

# Mikorizne gljive kao biološki pokazatelj zdravstvenog stanja kultura crnog bora (*Pinus nigra* J. F. Arnold) u Istri

---

Zgrablić, Željko

Doctoral thesis / Disertacija

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:731633>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-10**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)





Sveučilište u Zagrebu

Šumarski Fakultet

Željko Zgrablić

**MIKORIZNE GLJIVE KAO BIOLOŠKI  
POKAZATELJ ZDRAVSTVENOG STANJA  
KULTURA CRNOG BORA  
(*PINUS NIGRA* J. F. ARNOLD) U ISTRI**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2015.



University of Zagreb  
FACULTY OF FORESTRY

Željko Zgrablić

**MYCORRHIZAL FUNGI AS BIOINDICATOR  
OF THE HEALTH STATUS OF AUSTRIAN PINE  
(*PINUS NIGRA* J. F. ARNOLD) FOREST  
PLANTATIONS IN ISTRIA**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2015



Sveučilište u Zagrebu  
ŠUMARSKI FAKULTET

Željko Zgrablić

**MIKORIZNE GLJIVE KAO BIOLOŠKI  
POKAZATELJ ZDRAVSTVENOG STANJA  
KULTURA CRNOG BORA  
(*PINUS NIGRA* J. F. ARNOLD) U ISTRI**

DOKTORSKI RAD

Mentori:  
Prof. dr. sc. Danko Diminić  
Dr. sc. Zdenko Tkalčec

Zagreb, 2015.



University of Zagreb  
FACULTY OF FORESTRY

Željko Zgrablić

**MYCORRHIZAL FUNGI AS BIOINDICATOR  
OF THE HEALTH STATUS OF AUSTRIAN PINE  
(*PINUS NIGRA* J. F. ARNOLD) FOREST  
PLANTATIONS IN ISTRIA**

DOCTORAL THESIS

Supervisors:  
Prof. dr. sc. Danko Diminić  
Dr. sc. Zdenko Tkalčec

Zagreb, 2015

## INFORMACIJE O MENTORIMA

**Prof. dr. sc. Danko Diminić** rođen je 1961. godine u Zagrebu. Osnovnu školu pohađa u Labinu, gdje 1980. godine završava i srednju školu stekavši zvanje suradnika u nastavi. Studij šumarstva na Šumarskom odjelu Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu završava 1989. godine diplomskim radom "Životni ciklus nekih gljiva uzročnika osipanja iglica četinjača u nas". Poslijediplomski studij iz područja zaštita šuma završava 1993. godine na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, magistarskim radom "Prilog poznavanju mikoza borovih kultura u Istri" pod vodstvom prof. dr. sc. Milana Glavaša, a 1997. godine doktorirao je na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, iz područja biotehničkih znanosti, polje šumarstvo, grana zaštita šuma, obranivši doktorski rad "Istraživanje gljive *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et Sutton na borovima u Hrvatskoj" pod vodstvom prof. dr. sc. Milana Glavaša.

Do kraja 1989. godine zaposlen je na Šumarskom institutu u Jastrebarskom gdje radi na poslovima zaštite šuma. Od 1990-1993. godine zaposlen je na Šumarskom fakultetu, Katedri za zaštitu šuma kao mlađi istraživač. Od 1993-1997. radi kao asistent na predmetu Šumarska fitopatologija, a od 1997-1998. kao viši asistent. U znanstveno-nastavno zvanje docent na predmetu Šumarska fitopatologija izabran je 1998., a 2003. ponovno je izabran u isto zvanje na predmetima Šumarska fitopatologija i Zaštita šuma na Šumarskom Fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. U znanstveno zvanje viši znanstveni suradnik izabran je 2005., a u znanstveno-nastavno zvanje izvanredni profesor 2007. godine. U znanstveno zvanje znanstveni savjetnik u znanstvenom području biotehničkih znanosti, polje šumarstvo, grana zaštita šuma izabran je 2009., a u znanstveno-nastavno zvanje redoviti profesor 2011. godine.

Nastavnik je na preddiplomskim, diplomskim i poslijediplomskim studijima Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, od 1999-2005. na 9 kolegija i od 2005. na 8 kolegija. Na poslijediplomskom studiju Gozdarstvo in obnovljivi gozdni viri, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, bio je sunositelj predmeta „Gozdna fitopatologija“ u razdoblju akad. god. 2001/2002. do 2009/2010.

U razdoblju od 01. listopada do 25. prosinca 1995. boravi u Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO) Wageningen, Nizozemska (današnja Alterra). Tijekom znanstvenog i stručnog boravka savladava moderne laboratorijske metode u fitopatologiji i

mikologiji, te radi na istraživanju gljive *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et Sutton u okviru teme svoje doktorske disertacije. Bio je gost krajobraznog projektnog biroa Nieuwland Advies iz Wageningena.

Bio je voditeljem sedam nacionalnih znanstveno-istraživačkih projekata i suradnik na 10 nacionalnih znanstveno-istraživačkih projekata. Sudjelovao je u radu 32 međunarodna znanstvena skupa (na 21 skupu prezentirao rezultate vlastitih ili timskih istraživanja, te u radu 17 domaćih znanstvenih skupova (na 15 prezentirao rezultate vlastitih ili timskih istraživanja).

Od akademske godine 2005/2006. voditelj je diplomskog studija Urbano šumarstvo, zaštita prirode i okoliša na Šumarskom odsjeku Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Od 2009. godine predstavnik Republike Hrvatske u European Mycological Network, član zamjenik u Vijeću biotehničkog područja od akad. god. 2011/2012., te član Povjerenstva za utvrđivanje kriterija i potvrdu izbora u zvanja Vijeća biotehničkog područja od akad. god. 2013/2014. Član je Povjerenstva Sveučilišta u Zagrebu za akademsko priznavanje inozemnih visokoškolskih kvalifikacija od prosinca 2014. Obnaša dužnost Prodekana za međunarodnu suradnju Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu od akad. god. 2014/2015.

Član je Akademije šumarskih znanosti (izvanredni član), Hrvatskog šumarskog društva, Hrvatskog društva biljne zaštite, British Mycological Society i European Mycological Network.

Kao član European Mycological Network sudjelovao je u izradi EPPO protokola za dijagnosticiranje fitopatogenih gljiva (Diagnostic Protocols for Fungi) u razdoblju 2011. - 2013.

Objavio je 48 znanstvenih radova i to: 15 radova iz skupine a1, 16 iz skupine a2, 3 rada iz skupine a3, 9 radova indeksiranih u bazi CAB Abstracts (radovi u zborniku s domaćeg ili međunarodnog znanstvenog skupa), te 5 ostalih radova (radovi u zborniku s međunarodnog znanstvenog skupa). Koautor je jednog sveučilišnog priručnika i četiri znanstvene knjige. Aktivno se služi engleskim jezikom.

**Dr. sc. Zdenko Tkalčec** rođen je 1966. godine u Zagrebu gdje završava osnovnu školu, te srednju tehničku školu „Ruđer Bošković“. Studij biologije završava 1996. godine, inženjerski smjer ekologija, na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, diplomskim radom "Rasprostranjenost gljiva iz porodice *Boletaceae* u Hrvatskoj". Poslijediplomski studij iz područja prirodnih znanosti završava 2003. godine na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, polje biologija (ekologija), magistarskim radom "Biogeografija i ekologija gljiva iz reda *Agaricales* (*Basidiomycota*) na acidofilnim cretovima Hrvatske" pod vodstvom dr. sc. Milice Tortić, a 2006. godine doktorirao je na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, polje biologija (mikologija), doktorskom disertacijom "Gljive reda *Agaricales* (*Basidiomycota*) s obojenim sporama u Hrvatskoj" pod vodstvom prof. dr. sc. Mitka Karadeleva.

Od 1998-2009. godine zaposlen je na Institutu Ruđer Bošković kao znanstveni novak, a od 2009. kao znanstveni suradnik. Radi na Zavodu za istraživanje mora i okoliša, Laboratoriju za informatiku i modeliranje okoliša. Njegovo znanstveno i stručno područje djelovanja obuhvaća biologiju - mikologiju (bioraznolikost, taksonomija, sistematika, molekularna filogenetika i biogeografija gljiva) i zaštitu prirode (zaštita gljiva i njihovih staništa).

Osnivač je i predsjednik Hrvatskog mikološkog društva (HMD, Zagreb), te osnivač i glavni kustos Hrvatskog nacionalnog fungarija (CNF, Croatian National Fungarium), mikološke zbirke međunarodno registrirane u Index Herbariorum (New York Botanical Garden). Aktivno se koristi engleskim jezikom.

Kao voditelj je sudjelovao u 18 znanstveno-istraživačkih i stručnih projekata. Autor je 27 znanstvenih radova.

Tijekom dosadašnjeg znanstvenoistraživačkog rada na bioraznolikosti (taksonomiji i biogeografiji) gljiva otkrio je i objavio jedan novi rod gljiva za znanost (*Hymenoporus* Tkalčec, Mešić, Chun Y. Deng), sedam novih vrsta za znanost (*Conocybe caeruleobasis* Tkalčec, Mešić & Hauskn.; *Conocybe thermophila* Hauskn., Mešić & Tkalčec; *Galerella nigeriensis* Tkalčec, Mešić & Čerkez; *Gloiocephala cerkezii* Tkalčec & Mešić; *Gymnopus fuscotramus* Mešić, Tkalčec & Chun-Ying Deng; *Hymenoporus paradoxus* Tkalčec, Mešić, Chun Y. Deng, *Marasmiellus milicae* Mešić, Tkalčec & Antonín), jedan novi varijetet za



znanost (*Pholiotina mairei* var. *stercorea* Tkalčec, Mešić & Hauskn.), te 208 vrsta i 19 rodova gljiva novih za bioraznolikost Hrvatske (nikada prije nisu bili pronađeni na području naše zemlje). Autor je i 13 novih taksonomskih kombinacija te šest novih imena vrsta gljiva.

## PREDGOVOR I ZAHVALE

Ova disertacija je rezultat provedenih istraživanja u sklopu projekta „Rast i razvoj šuma u različitim ekološkim i gospodarskim uvjetima“ (024-0242049-2106), financiranog od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta, a voditelj projekta je bio dr. sc. Miroslav Benko. Izrađena je na Hrvatskom šumarskom institutu, u Centru za općekorisne funkcije šuma „Josip Ressel“ u Pazinu, a dio istraživanja financiran je sredstvima Istarske županije, Odjela za poljoprivredu, šumarstvo, lovstvo, ribarstvo i vodoprivredu.

Doktorski rad temom obuhvaća područje integrirane zaštite šuma, no ulazi i u mnogo širu problematiku. Principi djelovanja specifičnog patogena poput *Sphaeropsis sapinea* iziskuju dublje zadiranje u ekološke odnose koji čine pojedino stanište, posebno u sferu ektomikoriznih gljiva o čijoj se vezi sa spomenutim patogenom zna vrlo malo. Zapravo se može reći da se o tome zna tek onoliko, koliko je opće znanje o pozitivnom djelovanju mikorize na čitav šumski ekosustav. S obzirom na to, uz gljive je u istraživanje bilo potrebno detaljnije uključiti rezultate mikrostanišnih prilika, posebno klimu, pedologiju i fitocenologiju. Nadalje, zbog opće neistraženosti gljiva na nacionalnoj razini, u ovom djelu posebna je pozornost usmjerena na bioraznolikost gljiva. Ovako specifična tema je uz mentorsko vodstvo prof. dr. sc. Danka Diminića zahtijevala i uključivanje drugog mentora, dr. sc. Zdenka Tkalčeca, kako bi se postavljeni ciljevi istraživanja gljivlje zajednice mogli kvalitetno sprovesti.

Prije svih, posebno se moram zahvaliti mojoj supruzi Jani na stalnoj potpori i vjeri u mene. Čekajući naše prvo dijete – u lipnju ove godine rođenu Laru, uz pisanje ove disertacije zajedno smo probdjeli mnoge noći. Veliku potporu imao sam i od ostatka uže i šire obitelji na čemu sam im svima iznimno zahvalan.

Posebno se želim zahvaliti mojoj matičnoj instituciji, Hrvatskom šumarskom institutu, čije sam iznimno povjerenje i potporu uživao tijekom svih proteklih godina. Veliko hvala ravnateljici dr. sc. Dijani Vuletić koja je nebrojeno puno puta pokazala beskrajno razumijevanje za hrpu mojih pitanja i problema te mi pružala stalnu potporu. Hvala i prethodnom ravnatelju dr. sc. Miroslavu Benku koji je prvi prepoznao neistraženost gljiva te mi pružio priliku da se počnem baviti ovom tematikom. Hvala i mojim šefovima, bivšem, dr. sc. Tiboru Littvayu na prijateljstvu, povjerenju i stalnom poticanju na rad te sadašnjem, mr. sc. Miljenku Županiću koji je nastavio dobrim putem svog prethodnika, ali i mnogo više od toga.

Iznimno sam zahvalan mojim kolegama iz pazinskog ureda, Antonu Brenku, Josipu Čulinoviću, Ani Fornažar i Aleksandru Vaštagu na pomoći prilikom postavljanja istraživačkih ploha, sakupljanja uzoraka na terenu, njihovoj kasnijoj obradi i pomoći oko tehničkog oblikovanja ovog rada. Također im želim zahvaliti što su preuzeli izvršenje dijela mojih redovitih obveza u uredu za vrijeme pisanja disertacije.

Hvala dr. sc. Borisu Vrbeku na pomoći prilikom uzorkovanja tla, dr. sc. Tamari Jakovljević na svim obavljenim laboratorijskim analizama, dr. sc. Jasnici Medak na pomoći prilikom fitocenološkog snimanja i obrade rezultata, ali i na mnogim korisnim savjetima, dr. sc. Hrvoju Marjanoviću na mnogobrojnim savjetima oko metodologije, prikupljanja i obrade podataka bez kojih bi sve puno duže trajalo te dr. sc. Nenadu Potočiću za savjete o svemu i

svačemu. Sve zajedno ne bi bilo moguće dovršiti bez pomoći Dragana Jakšića na terenu, Renate i Monike u laboratoriju te svih iz Općeg odjela Hrvatskog šumarskog instituta u Jastrebarskom. Puno vam hvala!

Hvala pročelniku Odjela za poljoprivredu, šumarstvo, lovstvo, ribarstvo i vodoprivredu Istarske županije, Milanu Antoloviću i njegovim suradnicima na povjerenju, pomoći i savjetima. Bez financijske potpore Istarske županije bilo bi vrlo teško dovršiti ovo istraživanje.

Hvala voditeljima UŠP Buzet, mr. sc. Ivanu Penteku i Christianu Gallu što su mi omogućili istraživanje na njihovom području pruživši mi svu tehničku i logističku pomoć. Također se želim zahvaliti svim ostalim djelatnicima Hrvatskih šuma d.o.o. na njihovoj nesebičnoj pomoći, posebno djelatnicima Odjela za uređivanje šuma UŠP Buzet i djelatnicima Uzgajališta divljači Ubaš.

Tijekom doktorskog studija imao sam bezrezervnu potporu mog studijskog voditelja prof. dr. sc. Borisa Hrašovca. Cijelo se vrijeme brinuo o mom napretku, datumima, rokovima, pravilima i slično. Bez njegovih informacija i uputstava sve bi bilo mnogo teže. Veliko hvala Marnu Milotiću, Jeleni Kranjec i Leopoldu Cvetanu na pomoći oko laboratorijskih analiza *Sphaeropsis sapinea*, dr. sc. Ivanu Perkoviću na pomoći oko interpretacije rezultata pedoloških analiza, prof. dr. sc. Anamariji Jazbec, dr. sc. Lindi Bjedov i dr. sc. Marku Vucelji na pomoći i savjetima oko statističke obrade podataka te prof. dr. sc. Marileni Idžojić i izv. prof. dr. sc. Krešimiru Krapincu na potpori u počecima mog istraživačkog rada.

Hvala ekipi s 'Ruđera', dr. sc. Arminu Mešiću za pomoć i savjete prilikom identifikacije uzoraka gljiva te Ivani Kušan i Nevenu Matočecu za savjete i prikupljanje relevantne literature. Mihaelu Srdoču hvala na pomoći prilikom sakupljanja uzoraka na terenu. Hvala mr. sc. Janji Milković i Damiru Mlineku iz Državnog hidrometeorološkog zavoda na ustupljenim meteorološkim podacima.

Na kraju, ali nikako najmanje važno, želim se zahvaliti mojim mentorima. Prof. dr. sc. Danko Diminić ukazao mi je povjerenje da ostvarimo zajednički istraživački cilj. Svoju viziju i istraživački instinkt neprestano je prenosio na mene vodeći me cijelo vrijeme kroz izradu ove disertacije. Priznajem da u pojedinim trenucima nisam mogao pratiti njegovu ideju, ali sam cijelo vrijeme vjerovao njegovom iskustvu. Međutim, izvan okvira samog doktorskog rada, profesor je od mene tražio da budem profesionalan i pošten u poslu te čovjek prije svega. Profesore, na svemu sam Vam neizmjereno zahvalan.

Dr. sc. Zdenko Tkalčec me primio u svoj ured i laboratorij gdje sam zajedno s njim određivao vrste sakupljenih gljiva na istraživačkim plohama. Proveo je nebrojeno puno sati držeći mi predavanja o mikologiji i morfologiji gljiva te neumorno ponavljao rutinu mikroskopiranja, uvodeći me u do tada nepoznati svijet gljiva. Iznimnim strpljenjem, predanošću i strašću nesebično mi je darivao znanje koje je i sam mukotrpno stekao, na čemu ću mu uvijek biti zahvalan.

Hvala i svima ostalima koji su u bilo kojem trenutku i na bilo koji način doprinijeli izradi ove disertacije.

Željko Zgrablić

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

TI (naslov)	Mikorizne gljive kao biološki pokazatelj zdravstvenog stanja kultura crnog bora ( <i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold) u Istri
AU (autor)	Željko Zgrablić
AD (adresa)	52000 Pazin, 154. brigade Hrvatske vojske 2
SO (izvor)	Knjižnica Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25 Knjižnica Hrvatskog šumarskog instituta, Jastrebarsko, Cvjetno naselje 41
PY (godina objave)	2015
LA (izvorni jezik)	hrvatski
LS (jezik sažetka)	engleski
DE (ključne riječi)	Ektomikoriza, kultura crnog bora, <i>Sphaeropsis sapinea</i> , bioraznolikost, makrogljive, bioindikator, mikocenoza
GE (zemlja objave)	Hrvatska
PT (vrsta objave)	doktorski rad
VO (obujam)	I-XVIII + 133 str. + 17 tablica + 63 slike + 219 citirane literature
AB (sažetak)	<p>Mikorizne makrogljive iznimno su značajne za fiziološko stanje biljnog simbionta te ga u određenoj mjeri štite od biotskih i abiotskih uzročnika stresa. Na području istraživanja u Istri, patogena gljiva <i>Sphaeropsis sapinea</i> (Fr.) Dyko et Sutton uzrokovala je značajno sušenje kultura crnog bora (<i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold) tijekom posljednjih 25 godina, a odnos ektomikoriznih gljiva i <i>S. sapinea</i> do sada nije istraživani. Cilj ovog istraživanja bio je analizirati mikocenozu kultura crnog bora kako bi se odredila ovisnost pojavljivanja <i>S. sapinea</i> na iglicama, odnosno njenih plodnih tijela (piknida), te ovisnost osutosti krošanja u odnosu na udio ektomikoriznih gljiva i njihovih plodišta. Istraživanjem je posebna pozornost posvećena bioraznolikosti mikoriznih gljiva, odnosno osjetljivim mikobioindikatorskim rodovima i vrstama kao pokazateljima zdravstvenog stanja šumskog ekosustava. Saprotrofne vrste gljiva također su bilježene kako bi se mogli odrediti udjeli između trofičkih grupa.</p> <p>Uzorci gljiva sakupljeni su tijekom tri godine (2011-2013.) na tri trajne plohe od 36. do 50. tjedna u godini, a 2013. godine dodano je šest novih ploha.</p> <p>Rezultati pokazuju jasnu i statistički značajnu ovisnost pojavljivanja piknida <i>S. sapinea</i> i osutosti stabala o udjelu ektomikoriznih vrsta i njihovih plodišta. Povećanjem udjela ektomikoriznih vrsta i plodišta, značajno se smanjuje prisustvo patogena na iglicama, smanjuje se osutost krošanja kao i udio značajno osutih stabala. Kulture s manjim udjelima ektomikoriznih vrsta pokazivale su veći stupanj zaraze i osutost krošanja. Također, mikocenoze zdravih i oštećenih kultura značajno su se razlikovale po sastavu vrsta. Ukupno je zabilježeno sedam novih vrsta za Hrvatsku mikobiotu.</p> <p>Iako nije moguće izravno povezati pojedine gljivlje vrste i patogena, različite ektomikorizne vrste mogu poslužiti kao pouzdan pokazatelj zdravstvenog stanja. Zbog sveukupne neistraženosti gljiva u Hrvatskoj potrebno je provoditi daljnja istraživanja kako bi se utvrdio funkcionalni značaj pojedine gljivlje vrste u ekosustavu.</p>

## BASIC DOCUMENTATION CARD

TI (Title)	Mycorrhizal fungi as bioindicators of the health status of Austrian pine ( <i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold) plantations in Istria
OT (Original Title)	Mikorizne gljive kao biološki pokazatelj zdravstvenog stanja kultura crnog bora ( <i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold) u Istri
AU (Author)	Željko Zgrablić
AD (Address of Author)	52000 Pazin, 154. brigade Hrvatske vojske 2
SO (Source)	Forestry Faculty library, University of Zagreb, Svetošimunska cesta 25 Croatian Forest Research Institute library, Jastrebarsko, Cvjetno naselje 41
PY (Publication Year)	2015
LA (Language of text)	Croatian
LS (Language of Summary)	English
DE (Descriptors, key words)	Ectomycorrhiza, Austrian pine plantation, <i>Sphaeropsis sapinea</i> , biodiversity, macrofungi, bioindicators, mycocoenosis
GE (Geo Headings)	Republic of Croatia
PT (Publication Type)	Doctoral Thesis
VO (Volume)	I-XVIII + 133 pg + 17 tables + 63 figures + 219 references
AB (Abstract)	<p>Mycorrhizal macrofungi play an important role in plant physiological condition and help protecting their hosts from biotic and abiotic stress and pathogens. At the research area in Istria, western Croatia, pathogenic fungus <i>Sphaeropsis sapinea</i> (Fr.) Dyko et Sutton has caused substantial damage in Austrian pine (<i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold) plantations through the last 25 years. During the previous research activities on predisposition to <i>S. sapinea</i> infections, site and stress conditions were determined as key factors. Back then, existing differences in fungal communities at disturbed and healthy Austrian pine plantations were observed. We hypothesized that Austrian pine plantations with higher ratio of ECM species and their sporocarps (minimum 40% of ECM species) are less susceptible to <i>S. sapinea</i> infection. Furthermore, they have lower crown transparency percentage and higher levels of potassium (K) in one- and two years old needles. Also, we tested species richness and diversity indices as an Austrian pine health status indicators. This is the first research on linkage between ECM species and <i>S. sapinea</i> infection rate on Austrian pine needles.</p> <p>Fungal samples were collected on three different permanent research plots of 400 m<sup>2</sup> each, for three consecutive years (2011-2013) from week 36 to week 50, every fortnight. Additional six plots were added in 2013. All samples were recorded with digital camera. Each fungal species and all its sporocarps on the plot represented one sample. They were collected in a wax paper bags, assigned and processed in laboratory on the same day. Sporocarps were counted and dried for 48 hours at 35-40 °C. Afterwards, they were packed in plastic bags and deposited to Croatian National Fungarium (CNF) for further identification. For all plots we analyzed soil samples and recorded soil profiles. For all plots, plant communities were recorded in 2014, in April and June.</p> <p>Symptomatic branches and needles were taken from one tree per plot to analyze <i>S. sapinea</i> presence and number of pycnidia. Each tree was represented with five branches and 20 needles (100 needles per plot). Crown transparency was assessed for all trees on plots according to ICP Forest methodology. Needles for nutrients analyzes were collected from five trees scattered across the plantation. One year old and two year old needles were collected and processed separately. Nitrogen (N), potassium (K) and sulfur (S) were analyzed.</p> <p>All collected data were analyzed with Statistica 10 software and PAST 3.06 software. Kruskal-Wallis ANOVA, linear regression and correlation analyzes were carried out. Shannon index (H'), Simpson index (D) and Evenness (E) were</p>

---

calculated to compare biodiversity on research plots.

Soil analyses defined three different soil types: Tera Rossa (plots Mali Golji and Trošti), Calcocambisol (plots Trstenik, Lovranska Draga, Ripenda and Kurbino brdo) and Eutric Cambisol on flysch (plots Previž, Lesišćina and Paz).

During the three year survey on three plots, 2814 sporocarps (2288 ECM) and 88 species (47 ECM) were recorded, belonging to 37 genera. The maximum species richness was found at plot Trstenik (44 species), while the highest sporocarp richness was recorded at plot Previž. Results from data obtained on nine plots only in 2013 showed different species richness distribution. Plot Trošti was the most rich in fungi species (35), and was followed by plots Trstenik (34) and Lesišćina (33). At plots Lovranska Draga and Paz only 15 species were recorded. The highest number of sporocarps was recorded on plot Previž (1422), then Ripenda (407) and Trošti (361). The lowest sporocarp number was recorded at plot Lovranska Draga (58), then Paz (123) and Mali Golji (161). In total, at 2013, 3377 sporocarps were recorded, belonging to 124 fungal species and 48 genera.

*Sphaeropsis sapinea* pycnidia were not found at plots Previž and Lesišćina, while they were abundant at plots Trošti, Kurbino brdo and Mali Golji. On analyzed needles, together with *S. sapinea*, we found present *Truncatella hartigii* (Tubeuft) Steyaert. Plots with highest share of ECM species (Previž, Lesišćina and Paz) were free of pycnidia or we found only few per needle. An opposite situation occurred on plots with low share of ECM species and sporocarps (<30%), where *S. sapinea* was abundantly present together with higher crown transparency. Shares of ECM species and sporocarps were strongly related to an average number of *S. sapinea* pycnidia on a single needle and to crown transparency. Linear regression trends were statistically significant at  $p < 0.05$ . Between studied variables, strong and statistically significant correlations were present. Potassium level in one- and two- year old needles was unequal among differently infected plots. Nitrogen and sulfur content was lowest on healthy plots at flysch bedrock and highest at severely infected plots. N:K ratio was lowest at most healthy most infected plots as well. Nitrogen content showed statistically significant and relatively strong correlation with number of pycnidia on needles and percentage of crown transparency. Potassium content showed a relatively weak correlation towards studied variables.

Several ECM species with assumed mycobioindication value were recorded at plots Previž and Lesišćina only, e. g. *Tricholoma caligatum* (Viv.) Ricken, *Suillus mediterraneensis* Jacquet. & J. Blum Redeuilh, *Hydnum albidum* Peck, *Hydnellum ferrugineum* (Fr.) P. Karst., *Phellodon niger* (Fr.) P. Karst. and *Cantharellus lutescens* (Pers.). In this study, seven fungal species (*Boletopsis grisea*, *Galerina badipes*, *G. vittiformis*, *Lyophyllum aemiliae*, *Ramaria decurrens*, *Tricholoma focale*, *T. stans*), were recorded for the first time in Croatia. Shannon and Simpson indices and Evenness showed no correlation towards variables representing plantation health status nor did species richness.

According to obtained results, plots Previž, Lesišćina and Paz were characterized as not disturbed (affected), plots Trstenik, Ripenda and Lovranska Draga were characterized as moderately disturbed, while plots Trošti, Kurbino brdo and Mali Golji were characterized as severely disturbed. We confirmed our hypothesis that ECM species and sporocarp ratio are reliable indicators of Austrian pine plantations health status. This was further confirmed by numerous indicator fungal species recorded only at healthy plots. Diversity indices and species richness are not reliable indicators of Austrian pine plantations health status.

---

<p>This research continues on previous research at the same Austrian pine plots on predisposition to <i>S. sapinea</i> infections, where site and stress conditions were determined as key factors. Our results confirm the assumption that stands with higher <i>S. sapinea</i> infection rate have impoverished mycorrhizal community and reveal potential indicator species of more resistant and healthy habitats. Since this research brings out results that cannot be compared with other studies, we must interpret obtained results with precaution. To gain more reliable and precise results, further research based on higher number of plots, longer survey period and more detailed analysis of habitat factors is needed.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

---

## SADRŽAJ

INFORMACIJE O MENTORIMA .....	I
PREDGOVOR I ZAHVALE .....	V
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA.....	VII
BASIC DOCUMENTATION CARD .....	VIII
SADRŽAJ .....	XI
POPIS SLIKA .....	XIII
POPIS TABLICA.....	XVII
1. UVOD.....	1
1.1. Pregled dosadašnjih istraživanja .....	2
1.2. Terminologija i teorijski okvir .....	6
1.2.1. Tipovi mikorize.....	10
1.2.2. Uloga mikorize u šumskim ekosustavima .....	14
1.2.3. Osnove biologije bazidiomiceta i značajki važnih za njihovu identifikaciju .....	17
1.2.4. <i>Sphaeropsis sapinea</i> kao uzročnik sušenja crnog bora .....	24
1.3. Područje istraživanja .....	27
1.4. Ciljevi istraživanja.....	34
2. MATERIJALI I METODE .....	36
2.1. Planiranje pokusa .....	36
2.1.1. Izbor odjela i odsjeka za postavljanje istraživačkih ploha .....	36
2.1.2. Postavljanje istraživačkih ploha .....	37
2.2. Sakupljanje, obrada i analiza uzoraka gljiva.....	38
2.2.1. Sakupljanje uzoraka gljiva na terenu.....	38
2.2.2. Obrada svježih uzoraka i pohrana u fungarij .....	38
2.2.3. Identifikacija uzoraka gljiva .....	39
2.3. Sakupljanje i analiza uzoraka <i>Sphaeropsis sapinea</i> .....	40
2.3.1. Sakupljanje uzoraka <i>Sphaeropsis sapinea</i> na terenu.....	41
2.3.2. Obrada i analiza uzoraka <i>Sphaeropsis sapinea</i> .....	41
2.4. Sakupljanje iglica i analiza hranjiva.....	41
2.5. Procjena osutosti krošanja po ICP metodi .....	42
2.6. Stanišni uvjeti.....	43



2.6.1.	Uzorkovanje i analiza tla .....	43
2.6.2.	Fitocenološko snimanje ploha.....	43
2.7.	Indikatorske vrste i indeksi raznolikosti .....	44
2.8.	Statistička obrada .....	45
3.	REZULTATI .....	46
3.1.	Mikrostanišni uvjeti.....	46
3.1.1.	Klimatološki uvjeti.....	46
3.1.2.	Tipovi i značajke tala .....	47
3.1.3.	Rezultati fitocenološkog snimanja .....	49
3.2.	Odnos brojnosti gljiva različitih trofičkih grupa, odnos brojnosti ektomikoriznih gljiva i prisutnosti vrste <i>Sphaeropsis sapinea</i> te odnos brojnosti ektomikoriznih gljiva i osutosti krošanja .....	51
3.2.1.	Odnos brojnosti ektomikoriznih i saprotrofnih gljiva .....	51
3.2.2.	Zdravstveno stanje borovih kultura i odnos ECM vrsta i plodišta naspram prisutnosti <i>Sphaeropsis sapinea</i> .....	58
3.2.3.	Odnos brojnosti ektomikoriznih gljiva i osutosti krošanja .....	62
3.2.4.	Odnos ECM vrsta i plodišta, patogena i osutosti prema sadržaju kalija (K), dušika (N) i sumpora (S) u iglicama .....	67
3.3.	Mikobioindikacija i raznolikost gljiva.....	71
3.3.1.	Mikobioindikatorske vrste gljiva .....	71
3.3.2.	Bioraznolikost gljiva u odnosu na zdravstveno stanje borovih kultura.....	75
4.	RASPRAVA.....	87
4.1.	Ovisnost rezultata o metodologiji istraživanja.....	87
4.2.	Mikrostanišni uvjeti.....	89
4.3.	Odnosi trofičkih grupa i udjela ECM gljiva u odnosu na prisustvo <i>Sphaeropsis sapinea</i> , osutost krošanja i ishranu borovih iglica .....	91
4.4.	Mikobioindikacija i bioraznolikost gljivljih vrsta.....	94
5.	ZAKLJUČCI .....	97
6.	LITERATURA .....	100
7.	PRILOZI .....	118
8.	ŽIVOTOPIS .....	130
9.	<i>CURRICULUM VITAE</i> .....	133

## POPIS SLIKA

- Slika 1. Sadnica crnog bora inokulirana ektomikoriznom gljivom *Suillus luteus* (Izvor: <http://www.robinpepinieres.com/en/plants-champignons-r/mushroom-plant>); (b) ektomikoriza na kratkim završecima korijena (Izvor: [http://www.waldwissen.net/wald/pilze\\_flechten/wsl\\_mykorrhizapilze/index\\_DE](http://www.waldwissen.net/wald/pilze_flechten/wsl_mykorrhizapilze/index_DE)). .....3
- Slika 2. Shematski prikaz glavnih procesa izmjene hranjiva kod ektomikorize i arbuskularne mikorize. Naglasak je stavljen na translokaciju fosfora (P), dušika (N) i ugljika (C) na razini tlo-gljiva i gljiva-biljka. Anorganski P i mineralne ili organske forme N, poput  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  i aminokiselina (AA) provode se specijalnim transporterima lociranim na membrani gljive u vankorijenskom miceliju (extraradical mycelium).  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  i  $\text{P}_i$  (posljednji potječe kod arbuskularne mikorize iz hidrolize polifosfata), provode se kroz simbiotsku vezu u biljne stanice pomoću selektivnih transportera. Transporteri heksoze provode u biljci proizvedene ugljične spojeve prema gljivi dok proteini uključeni u prijenos hranjiva iz biljke ili iz gljive još nisu poznati. (Izvor: Bonfante i Genre 2010). ....7
- Slika 3. Zastupljenost ektomikorize i arbuskularne mikorize u biljnim porodicama prema ID Tree testu. (Izvor: <http://tallcoleman.com/ecology/ranges-of-trees-and-mycorrhizal-status/>). .....11
- Slika 4. Presjek ektomikorize na korijenu običnog bora (*P. sylvestris*): A) Vrh postranog korijenčića s nerazgranatom, dihotomno razgranatom i koraloidnom mikorizom, B) Presjek vrha korijenčića s (M) omotačem hifa, (Hn) međustanične hife potpuno razvijene Hartigove mreže, (E) endoderm i (S) centralna stela, C) Povećanje naboranih hifa Hartigove mreže. (Izvor: Tarkka 2000). .....12
- Slika 5. Diferencijacija ektomikoriznih hifa tijekom razvoja simbioze. Izdužene, razgranate hife šire se između stanica ovojnice korijena (*Root cortex*), stvarajući Hartigovu mrežu (*Hartig net*) i omotač hifa oko korijena (*Mantle*). Iz omotača se hife šire dalje u tlo i listinac (*Extramatrixal hyphae*). (Izvor: Martin i Tunlid 2009). .....12
- Slika 6. Dijagram simbiotskih odnosa. (Izvor: Brundrett 2004). .....15
- Slika 7. Pregled vetikalne distribucije tipova mikorize na planinskim staništima. Prikazani su glavni vegetacijski tipovi i najvažnija hranjiva koja limitiraju rast i razvoj vegetacije. (Izvor: [http://plantsinaction.science.uq.edu.au/edition1//?q=figure\\_view/734](http://plantsinaction.science.uq.edu.au/edition1//?q=figure_view/734)). .....16
- Slika 8. Dijagram pretpostavljenog procesa invazije borovki i njihovih mikobionata, s glavnim vektorima spora na argentinskom otoku Isla Victoria. (Izvor: Nuñez et al. 2013). .....17
- Slika 9. Prikaz životnog ciklusa bazidiomiceta. (Izvor: <http://hosho.ees.hokudai.ac.jp/~tsuyu/top/dct/mycology.html>). .....18
- Slika 10. Dijelovi kišobranastog plodišta bazidomiceta: klobuk (*Pilzhut*), listići (*Lamellen*), himenij (*Hymenium*), spore (*Sporen*), stručak (*Stiel*), diploidni micelij (*Mycel diploid*) i

haploidni micelij ( <i>Mycel haploid</i> ). (Izvor: <a href="http://gastein-im-bild.info/fungi/f_habit0.html">http://gastein-im-bild.info/fungi/f_habit0.html</a> ).	20
Slika 11. Osnovni oblici i ornamentacija bazidiospora. (Izvor: <a href="http://www.toxinology.com/generic_static_files/images_generic/MD-spores1.gif">http://www.toxinology.com/generic_static_files/images_generic/MD-spores1.gif</a> ).....	21
Slika 12. Himenij bazidiomiceta s bazidijima, bazidiosporama na sterigmama, bazidiolama, cistidama, i subhimenijalnim slojem. (Izvor: <a href="http://gastein-im-bild.info/fungi/f_habit0.html">http://gastein-im-bild.info/fungi/f_habit0.html</a> ).....	22
Slika 13. Spore bazidiomiceta: (a) <i>Galerina marginata</i> – smeđe fino ornamentirane spore; (b) <i>Russula aurea</i> – grubo ornamentirane amiloidne spore; (c) <i>Entoloma</i> sp. – uglate spore; (d) <i>Inocybe mixtilis</i> – bradavičaste smeđe spore.....	23
Slika 14. Cistide bazidiomiceta: (a) <i>Galerina vittiformis</i> – heilocistide; (b) <i>Inocybe</i> sp. – pleurocistide; (c) <i>Hemimycena lactea</i> – pileocistide; (d) <i>Inocybe geophylla</i> – kaulocistide. ....	24
Slika 15. <i>Sphaeropsis sapinea</i> : (a) piknide na iglici, (b) presjek kroz piknidu u H <sub>2</sub> O (povećanje 100×), (c) zrele spore u H <sub>2</sub> O (povećanje 200×), (d) zrele spore <i>S. sapinea</i> i <i>Truncatella hartigii</i> (Tubef) Steyaert u H <sub>2</sub> O (povećanje 400×).....	26
Slika 16. Sukcesija borovine na erodiranim flišnim terenima u okolici Cerovlja. ....	28
Slika 17. Zrela kultura crnog bora na lokaciji Trstenik. ....	28
Slika 18. (a) Zrela kultura crnog bora s razvijenom kupinom u sloju prizemnog rašća na lokaciji Mali Golji, (b) kultura crnog bora s razvijenom autohtonom vegetacijom u podstojnoj etaži na lokaciji Trošti.....	29
Slika 19. Geomorfološka podjela Istre. (Izvor: Istarska enciklopedija). ....	30
Slika 20. Prikaz reljefa Istre. (Izvor: Hrvatski geološki institut). ....	31
Slika 21. Pedološka karta Istre. (Izvor: Istarska enciklopedija).....	32
Slika 22. Klimadijagrami meteoroloških postaja Abrami, Letaj – brana i Pazin, za razdoblje 1981. – 2009. godine (Abrami i Pazin), odnosno od 1995. – 2013. godine (Letaj – brana). Za izradu je korišten softverski program KlimaSoft 2.2.3.....	34
Slika 23. Karta lokacija istraživačkih ploha i relevantnih meteoroloških postaja s geografskim koordinatama. ....	36
Slika 24. Sakupljanje i obrada svježih uzoraka makrogljiva: (a) plodišta gljiva sakupljena na terenu u voštanu papirnatu vrećicu; (b) plodišta gljiva pripremljena za sušenje.....	39
Slika 25. Obrada i identifikacija osušenih uzoraka makrogljiva: (a) osušen i numeriran uzorak gljive pohranjen u PVC vrećicu; b) svjetlosni mikroskop Olympus BX51 povećanja do 1500×. (Izvor: <a href="http://www.fc.ul.pt/en/pagina/8148/olympus-bx51">http://www.fc.ul.pt/en/pagina/8148/olympus-bx51</a> ). ....	39

Slika 26. Grafički prikaz prosječnih godišnjih temperatura (a), i količina oborina (b) za meteorološke postaje Abrami, Letaj – brana i Pazin .....	47
Slika 27. Kumulativni broj vrsta prema plohama tijekom trogodišnjeg praćenja.....	51
Slika 28. Kumulativni broj plodišta prema plohama tijekom trogodišnjeg praćenja. ....	52
Slika 29. Apsolutni broj (a) i udio (b) ECM i saprotrofnih vrsta u ukupnom broju vrsta prema plohama tijekom trogodišnjeg praćenja. ....	53
Slika 30. Aritmetička sredina broja plodišta prema plohama za trogodišnje razdoblje praćenja. ....	53
Slika 31. Ukupan broj vrsta i plodišta prema plohama tijekom 2013. godine. ....	54
Slika 32. Apsolutni broj ECM i saprotrofnih vrsta prema plohama tijekom 2013. godine. ....	54
Slika 33. Apsolutni broj ECM i saprotrofnih plodišta prema plohama tijekom 2013. godine. ....	55
Slika 34. Aritmetička sredina broja plodišta prema plohama za 2013. godinu. ....	56
Slika 35. Udio ECM i saprotrofnih vrsta u ukupnom broju vrsta prema plohama tijekom 2013. godine. ....	56
Slika 36. Udio ECM i saprotrofnih plodišta u ukupnom broju plodišta prema plohama tijekom 2013. godine. ....	57
Slika 37. Prikaz povezanosti između ECM vrsta i plodišta prema piknidama, % osutosti stabala, udjelu manje osutih (<25%) i udjelu značajno osutih stabala (>25%).....	58
Slika 38. Aritmetička sredina broja piknida na iglicama prema plohama. ....	60
Slika 39. Odnos udjela ECM vrsta prema prosječnom broju piknida. ....	60
Slika 40. Odnos udjela ECM plodišta prema prosječnom broju piknida. ....	61
Slika 41. Apsolutni broj stabala unutar kategorija osutosti prema plohama. ....	62
Slika 42. Aritmetička sredina osutosti krošanja stabala prema plohama. ....	64
Slika 43. Odnos udjela ECM vrsta prema prosječnoj osutosti krošanja stabala. ....	64
Slika 44. Odnos udjela ECM vrsta prema kategorijama osutosti krošanja stabala. ....	65
Slika 45. Odnos udjela ECM plodišta prema prosječnoj osutosti krošanja stabala. ....	66
Slika 46. Odnos udjela ECM plodišta prema kategorijama osutosti krošanja stabala. ....	66
Slika 47. Prikaz analize kalija (K) u iglicama. ....	68
Slika 48. Prikaz analize dušika (N) u iglicama. ....	68
Slika 49. Prikaz analize sumpora (S) u iglicama. ....	69
Slika 50. Prikaz odnosa dušika i kalija (N:K) u iglicama. ....	69

Slika 51. Prikaz povezanosti između udjela ECM vrsta i plodišta, piknida i osutosti krošanja prema sadržaju kalija (K), dušika (N), sumpora (S) i odnosa N:K u jednogodišnjim i dvogodišnjim iglicama. ....	71
Slika 52. Najvažnije indikatorske ECM i saprotrofne vrste evidentirane u zdravim kulturama crnog bora: a) <i>Hydnellum ferrugineum</i> , b) <i>Phellodon niger</i> , c) <i>Hydnum albidum</i> , d) <i>Suillus mediterraneensis</i> , e) <i>Tricholoma caligatum</i> , f) <i>Cantharellus lutescens</i> i g) <i>Mycena epipterygia</i> . ....	72
Slika 53. Najvažnije indikatorske ECM i saprotrofne vrste evidentirane u jače oštećenim i zaraženim kulturama crnog bora: a) <i>Clavulina coralloides</i> , b) <i>Ramaria gracilis</i> , c) <i>Chroogomphus rutilus</i> , d) <i>Lactarius chrysorrheus</i> , e) <i>Gymnopilus penetrans</i> , f) <i>Clitocybe nebularis</i> i g) <i>Pholiota gummosa</i> . ....	73
Slika 54. Ubikvisti i vrste bez indikatorskog značaja: (a) <i>Auriscalpium vulgare</i> , (b) <i>Baeospora myosura</i> , (c) <i>Mycena galopus</i> , (d) <i>Rhodocollybia butyracea</i> , (e) <i>Russula torulosa</i> i (f) <i>Suillus granulatus</i> . ....	74
Slika 55. Shannon indeks raznolikosti (a) i indeks jednakosti (b) za 2013. godinu. Vertikalne linije označavaju interval pouzdanosti od 95%. ....	77
Slika 56. Shannon indeks raznolikosti (a) i indeks jednakosti (b) za trogodišnje razdoblje praćenja. Vertikalne linije označavaju interval pouzdanosti od 95%. ....	78
Slika 57. Prikaz povezanosti između prosječnog broja piknida (Piknide), prosječne osutosti stabala (%osutost), broja manje osutih stabala (Osut_ <25%) i broja značajno osutih stabala (Osut_ >25%) prema Shannon indeksu, Simpson indeksu i jednakosti ( <i>Evenness</i> ). ....	79
Slika 58. Distribucija vrsta unutar rodova prema rezultatima trogodišnjeg praćenja. Rodovi koji su imali 1-3 vrste uvršteni su u kategoriju ostalo. ....	80
Slika 59. Distribucija plodišta unutar vrsta prema rezultatima trogodišnjeg praćenja. Vrste koje su imale manje od 100 plodišta uvrštene su u kategoriju ostalo. ....	80
Slika 60. Distribucija vrsta unutar rodova prema rezultatima za 2013. godinu. Rodovi koji su imali 1-3 vrste uvršteni su u kategoriju ostalo. ....	81
Slika 61. Distribucija plodišta unutar vrsta prema rezultatima za 2013. godinu. Vrste koje su imale manje od 100 plodišta uvrštene su u kategoriju ostalo. ....	82
Slika 62. Prikaz povezanosti između prosječnog broja piknida (Piknide), prosječne osutosti stabala (%osutost), broja manje osutih stabala (Osut_ <25%) i broja značajno osutih stabala (Osut_ >25%) prema ukupnom broju vrsta (UK_vrsta), ukupnom broju plodišta (UK_plod), broju mikoriznih vrsta (N_mik_vrs) i broju mikoriznih plodišta (N_mik_plod). ....	83
Slika 63. Vrste gljiva prvi put evidentirane u Hrvatskoj; a) <i>Boletopsis grisea</i> , b) <i>Galerina badipes</i> , c) <i>Galerina vittiformis</i> , d) <i>Lyophyllum aemiliae</i> , e) <i>Ramaria decurrens</i> , f) <i>Tricholoma focale</i> , g) <i>Tricholoma stans</i> ....	85

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Stadiji propadanja šuma kao posljedica zračnog onečišćenja. (Izvor: Fellner i Pešková 1995).....	4
Tablica 2. Taksonomski položaj <i>Sphaeropsis sapinea</i> u carstvu gljiva. (Izvor: www.mycobank.org).....	25
Tablica 3. Oborine, temperatura i razdoblje praćenja klimatoloških podataka za postaje Abrami, Letaj – brana i Pazin. ....	33
Tablica 4. Podaci o istraživačkim plohama; oznaka odjela/odsjeka, starost, nagib, ekspozicija i nadmorska visina. ....	37
Tablica 5. Klase i stupnjevi osutosti, te postotak gubitka iglica. ....	42
Tablica 6. Rezultati kemijske analize profila tla na istraživačkim plohama.....	48
Tablica 7. Korelacije između udjela ECM vrsta (%mik_vrs) i plodišta (%mik_plo), prosječnog broja piknida (Piknide), prosječne osutosti stabala (%osutost), manje osutih stabala (Osut_<25%) i značajno osutih stabala (Osut_>25%). ....	57
Tablica 8. Rezultati Kruskal-Wallis ANOVA testa za analizu piknida na iglicama prema plohama. ....	59
Tablica 9. Broj stabala prema plohama, klasama i stupnjevima osutosti. ....	63
Tablica 10. Rezultati Kruskal-Wallis ANOVA testa za analizu osutosti krošanja stabala po plohama. ....	63
Tablica 11. Korelacije između udjela ECM vrsta (%mik_vrs), ECM plodišta (%mik_plo), prosječnog broja piknida (Piknide) i prosječne osutosti stabala (%osutost) prema sadržaju kalija (K), dušika (N), sumpora (S) i odnosa N:K u jednogodišnjim i dvogodišnjim borovim iglicama. ....	70
Tablica 12. Vrijednosti Shannon indeksa raznolikosti, Simpson indeksa dominantnosti i indeksa jednakosti ( <i>Evenness</i> ) za 2013. godinu. ....	75
Tablica 13. Vrijednosti Shannon indeksa raznolikosti, Simpson indeksa dominantnosti i indeksa jednakosti ( <i>Evenness</i> ) za trogodišnje razdoblje praćenja. ....	76
Tablica 14. Korelacije između prosječnog broja piknida (Piknide), prosječne osutosti stabala (%osutost), broja manje osutih stabala (Osut_<25%) i broja značajno osutih stabala (Osut_>25%) prema Shannon indeksu, Simpson indeksu i jednakosti ( <i>Evenness</i> ).....	79
Tablica 15. Korelacije između prosječnog broja piknida (Piknide), prosječne osutosti stabala (%osutost), broja manje osutih stabala (Osut_<25%) i broja značajno osutih stabala (Osut_>25%) prema ukupnom broju vrsta (UK_vrsta), ukupnom broju plodišta (UK_plod), broju mikoriznih vrsta (N_mik_vrs) i broju mikoriznih plodišta (N_mik_plod). ....	83

Tablica 16. Linearna regresija prosječnog broja piknida na iglici prema ukupnom broju vrsta (UK_vrsta), broju mikoriznih vrsta (N_mik_vrs) i kombinaciji obje varijable u kulturama crnog bora u Istri.....	84
Tablica 17. Popis novih vrsta za Hrvatsku mikobiotu.....	86

## 1. UVOD

Odnosi fitopatogenih gljiva i njihovih domaćina predmetom su istraživanja kroz više stoljeća. Iako su mnoge patogene gljive opisane i poznate stotinu ili više godina, nisu bile predmet intenzivnog istraživanja sve dok nisu počele uzrokovati ozbiljne štete u gospodarskim šumama što je za posljedicu imalo značajne ekonomske gubitke. Na području istraživanja u Istri tijekom protekla dva desetljeća fitopatogena gljiva *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko & B. Sutton, prouzročila je značajnije štete u kulturama crnog bora (*Pinus nigra* J. F. Arnold) (Diminić 1997; Diminić i Jurc 1999; Diminić et al. 2012). Vodeći se načelima integrirane zaštite šuma kao održivijeg i ekološki manje štetnog načina zaštite od konvencionalnih metoda zaštite šuma (Kendrick 2000; Feldmann et al. 2003; Repáč 2011), ovo istraživanje usmjereno je na epigejne (nadzemne) mikorizne makrogljive. Primjenom navedenih načela zaštite šuma, makrogljive mogu poslužiti kao pokazatelj zdravstvenog stanja ciljanih sastojina te kao sredstvo biokontrole (Duchesne 1994). Castellano (1994) u svom radu daje pregled dosadašnjih istraživanja inokulacije šumskih sadnica gdje su mikorizne makrogljive korištene kao sredstvo biokontrole drugih gljiva. Šumski ekosustavi su najbogatiji gljivama od kojih mnoge tvore mikoriznu vezu s drvenastim biljkama (Carlile et al. 2001) pa su stoga vrlo prikladni za njihovo istraživanje. Mikorizne gljive iznimno su značajne za fiziološko stanje biljnog partnera te ga u određenoj mjeri štite od različitih uzročnika stresa i napada patogenih organizama (Kendrick 2000).

