ukupnog broja taksona u drugoj godini može se dovesti u vezu sa činjenicom da je to bila jedina godina sa tri izlaska na teren (izostao IX mesec), u odnosu na prvu i poslednju godinu, 2011. i 2013. u kojima je bilo po 4 terenska izlaska.

Egli *i sar.* (1997) su ispitali uticaj frekvence istraživanja na broj vrsta gljiva zabeleženih godišnje i utvrdili su da terenska istraživanja na mesečnom nivou umanjuju broj evidentiranih vrsta za 31% u odnosu na istraživanja sprovedena na nedeljnom nivou. Ukoliko se taj podatak ekstrapolira na rezultate ove teze, može se zaključiti da bi istraživanje na nedeljnom nivou rezultovalo ukupnim brojem od 321 vrste (za razliku od 245 taksona evidentiranih istraživanjem na mesečnom nivou).

Tokom druge i treće istraživačke godine, udeo vrsta koje su prvi put ustanovljene (tokom istraživačkog perioda) u ukupnom broju evidentiranih taksona je veći u odnosu na ranije zabeležene vrste i očekivano raste (Graf. 5). Mikocenološko istraživanje koje je trajalo 21 god. (u periodu 1975 - 1999. god.), sprovedeno u mešovitom šumskom staništu Švajcarske, pokazalo je da ni toliko dug istraživački period ne daje dovoljno dobre podatke o

celokupnom spektru mikodiverziteta i da bi ukupan broj otkrivenih vrsta tokom daljeg istraživanja najverovatnije i dalje rastao (Straatsma *i sar.*, 2001).

Tendencija stalnog porasta broja novih vrsta zabeležen je i u drugim dugoročnim mikološkim istraživanjima (Watling 1995; Tofts i Orton 1998; Roberts *i sar.*, 2004). Uzrok tome je činjenica da se makrogljive značajno razlikuju po karakteristikama plodonošenja – od onih koje formiraju plodna tela svake godine, do vrsta koje se javljaju jednom u nekoliko godina (O'Hanlon, 2012). Pored toga, postoje i vrste koje su „prolazne“ – plodonose tokom nekoliko godina, a zatim nestanu sa plota ili pak njihova micelijska biomasa i količina resursa koje koriste variraju tokom godina, nezavisno od nivoa produktivnosti (količine plodnih tela koje formiraju) (Straatsma *i sar.* 2001).



Grafikon 5. Prikaz akumulacije vrsta tokom istraživačkog perioda - odnos broja taksona koji su prvi put evidentirani i onih koji su već prethodno zabeleženi

Zastupljenost vrsta po godinama istraživanja

Od ukupno 245 identifikovanih taksona, samo 10% (24 taksona) je bilo prisutno svake godine, dok se većina (179, 73%) pojavljuje samo tokom jedne istraživačke godine (Prilog 8.1). Ovakav odnos višegodišnje zastupljenosti različitih makrogljiva zabeležen je i u drugim studijama (Roberts *i sar.*, 2004). Ukupno 20 vrsta je bilo prisutno **tokom sve tri istraživačke godine** (Tab. 5), dok se 13 vrsta javilo **tokom više terenskih izlazaka** ali samo **u okviru jedne istraživačke godine** (Tab. 6).

Tabela 5. Vrste prisutne svake godine tokom trogodišnjeg istraživačkog perioda

Vrsta	Plot	Reference*
<i>Amanita battarrae</i>	P3	/
<i>Bjerkandera adusta</i>	P4	/
<i>Caloboletus calopus</i>	P4	/
<i>Cerioporus varius</i>	P1, P3	/
<i>Coprinellus xanthotrics</i>	P1	/
<i>Fomitopsis pinicola</i>	P4, P5	(Roberts <i>i sar.</i> , 2004)
<i>Ganoderma applanatum</i>	P4	/
<i>Gymnopus foetidus</i>	P1	/
<i>Hymenopellis radicata</i>	P1	/
<i>Hypholoma fasciculare</i>	P1	(Roberts <i>i sar.</i> , 2004)
<i>Marasmius bulliardii</i>	P1	/
<i>Megacollybia platyphylla</i>	P1	/
<i>Mycena pura</i>	P2	(Straatsma <i>i sar.</i> , 2001; Roberts <i>i sar.</i> , 2004)
<i>Mycena vitilis</i>	P4	/
<i>Mycetinis alliaceus</i>	P4, P5	/
<i>Phallus impudicus</i>	P1	/
<i>Stereum hirsutum</i>	P1	/
<i>Trametes versicolor</i>	P1	/
<i>Vibrissea truncorum</i>	P4	/
<i>Xylaria hypoxylon</i>	P4	/

*isti ili sličan rezultat za datu vrstu u drugim istraživanjima

Tabela 6. Vrste prisutne više puta tokom jedne istraživačke godine

Vrsta	Plot i godina pojavljivanja
<i>Neobulgaria pura</i>	P4, P5 (2013.)
<i>Xylaria carpophila</i>	P1, P4 (2013.)
<i>Boletus edulis</i>	P4 (2013.)
<i>Cantharellus cibarius</i>	P2, P3, P4, P5 (2011.)
<i>Cortinarius evernius</i>	P4 (2011.)
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	P4 (2013.)
<i>Hydnum repandum</i>	P2, P5 (2011.)
<i>Lycoperdon perlatum</i>	P2, P3, P5 (2013.)
<i>Micromphale perforans</i>	P4, P5 (2011)
<i>Mycena acicula</i>	P1, P4 (2013.)
<i>Mycetinis scorodoni</i>	P2, P5 (2011.)
<i>Porphyrellus porphyrosporus</i>	P3, P5 (2013.)
<i>Tricholomopsis rutilan</i>	P2 (2013.)

Frekvencija pojavljivanja vrsta

Frekvencija pojavljivanja (FP) označava koliko je puta neki takson zabeležen tokom celokupnog perioda istraživanja, pri čemu je FP različitih makrogljiva u okviru trogodišnjeg istraživačkog perioda, varirala među različitim taksonima (Tab. 7). Većina zabeleženih makrogljiva (165) pojavila se samo jednom. Svega 1/3 taksona (njih 80) imala je veću frekvenciju pojavljivanja, pri čemu je najviše onih koji su evidentirani 2 ili 3 puta, a najmanje onih koji su se pojavili više od 10 puta. Iz Tabele 5 jasno se uočava tendencija opadanja broja vrsta sa porastom frekvencije pojavljivanja, što je utvrđeno i istraživanjima drugih autora (Collins & Benning 1996; Straatsma i ostali 2001).

Sledeće vrste istakle su se sa izrazito visokom frekvencijom pojavljivanja: *Ceriporus varius* (FP - 19), *Mycetinis alliaceus* (FP - 14), *Ganoderma applanatum* (FP - 13), *Hymenopellis radicata* (FP - 13), *Fomitopsis pinicola* (FP - 12), *Mycena pura* (FP - 11), *Hypholoma fasciculare* (FP - 10). Većina ovih vrsta su predstavnici lignikolne grupe, kod kojih se očekuje manja uslovljenost faktorima sredine, s obzirom na miceliju koja je povezana sa biljkom domaćinom, usled čega je zaštićenija, a nutritivne materije su joj dostupnije.

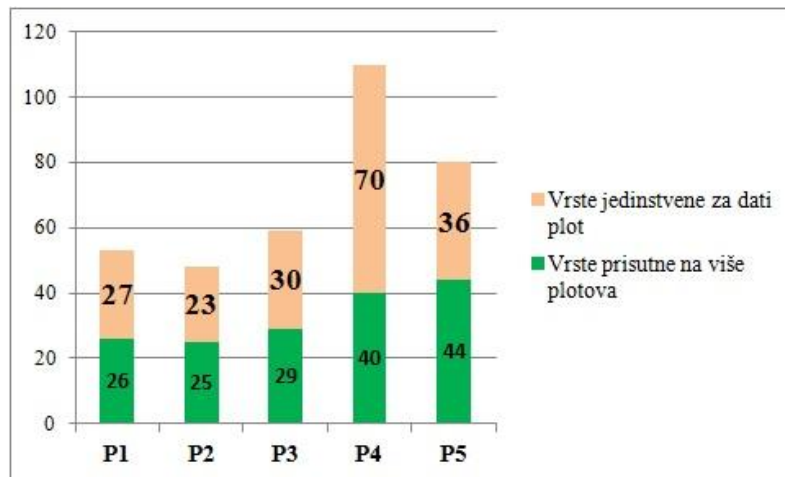
Tabela 7. Utvrđene frekvencije pojavljivanja (FP) različitih makrogljiva

FP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	19
Broj vrsta sa odgovarajućom FP	165	23	21	8	4	6	4	5	2	1	1	1	2	1	1

Prostorna distribucija vrsta

Većina identifikovanih taksona (186) evidentirana je isključivo na jednoj od pet istraživanih eksperimentalnih površina, što ukazuje na to da je mnogo veći procenat (76%) makrogljiva koje se odlikuju manjom prostornom distribucijom (Graf. 6).

Velika zastupljenost takvih vrsta je utvrđena i u nekoliko drugih studija mikodiverziteta (Roberts *i sar.*, 2004; Zhang *i sar.*, 2010). Među njima su, prema plotovima prisutne: 27 taksona samo na P1 (51% od ukupno 53), 23 taksona samo na P2 (48%), 30 taksona samo na P3 (51% od ukupno 59), 70 samo na P4 (64% od ukupno 110) i 36 taksona koji su bili prisutni samo na P5 (45% od ukupno 80).



Grafikon 6. Brojnost vrsta sa različitom prostornom distribucijom u okviru istraživanih plotova

Svega 19% makrogljiva (47 vrsta) je registrovana u okviru više različitih šumskih zajednica, što ukazuje na veću sposobnost distribucije, kao i veću prilagođenost na različita staništa. Među njima se posebno izdvaja 13 vrsta koje su bile zastupljene na svakoj od istraživanih planina (Tab. 8), među kojima se nalaze i tri vrste prisutne na svakoj od ispitivanih eksperimentalnih površina (P1 – P5).

Tabela 8. Vrste sa najvećom prostornom distribucijom

Vrsta	Reference*
Vrste zastupljene na sve tri istraživane planine	
<i>Bjerkandera adusta</i>	
<i>Calocera viscosa</i>	
<i>Cantharellus cibarius</i>	(Zotti i Zappatore 2006)
<i>Cerioporus varius</i>	
<i>Gymnopus androsaceus</i>	
<i>Gymnopus dryophilus</i>	
<i>Hymenopellis radicata</i>	
<i>Lycoperdon perlatum</i>	
<i>Mycena sanguinolenta</i>	(Roberts <i>i sar.</i> 2004)
<i>Pluteus cervinus</i>	(Zotti i Zappatore 2006)
Vrste zastupljene na svih pet istraživanih plotova	
<i>Hypholoma fasciculare</i>	(Roberts <i>i sar.</i> 2004; O’Hanlon i Harrington 2012; Zotti i Zappatore 2006)
<i>Mycena galericulata</i>	(Roberts <i>i sar.</i> 2004)
<i>Mycena pura</i>	(Roberts <i>i sar.</i> 2004)

*isti ili sličan rezultat za datu vrstu u drugim istraživanjima

U pitanju su vrste koje nemaju striktno ograničenje u odnosu na supstrat ili biljnog partnera/domaćina. Ovakavi rezultati su u saglasnosti sa istraživanjima drugih autora (Simmel 2016).

5.1.2. Usporedna analiza šumskih staništa na osnovu broja i sastava taksona u sklopu mikocenoza

Pregledom postojeće literature koja se odnosi na mikološka istraživanja planinskih, šumskih ekosistema na teritoriji Republike Srbije, utvrđeno je samo nekoliko objavljenih radova o raznovrsnosti gljiva na Kopaoniku (Tortić, 1979; Karadžić, 1989; Ivančević, 1996) i Tari (Čolić, 1967), dok za područje Vidliča ne postoje literaturni podaci.

U poređenju sa listom gljiva Kopaonika (180 vrsta - Ivančević, 1996) rezultati ove doktorske disertacije dali su 6 novih vrsta za ovu planinu:

1. *Amanita battarrae* (Boud.) Bon
2. *Bjerkandera adusta* (Willd.) P. Karst.
3. *Cortinarius collinitus* (Sowerby) Gray
4. *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer
5. *Gymnopus dryophilus* (Bull.) Murrill
6. *Mycena galericulata* (Scop.) Gray

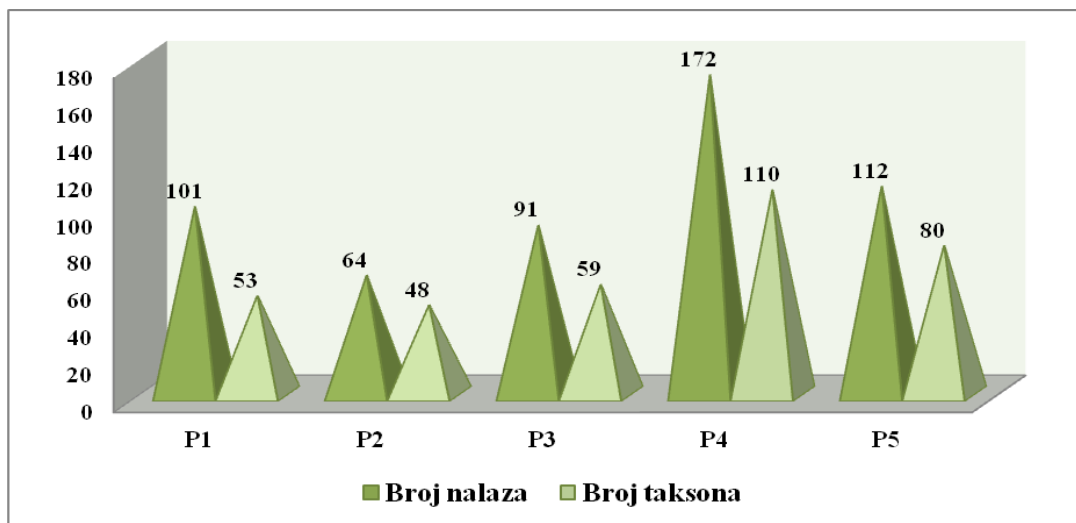
Poseban značaj ovog istraživanja je i u tome što lokalitet Metode predstavlja jedan od najznačajnijih rezervata prirode na Kopaoniku (I stepen zaštite), sa prisustvom velikog broja različitih šumskih zajednica smrče i bukve, uključujući i čitav niz reliktnih i retkih vrsta (Ostojić *i sar.*, 2018).

Jedina prethodno objavljena mikološka studija sa planine Tare (Čolić, 1968), obrađuje lokalitet Crveni potok u okviru kojeg se nalazi eksperimentalna površina P5. U poređenju sa tim podacima (251 registrovana vrsta gljiva), 21 vrsta zabeležena u ovoj disertaciji predstavlja nove nalaze.

Među istraživanim planinskim, šumskim biotopima, sastojine smrče, jele i bukve na lokalitetu Mitrovac na Tari su se posebno istakle po diverzitetu makrogljiva (289 nalaza i od toga 190 identifikovanih taksona). Ovakav rezultat je bio očekivan s obzirom na to da su u pitanju očuvane, stare šume sa najraznovrsnijim sastavom drvenastih vrsta, na podlozi koja je najbogatija vodom. Mikološka istraživanja na području centralne Evrope su takođe pokazala da stare mešovite šume bukve, smrče i jele predstavljaju staništa izuzetno raznolikih zajednica makrogljiva, sa velikim brojem retkih i ugroženih vrsta (Krisai-Greilhuber, 2015; Holec *i sar.*, 2015; Dvořák *i sar.*, 2017). Slični rezultati dobijeni su i u azijskoj studiji Zhang i saradnika (2010) koja obrađuje mikodiverzitet osam različitih šumskih staništa, pri čemu je najveća brojnost makrogljiva zabeležena u mešovitoj četinarsko-listopadnoj šumi.

Schmit *i sar.* (2005) su regresionom analizom utvrdili da se na osnovu raznovrsnosti vegetacije može predvideti raznovrsnost gljiva određenog staništa. Šumska staništa obezbeđuju gljivama veću raznolikost biljnih partnera i dostupnog supstrata.

Prva eksperimentalna površina na Tari (P4) se izdvojila sa najvećim brojem nalaza i identifikovanih vrsta (Graf. 7). Na ovom području, voda se često zadržava u površinskim slojevima zemljišta zbog slabo propusne podloge. Pored toga ovaj plot je oivičen sa dva efemerna potoka čija korita su takođe uključena u pomenutu eksperimentalnu površinu.



Grafikon 7. Broj nalaza i broj taksona registrovanih u okviru različitih eksperimentalnih površina (P1, P2 – Vidlič; P3 – Kopaonik; P4, P5 – Tara)

Najmanji broj makrogljiva identifikovan je na plotovima sa planine Vidlič (P1 - 53 vrste i P2 – 48 vrsta). Međutim, po ukupnom broju nalaza (101) koji je duplo veći od broja determinisanih taksona, autohtona sastojina bukve (P1) prednjači ne samo u odnosu na alohtonu sastojinu duglazije na Vidliču (P2, 64 nalaza), već i u odnosu na sastojinu smrče i bukve na Kopaoniku (P3, 91 nalaz). Stoga se može zaključiti da sastojina bukve na Vidliču po diverzitetu makrogljiva sledi staništa na Tari.

Kao najsiromašnije stanište makrogljiva (64 nalaza, 48 taksona) izdvojila se sastojina duglazije na Vidliču (P2), što je bilo očekivano s obzirom da je u pitanju izmenjeno stanište na kome je autohtono rasla mezijska bukva (*Fagus moesiaca* (K. Malý) Czech.). Na istraživanim lokalitetima, ovo je jedina alohtona šumska zajednica sa introdukovanom drvnom vrstom (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) koja potiče iz Severne Amerike. Dvořák i saradnici (2017) su u mikocenološkom istraživanju sastojina sa različitim sastavom drvenastih vrsta i različitim upravljačkim režimom, ustanovili najmanji broj vrsta

makrogljiva u četinarskim sastojinama sa najviše šumarskih intervencija (proređivanje i potpuna seča stabala).

Korelacija brojnosti taksona makrogljiva i različitih parametara staništa

Istraživana šumska staništa se, osim po sastavu drvenastih vrsta (Br DV) i njihovoj starosti (SS), razlikuju i po nadmorskoj visini (NMV), nagibu terena (NT), kao i po stepenu zaštite tj. antropogenom uticaju (podaci prikazani u odeljku „Eksperimentalni deo“).

Pirsonovim statističkim testom ($p < 0,05$, $p < 0,01$) nije utvrđena značajna korelacija između prva četiri navedena parametra i broja utvrđenih vrsta makrogljiva (Tab. 9), što upućuje na veći značaj antropogenog uticaja kojem su izložene različite sastojine. U istraživanju Pal-Fam-a *i sar.* (2007), utvrđeno je da je brojnost makrogljiva u zaštićenim delovima šumskih rezervata i do 2x veća u odnosu na brojnost vrsta u šumama sa aktivnim šumarskim upravljanjem, kao i u plantažama četinara na staništu bukve.

Tabela 9. Korelacija brojnosti taksona makrogljiva (BrMG) i različitih stanišnih parametara u okviru svih istraživanih lokaliteta

	Br MG	NMV	NT	Br DV	SS
Br MG					
NMV	-0,082				
NT	-0,526	0,838			
Br DV	0,786	0,028	-0,519		
SS	0,874	0,178	-0,362	0,896	

*nema statistički značajnih korelacija ($p < 0,05$, $p < 0,01$)

(Br MG - brojnosti taksona makrogljiva, BrDV – broj drvenastih vrsta,
SS – starost sastojina, NMV-nadmorska visina, NT-nagib terena)

Za razliku od istraživanih šumskih staništa na Tari i Kopaoniku, koja se nalaze u regionima sa većim stepenom zaštite (prvi i drugi stepen), u kojima su ograničeni bilo kakvi radovi i aktivnosti osim onih u naučne i edukativne svrhe, sastojine na Vidliču su u zoni trećeg stepena zaštite gde su uočljivi uticaji upravljačkih delatnosti, u smislu izmena sastava samih šumskih zajednica, izgradnje infrastrukture i korišćenja prirodnih resursa. Osim toga lokalitet Vzganica je u prošlosti više puta bio izložen šumskim požarima koji takođe utiču na celokupni ekosistem. Brojnost vrsta unutar specifičnih mikocenoza ovih staništa proporcionalan je navedenim veštačkim i prirodnim uticajima unutar njih. Poređenje mikocenoze autohtone sastojine bukve i alohtone sastojine duglazije bilo je posebno značajno u cilju utvrđivanja uticaja introdukcije strane drvenaste vrste na funkcionisanje ekosistema. U pogledu brojnosti vrsta, zabeležen je manji mikodiverzitet alohtonog u odnosu

na autohtono šumsko stanište. Dobijeni rezultati o bogatstvu vrsta različitih mikocenoza ukazuju na to da diverzitet makrogljiva oslikava stanje samog staništa i da dugoročnim monitoringom mogu ukazati na promene u njemu.

U cilju poređenja različitih sastojina na osnovu sastava mikocenoza, tj. udela međusobno sličnih taksona makrogljiva u ukupnom broju taksona poređenih parova staništa korišćeni su Žakardov i Sorensenov indeks sličnosti (Mueller *i sar.*, 2004). U istraživanjima koja koriste podatke o prisustvu/odsustvu vrsta, bez podataka o brojnosti plodnih tela unutar vrsta, što je slučaj i u ovom istraživanju, ova dva indeksa spadaju među najčešće korišćene (Mueller *i sar.*, 2004; Roberts *i sar.* 2004), pa su ovde upotrebljena oba indeksa. Dobijeni indeksi sličnosti (Tab. 10) kretali su se u rasponu: 0,09 – 0,20 (Žakardov indeks - J_i) i 0,17 – 0,34 (Sorensenov indeks - S_i).

Tabela 10. Žakardov (J_i) i Sorensenov (S_i) indeks sličnosti

	P1	P2		P3		P4		P5			
		J_i	S_i	J_i	S_i	J_i	S_i	J_i	S_i	$J_{i_{sr}}$	$S_{i_{sr}}$
P1		0,14	0,26	0,11	0,20	0,10	0,18	0,13	0,23	0,12	0,22
P2	<i>13</i>			0,14	0,24	0,09	0,17	0,17	0,30	0,14	0,24
P3	<i>11</i>	<i>13</i>				0,12	0,21	0,18	0,30	0,14	0,24
P4	<i>15</i>	<i>13</i>		<i>18</i>				0,20	0,34	0,12	0,23
P5	<i>15</i>	<i>19</i>		<i>21</i>		<i>32</i>				0,17	0,29

($J_{i_{sr}}$, $S_{i_{sr}}$ – srednje vrednosti indeksa za svaku eksperimentalnu površinu;
vrednosti u *italic* formatu: broj vsta zajedničkih za različite sastojine)

Poređenjem dobijenih indeksa sličnosti između različitih parova posmatranih eksperimentalnih površina, uočava se da najmanju sličnost imaju sastojina duglazije na Vidliču (P2) i sastojina smrče, jele i bukve na Tari (P4). Ovo je potrebno uzeti sa rezervom jer je P2 pokazao najveću sličnost (J_i – 0,17; S_i – 0,30) upravo sa plotom 5 koji se nalazi takođe na Tari u sastojini sličnoj onoj na plotu 4. Ovakav kontradiktoran rezultat može da ukaže na potrebu za dugoročnijim istraživanjem kako bi se dobila jasnija slika o celokupnom spektru makrogljiva prisutnih datim plotovima. Sastojina autohtone bukve na Vidliču (P1) ima veću sličnost sa sastojinom alohtone duglazije na istom lokalitetu (P2) u odnosu na preostala šumska staništa (P3, P4, P5). Ovakav rezultat ukazuje na činjenicu da je uprkos potpune promene drvenastih članova autohtonog šumskog ekosistema, sastav šire mikocenoze na lokalitetu Vzganica (Vidlič) ostao relativno očuvan. Najveću sličnost među

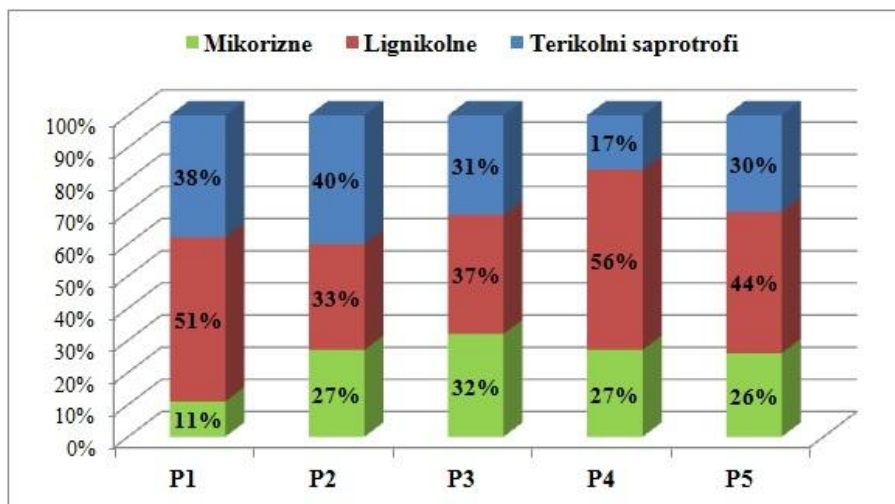
svim poređenim parovima, pokazali su plotovi P4 i P5 na Tari, koji se nalaze na istom lokalitetu u okviru sličnih šumskih zajednica.

Na osnovu srednjih vrednosti indeksa sličnosti mikocenoza, uočeno je da mikocenoza na plotu P1 ima najmanje sličnosti sa bilo kojom drugom ispitivanom mikocenozom ($J_i - 0,12$, $S_i - 0,22$). Zajenica makrogljiva na P5 (Tara), pokazala je najveću sličnost sa preostalim mikocenzama ($J_i - 0,17$, $S_i - 0,29$), izuzev one sa staništa čiste bukve na Vidliču. Ovi podaci ukazuju nam na postojanje jasne razlike u sastavu mikocenoza listopadnih i četinarskih šumskih staništa, što je zabeleženo i u istraživanjima drugih autora (Küffer *i sar.*, 2008; Zhang *i sar.*, 2010a; Buée *i sar.*, 2011; Kutszegi *i sar.*, 2015).

Iako su oba primenjena indeksa sličnosti bila podudarna, u nekoliko slučajeva je primećena razlika u dobijenim rezultatima. Pri poređenju P5 na Tari sa plotovima P2 (Vidlič) i P3 (Kopaonik), S_i je imao iste vrednosti, dok je J_i ukazao da postoji veća sličnost među mikocenzama autohtonih šumskih staništa, u odnosu na mikocenozu alohtone duglazije. Nasuprot tome, S_i je bio informativniji pri poređenju sastojine duglazije (P2) sa sastojinom bukve (P1) i sastojinom smrče i bukve na Kopaoniku (P3), ukazavši na veću sličnost između prva dva staništa. U ovom slučaju J_i nije ukazao na postojanje razlike. Iako se u radu autora Maguran (2004) koji poredi različite indekse sličnosti, prednost daje Sorensenovom indeksu, rezultati dobijeni u ovoj tezi ukazuju na potrebu za uporednim korišćenjem više indeksa kako bi se dobila jasnija slika o sličnosti i razlikama među zajednicama makrogljiva različitih staništa.

5.1.3. Uporedna analiza šumskih staništa prema zastupljenosti funkcionalnih grupa u mikocenzama

Pored taksonomskog diverziteta, brojnosti i sklopa vrsta unutar određene mikocenoze, njen funkcionalni spektar (zastupljenost funkcionalnih grupa unutar zajednice) je još jedan važan parametar koji ukazuje na karakteristike vegetacije i uslove životne sredine određenog staništa (Pal-Fam *i sar.*, 2007). Na Graf. 8 prikazana je zastupljenost različitih funkcionalnih grupa unutar mikocenoza ispitivanih šumskih staništa dobijena objedinjavanjem podataka za ukupan istraživački period.



Grafikon 8. Distribucija različitih funkcionalnih grupa makrogljiva unutar mikocenoza istraživanih sastojina

Lignikolna grupa

U svim sastojinama, osim sastojine duglazije (P2) na Vidliču, preovlađuju lignikolne makrogljive (Graf. 8), što može da ukaže na dobro očuvane prirodne procese unutar autohtonih šuma nasuprot onima u sađenoj sastojini alohtone četinarske vrste. Preduslov za opstanak lignikolnih makrogljiva je prisustvo veće količine mrtvog drveta različitog kvaliteta (dimenzija i stepena razgradnje) (Holec *i sar.*, 2015). Ovakvi uslovi postoje u šumama u kojima nema antropogenog uticaja ili je on zastupljen u manjoj meri (Dvořák *i sar.*, 2017). I u radovima drugih autora je utvrđeno da zastupljenost lignikolnih makrogljiva opada sa povećanim antropogenim uticajem tj. sa smanjenjem količine mrtvog drvnog materijala dostupnog gljivama za razgradnju (Christensen *i sar.*, 2005; Pál-Fám *i sar.*, 2007; Ódor *i sar.*, 2006).

Najveći udeo lignikolne grupe makrogljiva (Graf. 8) imale su mikocenoze sastojine P4 na Tari (56%) i bukove sastojine P1 na Vidliču (51%), dok su najveći broj lignikolnih gljiva među posmatranim staništima imale mešovite šume smrče, bukve i jele (P4 i P5; Graf. 8). Eksperimentalne površine na Tari nalaze se u zaštićenim delovima Nacionalnog parka u kojima su intervencije (seča stabala, izvlačenje pleglih debala i panjeva) minimalne, što je uticalo prisustvom značajne količine drvnih ostataka pogodnih za razvoj lignikolnih gljiva. Veliki udeo lignikolnih gljiva u mikocenozi bukve na Vidliču (P1) je odraz velike razlike u broju evidentiranih mikoriznih i lignikolnih vrsta. Uzrok najmanjeg udela lignikolne grupe u mikocenozi duglazije (P2) na Vidliču, može biti nedovoljna prilagođenost autohtonih lignikolnih makrogljiva na novi supstrat u vidu ove alohtone četinarske vrste (lat.

Pseudotsuga menziesii). U mikocenoškom istraživanju šumskih staništa u Češkoj (Dvořák *i sar.*, 2017), koja se razlikuju po sastavu vegetacije i šumarskoj praksi, brojnost lignikolne grupe makrogljiva bila je najveća u izvornim dominantno bukovim i mešovitim šumama i opadala je sa sledećim redosledom staništa: izmenjene bukove šume, izmenjena mešovite šume, izmenjene četinarske šume i čistine (posečene šume).

Mikorizna grupa

U okviru posmatranih eksperimentalnih površina najmanje su bili zastupljeni predstavnici mikorizne funkcionalne grupe. Jedan od uzroka može biti i period izvođenja terenskih istraživanja (jun-septembar), kojim je izostavljen deo sezone karakterističan za plodonošenje mikoriznih vrsta (avgust - novembar). Za mikorizne zajednice je karakteristično da sastav vrsta evidentiran na osnovu prisustva plodnih tela ne reflektuje realni diverzitet na nivou micelije (Gardes i Bruns, 1996, Jonsson *i sar.*, 1999, Horton i Bruns, 2001). Među mikoriznim vrstama ima mnogo onih koje ne obrazuju plodna tela, kao i onih koje formiraju neupadljive (npr. *Thelephoraceae* i *Corticaceae*) ili podzemne (*Tuberales*) sporokarpe (Mehmann, 1995. Dahlberg *i sar.*, 1997, Peter *i sar.*, 2001, Smith *i sar.*, 2002). Analizom uticaja različitih abiotičkih faktora (pH i vlažnost zemljišta, količina organskih materija, anjona i katjona) i stanišnih uslova (tip drvenaste i zeljaste vegetacije, karakteristike krošnje), Spake i saradnici (2016) su utvrdili da diverzitet mikoriznih gljiva zasnovan na evidentiranju plodnih tela zavisi od bazalne površine istraživane sastojine (ukupne površine poprečnih preseka stabala) i diverziteta drvenastih vrsta posmatranog šumskog staništa, dok diverzitet mikoriza na nivou micelije zavisi samo od diverziteta drvenastih vrsta.

Najmanji udeo mikoriznih taksona uočen je u sastojini bukve, P1, na Vidliču (11%), što se može objasniti slabim vegetacijskim diverzitetom, tj. prisustvom samo jedne vrste mikoriznog, drvenastog partnera (*Fagus moesiaca* (K. Malý) Czech.). Jedan od razloga može biti i bogat sloj šumske stelje u ovoj, među istraživanim staništima, jedinoj čisto listopadnoj šumskoj zajednici. Na osnovu zapažanja nekoliko autora (Tiler, 1991; Holec. 1994; Mihal i Bučinova, 2005), debljina stelje i humusa mogu podstaći plodonošenje saprotrofnih gljiva i uticati na slabiji razvoj mikoriznih vrsta.

Među dobijenim rezultatima, iznenađuje relativno visok udeo mikoriznih vrsta u sklopu mikocenoze sastojine duglazije (P2) kao alohtonog šumskog staništa. Sastav vrsta unutar ove sastojine ukazuje na to da se radi o mikoriznim makrogljivama tipičnim za autohtone listopadne i četinarske šume ovog podneblja čija micelija najverovatnije potiče iz okolne

bukove šume i obodnih delova sastojine P2 u kojima je prisutna smrča. Istraživanja drugih autora takođe ukazuju na to da ektomikorizne zajednice makrogljiva pokazuju visok stepen kontinuiteta duž većeg broja plotova u okviru određenog šumskog staništa (Jonsson *i sar.*, 1999). S obzirom na dobijene rezultate, bilo bi značajno istražiti mikoriznu zajednicu ove sastojine na nivou micelije, kako bi se dobila kompletna slika i utvrdile vrste koje su povezane direktno sa korenjem duglazije.

Za razliku od ostalih, izvornih, šumskih staništa, sastojine na Vidliču predstavljaju šumske zajednice koje su obnovljene nakon jednog od velikih požara 1962. godine. Sastojina bukve (P1) je pasivno (prirodno) obnovljena izdanačka šuma autohtonog vegetacijskog tipa, dok je sastojina duglazije (P2) aktivno (antropogeno) obnovljena alohtona šumska zajednica, sađena u vidu monokulture. Istraživanja autora koji su analizirali uticaje šumskih požara jakog intenziteta (sa značajnom izmenom vegetacije i zemljišnih uslova) na zajednice ektomikoriznih gljiva, ukazala su na to da je došlo do smanjenja brojnosti, kao i promena u sastavu vrsta ove funkcionalne grupe (Danielson, 1984; Visser, 1995; Torres i Honrubia, 1997). Rad Spake i saradnika (2015), u vidu meta-analize 90 različitih studija kojima su praćene razlike u bogatstvu vrsta unutar funkcionalnih grupa različitih organizama između starih, izvornih šuma i zasađenih ili sekundarno obnovljenih šuma, pokazao je da je u proseku potrebno 90 godina da bi broj prisutnih ektomikoriznih vrsta dostigao vrednosti karakteristične za stare, izvorne šume. Ukoliko uzmemo u obzir ove podatke, može se zaključiti da se grupa mikoriznih makrogljiva na Vzganici još uvek nije potpuno oporavila od promena koje su se desile u biotopu, te da se u narednim decenijama može očekivati porast broja mikoriznih članova ove mikocenoze.

Najveći udeo mikoriznih makrogljiva imala je mikocenoza eksperimentalne površine P3 na Kopaoniku (32%), dok su se po najvećem broju mikoriznih vrsta istakle sastojine na Tari (30 vrsta na P4 i 21 vrsta na P5). U ovim mešovitim sastojinama, kojim dominiraju starija stabla, prisutna je i najmanja količina šumske stelje. Sve to, uključujući i visok stepen zaštite ovih prirodnih šumskih staništa, pogoduje razvoju mikorizne grupe makrogljiva.

Grupa terikolnih saprotrofa

Kada su u pitanju terikolni saprotrofi, mikocenoza sastojine P4 na Tari imala je najmanji udeo (17%) predstavnika ove grupe makrogljiva (Graf. 8), dok su u mikocenzama sastojina na Vidliču zabeleženi najveći procenti terikolnih makrogljiva (P2 - 40%, P1 – 38%). Uočene razlike u udelu ove grupe unutar različitih mikocenoza su isključivo rezultat većeg udela

predstavnik ostalih funkcionalnih grupa, dok je sam broj registrovanih terikolnih saprotrofa u posmatranim mikocenoza bio ujednačen (Graf. 8). U radu Dvořák i saradnika (2017) utvrđena je ujednačena raznovrsnost terikolnih saprotrofa u mešovitim sastojinama sa različitim upravljačkom praksom (bez ili sa različitim stepenom šumarskih intervencija).

Mikocenoza na plotu 3, na Kopaoniku, istakla se po ujednačenom broju vrsta u okviru sve tri posmatrane ekološke grupe (19 mikoriznih, 22 lignikolne, 18 terikolnih taksona). Sličan odnos zastupljenosti različitih funkcionalnih grupa imao je i P2 (alohtona zajednica duglazije), ukazujući na to da se, uprkos drastičnim izmenama u sastavu drvenastih vrsta, na ovom šumskom staništu ipak očuvala ekološka ravnoteža na nivou mikocenoze.

5.1.4. Korespodentne analize sastava vrsta i distribucije u okviru funkcionalnih grupa

U cilju ispitivanja preferencije evidentiranih vrsta makrogljiva ka određenim tipovima šumskih staništa, trogodišnji podaci o njihovom pojavljivanju i zastupljenosti u okviru ispitivanih eksperimentalnih površina podvrgnuti su multivarijantnoj statističkoj obradi u vidu korespodentne analize (CA). U cilju lakše vizualizacije velikog broja podataka, izvršene su 3 odvojene analize identifikovanih vrsta, po jedna CA za svaku ustanovljenu ekološku grupu makrogljiva (mikorizne, lignikolne, terikolne).

Mikorizna grupa

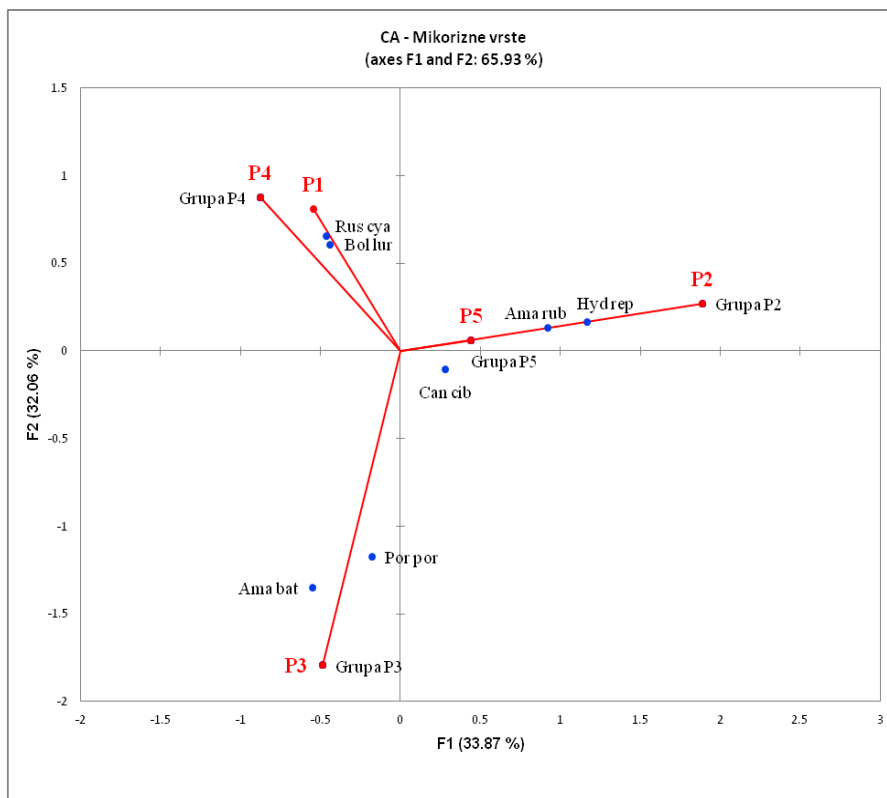
Prvi CA dijagram (Graf. 9) predstavlja biplot identifikovanih vrsta iz grupe mikoriznih makrogljiva i plotova na kojima su one evidentirane tokom trogodišnjeg istraživačkog perioda. Prve dve ose (F1 i F2) odgovorne su za 65,93% ukupne varijabilnosti (F1 – 33,87%, F2 – 32,06%).

Jasno se uočava da je među identifikovanim mikoriznim vrstama najviše onih (83%) koje su jedinstvene za jedan od istraživanih plotova (grupisne u centriolama koje se preklapaju sa tačkama samih plotova na kojima su pronađene (grupa P1 – P5)). U odnosu na preostale ispitivane funkcionalne grupe, upravo grupa mikoriznih makrogljiva je imala najveći udeo jedinstvenih vrsta, što je razumljivo s obzirom na njihovu tesnu vezu sa specifičnim biljnim partnerima. Ovakav rezultat je u saglasnosti sa istraživanjima drugih autora, koja potvrđuju da je, bez obzira na veliki opseg mogućih variranja u odnosu na partere u simbiozi, u zajednicama mikoriznih gljiva ipak više izražena karakteristika preferencije tj specifičnosti prema određenom partneru (eng. *host specificity/host preference*) (Molina i sar., 1992; Newton i Haigh, 1998; Kernaghan i sar., 2003).

Svega 7 mikoriznih vrsta (17%) zabeleženo je u okviru više istraživanih šumskih zajednica. Među njima, najviše je vrsta koje su bile zajedničke za po dve različite mešovite četinarsko-listopadne sastojine: *H. repandum*, *A. rubescens* (P2, P5), *L. laccata* (P2, P3), *B. luridus* (P4, P5), *P. porphyrosporus* (P3, P5), *A. battarrae* (P3, P4). Za navedene vrste je poznato da imaju široku ekološku valencu u smislu preferencije ka različitim šumskim staništima i širok spektar biljnih partnera (Zhang *i sar.*, 2010; Kuo, 2019; O'Reilly i Parker, 2019).

Vrsta *C. cibarius* se javila u okviru 4 od ukupno 5 istraživanih šumskih zajednica (izostao je sa jedinog listopadnog staništa – P1). Ova vrsta je prepoznata kao potencijalni bioindikator, osetljiv na različite antropogene faktore (Jansen i van Dobben, 1987; Arnolds, 1991). Jedina mikorizna vrsta uočena u čistoj listopadnoj sastojini i u mešovitim četinarsko-listopadnim sastojinama bila je *R. cyanoxantha*, utvrđena na 3 istraživana plota (P1, P4, P5). U pitanju je vrsta koja se najčešće javlja u listopadnim šumama, preferirajući bukvu i hrast, ali je prisutna i u mešovitim četinarsko-listopadnim šumama (O'Reilly i Parker, 2019).

Mnogo je faktora koji utiču na strukturu mikoriznih zajednica u šumskim staništima, uključujući diverzitet biljnih domaćina, starost sastojina, abiotičke i biotičke uslove staništa i edafske faktore (Deacon *i sar.*, 1983; Vogt *i sar.*, 1992; Gehring et al. 1998; Claridge *i sar.*, 2000).

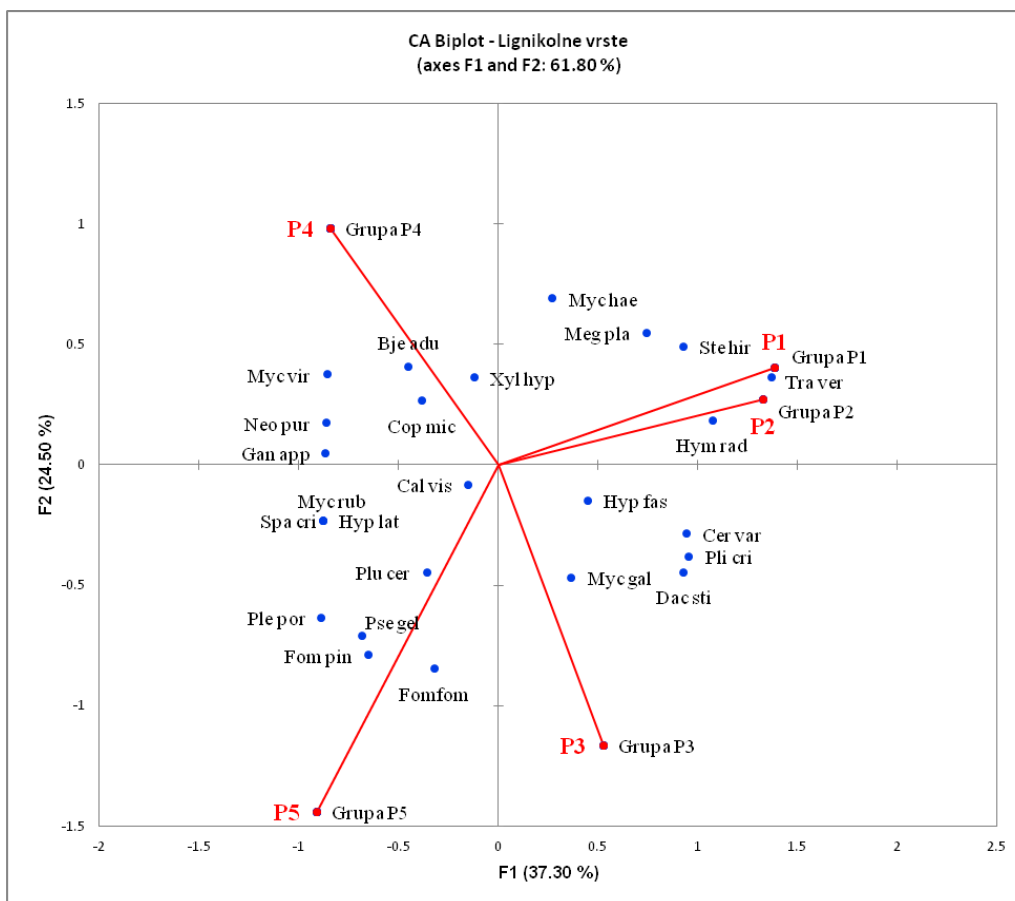


Grafikon 9. Korespondentna analiza sastava vrsta u okviru grupe mikoriznih makrogljiva

Legenda: Rus cya- *Russula cyanoxantha*, Bol lur – *Boletus luridus*, Hyd rep – *Hydnum repandum*, Ama rub – *Amanita rubescens*, Can cib – *Cantharellus cibarius*, Por por – *Porphyrellus porphyrosporus*, Ama bat – *Amanita battarrae*; Grupa P2, Grupa P3, Grupa P4, Grupa P5 – vrste evidentirane samo na naznačenom plotu

Lignikolna grupa

Graf. 10 predstavlja CA biplot lignikolnih makrogljiva i odgovarajućih plotova na kojima su evidentirane. Prve dve ose odgovorne su za 61,80% ukupne varijabilnosti (F1 – 37,30%, F2 – 24,50%). Slično preraspodeli utvrđenoj u grupi mikoriznih vrsta, među evidentiranim lignikolnim makrogljivama najviše je onih vrsta (71%) koje su jedinstvene za samo jednu od ispitivanih šumskih zajednica, a grupisne su u centriolama koje se preklapaju sa tačkama samih plotova na kojima su pronađene (grupa P1 – P5).



Grafikon 10. Korespondentna analiza sastava vrsta u okviru grupe lignikolnih makrogljiva

Legenda: Tra ver – *Trametes versicolor*, Hym rad – *Hymenopellis radicata*; Ste hir – *Stereum hirsuta*; Hyp fas – *Hypholoma fasciculare*; Cer var – *Cerioporus varius*; Pli cri – *Plicaturopsis crispa*; Myc gal – *Mycena galericulata*; Dac sti – *Dacrymyces stillatus*; Fom fom – *Fomes fomentarius*; Fom pin – *Fomitopsis pinicola*; Pse gel – *Pseudohydnum gelatinosum*, Ple por – *Pleurocybella porrigens*; Plu cer – *Pluteus cervinus*, Hyp lat – *Hypholoma lateritium*; Spa cri – *Sparassis crispa*; Myc rub – *Mycena rubromarginata*; Cal vis – *Calocera viscosa*; Gan app – *Ganoderma applanatum*; Neo pur – *Neobulgaria pura*; Myc vir – *Mycena viridimarginata*; Cop mic – *Coprinus micaceus*; Bje adu – *Bjerkandera adusta*, Xyl hyp – *Xylaria hypoxylon*; Myc hae – *Mycena haematopus*; Meg pla – *Megacollybia platyphylla*; Grupa P1, Grupa P2, Grupa P3, Grupa P4, Grupa P5 – vrste evidentirane samo na naznačenom plotu

Pored njih, najbrojnije su one vrste koje su zabeležene na po 2 različita staništa:

<i>T. versicolor</i> (P1, P2)	<i>C. micaceus</i> (P3, P4)	<i>M. viridimarginata</i> (P4, P5)
<i>P. crispa</i> (P1, P3)	<i>G. applanatum</i> (P4, P5)	<i>N. pura</i> (P4, P5)
<i>M. haemalis</i> (P1, P4)	<i>H. lateritium</i> (P4, P5)	<i>P. porrigens</i> (P4, P5)
<i>D. stillatus</i> (P2, P3)	<i>M. rubromarginata</i> (P4, P5)	<i>S. crispa</i> (P4, P5)

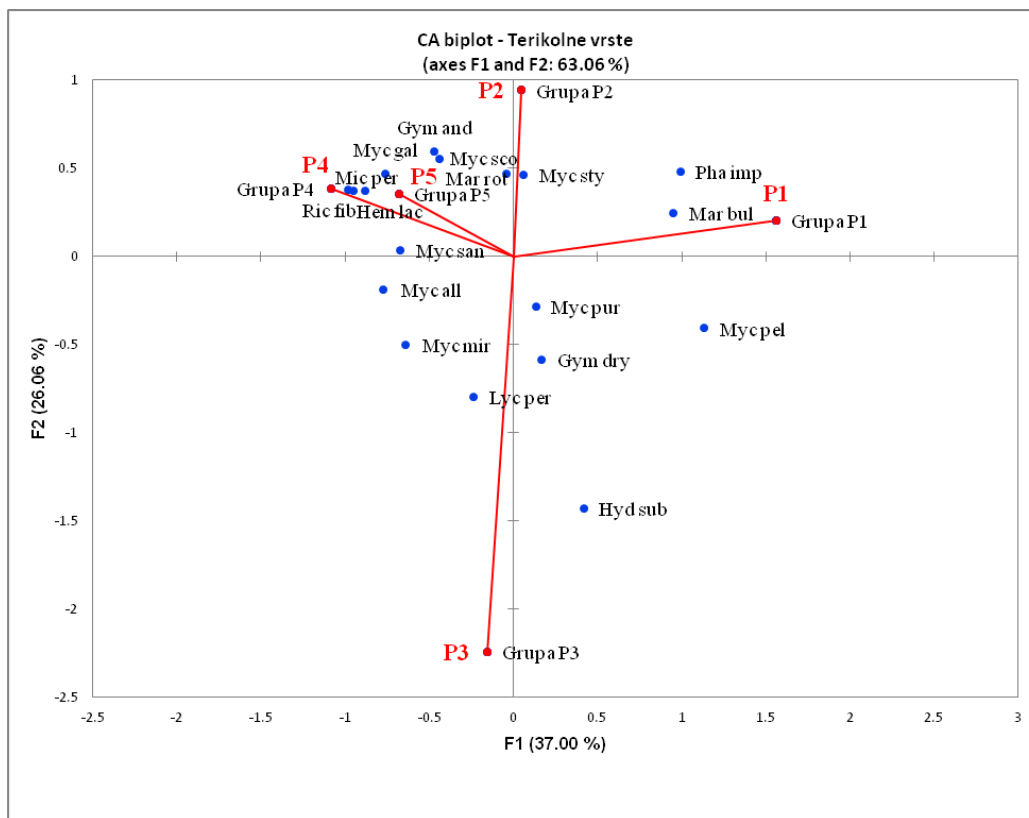
Pet lignikolnih vrsta utvrđeno je na po 3 različita plotu (*F. fomentarius*, *F. pinicola*, *M. platyphylla*, *P. gelatinosum*, *T. versicolor*), a 6 vrsta na po 4 eksperimentalne površine (*B. adusta*, *C. viscosa*, *C. varius*, *H. radicata*, *P. cervinus*, *X. hypoxylon*). Među lignikolnim vrstama izdvojile su se dve vrste koje su prisutne na svim istraživanim plotovima – *H. fasciculare* i *M. galericulata*. Lignikolne vrste koje su registrovane u okviru više sastojina su

poznate kao vrste koje nisu strogo specifične za određenu drvenastu biljnu vrstu kao supstrat (Zhang *i sar.* 2010).

Na osnovu dosadašnjih istraživanja, sklop vrsta lignikolnih gljiva u okviru mikocenoze određenog staništa zavisi od sastava prisutnih drvenastih vrsta, karakteristika supstrata (dimenzije i stepen razgradnje drveta, pH vrednost, hemijski sastav) i mikroklimatskih faktora (Renvall, 1995; Boddy, 2001; Schmidt, 2006; Kutszegi *i ostali* 2015).

Grupa terikolnih saprotrofa

Korespondentnom analizom podataka o **terikolnim saprotrofima** (Graf. 11), dobijen je dijagram u kome prve dve glavne ose pojašnjavaju 63,06% ukupne varijabilnosti (F1 – 37,00%, F2 – 26,06%) u zastupljenosti ove funkcionalne grupe makrogljiva na istraživanim lokalitetima. Vrste jedinstvene na nekom od plotova u ovom slučaju imaju manji udeo (59%) u ukupnom broju evidentiranih vrsta u odnosu na predstavnike preostalih funkcionalnih grupa. Ovaj podatak nam ukazuje na to da su terikolne makrogljive imale najširu distribuciju u okviru različitih šumskih staništa, što je i očekivano s obzirom na to da za razliku od mikoriznih i lignikolnih gljiva nisu specifično vezane za određene biljne partnere/domaćine.



Grafikon 11. Korespondentna analiza sastava vrsta u okviru grupe terikolnih makrogljiva

Legenda: *Pha imp* – *Phallus impudicus*, *Mar bul* – *Marasmius bulliardii*, *Myc pur* – *Mycena pura*, *Myc pel* – *Mycena pelianthina*, *Gm dru* – *Gymnopus dryophylus*, *Hyd sub* – *Hydropus subalpinus*, *Lyc per* - *Lycoperdon perlatum*, *Myc mir* – *Mycena mirata*, *Myc all* – *Mycetinis alliaceus*, *Myc san* – *Mycena sanguinolenta*, *Ric fib* – *Rickenella fibula*, *Hem lac* – *Hemimycena lactea*, *Mic per* – *Micromphale perforans*, *Myc gal* – *Mycena galericulata*, *Gym and* – *Gymnopus androsaceus*, *Myc sco* – *Mycetinis scorodoni*, *Mar rot* – *Marasmius rotula*, *Myc sty* – *Mycena stylobates*; Grupa P1, Grupa P2, Grupa P3, Grupa P4, Grupa P5 – vrste evidentirane samo na naznačenom plotu

U okviru ove ekološke grupe, ukupno sedam vrsta je bilo zastupljeno na po 2 od ispitanih 5 plotova:

- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| <i>P. impudicus</i> (P1, P2) | <i>M. perforans</i> (P4, P5) |
| <i>H. subalpinus</i> (P1, P3) | <i>H. lactea</i> (P4, P5) |
| <i>M. pelianthina</i> (P1, P3) | <i>R. fibula</i> (P4, P5) |
| <i>M. scorodoni</i> (P2, P5) | |

Sedam vrsta je bilo zastupljeno na po 3 različita plota (*G. androsaceus*, *L. perlatum*, *M. bulliardii*, *M. galericulata*, *M. mirata*, *M. stylobates*, *M. alliaceus*) i 3 vrste u okviru 4 istraživane sastojine (*G. dryophilus*, *M. rotula*, *M. sanguinolenta*). Najširu distribuciju među terikolnim saprotrofima imala je *M.pura*, prisutna u svim šumskim staništima. Ovo je vrsta karakteristična za različita šumska staništa (Ruhling i Tyler 1990).

U slučaju terikolnih saprotrofa, poznato je da klimatski faktori, vegetacija, karakteristike zemljišta, sadržaj i pH humusa imaju značajnu ulogu u sastavu vrsta (Pal-Fam *i sar.*, 2007; Kutszegi *i sar.*, 2015).

5.1.5. Istaknute vrste makrogljiva i evaluacija ispitivanih šumskih staništa sa konzervacionog stanovišta

U okviru specifičnih mikocenoza istraživanih područja, pojedine vrste su se istakle po nekoj od sledećih karakteristika:

- vrsta karakteristična za jedno određeno stanište
- vrsta prvi put utvrđena za specifično stanište,
- vrsta dominantna u ispitivanoj šumskoj sastojini (prema frekvenci pojavljivanja),
- vrsta od posebnog konzervacionog značaja (prema IUCN kriterijumima).

Među istaknutim vrstama makrogljiva istraživanih šumskih staništa, posebno treba izdvojiti one koje se nalaze na listi zaštićenih (Lz) i strogo zaštićenih vrsta Srbije (Lsz), u okviru Pravilnika o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva ("*Sl. glasnik RS*", br. 5/2010 i 47/2011). To su sledeće vrste: *Cantharellus cibarius* – zastupljen na sve tri planine (Lz), *Hydnum repandum* (P2 i P5; Lz), *Russula cyanoxantha* (P1, P4 i P5; Lz), *Boletus edulis* (P5; Lz), *Hericium coralloides* (P5; Lsz), *Strobilomyces strobilaceus* (P3; Lsz). Osim navedenih vrsta, čitav niz makrogljiva evidentiranih ovim istraživanjem se nalazi na različitim nacionalnim Crvenim listama gljiva evropskih zemalja (Tab. 11).

Prisustvo takvih makrogljiva (koje su ugrožene ili nestaju u različitim delovima Evrope) u šumskim ekosistemima Srbije može biti od posebne važnosti za očuvanje datih vrsta u prirodi, što ide u prilog i očuvanju njihovih specifičnih šumskih staništa. Sve nacionalne Crvene liste gljiva prate smernice date od strane IUCN/SSC komiteta za Crvene liste (eng. *IUCN/SSC Red List Committee*) u okviru dokumenta „Kategorije i kriterijumi IUCN crvene liste” (eng. „*IUCN Red List Categories and Criteria*”, <https://www.iucnredlist.org/resources/categories-and-criteria>). Za svaku vrstu koja je dodata

na određenu Crvenu listu navodi se i odgovarajuća kategorija ugroženosti koja ukazuje na stanje vrste u okviru regiona za koji je Crvena lista izrađena („IUCN Red List Categories and Criteria”, <https://www.iucnredlist.org/resources/categories-and-criteria>). U Tab. 11 su navedene vrste evidentirane u okviru istraživanih područja, sa podacima o statusu na listama zaštićenih ili strogo zaštićenih gljiva Srbije ili crvenim listama drugih zemalja Evrope.

Tabela 11. Spisak istaknutih vrsta istraživanih staništa sa podacima o ugroženosti u Srbiji i zemljama Evrope

Vrsta	Plot	Kategorija zaštite u Srbiji*	Kategorija na CL drugih zemalja**
<i>Boletus edulis</i>	P4	Z	
<i>Boletus fechtneri</i>	P5	/	Britanija (NT), Holandija (EN), Hrvatska (VU), Češka (EN)
<i>Caloboletus calopus</i>	P4	/	Holandija (EN)
<i>Caloscypha fulgens</i>	P5	/	Britanija (VU), Slovenija (VU), Hrvatska (VU)
<i>Cantharellus cibarius</i>	P2, P3, P4, P5	Z	Holandija (EN)
<i>Climacocystis borealis</i>	P5	/	Holandija (CR)
<i>Cortinarius evernius</i>	P4	/	Holandija (EN), Češka (VU)
<i>Cortinarius sanguineus</i>	P4	/	Holandija (VU)
<i>Cortinarius semisanguineus</i>	P5	/	Holandija (VU)
<i>Disciotis venosa</i>	P1	/	Holandija (EN), Češka (EN)
<i>Flammulaster muricatus</i>	P1	/	Britanija (VU), Češka (EN)
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	P4	/	Britanija (VU), Holandija (EN)
<i>Gyroporus castaneus</i>	P4	/	Slovenija (R)
<i>Gyroporus cyanescens</i>	P3	/	Slovenija (retka), Holandija (EN)
<i>Hericium coralloides</i>	P4	/	Britanija (NT), Nemačka, Danska, Poljska, Španija, Slovenija (VU), Hrvatska (EN), Holandija (VU)
<i>Hydnum repandum</i>	P2, P5	Z	Holandija (VU)
<i>Hydropus subalpinus</i>	P1, P3	/	Holandija (VU)
<i>Hygrophorus erubescens</i>	P3	/	Britanija (EX)
<i>Lactarius vellereus</i>	P2	/	Holandija (VU)
<i>Lactarius volemus</i>	P2	/	Holandija (EX)
<i>Mycena laevigata</i>	P5	/	Holandija (CR), Češka (VU)
<i>Mycena mirata</i>	P4, P5	/	Holandija (VU)
<i>Mycena pelianthina</i>	P1, P3	/	Holandija (VU)
<i>Mycena renatii</i>	P4	/	Britanija (EN), Holandija (VU)
<i>Mycena sanguinolenta</i>	P2, P3, P4, P5	/	Holandija (VU)
<i>Mycena viridimarginata</i>	P4	/	Holandija (VU)
<i>Mycetinis scorodonius</i>	P2	/	Britanija (NT)
<i>Polyporus arcularius</i>	P1	/	Holandija (VU)
<i>Porphyrellus porphyrosporus</i>	P3, P5	/	Slovenija (R)
<i>Russula amethystina</i>	P5	/	Holandija (CR)
<i>Russula cyanoxantha</i>	P1, P4, P5	Z	
<i>Russula foetens</i>	P2	/	Holandija (EN)
<i>Sarcodon scabrosus</i>	P3	/	Britanija (NT), Holandija (CR), Mađarska, Češka (EN)
<i>Sparassis crispa</i>	P4, P5		Hrvatska (CR)
<i>Strobilomyces strobilaceus</i>	P3	SZ	Holandija (CR), Mađarska
<i>Vibrissea truncorum</i>	P4	/	Slovenija (DD), Češka (NT), Bavarska (VU), Hrvatska (VU)

CL – Crvena lista; * Prema srpskom pravilniku ("Sl. glasnik RS", br. 5/2010 i 47/2011): Z – zaštićena, SZ – strogo zaštićena; ** IUCN kategorije: EX – izumrla, EW – izumrla u divljini, CR – kritično ugrožena; EN – ugrožena, VU – ranjiva, NT – skoro ugrožena, LC – najmanja briga, DD – manjak podataka, NE – neocenjena, R – retka.

5.1.5.1. Vidlič - sastojina bukve i sastojina duglazije

Među vrstama koje su zabeležene isključivo na Vidliču, samo dve vrste: *Phallus impudicus* i *Trametes versicolor* su bile prisutne na obe eksperimentalne površine. Iako se radi o kosmopolitskim vrstama, koje mogu da se javljaju u okviru različitih staništa i nisu strogo vezane za određene biljne vrste (Shorrocks i Charlesworth, 1982; Dai i Penttila, 2006; Kuo, 2006; Zhang *i sar.*, 2010), zanimljivo je da su se tokom ovog istraživanja našle među najzastupljenijim vrstama samo u okviru bukovog šumskog staništa na Vidliču. Utvrđeno je da na području skandinavskih zemalja *P. impudicus* preferira upravo bukove šume (Andersson, 1989), dok je u istraživanju Holec *i sar.* (2015) u Češkoj, *T. versicolor* registrovan isključivo na bukvi.

Pored prethodno navedenih, dominantne vrste u autohtonoj bukovoj sastojini (P1) bile su: *Cerioporus varius*, *Hymenopellis radicata*, *Marasmius bulliardii* i *Megacollybia platyphylla*. Vrste *C. varius* i *H. radicata* su registrovane na sve tri planine, ali je njihova frekvencija pojavljivanja bila izuzetno visoka upravo na ovoj eksperimentalnoj površini (Prilog 8.1). Na osnovu toga se može zaključiti da ovim lingnikolnim makrogljivama posebno odgovara bukva kao supstrat. U studijama drugih autora, *C. varius* je bio prepoznat kao jedna od najčešćih i tipičnih vrsta u bukovim šumama (Holec *i sar.*, 2015; Andersson, 1995; Mihal i Bučinova, 2005; Zotti i Zappatore 2006; Pal-Fam *i sar.*, 2007, Kutszegi *i sar.*, 2015). Holec *i sar.* (2015) su u svom mikocenološkom istraživanju različitih šumskih staništa, vrstu *H. radicata* evidentirali isključivo uz bukvu, dok je Zotti i Zappatore (2006) navode kao vrstu tipičnu za bukove šume. *M. bulliardii* predstavlja saprotrofnu vrstu koja se razvija na opalom lišću listopadnog drveća, pogotovo bukve (O'Reilly i Parker, 2019). Čista šuma bukve na eksperimentalnoj površini P1 nudi veliku količinu supstrata za razvoj ove vrste, usled čega je njena zastupljenost (kako u pogledu FP tako i u po broju prisutnih plodnih tela) bila najveća upravo na ovom staništu. *M. platyphylla* je vrsta specifičnu za listopadne šume, a njen areal rasprostranjenja ograničen je na Evropu i delove Rusije (O'Reilly i Parker, 2019).