Plodišta makrogljiva važna su za identifikaciju gljivljih vrsta. Budući da pokazuju veliku varijaciju u pojavljivanju i brojnosti tijekom različitih sezona, poželjna su duža razdoblja praćenja. Identifikacija plodišta zahtijeva veće iskustvo, a često je otežava i nedostatna ili konfuzna taksonomska literatura te nedostatak profesionalnih mikologa (Arnolds 1999, 2001). Međutim, plodišta gljiva su u povoljnim uvjetima lako dostupna, a jedna od glavnih prednosti proučavanja plodišta umjesto morfotipova ili DNA sekvenci je popis vrsta koji se dobije takvim istraživanjima. Molekularnim istraživanjem često puta nije moguće identificirati gljivlju vrstu jer za većinu još uvijek nije poznata niti jedna DNA sekvenca. Generalno, morfološka istraživanja plodišta su i mnogo jeftinija od molekularnih (Schmit i Lodge 2005).

Ovo se istraživanje nastavlja na prijašnja istraživanja predispozicije crnog bora na zarazu gljivom *S. sapinea* prilikom kojih je utvrđen utjecaj staništa i stresa na zarazu (Diminić et al. 2012). U sjevernoj Dalmaciji je također suša opisana kao predisponirajući čimbenik pri sušenju borova napadnutih od različitih patogena (Pernek et al. 2012). Cilj ovog istraživanja



bio je analizirati mikocenozu borovih kultura te utvrditi ovisnost pojave određenih makromiceta i broja njihovih vrsta i plodišta prema stupnju zaraze gljivom *S. sapinea*, te osutosti krošanja stabala unutar ploha. Stanišni čimbenici, uključujući tlo i ishranu iglica, također su dovedeni u vezu s intenzitetom pojave patogena.

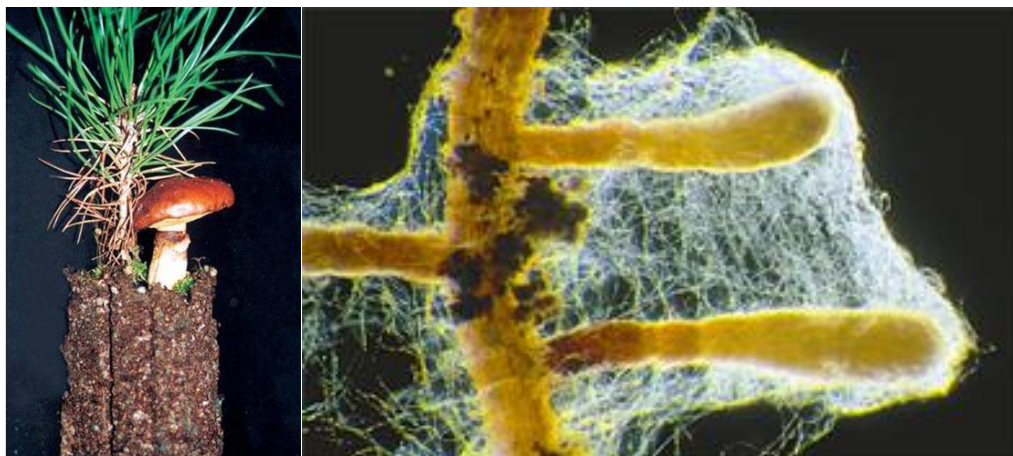
### 1.1. Pregled dosadašnjih istraživanja

Prva istraživanja utjecaja ektomikoriznih (ECM) gljiva na rast i preživljavanje inokuliranih sadnica proveo je Kessell 1927. godine u Australiji (Castellano 1994). Ustanovio je da mlade sadnice *Pinus radiata* D. Don inokulirane ECM gljivom *Rhizopogon luteolus* Fries puno brže napreduju u rastu te su boljeg zdravstvenog stanja od nemikoriziranog uzorka. Uslijedilo je razdoblje neaktivnosti istraživanja mikorize sve do 1970-ih kada se dogodio uzlet u SAD-u, a potom i u Europi, posebice nakon velikog odumiranja šuma tijekom 1980-ih godina (Fellner 1989; Mejstrik 1989). U spomenutom razdoblju je uz propadanje šuma primijećeno i značajnije opadanje broja vrsta i plodišta ECM makrogljiva u pojedinim Europskim zemljama poput Nizozemske, Njemačke, Češke Republike i Švicarske (Arnolds 1991; Egli 2011). Tijekom tog razdoblja Marks et al. (1991) (prema Castellano 1994) istražuju fiziološke karakteristike mikoriznog odnosa gljive *Pisolithus arhizus* (Scop.) Rauschert (= *P. tinctorius* (Pers.) Coker & Couch) s više vrsta crnogoričnog i bjelogoričnog drveća, a istodobno se istražuju i različite tehnike inokulacije sadnica. Tada dolazi do prvog sveobuhvatnog pokusa s bilo kojom ECM gljivom u nizu različitih stanišnih uvjeta koristeći različite biljne partnere.

Istraživanja utjecaja mikorize na šumske ekosustave kretala su se u tri osnovna smjera: (1) istraživanja inokulacije sadnica za pošumljavanje mikoriznim gljivama (Slika 1) (Castellano i Trappe 1985; Castellano et al. 1985; González-Ochoa et al. 2003; Holuša et al. 2009), (2) istraživanja utjecaja zračnog onečišćenja na mikorizu i zdravstveno stanje šumskih sastojina (Termorshuizen i Schaffers 1987, 1989; Fellner 1993; Fellner i Pešková 1995; Matočec et al. 2000; Pešková 2005, 2007; Kraigher et al. 2007) te (3) istraživanja odnosa između mikoriznih gljiva, patogena i štetnika šumskog drveća (Palermo et al. 2003; Luoma i Eberhart 2006, 2009; Montecchio et al. 2009; Scatolin et al. 2012).

Kao jedno od prvih pozitivnih djelovanja ECM gljiva primijećeno je bolje preživljavanje i rast sadnica te otpornost biljaka prema patogenima. Ta je spoznaja potaknula istraživanja inokulacije šumskih sadnica različitim vrstama mikobionata kako bi se podizale sastojine otpornije na negativne utjecaje abiotskih i biotskih čimbenika. Istraživanje

inokulacije sadnica duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) u SAD-u pokazalo je da su dvije godine poslije sadnje na teren mikorizirane sadnice imale mnogo veći postotak preživljavanja od nemikoriziranih, veći visinski prirast i širinu vrata korijena. Rasadnički testovi također su pokazali da inokulacija vrstama *Rhizopogon vinicolor* A.H. Sm. i *R. colossus* A.H. Sm. pospješuje rast sadnica duglazije (Castellano i Trappe 1985; Castellano et al. 1985). Za razliku od vrsta roda *Rhizopogon* Fr., ECM gljiva *P. arhizus* nije pokazala pozitivno djelovanje na rast i preživljavanje sadnica duglazije (Castellano i Trappe 1991).



Slika 1. Sadnica crnog bora inokulirana ektomikoriznom gljivom *Suillus luteus* (Izvor: <http://www.robinpepinieres.com/en/plants-champignons-r/mushroom-plant>); (b) ektomikoriza na kratkim završecima korijena (Izvor: [http://www.waldwissen.net/wald/pilze\\_flechten/wsl\\_mykorrhizapilze/index\\_DE](http://www.waldwissen.net/wald/pilze_flechten/wsl_mykorrhizapilze/index_DE)).

Tijekom posljednjih 35 godina u Španjolskoj su obavljena mnoga istraživanja kako bi se poboljšala kvaliteta inokuliranog sadnog materijala te podigle otpornije i produktivnije šumske sastojine, pogotovo u limitiranim stanišnim uvjetima. Inokulacija alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) i primorskog bora (*Pinus pinaster* Aiton) ECM gljivama testirana je u dva komercijalna rasadnika u Španjolskoj (González-Ochoa et al. 2003; Pera i Parladé 2005). Korišteno je sedam različitih vrsta gljiva u dvije različite suspenzije (micelij i spore). Rezultati su pokazali pozitivne korelacije između postotka mikoriziranosti korijena i visine sadnica no sve gljive nisu imale jednako dobar učinak. Takav rezultat ukazuje na potrebu pravilnog odabira EMC simbionta za inokulaciju mediteranskih borova. Holuša et al. (2009) u Češkoj Republici istražuju inokulaciju korijenovog sustava smreke mikoriznim preparatom koji bi pružio potencijalnu zaštitu sadnica od napada gljiva roda *Armillaria* (Fr.) Staude. Rezultati pokazuju da tretirane sadnice postižu signifikantno veće dimenzije od kontrolnog uzorka čak i na područjima jake zaraze gljivama roda *Armillaria*.

Utjecaj zračnog onečišćenja na mikorizu počeo se intenzivno istraživati tijekom 1980-ih godina kada je diljem Europe zabilježeno „novo propadanje šuma“ (Potočić et al. 2007). U tom je razdoblju zabilježen pad brojnosti i produktivnosti plodišta ECM makrogljiva (Arnolds

1991). Termorshuizen i Schaffers (1989) smatraju da analiza mikoflore putem plodišta daje jednostavniji i precizniji uvid u mikorizni status pojedinog ekosustava od analize pojedinačnih mikoriznih morfotipova. Rezultati njihovog istraživanja na 18 ploha običnog bora (*Pinus sylvestris* L.) u Nizozemskoj koje su pretrpjele zračno onečišćenje pokazuju da mikoriziranost korijena pozitivno korelira s brojem plodišta te brojem vrsta mikoriznih makrogljiva, iako potonje nije signifikantno. Fellner (1993) i Fellner i Pešková (1995) za potrebe istraživanja hrastovih, bukovih i smrekovih šuma u Češkoj Republici koriste metodu podjele zdravstvenog stanja sastojina u tri stadija: latentni, akutni i letalni. Metoda utvrđuje odnos između broja mikoriznih i saprotrofnih vrsta gljiva i njihovih plodišta te određuje zdravstveni stadij u kojem se pojedina sastojina nalazi. U prvoj verziji, podjela je bila jednostavnija i obuhvaćala je tek odnos između mikorizne zajednice i lignikolne zajednice u ukupnom broju evidentiranih vrsta. Kasnije je metoda detaljnije razrađena te su dodane faze osiromašivanja mikorizne zajednice, odnosno obogaćivanja lignikolne zajednice (**Tablica 1**) (Fellner i Pešková 1995).

Tablica 1. Stadiji propadanja šuma kao posljedica zračnog onečišćenja. (Izvor: Fellner i Pešková 1995)

Stadiji propadanja ektotrofne stabilnosti šumskog ekosustava	Faze osiromašivanja ECM mikocenoze	Faze obogaćivanja lignikolne mikocenoze
<b>Latentno stanje</b> – postotak vrsta ECM gljiva u ukupnom broju makromiceta pada do 40%, dok postotak lignikolnih vrsta dostiže ili prelazi 30%	Inhibicija produciranja plodišta (praćeno opadanjem najosjetljivijih vrsta, npr., hidnoidnih vrsta gljiva)	Stimuliranje produciranja plodišta
<b>Akutno stanje</b> – ECM vrste u pravilu čine manje od 40% u ukupnom broju makromiceta, dok lignikolne vrste u pravilu prelaze 40%	Smanjenje raznolikosti vrsta (sa stalnom inhibicijom produciranja plodišta)	Povećanje raznolikosti (sa stalnom stimulacijom produciranja plodišta)
<b>Letalno stanje</b> – ECM vrste u pravilu čine manje od 20%, dok lignikolne vrste u pravilu čine više od 55% u ukupnom broju makromiceta	Djelomična do potpuna destrukcija mikorizne zajednice	Širenje zajednice

Njihovi rezultati jasno pokazuju povezanost između osutosti krošanja istraživanih biljnih vrsta te brojnosti vrsta gljiva i njihovih plodišta. Istraživanjem je utvrđivan postotak mikoriziranosti sitnih korjenčića koji pokazuje ovisnost o zdravstvenom stanju biljnog simbionta, odnosno o zdravstvenom stanju cijele sastojine. ECM gljiva *Russula mustelina* Fr. označena je kao pouzdan mikobioindikator zračnog onečišćenja u planinskim i gorskim šumama obične smreke (*Picea abies* (L.) Karst) u centralnoj Europi (Fellner 1989). Pešková (2005, 2007) te Pešková et al. (2009, 2011) potvrđuju slične rezultate istražujući hrastove i

smrekove sastojine u Češkoj Republici. U hrastovim sastojinama od 2000. do 2002. godine smanjenjem osutosti krošanja za oko 10%, postotak aktivne mikorize na korijenu povećan je sa 17,5% na 43,92%, te je primijećen lagani porast broja mikoriznih vrsta. U smrekovim sastojinama u razdoblju od 1994-2014. godine osutost se smanjila za 13% i 7% na dvije istraživane lokacije dok se udio mikoriznih makrogljiva povećao s 50% na 69%, odnosno s 28% na 52%, što jasno ukazuje na važnost ECM gljiva za zdravstveno stanje istraživanih sastojina. Analizirajući dostupnu literaturu i uspoređujući je s 32 godine monitoringa makrogljiva u Švicarskoj, Egli (2011) navodi kako nema čvrstih dokaza da je opadanje broja vrsta i plodišta ECM gljiva jasan bioindikator negativnih promjena u šumskim staništima. Smatra da trenutno nije moguće objasniti koji je od čimbenika odlučujući za gubitak bogatstva ECM vrsta. To će biti moguće tek kada saznamo više o funkcionalnom značaju pojedine gljivlje vrste, odnosno, koja je ECM vrsta značajna za stabla u šumskom ekosustavu koji nastanjuje. U šumama obične smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) i obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u Sloveniji istraživana su bioindikatorska svojstva ECM tipova kao pokazatelja zračnog onečišćenja (Kraigher et al. 2007). Utvrđen je značajno veći broj ECM vrsta u šumama obične smreke s nižim vrijednostima onečišćenja, dok kod sastojina obične bukve nije utvrđena signifikantna razlika u bogatstvu ECM tipova. Predložena je vrsta *Hydnum rufescens* Pers. kao osjetljivi indikator zračnog onečišćenja smrekovih šuma, a *Paxillus involutus* (Batsch) Fr. kao tolerantna vrsta. Jedino istraživanje ovog tipa u Hrvatskoj proveli su Matočec et al. (2000) na području sliva potoka Križ u Gorskom kotaru. Postavljen je hipotetski model opterećenosti tla olovom te su odabrane ECM vrste gljiva kao pokazatelj onečišćenja. Rezultati pokazuju korelaciju između broja ECM vrsta i oštećenosti sastojina. Prema pretpostavci, na olovom najzagađenijim plohama osjetljive se vrste gljiva nisu pojavljivale, te je utvrđena negativna korelacija između broja vrsta i hipotetskog opterećenja tla olovom. Također je utvrđena korelacija između rezultata mikobioindikacije i osutosti krošanja obične jele (*Abies alba* Mill.) na istraživanim plohama.

Smatra se da ECM gljive, pospješujući fiziološko zdravlje svog fitobionta, utječu i na pojavu patogena i štetnika u šumskim ekosustavima. Na tom tragu, Luoma i Eberhart (2006, 2009) istražuju utjecaj fitopatogene gljive *Phaeocryptopus gaeumannii* (T. Rohde) Petr. (eng. *Swiss Needle Cast* - SNC) na mikoriznu zajednicu u šumama duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) zahvaćenim spomenutom bolešću u sjeverozapadnom dijelu SAD-a. Rezultati su pokazali da postoje razlike u razvijenosti ECM zajednice na pojedinim plohama, ali ne postoji korelacija sa stupnjem zaraze ni razdobljem zadržavanja iglica. Autori pretpostavljaju da je uzrok nepostojanja korelacije između razvijenosti ECM zajednice i

stupnja SNC zaraze nedostatak standardiziranosti mjerenja stupnja zaraze i uključivanje premalog broja ploha s nižim razinama zaraze. Provedeno je istraživanje bilo eksperimentalnog karaktera, te je evidentiran i utjecaj prethodnih gospodarskih zahvata tijekom sječa starih stabala i zahvata prilikom obnove posječenih površina na ECM zajednicu. Postoji mogućnost da sva tri čimbenika djeluju sinergijski. Autori zaključuju da su potrebna daljnja istraživanja kako bi se moglo razlučiti koji od spomenutih čimbenika u kojoj mjeri utječe na raznolikost ECM zajednice u istraživanom staništu.

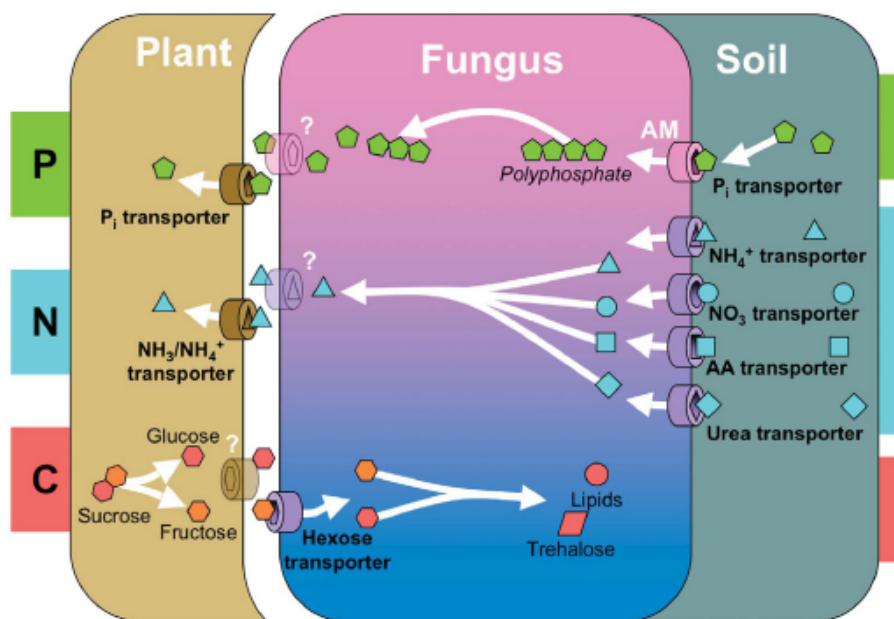
Mikorize u šumama hrasta crnike narušenog zdravstvenog stanja u Italiji istraživali su Montecchio et al. (2009). Ovisno o zdravstvenom stanju, stabla su podijeljena u tri skupine (zdrava, srednje oštećena i jako oštećena stabla). Rezultati pokazuju da sve tri skupine imaju tek 25% zajedničkih vrsta. Promjenom zdravstvenog stanja mijenja se i ECM zajednica, a biljni domaćin koji je potpuno zdrav može birati svog mikoriznog partnera koji je prema njemu najmanje zahtjevan u pogledu hranjiva. Biljka narušenog zdravstvenog stanja gubi tu sposobnost što potvrđuju Druebert et al. (2009). Ovisnost mikorizne zajednice o prisustvu patogena *Phytophthora cambivora* (Petri) Buism. na pitomom kestenu (*Castanea sativa* Mill.) istraživali su Scattolin et al. (2012). Istraživana stabla podijeljena su u tri kategorije zdravstvenog stanja (CL1, CL2, CL3). Suprotno od očekivanog, broj mikoriznih morfotipova se nije značajno razlikovao između kategorija CL1 i CL3, ali se razvojem bolesti povećava stupanj sličnosti između ECM zajednica istraživanih zaraženih stabala. Nezaražena stabla pokazuju značajnu raznolikost ECM zajednice.

Iz dosadašnjeg pregleda vidljiv je razvoj istraživanja mikorize u šumskim ekosustavima. Pojedina su istraživanja dala očekivane rezultate i potvrdila hipoteze, no još uvijek mnoga pitanja o funkcionalnom značaju ECM gljiva u šumskim ekosustavima ostaju neodgovorena zbog čega je potrebno provoditi daljnja istraživanja.

## 1.2. Terminologija i teorijski okvir

Gljive su vrlo važan čimbenik ukupne stabilnosti šume (eng. *Ectotrophic Stability*) djelujući kao saprotrofi, simbionti (mutualisti) ili paraziti. Danas se smatra da na Zemlji živi između 1.5 i 7 milijuna vrsta gljiva (Hawksworth 2001; Blackwell 2011; Kuyper i Giller 2011). Unatoč tome, gljive spadaju među najslabije istražene velike skupine organizama na globalnoj razini (Heywood et al. 1995; Mueller i Schmit 2007; Tkalčec et al. 2008). Broj gljivljih vrsta u Hrvatskoj je danas procijenjen na oko 20.000 dosad opisanih vrsta, od čega je trenutno zabilježeno oko 4.500 vrsta (Tkalčec et al. 2008). Više od 1000 gljivljih vrsta novih

za Hrvatsku pronađeno je tijekom zadnjih petnaest godina istraživanja, što također dobro ilustrira vrlo slabu istraženost nacionalne mikrobiote. Među trofičkim grupama, mikorizne gljive zauzimaju posebno mjesto jer ulaze u vezu s oko 90-95% viših biljaka (Carlile et al. 2001; Kendrick 2000; Pešková 2005). Najveći broj poznatih mikoriznih vrsta makrogljiva živi u šumskim staništima (Carlile et al. 2001) gdje gljiva biljci pomaže u crpljenju mineralnih hranjiva i vode iz tla (bogato razgranjenom micelijском mrežom), a zauzvrat od biljke dobiva produkte fotosinteze (Nara 2008) (Slika 2). Taj proces postaje moguć povezivanjem micelija gljive sa završnim korjenčićima biljke stvarajući **ektomikorizu (ECM)**, što je karakteristično za drveće i grmlje umjerenog i borealnog pojasa (Marjanović i Nehls 2008).



Slika 2. Shematski prikaz glavnih procesa izmjene hranjiva kod ektomikorize i arbuskularne mikorize. Naglasak je stavljen na translokaciju fosfora (P), dušika (N) i ugljika (C) na razini tlo-gljiva i gljiva-biljka. Anorganski P i mineralne ili organske forme N, poput  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  i aminokiselina (AA) provode se specijalnim transporterima lociranim na membrani gljive u vankorijenskom miceliju (extraradical mycelium).  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  i  $\text{P}_i$  (posljednji potječe kod arbuskularne mikorize iz hidrolize polifosfata), provode se kroz simbiotsku vezu u biljne stanice pomoću selektivnih transportera. Transporteri heksoze provode u biljci proizvedene ugljične spojeve prema gljivi dok proteini uključeni u prijenos hranjiva iz biljke ili iz gljive još nisu poznati. (Izvor: Bonfante i Genre 2010).

Mikorizu je prvi opisao njemački patolog A. B. Frank 1885. godine što je za tadašnju znanstvenu zajednicu bilo senzacionalno otkriće koje je istovremeno naišlo na oštre kritike dijela istraživača (Das i Varma 2009). On opisuje mikorizu kao čestu i raširenu simbiozu koju je moguće pronaći u svim šumskim ekosustavima na najrazličitijim staništima. Prema njegovoj hipotezi, mikoriza predstavlja sveobuhvatan odnos između biljke i gljive u kojem se oba organizma oslanjaju jedan na drugoga da bi preživjeli. Većina njegove hipoteze do danas je potvrđena modernim metodama i tehnikama istraživanja. Prema prvom Frankovom radu u

kojem opisuje ektomikorizu, riječ mikoriza dolazi od grčke riječi *mykes* (gljiva) i *rhiza* (korijen). U njegovoj drugoj publikaciji iz 1887. godine već razlikuje ekto- i endomikorizu. Za mikorizu je karakteristično dvosmjerno kretanje nutrijenata gdje ugljični spojevi odlaze iz biljke prema gljivi, a mineralni spojevi koje gljiva crpi iz tla transportiraju se prema biljci stvarajući na taj način prijeko potrebnu vezu između korijena, gljive i tla.

Među golosjemenjačama, 99% vrsta su obligatni simbionti pa tako i borovi (rod *Pinus* L.), koji svoj opstanak i optimalan razvoj ne mogu ostvariti bez ECM (Newman i Reddell 1987; Harley i Harley 1987; Wang i Qiu 2006). Sve gljive koje tvore ektomikorizu i arbuskularnu mikorizu (AM) smatraju se obligatnim simbiontima jer bez odgovarajućeg biljnog partnera ne mogu ostvariti svoj razvoj (Brundrett 2004), uz tek mali broj iznimaka. Biljke mogu biti obligatno mikorizne (obligatni fitobiont), fakultativno mikorizne (fakultativni fitobiont) ili nemikorizne.

U nastavku teksta dan je pregled definicija pojmova koji se koriste u ovom radu:

**Bioindikator** (eng. *Bionidicator*) – organizam ili skupina organizama koji reagiraju na okolišne promjene mijenjajući svoje vitalne funkcije, kemijski sastav i/ili brojnost čime ukazuju na promjene u njihovom okolišu (Matočec et al. 2000; Kraigher et al. 2007; Kirk et al. 2008).

**Epigejne gljive** (eng. *Epigeous fungi*) – gljive koje stvaraju plodišta iznad površine tla, nadzemne gljive (Kirk et al. 2008).

**Fakultativni simbiont** (eng. *Facultative Symbiont*) – organizam koji svoj razvoj može ostvariti bez drugog partnerskog organizma (Brundrett 2004).

**Fitobiont** (eng. *Phytobiont*) – viša biljka koja tvori mikorizu s gljivom (Kendrick 2000).

**Hipogejne gljive** (eng. *Hypogeous fungi*) – gljive koje stvaraju plodišta ispod razine tla, podzemne gljive (Kirk et al. 2008).

**Makrogljive** (eng. *Macrofungi*) – sve gljive čija su plodišta vidljiva golim okom, odnosno veća su od 1 mm (Arnolds 1992).

**Mikobiont** (eng. *Mycobiont*) – gljiva koja tvori mikorizu s biljkom (Kendrick 2000).

**Mikoriza** (eng. *Mycorrhiza*) – mutualistički odnos gljive i biljke u kojem se povezuju micelij gljive i korijenovi završeci biljke, a oba partnera imaju podjednaku korist (Kendrick 2000; Brundrett 2004).

**Obligatni fitobiont** (eng. *Obligatory Phytobiont*) – viša biljka koja svoj razvoj ne može ostvariti bez mikorize (Brundrett 2004).

**Obligatni simbiot** (eng. *Obligatory Symbiont*) – organizam koji treba drugi partnerski organizam i bez njega ne može ostvariti svoj razvoj (Brundrett 2004).

**Patogen** (eng. *Pathogen*) – organizam koji živi na štetu jedne ili više vrsta biljaka uzrokujući odumiranje njihovih pojedinih dijelova ili cijelih biljaka (Diminić 1997; Kirk et al. 2008).

**Plodište** (eng. *Fruit body, Sporocarp*) – naziva se još plodno tijelo, sporokarp. Opći termin za organ gljive na kojem se razvijaju spore kojima se gljiva razmnožava i rasprostire (Kirk et al. 2008).

**Predispozicija** (eng. *Predisposition*) – prirodna sklonost, predodređenost, osjetljivost na bolesti.

**Saprotrof** (eng. *Saprotroph, Saprobe, Saprogen*) – organizam koji se hrani mrtvim organskim materijalom (Kirk et al. 2008). U hrvatskoj stručnoj praksi je još uobičajeno koristiti zastarjeli termin „saprofit“ koji svojim značenjem govori o biljci koja se hrani saprotrofno, iako takova biljka nije poznata. Termin se odnosio na gljive i bakterije koje su ranije smatrane biljkama, no njegovu upotrebu bi trebalo što prije napustiti.

**Simbiot** (eng. *Symbiont*) – član odnosa između različitih bioloških vrsta. Simbiontom se u ovom radu smatra samo član mutualističkog odnosa u kojem oba člana ostvaruju korist (Das i Varma 2009).

**Simbioza** (eng. *Symbiosis*) – opisuje dugoročan i blizak odnos između različitih bioloških vrsta u kojem barem jedan partner ima koristi. Simbiotski odnos može biti: (1) parazitski, u kojem jedan organizam živi na štetu drugoga, (2) komenzalizam, u kojem jedan organizam ima koristi dok drugi ne trpi štetu, ali i ne ostvaruje korist, te (3) mutualistički, u kojem oba člana ostvaruju korist (Brundrett 2004; Das i Varma 2009).



### 1.2.1. Tipovi mikorize

Mikoriza je složen fiziološki odnos biljke i gljive koji se ostvaruje povezivanjem specijaliziranih dijelova micelija mikorizne gljive s finim završecima korijena biljke. U pojednostavljenoj podjeli možemo razlikovati ektomikorizu kod koje micelij gljive ne ulazi u stanice korijena i endomikorizu kod koje micelij prodire u biljne stanice. Sustavnija podjela razlikuje sedam tipova mikorize na osnovi morfoloških i anatomskih karakteristika, te taksonomiji biljnih domaćina ili gljiva: ektomikoriza (ECM), arbuskularna ili vesikular-arbuskularna mikoriza (AM ili VAM), erikoidna mikoriza (ERM), arbutoidna mikoriza, monotropoidna mikoriza, ekt-endomikoriza i orhidejna mikoriza (Das i Varma 2009). Za nastanak mikorize moraju postojati tri osnovna uvjeta; (1) micelij gljive koji prodire kroz veliki volumen tla iz kojeg crpi različita mineralna hranjiva, (2) dodirna površina između biljke i gljive gdje se odvija izmjena hranjiva i (3) biljno tkivo koje proizvodi i skladišti ugljikohidrate (Kendrick 2000).

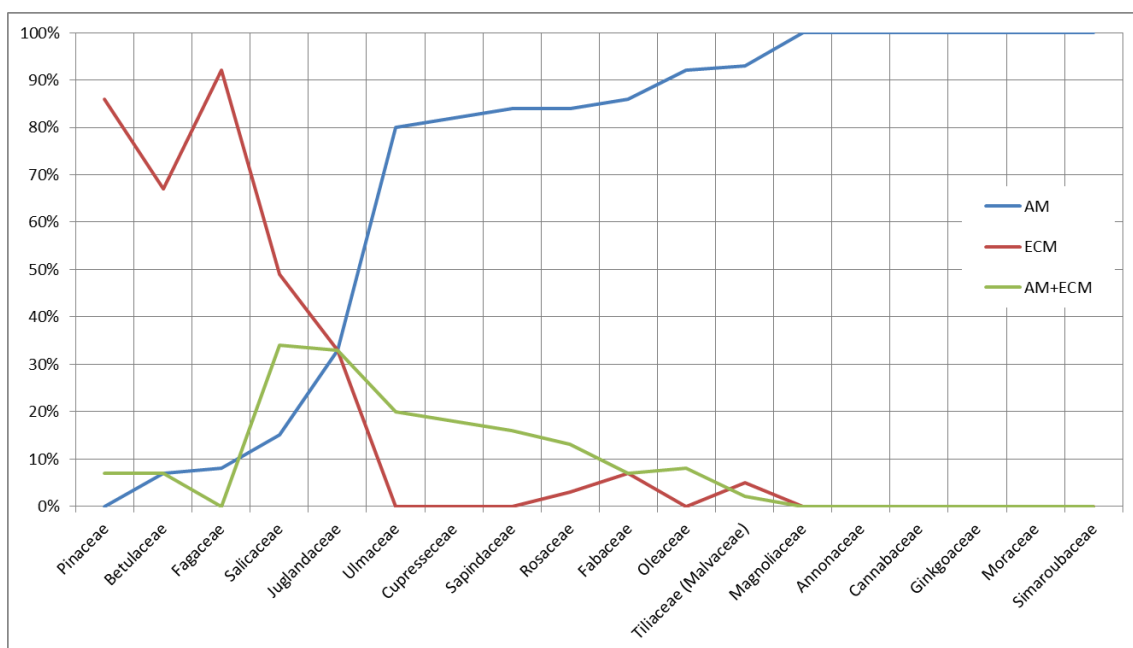
Pozitivni učinci između simbionata u različitim tipovima mikorize vrlo su slični, no tijekom evolucije tipovi mikoriza su se razvijali odvojeno (Cairney 2000). Najstariji oblik mikorize je arbuskularna mikoriza koja se pojavljuje prije otprilike 475 milijuna godina tijekom Ordovicija, usporedno s prvim biljkama. Ipak, prvi pouzdan nalaz gljiva iz roda *Glomus* (mikobionti ovog tipa mikorize), pronađen je u fosilima iz razdoblja Devona, prije otprilike 400 mil. godina. Najnovija istraživanja govore da su prijelaz biljnog života na kopno omogućile gljive iz skupine *Mucoromycotina*, a ne *Glomeromycota* kako se dosad smatralo (Bidartondo et al. 2011; Rimington et al. 2015). Pretpostavlja se da se iz nje razvila ECM pred oko 200 milijuna godina, tijekom Jure, ali prvi pouzdan fosilni nalaz datira iz razdoblja Eocena (prije cca 50 mil. godina). Prvi fosilni nalazi porodice *Pinaceae* datiraju iz Jure pa se ipak smatra da se ECM razvila mnogo prije Eocena.

#### **Ektomikoriza** (eng. *Ectomycorrhiza*, ECM)

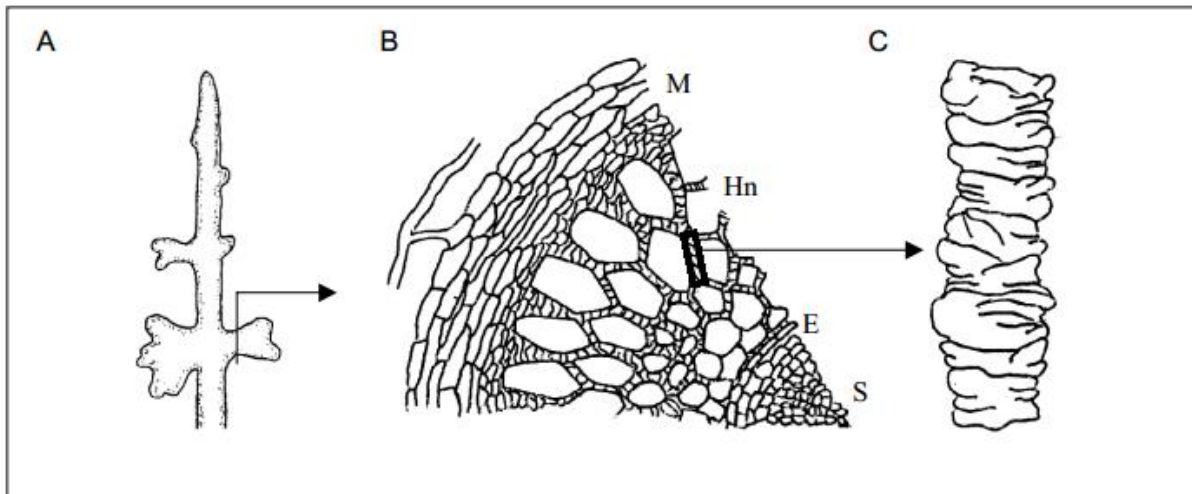
Ektomikoriza je najčešći tip mikorize kod drvenastih biljaka umjerenog i borealnog pojasa, a razvija se i kod golosjemenjača, i kod kritosjemenjača. Ponekad je nalazimo i u tropima. Porodice *Betulaceae*, *Corylaceae*, *Fagaceae*, *Myrtaceae*, *Pinaceae*, *Salicaceae* te pripadnici drugih porodica tvore ECM (**Slika 3**), a dosad je poznato da oko 8000 biljaka tvori ovaj tip mikorize (Dahlberg 2001), među kojima se nalaze najvrijednije vrste drveća. Na primjer, vrsta *Pseudotsuga menziesii* ulazi u mikorizu s oko 2000 različitih ECM gljiva (Luoma i Eberhart 2006). Jedan do tri mjeseca nakon klijanja biljnog sjemena, na najmlađim i

neodrvjenjelim kratkim vrhovima korijena stvara se ECM. Korijen mogu zaraziti hife koje rastu kroz tlo ili spore koje se najčešće prenose zrakom. Spore nakon klijanja rastu prema izlučevinama korijena dok ga ne sustignu i koloniziraju (Matin 2007; Martin i Tunlid 2009).

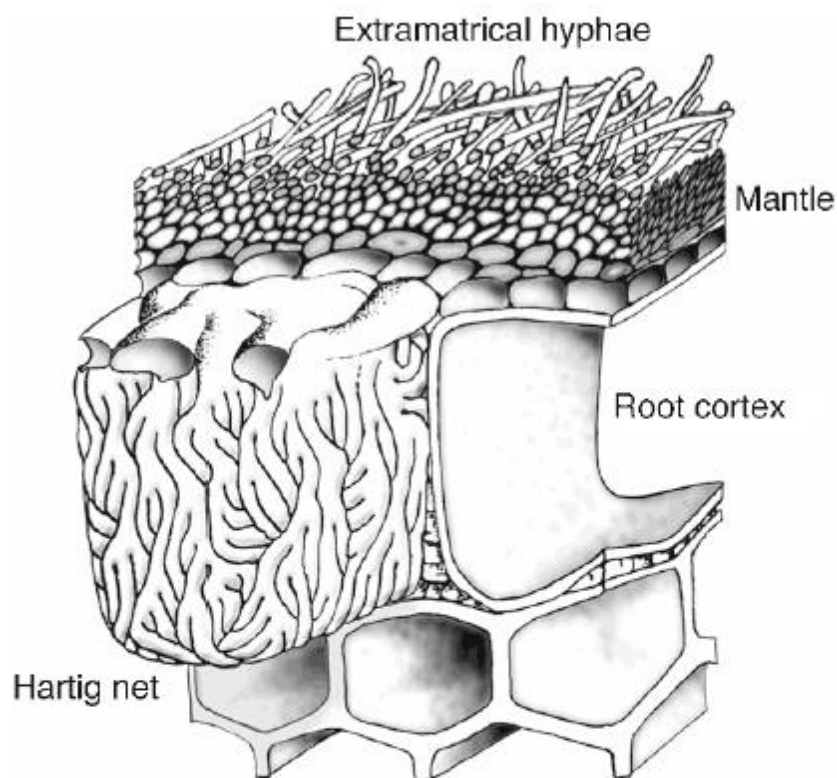
Kod ECM hife gljive prodiru u međustanične prostore ovojnice korijena tvoreći karakterističnu strukturu nazvanu Hartigova mreža (eng. *Hartig net*) i u tom dijelu se odvija razmjena hranjiva između biljke i gljive (Slika 4; Slika 5). Za razliku od AM gdje hife prodiru u unutrašnjost stanica korijena, kod ECM hife nikada ne prodiru u stanicu, ali ni unutar stele. Hife stvaraju karakteristični omotač (eng. *mantle, sheath*), oko površine korijena odakle se micelij širi dalje u tlo. Taj omotač može činiti do 30% ukupnog volumena korijena stvarajući veliku površinu koja omogućuje razmjenu hranjiva između biljke i gljive. Dioba stanica u apikalnom dijelu ECM korjenčića se smanjuje, što usporava rast u dužinu. Stoga se stanice ovojnice korijena šire radialno, što daje korijenu kratki i zadebljali izgled za razliku od nezaraženih korjenčića.



Slika 3. Zastupljenost ektomikorize i arbuskularne mikorize u biljnim porodicama prema ID Tree testu. (Izvor: <http://tallcoleman.com/ecology/ranges-of-trees-and-mycorrhizal-status/>).



Slika 4. Presjek ektomikorize na korijenu običnog bora (*P. sylvestris*): A) Vrh postranog korijenčića s nerazgranatom, dihotomno razgranatom i koraloidnom mikorizom, B) Presjek vrha korijenčića s (M) omotačem hifa, (Hn) međustanične hife potpuno razvijene Hartigove mreže, (E) endoderm i (S) centralna stela, C) Povećanje naboranih hifa Hartigove mreže. (Izvor: Tarkka 2000).



Slika 5. Diferencijacija ektomikoriznih hifa tijekom razvoja simbioze. Izdužene, razgranate hife šire se između stanica ovojnice korijena (*Root cortex*), stvarajući Hartigovu mrežu (*Hartig net*) i omotač hifa oko korijena (*Mantle*). Iz omotača se hife šire dalje u tlo i listinac (*Extramatrixal hyphae*). (Izvor: Martin i Tunlid 2009).

Gljiva proizvodi biljne hormone koji pospješuju brži rast novih, kratkih i zadebljanih vrhova korijena, često dihotomno razgranatih. Hartigova mreža produžuje životni vijek stanica ovojnice korijena, ali i korijena u cjelini. Pojedinačna mikorizna veza ostaje aktivna na

korijenu do tri godine, a pojedina biljka može imati više mikobionata istovremeno. Ektomikorizu uglavnom čine gljive stapčarke (bazidiomiceti), ali i pojedine grupe gljiva mješinarke (askomiceti), te je dosad poznato oko 5000-7750 vrsta gljiva koje tvore ECM. Ova se brojka smatra konzervativnom procjenom, te se procjenjuje da postoji 20.000-25.000 ECM vrsta (Brundrett et al. 1996; Kendrick 2000; Carlile et al. 2001; Johnson et al. 2005; Rinaldi et al. 2008; Das i Varma 2009.).

### **Arbuskularna mikoriza** (eng. *Arbuscular Mycorrhiza*, AM)

Ovaj tip mikorize se još naziva i vesikular-arbuskularna mikoriza. Spada u endomikorizu jer neseptirane hife gljive ulaze unutar stanica korijena što im daje karakterističan izgled, budući da se u njima stvaraju vezikule i arbuskule koje obavija stanična membrana. To je najčešći tip mikorize te se pojavljuje kod više od 300.000 zeljastih i drvenastih biljaka. Suprotno tome, dosad je poznato tek oko 130-150 vrsta gljiva koje tvore ovaj tip mikorize. Domaćini su gotovo sve biljne skupine, od papratnjača do kritosjemenjača. Gljive koje tvore AM pripadaju u sljedećih devet rodova: *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Glomus*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Archaeospora*, *Gerdemannia*, *Paraglomus* i *Geosiphon* te su svrstane u odjeljak *Zygomycota*. Od svih poznatih vrsta iz ove skupine, samo se jedna razmnožava seksualno (Kendrick 2000, Brundrett 2004; Das i Varma 2009).

### **Erikoidna mikoriza** (eng. *Ericoid Mycorrhiza*, ERM)

Kod vrsta iz porodice *Ericaceae*, hife gljive stvaraju mrežu oko korijena iz koje gljiva prodire unutar stanica ovojnice korijena. Općenito gledano, i ovaj tip mikorize spada u endomikorizu. Zaraza svake pojedine stanice ovojnice korijena događa se kroz vanjsku membranu, budući da zaraza iz stanice u drugu susjednu stanicu nije moguća. Penetrirajuće hife u potpunosti ispunju zaraženu stanicu koja odumire nakon što se mikoriza raspadne. Na taj način erikoidna mikoriza ograničava funkcionalni vijek zaražene stanice na razdoblje koje prethodi raspadanju ove mikorizne veze (Das i Varma 2009).

### **Arbutoidna mikoriza** (eng. *Arbutoid Mycorrhiza*)

Ovaj tip mikorize karakteriziraju obilježja ekto- i endomikorize. Hife prodiru unutar stanica ovojnice korijena, stvara se omotač hifa oko korijena te je prisutna Hartigova mreža. Od erikoidne mikorize se razlikuje po tome što postoji doliporna septa na unutarnjim hifama. Mikobionti koji stvaraju arbutoidnu mikorizu uglavnom su bazidiomiceti (Das i Varma 2009).

**Monotropoidna mikoriza** (eng. *Monotropoid Mycorrhiza*)

Ova mikoriza je prisutna kod bezklorofilnih biljaka iz porodice *Monotropaceae*. Građom je vrlo slična ECM i stvara vidljivi omotač hifa oko korijena te Hartigovu mrežu. Ipak, prodor hifa unutar stanice omotača korijena različit je od ostalih tipova endomikorize. Gljiva stvara male klinove s hvataljkama unutar stanice korijena (Das i Varma 2009). Kod monotropoidne mikorize nije jasno kakvu korist ima gljiva od biljke koja ne proizvodi ugljikohidrate. Detaljnija istraživanja su pokazala da gljiva dobiva hranjiva od treće biljke s kojom tvori mikorizu, a ista je autotrofna pa u ovom slučaju postoji tripartitni odnos. Tako na primjer, bor kao fitobiont proizvodi ugljikohidrate koje predaje svom mikobiontu, a on ih dalje transportira svojom micelijskom mrežom prema bezklorofilnoj biljci. *Monotropa* na taj način neposredno iskorištava gljivu, a posredno stablo bora (Kendrick 2000).

**Ekt-endomikoriza** (eng. *Ect-endomycorrhiza*)

Nalazimo je kod vrsta iz porodice *Pinaceae*. Stvara se Hartigova mreža unutar ovojnice korijena, ali se ne stvara omotač hifa oko korijena. Hife prodiru u međustanične prostore ovojnice korijena, pa je slična arbutoidnoj mikorizi. Ekt- endomikoriza kod porodice *Pinaceae* uglavnom se nalazi samo u šumskim rasadnicima i tvori je grupa gljiva koja se naziva E-strain. Ta se grupa smatra nesavršenim stadijem askomiceta koji u pojedinim slučajevima stvaraju ekt-endomikorizu kod drveća, dok kod određenih drvenastih vrsta stvaraju ECM (Das i Varma 2009).

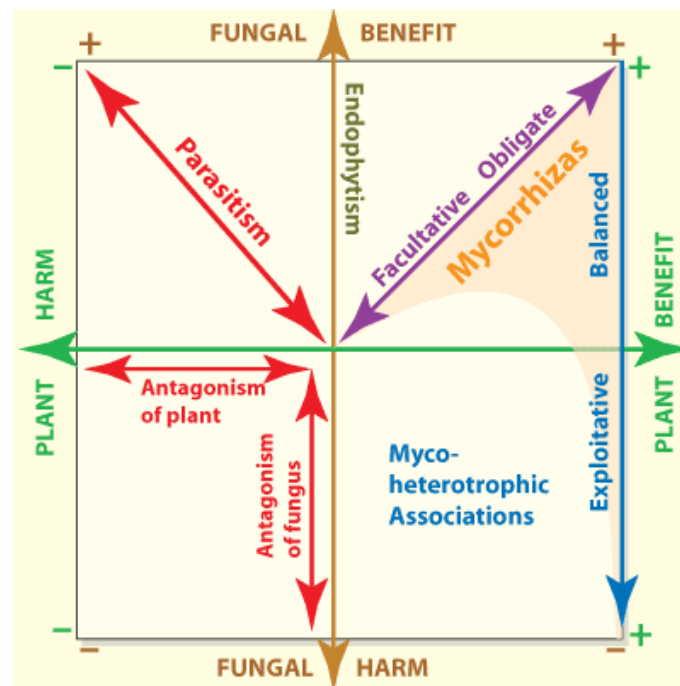
**Orhidejna mikoriza** (eng. *Orchidaceous Mycorrhiza*)

Kod ove endomikorize gljiva ulazi u stanicu i okružuje citoplazmu stvarajući spiralne oblike. Kada gljiva jednom uđe u biljku može se širiti unutar nje iz stanice u susjednu stanicu. Više rodova bazidiomiceta tvori ovaj tip mikorize. Sjeme orhideja može proklijati samo uz prisustvo pogodnog mikobionta (Das i Varma 2009).

**1.2.2. Uloga mikorize u šumskim ekosustavima**

Gljive su kao mutualisti tijekom geološke povijesti razvile nekoliko značajnih strategija. U lišajskoj zajednici s algama i/ili cijanobakterijama u stanju su naseljavati posve beživotan prostor na mineralnoj osnovi, čak i u najekstremnijim životnim uvjetima na Zemlji. Gljive su kroz različite tipove mikorize s vaskularnim biljkama omogućile prijelaz života na kopno i danas osiguravaju stabilnost svih postojećih šumskih ekosustava na Zemlji, naročito u

njihovim rubnim područjima te mlađim sastojinama (Cairney 2000; Zgrablić et al. 2014). Mikorizne makrogljive u šumskim ekosustavima imaju višestruku ulogu. Za funkcioniranje šumskih ekosustava posebno su važne ektomikorizne (ECM) i arbuskularne mikorizne vrste (AM) (Slika 6). Prema raznim autorima, u zdravom šumskom ekosustavu broj vrsta i plodišta epigejnih ECM gljiva čini od 40-60% u ukupnom broju vrsta i plodišta (Fellner 1989, 1993; Arnolds 1991; Fellner i Pešková 1995; Egli 2011). Svojem biljnom simbiotu, kroz mikorizni sustav, gljiva osigurava neusporedivo višu razinu opskrbe za život prijeko potrebnih mineralnih tvari i vode (Kendrick 2000). Dokazano je kako mikorizirane biljke rastu brže i bolje od jedinki iste vrste koje nisu mikorizirane te imaju znatno povećanu lisnu površinu. To je posebno jako izraženo u tlima niskog nutritivnog sastava. Pored toga, mikorizna gljiva štiti svog biljnog simbionta od patogena korijenja, proizvodi za njega dodatne količine hormona rasta (auksin i giberelin), dok micelijskom mrežom gradi složeni mrežni sustav u šumskoj rizosferi čime povezuje različite biljne jedinke iste, ali i različitih vrsta. Biljni simbiot zauzvrat opskrbljuje gljivu potrebnim ugljikohidratima koje proizvodi fotosintezom (Carlile et al. 2001; Brundrett 2008).



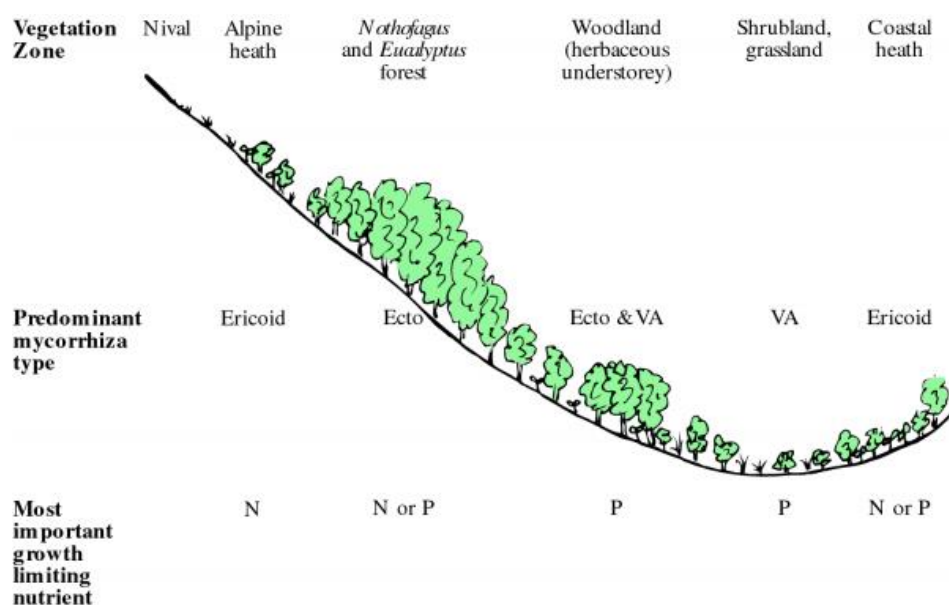
Slika 6. Dijagram simbiotskih odnosa. (Izvor: Brundrett 2004).

Mikoriza povećava apsorpcijsku površinu korijena 10-1000 puta, čime znatno pospešuje sposobnost fitobionta da koristi dostupne resurse u tlu. Mikorizne gljive imaju sposobnost apsorbirati i transportirati sve makro- i mikroelemente potrebne za rast biljaka, ispuštajući snažne kemijske spojeve u tlo koji otapaju teško dostupne mineralne tvari poput

fosfora (P), željeza (Fe) i ostalih teško topivih elemenata (Girlanda et al. 2007; Das i Varma 2009; Qu et al. 2010). Mikorizne gljive stvaraju kompleksnu mrežu koja hvata i asimilira hranjiva, osiguravajući na taj način njihov ostanak u tlu. U uvjetima bez mikorize, velik dio tih hranjiva nepovratno se gubi iz sustava (Das i Varma 2009).

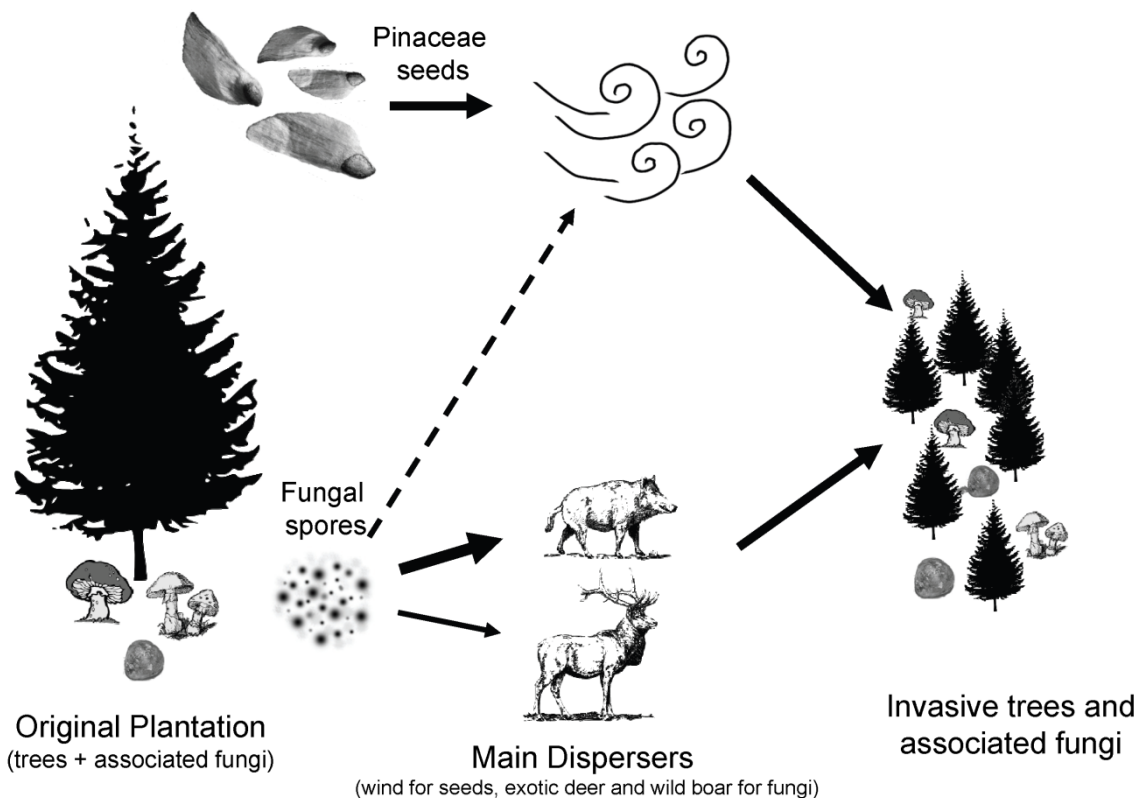
Duchesne (1994) opisuje aktivne i pasivne mehanizme djelovanja ECM gljiva u zaštiti fitobionta. Aktivni mehanizmi mogu djelovati samostalno, istodobno (simultano) ili sinergistički, a čine ih inhibicija, konkurentnost te mehaničko ili kemijsko onemogućavanje patogena. S druge strane, postoje pasivni mehanizmi sprečavanja bolesti koje čine dobro fiziološko stanje fitobionta te fiziološke modifikacije korijena nakon što se zarazi mikoriznom gljivom.

Interes za korištenje i istraživanje mikorize intenzivno raste posljednjih desetljeća zbog mogućnosti njene pozitivne primjene u poljoprivredi, šumarstvu i sanaciji područja devastiranih antropogenim djelovanjem. Mikorizirane biljke bolje podnose šok presadnje, otpornije su na napade patogena u tlu, podnose više temperature tla, više nadmorske visine, viši salinitet te ekstremnije pH uvjete u tlu (Kendrick 2000; Palermo et al. 2003; Mleczko 2004). U uvjetima limitiranog rasta mikorizirane biljke izrazito su konkurentnije (Pedersen i Sylvia 1996). Prema Gulden i Høilandu (1985), površine pokrivene šumama na globalnoj razini bile bi 20-30% manje bez postojanja mikorize, a visinska granica šumskih staništa bila bi nekoliko stotina metara niža (Slika 7).



Slika 7. Pregled vertikalne distribucije tipova mikorize na planinskim staništima. Prikazani su glavni vegetacijski tipovi i najvažnija hranjiva koja limitiraju rast i razvoj vegetacije. (Izvor: [http://plantsinaction.science.uq.edu.au/edition1/?q=figure\\_view/734](http://plantsinaction.science.uq.edu.au/edition1/?q=figure_view/734))

Najvažnija ECM porodica biljaka su borovke (*Pinaceae*) koje nalazimo na najvećem dijelu sjeverne hemisfere (Vidaković i Franjić 2004), gdje čine okosnicu iskorištavanja drvne mase te se svake godine obnavljaju ogromne površine nakon sječa ili prirodnih katastrofa. Iz tog razloga je vrlo važno odabrati najpovoljnije mikobionte kojima će se inokulirati sadnice u rasadnicima prije sadnje na terenu ili koje će se dodavati u sastojine kako bi poboljšale mogućnosti rasta i opstanka novih sastojina. Time se može postići pozitivan ekonomski učinak (Kendrick 2000). Nedostatak mikorize na korijenu biljaka vodeći je uzrok lošeg preživljavanja sadnica nakon presađnje i njihovog kasnijeg rasta u većini staništa (Robin et al. 2011). Stoga je kvaliteta sadnica jedan od odlučujućih čimbenika za kvalitetno pošumljavanje (Pera i Parladé 2005). U pojedinim područjima je širenje šumskih sastojina na nova staništa usko vezano uz postojanje odgovarajućih mikobionata (Ashkannejhad i Horton 2006) čije spore rasijavaju sitni i krupni sisavci (Slika 8) (Nuñez et al. 2013).



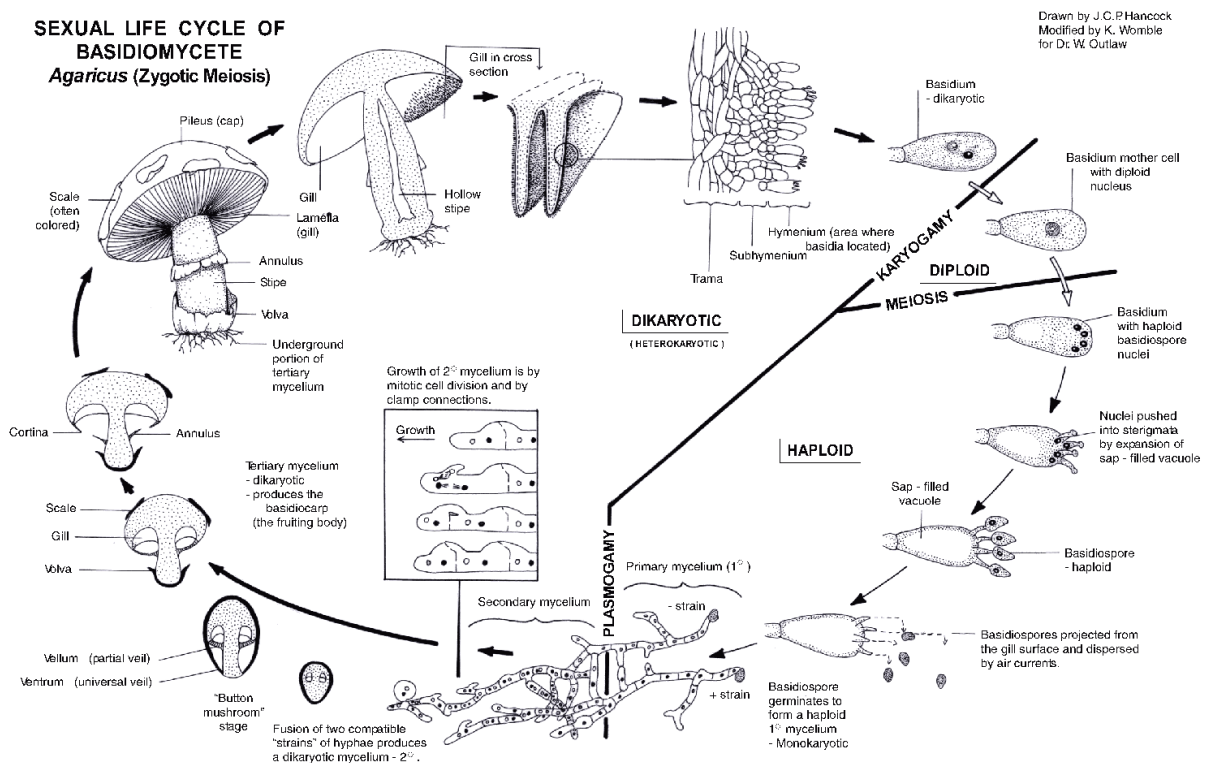
Slika 8. Dijagram pretpostavljenog procesa invazije borovki i njihovih mikobionata s glavnim vektorima spora na argentinskom otoku Isla Victoria. (Izvor: Nuñez et al. 2013).

### 1.2.3. Osnove biologije bazidiomiceta i značajki važnih za njihovu identifikaciju

Sve ektomikorizne gljive pronađene ovim istraživanjem pripadaju odjeljku bazidiomiceta ili gljiva stapčarki (*Basidiomycota*). Bazidiomiceti su velika skupina gljiva koja sadrži 32% ukupnog broja poznatih gljivljih vrsta (Kirk et al. 2008). Karakterizira ih



postojanje jednostaničnih ili višestaničnih bazidija na kojima se razvijaju spolne spore, bazidiospore. U bazidiju dolazi do kariogamije dviju haploidnih jezgara, a nastala diploidna jezgra odmah ulazi u proces mejoze, nakon čega se na vrhu tankih produžetaka, sterigmi, razvijaju haploidne spore (Slika 9) (Glavaš 1996; Kendrick 2000; Carlile et al. 2001). Kod većine bazidiomiceta spore se rasprostiru zračnim strujanjem, a mogu biti transportirane na velike udaljenosti (Kendrick 2000). U povoljnim uvjetima bazidiospora proklije u haploidni primarni micelij. Prilikom susreta dva primarna micelija iste vrste, ali različitog spola, dolazi do somatogamije, spajanja stanica dvaju micelija, no pri tome ne dolazi do kariogamije (spajanja jezgara). Tako nastali sekundarni micelij (tijelo gljive) u svakoj stanici sadrži par haploidnih jezgara – dikarion (Wösten i Wessels 2006). Micelij obrasta supstrat u kojem se hrani: tlo, listinac, krupne drvene ostatke, živo biljno tkivo i dr.



Slika 9. Prikaz životnog ciklusa bazidiomiceta. (Izvor: <http://hosho.ees.hokudai.ac.jp/~tsuyu/top/dct/mycology.html>).

Većina bazidiomiceta bazidije razvija na specifičnim organima, plodištima. Iako dio vrsta ima višegodišnja plodišta, većina bazidiomiceta formira kratkotrajna plodišta (traju od nekoliko sati do nekoliko tjedana), pa im je reprodukcijski potencijal vrlo velik. Pojedino plodište može proizvesti i više milijuna, milijardi ili čak bilijuna spora. Ipak, prema Galante et al. (2011), 95% spora ektomikoriznih gljiva padne na udaljenosti do 1 m od matičnog

plodišta. Većina bazidiomiceta koji tvore plodišta imaju plodišta vidljiva golim okom (veća od 1 mm), a neka mogu premašiti i 1 m u promjeru. Tijekom godine bazidiomiceti pokazuju dva vrhunca produciranja plodišta, proljetno-ljetni i jesenski. Jesenska fruktifikacijska sezona je znatno bogatija od proljetno-ljetne jer najveća većina vrsta tada razvija svoja plodišta. Obje sezone značajno ovise o klimatskim prilikama (posebno količini oborina). Uslijed klimatskih promjena, u našim je krajevima uočljivo slabljenje ili potpuno izostajanje proljetno-ljetnog fruktificiranja. Također, početak fruktificiranja često se događa sve kasnije u godini (pomiče se prema kasnoj jeseni i zimi). Međutim, moguće je da zbog dugotrajnih suša produkcija plodišta u potpunosti izostane tijekom godine, što ne znači da micelij gljiva nije prisutan u tlu ili drugom supstratu (Van der Linde et al. 2012). Na spomenute novonastale uvjete posebno su osjetljive rane vrste dok vrste koje se pojavljuju kasnije pokazuju manju ovisnost o promjeni klimatskih čimbenika (Kauserud et al. 2008, 2012; Boddy et al. 2014).

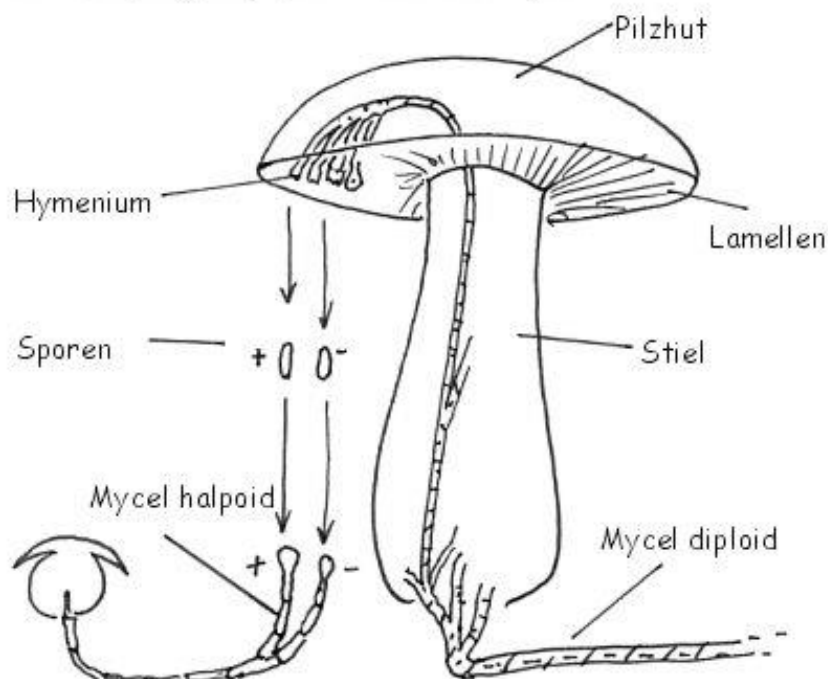
Prema načinu ishrane bazidiomicete možemo podijeliti u saprotrofe, simbiote (ektomikorizne) i parazite. Bazidiomicete nalazimo u svim terestričkim biotopima na Zemlji, na najrazličitijim staništima, no šume su najznačajniji tip staništa za većinu vrsta. Mnoge vrste vezane su uz specifične fitobionte, domaćine ili staništa, dok neke imaju široku ekološku valenciju (ubikvistu).

Koliko je danas poznato, većinu ektomikoriznih gljiva čine bazidiomiceti. Najčešći ECM rodovi u šumskim ekosustavima su: *Amanita* Pers., *Boletus* L., *Cortinarius* (Pers.) Gray, *Inocybe* (Fr.) Fr., *Lactarius* Pers., *Rhizopogon* Fr., *Russula* Pers., *Suillus* Mich., *Tricholoma* (Fr.) Staude i *Xerocomus* Qué. (Bujakiewicz 1992; O'Dell et al. 1999; Senn-Irlet i Bieri 1999; Taylor i Bruns 1999; Laganá et al. 2000; Pal-Fam 2011). Od saprotrofnih rodova u šumskim ekosustavima se najčešće pojavljuju: *Agaricus* L., *Clitocybe* (Fr.) Staude, *Coprinus* Pers. s. l., *Entoloma* P. Kumm., *Galerina* Earle, *Gymnopus* (Pers.) Roussel, *Marasmius* Fr., *Mycena* (Pers.) Roussel, *Pluteus* Fr. i *Psathyrella* (Fr.) Qué. (Senn-Irlet i Bieri 1999; Pešková et al. 2009; Pal-Fam 2011; Mihál 2012). U kulturama crnog bora na serpentinu u Liguriji (Italija), najčešće su vrste *Suillus bovinus* (L.) Roussel, *Russula sardonia* Fr., *Hygrophoropsis aurantiaca* (Wulfen) Maire, *Strobilurus tenacellus* (Pers.) Singer, *Lactarius deliciosus* (L.) Gray, *Russula caerulea* Fr. i *Gymnopilus penetrans* (Fr.) Murrill (Zotti et al. 2013).

Unatoč uznapredovalim molekularnim tehnikama, morfološka svojstva plodišta na makroskopskoj i mikroskopskoj razini iznimno su važna u taksonomiji bazidiomiceta, kao i za njihovu identifikaciju. Plodišta bazidiomiceta mogu biti različitih oblika (okruglastog,

kopitastog, korastog, zvjezdastog, grmastog i dr.), no posebno je čest kišobranasti oblik (Slika 10). Na takvom plodištu razlikujemo gornji, prošireni dio koji zovemo klobuk, te donji, suženi dio koji zovemo stručak. Na donjoj strani klobuka nalazi se struktura na kojoj se razvijaju bazidiji sa sporama, himenofor. Himenofor je u pravilu složene građe koja povećava površinu s bazidijima, himenij, a može biti u obliku radijalno postavljenih listića (najčešći slučaj), uspravnih i povezanih cjevčica, ili odvojenih iglica. Neke vrste imaju plodišta s jednim ili dva vela (veluma): univerzalnim velom koji obavija cijelo plodište u mladosti i/ili djelomičnim velom koji u mladosti povezuje rub klobuka sa stručkom, štiteći himenofor.

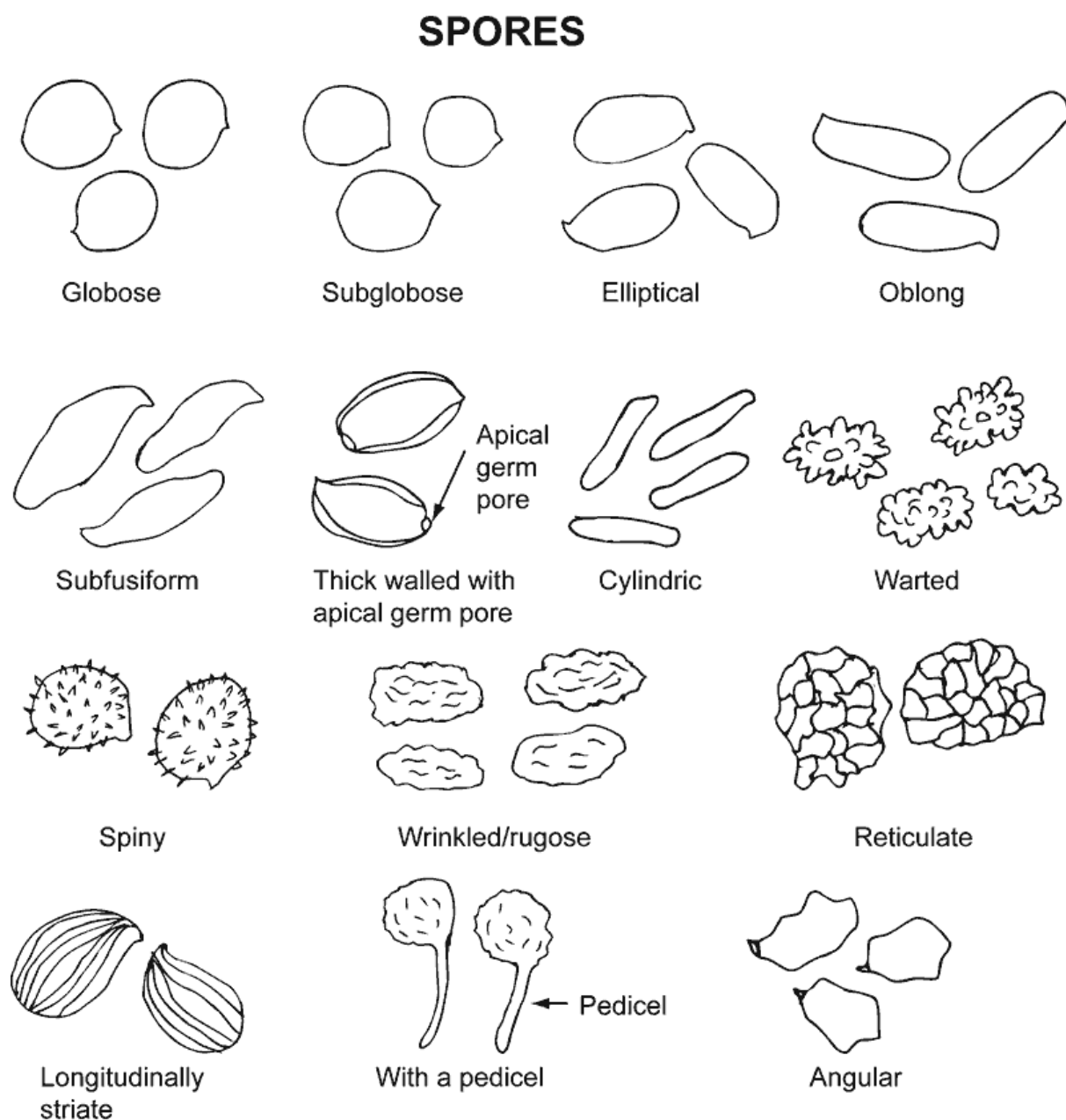
### Entwicklungszyklus - Basidiomycetes



Slika 10. Dijelovi kišobranastog plodišta bazidiomiceta: klobuk (*Pilzhut*), listići (*Lamellen*), himenij (*Hymenium*), spore (*Sporen*), stručak (*Stiel*), diploidni micelij (*Mycel diploid*) i haploidni micelij (*Mycel haploid*). (Izvor: [http://gastein-im-bild.info/fungi/f\\_habit0.html](http://gastein-im-bild.info/fungi/f_habit0.html)).

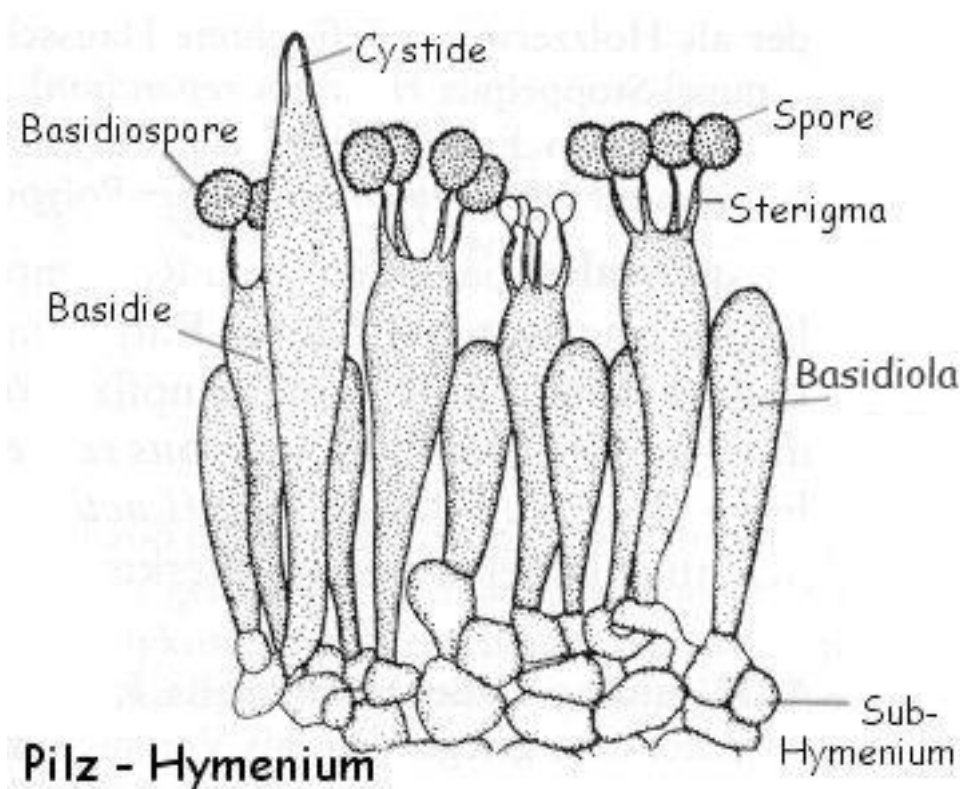
Makroskopske značajke kišobranastih plodišta bazidiomiceta najvažnije za taksonomiju i identifikaciju su: promjer klobuka; visina i širina stručka; postojanje i izgled univerzalnog i djelomičnog vela; oblik, boja, promjena boje na ozljedu i struktura površine klobuka i stručka; struktura, boja, promjena boje na ozljedu i način prirastanja himenofora; miris plodišta na presjeku; okus plodišta; te eventualna promjena boje pojedinih dijelova plodišta u kontaktu s određenim kemijskim reagensima.

Od mikroskopskih svojstava kišobranastih plodišta bazidiomiceta, najvažnija su svojstva bazidiospora, bazidija, cistida, površinskog sloja klobuka - pileipelisa, te postojanje kopči na staničnim septama (pregrada između dviju susjednih stanica). Najvažnije karakteristike bazidiospora su dimenzije, oblik, boja, ornamentacija, debljina stijenke, postojanje kličnog otvora te specifične reakcije (obojenja) na određene kemijske reagense.



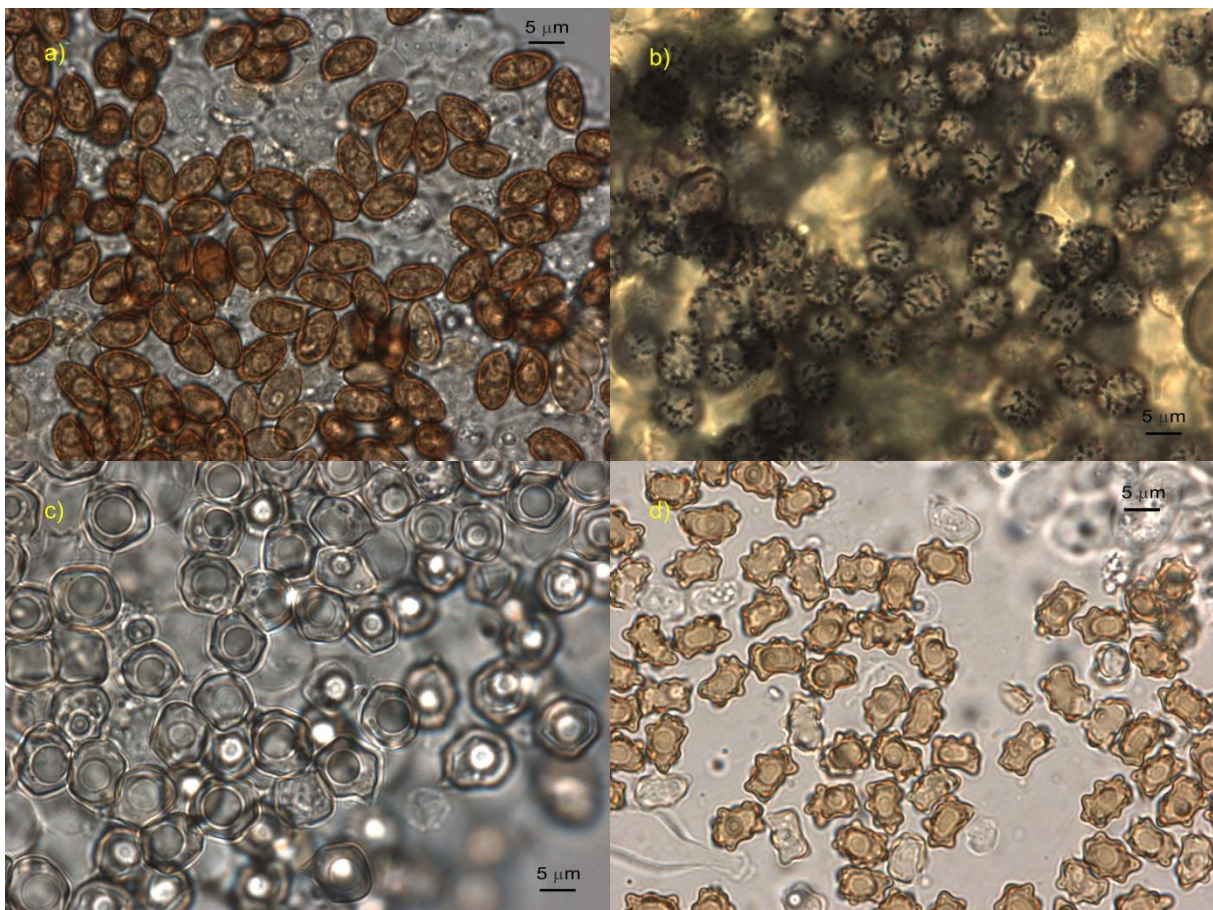
Slika 11. Osnovni oblici i ornamentacija bazidiospora. (Izvor: [http://www.toxinology.com/generic\\_static\\_files/images\\_generic/MD-spores1.gif](http://www.toxinology.com/generic_static_files/images_generic/MD-spores1.gif)).

Dimenzije bazidiospora većine vrsta nalaze se u rasponu od 3 – 20  $\mu\text{m}$ . S obzirom na oblik mogu biti: okruglaste, elipsoidne, izduženo zaobljene, cilindrične, jajolike, amigdaloidne, citriformne, kruškolike, fusiformne, uglate i dr. (Slika 11; Slika 13) (Knudsen i Vesterholt 2012). S obzirom na ornamentaciju mogu biti: glatke, bodljaste, bradavičaste, točkaste, hrapave, mrežaste, s uzdužnim linijama, grebenaste, izbrazdane i dr. (Slika 11; Slika 13) (Kirk et al. 2008). Većina bazidiomiceta ima prozirne (bijeke u masi) ili smeđe bazidiospore, no one mogu biti i crne, maslinaste, žute ili ružičaste (vrlo rijetko nekih drugih boja). Stijenku spora do 0,5  $\mu\text{m}$  debljine zovemo tankom, 0,5-1  $\mu\text{m}$  debljine zovemo umjereno zadebljanom, a stijenku debljom od 1  $\mu\text{m}$  zovemo zadebljanom. Važna je i prisutnost (ili odsutnost) kličnog otvora, utanjenja stijenke pri vrhu spore kroz koji klije primarni micelij. Od velike su važnosti specifične kemijske reakcije spora, među kojima je najvažnija amiloidna reakcija na Melzerov reagens. Kod pozitivne reakcije stijenka spora, ili samo njihova ornamentacija, oboji se sivoplavo do crnoplavo (Slika 13 b). Kod dekstrinoidne reakcije na isti reagens spore se oboje crveno do crvenosmeđe. Većina vrsta bazidiomiceta ima bazidije s četiri sterigme, no neke vrste na bazidijima razvijaju manji ili veći broj spora (2, 3, 6, 8). Bazidije na kojima još nisu razvijene sterigme zovemo bazidiolama (Slika 12).

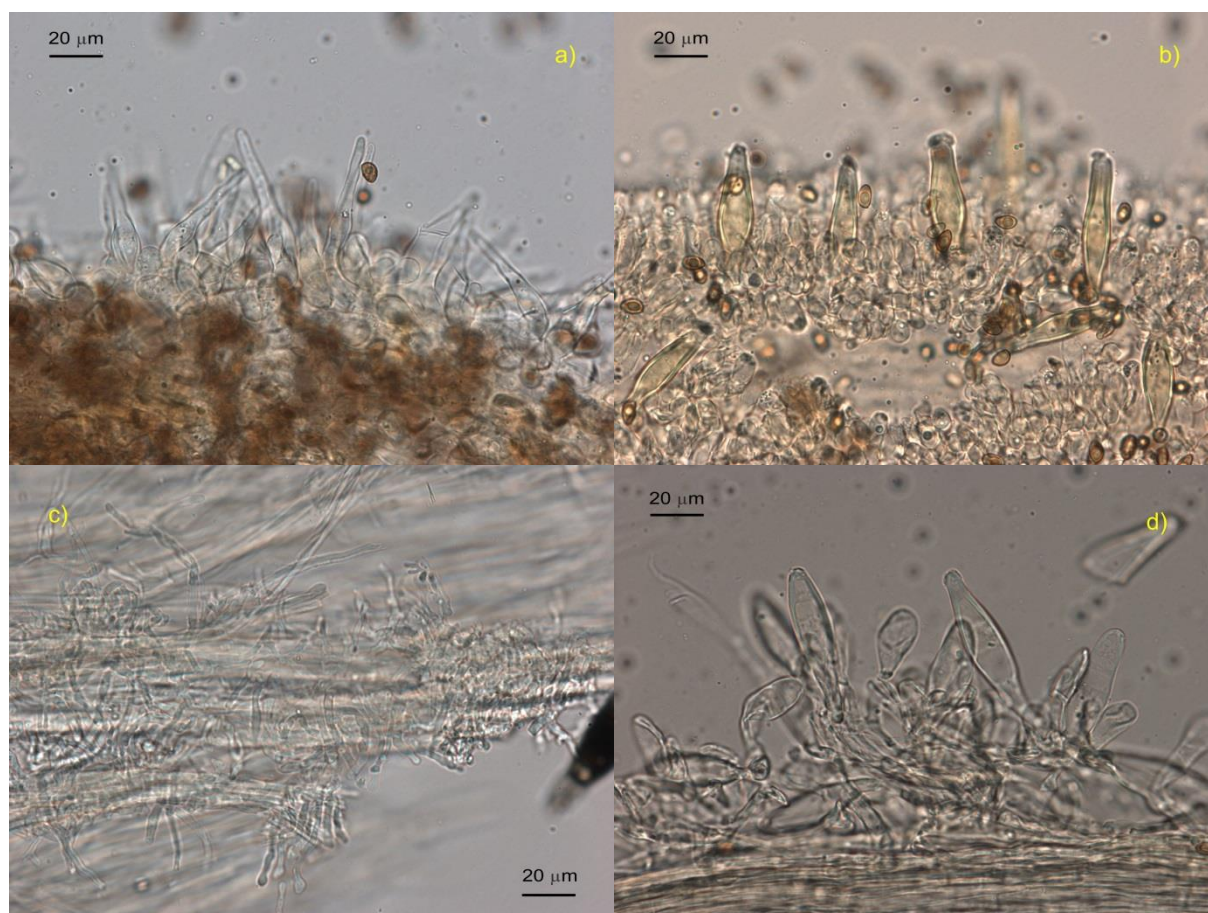


Slika 12. Himenij bazidiomiceta s bazidijima, bazidiosporama na sterigmama, bazidiolama, cistidama, i subhimenijalnim slojem. (Izvor: [http://gastein-im-bild.info/fungi/f\\_habit0.html](http://gastein-im-bild.info/fungi/f_habit0.html)).

Sljedeće važno mikroskopsko obilježje kišobranastih plodišta bazidiomiceta su cistide (Slika 14). To su sterilne diferencirane stanice koje mogu biti prisutne u himeniju te na površini klobuka i stručka. Prema njihovoj lokaciji na plodištu razlikujemo: pileocistide (na površini klobuka), kaulocistide (na površini stručka), heilocistide (na oštrici listića ili rubu pora cjevčica) i pleurocistide (na površini listića ili u unutrašnjosti cjevčica). Vrlo su važne dimenzije i oblik cistida (Bas et al. (1988) razlikuju 36 tipova cistida prema obliku). Struktura pileipelisa također je iznimno važno mikroskopsko obilježje. Možemo razlikovati sljedeće oblike građe pileipelisa: kutis, trihoderm, himeniderm, epitelij, tomentum, klavicutis, iksokutis i drifilna struktura (Knudsen i Vesterholt 2012). Vrlo često je građa pileipelisa obilježje na temelju kojega razlikujemo ne samo vrste, nego i pojedine rodove. Neke vrste na septama (ili dijelu njih) imaju kopču, karakterističnu izraslinu pomoću koje jedna od jezgara prelazi u novoformiranu stanicu.



Slika 13. Spore bazidiomiceta: (a) *Galerina marginata* – smeđe fino ornamentirane spore; (b) *Russula aurea* – grubo ornamentirane amiloidne spore; (c) *Entoloma* sp. – uglate spore; (d) *Inocybe mixtilis* – bradavičaste smeđe spore.



Slika 14. Cistide bazidiomiceta: (a) *Galerina vittiformis* – heilocistide; (b) *Inocybe* sp. – pleurocistide; (c) *Hemimycena lactea* – pileocistide; (d) *Inocybe geophylla* – kaulocistide.

#### 1.2.4. *Sphaeropsis sapinea* kao uzročnik sušenja crnog bora

Fitopatogena gljiva iz odjela askomiceta *Sphaeropsis sapinea* oportunistički je patogen koji najčešće napada borove (*Pinus*) na obje Zemljine polutke. Najosjetljiviji su crni, obični i kalifornijski bor. Uz borove, napada rodove *Abies*, *Araucaria*, *Cedrus*, *Chamaecyparis*, *Cupressus*, *Larix*, *Picea*, *Pseudotsuga* i *Thuja*. Gljiva je prisutna u Europi, Australiji, Africi te umjerenim i tropskim područjima Sjeverne i Južne Amerike (Diminić 1997). Ovaj patogen širi svoj areal pa je tako prvi nalaz na vrstama *Pinus pinaster* i *P. radiata* u Tunisu zabilježen 2006. godine (Linaldeddu et al. 2008), na crnom boru u Estoniji 2007. godine (Hanso i Drenkham 2009), a Oliva et al. (2013) prijavljuju prvi nalaz *S. sapinea* na običnom i crnom boru u Švedskoj. U Indiji je 2013. godine *S. sapinea* prvi puta prijavljena nakon morfološke i molekularne analize kao patogen na vrsti *Aloe barbadensis* Miller (Kamil et al. 2014). S obzirom na trendove kretanja biljnog materijala i prijave *S. sapinea* u novim zemljama, može se očekivati daljnje širenje areala ovog patogena (CABI 2014).

Prvi je put *S. sapinea* opisana 1823. godine pod imenom *Sphaeria sapinea* Fr. (Fries 1823). Nakon toga opisivana je pod mnoštvom sinonima od kojih se najčešće koriste *Diplodia pinea* (Desm.) J. Kickx f. Poslije taksonomske revizije koju je obavio Sutton, vrsti je dodijeljeno sadašnje ime (Tablica 2) (Swart i Wingfield 1991). Iako poznata gotovo 200 godina, u zemljama zapadne Europe rijetko joj se pridavala veća važnost sve do velikih sušenja koje je uzrokovala 1982. i 1985. godine u Nizozemskoj. Ozbiljne štete uzrokuje na autohtonim i alohtonim borovima u SAD-u, no najštetnija je u Australiji, Novom Zelandu i Južnoj Africi gdje su štete katastrofalne (Swart i Wingfield 1991). U Hrvatskoj je prvi put prijavljena 1957. godine u rasadniku u Bosiljevu (Böhm 1959, cit. u Diminić 1997).