Coprinellus xanthotrics je jedna od vrsta registrovana isključivo na plotu P1 i to tokom sve tri istraživačke godine. U pitanju je saprotrof koji se javlja na šumskoj stelji i uz trule drvene ostatke, u listopadnim šumama a pogotovo uz bukvu (Lindsey, 2013).

Izuzetno značajan nalaz, jedinstven za stanište autohtone bukve na Vidliču, je vrsta *Flammulaster muricatus* koja je prepoznata i ocenjena kao indikator vrednih bukovih šuma od posebnog konzervacionog značaja na evropskom nivou (Christensen *i sar.*, 2004). Njeno prisustvo na eksperimentalnoj površini P1, uprkos postojećim upravljačkim merama koje

uključuju različite antropogene uticaje, ukazuje na to da se ipak radi o dobro očuvanom šumskom staništu koje bi trebalo dodatno zaštititi. Ova vrsta nalazi se na Crvenim listama gljiva sledećih evropskih zemalja: Holandija (kritično ugrožena), Britanija (osetljiva).

Među makrogljivama koje su uočene na eksperimentalnoj površini P2, jedino za vrste *Amanita fulva*, *A. rubescens*, *Hydnum repandum*, *Cantharellus cibarius*, *Laccaria laccata* i *Hypholoma capnoides* postoje podaci da se javljaju uz duglaziju (Smith *i sar.*, 2002; Jansen 1991). Osim *H. capnoides*, ostale vrste koje su evidentirane kao jedinstvene za ovu alohtonu četinarsku sastojinu, nisu karakteristične za duglaziju kao partnera ili domaćina (*Tricholomopsis rutilans*, *Russula foetens*, *Russula grisea*, *Lactarius vellereus*, *Lactarius volemus*, *Calocera furcata*, *Agaricus sylvicola*, *Spathularia flavida*). Među pomenutim nalazima posebno su zanimljive *R. grisea* i *L. vellereus* – mikorizne vrste karakteristične isključivo za listopadne šume koje vrlo često preferiraju bukvu kao partnera (Lindsey, 2013; Leuschner i Ellenberg, 2018; Curti, 2019). Neočekivano pojavljivanje ovih mikoriznih vrsta u četinarskoj sastojini duglazije koja nije njihov prirodni partner, ukazuje na to da micelije navedenih vrsta najverovatnije pokrivaju veliko područje na lokalitetu Vzganice, tj. potiču iz autohtonih sastojina bukve koje okružuju zasade duglazije. Slično je i sa mikoriznim vrstama *L. volemus* i *A. fulva*, kao i sapropobnom *A. sylvicola*, koje se javljaju uz različite listopadne i četinarske partnere, a vrlo često u okviru šumskih staništa bukve i smrče (Lindsey, 2013, Tulloss, 2019). Njihove micelije mogle bi, osim sa bukvom, biti povezane i sa smrčama koje se takođe javljaju po obodnim delovima zasada duglazije.

Prisustvo navedenih vrsta koje su zabeležene samo na P2 a karakteristične su za bukova staništa, kao i vrsta zajedničkih za oba plota na Vzganici, ukazuju na to da se uprkos drastičnoj promeni biotopa (zamene autohtone drvene vrste alohtonom) na području druge eksperimentalne površine ipak zadržao značajan broj makrogljiva karakterističan za mikocenozu autohtonog bukovog staništa.

U sastavu mikocenoza ispitivanih sastojina na Vidliču nalaze se i dve jestive vrste sa Liste zaštićenih vrsta gljiva u Srbiji: *Russula cyanoxantha* (P1) i *Cantharellus cibarius* (P2). Ovaj podatak ukazuje na potrebu za aktivnim merama zaštite navedenih vrsta, s obzirom na to da se obe sastojine nalaze u okviru zone trećeg stepena zaštite, u kom su dozvoljene aktivnosti selektivnog i ograničenog korišćenja prirodnih resursa. Neke od vrsta koje su registrovane na Vidliču zaštićene su u pojedinim zemljama Evrope (Tab. 11).

5.1.5.2. Kopaonik – sastojina smrče i bukve

U sastojini smrče i bukve na Kopaoniku (P3), kao i u okviru sastojine bukve na Vidliču, dominirala je vrsta *Cerioporus varius* kao jedina vrsta prisutna tokom svakog meseca istraživanja i uvek sa velikim brojem plodnih tela. Primećeno je da ova lignikolna vrsta preferira ostatke bukovih grana manjeg prečnika (<5cm). U odnosu na monotipsku bukovu sastojinu na Vidliču koju čine stabla starosti 50-ak godina, u sklopu eksperimentalne površine na Kopaoniku dominiraju stara stabla smrče sa manjim brojem bukovih mladica.

Druga dominantna vrsta na ovom staništu, registrovana više puta tokom trogodišnjeg istraživanja, bila je *Amanita battarrae*, koja je osim na Kopaoniku samo jednom zabeležena na P4 na Mitrovcu (Tara). Ova mikorizna vrsta je autohtona za područje Evrope i smatra se relativno retkom (Tulloss, 2019; O'Reilly i Parker, 2019), a u opsežnom preglednom istraživanju autora Holec *i sar.* (2015), utvrđeno je da preferira smrču i jelu kao partnere.

Sledećih 16 vrsta su registrovane isključivo u sastojini na Kopaoniku: *Lachnellula resinaria*, *Clitocybe nebularis*, *Cortinarius croceus*, *Crepidotus variabilis*, *Flammulina velutipes*, *Gymnopus perforans*, *Gyroporus cyanescens*, *Hygrophorus erubescens*, *Chlorophyllum rhacodes*, *Phaeocollybia lugubris*, *Pholiota flammans*, *Pluteus romellii*, *Russula mustelina*, *Sarcodon scabrosus*, *Strobilomyces strobilaceus*, *Trametes trogii*. Navedene vrste su karakteristične za četinarske šume (posebno smrču) ili mešovite šume. Izuzetak je *P. romellii*, lignikolna vrsta tipična za bukove šume (Lindsey, 2013; Holec *i sar.*, 2015).

Na ovom šumskom staništu uočene su i neke retke, ugrožene i zaštićene vrste makrogljiva (Tab. 11). Njihovo prisustvo u ovoj sastojini (P3) dodatno potvrđuje važnost očuvanja prirodnih šumskih zajednica na području Rezervata prirode Metođe.

5.1.5.3. Tara – sastojine smrče, jele i bukve

Sastojine na Tari se ističu u odnosu na ostale, ne samo po brojnosti zabeleženih vrsta makrogljiva, već i po broju posebno značajnih, retkih i zaštićenih vrsta. Ovakav rezultat je bio očekivan za ove izuzetno raznolike biotope, koji u odnosu na ostala staništa nude najpovoljnije uslove: velika količina vlage, najveća raznovrsnost vegetacije, obilje dostupnih mikrostaništa (mali potoci, uvale, zaravni, drvni supstrat različite veličine i starosti, i dr.). Sve to nam ukazuje da se radi o diverzitetki vrednim šumskim staništima, na kojima treba nastaviti sa dobrom zaštitarskom praksom.

Za razliku od ostalih lokaliteta, u okviru plotova na Tari je pored dominantnog prisustva pojedinih vrsta makrogljiva, uočeno i dominantno prisustvo predstavnika pojedinih rodova. Najzastupljeniji su bili sledeći rodovi: *Mycena* (34 vrste), *Russula* (18), *Cortinarius* (5), rod *Boletus* (6) čiji su predstavnici detektovani isključivo na Tari i rod *Galerina* (5) evidentiran isključivo na eksperimentalnoj površini P4. Primećen je i značajan broj predstavnika reda Boletales (15 vrsta). U petogodišnjem istraživanju različitih staništa makrogljiva u Kanadi, za šumu smrče su takođe bili posebno karakteristični predstavnici rodova *Mycena* (22 vrste), *Cortinarius* (14) i *Russula* (13) (Roberts *i sar.*, 2004).

Lignikolne vrste koje su dominirale (po frekvenci pojavljivanja i broju sporokarpa) na oba plota su *Ganoderma applanatum* (prisutna kao saprotrof) i *Fomitopsis pinicola* (prisutan uglavnom kao parazit, ali i kao saprotrof). Ove vrste su uobičajene u šumama bukve i smrče (Edman & Jonsson, 2001; Piltaver et al., 2002; Bernicchia et al., 2007a, Bernicchia et al., 2007b, Kuffer et al., 2008).

Sastojine na Mitrovcu na Tari istakle su se i po najvećem broju jedinstvenih vrsta (evidentiranih samo na ovom lokalitetu), što dodatno ukazuje na značaj ovog refugijalnog šumskog staništa. Među njima se našla grupa makrogljiva specijalizovanih za mahovine kao specifičan supstrat: *Galerina hypnorum*, *Rickenella fibula*, *Rickenella swartzii*, *Craterellus tubaeformis*, *Entocybe nitida*, *Entoloma serrulatum*. Navedene vrste predstavljaju indikatore vlažnih šumskih staništa. Uzrok pojavljivanja ovih posebno prilagođenih makrogljiva upravo na eksperimentalnoj površini P4 je prisustvo značajne količine mahovine, koja ovde ima povoljne uslove za razvoj zahvaljujući potocima koji su aktivni tokom cele godine i zasenčenosti samog terena.

U sklopu mikocenoze prve eksperimentalne površine na Tari (P4) od posebnog značaja je *Vibrissea truncorum*. Ovo je jedna od vrlo retkih akvatičnih makrogljiva, čija se sitna plodna tela razvijaju u grupama, na granama i drugom biljnom materijalu potpuno ili delimično potopljenom u vodi, duž planinskih potoka i izvora, u hladnim rekama i jezerima (Dudka *i sar.*, 1990; Michelsen i Bakken, 1999; Šerod, 2017; Lepšová i Pouska 2014). *V. truncorum* se nalazi na Crvenim listama gljiva u sledećim zemaljama: Slovenija (kao nedovoljno poznata vrsta), Češka (skoro ugrožena), Bavarska (ranjiva).

Među svim istraživanim sastojinama, eksperimentalna površina P5 predstavlja najbolje očuvano šumsko stanište sa izuzetnim prirodnim vrednostima, što potvrđuju i registrovane vrste makrogljiva. Ova sastojina nalazi se na obodnom delu rezervata prirode „Crveni potok“ u okviru koga je očuvana šuma prašumskog tipa.

Među nalazima na plotu 5, posebno je značajna vrsta *Hericium coralloides*, koja je u Evropi prepoznata kao retka vrsta i diverzitetni indikator tj. pokazatelj očuvanih, starih šumskih staništa od izuzetnog značaja za konzervaciju (Christensen *et al.*, 2004; Adamčík *et al.*, 2007). *H. coralloides* spada među retke vrste u okviru grupe koralnih gljiva i nalazi se na crvenim listama Britanije, Nemačke, Danske, Poljske, Španije, Slovenije, Holandije (Wildscreen, 2017). Karakteristična je za neometana staništa, posebno za vrlo stare šume (Maren i Dickson, 2000). Još uvek se ne zna dovoljno o ekologiji ove vrste, ali s obzirom na to da joj je za razvoj potrebno trulo drvo, pretpostavlja se da je uzrok njenoj retkosti nedovoljna količina stalno dostupnog mrtvog drvnog materijala (Pegler *et al.*, 1997). Takođe, vrsta *H. coralloides* se nalazi na Listi strogo zaštićenih gljiva Srbije.

U grupi vrsta jedinstvenih za P5, *Mycena laevigata* je prepoznata kao indikator vrednih, starih šumskih staništa, pri čemu se ističe da preferira smrču kao supstrat (Dvořák *et al.*, 2017). Neobično je prisustvo mikorizne vrste *Suillus grevillei* na plotu P5, jer ona predstavlja vrstu koja se javlja uz ariše kao primarne partnere. Zanimljiv nalaz predstavlja i vrsta *Caloscypha fulgens*, rano prolećna vrsta koja se obično javlja već nakon prvih otapanja snegova, pa je berači smrčaka često koriste kao indikatorsku vrstu za početak sezone plodonošenja (Wood, 2019). U Severnoj Americi je utvrđeno da se pojavljuje u periodu od marta do jula (Paden *et al.*, 1978), a tokom ovog istraživanja je ustanovljena u prvoj polovini juna 2013. godine. *C. fulgens* je kao ranjiva vrsta uvrštena na Crvene liste gljiva Slovenije i Britanije. Za sada jedini literaturni podatak o nalazu ove vrste u Srbiji potiče sa Fruške Gore (Savić, 2016).

Nekoliko vrsta detektovanih u okviru mikocenoze na Mitrovcu nalazi se na Listi zaštićenih vrsta gljiva Srbije: *Cantharellus cibarius* (P4, P5), *Russula cyanoxantha* (P4 i P5), *Boletus edulis* (P4) i *Hydnum repandum* (P5). Pored već pomenutih, još 16 vrsta sa ovog lokaliteta (P4, P5) se nalaze na Crvenim listama (CL) različitih evropskih zemalja (Tab. 11).

5.2. Uticaj abiotičkih faktora na diverzitet makrogljiva

Dosadašnja mikološka istraživanja na temu uticaja abiotičkih faktora na diverzitet makrogljiva su veoma heterogena i neusklađena iz nekoliko razloga. Na prvom mestu, velika je raznolikost proučavanih faktora (različiti makro i mikroklimatski faktori, edafski faktori) te je poređenje sa literaturnim podacima teško izvodljivo. Najveći je broj studija koje obrađuju uticaje pojedinačnih ili malog broja faktora kao što su suša, padavine, temperatura

vazduha ili pH zemljišta (Büntgen *i sar.*, 2015; Salerni *i sar.*, 2002; Ferriis *i sar.*, 2000; Lindblad, 2001), kao i studija koje obrađuju samo jednu određenu grupu faktora, najčešće edafske (Ruhling i Tyler, 1990; Hansen, 1991), klimatske (Boddy *i sar.*, 2013) ili stanišne faktore (Gómez-Hernández *i sar.*, 2012).

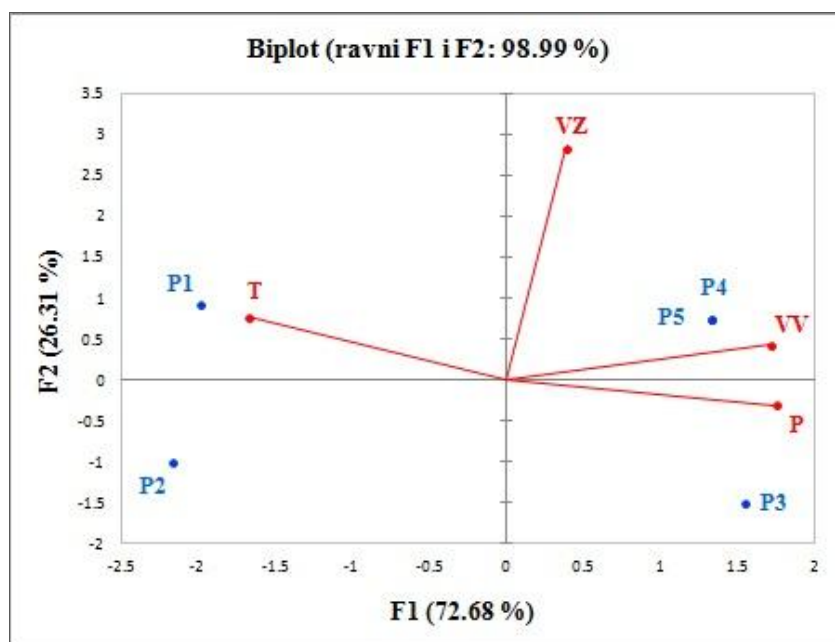
Osim toga, postoji razlika i u pogledu analiziranih podataka kao i ispitivanih mikocenoza. Najmanje je istraživanja koja obrađuju uticaj abiotičkih faktora na kompletan mikodiverzitet nekog područja, preciznije na ukupnu brojnost gljiva, zastupljenost različitih funkcionalnih grupa u okviru zajednice i sastav vrsta unutar zajednica (Lagana *i sar.*, 1999; Zotti i Pautasso, 2013; Andrew *i sar.*, 2016; Luo *i sar.*, 2016; Straatsma *i sar.*, 2001). Većina studija ispitivala je uticaj klimatskih faktora na produkciju (bimasu) formiranih plodnih tela i fenologiju (karakterističan period/vreme plodonošenja) makrogljiva (Damon *i sar.*, 2012; Boddy *i sar.*, 2014; Senn-Irlet i Bieri, 1999; Pinna *i sar.*, 2010). U žiži interesovanja ovih istraživanja su mikorizne i lignikolne grupe gljiva (Suz *i sar.*, 2014; Heilmann-Clausen *i sar.*, 2014; Richard *i sar.*, 2011; Gong *i sar.*, 2012; Bässler *i sar.*, 2010; Mohan *i sar.*, 2014), dok o uticaju različitih faktora isključivo na grupu terikolnih saprotrofa skoro da ne postoje radovi.

Kada su u pitanju istraživanja mikoriznih gljiva, u većini slučajeva se ispituje uticaj edafskih faktora, prvenstveno pH vrednosti zemljišta i sadržaja mineralnih i organskih materija u zemljištu (Kernaghan *i sar.*, 2003; Lilleskov *i sar.*, 2001; Martikainen *i sar.*, 2000; Finlay, 1995). Ekološka istraživanja lignikolne grupe praćena su skoro isključivo u odnosu na stanišne faktore i karakteristike drvnog supstrata (Pouska *i sar.*, 2017; Rajala *i sar.*, 2015; Abrego i Salcedo 2014; Juutilainen *i sar.*, 2014).

U skladu sa navedenim, u ovoj doktorskoj disertaciji urađena je uporedna analiza uticaja abiotičkih faktora (padavina, temperature vazduha, vlažnosti vazduha, vlažnosti zemljišta) na mikodiverzitet posmatranih šumskih staništa, a posebno na sve tri osnovne funkcionalne grupe mikocenoza.

5.2.1. Analiza mikodiverziteta šumskih sastojina u odnosu na abiotičke faktore

U cilju analize istraživanih šumskih staništa prema abiotičkim faktorima, dobijeni trogodišnji rezultati su podvrgnuti multivarijantnoj statističkoj obradi kroz analizu osnovnih komponenti (PCA), kako bi se procenio uticaj abiotičkih faktora na mikodiverzitet na osnovu procene zavisnosti (pravilnosti ili nepravilnosti) u njihovoj varijabilnosti. Rezultati primenjene statističke analize prikazani su “biplot” dijagramom (Graf. 12).



Grafikon 12. PCA analiza istraživanih plotova na osnovu abiotičkih faktora

Legenda: P1, P2, P3, P4, P5 – eksperimentalni plotovi, T – temperatura vazduha, P – srednje mesečne padavine, VV – vlažnost vazduha, VZ – vlažnost zemljišta

Prve dve ose na dijagramu (F1 i F2) nose 98,99% ukupne varijabilnosti. Znatno jače razdvajanje analiziranih plotova (72,68%) dobijeno je u horizontalnoj ravni F1 ose, čemu podjednako doprinose padavine (P), vlažnost vazduha (VV) i temperatura vazduha (T). Za slabije razdvajanje u ravni vertikalne F2 ose (26,31%), odgovorna je vlažnost zemljišta (VZ).

Na osnovu abiotičkih faktora koji su povezani sa F1 osom, plotovi su raspoređeni u 2 grupe. Jednu grupu čine plotovi sa Tare (P4 i P5) i plot P3 sa Kopaonika koji se, na osnovu visokih vrednosti VV i količine P, sa jedne strane, i niskih T sa druge strane, mogu okarakterisati kao vlažnija i hladnija šumska staništa. Dobijeni rezultati su u skladu sa tipovima klime koji su zastupljeni na ovim planinama. Taru odlikuje umereno-kontinentalna klima sa izraženim humidnim karakterom na platou planine (Gburčik, 1992), koji obuhvata i lokalitet Mitrovac. Za područje Kopaonika, koji je na prelazu mediteranskih i kontinentalnih vazдушnih masa, je specifična subalpijska klima, sa prosekom godišnjih padavina koji prelazi 1 000 mm (Stevanović i Stevanović, 1995).

Drugu grupu čine plotovi sa Vidliča (P1 i P2) koji su se izdvojili kao toplija, suva staništa (po visokim temperaturama vazduha i niskim vrednostima vlažnosti vazduha i padavina). Ovakvi rezultati su bili očekivani s obzirom na to da prva grupa plotova predstavlja visokoplaninska šumska staništa, dok staništa na Vidliču imaju nešto blažu klimu. Vidlič se

nalazi u zoni umereno kontonentalne klime, a s obzirom da zauzima položaj između vlažne staroplaninske oblasti i suve oblasti pirotsko-dimitrovgradske kotline (Vidanović, 1960), vlažnost same planine varira u zavisnosti od visine, od suvih, nižih predela do relativno vlažnih visokih.

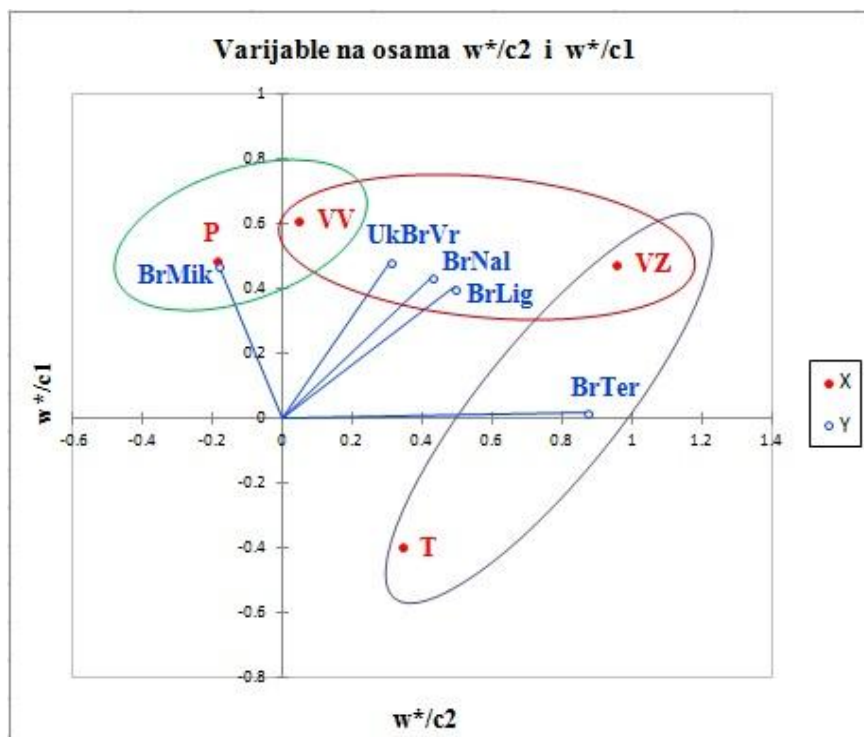
Drugačiji model variranja uočava se u odnosu na osu F2 sa kojom je povezana vlažnost zemljišta. U odnosu na ovaj faktor, u pozitivnim kvadrantima vertikalne ose, koji se odnose na visoku VZ, grupisali su se plotovi P4, P5 (Tara) i P1 (Vidlič), dok su se u negativnim kvadrantima (niska VZ) rasporedili plotovi P2 (Vidlič) i P3 (Kopaonik). Plotovi na Tari se nalaze u udolini Mitrovca koja je bogata potocima i u kojoj se sakuplja voda sa strmih okolnih delova planine. Pored toga odlikuje se i dubljim zemljištem bogatim humusom. Sve ovo utiče na veću i konstantniju vlažnost zemljišta. Plot na Kopaoniku nalazi se na strmoj padini niz koju se voda, dospela atmosferskim padavinama, sliva u udolinu lokaliteta Metode, usled čega je i vlažnost zemljišta manja. Plotovi na Vidliču (P1 i P2) se uprkos velikom broju sličnih karakteristika (smešteni u istom pojasu mezijskih bukovih šumskih zajednica, na 1 km udaljenosti, imaju istu ekspoziciju, nagib, nadmorsku visinu i slične vrednosti klimatskih parametara) znatno razlikuju po vlažnosti zemljišta. Na osnovu toga može se pretpostaviti da je sađenjem alohtone vrste četinara, duglazije, na plotu P2 izmenjen vodni režim zemljišta na prostoru koji je ranije bio nastanjen autohtonom šumom bukve.

5.2.2. Uticaj abiotičkih faktora na brojnost makrogljiva

Uticaj abiotičkih faktora na brojnost makrogljiva u okviru mikocenoza posmatranih šumskih staništa utvrđen je statističkom obradom dobijenih trogodišnjih rezultata primenom metode parcijalnih projekcija najmanjih kvadrata tj. PLS (eng. *Partial Least Square*) regresije. Ova metoda, zasnovana na višetrukoj regresiji i analizi glavnih komponenata, omogućava ispitivanje međusobne zavisnosti većeg broja zavisnih varijabli (u ovoj analizi: UkBrVr – ukupan broj identifikovanih vrsta, BrNal – broj nalaza, BrMik – broj mikoriznih gljiva, BrLig - broj lignikolnih gljiva, BrTer - broj terikolnih saprotrofa) i nezavisnih varijabli (u ovoj analizi abiotički faktori: T – temperatura vazduha, P – srednje mesečne padavine, VV – vlažnost vazduha, VZ – vlažnost zemljišta). Rezultati primenjene statističke analize prikazani su dijagramom koji oslikava varijabilnost između podataka koji se odnose na brojnost vrsta u okviru registrovanih zajednica gljiva (ukupna brojnost vrsta zabeleženih na plotovima, ukupan broj nalaza i broj vrsta u okviru različitih ekoloških grupa) i merenih abiotičkih faktora (Graf. 13).

PLS dijagram koji prikazuje zavisne varijable na “c” vektorima, a nezavisne varijable na “w*” vektorima, omogućava vizuelizaciju veze između varijabli, pri čemu se “w*” odnose na težinu varijabli u modelu. Uticaj nezavisnih varijabli (u ovom slučaju abiotičkih faktora) na modeliranje zavisnih varijabli (podataka o brojnosti makrogljiva) procenjuje se projekcijom nezavisnih varijabli na vektore zavisnih varijabli (https://help.xlstat.com/?b_id=9283).

Na Graf. 13 uočava se različito grupisanje podataka o brojnosti makrogljiva u odnosu na različite abiotičke faktore (T, P, VV, VZ). Prvu grupu podataka čine: ukupna brojnost identifikovanih vrsta (UkBrVr), broj evidentiranih nalaza (broj svih identifikovanih i neidentifikovanih makrogljiva - BrNal) i broj lignikolnih vrsta (BrLig). Na ovu grupu podataka u najvećoj meri su uticali VV i VZ.



Grafikon 13. PLS analiza zavisnosti broja makrogljiva od abiotičkih faktora

Nezavisne varijable (X): T – temperatura vazduha, P – srednje mesečne padavine, VV – vlažnost vazduha, VZ – vlažnost zemljišta; **Zavisne varijable (Y):** UkBrVr – ukupan broj identifikovanih vrsta, BrNal – broj nalaza, BrMik – broj mikoriznih gljiva, BrLig - broj lignikolnih gljiva, BrTer - broj terikolnih saprotrofa

Većina dosadašnjih istraživanja ispitivala je zastupljenost i brojnost lignikolne grupe gljiva u zavisnosti od tipa staništa i kvaliteta supstrata, pa je teško izvršiti poređenje dobijenih rezultata sa literaturnim podacima. Bässler i saradnici (2010) su ispitivanjem uticaja mikro-, makroklimе i dostupnosti resursa na diverzitet lignikolnih makrogljiva,

ustanovili da makroklimatski faktori (temperatura vazduha, padavine, vlažnost vazduha) u najvećoj meri utiču na brojnost ove grupe gljiva, dok su mikroklimatski faktori (vlaga drvnog supstrata, vlažnost zemljišta, izloženost suncu) i karakteristike supstrata (količina, vrsta, prečnik i stepen razgradnje dostupnog drvnog materijala) odgovorni za specifično struktuiranje same zajednice tj. sastav i zastupljenost različitih vrsta. Istraživanjem sprovedenim u tri šumska staništa Kostarike (Lindblad, 2001), različita u pogledu vlažnosti, utvrđeno je da brojnost lignikolnih makrogljiva raste proporcionalno sa porastom vlage staništa, što je u saglasnosti sa dobijenim rezultatima (Graf. 13).

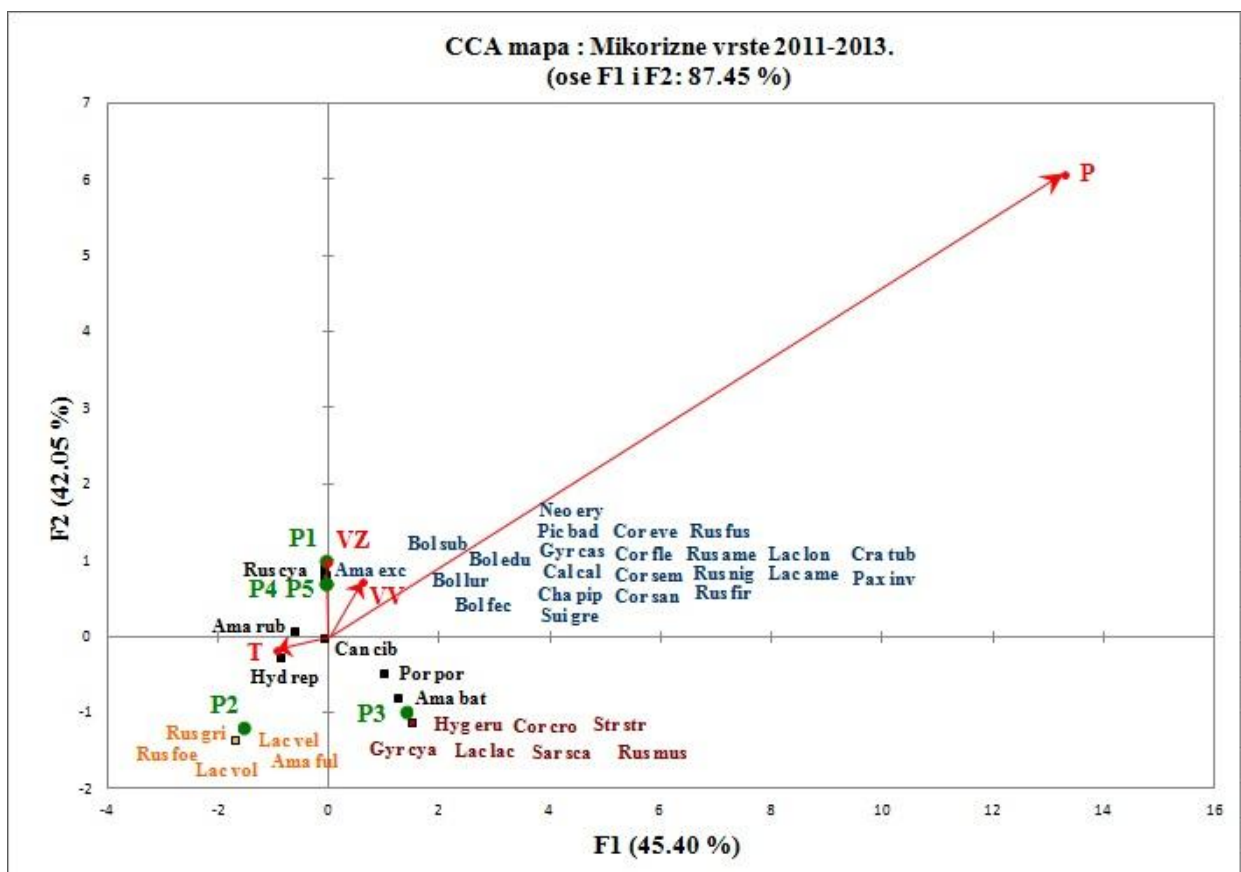
Prodaci o brojnosti mikoriznih makrogljiva (BrMik) i terikolnih saprotrofa (BrTer) su se na osnovu abiotičkih parametara izdvojili na suprotnim stranama PLS dijagrama (Graf. 13). Brojnost mikoriznih makrogljiva zavisila je skoro u potpunosti od P (preklapanje crvene tačke koja se odnosi na varijablu padavina sa vrhom vektora koji se odnosi na broj mikoriznih vrsta), ali je pokazala pozitivnu korelaciju i sa VV. Mikocenološko istraživanje autora Lagana i saradnika (1999) je takođe pokazalo značajnu zavisnost broja mikorizne grupe makrogljiva u odnosu na padavine. Na brojnost terikolnih saprotrofa (BrTer) najviše je uticala VZ, a u manjoj meri i T (Graf. 13).

5.2.3. Uticaj abiotičkih faktora na sastav mikocenoza

U cilju ispitivanja preraspodele evidentiranih vrsta makrogljiva u okviru različitih staništa, prema abiotičkim faktorima sredine, dobijeni trogodišnji rezultati su podvrgnuti multivarijantnoj statističkoj obradi kroz kanonsku korespondentnu analizu (CCA). CCA analiza predstavlja modifikovanu CA analizu, koja omogućava simultanu obradu dva seta različitih podataka (varijabli) – u ovom slučaju podataka o frekvenciji vrsta na određenim plotovima (FV) i podataka o abiotičkim faktorima merenim na datim plotovima (T, P, VV, VZ). Rezultati ove statističke analize prikazani su “triplot” dijagramima (Graf. 14 i 15), na kojima se odnos između lokaliteta/vrsta i gradijenata abiotičkih faktora očitava projektovanjem odgovarajuće tačke normalno na odgovarajući vektor, dok dužina vektora ukazuje na značaj njegovog uticaja (https://help.xlstat.com/?b_id=9283). U ovom tipu analize odnose između vrsta i lokaliteta nije lako interpretirati, mada manja razdaljina između ovih tačaka može ukazati na povećanu verovatnoću da je određena vrsta prisutna ili brojnija na datom lokalitetu.

Kao i kod CA metode, i u ovom slučaju su radi lakše vizualizacije velikog broja podataka, izvršene odvojene analize za svaku funkcionalnu grupu makrogljiva (mikorizne,

lignikolne, terikolni saprotrofi). Jedina CCA analiza koja nije dala rezultate odnosi se na grupu terikolnih saprotrofa, ukazujući na to da se raspored i zastupljenost ovih vrsta u okviru istraživanih plotova ne može objasniti uticajem ispitivanih abiotičkih faktora. Ovakav rezultat poklapa se sa rezultatima grupe autora (Luo *i sar.*, 2016) koji su ispitivali uticaj sredinskih faktora na distribuciju i sastav makrogljiva u četinarskim šumama bora u Kini. Njihovim istraživanjem (NMDS analiza) nije utvrđena značajna veza između saprotrofnih makrogljiva i analiziranih abiotičkih faktora (temperatura vazduha, vlažnost vazduha i temperatura zemljišta). Osim toga, istraživanje Andrew *i sar.* (2016), koji su uporedno ispitivali uticaj klimatskih i stanišnih faktora na različite grupe makrogljiva, ukazalo je na to da se varijacije u sastavu mikocenoza ne mogu pripisati klimi, već pre svega razlikama između eksperimentalnih plotova.



Grafikon 14. CCA analiza uticaja abiotičkih faktora na sastav mikorizne grupe makrogljiva

Skraćenice taksona predstavljaju po tri prva slova latinskog naziva roda i vrste

Na dijagramu koji predstavlja CCA analizu podataka za mikoriznu grupu gljiva (Graf. 14), prve dve ose (F1 i F2) nose najveći deo ukupne varijabilnosti (87,45%), pri čemu je ona ujednačeno raspoređena na obe ose (45,40% i 42,05%).

Poređenjem rezultata CCA (Grafikon 14) i PLS (Graf. 14) analiza uočava se da ispitivani abiotički faktori u istoj meri utiču kako na zastupljenost (brojnost) mikorizne grupe makrogljiva, tako i na specifičnu preraspodelu mikoriznih vrsta između različitih šumskih staništa. Ovakva zapažanja do sada nisu zabeležena u nama dostupnim mikocenološkim radovima (Ferris *i sar.*, 2000; Salerni *i sar.*, 2001; Zotti i Pautasso, 2013; Luo *i sar.*, 2016).

Na osnovu dužine vektora koji predstavljaju gradijente abiotičkih faktora (strelice koje spajaju centar dijagrama i tačke faktora), varijabilnosti posmatranih podataka (distribuciji vrsta) najviše doprinose prosečne mesečne količine padavina (P). Nešto manji značaj imaju VZ i VV, dok je doprinos T veoma mali u odnosu na ostale faktore sredine pa njegov uticaj treba uzeti sa rezervom. Ovi rezultati su u skladu sa rezultatima istraživanja varijabilnosti mikoriznih zajednica belog bora koje je pokazalo da količine padavina i vlažnost zemljišta značajno utiču na sastav ektomikoriznih zajednica (Jarvis *i sar.*, 2013). Ispitivanja promena u mikoriznim zajednicama duž eksperimentalnog hidrološkog gradijenta, pokazala su da različita vlažnost zemljišta može značajno da utiče na promene u sastavu mikorizne zajednice (Cavender-Bares *i sar.*, 2009). Radovi koji se zasnivaju na eksperimentalnim tretmanima zagrevanjem, pokazala su da povišena temperatura može takođe da utiče na promene u zajednicama mikoriznih makrogljiva (Clemmensen *i sar.*, 2006; Deslippe *i sar.*, 2011).

Projektovanjem tačaka, koje označavaju različite vrste mikoriznih makrogljiva, na odgovarajuće vektore CCA dijagrama (Graf. 14) dobijamo informacije o tome kakvi su abiotički uslovi pogodovali njihovom pojavljivanju na određenim plotovima. Vrste skoncentrisane u centru dijagrama su izostavljene u interpretaciji rezultata pošto odgovaraju srednjim vrednostima ispitivanih faktora.

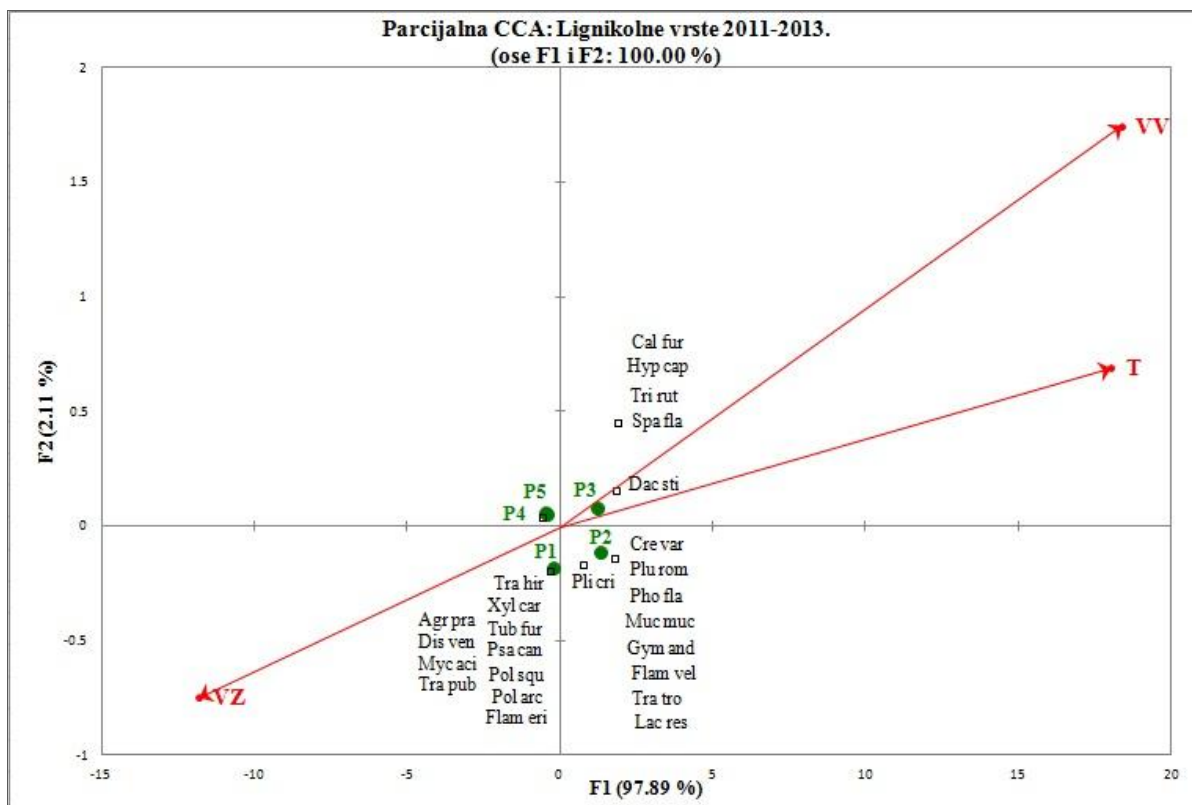
Kao vrste sklone vlažnim, hladnijim staništima istakle su se *R. cyanescens* (plotovi P1, P4 i P5), kao i sve vrste koje su na dijagramu označene plavom bojom, a koje su jedinstvene za P4 i P5 (Tara). Njihovoj fruktifikaciji pogodovale su u najvećoj meri visoka VZ, kao i visoka VV i veće količine P. Neobično je da se među ovim vrstama našao i *B. luridus* koji je u istraživanjima mediteranskih šumskih staništa prepoznat kao termofilna vrsta (Richard *i sar.*, 2004, Ortega i Lorite, 2007, Zotti i Pautasso, 2013).

Vrstama koje su se grupisale u drugom kvadrantu (+ deo F1 ose i - negativni deo F2 ose) odgovarale su umerena temperatura vazduha i umerene količine padavina. Vrste *A. rubescens* i *C. cibarius*, koje su pozicionirane najbliže centru dijagrama, istakle su se kao vrste koje preferiraju umerene vrednosti svih ispitivanih parametara. U radovima drugih autora, one su upravo i prepoznate kao mezofilne vrste (Lisiewska, 1974; Zotti, 2002; Zotti i Pautasso, 2013), uključujući i vrste: *H. repandum*, *R. foetens* i *L. vellereus* koje su se istraživanjima

ove teze ipak izdvojile kao izrazito termofilne makrogljive, zajedno sa ostalim vrstama iz trećeg kvadranta (- deo F1 ose, - deo F2 ose) koje su evidentirane u sušnim periodima, sa višim T. Sve vrste raspoređene u negativnom delu vertikalne ose su plodonosile u uslovima niske vlažnosti. Među njima je i vrsta *C. croceus*, koja je poznata kao vrsta česta na suvim staništima (Kuo, 2011).

Kanonskom korespondentnom analizom (CCA) podataka za lignikolne vrste, utvrđeno je da padavine ne doprinose njihovom rasporedu i zastupljenosti u okviru različitih plotova, što se i očekivalo od kserofilnih vrsta. Da bi se dobio odgovarajući model varijabilnosti u zavisnosti od preostala tri ispitivana abiotička faktora (T, VV, VZ), uticaj padavina isključen je iz analize primenom parcijalne CCA statističke metode (Graf. 15).

CCA triplot podataka za lignikolne vrste makrogljiva, objašnjava celokupnih 100% varijabilnosti ustanovljene u okviru ove ekološke grupe. Horizontalna, F1 osa nosi čak 97,89% ukupne varijabilnosti, pri čemu najveći doprinos imaju redom VV, T, a zatim i VZ koja je sa njima u obrnutoj korelaciji. Vrstama grupisanim u prvom, pozitivnom kvadrantu (0) pogodovale su visoka VV i T. Vrste grupisane u drugom kvadrantu (+ deo F1 ose, - negativni deo F2 ose), zabeležene su u periodima sa umerenim vrednostima ispitivanih abiotičkih parametara, dok se pojavljivanje lignikolne vrsta iz trećeg, negativnog kvadranta poklapa sa periodima niske VV i T a visoke VZ. Kao i u slučaju analize mikoriznih makrogljiva, vrste skoncentrisane u centru dijagrama su izostavljene u interpretaciji rezultata, što znači da su preferirale umerene (srednje) vrednosti ispitivanih faktora.



Grafikon 15. CCA analiza uticaja abiotičkih faktora na sastav lignikolne grupe makrogljiva
Skraćenice taksona predstavljaju po tri prva slova latinskog naziva roda i vrste

Rezultati ove teze izuzetno su značajni, između ostalog, i zbog toga što su se dosadašnja istraživanja diverziteta lignikolne grupe gljiva zasnivala na uticaju supstrata i stanišnih uslova, te zbog toga ne postoje podaci o preferenciji različitih vrsta ka specifičnim abiotičkim faktorima (T, VV, P). Poznato je da se lignikolne gljive značajno razlikuju po svojim mikroklimatskim preferencijama (Boddi i Heilmann-Clausen, 2008; Stokland *i sar.*, 2012; Rajala *i sar.*, 2015; Runnel i Lõhmus 2017), dok je svega nekoliko studija ispitivalo važnost makroklimatskih faktora za sastav zajednica ove grupe gljiva i to uglavnom u odnosu na visinske gradijente (Zhang *i sar.*, 2010; Gómez-Hernández *i sar.*, 2012; Lindblad, 2001). Rezultati pojedinih autora (Heilmann-Clausen *i sar.*, 2014; Basler *i sar.*, 2010) su pokazali da na sastav zajednica lignikolnih gljiva u većoj meri utiču karakteristike staništa i dostupnog supstrata nego klimatski faktori.

5.3. Molekularna analiza odabranih vrsta makrogljiva

Osam reprezentativnih vrsta koje su bile prisutne u okviru više analiziranih staništa, izabrane su u cilju utvrđivanja potencijalnih varijabilnosti u okviru ITS1-5.8S-ITS2 rDNK regiona i prirodnih, filogenetskih odnosa među makrogljivama šumskih ekosistema. Kao rezultat izolacije njihove DNK, amplifikacije ITS rDNK i sekvenciranja, dobijena je ukupno 41 sekvenca (Tab. 12) koje su deponovane u GenBank bazu i upoređene sa odabranim NCBI i UNITE sekvencama.

Dužine dobijenih sekvenci su varirale u sledećem opsegu: 557–877 baznih parova (bp) (Tab. 12). Nakon njihovog poravnanja sa GenBank i Unite sekvencama istih vrsta, kao i nekih od najsirodnih i filogenetski najbližih taksona, „Neighbor – joining“ metodom su konstruisana filogenetska stabla za svaku analiziranu vrstu (Graf. 16 - 25) u cilju utvrđivanja potencijalnih evolutivnih odnosa među ispitivanim sojevima.

Genetičke distance, kao procene evolutivne divergencije, merene su kako unutar tako i između grupa analiziranih vrsta. Svih osam vrsta makrogljiva ispoljile su nizak nivo intraspecijske varijabilnosti ITS regiona (Tab. 13) u poređenju sa interspecijskom varijabilnošću, tj. genetičkom distancom u odnosu na druge srodne vrste ili druge filogenetske grupe iste vrste (Tab. 15, 17, 19, 21, 23, 25, 28). Na osnovu dobijenih intraspecijskih genetičkih distanci analiziranih vrsta, može se zaključiti da se najveća evolutivna divergencija javlja unutar vrsta *H.radicata* (0 – 0,025) i *C.varius* (0 – 0,010), dok je najveća genetička distanca između sekvenci uzoraka koje potiču sa istraživanih područja dobijena za vrste *H.radicata* (GD = 0,025) i *P.impudicus* (GD = 0,006).

Na osnovu konstruisanih filogenetskih stabala, analizirana su polimorfna mesta u sekvencama makrogljiva ove teze i pojedinim sekvencama iz GenBank i Unite baza podataka, koje su odabrane prema njihovom specifičnom udruživanju ili razdvajanju u dendrogramima, kako bi se bolje procenili ispoljeni filogenetski odnosi (Tab. 16, 18, 20, 22, 24, 26, 27, 29). Utvrđene polimorfne pozicije oslikavaju specifična grupisanja unutar filogenetskih stabala, pri čemu jedinstvene polimorfne pozicije (osencene ružičasto), specifične za određenu grupu u okviru stabla (kladu ili subkladu), predstavljaju promene koje su dovele do divergencije ove grupe u odnosu na ostale genotipove date vrste. Podaci o utvrđenoj varijabilnosti ITS regiona analiziranih vrsta, dati su u Tab. 14. Vrste sa najvećom intraspecijskom varijabilnošću su *P.impudicus* (17% ukupnih varijacija u ITS regionu) i

H.radicata (14% ukupnih varijacija u ITS regionu), dok su se kao najmanje varijabilne pokazale vrste *M.alliaceus* (2%) i *M.pelianthina* (4%).

Tabela 12. Uzorci makrogljiva korišćeni za molekularne analize

Redni broj	Vrsta	Dužina sekvence (bp)	GenBank pristupni broj	Plotovi
1.	<i>Cerioporus varius</i>	571	KX533917*	P1
2.		572	KX533918*	P2
3.		638	KX524509*	P12**
4.		635	KX533919*	P12**
5.		560	529RH05	P3
6.		630	KX533920*	P5
7.		631	KX524508*	P5
8.	<i>Fomitopsis pinicola</i>	637	KX524501	P12**
9.		647	KX524502	P4
10.		574	KX524500	P5
11.		655	KX524503	P5
12.		650	KX524504	P5
13.		656	KX524505	P5
14.	<i>Ganoderma applanatum</i>	612	11FC09	P4
15.		791	12FD02	P4
16.		609	13FPC12	P4
17.		612	14FF09	P4
18.		610	15FC05	P4
19.		621	17FG09	P4
20.		610	18FF02	P4
21.		616	19FH09	P5
22.	<i>Hymenopellis radicata</i>	834	KX533922	P1
23.		877	KX533923	P12**
24.		789	KX533921	P12**
25.		839	1BC3ZAD07836F	P2
26.		870	1BC3ZAD08767F	P3
27.	<i>Mycena pelianthina</i>	704	1BC3ZADO80	P1
28.		720	1BC3ZADO82	P3
29.		663	MR850FDO8	P3
30.	<i>Mycena pura</i>	660	MR343FCO4	P1
31.		664	MR156ZFEO1	P3
32.		286	MR357FFO3	P5
33.	<i>Mycetinis alliaceus</i>	558	251FPF10	P3
34.		747	559FB06	P3
35.		744	123FB01	P4
36.		743	722FE07	P4
37.		742	353FD03	P5
38.		742	724FF07	P5
39.	<i>Phallus impudicus</i>	566	1BC3ZAD092	P1
40.		568	1BC3ZAD093	P12**
41.		557	1BC3ZAD094	P12**

* Uzorci koji su u GenBanku-u deponovani pod nazivom *Polyporus varius*

**Uzorci pronađeni između P1 i P2 na Vidliču, van okvira obeleženih eksperimentalnih površina

Tabela 13. Procena prosečnih intraspecijskih genetičkih distanci (GDu) ITS sekvenci unutar grupa filogenetski analiziranih vrsta

Vrsta	GD	Vrsta	GD	Vrsta	GD	Vrsta	GD	Vrsta	GD	Vrsta	GD	Vrsta	GD
<i>C.varius*</i>	0,000	<i>F.pinicola*</i>	0,000	<i>G.applanatum*</i>	0,000	<i>H.radicata*</i>	0,000	<i>M.pura*</i>	0,002	<i>M.alliaceus*</i>	0,000	<i>P.impudicus*</i>	0,006
<i>C.varius**</i>	0,003	<i>F.pinicola</i>	0,001	<i>G.applanatum</i>	0,001	<i>H.radicata**</i>	0,025	<i>M.pura</i>	0,006	<i>M.alliaceus</i>	0,000	<i>P.impudicus</i>	0,014
<i>C.varius</i>	0,010	<i>F.ochracea</i>	0,001	<i>G.adspersum</i>	0,012	<i>H.radicata</i>	0,003	<i>M.pelianthina*</i>	0,000			<i>P.hadriani</i>	0,001
				<i>G.australe</i>	0,042	<i>H.sinapicolor</i>	0,009	<i>M.pelianthina</i>	0,001				
				<i>G.pfeifferi</i>	0,001	<i>H.furfuracea*</i>	0,000	<i>M.rosea</i>	0,000				
				<i>G.resinaceum</i>	0,007	<i>H.rugosoceps</i>	0,006	<i>M.dura</i>	0,000				
						<i>H.orientalis</i>	0,006	<i>M.diosma</i>	0,012				
						<i>H.limonispora</i>	0,000						
						<i>H.megalospora*</i>	0,000						
						<i>H.incognita</i>	0,000						
						<i>H.raphanipes</i>	0,010						

▪ Vrste u čijoj analizi intraspecijske GD su izuzete sekvence za koje se sumnja da pripadaju drugoj vrsti

*Sekvence koje su rezultat ove teze; **Sekvence iz ove teze, uključujući i po jednu koja se u filogenetskom stablu izdvojila kao udaljena u odnosu na ostale

Tabela 14. Intraspecijska varijabilnost ITS1, 5.8S, ITS2 regiona u sekvencama odabranim za analizu polimorfizama unutar svake ispitivane vrste

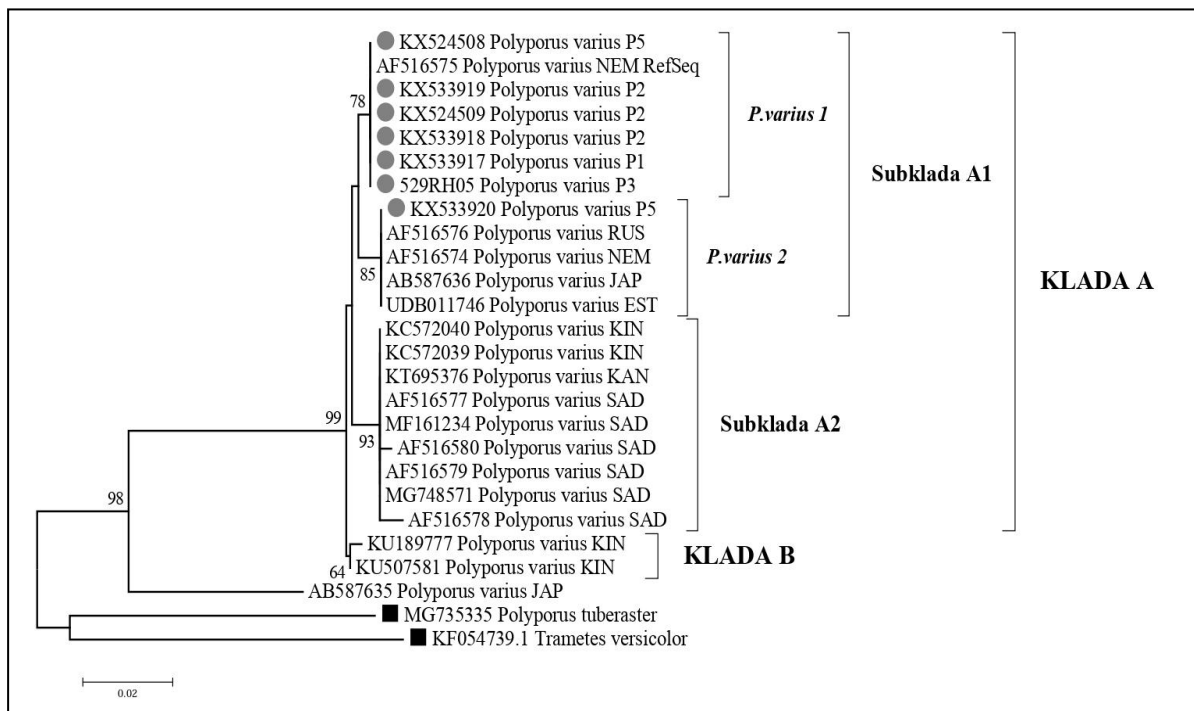
	Br. analiziranih sekvenci	Br. konzerviranih pozicija / br. analiziranih (bp)	Br. varijabilnih pozicija / br. analiziranih (bp)	Br. informativnih pozicija	Ukupan br. indela (bp)	Ukupan br. supstitucija (bp)	Ukupne varijacije (%)
<i>Ceriosporus varius</i>	23	547/573	38/573	15/573	9	29	7
<i>Fomitopsis pinicola</i>	39	583/627	57/627	14/627	19	38	9
<i>Ganoderma applanatum</i>	30	541/601	59/601	14/601	11	50	10
<i>Hymenopellis radicata</i>	25	665/763	108/763	15/763	20	91	14
<i>Mycena pelianthina</i>	9	641/667	27/667	4/667	3	24	4
<i>Mycena pura</i>	35	553/605	67/605	26/605	30	46	11
<i>Mycetinis alliaceus</i>	16	703/718	13/718	3/718	2	13	2
<i>Phallus impudicus</i>	14	536/608	63/608	33/608	49	63	10

5.3.1. *Cerioporus varius* (syn. *Polyporus varius*)

Novija filogenetska studija lentinoidno-poliporoidnog taksonomskog kontinuuma (Zmitrovich i Kovalenko 2016) potvrdila je povezanost vrste *P. varius* sa glavnim delom grupe Polyporaceae, ali je i utvrdila njegovu pripadnost novoj kladi *Cerioporus* (drevna linija u okviru jezgra poliroidne grane), što je dovelo do izdvajanja novo prihvaćenog, homonimnog roda. Na osnovu toga, vrsta *Polyporus varius* je preimenovana u *Cerioporus varius* (Pers.) Zmitr. & Kovalenko, ali će u ovom delu teze biti analizirana pod starim imenom, pod kojim su sve analizirane sekvence drugih autora deponovane u GenBank bazu podataka.

U filogenetskoj analizi vrste *P. varius* korišćeno je ukupno sedam uzoraka plodonosnih tela: četiri uzorka sa Vidlića (P1 i P2), dva sa Tare (P5) i jedan sa Kopaonika (Tab. 12). Svi uzorci su uspešno sekvencirani. Pretraga BLAST-a je dala rezultate koji su bili u skladu sa morfološkom identifikacijom uzorkovanih gljiva. Za konstrukciju filogenetskog stabla (Graf. 16), preuzeto je i 17 sekvenci iz GenBank i Unite baza podataka, a vrste *Polyporus tuberaster* (GenBank sekvenca: MG735335) i *Trametes versicolor* (GenBank sekvenca: KF054739.1) su poslužile kao spoljašnje grupe. Formirane su dve glavne klade – A i B. U okviru prve, dominantne klade A su se izdvojile dve podklade (A1 i A2).

Grafikon 16. Filogenetsko stablo vrste *P. varius*



Bootstrap vrednosti iznad 50% su prikazane na čvorovima, tj. mestima evolutivnog razdvajanja

● Oznaka za sekvence koje su rezultat ove teze; ■ Oznaka za spoljašnje grupe (eng. „Outgroup“)

Podkladom A1 su obuhvaćene evropske sekvence (izuzetak je jedna Japanska sekvenca - AB587636), pri čemu se većina srpskih sekvenci izdvojila u okviru posebne grane sa jednom nemačkom sekvencom (grana *P. varius 1*, podržana bootstrap vrednošću 78%), dok su se ostale sekvence, zajedno sa jednom srpskom koja potiče sa Tare (KX533920, plot P5), grupisale u okviru grane *P. varius 2* (podržana bootstrap vrednošću 85%). Podklada A2 sastoji se iz severnoameričkih (SAD i Kanada) i 2 kineske sekvence i podržana je bootstrap vrednošću 93%. Kladu B čine isključivo dve kineske sekvence. Ovi rezultati potvrđuju postojanje jasno definisanih geografskih grupa unutar kompleksa *P. varius*, na šta su ukazala i neka od prethodnih filogenetskih istraživanja roda *Polyporus*, ali sa znatno manjim brojem analiziranih sekvenci ove vrste (Krüger, 2002; Dai *i sar.*, 2014)

Tabela 15. Procena prosečnih genetičkih distanci (GDi) u ITS sekvencama između grupa analizirane vrste *C. varius*

	Pv 1 *	<i>P. varius</i> P5 (KX533920)	<i>P. varius</i> RefSeq	Pv 2 **	Pk. A2	Kl. B	<i>P. varius</i> JAP (AB587635)
Pv 1 *	<i>0,000</i>						
<i>P. varius</i> P5 (KX533920)	0,007	X					
<i>P. varius</i> RefSeq	0,000	0,007	X				
Pv 2 **	0,009	0,004	0,009	<i>0,007</i>			
Pk. A2	0,013	0,015	0,013	0,015	<i>0,002</i>		
Kl. B	0,007	0,005	0,007	0,006	0,013	<i>0,010</i>	
<i>P. varius</i> JAP (AB587635)	0,112	0,109	0,112	0,109	0,116	0,106	X

Italik vrednosti u liniji dijagonale se odnose na GD unutar date filogenetske grupe

* Bez referentne sekvence; ** Bez srpske sekvence KX533920

Dobijeno grupisanje u filogenetskom stablu je podržano odgovarajućim prosečnim genetičkim distancama (Tab. 13, 15). Procenjena prosečna genetička udaljenost unutar grupe sekvenci *P. varius* generisanih ovom tezom iznosi 0,003 (Tab. 13), zahvaljujući sekvenci KX533920 sa Tare (P5), izdvojenoj u odnosu na sve ostale srpske sekvence (GDi=0,007), koja je skoro dvostruko bliža drugim evropskim sekvencama iz grupe *P. varius 2* (GDi=0,004). Na osnovu ovoga, zaključuje se da na području rezervata Crveni potok na Tari (P5) postoje 2 filogenetski udaljene populacije vrste *P. varius* koje bi bilo interesantno dodatno ispitati analizom drugih regiona DNK. Ovaj nalaz dodatno ide u prilog očuvanju Crvenog potoka kao važnog reliktnog staništa, uključujući i njegovo šire područje (Mitrovac). Ukoliko se pomenuta sekvenca isključi iz analize genetičke distance unutar grupe srpskih sekvenci *P. varius*, dobijeni rezultat (GDu=0,000) ukazuje da je u istraživanim šumskim staništima na sve tri planine zastupljen jedinstven genotip koji se evolutivno

razlikuje od ostalih dostupnih sekvenci ove vrste u svetu (Gdi: 0,007 – 0,013). Interesantno je da su sekvence generisane ovim istraživanjem evolutivno najbliže dvema kineskim sekvencama u okviru Klade B (Gdi: 0,005 – 0,007). S obzirom na to da je u javnim bankama gena deponovan mali broj ITS sekvenci vrste *P. varius*, može se pretpostaviti, ali ne i tvrditi, da su na području Srbije prisutni genotipovi ove vrste koji su specifično divergirali u odnosu na ostale svetske populacije pa samim tim predstavljaju važan genetički resurs. Analizom genetičkih distanci između grupa formiranih u filogenetskom stablu vrste *P. varius*, japanska sekvenca AB587635 koja se potpuno izdvojila iz stabla je pokazala oko 10 puta veće genetičke distance (Gdi: 0,106 – 0,116), tipične za interspecijske genetičke udaljenosti, što ukazuje da se radi o drugoj vrsti tj. o pogrešnoj polaznoj, morfološkoj, identifikaciji.

Za analizu polimorfizama korišćene su 23 sekvence, tačnije sve sekvence iz glavnog dela stabla (Klade A i B), koje su pokazale specifično pozicioniranje unutar različitih podklada (Tab. 16). Posle njihovog poravnanja, ispitivano je 573 nukleotidnih pozicija u odnosu na referentnu sekvencu *P. varius* (GenBank sekvenca: AF516575). Ukupna varijabilnost poravnatih sekvenci je iznosila 7%, sa 38 utvrđenih varijabilnih pozicija od ukupno 547 u konzerviranom regionu (Tab. 14). Polimorfna mesta (Tab. 16) uzrokuju specifično grupisanje analiziranih sekvenci u dendrogramu. Sekvence iz ove teze grupisane u okviru podklade *P. varius 1*, zajedno sa referentnom sekvencom, imaju najmanje polimorfnih pozicija i međusobno su skoro identične, što je u skladu sa utvrđenim odsustvom genetičke distance (GDu, GDi = 0,000). Među uzorcima iz kojih su ove sekvence izolovane uočena je morfološka varijabilnost, koja očigledno nije genetički uslovljena, što potvrđuje rezultate ranije monografske studije roda *Polyporus*, sa aspekta filogenije i ukrštanja različitih kultura istih vrsta, u kojoj se ističe da je morfološka varijabilnost vrste *P. varius* uslovljena uslovima staništa i mikroklimom (Krüger, 2002). U podkladi *P. varius 1*, zabeležen je najveći broj heterozigotnih pozicija: bp 23, 29, 91, 119, 127, 205, 364, 435, 533, 553, 562. U odnosu na sve ostale grupe iz filogenetskog stabla, podklada *P. varius 1* se razlikuje po 5 jedinstvenih nukleotidnih pozicija (bp 106, 129, 146, 527, 536) i one predstavljaju promene koje su dovele do specifične genotipske divergencije ove grupe u odnosu na ostale genotipove vrste *P. varius*.