Tablica 2. Taksonomski položaj *Sphaeropsis sapinea* u carstvu gljiva. (Izvor: www.mycobank.org).

---

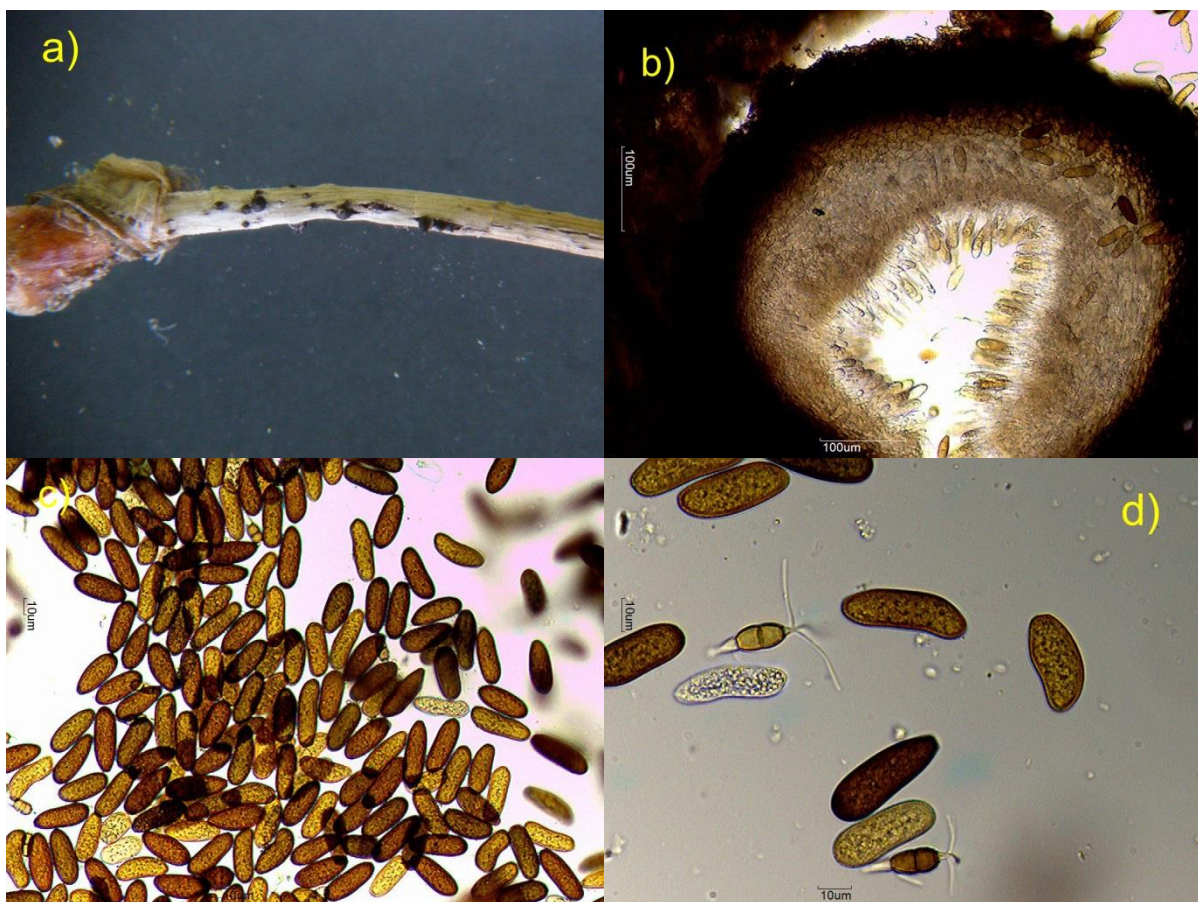
Carstvo: <i>Fungi</i> (gljive)
Odjeljak: <i>Ascomycota</i> (askomiceti)
Pododjeljak: <i>Pezizomycotina</i>
Razred: <i>Dothideomycetes</i>
Red: <i>Botryosphaeriales</i>
Porodica: <i>Botryosphaeriaceae</i>
Rod: <b><i>Sphaeropsis</i></b>

---

Gljiva je utvrđena u zelenim iglicama, na oboljelim iglicama, izbojcima, granama, deblu, korijenu, štitićima češera i sjemenu, nađena je na poniku, mladim i odraslim stablima kao i na suhim iglicama u listincu (Diminić 1997). U zelenim, odnosno zdravim iglicama, gljiva može živjeti kao endofitski parazit (Stanosz et al. 2001). U tom odnosu gljiva ne uzrokuje simptome bolesti, ali se u stresnim uvjetima aktivira njen parazitski način života kada počinje stvarati štete na stablima (Deriu 2010). *S. sapinea* kao patogeni gljivični organizam može uzrokovati različita oboljenja: spriječava razvoj najmlađih iglica i izbojaka, uzrokuje klorozu i nekrozu kod starijih iglica, krivljenje mladih izbojaka, sušenje izbojaka i grana, sušenje dijelova krošnje, rak kore, plavilo drva kod živućih i srušenih stabala, propadanje korijena, oštećuje sjeme te uzrokuje polijeganje ponika, prstenastu trulež i trulež korijena biljaka u rasadniku (Diminić 1997). Odumiranje izbojaka često je praćeno jakim curenjem smole u vidu suhih kapljica na napadnutim izbojcima (Butin 2002). U kasnijim stadijima bolesti iglice blijede te ostaju dugo vremena na suhim granama. Na iglicama, u kori izbojaka i grana te štitićima češera formiraju se mala, crna okruglasta plodišta – **piknide**, u kojim se razvijaju nespodne (mitotske) spore – konidije (Slika 15). Piknide su uložene u tkivu spomenutih biljnih organa, ali su često vidljive na površini, separirane ili u grupama, okrugle, tamnosmeđe do crne boje. Veličina piknida je 0,3-0,5 mm u promjeru (Diminić 1997).



Konidiofori se ne razvijaju. Konidije su duguljastog oblika, ravne ili lagano zakrivljene, u početku neseptirane, a ponekad kasnije septirane jednom septom. Konidije su u početku žućkaste boje a kasnije tamnosmeđe. Razvijaju se na vrhu konidiogenih stanica, a veličina im se kreće od 30-55 x 11-18  $\mu\text{m}$  (Diminić 1997). Ovisno o mjestu i klimatskim uvjetima, oslobađanje spora pada u različito vrijeme. U Hrvatskoj su utvrđene zrele piknide od travnja do listopada, iz kojih se spore oslobađaju za vlažna vremena. Oslobođene spore prenosi vjetar, kiša i kukci, a izbojci, grane i deblo se zaraze kroz rane na kori (Diminić 1997). Iako uloga kukaca kao vektora bolesti još nije detaljno istražena, Whitehill et al. (2007) potvrđuju da potkornjak *Ips pini* (Curculionidae: Scolytinae) ima ulogu vektora u širenju zaraze debala i trupaca crnog bora u SAD-u.



Slika 15. *Sphaeropsis sapinea*: (a) piknide na iglici, (b) presjek kroz piknidu u H<sub>2</sub>O (povećanje 100 $\times$ ), (c) zrele spore u H<sub>2</sub>O (povećanje 200 $\times$ ), (d) zrele spore *S. sapinea* i *Truncatella hartigii* (Tubeuf) Steyaert u H<sub>2</sub>O (povećanje 400 $\times$ ).

Iglice se zaraze kroz puči kada konidija isklji za vlažna vremena, a najlakše se zaraze za vrijeme rasta. Mlade izbojke gljiva zarazi bez da su ozlijeđeni tako što izravno probija staničje. Češeri se zaraze u drugoj godini razvoja kada se na njihovim ljuskama razvija velik broj piknida, te se smatraju glavnim izvorom zaraze. Stariji izbojci, grane i deblo zaraze se preko ozljeda na kori. *S. sapinea* nekrotizira živi dio kore, a gljiva dalje napreduje tako da

toksinima usmrti žive stanice koje potom nastanjuje. Takav se tip patogena još naziva **pertofit** (Glavaš 1996; Diminić 1997).

Kao mjera zaštite općenito se preporuča orezivanje zaraženih dijelova grana ili cijelih grana, no to je moguće samo kod pojedinačnih stabala u urbanim sredinama. U kritičnim razdobljima radi izbjegavanja stresa od suše vrijedna stabla ili grupe stabala u urbanim sredinama potrebno je navodnjavati (Diminić 1997; Tomiczek et al. 2007).

Ova česta i važna bolest crnog bora u Istri pričinjava dosta velike štete (Diminić i Jurc 1999), pri čemu je vrlo važna uloga staništa pri zarazi ovom gljivom, a u pojedinim slučajevima i SO<sub>2</sub> depozicija kao predisponirajućim čimbenicima na nastanak i razvoj bolesti (Diminić 1994, 1997, 1999; Stanosz et al. 2001; Butin 2002; Diminić et al. 2003; Diminić et al. 2012). Analizama ovog patogena u Hrvatskoj utvrđen je jedino agresivan morfotip A ove gljive (Diminić et al. 2004). Rezultati pokazuju da je gljiva prisutna na svim lokalitetima no ne i jednako štetna. Analizom staništa i zdravstvenog stanja borova utvrđen je utjecaj suše na zarazu što u svom radu potvrđuju Oliva et al. (2014). Uz sušu, vrlo su bitni ostali stanišni čimbenici poput tipa tla, matične podloge, stjenovitosti, inklinacije i ekspozicije. Također, kao jedan od vrlo važnih čimbenika pokazao se sadržaj dušika (N) i kalija (K), odnosno njihov međusobni odnos (N/K) u iglicama (Diminić et al. 2012). Svi navedeni stresni čimbenici narušavaju fiziološko stanje crnog bora i na taj način omogućavaju nastanak zaraza i bolest, odnosno omogućuju patogenu da prijeđe iz endofitskog u parazitski način života.

### 1.3. Područje istraživanja

Antropogeni utjecaj na šume u Istri započeo je prije Antike porastom broja stanovništva i usporednim razvojem stočarstva. Ipak, prvi pisani tragovi datiraju iz vremena kada Istra potpada pod Mletačku vlast koja organizirano gospodari šumama u Istri sve do svoje propasti. Iz tog razdoblja ponato je više zakona i propisa koji su štitili šume i šumska zemljišta s ciljem proizvodnje kvalitetne građe za Venecijanski Arsenal (Program gospodarenja G.J. „Kras“ 2014). Propašću Mletačke republike i dolaskom Austro-Ugarske vlasti, započinje razdoblje nekontroliranog korištenja i sječe šuma u Istri, posljedica čega je bilo naglo smanjivanje površina šuma i njihovo propadanje. Tadašnje vlasti ipak uviđaju negativne trendove u istarskim šumama, te se izrađuje plan za ponovno pošumljavanje opustošenih šuma i goleti. Pošumljavanje započinje 1860-tih prema planu kojeg je 1842. godine izradio Josip Ressel. Crni bor je bio glavna vrsta s kojom se pošumljavalo (Slika 16; Slika 17; Slika 18).



Slika 16. Sukcesija borovine na erodiranim flišnim terenima u okolici Cerovlja.



Slika 17. Zrela kultura crnog bora na lokaciji Trstenik.

Talijanske vlasti između dva svjetska rata također uviđaju negativan utjecaj lošeg gospodarenja šumama na cijeli ekosustav i gospodarstvo, pa se uvodi šumski red i započinje s pošumljavanjima. Crni bor, kao pionirska vrsta, imao je značajnu ulogu u pošumljavanju, a Istra postaje velik izvoznik drva. Sljedeća faza većeg pošumljavanja obavljena je nakon II svjetskog rata kada je pošumljeno više tisuća hektara golih i degradiranih šumskih površina (Program gospodarenja G.J. „Motovun“ 2006; Program gospodarenja G.J. „Liburnija“ 2007). Kulture cnog bora kojima se danas gospodari u Istri imaju ophodnju 80-100 godina. Često imaju ograničeno gospodarenje s naglašenijom zaštitnom i ekološkom funkcijom u cilju

zaštite i stvaranja tla. U tom slučaju njihovu ophodnju određuje fiziološka zrelost. Većina ih se nalazi na lošem bonitetu (III, III/IV i IV) te često stradavaju od požara. Prema geološkoj i geomorfološkoj strukturi, Istra se dijeli na tri različita područja (Slika 19; Slika 20). Brdoviti sjeverni i sjeveroistočni dio, zbog svog biljnog pokrova i površina poznat je kao „Bijela Istra“. Čine ga propusni vapnenci srednjeg i gornjeg eocena, te rjeđe, kredni propusni vapnenci. Središnji, istočni i jugoistočni dio Istre obuhvaća niža pobrđa fliša, koji se sastoji od nepropusnih lapora, gline i pješčenjaka iz gornjeg eocena, odakle dolazi naziv „Siva Istra“. To je područje razvedeno brojnim riječnim dolinama (Mirna, Butoniga, Bračana, Rečina) i brežuljcima, te obiluje vodom i vegetacijom. Razvoj površinskih tokova omogućavaju slojevi lapora i pješčenjaka koji su vodonepropusni.

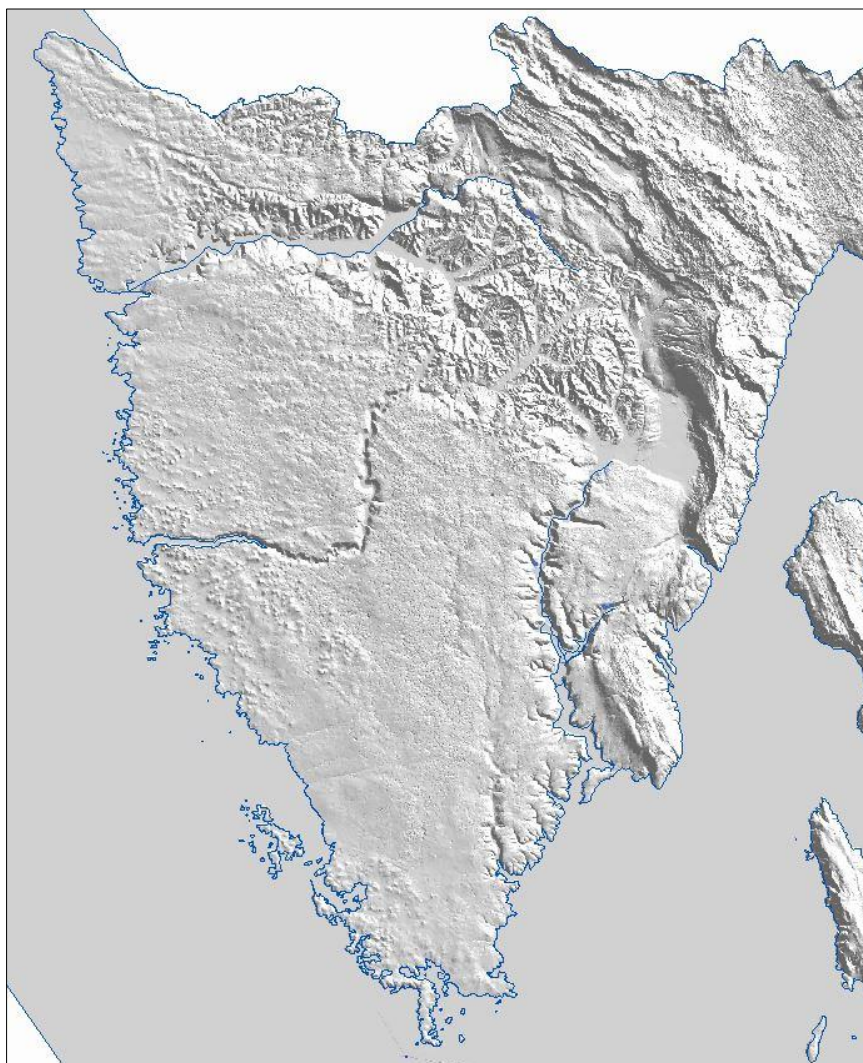


Slika 18. (a) Zrela kultura crnog bora s razvijenom kupinom u sloju prizemnog rašća na lokaciji Mali Golji, (b) kultura crnog bora s razvijenom autohtonom vegetacijom u podstojnoj etaži na lokaciji Trošti.

Flišno područje središnje Istre prostire se od Vižinade prema dolini rijeke Raše u smjeru sjeverozapad – jugoistok do istočnih vapnenačkih obronaka Učke. Paleogenski lapori, pješčenjaci i vapnenci daju izrazito obilježje tom području koje se ističe velikom razvedenošću terena, strmim grebenima, usječenim dolinama, te bujičnim vodotocima najrazličitijih smjerova protezanja (Program gospodarenja G.J. „Planik“ 2006).



Slika 19. Geomorfološka podjela Istre. (Izvor: Istarska enciklopedija).

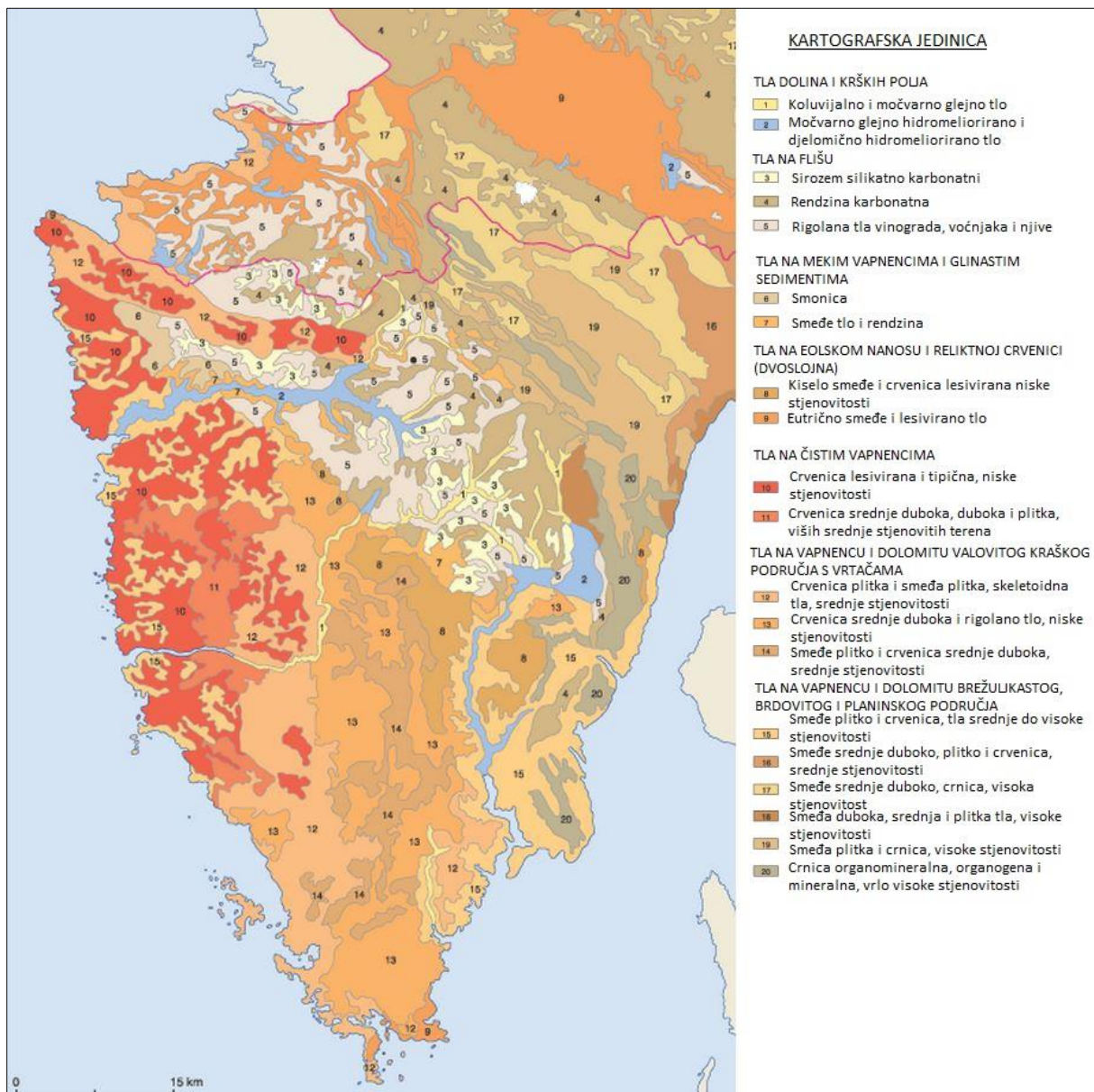


Slika 20. Prikaz reljefa Istre. (Izvor: Hrvatski geološki institut).

„Buzetski flišni bazen“ dio je sinklinale koja se pruža u smjeru sjeverozapad – jugoistok, koju je za tercijara (prije 55 – 35 milijuna godina) ispunjavalo more, a kasnije je sedimentacijom došlo do stvaranja flišnih naslaga te u manjoj mjeri eocenskih karbonatnih stijena, uglavnom vapnenaca. Nadmorska visina ovog dijela kreće se od nekoliko desetaka pa do 300-400 m (Program gospodarenja G.J. „Kras“ 2014). Vapnenačka zaravan uz morsku obalu i dio središnje Istre, pokrivena crvenicom, naziva se „Crvena Istra“. Izgrađena je od gromadastih, debelih i tanko uslojenih vapnenaca, te je karakteriziraju vrtače, ponikve i tanjurasti dolci (Program gospodarenja G.J. „Smokovica“ 2004).

Na prostoru Istre najčešća su sljedeća tla: smeđe tlo na vapnencu i dolomitu (kalkokambisol), vapnenačko dolomitna crnica (kalkomelanosol), sirozem (regosol), koluvijalno tlo (koluvium), lesivirano tlo (luvisol), kamenjar (litosol), crvenica (terra rossa),

rendzine i eutrično smeđe tlo (eutrični kambisol), te pseudoglej u nizinskom dijelu toka rijeke Mirne i Raše (Slika 21).



Slika 21. Pedološka karta Istre. (Izvor: Istarska enciklopedija).

Klimu Istre određuje položaj u razmjerno toplom pojasu, u području utjecaja zapadnih zračnih strujanja. Sa zapada i sjeverozapada prisutan je utjecaj Atlantika, koji je izvor topline i vlage. Važan je i položaj na sjevernom rubu Jadranskog mora, na prijelazu između Sredozemlja i kontinentalne Europe. Sredozemno more ublažava utjecaje suhih i toplih zračnih struja s juga. Ta zračna masa uzrokuje u Istri uglavnom blage i vlažne zime, dok su ljeta vruća i sparna. Zimi preko Alpa i Dinarida iz kontinentalnih dijelova Europe dotječe hladan i suh zrak koji može znatno sniziti temperaturu. Česti su kasni mrazevi. Na temperaturu u Istri utječu kopno, more i nadmorska visina. Unutrašnjost Istre ima za 2 do 4

stupnja niže prosječne temperature od priobalnog dijela. Termički utjecaj toplijeg priobalnog dijela seže do unutrašnjosti Istre dolinama rijeka. Govoreći o temperaturnim ekstremima, valja napomenuti kako se zbog udaljenosti od mora temperatura u unutrašnjosti Istre može spustiti i do  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dok u ljetnim mjesecima dostiže i do  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Istarska enciklopedija 2008).

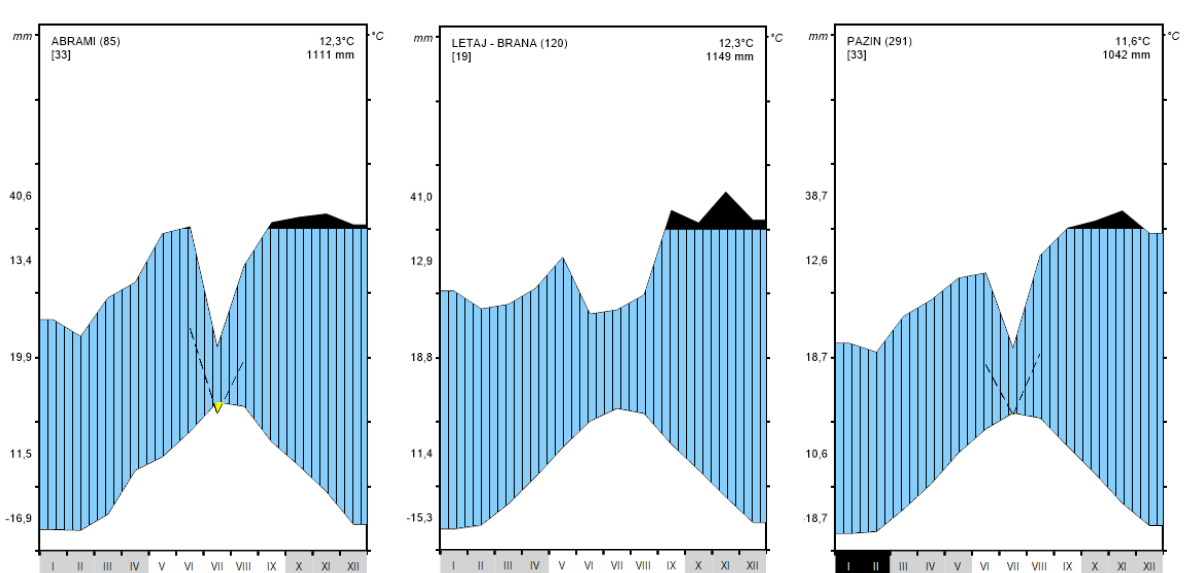
Klima područja Istre je prema Köppenovoj klasifikaciji određena kao umjereno topla kišna klima s oznakom Cfbwx“ (Šegota i Filipčić 2003), s ponegdje izraženim suhim razdobljem tijekom ljetnih mjeseci. Padaline su jednoliko raspoređene tijekom cijele godine s najsušim dijelom godine u hladnom godišnjem dobu. Prema podacima s meteoroloških postaja Abrami, Letaj – brana i Pazin izrađeni su klimadijagrami (Slika 22). U promatranom razdoblju za postaju Abrami (od 1981. do 2013.), zabilježena je prosječna godišnja temperatura zraka od  $12,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  te prosječna temperatura zraka unutar vegetacijskog razdoblja (travanj - listopad) od  $17,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Za postaju Letaj – brana (od 1995. do 2013.), zabilježena je prosječna godišnja temperatura zraka od  $12,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  te prosječna temperatura zraka unutar vegetacijskog razdoblja (travanj - listopad) od  $17,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dok je za postaju Pazin (od 1981. do 2013.), zabilježena prosječna godišnja temperatura zraka od  $11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  te prosječna temperatura zraka unutar vegetacijskog razdoblja (travanj - listopad) od  $16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Tablica 3). U promatranom razdoblju za postaju Abrami zabilježena je prosječna godišnja količina oborina od 1111 mm, od čega je 664,7 mm (59,8%) palo unutar vegetacijskog razdoblja (travanj – listopad). Za postaju Letaj - brana zabilježena je prosječna godišnja količina oborina od 1149 mm, od čega je 642,2 mm (55,9%) palo unutar vegetacijskog razdoblja (travanj – listopad), a za postaju Pazin je zabilježena prosječna godišnja količina oborina od 1042 mm, od čega je 616,9 mm (59,2%) palo unutar vegetacijskog razdoblja (travanj – listopad). Prema Langu, klima u Istri je semihumidna. Langov kišni faktor (LKf) za postaju Abrami iznosi 90,13, za postaju Letaj – brana 93,10, te za postaju Pazin 89,74.

Tablica 3. Oborine, temperatura i razdoblje praćenja klimatoloških podataka za postaje Abrami, Letaj – brana i Pazin.

Meteorološka postaja <i>Meteorological station</i>	Oborine (mm) <i>Precipitation (mm)</i>				Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) <i>Temperature (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</i>				Razdoblje praćenja <i>Monitoring period</i>
	2011	2012	2013	Prosjek <i>Average</i>	2011	2012	2013	Prosjek <i>Average</i>	
Abrami	798,8	959,7	1406,6	1111,0	12,7	13,0	12,3	12,4	1981-2013
Letaj – brana	731,5	1145,7	1653,0	1149,1	12,6	12,8	12,8	12,3	1995-2013
Pazin	838,8	942,3	1309,8	1042,5	12,1	12,5	12,2	11,6	1981-2013

Izvor: Državni hidrometeorološki zavod (2015).





Slika 22. Klimadijagrami meteoroloških postaja Abrami, Letaj – brana i Pazin, za razdoblje 1981. – 2009. godine (Abrami i Pazin), odnosno od 1995. – 2013. godine (Letaj – brana). Za izradu je korišten softverski program KlimaSoft 2.2.3.<sup>1</sup>

#### 1.4. Ciljevi istraživanja

U prethodnim poglavljima su na temelju dostupne literature detaljno opisane dosadašnje spoznaje o pozitivnom djelovanju mikorize na šumsko drveće i istraživanja njene aplikativne primjene, ponajprije u šumarstvu. Slijedom toga je postavljena hipoteza ovog istraživanja da su kulture crnog bora s većim udjelom i bioraznolikošću mikoriznih vrsta i njihovih plodišta manje osjetljive prema zarazi fitopatogenom gljivom *Sphaeropsis sapinea*. Pretpostavljamo da svaka borova kultura ima svoju stabilnu mikocenozu koja obavlja sve funkcije potrebne za održanje stabilnosti pojedinog mikrostanja. Poznato je da u hranivima dobro opskrbljenim tlima ima manje mikoriznih gljiva. Tu biljke bez poteškoća dolaze do svih potrebnih resursa za njihov rast i razvoj. U takvim staništima zbog izraženog abiotskog stresa poput dugotrajnih suša i porasta prosječnih temperatura zraka u kombinaciji s ostalim čimbenicima, dolazi do fiziološkog slabljenja biljaka jer njihova mikorizna zajednica nije prilagođena takvim uvjetima životne sredine. Suprotno tome, biljke koje žive na oligotrofnim staništima navikle su na oskudne uvjete života čemu je prilagođena i njihova mikorizna zajednica. One lakše prevladavaju abiotske stresne čimbenike bez da fiziološki oslabe. Pretpostavljamo da kod biljaka opisanih u prvom slučaju *S. sapinea* prelazi iz stanja endofitskog parazita u aktivnu parazitsku fazu te počinje uzrokovati štete na svom domaćinu što se ne događa u staništima gdje postoji dobro prilagođena mikorizna zajednica.

<sup>1</sup> <http://www.monachus-informatika.hr/klimasoft.aspx>

Glavni cilj istraživanja bio je utvrditi postoji li korelacija između osutosti krošanja crnog bora i prisustva piknida (plodišta) patogene gljive *Sphaeropsis sapinea*, kao jednog od pokazatelja prisutnosti ove vrste u oboljelim borovim iglicama, odnosno zaraženim borovim stablima s jedne strane, te brojčanog odnosa mikoriznih naspram saprotrofnih vrsta i njihovih plodišta s druge strane. Istraživanjem je pozornost posvećena i bioraznolikosti mikoriznih gljiva, ali i gljiva općenito kao nedostatno istražene skupine organizama u nas. Dodatni cilj je bio izraditi popis gljivljih vrsta koje dolaze u borovim kulturama te utvrditi bogatstvo vrsta, odnos među trofičkim grupama te indekse raznolikosti kao potencijalne pokazatelje zdravstvenog stanja kultura. Posebna pozornost posvećena je evidentiranju osjetljivih mikobioindikatorskih vrsta kao pokazatelja zdravstvenog stanja šumskog ekosustava, te novih vrsta za Hrvatsku mikobiotu čime bi se znatno obogatilo postojeće znanje o raznolikosti i rasprostranjenosti makrogljiva.

Pomoću navedenih odnosa biti će uz već poznate parametre moguće preciznije odrediti predispoziciju staništa i kultura crnog bora prema zarazi na patogena *S. sapinea*, te koje mikorizne gljive čine razliku između zdravijih i jače zaraženih (oštećenih) kultura. Dobiveni rezultati trebaju omogućiti daljnji razvoj metoda i modela u okviru integrirane zaštite šuma koji će olakšati procjenu potencijalne opasnosti od šteta koje uzrokuje *S. sapinea* u različitim stanišnim uvjetima. Također, znanje o prisustvu i rasprostranjenosti specifičnih vrsta ECM makrogljiva treba poslužiti kao temelj za daljnja istraživanja inokulacije sadnica crnog bora za pošumljavanje.

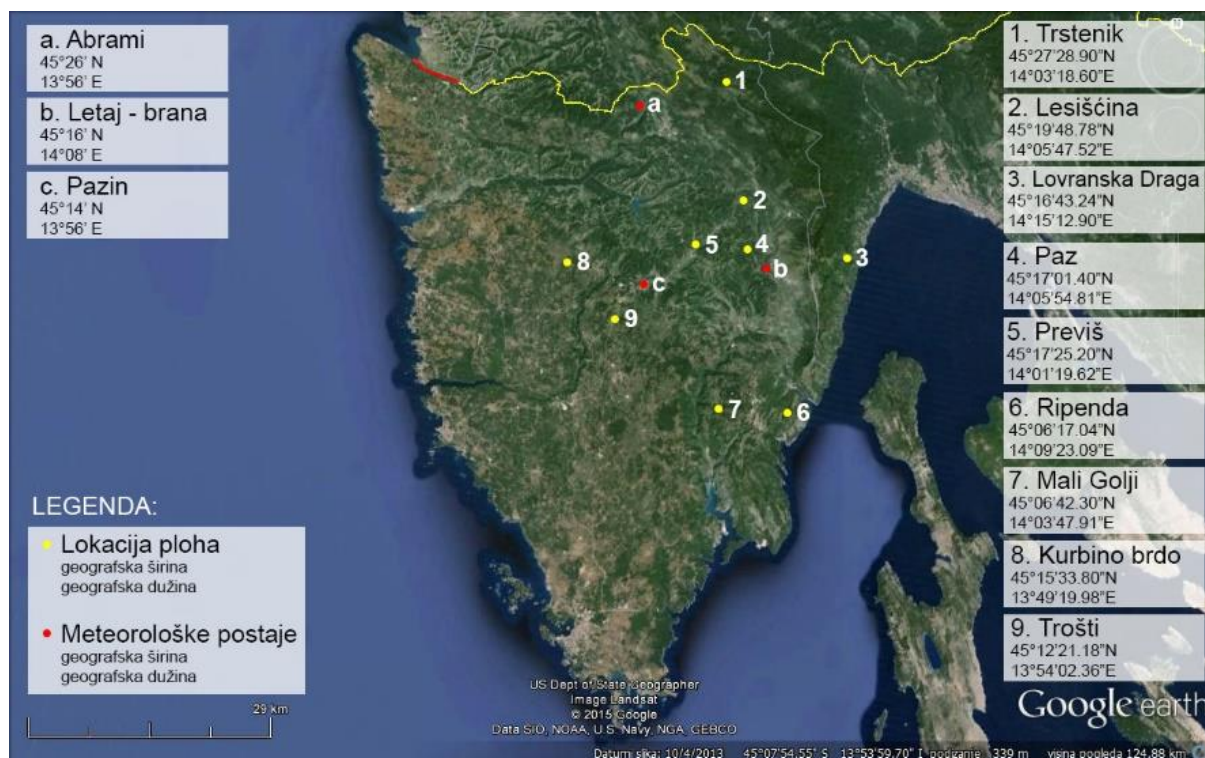
## 2. MATERIJALI I METODE

### 2.1. Planiranje pokusa

Za ostvarenje ciljeva istraživanja postavljene su istraživačke plohe u kulturama crnog bora kako bi se pokrila sva staništa ove pionirske vrste u Istri. Odjeli i odsjeci odabrani su na temelju prije provedenih istraživanja (Diminić et al. 2012) i analize Programa gospodarenja za pojedine gospodarske jedinice.

#### 2.1.1. Izbor odjela i odsjeka za postavljanje istraživačkih ploha

Tijekom prve dvije godine istraživanja, eksperimentalno su postavljene tri trajne plohe u kulturama crnog bora pomoću kojih je dobiven uvid u postojeće stanje mikocenoza u kulturama crnog bora (*P. nigra*) u Istri. Tijekom zadnje godine prikupljanja uzoraka, postavljeno je dodatnih šest ploha kako bi se pokrila ukupna raznolikost staništa crnog bora (Slika 23). Također, plohe su postavljene na približno iste lokacije gdje su istraživanje proveli Diminić et al. (2012) (Tablica 4). Na taj način pokušalo se postići što je više moguće slične stanišne uvjete između prijašnjeg i ovog istraživanja.



Slika 23. Karta lokacija istraživačkih ploha i relevantnih meteoroloških postaja s geografskim koordinatama.

Tablica 4. Podaci o istraživačkim plohama; oznaka odjela/odsjeka, starost, nagib, ekspozicija i nadmorska visina.

Ploha	Odjel/ odsjek	Starost (godina)	Nagib (°)	Ekspozicija	Nadmorska visina (m)
Previž	65 e	30	20-32	E-SE	338
Lesišćina	6 e	20	10-24	S-SE	269
Paz	47 b	30	10-18	S-SW	248
Mali Golji	101 b	60	2-5	S-SE	309
Trstenik	4 c	70	11-23	N-NE	772
Ripenda	60 a	78	15-22	W-SW	347
Lovranska Draga	9 a	90	3-35	E	518
Trošti	32 f	60	5-10	0	388
Kurbino brdo	8 f	40	10-18	S-SE	347

Plohe se nalaze na različitim tlima i u području različitih klimazonalnih zajednica, na različitim nagibima, ekspozicijama, nadmorskim visinama i matičnim podlogama. Prikupljanje uzoraka na terenu provedeno je tijekom 2011., 2012. i 2013. godine na području Istre, odnosno UŠP Buzet. Sve plohe se nalaze u državnim šumama na području sljedećih šumarija: šumarija Pazin - GJ Motovun, (plohe Kurbino brdo i Trošti), GJ Planik (plohe Lesišćina, Paz i Previž); šumarija Labin - GJ Smokovica (plohe Mali Golji i Ripenda); šumarija Opatija-Matulji - GJ Liburnija (ploha Lovranska Draga), šumarija Buzet - GJ Kras (ploha Trstenik).

### 2.1.2. Postavljanje istraživačkih ploha

Zbog specifičnosti terena i mozaičkog rasporeda kultura crnog bora u Istri, veličina ploha u ovom istraživanju prilagođena je tome na način da su postavljene manje plohe, površine 400 m<sup>2</sup> (20x20 m). Tijekom prve dvije godine, na plohama su prikupljeni uzorci od 20. do 50. tjedna, svakih 14 dana, a da bi se smanjio eventualni negativni utjecaj sakupljača jestivih gljiva, uzorkovanje je obavljano uglavnom tijekom srijede, četvrtka i/ili petka (prema Martínez de Aragón 2007). U 2013. godini uzorkovanje je počelo 36. tjedna budući da je prethodne dvije godine u ranijim terminima pronađeno jako malo nalaza, te ti podaci nisu dio prikazanih rezultata. Drugim riječima, ovo je istraživanje obuhvatilo cijelu jesensku sezonu fruktificiranja gljiva kada glavina bazidiomiceta razvija svoja plodišta. U središtu svake plohe zabilježene su GPS koordinate uređajem Ashtech MobileMapper 10, ekspozicija i nagib. Granice ploha određene su korištenjem mjerne vrpce, označene su drvenim stupićima duljine 50 cm, a razmak između svakog stupića iznosio je 5 m. Radi lakšeg uočavanja, obojani su narančastom bojom. Nakon dvije godine, rubni stupići su zamijenjeni novima.

## 2.2. Sakupljanje, obrada i analiza uzoraka gljiva

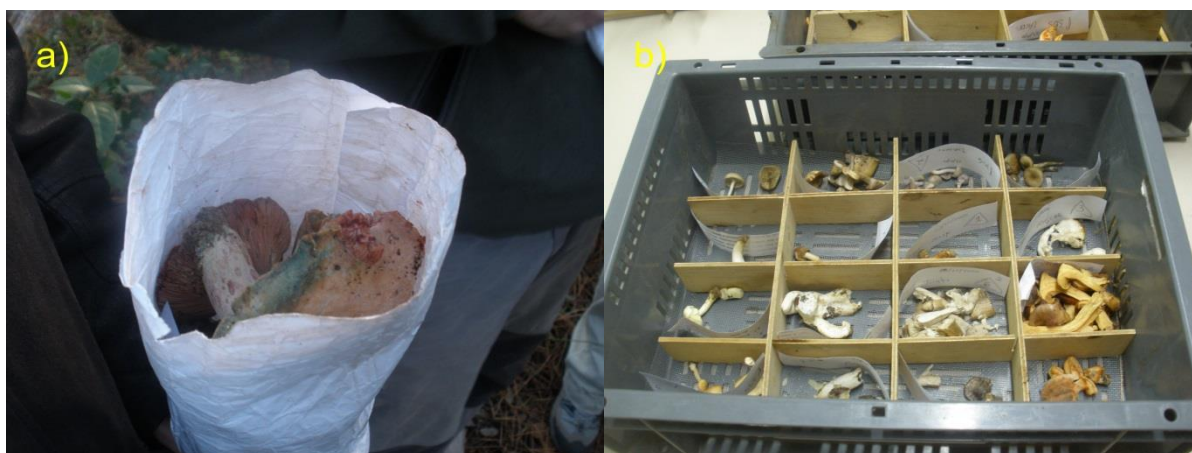
Sljedeća poglavlja opisuju metode rada prilikom sakupljanja uzoraka makrogljiva na terenu, obradu sakupljenih uzoraka te njihovu kasniju identifikaciju.

### 2.2.1. Sakupljanje uzoraka gljiva na terenu

Svaka je ploha po dolasku pregledana u cik-cak linijama kako bi se utvrdilo ima li i koliko prisutnih plodišta gljiva. Prilikom uzorkovanja plodišta gljiva, svaki je uzorak fotografiran digitalnim fotoaparatom Canon EOS 550D s objektivom Canon EF-S 60 mm, pohranjen u voštanu papirnatu vrećicu te obilježen rednim brojem, datumom i lokacijom kako bi se mogao dalje obrađivati u laboratoriju (**Slika 24 a**). Jedan uzorak su činila sva plodišta iste gljivlje vrste pronađena na pojedinoj plohi istoga dana, ako je vrsta mogla biti određena na terenu. Za ostale vrste koje su morale biti određene kasnije u laboratoriju, uzorak je činilo pojedinačno plodište ili skupina plodišta za koja je procijenjeno da pripadaju istoj vrsti. Sasvim mlada i nedovoljno razvijena plodišta koja ne bi bilo moguće identificirati, nisu uzimana u uzorak. Uzorci su uzimani prilikom posjete plohama bez obzira na vremenske uvjete.

### 2.2.2. Obrada svježih uzoraka i pohrana u fungarij

Svi prikupljeni uzorci obrađeni su isti dan. U laboratoriju su najprije razvrstani prema oznaci plohe na kojoj su sakupljeni. Svakom uzorku dodijeljena je identifikacijska oznaka te su svi podaci upisivani u interni obrazac (PRILOG 1.). Prebrojana su sva plodišta u pojedinom uzorku, izmjerene su njihove dimenzije (klobuka i stručka), zabilježeni su miris i okus, a nalazi iz rodova *Cortinarius*, *Russula*, *Lactarius* i *Hygrophorus* testirani su na specifične kemijske reakcije (promjenu boje plodišta u kontaktu s određenim kemijskim reagensom). Plodišta su potom izrezana na ploške (**Slika 24 b**) i sušena tijekom 48 sati u sušioniku na temperaturi od 35-40 °C. Suhi su uzorci zavareni u PVC vrećice koje su zatim umetnute u PVC vrećicu s patentnim zatvaračem, dimenzija 18×12 cm, na kojoj je napisan broj (oznaka) uzorka (**Slika 25 a**). Tako označeni i trajno konzervirani uzorci pohranjeni su u Hrvatski nacionalni fungarij (CNF) gdje su dostupni za daljnja istraživanja i korištenje. Podaci iz internog obrasca unijeti su u digitalnu bazu podataka Hrvatskog mikološkog društva (HMD).



Slika 24. Sakupljanje i obrada svježih uzoraka makrogljiva: (a) plodišta gljiva sakupljena na terenu u voštanu papirnatu vrećicu; (b) plodišta gljiva pripremljena za sušenje.

### 2.2.3. Identifikacija uzoraka gljiva

Uzorci su identificirani u Laboratoriju za informatiku i modeliranje okoliša Instituta Ruđer Bošković u Zagrebu. Identificirani su na temelju svojih makroskopskih i/ili mikroskopskih karakteristika. Dio uzoraka je identificiran na temelju karakterističnih makroskopskih obilježja pojedine vrste, pregledavanjem fotografija svježih plodišta u visokoj rezoluciji (snimljenih prilikom sakupljanja uzoraka na plohamu) i opisa plodišta.



Slika 25. Obrada i identifikacija osušenih uzoraka makrogljiva: (a) osušen i numeriran uzorak gljive pohranjen u PVC vrećicu; (b) svjetlosni mikroskop Olympus BX51 povećanja do 1500×. (Izvor: <http://www.fc.ul.pt/en/pagina/8148/olympus-bx51>).

Uzorci koje nije bilo moguće identificirati samo na osnovi makroskopskih karakteristika, određivani su na temelju mikroskopskih struktura (stanica i tkiva) iz rehidriranih suhih uzoraka, uz pomoć svjetlosnog mikroskopa Olympus BX51 (Slika 25 b) povećanja do 1500×, standardnim metodama mikroskopiranja (Erb i Matheis 1983; Li 2013). Za pripremu mikroskopskih preparata korištene su sljedeće kemijske otopine: kalijev hidroksid (KOH 2,5%; 5%), amonijeva lužina (NH<sub>4</sub>OH 10%), kloralhidrat, Melzerov reagens i Sulfovanilin, (Leonard 2006; Li 2013). Svi uzorci su određeni do razine vrste kada je to bilo moguće (Marjanović i Nehls 2008). Zbog vrlo složene taksonomije unutar pojedinih gljivljih rodova, ograničenog vremena za izradu ovoga rada, i/ili uzoraka u lošem stanju (nedostaju neke važne karakteristike plodišta), manji dio uzoraka nije mogao biti određen do razine vrste. Kod takvih je uzoraka određena pripadnost rodu, svaka je neodređena vrsta razlikovana od ostalih pronađenih vrsta iz istoga roda (određenih i neodređenih) na temelju postojećih značajki, te je dobila svoj redni broj unutar roda kojem pripada (PRILOG 4.). Na ovaj je način ustanovljen broj pronađenih gljivljih vrsta, iako manji dio njih nije do kraja identificiran.

Za identifikaciju vrsta gljiva korištena je sljedeća taksonomska literatura: Moser (1960, 1983), Marchand (1976), Phillips (1982), Jülich (1984), Romagnesi (1985), Breitenbach i Kränzlin (1986, 2000), Kuyper (1986), Kytövuori (1989), Niemelä i Saarenoksa (1989), Stangl (1989), Bas et al. (1990, 1995, 1999), Bon (1992, 1997), Noordeloos (1992, 2004), Ryvarden i Gilbertson (1993, 1994), Galli (1996), Candusso (1997), Hansen i Knudsen (1997), Sarnari (1998, 2005), Franchi i Marchetti (2001), Holec (2001, 2005), Noordeloos et al. (2001), Consiglio i Contu (2002), Riva (2003), Antonín i Noordeloos (2004, 2010), Larsson i Jacobsson (2004), Bernicchia (2005), Horak (2005), Kränzlin (2005), Nuytinck i Verbeken (2005), Vesterholt (2005), Gröger (2006), de Haan i Walley (2006), Knudsen i Vesterholt (2008, 2012), Hausknecht (2009) i Olariaga et al. (2012).

Trofički status gljivljih vrsta određivan je prema Brundrett (2008), Rinaldi et al. (2008) i Comandini et al. (2012).

### **2.3. Sakupljanje i analiza uzoraka *Sphaeropsis sapinea***

Naredna poglavlja opisuju materijale i metode rada prilikom sakupljanja uzoraka borova zaraženih patogenom gljivom *Sphaeropsis sapinea* na terenu te kasniju obradu u laboratoriju.

### 2.3.1. Sakupljanje uzoraka *Sphaeropsis sapinea* na terenu

Tijekom određivanja osutosti krošanja na plohama praćeni su i simptomi koji ukazuju na prisutnost *S. sapinea*. Nakon završetka redovnog sakupljanja uzoraka gljiva, u siječnju 2014. sakupljeni su uzorci za određivanje prisutnosti *S. sapinea* i intenziteta zaraženosti. Na svakoj plohi odabrano je jedno stablo s prosječnom osutošću krošnje te je isto oboreno kako bi se omogućilo sakupljanje uzoraka iz gornjih dijelova krošnje. Iz svake krošnje uzeto je pet grana koje su pokazivale simptome sušenja koje uzrokuje *S. sapinea*. Ukoliko nije bilo grana sa simptomima, iste su nasumično odabrane. Grane su pohranjene u vreće s oznakom plohe, datumom i brojem stabla te su transportirane na daljnju obradu.

### 2.3.2. Obrada i analiza uzoraka *Sphaeropsis sapinea*

Analiza zaraženosti borovih iglica i izbojaka gljivom *S. sapinea* obavljena je u Laboratoriju za patologiju drveća Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Uzorci sa svake plohe detaljno su pregledani, pri čemu su opisani simptomi patogena i/ili štetnika vidljivi golim okom. Sa svakog je uzorka uzeto 20 suhih iglica, ukoliko nisu otpale, te njihov izbojak. U slučaju kada nije bilo suhih iglica, nasumično su odabrane ostale iglice. Ukupno je sa svakog stabla analizirano 100 iglica, ukoliko su bile prisutne. Iglice i izbojci ostavljani su na vlaženje tijekom 48 sati u Petrijeve posude s namočenim filter papirom. Svaka je iglica i izbojak potom pregledana pomoću stereolupe (Leica Leitz MZ8). Na iglicama je bilježen ukupan broj vidljivih piknida *S. sapinea* i simptomi ostalih bolesti, dok je na izbojcima evidentirana *S. sapinea* te prisustvo i oštećenja insekata. Kako bi se potvrdilo da piknide pripadaju *S. sapinea*, iz svakog je uzorka nasumično odabrano pet iglica na kojima su detaljno pregledani presjeci kroz piknide svjetlosnim mikroskopom Olympus BX53 povećanja do 400×, opremljenim digitalnom kamerom Motic MoticamPro 252A. Kontrolirane su spore i izgled piknida na prerezu. Također je evidentirano prisustvo ostalih gljiva, ukoliko ih je bilo. Isti postupak primjenjivan je i za izbojke. Pronađene ličinke i imaga kukaca detaljnije su analizirani u entomološkom laboratoriju. Svi podaci unijeti su u bazu podataka.

### 2.4. Sakupljanje iglica i analiza hranjiva

Jednogodišnje i dvogodišnje borove iglice sakupljene su za analizu kalija (K), dušika (N) i sumpora (S). Iglice su sakupljene s pet stabala na svakoj plohi. Stabla su nasumično odabrana unutar kulture kako bi se dobilo čim homogeniji uzorak, s visine krošanja do 6 m uz pomoć teleskopskih škara. Sa svakog su stabla sakupljena tri uzorka s kojih su sakupljene



jednogodišnje i dvogodišnje iglice u papirnate vrećice. Iglice su transportirane na analizu u Laboratorij za fizikalno-kemijska istraživanja Hrvatskog šumarskog instituta u Jastrebarskom. Količina iglica za svaki uzorak određena je prema UN ECE ICP Forest (2010).

Od laboratorijskih analiza provedeno je sljedeće:

- a) Određivanje ukupnog dušika u uzorcima biljnog materijala na elementarnom analizatoru CNS 2000 (prema LECO corporation USA: Organic application note form No. 203–821–172, Carbon, Nitrogen and Sulfur in Plant Tissue, 2000; LECO corporation USA: CNS-2000 Instruction Manual, 2002),
- b) Određivanje kalija, kalcija, magnezija, željeza, mangana, cinka, olova i kadmija na atomskom apsorpcijskom spektrofotometru AAnalyst 700 (Perkin Elmer AAnalyst 700 Users Guide 2011).

## 2.5. Procjena osutosti krošanja po ICP metodi

Osutost krošanja stabala crnog bora na plohama utvrđena je prema ICP Forest metodi (Eichhorn 2010; Potočić i Seletković 2011). Određena je osutost za svako pojedino stablo unutar plohe u intervalu od 5% nakon čega su stabla svrstana u klase oštećenosti (**Tablica 5**).

Stabla koja su imala osutost iznad 25% svrstana su u kategoriju značajno osutih stabala. Procjena je obavljena na osvjetljenom dijelu krošnje predominantnih, dominantnih i kodominantnih stabala.

Tablica 5. Klase i stupnjevi osutosti, te postotak gubitka iglica.

Klasa	Stupanj osutosti	Postotak gubitka iglica
0	Nema	0-10
1	Blaga	11-25
2	Umjerena	26-60
3	Jaka	61-99
4	Mrtvo stablo	100

Postotak osutosti procjenjivan je na osnovi usporedbe konkretnog stabla s foto-priručnikom (Bosshard 1986) te zamišljenim lokalnim referentnim stablom. Podaci su upisivani u terenski manual nakon čega su pohranjeni i unijeti u bazu podataka. Prilikom statističke obrade podataka korišten je postotak osutosti kao referentna vrijednost.

## 2.6. Stanišni uvjeti

### 2.6.1. Uzorkovanje i analiza tla

Neposredno uz svaku od devet istraživnih ploha otvoren je pedološki profil. Nakon njegovog otvaranja, opisani su genetski horizonti profila (debljina horizonata, dubina profila) iz kojih su uzeti uzorci tla fizički izmijenjenog stanja za potrebe laboratorijskih analiza. Koordinate položaja profila određene su GPS uređajem Ashtech MobileMapper 10 i napravljena je digitalna fotografija. Za laboratorijske analize uzorci tla se suše, a zatim drobe i prosijavaju kroz sito gustoće pletiva  $2 \times 2$  mm (ISO 11464, 1994). Prije konačnog drobljenja tla, oko 1/3 mase suhog tla se pohranjuje u arhivi uzoraka. Nakon toga se tlo prosijava kroz sito s gustoćom pletiva  $2 \times 2$  mm, homogenizira, te se uzimaju poduzorci za pojedine analize. Uzorci za određivanje makroelemenata su pripremljeni prema UN ECE ICP Forests, Soil Sampling and Analysis (2006).

Od laboratorijskih analiza provedeno je sljedeće:

- c) Određivanje pH u  $H_2O$  i n-KCl (u skladu s ISO 10390, 1995),
- d) Određivanje ukupnog dušika na CNS 2000 (u skladu s ISO 13878, 1995),
- e) Određivanje sadržaja humusa po Tjurinu (prema Škoriću 1982),
- f) Određivanje lako pristupačnog  $P_2O_5$  i  $K_2O$  (prema Škoriću 1982),
- g) Volumetrijsko određivanje  $CaCO_3$  (u skladu s ISO 10693, 1995). U priručniku za analizu tla *ICP Forest Monitoring* (Cools i De Vos 2010) navodi se da se karbonati ne određuju ako je pH (u  $CaCl_2$ ) u organskom horizontu manji od 5,5, odnosno pH (u  $CaCl_2$ ) u mineralnom horizontu manji od 6.

### 2.6.2. Fitocenološko snimanje ploha

Na svim plohama je 2014. godine obavljeno fitocenološko snimanje s ciljem utvrđivanja vegetacijske pripadnosti područja istraživanja, te utvrđivanja pojedinih bioindikatorskih vrsta koje pobliže i detaljnije mogu opisati stanište. Fitocenološki snimci rađeni su standardnom metodom Brown-Blanqueta, na 9 ploha površine  $400 \text{ m}^2$ . Prvi dio snimanja obavljen je tijekom travnja kako bi se evidentiralo vrste iz sloja prizemnog rašća koje se pojavljuju ranije, te ih nakon završetka cvatnje više nije moguće zabilježiti ili identificirati. Drugi dio snimanja obavljen je tijekom lipnja kada sve vrste imaju potpuno razvijene listove te se pojavljuje dio zeljastih vrsta iz sloja prizemnog rašća. Plohe su pregledavane u cik-cak linijama te su zabilježene sve prisutne biljne vrste. Iste su razvrstane u

sloj drveća, grmlja ili prizemnog rašća. Vrste koje nije bilo moguće identificirati na terenu, pohranjene su u herbarij i naknadno identificirane.

## 2.7. Indikatorske vrste i indeksi raznolikosti

Kao poznati osjetljivi mikobioindikatorski rodovi u obzir su uzeti sljedeći: *Hydnum* L., *Sarcodon* P. Karst., *Phellodon* P. Karst., *Hydnellum* P. Karst., *Boletopsis* Fayod, *Cantharellus* Adans., *Suillus* Mich., *Cortinarius* (Pers.) Gray i *Tricholoma* (Fr.) Staude, te tolerantni bioindikatori; *Xerocomus badius* (Fr.) E.-J. Gilbert, *Lactarius piperatus* (L.) Pers. agregat, *Russula ochroleuca* Pers. i *Paxillus involutus* (Batsch) Fr. (Taylor 1995; Kraigher et al. 1996, 2007; Matočec et al. 2000).

Raznolikost gljivljih vrsta iskazana je pomoću Shannon ( $H'$ ) i Simpson indeksa ( $D$ ) za svaku plohu i ukupno. Također, izračunat je indeks jednakosti ( $E$ ) (*jednoličnost*, eng. *Evenness*) (Martín-Pinto et al. 2006; Angelini et al. 2014). Spomenute vrijednosti izračunate su pomoću sljedećih formula:

$$\text{Shannon indeks } (H') = - \sum_{i=1}^s P_i (\ln P_i)$$

$$\text{Simpson indeks } (D) = \frac{1}{\sum_{i=1}^s p_i^2}$$

$$\text{Jednakost } (Evenness) (E) = \frac{H'}{\ln S}$$

Shannon indeks je statistički informacijski indeks, što znači da pretpostavlja kako su sve vrste zastupljene u uzorku i da su slučajno sakupljene. Isti daje odgovor na pitanje koliko bi teško bilo točno predvidjeti kojoj vrsti pripada sljedeće plodište u uzorku. Shannon indeks mjeri prosječnu nesigurnost, a što je veća njegova vrijednost to je veća nesigurnost. Njegova vrijednost se kreće od 0 do beskonačnosti, a najviša je u slučaju kada su sve vrste u zajednici jednako zastupljene. Koristi se prilikom uzimanja nasumičnih uzoraka u nekoj većoj zajednici (Nagendra 2002). Simpson indeks je indeks dominacije jer daje veći značaj uobičajenim ili dominantnim vrstama. U tom slučaju, nekoliko rijetkih vrsta s malim brojem jedinki ne utječe na raznolikost. On mjeri vjerojatnost da dvije nasumično odabrane jedinke iz uzorka pripadaju istoj vrsti (Peet 1974), što znači da se smanjenjem raznolikosti ta vjerojatnost povećava. U oba indeksa,  $p_i$  je udio ( $n/N$ ) jedinki pojedine pronađene vrste ( $n$ ) podijeljen s ukupnim brojem pronađenih jedinki ( $N$ ), a  $S$  je ukupan broj vrsta (bogatstvo vrsta (eng. *species richness*)) (Peet 1975, Martín-Pinto et al. 2006; Angelini et al. 2014).

Jednakost vrsta ( $E$ ) matematički je definirana kao indeks raznolikosti, odnosno, pokazuje kako su jedinke pojedine vrste distribuirane u zajednici (Heip et al. 1998). Još se definira kao relativna brojnost različitih vrsta, a ograničena je između 0 i 1. Što je varijacija između vrsta u određenoj zajednici manja, jednakost ( $E$ ) je veća. Često se bogatstvo vrsta i jednakost vrsta promatraju kao dva nezavisna karaktera biološke zajednice koja zajedno tvore njenu raznolikost.

## 2.8. Statistička obrada

Za statističku obradu podataka (Kruskal-Wallis ANOVA, korelacija, linearna regresija, multipla regresija) korišten je softverski paket Statistica 10 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Za izračun indeksa raznolikosti korišten je softverom PAST 3.06 (Paleontological Statistics, Natural History Museum, University of Oslo, Norway). Dio grafičkih prikaza izrađen je pomoću Microsoft Office 2010 alata (Redmond, WA, USA). Za testiranje statističke signifikantnosti prilikom svih analiza korišten je stupanj značajnosti od 5% ( $p < 0,05$ ).

### 3. REZULTATI

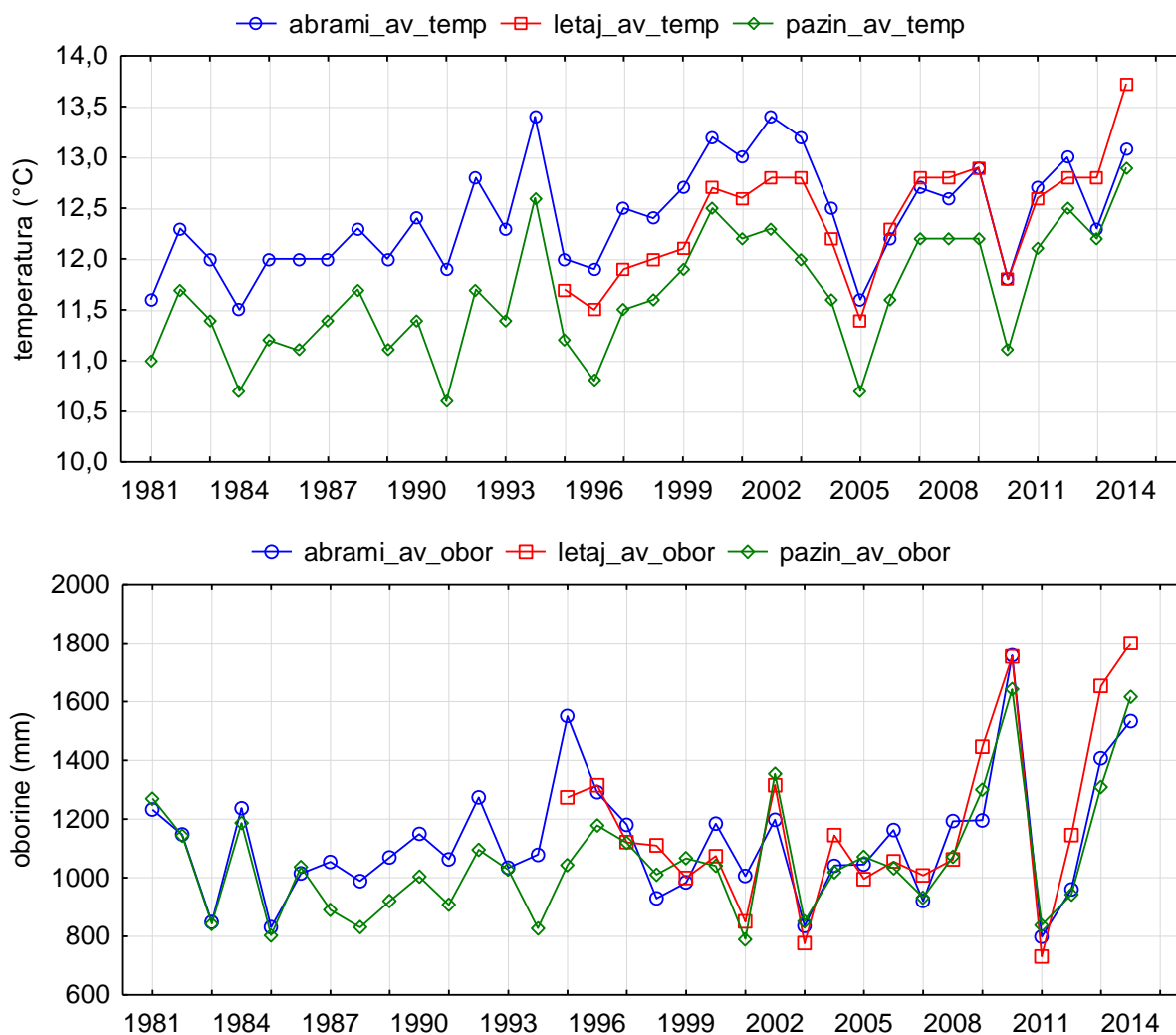
Rezultati ovog rada prikazani su u tri osnovne cjeline: (1) mikrostanišni uvjeti u istraživanim kulturama crnog bora (poglavlje 3.1.), (2) odnos brojnosti gljiva različitih trofičkih grupa, odnos brojnosti ECM gljiva i prisutnosti vrste *Sphaeropsis sapinea* te odnos brojnosti ECM gljiva i osutosti krošanja (poglavlje 3.2.), i (3) mikobioindikacijska svojstva i raznolikost gljiva u kulturama crnog bora u Istri.

#### 3.1. Mikrostanišni uvjeti

##### 3.1.1. Klimatološki uvjeti

Na sve tri meteorološke postaje mogu se uočiti značajnija kolebanja prosječne godišnje temperature i količine oborina (Slika 26). Spomenuta kolebanja izražena su od prve polovice 1990-ih, a njihova veća varijabilnost naglašenija je u posljednjih desetak godina, što se posebno odnosi na količinu oborina. Tako je 1994. godine na postajama Abrami i Pazin (Letaj – brana započinje s radom tek 1995.) zabilježena prosječna godišnja temperatura od 13,4 °C, odnosno 12,6 °C, što je bilo za 1,0 °C, odnosno 0,9 °C više od dugogodišnjeg prosjeka koji je iznosio 12,4 °C za postaju Abrami, te 11,6 °C za postaju Pazin. Nakon naglog pada, prosječna godišnja temperatura je sljedećih godina postupno ponovno rasla do nove kulminacije 2002. godine na postaji Abrami. Slično se kretala i temperatura na postajama Letaj – brana i Pazin, no vrijednosti su bile nešto niže. Nadprosječne temperature tijekom 1994. godine poklopile su se s iznimnom sušom u istom razdoblju. Tada je na postaji Pazin zabilježena jedna od najnižih prosječnih godišnjih količina oborina od tek 828,1 mm (dugogodišnji prosjek iznosi 1042,5 mm). Ispodprosječne godišnje temperature zabilježene su tijekom 1996., 2005. i 2010. godine na svim meteorološkim postajama. Tijekom 1996. i 2010. godine, prosječne količine oborina značajno su premašivale dugogodišnje prosjeke na sve tri postaje. Tako je 2010. godine na postajama Abrami i Pazin zabilježena rekordna količina oborina od 1758,0 mm i 1642,0 mm (dugogodišnji prosjek iznosi 1111,0 mm za postaju Abrami, te 1042,5 mm za postaju Pazin). Od 2011. do 2014. godine na svim su postajama izmjerene iznadprosječne godišnje temperature, posebno tijekom 2014. godine kada su dostignute rekordne vrijednosti na postajama Letaj – brana (13,7 °C), i Pazin (12,9 °C). Iste je godine za postaju Letaj – brana izmjerena rekordna količina oborina od 1799,7 mm (dugogodišnji prosjek iznosi 1149,1 mm). Razdoblju iznadprosječnih količina oborina prethodilo je iznimno sušno razdoblje tijekom 2011. godine kada je na postajama Abrami i Letaj – brana izmjerena rekordno niska količina oborina od 798,8 mm, odnosno 731,5 mm. Za

postaju Pazin, najniža količina oborina izmjerena je 2001. godine i iznosila je 791,0 mm, također, uz iznadprosječnu temperaturu od 12,2 °C.



Slika 26. Grafički prikaz prosječnih godišnjih temperatura (a), i količina oborina (b) za meteorološke postaje Abrami, Letaj – brana i Pazin

### 3.1.2. Tipovi i značajke tala

Na otvorenim pedološkim profilima utvrđeni su sljedeći tipovi tala: na plohama Kurbino brdo, Ripenda i Lovranska Draga kalkokambisol plitki, na plohi Trstenik kalkokambisol srednje duboki, na plohi Mali Golji crvenica lesivirana, na plohi Trošti crvenica srednje duboka, na plohi Previž eutični kambisol, te na plohama Lesišćina i Paz eutični kambisol plitki (Tablica 6). Fotografije profila nalaze se u PRILOGU 2.

Prema Gračaninu i Ilijaniću (1977), reakcija tla u vodi humusno-akumulativnog horizonta kreće se u rasponu od osrednje kiselog na plohama Paz, Trošti, Trstenik, Mali Golji i Previž, slabo kiselog na plohi Kurbino brdo do vrlo slabo alkalnog na plohama Lesišćina, Ripenda i Lovranska Draga. U mineralnom horizontu izdvaja se ploha Mali Golji s osrednje

kiselom reakcijom tla, dok se na ostalim plohama reakcija tla kreće u rasponu od vrlo slabo alkalnog do osrednje alkalnog (Tablica 6).

Prema opskrbljenosti tla pristupačnim kalijem ( $K_2O$ ) Al metodom (Škorić 1982) u humusno-akumulativnom horizontu, ploha Mali Golji spada u osrednje opskrbljeno, plohe Kurbino brdo, Trošti i Trstenik u vrlo dobro opskrbljeno, dok plohe Lesišćina, Paz, Ripenda, Lovranska Draga i Previž u bogato opskrbljena tla s kalijem. S porastom dubine u mineralnom horizontu pada opskrbljenost tla kalijem te se izdvajaju plohe Mali Golji s vrlo dobrom i Ripenda s bogatom opskrbljenošću, dok se na ostalim plohama opskrbljenost tla s kalijem kreće od slabog do osrednjeg. Opskrbljenost tla fosforom ( $P_2O_5$ ) na svim plohama duž cijelog soluma je vrlo slaba do slaba, s izuzetkom plohe Paz u humusno-akumulativnom horizontu gdje je opskrbljenost tla fosforom bogata (Tablica 6).

Tablica 6. Rezultati kemijske analize profila tla na istraživačkim plohama.

Profil/ ploha	Dubina Cm	pH		mg/ 100g tla		N %	Humus %	C %	C/N	CaCO <sub>3</sub> %
		H <sub>2</sub> O	1M KCl	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O					
Previž	0-1	5,62	4,57	10,76	57,60	0,99	35,00	20,35	20,56	-
	5-20	7,37	6,04	2,79	11,61	0,08	1,56	0,91	11,38	3,30
	40-60	7,90	6,78	4,76	12,87	0,04	0,82	0,48	12,00	3,33
Lesišćina	1-3	7,40	6,84	8,95	38,70	1,26	44,05	25,61	20,35	5,50
	10-30	8,27	7,32	1,79	15,56	0,07	1,95	1,13	16,14	17,76
Paz	2-6	5,87	5,31	35,66	53,10	1,65	68,28	39,70	24,06	-
	10-20	8,26	7,33	4,89	15,57	0,05	1,64	0,95	19,00	25,38
Mali Golji	0-1	5,59	4,84	2,65	14,32	0,97	19,25	11,19	11,54	-
	5-35	5,69	4,13	3,93	21,20	0,16	3,59	2,09	13,06	-
Trstenik	0-5	5,31	4,48	1,59	28,31	1,37	28,76	16,72	12,20	-
	8-35	7,26	6,07	3,61	14,10	0,25	4,76	2,77	11,03	0,82
Ripenda	0-1	7,26	6,47	3,40	69,93	0,57	17,77	10,33	18,12	0,83
	5-20	7,74	6,98	2,23	30,41	0,56	6,75	3,92	7,00	1,64
Lovranska Draga	1-5	7,10	6,56	4,14	53,10	0,60	20,42	11,87	19,78	0,83
	10-40	7,95	7,15	3,42	10,62	0,05	1,04	0,60	12,00	2,89
Trošti	1-4	5,79	5,02	4,06	28,26	1,06	30,44	17,70	16,70	-
	10-30	6,53	5,03	0,48	12,60	0,14	2,91	1,69	12,07	-
	35-60	7,33	5,73	2,98	13,41	0,11	1,80	1,05	9,55	1,69
Kurbino brdo	0-5	6,31	5,46	4,58	20,21	1,22	33,85	19,68	16,13	-
	5-30	7,12	5,69	1,64	4,82	0,20	3,83	2,23	11,15	0,41

Prema udjelu humusa po Tjurinu, na svim istraživanim plohama u humusno-akumulativnom horizontu tla su vrlo jako humozna s udjelom humusa znatno većim od 10%, dok su u mineralnom horizontu tla slabo humozna na plohama Lesišćina, Paz, Trošti, Lovranska Draga i Previž, a dosta humozna na plohama Kurbino brdo, Trstenik, Mali Golji i

Ripenda. Prema udjelu humusa, posebno se ističe ploha Paz s ekstremno velikim udjelom humusa od 68,28%, što čini neznatno manji udjel humusa od nerazgrađene organske tvari (Tablica 6).

Na istraživanim plohama u humusno-akumulativnom horizontu utvrđen je C:N odnos od 11,54 na plohi Mali Golji do 24,06 na plohi Paz. Prema Vukadinović i Lončarić (1998), povoljan C:N odnos za više biljke je između 12 i 25, što ukazuje da sva istraživana tla imaju povoljan C:N odnos u humusno-akumulativnom horizontu, gdje se normalno vrši mineralizacija. S porastom dubine soluma, C:N odnos je u pravilu manji (Vukadinović i Lončarić 1998), što je potvrdilo i ovo istraživanje, s izuzetkom plohe Mali Golji gdje je C:N odnos veći u mineralnom horizontu. U mineralnom horizontu utvrđen je povoljan C:N odnos na svim plohama, od 11,03 na plohi Trstenik do 19,00 na plohi Paz, dok je na plohi Ripenda C:N odnos 7 (Tablica 6).

Na plohama Kurbino brdo, Paz, Trošti, Trstenik, Mali Golji i Previž u humusno-akumulativnom horizontu prema Vanmechelenu et al. (1997) nije utvrđena prisutnost karbonata, dok je na plohama Ripenda i Lovranska Draga njihov udjel nizak, a na plohi Lesišćina srednji. U mineralnom horizontu je na svim plohama utvrđen nizak do osrednji udjel karbonata s izuzetkom plohe Paz i Lesišćina gdje je udjel karbonata visok.

### 3.1.3. Rezultati fitocenološkog snimanja

Područje istraživanja u fitogeografskom smislu pripada uglavnom mediteranskoj vegetacijskoj regiji. Florni sastav ploha upućuje na njihovu pripadnost *submediteranskoj vegetacijskoj zoni* (mediteransko-litoralni vegetacijski pojas) gdje su glavne edifikatorske vrste bijeli grab (*Carpinus orientalis*) i hrast medunac (*Quercus pubescens*) i *epimediteranskoj vegetacijskoj zoni* (mediteransko-montanski vegetacijski pojas) s glavnim edifikatorskim vrstama crnim grabom (*Ostrya carpinifolia*) i hrastom meduncem. Ploha Trstenik na Ćićariji nalazi se u *paramediteranskoj vegetacijskoj zoni* primorskih bukovih šuma (brdski vegetacijski pojas eurosibirsko-sjevernoameričke vegetacijske regije).

Rezultati fitocenološkog snimanja u kulturama crnoga bora u Istri pokazali su diferenciranje snimaka u četiri grupe. Popis zabilježenih biljnih vrsta na plohama nalazi se u PRILOGU 3.

Ploha Trstenik po svome flornom sastavu pripada primorskoj bukovoj šumi (*Seslerio-Fagetum*) i s nizom vrsta bukovih šuma (*Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Ulmus glabra*,



*Sanicula europaea*, *Corylus avellana*, *Daphne mezereum*, *Lonicera xylosteum*, *Dentaria enneaphyllos*, *Anemone nemorosa*, *Viola reichenbachiana*) jasno se florno razlikuje od svih ostalih ploha. S obzirom na nadmorsku visinu od oko 770 m i sjevernu ekspoziciju, na plohi se pojavljuju montanske i alpinske vrste tipične za pretplaninsku bukovu šumu: (*Lonicera alpigena*, *Moehringia muscosa*, *Rosa pendulina*, *Rubus idaeus*, *Rhamnus falax*).

S bitnim učešćem mezofilnih i čak povremeno acidofilnih vrsta ističu se plohe Trošti, Mali Golji te do neke mjere i Kurbino brdo. Na ovim se plohama pojavljuje pitomi kesten (*Castanea sativa*), krški kukurjek (*Heleborus multifidus*), jesenska šašika (*Sesleria autumnalis*), vrste karakteristične za submediteranske kestenove šume (*Helleboro multifidi-Castanetum sativae*). Mezofilne vrste koje dolaze na ovim plohama ili se ističu pokrovnošću su: *Euonymus europaeus*, *Cornus sanguinea*, *Acer campestre*, *Lonicera caprifolium*, *Prunus spinosa*, *Clematis vitalba*, *Rubus fruticosus*, *Brachypodium sylvaticum*, *Pteridium aquilinum*, *Tanacetum macrophyllum*, *Veronica officinalis*, *Mycelis muralis*. Plohe Trošti i Mali Golji po svojim ekološkim karakteristikama pokazuju vjerojatnu pripadnost ovoj fitocenozi: najmanji nagib terena (do 5 odnosno 10°), dubine tla do 60 odnosno 35 cm, kiseli pH odnosno izostanak ili vrlo mali udio karbonata (CaCO<sub>3</sub>) u tlu.

Preostalih pet ploha pripada, po svome flornom sastavu, različitim sukcesijskim fazama šume hrasta medunca i bijelog graba odnosno šume hrasta medunca i crnog graba. Njihov florni sastav ne omogućava jasno diferenciranje odnosno pripadnost pojedinom sintaksonu. Iako uzorak od tek pet fitocenoloških snimaka nije reprezentativan za usporedbu, nazire se grupiranje ploha po flornom sastavu na osnovi matičnog supstrata. Plohe Previž i Lesišćina nalaze se na flišnom matičnom supstratu te se ističu bazičnom reakcijom tla, odnosno znatnim sadržajem karbonata već u gornjim slojevima tla, što bitno utječe i na florni sastav koji se odlikuje nizom izrazito bazofilnih vrsta: *Blackstonia perfoliata*, *Buphtalmum salicifolium*, *Inula hirta*, *Carex flacca*, *Dorycnium pentaphyllum*, *D. germanicum*, *Sanguisorba minor*, *Teucrium chamaedrys*, *Medicago lupulina*. Ploha Paz, koja je također na flišu i ima visok sadržaj karbonata u sloju tla 10-20 cm (25,38%), u gornjem, humusno-akumulativnom sloju ne sadrži karbonate te na njoj izostaju bazofilne vrste. Nasuprot tome, pojavljuju se tipični acidofiti, kao što su *Carex halleriana*, *Hieracium pilosella*, *H. sylvaticum*, *Cytisus nigricans*, *Juniperus communis*.

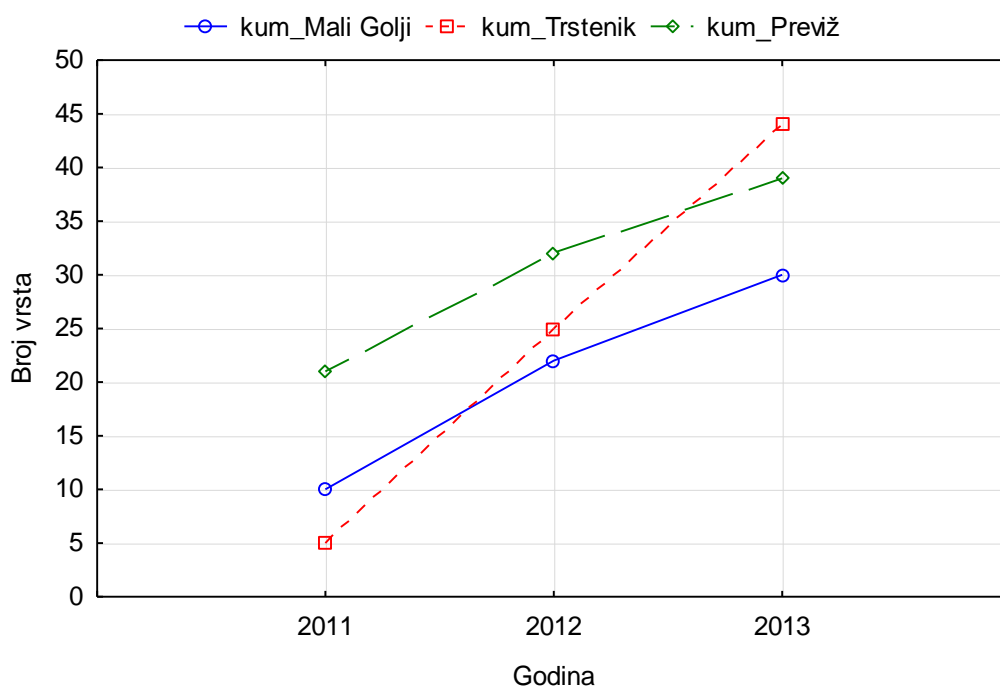
Plohe Ripenda i Lovranska draga odlikuju se prije svega toplinom i suhoćom kao posljedicom strmijeg terena i vapnene podloge. Postotak karbonata u ovim tlima nije tako visok kao u spomenutima na flišu, pa na njima izostaju brojni bazofiti.

### 3.2. Odnos brojnosti gljiva različitih trofičkih grupa, odnos brojnosti ektomikoriznih gljiva i prisutnosti vrste *Sphaeropsis sapinea* te odnos brojnosti ektomikoriznih gljiva i osutosti krošanja

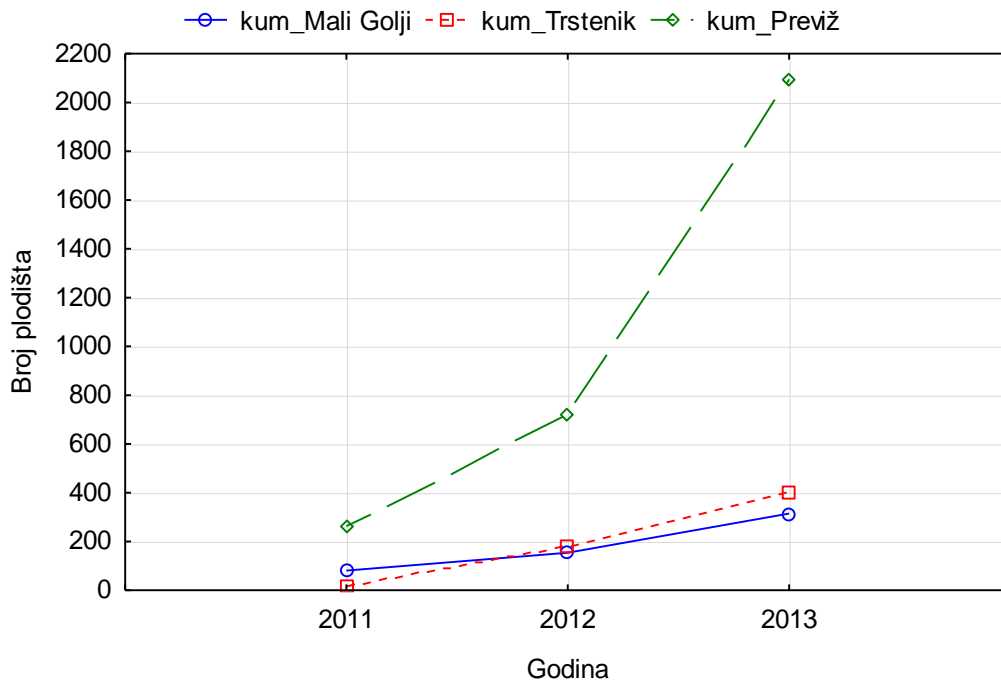
Rezultati koji se odnose na makrogljive prikazani su odvojeno za trogodišnje razdoblje praćenja na plohama Trstenik, Previž i Mali Golji, te zasebno za svih devet ploha koje su praćene tijekom 2013. godine. Time je omogućen pregled razlika koje proizlaze iz temporalnog i prostornog okvira istraživanja makrogljiva.

#### 3.2.1. Odnos brojnosti ektomikoriznih i saprotrofnih gljiva

Na tri istraživane plohe, Trstenik, Previž i Mali Golji, tijekom tri godine praćenja evidentirano je ukupno 2814 plodišta, te 88 gljivljih vrsta iz 37 rodova. Na ECM makrogljive otpada 2288 plodišta (81%) i 47 vrsta (53%) dok je 41 vrsta (47%) bila saprotrofna s ukupno 526 plodišta (19%). Najviše vrsta zabilježeno je na plohi Trstenik, ukupno 44 (22 ECM), 39 na plohi Previž (25 ECM), a najmanje na plohi Mali Golji, ukupno 30 (13 ECM) (Slika 29 a). Najviše plodišta pojavilo se tijekom 2013., a najmanje tijekom 2011. godine (Slika 27).



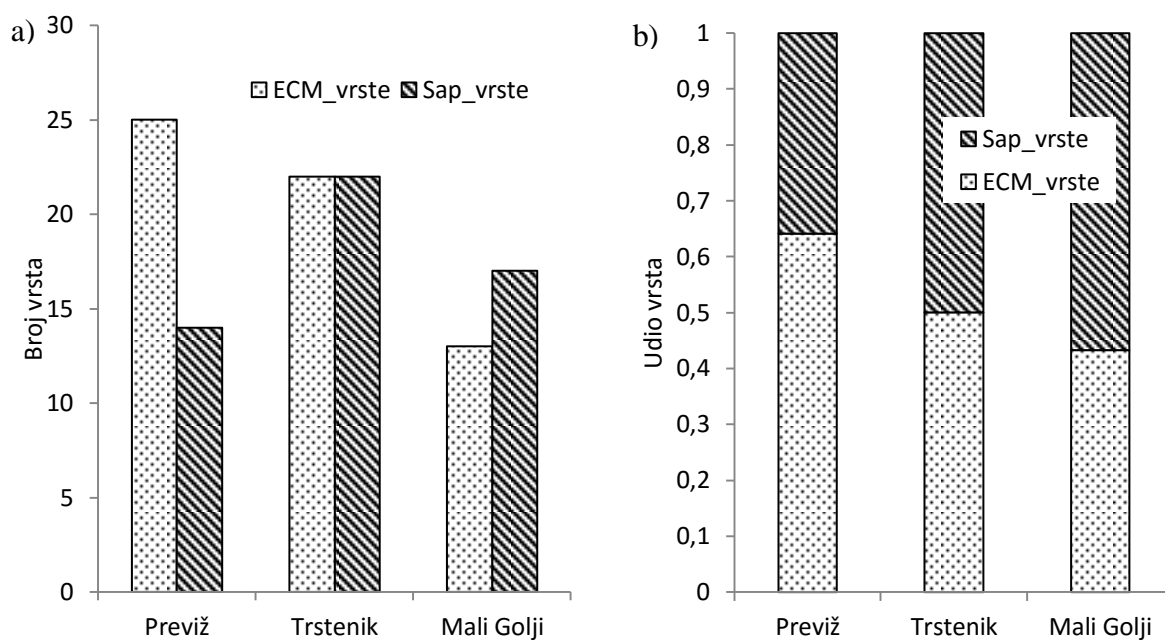
Slika 27. Kumulativni broj vrsta prema plohama tijekom trogodišnjeg praćenja



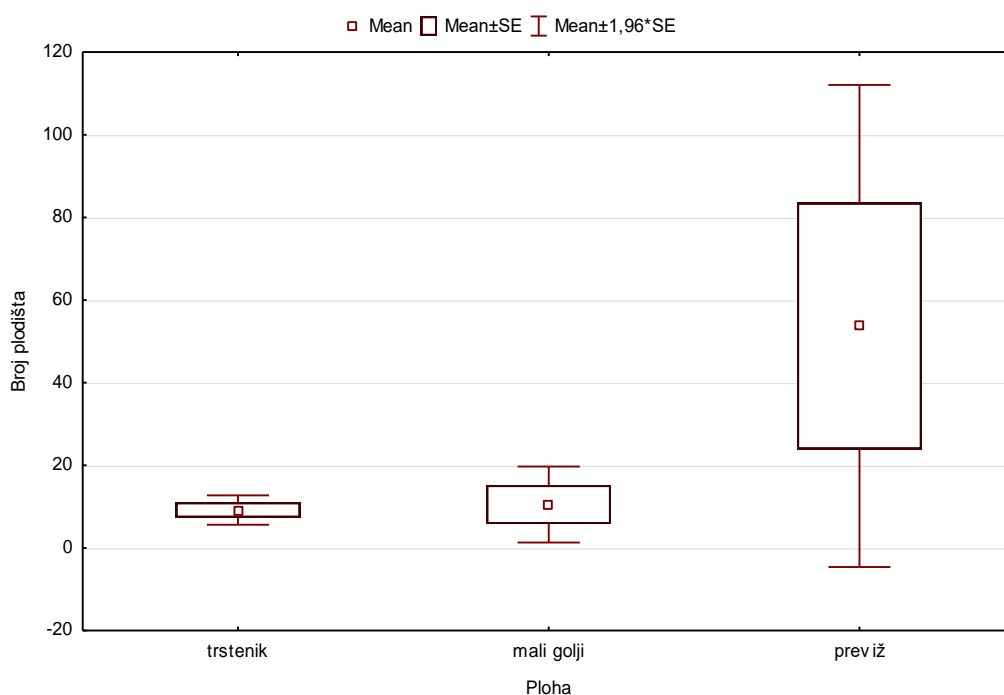
Slika 28. Kumulativni broj plodišta prema plohama tijekom trogodišnjeg praćenja.

Promatrajući tri spomenute plohe tijekom tri godine, vidljiv je kumulativni porast broja novih vrsta svake sljedeće godine praćenja (Slika 27). Na plohi Trstenik prve je godine zabilježeno 5, druge 20, a treće godine 19 novih vrsta. Na plohi Previž prve je godine zabilježeno 21, druge 11, a treće godine 7 novih vrsta, dok je na plohi Mali Golji prve godine zabilježeno 10, druge 12, a treće godine 8 novih vrsta. Kumulativni broj plodišta također se povećavao. Najmanje plodišta tijekom jedne godine praćenja zabilježeno je na plohi Trstenik (ukupno 15, 2011. godine), a najviše na plohi Previž (ukupno 1372, 2013. godine) (Slika 28). Prosječan broj plodišta na plohama Trstenik, Previž i Mali Golji za trogodišnje razdoblje praćenja statistički se značajno razlikuje (Kruskal-Wallis ANOVA:  $H=9,376671$ ; 2 d.f.;  $p=0,0092$ ) (Slika 30). Utvrđena je statistički značajna razlika između ploha Previž i Mali Golji ( $p=0,0141$ ).

Tijekom 2013. godine na svih devet ploha zabilježeno je ukupno 3377 plodišta, te 124 gljivlje vrste iz 48 rodova. Na ECM makrogljive otpada 2259 plodišta (67%) i 51 vrsta (41%), dok su 73 vrste (59%) bile saprotrofne s ukupno 1118 plodišta (33%). Najviše vrsta zabilježeno je na plohi Trošti, ukupno 35, a najmanje, ukupno po 15 vrsta, na plohama Paz i Lovranska Draga (Slika 31).



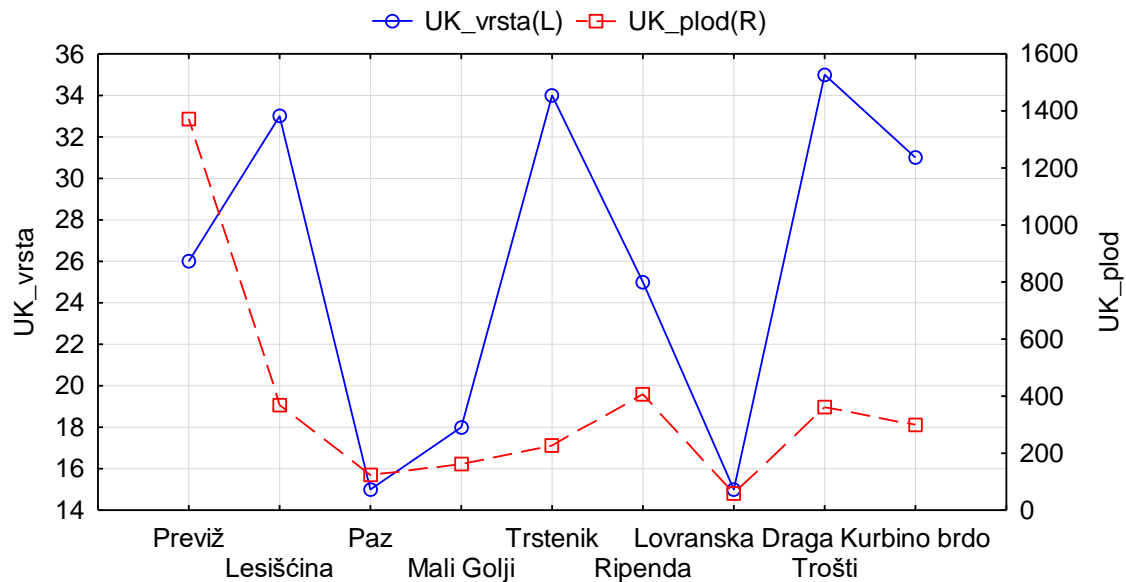
Slika 29. Apsolutni broj (a) i udio (b) ECM i saprotrofnih vrsta u ukupnom broju vrsta prema plohama tijekom trogodišnjeg praćenja.



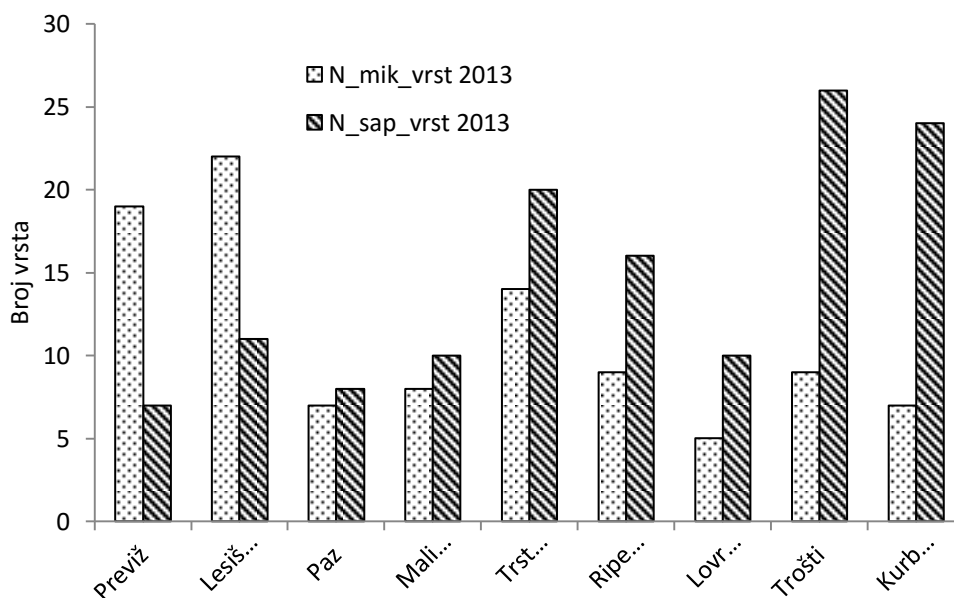
Slika 30. Aritmetička sredina broja plodišta prema plohama za trogodišnje razdoblje praćenja.