Tabela 16. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1 – 5.8S – ITS2 regiona za vrstu *P.varius* u odnosu na *P.varius* RefSeq[▪]

GenBank / Unite pristupni broj	Geo. poreklo	Pozicije JNP*-a u sekvencama u odnosu na stard kodon referentne sekvence																										Pozicije heterozigota (uočeni NU** u odnosu na referentni NU)										
		1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	55	5	5	5	5	1	1	2	3	4	5	5	5				
		4	9	0	2	3	3	3	4	4	9	5	4	8	9	0	1	1	3	3	3	6	8	0	12	2	2	3	3	2	2	9	1	2	0	6	3	3
AF516575 ▪ <u>KX533917</u> <u>KX533918</u> <u>KX524509</u> <u>KX533919</u> <u>529RH05</u> <u>KX524508</u>	NEM SRB SRB SRB SRB SRB SRB	C . . C C . C	C C C C C . C	A A A A A A A	G G G G G G G	G G G G G G G	- - - - - - -	T T T T T T T	G G G G G G G	C C C C C C C	G G G G G G G	A A A A A A A	- - - - - - -	T T T T T T T	- - - - - - -	G G G G G G G	- - - - - - -	G G G G G G G	T T T T T T T	- - - - - - -	A A A A A A A	T T T T T T T	C C C C C C C	T T T T T T T	C C C C C C C	- - - - - - -	- - - - - - -	- - - - - - -	C C C C C C C	C A T T G A G T G A T								
<u>KX533920</u> AF516576 AF516574 AB587636 UDB011746	SRB RUS NEM JAP EST	T T T C T	C C C C C	A A A A A	A A A A A	G G G G G	- - - - -	- - - - -	C C C C C	A A A A A	C C C C C	G G G G G	A A A A A	G G G G G	T T T T T	- - - - -	G G G G G	- - - - -	G G G G G	T T T T T	- - - - -	A A A A A	C C C C C	C C C C C	T T T T T	T T T T T	- - - - -	- - - - -	- - - - -	T T T T T								
AF516577 AF516578 MF161234 AF516580 AF516579 MG748571 KT695376 KC572039 KC572040	SAD SAD SAD SAD SAD SAD KAN KIN KIN	C C . C C C . C C	C C C C C C C C C	G G G G G G G G G	A A A A A A A A A	G G G G G G G G G	- - - - - - - - -	C C C C C C C C C	G G G G G G G G G	T T T T T T T T T	G G G G G G G G G	A A A A A A A A A	- - - - - - - - -	T T T T T T T T T	- - - - - - - - -	G G G G G G G G G	- - - - - - - - -	G G G G G G G G G	A A A A A A A A A	C C C C C C C C C	A A A A A A A A A	G G G G G G G G G	T T T T T T T T T	C C C C C C C C C	T T T T T T T T T	T T T T T T T T T	T T T T T T T T T											
KU189777 KU507581	KIN KIN	C C	C C	G G	A A	G G	T T	G G	G G	C C	G G	C C	G G	A A	- -	T T	- -	G G	G G	A A	C C	A A	G G	T T	C C	T T	T T	T T	T T	T T	T T	T T	R		R		Y	

*JNP – jednonukleotidni polimorfizam (eng. „SNP – *single nucleotide polymorphism*“); **NU – nukleotid; ***, ▪ referentna sekvenca; podvučene sekvence su rezultat ove teze; . početak/kraj sekvence; - delecija; osenčena polja – polimorfizmi (ružičasto osenčeni – jedinstveni za datu grupu ili određenu sekvencu); IUPAC kod specifikacija za DNK sekvencu: (Y): C ili T; (R) A ili G; (W): A ili T; (K): G ili T; (S): G ili C; (M): A ili C

Analizom poravnanja sekvenci u okviru podklade *P.varius* 2 uočava se da su sekvenca KX533920 sa Tare (P5) i ostale evropske sekvence međusobno identične, a u odnosu na referentnu sekvencu imaju 9 supstitucija (pozicije baza: 1, 106, 129, 146, 147, 388, 488, 527, 536) i 2 indela (pozicije baza: 134, 135). Jedino japanska sekvenca AB587636 se razlikuje od ostalih članova ove podklade i to po odsustvu supstitucije na pozicijama 1 i 134, što je povezuje sa referentnom sekvencom. Podklada *P.varius* 2, ističe se po najvećem broju jedinstvenih polimorfni pozicija, ukupno 6, od kojih su 4 supstitucije (pozicije baza: 1, 147, 388, 488) i 2 indela (pozicije baza: 134, 135). Preostalih pet polimorfni pozicija (supstitucije baza na pozicijama: 106, 129, 146, 527, 536), po kojima se ova podklada razlikuje od referentne sekvence i uopšte podklade *P.varius* 1, predstavljaju zapravo pozicije koje povezuju različite evropske sekvence sa dostupnim severnoameričkim i azijskim sekvencama ove vrste.

Od ukupno devet sekvenci podklade A2, 7 je međusobno identično, a u odnosu na referentnu sekvencu imaju 13 supstitucija (pozicije baza: 1, 106, 129, 146, 147, 388, 488, 527, 536) i 1 indel (pozicija 418). Jedine sekvence koje se razlikuju su AF516578 i AF516580 iz SAD, pri čemu svaka od njih, pored navedenih polimorfni pozicija zajedničkih za sve članove podklade, imaju i po nekoliko jedinstvenih JNP - a (Tab. 16), koji ukazuju na dalju evolutivnu divergenciju u odnosu na pretka severnoameričke grupe.

Dve kineske sekvence (KU189777 i KU507581), koje su se izdvojile u okviru klade B, imaju 3 jedinstvena JNP - a (supstitucije na pozicijama 134, 432, 437, 468) po kojima se razlikuju od svih ostalih analiziranih sekvenci. Pored najvećeg broja nukleotidnih pozicija koje dele sa evropskim i severnoameričkim sekvencama iz klade A, one imaju i nekoliko polimorfizama zajedničkih isključivo sa severnoameričkom podkladom A2 (pozicije baza: 93, 136, 419, 528, 534). Ako se uzme u obzir činjenica da se u podkladi A2 nalaze i dve kineske sekvence koje su identične ostalim dominantnim severnoameričkim sekvencama, može se pretpostaviti da se razmena genetskog materijala vrste *P.varius* između evroazijske i severnoameričke kopnene mase odvijala upravo preko Kine. Prema Xiu i saradnicima (2013) geografske populacije sa najvećim genetskim diverzitetom predstavljaju najverovatnije centre porekla vrste koja se ispituje. S obzirom na to, može se zaključiti da Kina predstavlja najverovatniju kolevku vrste *P.varius*, jer se upravo četiri analizirane kineske sekvence, raspoređene u 2 različite klade, odlikuju najvećim genetskim diverzitetom.

U dosadašnjoj literaturi nema puno podataka o genetičkom diverzitetu ove vrste. Dostupni radovi predstavljaju ili filogenetske odnose unutar roda *Polyporus*, sa vrlo malo korišćenih sekvenci *P.varius* (Hibbett i Donoghue, 1995; Kruger, 2002; Kruger *i sar.*, 2006;

Sotome *i sar.*, 2008; Lee *i sar.*, 2012; Dai *i sar.*, 2014; Zmitrovich i Kovalenko 2016; Zhou i Sar, 2016) ili analize drugih vrsta unutar roda (Lee i sar, 2010; Xing *i sar.*, 2013).

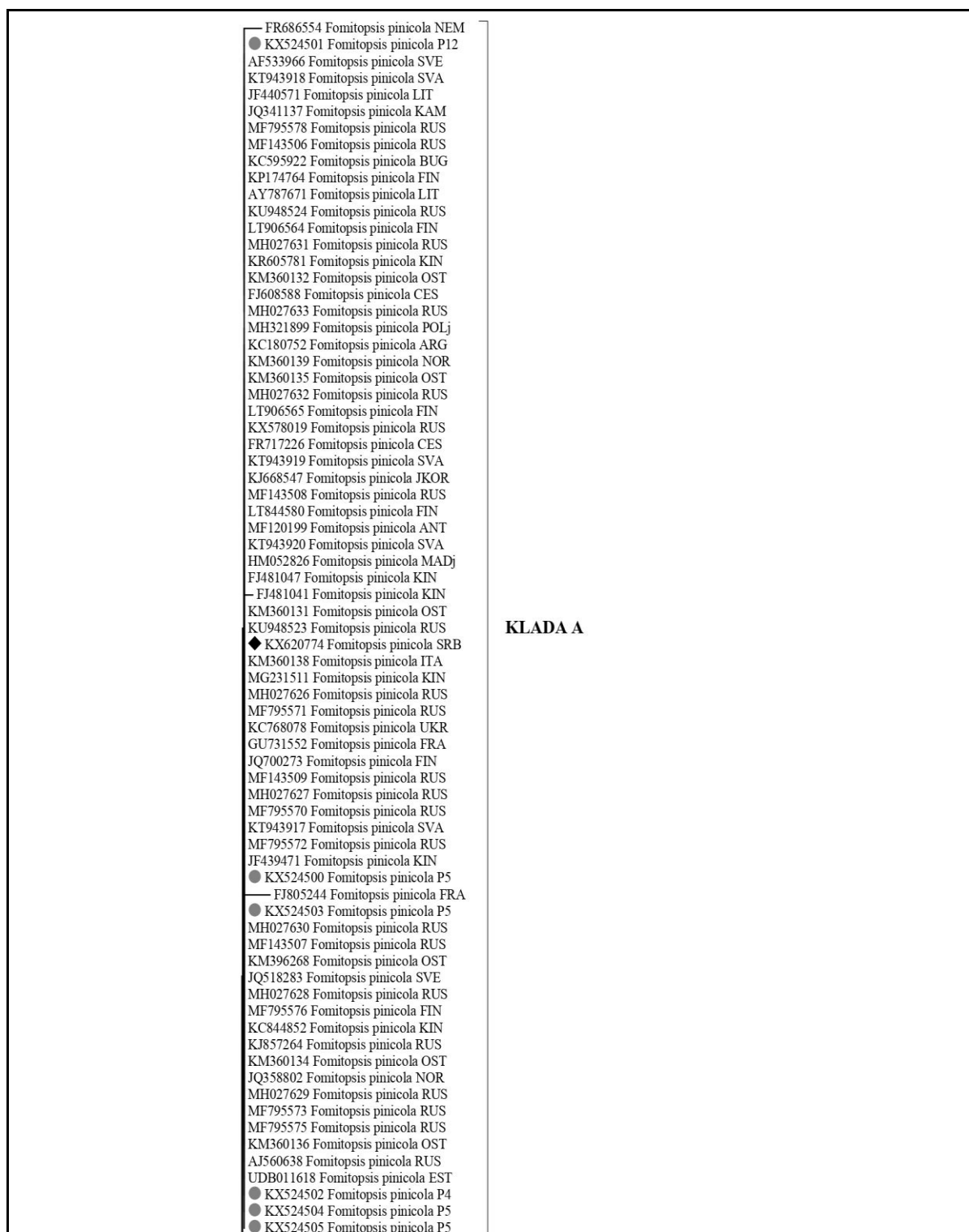
5.3.2. *Fomitopsis pinicola*

Fomitopsis pinicola (Sv.) P. Karst. morfološki pripada familiji Fomitopsidaceae (Julich 1981), a filogenetski pripada kladi *Antrodia* (Binder *i sar.*, 2005, 2013; Ortiz-Santana *i sar.*, 2013). Najnovija molekularna istraživanja su otkrila da je rod *Fomitopsis* filogenetski heterogena i taksonomski raznolika grupa za čije su potpuno razumevanje neophodna dodatna istraživanja (Kim *i sar.*, 2005, 2007; Li *i sar.* 2013; Ortiz-Santana *i sar.*, 2013; Han *i sar.*, 2014).

U cilju ispitivanja genetičkog diverziteta vrste *F. pinicola* u okviru israživanih šumskih područja, analizirano je šest različitih uzoraka sa dva lokaliteta (Vidlič i Tara), a tri eksperimentalna plota (Tab. 12). BLAST pretraga i poređenje uzoraka sa drugim sekvencama ove vrste iz banke gena, bila je u skladu sa identifikacijom na osnovu morfoloških karakteristika. Na osnovu sekvenci uzoraka *F. pinicola* iz ove teze i 107 sekvenci koje su preuzete iz GenBank i UNITE baza podataka konstruisano je filogenetsko stablo - dendrogram (Graf.17), u kome su *Antrodia malicola* (GenBank sekvenca: KC585286) i *Melanoporia nigra* (GenBank sekvenca: KC585356) korišćene kao spoljašnja grupa (eng. *outgroup*).

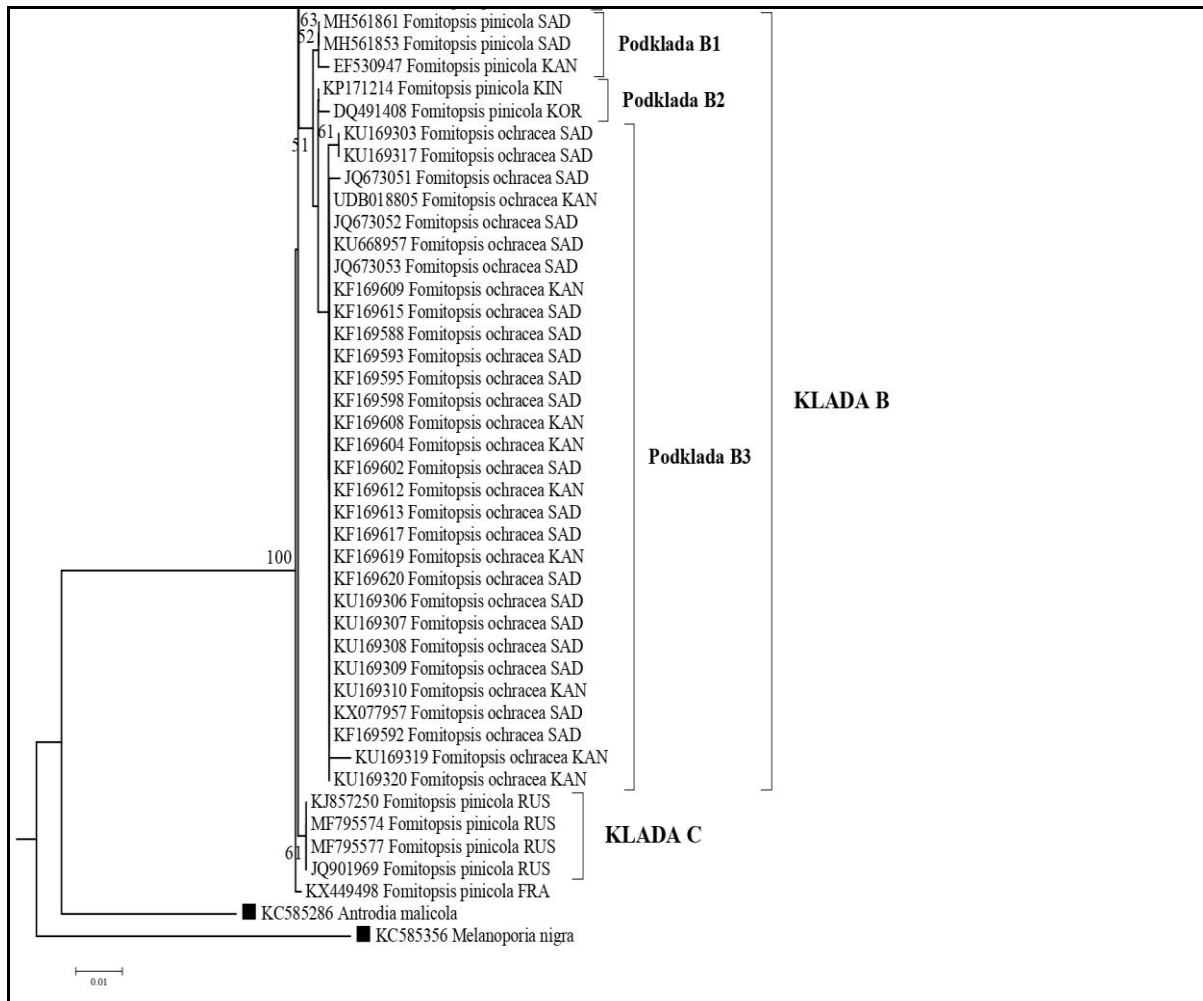
Filogenetsko grupisanje, podržano bootstrap vrednostima od 100%, rezultovalo je izdvajanjem tri glavne klade (A,B,C) i nekoliko podklada (B1, B2, B3). Većina analiziranih sekvenci *F. pinicola*, uključujući i one koje su rezultat teze, grupisane su zajedno u kladi A. Ova obimna klada obuhvata prvenstveno evro-azijske sekvence, uz svega nekoliko izuzetaka (JQ341137 – Kamerun, KC180752 – Argentina, MF120199 -). Interesantno je da unutar klade A nema dodatnih podgrupisanja, što ukazuje na postojanje genetičkog kontinuuma vrste *F. pinicola* duž evroazijske kopnene mase (na nivou ITS regiona). Klada B objedinjuje različite severnoameričke sekvence, pri čemu su izuzetak kineska i koreanska sekvenca koje čine podkladu B2. Podkladu B1 čine dve sekvence *F. pinicola* iz SAD-a i jedna iz Kanade, dok su se u okviru podklade B3 našle brojne sekvence filogenetski vrlo bliske vrste *Fomitopsis ochracea*, takođe sve sa područja SAD i Kanade. Ovo specifično geografsko grupisanje u okviru filogenetskog stabla je u skladu sa ranije utvrđenim postojanjem morfološkog kompleksa unutar vrste *F. pinicola*, koji čine tri makromorfološka tipa – jedan u Evropi, kod kojeg je prisutna pojava gutacije („suzenja“) mladih plodnih tela, i dva tipa u

Severnoj Americi, kod kojih je gutacija odsutna (Parmasto i Voitk, 2010). Za jedan od dva severnoamerička morfološka tipa je uočeno odstupanje od nekih tipičnih karaktera vrste *F. pinicola* (odsustvo tipičnog sjaja na gornjoj površini plodnog tela i zagasio smeđe-siva boja), a kasnije je utvrđeno i da predstavlja zasebnu vrstu. U pitanju je upravo vrsta *F. ochracea*, prvi put opisana 2008. godine na osnovu uzoraka gljiva iz kanadske provincije Alberta, koji su prethodno identifikovani kao vrsta *F. pinicola* (Stokland i Ryvardeen 2008). Kao što je Ryvardeen (2012) primetio, raniji nalazi *F. ochracea* su pogrešno dodeljeni vrsti *F. pinicola* jer su ustanovljene razlike u izgledu plodnih tela ocenjene kao "devijantne", odnosno kao odstupanja od uobičajene morfološke forme vrste *F. pinicola*.

Grafikon 17. Filogenetsko stablo vrste *Fomitopsis pinicola* – prvi deo

Bootstrap vrednosti iznad 50% su prikazane na čvorovima, tj. mestima evolutivnog razdvajanja

● Oznaka za sekvence koje su rezultat ove teze; ◆ Srpska sekvenca - rezultat drugih autora

Grafikon 18. Filogenetsko stablo vrste *Fomitopsis pinicola* – drugi deo

Bootstrap vrednosti iznad 50% su prikazane na čvorovima, tj. mestima evolutivnog razdvajanja

■ Oznaka za spoljašnje grupe (eng. *outgroup*)

Naknadne molekularne analize potvrdile su postojanje *F. ochracea* kao zasebne vrste, ali do sada nije bilo studija o njenim filogenetskim odnosima.

Važno je istaći da je ova filogenetska analiza otkrila postojanje tri monofiletske grupe (podklade B1, B2 i klada C) *F. pinicola* sekvenci, koje su potpuno izdvojene iz glavne *F. pinicola* klade A i koje prema filogenetskom konceptu predstavljaju zasebne vrste. Da bi se to potvrdilo neophodno je izvorne uzorke ovih sekvenci ispitati sa stanovišta morfološkog i biološkog koncepta vrste.

Tabela 17. Procena prosečnih genetičkih distanci (GD_i) u ITS sekvencama između grupa analiziranih vrsta roda *Fomes*

	Podklada B3	<i>F. pin</i>	<i>F. pin</i> SRB1	Klada C	Podklada B1	Podklada B2	<i>F. pin</i> *
Podklada B3	0,001						
<i>F. pin</i>	0,007	0,001					
<i>F. pin</i> SRB1	0,007	0,000	X				
Klada C	0,009	0,002	0,002	0,000			
Podklada B1	0,006	0,005	0,005	0,007	0,001		
Podklada B2	0,004	0,006	0,005	0,008	0,005	0,002	
<i>F. pin</i> *	0,007	0,000	0,000	0,002	0,005	0,005	0,000

Osenčena polja se odnose na GD_i između različitih grupa iste vrste;

Italik vrednosti u liniji dijagonale se odnose na GD unutar date filogenetske grupe

Prosečna intraspecijska genetička distanca svih analiziranih ITS sekvenci vrste *F. pinicola*, kao i vrste *F. ochracea*, bila je svega 0,001 (Tab. 13). Genetičke distance u uzorcima *F. pinicola* sa lokaliteta u Srbiji nisu pokazale međusobnu evolutivnu divergenciju (GD_u = 0,000), niti su pokazale divergenciju u odnosu na ostale sekvence iz klade A (GD_u = 0,000), što dodatno ide u prilog postojanju evroazijskog kontinuuma.

Na osnovu procene genetičkih distanci između različitih filogenetskih grupa, koje su se kretale od 0,000 do 0,009 (Tab. 17), vrste u okviru roda *Fomitopsis* su pokazale najnižu evolutivnu divergenciju u poređenju sa ostalim analiziranim rodovima. Interesantno je da su genetičke distance između vrsta *F. ochracea* i *F. pinicola* pokazale vrlo nizak nivo evolutivne divergencije, 0,007 – 0,009 (Tab. 13), koji se često sreće unutar vrsta, što ukazuje na njihovu blisku povezanost. Slične vrednosti GD su pokazale severnoameričke sekvence *F. pinicola* podklade B1 i azijske sekvence *F. pinicola* podklade B2 u odnosu na ostale sekvence ove vrste (0,005 – 0,008), kao i u odnosu na sekvence *F. ochracea* (0,004 – 0,006), pa se postavlja pitanje da li su sekvence izdvojene u podkladama B1 i B2 zapravo druge vrste roda *Fomitopsis*, koje su pogrešno identifikovane, ili se samo radi o evolutivnom udaljavanju severnoameričkih genotipova u odnosu na azijske pretke. Slični odnosi utvrđeni su i analizom polimorfizama sekvenci (Tab. 18).

Na osnovu specifičnog grupisanja različitih sekvenci vrste *F. pinicola* u filogenetskom stablu, za analizu polimorfizama je odabrano 37 sekvenci dužine 615 nukleotida (Tab. 18). Utvrđeno je 35 konzerviranih regiona i 55 varijabilnih pozicija koje su rezultovale ukupnom varijabilnošću od 11,2% (Tab. 14). *F. pinicola* - UDB011618 je izabran kao referentna sekvenca. (Kim *i sar.* 2005, 2007; Ortiz-Santana *i sar.* 2013; Han *i sar.* 2014). Većina sekvenci koje potiču sa lokaliteta u Srbiji (sekvence iz ove teze, sa plotova P12, P4 i P5, kao i 1 sekvenca drugih autora), su međusobno identične. Izuzetak je sekvenca KX524500 (jedna

od četiri sekvence sa P5) kod koje su pronađena samo 2 nespecifična polimorfna mesta (insercije na pozicijama 56 i 615). Kod četiri naše sekvence utvrđene su i 3 heterozigotne pozicije (55, 211, 580). Ovaj rezultat je u skladu sa radom Hogberga *i sar.* (1995) koji je takođe pokazao nisku genetičku diferencijaciju ITS regiona unutar švedskih i finskih populacija *F. pinicola*, što može biti uzrokovano visokim nivoom genetske razmene ili sličnostima koje su se zadržale od zajedničkog pretka.

Među ostalim odabranim sekvencama iz klade A, utvrđeno je svega 14 polimorfni pozicija koje su neujednačeno raspoređene u okviru klade. Slična situacija se javila i u okviru klade C, kod koje je takođe utvrđen mali broj neujednačenih polimorfizama - 5 različitih polimorfni pozicija među sekvencama i 1 zajednička za sve sekvence – supstitucija na poziciji 118.

Nasuprot kladama A i C, u okviru klade B su polimorfizmi većinom ujednačeno zastupljeni, tj. članovi jedne podklade se u velikoj meri odlikuju zajedničkim polimorfizmima. Pored toga, određene polimorfne pozicije su zajedničke za različite podklade u okviru klade B. Specifični indel na poziciji 541 je zajednički za pripadnike vrste *F. pinicola* iz azijske podklade B2 i severnoameričke podklade B1, što može da ukaže na put širenja vrste *F. pinicola* sa evroazijskog na severnoameričko tlo, dok su supstitucije na pozicijama 88 i 424 prisutne kod predstavnika sve tri grupe u okviru klade B, što potencijalno ukazuje na poreklo vrste *F. ochracea*. Na osnovu analize polimorfizama, kao i na osnovu rezultata dobijenih za genetičke distance, može se pretpostaviti da analizirane sekvence iz podklade B2 predstavljaju azijskog pretka severnoameričkih genotipova vrste *F. pinicola*, čiji bi najbliži potomci mogli biti predstavnici podklade B1, a od koga je specifičnom divergencijom nastala i vrsta *F. ochracea* (podklada B3). Bilo bi zanimljivo utvrditi da li su predstavnici podklade B1 zapravo predstavnici poznate severnoameričke morfološke grupe *F. pinicola* za koju je karakteristično odsustvo gutacije i još važnije – da li je taj karakter prisutan i kod predstavnika podklade B2, kao direktne predačke forme. Ovi rezultati ukazuju na zanimljive odnose unutar *pinicola/ochracea* grupe koje treba dalje istraživati.

Tabela 18. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1 – 5.8S – ITS2 regiona za vrste *F.pinicola* i *F.ochracea* u odnosu na *F.pinicola* RefSeq *

Oznaka klade / podklade	GenBank / Unite pristupni broj	Geo. poreklo	Pozicije JNP*-a u odnosu na referentnu sekvencu																					Pozicije heterozigota				
			3	3	3	3	3	44	5	8	1	1	1	4	4	4	5	5-5	5	5	5	5-5	5	6	6	2	5	
A	JQ700273 *	FIN	T	C	A	A	G	GG	-	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-	5	1	8
	KX524501	SRB	T	C	A	A	G	GG	-	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-	5	1	8
	KX524502	SRB	T	C	A	A	G	GG	-	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-	5	1	0
	KX524500	SRB	.	.	.	.	.	.	T	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	T			
	KX524503	SRB	T	C	A	A	G	GG	-	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-			
	KX524504	SRB	T	C	A	A	G	GG	-	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-	Y		
	KX524505	SRB	T	C	A	A	G	GG	-	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-	Y	W	
	KX620774	SRB	T	C	A	A	G	GG	-	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-			
	FR686554	NEM	T	C	A	A	G	CG	-	A	T	C	T	A	G	C	A	----	C	-	A	---	C	T	-			
	FJ805244	FRA	.	.	G	A	G	G	-	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-			
	FJ481041	KIN	T	C	G	A	G	GG	-	A	T	C	T	A	G	C	G	CTTTC	G	-	A	---	C	T	-			
	KT943920	SVA	A	C	A	A	G	GG	-	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	-	-			
	KC768078	UKR	T	C	A	A	G	GG	-	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	-	-			
	KJ668547	JKOR	T	C	G	A	G	GG	-	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	-	-			
	MF795572	RUS	.	.	.	.	.	GG	T	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-			
	HM052826	MADj	.	.	G	G	G	GG	C	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-			
	KR605781	KIN	T	A	G	G	C	GG	C	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-			
	FJ481047	KIN	T	C	G	A	G	GG	C	A	T	C	T	A	G	C	G	CTTTC	G	-	A	---	C	T	-			
	JF439471	KIN	T	C	G	A	G	GG	-	A	T	C	T	A	G	C	G	CTTTC	G	-	A	---	C	T	-			
	MF143507	RUS	.	.	A	G	G	GT	T	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-			
MF795573	RUS	.	.	G	G	G	--	C	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-				
MF143508	RUS	.	.	C	G	C	--	C	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-				
MH027631	RUS	.	.	A	C	G	G-	T	A	T	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-				
B3	KF169615	SAD	.	.	.	.	.	GG	-	C	T	C	T	A	A	T	G	----	G	-	A	ATA	C	.	.			
	KF169602	SAD	.	.	.	.	.	GG	-	C	T	C	T	A	A	T	G	----	G	-	A	ATA	C	.	.			
	KU169303	SAD	.	.	.	.	.	GG	-	C	C	C	T	A	A	T	G	----	G	-	A	ATA	C	.	.			
	KU169308	SAD	.	.	.	.	.	GG	-	C	T	C	T	A	A	T	G	----	G	-	A	ATA	C	.	.			
B2	KP171214	KIN	T	C	A	A	G	GG	-	C	T	C	T	A	A	C	G	----	G	A	G	---	C	T	-			
	DQ491408	KOR	T	C	A	-	G	GG	-	C	T	C	T	A	A	C	G	----	G	A	G	---	C	T	-			
B1	EF530947	KAN	T	C	A	A	G	GG	-	C	T	C	C	G	A	C	G	----	G	A	A	---	C	T	-			
	MH561861	SAD	.	.	.	-	-	GG	-	C	T	C	C	G	G	C	G	----	G	A	A	---	C	T	-			
	MH561853	SAD	.	.	.	-	-	GG	-	C	T	C	C	G	G	C	G	----	G	A	A	---	C	T	-			
	KX449498	FRA	T	C	A	A	G	GG	-	A	T	G	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-			
C	KJ857250	RUS	T	C	A	A	G	GG	-	A	C	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-			
	MF795574	RUS	.	C	G	-	-	GG	-	A	C	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-			
	JQ901969	RUS	A	A	A	A	A	GG	C	A	C	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	C	T	-			
	MF795577	RUS	A	C	A	A	-	GG	-	A	C	C	T	A	G	C	G	----	G	-	A	---	T	T	-			

*JNP – jednonukleotidni polimorfizam (eng. „SNP – single nucleotide polymorphism“); **NU – nukleotid; * referentna sekvencu; podvučene sekvence su rezultat ove teze; . početak/kraj sekvence; - delecija; osenčena polja – polimorfizmi (ružičasto osenčeni – jedinstveni za datu sekvencu); IUPAC kod specifikacija za DNK sekvencu: (Y): C ili T; (R) A ili G; (W): A ili T; (K): G ili T; (S): G ili C; (M): A ili C

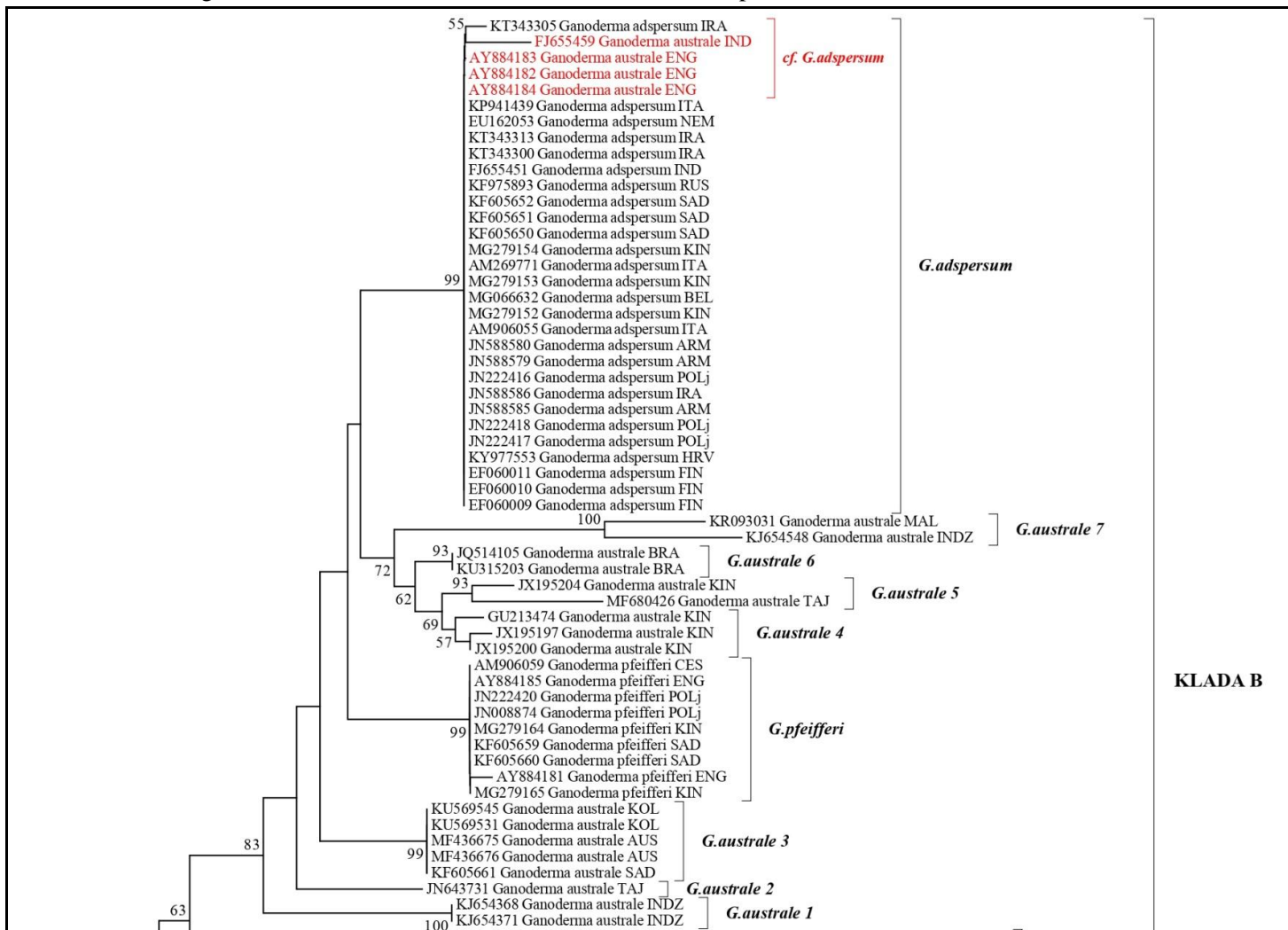
5.3.3. *Ganoderma applanatum*

Ganoderma applanatum (Pers.) Pat. morfološki pripada familiji Ganodermataceae (Donk 1948), a filogenetski pripada kladi Antrodia (Binder *i sar.*, 2005, 2013; Ortiz-Santana *i sar.*, 2013). U okviru roda *Ganoderma* P. Karst. se nalazi oko 80 vrsta sa različitim geografskim rasprostranjenjem, pri čemu je najveći broj vrsta ograničen na umerenu klimatsku zonu, dok je u tropima zastupljeno manji broj taksona (De Lima Junior *i sar.*, 2014). Sličnosti marko- i mikromorfoloških karaktera među različitim vrstama roda *Ganoderma* doveli su do zabuna u identifikaciji ovih vrsta, što je rezultovalo dodeljivanjem i primenom različitih naziva za iste taksonse. Zbog toga je primena molekularnih analiza, uz tradicionalne taksonomske, od velike pomoći u proučavanju diverziteta ovog roda. Iako je do sada u rodu *Ganoderma* ustanovljeno vrlo mala povezanost između morfoloških karaktera i filogenije rDNK, znatno veća korelacija je utvrđena između filogenije gena i karakteristika micelije u kulturi, geografskog porekla i sistema uparivanja micelija (Moncalvo *i sar.*, 1995; Gomes-Silva *i sar.*, 2015).

Za filogenetsku analizu vrste *G.applanatum* korišćeno je ukupno osam uzoraka plodonosnih tela sa lokaliteta Mitrovac na Tari, sedam sa eksperimentalne površine P4 i jedan sa P5 (Tab. 12). Nakon uspešnog sekvenciranja, BLAST pretraga je dala rezultate koji su bili u skladu sa morfološkom identifikacijom uzorkovanih makrogljiva. Za konstrukciju filogenetskog stabla (Graf. 19 i 20), preuzeto je i 112 sekvenci nekoliko vrsta roda *Ganoderma*, iz GenBank i Unite baza podataka, sa kojima najčešće dolazi do zabune prilikom identifikacije. Vrste *Polyporus tuberaster* (GenBank sekvenca: MG735335) i *Trametes versicolor* (GenBank sekvenca: KF054739) su poslužile kao spoljašnje grupe. U stablu su obrazovane dve velike klade: klada A koja sadrži isključivo sekvence vrste *G.applanatum* i klada B, koja obuhvata sekvence četiri vrste morfološki najbližije vrsti *G.applanatum*: *Ganoderma adpersum* (Schulzer) Donk, *Ganoderma australe* (Fr.) Pat., *Ganoderma resinaceum* Boud. i *Ganoderma pfeifferi* Bres. Sekvence klade A su se grupisale zajedno u dobro podržanoj (bootstrap vrednost 100%) velikoj grani, bez formiranja podklada, što ukazuje da se radi o filogenetski jasno izdvojenoj vrsti čije su populacije ostale genetički vrlo slične, tj. evolutivno su slabo divergirale bez obzira na veliko geografsko rasprostranjenje. Jedina sekvenca vrste *G.applanatum* koja se potpuno izdvojila u odnosu na ostale, je sekvenca AB811850 sa Nepala, koja najverovatnije predstavlja morfološki pogrešno identifikovanu vrstu koja očigledno vodi poreklo od *G.applanatum*.

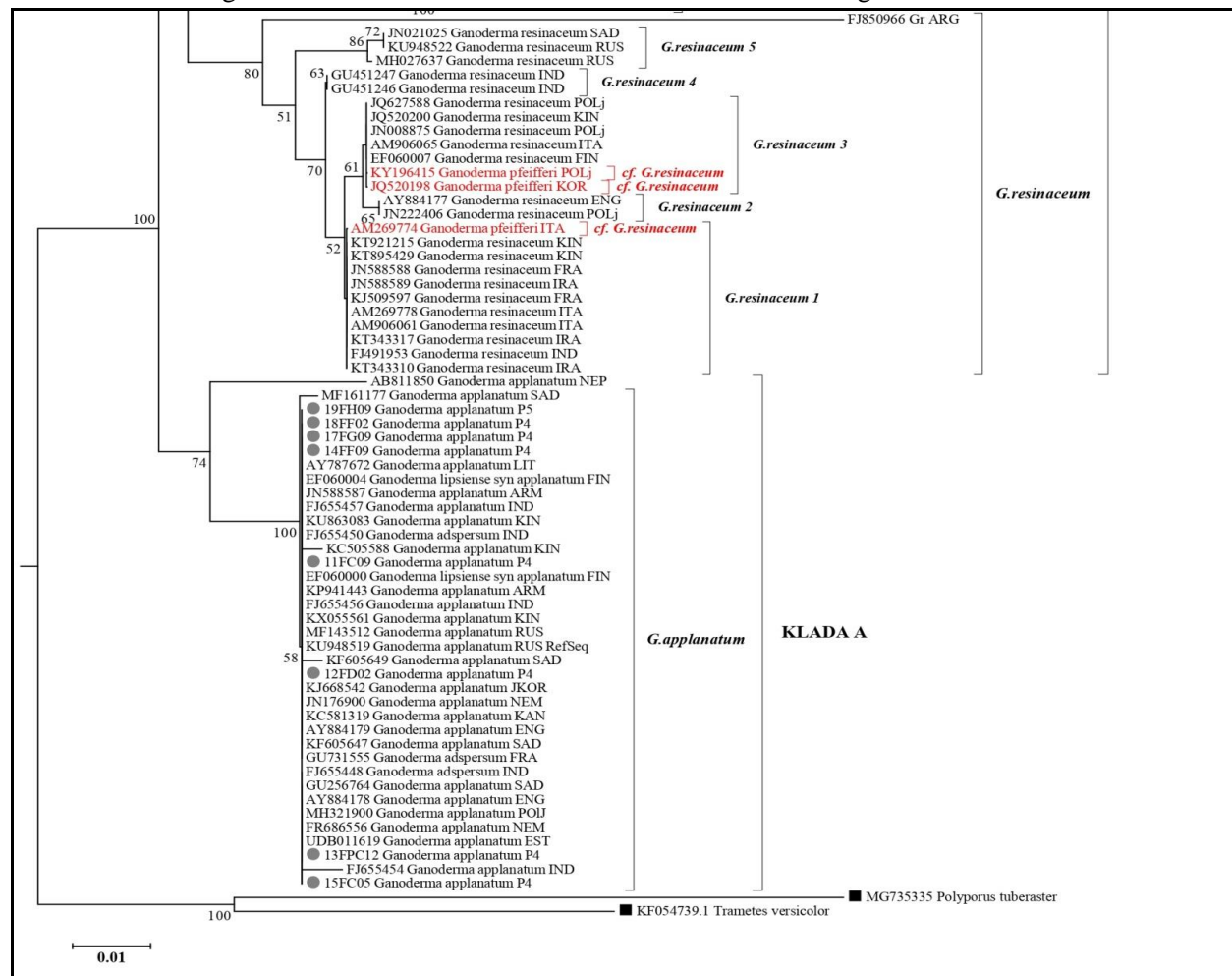
Klada B je izdijeljena na 2 veće, dobro podržane podklade, od kojih jedna obuhvata sekvence vrste *G. resinaceum* (bootstrap vrednost 80%), izdijeljene u nekoliko međusobno povezanih podklastera (*G. resinaceum 1* - *G. resinaceum 5*), a druga (bootstrap vrednost 83%) predstavlja kompleks dva homogena podklastera vrsta *G. adspersum* (bootstrap vrednost 99%) i *G. pfeifferi* (bootstrap vrednost 99%) i sedam razdvojenih podklastera sa sekvencama vrste *G. australe* koja je očigledno evolutivno raznoliko divergirala u zavisnosti od geografskog područja koje nastanjuju različite populacije ove vrste:

- *G. australe 1* – sekvence iz Indonezije
- *G. australe 2* – sekvenca iz Tajlanda
- *G. australe 3* – sekvence iz Kolumbije, Australije i SAD-a
- *G. australe 4* – sekvence iz Kine
- *G. australe 5* – sekvence iz Kine i Tajlanda
- *G. australe 6* – sekvence iz Brazila
- *G. australe 7* – sekvence iz Malezije i Indonezije

Grafikon 19. Filogenetsko stablo odabranih vrsta roda *Ganoderma* – prvi deo

Bootstrap vrednosti iznad 50% su prikazane na čvorovima, tj. mestima evolutivnog razdvajanja;

Crvenom bojom označene sekvence iz GenBank baze za koje je utvrđena mogućnost pogrešne morfološke identifikacije

Grafikon 20. Filogenetsko stablo odabranih vrsta roda *Ganoderma* – drugi deo

Bootstrap vrednosti iznad 50% su prikazane na čvorovima, tj. mestima evolutivnog razdvajanja

- Oznaka za sekvence koje su rezultat ove teze; ■ Oznaka za spoljašnje grupe (eng. *outgroup*)

Izdvojeni podklasteri u okviru kompleksa *G. resinaceum* i *G. australe* ukazuju na odvojene monofiletske grupe koje bi prema filogenetskom konceptu vrste mogle predstavljati zasebne, različite vrste. Ovo je vrsta koja je u prošlosti vrlo često identifikovana kao *G.applanatum* ili *G.adspersum*, a s obzirom na njenu filogenetsku razdvojenost u odnosu na te vrste i intraspecijsku heterogenost (polifiletski karakter) trebalo bi je detaljnije proučiti, kako morfološki tako i molekularno, sa što više različitih regiona ili čitavim genomom.

Prosečna genetička distanca svih analiziranih ITS sekvenci unutar vrste *G.applanatum* iznosi svega 0,001, dok između srpskih sekvenci koje su rezultat ove teze nije uočena evolutivna divergencija (GDu = 0,000), što nam ukazuje na to da se radi o vrsti koja je na istraživanim lokalitetima pokazala genetičku homogenost (Tab. 13). Niske intraspecijske genetičke distance su uočene i kod vrsta *G. pfeifferi* (GDu = 0,001) i *G. resinaceum* (GDu = 0,007), dok je nešto veća evolutivna divergencija prisutna među različitim sekvencama vrste *G.adspersum*, kod koje je GDu = 0,012 (Tab. 13). Neobično visoka vrednost intraspecijske genetičke udaljenosti, GDu = 0,042 (Tab. 13), je dobijena za celokupnu grupu analiziranih sekvenci koje su preuzete iz javnih baza pod nazivom *G.australe*. S obzirom da su se u konstruisanom filogenetskom stablu sekvence *G. australe* grupisale u čak sedam odvojenih monofiletskih grupa, određene su i GDu unutar svake grupe, a dobijene vrednosti su se kretale u rasponu: 0,000 – 0,028 (Tab. 19). Ovi rezultati, kao i utvrđena velika genetička udaljenost među različitim filogenetskim grupama *G. australe* (GDu: 0,015 – 0,080, Tab. 19), ukazuju da se radi o heterogenoj grupi koja je u velikoj meri evolutivno divergirala, najverovatnije u zavisnosti od geografskog porekla. Pored *G.australe*, na filogenetskom stablu su se jedino su još u okviru vrste *G. resinaceum* formirali podklasteri, ali su genetičke udaljenosti utvrđene među njima (Tab. 19) bile znatno niže u odnosu na one zabeležene u okviru *G. australe* kompleksa. Za podklaster *G. resinaceum* 1 – 4, koji objedinjuju različite evroazijske sekvence može se reći da predstavljaju evolutivno blago razdvojene populacije u okviru ove vrste, dok jedino severnoameričke sekvence podklastera *G. resinaceum* 5 pokazuju veću divergenciju u odnosu na ostale grupe, što je očekivano s obzirom na kontinentalnu razdvojenost i može ukazati na začetak novog varijeteta ili čak nove vrste, ograničene na severnoamerički kontinent.

Sprovedena filogenetska analiza je ukazala na potencijalne greške u identifikaciji nekoliko sekvenci prijavljenih u GenBank bazu pod nazivima *G. australe* (FJ655459, AY884183, AY884182, AY884184) i *G. pfeifferi* (KY196415, JQ520198, AM269774), s obzirom da su se blisko grupisale sa sekvencama vrsta *G. adspersum* (Graf. 19) i *G.resinaceum* (Graf. 20). Tačnost ove pretpostavke je potvrđena dobijenim vrednostima GDu,

koje su bile visoke između spornih sekvenci (označenih crvenom bojom na filogenetskom stablu) i ostalih sekvenci vrsta *G. australe* i *G. pfeifferi*, a male u odnosu na ostale sekvence vrsta *G. adpersum* i *G. resinaceum* (Tab. 19) kojima zapravo pripadaju.

Za analizu polimorfizama, odabrano je 26 sekvenci vrste *G. applanatum*, pri čemu je kao referentna sekvenca poslužila estonska sekvenca UDB011619, iz Unite baze (Tab. 20). Poravnanje je izvršeno u dužini od 601 nukleotidnih parova, pri čemu je utvrđena 541 konzervirana pozicija i 50 varijabilnih, sa ukupnom varijabilnošću analiziranih sekvenci od 10%. U sekvencama koje su rezultat ove teze, utvrđeno je 7 polimorfni pozicija – jedna je jedinstvena za sekvencu 17FG09 (indel na poziciji 531) i šest ponovljenih (indel na poziciji 593, pet supstitucija na pozicijama 594, 595, 597, 598 i 600), kao i 18 heterozigotnih pozicija (Tab. 20). Na osnovu zabeleženih polimorfizama u ITS regionu u odnosu na referentnu sekvencu, utvrđeno je da su na području Mitrovca na Tari zastupljena barem 3 različita genotipa vrste *G. applanatum*. Jedan od njih je identičan sa referentnom sekvencom, kao i sa dve finske sekvence (EF060004, EF060000).

Tabela 19. Procena prosečnih genetičkih distanci (GDi) u ITS sekvencama između grupa analiziranih vrsta roda *Ganoderma*

	<i>G,app</i>	<i>G,ads</i>	<i>cf,G,ads</i> 2	<i>G,aus</i> 7	<i>G,aus</i> 4	<i>G,aus</i> 3	<i>cf,G,ads</i> 1	<i>G,aus</i> 1	<i>G,aus</i> 5	<i>G,aus</i> 6	<i>G,aus</i> 2	<i>G,pfe</i>	<i>G,p</i> KOR	<i>G,p</i> ITA	<i>G,p</i> POLj	<i>G,res</i> ARG	<i>G,res</i> 3	<i>G,res</i> 2	<i>G,res</i> 5	<i>G,res</i> 1	<i>G,res</i> 4	<i>G,app</i> NEP	<i>G,app</i> SRB	
<i>G,app</i>	0,001																							
<i>G,ads</i>	0,054	0,012																						
<i>cf,G,ads</i> 2	0,066	0,011	0,010																					
<i>G,aus</i> 7	0,098	0,063	0,064	0,028																				
<i>G,aus</i> 4	0,059	0,034	0,036	0,058	0,005																			
<i>G,aus</i> 3	0,058	0,031	0,033	0,069	0,042	0,000																		
<i>cf,G,ads</i> 1	0,060	0,006	0,005	0,058	0,031	0,028	0,000																	
<i>G,aus</i> 1	0,063	0,048	0,052	0,080	0,050	0,060	0,046	0,000																
<i>G,aus</i> 5	0,068	0,042	0,044	0,061	0,018	0,049	0,038	0,060	0,020															
<i>G,aus</i> 6	0,060	0,029	0,031	0,053	0,015	0,033	0,025	0,046	0,023	0,000														
<i>G,aus</i> 2	0,058	0,043	0,046	0,078	0,055	0,038	0,041	0,046	0,060	0,052	X													
<i>G,pfe</i>	0,061	0,029	0,031	0,067	0,034	0,034	0,026	0,047	0,044	0,031	0,047	0,001												
<i>Gp</i> KOR	0,050	0,052	0,057	0,092	0,058	0,049	0,052	0,071	0,068	0,060	0,049	0,052	X											
<i>cf,G,res</i> <i>Gp</i> ITA	0,047	0,049	0,054	0,089	0,055	0,046	0,049	0,068	0,065	0,057	0,046	0,049	0,003	X										
<i>cf,G,res</i> <i>Gp</i> POLj	0,050	0,052	0,057	0,092	0,058	0,049	0,052	0,071	0,068	0,060	0,049	0,052	0,000	0,003	X									
<i>G,res</i> ARG	0,117	0,108	0,113	0,157	0,117	0,116	0,107	0,122	0,131	0,119	0,116	0,119	0,096	0,093	0,096	X								
<i>G,res</i> 3	0,050	0,052	0,057	0,092	0,058	0,049	0,052	0,071	0,068	0,060	0,049	0,052	0,000	0,003	0,000	0,096	0,000							
<i>G,res</i> 2	0,050	0,054	0,060	0,094	0,061	0,052	0,054	0,073	0,071	0,063	0,052	0,055	0,003	0,005	0,003	0,099	0,003	0,000						
<i>G,res</i> 5	0,051	0,053	0,059	0,094	0,061	0,051	0,054	0,062	0,071	0,063	0,054	0,055	0,019	0,021	0,019	0,083	0,019	0,021	0,002					
<i>G,res</i> 1	0,047	0,049	0,054	0,089	0,055	0,046	0,049	0,068	0,065	0,057	0,046	0,049	0,003	0,000	0,003	0,093	0,003	0,005	0,021	0,000				
<i>G,res</i> 4	0,044	0,046	0,052	0,089	0,055	0,044	0,046	0,065	0,065	0,057	0,044	0,049	0,005	0,003	0,005	0,096	0,005	0,008	0,022	0,003	0,000			
<i>G,app</i> NEP	0,036	0,067	0,076	0,106	0,074	0,068	0,071	0,076	0,079	0,071	0,068	0,077	0,065	0,063	0,065	0,125	0,065	0,068	0,062	0,063	0,060	X		
<i>G,app</i> SRB	0,001	0,054	0,065	0,097	0,058	0,057	0,060	0,063	0,068	0,060	0,057	0,060	0,049	0,046	0,049	0,116	0,049	0,049	0,051	0,046	0,044	0,036	X	

Osenčena polja se odnose na GDi između različitih grupa iste vrste; Italik vrednosti u liniji dijagonale se odnose na GD unutar date filogenetske grupe

Tabela 20. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1-5.8S-ITS2 regiona za vrstu *G.applanatum* u odnosu na *G.applanatum* RefSeq ▪

GenBank / Unite pristupni broj	Geo. poreklo	Pozicije SNP*-a u odnosu na referentnu sekvencu												Pozicije heterozigota (uočeni NU u odnosu na referentni NU)																							
		4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2													
		8	0	1	1	2	3	5	9	9	9	9	9	9	0	1	2	3	4	5	5	5	7	3	5	8	8	9	1	2	3	3	4				
		9	5	0	7	4	1	6	0	2	3	4	5	7	8	0	5	4	0	8	1	2	8	1	8	2	6	7	3	9	2	2	4	1			
UDB011619▪	EST	C	C	C	C	G	-	G	T	A	G	C	G	A	G	A																					
<u>11FC09</u>	SRB	C	C	C	C	G	-	G	T	A	-	G	C	G	A	G								R											R		
<u>12FD02</u>	SRB	C	C	C	C	G	-	G	T	A	-	G	C	G	A	G																					
<u>13FPC12</u>	SRB	Y	C	C	C	G	-	G	T	A	G	C	G	A	G	A																					
<u>14FF09</u>	SRB	C	C	C	C	G	-	G	T	A	G	C	G	A	G	A																					
<u>15FC05</u>	SRB	C	C	C	C	G	-	G	T	A	-	G	C	G	A	G	S	Y						K													
<u>17FG09</u>	SRB	C	C	C	C	G	T	G	.	.	.	.	.	.	.	.				Y	K	S		K	W	S	W	Y	S	R		S		R		
<u>18FF02</u>	SRB	C	C	Y	C	G	-	G	T	A	G	C	G	A	G	A	R							R													
<u>19FH09</u>	SRB	C	C	C	C	G	-	G	.	.	.	.	.	.	.	.					Y				S					R					R	
FR686556	NEM	C	C	C	C	G	-	C	T	A	A	G	C	G	A	G																					
MF686522	SAD	C	C	C	C	S	-	.	.	.	.	.	.	.	.	.												
KJ668542	JKOR	C	T	C	C	G	-	G	.	.	.	.	.	.	.	.													
AB811850	NEP	C	T	C	C	G	G	G	T	A	-	G	C	G	A	G																					
EF060004	FIN	C	C	C	C	G	-	G	T	A	G	C	G	A	G	A																					
EF060000	FIN	Y	C	C	C	G	-	G	T	A	G	C	G	A	G	A																					
MF143515	RUS	T	C	C	C	G	-	G	T	G	C	C	G	G	A	G																					
MF143514	RUS	T	C	C	C	G	-	G	T	G	C	C	G	G	A	G																					
AY787672	LIT	T	C	C	C	G	-	.	.	.	.	.	.	.	.	.												
MG279155	KIN	C	T	C	C	C	-	G	.	.	.	.	.	.	.	.													
MG279156	KIN	C	T	C	T	C	-	G	.	.	.	.	.	.	.	.													
MG279157	KIN	C	C	T	C	G	-	G	A	.	.	.	.	.	.	.														
KF605648	SAD	C	Y	T	Y	S	-	G	.	.	.	.	.	.	.	.													
MF161177	SAD	C	T	C	C	C	-	G	T	.	.	.	.	.	.	.														
KC505588	KIN	C	C	C	C	G	-	G	A	C	C	C	G	A	G	A																					
FJ655456	IND	C	C	C	C	G	-	C	.	.	.	.	.	.	.	.													
KF605649	SAD	C	T	T	T	C	-	G	.	.	.	.	.	.	.	.													

*JNP – jednonukleotidni polimorfizam (eng. „SNP – *single nucleotide polymorphism*“); **NU – nukleotid; ▪ referentna sekvenca; podvučene sekvence su rezultat ove teze; . početak/kraj sekvence; - delecija; osenčena polja – polimorfizmi (ružičasto osenčeni – jedinstveni za datu sekvencu); IUPAC kod specifikacija za DNK sekvencu: (Y): C ili T; (R) A ili G; (W): A ili T; (K): G ili T; (S): G ili C; (M): A ili C

5.3.4. *Hymenopellis radicata*

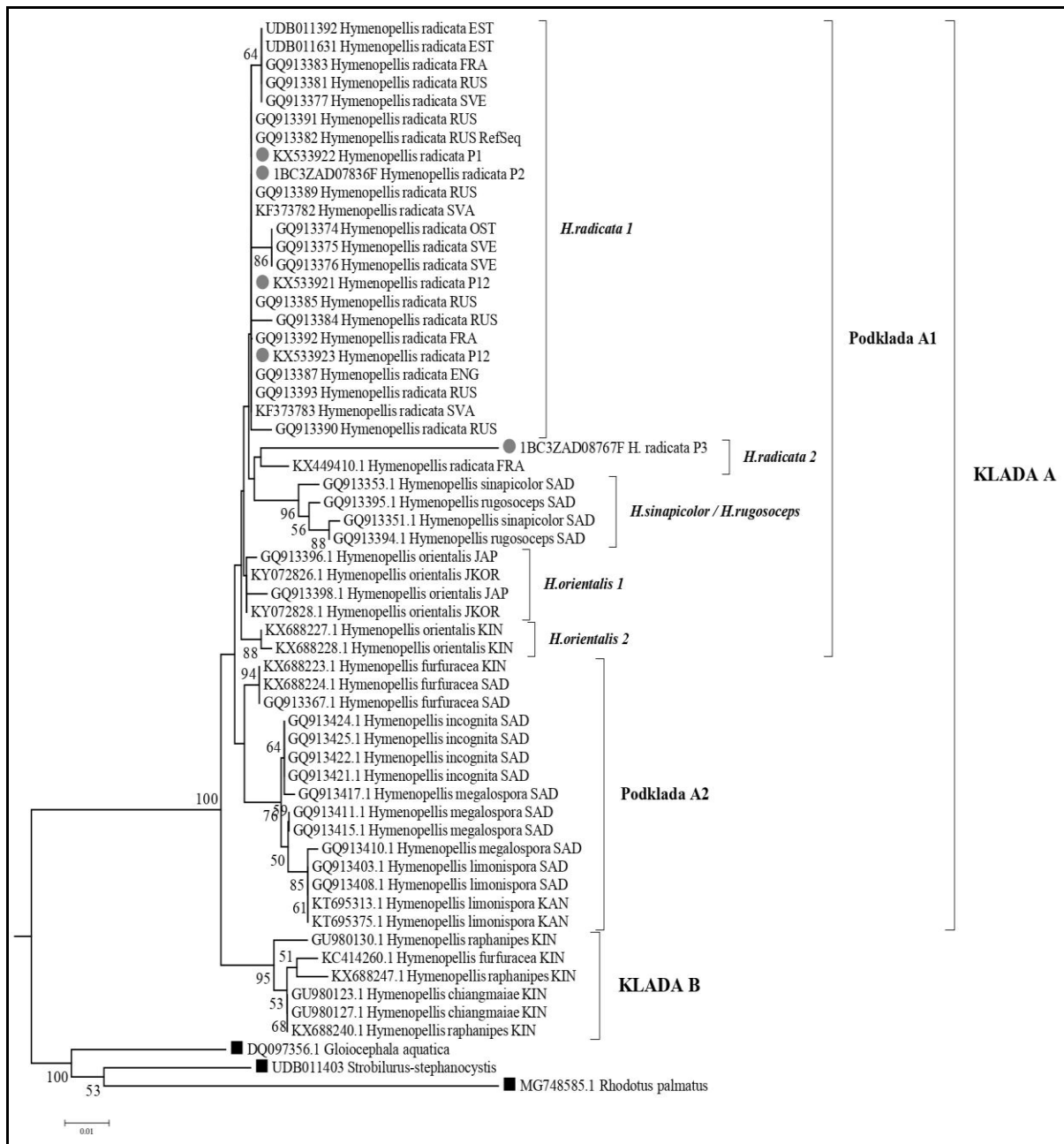
Morfološki i filogenetski, *Hymenopellis radicata* (Relhan) R.H. Petersen pripada familiji i kladi Physalacriaceae (Moncalvo *i sar.* 2002; Vilson i Desjardin 2005; Matheni *i sar.* 2007). Ova vrsta je ranije bila poznata pod nazivima *Oudemansiella radicata* (Relhan) Singer i *Xerula radicata* (Relhan) Dörfelt, međutim kao rezultat opširne molekularne, filogenetske studije sprovedene na kompleksu *Xerula/Oudemansiella*, uključena je u novo prepoznati rod *Hymenopellis* (Petersen i Hughes 2010), pri čemu je ustanovljen i veliki broj novih severnoameričkih i azijskih vrsta, koje su ranije bile identifikovane kao predstavnici širokog „*Oudemansiella radicata*” morfološkog kompleksa.

Među sekvencama *H. radicata* koje su rezultat ove teze (Tab. 12), sekvenca sa Kopaonika (1BC3ZAD08767F) se znatno razlikovala u odnosu na sve ostale sekvence vrste *H. radicata*, zbog čega su za konstrukciju filogenetskog stabla (Graf. 21) korišćene i sekvence drugih, filogenetski najbližih vrsta roda *Himenopellis* (ukupno 49 sekvenci). Vrste *Gloiocephala aquatica* (GenBank sekvenca: DQ097356.1), *Strobilurus stephanocistis* (UNITE sekvenca: UDB011403) i *Rhodotus palmatus* (UNITE sekvenca: UDB011403) su poslužile kao spoljašnje grupe. U dobijenom dendrogramu izdvojile su se dve različite i dobro podržane klade. Klada A sadrži sekvence više različitih vrsta roda *Hymenopellis* i podeljena je na dve veće grupe: podkladu A1 i podkladu A2. Podklada A1 je podeljena na nekoliko podklastera sa različitim, geografski odvojenim, vrstama:

- *H. radicata 1* - obuhvata većinu sekvenci vrste *H. radicata* raznolikog evropskog porekla (Rusija, Austrija, Švedska, Švajcarska, Francuska i Engleska), kao i većinu sekvenci koje su rezultat ove teze,
- *H. radicata 2* – čine je samo dve izdvojene sekvence vrste *H. radicata* (jedna je rezultat ove teze - 1BC3ZAD08767F sa P3), koje su filogenetski udaljene u odnosu na ostale sekvence *H. radicata*, a bliže su severnoameričkom podklasteru *H. sinapicolor* / *H. rugosoceps*
- *H. sinapicolor* / *H. rugosoceps* – obuhvata izmešane sekvence severnoameričkih vrsta *Hymenopellis sinapicolor* R.H. Petersen & Justice i *Hymenopellis rugosoceps* (G.F. Atk.) R.H. Petersen,
- *H. orientalis 1* – južnokorejske i japanske sekvence vrste *Hymenopellis orientalis* (R.H. Petersen & Nagas.) R.H. Petersen
- *H. orientalis 2* – kineske sekvence vrste *H. orientalis* koje su filogenetski izdvojene u odnosu na sve ostale klastere podklade A1.

Podklada A2 objedinjuje nekoliko severnoameričkih vrsta roda *Hymenopellis*, izdvojenih u zasebne podklaster: *Hymenopellis furfuracea* (Peck) R.H. Petersen, *Hymenopellis incognita* (Methven & R.H. Petersen) R.H. Petersen *Hymenopellis megalospora* (Clem.) R.H. Petersen, *Hymenopellis limonispota* (R.H. Petersen) R.H. Petersen. Drugu, dobro podržanu kladu B (podržano bootstrap vrednostima od 95%) čine kineske sekvence vrste *Hymenopellis raphanipes* (Berk.) R.H. Petersen (syn. *H. chiangmaiae* (R.H. Petersen & Nagas.) R.H. Petersen). Dobijeno grupisanje u okviru filogenetskog stabla je u skladu sa ranijim filogenetskim istraživanjima vrsta *Himenopellis/Xerula* kompleksa (Hao *i sar.*, 2016; Park *i sar.*, 2017).

Prosečna genetička udaljenost analiziranih ITS sekvenci unutar vrste *H. radicata* bila je 0,003, pri čemu između većine uzoraka ove teze nije bilo razlike (GDu = 0,000), međutim, ukoliko se uzme u obzir i uzorak sa Kopaonika (1BC3ZAD08767F) genetička distanca unutar grupe srpskih uzoraka znatno veća (GDu = 0,025) i prevazilazi vrednosti tipične za distance unutar vrsta (Tab. 13).

Grafikon 21. Filogenetsko stablo odabranih vrsta roda *Hymenopellis*

Bootstrap vrednosti iznad 50% su prikazane na čvorovima, tj. mestima evolutivnog razdvajanja

- Oznaka za sekvence koje su rezultat ove teze; ■ Oznaka za spoljašnje grupe (eng. „Outgroup“)

Genetičke udaljenosti između različitih analiziranih vrsta roda *Hymenopellis* su se kretale u rasponu od 0,004 do 0,096 (Tab. 21), čineći ga evolutivno najdivergentnijim među svim proučavanim rodovima. Najveće vrednosti genetičkih distanci među različitim grupama pokazao je upravo uzorak sa Kopaonika 1BC3ZAD08767F (u Tab. 21 - H.rad SRB P3), kako u odnosu na druge vrste roda *Hymenopellis* (GDU: 0,063 – 0,096), tako i u odnosu na druge grupe same vrste *H. radicata* (*H. radicata* SRB: 0,062; *H. radicata* 1: 0,064) pa čak i u odnosu na sekvencu iz Francuske (KX449410) sa kojom je oformio podklaster *H. radicata* 2

(0,065). Ovakav rezultat ukazuje da se najverovatnije radi o potpuno drugoj vrsti, očigledno evolutivno udaljenoj u odnosu na sve ostale analizirane vrste ovog roda, koju je neophodno dodatno istražiti na morfološkom i molekularnom nivou.

Kada se ostali članovi podklade A1 međusobno uporede na osnovu genetičkih distanci, uočava se da je evropska vrsta *H.radicata*, a posebno srpska grupa, filogenetski vrlo bliska azijskoj vrsti *H.orientalis* sa kojom pokazuje genetičku udaljenost koja je češća unutar vrsta (GDu: 0,004 – 0,011). Ove dve vrste su međusobno i makromorfološki vrlo slične, usled čega je *H.orientalis* dugo identifikovana kao *H.radicata* (Park *i sar.*, 2017). Mikromorfološki se razlikuju po kaulocistidijama, koje su kod *H.orientalis* slabo razvijene, dok su kod *H.radicata* dobro razvijene (Petersen i Nagasawa, 2006).

Genetička udaljenost *H.radicata* u odnosu na različite severnoameričke vrste raste sledećim redosledom: *H.furfuracea* (GDu: 0,013 – 0,015), *H.megalospora* i *H.incognita* (GDu: 0,017 – 0,019), *H.rugosoceps* (GDu: 0,021 – 0,022), *H.sinapicolor* (GDu: 0,022 – 0,023), *H.limonispora* (GDu: 0,022 – 0,023). Vrsta *H.radicata* pokazuje najveću genetičku divergenciju u odnosu na azijsku vrstu *H.raphanipes* (0,033 – 0,035), sa kojom je ranije često mešana u Kini (Shim *i sar.*, 2006; Hao *i sar.*, 2016), a od koje se morfološki razlikuje po glatkoj dršci, obliku pleurocistidija i odsustvu pileo- i kaulocistidija (Petersen i Nagasawa, 2006). Na osnovu dosadašnjih molekularnih istraživanja, prisustvo vrste *H.radicata*, pod kojom su ranije identifikovane različite severnoameričke i azijske vrste novoizdvojenog roda *Hymenopellis*, nije potvrđeno van Evrope (Petersen i Hughes 2010; Hao *i sar.*, 2016).

Tabela 21. Procena prosečnih genetičkih distanci u ITS sekvencama između grupa analiziranih vrsta roda *Hymenopellis*

	H.rad SRB	H.rad SRB P3	H.sin	H.fur	H.rad	H.rug	H.ori 1	H.lim	H.meg cf.lim	H.meg	H.meg cf.inc	H.inc	H.raph	H.fur cf.raph	H.rad FRA	H.ori 2
H.rad SRB																
H.rad SRB P3	0.062															
H.sin	0.022	0.075														
H.fur	0.013	0.074	0.033													
H.rad	0.002	0.064	0.023	0.015												
H.rug	0.021	0.075	0.008	0.032	0.022											
H.ori 1	0.004	0.063	0.025	0.012	0.005	0.024										
H.lim	0.022	0.084	0.037	0.017	0.023	0.036	0.021									
H.meg cf.lim	0.024	0.086	0.037	0.020	0.026	0.037	0.023	0.002								
H.meg	0.017	0.079	0.037	0.013	0.019	0.036	0.017	0.004	0.006							
H.meg cf.inc	0.020	0.081	0.040	0.015	0.021	0.038	0.023	0.011	0.013	0.006						
H.inc	0.017	0.081	0.037	0.013	0.019	0.036	0.021	0.009	0.011	0.004	0.002					
H.raph	0.033	0.089	0.049	0.037	0.035	0.048	0.037	0.040	0.042	0.040	0.039	0.037				
H.fur cf.raph	0.040	0.096	0.056	0.042	0.041	0.054	0.044	0.046	0.049	0.046	0.044	0.042	0.012			
H.rad FRA	0.009	0.065	0.028	0.022	0.010	0.029	0.012	0.031	0.033	0.026	0.028	0.026	0.042	0.049		
H.ori 2	0.010	0.071	0.032	0.014	0.011	0.031	0.009	0.027	0.029	0.023	0.025	0.023	0.038	0.041	0.018	

Osenčena polja se odnose na GD_i između različitih grupa iste vrste; Italik vrednosti u liniji dijagonale se odnose na GD unutar date filogenetske grupe

Tabela 22. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1-5.8S-ITS2 regiona za vrstu *H.radicata* u odnosu na *H.radicata* RefSeq ▪

GenBank / Unite pristupni broj	Pozicije JNP*-a u sekvencama u odnosu na start kodon referentne sekvence															Pozicije heterozigota (uočeni NU u odnosu na referentni NU)																	
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	4	4	5	5	6	7	7	1	2	2	3	3	3	4	4	5	5	6	6	6	6	6		
	9	5	5	5	5	8	9	0	1	3	5	9	6	9	0	1	4	7	3	5	2	3	6	8	9	1	9	0	3	4	7	8	
	0	5	6	7	8	3	6	5	0	2	4	5	8	0	1	9	6	7	4	3	4	1	0	4	1	1	4	6	5	4	5	9	
GQ913382 ▪	-	-	-	-	G	T	T	G	C	G	C	C	A	G	G	G	T																
<u>KX533921</u>	-	-	-	-	G	T	T	G	C	G	C	C	A	G	G	G	T																
<u>KX533922</u>	-	-	-	-	G	T	Y	R	Y	G	Y	C	A	G	G	K	T	Y							M			Y		R			
<u>KX533923</u>	-	-	-	-	G	T	Y	R	Y	G	Y	C	A	G	G	K	T	Y							M			Y		R			
<u>1BC3ZAD07836F</u>	-	-	-	-	G	T	T	G	C	G	C	C	A	G	G	G	T																
KF373782	-	-	-	-	G	T	T	G	T	G	T	C	A	G	G	G	.																
KF373783	-	-	-	-	G	T	T	G	T	G	Y	C	A	G	G	G	T														R		
GQ913374	-	-	-	-	G	T	T	A	T	A	T	A	A	G	G	T	T																
GQ913375	-	-	-	-	G	T	T	A	T	A	T	A	A	G	G	T	T	K									Y					K	
GQ913376	-	-	-	-	G	T	T	A	T	A	T	A	A	G	G	T	T	K															K
GQ913390	-	T	C	T	A	T	C	G	T	G	T	C	A	G	G	G	T																
<u>1BC3ZAD08767F</u>	-	T	C	T	A	T	C	G	T	G	C	C	A	A	A	A	T																
KX449410	-	T	C	T	A	T	C	G	T	G	C	C	A	A	G	.	.				A						A	A					
GQ913392	-	T	C	T	A	T	C	G	T	G	C	C	A	G	G	G	T																
GQ913387	-	T	C	T	A	T	C	G	T	G	C	C	A	G	G	G	T														R		
GQ913389	-	T	C	T	A	T	C	G	T	G	T	C	A	G	G	G	T																
GQ913384	-	T	C	T	A	T	C	G	T	G	T	C	A	G	G	T	T																
GQ913385	-	T	C	T	A	T	C	G	T	G	T	C	A	G	G	G	T																
GQ913391	-	T	C	T	A	T	C	G	T	G	T	C	A	G	G	G	T																
GQ913393	-	T	N	T	A	T	C	G	T	G	T	C	A	G	G	G	T																
GQ913381	A	T	T	C	A	T	C	G	T	G	T	C	C	G	G	G	T																
GQ913383	-	T	C	T	A	C	C	G	T	G	T	C	C	G	A	T	G																
GQ913377	A	T	T	C	A	C	C	G	T	G	T	C	C	G	G	T	T																
UDB011392	A	T	T	C	A	C	C	G	T	G	T	C	C	G	G	T	G																
UDB011631	A	T	T	C	A	C	C	G	T	G	T	C	C	G	G	T	G																

*JNP – jednonukleotidni polimorfizam (eng. „SNP – *single nucleotide polymorphism*“); **NU – nukleotid; ▪ referentna sekvenca; podvučene sekvence su rezultat ove teze; . početak/kraj sekvence; - delecija; osenčena polja – polimorfizmi; IUPAC kod specifikacija za DNK sekvencu: (Y): C ili T; (R) A ili G; (W): A ili T; (K): G ili T; (S): G ili C; (M): A ili C

Za analizu polimorfizama je odabrano svih 25 sekvenci vrste *H.radicata*, a kao referentna sekvenca korišćena je GenBank sekvenca GQ913382 poreklom iz Rusije. Duž poravnanja od 763 nukleotidnih parova, zabeleženo je 665 konzerviranih i 108 varijabilnih pozicija, što je rezultovalo ukupnom varijabilnošću od 14% (Tab. 14). Utvrđene supstitucije i indeli su gotovo identično raspoređeni u okviru podgrupa izdvojenih na filogenetskom stablu konstruisanom samo od sekvenci vrste *H.radicata* (koje nije prikazano u sklopu teze), čije grananje odgovara stablu konstruisanom na nivou roda (Graf. 21). Na osnovu polimorfničkih pozicija, može se reći da se razlikuju 3 veće genetičke grupe *H.radicata*. Kod sekvenci koje su rezultat ove teze, a zajedno sa švajcarskim i jednom ruskom sekvencom čine prvu genetsku grupu, utvrđeno je samo 9 heterozigotnih pozicija u odnosu na referentnu sekvenču. Izdvojena sekvenca sa Kopaonika, na osnovu utvrđenih polimorfizama, pripada najvećoj genetskoj grupi, koja nosi specifične supstitucije na pozicijama od 155 do 158 i poziciji 196, a pored njih odlikuje se 1 supstitucijom zajedničkom sa francuskom sekvencom iz podklastera *H.radicata* 2 (bp 590) i jedinstvenim supstitucijama na pozicijama bp 601 i 719.

5.3.5. *Phallus impudicus*

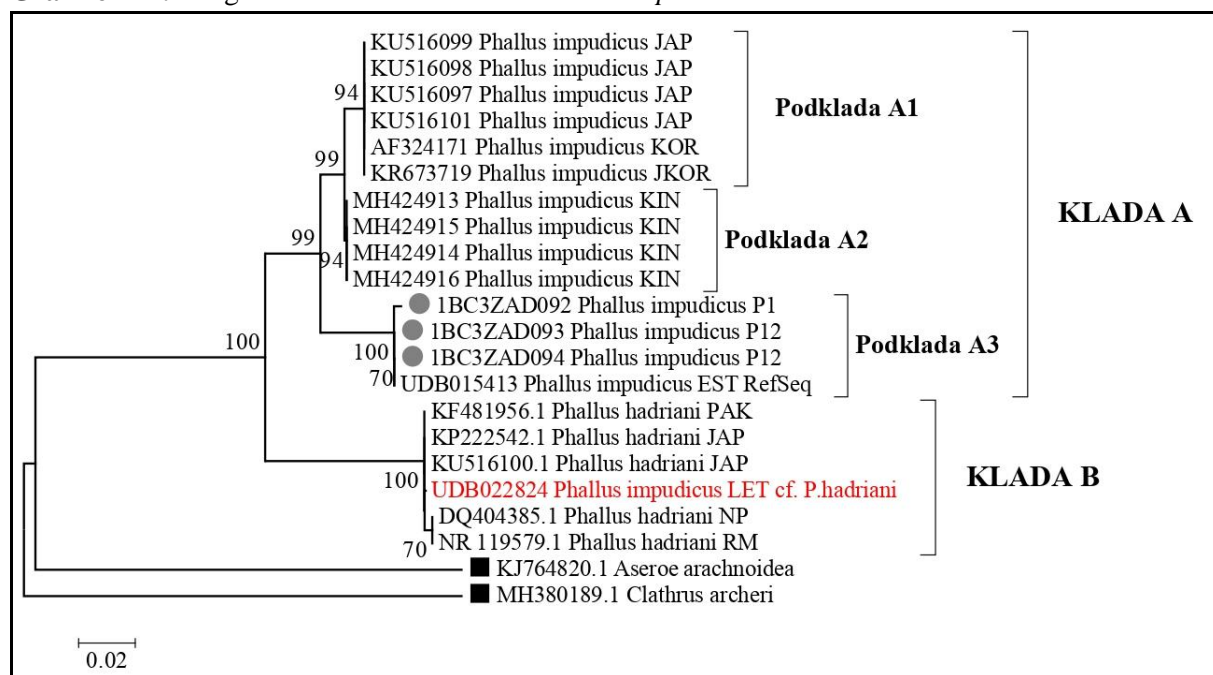
Sa filogenetskog stanovišta, zasnovanog na molekularnim karakteristikama, vrsta *Phallus impudicus* pripada monofiletskoj gomfoidno-faloidnoj kladi gljiva, koja obuhvata morfološki i ekološki veoma različite vrste. U pitanju su ektomikorizne i saprobne makrogljive sa sledećim formama bazidiomata: zvezdaste, strčci (eng. *stinkhorns*), gljive koje aktivno izbacuju spore – tipa *Sphaerobolus* (eng. *cannonball fungi*), koralne, batinaste (eng. *club fungi*), pečurkaste sa listastim i bodljikavim himenoforom, resupinantne gljive i lažni tartufi (Hosaka *i sar.*, 2006). Na osnovu tradicionalne taksonomije, zasnovane isključivo na morfološkim karakteristikama, predstavnici ove klade su ranije klasifikovani u okviru nekoliko udaljenih redova: Lycoperdales, Phallales, Nidulariales i Gomphales (Jülich, 1981). Prema najnovijoj klasifikaciji, koja kombinuje morfološke i molekularne podatke, predstavnici gomfoidno-faloidne klade svrstani su u novu podklasu Phallomycetidae i četiri reda koja su se izdvojila kao zasebne klade: Phallales, Hysterangiales, Gomphales i Geastrales (Hosaka *i sar.*, 2006).

Rod *Phallus* Junius ex L., danas obuhvata oko 35 vrsta, uglavnom tropskog i subtropskog regiona (Rebriev *i sar.*, 2014). Koliko je za sada poznato, prirodno rasprostranjanje u Evropi imaju samo dve vrste roda *Phallus*: *P.impudicus* i *P.hadriani*, koje se međusobno razlikuju

samo po boji volve (Kreisel, 1996; Kuo, 2006). Zbog toga su u filogenetsku analizu vrste *P.impudicus* uključene i sekvence vrste *P.hadriani*, kao dodatna provera identifikacije analiziranih uzoraka. Za konstrukciju filogenetskog stabla (Graf. 22), korišćene se ukupno tri sekvence uzoraka iz različitih šumskih sastojina sa Vidliča (Tab. 13) i sve dostupne sekvence pomenutih vrsta iz dostupnih javnih baza podataka, njih ukupno 17, pri čemu su *Aseroe arachnoidea* (GenBank sekvenca: KJ764820) i *Clathrus archeri* (GenBank sekvenca: MH380189) korišćene kao spoljašnje grupe.

Kao rezultat sprovedene analize, formirale su se dve jasno izdvojene, statistički dobro podržane klade analiziranih sekvenci vrsta *P.impudicus* (klada A, bootstrap vrednost 99%) i *P.hadriani* (klada B, bootstrap vrednost 100%). Klada A je izdeljena na tri, takođe dobro podržane podklade: podkladu A1 sa japanskokorejskim sekvencama (bootstrap vrednost 94%), podkladu A2 sa kineskim sekvencama (bootstrap vrednost 94%), i podkladu A3 sa evropskim sekvencama (bootstrap vrednost 100%), uključujući sekvence iz ove teze, što ukazuje da su razlike u ITS regionu *P.impudicus* uslovljene geografskim rasprostranjenjem. Ovaj rezultat je prvi dokaz o podeli filogenetskih grupa u okviru vrste *P.impudicus*, s obzirom da su dosadašnje filogenetske analize unutar roda uključivale mali broj sekvenci (Hosaka *i sar.*, 2006; Trierveiler-Pereira *i sar.*, 2017; Song *i sar.*, 2018). U okviru klade B našla se i jedna sekvenca zavedena u GenBank bazu kao *P.impudicus* (UDB022824), koja je najverovatnije pogrešno morfološki identifikovana.

Grafikon 22. Filogenetsko stablo odabranih vrsta *P.impudicus* i *P.hadriani*



Bootstrap vrednosti iznad 50% su prikazane na čvorovima, tj. mestima evolutivnog razdvajanja

● Oznaka za sekvence koje su rezultat ove teze; ■ Oznaka za spoljašnje grupe (eng. *outgroup*)

Prosečna intraspecijska genetička distanca (GDu) iznosila je 0,001 kod *P.hadriani*, 0,000 kod azijskih grupa *P.impudicus*, 0,003 unutar podklade evropskih sekvenci, dok je unutar grupe srpskih sekvenci zabeležena najveća evolutivna divergenciju – GDu = 0,005 (Tab. 13 i 23).

Tabela 23. Procena prosečnih genetičkih distanci (GD_i) u ITS sekvencama između grupa analiziranih vrsta roda *Phallus*

	P,had	P,imp LET	P,imp SRB	P,imp JJK	P,imp KIN	P,imp EST
P,had	<i>0,001</i>					
P,imp LET	0,001	X				
P,imp SRB	0,125	0,124	<i>0,005</i>			
P,imp JJK	0,116	0,115	0,054	<i>0,000</i>		
P,imp KIN	0,106	0,105	0,044	0,009	<i>0,000</i>	
P,imp EST	0,124	0,123	0,003	0,053	0,043	X

Osnježena polja se odnose na GD_i između različitih grupa iste vrste; Italik vrednosti u liniji dijagonale se odnose na GD unutar date filogenetske grupe

Ovi rezultati nam ukazuju na to da su evropske populacije vrste *P.impudicus* divergirale u novije vreme u odnosu na azijske, od kojih se filogenetski dosta razlikuju, što je u skladu sa zaključcima ranijih istraživanja da je Azija centar diverziteta vrsta roda *Phallus* (Kreisel, 1996). Interesantno je da je prosečna GD između azijskih i evropske filogenetske grupe *P.impudicus* vrlo visoka (GD_i: 0,044 i 0,054), bliska interspecijskim vrednostima, dok je dobijena GD_i između azijskih podklastera A1 i A2 vrlo niska (0,009), sa vrednostima koje se najčešće i javljaju između različitih grupa iste vrste.

Za analizu polimorfizama u okviru ITS regiona *P.impudicus*, izvršeno je poravnanje svih sekvenci ove vrste u dužini od 608 nukleotidnih parova, pri čemu je utvrđeno 536 konzerviranih i 63 varijabilne nukleotidne pozicije, sa ukupnom varijabilnošću analiziranih sekvenci od 10% (Tab. 14). Utvrđeni polimorfizmi su bili ravnomerno raspoređeni u okviru filogenetskih grupa i jasno su održavali grupisanje sekvenci u filogenetskom stablu. Srpske sekvence, generisane ovom tezom, su se u odnosu na referentnu sekvencu UDB015413 iz Estonije razlikovale samo u jednoj polimorfnoj poziciji (dve supstitucije na poziciji 34). Pored toga, sekvenca 1BC3ZAD092 sa P1 na Vidliču se razlikovala u odnosu na sve ostale sekvence vrste *P.impudicus*, uključujući i preostale 2 sekvence iz ove teze, na osnovu 14 jedinstvenih polimorfničkih pozicija koje nisu prikazane u Tab. 24 (supstitucije na pozicijama 10, 13, 14, 15, 17, 19, 22, 24, 28, 486, 511, 548, 579, 593, indeli na pozicijama 555, 563, 577). Samo kod jedne kineske sekvence su utvrđene 2 heterozigotne pozicije na 457 i 539.

Evropske sekvence, grupisane u podkladi A3 su se znatno razlikovale od azijskih sekvenci (32 polimorfizma zastupljena na nivou grupe, Tab. 24), što dodatno ukazuje na izraženu evolutivnu divergenciju evropske grupe. Nasuprot tome divergencija između azijskih grupa (podklada A1 i A2) je vrlo mala – svega 6 zabeleženih jedinstvenih polimorfnih pozicija za jednu od grupa (supstitucije na 31, 150, 466, 506, 521, 602 i 604). Ovaj rezultat ide u prilog hipotezi o azijskom poreklu vrste *P. impudicus* (Kreisel, 1996).

Tabela 24. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1-5.8S-ITS2 regiona za vrstu *P. impudicus* u odnosu na *P. impudicus* RefSeq ▪

GenBank / Unite pristupni broj	Geo. poreklo	Pozicije JNP*-a u sekvencama u odnosu na start kodon referentne sekvence																												Pozicije heterozigo ta						
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	6	6	4	5						
		2	3	3	4	4	6	9	2	3	3	3	4	5	5	6	6	7	9	1	1	1	5	6	6	9	0	1	2	2	2	3	0	0	5	3
		0	1	4	3	5	5	3	5	3	5	7	7	0	7	1	9	3	1	1	4	5	7	6	8	9	6	8	0	1	2	9	2	4	7	9
UDB015413 ▪ <u>IBC3ZAD092</u>	EST	C	T	G	A	T	C	T	T	A	T	T	G	C	C	A	C	G	T	A	T	T	C	C	C	T	A	C	C	C	C	G	G	A		
<u>IBC3ZAD092</u>	SRB	C	T	A	A	T	C	T	T	A	T	T	G	C	C	A	C	G	T	A	T	T	C	C	C	T	A	C	C	C	C	G	.	.		
<u>IBC3ZAD093</u>	SRB	.	T	C	A	T	C	T	T	A	T	T	G	C	C	A	C	G	T	A	T	T	C	C	C	T	A	C	C	C	C	G	G	A		
<u>IBC3ZAD094</u>	SRB	.	T	G	A	T	C	T	T	A	T	T	G	C	C	A	C	G	T	A	T	T	C	C	C	T	A	C	C	C	C	G	G	A		
KU516099	JAP	A	C	A	G	C	T	A	C	C	C	C	A	-	A	G	T	A	A	G	C	-	C	T	T	C	G	T	T	T	T	A	.	.		
KR673719	JKOR	A	C	A	G	C	T	A	C	C	C	C	A	-	A	G	T	A	A	G	C	-	C	T	T	C	G	T	T	T	T	A	.	.		
KU516097	JAP	A	C	A	G	C	T	A	C	C	C	C	A	-	A	G	T	A	A	G	C	-	C	T	T	C	G	T	T	T	T	A	.	.		
KU516101	JAP	A	C	A	G	C	T	A	C	C	C	C	A	-	A	G	T	A	A	G	C	-	C	T	T	C	G	T	T	T	T	A	.	.		
AF324171	KOR	A	C	A	G	C	T	A	C	C	C	C	A	-	A	G	T	A	A	G	C	-	C	T	T	C	G	T	T	T	T	A	.	.		
KU516098	JAP	A	C	A	G	C	T	A	C	C	C	C	A	-	A	G	T	A	A	G	C	-	C	T	T	C	G	T	T	T	T	A	.	.		
MH424913	KIN	A	T	A	G	C	T	A	C	C	C	C	A	-	A	G	T	A	A	G	C	C	Y	C	T	C	A	T	T	C	T	R	A	G	Y	R
MH424915	KIN	A	T	A	G	C	T	A	C	C	C	C	A	A	A	G	T	A	A	G	C	C	T	C	T	C	A	T	T	C	T	A	A	G		
MH424916	KIN	A	T	A	G	C	T	A	C	C	C	C	A	A	A	G	T	A	A	G	C	-	T	C	T	C	A	T	T	C	T	G	A	G		
MH424914	KIN	A	T	A	G	C	T	A	C	C	C	C	A	A	A	G	T	A	A	G	C	-	C	C	T	C	A	T	T	C	T	G	A	G		

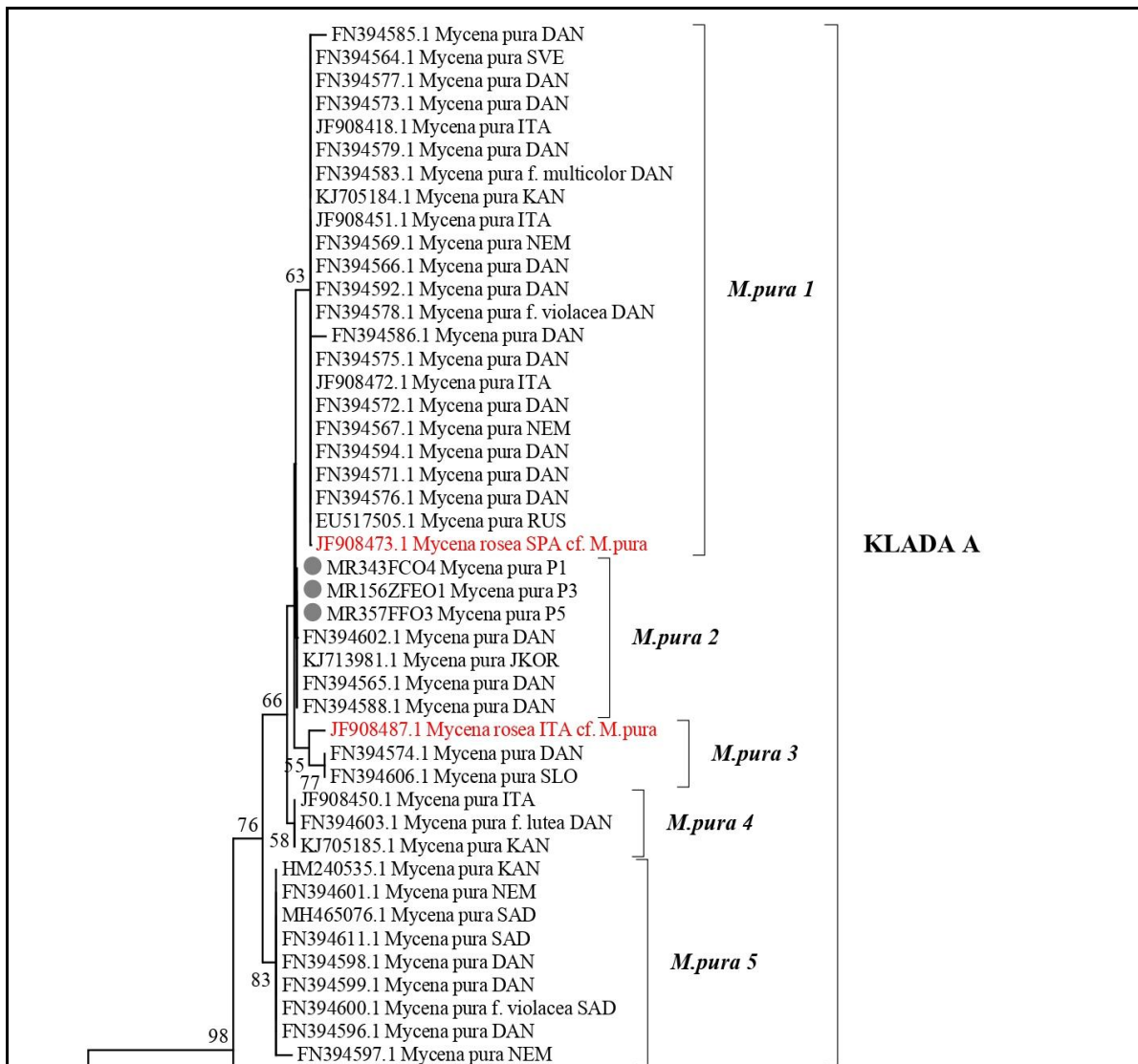
*JNP – jednonukleotidni polimorfizam (eng. „SNP – *single nucleotide polymorphism*“); **NU – nukleotid; ▪ referentna sekvenca; podvučene sekvence su rezultat ove teze; . početak/kraj sekvence; - delecija; osenčena polja – polimorfizmi polimorfizmi (ružičasto osenčeni – jedinstveni za datu grupu ili određenu sekvencu); IUPAC kod specifikacija za DNK sekvencu: (Y): C ili T; (R) A ili G; (W): A ili T; (K): G ili T; (S): G ili C; (M): A ili C

5.3.6. *Mycena pura* i *Mycena pelianthina*

Mycena pura (Pers.) P. Kumm. i *Mycena pelianthina* (Fr.) Quél. morfološki pripadaju sekciji *Calodontes* (Fr. ex Berk.) Quél.

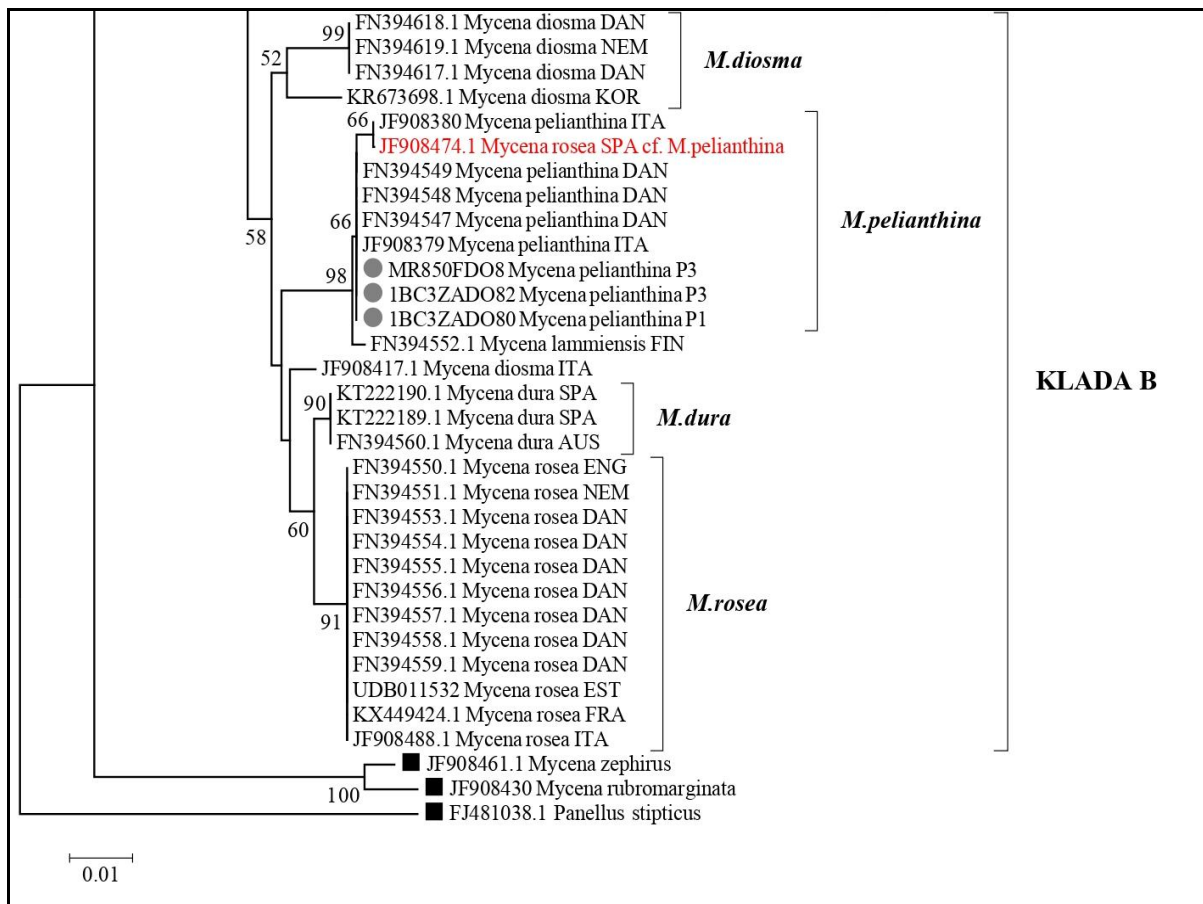
M. pura se dalje svrstava u podsekciju *Puræ* (Konrad & Maubl.) Maas Geest, zajedno sa evropskim vrstama *M. diosma* Krieglst. & Schwöbel, *M. dura* Maas Geest. & Hauskn., *M. rosea* (Schumach.) Gramberg, i severnoameričkom *M. kuehneriana* A.H. Sm. Značajni karakteri ove podsekcije su: amiloidne spore, pleuro i heilocistidije sa bezbojne. *M. pura* je jedna od najkontroverznijih vrsta sekcije *Calodontes*, kojoj je u prošlosti pripisivan veći broj formi i varijeteta zbog velike varijabilnosti u boji plodnog tela (ružičasta, crvenkasta, beličasta, plava, žućkasta ili braonkasta). *M. pelianthina* pripada podsekciji *Marginatae* J.E. Lange, zajedno sa evropskom vrstom *M. lammiensis* Harmaja i severnoameričkom *M. rutilantiformis* (Murrill) Murrill. Upečatljivi karakteri ove podsekcije su: intenzivno obojena ivica lamela, amiloidne spore, pleuro i heilocistidije sa braonkastim sadržajem.

S obzirom na sličnosti i potencijalnu mogućnost zamene među vrstama u sekciji *Calodontes*, izvršena je jedna filogenetska analiza za obe vrste *M. pura* i *M. pelianthina*, sa sekvencama generisanim u okviru teze, kao i sa dostupnim sekvencama ovih vrsta i njima najbližijih vrsta pomenute sekcije iz javnih baza (GenBank i Unite). Kao spoljašnje grupe poslužile su sledeće sekvence: *Mycena zepirus* (GenBank sekvenca: JF908461), *Mycena rubromarginata* (GenBank sekvenca: JF908430) i *Panellus stipticus* (GenBank sekvenca: FJ481038). Topologija konstruisanog dendrograma (Graf. 23 i 24) je u skladu sa rezultatima drugih filogenetskih istraživanja vrsta sekcije *Calodontes* (Harder *i sar.*, 2010; Harder *i sar.*, 2013). U filogenetskom stablu su se izdvojile dve relativno dobro podržane klade. Klada A (bootstrap vrednost 76%) obuhvata isključivo sekvence vrste *M. pura* grupisane u nekoliko dobro podržanih podklada (*M.pura 1 – M.pura 5*), pri čemu nije uočeno grupisanje prema geografskom poretku uzoraka. Sekvence iz ove teze su se pozicionirale u podkladi *M.pura 2*, zajedno sa tri danske sekvence i jednom azijskom.

Grafikon 23. Filogenetsko stablo odabranih vrsta roda *Mycena* – prvi deo

Bootstrap vrednosti iznad 50% su prikazane na čvorovima, tj. mestima evolutivnog razdvajanja; Crvenom bojom označene sekvence iz GenBank baze za koje je utvrđena mogućnost pogrešne morfološke identifikacije; ● Oznaka za sekvence koje su rezultat ove teze

Dve sekvence preuzete iz GenBank baze pod nazivom *M.rosea* predstavljaju pogrešno morfološki identifikovane primerke, s obzirom da su jasno izdvojene u odnosu na ostale sekvence te vrste, a grupisale su se sa sekvencama vrste *M.pura* u podkladama *M.pura* 1 (JF908473 iz Španije) i *M.pura* 3 (JF908487 iz Italije).

Grafikon 24. Filogenetsko stablo odabranih vrsta roda *Mycena* – drugi deo

Bootstrap vrednosti iznad 50% su prikazane na čvorovima, tj. mestima evolutivnog razdvajanja

- Oznaka za sekvence koje su rezultat ove teze; ■ Oznaka za spoljašnje grupe (eng. *outgroup*)

Interesantno je da su se u okviru klade B, vrste iz podsekcije *Purae* – *M.rosea*, *M.diosma* i *M.dura*, grupisale zajedno sa vrstom *M.pelianthina*, koja morfološki pripada drugoj sekciji. Srpske sekvence vrste *M.pelianthina* se nalaze u istoimenoj podkladi u okviru koje se posebno izdvojio jedan manji podklaster sa dveju mediteranskim sekvencama ove vrste, od kojih je jedna u GenBank bazi sačuvana kao *M.rosea* (JF908474), dok rezultat ove filogenetske analize ukazuje da se radi o vrsti *M.pelianthina*. Isto je potvrđeno i genetičkom distancom (Tab. 25) izračunatom između sporne sekvence i ostalih sekvenci podklade *M.pelianthina*, čija je vrednost (GD_i = 0,002) skoro identična vrednosti genetičke distance unutar same vrste (GD_u = 0,001).

Analizom prosečnih genetičkih distanci, intraspecijska genetička distanca je veća kod vrste *M.pura* (GD_u = 0,006), nego kod vrste *M.pelianthina* (GD_u = 0,001) (Tab. 13), što važi i za sekvence koje su rezultat ove teze (GD_u (*M.pura*) = 0,002, GD_u (*M.pelianthina*) = 0,000).

Na osnovu genetičkih distanci među različitim filogenetskim grupama vrste *M.pura* (*M.pura 1* – *M.pura 5*), koje su se kretale u opsegu 0,004 – 0,015, evolutivno su najmanje međusobno divergirali predstavnici grupa *M. pura 2* i *M. pura 4*, dok su evolutivno najveće razlike prisutne između grupa *M. pura 3* i *M. pura 5* (Tab. 25). Evolutivna divergencija naših sekvenci *M. pura* u odnosu na ostale filogenetske grupe ove vrste su se kretale u opsegu 0,002 – 0,009, dok je evolutivna divergencija naših sekvenci *M. pelianthina* u odnosu na ostale sekvence u okviru vrste iznosila 0,002. Ovi rezultati ukazuju nam na to da je *M.pura*, najvarijabilnija vrsta sekcije *Calodontes* ne samo morfološki već i genetički, što je u skladu sa prethodnim filogenetskim istraživanjima vrsta sekcije *Calodontes* (Harder *i sar.*, 2010; Harder *i sar.*, 2012;) Harder *i sar.*, 2013).

Tabela 25. Procena prosečnih genetičkih distanci u ITS sekvencama između različitih vrsta roda *Mycena*

	M.dio	M.dio KOR	M.dur	M.lam	M.pel SRB	M.pel	M.pel M	M.pur SRB	M.pur 2	M.pur 4	M.pur 5	M.pur 1	M.pur 3	M.ros	cf.M.pur 1	cf.M.pel	cf.M.pur 3
M.dio	<i>0,000</i>																
M.dio KOR	0,025	X															
M.dur	0,038	0,028	<i>0,000</i>														
M.lam	0,038	0,030	0,028	X													
M.pel SRB	0,035	0,033	0,030	0,002	<i>0,000</i>												
M.pel	0,035	0,033	0,030	0,002	0,000	<i>0,000</i>											
M.pel M	0,038	0,035	0,033	0,005	0,002	0,002	X										
M.pur SRB	0,038	0,028	0,033	0,035	0,033	0,033	0,035	<i>0,002</i>									
M.pur 2	0,038	0,028	0,033	0,035	0,033	0,033	0,035	0,002	<i>0,003</i>								
M.pur 4	0,040	0,025	0,030	0,033	0,035	0,035	0,038	0,004	0,004	<i>0,002</i>							
M.pur 5	0,035	0,020	0,030	0,028	0,030	0,030	0,033	0,009	0,010	0,006	<i>0,001</i>						
M.pur 1	0,036	0,031	0,036	0,035	0,033	0,033	0,035	0,004	0,005	0,008	0,014	<i>0,002</i>					
M.pur 3	0,038	0,028	0,033	0,035	0,033	0,033	0,035	0,006	0,007	0,009	0,015	0,008	<i>0,000</i>				
M.ros	0,035	0,025	0,015	0,025	0,022	0,022	0,025	0,030	0,031	0,033	0,028	0,034	0,030	<i>0,000</i>			
cf.M.pur 1	0,035	0,030	0,035	0,035	0,033	0,033	0,035	0,003	0,004	0,007	0,013	0,001	0,007	0,033	X		
cf.M.pel	0,038	0,035	0,033	0,005	0,002	0,002	0,000	0,035	0,035	0,038	0,033	0,035	0,035	0,025	0,035	X	
cf.M.pur 3	0,046	0,035	0,028	0,030	0,028	0,028	0,030	0,015	0,015	0,017	0,022	0,018	0,015	0,028	0,017	0,030	X

Osenčena polja se odnose na GDi između različitih grupa iste vrste;

Italik vrednosti u liniji dijagonale se odnose na GDu unutar date filogenetske grupe

Tabela 26. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1-5.8S-ITS2 regiona za vrstu *M.pelianthina* u odnosu na *M.pelianthina* RefSeq ▪

GenBank / Unite pristupni broj	Pozicije JNP*-a u sekvencama u odnosu na start kodon referentne sekvence								
	1	1	1	1	3	5	6	6	6
	3	4	5	7	6	5	1	2	4
JF908380 ▪	G	T	G	T	C	.	.	.	.
<u>1BC3ZADO80</u>	T	T	T	T	C	A	A	G	A
<u>1BC3ZADO82</u>	T	G	T	G	C	A	A	G	A
<u>MR850FDO8</u>	G	T	G	T	C	G	G	A	G
FN394548	G	T	G	T	T	.	.	.	.
JF908379	.	.	.	.	C	A	A	G	A
FN394547	G	T	G	T	C	.	.	.	.
FN394549	G	T	G	T	T	.	.	.	.

*JNP – jednonukleotidni polimorfizam (eng. „SNP – *single nucleotide polymorphism*“);

**NU – nukleotid; ▪ referentna sekvenca; podvučene sekvence su rezultat ove teze; . početak/kraj sekvence; osenčena polja – polimorfizmi;

Analiza polimorfizama je izvršena posebno, za svaku vrstu (Tab. 26 i 27). Sve sekvence vrste *M.pelianthina* su poravnate dužinom od 667 nukleotidnih parova, pri čemu su najveći deo ITS regiona činile konzervirane pozicije (ukupno 641), dok je svega 4% ITS regiona bilo varijabilno, sa 24 utvrđene polimorfne pozicije (Tab. 26). Sve srpske sekvence su međusobno bile različite po utvrđenim polimorfizmima, pri čemu su 2 sekvence sa Kopaonika (1BC3ZADO82, MR850FDO8) bile potpuno drugačije, svaka sa po 3 jedinstvena JNP-a, što nam ukazuje da su na istraživanom staništu na Metođama prisutna barem 2 različita genotipa.

Ukupno 32 sekvence vrste *M. pura* su poravnate dužinom od 605 nukleotidnih parova, pri čemu je utvrđeno 553 konzerviranih i 46 varijabilnih nukleotidnih pozicija, sa ukupnom varijabilnošću analiziranih sekvenci od 9% (Tab. 27). Utvrđeni polimorfizmi su bili relativno ravnomerno raspoređeni u okviru filogenetskih grupa i jasno su održavali grupisanje sekvenci u filogenetskom stablu. Srpske sekvence, generisane ovom tezom, su se u odnosu na referentnu sekvencu FN394572 razlikovale po 12 polimorfni pozicija. Interesantno je da su sekvence ove vrste sa Kopaonika i Tare bile identične, dok se sekvenca sa Vidliča od njih razlikovala po 9 nukleotidnih pozicija (supstitucije na pozicijama 70, 71, 73, 112, 399, 440, 530, 583, 592).

Tabela 27. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1-5.8S-ITS2 regiona za vrstu *M.pura* u odnosu na *M.pura* RefSeq ▪

Oznaka podklade	GenBank / Unite pristupni broj	Pozicije JNP*-a u sekvencama u odnosu na start kodon referentne sekvence																					
		2	6-8	2	3	7777	9	1	1	11	99	9	0	2	3	3	4	44	55	5	5	55	55	5
<i>M.pura 1</i>	FN394572 ▪	C	TTG	A	T	TG-T	T	C	A	TT	A	T	C	-	C	-	AT	CA	T	A	AC	--	T
<i>M.pura 2</i>	FN394588	C	TTG	A	C	TG-T	C	A	A	TA	A	T	C	A	C	G	AT	TA	T	A	CT	--	A
	MR156ZFEO1	C	TTG	A	T	YG-Y	C	C	A	TT	W	T	C	-	C	-	AT	CA	T	A	AC	--	T
	MR357FFO3	C	TTG	A	T	YG-Y	C	C	A	TT	W	T	C	-	C	-	AT	CA	T	A	AC	--	T
	MR343FCO4	C	TTG	A	T	TG-T	C	C	G	TT	A	T	C	-	C	T	AT	AA	C	A	AT	--	A
	FN394602	C	TTG	A	T	TGTT	C	C	G	TT	A	T	C	-	C	T	AT	AA	C	A	AT	--	A
	FN394565	C	TTG	A	T	CG-T	C	C	A	T-	A	T	C	-	C	G	AT	TA	C	A	AT	--	A
	KJ713981	C	TCG	A	T	CG-C	C	C	G	TT	A	T	C	-	C	G	AT	TA	T	A	AT	--	A
<i>M.pura 3</i>	FN394574	C	GCG	A	T	TT-T	C	C	A	TT	A	T	T	-	C	G	AT	TA	T	A	AT	CA	A
	FN394606	C	GCG	A	T	TT-T	C	C	A	TT	A	T	T	-	C	G	AT	TA	T	A	AT	CA	A
<i>M.pura 1</i>	FN394586	C	TTG	A	T	TG-T	T	C	A	TT	A	T	C	-	C	-	AT	CA	T	A	AC	--	T
	FN394575	C	TTG	A	T	TG-C	T	C	A	TT	A	T	C	-	C	-	AT	CG	T	A	AC	--	T
	FN394576	C	TTG	A	T	TG-C	T	C	A	TT	A	T	C	-	C	-	AT	CG	T	A	AC	--	T
	FN394577	C	TTG	A	T	TG-C	T	C	A	TT	A	T	C	-	C	-	AT	YG	T	A	AC	--	T
	FN394569	C	TTG	A	T	TG-T	T	C	A	TT	A	T	C	-	C	-	AT	YR	T	A	AC	--	T
	FN394564	C	TTG	A	T	CG-T	T	C	A	T-	A	T	C	-	C	G	AT	TA	C	A	AT	--	A
	EU517505	C	TTG	A	T	CG-T	T	C	A	T-	A	T	C	-	C	G	AT	TA	C	A	AT	--	A
	JF908418	C	TTG	A	T	CG-T	T	C	A	T-	A	T	C	-	C	G	AT	TA	C	A	AT	--	A
	FN394594	C	TTG	A	C	TG-T	T	A	A	TA	A	T	C	A	C	G	AT	TA	C	A	TT	--	A
	KJ705184	C	TTG	A	C	TG-T	T	A	A	TT	A	T	C	A	C	G	AT	NA	C	A	AT	--	A
FN394592	C	TTG	A	C	TG-C	T	A	A	TA	A	T	C	A	C	G	AT	TA	C	A	TT	--	A	
<i>M.pura 4</i>	JF908450	C	TTG	A	T	TGTT	C	C	G	TT	A	C	C	-	C	T	AT	AA	C	A	TT	--	A
	FN394603	C	TTG	A	T	TGTT	C	C	G	TT	A	C	C	-	C	T	AT	AA	C	A	TT	--	A
	KJ705185	C	TTG	A	T	TG-T	C	C	A	T-	A	C	C	-	C	G	AT	TA	C	A	AT	--	A
<i>M.pura 5</i>	HM240535	C	TTG	A	T	TG-T	C	C	G	TT	A	C	C	-	C	-	GA	AA	C	G	AT	--	A
	FN394611	-	TTG	G	T	TG-T	C	C	G	TT	G	C	C	-	C	-	GA	AA	C	G	AT	--	A
	FN394596	C	TTG	A	T	TG-T	C	C	G	TT	A	C	C	-	C	-	GA	AA	C	G	TT	--	A
	FN394597	C	TTG	A	T	TG-T	C	C	G	TT	A	C	C	-	C	-	GA	AA	C	G	TT	--	A
	FN394601	C	TTG	A	T	TG-T	C	C	G	TT	A	C	C	-	T	-	GA	AA	C	G	AT	--	A
	FN394598	T	TTG	G	T	TG-T	C	C	G	TT	A	C	C	-	T	-	GA	AA	C	G	AT	--	A
	FN394599	T	TTG	G	T	TG-T	C	C	G	TT	A	C	C	-	T	-	GA	AA	C	G	AT	--	A
	FN394600	C	TTA	G	T	TG-T	C	C	T	TT	A	C	C	-	T	-	GA	AA	C	G	AT	--	A

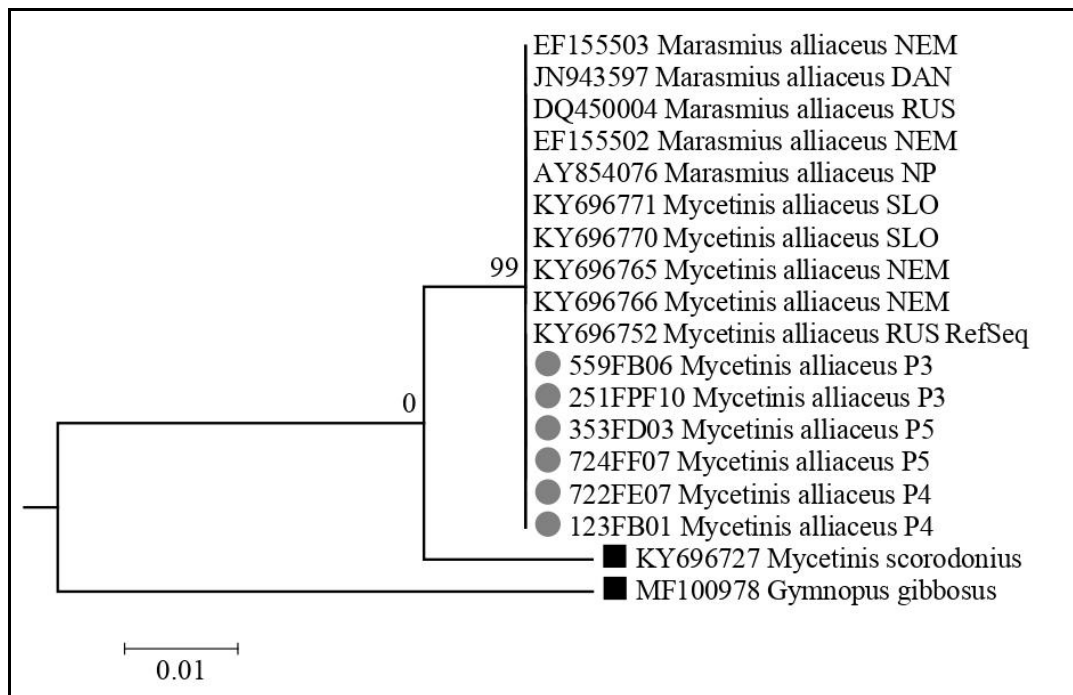
*JNP – jednonukleotidni polimorfizam (eng. „SNP – *single nucleotide polymorphism*“); **NU – nukleotid; ▪ referentna sekvenca; podvučene sekvence su rezultat ove teze; . početak/kraj sekvence; - delecija; osenčena polja – polimorfizmi;

5.3.7. *Mycetinis alliaceus*

Tokom dugog perioda u mikološkoj taksonomiji koji se oslanjao na morfološke odlike vrsta, široko je primenjivan izraz marazmoidne gljive za vrste reda Agaricales, familije Tricholomatacea, sa sledećim morfološkim karakteristikama: relativno čvrstim i otpornim basidiomima, konveksnim do koničnim pileusima, čija je površina izbrazdana strijama, sa lamelama koje su uzlazne i veoma malim delom pričvršćene za dršku ili su pričvršćene za dršku tako da formiraju prav ugao (eng. “*adnate*” i “*adnexed*”) i sa specifično tankim drškama koje podsećaju na filament (eng. “*filiform*”). Uprkos velikoj raznovrsnosti morfološko-anatomskih karaktera ovih gljiva, razlikovanje i izdvajanje pojedinih rodova u okviru marazmoidne grupe od samog početka je bilo vrlo kompleksno i unosilo česte zabune. Tokom prethodne tri decenije, istraživanja marazmoidnih gljiva zasnovana na molekularnim metodama su unele značajne izmene u filogeniju i taksonomiju grupe marazmoidnih gljiva (Moncalvo *i sar.*, 2002; Wilson i Desjardin, 2005; Mata *i sar.*, 2006; Petersen i Hughes, 2017). Između ostalog, ukazale su na to da *Marasmius* sensu Singer (1976, 1986) ne predstavlja monofiletsku grupu i omogućile su novo shvatanje odnosa unutar pojedinih rodova, kao i među različitim rodovima.

Marazmoidna vrsta *Mycetinis alliaceus* (Jacq.) Earle ex A.W. Wilson & Desjardin (Omphalotaceae, Agaricales) je do nedavno bila poznata pod nazivom *Marasmius alliaceus* (Jacq.) Fr. (Marasmiaceae, Agaricales). Na osnovu studije autora Wilson i Desjardin (2005), *Mycetinis* Earle je definisan kao novi rod u koji su prebačene sve vrste ranije tretirane kao pripadnici roda *Marasmius*, sekcije *Alliacei*. *M. alliaceus* je evropska vrsta, koja se od drugih vrsta sekcije *Alliacei*, jasno razlikuje po dimenzijama (ovo je jedna od najkrupnijih vrsta ranije svrstavanih u rod *Marasmius*).

Za filogenetsku analizu vrste *M. alliaceus*, korišćeno je 6 ITS sekvenci izolovanih iz uzoraka sa Kopaonika (P3) i Tare (P4 i P5), kao i dostupne ITS sekvence iz javnih baza (GenBank i Unite), a kao spoljašnje grupe poslužile su sekvence vrsta *Mycetinis scorodonius* (GenBank sekvenca KY696727) i *Gymnopus gibbosus* (GenBank sekvenca MF100978). U okviru filogenetskog dendrograma (Graf. 25), sve analizirane sekvence iz različitih delova Evrope (Srbija, Slovačka, Nemačka, Danska, Rusija) grupisane su na podjednako udaljenosti u odnosu na predačku granu. Dobijeno stablo, sa samo jednom, statistički vrlo dobro podržanom kladom (bootstrap vrednost 99%) ukazuje na visoko konzerviran ITS region ove vrste, sa vrlo malo varijacija. Isto je potvrđeno i na osnovu izračunatih genetičkih distanci i analize polimorfizama u okviru ITS regiona svih analiziranih sekvenci.

Grafikon 25. Filogenetsko stablo vrste *Mycetinis alliaceus*

Bootstrap vrednosti iznad 50% su prikazane na čvorovima, tj. mestima evolutivnog razdvajanja

- Oznaka za sekvence koje su rezultat ove teze; ■ Oznaka za spoljašnje grupe (eng. „Outgroup“)

Prosečne genetičke distance, izračunate posebno unutar grupe srpskih sekvenci i unutar grupe ostalih evropskih sekvenci, kao i između njih, iznose 0,000 (Tab. 28) i ukazuju na veoma malu evolutivnu divergenciju populacija unutar vrste *M.alliaceus*.

Tabela 28. Procena prosečnih genetičkih distanci u ITS sekvencama između grupa vrste *M.alliaceus*

	M.alliaceus SRB	M.alliaceus
M.alliaceus SRB	0.000	
M.alliaceus	0.000	0.000

Analizom polimorfizama u okviru poravnanja svih sekvenci iz filogenetskog stabla u dužini od 718 nukleotidnih parova (Tab. 29), utvrđeno je da je, među svim analiziranim vrstama makrogljiva u ovoj tezi, ITS region vrste *M.alliaceus* najkonzervativniji (čak 708 konzerviranih pozicija), tj. najmanje varijabilan (zabeleženo samo 13 varijabilnih pozicija). Od ukupno 16 sekvenci, više od polovine (7), među kojima su sve srpske sekvence, dve slovačke (KY696770 i KY696771) i dve nemačke (KY696765 i KY696766), je bilo potpuno identično. Većina zabeleženih polimorfizama je bilo jedinstveno za određenu sekvencu (Tab. 29), osim dve supstitucije na pozicijama 124 i 132, koje su zajedničke za nemačku sekvencu

EF155502 i dansku sekvencu JN943597, kao i jedne supstitucije na poziciji 587 zajedničke za dve ruske sekvence (KY696752 i DQ450004).

Na osnovu svega iznetog, može se zaključiti da je ITS region vrste *M.alliaceus* pogodan za potvrdu morfološke identifikacije i analize filogenetskih odnosa na višem nivou (u okviru roda / familije / reda / klase), ali ne i za populacione analize.

Tabela 29. Varijabilne nukleotidne pozicije iz poravnanja sekvenci ITS1-5.8S-ITS2 regiona za vrstu *M.alliaceus* u odnosu na *M.alliaceus* RefSeq ▪

GenBank / Unite pristupni broj	Geo. poreklo	Pozicije JNP*-a u odnosu na referentnu sekvencu												Pozicije heterozigota (uočeni NU u odnosu na referentni NU)												
		1	3	3	3	2	3	3	8	8	4	5	6	6	6	6	1	5	777	8	7	1	1	12	3	7
		7	5	7	9	4	2	1	4	7	3	0	2	0	7	6	123	9	2	8	6	96	0	7		
KY696752 ▪	RUS	T	C	-	T	G	G	T	A	T	T	-	T	-												
<u>722FE07</u>	SRB	Y	C	-	T	G	G	T	A	Y	T	-	T	-	Y										R	R
<u>123FB01</u>	SRB	T	C	-	T	G	G	T	A	C	T	-	T	-												
<u>724FF07</u>	SRB	T	C	-	T	G	G	T	A	C	T	-	T	-												
<u>353FD03</u>	SRB	T	C	-	T	G	G	T	A	Y	T	-	T	-											R	R
<u>251FPF10</u>	SRB	T	C	-	T	G	G	.	.	.	.	.	.	.	R	WYY	W	R	K	K					R	R
<u>559FB06</u>	SRB	T	C	-	T	G	G	T	A	C	T	-	T	-												
KY696766	NEM	T	C	-	T	R	R	T	A	C	T	-	T	-												
KY696765	NEM	T	C	-	T	R	R	T	A	C	T	-	T	-												
KY696770	SLO	T	C	-	T	G	G	T	A	C	T	-	T	-												
KY696771	SLO	T	C	-	T	G	G	T	A	C	T	-	T	-												
AY854076	/	T	C	-	T	G	G	T	A	C	T	-	G	-												
EF155502	NEM	T	C	-	T	A	A	T	A	C	.	.	.	.								
DQ450004	RUS	T	C	-	T	G	G	T	A	T	T	C	T	C												
EF155503	NEM	C	T	T	G	G	C	A	C	G	.	.	.	.	R									YY		
JN943597	DAN	.	.	.	.	A	A	T	T	C	T	-	T	-												

*JNP – jednonukleotidni polimorfizam (eng. „SNP – *single nucleotide polymorphism*“); **NU – nukleotid; ▪ referentna sekvenca; podvučene sekvence su rezultat ove teze; . početak/kraj sekvence; - delecija; osenčena polja – polimorfizmi polimorfizmi (ružičasto osenčeni – jedinstveni za datu grupu ili određenu sekvencu); IUPAC kod specifikacija za DNK sekvencu: (Y): C ili T; (R): A ili G; (W): A ili T; (K): G ili T; (S): G ili C; (M): A ili C

S obzirom da intraspecijska varijabilnost i analizirani polimorfizmi ITS regiona nisu za sve analizirane taksone dali dovoljno informacija o razlikama među uzorcima iste vrste sa različitim lokaliteta, predlažu se dalja istraživanja koja bi uključila analizu i drugih informativnih regiona DNK (TEF1, RPB1, RPB2, LSU, EF), kao i uključivanje drugih molekularnih metoda (RFLP, RAPD, AFLP, ISSR)

5.4. Sadržaj metala i radionuklida u zemljištu

Zemljišta predstavljaju glavne depoe teških metala i radionuklida ispuštenih u životnu sredinu antropogenim aktivnostima i za razliku od organskih zagađivača koji se pod uticajem mikroorganizama oksiduju do CO₂, većina metala ne podleže mikrobnj ili hemijskoj degradaciji pa se njihova ukupna koncentracija u zemljištu zadržava dugo nakon njihovog uvođenja u sistem (Wuana i Okieimen, 2011). Zbog toga je izuzetno važno kontrolisati mineralni sadržaj i sadržaj radionuklida u zemljištima, posebno onim koja imaju značaj za čoveka, od samog boravka na određenom području (stambenog i rekreativnog), preko korišćenja divlje flore i fungije, do upotrebe zemljišta za poljoprivredu ili stočarstvo.

Sadržaj metala i radionuklida u uzorcima zemljišta sa istraživanih šumskih staništa, njihove maksimalne dozvoljene vrednosti, kao i deskriptivna statistika podataka, dati su u Tab. 30. Pored toga, predstavljeni su i tipovi podloge i zemljišta za svako analizirano šumsko stanište.

Tabela 30. Sadržaj metala i radionuklida u zemljištu

Plotovi	Tip podloge i zemljišta	Mikroelementi							Makroelementi		Radionuklidi				
		Ni	Cd	Pb	Cu	Mn	Fe	Zn	K	Mg	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	H _{ex} *
P1	krečnjak, smeđe zemljište	41,44	2,48	106,34	25,93	634,51	28644,95	84,81	4650,24	4911,24	429	68,9	32,5	31,9	0,3
P2	krečnjak, smeđe zemljište	47,06	2,49	98,87	24,07	1152,72	33033,18	74,82	3709,21	5852,18	492	10	27	31,5	0,3
P3	metamorfne stene **, kiselo smeđe zemljište	43,78	3,28	210,07	158,55	905,71	23156,74	85,2	1895,84	7807,19	367	139,5	28,9	27,6	0,26
P4	organogeni krečnjak, pseudogлина	60,03	3,54	152,42	160,1	1853,81	24258,65	57,36	2594,87	1927,81	143	221	23,1	19,2	0,17
P5	organogeni krečnjak, pseudogлина	42,02	3,18	168,85	169,67	458,86	16390,67	53,02	1722,54	3765,15	237	189	13,7	22	0,17
Maksimalna dozvoljena koncentracija (mg/kg) ***		50	3	100	100	-	-	300	-	-	400		30	35	1
Deskriptivna statistika		Ni	Cd	Pb	Cu	Mn	Fe	Zn	K	Mg	⁴⁰K	¹³⁷Cs	²²⁶Ra	²³²Th	
Minimum (min)		41,44	2,48	98,87	24,07	458,86	16390,67	53,02	1722,54	1927,81	143,00	10,00	13,70	19,20	
Maksimum (max)		60,03	3,54	210,07	169,67	1853,81	33033,18	85,20	4650,24	7807,19	492,00	221,00	32,50	31,90	
Medijana (M)		43,78	3,18	152,42	158,55	905,71	24258,65	74,82	2594,87	4911,24	367,00	139,50	27,00	27,60	
Srednja vrednost (sv)		46,87	2,99	147,31	107,664	1001,12	25096,84	71,04	2914,54	4852,71	333,60	125,68	25,04	26,44	
Standardna devijacija (sd)		7,68	0,48	45,97	75,56	544,89	6241,77	15,13	1245,49	2206,19	142,27	86,45	7,19	5,68	

*H_{ex} - eksterni hazard indeks ($C_{Ra}/370 + C_{Th}/259 + C_K/4810$)

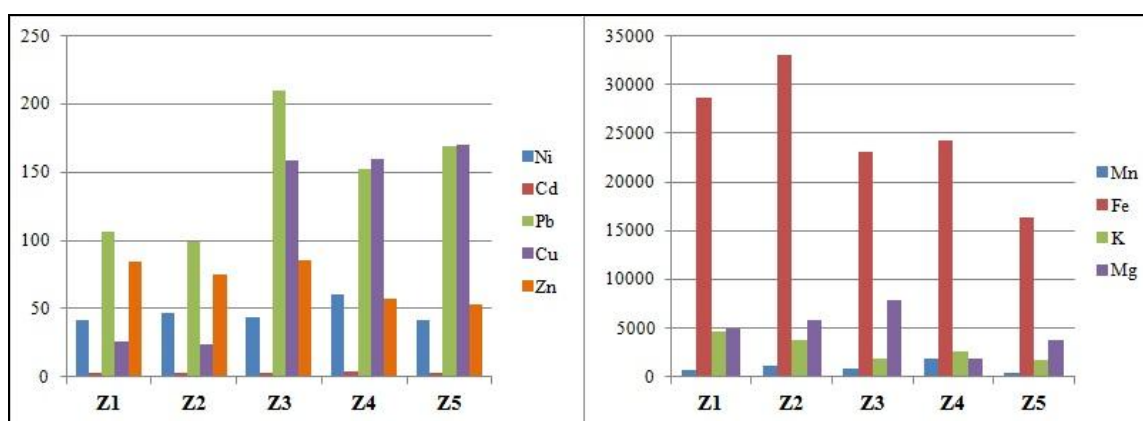
** Kombinacija peščara, lapora i krečnjaka u degradaciji

*** Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi ("Sl. glasnik RS", br. 23/94)

5.4.1. Sadržaj metala u zemljištu

Alkalni metal **kalijum** i zemno-alkalni **magnezijum** pripadaju grupi osnovnih nutrijenata u zemljištu (pored N, P i Ca) potiču od primarnih stena i sekundarnih minerala. U uzorcima zemljišta sa istraživanih plotova, zastupljeni su u sledećem opsegu: 1722,54 - 4650,24 mg/kg (K), 1927,81 - 7807,19 mg/kg (Mg). Sadržaj kalijuma u zemljištu uobičajeno varira u širokom rasponu od 100 do 40 000 mg/kg, sa srednjom vrednošću između 10 000 i 20 000 mg/kg (Wild, 1988). Ukoliko se uzme u obzir prosečni sadržaj K u zemljištima analiziranih šumskih staništa (2914,54 mg/kg), ona spadaju u slabije snabdevene K. Sadržaj Mg u različitim zemljištima takođe varira u širokom opsegu: 2 000 – 12 600 mg/kg, pri čemu se srednje vrednosti kreću između 3 500 i 4 800 mg/kg (Jakovljević *i sar.*, 2003). Srednje vrednosti Mg analiziranih zemljišta (4852,71 mg/kg) odgovaraju navedenom globalnom proseku.