U pravilu, na plohama s većim brojem vrsta zabilježeno je i više plodišta. Značajnije odstupanje vidljivo je jedino na plohi Previž sa zabilježenih 1372 plodišta u 2013. godini (oko 3,5 puta više nego na sljedećoj plohi s najvećim brojem plodišta), iako je na tri plohe

zabilježen veći broj vrsta (Lesišćina, Trošti i Trstenik). Najmanje plodišta zabilježeno je na plohama Lovranska draga, ukupno 58 (Slika 31).



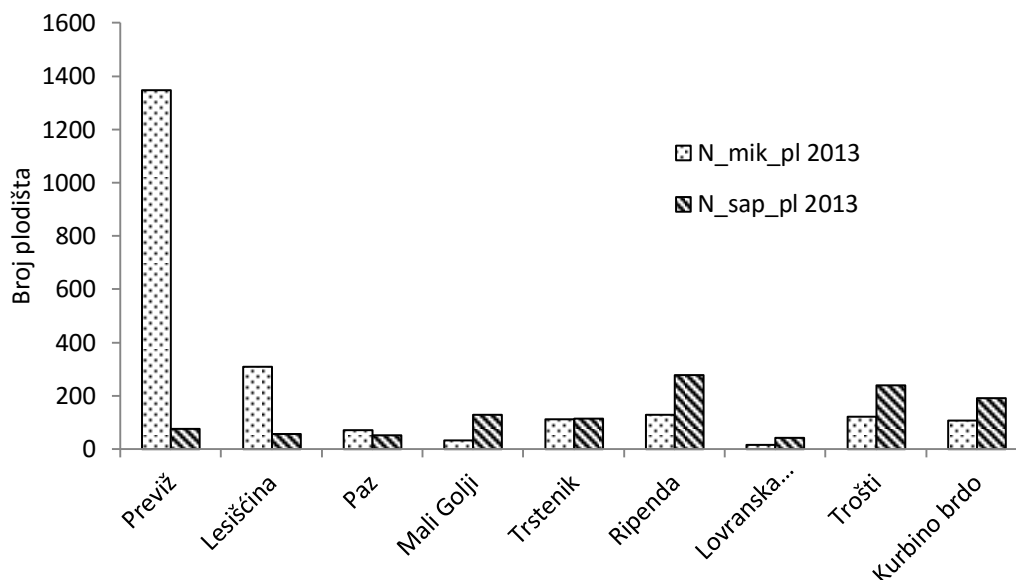
Slika 31. Ukupan broj vrsta i plodišta prema plohama tijekom 2013. godine.



Slika 32. Apsolutni broj ECM i saprotrofnih vrsta prema plohama tijekom 2013. godine.

Najveći broj ECM vrsta zabilježen je na plohama Lesišćina (ukupno 22) i Previž (ukupno 19), dok je najmanji broj vrsta zabilježen na plohama Lovranska Draga (ukupno 5) te Paz i Kurbino brdo (ukupno 7). Najveći broj saprotrofnih vrsta zabilježen je na plohama Trošti (ukupno 26) i Kurbino brdo (ukupno 24), dok je najmanji broj saprotrofnih vrsta

zabilježen na plohama Previž (ukupno 7), te Paz (ukupno 8) (Slika 32). Ploha Previž imala je najveći broj plodišta, ukupno 1347 ECM i 75 saprotrofnih. Od ostalih ploha, najviše ECM plodišta zabilježeno je na plohi Lesišćina, ukupno 310, a najmanje na plohama Lovranska Draga, ukupno 15, te Mali Golji, ukupno 32 plodišta (Slika 33).

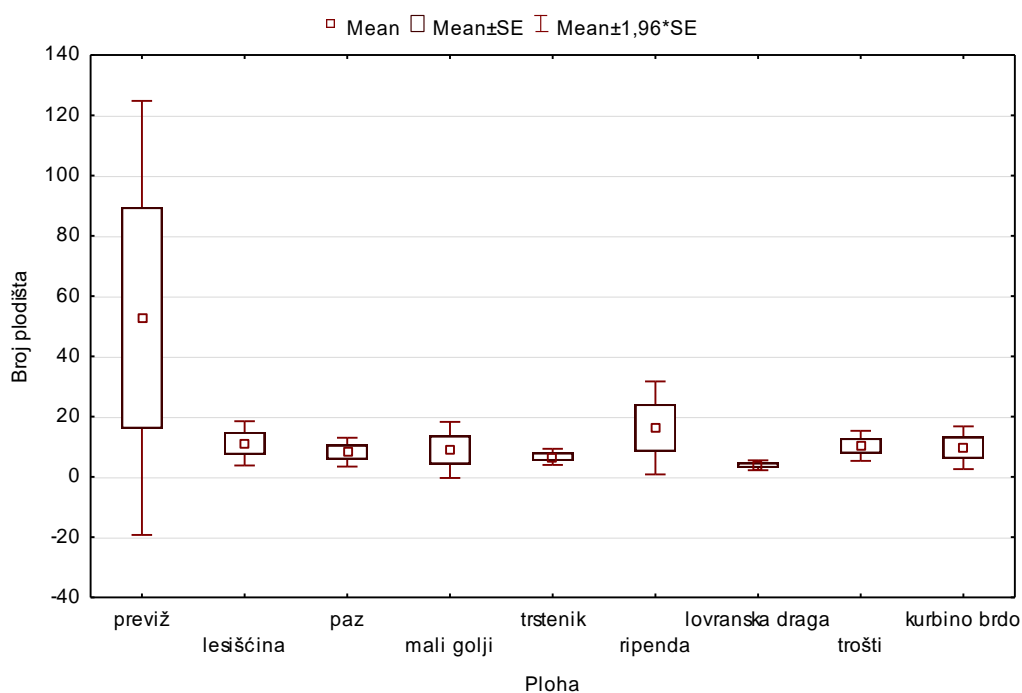


Slika 33. Apsolutni broj ECM i saprotrofnih plodišta prema plohama tijekom 2013. godine.

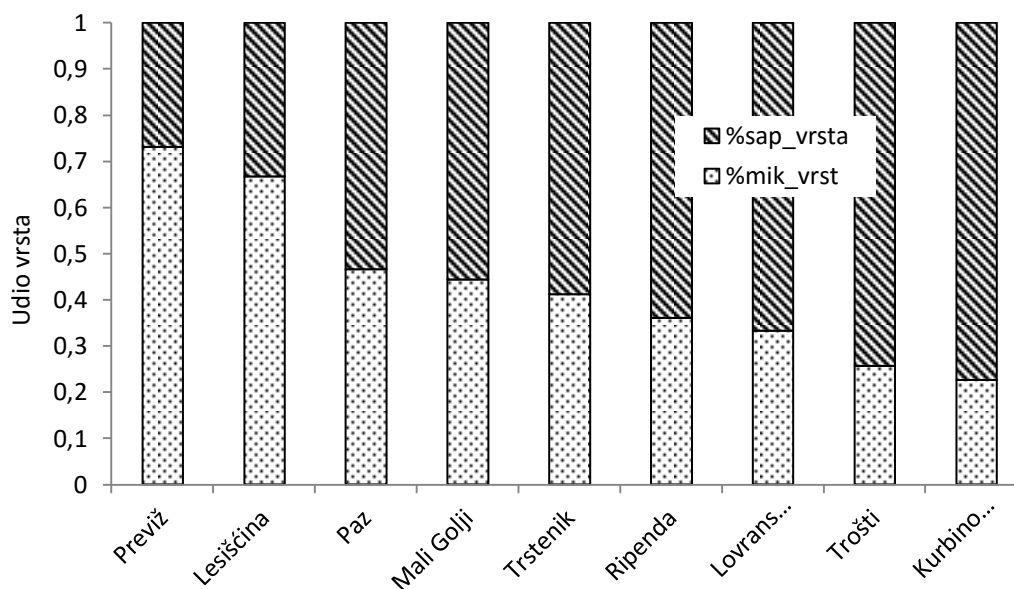
Najveći broj saprotrofnih plodišta zabilježen je na plohama Ripenda, ukupno 277, te Trošti, ukupno 239 (Slika 33). Najmanje saprotrofnih plodišta zabilježeno je na plohama Lovranska Draga, ukupno 43, Paz, ukupno 51 i Lesišćina, ukupno 58. Aritmetičke sredine broja plodišta na plohama prikazane su grafički (Slika 34).

Tijekom trogodišnjeg praćenja, najveći udio ECM makrogljiva u ukupnom broju vrsta zabilježen je na plohi Previž (64,10%), a najmanji na plohi Mali Golji (43,33%) (Slika 29 b). Na plohi Previž udio plodišta ECM makrogljiva u ukupnom broju plodišta iznosio je čak 96,42%, dok je najmanji udio ECM plodišta zabilježen na plohi Mali Golji i iznosio je 23,49%. Na plohi Trstenik udio ECM vrsta iznosio je 50,00%, a udio plodišta 48,02%.

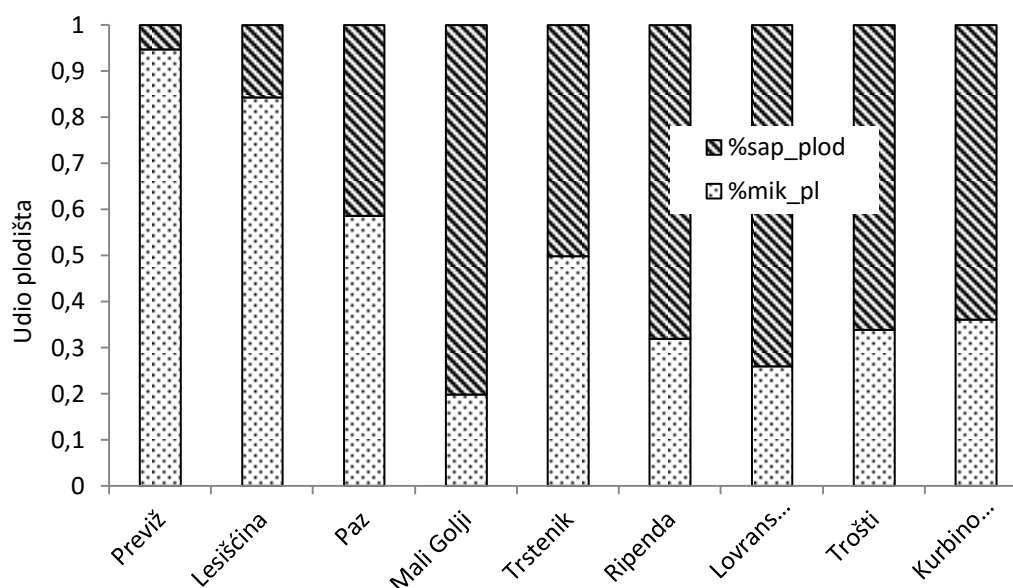
Promatrajući svih devet ploha tijekom 2013. godine, visok udjel EMC vrsta u ukupnom broju vrsta zabilježen je na plohama Previž (73,08%) i Lesišćina (66,67%). Plohe Paz, Mali Golji i Trstenik imale su udjele ECM vrsta u rasponu od 40-60%, plohe Ripenda i Lovranska Draga od 30-40%, a najniži udjeli zabilježeni su na plohama Trošti (25,71%) i Kurbino brdo (22,58%) (Slika 35).



Slika 34. Aritmetička sredina broja plodišta prema plohama za 2013. godinu.



Slika 35. Udio ECM i saprotrofnih vrsta u ukupnom broju vrsta prema plohama tijekom 2013. godine.



Slika 36. Udio ECM i saprotrofni plodišta u ukupnom broju plodišta prema plohama tijekom 2013. godine.

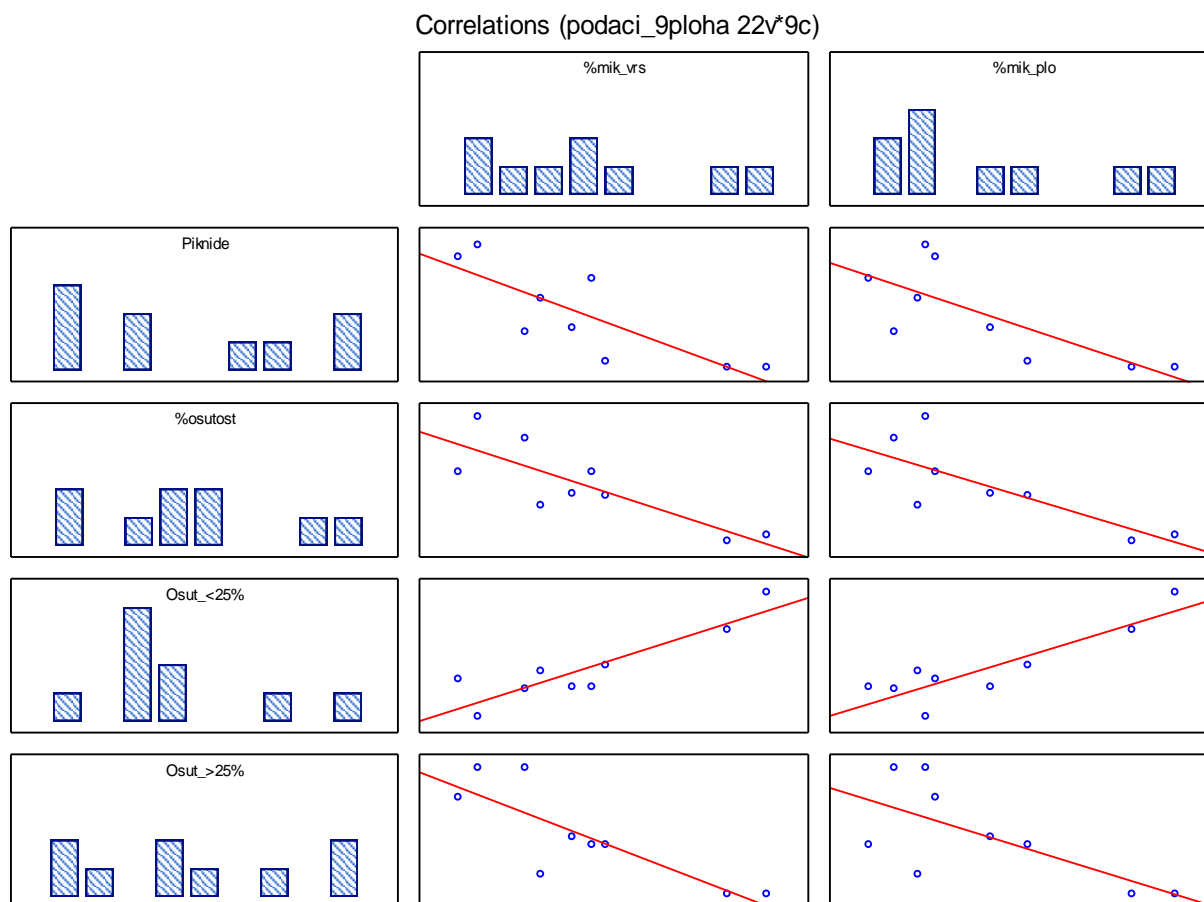
Slične vrijednosti odnose se i na udio EMC plodišta u ukupnom broju plodišta. Najveći udjeli zabilježeni su na plohama Previž (94,73%) i Lesišćina (84,42%). Plohe Paz i Trstenik imale su udio u rasponu od 40-60%, plohe Kurbino brdo, Trošti i Ripenda od 30-40%, a najmanji udio zabilježen je na plohama Lovranska Draga (25,86%) i Mali Golji (19,88%) (Slika 36).

Tablica 7. Korelacije između udjela ECM vrsta (%mik\_vrs) i plodišta (%mik\_plo), prosječnog broja piknida (Piknide), prosječne osutosti stabala (%osutost), manje osutih stabala (Osut\_<25%) i značajno osutih stabala (Osut\_>25%).

\* - Statistički značajne korelacije (p<0,05).

	%mik_vrs	%mik_plo	piknide	%osutost	Osut_<25%	Osut_>25%
%mik_vrs		0,8571* (p=,003)	-0,8107* (p=,008)	-0,8161* (p=,007)	0,8902* (p=,001)	-0,8247* (p=,006)
%mik_plo	0,8571* (p=,003)		-0,7505* (p=,020)	-0,7777* (p=,014)	0,8763* (p=,002)	-0,6785* (p=,045)
piknide	-0,8107* (p=,008)	-0,7505* (p=,020)		0,7070* (p=,033)	-0,7311* (p=,025)	0,6137 (p=,079)
%osutost	-0,8161* (p=,007)	-0,7777* (p=,014)	0,7070* (p=,033)		-0,8642* (p=,003)	0,9493* (p=,000)
Osut_<25%	0,8902* (p=,001)	0,8763* (p=,002)	-0,7311* (p=,025)	-0,8642* (p=,003)		-0,7976* (p=,010)
Osut_>25%	-0,8247* (p=,006)	-0,6785* (p=,045)	0,6137 (p=,079)	0,9493* (p=,000)	-0,7976* (p=,010)	





Slika 37. Prikaz povezanosti između ECM vrsta i plodišta prema piknidama, % osutosti stabala, udjelu manje osutih (<25%) i udjelu značajno osutih stabala (>25%).

Između promatranih varijabli koje se opisuju u narednim poglavljima postoji srednje jaka do jaka korelacija (Tablica 7). Uočljiva je jaka i statistički značajna korelacija između udjela ECM vrsta prema prosječnom broju piknida na iglici, prosječnoj osutosti krošanja stabala, te manje (<25%), i značajno (>25%) osutim stablima. Udio ECM plodišta pokazuje srednje jaku do jaku, te statistički značajnu korelaciju s promatranim varijablama. Povezanost udjela ECM vrsta i plodišta prema piknidama i osutosti krošanja prikazana je grafički (Slika 37).

### 3.2.2. Zdravstveno stanje borovih kultura i odnos ECM vrsta i plodišta naspram prisutnosti *Sphaeropsis sapinea*

Prosječan broj piknida po iglici značajno se razlikovao između ploha. Piknide *Sphaeropsis sapinea* nisu pronađene na plohama Previž i Lesišćina dok je njihov najviši prosječan broj po iglici zabilježen na plohama Trošti (24,46), Kurbino Brdo (22,21) i Mali Golji (16,91) (Slika 38).

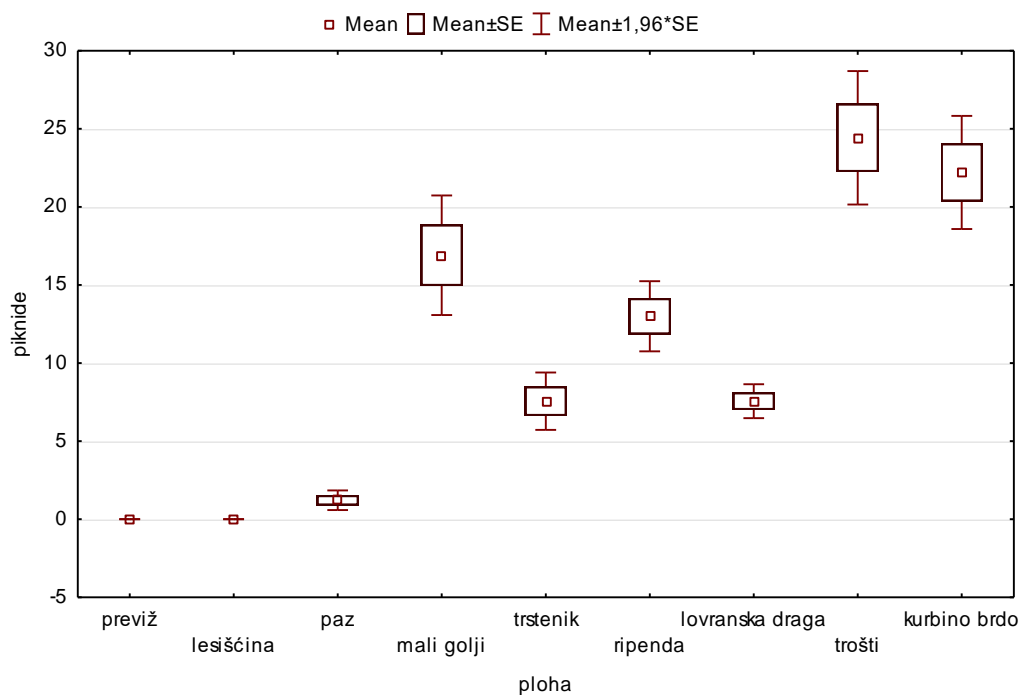
Tablica 8. Rezultati Kruskal-Wallis ANOVA testa za analizu piknida na iglicama prema plohama.

\* - Statistički značajne razlike ( $p < 0,05$ ).

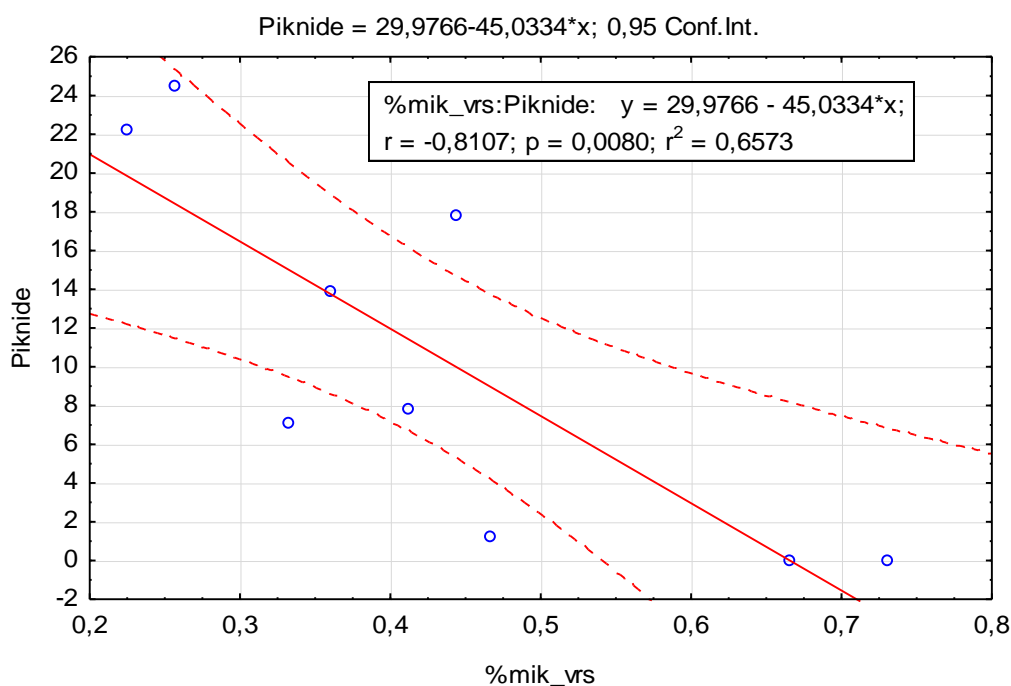
Kruskal-Wallis ANOVA: $H=401,5992$ ; 8 d.f.; $p=0,000$									
	previž	lesišćina	paz	mali golji	trstenik	ripenda	lovranska draga	trošti	kurbino brdo
previž		1,0000	1,0000	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
lesišćina	1,0000		1,0000	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
paz	1,0000	1,0000		0,0000*	0,0010*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
mali golji	0,0000*	0,0000*	0,0000*		0,1989	1,0000	1,0000	0,6969	1,0000
trstenik	0,0000*	0,0000*	0,0010*	0,1989		0,4726	1,0000	0,0000*	0,0002*
ripenda	0,0000*	0,0000*	0,0000*	1,0000	0,4726		1,0000	0,2121	1,0000
lovranska draga	0,0000*	0,0000*	0,0000*	1,0000	1,0000	1,0000		0,0027*	0,0271*
trošti	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,6969	0,0000*	0,2121	0,0027*		1,0000
kurbino brdo	0,0000*	0,0000*	0,0000*	1,0000	0,0002*	1,0000	0,0271*	1,0000	

Uz *S. sapinea*, na iglicama je pronađena i druga parazitska vrsta gljive, *Truncatella hartigii* (Tubef) Steyaert. Plodišta (piknide) *S. sapinea* zabilježena su na izbojcima u kulturama Mali Golji, Trstenik, Ripenda, Trošti i Kurbino brdo. Također, u jednogodišnjim izbojcima su zabilježena oštećenja, ličinke i/ili imaga kornjaša *Ernobius* sp. (Coleoptera, Ptinidae) na svim plohama osim Previž, Lesišćina i Paz.

Prema rezultatima Kruskal-Wallis ANOVA testa postoji statistički značajna razlika između ploha prema prosječnom broju piknida na iglici (Tablica 8). Plohe Previž, Lesišćina i Paz međusobno se nisu statistički značajno razlikovale prema prosječnom broju piknida na iglici, ali su statistički značajno različite od svih ostalih ploha ( $p < 0,05$ ). Plohe Mali Golji i Ripenda statistički se značajno razlikuju od ploha Previž, Lesišćina i Paz, no nisu se statistički značajno razlikovale od ostalih ploha. Plohe Trstenik i Lovranska Draga su uz plohe Previž, Lesišćina i Paz, bile statistički značajno različite od ploha Trošti i Kurbino brdo.



Slika 38. Aritmetička sredina broja piknida na iglicama prema plohamu.

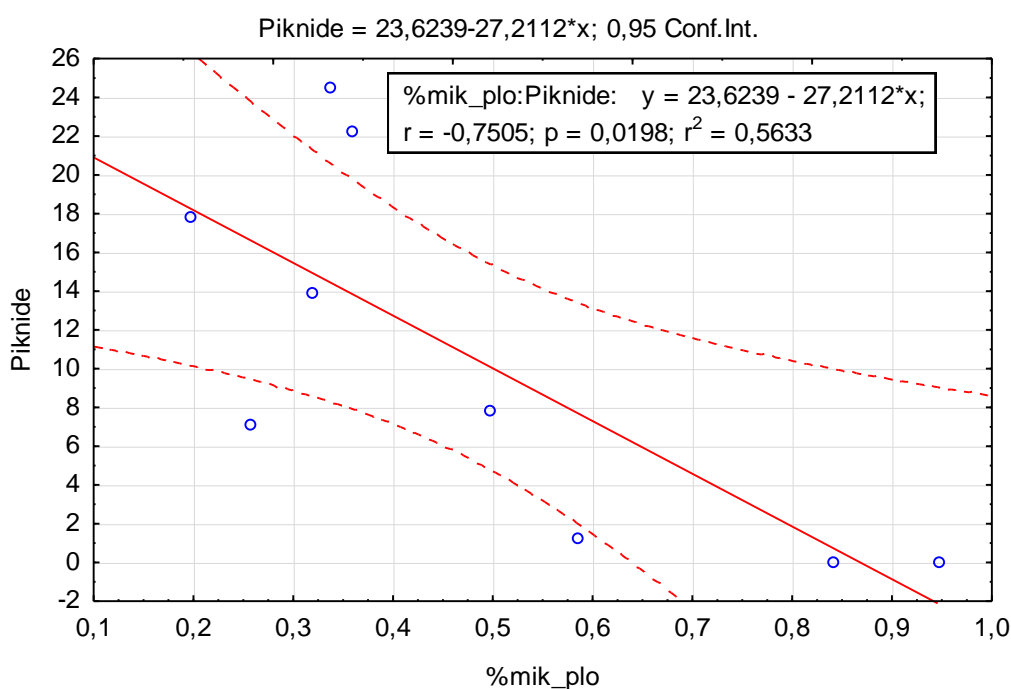


Slika 39. Odnos udjela ECM vrsta prema prosječnom broju piknida.

Udio ECM vrsta i njihovih plodišta snažno je povezan s prosječnim brojem piknida *S. sapinea* na iglici. Regresijski model pokazuje statistički značajnu ovisnost prosječnog broja piknida o udjelu ECM vrsta u borovim kulturama (Slika 39). Također, između promatranih varijabli postoji statistički značajna i jaka negativna korelacija ( $r = -0,8107$ ,  $p = 0,0080$ ).

Promatramo li prosječnu vrijednost udjela ECM vrsta, vidljiv je trend koji pokazuje da bi se povećanjem prosječnog broja piknida na iglici iznad 21, moglo očekivati udio ECM zajednice u ukupnom broju vrsta ispod 20% (Slika 39). Kulture s više od 60% udjela ECM vrsta u ukupnom broju vrsta pokazuju mnogo manji broj piknida na pojedinoj iglici. Regresijska analiza pokazuje da u slučaju kada udio ECM vrsta prelazi 65% u ukupnom broju vrsta, možemo očekivati nezaražene iglice sa *S. sapinea*.

Sličan rezultat dobiven je i zasebnom analizom ECM vrsta makrogljiva na plohama Trstenik, Previž i Mali Golji tijekom trogodišnjeg praćenja, no zbog nedovoljne pouzdanosti, odnosno premalog broja ploha, regresijski model i korelacija nisu detaljnije opisivani.

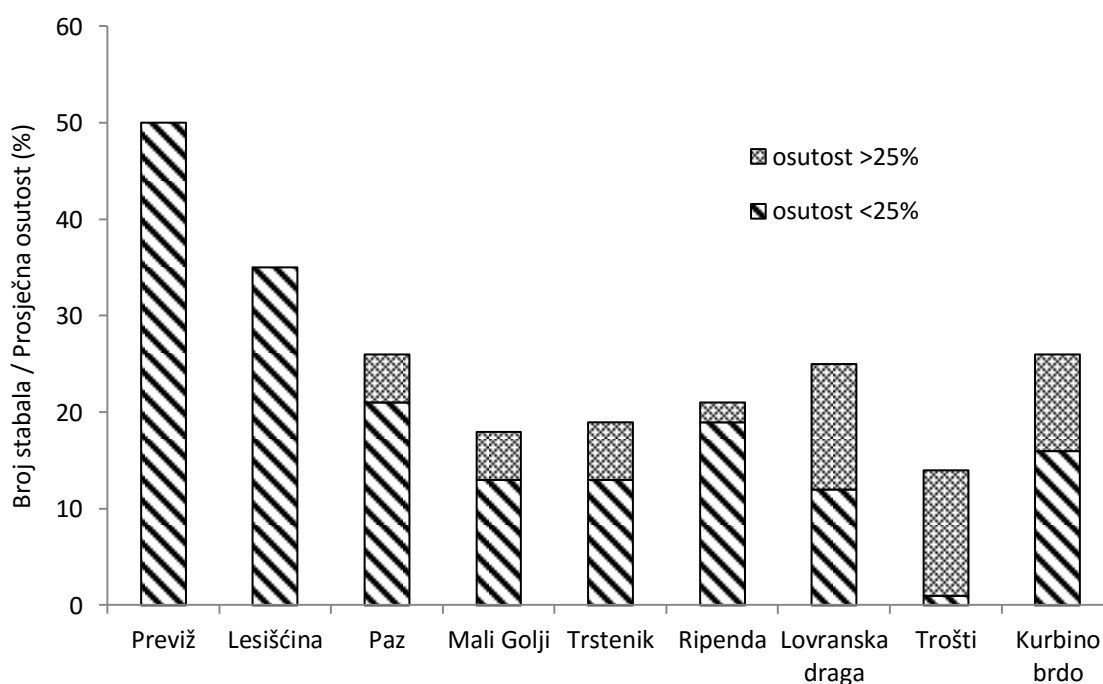


Slika 40. Odnos udjela ECM plodišta prema prosječnom broju piknida.

Kao i kod odnosa ECM vrsta, prosječan broj piknida na iglici pokazuje statistički značajnu ovisnost o udjelu ECM plodišta u borovim kulturama (Slika 40). Između promatranih varijabli postoji statistički značajna negativna korelacija ( $r=-0,7505$ ,  $p=0,0198$ ). Regresijski model ukazuje da smanjenjem udjela ECM plodišta u ukupnom broju plodišta ispod 20% možemo očekivati prosječno 18 piknida *S. sapinea* na pojedinoj iglici. U kulturama s više od 70% udjela ECM plodišta u ukupnom broju plodišta, prosječan broj piknida na pojedinoj iglici mnogo je manji, a nezaražene iglice sa *S. sapinea* možemo očekivati u slučaju kada udio ECM plodišta prelazi 85% u ukupnom broju plodišta.

### 3.2.3. Odnos brojnosti ektomikoriznih gljiva i osutosti krošanja

Rezultati procjene osutosti krošanja u istraživanim borovim kulturama pokazuju različite klase i stupnjeve osutosti (Tablica 9). Najveći ukupan broj stabala zabilježen je na plohama Previž (50) i Lesišćina (35). Najmanji broj stabala zabilježen je na plohama Trošti (14), Mali Golji (18) i Trstenik (19). Najveći broj stabala, promatrajući sve plohe, pokazuje blagu i umjerenu osutost. Na plohama Previž i Lesišćina nisu zabilježena stabla iz kategorije značajno osutih (>25%) (Slika 41). Na plohi Trošti zabilježeno je 92,86% značajno osutih stabala, na plohi Lovranska Draga 52,00%, Kurbino brdo 38,46%, Trstenik 31,58%, Mali Golji 27,78%, Paz 19,23%, te na plohi Ripenda 9,52% značajno osutih stabala. Slično tome, najviša prosječna osutost stabala zabilježena je na plohama Trošti (44,17%), i Lovranska Draga (37,60%), dok je najniža zabilježena na plohama Lesišćina (6,86%), i Previž (8,46%) (Slika 42).



Slika 41. Apsolutni broj stabala unutar kategorija osutosti prema plohama.

Tablica 9. Broj stabala prema plohama, klasama i stupnjevima osutosti.

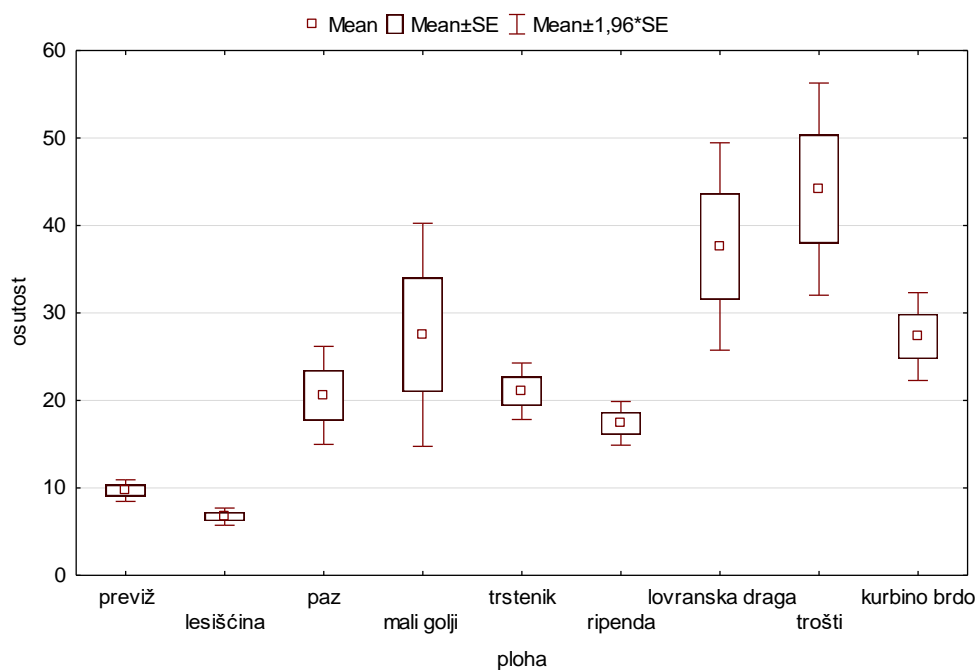
Klasa	Stupanj osutosti	Ploha								
		Previž	Lesišćina	Paz	Mali Golji	Trstenik	Ripenda	Lov. Draga	Trošti	Kurb. brdo
0	Nema	34	32	4	1	3	3	4	-	-
1	Blaga	16	3	17	12	10	16	8	1	16
2	Umjerena	-	-	4	3	6	2	7	10	10
3	Jaka	-	-	1	-	-	-	3	1	-
4	Mrtvo stablo	-	-	-	2	-	-	3	2	-
Ukupno stabala		50	35	26	18	19	21	25	14	26

Tablica 10. Rezultati Kruskal-Wallis ANOVA testa za analizu osutosti krošanja stabala po plohama.

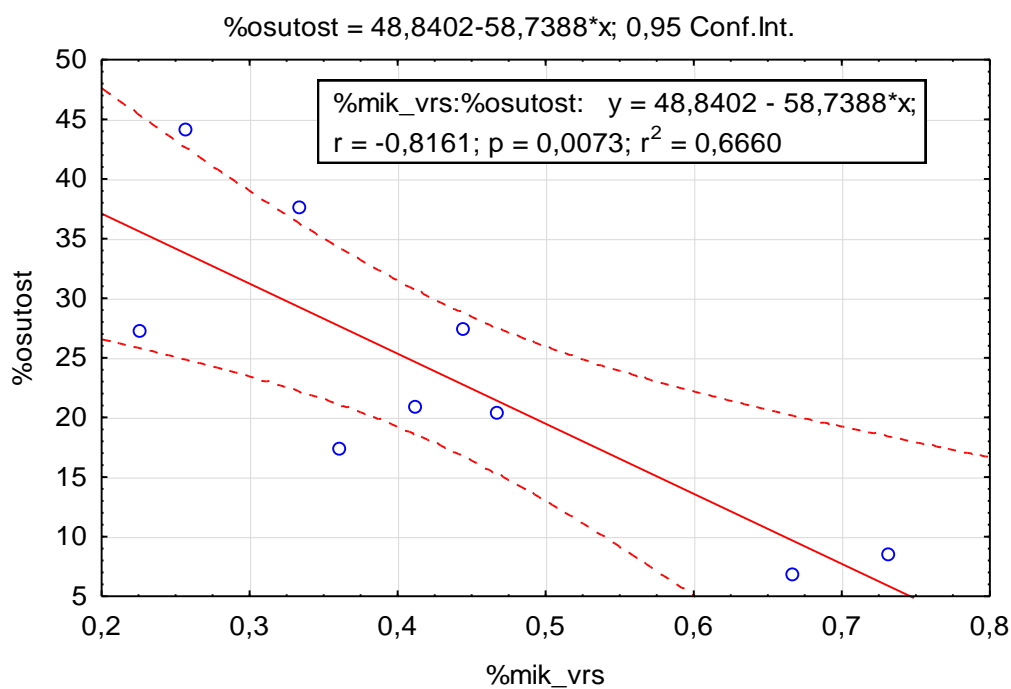
\* - Statistički značajne razlike ( $p < 0,05$ ).

Kruskal-Wallis ANOVA: $H=134,3174$ ; 8 d.f.; $p=0,000$									
	previž	lesišćina	paz	mali golji	trstenik	ripenda	lovranska draga	trošti	kurbino brdo
previž		1,0000	0,0025*	0,0027*	0,0002*	0,0168*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
lesišćina	1,0000		0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0001*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
paz	0,0025*	0,0000*		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0731	1,0000
mali golji	0,0027*	0,0000*	1,0000		1,0000	1,0000	1,0000	0,5026	1,0000
trstenik	0,0002*	0,0000*	1,0000	1,0000		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
ripenda	0,0168*	0,0001*	1,0000	1,0000	1,0000		1,0000	0,0680	1,0000
lovranska draga	0,0000*	0,0000*	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000		1,0000	1,0000
trošti	0,0000*	0,0000*	0,0731	0,5026	1,0000	0,0680	1,0000		1,0000
kurbino brdo	0,0000*	0,0000*	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	

Prema rezultatima Kruskal-Wallis ANOVA testa postoji statistički značajna razlika između ploha prema prosječnoj osutosti stabala (Tablica 10). Plohe Previž i Lesišćina međusobno se statistički značajno ne razlikuju, ali se statistički značajno razlikuju prema svim ostalim plohama. Preostalih sedam ploha međusobno se statistički značajno ne razlikuju.



Slika 42. Aritmetička sredina osutosti krošanja stabala prema plohamu.

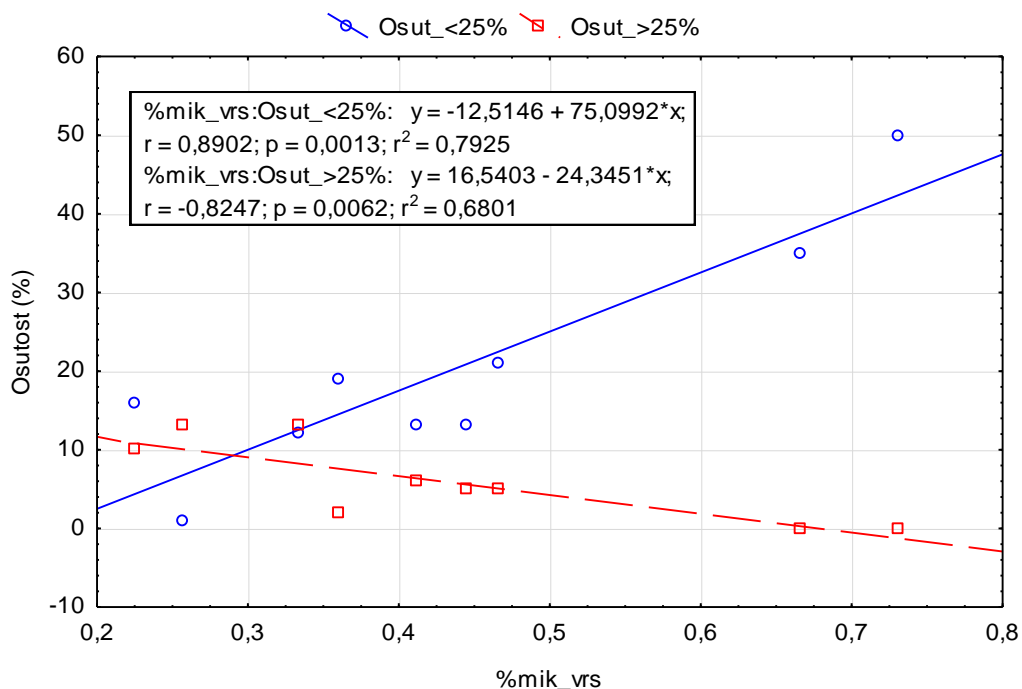


Slika 43. Odnos udjela ECM vrsta prema prosječnoj osutosti krošanja stabala.

Udio ECM vrsta i njihovih plodišta pokazuje snažnu povezanost s prosječnom osutošću krošanja stabala na istraživanim plohamu. Prema linearnom regresijskom modelu, prosječna osutost stabala statistički je značajno ovisna o udjelu ECM vrsta u borovim kulturama, te isti objašnjava 66,66% varijabilnosti ( $R^2=0,6660$ ) (Slika 43). Također, istraživane varijable povezane su statistički značajnom i jakom negativnom korelacijom ( $r=-0,8161$ ,

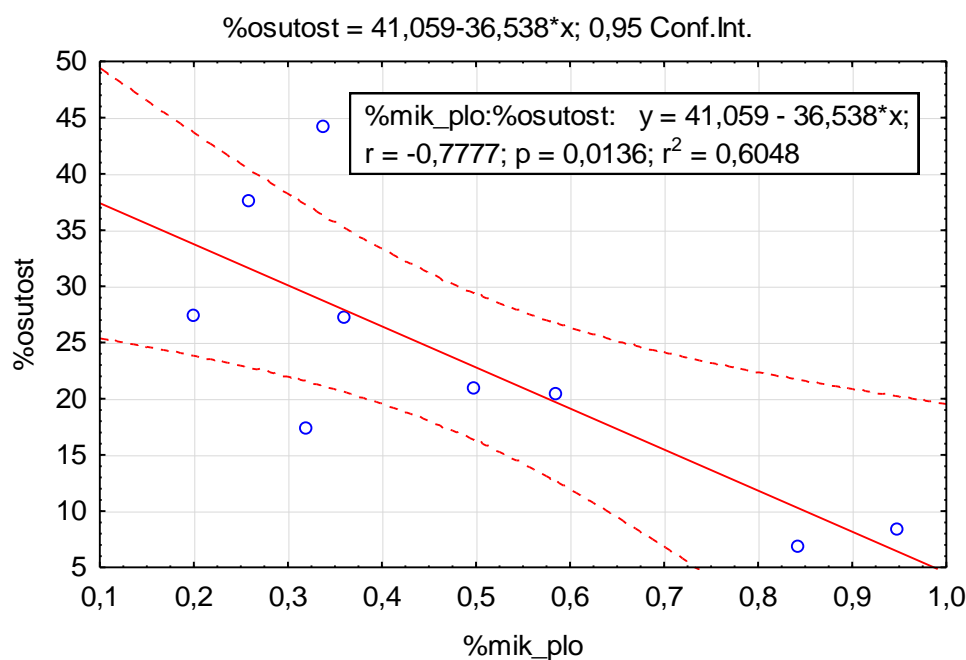
$p=0,0073$ ). Model pokazuje da, ukoliko je udio ECM vrsta u ukupnom broju vrsta manji od 40%, raste broj značajno osutih stabala. Kulture s udjelom ECM vrsta, u ukupnom broju vrsta, većim od 66% imale bi većinu stabala u klasi osutosti 0, odnosno osutost bi izostala.

ECM vrste, odnosno njihov udio u ukupnom broju vrsta, statistički je značajno povezan s kategorijama osutosti borovih stabala (Slika 44). Linearni regresijski model za kategoriju značajno osutih stabala objašnjava 68,01% veze između promatranih varijabli ( $R^2=0,6801$ ), statistički je značajan te pokazuje jaku negativnu korelaciju ( $r=-0,8247$ ,  $p=0,0062$ ), s udjelom ECM vrsta u ukupnom broju vrsta. Isto vrijedi i za kategoriju stabala osutih <25%. Linearni regresijski model statistički je značajan i objašnjava 79,25% veze između promatranih varijabli ( $R^2=0,7925$ ). Korelacija je jaka i pozitivna ( $r=0,8902$ ,  $p=0,0013$ ).

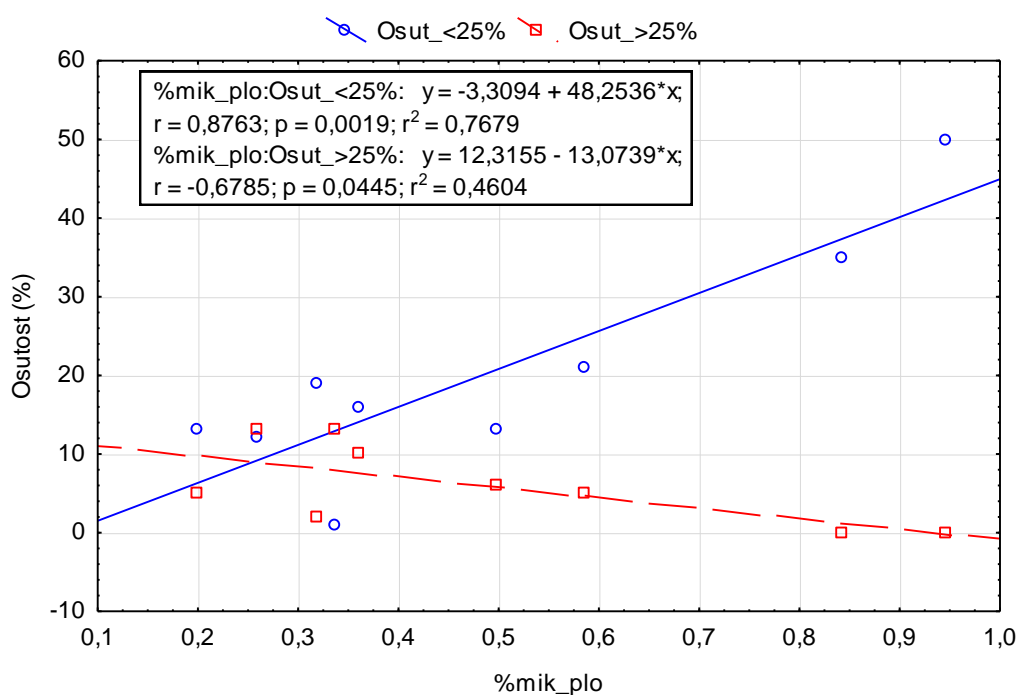


Slika 44. Odnos udjela ECM vrsta prema kategorijama osutosti krošanja stabala.