Odnos K/Mg u zemljištima se najčešće kreće do 1:1, pri čemu u kiselim zemljištima raste i može da prevaziđe odnos 2:1 (Jakovljević *i sar.*, 2003). Nasuprot tome, u slučaju analiziranih šumskih staništa, sadržaj K je manji od sadržaja Mg, pa ova dva makroelementa pokazuju sledeće odnose: 1:1,05 (P1), 1:1,6 (P2), 1:4 (P3), 1:2,2 (P5). Ovakvi rezultati mogu ukazati na to da se radi o zemljištima sa velikom sposobnošću fiksacije K (od strane biljaka i mikroorganizama). Pored toga suvišak Mg u zemljištu može da dovede do smanjenja sadržaja K (Kastori, 1998). Jedini uzorak u kojem je sadržaj K (2594,87 mg/kg) veći od Mg je zemljište sa P4 (1927,81 mg/kg), što se može objasniti antagonističkim odnosom ova dva makroelementa, s obzirom na to da je upravo u ovom uzorku zabeležena najmanja količina Mg (Graf. 26).



Grafikon 26. Sadržaj metala u zemljištu (mg/kg s.m.)

Najveći sadržaj K imaju eksperimentalne površine na Vidliču, dok je sadržaj ovog makroelementa u uzorcima sa Tare i Kopaonika bio 1,5 do 2 puta manji (Graf. 26). Sadržaj magnezijuma opadao je na istraživanim plotovima sledećim redosledom: $P3 > P2 > P1 > P5 > P4$. Najveći sadržaj Mg u zemljištu sa P3 na Kopaoniku pripisuje se tipu podloge. Zemljišta nastala na metamorfnim stenama (serpentinima) često sadrže velike količine Mg (Kastori, 1998). Najmanji sadržaj Mg na plotovima sa Tare može se pripisati klimatskim faktorima. Lokalitet Mitrovac se pokazao kao najvlažnije stanište (najveće vrednosti padavina, vlažnosti zemljišta i vazduha), a sadržaj Mg je u zemljištima vlažnih područja uglavnom vrlo nizak zbog njegovog velikog spiranja (Shreeja, 2019).

Poreklo teških metala u zemljištu može biti prirodno tj. geohemijsko (od primarnih i sekundarnih stena i minerala) ili antropogeno (industrijski izvori, saobraćaj – izduvni gasovi, boje, veštačka đubriva, pesticidi, kanalizacioni mulj, otpad itd.). Prema propisanim granicama u Pravilniku o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi ("Sl. glasnik RS", br. 23/94), uzorci zemljišta sadrže bezbedne količine Mn, Fe i Zn (Tab. 30); dok sadržaj sledećih potencijalno toksičnih metala prevazilazi dozvoljene doze: Ni (na plotu P4: 60,03 mg/kg), Cd (P3: 3,28 mg/kg; P4: 3,54 mg/kg; P5: mg/kg), Pb (P1: 106,34; P3: 210,07; P4: 152,42; P5: 168,86), Cu (P3: 158,55; P4: 160,1; P5: 169,67). Prema pomenutom pravilniku, u opasne materije ubrajaju se: Cd, Pb, Hg, As, Cr, Ni i F, dok se kao štetne materije navode: Cu, Zn i B. Fe i Mn nisu prepoznati kao faktori rizika.

Među svim ispitivanim metalima, uključujući i makroelemente, sadržaj **gvožđa** u zemljištima je bio značajno veći: 25 x (Mn) do 8000 x (Cd) u odnosu na mikroelemente i 5 (Mg) – 8,6 x (K) veći u odnosu na makroelemente (Graf. 26). Prosečni sadržaj Fe u zemljištima na svetskom nivou iznosi 66 000 mg/kg (Stamenković, 2017). Najmanji sadržaj Fe na P5 pripisuje se potoku koji protiče kroz užu lokalitet Crveni potok i vodonepropusnoj podlozi, koji utiču na ispiranje i gubitak Fe (Grieve, 1985). Gvožđe i **mangan** spadaju u najzastupljenije elemente u Zemljinoj kori pa njihove koncentracije prevazilaze sadržaj ostalih mikroelemenata (Stamenković, 2017), što je u skladu sa rezultatima ove teze. Sa opsegom od 458,86 do 1853,81 mg/kg, Mn je najzastupljeniji teski metal u uzorcima zemljišta, posle gvožđa. Maksimalne bezbedne vrednosti Fe i Mn nisu odedene domaćom ili bilo kojom svetskom legislativom.

Teški metali Ni, Cd, Pb i Cu prepoznati su kao „urbani metali“ čiji je sadržaj najčešće visok u urbanim i industrijskim područjima (Ajmone-Marsan *i sar.*, 2008). S obzirom na to, zabrinjavajuć je povišen sadržaj ovih elemenata u analiziranom zemljištu šumskih staništa i ukazuje na uobičajeni izvor emisije – saobraćaj. Eksperimentalne površine na Vidliču i Tari

se nalaze uz relativno prominentne puteve, koje koriste žitelji obližnjih mesta, šumarska služba zaštićenih područja, a u neposrednoj blizini svih plotova odvijaju se aktivnosti u vidu seče stabala u kojima učestvuju i teža motorna vozila. Olovo, kadmijum, bakarm cink i nikal se javljaju u gorivima, lubrikantima, uljima i motorima vozila, a ranija istraživanja pokazala su da je saobraćaj glavni izvor zagađenja ovim metalima (Frey i Corn, 1967; Chen *i sar.*, 2010; Guney *i sar.*, 2010; Ljung *i sar.*, 2006;).

Najveći deo kontaminacije ispitivanih zemljišta uzrokovan je **olovom** (Graf. 26). Tipične koncentracije Pb u zemljištima na svetskom nivou kreću se u opsegu 10 – 67 mg/kg, sa sv = 32 mg/kg (ref). Sadržaji u analiziranim uzorcima su 4,5 puta iznad svetskog proseka i čak prevazilaze vrednosti utvrđene u pojedinim urbanim i industrijskim područjima (Nadal *i sar.*, 2004; Madrid *i sar.*, 2007; Pena-Fernandez *i sar.*, 2014). Sadržaj olova u uzorcima zemljišta sa Vidliča (P1: 106,34 mg/kg; P2: 98,87 mg/kg) kreće se oko dozvoljene granice po srpskoj legislativi (100 mg/kg), dok su vrednosti u zemljištima sa Kopaonika i Tare 1,6 do 2 puta veće od dozvoljenog maksimuma. Najveće zabeležene doze Pb na Tari su očekivane, s obziroma na to da lokalitet Mitrovac predstavlja jedno od najposećenijih izletišta na Tari i sedište Nacionalnog Parka sa svim njihovih aktivnostima. Nivo Pb u zemljištima je od posebnog značaja s obzirom na to da ovaj metal ima vrlo štetne uticaje na zdravlje a relativno je rasprostranjen u životnoj sredini usled njegove dugotrajne upotrebe u mnogim komercijalnim proizvodima, od benzina do običnih boja. Osim toga Pb je ekstremno dugotrajno u životnoj sredini i ne razgrađuje se. Glavni izvori trovanja olovom su inhalacija i ingestija a najugroženija su deca. Zabeleženi sadržaji olova na Tari su posebno opasni zbog velikog broja turista, među kojima je značajan broj dece (na Mitrovcu se nalazi veliko dečije odmaralište), koji mogu biti izloženi ovom teškom metalu, korišćenjem biljaka i gljiva sa ovog područja, kao i direktnim kontaktom sa zemljom. Zanimljivo je da je geohemijskim istraživanjem dubokih slojeva treseta sprovedenim upravo na Crvenom potoku (širi deo eksperimentalne površine P5) na Mitrovcu, utvrđeno da područje Balkana, sa svojom izuzetno dugom istorijom metalurgije predstavlja najranije izvore (počevši od 3600 god. pre nove ere!) antropogenog zagađenja Pb u Evropi. Poređenjem sa drugim podacima o zagađenjima Pb širom Evrope tokom srednjovekovnog perioda, pomenutom studijom utvrđeno je da količine olova nagomilane na području Srbije uglavnom prevazilaze one u evropskim rudarskim regionima, što ukazuje na vodeću ulogu Balkana u iskorišćavanju mineralnih izvora u Evropi tokom poslednjih 5600 godina (Longman *i sar.*, 2018). Rezultati ove doktorske teze u skladu su sa pomenutim rezultatima.

Nakon olova, po uticaju na zagađenje istraživanih područja, ističe se Cu. **Bakar** je esencijalni mikronutrijent za žive organizme ali je i jedan od 3 najčešće korišćena metala širom sveta, a njegovo prisustvo u visokim dozama dovodi do zdravstvenih problema (Wuana i Okieimen, 2011). Visok sadržaj bakra, 1,5 x veći od maksimalnog nivoa predviđenog srpskom legislativom (100 mg/kg) detektovan je u zemljištima sa Kopaonika (P3: 158,55 mg/kg) i Tare (P4: 160,1 mg/kg, P5: 169,67 mg/kg). Kao i u slučaju Pb, sadržaj Cu na pomenutim lokalitetima prevazilazi svetski prosek za nezagađena zemljišta (2-50 mg/kg (Alagić i Randelović, 2015)), kao i vrednosti zabeležene u pojedinim urbanim sredinama (Rovira *i sar.*, 2010; Aelion *i sar.*, 2009; Gong et al., 2010). U zemljištu, Cu učestvuje u izgradnji organskih kompleksa, pa je samo njegov mali deo prisutan u zemljišnim rastvorima u jonskom obliku. Geološki podloga je najvažniji prirodni izvor bakra, a primećeno je da zemljišta bogata glinom i organskom materijom imaju veći prirodni sadržaj Cu (20 – 200 mg/kg (Alagić i Randelović, 2015)), što može biti jedan od uzroka povišenog sadržaja u zemljištima sa Kopaonika (glina u sklopu lapora) i Tare (pseudoglina i organogeni krečnjak).

Kadmijum je, uz živu i olovo, jedan od najtoksičnih teških metala i metal koji nema esencijalne biološke funkcije (Wuana i Okieimen, 2011). Toksičnosti Cd doprinosi činjenica da Cd pripada istoj grupi elemenata kao esencijalni mikronutrijent Zn, sa kojim je hemijski sličan, usled čega može doći do njihove substitucije u ćelijama i poremećaja metaboličkih procesa. Pored prirodnog, geohemijskog izvora, povećan sadržaj Cd u zemljištu može biti uzrokovan taloženje vazdušnog zagađenja, upotrebom veštačkog đubriva i biljnim ostacima. Ukoliko se uzme u obzir prosek Cd za nezagađena zemljišta u Evropi (0,145 mg/kg), svi analizirani uzorci prevazilaze datu vrednost (opseg 2,48 – 3,54 mg/kg). Međutim, u odnosu na srpsku legislativu, samo su nivoi Cd na Kopaoniku (P3: 3,28 mg/kg) i Tari (P4: 3,54; P5: 3,18) iznad maksimalne propisane bezbedne količine (3 mg/kg). Zabeležene povišene vrednosti Cd su u skladu sa vrednostima dobijenim za urbana i industrijska područja (Tsikritzis *i sar.*, 2002; Keegan *i sar.*, 2006; Marjanović *i sar.*, 2009; Čujić, 2016). Povećan organski sadržaj doprinosi adsorpciji kadmijuma u površinskim slojevima zemljišta (Stamenković, 2017), što može biti jedan od uzroka povećanog sadržaja Cd na Tari, pored antropogenih izvora u vidu izduvnih gasova.

Nikal je u zemljištu prisutan u organskom i neorganskom obliku, sa prosečnom koncentracijom do 40 mg/kg, u zavisnosti od tipa zemljišta (Stanković *i sar.*, 2011). Sadržaj Ni u zemljištu istraživanih šumskih staništa varira u opsegu od 41,44 do 60,03 mg/kg. S obzirom da je dozvoljeni nivo ovog metala u zemljištu 50 mg/kg („Sl. glasnik RS“, br.

23/94), eksperimentalna površina P4 na Tari predstavlja jedino stanište zagađeno povećanim koncentracijama Ni (60,03 mg/kg). Na ostalim lokalitetima sadržaji ovog teškog metala su blizu maksimalne dozvoljene koncentracije (41,44 – 47,06 mg/kg), što ukazuje da je opterećenje Ni uzrokovano povećanim antropogenim uticajem. S obzirom na to da su glavni antropogeni izvori emisije Ni u atmosferu sagorevanje fosilnih goriva i saobraćaj (Frey i Corn, 1967; Stanković, 2008), može se zaključiti da je prisutno opterećenje niklom najvećim delom uzrokovano izduvnim gasovima vozila, a na P4 i zimskim loženjem u brojnim turističkim objektima koji posluju na Mitrovcu. Osim toga, u najznačajnije izvore Ni ubrajaju se rudnici, železare, šumski požari i spaljivanje otpada (Stanković, 2011).

5.4.2. Sadržaj radionuklida

Radioaktivnost zemljišta, kojoj na prvom mestu doprinose ^{40}K i radionuklidi iz ^{238}U i ^{232}Th niza, može da varira lokalno i globalno u zavisnosti od geoloških i geografskih karakteristika istraživanog područja, kao i od primene fosfatnih đubriva (Kubica *i sar.*, 2014). Opseg prirodnih radionuklida detektovanih u zemljištu analiziranih šumskih staništa (Tab. 30) odgovara tipičnim rasponima na svetskom nivou, koji iznose: 140 - 850 Bq/kg (^{40}K), 17 - 60 Bq/kg (^{226}Ra), 11–64 Bq/kg (^{232}Th) (UNSCEAR; 2000). Pored toga, zabeleženi rasponi aktivnosti odgovaraju uobičajenim koncentracijama prirodnog porekla za zemljišta na teritoriji Republike Srbije (Tab. 31) (Bikit *i sar.*, 1990, Adrović *i sar.*, 2008; Mihaljev *i sar.*, 2015).

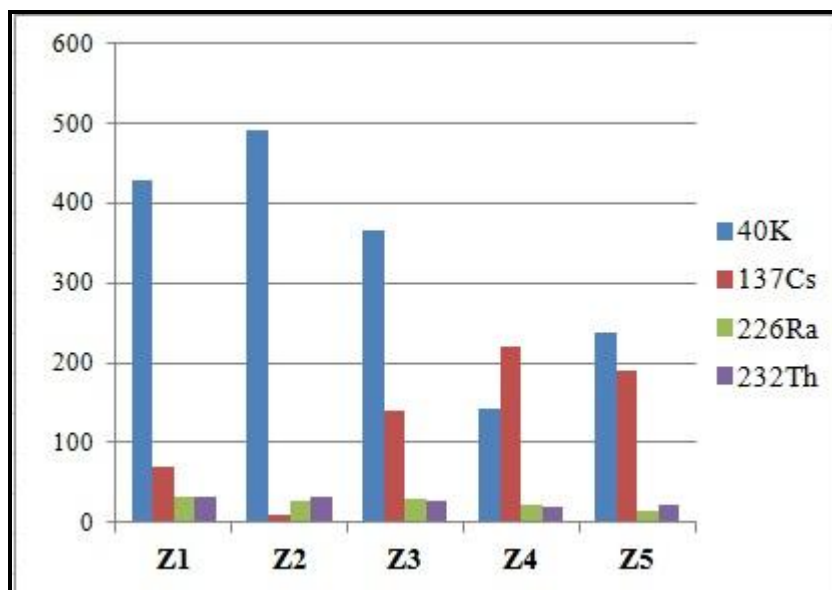
Većina dobijenih rezultata (Tab. 30) je ispod dozvoljenih granica za koncentracije prirodnih radionuklida u zemljištu, na globalnom nivou (400, 30 i 35 Bq/kg, redom za ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th ; UNSCEAR; 2000). Izuzetak su vrednosti ^{40}K na plotovima sa Vidliča (P1: 429 Bq/kg, P2: 492 Bq/kg) i skoro zanemarljivo povišena koncentracija aktivnosti ^{226}Ra na P1 (32,5 Bq/kg). Prema internacionalnoj organizaciji “United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation” (UNSCEAR), vrednosti preko dozvoljenih granica predstavljaju opasnost po živi svet. U Srbiji ne postoji legislativa koja se odnosi na dozvoljene količine radionuklida u zemljištu.

Tabela 31. Pregled literaturnih podataka za radioaktivnost zemljišta u Republici Srbiji

Područje istraživanja	Raspon aktivnosti koncentracije radionuklida (Bq/kg)				Referenca
	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs	
Vojvodina	238 - 720	19,7 – 51	22 – 64	5,7 – 55	Bikit <i>i sar.</i> , 2005
	344,3 – 741,4	-	-	-	Mihaljev <i>i sar.</i> , 2015
Fruška Gora	0,3 - 730	21 - 138		9,1 - 188	Karaman, 2002
Okolina Obrenovca	280 - 750	25 - 60	15 - 610	1 - 94	Ćujić, 2016
Tara	348 - 441	-	25 - 43	-	Đurić <i>i sar.</i> , 1996
Kopaonik	269 - 1291	29 - 174	32 - 151	4,2 - 142	Mitrović <i>i sar.</i> , 2016
Južna Srbija	184 - 979	16 - 102	21 - 90	2,9 – 19	Sarap <i>i sar.</i> , 2013
Kosovo i Metohija	83 - 648	19 - 55	11 - 95	1 – 176	Adrovic <i>i sar.</i> , 2008
Širom Srbije	<17 - 1460	9 - 119	7,3 - 154	1,7 – 99	Esposito, 2002
Stara Planina	410 - 543	25 - 51	29 - 69	3,1 - 23	Vranješ <i>i sar.</i> , 2016
Maljen	69,6 – 449,9		7,5 – 56,7	18,8 – 259,2	Mitrović <i>i sar.</i> , 2009
Tara	71,5 - 395		8,3 – 48,9	91,2 – 104,1	

Prisustvo veštačkog radionuklida ¹³⁷Cs u životnoj sredini potiče od upotrebe nuklearne energije (tesiranja nuklearnih oružja, nezgode u nuklearnim postrojenjima, industrijska upotreba radioaktivnih komponenata). Detektovani veštački radiocezijum, čije prosečno vreme poluraspada iznosi 30 godina, potiče od nuklearne nesreće u Černobilu (Ukrajina) 1986. godine. Utvrđeni nivoi ¹³⁷Cs (10 - 221 Bq/kg) ukazuju na to da je aktivnost ovog veštačkog izotopa u zemljištu nakon 25 god. od nesreće i dalje relativno visoka. Opseg koncentracija radiocezijuma po istraživanjima ove teze prevazilazi vrednosti zabeležene u dosadašnjim literaturnim podacima za različita područja Republike Srbije (Tab. 31).

Na Grafikonu 27 se jasno uočavaju razlike u radioaktivnosti ispitivanih zemljišta. Posebno je izražena obrnuto proporcionalna veza između ⁴⁰K i ¹³⁷Cs – koncentracija aktivnosti radioaktivnog kalijuma opada sa porastom aktivnosti ¹³⁷Cs. Test korelacije pokazuje statistički značajnu negativnu korelaciju ova dva radioizotopa (-0,967 za nivoe značajnosti p<0,1 i p<0,05). Ovakva kompeticija između ⁴⁰K i ¹³⁷Cs u planinskim zemljištima, potvrđena je i u drugim istraživanjima (Skiba *i sar.*, 1998, 2005, Kubica *i sar.*, 2010, 2014). Ova dva izotopa pripadaju istoj grupi alkalnih metala i imaju slična hemijska svojstva, što utiče na njihovo kompetitivno ponašanje u zemljištu.



Grafikon 27. Sadržaj radionuklida u zemljištu (Bq/kg)

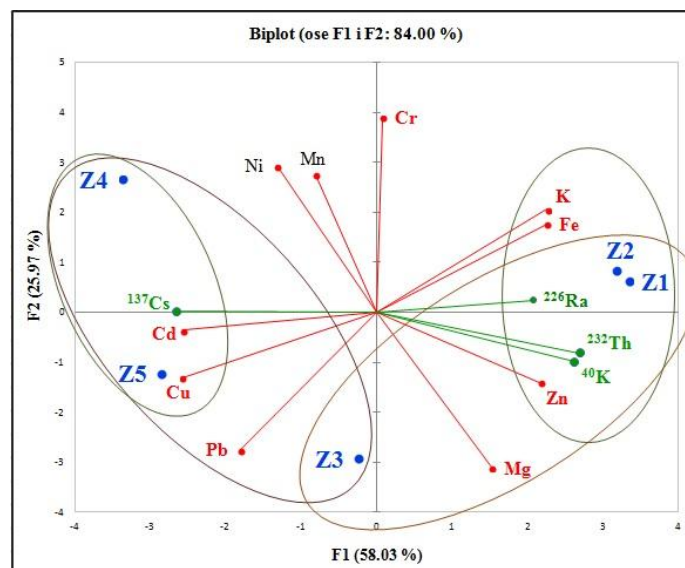
Staništa na Vidliču (P1 i P2) pokazala su najveće koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida i najmanje veštačkog ¹³⁷Cs (Tab. 30). Nasuprot tome, plotovi na Tari (P4 i P5) izdvojili su se najnižim koncentracijama aktivnosti prirodnih radionuklida i najvišim aktivnostima radiocezijuma (Tab. 30). Najveća detektovana koncentracija ¹³⁷Cs u uzorcima sa Tare, može se pripisati tipu zemljišta (pseudoglina), s obzirom na to da se radiocezijum uspešno vezuje za čestice gline u zemljištu (Changizi *i sar.*, 2012). Plot 3 na Kopaoniku imao je najveću ukupnu radioaktivnost - srednje visoke vrednosti prirodnih radionuklida (⁴⁰K: 367 Bq/kg, ²²⁶Ra: 28,9 Bq/kg, ²³²Th: 27,6 Bq/kg) i veštačkog ¹³⁷Cs (139,5 Bq/kg). Sadržaj ¹³⁷Cs u zemljištu sa Kopaonika (P3 – 139,5 Bq/kg), skoro je identičan najvećoj detektovanoj koncentraciji (142 Bq/kg – Jošanička banja) u istraživanju radioaktivnosti Kopaonika (Mitrović *i sar.*, 2016) i znatno je veća u odnosu na lokalitet Brzeće (32 Bq/kg) koji je, među 7 različitih lokaliteta ispitivanih u pomenutoj studiji, najbliži lokalitetu Metode (P3). Ovi podaci idu u prilog variranju aktivnosti radionuklida u zavisnosti od geološke podloge i tipa zemljišta. Velika razlika između nivoa zabeleženog ¹³⁷Cs na Vidliču (10 - 68,9 Bq/kg) i aktivnostima detektovanim u zemljištima sa Tare i Kopaonika (139,5 - 221 Bq/kg), najverovatnije su uzrokovane razlikama u kretanju radioaktivnog černobilskog oblaka preko Srbije. Na povišene aktivnosti radiocezijuma na Tari i Kopaoniku mogli su uticati i meteorološki uslovi u danima nakon nesreće (padavine utiču na povećanu depoziciju zagađujućih materija iz vazduha) (UNSCEAR, 1988).

U cilju utvrđivanja potencijalnog rizika od eksternog izlaganja ljudi gama zracima, za svaku eksperimentalnu površinu je određena vrednost eksternog hazard indeksa (H_{ex}) (Tab.

30), koja se računa na osnovu detektovanih koncentracija aktivnosti za ^{40}K , ^{226}Ra i ^{232}Th . Vrednosti $H_{\text{ex}} \leq 1$ ukazuju da ne postoji rizik od prekomerne izloženosti prirodnom zračenju. Ukoliko je prosečna veličina H_{ex} veća od 0,3, zdravstveni rizik izloženosti prirodnim izvorima zračenja se povećava za 30% (Changizi *i sar.*, 2012). S obzirom na to da je za plotove na Vidliču $H_{\text{ex}} = 0,3$ (Tab. 30), područje Vzganice bi trebalo ubuduće pratiti sa aspekta prirodnog zračenja i njegovog potencijalnog povećanja.

5.4.3. Uporedna analiza šumskih staništa na osnovu sadržaja metala i radionuklida u zemljištu

U cilju uporedne analize šumskih staništa na osnovu sadržaja metala i radionuklida u zemljištu, izvršena je multivarijantna statistička analiza osnovnih komponenata - PCA (Graf. 28).



Grafikon 28. PCA analiza zemljišta na osnovu sadržaja metala i radionuklida

Na dobijenom dijagramu, horizontalna - F1 i vertikalna - F2 osa nose 84% ukupne varijabilnosti analiziranih podataka. Jače rzdvajanje eksperimentalnih površina (58,03%) dobijeno je u ravni F1 ose, na osnovu sadržaja dve grupe elemenata koji međusobno negativno koreliraju: Ia grupa - K, Fe, Zn, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K (čije se visoke vrednosti očitavaju na pozitivnom delu Fi ose, a niske na njenom negativnom delu), Iia grupa - Cd, Cu, ^{137}Cs (čije se visoke vrednosti očitavaju na negativnom delu Fi ose, a niske vrednosti na njenom + delu). Rzdvajanju duž F2 ose (25,97%) doprineli su Pb i Mg koji su bili dobro

povezani i sa Fi osom (na osnovu vrednosti kvadrata kosinusa: Pb - 0,448 (F2) i 0,430 (F1); Mg - 0,570 (F2) i 0,306 (F1)). Kvadrati kosinusa ispitivanih varijabli ukazuju na to u kojoj je meri varijabla povezana sa određenom osom na dijagramu: što je kvadrat kosinusa date varijable bliži jedinici, to je veći njen uticaj na preraspodelu analiziranih plotova duž odgovarajuće ose. S obzirom da su olovo i magnezijum jedini elementi povezani sa obe ose, njihove vrednosti se ne očitavaju duž osa već duž njihovih dijagonala, tj. samih vektora datih varijabli. Jedino Ni i Mn nisu imali uticaj na grupisanje plotova duž posmatranih osa (usled niskih vrednosti kvadrata kosinusa – 0,232 i 0,086).

Na PCA dijagramu izdvojeno je nekoliko različitih grupa eksperimentalnih površina i analiziranih elemenata. Na desnoj strani dijagrama izdvojila su se staništa na Vidliču (P1 i P2) sa visokim vrednostima prirodnih radionuklida i esencijalnih metala K, Fe i Zn, koji međusobno pozitivno koreliraju (što su linije pojedinih varijabli međusobno bliže, tj. ugao između njih manji, to je veća njihova pozitivna korelacija). Na osnovu sadržaja makroelementa Mg, sa plotovima na Vidliču grupisao se P3 sa Kopaonika koji je bio najbogatiji ovim metalom (1,3 – 4 x veći sadržaj Mg u odnosu na ostale plotove). Na levoj strani dijagrama su se grupisala staništa na Tari (P4 i P5) i Kopaoniku (P3), koja se odlikuju visokim vrednostima veštačkog radionuklida ^{137}Cs i teških metala Cd, Cu i Pb.

Na osnovu uporedne analize podataka o sadržaju metala i radionuklida u zemljištu, plotovi na Vidliču izdvajaju se kao nezagađena šumska staništa, sa niskim koncentracijama veštačkog radionuklida ^{137}Cs i potencijalno toksičnih metala (Cd, Pb, Cu, Ni, Zn) čije su koncentracije (Tab. 30) ispod dozvoljenih limita za zemljište (Cd - 3 mg/kg; Pb – 100 mg/kg; Cu - 100 mg/kg; Ni - 50 mg/kg). Nasuprot lokalitetu Vzganica (Vidlič), lokalitet Mitrovac na Tari predstavlja područje zagađeno radiocezijumom i metalima Cd, Pb i Cu (prisutni u toksičnim količinama). Među istraživanim područjima, najlošiji rezultati na nivou zemljišta su dobijeni za lokalitet Metode na Kopaoniku, koji se osim po visokom sadržaju radiocezijuma i toksičnim vrednostima Cd, Pb i Cu, odlikuje i visokim vrednostima Zn i prirodnih radionuklida (mada su one ispod dozvoljenih limita za zemljište).

5.5. Ispitivanje sadržaja radionuklida u makrogljivama

U Srbiji je objavljeno nekoliko studija o radioaktivnosti živog sveta (Mitrović *i sar.*, 2008; Grdović *i sar.* 2010; Dragović *i sar.*, 2004, 2010a,b; Krmar *i sar.*, 2013; Todorović *i sar.*, 2013), pri čemu su samo dva radioekološka istraživanja makrogljiva sprovedena na Fruškoj Gori (Karaman, 2002) i Tari (Rakić *i sar.*, 2014).

U Prilogu 8.2. je prikazan sadržaj radionuklida, tj. njihove specifične aktivnosti (Bq/kg) određene kako u plodnim telima makrogljiva (ukupno 40 uzoraka), tako i u njihovim odgovarajućim supstratima (zemljište/drvo). Vrednosti grešaka, dodeljene svakoj očitanoj vrednosti radioaktivnosti, predstavljaju kombinovane nesigurnosti izmerenih koncentracija aktivnosti, izražene na nivou pouzdanosti od 95%, koje su izvedene iz nesigurnosti intenziteta mrežne linije i efikasnosti detekcije za specifičnu energiju mernog instrumenta. Različite granične vrednosti detekcije (prikazane u Tab. 30) koje su dobijene za jedan isti radionuklid i slična vremena merenja, uglavnom su uzrokovane širokim rasponom masa uzoraka (1 - 166 g) kao i upotrebom različitih HPGe detektora sa različitim efikasnostima detekcije (tj. ograničenjima detekcije) pri istoj energiji.

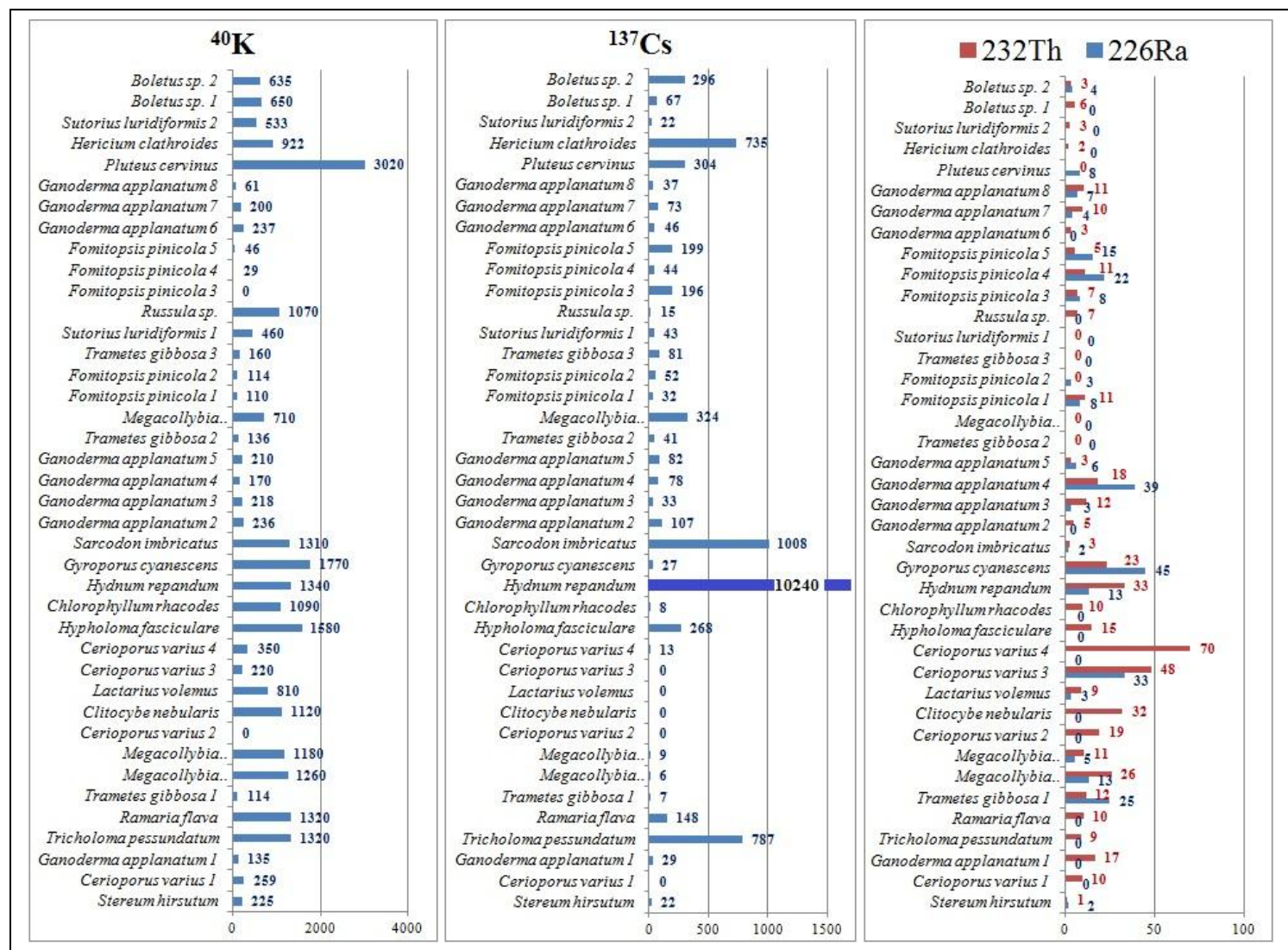
5.5.1. Analiza sadržaja radionuklida i sposobnost akumulacije različitih vrsta makrogljiva

Koncentracije aktivnosti ^{40}K su varirale u širokom opsegu (29 – 3020 Bq/kg s.m.) u plodnim telima makrogljiva (Graf. 29). Velike varijacije ukupne aktivnosti ^{40}K među različitim ispitivanim vrstama, iako nisu uobičajene, zabeležene su i u nekoliko drugih studija (Elstner *i sar.*, 1989; Bauer Petrovska i Bogdanovska, 1999; Karaman, 2002). Nasuprot tome, aktivnosti radioaktivnog ^{40}K mnogo manje variraju unutar samih vrsta ili među različitim vrstama istog roda (Graf. 29), što je često zapažanje u radioekološkim istraživanjima makrogljiva i ukazuje na to da je inkorporacija ^{40}K regulisana nutritivnim zahtevima samih gljiva (Baeza *i sar.* 2004; Mietelski *i sar.* 2010; Falandysz *i sar.* 2016). Radioaktivni ^{40}K se javlja u prirodi kao deo prirodnog kalijuma i na taj način je uključen u metaboličke procese živih organizama. Ukupni kalijum je važan nutrijent za gljive i najzastupljeniji je metal u njihovim plodnim telima (Falandysz *i sar.* 2016). Zbog toga je sadržaj ovog prirodnog radionuklida u sporokarpima makrogljiva često veći od sadržaja drugih radionuklida, kao što je ^{137}Cs (Elstner *i sar.* 1987; Bauer Petrovska i Bogdanovska 1999; Karaman 2002), što je potvrđeno i rezultatima ove teze. Skoro sve analizirane vrste imale su veću koncentraciju ^{40}K u odnosu na ostale radionuklide. Odstupanja od ovog modela usvajanja ^{40}K pokazale su samo dve vrste: *H. repandum*, sa P3 i *F. pinicola* sa P5 (Graf. 29).

Posebno su zanimljive intraspecijske razlike koje su se javile između uzoraka saprotrofnih i parazitskih jedinki vrste *F. pinicola*. Među analiziranim lignikolnim vrstama samo *F. pinicola* je na istraživanim staništima bio prisutan i kao saprotrof (P4) i kao parazit

(P5). U plodnim telima ove vrste koja su prikupljena sa živih stabala smrče na plotu 5 na Tari (uzorci: FP3-2₄T, FP4-2₄T, FP5-2₄T), koncentracija aktivnosti ⁴⁰K je bila niža u odnosu na koncentracije ¹³⁷Cs, pa čak i u odnosu na koncentracije ⁴⁰K izmerene u zemljištu sa datog lokaliteta (Graf. 29). Jedan od zaključaka može biti da je većina ⁴⁰K bila angažovana u aktivnom metabolizmu biljnog domaćina i time manje dostupna parazitским gljivama. To je najverovatnije uticalo i na veći sadržaj ¹³⁷Cs u uzorcima *F. pinicola* sa P5 u odnosu na P4, koji je kao hemijski sličan element mogao zameniti neophodnu, a slabo dostupnu, količinu ⁴⁰K (Zhu i Smolders 2000). U istraživanju radioaktivnosti makrogljiva Fruške Gore, u kojem su analizirana i dve vrste prisutne na terenu kao paraziti, sličan rezultat je dobijen za vrstu *L. sulphureus* kod koje je sadržaj ¹³⁷Cs (8 Bq/kg) bio veći od sadržaja ⁴⁰K (1 Bq/kg), međutim u slučaju vrste *P. squarrosa* je dobijen suprotan rezultat – veći sadržaj ⁴⁰K (1 290 Bq/kg) u odnosu na ¹³⁷Cs (55 Bq/kg). S obzirom na to da u literaturi nema drugih podataka o eventualnim razlikama u usvajanju pojedinih elemenata među jedinkama jedne iste vrste koje pripadaju različitim trofičkim formama (parazit/saprotof – što je uobičajeno za lignikolne vrste), bilo bi korisno vršiti dodatna istraživanja makrogljiva u ovom smeru.

U preglednom radu o decenijskom istraživanju radioaktivnosti jestivih makrogljiva, Kalač (2001) navodi da su uobičajene koncentracije aktivnosti ⁴⁰K za divlje i gajene vrste veće od onih u drugim prehrambenim proizvodima i iznose između 0,8 i 1 500 Bq/kg s.m. Vrste koje u ovom istraživanju prevazilaze navedene nivoe koncentracije aktivnosti ⁴⁰K su: *P. cervinus* (3 020 Bq/kg), *Gyroporus cyanescens* (1 770 Bq/kg) i *Hypholoma fasciculare* (1 580 Bq/kg), što je u slučaju *P. cervinus* zabeleženo i u drugim studijama, u kojima su vrednosti ⁴⁰K varirale od 1 650 Bq/kg (Muramatsu *i sar.* 1991) do 2 710 Bq/kg (Mietelski *i sar.* 2010). Tri pomenute vrste spadaju i u grupu najboljih akumulatora ⁴⁰K, prema rezultatima ove teze (*P. cervinus*: TF_d = 12,38, *G. cyanescens*: TF_z = 4,82, *H. fasciculare*: TF_z = 4,31).



Grafikon 29 Sadržaji radionuklida u analiziranim makrogljivama (Bq/kg)

Tabela 32. Transfer faktori radionuklida iz drveta (TFd) / zemljišta (TFz) u plodno telo makrogljiva

Vrste	Sample code	TF (^{40}K)		TF (^{137}Cs)		TF (^{226}Ra)		TF (^{232}Th)	
		TF _d	TF _z	TF _d	TF _z	TF _d	TF _z	TF _d	TF _z
PLOT 1									
<i>C. varius</i>	CV1-1 ₅ T	1,08	0,60	-	-	-	-	-	0,30
<i>G. applanatum</i>	GA1-1 ₅ T	/	0,32	/	0,42	/	-	/	0,52
<i>S. hirsutum</i>	SH-1 ₅ T	0,78	0,53	4,26	0,32	0,13	0,05	0,33	0,05
<i>R. flava</i>	RF-1 ₁ M	/	2,94	/	1,96	/	-	/	0,28
<i>T. pessundatum</i>	TP-1 ₁ M	/	3,08	/	11,42	/	-	/	0,27
PLOT 2									
<i>C. varius</i>	CV2-2 ₅ T	-	-	-	-	-	-	-	0,60
<i>T. gibbosa</i>	TG1-2 ₃ T	3,08	0,23	0,69	0,73	2,60	0,93	-	0,37
<i>M. platyphylla</i>	MP1-2 ₁ M	/	2,40	/	0,9	/	0,19	/	0,34
	MP2-2 ₁ M	/	2,56	/	0,58	/	0,48	/	0,83
<i>C. nebularis</i>	CN-2 ₁ M	/	2,28	/	-	/	-	/	1,02
<i>L. volemus</i>	LV-2 ₁ M	/	1,65	/	-	/	0,12	/	0,28
PLOT 3									
<i>C. varius</i>	CV3-3 ₃ T	1,12	0,60	-	-	2,75	1,14	-	1,74
	CV4-3 ₃ T	/	0,95	/	0,09	/	-	/	2,54
<i>H. fasciculare</i>	HF-3 ₃ M	-	4,31	10,15	1,92	-	-	2,14	0,54
<i>G. cyanescens</i>	GC-3 ₁ M	/	4,82	/	0,19	/	1,56	/	0,83
<i>H. repandum</i>	HR1-3 ₁ M	/	3,65	/	73,40	/	0,45	/	1,20
<i>C. rhacodes</i>	CR-3 ₁ M	/	2,97	/	0,06	/	-	/	0,34
<i>S. imbricatus</i>	SI-3 ₁ M	/	3,57	/	7,23	/	0,07	/	0,09
PLOT 4									
<i>F. pinicola</i>	FP1-4 ₃ T	0,61	0,77	1,86	0,15	-	0,36	-	0,57
	FP2-4 ₃ T	/	0,80	/	0,23	/	0,15	/	-
<i>G. applanatum</i>	GA2-4 ₃ T	0,92	1,65	1,80	0,48	-	-	2,09	0,24
	GA3-4 ₃ T	/	1,53	/	0,15	/	0,13	/	0,63
	GA4-4 ₃ T	2,74	1,19	43,33	0,35	7,96	1,69	6,67	0,94
	GA5-4 ₃ T	/	0,37	/	0,26	/	0,16	/	1,47
<i>T. gibbosa</i>	TG2-4 ₃ T	/	0,95	/	0,18	/	-	/	-
	TG3-4 ₃ T	3,33	1,12	3,80	0,37	-	-	-	-
<i>M. platyphylla</i>	MP3-4 ₁ M	/	4,97	/	1,47	/	-	/	-
<i>Russula sp.</i>	R1-4 ₁ M	/	7,48	/	0,07	/	-	/	0,37
<i>S. luridiformis</i>	SL1-4 ₁ M	/	3,22	/	0,20	/	-	/	-
PLOT 5									
<i>F. pinicola</i>	FP3-5 ₄ T	/	-	/	1,04	/	0,58	/	0,32
	FP4-5 ₄ T	/	0,12	/	0,23	/	1,60	/	0,5
	FP5-5 ₄ T	/	0,19	/	1,05	/	1,12	/	0,23
<i>G. applanatum</i>	GA6-5 ₃ T	/	1,00	/	0,24	-	-	/	0,15
	GA7-5 ₃ T	0,26	0,84	3,63	0,39	0,60	0,29	0,99	0,45
	GA8-5 ₃ T	0,11	0,26	2,08	0,20	1,17	0,51	1,35	0,49
<i>P. cervinus</i>	PC-5 ₂ F	12,38	12,74	22,86	1,61	0,53	0,58	-	-
<i>H. coralloides</i>	HC-5 ₃ F	3,47	3,89	5,45	3,89	-	-	0,50	0,09
<i>Boletus sp. 1</i>	BS1-5 ₁ F	/	2,74	/	0,36	/	-	/	0,26
<i>Boletus sp. 2</i>	BS2-5 ₁ F	/	2,68	/	1,57	/	0,31	/	0,16
<i>S. luridiformis</i>	SL2-5 ₁ F	/	2,25	/	0,12	/	-	/	0,12

U većini slučajeva, najviši TF odražavaju najviše vrednosti koncentracija aktivnosti radionuklida (Tab. 32). Kod većine analiziranih vrsta, TF_z za ⁴⁰K je bio veći od onih za ostale radionuklide, što je u skladu sa drugim studijama (Karaman, 2002; Karadeniz i Iaprak, 2011). Ovakav rezultat je bio očekivan s obzirom da je K esencijalni makroelement u metabolizmu gljiva. Pored toga, veća biodostupnost ⁴⁰K u odnosu na ¹³⁷Cs može biti uzrokovana i efikasnom imobilizacijom Cs za minerale gline u zemljištu (Karaman, 2002). Takođe, u ranijim radioekološkim istraživanjima (Mietleski *i sar.* 1994; Baeza *i sar.* 2004; Baeza i ostali 2005), primećeno je da TF za ⁴⁰K mnogo manje variraju u odnosu na TF za ¹³⁷Cs, te da kod makrogljiva najverovatnije postoji samoregulacija sadržaja ⁴⁰K tj. da ne postoji sistem regulacije sadržaja ¹³⁷Cs.

Nasuprot utvrđenoj prednosti u akumulaciji ⁴⁰K, nekoliko mikoriznih vrsta je imalo efikasniji transfer ¹³⁷Cs u odnosu na ⁴⁰K: *T. pessundatum*, *H. repandum*, *S. imbricatus* - što ukazuje na postojanje afiniteta ka ovom radionuklidu.

Kao što je primećeno i u ranijim istraživanjima (Borio *i sar.* 1991; Yoshida & Muramatsu 1994), raspon koncentracije aktivnosti ¹³⁷Cs, detektovane u plodnim telima gljiva, bio je još širi u odnosu na ⁴⁰K i iznosio je 5,8 – 10 240 Bq/kg s.m. Na osnovu toga može se zaključiti da je radiocezijum koji potiče iz černobilske nesreće još uvek prisutan u značajnoj količini na istraživanim planinskim lokalitetima. Ovo je u skladu sa ranije objavljenim rezultatima istraživanja radioaktivnosti na području Srbije (Mitrović *i sar.*, 2009; Mitrović *i sar.*, 2014). U radioekološkom istraživanju pojedinih lignikolnih gljiva na Fruškoj gori (Karaman, 2002), sadržaj ¹³⁷Cs bio je mnogo niži (1,6 – 55 Bq/kg, sv: 14,45 Bq/kg) u poređenju sa rezultatima ove teze (5,8 – 10 240 Bq/kg, sv: 386,94 Bq/kg).

Među analiziranim makrogljivama, mikorizna vrsta *H.repandum* (P3) se izdvojila kao hiperakumulator ¹³⁷Cs. Među svim analiziranim makrogljivama, ova vrsta je imala najveću koncentraciju aktivnosti radicezijuma (10 240 Bq/kg), kao i najveći zabeleženi TF (73,40). U španskom istraživanju sadržaja ¹³⁷Cs u plodnim telima 9 vrsta divljih (49 uzoraka) makrogljiva iz nezagađenih područja i 5 vrsta gajenih makrogljiva (Garcia *i sar.*, 2015), *H.repandum* se takođe pokazao kao najbolji akumulator ovog radionuklida (1 016,4 Bq/kg s.m., TF = 57,41). S obzirom na maksimalno dozvoljenu koncentraciju od 600 Bq/kg ¹³⁷Cs za suve i 150 Bq/kg ¹³⁷Cs za sveže gljive (Službeni list Srbije 2011), upotreba vrste *H.repandum* u ishrani mora biti strogo kontrolisana.

Pored ove vrste, visoke koncentracije aktivnosti ¹³⁷Cs, kao i TF, utvrđeni su i za vrste *S.imbricatus* sa P3 (1 008 Bq/kg, TF = 7,23), *T. pessundatum* sa P1 (787 Bq/kg, TF = 11,42), *H. coralloides* sa P5 (735 Bq/kg, 5,45). Ovo je posebno važno, uzimajući u obzir nutritivna i

medicinska svojstva navedenih vrsta makrogljiva (izuzev *T. pessundatum* koja nema upotrebnu vrednost).

Na osnovu vrednosti TF_d , sve lignikolne vrste kod kojih je analiziran drvni supstrat su pokazale značajnu akumulaciju ^{137}Cs (Tab. 32), koja osim u slučaju *P. cervinus* (P5) i *H. fasciculare* (P3) nije bila praćena visokim koncentracijama aktivnosti ^{137}Cs (Graf. 29) detektovanim u plodnim telima ovih vrsta (*G. applanatum* (P4, P5), *T. gibbosa* (P4), *F. pinicola* (P4), *S. hirsutum* (P1)).

Nasuprot relativno brojnim istraživanjima sadržaja ^{137}Cs i ^{40}K u makrogljivama (Muramatsu *i sar.*, 1991; Vaszari *i sar.*, 1992; Mietelski *i sar.*, 1994; Vang *i sar.*, 1998; Duff i Ramsei, 2008), radioekološka istraživanja koja ispituju koncentracije aktivnosti ^{232}Th i ^{226}Ra su vrlo retka. U ovoj tezi, detektovane vrednosti ^{232}Th i ^{226}Ra su se kretale u rasponu: 2 - 33 Bq/kg (^{232}Th) i 1,5 - 45 Bq/kg (^{226}Ra) (Graf. 29). Niske vrednosti ova dva prirodna radionuklida u poređenju sa drugim radioaktivnim elementima su zabeležene i u ranijim istraživanjima (Kirchner i Daillant, 1998; Baeza i Guillen, 2006; Rosa *i sar.*, 2009).

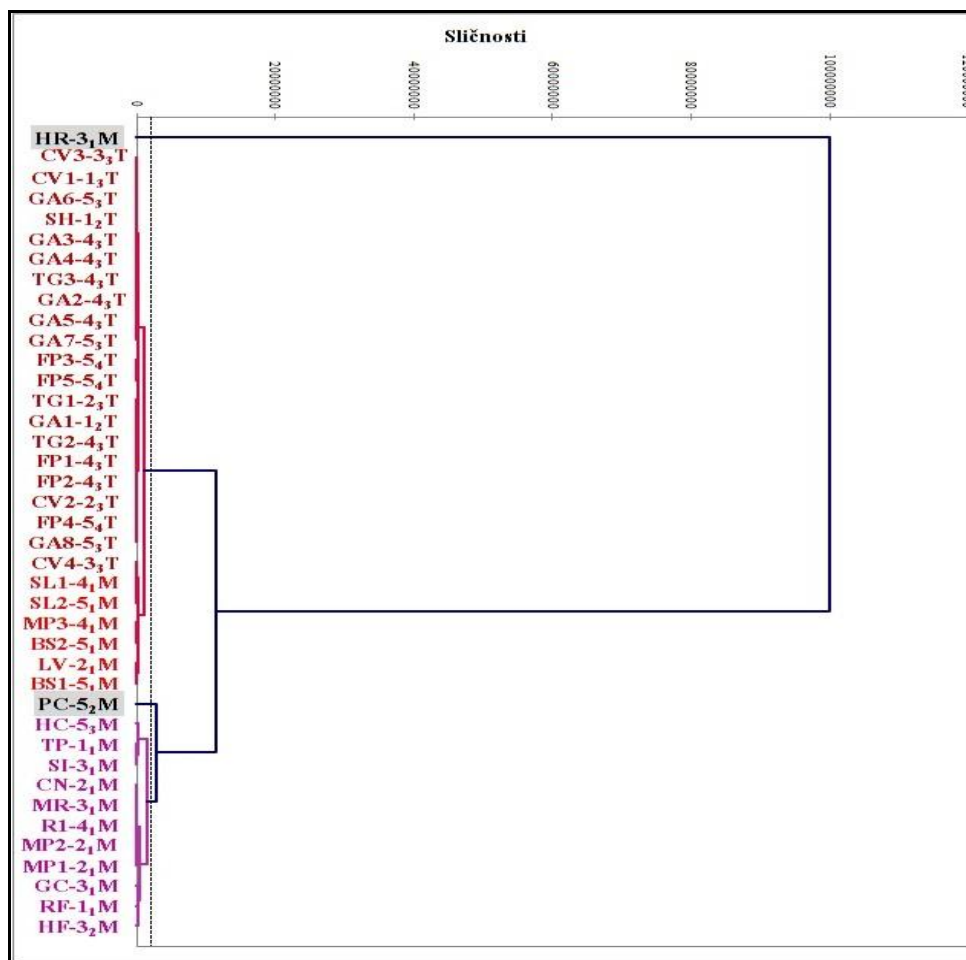
Među makrogljivama analiziranim u ovoj tezi, po visokim koncentracijama aktivnosti i sposobnosti usvajanja ^{226}Ra izdvojile su se: *G. cyanescens* (45 Bq/kg, $TF_z = 1,56$), *G. applanatum* (39 Bq/kg, $TF_d = 7,96$), *C. varius* (33 Bq/kg, $TF_d = 2,75$), *T. gibbosa* (25 Bq/kg, $TF_d = 2,60$) i *F. pinicola* (22 Bq/kg).

Prema sadržaju ^{232}Th istakle su se po jedna vrsta iz svake funkcionalne grupe makrogljiva: lignikolna *C. varius* (70 Bq/kg i 48 Bq/kg), mikorizna *H. repandum* (33 Bq/kg) i terikolna *C. nebularis* (32 Bq/kg). Na osnovu utvrđenih TF, kao najbolji akumulatori ^{232}Th pokazale su se sledeće vrste: *G. applanatum* (TF_d : 2,09 - 6,67), *H. fasciculare* ($TF_d = 2,14$) i *H. repandum* ($TF_z = 1,20$).

Važno je istaći da se *C. varius*, analiziran sa tri različita lokaliteta (P1, P2, P3), istakao kao jedina vrsta koja pokazuje znatno veći afinitet prema ^{232}Th i ^{226}Ra u odnosu na ^{40}K i ^{137}Cs i kao takav može se smatrati pogodnim bioindikatorom ovih prirodnih radionuklida.

5.5.2. Statistička analiza podataka o sadržaju radionuklida među različitim vrstama makrogljiva

Dobijeni rezultati za koncentracije aktivnosti ispitivanih izotopa su podvrgnuti hijerarhijskoj klaster analizi, kako bi se ispitaio uticaj nekog od sledećih faktora na sadržaj radionuklida u plodnim telima: lokalitet, mikrostanište micelije i tip plodnog tela.



Grafikon 30. Dendrogram hijerarhijske klaster analize makrogljiva na osnovu ukupnog sadržaja radionuklida

Legenda: Skraćenice vrsta date u Tab. 30

Na prikazanom dendrogramu (Graf. 30), na osnovu koncentracije aktivnosti ^{40}K , izdvojilo se nekoliko grupa makrogljiva, pri čemu se jasno uočava da stanište tj. lokalitet sakupljenih plodnih tela (oznake u okviru šifre nalaza: 1 – P1, 2 - P2, 3 – P3, 4 – P4, 5 – P5) nije uticao na specifičnu organizaciju podataka. U grupisanju posmatranih vrsta najveći uticaj je imao tip plodnog tela (M – meko, mesnato, efemerno / T – tvrdo, čvrsto, višegodišnje), dok je malim delom uticalo mikrostanište same micelije (1 - zemljište, 2 – panj, 3 – mrtvo deblo/grana, 4 – živo stablo).

Prva velika, formirana grupa (obeležena crveno) obuhvata 27 lignikolnih i mikoriznih makrogljiva koje potiču iz svih pet istraživanih šumskih staništa. U okviru nje su se izdvojile dve podgrupe – jedna koju čine isključivo vrste sa čvrstim, višegodišnjim sporokarpima, koje nastanjuju mrtva debela, panjeve i živa stabla (oznake ₂T, ₃T, ₄T; obojene tamnije crveno) i druga u kojoj se nalaze vrste sa mekim, efemernim plodnim telima, koje naseljavaju tlo i žive

u mikorizi (oznaka ${}_1M$; obojene svetlije crveno; izuzetak je jedan uzorak sa čvrstim sporokarpom – CV4-3₃T). Ove dve podgrupe imaju najniži ukupni sadržaj radionuklida.

Drugu veliku grupu (obojena ljubičasto), sa većim aktivnostima radionuklida, čine isključivo makrogljive koje se odlikuju mekim, efemernim plodnim telima. Ona obuhvata 11 uzoraka mikoriznih, terikolnih i lignikolnih vrsta koje nastanjuju zemljište ili mrtvo drvo. Izvan druge grupe, izdvojila se lignikolna vrsta *P. cervinus*, koja ima isti tip sporokarpa ali se razlikuje po većoj ukupnoj radioaktivnosti. *P. cervinus* se i na osnovu transfer faktora izdvojio kao vrsta sa visokom sposobnošću akumulacije radionuklida. *P. cervinus* je pokazao skoro istu vrednost TF_z i TF_d za ${}^{40}K$, što je za red veličine iznad drugih vrsta. To može ukazivati na specifičan afinitet navedene vrste za akumulaciju ovog elementa.

H. repandum je jedina vrsta koja se jasno izdvojila u odnosu na sve ostale. U pitanju je vrsta koja je imala najviše zabeležene aktivnosti ispitivanih radionuklida: 1000 puta veću koncentraciju ${}^{137}Cs$ () u odnosu na ostale vrste i među najvišim registrovanim vrednostima ${}^{40}K$ i ${}^{232}Th$. Samim tim, ova jestiva vrsta sa mekim plodnim telom se istakla kao hiperakumulator radioaktivnih elemenata.

Hijerarhijska klaster analiza ukazala je na važan podatak da, osim specijes specifičnosti samih vrsta, tip plodnog tela ima veću važnost za akumulaciju radionuklida od samog staništa. Generalno, vrste sa mesnatim sporokarpima, bez obzira na pripadnost određenoj funkcionalnoj grupi, pokazale su veći transfer ${}^{40}K$ i ${}^{137}Cs$ (Tab. 32). Mesnati sporokarpi se, uprkos kratkom životnom veku, izdvajaju kao bolji akumulatori radionuklida u poređenju sa čvrstim, suvim, višegodišnjim plodnim telima, zbog njihove veće metaboličke aktivnosti, uzrokovane višim sadržajem vode, što se pokazalo i u istraživanju radioaktivnosti gljiva Fruške Gore (Karaman, 2002). Heinrich (1993) ističe da gljive sa visokim metabolizmom i bogate citoplazmom imaju visoku koncentraciju ${}^{137}Cs$.

Budući da se objavljeni podaci o radioaktivnosti makrogljiva odnose uglavnom na jestive vrste sa efemernim, pečurkastim plodnim telima, buduća istraživanja sa još većim brojem vrsta koje se odlikuju različitim tipovima sporokarpa bi mogla da potvrde u kojoj meri ova morfo-anatomska karakteristika utiče na akumulaciju radionuklida.

5.5.3. Varijabilnost u sadržaju radionuklida među različitim funkcionalnim grupama

Istraživanja različitih autora pokazala su izvesnu pravilnost u sposobnosti akumuliranja radionuklida među različitim ekološkim grupama gljiva. Naime, primećeno je da sadržaj radioaktivnih elemenata u plodnim telima gljiva najčešće opada sledećim redosledom:

mikosimbionti > terikolni saprotrofi > lignikolne gljive (Reisinger 1990; Vasser i Grodzinskaia 1993; Karaman 2002; Mietelski et al. 2002).

Tabela 33. Deskriptivna statistika za grupe mikoriznih i lignikolnih makrogljiva

Statistika	Mikorizne vrste				Lignikolne vrste			
	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th
Broj uzoraka	11				27			
Min	460.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max	1770.00	10240.00	45.00	33.00	3020.00	735.00	39.00	70.00
M	1070.00	67.00	0.00	7.00	210.00	44.00	3.40	10.00
SV	1019.82	1150.23	6.12	9.55	440.81	104.33	7.47	12.06
SD	425.62	3034.09	13.47	9.89	661.36	157.28	10.67	15.45

Pregledom osnovnih pokazatelja (mera) deskriptivne statistike, uočava se da predstavnici različitih funkcionalnih grupa makrogljiva nisu podjednako uspešni u usvajanju svih ispitivanih radionuklida (Tab. 33). Rezultati za terikolnu grupu nisu uključeni u ovu analizu zbog malog broja pripadajućih vrsta (dve).

Po sadržaju ⁴⁰K i ¹³⁷Cs prednjači grupa mikoriznih vrsta, čemu svedoče srednja vrednost i medijana izmerenih koncentracija ovih elemenata (Tab. 33). Međutim, dok maksimalna izmerena vrednost ¹³⁷Cs (*H.repandum*) takođe ide u prilog mikoriznoj grupi makrogljiva, najviša koncentracija aktivnosti ⁴⁰K dobijena je za lignikolnu vrstu *P.cervinus*. Slično odstupanje uočava se i za ²²⁶Ra. Naime, na osnovu srednjih vrednosti i medijane izmerenih koncentracija aktivnosti ²²⁶Ra i ²³²Th, lignikolne gljive su bile uspešnije u usvajanju ovih radioizotopa u odnosu na mikoriznu grupu. U slučaju ²³²Th to potvrđuje i maksimalna koncentracija detektovana upravo kod lignikolnog predstavnika (*C.varius*), dok je najveći sadržaj ²²⁶Ra imala mikorizna vrsta *G.cyanescens*.

U slučaju lignikolnih vrsta, za koje je računat i transfer elemenata između drvnog supstrata i plodnog tela, TF_d (⁴⁰K) bio je niži od TF_d (¹³⁷Cs). Ovo se može objasniti esencijalnom ulogom kalijuma u metabolizmu biljaka. Samim tim, stabla drvenastih biljaka usled ogromnih dimenzija imaju daleko veće nutritivne zahteve u odnosu na ovaj element usled čega on ostaje slabije dostupan gljivama koje se na tim stablima razvijaju. Važno je istaći da su lignikolne vrste za koje je bio dostupan drveni supstrat imale visoke TF_d (¹³⁷Cs) i time su se pokazale kao bolji akumulatori ovog radionuklida u odnosu na analizirane terikolne vrste.

Istraživanja drugih autora ukazala su takođe na to da mikorizne makrogljive imaju veću sposobnost akumulacije ¹³⁷Cs u odnosu na saprotrofne vrste (Rommelt *i sar.* 1990; Heinrich,

1993; Yoshida i Muramatsu 1994). Uzrok tome može biti učešće mikoriznih gljiva u translokaciji nutrijenata između korena biljaka i zemljišta, kao i mikrostanište micelije koja je kod ove grupe gljiva smeštena u površinskim slojevima zemljišta u kojima je koncentracija ^{137}Cs visoka (Yoshida *i sar.* 1993; Yoshida i Muramatsu 1994; (Baeza *i sar.* 2005). Osim toga, apsorpcija radiocezijuma preko korena u biljke je niska (Changizi *i sar.*, 2012), što se jasno uočava iz rezultata ove teze: koncentracija aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima zemljišta je 10 do 100 puta manja nego u uzorcima drveta. Samim tim, supstrat lignikolnih gljiva je slabiji izvor radiocezijuma u odnosu na zemljište koje je supstrat mikoriznih vrsta.

Tabela 34. Korelacioni matriks među različitim radionuklidima

	$^{40}\text{K} - ^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K} - ^{226}\text{Ra}$	$^{40}\text{K} - ^{232}\text{Th}$	$^{137}\text{Cs} - ^{226}\text{Ra}$	$^{137}\text{Cs} - ^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra} - ^{232}\text{Th}$
Lignikolne	0,432*	-0106	-0,070	-0,185	-0,312	0,274
Mikorizne	0,286	0,632*	0,665*	0,147	0,767*	0,652*
Sve vrste	0,227	0,014	0,021	0,066	0,207	0,318*

* Statistički značajni korelacioni koeficijenti za nivoe značajnosti $p < 0.05$ i $p < 0,1$

Analizom korelacije detektovanih radionuklida je utvrđeno da u okviru različitih funkcionalnih grupa makrogljiva postoje i različiti odnosi među samim usvojenim radioaktivnim elementima (Tab. 34). Poređenjem koncentracija aktivnosti za sve ispitivane vrste gljiva zajedno, dobija se statistički značajna korelacija (0,318) samo između prirodnih radionuklida ^{226}Ra i ^{232}Th . Međutim, ukoliko se odvojeno analiziraju pripadnici pojedinih funkcionalnih grupa, dobija se drugačija slika. Među lignikolnim vrstama je utvrđena statistički značajna korelacija isključivo za par $^{40}\text{K} - ^{137}\text{Cs}$ (0,432), što ukazuje na međusobnu povezanost procesa usvajanja ovih radionuklida od strane lignikolnih makrogljiva i moguće postojanje sličnih mehanizama njihove inkorporacije u plodna tela. Nasuprot tome, u plodnim telima mikoriznih vrsta ne postoji jasna veza između sadržaja ^{40}K i ^{137}Cs . U istraživanjima drugih autora, takođe nije uočena korelacija između koncentracije aktivnosti ^{40}K i ^{137}Cs u plodnim telima gljiva (Ruckert i Diehl 1987; Elstner *i sar.* 1989; Bauer Petrovska i Bogdanovska 1999; Baeza *i sar.*, 2004). Unutar grupe mikoriznih predstavnika postoji pozitivna korelacija među svim ispitivanim prirodnim radioizotopima ($^{40}\text{K} - ^{226}\text{Ra} - ^{232}\text{Th}$), dok je sa veštačkim radionuklidom ^{137}Cs značajno korelirao isključivo ^{232}Th .

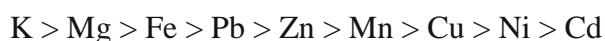
5.5.4. Rizici upotrebe jestivih i lekovitih makrogljiva sa aspekta akumulacije radionuklida

Prema zakonodavstvu Republike Srbije (Službeni list Srbije 2011), izmerene koncentracije aktivnosti radiocezijuma prelaze maksimalno dozvoljenu koncentraciju od 600 Bq/kg ^{137}Cs za suve jestive gljive koje se koriste u količini manjoj od 2 kg godišnje po glavi stanovnika. Granica za sadržaj ^{137}Cs u povrću, voću i žitaricama, prema zakonodavstvu Republike Srbije, iznosi 15 Bq/kg, dok je granica za sveže gljive 150 Bq/kg. S druge strane, poljoprivredni proizvodi koji potiču iz Ukrajine i zemalja koje se nalaze u njenoj neposrednoj okolini i dalje imaju mnogo veće dozvoljene granice za nivo ^{137}Cs u hrani (npr. 3700 Bq/kg s.m. u Belorusiji (Bulko *i sar.* 2014) i 2500 Bq/kg s.m. u Ukrajini (Grodzinskaya *i sar.* 2011)), što ilustruje razlike u evropskim granicama. Iako se pokazalo da gljive akumuliraju radiocezijum u veoma visokom stepenu, čak i preko 100 000 Bq/kg (Cooper (1992)), smatra se da one ne predstavljaju važne uzročnike interne izloženosti radionuklidima kao što je to recimo mleko koje se koristi svakodnevno u ljudskoj ishrani (Travnikova *i sar.*, 2001). Uprkos tome, nakon nesreća u Černobilu i Fukušimi, pokazalo se da jestive vrste sakupljane iz prirode zaobilaze državni monitoring hrane i mogu biti odgovorne za visoke aktivnosti ^{137}Cs prisutne u organizmima pojedinaca (Steinhauser *i sar.*, 2014).

5.6. Ispitivanje sadržaja metala u makrogljivama

Sadržaj devet metala je analiziran u plodnim telima petnaest vrsta makrogljiva (19 uzoraka) sa različitih eksperimentalnih površina, uključujući i njihove supstrate (zemljište / drvo). Podaci o tačnim vrednostima sadržaja metala, kao i transfer faktora (TF–odnos sadržaja metala u gljivama i sadržaja metala u supstratu) svih analiziranih uzoraka, prikazani su u Prilogu 8.3. i 8.4.

Utvrđeni sadržaj metala u gljivama je prema srednjim vrednostima (sv) i vrednostima medijana (M) (Tab. 35) opadao sledećim redosledom:



Dobijeni rezultati su u velikoj meri u saglasnosti sa drugim istraživanjima makrogljiva nezagađenih područja, osim u slučaju Pb čiji je sadržaj u takvim sredinama uvek pri kraju niza:



$N > K > P > Ca > Mg > Al > Zn > Fe > Mn > Pb > Cd$ (Rudavska i Leski, 2005),
 $Mg > Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Cr > Co > Pb > Cd$ (Ouzouni *i sar.*, 2009),
 $Fe > Zn > Cu > Mn > Pb > Cd$ (Ita *i sar.*, 2006).

Tabela 35. Deskriptivna statistika sadržaja elemenata u gljivama

	K	Mg	Ni*	Cd	Pb	Cu	Mn	Fe	Zn
Min	2898,92	605,34	19,24	2,90	80,50	8,41	4,08	37,35	13,11
Max	78608,42	2934,09	33,09	7,28	180,45	76,95	128,03	1423,53	119,08
M	39331,81	1172,98	20,55	3,25	86,91	17,70	18,28	109,46	49,87
SV	32690,57	1379,54	21,32	3,72	93,89	27,08	28,74	211,52	53,83
SD	24406,78	659,20	3,20	1,13	22,26	20,38	32,28	328,04	31,82

* Sadržaj elemenata izražen je kao srednja vrednost tri merenja \pm sd

Pored toga, dobijene vrednosti za sadržaj metala su u skladu sa podacima koje su izneli Michelot i saradnici (1989), koji navode da se metali prema svom sadržaju u gljivama, tačnije na osnovu srednjih vrednosti u grupi analiziranih uzoraka, mogu podeliti na:

- *makroelemente* ($> 900 \text{ mg kg}^{-1}$) – K, P, Na, Ca i Mg,
- *oligoelemente* ($> 100 \text{ mg kg}^{-1}$) – Fe,
- *mikroelemente* ($30 - 100 \text{ mg kg}^{-1}$) – Zn, Mn i Pb,
- *elemente u tragovima* ($< 20 \text{ mg kg}^{-1}$) – Cr, Cd, Cu i Ni.

Na osnovu utvrđenih vrednosti TF, makrogljive su akumulirale metale ($TF > 1$) sledećim redosledom: $K > Mg > Cu > Zn > Cd$. Za ostale metale: Fe, Mn, Pb i Ni, u većini slučajeva nije utvrđena akumulacija ($TF < 1$), što je u skladu sa rezultatima drugih autora (Karaman, 2002; Tuzen, 2003).

Na osnovu ranijih istraživanja, kao glavni faktori koji utiču na koncentraciju metala u plodnim telima gljiva istakli su se: vrsta gljive, koncentracija elementa u supstratu, stepen lokalnog zagađenja, kao i uticaji sredine (Karaman *i sar.*, 2012; Mleczek *i sar.*, 2016). Analizom rezultata ove teze uočeno je da sadržaj metala u sporokarpima makrogljiva varira:

- interspecijski (među različitim vrstama),
- intraspecijski (unutar vrste),
- među različitim funkcionalnim grupama,
- među različitim metalima.

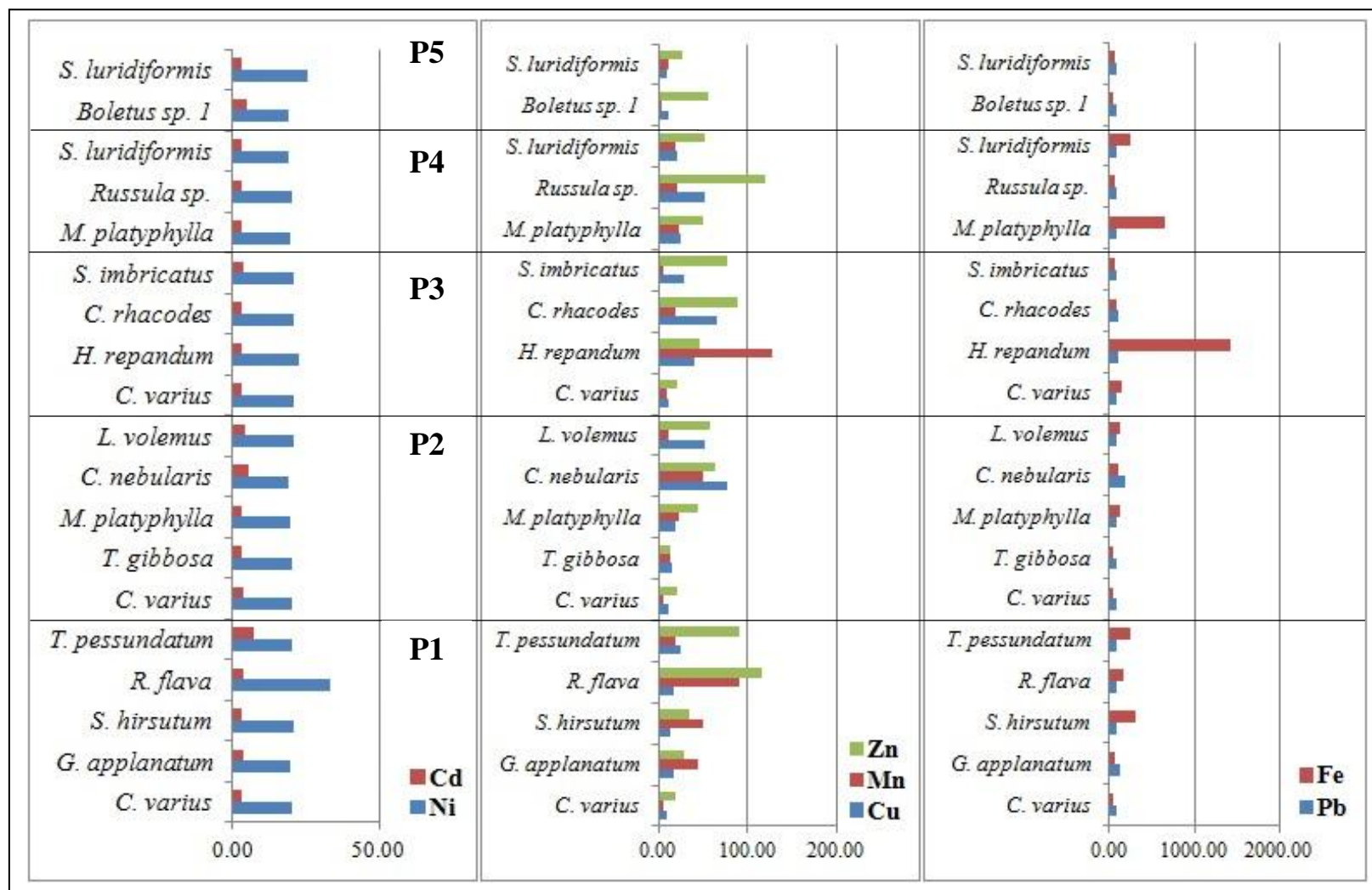
5.6.1. Analiza sadržaja metala i sposobnost akumulacije različitih vrsta makrogljiva

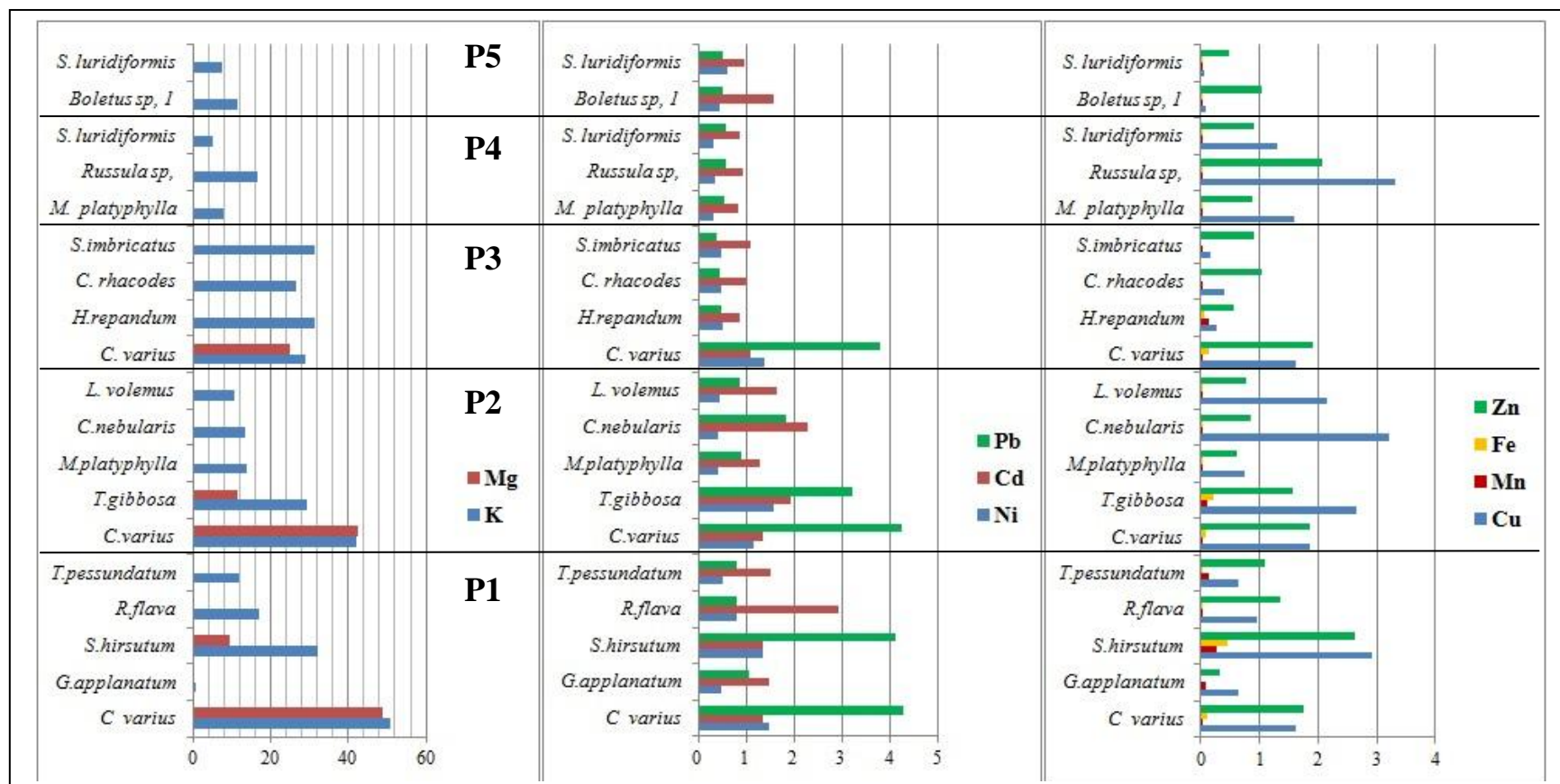
Analizirane makrogljive različitih područja nisu pokazale razlike u sadržaju metala koje bi se mogle dovesti u vezu sa samim lokalitetima istraživanja. Ovo je potvrđeno i odsustvom statistički značajne korelacije prosečnog sadržaja u uzorcima gljiva i zemljišta sa pojedinih eksperimentalnih površina (Tab. 36).

Tabela 36. Korelacije između sadržaja TM u zemljištu i makrogljivama na istraživanim plotovima

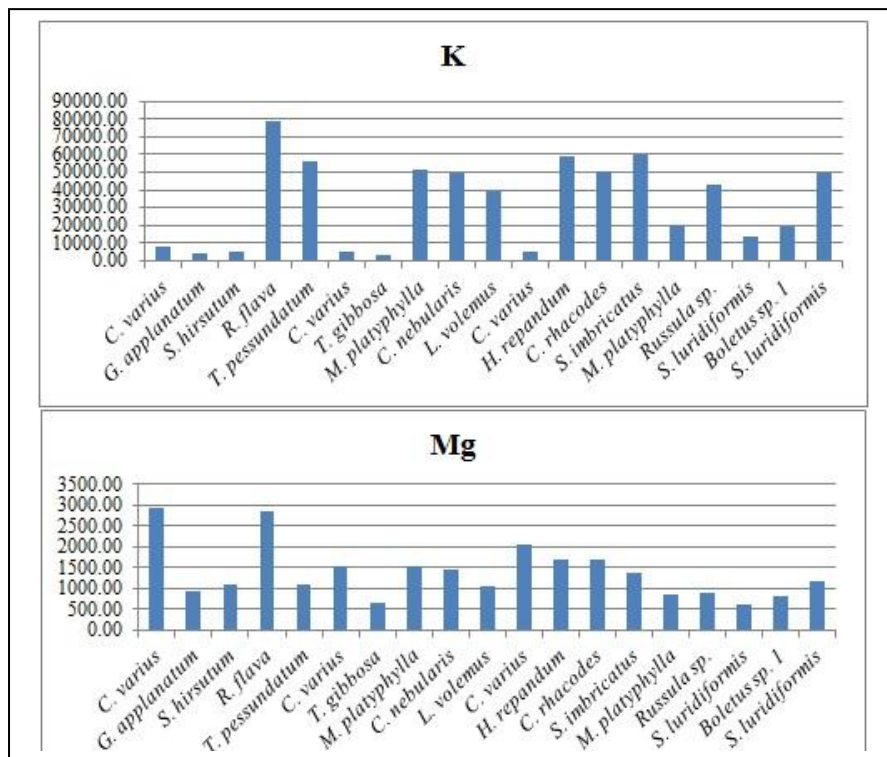
Z1 - G1	Z2 - G2	Z3 - G3	Z4 - G4	Z5 - G5
0,018	- 0,038	- 0,078	- 0,032	- 0,054

Uprkos odsustvu razlike na nivou grupa gljiva poreklom sa različitih lokaliteta tj. eksperimentalnih površina, pojedine vrste makrogljiva su se istakle po izuzetno visokom sadržaju metala u plodnim telima (Graf. 31 i 33) i / ili po akumulaciji metala iz supstrata (Graf. 32).

Grafikon 31. Sadržaj mikroelemenata (mg kg⁻¹) u makrogljivama na različitim plotovima (P1-P5)



Grafikon 32. Transfer faktori (TF) za makrogljive sa različitih plotova



Grafikon 33. Sadržaj makroelemenata (mg kg^{-1}) u makrogljivama na različitim plotovima (P1 – P5)

Vrsta *C. varius*, koja je uzorkovana sa tri eksperimentalne površine – P1, P2 na Vidliču i P3 na Kopaoniku, se istakla po tome što je imala najveći najveći sadržaj K ($4948,01 - 8379,62 \text{ mg kg}^{-1}$) i Mg ($1532,79 - 2934,09 \text{ mg kg}^{-1}$) među svim analiziranim gljivama sa drvnog supstrata, a posebno po tome što je pokazala najveću sposobnost akumulacije K (TF: 28,9 - 51), Mg (TF: 25,1 - 48,7), Pb (TF: 3,79 - 4,27) među svim analiziranim vrstama, dok lokalitet uzorkovanja nije imao značajan uticaj na akumulaciju metala. U istraživanju akumulacije mineralnih makronutrijenata u nekoliko reprezentativnih vrsta makrogljiva dominantno bukovih šuma, najveća količina Mg (2074 mg kg^{-1}) je utvrđena upravo u plodnim telima *C. varius* (Bučinova i sar. 2014).

Mikorizna, jestiva *Ramaria flava* imala je najveću koncentraciju K ($78608,42 \text{ mg kg}^{-1}$) i Ni ($33,09 \text{ mg kg}^{-1}$) među svim analiziranim vrstama, a karakteristična je i po izuzetno visokom sadržaju Mg ($2868,98 \text{ mg kg}^{-1}$) i Zn ($115,53 \text{ mg kg}^{-1}$). Na osnovu utvrđenih TF, ova vrsta je pokazala najbolju sposobnost akumulacije Cd (2,94) i značajnu sposobnost akumulacije Zn (1,08), dok su se kao najbolji akumulatori Zn izdvojile *Stereum hirsutum* (2,63) i *Russula sp.* (2,08).

Najveće koncentracije Pb ($180,45 \text{ mg kg}^{-1}$) i Cu ($76,95 \text{ mg kg}^{-1}$) su detektovane kod uslovno jestive *Clitocybe nebularis*, koja je imala i visok sadržaj Cd ($5,68 \text{ mg kg}^{-1}$). Visoke vrednosti TF za ove elemente ukazuju da se radi o vrsti koja je dobar akumulator navedenih teških metala (TF(Pb) = 1,83; TF(Cu) = 3,20; TF(Cd) = 2,28). Ova vrsta je i u ranijim

istraživanjima pokazala visoke sadržaje metala (Michelot *i sar.*, 1998; Širić *i sar.*, 2017). Pored nje, po vrlo visokom sadržaju Pb su se izdvojile i lekovita, lignikolna vrsta *G. applanatum* (113,24 mg kg⁻¹) i *Hydnum repandum* (102,49 mg kg⁻¹).

Mikorizna, jestiva vrsta *Hydnum repandum* imala je i najviši sadržaj Fe (1423,53 mg kg⁻¹) i Mn (128,03 mg kg⁻¹), znatno viši od svih ostalih makrogljiva. Uprkos visokim koncentracijama pojedinih metala, na osnovu TF ova vrsta nije pokazala akumulatorsku sposobnost izuzev za K (TF = 31,2). Pored ove vrste, visoke koncentracije Fe su zabeležene i kod vrsta *Megacollybia platyphylla* (655,13 mg kg⁻¹) i *Stereum hirsutum* (302,79 mg kg⁻¹).

Najveći sadržaj Cd (7,28 mg kg⁻¹) izmeren je kod vrste *Tricholoma pessundatum*, koja se istakla i po visokoj koncentraciji Zn (91,34 mg kg⁻¹), a sudeći po TF ova vrsta se može smatrati i akumulatorom navedenih metala (TF(Cd) = 1,51; TF(Zn) = 1,08).

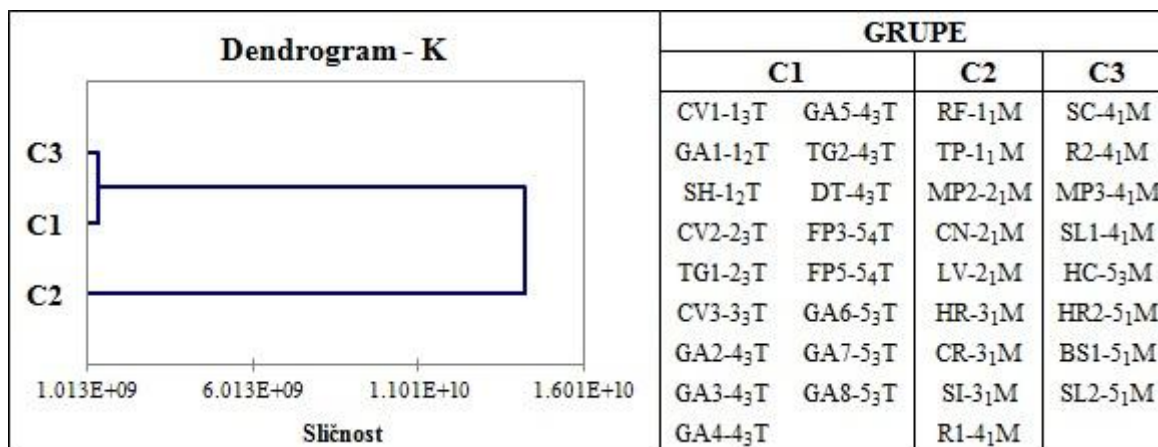
Mikorizna, jestiva vrsta *Lactarius volemus* imala je visoke koncentracije Cd (4,09 mg kg⁻¹) i Cu (51,69 mg kg⁻¹), a na osnovu TF se pokazala i kao potentan akumulator ovih teških metala (TF(Cd) = 1,64; TF(Cu) = 2,15).

Uslovno jestiva *Chlorophyllum rhacodes* izdvojila se po visokim sadržajima Cu (65,17 mg kg⁻¹) i Zn (88,09 mg kg⁻¹), što je u skladu sa drugim istraživanjima gde se takođe istakla po visokim sadržajima različitih teških metala (Soylak *i sar.*, 2005), kao i njoj bliska *Macrolepiota procera* (Severoglu *i sar.*, 2013; Falandysz *i sar.*, 2017; Širić *i sar.*, 2017).

5.6.2. Statistička analiza podataka o sadržaju metala među različitim vrstama makrogljiva

Uparedne PCA i klaster analize sadržaja svih ispitivanih metala na nivou svih analiziranih makrogljiva, ukazale su na to da ne postoji univerzalna pravilnost u usvajanju različitih metala. Zbog toga su urađene odvojene klaster analize za svaki ispitivani metal koje su, na osnovu specifičnog grupisanja vrsta unutar dendrograma, potvrdile da na sadržaj različitih metala u makrogljivama utiču različiti faktori, među kojima je posebno izražena specijes-specifičnost.

Samo u slučaju **K** i **Zn** je ustanovljeno postojanje pravilnosti tj. zavisnosti sadržaja određenih posmatranih faktora (lokalitet tj. sadržaj metala u životnoj sredini / tip supstrata / tip plodnog tela), što se dovodi u vezu sa njihovom esencijalnom ulogom u metabolizmu i velikim potrebama gljiva za ovim elementima.

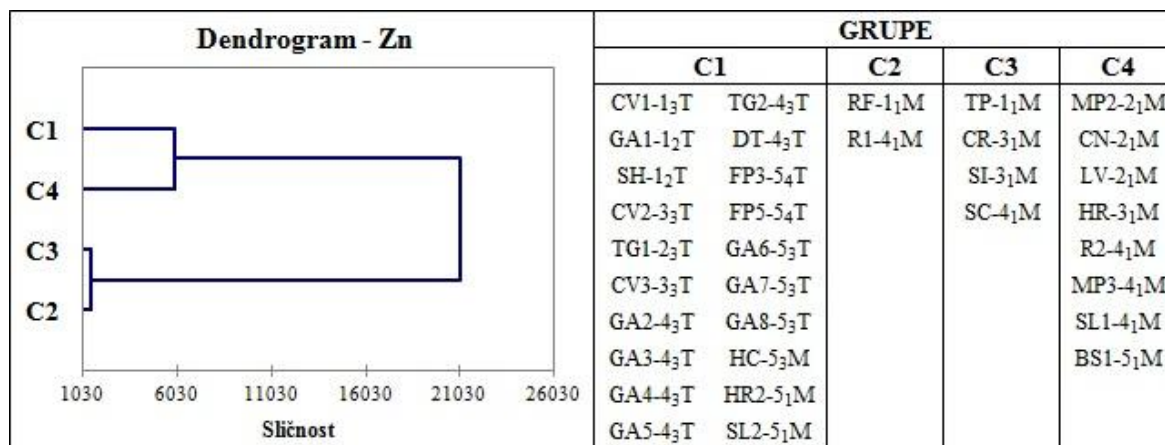


Grafikon 34. Klaster analiza sadržaja K u analiziranim makrogljivama
Šifre vrsta date u Prilogu 8.3.

U slučaju K (Graf. 34), različite vrste makrogljiva su se grupisale prvenstveno prema tipu plodnog tela: pri čemu je utvrđeno da su lignikolne vrste sa čvrstim plodnim telima (oznaka T – tvrdo, čvrsto, višegodišnje) imale najmanji sadržaj K ($441,94 - 8379,62 \text{ mg kg}^{-1}$), dok su terikolne i lignikolne makrogljive sa mekim plodnim telima (M – meko, mesnato, efemerno) imale znatno veći sadržaj K ($13156,18 - 78608,42 \text{ mg kg}^{-1}$). Ovakva razlika u sadržaju K među različitim tipovima PT je u vezi sa sadržajem vode i metaboličkom aktivnošću, koja je veća u mekim, mesnatim PT.

Zn je jedini analizirani teški metal čiji sadržaj u PT makrogljiva pokazuje jasnu pravilnost, tj. zavisnost u odnosu na više posmatranih faktora (Graf. 35). Preraspodela uzoraka u okviru 4 glavne grupe, izvršena je na osnovu tipa plodnog tela i na osnovu supstrata:

- grupa C1 - vrste sa čvrstim PT i vrste koje rastu na drvnom supstratu
- grupe C2, C3, C4 – većina vrsta sa mekim PT i onih koje rastu na zemljištu (*R. flava*, *Russula sp.*, *T. pessundatum*, *C. rhacodes*, *Boletus sp.*, *Sutorius sp.*, *Sutorius luridiformis*, *S. crispa*, *M. plathyphylla*, *C. nebularis*, *L. volemus*, *H. repandum*).



Grafikon 35. Klaster analiza sadržaja Zn u analiziranim makrogljivama

Šifre vrsta date u Prilogu 8.3.

Za ostale metale: **Mg, Fe, Mn, Cu, Cr, Ni, Pb i Cd**, nije utvrđena pravilnost u odnosu na različite posmatrane faktore, što ukazuje na potencijalnu *species specifičnost* njihovog usvajanja koja je određena genetskim predispozicijama unutar svake vrste (Gast *i sar.*, 1988; Michelot *i sar.*, 1998), kao i na zavisnost usvajanja u skladu sa trenutnim potrebama organizma za pojedinim elementom (Karaman *i sar.*, 2002).

Specifična distribucija različitih metala u različitim vrstama makrogljiva ukazuje i na to da su u njihovo usvajanje uključeni različiti sistemi, sa proteinskim nosačima i visoko specifičnim transporterima, kao što su fitohelatini i metalotionini (Karaman, 2002).

5.6.3. Intraspecijska varijabilnost sadržaja metala

Dosadašnjim istraživanjima utvrđeno je postojanje varijabilnosti u hemijskom sastavu gljiva unutar vrste (Demirbas, 2001), kao i da je ona veća u odnosu na interspecijske varijabilnosti prisutne kod biljaka (Mleczeck *i sar.*, 2016).

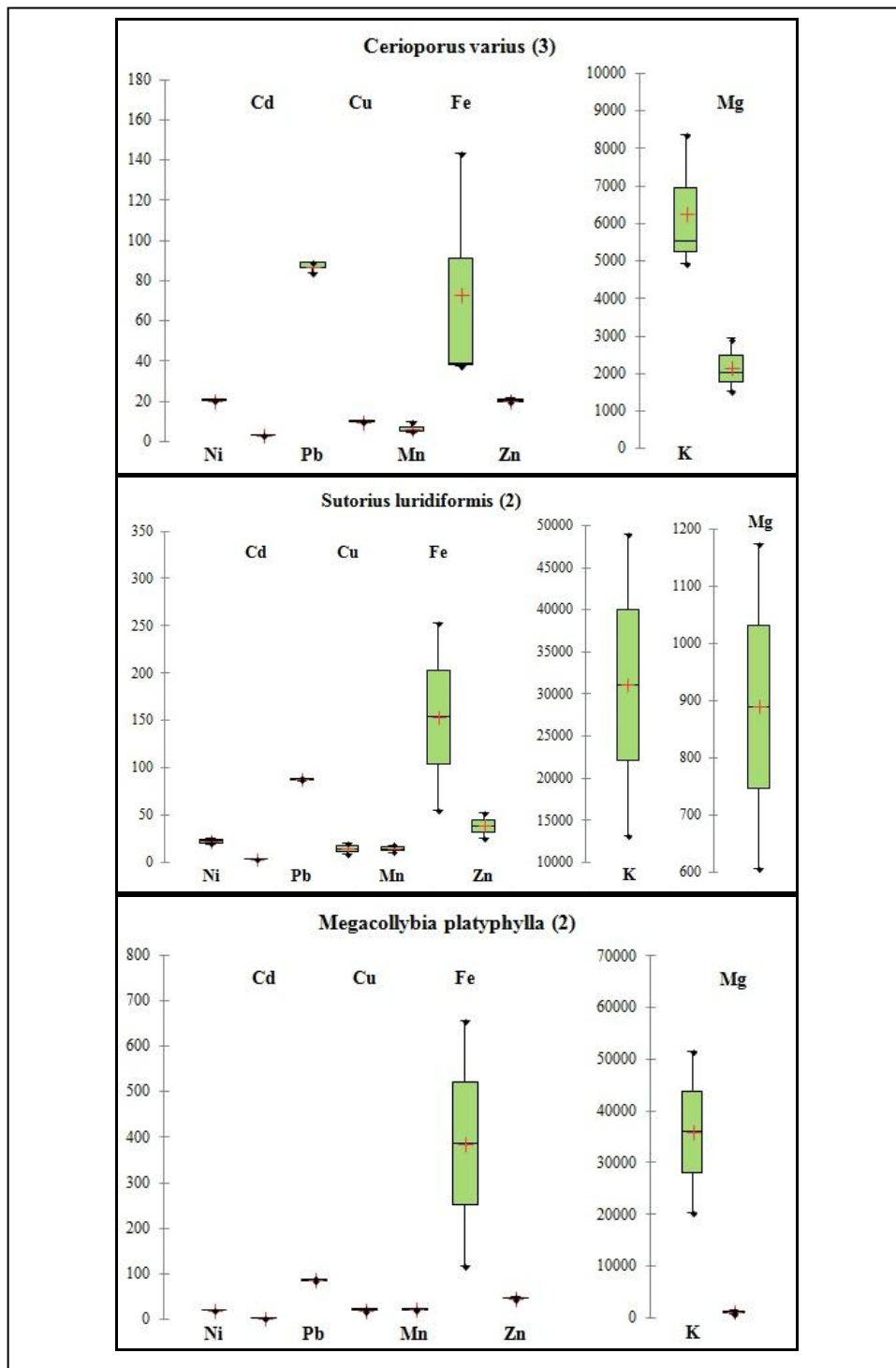
Dobijeni rezultati, kao i literaturni podaci (Karaman, 2002; Mleczeck *i sar.*, 2016), ukazuju na to da sadržaj metala na nivou vrste kod makrogljiva varira i do jednog reda veličine (npr. 10 – 100 mg kg⁻¹). Intraspecijske varijacije (unutar vrste) na nivou različitih lokaliteta, mogu biti rezultat različitih sadržaja metala na ispitivanim lokalitetima i u mikrostaništu plodnih tela (supstratu), ali i rezultat postojanja različitih ekotipova, sa genetskim predispozicijama nastalim usled različitih stanišnih ili evolucijskih uticaja (Kastori, 1997; Ye *i sar.*, 1997; Karaman, 2002).

Intraspecijske razlike u sadržaju metala mogu biti prisutne i u različitim plodnim telima sa istog lokaliteta. Ovakav fenomen se može objasniti činjenicom da svako pojedinačno

plodno telo može biti rezultat unakrsnog spajanja različitih hifa i time predstavljati poseban genotip, kao i uticajem faktora sredine na nivou mikrostaništa (Mleczek *i sar.*, 2016).

Među vrstama odabranim za istraživanje sadržaja metala, tri vrste su bile dostupne sa većim brojem uzoraka, sa različitih lokaliteta (Graf. 36). U slučaju ispitivanih makroelemenata, veća intraspecijska varijabilnost zabeležena je u slučaju K, u odnosu na Mg (Graf. 36), što ide u prilog metaboličkoj regulaciji usvajanja Mg.

Među mikroelementima, sadržaj Fe se istakao po intraspecijskoj varijabilnosti, varirajući unutar svih analiziranih vrsta makrogljiva (Graf. 36), a najviše u okviru vrste *M. platyphylla* (117,47 – 655,13 mg kg⁻¹). Ostali analizirani teški metali (Mn, Ni, Cd, Pb, Cu, Zn) pokazali su malu intraspecijsku varijabilnost (Graf. 36), što upućuje na njihov manji značaj za rast i razvoj gljiva. Rezultati varijabilnosti sadržaja unutar vrsta su u saglasnosti sa rezultatima drugih istraživanja, u kojima se Fe (pored Al i Ag koji nisu ispitivani u ovoj tezi) po svojoj visokoj intraspecijskoj varijabilnosti takođe izdvojilo u odnosu na ostale teške metale (Michelot *i sar.*, 1998). Utvrđene intraspecijske razlike u sadržaju metala nisu bile u korelaciji sa razlikama u sadržaju metala među različitim lokalitetima.



Grafikon 36. Variranje sadržaja metala unutar vrsta

5.6.4. Varijabilnost u sadržaju metala među različitim funkcionalnim grupama i unutar njih

Na osnovu analize varijanse Tukey testom (Tab. 37), mg kg⁻¹ utvrđeno je da sadržaj K, Zn, Cu i Pb statistički značajno varira među funkcionalnim grupama makrogljiva, pri čemu su mikorizne i terikolne gljive imale veći sadržaj K i Zn. Terikolna grupa je prednjačila po sadržaju Cu, dok je lignikolna grupa imala značajno veći sadržaj Pb u odnosu na mikorizne i terikolne vrste. Nasuprot tome, u variranju sadržaja ostalih elemenata (Mg, Fe, Mn, Cd i Ni) nije utvrđena statistički značajna razlika među analiziranim funkcionalnim grupama

Tabela 37. Razlike u sadržaju metala (mg kg⁻¹) među funkcionalnim grupama makrogljiva

	K	Mg	Zn	Fe	Mn	Cu	Pb	Cd	Ni
lignikolne	12872,76 ^B	1444,36 ^A	29,07 ^B	176,00 ^A	21,25 ^A	14,79 ^B	89,49 ^A	3,21 ^A	20,31 ^A
mikorizne	46417,99 ^A	1279,65 ^A	70,95 ^A	268,35 ^A	34,28 ^A	28,22 ^B	88,13 ^B	4,01 ^A	22,49 ^A
ter. sap.	50188,42 ^A	1569,80 ^A	75,78 ^A	97,89 ^A	33,76 ^A	71,06 ^A	137,37 ^B	4,46 ^A	20,04 ^A

Brojevi - srednje vrednosti sadržaja metala u okviru grupe; Slova – stepeni značajnosti prema Tukey testu za nivo značajnosti p<0,05

Nešto drugačija slika u odnosu na sam sadržaj metala kod predstavnika funkcionalnih grupa dobija se na osnovu izračunatih TF (Prilog 4, Grafikon 32). Zanimljivo je da su, uprkos niskim koncentracijama K u drvnom supstratu (25,12 - 225,36 mg kg⁻¹), kod lignikolnih vrsta dobijene izuzetno visoke vrednosti TF_d (5,53 – 96,17), što kazuje da lignikolne gljive iz mrtvog drveta izvlače većinu dostupnog kalijuma, u skladu sa svojim potrebama.

Prema dobijenim TF (Prilog 4, Grafikon 32), zaključuje se da nijedna funkcionalna grupa ne akumulira **Fe** i **Mn** (TF < 1), dok su se u slučaju **K** i **Zn** lignikolne vrste pokazale kao bolji akumulatori u odnosu na grupe mikoriznih i saprotrofnih terikola (TF_d > TF_z).

Najveći sadržaj **Cu** (viši u odnosu na sve ispitivane mikorizne i lignikolne vrste) je detektovan kod terikolnih saprotrofa – *C. nebularis* (P2) i *C. rhacodes* (P3), što nije u skladu sa dobijenim TF: TF_z (CN-2₁M) = 3,20; TF_z (CR-3₁M) = 0,41. U smislu akumulacije Cu, u prednosti su lignikolne gljive čiji su TF_d bili iznad 1 (1,61 – 2,93).

Na osnovu dobijenih vrednosti TF, većina analiziranih makrogljiva ne akumulira Ni i Pb. Izuzetak je nekoliko lignikolnih predstavnika (Grafikon 3), koje su imale visoke vrednosti TF (3,22 – 4,27). U slučaju Mg, svi lignikolni predstavnici su ukazali na akumulaciju (TF_d: 4,01 - 48,74), dok su kod obe terikolne grupe (mikorizne i saprotrofi) TF bili niski (TF_z < 0,57). Prema vrednostima TF, sve tri funkcionalne grupe podjednako akumuliraju Cd.

Uočene razlike u koncentracijama metala među različitim funkcionalnim grupama su donekle u saglasnosti sa rezultatima poljske studije (Mleczeck *i sar.*, 2016) u kojoj je urađeno

poređenje usvajanja različitih teških metala među grupama lignikolnih i terikolnih makrogljiva (po 10 vrsta iz obe grupe). U pomenutoj studiji su terikolne vrste pokazale značajno veće srednje vrednosti sledećih elemenata: Ag, Al, As, B, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Se i Zn. Ovo odstupa od naših nalaza u slučaju Ni i Pb ukoliko se posmatraju samo sv, međutim poklapa se to da oba elementa slabo variraju između i unutar posmatranih grupa, pri čemu je akumulacija Ni značajno viša zahvaljujući višim detektovanim vrednostima kod dva mikorizna predstavnika a akumulacija Pb zahvaljujući znatno većim vrednostima detektovanim kod jednog terikolnog predstavnika. U pomenutoj studiji rađenoj u Poljskoj među analiziranim funkcionalnim grupama nisu utvrđene statistički značajne razlike u sadržaju Bi, **Cd**, Ga, Ge, In, Li, **Mn**, Re, Sb, Te, i Tl, što je u saglasnosti sa našim rezultatima u slučaju Cd i Mn.

Ranijim istraživanjima utvrđeno je da lignikolne vrste pokazuju, generalno, manji sadržaj teških metala u odnosu na terikolnu grupu makrogljiva (Mutsch *i sar.*, 1979, Tyler, 1982, Baldrian *i sar.* 1999). Za terikolne gljive, mikorizne i saprotrofne, zemljište predstavlja glavni izvor metala. Životni vek većine plodnih tela terikolnih, i pojedinih lignikolnih gljiva, je samo 10-14 dana. Stoga je u ovakvim kratkotrajnim plodnim telima zanemarljiv sadržaj metala koji potiče od atmosferskog taloženja (Mleczek *i sar.*, 2016).

Nasuprot terikolnim vrstama, kod lignikolnih makrogljiva, čija je micelija kompletno ili većim delom lokalizovana u drvetu, translokacija metala iz zemljišta u plodna tela je ograničena, pa je direktni izvor teških metala za gljivu drveni supstrat (Gast *i sar.*, 1988). Sadržaj teških metala u drvenastim biljkama opada u smeru: zemljište > korenje > stablo (Salt *i sar.*, 1995). S obzirom na to da je koncentracija teških metala u drvnom supstratu niska (Baldrian, 2003), smatra se da je glavni izvor ovih elemenata u plodnim telima lignikolnih gljiva depozicija iz atmosfere, najčešće u vidu čestica prašine (Gast *i sar.*, 1988). Međutim to je tačno samo za lignikolne vrste koje obrazuju dugotrajna, višegodišnja ili višemesečna plodna tela. Stoga, upravo lignikolne makrogljive imaju značaj u monitoringu atmosferskih zagađenja (Gabriel *i sar.*, 1997). Glavni izvori atmosferskog zagađenja toksičnim metalima su izduvni gasovi motornih vozila, rudarstvo, spaljivanje uglja i nafte i industrijskih postrojenja (u najvećoj meri topionice).

5.6.5. Rizici upotrebe jestivih i lekovitih makrogljiva sa aspekta akumulacije teških metala

Među ispitivanim teškim metalima, Cd i Pb predstavljaju neesencijalne elemente, koji nisu neophodni živim organizmima i koji su toksični kako za gljive tako i za životinje i ljude,

dok Cu, Mn, Fe, Zn, Ni i Cr pripdaju grupi esencijalnih elemenata neophodnih za normalan arst i razvoj i funkcionisanje organizama, koji u suvišku mogu imati toksične efekte. Izuzetno važni podaci o visokim sadržajima metala (najpre onih toksičnih) u divljim makrogljivama odnose se na jestive vrste, čiju bi upotrebu u tom kontekstu trebalo izbegavati, posebno sa staništa koja su izložena različitim zagađivačima.

Utvrđene koncentracije Pb u gljivama ($0,2 - 180,45 \text{ mg kg}^{-1}$) su zabrinjavajuće sa stanovišta njihove upotrebe u ishrani, s obzirom da u velikom broju slučajeva prevazilaze srednju letalnu dozu (76.6 mg kg^{-1} telesne težine), granični nivo od $0,10 \text{ mg kg}^{-1}$, propisan Uredbom Komisije Evropske Unije o maksimalnim dozvoljenim koncentracijama kontaminanata u hrani (Commission Regulation (EC) No 1881/2006) i maksimalne dozvoljene koncentracije Pb u suvim gljivama (5 mg kg^{-1}), propisane legislativom R. Srbije („Sl. glasnik RS“, br.25/2010 i br. 28/2011). Limit Evropske Unije ustanovljen za gajene pečurke iznosi 3 mg Pb/kg suve mase gljive (Commission Regulation (EC) No 629/2008). Olovo se akumulira u kostima, jetri i bubrezima (Mihaljev i sar., 2014), a trovanje ovim teškim metalom ima ozbiljne posledice na rad mozga i nervnog sistema (Petrović i sar., 2015; Dimitrijević i sar., 2014).

Utvrđeni sadržaji Cd u makrogljivama ($2,90 - 7,28 \text{ mg kg}^{-1}$), prevazilaze granični nivo od $0,05 - 0,10 \text{ mg kg}^{-1}$, propisan Uredbom Komisije Evropske Unije o maksimalnim dozvoljenim nivoima kontaminanata u hrani (Commission Regulation (EC) No 1881/2006) i maksimalne dozvoljene količine Cd u suvim gljivama (3 mg kg^{-1}), propisane legislativom R. Srbije („Sl. glasnik RS“, br.25/2010 i br. 28/2011). S obzirom na ovakve koncentracije Cd, konzumacija gljiva iz prirode predstavlja rizik, posebno u slučaju kada se skupljaju u blizini izvora zagađenja. Takođe sadržaji Cd u analizirnim gljivama su blizu ili prevazilaze toksične doze za čoveka: $3,7 - 4 \text{ mg kg}^{-1}$ telesne mase (Bowen, 1966). Sisari ne poseduju efikasne mehanizme za eliminaciju kadmijuma unetog u organizam putem hrane, pića ili udisanjem, pa se tokom vremena taloži u jetri i bubrezima (Gough i sar., 1979). Kadmijum utiče negativno na srčani rad, na deformaciju kostiju, dovodi do razaranja tkiva, a deluje i kancerogeno (Petrović i sar., 2015; Dimitrijević i sar., 2014).

Toksičnost Cu je kod sisara, u poređenju sa drugim životinjama, od malog značaja zbog postojanja ćelijskih barijera za apsorpciju bakra (Gough i sar., 1979). Koncentracije bakra izmerene u analiziranim makrogljivama ne predstavljaju opasnost u slučaju upotrebe u ishrani, s obzirom na to da se toksične doze bakra za prosečnog čoveka kreću od 330 do 670 mg kg^{-1} (Bowen, 1966).

Cink je relativno netoksičan za sisare, koji pokazuju značajnu toleranciju visokih unosa Zn. Kod ljudi nije opisan nijedan poremećaj povezan sa metabolizmom Zn. Smatra se da

letalne doze za čoveka iznose od 50 do 500 mg kg⁻¹ (Thomas, 1973), međutim zabeleženo je da 1 g cinkovih soli unetih ingestijom, dovode do povraćanja, a samim tim i isključenje intoksikacije (Gough *i sar.*, 1979). Deo analiziranih makrogljiva pokazao je sadržaj Zn koji može biti potencijalno opasan.

Toksičnost nikla za sisare je veoma niska. Iako koncentracije Ni u hrani mogu biti relativno visoke, sisari poseduju mehanizam koji smanjuje njegovu apsorpciju u crevima (Gough *i sar.*, 1979). Jedina organska forma Ni koja je prepoznata kao potencijalno toksična za ljude je nikel karbonil, koji se koristi u preradi nikla i industriji petroleja i najtoksičniji je ako se udiše (Blomberg *i sar.*, 1977).

Mangan se prirodno javlja u dvovalentnoj formi (Mn⁺²) koja ima nizak nivo toksičnosti za žive organizme, posebno za kičmenjake (Gough *i sar.*, 1979).

5.6.6. Uporedni pregled makrogljiva na osnovu sadržaja polutanata i njihov potencijal u bioindikaciji zagađenja životne sredine

Na osnovu pregleda sadržaja svakog pojedinačnog metala među analiziranim makrogljivama, uočeno je da on u većini slučajeva zavisi od karakteristika samih vrsta (specijes specifičnost; posebno u slučaju Fe, Mn, Pb, Cu, Ni, Cd, Cr). Različiti afiniteti vrsta prema pojedinim metalima potvrđeni su i u dosadašnjim literaturnim izvorima (Michelot *i sar.*, 1998; Širić, 2017). Međutim, u smislu monitoringa životne sredine, unos teških metala može se smatrati specifičnim za rod ili vrstu samo ako su uspostavljene i praćene standardne procedure, kao što su procena nivoa kontaminacije, pH supstrata, rast gljiva, itd. (Michelot *i sar.*, 1998). Sa druge strane, ukoliko je usvajanje i akumuliranje metala od strane makrogljiva specijes specifično, teško je utvrditi njihovu ulogu u proceni zagađenja životne sredine. Pojedini autori ističu da su gljive loši bioindikator u slučaju metala čije koncentracije u plodnim telima zavise prvenstveno od vrste makrogljiva (Seeger, 1982).

U slučaju procene zagađenja teškim metalima koje makrogljive akumuliraju, bioindikatorske vrste gljiva bi trebalo tražiti na osnovu porasta sadržaja metala u plodnim telima, tj. porasta TF, proporcionalno sa porastom koncentracije metala u životnoj sredini. S obzirom na to da su ispitivane makrogljive akumulirale Cu i Cd uprkos činjenici da ustanovljeni sadržaji u plodnim telima odgovaraju literaturnim podacima za sadržaje ovih elemenata u gljivama nezagađenih područja (Michelot *i sar.*, 1998; Kalač *i sar.*, 1991), kao i da je ustanovljena specijes specifična zavisnost njihovog usvajanja, zaključuje se da makrogljive nisu dobri bioindikator zagađenja bakrom i kadmijumom. Među akumuliranim teškim metalima, Zn je jedini čiji sadržaj u PT makrogljiva pokazuje određenu pravilnost, ali

u zavisnosti od tipa plodnog tela i tipa supstrata. S obzirom da je sadržaj Fe, Mn, Cr, Pb i Ni u makrogljivama varirao od vrste do vrste, bez obzira na nivo ovih elemenata u analiziranim šumskim staništima one se nisu pokazale kao dobri bioindikatori. U slučaju teških metala koje gljive ne akumuliraju (na osnovu TF), potencijalne bioindikatorske vrste potrebno je prepoznati na osnovu njihovog prisustva (tolerancija zagađenja) ili odsustva (osetljivost na zagađenja) na posmatranom staništu, kao rezultat dugoročnih, detaljnih istraživanja na odabranim staništima.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu specifičnih ciljeva ove doktorske disertacije izvedeni su sledeći zaključci:

- Tokom trogodišnjeg (2011 – 2013.) mikocenološkog istraživanja, utvrđeno je ukupno 245 taksona, pripadnika razdela Basidiomycota (227, 93%) i Ascomycota (18, 7%), koji su razvrstani u okviru 100 rodova, 53 familije, 16 redova i 5 klasa.
- Rezultati ove doktorske disertacije dali su 6 novih vrsta u odnosu na postojeću listu gljiva Kopaonika i 21 novu vrstu u odnosu na postojeću listu gljiva Tare. Za Vidlič, sve registrovane vrste predstavljaju prve nalaze s obzirom da za ovu planinu ne postoje literaturni podaci o diverzitetu makrogljiva.
- Sledeće vrste istakle su se sa izrazito visokom frekvencom pojavljivanja (prisutne više puta tokom sve tri istraživačke godine): *Cerioporus varius*, *Mycetinis alliaceus*, *Ganoderma applanatum*, *Hymenopellis radicata*, *Fomitopsis pinicola*, *Mycena pura*, *Hypholoma fasciculare*, dok su se kao vrste sa najvećom prostornom distribucijom (prisutne na svim istraživanim lokalitetima) istakle: *Bjerkandera adusta*, *Calocera viscosa*, *Cantharellus cibarius*, *Cerioporus varius*, *Gymnopus androsaceus*, *Gymnopus dryophilus*, *Hymenopellis radicata*, *Lycoperdon perlatum*, *Mycena sanguinolenta*, *Pluteus cervinus*, *Hypholoma fasciculare*, *Mycena galericulata* i *Mycena pura*.
- Među registrovanim vrstama, posebno se ističu one na listi zaštićenih i strogo zaštićenih vrsta Srbije su: *Cantharellus cibarius* – (P2, P3, P4, P5), *Hydnum repandum* (P2, P5), *Russula cyanoxantha* (P1, P4, P5), *Boletus edulis* (P5), *Hericium coralloides* (P5), *Strobilomyces strobilaceus* (P), kao i 34 vrste koje se nalaze na različitim nacionalnim Crvenim listama gljiva evropskih zemalja.
- Između brojnosti makrogljiva istraživanih šumskih staništa i analiziranih stanišnih faktora (sastava drvenastih vrsta i njihove starosti, nadmorske visine i nagiba terena) nije utvrđena statistički značajna razlika, što upućuje na zaključak da brojnost makrogljiva u većoj meri zavisi od antropogenog uticaja kojem su izložene različite sastojine (izmena sastava samih šumskih zajednica, šumski požari, izgradnja infrastrukture, korišćenje prirodnih resursa).
- Identifikovane vrste gljiva grupisane su u okviru tri funkcionalne grupe: lignikolne (104 vrste, 43 %), mikorizne (79 vrsta, 32 %) i terikolni saprotrofi (62 vrsta, 25 %).
- Korespondentnom analizom sastava vrsta u okviru funkcionalnih grupa i njihove distribucije, utvrđeno je sledeće: u okviru mikoriznih i lignikolnih grupa dominiraju vrste koje se javljaju samo u okviru jednog ispitivanog šumskog staništa, dok su terikolne makrogljive, s obzirom da nisu specifično vezane za određene biljne partnere/domaćine, imale najširu distribuciju u okviru različitih šumskih staništa.
- Mikocenoze sastojina na Tari (P4, P5) se ističu u odnosu na ostale: po brojnosti zabeleženih vrsta makrogljiva (289 nalaza i od toga 190 identifikovanih taksona), po zastupljenosti jedinstvenih vrsta (prisutnih samo na lokalitetu Mitrovac), po najvećem broju mikoriznih vrsta (30 vrsta na P4 i 21 vrsta na P5), kao i po broju posebno značajnih, retkih i zaštićenih vrsta (24), što nam ukazuje da se radi o diverzitetki vrednim i još uvek dobro očuvanim šumskim staništima.

- Mikocenoza staništa autohtone bukve na Vidliču (P1 – III stepen zaštite) po diverzitetu makrogljiva sledi staništa na Tari (101 nalaz, 53 vrste) i po diverzitetu je ispred prirodne sastojine smrče i bukve na Kopaoniku (P3 – I stepen zaštite, 91 nalaz).
- Mikocenoza alohtone sastojine duglazije na Vidliču (P2) se odlikuje najmanjim mikodiverzitetom (64 nalaza, 48 taksona) i najmanjim brojem lignikolnih vrsta (16) što se dovodi u vezu sa nedovoljnom prilagođenošću autohtonih lignikolnih makrogljiva na novi supstrat u vidu ove alohtone četinarske vrste (lat. *Pseudotsuga menziesii*).
- Dobijeni rezultati o bogatstvu i sastavu vrsta različitih mikocenoza, ukazuju na to da diverzitet makrogljiva oslikava stanje samog staništa i da dugoročnim monitoringom mogu ukazati na promene u njemu.
- Ispitivani abiotički faktori (prosečne mesečne padavine – P, vlažnost vazduha – VV, vlažnost zemljišta – VZ, temperatura vazduha - T) uticali su na brojnost i sastav vrsta u okviru mikocenoza istraživanih staništa, pri čemu su:
 - ukupna brojnost identifikovanih vrsta i broj lignikolnih vrsta u najvećoj meri zavisile od VV i VZ; brojnost mikoriznih vrsta zavisila je skoro u potpunosti od P, dok je na brojnost terikolnih saprotrofa najviše uticala VZ,
 - na sastav mikoriznih vrsta u okviru istraživanih mikocenoza u najvećoj meri su uticale P, a u manjoj meri VZ i VV, dok su na sastav lignikolnih vrsta najveći uticaj imali VV i T. Sastav terikolnih vrsta na istraživanim staništima nije zavisio od ispitivanih abiotičkih faktora.
- Istraživanjem ove teze je generisana ukupno 41 sekvenca ITS regiona rDNK iz osam vrsta makrogljiva prisutnih u okviru više različitih šumskih staništa (*Cerioporus varius*, *Fomitopsis pinicola*, *Ganoderma applanatum*, *Hymenopellis radicata*, *Mycena pelianthina*, *Mycena pura*, *Mycetinis alliaceus*, *Phallus impudicus*), koje predstavljaju prve podatke za teritoriju Srbije (osim u slučaju vrsta *F. pinicola* i *M. alliaceus*).
- Filogenetske analize odabranih vrsta podržavaju trenutno prihvaćeno grupisanje u okviru odgovarajućih rodova, vrsta i sekcija na osnovu makro- i mikromorfoloških karaktera i potvrđuju zajedničko poreklo sa drugim analiziranim evropskim sekvencama.
- Na osnovu analize polimorfizama unutar ITS regiona, vrste sa najvećom intraspecijskom varijabilnošću su *P. impudicus* (17% ukupnih varijacija u ITS regionu) i *H. radicata* (14% ukupnih varijacija u ITS regionu), dok su se kao najmanje varijabilne pokazale vrste *M. alliaceus* (2%) i *M. pelianthina* (4%).
- S obzirom da intraspecijska varijabilnost i analizirani polimorfizmi ITS regiona nisu za sve analizirane taksone dali dovoljno informacija o razlikama među uzorcima iste vrste sa različitih lokaliteta, predlažu se dalja istraživanja koja bi uključila analizu i drugih informativnih regiona DNK (TEF1, RPB1, RPB2, LSU, EF), kao i uključivanje drugih molekularnih metoda (RFLP, RAPD, AFLP, ISSR).
- Sadržaj radionuklida u plodnim telima makrogljiva opadao je u sledećem nizu: $^{40}\text{K} > ^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra}$, pri čemu je među različitim funkcionalnim grupama makrogljiva afinitet prema usvajanju radionuklida rastao sledećim redosledom: terikolni saprotrofi < lignikolne < mikorizne vrste.

- Među analiziranim makrogljivama, po visokim koncentracijama aktivnosti ^{137}Cs i sposobnostima akumulacije, istakle su se sledeće vrste: *H.repandum* (10 240 Bq/kg, TF = 73,40), *S. imbricatus* (1 008 Bq/kg, TF = 7,23), *T. pessundatum* (787 Bq/kg, TF = 11,42), *H. coralloides* (735 Bq/kg, 5,45). Ovo je posebno važno, uzimajući u obzir nutritivna i medicinska svojstva navedenih vrsta makrogljiva.
- Vrsta *P. cervinus* (P5) istakla se kao najbolji akumulator ^{40}K (3 020 Bq/kg, TF = 12,38); po visokim koncentracijama aktivnosti i sposobnosti usvajanja ^{226}Ra izdvojile su se: *G.cyanescens* (45 Bq/kg, $\text{TF}_z = 1,56$), *G.applanatum* (39 Bq/kg, $\text{TF}_d = 7,96$), *C.varius* (33 Bq/kg, $\text{TF}_d = 2,75$), *T. gibbosa* (25 Bq/kg, $\text{TF}_d = 2,60$) i *F. pinicola* (22 Bq/kg), dok su se u slučaju sadržaja i sposobnosti akumulacije ^{232}Th istakle: *C.varius* (70 Bq/kg i 48 Bq/kg), *H.repandum* (33 Bq/kg, $\text{TF}_z = 1,20$), *C.nebularis* (32 Bq/kg), *G. applanatum* (TF_d : 2,09 – 6,67) i *H. fasciculare* ($\text{TF}_d = 2,14$).
- Genetske predispozicije vrsta (*species* specifičnost) su pokazale veći uticaj na unos radionuklida u odnosu na uticaj lokaliteta uzorkovanja i trofičkog režima analiziranih gljiva. Takođe je utvrđeno da tip plodnog tela (mesnatno-efemerno/čvrsto-višegodišnje), najverovatnije zbog različite brzine metabolizma, ima veoma važnu ulogu u akumulaciji radionuklida. Makrogljive sa mesnatim sporokarpima su imale veću koncentraciju aktivnosti ispitivanih radionuklida.
- Sadržaj metala u gljivama opadao je sledećim redosledom: K (32 690,57 mg kg⁻¹) > Mg (1379,54 mg kg⁻¹) > Fe (211,52 mg kg⁻¹) > Pb (93,89 mg kg⁻¹) > Zn (53,83 mg kg⁻¹) > Mn (28,74 mg kg⁻¹) > Cu (27,08 mg kg⁻¹) > Ni (21,32 mg kg⁻¹) > Cd (3,72 mg kg⁻¹), dok su na osnovu vrednosti TF, makrogljive pokazale akumulaciju samo 5 metala (K > Mg > Cu > Zn > Cd).
- Sadržaj metala u sporokarpima makrogljiva varirao je među različitim metalima tj. specifično za svaki metal, interspecijski (među različitim vrstama), intraspecijski (unutar vrste), među različitim funkcionalnim grupama gljiva.
- Na sadržaj K u analiziranim makrogljivama uticao je tip plodnog tela (makrogljive sa mekim plodnim telima imale su znatno više koncentracije ovog metala), na sadržaj Zn uticao je tip plodnog tela i tip supstrata, dok su u slučaju ostalih metala najveći uticaj imale genetske predispozicije vrsta (*species* specifičnost).
- Utvrđeno je da sadržaj K, Zn, Cu i Pb statistički značajno varira među funkcionalnim grupama makrogljiva (mikorizne i terikolne gljive - veći sadržaj K i Zn, terikolne - prednjače po sadržaju Cu, lignikolna grupa - značajno veći sadržaj Pb), dok u sadržaju ostalih elemenata (Mg, Fe, Mn, Cd i Ni) nije utvrđena statistički značajna razlika među analiziranim funkcionalnim grupama.
- Po visokim koncentracijama utvrđenim u plodnim telima i sposobnosti akumulacije teških metala, posebno su se istakle vrste: *Ceriporus varius* – Pb (TF: 3,79 – 4,27), *Ramaria flava* - Cd (TF = 2,94), Ni (33,09 mg kg⁻¹), *Clitocybe nebularis* - Pb (180,45 mg kg⁻¹, TF = 1,83), Cu (76,95 mg kg⁻¹, TF = 3,20), Cd (TF = 2,28), *Tricholoma pessundatum* - Cd (7,28 mg kg⁻¹, TF = 1,51), *Lactarius volemus* - Cd (4,09 mg kg⁻¹, TF = 1,64), *Hydnum repandum* – Pb (102,49 mg kg⁻¹), *G. applanatum* – Pb (113,24 mg kg⁻¹).
- Rezultati teze ukazuju na izuzetnu sposobnost gljiva u akumulaciji radionuklida i teških metala, kao i da sporokarpi jestivih i medicinskih makrogljiva istraživanih šumskih staništa mogu sadržati koncentracije polutanata iznad vrednosti dozvoljenih za gljive koje

se koriste u ishrani, usled čega se preporučuje oprez u slučaju njihove upotrebe i izbegavanje vrsta za koje su potvrđeni visoki sadržaji polutanata i velika sposobnost akumulacije.

- Dobijeni rezultati o bogatstvu i sastavu vrsta različitih mikocenoza, ukazuju na to da diverzitet makrogljiva oslikava stanje samog staništa i da dugoročnim monitoringom mogu ukazati na promene u njemu.
- Na osnovu rezultata ispitivanja mikodiverziteta zaključuje se da su se staništa na Vidliču dobro oporavila od posledica poslednjeg velikog požara, pri čemu je mikocenoza zajednice autohtone bukve (P1) po broju i sastavu vrsta vitalnija u odnosu na mikocenozu zajednice alohtone duglazije (P2). Uprkos drastičnoj promeni biotopa (zamene autohtone drvene vrste alohtonom) na području druge eksperimentalne površine (P2) se ipak zadržao značajan broj makrogljiva karakterističan za mikocenozu autohtonog bukovog staništa, te bi ovo stanište trebalo dugoročno pratiti kako bi se utvrdilo da li doloazi do pada broja vrsta, promena u funkcionalnom sastavu i eventualne pojave vrsta koje su povezane sa duglazijom kao partnerom/domaćinom. Rezultati o prisustvu metala i radionuklida.
- Mikocenoza, kao i sama zajednica smrče i bukve na Kopaoniku, su pokazale umerene vrednosti analiziranih parametara (brojnost vrsta, zastupljenost jedinstvenih vrsta, zaastupljenost različitih funkcionalnih grupa, abiotički faktori, stanišni uslovi – osim nadmorske visine i nagiba terena), što ukazuje na uravnoteženo i dobro očuvano šumsko stanište.
- Sa stanovišta mikodiverziteta, sastojine smrče, jele i bukve na lokalitetu Mitrovac (Tara) predstavljaju najvrednija šumska staništa, na kojima su očuvani stanišni i abiotički uslovi koji pogoduju razvoju raznovrsnih predstavnika svih analiziranih funkcionalnih grupa.
- Nasuprot pozitivnoj slici na koju ukazuje mikodiverzitet, zabrinjavaju rezultati koji se odnose na zagađenje teškim metalima i radionuklidima, s obzirom da su uzorci zemljišta i makrogljiva sa lokaliteta na Kopaoniku a zatim i Tari koja predstavljaju posećena rekreativno-turistička mesta, pokazali vrlo visoke sadržaje ispitivanih elemenata i radionuklida, usled čega se preporučuje oprez u slučaju sakupljanja jestivih i lekovitih šumskih proizvoda sa širerg područja Metođa i Mitrovca.

7. LITERATURA

1. Abrego, N., Halume, P., Purhonen, J., Ovaskainen, O. (2016): Fruit body based inventories in wood-inhabiting fungi: Should we replicate in space or time? *Fungal Ecology*, 20:225-232.
2. Adamcik, S., Christensen, M., Heeilmann-Causen, J., Walley, R. (2007): Fungal diversity in the Poloniny National Park with emphasis on indicator species of conservation value of beech forests in Europe. *Czech. Mycol.* 59(1): 67-81.
3. Adrovic, F., Kosanovic, K., Jakupi, B., Krstic, G., Filipovic, R. (2008): Survey of natural and artificial radionuclide contents in soil samples from some areas of the AP Kosovo (Serbia). Buenos Aires (Argentina), IRPA 12: 12. International congress of the International Radiation Protection Association (IRPA): Strengthening radiation protection worldwide, Buenos Aires (Argentina), 19-24 Oct 2008. 5 p.
4. Ajmone-Marsan, F., Biasioli, M., Kralj, T., Grcman, H., Davidson, C.M., Hursthouse, A.S., *i sar.* (2008): Metals in particle-size fractions of the soils of five European cities. *Environmental Pollution*, 152: 73–81.
5. Anđelković, M. (1980): *Geologija Jugoslavije*. Beograd: Naučna knjiga.
6. Andersson, H. (1995): Untersuchungen zur Pilzflora von *Fagus sylvatica*-Stubben. *Z. Mykol.* 61: 233-244.
7. Arnolds, E. (1988): The changing macromycete flora in the Netherlands. *Trans Br Mycol Soc*, 90:391-406.
8. Arnolds, E. (1992): The analysis and classification of fungal communities with special reference to macrofungi. In Winterhoff, W. (ed.), *Fungi in vegetation science. Handbook of vegetation science*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 7-470.
9. Arnolds, E. (2001): The future of fungi in Europe: threats, conservation and management. In
10. Arnolds, E., (1981): *Ecology and Coenology of Macrofungi in Grasslands and Moist Heathlands in Drenthe, The Netherlands*, Vol. I. *Bibliotheca Mycol.* 83. J. Cramer, Vaduz, 407 pp.
11. Assyov, B (2017): *Boletales – Genera & Species*. Retrieved from the Boletales.Com, Web site: <https://boletales.com/>
12. Assyov, B. (2019): Boletales.com. Web sajt: <https://boletales.com>
13. Avis, P. G., Dickie, I. A., Mueller, G. M. (2006): A ‘dirty’ business : testing the limitations of terminal restriction fragment length polymorphism (TRFLP) analysis of soil fungi. *Molecular Ecology*, 15: 873-882.
14. Baeza, A., Guillen, J. (2006): Influence of the soil bioavailability of radionuclides on the transfer of uranium and thorium to mushrooms. *Applied Radiation and Isotopes*, 64:1020–1026.
15. Baeza, A., Hernandez, S., Guillen, J., Moreno, G., Manjon, H.L., Pascual, R. (2004): Radiocaesium and natural gamma emitters in mushrooms collected in Spain. *Science of Total Environment*, 318:59–71.
16. Bahram, M., Pölme, S., Kõljalg, U. (2012): Regional and local patterns of ectomycorrhizal fungal diversity and community structure along an altitudinal gradient in the Hyrcanian forests of northern Iran. *New Phytologist*, 193: 465–473.
17. Baker, A.J.M. (1981): Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3: 643–654.
18. Baldauf, S.L., Palmer, J.D. (1993): Animals and fungi are each others closest relatives-congruent evidence from multiple proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90, 24, 11558-11562.
19. Baldrian, P. (2003): Interactions of heavy metals with white-rot fungi. *Enzyme and Microbial Technology*, 32:78-91.
20. Banković, S., Medarević, M., Pantić, D., Petrović, N. (2009): *The National Forest Inventory of the Republic of Serbia*. Belgrade, RS. 237.
21. Barron, G.L. (2004): Fungal parasites and predators of rotifers, nematodes, and other invertebrates. In *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods*, Mueller, G.M., Bills, G.F., Foster, M.S., Eds. New York, Academic Press, pp. 431–446.
22. Bässler, C., Müller, J., Dziock, F., Brandl, R. (2010): Effects of resource availability and climate on the diversity of wood-decaying fungi. *Journal of Ecology*, 98(4): 822–832.
23. Bauer Petrovska, B., Bogdanovska, F. (1999): Radioactivity in Macedonian edible mushrooms. In *Monography of the Eco Conference of the environmental protection in cities and suburbs*, Novi Sad, 417–420.
24. Bazala, M.A., Golda, K., Bystrzejewska-Piotrowska, G. (2008): Transport of radiocesium in mycelium and its translocation to fruit bodies of a saprophytic macromycete. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99:1200–1202.
25. Belmaker, J., Jetz, W. (2011): Cross-scale variation in species richness-environment associations. *Glob Ecol Biogeogr*, 20(3): 464–474.
26. Bengtsson, J., Nilsson, S.G., Franc, A., Menozzi, P. (2000): Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of European forests. *For Ecol Manage*, 132(1): 39–50.
27. Berbee, M.L., Taylor J.W. (2000): Fungal molecular evolution: gene trees and geologic time. In: McLaughlin, DJ, McLaughlin, EG, Lemke, PA, editors. *The Mycota VII. Part B. Systematics and Evolution*. Berlin: Springer-Verlag; pp. 229-245.