Slika 45. Odnos udjela ECM plodišta prema prosječnoj osutosti krošanja stabala.



Slika 46. Odnos udjela ECM plodišta prema kategorijama osutosti krošanja stabala.

Udio ECM plodišta također je povezan s osutošću krošanja borovih stabala na istraživanim plohama. Prema linearnom regresijskom modelu, prosječna osutost stabala statistički je značajno ovisna o udjelu ECM plodišta u ukupnom broju plodišta ( $R^2=0,6048$ ) (Slika 45). Također, istraživani parametri povezani su statistički značajnom i jakim negativnom korelacijom ( $r=-0,8161$ ,  $p=0,0073$ ). Rezultat dobivenog modela pokazuje da ukoliko je udio ECM plodišta u ukupnom broju plodišta manji od 45%, broj značajno osutih

stabala raste. Kulture s udjelom ECM plodišta u ukupnom broju plodišta većim od 85% imale bi većinu stabala u klasi osutosti 0, odnosno njihove bi krošnje bile osute do 10%.

ECM plodišta, odnosno njihov udio u ukupnom broju plodišta, statistički značajno utječe na kategorije osutosti borovih stabala (Slika 46). Linearni regresijski model za kategoriju značajno osutih stabala objašnjava 46,04% veze između promatranih varijabli ( $R^2=0,4604$ ). Isti je statistički značajan te pokazuje srednje jaku negativnu korelaciju ( $r=-0,6785$ ,  $p=0,0445$ ), s udjelom ECM plodišta u ukupnom broju plodišta. Jača povezanost uočljiva je između kategorije stabala osutih <25% i ECM plodišta. Linearni regresijski model statistički je značajan i objašnjava 76,79% veze između promatranih varijabli ( $R^2=0,7679$ ), te pokazuje jaku i pozitivnu korelaciju ( $r=0,8763$ ,  $p=0,0019$ ).

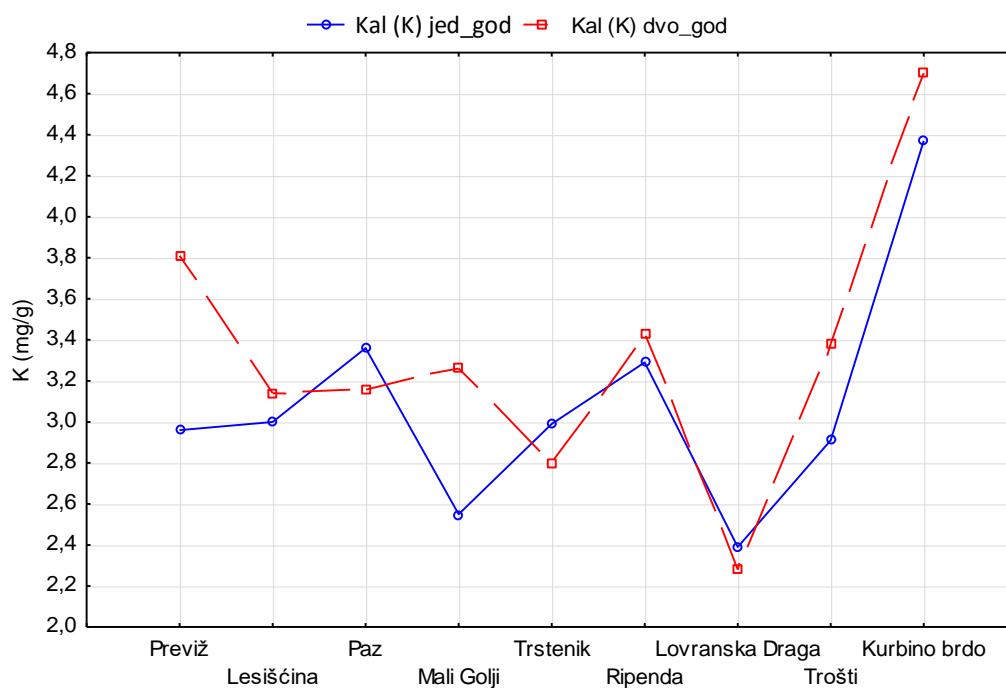
#### **3.2.4. Odnos ECM vrsta i plodišta, patogena i osutosti prema sadržaju kalija (K), dušika (N) i sumpora (S) u iglicama**

Rezultati analize jednogodišnjih i dvogodišnjih borovih iglica pokazuju različite razine ishrane. Sadržaj kalija (K) na svim je plohama ispod kritične razine opskrbljenosti od 5 mg/g u jednogodišnjim i dvogodišnjim iglicama (Slika 47). Plohe na flišnoj matičnoj podlozi pokazuju veću varijaciju između jednogodišnjih i dvogodišnjih iglica od ploha na vapnenačkoj matičnoj podlozi. Najniža razina opskrbljenosti kalijem za jednogodišnje i dvogodišnje iglice zabilježena je na plohi Lovranska Draga (2,29/2,28 mg/g), a najviša na plohi Kurbino brdo (4,37/4,70 mg/g).

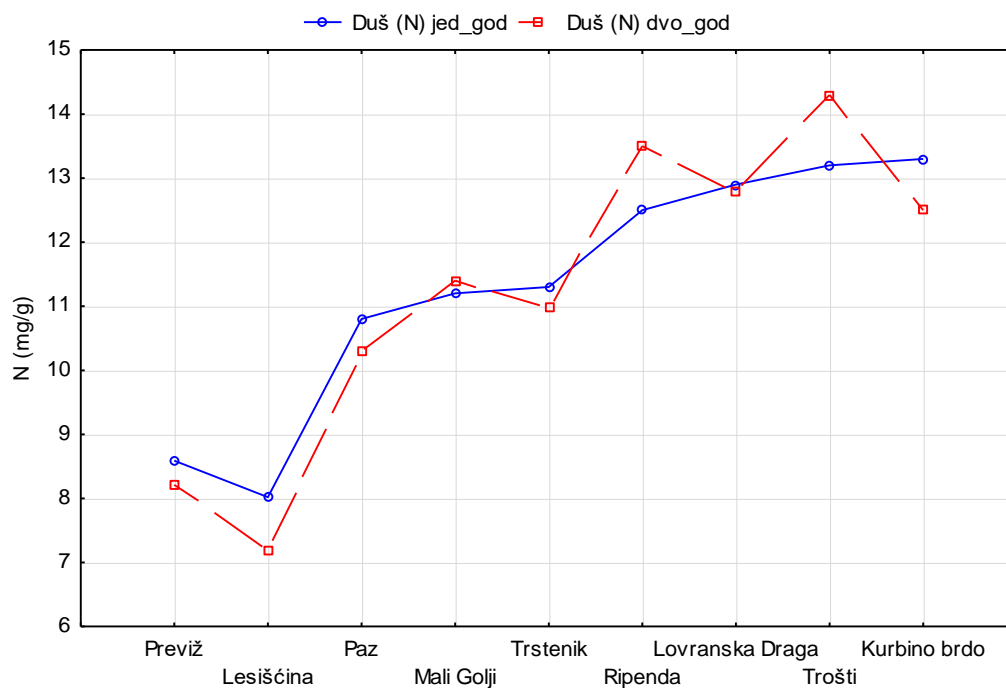
Sadržaj dušika (N) ispod kritične razine opskrbljenosti od 10 mg/g zabilježen je na plohama Previž (8,59/8,21 mg/g) i Lesišćina (8,02/7,20 mg/g), na flišnoj matičnoj podlozi gdje je zabilježena najniža opskrbljenost dušikom u jednogodišnjim i dvogodišnjim iglicama (Slika 48). Najviša razina opskrbljenosti dušikom zabilježena je na plohi Kurbino brdo (13,30 mg/g) u jednogodišnjim iglicama, odnosno plohi Trošti (14,30 mg/g) u dvogodišnjim iglicama. Sadržaj dušika pokazuje manju varijabilnost između jednogodišnjih i dvogodišnjih iglica prema varijabilnosti sadržaja kalija.

Prema sadržaju sumpora (S) u jednogodišnjim i dvogodišnjim borovim iglicama s najnižim vrijednostima se ističu plohe na flišnoj matičnoj podlozi, Lesišćina (0,74/0,60 mg/g) i Previž (0,76/0,74 mg/g) (Slika 49). Najviša razina sumpora u jednogodišnjim i dvogodišnjim iglicama zabilježena je na plohi Lovranska Draga (0,99/1,09 mg/g). Opskrbljenost dušikom

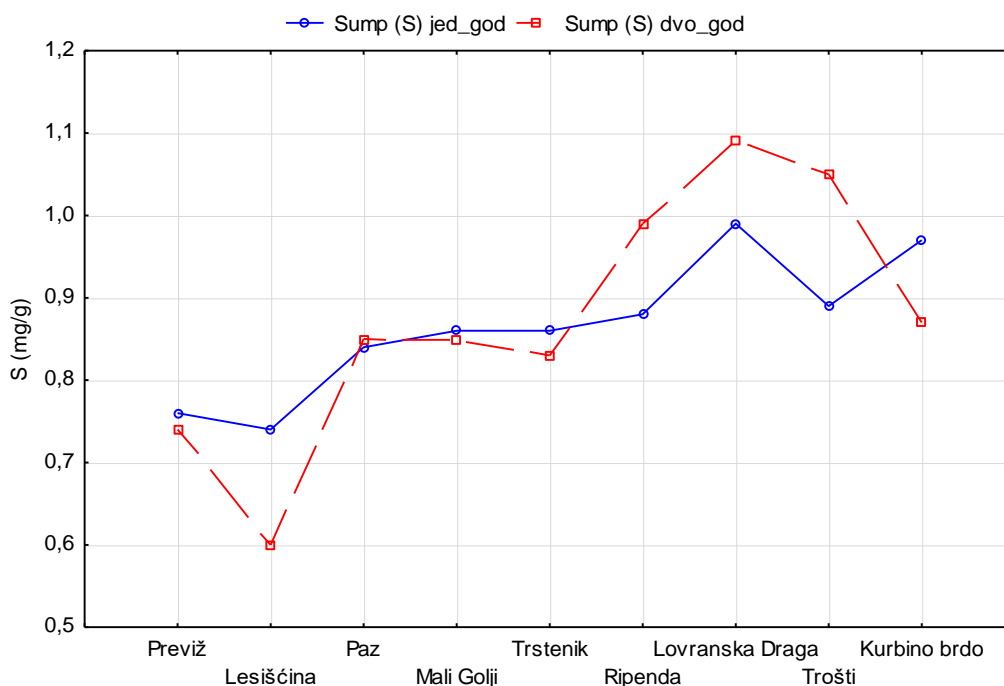
(N) i sumporom (S) na svim plohama pokazuje sličan trend. Manja je na flišnoj matičnoj podlozi i povećava se prema vapnenačkoj matičnoj podlozi.



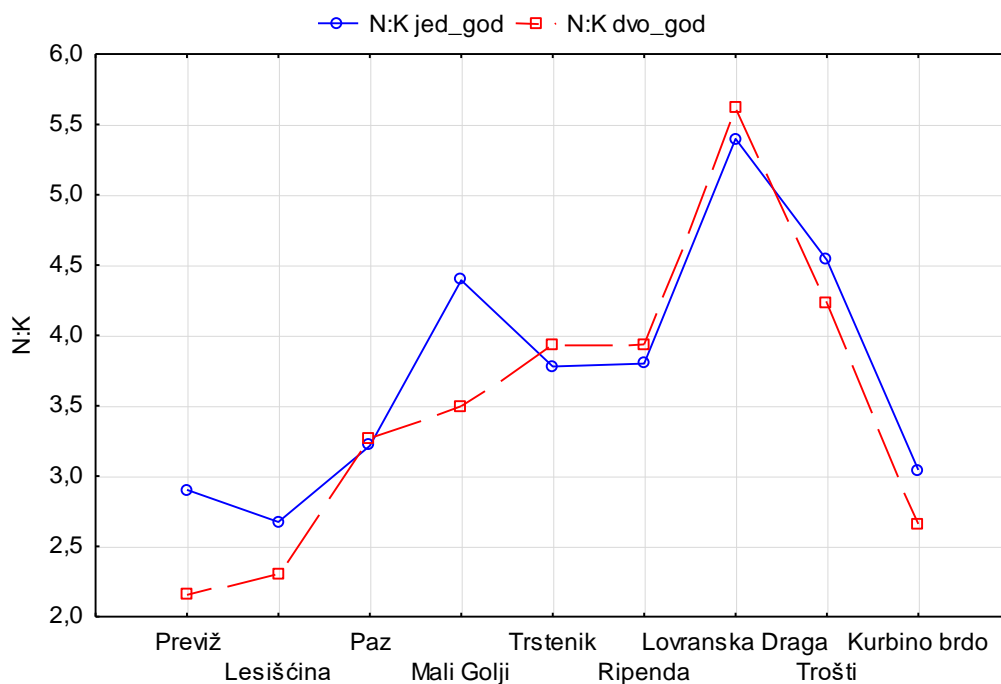
Slika 47. Prikaz analize kalija (K) u iglicama.



Slika 48. Prikaz analize dušika (N) u iglicama.



Slika 49. Prikaz analize sumpora (S) u iglicama.



Slika 50. Prikaz odnosa dušika i kalija (N:K) u iglicama.

Vrijednost odnosa dušika i kalija (N:K) u jednogodišnjim i dvogodišnjim borovim iglicama najniža je na plohama Previž i Lesišćina na kojima nije zabilježena *Sphaeropsis sapinea* te na plohi Kurbino brdo gdje je broj piknida na iglici bio vrlo visok (22,21) (Slika 50). Najveća vrijednost odnosa N:K zabilježena je na plohi Lovranska Draga (5,40/561). Dobiveni rezultat pokazuje da kulture s najvećim i najmanjim udjelima ECM vrsta gljiva imaju niže

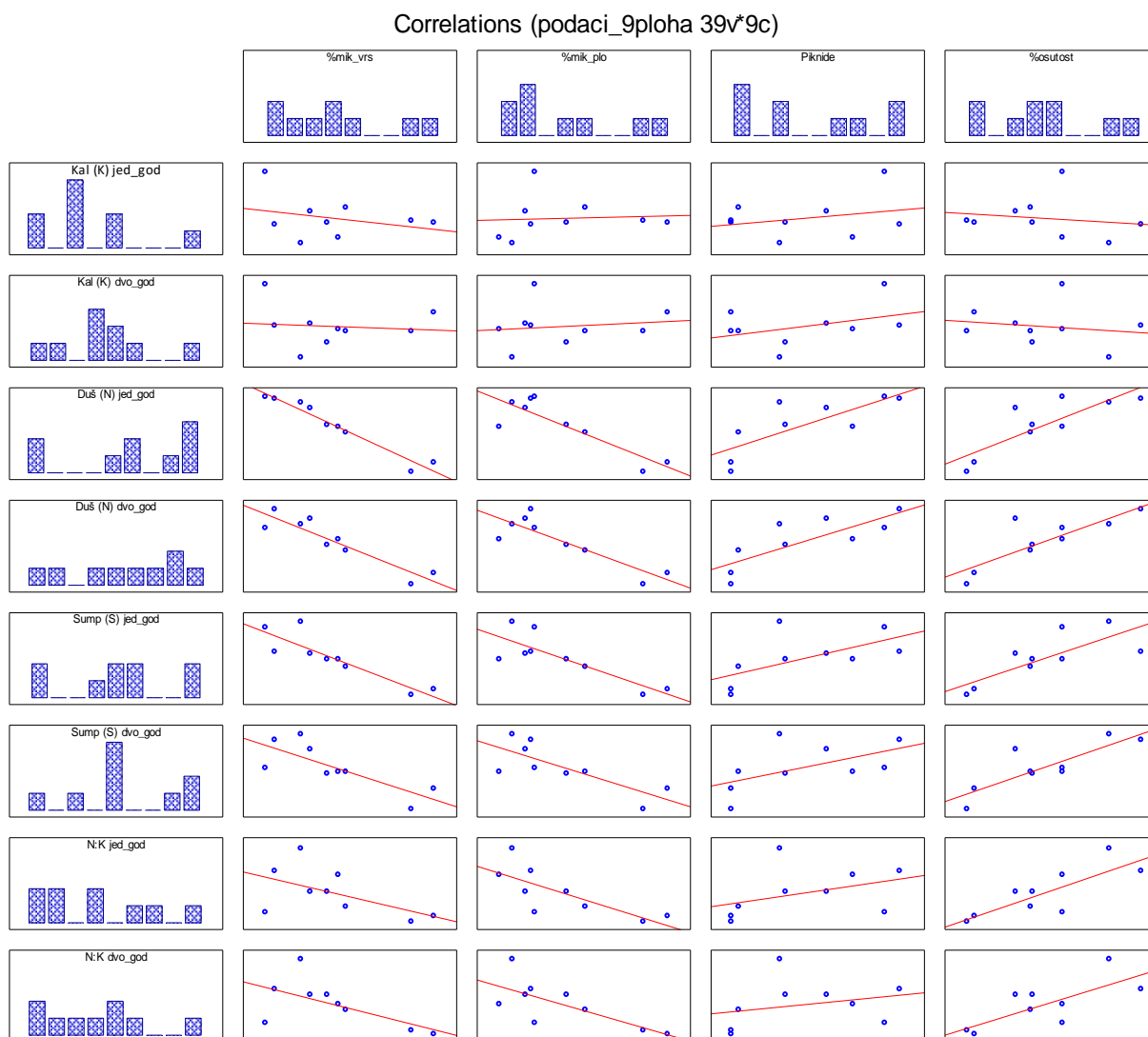
vrijednosti odnosa N:K pa u okviru ovog rada isti ne možemo smatrati pouzdanim pokazateljem.

Sadržaj kalija (K) u jednogodišnjim i dvogodišnjim iglicama pokazuje tek slabu i statistički neznčajnu korelaciju s udjelom ECM vrsta i plodišta, prosječnim brojem piknida i prosječnom osutošću krošanja stabala (Tablica 11). Sadržaj dušika (N) pokazuje srednje jaku do jaku i statistički značajnu korelaciju s analiziranim varijablama. Korelacija s udjelima ECM vrsta i plodišta je negativna, odnosno, povećanjem njihova udjela smanjuje se razina dušika u iglicama. U slučaju piknida i prosječne osutosti, korelacija je pozitivna, odnosno njihovim povećanjem raste i opskrbljenost dušikom. Opskrbljenost sumporom (S) u jednogodišnjim i dvogodišnjim iglicama pokazuje srednje jaku ili jaku statistički značajnu korelaciju sa svim analiziranim varijablama osim prosječnog broja piknida. Kao i kod dušika, negativna je kod udjela ECM vrsta i plodišta, a pozitivna naspram osutosti krošanja. Odnos dušika i kalija (N:K) pokazuje statistički značajnu negativnu korelaciju s udjelom ECM plodišta te pozitivnu s osutošću krošanja. Postoji srednje jaka negativna korelacija s udjelom ECM vrsta, ali nije statistički značajna te slaba pozitivna korelacija s prosječnim brojem piknida na iglici. Povezanost udjela ECM vrsta i plodišta, piknidama i osutosti krošanja prema sadržaju hranjiva u jednogodišnjim i dvogodišnjim iglicama prikazana je grafički (Slika 51).

Tablica 11. Korelacije između udjela ECM vrsta (%mik\_vrs), ECM plodišta (%mik\_plo), prosječnog broja piknida (Piknide) i prosječne osutosti stabala (%osutost) prema sadržaju kalija (K), dušika (N), sumpora (S) i odnosa N:K u jednogodišnjim i dvogodišnjim borovim iglicama.

\* - Statistički značajne korelacije ( $p < 0,05$ ).

	K jed_god	K dvo_god	N jed_god	N dvo_god	S jed_god	S dvo_god	N:K jed_god	N:K dvo_god
%mik_vrs	-0,2988 (p=,435)	-0,1006 (p=,797)	<b>-0,9766</b> (p=,000)*	<b>-0,9218</b> (p=,000)*	<b>-0,8913</b> (p=,001)*	<b>-0,7843</b> (p=,012)*	-0,5510 (p=,124)	-0,6043 (p=,085)
%mik_plo	0,0669 (p=,864)	0,1375 (p=,724)	<b>-0,8715</b> (p=,002)*	<b>-0,8696</b> (p=,002)*	<b>-0,8177</b> (p=,007)*	<b>-0,7777</b> (p=,014)*	<b>-0,7578</b> (p=,018)*	<b>-0,7143</b> (p=,031)*
Piknide	0,2692 (p=,484)	0,3957 (p=,292)	<b>0,7842</b> (p=,012)*	<b>0,8022</b> (p=,009)*	0,6087 (p=,082)	0,5605 (p=,116)	0,3976 (p=,289)	0,2732 (p=,477)
%osutost	-0,1639 (p=,674)	-0,1765 (p=,650)	<b>0,8317</b> (p=,005)*	<b>0,8270</b> (p=,006)*	<b>0,7745</b> (p=,014)*	<b>0,8377</b> (p=,005)*	<b>0,8081</b> (p=,008)*	<b>0,7394</b> (p=,023)*



Slika 51. Prikaz povezanosti između udjela ECM vrsta i plodišta, piknida i osutosti krošanja prema sadržaju kalija (K), dušika (N), sumpora (S) i odnosa N:K u jednogodišnjim i dvogodišnjim iglicama.

### 3.3. Mikobioindikacija i raznolikost gljiva

#### 3.3.1. Mikobioindikatorske vrste gljiva

U kulturama Previž, Lesišćina i Paz pojavilo se više osjetljivih ECM vrsta po čemu se ove kulture značajno razlikuju od ostalih (Slika 52). Evidentirano je po pet vrsta roda *Tricholoma* i roda *Suillus* među kojima se ističu rjeđe vrste *T. caligatum* (Viv.) Ricken, *Tricholoma focale* (Fr.) Ricken i *S. mediterraneensis* (Jacquet. & J. Blum) Redeuilh. Od hidnoidnih vrsta zabilježene su *Hydnum albidum* Peck, *Hydnum ferrugineum* (Fr.) P. Karst. i *Phellodon niger* (Fr.) P. Karst. Vrsta *Cantharellus lutescens* (Pers.) Fr. ujedno je bila vrsta s najviše plodišta tijekom ovog istraživanja. Ostale ECM vrste indikativne za zdrave kulture crnog bora su: *Lyophyllum aemiliae* Cons., *Suillus collinitus* (Fr.) Kuntze, *S. variegatus* (Sw.)

Kuntze i *Tricholoma terreum* (Schaeff.) P. Kumm. Saprotrofne vrste indikativne za zdrave kulture su: *Mycena pura* (Pers.) P. Kumm., *M. epipterygia* (Scop.) Gray i *Postia stiptica* (Pers.) Jülich.



Slika 52. Najvažnije indikatorske ECM i saprotrofne vrste evidentirane u zdravim kulturama crnog bora: a) *Hydnellum ferrugineum*, b) *Phellodon niger*, c) *Hydnum albidum*, d) *Suillus mediterraneensis*, e) *Tricholoma caligatum*, f) *Cantharellus lutescens* i g) *Mycena epipterygia*.



Slika 53. Najvažnije indikatorske ECM i saprotrofne vrste evidentirane u jače oštećenim i zaraženim kulturama crnog bora: a) *Clavulina coralloides*, b) *Ramaria gracilis*, c) *Chroogomphus rutilus*, d) *Lactarius chrysorrheus*, e) *Gymnopilus penetrans*, f) *Clitocybe nebularis* i g) *Pholiota gummosa*.





Slika 54. Ubikvisti i vrste bez indikatorskog značaja: (a) *Auriscalpium vulgare*, (b) *Baeospora myosura*, (c) *Mycena galopus*, (d) *Rhodocollybia butyracea*, (e) *Russula torulosa* i (f) *Suillus granulatus*.

Od ECM indikatorskih vrsta u jače oštećenim i zaraženim kulturama crnog bora zabilježene su sljedeće vrste (Slika 53): *Clavulina coralloides* (L.) J. Schröt., *Chroogomphus rutilus* (Schaeff.) O.K. Mill., *Lactarius atlanticus* Bon, *L. aurantiacus* (Pers.) Gray, *L. chrysorrhoeus* Fr., *Ramaria decurrens* (Pers.) R.H. Petersen, *R. gracilis* (Pers.) Qué., *Russula aurea* Pers. i *R. delica* Fr. Saprotrofne vrste indikativne za jače oštećene i zaražene kulture su sljedeće: *Clitocybe nebularis* (Batsch) P. Kumm., *Entoloma hebes* (Romagn.) Trimbach,

*Gymnopus erythropus* (Pers.) Antonín, Halling & Noordel., *Hypholoma fasciculare* (Huds.) P. Kumm., *Pholiota gummosa* (Lasch) Singer, *Xerula pudens* (Pers.) Singer. te lignikolna vrsta *Gymnopilus penetrans* (Fr.) Murrill koja je bila najbrojnija i česta vrsta u jače oštećenim i zaraženim kulturama.

U većini kultura crnog bora zabilježeni su sljedeći ubikvisti i vrste bez indikativnog značaja za ovo istraživanje (Slika 54): *Auriscalpium vulgare* Gray, *Baeospora myosura* (Fr.) Singer, *Mycena galopus* (Pers.) P. Kumm., *Rhodocollybia butyracea* (Bull.) Lennox, *Russula torulosa* Bres. i *Suillus granulatus* (L.) Roussel.

### 3.3.2. Bioraznolikost gljiva u odnosu na zdravstveno stanje borovih kultura

Bioraznolikost gljiva iskazana je bogatstvom vrsta (eng. *species richness*), pronađenih na pojedinoj plohi i ukupnim brojem vrsta. Za sve plohe izračunat je Shannon indeks raznolikosti, Simpson indeks dominantnosti te indeks jednakosti (eng. *Evenness*) (Tablica 12). Za plohe Trstenik, Mali Golji i Previž dodatno su izračunati indeksi na temelju trogodišnjih podataka (Tablica 13). Također, navedene su vrste koje su prvi put evidentirane u Hrvatskoj. Popis svih evidentiranih vrsta, njihova trofička pripadnost i broj plodišta u pojedinoj godini iskazan je u PRILOGU 4.

Tablica 12. Vrijednosti Shannon indeksa raznolikosti, Simpson indeksa dominantnosti i indeksa jednakosti (*Evenness*) za 2013. godinu.

Ploha	Broj vrsta	Shannon ( <i>H</i> )	Simpson ( <i>D</i> )	Evenness ( <i>E</i> )
Trošti	35	2,86	12,62	0,80
Trstenik	34	3,04	14,27	0,86
Lesišćina	33	2,54	7,15	0,73
Kurbino brdo	31	2,35	5,98	0,68
Previž	26	1,38	1,98	0,42
Ripenda	25	1,96	3,78	0,61
Mali Golji	18	1,79	3,11	0,62
Paz	15	2,17	6,71	0,80
Lovranska Draga	15	2,42	9,04	0,89
UKUPNO	124	3,27	9,46	0,68

Tablica 13. Vrijednosti Shannon indeksa raznolikosti, Simpson indeksa dominantnosti i indeksa jednakosti (*Evenness*) za trogodišnje razdoblje praćenja.

Ploha	Broj vrsta	Shannon ( <i>H</i> )	Simpson ( <i>D</i> )	Eveness ( <i>E</i> )
Trstenik	44	3,14	16,43	0,83
Previž	39	1,91	3,08	0,52
Mali Golji	30	2,21	4,41	0,65
UKUPNO	88	2,74	5,37	0,61

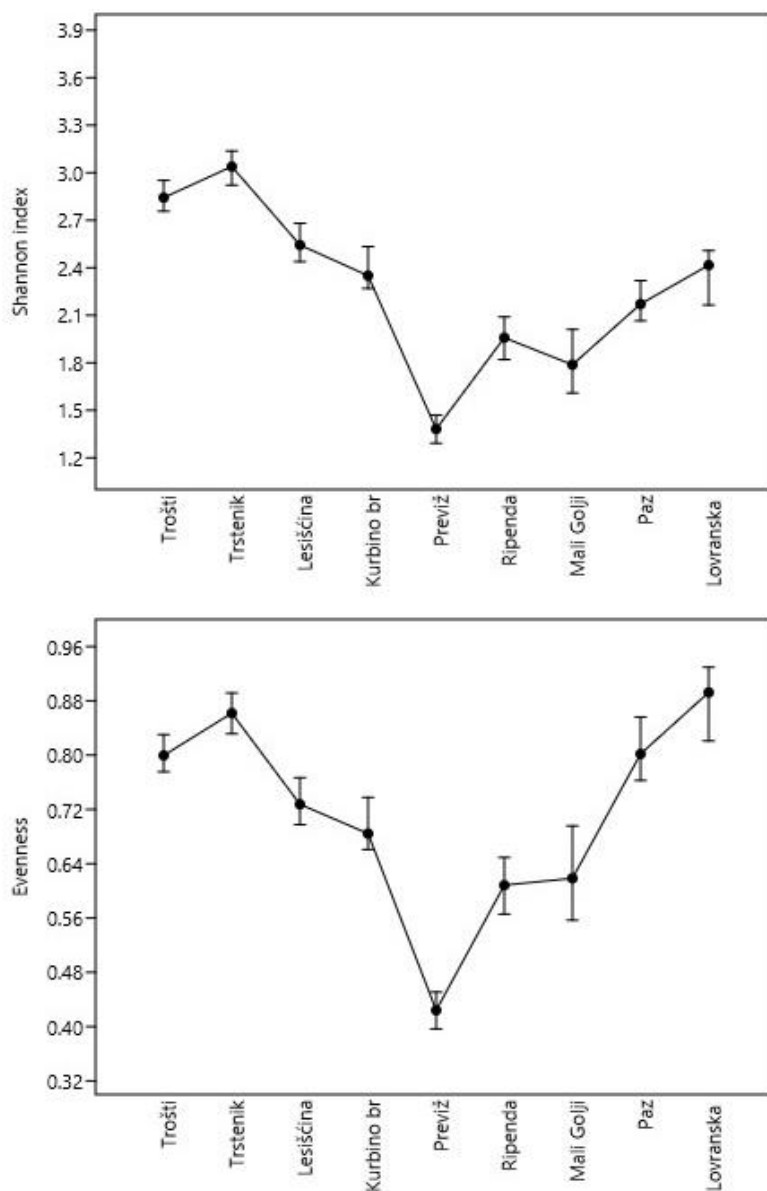
Najvišu vrijednost Shannon indeksa imala je ploha Trstenik (3,04) gdje je zabilježen i najviši Simpson indeks (14,27) (Tablica 12). Spomenute vrijednosti ukazuju da ploha Trstenik ima veliku raznolikost vrsta te kako postoji mala vjerojatnost da dvije nasumično odabrane jedinice pripadaju istoj vrsti. Indeks jednakosti od 0,86 ukazuje da su razlike u relativnoj brojnosti pojedinih vrsta također male. Slični rezultati dobiveni su i na plohama Trošti (2,86/12,62/0,80), Lovranska Draga (2,42/9,04/0,89) i Lesišćina (2,54/7,15/0,73). Najniži Shannon indeks raznolikosti imale su plohe Previž (1,38) i Mali Golji (1,79). Dvije navedene plohe imale su jednu ili nekoliko izrazito dominantnih vrsta zbog čega imaju nizak Simpson indeks. Grafički prikaz ukazuje na povezanost kretanja Shannon indeksa i indeksa jednakosti za 2013. godinu (Slika 55).

Također, indeksi jednakosti pokazuju da postoje veće razlike u relativnoj brojnosti pojedinih vrsta. Vrsta *Cantharellus lutescens* je bila izrazito dominantna na plohi Previž, a *Hypholoma fasciculare* na plohi Ripenda. Plohom Mali Golji dominirala je vrsta *Gymnopilus penetrans*.

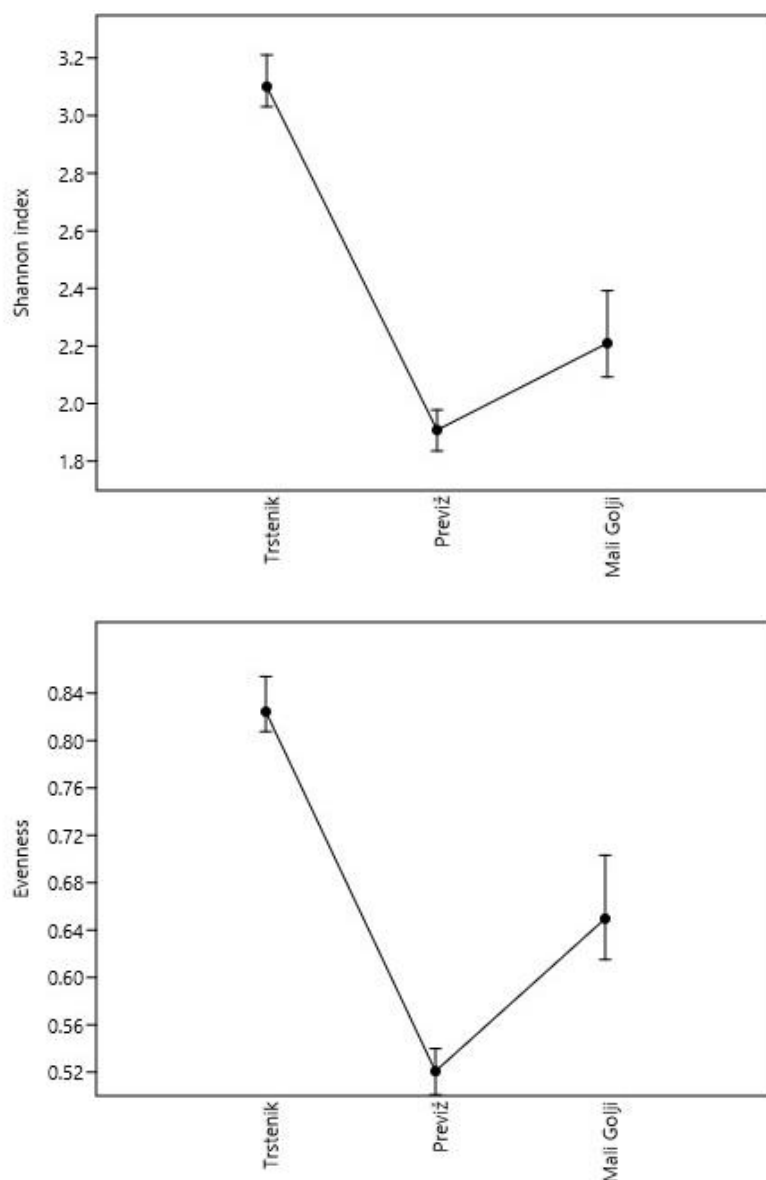
Gledamo li ukupan broj vrsta na svim plohama, zamjetan je relativno visok Shannon indeks (3,37), koji je veći od pojedinačnih vrijednosti za pojedine plohe. Simpson indeks (10,86) veći je od ukupnog samo na plohama Trstenik i Trošti. Indeks jednakosti promatran za ukupno istraživanje niži je od vrijednosti većine ploha što znači da je razlika u relativnoj brojnosti pojedinih vrsta velika (Tablica 12).

Promatrajući rezultate trogodišnjeg istraživanja na plohama Trstenik, Previž i Mali Golji (Tablica 13), najveću vrijednost Shannon indeksa imala je ploha Trstenik (3,14) gdje je zabilježen i najviši Simpson indeks (16,43). Indeks jednakosti od 0,83 ukazuje da su razlike u relativnoj brojnosti pojedinih vrsta također male. Najniže vrijednosti svih indeksa zabilježene su na plohi Previž. Simpson indeks ukazuje na izrazitu dominaciju jedne vrste, te je prema

indeksu jednakosti broj plodišta vrlo nejednako raspoređen po vrstama. Iz grafičkog prikaza vidljiva je povezanost kretanja Shannon indeksa i indeksa jednakosti za trogodišnje razdoblje praćenja (Slika 56).



Slika 55. Shannon indeks raznolikosti (a) i indeks jednakosti (b) za 2013. godinu. Vertikalne linije označavaju interval pouzdanosti od 95%.



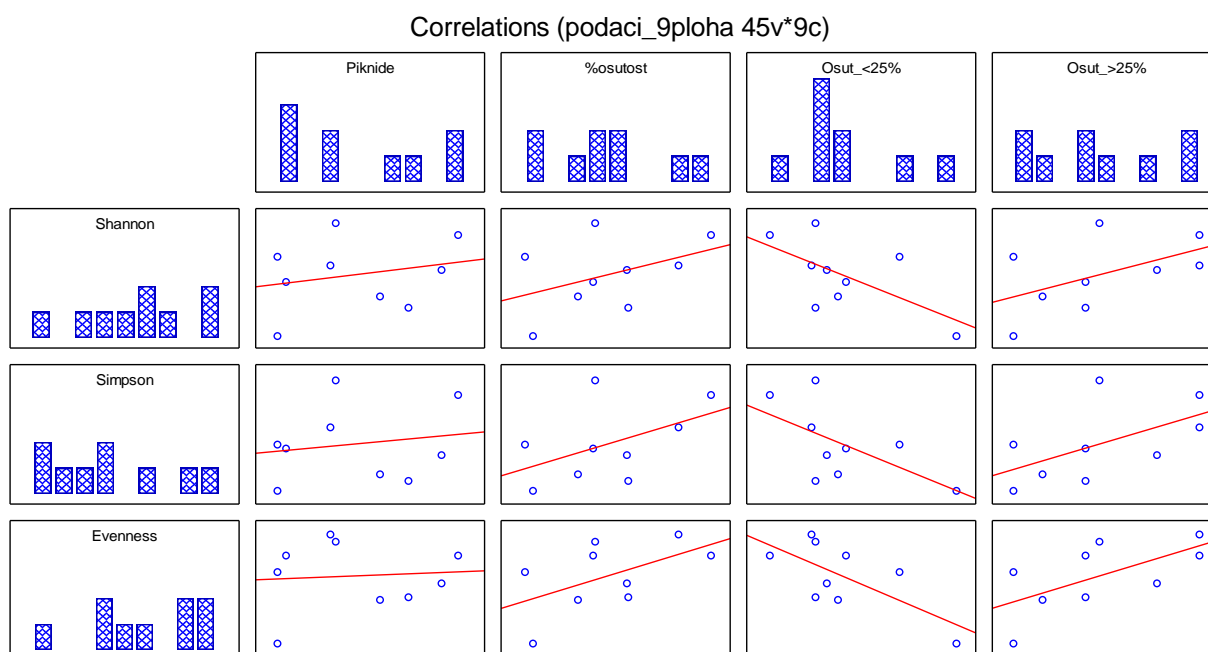
Slika 56. Shannon indeks raznolikosti (a) i indeks jednakosti (b) za trogodišnje razdoblje praćenja. Vertikalne linije označavaju interval pouzdanosti od 95%.

Indeksi raznolikosti pokazuju relativno slabu ili neznatnu korelaciju s prosječnim brojem piknida na iglici (**Tablica 14**). Shannon i Simpson indeks pokazuju relativno slabu do srednje jaku korelaciju prema prosječnoj osutosti krošanja te kategorijama manje ili značajno osutih stabala. Jednakost pokazuje srednje jaku korelaciju prema prosječnoj osutosti krošanja te kategorijama manje ili značajno osutih stabala. Korelacija s kategorijom manje osutih stabala je negativna i statistički značajna ( $r=-0,6837$ ,  $p=0,042$ ). Povezanost prosječnog broja piknida, prosječne osutosti stabala, broja manje osutih stabala i broja značajno osutih stabala prema Shannon indeksu, Simpson indeksu i jednakosti (*Evenness*) prikazana je grafički (**Slika 57**).

Tablica 14. Korelacije između prosječnog broja piknida (Piknide), prosječne osutosti stabala (%osutost), broja manje osutih stabala (Osut\_<25%) i broja značajno osutih stabala (Osut\_>25%) prema Shannon indeksu, Simpson indeksu i jednakosti (*Evenness*).

\* - Statistički značajne korelacije ( $p < 0,05$ ).

	Shannon	Simpson	Evenness
Piknide	0,2409 (p=,532)	0,1731 (p=,656)	0,0802 (p=,837)
% osutost	0,4250 (p=,254)	0,4862 (p=,184)	0,5435 (p=,130)
Osut_<25%	-0,6186 (p=,076)	-0,5962 (p=,090)	<b>-0,6837</b> <b>(p=,042)*</b>
Osut_>25%	0,5246 (p=,147)	0,5667 (p=,112)	0,6351 (p=,066)

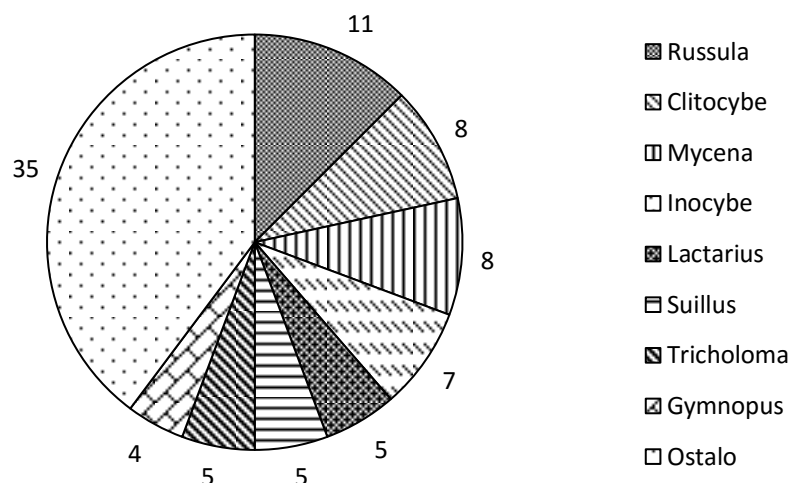


Slika 57. Prikaz povezanosti između prosječnog broja piknida (Piknide), prosječne osutosti stabala (%osutost), broja manje osutih stabala (Osut\_<25%) i broja značajno osutih stabala (Osut\_>25%) prema Shannon indeksu, Simpson indeksu i jednakosti (*Evenness*).

U cijelom istraživanju (na tri plohe od 2011-2013. te na dodatnih šest ploha tijekom 2013.), ukupno je zabilježena 141 gljivlja vrsta iz 50 rodova. Tijekom trogodišnjeg praćenja tri plohe (2011-2013.) zabilježeno je ukupno 88 vrsta gljiva (47 ECM / 41 saprotrofna) iz 37 različitih rodova. Najzastupljeniji je bio ECM rod *Russula* s ukupno 11 vrsta, odnosno udjelom od 12,50%. Po osam vrsta evidentirano je u saprotrofnim rodovima *Clitocybe* i *Mycena* s udjelima od 9,09%, sedam vrsta evidentirano je kod ECM roda *Inocybe* (7,95%), po

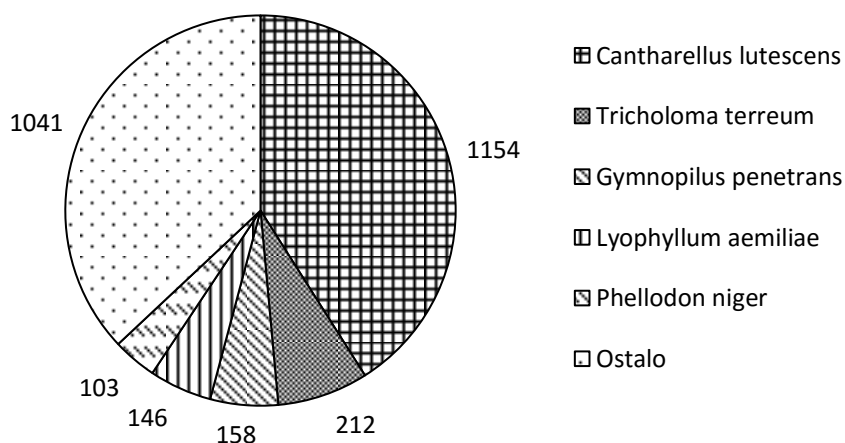
pet vrsta u ECM rodovima *Lactarius*, *Suillus* i *Tricholoma* (5,68%), te četiri vrste u saprotrofnom rodu *Gymnopus*, odnosno udjelom od 4,55%. Ostalih 35 vrsta činilo je udio od 39,77% u ukupnom broju vrsta (Slika 58).

**Distribucija vrsta (2011-2013)**



Slika 58. Distribucija vrsta unutar rodova prema rezultatima trogodišnjeg praćenja. Rodovi koji su imali 1-3 vrste uvršteni su u kategoriju ostalo.

**Distribucija plodišta (2011-2013)**

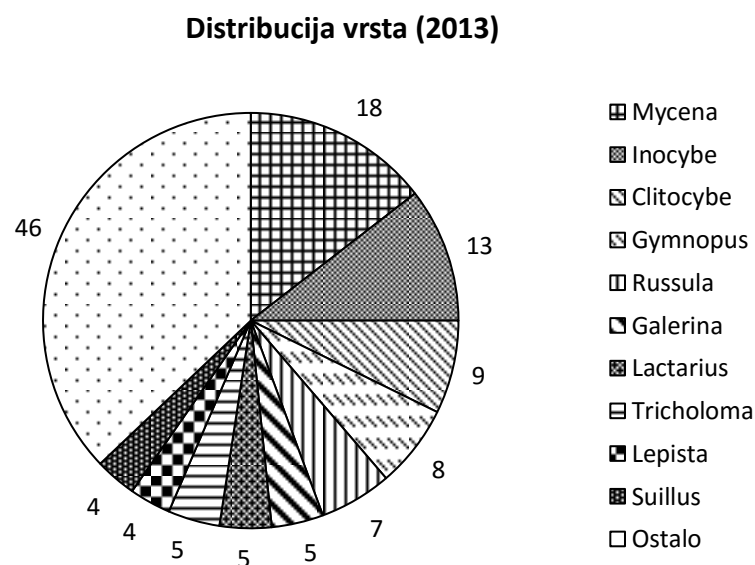


Slika 59. Distribucija plodišta unutar vrsta prema rezultatima trogodišnjeg praćenja. Vrste koje su imale manje od 100 plodišta uvrštene su u kategoriju ostalo.