28. Bernicchia, A. (2005): Polyporaceae s.l. Fungi Europaei. – Alassio (SV).
29. Bernicchia, A., Savino, E., Gorjon, S.P. (2007a): Aphyllophoraceous wood-inhabiting fungi on *Abies alba* in Italy. *Mycotaxon*, 100: 185-188.
30. Bernicchia, A., Venturella, G., Saitta, A., Gorjon, S.P. (2007b): Aphyllophoraceous wood-inhabiting fungi on *Fagus sylvatica* in Italy. *Mycotaxon*, 101: 229-232.
31. Bikit, I., Mrđa, D., Todorovic, N., Nikolov, J., Krmar, M., Veskovc, M., Slivka, J., Hansman, J., Forkapic, S., Jovancevic, N. (2012): Airborne radioiodine in northern Serbia from Fukushima. *Journal of Environmental Radioactivity*, 114:89-93.
32. Binder, M., D. S. Hibbett, K. Larsson, E. Larsson, E. Langer, i G. Langer (2005) The phylogenetic distribution of resupinate forms across the major clades of mushroom-forming fungi (Homobasidiomycetes). *Syst. Biodivers.*, 3(2): 113-157.
33. Binder, M., A. Justo, R. Riley, A. Salamov, F. Lopez-Giraldez, E. Sjökvist, A. Copeland, B. Foster, H. Sun, E. Larsson, K.-H. Larsson, J. Townsend, I. V. Grigoriev, D. S. Hibbett (2013): Phylogenetic and phylogenomic overview of the Polyporales. *Mycologia*, 105(6): 1350-1373.
34. Bjorbækmo MFM, Carlsen T, Brysting A, Vra^o Istad T, Høiland K, et al. (2010) High diversity of root associated fungi in both alpine and arctic Dryas octopetala. *BMC Plant Biol* 10: 244.
35. Bjorbækmo, M.F.M., Carlsen, T., Brysting, A., Vra^o Istad, T., Høiland, K., i sar. (2010): High diversity of root associated fungi in both alpine and arctic Dryas octopetala. *BMC Plant Biol*, 10: 244.
36. Blomberg, M., Hellsten, E., Henriksson-Enflo, A., Sundbom, M., Vokal, H. (1977): Nickel: Univ. of Stockholm Institute of Physics Rept. 77-07, 52 p.
37. Boddy, L. (2001): Fungal community ecology and wood decomposition processes in angiosperms: from standing tree to complete decay of coarse woody debris. *Ecological Bulletins*. 49, 43-56.
38. Boddy, L., Buntgen, U., Egli, S., Gange, A., Heegaard, E., Kirk, P., Mohammad, A., Kauserud, H. (2013): Climate variation effects on fungal fruiting. *Fungal Ecology*, 30:1-14.
39. Bon, M. (1988): Pareys Buch der Pilze. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
40. Borio, R.S., Chiocchini, R., Cicioni, P.D., Esposti, A., Rongoni, P., Sabatini, P., Scampoli, A., Antonini, P., Salvadori (1991): Uptake of radiocesium by mushrooms. *Science of the Total Environment*, 106:183-190.
41. Bowen, H. J. M., (1966): Trace elements in biochemistry: New York, Academic Press, 241 p.
42. Branco, S. (2011): Fungal Diversity – An Overview. *Dyn. Process. Biodivers. - Case Stud. Evol. Spat. Distrib.*
43. Bravo-Oviedo *i sar.* (2014): European mixed forests: definition and research perspectives. *Forest Systems*, 23(3):518-533.
44. Bridge, P., Spooner, B., Roberts, P. (2005): The impact of molecular data in fungal systematics. *Adv Bot Res*, 42:33-67.
45. Bruns, T.D., Vilgalys, R., Barns, S.M., Gonzalez, D., Hibbett, D., S, Lane, D.J., Simon, L., Stickel, S., Szaro, T.M., Weisburg, W.G., Sogin, M.L., 1992. Evolutionary relationships within the fungi: analyses of nuclear small subunit rRNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 1, 231-241.
46. Brusatte, S.L., Benton, M.J., Desojo, J.B., Langer, M.C. (2010): The higher-level phylogeny of Archosauria. *J. Syst. Palaeontol.* 8:3-47.
47. Bućinova, K., R. Janik, G. Jamnicka, i M. Kuklova (2014): Accumulation and bioconcentration factors of mineral macronutrients in representative species of macrofungi prevailing in beech-dominated forests affected. *Czech Mycol.*, 66(2): 193-207.
48. Buée, M., Maurice, J.P., Zeller, B., Andrianarisoa, S., Ranger, J., Courtecuisse, R., Marcais, B., Le Tacon, F. (2011): Influence of tree species on richness and diversity of epigeous fungal communities in a French temperate forest stand. *Fungal Ecology*, 4:22-31.
49. Callan, B., Carris, L.M. (2004): Fungi on living plant substrata, including fruits. In *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods*, Mueller, G.M., Bills, G.F., Foster, M.S., Eds. New York, Academic Press, pp. 101-122.
50. Calmon, P., Thiry, Y., Zibold, G., Rantavaara, A., Fesenko, S. (2009): Transfer parameter values in temperate forest ecosystems: a review. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100(9): 757-766.
51. Čapelja, E., Stević, N., Galović, V., Novaković, M., Karaman, M. (2014): Molecular determination of autochthonous fungal species from Serbia, based on analysis of ITS region of rDNA. *Genetika*, 46(1):33-42.
52. Cardinale, B. J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M., Tilman, Wardle, D.A., Kinzig, A.P., Daily, G.C., Lourou, M., Grace, J.B., Laurigarde, A., Srivastava, D.S., Naeem, S. (2012): Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486: 59-67.
53. Cardoso, P., Rigal, F., Borges, P. A. V., Carvalho, J. C. (2014): A new frontier in biodiversity inventory: A proposal for estimators of phylogenetic and functional diversity. *Methods Ecol Evol*, 5(5): 452-461.
54. Carlile, M.J., Watkinson, S.C. & Graham, W.G. (2006): *The Fungi*. Second edition. Amsterdam: Elsevier Academic Press.
55. Cavender-Bares, J., Izzo, A., Robinson, R. (2009): Changes in ectomycorrhizal community structure on two containerized oak hosts across an experimental hydrologic gradient. *Mycorrhiza*, 19: 133-142.
56. Chang, S.T., Miles, P.G. (2004): *Mushrooms: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. CRC Press: Boca Raton, USA.

57. Changizi, V, Angaji, M, Zare, MR, Abbasnejad, K. (2012): Evaluation of ²²⁶Ra, ²³²Th, ¹³⁷Cs and ⁴⁰K “*Agaricus bisporus*” activity in cultivated edible mushroom formed in Tehran Province- Iran. *Iranian Journal of Medical Physics*. 9 (4): 239-244.
58. Chatton, E. (1925): *Pansporella perplexa*. Réflexions sur la biologie et la phylogénie des protozoaires. *Annales des Sciences Naturelles, comprenant la Zoologie*, 10, 7: 1–84.
59. Chen, X., Xia, X., Zhao, Y., Zhang, P. (2010): Heavy metal concentrations in roadside soils and correlation with urban traffic in Beijing, China. *J Hazard Mater*, 181: 640-6.
60. Christensen, M., Heilmann-Causen, J., Walley, R., Adamcik, S. (2004): Wood-inhabiting Fungi as Indicators of Nature Value in European Beech Forests. *Monitoring and Indicators of Forest Biodiversity in Europe – From Ideas to Operationality*. EFI Proceedings No. 51
61. Ćirić, J. (1971): Geografski položaj i granice Pirota i pirotskog regiona. U: Kozić, P. (Urednik), *Pirotski zbornik*, Pirot. 9: 21-31.
62. Ćirić, J. (1989): Geografija gornjeg Ponišavlja i Lužnice. U: Nikolić, P. (Urednik), *Pirotski zbornik*, Pirot. 16: 9-23.
63. Claridge, A.W., Barry, S.C., Cork, S.J., and Trappe, J.M. 2000. Diversity and habitat relationships of hypogeous fungi. II. Factors influencing the occurrence and number of taxa. *Biodivers Conserv*, 9: 175–199.
64. Clemmensen, K.E., Michelsen, A., Jonasson, S. (2006): Increased ectomycorrhizal fungal abundance after long-term fertilization and warming of two arctic tundra ecosystems. *New Phytologist*, 171: 391–404.
65. Clint, G.M., Dighton, J., Rees, S. (1991): Influx of ¹³⁷Cs into hyphae of basidiomycete fungi. *Mycological Research*, 95(9): 1047-1051.
66. Čolić, D. (1953): Staništa Pančićeve omorike na desnoj strani Drine. Beograd.
67. Čolić, D. (1967): Sinecological analyses of the fungal flora in a reserve with Serbian spruce (*Picea omorica*) on Mitrovac, Tara Mountain. *Zaštita prirode*, 34:389-505.
68. Collins, S.L., i T.L. Benning. (1996): Spatial and temporal patterns in functional diversity. “ U *Biodiversity: a biology of numbers and differences*, priredio K.J. Gaston, 253–80. Blackwell, Oxford.
69. Commission Regulation (EC) No 1881/2006 Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, L 364/5
70. Commission Regulation (EC) No 629/2008 of 2 July 2008 amending Regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *DO L 173/6*
71. Copeland, H. (1938): The kingdoms of organisms, *The Quarterly Review of Biology*, 13: 383–420.
72. Courtecuisse, R. (2001): Current trends and perspectives for the global conservation of fungi. In: *Fungal Conservation, Issues and Solutions*. Moore, D., Nauta, M.N., Evans, S.E., Rotheroe, M., (Eds). Cambridge, Cambridge University Press, U.K., pp. 7–18.
73. Courtecuisse, R., Duhem, B. (1995): *Collins field guide – Mushrooms and Toadstools of Britain and Europe*. Harper Collins Publishers, London, 480 pp.
74. Crvena lista gljiva u Sloveniji, *Sl. Glasnik RS*, br. 42/2010 od 28.5.2010. Web sajt: <http://www.gobe.si/Gobe/RdeciSeznam>
75. Curti, P. (2019): A.M.I.N.T. Associazione micologica e botanica. Web sajt: <https://www.funghiitaliani.it>
76. Cvijanović, M., Stanković, M., Matavulj, M., Lolić, S., Pjanić B. (2009): Macrofungi of the Zasavica special nature reserve. *Matica Srpska Proceedings for Natural Sciences*, 116:235-243.
77. Dahlberg, A., Genney, D., Heilmann-Clausen, J. (2010): Developing a comprehensive strategy for fungal conservation. *Fungal Ecology*, 3:50-64.
78. Dahlberg, A., Jonsson, L., Nylund, J. E. (1997): Species diversity and distribution of biomass above and below ground among ectomycorrhizal fungi in an old-growth Norway spruce forest in south Sweden. *Canadian Journal of Botany*, 75: 1323-1335.
79. Dai YC, Penttilä R (2006): Polypore diversity of Fenglin nature reserve, northeastern China. *Ann Bot Fenn* 43:81–96.
80. Dai, Y., Xue, H., Vlasák, J., Rajchenberg, M., Wang, B., Zhou, L.W. (2014): Phylogeny and global diversity of *Polyporus* group *Melanopus* (Polyporales, Basidiomycota). *Fungal Diversity*, 64,(1): 133–144.
81. Danielson, R.M. (1984): Ectomycorrhizal associations in jack pine stands in northeastern Alberta. *Canadian Journal of Botany*, 62: 932–939.
82. De Dominicis, V., Barluzzi, C. (1983): Coenological research on macrofungi in evergreen oak woods in the hills near Siena, Italy. *Vegetatio*, 54(3):177-187.
83. De Hoog, G.S., Gerrits van der Ende, A:H.G. (1992): Nutritional pattern and eco-physiology of *Hortaea werneckii*, agent of human tinea nigra. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 62: 321-329.
84. De Lima, N.J.C., Gibertoni, T.B., Malosso, E. (2014): Delimitation of some neotropical laccate *Ganoderma* (*Ganodermataceae*): molecular phylogeny and morphology. *RevBio.Trop*. 62(3): 1197–1208.
85. De Meijer, R.J., Aldenkamp, F.J., Jansen, A.E. (1988): Resorption of cesium radionuclides by various fungi. *Oecologia*, 77: 268-272.
86. Deacon, J. (2006): *Fungal Biology*. 4th edition. Oxford: Blackwell Publishing; 2006.

87. Deacon, J.W., Donaldson, S.J., Last, F.T. (1983): Sequences and interactions of mycorrhizal fungi on birch. *Plant Soil*, 71: 257–262.
88. Demirbas, A. (2001): Heavy metal bioaccumulation by mushrooms from artificially fortified soils. *Food Chemistry*, 74: 293–301.
89. Dennis, R.W.G. (1968): *British Ascomycetes. Revised and enlarged edition of british cup fungi.* Verlag von J. Cramer, by CHR. Belsler, Stuttgart. 455pp.
90. Deslippe, J.R., Hartmann, M., Mohn, W.W. (2011): Long-term experimental manipulation of climate alters the ectomycorrhizal community of *Betula nana* in Arctic tundra. *Global Change Biology*, 17: 1625–1636.
91. Dettman, J. R., Harbinski, F. M. & Taylor, J. W. (2001): Ascospore morphology is a poor predictor of the phylogenetic relationships of *Neurospora* and *Gelasinospora*. *Fungal Genetics and Biology*, 34:49-61.
92. Devictor, V., Mouillot, D., Meynard, C., Jiguet, F., Thuiller, W., Mouquet, N. (2010): Spatial mismatch and congruence between taxonomic, phylogenetic and functional diversity: The need for integrative conservation strategies in a changing world. *Ecol Lett*, 13(8): 1030–1040.
93. Dimitrijevic, M. D., Mitic, J. J., Cvetkovic, J. S., Vesna, P., Jovanovic, S., Mutic, J. J., Nikolic Mandic, S. D. (2015). Update on element content profiles in eleven wild edible mushrooms from family Boletaceae. *European Food Research and Technology*.
94. Dobriyal, P., Qureshi, A., Badola, R., Hussain, S.A. (2012): A review of the methods available for estimating soil moisture and its implication for water resource management. *Journal of Hydrology*. 458–459: 110–117.
95. Dragović, S., Nedić, O., Stanković S., G. Bačić, (2004): Radiocesium accumulation in mosses from highlands of Serbia and Montenegro: chemical and physiological aspects. *Journal of Environmental radioactivity*, 77: 381-388.
96. Dudka, I.O., Smitska, M.F., Raitviir, A.H. (1990): Rare aquatic discomycete *Vibrissea truncorum* new record alb. et schw. fr. *Ukrayins'kyi Botanichniy Zhurnal*, 47(1): 36-39.
97. Duff, M., Ramsey, M.L. (2008): Accumulation of radiocesium by mushrooms in the environment: a literature review. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99:912–932.
98. Eckl, P., Hofmann, W., Turk, R. (1986): Uptake of natural and man-made radionuclides by lichens and mushrooms. *Radiation and Environmental Biophysics*, 25(1): 43-54.
99. Edman, M., Jonsson, B.G. (2001): Spatial pattern of downed logs and wood-decaying fungi in an old-growth *Picea abies* forest. *Journal of Vegetation Science* 12: 609-620.
100. Egli, S., Ayer, F., Chatelain, F. (1997): Die Beschreibung der Diversität von Makromyzetten. Erfahrungen aus pilzöko-logischen Langzeitstudien im Pilzreservat La Chanéaz, FR. *Mycol Helv* 9: 19–32.
101. Elstner, E.F., Fink, R., Holl, W., Lengfelder, E., Ziegler, H. (1987): Natural and Chernobyl-caused radioactivity in mushrooms, mosses and soilsamples of defined biotops in SW Bavaria. *Oecologia*. 73:553–558.
102. Elstner, E.F., Fink, R., Holl, W., Lengfelder, E., Ziegler, H. (1989): Radioactivity in mushrooms, mosses and soil samples of defined biotops in SW Bavaria- two years after “Chernobyl”. *Oecologia*. 80:173–177.
103. Emberger, G. (2008): Fungi growing on wood. Web site: http://www.messiah.edu/Oakes/fungi_on_wood/
104. Evans, S., Henrici, A., Ing, B. (2006): "Red List for Threatened British Fungi". British Mycological Society.
105. Eveling, D., Wilson, R., Gillespie, E., Bataill, A. (1990): Environmental effects on sporocarp counts over fourteen years in a forest area. *Mycological Research*, 94(7):998-1002.
106. Faith, D. (1992): Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biol Conserv* 61:1–10.
107. Falandysz, J., Bona, H., Danisiewicz, H. (1994): Silver content of wild-grown mushrooms from Northern Poland. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, 199: 222-224.
108. Falandysz, J., Danisiewicz, D., Bona, H. (1994): Metals content of wild growing mushrooms gathered in the Tucholskie and Kaszuby Forests. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 129-134.
109. Falandysz, J., M. Drewnowska, M. Chudzińska, i D. Barańkiewicz (2017): Accumulation and distribution of metallic elements and metalloids in edible *Amanita fulva* mushrooms, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 137: 265–271.
110. Ferris, R., Peace, A.J., Newton, A.C. (2000): Macrofungal communities of lowland Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten.) plantations in England: relationships with site factors and stand structure. *For Ecol Manag*, 131:255–267.
111. Frey, J.W., Corn, M. (1967): Physical and chemical characteristics of particulates in a diesel exhaust, *American Industrial Hygienic Association Journal*, 28: 468-478.
112. *Fungal Conservation, Issues and Solutions.* Moore, D., Nauta, M., Evans, S., Rotheroe, M. (Eds). Cambridge, Cambridge University Press, U.K., pp. 64–80.
113. Gadd, G. (1993): Interactions of fungi with toxic metals. *New Phytology*, 124:25-60.
114. Gadd, G. (2007): Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation. *Mycological Research*, 111:3-49.
115. Gadd, G.M. (1993): Interactions of fungi with toxic metals. *New Phytologist*, 124: 25- 60.

116. Galović, V., Orlović, S., Pap, P., Kovačević, B., Marković, M. (2009): Molekularna karakterizacija prouzrokovala rđa topola (*Melampsora* spp.). *Topola*, 183/184:115-120.
117. Galovic, V., Orlovic, S., Sadikovic, D., Pap, P., Markovic, M., Poljakovic-Pajnik, L., Pecec, S. (2015): Red band needle blight in Serbia. Book of abstracts – Sixth International Scientific Agricultural Symposium „Agrosym 2015“, Jahorina, October 15-18, Bosnia and Hercegovina. p. 623.
118. Garcia, M.A., Alonso, J., Fernandez, M. I., Melgar, M. J. (1998): Lead content in edible wild mushrooms in Northwest Spain as indicator of environmental contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 34: 330-335.
119. Gardes, M., Bruns, T. D. (1996): Community structure of ectomycorrhizal fungi in a *Pinus muricata* forest: Above- and below-ground views. *Canadian Journal of Botany*, 74: 1572-1583.
120. Gast, C. H., Jansen, E., Bierling, J., & Haanstra, L. (1988): Heavy metals in mushrooms and their relationship with soil characteristics. *Chemosphere*, 17: 789-799.
121. Gast, C. H., Jansen, E., Bierling, J., & Haanstra, L. (1988): Heavy metals in mushrooms and their relationship with soil characteristics. *Chemosphere*, 17: 789-799.
122. Gburčik, F. (1992): Klimatki uslovi na planini Tari. U monografiji “Vegetacija Nacionalnog parka Tara” – M. Gajić *i sar.* (Eds). str. 9-20.
123. Gehrung, C.A., Theimer, T.C., Whitham, T.G., Keim, P. (1998): Ectomycorrhizal fungal community structure of pinyon pines growing in two environmental extremes. *Ecology*, 79: 1562-1572.
124. Geml J, Laursen GA, Herriott I, McFarland JM, Booth MG, et al. (2010) Phylogenetic and ecological analyses of soil and sporocarp DNA sequences reveal high diversity and strong habitat partitioning in the boreal ectomycorrhizal genus *Russula* Pers. (Russulales; Basidiomycota). *New Phytol* 187: 494-507.
125. Geml J, Laursen GA, Timling I, McFarland JM, Booth MG, et al. (2009) Molecular phylogenetic biodiversity assessment of arctic and boreal *Lactarius* Pers. (Russulales; Basidiomycota) in Alaska, based on soil and sporocarp DNA. *Mol Ecol* 18: 2213-2227.
126. Geml, J., Timling, I., Robinson, C.H., Lennon, N., Nusbaum, H.C., *i sar.* (2012): An arctic community of symbiotic fungi assembled by long-distance dispersers: phylogenetic diversity of ectomycorrhizal basidiomycetes in Svalbard based on soil and sporocarp DNA. *J Biogeogr*, 39: 74-88.
127. Giauque, H., Hawkes, C.V. (2016): Historical and current climate drive spatial and temporal patterns in fungal endophyte diversity. *Fungal Ecology*, 20:108-114.
128. Gibertoni, T., Medeiros, P., Soares, A., Gomes-Silva, A., Santos, P., Sotao, H., Ferreira, L., Savino, E. (2016): The distribution of polypore fungi in endemism centres in Brazilian Amazonia. *Fungal Ecology*, 20:1-6.
129. Gilbert, G.S., Ferrer, A., Carranza, J. (2002): Polypore fungal diversity and host density in a moist tropical forest. *Biodiversity and Conservation*, 11:947-957.
130. Gilbertson, R.L., Ryvardeen, L. (1986): North American Polypores. 1:1-443.
131. Global Forest Resources Assessment, Key Findings, 1-11 (2010) [www.fao.org].
132. Gomes, A.E., Kasuya, M.M., De Barros, G.E., Borges, C.A., Araujo, F.E. (2002): Polymorphism in the internal transcribed spacer (ITS) of the ribosomal DNA of 26 isolates of ectomycorrhizal fungi. *Genetics and Molecular Biology*, 25(4):477-483.
133. Gomes-Silva, A.C., Lima-Júnior, N., Malosso, E., Ryvardeen, L., Gibertoni, T. (2015): Delimitation of taxa in *Amauroderma* (Ganodermataceae, Polyporales) based in morphology and molecular phylogeny of Brazilian specimens. *Phytotaxa*, 227(3): 201.
134. Gough, L. P. , H. T. Shacklette, i A. A. Case (1979): Element Concentrations Toxic to Plants, Animals , and Man“, *Geol. Surv. Bull.*, 1466: 1-80.
135. Govedarica, M., Milošević, N., Jarak, M. (1997): Heavy metals and soil microorganisms. In book: Kastori. R., editor. Heavy metals in the environment. [Teški metali u životnoj sredini] Novi Sad: Institute of Field and Vegetable Crops.
136. Graham, C., Fine, P. (2008): Phylogenetic beta diversity: linking ecological and evolutionary processes in space and time. *Ecology Letters*, 11: 1265-1277.
137. Graham, S.W., Olmstead, R.G., Barrett S.C.H. (2002): Rooting phylogenetic trees with distant outgroups: a case study from the commelinoid monocots. *Mol. Biol. Evol.* 19:1769-1781.
138. Guarro, J., Gene, J., Stchigel, A. M. (1999): Developments in fungal taxonomy. *Clinical Microbiological Reviews*, (12): 454-500.
139. Guney, M., Onay, T.T., Coptu, N.K. (2010): Impact of overland traffic on heavy metal levels in highway dust and soils of Istanbul, Turkey. *Environ Monit Assess*, 164: 101-10.
140. Haeckel, E. (1866): *Generelle Morphologie der Organismen*, Berlin: Reimer; 1866.
141. Han, L.M. J. Song, i B.-K. Cui (2014): Morphology and molecular phylogeny for two new species of *Fomitopsis* (Basidiomycota) from South China. *Mycol. Prog.*, 13(3): 905-914.
142. Hansen, P.A. (1991): Improved interpretation of soil - macrofungi relations in south Swedish beech forests using two complementary regression analyses. 93: 47-55.
143. Hao, Y.J., Q. Zhao, S.-X. Wang, Z. L. Yang (2016): What is the radicate *Oudemansiella* cultivated in China?. *Phytotaxa*, 286(1): 1.

144. Harder, C. B., T. Læssøe, T. G. Frøslev, F. Ekelund, S. Rosendahl, R. Kjøller (2013): A three-gene phylogeny of the *Mycena pura* complex reveals 11 phylogenetic species and shows ITS to be unreliable for species identification“, *Fungal Biol.*, 117 (11–12): 764–775.
145. Harder, C.B., D. J. Lodge, R. H. Petersen, K. W. Hughes, J. C. Blanco, T. G. Frøslev, T. Læssøe, (2012): Amyloidity is not diagnostic for species in the *Mycena pearsoniana* complex (*Mycena sectio Calodontes*). *Mycol. Prog.*, 11(3): 725–732.
146. Harder, C.B., T. Læssøe, R. Kjøller, T. G. Frøslev (2010): A comparison between ITS phylogenetic relationships and morphological species recognition within *Mycena* sect. *Calodontes* in Northern Europe. *Mycol. Prog.*, 9(3): 395–405.
147. Harley, J.L. (1971): Fungi in ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 8(3): 1-16.
148. Hawksworth, D.L. (1991): The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation. *Mycological Research*, 95(6):641-655.
149. Hawksworth, D.L. (2004): Fungal diversity and its implications for genetic resource collections. *Studies in Mycology*, 50:9-18.
150. Heilmann-Clausen, J. (2001): A gradient analysis of communities of macrofungi and slime moulds on decaying beech logs. *Mycological Research*, 105:575–596.
151. Heinrich, G. (1992): Uptake and transfer factors of ¹³⁷Cs by mushrooms. *Radiation and Environmental Biophysics*, 31(1): 39-49.
152. Heinrich, G., Muller, H.J., Oswald, K., Gries, A. (1989): Natural and artificial radionuclides in selected styrian soils and plants before and after the reactor accident in Chernobyl. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, 185: 55-67.
153. Hibbett, D.S., Binder, M., Bischoff, J.F., Blackwell, M., Cannon, P.F., Eriksson, O.E., Huhndorf, S., James, T., Kirk, P.M., Lücking, R., Thorsten Lumbsch, H., Lutzoni, F., Matheny, P.B., McLaughlin, D.J., Powell, M.J., Redhead, S., Schoch, C.L., Spatafora, J.W., Stalpers, J.A., Vilgalys, R., Aime, M.C., Aptroot, A., Bauer, R., Begerow, D., Benny, G.L., Castlebury, L.A., Crous, P.W., Dai, Y.C., Gams, W., Geiser, D.M., Griffith, G.W., Gueidan, C., Hawksworth, D.L., Hestmark, G., Hosaka, K., Humber, R.A., Hyde, K.D., Ironside, J.E., Køljalg, U., Kurtzman, C.P., Larsson, K.H., Lichtwardt, R., Longcore, J., Miadlikowska, J., Miller, A., Moncalvo, J.M., Mozley- Standridge, S., Oberwinkler, F., Parmasto, E., Reeb, V., Rogers, J.D., Roux, C., Ryvarden, L., Sampaio, J.P., Schüssler, A., Sugiyama, J., Thorn, R.G., Tibell, L., Untereiner, W.A., Walker, C., Wang, Z., Weir, A., Weiss, M., White, M.M., Winka, K., Yao, Y.J., Zhang, N. (2007): A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research*, 111(5): 509-47.
154. Hibbett, D.S., Donoghue, M.J., (1995): Progress towards a phylogenetic classification of the Polyporaceae through parsimony analyses of ribosomal DNA sequences. *Can. J. Bot.*, 73: 853–861.
155. Higgins KL, Arnold AE, Miadlikowska J, Sarvate SD, Lutzoni F (2007): Phylogenetic relationships, host affinity, and geographic structure of boreal and arctic endophytes from three major plant lineages. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 42: 543–555.
156. Higgins, D., Thompson, J., Gibson T., Thompson, J.D., Higgins, D.G., Gibson, T.J. (1994): CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research*, 22:4673-4680.
157. Higgins, K.L., Arnold, A.E., Miadlikowska, J., Sarvate, S.D., Lutzoni, F. (2007): Phylogenetic relationships, host affinity, and geographic structure of boreal and arctic endophytes from three major plant lineages. *Mol Phyl Evol*, 42: 543–555.
158. Hinrikson, H.P., Hurst, S.F., Lott, T.J., i sar. (2005). Assessment of ribosomal large-subunit D1–D2, internal transcribed region spacer 1, and internal transcribed spacer 2 regions as targets for molecular identification of medically important *Aspergillus* species. *Journal of Clinical Microbiology*, 43: 2092–2103.
159. Hogberg, O., N., Stenlid J., Karlsson (1995): Genetic differentiation in *Fomitopsis pinicola* studied by means of arbitrary primed –PCR. *Mol. Ecol.*, 4: 675–680.
160. Holec J (1994): Houby šumavských bučin. Praha, Živa, 2: 52–54.
161. Hood, I.A. (2006): The mycology of Basidiomycetes. *Proceedings of a workshop held in Yogyakarta, Indonesia*, 34-59.
162. Horisawa, S., Sakuma, Y., Doi, S. (2009): Qualitative and quantitative PCR methods using species-specific primer for detection and identification of wood rot fungi. *Journal of Wood Science*, 55(2): 133-138.
163. Horton, T.R., Bruns, T.E. (2001): The molecular revolution in ectomycorrhizal ecology: peeking into the black-box. *Mol Ecol*, 10: 1855–1871.
164. Horton. T. R. (2002): Molecular approaches to ectomycorrhizal diversity studies :variation in ITS at a local scale. *Plant and Soil*, 244: 29-39.
165. Hosaka, K., S. T. Bates, R. E. Beaver, M. A. Castellano, W. Colgan, L. S. Dominguez, E. R. Nouhra, J. Geml, A. J. Giachini, S. R. Kenney, N. B. Simpson, J. W. Spatafora, i J. M. Trappe (2006): Molecular phylogenetics of the gomphoid-phalloid fungi with an establishment of the new subclass Phallomycetidae and two new orders. *Mycologia*, 98(6): 949–959.

166. Humphrey, J.W., Newton, A.C., Peace, A.J., Holden E. (2000): The importance of conifer plantations in northern Britain as a habitat for native fungi. *Biological Conservation*, 96:241-252.
167. Hurlbert, S. H., (1971): The non-concept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology*, 52: 577-86.
168. Ita, B.N., Essien, J.P., Ebong, G.A. (2006): Heavy metals in fruiting bodies of edible and non-edible mushrooms from the Niger delta region of Nigeria. *Journal of Agriculture and Social Sciences*, 2(2): 1813-2235.
169. IUCN (2012). *IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN. iv + 32pp
170. Ivančević, B. (1996): Mycological research on the mountain of Kopaonik. *Ekologija*. 31(1):45-53.
171. Ivančević, B., Davidović, M. (2011): Makromicete na području Bojčinske šume i okvir za njihovo očuvanje. *Zaštita prirode*, 61(2):21-33.
172. James, T.Y., Kauff, F., Schoch, C.L., Matheny, P.B., Hofstetter, V., Cox, C.J., Celio, G., Gueidan, C., Fraker, E, Miadlikowska, J., Lumbsch, H.Th., Rauhut, A., Reeb, V., Arnold, A.E., Amtoft, A., Stajich, J.E., Hosaka, K., Sung, G.-H., Johnson, D., O'Rourke, B., Crockett, M., Binder, M., Curtis, J.M., Slot, J.C., Wang, Zh., Wilson, A.W., Schüßler, A., Longcore, J.E., O'Donnell, K., Mozley-Standridge, Sh., Porter, D., Letcher, P.M., Powell, M.J., Taylor, J.W., White, M.M., Griffith, G.W., Davies, D.R., Humber, R.A., Morton, J.B., Sugiyama, J., Rossman, A.Y., Rogers, J.D., Pfister, D.H., Hewitt, D., Hansen, K., Hambleton, S, Shoemaker, R.A., Kohlmeyer, J., Volkman- Kohlmeyer, B., Spotts, R.A., Serdani, M., Crous, P.W., Hughes, K.W., Matsuura, K., Langer, E., Langer, G., Untereiner, W.A., Lücking, L., Büdel, B., Geiser, D.M., Aptroot, A., Diederich, P., Schmitt, I., Schultz, M., Yahr, R., Hibbett, D.S., Lutzoni, F., McLaughlin, D.J., Spatafora, J.W. & Vilgalys, R. (2006): Reconstructing the early evolution of the fungi using a six gene phylogeny. *Nature*, 443(7113): 818-822.
173. Jansen, E.J., van Dobben, H.F. (1987): Is decline of *Cantharellus cibarius* in the Netherlands due to air pollution? *Ambio*, 16:211-213.
174. Jarzyna, M. A., Jetz, W. (2018): Taxonomic and functional diversity change is scale dependent. *Nat Commun*, 9(1).
175. Johannesson, H., Stenlid, J. (2003): Molecular markers reveal genetic isolation and phylogeography of the S and F intersterility groups of the wood-decay fungus *Heterobasidium annosum*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 29 :94-101.
176. Jonsson, T., Kokalj, S., Finlay, R., Erland, S. (1999): Ectomycorrhizal community structure in a limed spruce forest. *Mycological Research*, 103: 501–50.
177. Jović, N. (1973): Smeđa podzolasta zemljišta Srbije, njihova geneza I osobine. *Glasnik šumarskog fakulteta Beograd, Serija E*, 5, br. 42: 1-88.
178. Jülich W. (1981): Higher taxa of basidiomycetes. *Biblioth Mycol* 85:1–485.
179. Kalač, P. (2001): A review of edible mushroom radioactivity. *Food Chemistry*, 75:29–35.
180. Kalač, P., Staškova, I. (1991): Heavy metals in fruiting bodies of wild growing mushrooms of the genus *Agaricus*. *Potravinarske Vedy*, 12: 185-195.
181. Kalač, P., Wittingerova, M., Staškova, I. (1989): The contents of seven biogenic trace elements in edible mushrooms. *Potravinarske Vedy*, 7: 131-136.
182. Karadelev, M., Rusevska, K., Stojkoska, K. (2008): Distribution and ecology of the gasteromycete fungi - orders Phallales and Sclerodermatales in the republic of Macedonia. In: *Proceedings of the III Congress of ecologists of the Republic of Macedonia with International participation*. pp. 208–216.
183. Karadžić, D. (1989): Najčešće gljive u kulturama ariša, belog bora i molike na Kopaoniku. *Zaštita bilja*, 40(3):189,309-317.
184. Karaman M., Matavulj M., Janjic Lj. (2012): Antibacterial agents from lignicolous macrofungi. In: *Antimicrobial agents*. Varaprasad Bobbarala (Ed). InTech, September 9, 2012, Chapter 18. pp: 361-386.
185. Karaman, A. M., Mimica-Dukic, M. N., Knežević, P.N., Matavulj, N.M. (2007): Antioxidative and antibacterial activity of some lignicolous basidiomycetous fungi from Serbia. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 9(3):330-331.
186. Karaman, M. (2002). Sadržaj makroelemenata, teških metala i radionuklida u sporokarpima dominantnih Basidiomycotina Fruške Gore i njihova antioksidativna aktivnost. *Magistarska teza*. Departman za biologiju i ekologiju. Prirodno- matematički fakultet. Univerzitet u Novom Sadu.
187. Karaman, M., Matavulj, M. (2005): Microelements and heavy metals in some lignicolous and tericolous fungi. *Matica Srpska Proceedings for Natural Sciences*, 108: 255-267.
188. Karaman, M., Matavuly, M., Sepcic, K., Canadanovic-Brunet, J., Kaisarevic, S. (2010): Antioxidative, hemolytic, cytotoxic and neurotoxic activities of several lignicolous fungi from Serbia. *Proc. 9th International Mycological Congress, IMC9 The Biology of Fungi*, p 47. Edinburgh, 01-06. 08. 2010.- P4.227
189. Karaman, M., Mimica-Dukić, N, Knežević, P., Svirčev, Z., Matavulj, M., (2009): Antibacterial properties of selected lignicolous fungi from northern serbia. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 11(3): 269-279.

190. Karaman, M., Novakovic, M., Matavuly, M. (2012b): Fundamental fungal strategies in restoration of natural environment. In: Fungi: Types, environmental impact and role in disease, Vazquez M.S.A., Silva A.P. (eds), Nova Science Publishers, Inc. 167-214.
191. Karaman, M., Stahl, M., Vulić, J., Vesić, M., Čanadanović-Brunet, J. (2014): Wild-growing lignicolous mushroom species as sources of novel agents with antioxidative and antibacterial potentials. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65(3): 311-319.
192. Karaman, M., Vesic, M., Stahl, M., Novakovic, M., Janjic, Lj., Matavuly, M. (2012a): Bioactive Properties of Wild-Growing Mushroom Species *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat. from Fruska Gora Forest (Serbia). In: *Recent Progress in Medicinal Plants. Vol. 32: Ethnomedicine and Therapeutic Validation*, Govil J.N. (editor), Studium Press LCC, pp. 361-377.
193. Karaman, M., Novaković, M., Savić, D., Matavulj, M. (2012c): Preliminary checklist of Myxomycota and Ascomycota from Fruska Gora Mountain. *Matica Srpska Proceedings for Natural Sciences*, No. 123, pp. 37-50.
194. Kastori R, Petrović N, Arsenijević-Maksimović I (1997): Teški metali i biljke. In: Kastori, R. (Ed.). *Teški metali u životnoj sredini*. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad.
195. Katanić, M. (2014): Diverzitet mikoriznih gljiva topola (*Populus* spp.). (Doktorska disertacija), Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu.
196. Keča, N., Karadžić, D., Woodward, S. (2009): Ecology of *Armillaria* species in managed forests and plantations in Serbia. *Forest Pathology*, 39(4):217-231.
197. Keegan, T.J., Farago, M.E., Thornton, I., Hong, B., Colvile, R.N., Pesch, B., Jakubis, P., Nieuwenhuijsen, M.J. (2006): Dispersion of As and selected heavy metals around a coal-burning power station in central Slovakia. *Science of the Total Environment*, 358(1-3): 61-71.
198. Kendrick, B. (2003): *The Fifth Kingdom*. Third edition [CD-ROM]. Sidney B.C.: Mycologue Publications.
199. Kim, K. M., J. S. Lee, i H. S. Jung (2007): *Fomitopsis incarnatus* sp. nov. based on generic evaluation of *Fomitopsis* and *Rhodofomes*. *Mycologia*, 99(6): 833-841.
200. Kim, K.M, Y.-G. Yoon, i H. S. Jung (2005): Evaluation of the monophyly of *Fomitopsis* using parsimony and MCMC methods. *Mycologia*, 97(4): 812-822.
201. Index Fungorum. Kirk, P. (2019): CABI, CBS and Landcare Research. Available from: <http://www.indexfungorum.org/>
202. Knežević, M. (1992): Karakteristike zemljišnog pokrivača Nacionalnog parka Tara. U monografiji "Vegetacija Nacionalnog parka Tara" – M. Gajić *I sar.* 1992. str. 23-28.
203. Knezevic, Z., Krajcar Bronic, I., Majer, M. (Eds) (2013): Radioactivity in Soil Samples Collected in Southern Serbia. 9. Symposium of the Croatian Radiation Protection Association; Krk (Croatia); 10-12 Apr 2013, 578 p.
204. Knudsen, H., Vesterholt, J. (2012): *Funga Nordica*. 2nd edition (2-volume set). Agaricoid, boletoid, clavarioid, cyphelloid and gastroid genera. In: Knudsen H, Vesterholt J, editors. *Funga Nordica: Agaricoid, boletoid, clavarioid, cyphelloid and gastroid genera*. Copenhagen: Nordsvamp. pp. 1083.
205. Kojić, M., Vilotić, D. (2006): Šumske zajednice Nacionalnog parka Tara i njihove osnovne karakteristike: Gazdovanje šumskim ekosistemima nacionalnih parkova i drugih zaštićenih područja, zbornik radova, Šumarski fakultet Univerziteta u Banja Luci (125 - 130).
206. Kojić, M., Vilotić, D. (2006): Šumske zajednice Nacionalnog parka Tara i njihove osnovne karakteristike: Gazdovanje šumskim ekosistemima nacionalnih parkova i drugih zaštićenih područja, zbornik radova, Šumarski fakultet Univerziteta u Banja Luci. str: 125 - 130.
207. Kreisel, H. (1996): A preliminary survey of the genus *Phallus* sensu lato. *Czech Mycol.*, 48(4): 273-281.
208. Krisai-Greilhuber, I., (2015): Mycobiota of the virgin forest "Neuwald", a remnant of montane oldgrowth forests in Austria. *Czech Mycol.* 67:105-106.
209. Krüger, D. (2002): *Monographic Studies in the Genus Polyporus (Basidiomycotina)*. Doctoral dissertation. The University of Tennessee, Knoxville, TN, USA
210. Krüger, D., R. H. Petersen, i K. W. Hughes, „Molecular phylogenies and mating study data in *Polyporus* with special emphasis on group ‚*Melanopus*‘ (Basidiomycota)“, *Mycol. Prog.*, tom 5, izd 4, str. 185-206, 2006.
211. Kubica, B., Skiba, S., Drewnik, M., Stobinski, M., Kubica, M., Gołas, J., Misiak, R. (2010): The radionuclides (¹³⁷Cs and ⁴⁰K) in soil samples taken from Tatra National Park (TPN, Poland). *Nukleonika*, 55(3): 377-387.
212. Küffer, N., Gillet, F., Senn-Irlet, B., Aragno, M., Job, D. (2008): Ecological determinants of fungal diversity on dead wood in European forests. *Fungal Diversity*, 30, 83-95.
213. Kuniaga, S., Natsuaki, T., Takeuchi, T, Yokosawa, R. (1997): Sequence variation of the rDNA ITS regions within and between anastomosis groups in *Rhizoctonia solani*. *Current Genetics* 32 :237-243.
214. Kuo, M. (2006, September): *Phallus impudicus* & *P. hadriani*: The common stinkhorn. Web sajt: http://www.mushroomexpert.com/phallus_impudicus.html
215. Kuo, M. (2007): Key to major groups of mushrooms. Retrieved from the MushroomExpert.Com Web site: http://www.mushroomexpert.com/major_groups.html

216. Kuo, M. (2010): *Fomitopsis pinicola*. Retrieved from the MushroomExpert.Com Web site: http://www.mushroomexpert.com/fomitopsis_pinicola.html
217. Kuo, M. (2010): *Mycena pura*. Retrieved from the MushroomExpert.Com Web site: http://www.mushroomexpert.com/mycena_pura.html
218. Kuo, M. (2011): Site index and list of scientific names. Retrieved from MushroomExpert.Com. Web site: <http://www.mushroomexpert.com/index.html>
219. Kuo, M. (2011): *Cortinarius croceus*. Retrieved from the MushroomExpert.Com Web sajt: http://www.mushroomexpert.com/cortinarius_croceus.html
220. Kuo, M. (2015): *Polyporus varius*. Retrieved from the MushroomExpert.Com Web site: http://www.mushroomexpert.com/polyporus_varius.htm
221. Kuo, M. (2018, October). *Ganoderma applanatum*. Retrieved from the MushroomExpert.Com Web site: http://www.mushroomexpert.com/ganoderma_applanatum.html
222. Kurtzman, C.P., Robnett, C.J. (1998): Identification and phylogeny of ascomycetous yeasts from analysis of nuclear large subunit (26S) ribosomal DNA partial sequences. *Antonie van Leeuwenhoek*, 73:331–371.
223. Lazarević, J. (2013): Ektomikoriza četinarskih vrsta drveća u Crnoj Gori sa posebnim osvrtom na mikorizu munike - *Pinus heldreichii* Christ. Šumarski Fakultet, Univerzitet u Beogradu.
224. Lee, C., Jhune, C., J. Cheong, W. Kong, (2012): Phylogenetic relationships of genera *Polyporus* on the basis of ITS region sequences. *J. Mushroom Sci. Prod.*, 10(1): 37–43.
225. Lee, J. S., Woo, E. J., Oh, K. H. , Kim, J.J., Lim, Y. W. (2010): The first report of two species of *Polyporus* (*Polyporaceae*, *Basidiomycota*) from South Korea. *J. Microbiol.*, 48(6): 748–753.
226. Li, W. H. (1997). *Molecular evolution*. Sinauer Associates. MA, USA.
227. Li, H.J., M.-L. Han, B.-K. Cui (2013): Two new *Fomitopsis* species from southern China based on morphological and molecular characters. *Mycol. Prog.*, 12(4): 709–718.
228. Lindsey, J.K. (2013): The Ecology of *Commanster* – Ecological relationships among more than 6900 species. Web sajt: <http://www.commanster.eu/commanster.html>
229. Lisiewska M. (1974): Macromycetes of beech forests within the eastern part of the *Fagus* area in Europe. – *Acta Mykologica*, 10: 3–72.
230. Ljung, K., Otabbong, E., Selinus, O. (2006): Natural and anthropogenic metal inputs to soils in urban Uppsala, Sweden. *Environ Geochem Health*, 28(4): 353–64.
231. Lodge, D.J., Ammirati, J., O'Dell, T.E., Mueller, G.M. (2004): Collecting and describing macrofungi. In *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods*. Mueller, G.M., Bills, G.F., Foster, M.S., (Eds). New York, Academic Press, pp. 123–168.
232. Lukić, N. (2008): The distribution and diversity of *Amanita* genus in central serbia. *Kragujevac Journal of Science*, 30:105–115.
233. Luo, X., Karunarathna, S., Luo, Y., Xu, K., Xu, J., Chamyuang, S., Mortimer, P. E. (2016): Drivers of macrofungal composition and distribution in Yulong Snow Mountain, southwest China. *Mycosphere*, 7(6): 727–740.
234. Lutzoni, F., Kauff, F., Cox, C.J., McLaughlin, D., Celio, G., Dentinger, B., Padamsee, M., Hibbett, D., James, T.Y., Baloch, E., Grube, M., Reeb, V., Hofstetter, V., Schoch, C., Arnold, A.E. Miadlikowska, J., Spatafora, J., Johnson, D., Hambleton, S., Crockett, M., Shoemaker, R., Sung, G.-H., Lücking, R., Lumbsch, T., O'Donnell, K., Binder, M., Diederich, P., Ertz, D., Gueidan, C., Hansen, K., Harris, R.S., Hosaka, K., Lim, Y.-W., Matheny, B., Nishida, H., Pfister, D., Rogers, J., Rossman, A., Schmitt, I., Sipman, H., Stone, S., Sugiyama, J., Yahr, R., Vilgalys, R. (2004): Assembling the fungal tree of life: progress, classification, and evolution of subcellular traits. *American Journal of Botany*, 91(10): 1446–1480.
235. Madrid, F., López, R., Cabrera, F. (2007): Metal accumulation in soil after application of municipal solid waste compost under intensive farming conditions. *Agric Ecosyst Environ*, 119(3–4): 249–56.
236. Magurran, A.E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell.
237. Marchetti, M. (2004): Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe – From ideas to operationality. *EFI Proceedings No.5*.
238. Marinkov J. (1999): *Zabrđe, prirodno-privredni potencijali*, 9-13, 16-25, 38-41, Narodna biblioteka, Dimitrovgrad
239. Marković, J.Đ. (1990): *Enciklopedijski geografski leksikon Jugoslavije*. Sarajevo: Svjetlost.
240. Marković, M. (2013): *Sukcesije biljnih zajednica na požarištima planine Vidlič*. Doktorska disertacija, Univerzitet u Kragujevcu, Kragujevac.
241. Martinović, M.Ž. (1979): *Zabrdski deo Vidliča*. U: Butigan, V. (Ed). *Pirotski zbornik*, 10: 113–119, IRO Sloboda, Pirot.
242. Mata, J.L., K. W. Hughes, i R. H. Petersen (2006): An investigation of *omphalotaceae* (Fungi: Euagarics) with emphasis on the genus *Gymnopus*. *Sydowia*, 58(2): 191–289.
243. Mattson, S., Liden, K. (1975): Cesium-137 in carpets of the forest moss *Pleurozium schreberi*: 1961–1973. *Oikos*, 26: 323–327.

244. Mehmman, B. (1995): Molecular identification of ectomycorrhiza of *Picea abies*. Doctoral Thesis. ETH Zurich.
245. Mehra, R.K., Winge, D.R. (1991): Metal ion resistance in fungi: molecular mechanisms and their related expression. *Journal of Cellular Biochemistry*, 45(1): 30- 40.
246. Meisch, H.U., Beckmann, I., Schmitt, J.A. (1983): A new cadmium-binding phosphoglycoprotein, cadmium-mycophosphatin, from the mushroom *Agaricus macrosporus*. *Biochimica and Biophysica Acta*, 745(3): 259–266.
247. Mycota: A comprehensive treatise on fungi as experimental systems for basic and applied research, Kuck, U (Ed.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberger Platz 3, d-14197 Berlin, Germany.
248. Michelot D, Siobud E, Doré JC, Viel C, Poirier F (1998): Update on metal content profiles in mushrooms — toxicological implications and tentative approach to the mechanisms of bioaccumulation. *Toxicol* 36:1997–2012.
249. Michelsen, O., Bakken, T. (1999): *Vibrissea truncorum* Fries in Lyngstoylvatnet, Orstad, More og Romsdal county, W Norway. *Blyttia*, 57(2): 61-62.
250. Mihal, I., Bučinova, K. (2005): Species diversity, abundance and dominance of macromycetes in beech forest stands. *Journal of forest science*, 51:187-194.
251. Mihaljev, Ž., M. Živkov-Baloš, Ž. Cupić, S. Jakšić, (2014): Levels of some microelements and essential heavy metals in herbal teas in Serbia. *Acta poloniae pharmaceutica*, 71(3): 385-391.
252. Mihaljev, Ž., Živkov-Baloš, M., Cupić, Ž., Jakšić, S. (2014): Levels of some microelements and essential heavy metals in herbal teas in Serbia. *Acta poloniae pharmaceutica*, 71(3): 385-391.
253. Milojković, D. (1953): Istraživanja oblika i zapremine jele u zaštićenim šumama planine Tare. Zavod za zaštitu prirode I naučno proučavanje prirodnih retkosti NR Srbije. Naučna knjiga, Beograd.
254. Milovanović B (2010): Klima Stare planine. GI „Jovan Cvijić“ SANU, Beograd
255. Minggui, G., Ming, T., Qiaoming, Z., Xinxin, F. (2012): Effects of climatic and edaphic factors on arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Hippophae rhamnoides* in the Loess Plateau, China. *Acta Ecologica Sinica*, 32:62-67.
256. Mišić V., Jovanović - Dunjić R., Popović M., Borisavljević Lj., Antić M., Danon J., Blaženčić Ž. (1978): Biljne zajednice i staništa Stare planine. Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd.
257. Mišić, V., Jovanović – Dunjić, R., Popović, M., Borisavljević, Lj., Antić, M., Danon, J., Blaženčić, Ž. (1978): Biljne zajednice i staništa Stare planine. Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd.
258. Mleczek, M., Magdziak, Z., Gąsecka, M., Niedzielski, P., Kalač, P., Siwulski, M., Rzymiski, P., Zalicka, S., Sobieralski, K. (2016): Content of selected elements and low-molecular-weight organic acids in fruiting bodies of edible mushroom *Boletus badius* (Fr.) Fr. from unpolluted and polluted areas. *Environ Sci Pollut Res*, 23:20609–20618.
259. Molina, R., Massicotte, H., Trappe, J.M. (1992): Specificity phenomena in mycorrhizal symbioses: community-ecological consequences and practical implications. In: *Mycorrhizal functioning, an integrative plant–fungal process*. Allen, Chapman, Hall (Eds). New York. pp. 357–423.
260. Molina, R., Pilz, D., Smith, J., Dunham, S., Dreisbach, T., O’Dell, T., Castellano, M. (2001): Conservation and management of forest fungi in the Pacific Northwestern United States: an integrated ecosystem approach. In *Fungal Conservation, Issues and Solutions*. Moore, D., Nauta, M.N., Evans, S.E., Rotheroe, M., (Eds). Cambridge, Cambridge University Press, U.K., pp. 19–63.
261. Moncalvo, J. M., Ryvarden, L. (1997): A nomenclatural study of the Ganodermataceae Donk. *Fungiflora*, Oslo, 11, 1-114.
262. Moncalvo, J., Wang, H., Hseu, R.S. (1995) Phylogenetic relationships in *Ganoderma* inferred from the internal transcribed spacer and 25S ribosomal DNA sequences. *Mycologia*, 87(2): 223–238.
263. Moser, M. (1978): *Die Röhrlinge und Blätterpilze*. Fisher Stuttgart/Gart/New York.
264. Mueller, G.M., Bills, G.F. (2004): Introduction. In: Mueller, G.M., Bills, G.F., Forster, M.S. (Eds). *Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods*. San Diego: Elsevier Academic Press; pp. 1-4.
265. Mueller, G.M., Bills, G.F., Foster, M.S. & ebrary, Inc (2004): *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods*. Elsevier Academic Press, London, Amsterdam.
266. Mueller, G.M., Schmit, J.P., Huhndorf, S.M., O’Dell, T.E., Lodge, D.J., Leacock, P.R., Ryvarden, L., Mata, M.M., Umaña, L., Wu, Q.-X., Czederpiltz, D. (2004): Measuring and monitoring diversity of terrestrial and Lignicolous macrofungi: recommended protocols for sampling macrofungi. In *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods*, Mueller, G.M., Bills, G.F., Foster, M.S., Eds. New York, Academic Press, pp. 123–168.
267. Munger, K., Lerch, K., Tschierpe, H.J. (1982): Metal accumulation in *Agaricus bisporus*: influence of Cd and Cu on growth and tyrosinase activity. *Experientia*, 38: 1039-1041.
268. Muramatsu, Y., Yoshida, S., Rommelt, R., Hiersche, L., Schaller, G., Wirth, E. (1990): Influence of soil fungi (basidiomycetes) on the migration of Cs 134 +137 and Sr 90 in coniferous forest soils. In: G. Desmet, P. Nassimbeni, M. Belli (Eds), *Proc. CEC Workshop Transfer of Radionuclides in Natural and Semi-Natural Environments*. Elsevier Applied Science, London, pp.152-160.

269. Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo, J.L. (2004): Metal pollution of soils and vegetation in an area with petrochemical industry. *Science of the Total Environment*, 321: 59–69.
270. Nei, M., Kumar, S. (2000): *Molecular Evolution and Phylogenetics*. Oxford University Press, New York.
271. Newton, A.C., Haigh J.M. (1998): Diversity of ectomycorrhizal fungi in Britain: A test of the species-area relationship, and the role of host specificity. *New Phytol*, 138(4): 619–627.
272. Nilsson RH, Abarenkov K, Larsson K-H, Ko'ljalg U (2011a) Molecular identification of fungi: rationale, philosophical concerns, and the UNITE database. *TOAINFOJ* 5: 81–86.
273. Nilsson, H.R., Kristiansson, E., Rybeg, M., Hallenberg, N., Larsson, H.K. (2008): Intraspecific ITS variability in the kingdom Fungi as expressed in the international sequence databases and Its implications for molecular species identification. *Evolutionary Bioinformatics*. 4:193–201.
274. Novaković, M., Karaman, M., Matavulj, M. (2012): Contribution to the knowledge of macrofungal diversity of Vršacke planine Mountains, Serbia. In: Abstract book - 4th Congress of Ecologist of the Republic of Macedonia with International Participation, Ohrid, 12.-15.10. 2012. Skopje: Macedonian Ecological Society, p. 82.
275. O'Donnell, K. (2000): Molecular phylogeny of the *Nectria haematococca*-*Fusarium solani* species complex. *Mycologia*, 90:919-938.
276. O'Donnell, K., Cigelnik, E. (1997): Two divergent intragenomic rDNA ITS2 types within a monophyletic lineage of the fungus *Fusarium* are nonorthologous. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 7:103-116.
277. O'Hanlon, R., Harrington, T.J. (2012): Macrofungal diversity and ecology in four Irish forest types. *Fungal Ecology*, 5:499-508.
278. O'Reilly, P., Parker, S. (2019): First Nature. Web sajt: <https://www.first-nature.com>
279. Obradović, S. (2015): Stanje i razvoj sastojina bukve, jele i smrče prašumskog porekla u Srbiji kao osnov za planiranje i obezbeđivanje prirodi bliskog gazdovanja. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd.
280. O'Brien, H.E., Parrent, J.L., Jackson, J.A., Moncalvo, J., Vilgalys, R. (2005): Fungal community analysis by large-scale sequencing of environmental samples. *Applied and Environmental Microbiology*, 71:5544-5550.
281. O'Dell, T.E., Ammirati, J.F., Schreiner, E.G. (1999): Species richness and abundance of ectomycorrhizal basidiomycete sporocarps on a moisture gradient in the *Tsuga heterophylla* zone. *Canadian Journal of Botany*, 77: 1699-1711.
282. O'hanlon, R., (2012): Below-ground ectomycorrhizal communities: the effect of small scale spatial and short term temporal variation. *Symbiosis*, 55: 57–71.
283. Olsen, R.A., Joner, E., Bakken, L.R. (1990): Soil fungi and the fate of radiocaesium in the soil ecosystem - a discussion of possible mechanisms involved in the radiocaesium accumulation in fungi, and the role of fungi as a Cs-sink in the soil. In: *Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments*. Desmet, G., Nassimbeni, P., Belli, M. (Eds). London: Elsevier Applied Science, pp, 657–663.
284. Orlović, S., Galić, Z., Stojnić, S., Klačnja, B. (2012): Monitoring of forest ecosystems in Serbia. In: *Essays on Fundamental and Applied Environmental Topics* (Ed. D.T. Mihailovic), NOVA Science Publisher, 253-276.
285. Ortega A., Lorite J. (2007): Macrofungi diversity in Cork-Oak and Holm-Oak forests in Andalusia (southern Spain); an efficient parameter for establishing priorities for its evaluation and conservation. *Central European Journal of Biology*, 2: 1-27.
286. Ortiz-Santana, B., D. L. Lindner, O. Miettinen, A. Justo, i D. S. Hibbett (2013): A phylogenetic overview of the antrodia clade (Basidiomycota, Polyporales). *Mycologia*, 105(6): 1391–1411.
287. Ostojić, D., Krsteski, B., Dinić, A., Petković, A. (2018): Vegetacijske karakteristike šumskih ekosistema u NP Kopaonik sa osvrtom na šume u režimu zaštite I stepena. *Šumarstvo*, 3-4:179,194.
288. Ouzouni, P.K., Petridis, D., Koller, W.D. & Rifanagos, KA. (2009): Nutritional value and metal content of wild edible mushrooms collected from West Macedonia and Epirus, Greece. *Food Chemistry*, 115(4): 1575-1580.
289. Paden, J. W., Sutherland, J. R., Woods, T. A. D. (2008): *Caloscypha fulgens* (Ascomycetidae, Pezizales): the perfect state of the conifer seed pathogen *Geniculodendron pyriforme* (Deuteromycotina, Hyphomycetes). *Canadian Journal of Botany*, 56(19): 2375–2379.
290. Pal-Fam, F., Siller, I., Fodor, L. (2007): Mycological monitoring in the Hungarian Biodiversity Monitoring System. *Acta Mycologica*, 42(1):35-58.
291. Park, K.H., C. Kim, M. Kim, N. K. Kim, J. Y. Park, J. A. Eimes, H. J. Cho, S.-K. Han, i Y. W. Lim (2017): Three New Recorded Species of the Physalacriaceae on Ulleung Island, Korea. *Mycobiology*, 45(1): 9–14.
292. Parmasto, E., Voitk, A. (2010): Why do mushrooms weep? *Fungi* 3(4):15- 17.
293. Parmasto, E., Voitk, A. (2010): Why do mushrooms weep? *Fungi*, 3(4):15- 17.
294. Parveen, A., Khataniar, L., Goswami, G., Jyoti Hazarika, D., Das, P., Gautom, T., Barooah, T., Chandra Boro, R. (2017): A Study on the Diversity and Habitat Specificity of Macrofungi of Assam, India. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 6(12): 275–297.

295. Pecoraro, L. et al. (2014): Macrofungi in Mediterranean maquis along seashore and altitudinal transects. *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology: Official Journal of the Societa Botanica Italiana*, 148(2):367-376.
296. Pegler, D.N., Roberts, P.J., Spooner, B.M. (1997): *British chanterelles and tooth fungi*. Royal Botanic Gardens, Kew.
297. Peter, M., Ayer, F., Egli, S. (2001): Nitrogen addition in a Norway spruce stand altered macromycete sporocarp production and below-ground ectomycorrhizal species composition measured by PCR-RFLP analysis of the ribosomal ITS-region. *New Phytologist*, 149: 311-326.
298. Petersen RH, Hughes KH. (2010): The *Xerula/Oudemansiella* complex (Agaricales). *Beihefte zur Nova Hedwida*, 137: 1–625.
299. Petersen, R.H., Hughes, K.W. (2017): An investigation on *Mycetinis* (Euagarics, Basidiomycota). *MycKeys*, 24: 1–138.
300. Petersen, R.H., Nagasawa, E. (2006): The genus *Xerula* in temperate East Asia. *Reports of the Tottori Mycological Institute*, 43:1-49.
301. Peterson, L., Massicotte, H., Melville, L. (2004): *Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology*. NRC Research Press, Ottawa. 173p.
302. Petrović, S.M., Savić, S.R., Dimitrijević, M.Lj., Petronijević, Ž.B. (2015): The determination of micro and macroelements in chamomile teas (*Matricaria chamomilla* L.), *Advanced technologies*, 4(2): 37- 42.
303. Piltaver, A., Matočec, N., Kosec, J., Jurc, D. (2002): Macrofungi on beech dead wood in the Slovenian forest reserves Rajhenavski Rog and Krokar. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 69: 171-196.
304. Pravilnik o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva. Carina Srbije.
305. Radulescu, C., Stihi, C., Busuioc, G. (2010): Evaluation of essential elements and heavy metal levels in fruiting bodies of wild mushrooms and their substrate by EDXRF spectrometry and FAA spectrometry. *Romanian Biotechnological Letters*, 15(4): 5444-5456.
306. Radulescu, C., Stihi, C., Busuioc, G. (2010): Studies Concerning Heavy Metals Bioaccumulation of Wild Edible Mushrooms from Industrial Area by Using Spectrometric Techniques. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 84(5): 641-646.
307. Rakić, M., Karaman, M., Forkapić, S., Hansman, J., Kebert, M., Bikit, K., Mrdja, D. (2014): Radionuclides in some edible and medicinal macrofungal species from a Tara Mountain, Serbia. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(19):11283-11292.
308. Rebriev, Y.A., T. H. G. Pham, i A. V. Alexandrova (2014): *Phallus coronatus*. *Mycotaxon*, 127: 93–96.
309. Renvall, P. (1995): Community structure and dynamics of wood-rotting Basidiomycetes on decomposing conifer trunks in northern Finland. *Karstenia*, 35: 1–51.
310. Richard, F., Moreau, P.A., Selosse, M., Gardes, M. (2004): Diversity and fruiting patterns of ectomycorrhizal and saprobic fungi in an old-growth Mediterranean forest dominated by *Quercus ilex* L. *Canadian Journal of Botany*, 82: 1711–1729.
311. Richard, F., Roy, M., Shahin, O., Sthultz, C., Duchemin, M., Joffre, R., Selosse, MA. (2011): Ectomycorrhizal communities in a Mediterranean forest ecosystem dominated by *Quercus ilex*: seasonal dynamics and response to drought in the surface organic horizon. *Annals of Forest Science*, 68:57–68.
312. Richards, T.A., Cavalier-Smith, T. (2005): Myosin domain evolution and the primary divergence of eukaryotes. *Nature*, 436, 7054, 1113-1118.
313. Roemmelt, R., Hiersche, L., Schaller, G., & Wirth, E. Belli, M. (Ed.). (1990): Influence of soil fungi (Basidiomycetes) on the migration of Cs 134 + 137 and Sr 90 in coniferous forest soils. United Kingdom: Elsevier Applied Science.
314. Rogers (2012): Retrieved from: RogersMushrooms. Web site: <http://www.rogersmushrooms.com/>
315. Rogers, J., Ju, Y.M., Adams, M. (2002): Home of the Xylariaceae. Web site: <http://mycology.sinica.edu.tw/Xylariaceae/>
316. Romano, N. (2014): Soil moisture at local scale: Measurements and simulations. *Journal of Hydrology*, 516: 6–20.
317. Rooney, A. P., Ward, T. J. (2005): Evolution of the large ribosomal RNA multigene family in filamentous fungi : birth and death of a concerted evolution paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102: 5084-5089.
318. Rudawska, M., Leski, T. (2005): Macro- and microelements contents in fruiting bodies of wild mushrooms from the Notecka forest in west-central Poland. *Food Chemistry*, 92(3): 499-506.
319. Rudawska, M., Leski, T., Stasińska M. (2011): Species and functional diversity of ectomycorrhizal fungal communities on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees on three different sites. *Annals of Forest Science*, 68:5–15.
320. Ruhling, A., Tyler, G. (1990): Soil factors influencing the distribution of macrofungi in oak forests of southern Sweden. *Holarctic Ecology*, 13: 11-18.
321. Rydin, H., Diekmann, M., Hallingback, T. (1997): Biological characteristics, habitat associations and distribution of macrofungi in Sweden. *Conservation Biology*. 11(3):628-640.

322. Ryvarden, L., Gilbertson, R.L. (1993): European Polypores. Part 1. Fungiflora, Oslo
323. Ryvarden, L. (2012): "Fomitopsis ochracea", *Omphalina*, 3(3): 6–10.
324. Ryvarden, L., Stokland, J. (2008): *Fomitopsis ochracea* nova species. Oslo, Norway: Synopsis Fungorum 25. 46 p.
325. Saitou, N., Nei, M. (1987): The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*. 4:406-425.
326. Salerni, E., Laganá, A., De Dominicis, V. (2001): Mycocoenological studies in deciduous oak woods of central-southern Tuscany (Italy). *Cryptog Mycol*, 22:35–55.
327. Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, N.P.B.A., Dushenkov, V., Ensley, B.D., Chet, I., Raskin, I. (1995): Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology*, 13:468-474.
328. Savić, D. (2016): Diverzitet gljiva razdela Ascomycota na području Fruške gore sa posebnim osvrtom na red Helotiales. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu.
329. Schaffer, R.L. (1975): The major groups of Basidiomycetes. *Mycologia*. 66: 1-18.
330. Schmidt, O. (2006): Wood and tree fungi: biology, damage, protection, and use. Springer-Verlag, Berlin.
331. Schmit, J.P. (2005): Species richness of tropical wood-inhabiting macrofungi provides support for species-energy theory. *Mycologia*, 97(4):751-761.
332. Schmit, J.P., Lodge, D.J. (2004): Classical Methods and Modern Analysis for Studying Fungal Diversity. In: *The Fungal Community: Its Organization and Role in the Ecosystem* 3rd Edition. 193–214.
333. Schmit, J.P., Mueller, G.M., Leacock, P.R., Mata, J.L., Wu, Q.X., Huang, Y.G. (2005): Assessment of tree species richness as a surrogate for macrofungal species richness. *Biol Conserv* 121:99–110
334. Schoch L. C., Seifert, A. K., Hündorf, S., Robert, V., Spouge, L.J., Levesque, C.A., Chen, W., Fungal barcoding consortium (2012): Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for Fungi. *PNAS*, 109(16):6241–6246.
335. Schüßler, A., Schwarzott, D., Walker, C. (2001): A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105(12): 1413-1421.
336. Schwarze, F. W. M. R., Ferner, D. (2003): *Ganoderma* on trees—differentiation of species and studies of invasiveness. *Arboric. J*, 27(1): 59–77.
337. Seeger, R., (1982): Toxische Schwermetalle in Pilzen. *Deutsche Apotheker-Zeitung*, 122: 1835-1844.
338. Šerod, M. (2017): *Vibrisea truncorum*. Gobe.SI, Gobarsko društvo Lisička Maribor. Web sajt: <http://www.gobe.si/Gobe/VibriseaTruncorum>
339. Severoglu, Z., Sumer, S., Yalcin, B., Leblebici, Z., Aksoy, A., (2013): Trace metal levels in edible wild fungi. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 10: 295-304.
340. Shim, J.O., Chang, K.C., Kim, T.H., Lee, Y.S., Lee, U.Y., Lee, T.S. Lee, M.W. (2006): The fruiting body formation of *Oudemansiella radicata* in the sawdust of oak (*Quercus variabilis*) mixed with rice bran. *Mycobiology*, 34: 30–33.
341. Shorrock, B., Charlesworth, P. (1982): A field study of the association between the stinkhorn *Phallus impudicus* Pers. and the British fungal breeding *Drosophila*, *Biol. J. Linn. Soc.*, 17(3): 307–318.
342. Shortle, W. C., Dudzik, K. R. (2011): Wood Decay in Living and Dead Trees: A Pictorial Overview. United States Department of Agriculture
343. Shortle, W.C., Dudzik, K.R. (2011): Wood decay in living and dead trees. US Forest service. Delaware. OH.
344. Shreeja, 2019: <http://www.soilmanagementindia.com/nutrient-elements-in-soil/magnesium-forms-sources-and-behaviour-soil/2806>
345. Simon, U.K., Weiß, M. (2008): Intragenomic variation of fungal ribosomal genes is higher than previously thought. *Mol Biol Evol* 25:2251–2254.
346. Širić, M., Humar, A., Kasap, I., Kos, B., Mioč, i F. Pohleven (2017): Heavy metal bioaccumulation by wild edible saprophytic and ectomycorrhizal mushrooms. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 23(18): 18239–18252.
347. Skiba, S., Drewnik, M., Predki, R., Szmuc, R. (1998): The soils of the Bieszczady National Park. *Monogr Bieszcz.* 2: 88.
348. Skiba, S., Kubica, B., Skiba, M., Stobinski, M. (2005): Content of the gamma radionuclides of ¹³⁷Cs and ⁴⁰K in the soils samples of the Tatra Mts (Poland) and Czarnohora Mts (Ukraine). *Pol J Soil Sci*, 38(2):119–126.
349. Smith, A.B. (1994): Rooting molecular trees: problems and strategies. *Biol. J. Linn. Soc*, 51:279–292.
350. Smith, D. (2017): Fungi photos and descriptions. Web site: <http://www.fungikingdom.net/index.html>
351. Smith, J.E., Molina, R., Luoma, D.L., Huso, M.M., Valachovic, Y., Lebel, T., McKay, D., Castellano, D.A. (2002): Species richness, abundance, and composition of hypogeous and epigeous ectomycorrhizal fungal sporocarps in young, rotation-age, and old-growth stands of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) in the Cascade Range of Oregon, U.S.A. *Canadian Journal of Botany*. 80(2): 186–204.
352. Smith, M. L., Bruhn, J. N. & Anderson, J. B. (1992): The fungus *Amillaria bulbosa* is among the largest and oldest living organisms. *Nature* 356, 428-431.

353. Song, B., T. Li, T. Li, Q. Huang, W. Deng (2018): *Phallus fuscoechinovolvatus* (Phallaceae, Basidiomycota), a new species with a dark spinose volva from southern China“, *Phytotaxa*, tom 334, izd 1, str. 19.
354. Sotome, K., T. Hattori, Y. Ota, C. To-anun, B. Salleh, M. Kakishima (2008): Phylogenetic relationships of *Polyporus* and morphologically allied genera. *Mycologia*, 100(4): 603–615.
355. Soyak, M., Saracoglu, S., Tuzen, M. (2005): Determination of trace metals in fungi samples from Kayseri, Turkey. *Food Chemistry*, 92: 649–652.
356. Soyak, M., Tuzen, M., & Mendil, D. (2005): Determination of trace metals in mushroom and plant samples from Kayseri, Turkey. *Food Chemistry*, 92(4), 649–652.
357. Stanković, D. (2008): Biljke i saobraćaj, Zadužbina Andrejević, Beograd, str. 98.
358. Steiner, M., Linkov, I., Yoshida, S. (2002): The role of fungi in the transfer and cycling of radionuclides in forest ecosystems. *Journal of Environmental Radioactivity*, 58:217–241
359. Stevanović, V., Stevanović, B. (1995): Osnovni klimatski, geološki i pedološki činioci diverziteta kopnenih ekosistema Jugoslavije. U: Biodiverzitet Jugoslavije sa pregledom vrsta od međunarodnog značaja, Stevanović, V., Vasić, V. (urednici). Biološki fakultet i Ecolibri, Beograd. pp 75-97.
360. Stević, N., Čapelja, E., Galović, V., Novaković, M., Karaman, M. (2014): Molecular characterisation of autochthonous fungal culture collection by analysis of ITS1 sequences of rDNA. *Genetika*, 46(1):235-242.
361. Stokland, J.N., Siitonen, J., Jonsson, B.G. (2012): *Biodiversity in Dead Wood*. Cambridge University Press, Cambridge.
362. Straatsma, G., Ayer, F., Egli, S. (2001): Species richness, abundance, and phenology of fungal fruit bodies over 21 years in a Swiss forest plot. *Mycological Research*, 105(5):515-523.
363. Sugiyama, J. (1998): Relatedness, phylogeny and evolution of the fungi. *Mycoscience*, 39: 487-511.
364. Svoboda, L., Zimmermannova, K., Kalač, P. (2000): Concentrations of mercury, cadmium, lead and copper in fruiting bodies of edible mushrooms in an emission area of copper smelter and a mercury smelter. *Science of the Total Environment*, 246(1): 61- 67.
365. "Sl. glasnik RS", br. 5/2010 i 47/2011 – Pravilnik o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva
366. "Službeni glasnik RS", br. 23/94 – Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja
367. "Službeni glasnik RS", br.39/93 i 44/93 –Zakon o Nacionalnim parkovima
368. "Sl. glasnik RS", br.25/2010 i br. 28/2011– Pravilnik o količinama pesticida, metala i metaloida i drugih otrovnih supstancija, hemioterapeutika, anabolika i drugih supstancija koje se mogu nalaziti u namirnicama
369. Tamura, K., Peterson, D., Peterson, N., Stecher, G., Nei, M., Kumar, S. (2011): MEGA5: Molecular Evolutionary Genetics Analysis using Maximum Likelihood, Evolutionary Distance, and Maximum Parsimony Methods. *Molecular Biology and Evolution*, 28:2731-2739.
370. Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipiski, A., Kumar, S. (2013): MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0
371. Tanabe, Y., Watanabe, M.M., Sugiyama, J. (2005): Evolutionary relationships among basal fungi (Chytridiomycota and Zygomycota): Insights from molecular phylogenetics. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 51(5): 267-276.
372. Taylor, W., Jacobson, J., Kroken, S., Kasuga, T., Geiser, M., Hibbett, D.S., Fisher, M. (2000): Phylogenetic Species Recognition and Species Concepts in Fungi. *Fungal Genetics and Biology*, 31:21–32.
373. Tedersoo, L., Bahram, M., Toots, M. *i sar.* (2012): Towards global patterns in the diversity and community structure of ectomycorrhizal fungi. *Molecular Ecology*, 21: 4160–4170.
374. Tehler, A., Little, D.P., Farris, J.S. (2003): The full-length phylogenetic tree from 1551 ribosomal sequences of chitinous fungi, Fungi. *Mycological Research*, 107(8): 901-916.
375. Tilman, D., Reich, P.B., Knops, J., Wedin, D., Mielke, T., Lehman, C. (2001): Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, 294: 843–845.
376. Tofts, R.J., and Orton, P.D. (1998): The species accumulation curve for Agarics and Boleti from a Caledonian pinewood. *Mycologist*, 12: 98–102.
377. Torres, P., Honrubia, M (1997): Changes and effects of natural fire on ectomycorrhizal inoculum potential of soil in a *Pinus halepensis* forest. *Forest Ecology and Management*, 96: 189-196.
378. Tortić, M. (1979): Larger fungi from Kopaonik Mountain (Serbia, Yugoslavia) collected by V. Lindtner. *Acta Botanica Croatica*, 38:141-150.
379. Trierveiler-pereira, L., A. A. R. De Meijer, M. A. Reck, K. Hosaka, R. M. B. Da silveira (2017): *Phallus aureolatus* (Phallaceae, Agaricomycetes), a new species from the Brazilian Atlantic Forest. *Phytotaxa* (3): 223.
380. Trudić, B., Orlović, S., Stojnić, S., Pilipović, A., Matović, B., Novčić, Z. (2015): Šumske ekosistemske usluge u kontekstu klimatskih promena . novi koncept za šumarstvo u Republici Srbiji? *Topola*, 195/196:55-83.

381. Tsikritzis, L., Ganatsios, S., Duliu, O., Kavouridis, C., Sawidis, T. (2002): Trace elements distribution in soil in areas of lignite power plants of Western Macedonia. *Journal of Trace & Microprobe Techniques*, 20(2): 269.
382. Tulloss, R., Yang Z. (2018): Keys & checklists. In Tulloss, R., Yang, Z. (Eds). *Amanitaceae studies*. Web site: <http://www.amanitaceae.org?Keys+and+Checklists>
383. Tulloss, R.E. (2019): *Amanita battarrae*. In Tulloss, R.E., Yang, Z.L., (Eds). *Amanitaceae studies*. Web sajt: <http://www.amanitaceae.org?Amanita+battarrae>
384. Tulloss, R.E. (2019): *Amanita fulva*—Eurasian. In Tulloss, R.E., Yang, Z.L., (Eds). *Amanitaceae studies*. Web sajt: <http://www.amanitaceae.org?Amanita+fulva%26mdash%3BEurasian>
385. Tuzen, M. (2003): Determination of heavy metals in soils, mushrooms and plant samples by atomic absorption spectrometry. *Micro-chem J*, 74:289–297.
386. Tyler, G. (1982): Metal accumulation by wood-decaying fungi. *Chemosphere*, 11: 1141-1146.
387. Uzelac, B. (2009): *Gljive Srbije i zapadnog Balkana*. BGV Logik, Beograd.
388. Vetter, J. (1994): Data on arsenic and cadmium contents of some common mushrooms. *Toxicon*, 32, 11-15.
389. Vetter, J. (1997): Chromium and nickel contents of some common edible mushroom species. *Acta Alimentaria*, 26: 163-170.
390. Vidanović G. (1960): Vidlič – Zabrđe, prilog poznavanju privrednog tipa, razvitka i razmeštaja proizvodnje i razmene dobara jadne zaostale periferne kraške oblasti U: Vujević, P. (urednik) *Srpska akademija nauka, posebna izdanja Geografskog instituta*, knj. 15: 5, 7-12, 17-19, 21-26, 29, Beograd.
391. Vilotić, D., Stavretović, N., Stanić, M (2011): *Posebni primerci drvenastih vrsta Nacionalnog parka Tara*. Zavod za zaštitu prirode Srbije. Delfi medija, Čajetina. Beograd.
392. Visser, S. (1995): Ectomycorrhizal fungal succession in jack pine stands following wildfire“, *New Phytol*, 129(3): 389–401.
393. Vogt, K.A., Bloomfield, J., Ammirati, J.F., Ammirati, S.R. (1992): Sporocarp production by basidiomycetes, with emphasis on forest ecosystems. In *The fungal community: its organization and role in the ecosystem*. Edited by G.C. Carroll and D.T. Wicklow. Marcel Dekker, Inc., New York. pp. 563–581.
394. Walker, W. F., Doolittle, W.F. (1982): Redividing the basidiomycetes on the basis of 5s rRNA sequences. *Nature*, 299:723-724.
395. Watling, R. (1995): Assessment of fungal diversity: Macromycetes, the problems. *Can J Bot* 73(Suppl. 1): 15–24.
396. Whittaker, R.H. (1969): New concepts of kingdoms of organisms. *Science*, 163(3863): 150-160.
397. Wild, A. (1988): Potassium, sodium, calcium, magnesium, sulphur, silicon. In: Wild, A. (Ed). *Russell's Soil Conditions & Plant Growth* (eleventh ed.), Longman Group UK Lim., 743-779.
398. Wildscreen Arkive (2017) Web sajt: <https://web.archive.org>
399. Wilson, A.W., Desjardin, D. E. (2005): Phylogenetic relationships in the gymnopoid and marasmioid fungi (Basidiomycetes, euagarics clade). *Mycologia*, 97,3: 667–679.
400. Winterhoff, W. (Ed) (1992): *Fungi in vegetation science*. Kluwer Academic Press, The Netherlands.
401. Woese, C.R. (2000): Interpreting the universal phylogenetic tree. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(15): 8392-8396.
402. Woese, C.R., Kandler, O. & Wheelis, M. (1990): Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 87(12): 4576–4579.
403. Wondratschek, I., Roder, U. (1993): Monitoring of heavy metals in soils by higher fungi. In: *Plants as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment*. B. Markert (Ed). Weinheim: VCH. pp. 345-363.
404. Wood, M. (2019): MykoWeb: Mushrooms & other Fungi on the Web. Retrieved from <http://www.mykoweb.com/>
405. Xing, X., X. Ma, M. M. Hart, A. Wang, i S. Guo, (2010): Genetic Diversity and Evolution of Chinese Traditional Medicinal Fungus *Polyporus umbellatus* (Polyporales, Basidiomycota). *PLoS One*, 8(3).
406. Yamashita, S., Hattori, T., Momose, K., Nakagawa, M., Aiba, M., Nakashizuka, T. (2008): Effects of Forest Use on Aphyllophoraceous Fungal Community Structure. *Biotropica*, 40(3): 354–362.
407. Yoshida, S., Muramatsu, Y. (1998): Concentrations of alkali and alkaline earth elements in mushrooms and plants collected in Japanese pine forest, and their relationship with ¹³⁷Cs. *Journal of Environmental Radioactivity*, 41(2): 183-205.
408. Yoshida, S., Muramatsu, Y., Ogawa, M. (1993): Radiocesium concentrations in mushrooms collected in Japan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 22(2): 141-154.
409. Zak, J.C., Willig, M. (2004): Fungal biodiversity patterns. In Mueller G.M., Bills G.F., Foster M.S., 2004. *Biodiversity of fungi – inventory and monitoring methods*. Elsevier Academic Press.
410. Zhang, Y., Zhou, D. Q., Zhao, Q., Zhou, T. X., Hyde, K. D. (2010): Diversity and ecological distribution of macrofungi in the Laojun Mountain region, southwestern China. *Biodiversity and Conservation*. 19(12): 3545–3563.

-
411. Zhou, J. , Zhu, L., Chen, H., Cui, B. (2016): Taxonomy and Phylogeny of Polyporus Group Melanopus (Polyporales, Basidiomycota) from China. PLoS One, 11(8).
412. Zhu, Y-G., Smolders, E. (2000): Plant uptake of radiocaesium: a review of mechanisms, regulation and application. J Exp Bot, 51(351):1635– 164.
413. Zmitrovich, I. V., Kovalenko, A. E. (2016): Lentinoid and Polyporoid Fungi, Two Generic Conglomerates Containing Important Medicinal Mushrooms in Molecular Perspective. Int. J. Med. Mushrooms, 18(1): 23–38.
414. Zmitrovich, I.V., Kovalenko, A.E. (2016): Lentinoid and Polyporoid Fungi, Two Generic Conglomerates Containing Important Medicinal Mushrooms in Molecular Perspective. Int. J. Med. Mushrooms, 18(1): 23–38.
415. Zotti M. (2002): Mycological researches in beech woods in Western Ligurian Apennines, province of Savona (Italy). Cryptogamie Micologie 23: 135–162.
416. Zotti, M., Pautasso, M. (2013): Macrofungi in Mediterranean Quercus ilex woodlands: relations to vegetation structure, ecological gradients and higher-taxon approach. Czech Mycology, 65(2):193-218.
417. www.appliedbiosystems.com/
418. www.eppendorf.com
419. www.fao.org
420. www.fermentas.com
421. www.geospiza.com
422. www.infokop.net/
423. www.iucnredlist.org/resources/categories-and-criteria
424. www.khanacademy.org
425. www.khanacademy.org
426. www.megasoftware.net
427. www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/
428. www.nzgeo.com/stories/the-wood-wide-web
429. www.tara-planina.com
430. <http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>
431. <https://mycorrhizas.info/ecmf.html>
432. <https://unite.ut.ee/>

8. PRILOZI

Prilog 8.1. Vrste zabeležene tokom trogodišnjeg terenskog istraživanja sa svih ispitivanih lokaliteta i plotova

	IDENTIFIKOVANI TAKSONI (na nivou vrste / roda)	EG	PLOTOWI					2011				2012			2013				FP*
			P1	P2	P3	P4	P5	VI	VII	VIII	IX	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII	IX	
	UKUPNA BROJNOST		53	48	59	110	80	32	38	53	30	33	19	26	69	71	31	54	
	ASCOMYCOTA																		
1.	<i>Bisporella citrina</i> (Batsch) Korf & S.E. Carp.	Lig				1									P4				1
2.	<i>Caloscypha fulgens</i> (Pers.) Boud.	Ter													P5				1
3.	<i>Disciotis venosa</i> (Pers.) Arnould	Lig	1								P1								1
4.	<i>Helvella calycina</i> Skrede, T.A. Carlsen & T. Schumach.	Lig				1								P4					1
5.	<i>Hypoxylon fragiforme</i> (Pers.) J. Kickx f.	Lig				1			P4										1
6.	<i>Hypoxylon sp.1</i>	Lig	1															P1	1
7.	<i>Hypoxylon sp.2</i>	Lig	1															P1	1
8.	<i>Kretzschmaria deusta</i> (Hoffm.) P.M.D. Martin	Lig				1							P4						1
9.	<i>Lachnellula resinaria</i> (Cooke & W. Phillips) Rehm	Lig			1										P3				1
10.	<i>Neobulgaria pura</i> (Pers.) Petr.	Lig				2	1								P4,5		P4		3
11.	<i>Peziza phyllogena</i> Cooke	Ter	1					P1											1
12.	<i>Peziza sp.</i>	Ter	1											P1					1
13.	<i>Scutellinia sp.1</i>	Ter			1									P3					1
14.	<i>Scutellinia sp.2</i>	Ter				1									P4				1
15.	<i>Spathularia flavida</i> Pers.	Lig		2					P2						P2				2
16.	<i>Vibrissea truncorum</i> (Alb. & Schwein.) Fr.	Lig				3		P4			P4			P4					3
17.	<i>Xylaria carpophila</i> (Pers.) Fr.	Lig	2			1								P1,4	P1				3
18.	<i>Xylaria hypoxylon</i> (L.) Grev.	Lig	1	1		3	1		P4,5				P4		P1,2,4				6
	BASIDIOMYCOTA																		
1.	<i>Agaricus sylvicola</i> (Vittad.) Peck	Ter		1										P2					1
2.	<i>Agrocybe praecox</i> (Pers.) Fayod	Lig	1												P1				1
3.	<i>Amanita battarrae</i> (Boud.) Bon	Mik			5	1			P3	P3		P3		P3,4	P3				6
4.	<i>Amanita excelsa</i> (Fr.) Bertill.	Mik				1				P4									1

37.	<i>Craterellus tubaeformis</i> (Fr.) Quél.	Mik			2				P4					P4	2	
38.	<i>Crepidotus variabilis</i> (Pers.) P. Kumm.	Lig		1					P3						1	
39.	<i>Dacrymyces capitatus</i> Schwein.	Lig			1						P4				1	
40.	<i>Dacrymyces chrysospermus</i> Berk. & M.A. Curtis	Lig				1			P5						1	
41.	<i>Dacrymyces sp.1</i>	Lig		1				P2							1	
42.	<i>Dacrymyces sp.2</i>	Lig			1					P4					1	
43.	<i>Dacrymyces stillatus</i> Nees	Lig		1	1			P2						P3	2	
44.	<i>Daedalea quercina</i> (L.) Pers.	Lig				1							P5		1	
45.	<i>Daedaleopsis confragosa</i> (Bolton) J. Schröt.	Lig			1			P4							1	
46.	<i>Datronia mollis</i> (Sommerf.) Donk	Lig			1						P4				1	
47.	<i>Echinoderma asperum</i> (Pers.) Bon	Ter		1										P1	1	
48.	<i>Entocybe nitida</i> (Quél.) T.J. Baroni, Largent & V. Hofst.	Ter			1									P4	1	
49.	<i>Entoloma serrulatum</i> (Fr.) Hesler	Lig				1							P5		1	
50.	<i>Exidia thuretiana</i> (Lév.) Fr.	Lig			1								P4		1	
51.	<i>Flammulaster carpophilus</i> (Fr.) Earle ex Vellinga	Ter		2				P1					P1		2	
52.	<i>Flammulaster muricatus</i> (Fr.) Watling	Lig		1				P1							1	
53.	<i>Flammulina velutipes</i> (Curtis) Singer	Lig			1									P3	1	
54.	<i>Fomes fomentarius</i> (L.) Fr.	Lig		2	1	2			P3,5		P3		P5	P4	5	
55.	<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst.	Lig		2	3	7		P4,5	P5	P5	P5	P3	P5	P3,4,5	P4,5	12
56.	<i>Galerina hypnorum</i> (Schränk) Kühner	Lig			1									P4	1	
57.	<i>Galerina marginata</i> (Batsch) Kühner	Lig			1						P4				1	
58.	<i>Galerina sp.1</i>	Lig			1				P4						1	
59.	<i>Galerina sp.2</i>	Lig			1						P4				1	
60.	<i>Galerina sp.3</i>	Lig			1								P4		1	
61.	<i>Ganoderma applanatum</i> (Pers.) Pat.	Lig			8	5		P4,5	P4	P4,5	P4,5	P5	P4	P4,5	P4	13
62.	<i>Geastrum quadrifidum</i> DC. ex Pers.	Ter		1						P2					1	
63.	<i>Gloeophyllum odoratum</i> (Wulfen) Imazeki	Lig			3							P4	P4	P4	3	
64.	<i>Guepinia helvelloides</i> (DC.) Fr.	Lig			1								P4		1	
65.	<i>Gymnopus androsaceus</i> (L.) Della Magg. & Trassin.*	Ter		2	3	1	2	P2,3,5	P2,3,5					P3,4	8	
66.	<i>Gymnopus confluens</i> (Pers.)	Ter		1							P1				1	

67.	Antonín, Halling & Noordel. <i>Gymnopus dryophilus</i> (Bull.) Murrill*	Ter	2	1	3	2	P3	P5	P3			P1,2	P1,3,5	8			
68.	<i>Gymnopus foetidus</i> (Sowerby) P.M. Kirk	Ter	3			1	P1			P1		P1	P4	4			
69.	<i>Gymnopus perforans</i> (Hoffm.) Antonín & Noordel.	Ter			1				P3					1			
70.	<i>Gyroporus castaneus</i> (Bull.) Quéf.	Mik				1							P4	1			
71.	<i>Gyroporus cyanescens</i> (Bull.) Quéf.	Mik			1						P3			1			
72.	<i>Hemimycena lactea</i> (Pers.) Singer	Ter				2			P5			P4	P4	3			
73.	<i>Hericium coralloides</i> (Scop.) Pers.	Lig				3				P5		P5	P5	3			
74.	<i>Hohenbuehelia</i> sp.	Lig				1								1			
75.	<i>Hydnum repandum</i> L.	Mik		1		1			P2	P5				2			
76.	<i>Hydropus subalpinus</i> (Höhn.) Singer	Ter	1		2		P3					P1	P3	3			
77.	<i>Hygrophorus erubescens</i> (Fr.) Fr.	Mik			1				P3					1			
78.	<i>Hymenopellis radicata</i> (Relhan) R.H. Petersen*	Lig	8	2	2	1	P1	P1	P2	P1	P1	P2,3	P1	P1	P1,3,4	P1	13
79.	<i>Hypholoma capnoides</i> (Fr.) P. Kumm.	Lig		1									P2	1			
80.	<i>Hypholoma fasciculare</i> (Huds.) P. Kumm.*	Lig	3	1	3	2			P1	P1,3	P3		P2,5	P1	P3,4	P4	10
81.	<i>Hypholoma lateritium</i> (Schaeff.) P. Kumm.	Lig				1						P5	P4				2
82.	<i>Laccaria amethystina</i> Cooke	Mik				1			P5					1			
83.	<i>Laccaria laccata</i> (Scop.) Cooke	Mik		3	1					P3	P2		P2	P2	4		
84.	<i>Laccaria longipes</i> G.M. Muell.	Mik				1				P4				1			
85.	<i>Lactarius</i> sp.1	Mik	1						P1					1			
86.	<i>Lactarius</i> sp. 2	Mik		1					P2					1			
87.	<i>Lactarius</i> sp.3	Mik			1						P3			1			
88.	<i>Lactarius</i> sp.4	Mik				1				P4				1			
89.	<i>Lactarius</i> sp.5	Mik				1							P4	1			
90.	<i>Lactarius</i> sp.6	Mik				1			P5					1			
91.	<i>Lactarius</i> sp.7	Mik				1			P5					1			
92.	<i>Lactarius vellereus</i> (Fr.) Fr.	Mik		3				P2					P2	P2	3		
93.	<i>Lactarius volemus</i> (Fr.) Fr.	Mik		2					P2				P2		2		
94.	<i>Lentinellus micheneri</i> (Berk. & M.A. Curtis) Pegler	Lig				1							P4	1			
95.	<i>Lepiota</i> sp.	Ter			1								P3	1			
96.	<i>Lycoperdon echinatum</i> Pers.	Ter	1			1			P5				P1	2			
97.	<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.*	Ter		1	2	1							P2	P3	P3,5	4	
98.	<i>Lycoperdon</i> sp.	Ter		1									P2			1	
99.	<i>Chlorophyllum rhacodes</i>	Ter			1								P3			1	

136.	<i>Mycena sp.15</i>	Lig			1													P4				1			
137.	<i>Mycena sp.16</i>	Lig			1													P4				1			
138.	<i>Mycena sp.17</i>	Ter			1			P5														1			
139.	<i>Mycena sp.18</i>	Lig			1			P5														1			
140.	<i>Mycena sp.19</i>	Ter			1			P5														1			
141.	<i>Mycena sp.20</i>	Lig			1													P5				1			
142.	<i>Mycena sp.21</i>	Ter			1													P5				1			
143.	<i>Mycena sp.22</i>	Lig			1													P5				1			
144.	<i>Mycena sp.23</i>	Ter			1													P5				1			
145.	<i>Mycena stylobates</i> (Pers.) P. Kumm.	Ter	1	1						P5	P5							P1,2				4			
146.	<i>Mycena viridimarginata</i> P. Karst.	Lig																P4				1			
147.	<i>Mycena vitilis</i> (Fr.) Quel.	Ter			1	4	1			P4								P4		P4,5	P3	P4	6		
148.	<i>Mycetinis alliaceus</i> (Jacq.) Earle ex A.W. Wilson & Desjardin	Ter			3	7	4			P3	P4	P4,5						P4,5	P4	P4,5	P3,4,5	P3,4	14		
149.	<i>Mycetinis scorodoni</i> (Fr.) A.W. Wilson & Desjardin	Ter			1		2			P5	P2,5												3		
150.	<i>Neoboletus erythropus</i> (Pers.) C. Hahn	Mik					1											P5					1		
151.	<i>Paxillus involutus</i> (Batsch) Fr.	Mik					1															P4	1		
152.	<i>Phaeocollybia lugubris</i> (Fr.) R. Heim	Ter				1																P3	1		
153.	<i>Phallus impudicus</i> L.	Ter	5	3						P2	P2	P1						P1			P1	P1,2	P1	8	
154.	<i>Phloeomana speirea</i> (Fr.) Redhead	Lig					1											P4					1		
155.	<i>Pholiota flammans</i> (Batsch) P. Kumm.	Lig				1																P3	1		
156.	<i>Picipes badius</i> (Pers.) Zmitr. & Kovalenko	Mik					1											P4					1		
157.	<i>Pleurocybella porrigens</i> (Pers.) Singer	Lig				1	2											P5				P4,5	3		
158.	<i>Plicaturopsis crispa</i> (Pers.) D.A. Reid	Lig	1	1																		P3	2		
159.	<i>Pluteus cervinus</i> (Schaeff.) P. Kumm.*	Lig	1	1		2	3											P3,5	P1	P5		P4	P5	P4	7
160.	<i>Pluteus griseoluridus</i> P.D. Orton	Lig					1																P4	1	
161.	<i>Pluteus phaeocyanopus</i> Minnis & Sundb.	Lig					1																P5	1	
162.	<i>Pluteus romellii</i> (Britzelm.) Sacc.	Lig				2																	P3	2	
163.	<i>Pluteus sp.1</i>	Lig	1																				P1	1	
164.	<i>Pluteus sp.2</i>	Lig					1																P5	1	
165.	<i>Polyporus arcularius</i> Rostk.	Lig	1																				P1	1	
166.	<i>Polyporus sp.1</i>	Lig	1																				P1	1	
167.	<i>Polyporus sp.2</i>	Lig				1																		1	
168.	<i>Polyporus sp.3</i>	Lig					1																	1	
169.	<i>Cerioporus squamosus</i> (Huds.)	Lig	2																				P1	2	

170.	Quél. <i>Porphyrellus porphyrosporus</i> (Fr. & Hök) E.-J. Gilbert	Mik		2	1					P5	P3	P3	3
171.	<i>Psathyrella candolleana</i> (Fr.) Maire	Lig	2		1		P1	P5		P1			3
172.	<i>Pseudohydnum gelatinosum</i> (Scop.) P. Karst.	Lig		1	2	4		P5	P3,4,5	P5	P5	P4	7
173.	<i>Radulomyces molaris</i> (Chaillet ex Fr.) M.P. Christ.	Lig				1				P5			1
174.	<i>Rickenella fibula</i> (Bull.) Raithelh.	Ter			3	1				P4	P4	P4,5	4
175.	<i>Rickenella swartzii</i> (Fr.) Kuyper	Ter			2					P4		P4	2
176.	<i>Russula amethystina</i> Quél.	Mik				1					P5		1
177.	<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.	Mik	1		2	1		P4	P5	P4		P1	4
178.	<i>Russula firmula</i> Jul. Schäff.	Mik				1					P5		1
179.	<i>Russula foetens</i> Pers.	Mik		2				P2				P2	2
180.	<i>Russula fuscorubroides</i> Bon	Mik			1					P4			1
181.	<i>Russula grisea</i> Fr.	Mik		1						P2			1
182.	<i>Russula mustelina</i> Fr.	Mik			1						P3		1
183.	<i>Russula nigricans</i> Fr.	Mik			1							P4	1
184.	<i>Russula sp.1</i>	Mik	1				P1						1
185.	<i>Russula sp.2</i>	Mik	1						P1				1
186.	<i>Russula sp.3</i>	Mik	1									P1	1
187.	<i>Russula sp.4</i>	Mik		1			P2						1
188.	<i>Russula sp.5</i>	Mik		1							P2		1
189.	<i>Russula sp.6</i>	Mik		1						P2			1
190.	<i>Russula sp.7</i>	Mik		1						P2			1
191.	<i>Russula sp.8</i>	Mik			1			P3					1
192.	<i>Russula sp.9</i>	Mik			1				P3				1
193.	<i>Russula sp.10</i>	Mik			1					P3			1
194.	<i>Russula sp.11</i>	Mik			1					P3			1
195.	<i>Russula sp.12</i>	Mik			1							P3	1
196.	<i>Russula sp.13</i>	Mik			1							P3	1
197.	<i>Russula sp.14</i>	Mik				1				P4			1
198.	<i>Russula sp.15</i>	Mik				1				P4			1
199.	<i>Russula sp.16</i>	Mik				1						P4	1
200.	<i>Russula sp.17</i>	Mik				1						P4	1
201.	<i>Russula sp.18</i>	Mik				1						P4	1
202.	<i>Russula sp.19</i>	Mik				1						P4	1
203.	<i>Russula sp.20</i>	Mik				1						P4	1
204.	<i>Russula sp.21</i>	Mik				1							1
205.	<i>Russula sp.22</i>	Mik				1			P5				1
206.	<i>Russula sp.23</i>	Mik				1					P5		1
207.	<i>Russula sp.24</i>	Mik				1				P5			1
208.	<i>Russula sp.25</i>	Mik				1						P5	1
209.	<i>Russula sp.26</i>	Mik				1						P5	1
210.	<i>Sarcodon scabrosus</i> (Fr.) P.	Mik		1				P3					1

Prilog 8.2. Koncentracija aktivnosti radionuklida [Bq/kg s.m.] u uzorcima makrogljiva i njihovog supstrata

Uzorci	Šifra uzorka	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th
PLOT 1					
Zemljište	Z1	429±22	68,9±1,5	32,5±1,7	31,9±1,5
Drvo	D-CV1	239±13	<2,6	<3	<4
	D-SH	331±15	5,1±1,8	11,3±2,7	4,2±1,5
<i>Cerioporus varius</i>	CV1-1 ₃ T	259±16	<4	<5	9,5±1,4
<i>Ganoderma applanatum</i>	GA1-1 ₂ T	135±21	29±3	<10	16,7±2,5
<i>Stereum hirsutum</i>	SH-1 ₂ T	225±11	21,7±1,0	1,5±0,9	1,4±0,4
<i>Ramaria flava</i>	RF-1 ₁ M	1320±60	148±5	<6	10,1±1,4
<i>Tricholoma pessundatum</i>	TP-1 ₁ M	1320±70	787±21	<11	8,7±2,9
PLOT 2					
Zemljište	Z2	492±25	10,0±0,6	27,0±1,9	31,5±1,5
Drvo	D-CV2	23±4	8,0±1,9	<11	<3
	D-TG1	37±5	10,6±1,1	9,6±1,4	<6
<i>Cerioporus varius</i>	CV2-2 ₃ T	<180	<22	<28	19±6
<i>Trametes gibbosa</i>	TG1-2 ₃ T	114±14	7,3±1,9	25±4	11,6±1,8
<i>Megacollybia platyphylla</i>	MP1-2 ₁ M	1180±40	9,0±1,1	5,1±2,1	10,7±2,6
	MP2-2 ₁ M	1260±70	5,8±2,9	13±4	26±4
<i>Clitocybe nebularis</i>	CN-2 ₁ M	1120±60	<10	<14	32±4
<i>Lactarius volemus</i>	LV-2 ₁ M	810±40	<4	3,1 ± 1,9	8,9±1,2
PLOT 3					
Zemljište	Z3	367±19	139,5±2,5	28,9±2,3	27,6±1,8
Drvo	D-CV3	196±70	<10	12,0±2,5	<11
	D-HF	<40	26,4±2,0	24,3±1,8	7±4
<i>Cerioporus varius</i>	CV3-3 ₃ T	220±40	<17	33±9	48±6
	CV4-3 ₃ T	350±70	13±9	<40	70±10
<i>Hypholoma fasciculare</i>	HF-3 ₂ M	1580±90	268±10	<22	15±5
<i>Gyroporus cyanescens</i>	GC-3 ₁ M	1770±80	27±4	45±9	23±4
<i>Hydnum repandum</i>	HR1-3 ₁ M	1340±60	10240±250	13±5	33±5
<i>Chlorophyllum rhacodes</i>	CR-3 ₁ M	1090±50	8,2±1,3	<5	9,5±1,4
<i>Sarcodon imbricatus</i>	SI-3 ₁ M	1310±50	1008±25	2,0±1,1	2,6±0,6
PLOT 4					
Zemljište	Z4	143 ± 10	221 ± 6	23,1 ± 2,5	19,2 ± 1,1
Drvo	D-FP1	180±20	17,2±4,1	<12	<9
	D-GA2	256±42	59,4±1,6	14±2	2,2±1,3
	D-GA4	62±17	1,8±1,5	4,9±2,4	2,7±2,1
	D-TG3	48±12	21,3±1,4	13,7±2,5	5,5±2,3
<i>Fomitopsis pinicola</i>	FP1-4 ₃ T	110 ± 40	32,0 ± 2,3	8,4 ± 2,9	10,9 ± 2,8
	FP2-4 ₃ T	114 ± 25	52 ± 3	3,4 ± 2,3	<8
<i>Ganoderma applanatum</i>	GA2-4 ₃ T	236 ± 25	107 ± 4	<9	4,6 ± 2,2
	GA3-4 ₃ T	218 ± 29	33 ± 3	3 ± 3	12 ± 3
	GA4-4 ₃ T	170 ± 30	78 ± 4	39 ± 5	18 ± 4
	GA5-4 ₃ T	210 ± 30	81,5 ± 2,9	6 ± 3	3,1 ± 2,1
<i>Trametes gibbosa</i>	TG2-4 ₃ T	136 ± 28	40,5 ± 2,7	<17	<2,1
	TG3-4 ₃ T	160 ± 30	81 ± 4	<7	<10
<i>Megacollybia platyphylla</i>	MP3-4 ₁ M	710 ± 40	324 ± 7	<10	<8
<i>Russula sp.</i>	R1-4 ₁ M	1070±40	14,5±1,1	<4	7,0±0,9
<i>Sutorius luridiformis</i>	SL1-4 ₁ M	460 ± 30	43,1 ± 2,8	<7	<10

PLOT 5					
Uzorci	Šifra uzorka	⁴⁰K	¹³⁷Cs	²²⁶Ra	²³²Th
Zemljište	Z5	237 ± 10	189 ± 6	13,7 ± 0,8	22 ± 4
Drvo	D-GA7	780 ± 30	20,1 ± 1,7	6,7 ± 2,4	10,1 ± 2,2
	D-GA8	568 ± 24	17,8 ± 1,5	6,0 ± 1,8	7,9 ± 2,1
	D-PC	244±29	13,3±1,7	15±4	4.0±2.1
	D-HC	266±24	135±4	5.3±2.9	4.0±1.7
<i>Fomitopsis pinicola</i>	FP3-5 ₄ T	< 90	196 ± 9	8 ± 5	7 ± 5
	FP4-5 ₄ T	29 ± 23	44 ± 3	21,9 ± 2,5	11 ± 3
	FP5-5 ₄ T	46 ± 15	199 ± 11	15,3 ± 1,7	5 ± 5
<i>Ganoderma applanatum</i>	GA6-5 ₃ T	237 ± 28	46,0 ± 2,9	< 9	3,3 ± 2,1
	GA7-5 ₃ T	200 ± 50	73 ± 6	4 ± 4	10 ± 4
	GA8-5 ₃ T	61 ± 25	37 ± 3	7 ± 3	10,7 ± 2,8
<i>Pluteus cervinus</i>	PC-5 ₂ M	3020 ± 100	304 ± 8	8 ± 6	< 9
<i>Hericium coralloides</i>	HC-5 ₃ M	922 ± 29	735 ± 18	< 6	2,0 ± 1,6
<i>Boletus sp. 1</i>	BS1-5 ₁ M	650 ± 40	67 ± 3	< 11	5,7 ± 2,5
<i>Boletus sp. 2</i>	BS2-5 ₁ M	635 ± 20	296 ± 6	4,2 ± 1,2	3,4 ± 0,6
<i>Sutorius luridiformis</i>	SL2-5 ₁ M	533 ± 20	21,9 ± 1,2	< 4	2,7 ± 1,2
Deskriptivna statistika		⁴⁰K	¹³⁷Cs	²²⁶Ra	²³²Th
Minimum (min)		0,0	0,0	0,0	0,0
Maksimum (max)		3020	10240	45	70
Medijana (M)		304,5	43,55	1,75	9,2
Srednja vrednost (SV)		633,25	386,94	6,72	11,80
Standardna devijacija (SD)		645,96	1613,71	11,19	14,01

Prilog 8.3. Sadržaj makro i mikroelemenata u uzorcima makrogljiva i njihovog supstrata [mg kg⁻¹ s.m.]

Uzorci	Šifra uzorka	Makroelementi*				Mikroelementi*				
		K	Mg	Ni	Cd	Pb	Cu	Mn	Fe	Zn
PLOT 1										
Zemljište	Z1	4650,24±838,36	4911,24±185,24	41,44±0,02	2,48±0,14	106,34±1,37	25,93±0,60	634,51±2,41	28644,95±214,17	84,81±1,34
Drvo	D-CV1	164,46±9,14	60,20±4,22	13,92±1,05	2,37±0,04	20,91±0,39	6,16±0,09	209,43±6,03	388,00±1,34	11,14±0,04
	D-SH	163,81±2,99	111,06±1,12	15,52±0,49	2,21±0,01	27,53±0,31	4,57±0,03	183,57±2,36	664,17±1,82	13,33±0,07
<i>C. varius</i>	CV1-1 ₃ T	8379,62±20,35	2934,09±118,89	20,57±0,09	3,21±0,11	89,20±0,49	9,90±0,02	4,81±0,07	38,68±3,68	19,47±0,58
<i>G. applanatum</i>	GA1-1 ₂ T	4039,45±34,50	921,90±70,17	19,57±0,31	3,68±0,02	113,24±1,98	16,38±0,01	43,57±0,13	64,94±15,09	28,33±0,02
<i>S. hirsutum</i>	SH-1 ₂ T	5261,32±44,33	1075,72±116,97	21,06±0,42	2,98±0,03	80,50±0,67	13,38±0,27	49,18±0,14	302,79±0,64	35,12±0,09
<i>R. flava</i>	RF-1 ₁ M	78608,42±18816,83	2868,98±850,29	33,09±0,10	3,75±0,00	86,59±1,81	16,57±0,13	90,83±2,41	158,63±10,93	115,53±2,7
<i>T. pessundatum</i>	TP-1 ₁ M	55761,83±436,68	1107,99±11,45	20,40±0,26	7,28±0,20	84,44±0,36	25,24±0,13	19,15±0,44	246,01±12,90	91,34±1,51
PLOT 2										
Zemljište	Z2	3709,21±62,24	5852,18±134,61	47,06±3,32	2,49±0,00	98,87±1,92	24,07±0,09	1152,72±29,47	33033,18±228,72	74,82±0,17
Drvo	D-CV2	117,99±13,43	35,91±1,14	17,26±0,25	2,55±0,03	21,04±0,52	5,71±0,15	156,60±0,92	550,14±3,77	11,61±0,02
	D-TG1	99,18±1,15	57,42±2,17	12,91±1,83	1,58±0,14	26,97±0,28	5,81±0,03	104,24±2,75	230,46±1,33	8,32±0,03
<i>C. varius</i>	CV2-2 ₃ T	4948,01±93,41	1532,79±210,09	20,22±1,21	3,43±0,05	88,89±0,64	10,61±0,69	5,09±0,22	37,35±4,05	21,56±0,02
<i>T. gibbosa</i>	TG1-2 ₃ T	2898,92±129,86	665,69±7,80	20,55±0,23	3,07±0,22	86,91±0,33	15,43±0,24	12,58±0,05	48,36±1,61	13,11±0,52
<i>M. platyphylla</i>	MP2-2 ₁ M	51530,57±175,10	1540,87±27,19	19,69±0,10	3,25±0,00	89,40±1,60	17,70±0,43	23,18±0,04	117,47±1,19	44,83±0,21
<i>C. nebularis</i>	CN-2 ₁ M	49885,70±2856,40	1442,20±36,57	19,35±0,51	5,68±2,06	180,45±90,07	76,95±0,03	49,32±0,07	109,46±0,86	63,48±0,29
<i>L. volemus</i>	LV-2 ₁ M	39331,81±557,90	1058,72±99,78	20,94±0,47	4,09±0,15	86,15±1,88	51,69±0,04	11,47±0,26	126,28±1,97	56,96±0,33
PLOT 3										
Zemljište	Z3	1895,84±6,75	7807,19±148,71	43,78±3,86	3,28±0,03	210,07±2,38	158,55±4,49	905,71±34,64	23156,74±169,68	85,20±3,75
Drvo	D-CV3	191,46±34,20	80,93±5,01	15,33±0,23	3,23±0,02	22,09±0,51	6,13±0,08	281,87±9,99	469,19±3,21	10,64±0,01
	C. varius	CV3-3 ₃ T	5524,19±49,47	2034,46±73,21	20,96±0,67	3,15±0,08	83,73±0,87	10,00±0,46	9,80±0,85	143,31±16,32	20,27±0,02
<i>H. repandum</i>	HR1-3 ₁ M	59217,61±2309,71	1672,84±119,38	22,93±0,33	2,90±0,07	102,49±2,10	40,76±0,26	128,03±3,94	1423,53±97,03	46,66±0,23
<i>C. rhacodes</i>	CR-3 ₁ M	50491,15±154,33	1697,41±17,50	20,74±1,49	3,24±0,04	94,30±1,04	65,17±0,27	18,19±0,04	86,32±2,36	88,09±0,19
<i>S. imbricatus</i>	SI-3 ₁ M	59635,38±5580,21	1368,58±119,82	20,63±0,53	3,57±0,08	84,45±0,90	27,54±0,13	5,82±0,23	62,56±0,76	76,54±0,77
PLOT 4										
Zemljište	Z4	2594,87±690,14	1927,81±242,70	60,03±1,61	3,54±0,09	152,42±0,59	15,55±0,15	1853,81±118,56	24258,65±171,76	57,36±1,34
<i>M. platyphylla</i>	MP3-4 ₁ M	20400,03±2502,04	849,34±134,12	19,87±0,35	2,94±0,07	84,02±1,19	24,95±1,22	21,77±0,16	655,13±89,29	49,87±0,68
<i>Russula sp.</i>	R1-4 ₁ M	43287,93±1662,40	873,19±96,70	20,37±0,92	3,25±0,04	89,23±1,75	51,79±0,05	20,37±0,24	52,25±3,14	119,08±0,42
<i>S. luridiformis</i>	SL1-4 ₁ M	13156,18±203,14	605,34±3,49	19,33±0,13	3,11±0,05	86,43±1,08	20,40±0,02	18,28±0,13	252,48±0,31	51,98±0,02
PLOT 5										
Zemljište	Z5	1722,54±51,20	3765,15±204,80	42,02±0,94	3,18±0,10	168,85±0,77	169,67±0,20	458,86±4,18	16390,67±1136,72	53,02±0,06
<i>Boletus sp. 1</i>	BS1-5 ₁ M	19714,03±1299,96	788,26±149,14	19,24±0,24	5,06±0,00	84,34±1,39	11,59±0,16	4,08±0,01	38,65±1,36	54,96±0,48
<i>S. luridiformis</i>	SL2-5 ₁ M	49048,70±21,38	1172,98±190,36	25,51±0,77	3,05±0,11	89,05±1,21	8,41±0,01	10,45±0,13	54,78±3,93	25,51±0,16

* Sadržaj elemenata izražen je kao srednja vrednost tri merenja ± sd

Prilog 8.4. Transfer faktori iz supstrata u plodna tela gljiva (zemljište - TF_Z; drvo – TF_D)

		TF _Z	TF _D	TF _Z	TF _D	TF _Z	TF _D	TF _Z	TF _D	TF _Z	TF _D	TF _Z	TF _D	TF _Z	TF _D	TF _Z	TF _D	TF _Z	TF _D
PLOT 1		K		Mg		Ni		Cd		Pb		Cu		Mn		Fe		Zn	
<i>C. varius</i>	CV1-1 ₃ T	1,80	50,95	0,60	48,74	0,50	1,48	1,29	1,35	0,83	4,27	0,38	1,61	0,01	0,02	0,00	0,10	0,23	1,75
<i>G.applanatum</i>	GA1-1 ₂ T	0,87	/	0,19	/	0,47	/	1,48	/	1,06	/	0,63	/	0,07	/	0,00	/	0,33	/
<i>S.hirsutum</i>	SH-1 ₂ T	1,13	32,12	0,22	9,69	0,51	1,36	1,20	1,35	0,76	4,11	0,52	2,93	0,08	0,27	0,01	0,46	0,41	2,63
<i>R.flava</i>	RF-1 ₁ M	16,90	/	0,58	/	0,80	/	2,94	/	0,79	/	0,97	/	0,03	/	0,01	/	1,36	/
<i>T.pessundatum</i>	TP-1 ₁ M	11,99	/	0,23	/	0,50	/	1,51	/	0,81	/	0,63	/	0,14	/	0,006	/	1,08	/
PLOT 2																			
<i>C.varius</i>	CV2-2 ₃ T	1,33	41,94	0,26	42,68	0,43	1,17	1,38	1,35	0,90	4,25	0,44	1,86	0,00	0,03	0,001	0,07	0,29	1,86
<i>T.gibbosa</i>	TG1-2 ₃ T	0,78	29,23	0,11	11,59	0,44	1,59	1,23	1,94	0,88	3,22	0,64	2,66	0,01	0,12	0,001	0,21	0,18	1,58
<i>M.platyphylla</i>	MP2-2 ₁ M	13,89	/	0,26	/	0,42	/	1,30	/	0,90	/	0,74	/	0,02	/	0,004	/	0,60	/
<i>C.nebularis</i>	CN-2 ₁ M	13,45	/	0,25	/	0,41	/	2,28	/	1,83	/	3,20	/	0,04	/	0,003	/	0,85	/
<i>L.volemus</i>	LV-2 ₁ M	10,60	/	0,18	/	0,44	/	1,64	/	0,87	/	2,15	/	0,01	/	0,004	/	0,76	/
PLOT 3																			
<i>C. varius</i>	CV3-3 ₃ T	2,91	28,85	0,26	25,14	0,48	1,37	0,96	1,11	0,40	3,79	0,06	1,63	0,01	0,02	0,01	0,13	0,24	1,91
<i>H.repandum</i>	HR1-3 ₁ M	31,24	/	0,21	/	0,52	/	0,88	/	0,49	/	0,26	/	0,14	/	0,06	/	0,55	/
<i>C. rhacodes</i>	CR-3 ₁ M	26,63	/	0,22	/	0,47	/	0,99	/	0,45	/	0,41	/	0,02	/	0,00	/	1,03	/
<i>S.imbricatus</i>	SI-3 ₁ M	31,46	/	0,18	/	0,47	/	1,09	/	0,40	/	0,17	/	0,01	/	0,00	/	0,90	/
PLOT 4																			
<i>M. platyphylla</i>	MP3-4 ₁ M	7,86	/	0,44	/	0,33	/	0,83	/	0,55	/	1,60	/	0,01	/	0,027	/	0,87	/
<i>Russula sp.</i>	R1-4 ₁ M	16,68	/	0,45	/	0,34	/	0,92	/	0,59	/	3,33	/	0,01	/	0,002	/	2,08	/
<i>S. luridiformis</i>	SL1-4 ₁ M	5,07	/	0,31	/	0,32	/	0,88	/	0,57	/	1,31	/	0,01	/	0,010	/	0,91	/
PLOT 5																			
<i>Boletus sp. 1</i>	BS1-5 ₁ M	11,44	/	0,21	/	0,46	/	1,59	/	0,50	/	0,07	/	0,01	/	0,002	/	1,04	/
<i>S. luridiformis</i>	SL2-5 ₁ M	7,64	/	0,16	/	0,61	/	0,96	/	0,53	/	0,05	/	0,02	/	0,003	/	0,48	/

BIOGRAFIJA



Milana Rakić (rođ. Novaković) je rođena 02.07.1981. godine u Novom Sadu, gde je završila osnovnu školu „Prva vojvođanska brigada“ i gimnaziju „Isidora Sekulić“, prirodni smer, sa odličnim uspehom. Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu, Departman za biologiju i ekologiju, smer Diplomirani biolog, upisala je 2000. godine. Tokom osnovnih studija bila je aktivan član Naučno-

istraživačkog Društva studenata biologije i ekologije „Josif Pančić“, u okviru kog je učestvovala u pripremi i realizaciji brojnih akcija, terenskih radova i projekata. Pored toga, učestvovala je u organizaciji dve međunarodne naučne konferencije (Zora – XXI, 35. IAD konferencija), u osnivanju gljivarskog društva „Novi Sad“, u osnivanju i aktivnom radu Udruženja “Refugijum”. Počev od treće godina osnovnih studija, na Katedri za mikrobiologiju, Departmana za biologiju i ekologiju, uključena je i u laboratorijski rad u okviru različitih projekata, kao i tokom izrade niza diplomskih, magistarskih, master i doktorskih teza. 2007. godine je uspešno završila 8. Evropski Osnovni Aerobiološki Kurs.

2009. godine je diplomirala i upisala master akademske studije, na Departmanu za biologiju i ekologiju, smer Mikrobiologija. Tokom 2010. god. boravila je 3 meseca u Nacionalnom parku “Donau-Auen”, u Austriji, gde je sproveda i eksperimentalni deo svoje master teze. Iste godine, pri Fakultetskom centru za biodiverzitet, Fakulteta za prirodne nauke, Univerziteta u Beču je pohađala osnovni kurs mikologije za studente biologije. U septembru 2010. godine je stekla zvanje Diplomirani biolog-master a iste godine je upisala i doktorske akademske studije, smer Doktor bioloških nauka. 2011. godine zaposlena je na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, III43002 “*Biosensing tehnologije i globalni sistem za kontinuirana istraživanja i integrisano upravljanje ekosistemima*”, najpre kao istraživač pripravnik, a nakon godinu dana u zvanju istraživač saradnik.

Od 2014. godine zaposlena je kao asistent na Katedri za mikrobiologiju, Departmana za biologiju i ekologiju. Od početka doktorskih studija do danas, angažovana je u izvođenju praktične nastave za studente osnovnih studija, na predmetima Sistematika algi i gljiva, Biologija algi i gljiva, Mikologija, Jestive i otrovne gljive, Lekoviti agensi algi i gljiva, kao i za studente master studija, u okviru predmeta Bioaktivni metaboliti mikroorganizama i Eksperimentalna mikrobiologija.

Učestvovala je u realizaciji 5 nacionalnih i jednog međunarodnog projekta.

Koautor je 2 monografska poglavlja u knjizi, 5 radova u međunarodnim časopisima kategorija M21 i M23, 5 radova u vodećim časopisima nacionalnog značaja, kao i koautor 20 saopštenja na međunarodnim skupovima.

Član je Društva mikrobiologa Srbije i Evropskog društva mikrobiologa.

Udata je i ima dvoje dece – Dunju i Vidana.

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO MATEMATIČKI FAKULTET
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA
INFORMACIJA**

Redni broj: RBR

Identifikacioni broj: IBR

Tip dokumentacije: TD Monografska dokumentacija

Tip zapisa: TZ Tekstualni štampani materijal

Vrsta rada: VR Doktorska disertacija

Ime i prezime autora: AU MSc Milana Rakić

Mentor:
MN dr Maja Karaman, vanredni professor
 dr Vladislava Galović, viši naučni saradnik

Naslov rada: NR Diverzitet makrogljiva i njihova uloga u
 monitoringu stanja šumskih ekosistema Srbije

Jezik publikacije: JP Srpski (latinica)

Jezik izvoda: JI Srpski / engleski

Zemlja publikovanja: ZP Republika Srbija

Uže geografsko područje: UGP AP Vojvodina

Godina: GO 2019.

Izdavač: IZ Autorski reprint

Mesto i adresa: MA Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 2

Fizički opis rada:
FO 8 poglavlja, 214 strana, 37 tabela, 26 slika, 36
 grafikona, 432 reference, 4 priloga

Naučna oblast: NO Biologija

Naučna disciplina: ND Mikologija

Predmetna odrednica, ključne reči: PO UDK Čuva se: ČU	Makrogljive, šumski ekosistemi, diverzitet, faktori sredine, metali, radionuklidi, rDNK, ITS, filogenija
Važna napomena: VN	Biblioteka Departmana za biologiju i ekologiju, PMF-a u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 2, 21000, Novi Sad
Izvod: IZ	Nema
	U okviru ove doktorske disertacije vršeno je istraživanje zajednica makrogljiva u okviru 5 šumskih staništa na Vidliču, Kopaoniku i Tari. Ispitivan je mikodiverzitet sa morfološkog, funkcionalnog i genetskog stanovišta. U istraživanju morološkog i funkcionalnog diverziteta, korišćene su različite klasične metode čiji rezultati su omogućili procenu stanja posmatranih mikocenoza, kao i samih šumskih staništa. Za analizu sastava vrsta u okviru mikocenoza, kao i procenu uticaja abiotičkih faktora na brojnost i sastav vrsta u okviru različitih funkcionalnih grupa, korišćeno je nekoliko statističkih metoda (PCA, PLS, CA i CCA). Osam vrsta, koje su pripadale najrasprostranjenijim i najzastupljenijim vrstama su odabrane za molekularne analize, koje su podrazumevale sekvenciranje ITS regiona rDNK, analizu njihovih polimorfizama kao i filogenetske analize u okviru vrste/roda. U cilju procene zagađenja staništa, u plodnim telima makrogljiva i njihovom supstratu je određen sadržaj metala (atomsom apsorpcionom spektrofotometrijom) i radionuklida (gamaspektrometrijom). Dobijeni rezultati ukazuju na to da diverzitet makrogljiva oslikava stanje samog staništa i da dugoročnim monitoringom mogu ukazati na promene u njemu.
Datum prihvatanja teme od strane Senata: DP Datum odbrane: DO	12.07.2016.

Članovi komisije: KO

PREDESEDNIK:

dr Sofija Forkapić, naučni saradnik,
PMF-a, Univerzitet u Novom Sadu

MENTORI:

dr Maja Karaman, vanredni profesor,
PMF-a, Univerzitet u Novom Sadu

dr Vladislava Galović, viši naučni saradnik,
Institut za nizijsko šumarstvo i zaštitu životne
sredine, Univerzitet u Novom Sadu

ČLANOVI:

dr Miroslav Marković, naučni saradnik,
Institut za nizijsko šumarstvo i zaštitu životne
sredine, Univerzitet u Novom Sadu

dr Marko Kebert, naučni saradnik,
Institut za nizijsko šumarstvo i zaštitu životne
sredine, Univerzitet u Novom Sadu

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCES
KEY WORD DOCUMENTATION**

Accession number:

ANO

Identification number: INO

Document type: DT

Monograph documentation

Type of record: TR

Textual printed material

Contents code: CC

PhD Thesis

Author: AU

MSc Milana Rakić

Mentor: MN

Maja Karaman, PhD, Associate professor,
University of Novi Sad, Faculty of Science

Vladislava Galović, PhD, Senior research
associate, University of Novi Sad, Institute of
Lowland Forestry and Environment

Title: TI

Diversity of macrofungi and their role in the
monitoring of forest ecosystems in Serbia

Language of text: LT

Serbian (Latin)

Language of abstract: LA

Serbian (Latin)/English

Country of publication: CP

Republic of Serbia

Locality of publication: LP

AP Vojvodina

Publication year: PY

2019.

Publisher: PU

Authors reprint

Publication place: PP

21000 Novi Sad, Serbia
Trg Dositeja Obradovića 2

Physical description:
PD

8 chapters, 214 pages, 37 tables, 26 figures, 36
graphs, 432 references, 4 additional materials

Scientific field SF

Biology

Scientific discipline SD	Mycology
Subject, Key words SKW	Macrofungi, forest ecosystems, diversity, abiotic factors, metals, radionuclides, rDNA, ITS, phylogeny
UC	
Holding data: HD	Library of Department of Biology and Ecology, Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovića 2, 21000 Novi Sad, Serbia
Note: N	No notes
Abstract: AB	<p>Within the framework of this doctoral dissertation, monitoring of macrofungal communities, within 5 forest habitats on Vidlič, Kopaonik and Tara, was done. Mycodiversity was investigated from the morphological, functional and genetic point of view. Various classical methods used, enabled the assessment of the condition of macrofungal communities, as well as the observed forest habitats. Several statistical methods (PCA, PLS, CA and CCA) were used to analyze the composition of species within the mycocenosis, as well as the assessment of the effects of abiotic factors on the species richness and species composition within different functional groups. Some of the most represented species have been selected for molecular analyzes, which included sequencing of the ITS region, the analysis of polymorphisms, as well as phylogenetic analyzes within the species/genus. In order to assess the pollution of habitats, the content of metals (atomic absorption spectrophotometry) and radionuclides (gamma spectrometry) was determined in the sporocarps of macrofungi and their substrate. The obtained results indicate that diversity of macrofungi reflects the state of the habitat itself and that long-term monitoring can indicate changes in it.</p>
Accepted on Senate on: AS	12.07.2016.
Defended: DE	

Thesis Defend Board: DB

PRESIDENT:

Research associate Sofija Forkapić, PhD
University of Novi Sad, Faculty of Science

MENTORS:

Associate professor Maja Karaman, PhD
University of Novi Sad, Faculty of Science

Senior research associate
Vladislava Galović, PhD
University of Novi Sad, Institute of
Lowland Forestry and Environment

MEMBERS:

Research associate
Miroslav Marković, PhD
University of Novi Sad, Institute of
Lowland Forestry and Environment

Research associate
Marko Kebert, PhD
University of Novi Sad, Institute of
Lowland Forestry and Environment