Od ukupno pet vrsta koje su imale više od 100 plodišta četiri su ECM, dok je jedna vrsta saprotrofna (Slika 59). Od ukupnog broja evidentiranih plodišta, 36,99% otpada na vrste

koje su imale manje od 100 plodišta tijekom trogodišnjeg praćenja. S najvećim brojem plodišta dominirala je ECM vrsta *Cantharellus lutescens* (ukupno 1154 plodišta ili 41,01%). Ista je bila najbrojnija i tijekom 2013. godine s evidentiranih 966 plodišta na plohi Previž. Ostale ECM vrste koje su imale više od 100 plodišta bile su *Tricholoma terreum*, *Lyophyllum aemilie* i *Phellodon niger*, te saprotrofna vrsta *Gymnopilus penetrans* (ukupno 158 plodišta ili 5,61%).

Tijekom 2013. godine na devet ploha zabilježene su ukupno 124 vrste gljiva (51 ECM / 73 saprotrofne) iz 48 različitih rodova. Najveći broj vrsta zabilježen je u saprotrofnom rodu *Mycena* (ukupno 18 vrsta ili 14,52%), te ECM rodu *Inocybe* (ukupno 13 vrsta ili 10,48%). Značajnije su još bili zastupljeni ECM rodovi *Russula* (ukupno 7 vrsta ili 5,65%), *Lactarius* i *Tricholoma* s po pet vrsta (4,03%), te rod *Suillus* (ukupno 4 vrste ili 3,23%). Od saprotrofnih rodova značajnije su bili zastupljeni *Clitocybe* (ukupno 9 vrsta ili 7,26%), *Gymnopus* (ukupno 8 vrsta ili 6,45%), *Galerina* (ukupno 5 vrsta ili 4,03%), i *Lepista* (ukupno 4 vrste ili 3,23%). Ostalih 46 vrsta bilo je raspoređeno unutar rodova koji su imali jednu do tri vrste tijekom 2013. godine s udjelom od 37,10% u ukupnom broju vrsta (Slika 60).

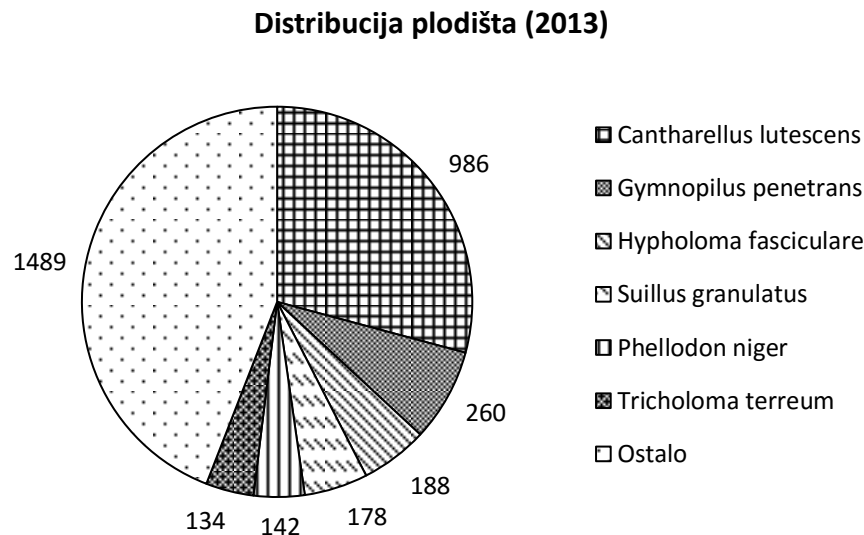


Slika 60. Distribucija vrsta unutar rodova prema rezultatima za 2013. godinu. Rodovi koji su imali 1-3 vrste uvršteni su u kategoriju ostalo.

Od ukupno pet vrsta s više od 100 plodišta četiri su ECM, dok su dvije vrste saprotrofne. Od ukupnog broja evidentiranih plodišta, 44,09% otpada na vrste koje su imale manje od 100 plodišta tijekom 2013. godine (Slika 61). S najvećim brojem plodišta dominirala je ECM vrsta *Cantharellus lutescens* (ukupno 986 plodišta ili 29,20%). Ostale ECM vrste koje su imale više od 100 plodišta bile su *Suillus granulatus*, *Phellodon niger* i *Tricholoma*



*terreum*, te saprotrofne vrste *Gymnopilus penetrans* i *Hypholoma fasciculare*. Vrste *Suillus granulatus* i *Mycena galopus* jedine su evidentirane na svim plohama i tijekom sve tri godine praćenja.



Slika 61. Distribucija plodišta unutar vrsta prema rezultatima za 2013. godinu. Vrste koje su imale manje od 100 plodišta uvrštene su u kategoriju ostalo.

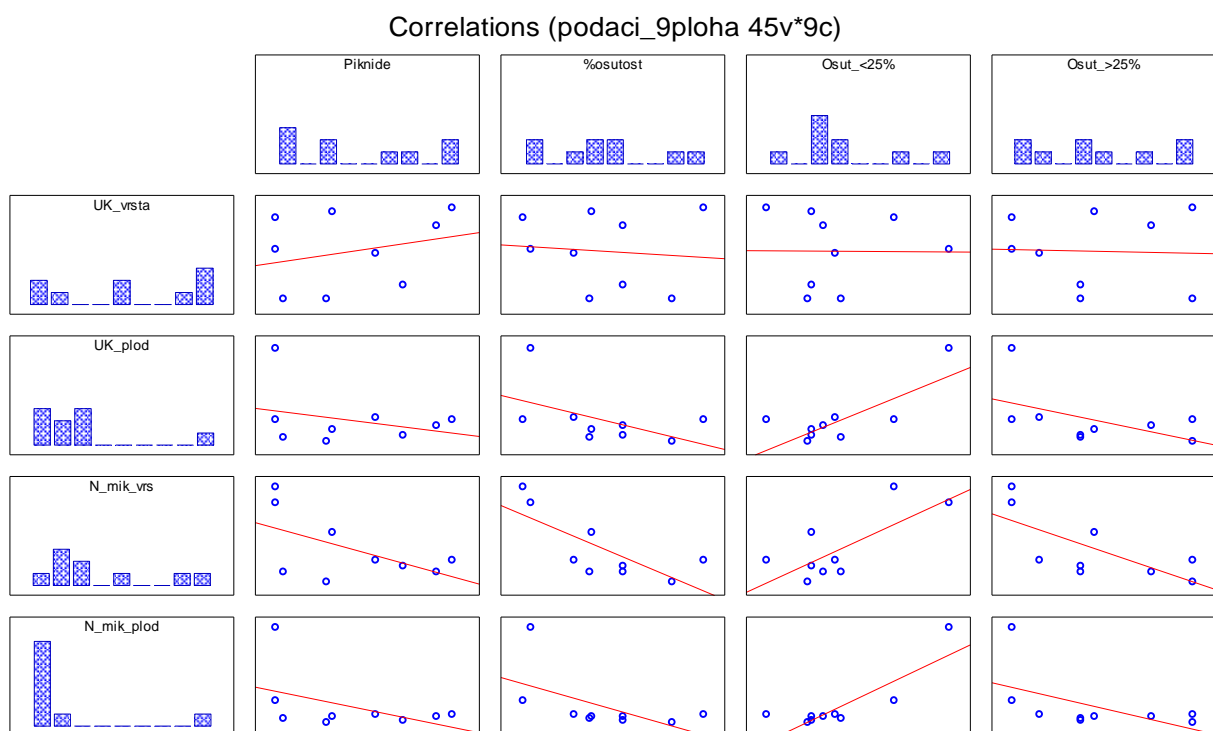
Ukupan broj vrsta zabilježenih tijekom 2013. godine pokazuje odsutnost ili relativno slabu korelaciju s varijablama zdravstvenog stanja borovih kultura (prosječan broj piknida, prosječna osutost i kategorije osutosti) (Tablica 15). Ukupan broj plodišta pokazuje relativno slabu do srednje jaku negativnu korelaciju s brojem piknida, osutošću i brojem značajno osutih stabala te statistički značajnu pozitivnu korelaciju s brojem manje osutih stabala ( $r=0,7758$ ,  $p=,014$ ). Korelacija između broja mikoriznih vrsta i piknida je negativna i srednje jaka te nije statistički značajna. Broj mikoriznih vrsta statistički je značajno povezan s prosječnom osutošću te brojem manje i značajno osutih stabala. Korelacija je pozitivna prema broju manje osutih stabala ( $r=0,7409$ ,  $p=,022$ ), a negativna prema prosječnoj osutosti ( $r=-0,7563$ ,  $p=,018$ ) i broju značajno osutih stabala ( $r=-0,7169$ ,  $p=,030$ ). Broj mikoriznih plodišta pokazuje relativno slabu do srednje jaku negativnu korelaciju s brojem piknida, osutošću i brojem značajno osutih stabala te jaku, statistički značajnu pozitivnu korelaciju prema broju manje osutih stabala ( $r=0,8480$ ,  $p=,004$ ). Povezanost prosječnog broja piknida, prosječne osutosti stabala, broja manje osutih stabala i broja značajno osutih stabala prema ukupnom

broju vrsta, ukupnom broju plodišta, broju mikoriznih vrsta i broju mikoriznih plodišta prikazana je grafički (Slika 62).

Tablica 15. Korelacije između prosječnog broja piknida (Piknide), prosječne osutosti stabala (%osutost), broja manje osutih stabala (Osut\_<25%) i broja značajno osutih stabala (Osut\_>25%) prema ukupnom broju vrsta (UK\_vrsta), ukupnom broju plodišta (UK\_plod), broju mikoriznih vrsta (N\_mik\_vrs) i broju mikoriznih plodišta (N\_mik\_plod).

\* - Statistički značajne korelacije ( $p < 0,05$ ).

	UK_vrsta	UK_plod	N_mik_vrs	N_mik_plod
Piknide	0,2730 (p=,477)	-0,3043 (p=,426)	-0,5635 (p=,114)	-0,4619 (p=,211)
% osutost	-0,1002 (p=,798)	-0,5129 (p=,158)	<b>-0,7563</b> <b>(p=,018)*</b>	-0,5619 (p=,115)
Osut_<25%	-0,0085 (p=,983)	<b>0,7758</b> <b>(p=,014)*</b>	<b>0,7409</b> <b>(p=,022)*</b>	<b>0,8480</b> <b>(p=,004)*</b>
Osut_>25%	-0,0397 (p=,919)	-0,5183 (p=,153)	<b>-0,7169</b> <b>(p=,030)*</b>	-0,5408 (p=,133)



Slika 62. Prikaz povezanosti između prosječnog broja piknida (Piknide), prosječne osutosti stabala (%osutost), broja manje osutih stabala (Osut\_<25%) i broja značajno osutih stabala (Osut\_>25%) prema ukupnom broju vrsta (UK\_vrsta), ukupnom broju plodišta (UK\_plod), broju mikoriznih vrsta (N\_mik\_vrs) i broju mikoriznih plodišta (N\_mik\_plod).

Linearni regresijski model odnosa piknida prema prema ukupnom broju vrsta nije statistički značajan i pokazuje slabu korelaciju s ukupnim brojem vrsta po plohama (Tablica 16). Odnos piknida i broja mikoriznih vrsta pokazuje srednje jaku pozitivnu korelaciju, ali ne i

statistički značajnu. Međutim, piknide pokazuju statistički značajnu ovisnost o kombinaciji dviju nezavisnih varijabli (ukupan broj vrsta i broj mikoriznih vrsta) u linearnom regresijskom modelu čiji koeficijent determinacije ( $R^2$ ) opisuje 75,72% varijabilnosti piknida na iglicama. Prilagođeni koeficijent determinacije (Adj.  $R^2$ ) opisuje 67,63% iste varijabilnosti. Koeficijent korelacije između broja mikoriznih vrsta i broja piknida na iglici je negativan ( $r=-0,8589$ ) što ukazuje da se povećanjem broja mikoriznih vrsta smanjuje broj piknida na iglici.

Tablica 16. Linearna regresija prosječnog broja piknida na iglici prema ukupnom broju vrsta (UK\_vrsta), broju mikoriznih vrsta (N\_mik\_vrs) i kombinaciji obje varijable u kulturama crnog bora u Istri.

\* - Statistički značajne korelacije ( $p<0,05$ ).

( ) – predznak koeficijenta korelacije.

Piknide UK_vrsta		Piknide N_mik_vrs		Piknide UK_vrsta; N_mik_vrs	
UK_vrsta	p=0,4772 (+)	N_mik_vrs	p=0,1141 (+)	UK_vrsta	p=0,0063* (+)
				N_mik_vrs	p=0,0164* (-)
				Total	p=0,0143*
	$R^2=0,0746$		$R^2=0,3175$		$R^2=0,7572$
	Adj. $R^2=$ -----		Adj. $R^2=0,2200$		Adj. $R^2=0,6763$

Tijekom istraživanja prvi put je zabilježeno sedam novih vrsta za Hrvatsku mikobiotu čime je povećano znanje o rasprostranjenosti i raznolikosti gljivljih vrsta u Hrvatskoj (Tablica 17; Slika 63). Iz tablice je vidljivo da se većina novih vrsta pojavila ili ponovila u 2013. godini koja je bila klimatski vrlo povoljna za produkciju plodišta gljiva (Tablica 17). Također, iz tablice je moguće vidjeti varijabilnost pojavljivanja gljivljih plodišta što potvrđuje potrebu dugoročnog praćenja gljiva na trajnim plohama kako bi se evidentirala većina vrsta.



Slika 63. Vrste gljiva prvi put evidentirane u Hrvatskoj; a) *Boletopsis grisea*, b) *Galerina badipes*, c) *Galerina vittiformis*, d) *Lyophyllum aemiliae*, e) *Ramaria decurrens*, f) *Tricholoma focale* i g) *Tricholoma stans*.

Tablica 17. Popis novih vrsta za Hrvatsku mikobiotu.

Vrsta	Lokacija nalaza	Datum prvog nalaza	Godina nalaza	Ukupan broj nalaza	Ukupan broj plodišta
<i>Boletopsis grisea</i> (Peck) Bondartsev & Singer	Lesišćina	28/10/2013	2013	1	1
<i>Galerina badipes</i> (Pers.) Kühner	Trošti, Kurbino brdo	17/10/2013	2013	3	16
<i>Galerina vittiformis</i> (Fr.) Singer	Mali Golji, Trošti	14/11/2012	2012, 2013	4	9
<i>Lyophyllum aemiliae</i> Cons.	Previž, Lesišćina	15/11/2011	2011, 2012, 2013	13	156
<i>Ramaria decurrens</i> (Pers.) R.H. Petersen	Trošti, Kurbino brdo	02/10/2013	2013	3	5
<i>Tricholoma focale</i> (Fr.) Ricken	Previž	29/11/2011	2011, 2012	3	10
<i>Tricholoma stans</i> (Fr.) Sacc.	Previž, Trstenik	14/11/2011	2011, 2012, 2013	3	5

## 4. RASPRAVA

### 4.1. Ovisnost rezultata o metodologiji istraživanja

Prilikom planiranja ovog istraživanja, jedna od glavnih postavki koju je trebalo definirati bila je veličina ploha i frekvencija uzorkovanja plodišta makrogljiva. Iz dostupne literature vidljiva je velika varijabilnost u postavljanju broja istraživačkih ploha, njihove veličine i frekvencije uzorkovanja. Također, bitnim se pokazalo i trajanje istraživanja, odnosno razdoblje praćenja. Plodišta makrogljiva pokazuju veliku varijaciju u pojavljivanju i brojnosti (ovisno o sezoni), zahtijevaju duže razdoblje praćenja te veće iskustvo prilikom identifikacije. Iz navedenog je vidljivo kako pri istraživanju makrogljiva u usporedbi s istraživanjem vegetacije postoje specifični problemi. Zbog različite metodologije postavljanja ploha, učestalosti uzorkovanja, identifikacije i trajanja samih istraživanja, teško je uspoređivati dobivene rezultate različitih autora, tj. istraživanja.

Na području rasprostranjenosti crnog bora u Istri, gdje je provedeno ovo istraživanje, postoji velika varijabilnost stanišnih uvjeta. Borove kulture nalaze se na različitim matičnim podlogama, tipovima tala, nagibima, ekspozicijama i nadmorskim visinama (**Tablica 4**). Navedene činjenice čine izbor istraživačkih ploha vrlo važnim procesom u postavljanju samog istraživanja kako bi se pokrila ukupna varijabilnost staništa crnog bora. Sljedeći problem, koji je uvelike utjecao na određivanje veličine istraživačkih ploha, znatna je nehomogenost borovih kultura, odnosno veličina same kulture. Često su iste ispresijecane dijelovima autohtonih šumskih zajednica, pa postavljanje velikih ploha od 1000 ili više m<sup>2</sup> nije bilo moguće u okviru ovog istraživanja. Također, primarni cilj istraživanja bio je utvrditi odnose trofičkih grupa i njihov odnos prema zarazi sa *Sphaeropsis sapinea* i osutosti krošanja, prije nego samo bogatstvo vrsta.

Kroz pregled dostupne literature vidljivo je da veličina ploha za ovaj tip istraživanja varira od 300 m<sup>2</sup> (Straatsma et al. 2001; Egli 2011), 500 m<sup>2</sup> (Pál-Fám 2011), 900 m<sup>2</sup> (Dunham et al. 2007), 1000 m<sup>2</sup> (Termorshuizen i Schaffers 1987) do 2500 m<sup>2</sup> (Fellner i Pešková 1995; Pešková 2005; Matočec et al. 2000), ili su korištene plohe nejednake veličine od 0,5 do 1,6 ha (Straatsma i Krisai-Greilhuber 2003). Prema istraživanju Martinez de Aragon et al. (2007), veličina plohe ne utječe značajno na rezultat o produktivnosti gljiva, ali je značajna za evidentiranje bogatstva vrsta. Suprotno tome, Norwell i Exeter (2004) smatraju da je produžena sezona pojavljivanja plodišta gljiva potencijalno jedini i najvažniji faktor koji utječe na povećanje raznolikosti, te da bogatstvo vrsta nije vezano za povećanje istraživane

površine nego uz veći broj uzorkovanja tijekom sezone pojavljivanja plodišta. Kod pojedinih istraživanja nasumično su birana stabla različitog stupnja oštećenosti (Mosca et al. 2007; Montecchio et al. 2009; Scattolin et al. 2012). U Sjevernoj Americi često su korišteni uzdužni transekti s podplohama (O'Dell et al. 1999; Taylor i Bruns 1999) koji zbog prije navedenih obilježja kultura crnog bora nisu razmatrani za ovo istraživanje. U nekoliko istraživanja korištena je i veličina ploha od 400 m<sup>2</sup> (Lisiewska i Połczyńska 1998; Timling et al. 2012; Baird et al. 2014) koja je uzeta kao optimalna i za ovo istraživanje, s obzirom na prije navedenu problematiku. Frekvencija uzorkovanja također se razlikuje između različitih istraživanja. Za usporedbu, kod Fellnera i Peškové (1995) i Peškové (2005) frekvencija je bila svaka tri do četiri tjedna. Tijekom dugogodišnjeg istraživanja gljiva u Švicarskoj, plohe su obilježene svaki tjedan (Egli 2011), a u Austriji tijekom sedam godina svakih 14 dana, od ožujka do studenog (Straatsma i Krisai-Greilhuber 2003).

Odabrana veličina ploha i frekvencije uzorkovanja u ovom istraživanju omogućile su kvalitetno praćenje dinamike pojavljivanja i raznolikosti gljivljih vrsta. Tome u prilog govori i usporedba s mikocenološkim istraživanjem kultura crnog bora u talijanskoj regiji Liguriji. Iako rezultate treba uspoređivati s oprezom jer je korištena različita veličina ploha, moguće je utvrditi pojedine sličnosti, odnosno razlike. Kulture na serpentinu u Liguriji su tijekom trogodišnjeg istraživanja pokazale mnogo manju raznolikost i bogatstvo vrsta (Zotti et al. 2013). Na 11 ploha veličine 1000 m<sup>2</sup> tijekom tri godine istraživanja zabilježene su 94 vrste gljiva. U usporedbi s kulturama u Istri gdje je praćeno devet znatno manjih ploha samo tijekom 2013. godine, a zabilježene su 124 vrste gljiva, to je mnogo manja raznolikost vrsta. Vrijedi usporediti i tri plohe u Istri (Trstenik, Previž i Mali Golji) koje su praćene tijekom tri godine gdje je zabilježeno ukupno 88 vrsta gljiva u usporedbi s 94 vrste iz Ligurije na 11 ploha. U borovim kulturama u Istri tijekom 2013. godine najbrojnija je bila ECM vrsta *Cantharellus lutescens*, zatim *Suillus granulatus*, *Phellodon niger* i *Tricholoma terreum* te saprotrofne vrste *Gymnopilus penetrans* i *Hypholoma fasciculare*. Za usporedbu, u Liguriji su najbrojnije bile ECM vrste *Suillus bovinus*, *Russula sardonia*, *Lactarius deliciosus* i *Russula caerulea* te saprotrofne vrste *Hygrophoropsis aurantiaca*, *Strobilurus tenacellus* i *Gymnopilus penetrans* (Zotti et al. 2013).

Možemo pretpostaviti da bi nastavak praćenja ploha u Istri rezultirao daljnjim povećanjem broja zabilježenih vrsta gljiva, među kojima vjerojatno i novih vrsta za nacionalnu mikobiotu. U gljivljem rezervatu La Chanéaz u Švicarskoj, tijekom 32 godine kontinuiranog praćenja zabilježeno je 418 gljivljih vrsta. Od toga je 25% vrsta zabilježeno

tijekom prve godine istraživanja, polovica zabilježenih vrsta dostignuta je do sedme godine istraživanja, dok je u drugoj polovici istraživanja zabilježeno 25% vrsta (Egli 2009). Primijenimo li ovu dinamiku povećanja broja zabilježenih vrsta na istraživane borove kulture u Istri, u sljedećih sedam godina mogli bismo očekivati još 100-150 zabilježenih vrsta. S obzirom na opću nisku istraženost mikrobiote, mogao bi se dogoditi i pronalazak još neopisane vrste za znanost.

Iako plodišta gljiva imaju kratak vijek trajanja, pravilnim planiranjem istraživanja i uz odgovarajuću frekvenciju uzorkovanja moguće je zabilježiti većinu vrsta na istraživanom području. Jedna od glavnih prednosti proučavanja plodišta umjesto morfotipova ili DNA sekvenci je popis vrsta koji se dobije takvim istraživanjima (za većinu gljivljih vrsta još uvijek ne postoje podaci o njihovim DNA sekvencama). Generalno, takva su istraživanja i mnogo jeftinija od molekularnih (Schmit i Lodge 2005). Našim je istraživanjem zabilježeno sedam novih vrsta za Hrvatsku mikobiotu čime je istovremeno povećano znanje o raznolikosti i rasprostranjenosti gljivljih vrsta u Hrvatskoj.

#### **4.2. Mikrostanišni uvjeti**

Šumska staništa su najprikladnija za istraživanje makrogljiva zbog velikog bogatstva vrsta u njima. Na taj je način moguće najbolje utvrditi povezanost makrogljiva, biljnih zajednica (Bujakiewicz 1992) te ostalih abiotskih i biotskih čimbenika. Prvi je to uočio Ferry u drugoj polovici 19. stoljeća (Kost 1992) te je počeo istraživati odnos između mikrobiote i njenog staništa, na primjer tipove šuma i geološke značajke. Istraživanje mikrobiote otežava heterogenost samih šumskih sastojina jer vrlo rijetko imaju samo jednu vrstu drveća. One su većinom mješovite, ali je jedna vrsta uglavnom dominantna (Moser 2004). Shaw et al. (2003) i Bueé et al. (2011) navode kako je prostorna i vremenska varijabilnost razlagača i ektomikoriznih gljivljih zajednica utjecana s više biotskih i abiotskih čimbenika, uključujući sezonalnost, heterogenost mikrostaništa, kvalitetu tla i organske tvari, dob sastojine, vrstu biljnog domaćina i gospodarenje. To potvrđuju i rezultati ovog istraživanja jer su u kulturama s istom glavnom vrstom drveća zabilježene različite mikocenoze i bogatstvo vrsta.

Jedan od najvažnijih abiotskih čimbenika koji utječu na produkciju gljivljih plodišta svakako su temperatura i količina oborina, ali samo pomoću njih nije moguće objasniti varijabilnost pojavljivanja gljivljih plodišta (Bonet et al. 2004). Tijekom praćenja tri plohe (Trstenik, Previž i Mali Golji) u trogodišnjem razdoblju zabilježena je velika varijacija u brojnosti plodišta makrogljiva dok je varijabilnost broja vrsta bila manja. Vrlo malu



produktivnost plodišta i vrsta tijekom 2011. godine moguće je objasniti rekordno niskom prosječnom količinom oborina i vrlo dugim sušnim razdobljem (Slika 26). Suprotno tome, 2013. godine je zabilježena iznadprosječna godišnja količina oborina što je pogodovalo produkciji gljivljih plodišta. Takva varijabilnost u produciranju plodišta i bogatstvu vrsta između pojedinih godina je očekivana budući da je dobro dokumentirana dugogodišnjim istraživanjima u Austriji, Švicarskoj i Španjolskoj (Straatsma et al. 2001; Straatsma i Krisai-Greilhuber 2003; Bonet et al. 2004; Egli 2011).

Poznato je da su određene vrste gljiva acidofilne, druge bazofilne, pa već prema njihovoj prisutnosti možemo odrediti neke značajke staništa (Egli 2011). Rezultati analize tla na istraživanim lokacijama pokazuju kiseliji supstrat kod većine ploha u humusno-akumulativnom sloju, što se može pripisati velikoj količini otpalih iglica na tlu. Unatoč tome, nekoliko ploha ipak pokazuje bazičnu pH reakciju, a nije utvrđena pravilnost u pH reakcijama između organskog i mineralnog sloja tla. To je moguće objasniti odabirom mjesta za otvaranje pedološkog profila. Količina listinca, odnosno iglica u ovom slučaju nije jednako raspoređena po cijeloj površini kulture i najviše ovisi o nagibu terena. Na nagnutijim terenima veće je odnošenje listinca vodom što može biti razlogom više pH reakcije humusno-akumulativnog horizonta. Na plohama su zabilježene acidofilne vrste *Suillus luteus* i *S. variegatus*, dok su vrste *Chroogomphus rutilus* i *Lactarius chrysorrheus* jednako prisutne na kiselim i bazičnim staništima (Heilmann-Clausen et al. 2000; Knudsen i Vesterholt 2012). Na pojedinim lokacijama utvrđen je velik udio karbonata što posebno odgovara pojedinim gljivljim vrstama poput *Hygrophorus latitabundus*, *Tricholoma batschii*, *T. psamopus*, *Lactarius deliciosus* i *L. sanguifluus* koja je usput i termofilna vrsta (Heilmann-Clausen et al. 2000; Knudsen i Vesterholt 2012; Christensen i Heilmann-Clausen 2013). Neke gljive pojavljuju se češće u određenim dobnim razredima sastojina. Kako se kompozicija biljnih vrsta mijenja tijekom šumske sukcesije, slično se mijenja i gljivlja zajednica. Sukcesija gljiva pojavljuje se kao odgovor na promjene u kompoziciji stabala, starosti stabala i svojstava tla, poput akumulacije organskih tvari (Molina 1994).

Moguće je zaključiti kako velik broj gljiva u kombinaciji s flornim sastavom vrlo dobro opisuje pojedino stanište, ali s obzirom na slabu istraženost mikrobiote literaturni navodi nisu uvijek čvrsti dokaz da pojedina gljivlja vrsta pouzdano opisuje samo jednu karakteristiku staništa.

### 4.3. Odnosi trofičkih grupa i udjela ECM gljiva u odnosu na prisustvo *Sphaeropsis sapinea*, osutost krošanja i ishranu borovih iglica

Mnoga dosadašnja istraživanja potvrdila su višestruki značaj ektomikorize u šumskim ekosustavima, a pojedini aspekti poput utjecaja zračnog onečišćenja na ECM ili pozitivnog djelovanja mikoriznog inokuluma na sadnice su detaljno istraženi (González-Ochoa et al. 2003; Kraigher et al. 2007). Dosad je ECM vrlo rijetko povezivana s pojavom specifičnog patogena na biljnom domaćinu. Takvo je eksperimentalno istraživanje provedeno na duglaziji napadnutoj fitopatogenom gljivom *Phaeocryptopus gaeumannii* (eng. *Swiss Needle Cast - SNC*). Rezultati su pokazali posrednu povezanost mikorize i patogena, no nije bilo moguće razlučiti utjecaj patogena i gospodarskih zahvata na ECM (Luoma i Eberhart 2006; 2009). Uzrok tome leži u činjenici da ektomikoriza ne pruža neposrednu zaštitu svom fitobiontu već mu prije svega osigurava povoljno fiziološko stanje. Na oligotrofnim tlima ECM ima ključnu ulogu u opskrbi svog fitobionta dušikom, kalijem i fosforom. ECM pomaže učinkovitije korištenje i dobavu vode biljkama te poboljšava njihovu ishranu čime smanjuje transpiraciju (Marjanović i Nehls 2008). Na taj način biljka postaje otpornija prema napadu patogena koji djeluje u kombinaciji s ostalim stanišnim stresnim čimbenicima no kada je u pitanju napad jakog patogena koji nije ovisan o fiziološkom stanju biljke, ECM ne znači prednost. Korisnost ECM za rast biljke u sušnim uvjetima ovisi i o tome da li ECM gljiva ima sposobnost absorbirati vodu i hranjiva u takvim uvjetima (Marjanović i Nehls 2008). Tu se najbolje očituje pitanje o funkcionalnoj ulozi pojedine gljivlje vrste u ekosustavu. Ova je tvrdnja posebno značajna uzmemo li u obzir činjenicu da su na području istraživanja posljednjih godina prisutni sve izraženiji klimatski ekstremi. Količine oborina ruše minimalne i maksimalne rekorde, a prosječna srednja godišnja temperatura zraka također je u porastu (Slika 26).

Za određivanje zdravstvenog stanja šumskih sastojina ili kultura korištenjem podataka o mikocenozi, patogenu i stanišnim čimbenicima nema razvijenih metoda. Najbliže tome je metoda koju su razvili Fellner i Pešková (1995) kako bi opisali stadije propadanja šuma u Češkoj Republici uzrokovanog zračnim onečišćenjem (Tablica 1). Prema stupnju propadanja ektotrofne stabilnosti šuma prepoznaju tri stadija (latentni, akutni i letalni) koji se prvenstveno temelje na omjeru trofičkih grupa gljiva. Važno je napomenuti da između saprotrofa prepoznaju lignikolne gljive kao važan pokazatelj za rangiranje sastojina. Metoda se nažalost ne može primijeniti na ovo istraživanje jer je namijenjena praćenju šteta uzrokovanih zračnim onečišćenjem, a ne patogenom gljivom. Metoda se počela razvijati još polovicom 1980-ih

godina i od tada je stalno usavršana (Fellner 1989). Prije njene konačne verzije razradio ju je Arnolds (1991) kako bi se klasificirali stadiji propadanja hrastovih šuma u Nizozemskoj. To ukazuje na potrebu daljnjeg istraživanja ove tematike kako bi se mogle razviti metode i modeli za procjenu zdravstvenog stanja šumskih sastojina i kultura koje su potencijalno ugrožene patogenim gljivama u interakciji s ostalim ekološkim čimbenicima. Prvenstveno je bitno razviti metode ili modele koje se neće bazirati samo na jednom čimbeniku ekosustava, na primjer gljivama kao kod već opisanih metoda. Važno bi bilo u metodu ili model uvrstiti svojstva patogena, osjetljivost biljne vrste na abiotske i biotske čimbenike, podatke o temperaturi i oborinama, opterećenost atmosferskim sumporom, dušikom i ozonom, sadržaj dušika i kalija u iglicama, matičnu podlogu, svojstva tla, ekspoziciju, inklinaciju, nadmorsku visinu i starost šumske sastojine ili kulture. Svi nabrojani čimbenici nemaju jednak utjecaj na stanje šumskog drveća pa je u tom smislu potrebno testirati koji od čimbenika djeluju pojačano da bi u metodi ili modelu dobili potrebnu težinu.

Očekivana ovisnost pojavnosti patogena u odnosu na ECM makrogljive potvrđena je ovim istraživanjem što se ne može utvrditi za bogatstvo vrsta. Zbog vrlo malog broja radova u kojima je istraživana ova problematika nije moguće izravno usporediti dobivene rezultate s dostupnom literaturom. Već je prije navedeno koliko gljive mogu dobro u kombinaciji s biljkama ocrtavati pojedino stanište, ali ni to još ne objašnjava kolika je njegova uloga kao predisponirajućeg čimbenika za pojavu patogena, kao ni za razvijenost (raznolikost) ECM zajednice. Bogatstvo vrsta pokazuje veliku varijabilnost neovisno o zdravstvenom stanju istraživanih kultura. Između ukupne i trofičke raznolikosti gljiva te patogena nisu utvrđene jače niti statistički značajne korelacije što ne znači da sama raznolikost nije značajna. To možemo objasniti tezom što različite ECM vrste u različitim staništima obavljaju istu funkciju apsorpcije specifičnih hranjiva i ublažavanja vodnog stresa. Kao hipotetski primjer možemo navesti razliku između zdravih kultura Previž i Paz. U kulturi Previž je zabilježeno ukupno 26 vrsta (19 ECM), a u kulturi Paz tek 15 vrsta (7 ECM). Navedene dvije kulture imale su šest zajedničkih ECM vrsta. ECM vrsta koja čini razliku između dvije navedene kulture je *Chroogomphus rutilus* pa stoga možemo spekulirati da u kulturi Paz spomenuta vrsta ima funkcionalni značaj koji u kulturi Previž obavljaju druge ECM vrste. U drugom slučaju možemo pretpostaviti da ECM vrste specifične za kulturu Previž možda nisu funkcionalno značajne u smislu dobave nutrijenata ili ublažavanja vodnog stresa za njihove fitobionte već to obavljaju iste vrste na obje plohe. Takve tvrdnje još uvijek ostaju u okvirima spekulacije i potrebna su daljnja istraživanja za njihovu potvrdu. Zanimljivo je da kombinacijom ukupnog broja vrsta i broja mikoriznih vrsta kao nezavisnih varijabli u regresijskom modelu (Tablica 16)

isti postaje statistički značajan i pokazuje jaku korelaciju prema broju piknida *S. sapinea* na iglici. Broj mikoriznih vrsta na pojedinoj plohi ipak pokazuje srednje jake i statistički značajne korelacije prema osutosti krošanja, ali ne i prema broju piknida na iglici. Indeksi raznolikosti nisu pokazali korelacije s brojem piknida *S. sapinea* na iglici niti s osutošću krošnja koje bi sugerirale njihovo daljnje razmatranje u okviru ovakvih istraživanja. Sama raznolikost vrsta i brojnost plodišta, ukupna i između trofičkih grupa, također pouzdano ne opisuje pojavu patogena na iglicama. Stoga je moguće zaključiti kako je odnos između trofičkih grupa gljiva (mikoriznih i saprotrofnih) najbolji pokazatelj ovisnosti pojave broja piknida *S. sapinea* na iglicama crnog bora i osutosti krošanja.

Povezanost između osutosti krošanja i udjela ECM vrsta i njihovih plodišta također je potvrđena ovim istraživanjem. Postoji jaka negativna korelacija između navedenih varijabli, kao i u ranijim istraživanjima povezanosti ECM gljiva s osutošću krošanja (Termorshuizen i Schaffers 1987; Fellner i Pešková 1995; Matočec et al. 2000; Pešková 2005). U istraživanjima zračnog onečišćenja kao uzročnika promjene mikocenoze, osutost krošanja stabala bila je važna varijabla. Šumske sastojine i kulture koje su imale slabije razvijenu mikoriznu zajednicu i bile su opterećene zračnim onečišćenjem u pravilu su imale i veću osutost krošanja. Takav je primjer vidljiv u istraživanju mikobioindikacije u bukovo-jelovoj šumi na području sliva potoka Križ u Gorskom kotaru. Plohe s najvišom razinom onečišćenja tla olovom imale su najveću osutost krošanja obične jele te su izostali svi osjetljivi mikobioindikator (Matočec et al. 2000). Slični su rezultati potvrđeni i u Češkoj Republici gdje je osutost krošanja bila u korelaciji s postotkom mikoriziranosti finih završetaka korijena i udjelom ECM vrsta (Fellner i Pešková 1995; Pešková 2005; 2007). Iako su u ovom istraživanju i u gore navedenim istraživanjima uzroci osutosti krošanja različiti, zajednička im je negativna korelacija osutosti i udjela ECM vrsta.

Koja gljivlja vrsta ima ključnu ulogu u apsorpciji kalija, koja dušika, a koja na primjer fosfora možemo samo nagađati iz razlika u rezultatima. Prema rezultatima Diminića et al. (2012), u ishrani borova ključan je odnos dušika i kalija (N:K) gdje su zdrave borove kulture imale niži N:K odnos u iglicama. U ovom istraživanju se podaci preklapaju na većini ploha, ali ne i kod onih najoštećenijih. Iz rezultata je vidljivo da zdrave plohe imaju niži N:K odnos, ali on je nizak i na dvije najoštećenije plohe (Trošti i Kurbino brdo). Zanimljivo je da za razliku od prijašnjeg istraživanja i sam sadržaj kalija između ploha varira i ne pokazuje korelaciju s ostalim varijablama. Potrebno je također navesti da Diminić et al. (2012) u svome radu ističu da su uz ishranu (N:K odnos) i drugi stanišni čimbenici utjecali na predispoziciju

borova na zarazu fitopatogenom gljivom *S. sapinea*. Na temelju analize obilježja staništa istraživanih kultura crnoga bora zaključuju da važnu ulogu igraju i tip i dubina tla, te stjenovitost, ekspozicija i inklinacija u predispoziciji borova u sušnim razdobljima.

Trenutno se procijenjeno zdravstveno stanje borovih kultura bitno ne razlikuje od rezultata koje su objavili Diminić et al. (2012). Ipak, sadržaj dušika u jedno- i dvogodišnjim iglicama pokazuje statistički značajnu korelaciju prema udjelu ECM vrsta i broja piknida *S. sapinea* na iglicama što potvrđuje rezultate Diminića et al. (2012) te je najniži u zdravim kulturama i obrnuto. Sadržaj kalija i dušika u tlu ne pokazuje nikakvu ili tek slabu korelaciju s udjelom ECM vrsta i njihovih plodišta, patogena i osutosti krošanja. Svi navedeni rezultati ukazuju na kompleksnost uloge kalija u ishrani borova pa je u tom smjeru potrebno provoditi nova istraživanja. Jedna od mogućnosti je istraživanje primjene umjetnih gnojiva prilikom proizvodnje inokuliranih sadnica što bi moglo dati odgovore na ulogu kalija u ishrani borova, ali i bolje objasniti povezanost pojedine borove kulture s ECM zajednicom. Zanimljiva je i uloga sumpora u borovim kulturama. Slično kao i kod dušika, sadržaj sumpora u jedno- i dvogodišnjim iglicama pokazuje pravilnost prema udjelu ECM vrsta i njihovih plodišta, broju piknida na iglicama i osutosti stabala crnog bora. Porastom udjela ECM vrsta i njihovih plodišta smanjuje se sadržaj sumpora u iglicama dok je obrnuto kod piknida i osutosti gdje se njihovim porastom povećava sadržaj sumpora. Sumpor je jedan od osnovnih gradbenih elemenata biljaka, ali njegove povećane koncentracije u atmosferi dokazano imaju negativan utjecaj na šumsko drveće (Komlenović 1989, Arnolds 1991). Najviše sumpora u atmosferu u Istri dolazi iz termoelektrane Plomin na istočnom dijelu poluotoka. Povišene koncentracije sumpora uzrokuju zatvaranje puči čime se sprječava normalno odvijanje fotosintetskog procesa u biljci. Suprotno tome, niske koncentracije sumpora potiču otvaranje puči i pojačanu transpiraciju. Oba efekta imaju za posljedicu fiziološko slabljenje biljke čime ona postaje osjetljivija na napad patogena (Komlenović 1989). Zanimljivo je navesti kako sadržaj sumpora u analiziranim iglicama nije najviši na plohama koje su najbliže TE Plomin (Ripenda i Mali Golji). Također, uspoređujući dobivene rezultate s rezultatima Komlenovića (1989) vidljivo je da se sadržaj sumpora u iglicama crnog bora smanjio u posljednjih 25 godina.

#### **4.4. Mikobioindikacija i bioraznolikost gljivljih vrsta**

U šumskim zajednicama umjerenog pojasa gljive imaju veliki indikatorski značaj za određivanje ekoloških karakteristika staništa zbog malog broja viših biljaka u njima (Dahlberg et al. 2010). U sjevernoj Europi postoji duga tradicija korištenja odabranih gljivljih i biljnih vrsta kao indikatora kvalitete staništa, posebice travnjaka i starih šuma bogatih trulim drvnim

ostacima (Heilmann-Clausen i Vesterholt 2008). Indikatori promjena u staništu mogu uključivati pojedine organizme i/ili zajednice koje mogu opadati ili nestati (osjetljive vrste) ili pak pokazuju progresiju (tolerantne vrste) (Miller i Lodge 2007).

Ipak, Egli (2011) navodi da mikorizne gljive zasigurno imaju izniman značaj u održavanju stabilnosti šumskih ekosustava, ali istovremeno ističe kako dosadašnja istraživanja unatoč svim naporima nisu dala jasnu potvrdu da ECM gljive mogu poslužiti kao bioindikator zdravstvenog stanja ili ih se barem kao takve ne može generalizirati. Naše je istraživanje pokazalo čvrstu povezanost između vrsta iz mikobioindikatorskih rodova i zdravih kultura crnog bora, te jaku negativnu korelaciju između ECM vrsta i plodišta naspram prosječnog broja piknida *S. sapinea* na pojedinoj iglici. Takvi se trendovi očituju i kod osutosti krošanja te djelomično i u ishrani iglica. Međutim, mikobioindikator je u različitim tipovima staništa potrebno specificirati jer su ECM vrste često specijalizirane po pitanju svog fitobionta i ne predstavljaju jednako dobro svako šumsko stanište.

Gljive koje žive na šumskom tlu, koliko god široko rasprostranjene bile, imaju specifične zahtjeve prema tipu listinca, tlu i vlazi zraka, matičnom supstratu tla, pH vrijednosti tla i slično. Vrste s uskom ekološkom valencijom su vrlo osjetljivi ekološki indikatori određenih čimbenika šumskih biocenoza i vrlo su osjetljive na promjene u staništu (Bujakiewicz 1992; Matočec et al. 2000). U ovom istraživanju jasno su se izdvojile vrste gljiva koje imaju indikatorsku vrijednost za određivanje zdravih i zaraženih borovih kultura. Za definiranje mikobioindikatora treba provesti dulje praćenje (najmanje tri godine) jer se svakom godinom praćenja pojavljuju nove vrste gljiva. Prilikom takvih istraživanja svakako treba uzeti u obzir i mogućnost da produkcija plodišta u potpunosti izostane tijekom vrlo sušnih godina. Najviše indikatorskih vrsta zabilježeno je na plohama Previž i Lesišćina od kojih su mnoge navedene u prijašnjim istraživanjima kao osjetljivi bioindikator zračnog onečišćenja. Koliko su spomenute vrste uistinu povezane sa stupnjem zaraze na *Sphaeropsis sapinea* trebalo bi potvrditi daljnjim istraživanjima. Potrebno je izvršiti inokulacije sadnica crnog bora u rasadničkim uvjetima i testirati infekcijski potencijal patogena na tako proizvedenim sadnicama. Možda je to jedini način da se otkrije je li neka od navedenih vrsta funkcionalno značajna za otpornost crnog bora prema zarazi vrstom *S. sapinea*.

Šume na jako oligotrofnim tlima, posebice siromašnim dušikom, iznimno su bogata staništa ektomikoriznih vrsta. Takve šume obično karakterizira otvoren sklop, spori rast, mala produktivnost i nedostatak akumulacije listinca. Očigledno, stabla mogu preživjeti takve nepovoljne uvjete zahvaljujući pomoći mnogih mikoriznih partnera koji hraniva čine

dostupnima (Arnolds 1999). U ovom istraživanju bogatsvo vrsta nije bilo moguće povezati sa starošću kultura. Najveća i najniža raznolikost zabilježena je u starim kulturama, ali je produktivnost bila veća u mlađim kulturama. Najveći broj vrsta pripadao je rodovima koji su u literaturi opisani kao vrstama najbrojniji, a značajan rezultat ovog istraživanja je i sedam novih vrsta prvi puta zabilježenih u Hrvatskoj (**Tablica 17**). Tijekom posljednjih deset godina u Hrvatskoj su opisane četiri nove vrste bazidiomiceta za znanost (Hausknecht et al. 2007; Mešić i Tkalčec 2008; Tkalčec i Mešić 2008; Tkalčec et al. 2009), pa je stoga moguće očekivati slične nalaze ukoliko se istraživanja bazidiomiceta nastave u nacionalnim okvirima.

Promatramo li pojavljivanje novih vrsta za nacionalnu mikrobiotu prema godinama kada su zabilježene, zanimljivo je da su se tri od ukupno sedam vrsta pojavile tijekom 2011. godine. Ista je bila rekordno suha i plodišta gljiva su zabilježena tek krajem jeseni i početkom zime nakon prvih kiša. Ovdje valja napomenuti da su tada praćene samo tri plohe. Novija istraživanja pokazuju trend da jesenski početak sezone gljiva počinje sve kasnije zbog klimatskih promjena (Kauserud et al. 2008, 2012; Boddy et al. 2014). Da bi mogli dokazati takav trend u istraživanim kulturama u Istri potrebno je nastaviti praćenje trajnih ploha u dužem vremenskom razdoblju. Od ukupno sedam novih vrsta za Hrvatsku, čak ih se šest pojavilo tijekom 2013. godine na sedam od ukupno devet istraživanih ploha. To pokazuje koliko je značajna količina oborina za produkciju gljivljih plodišta i evidentiranje većeg broja vrsta jer je navedena godina bila iznadprosječno kišna.

## 5. ZAKLJUČCI

Na temelju rezultata dobivenih praćenjem mikocenoze kultura crnog bora na devet ploha u Istri, udjelu ECM vrsta i plodišta u ukupnom broju gljivljih vrsta i plodišta, prisutnosti piknida (plodišta) vrste *Sphaeropsis sapinea* na iglicama, osutosti krošanja stabala crnog bora, indikatorskih vrsta gljiva i ustanovljene bioraznolikosti gljiva, navodim sljedeće zaključke:

- 1) Prosječna godišnja količina oborina pokazuje ekstremna odstupanja od višegodišnjeg prosjeka što je posebno izraženo posljednjih pet godina. Prosječna godišnja temperatura pokazuje trend rasta na sve tri meteorološke postaje. Možemo pretpostaviti da je gotovo potpuni izostanak produkcije gljivljih plodišta uzrokovala dugotrajna suša tijekom 2011. godine.
- 2) Istraživane kulture razlikuju se prema matičnoj podlozi (fliš i vapnenac), te tipovima tala. Na plohama Previž, Lesišćina i Paz nalazimo eutrični kambisol, na plohama Trstenik, Lovranska Draga, Ripenda i Kurbino brdo nalazimo kalkokambisol, dok je na plohama Trošti i Mali Golji evidentirana Terra Rossa. Tla na flišnoj matičnoj podlozi karakterizira bazična pH reakcija. Sva tla imaju povoljan C:N odnos.
- 3) Fitocenološko snimanje pokazalo je da se plohe prema flornom sastavu diferenciraju u četiri grupe. Ploha Trstenik pripada primorskoj bukovoj šumi paramediteranske vegetacijske zone. Plohe Trošti, Mali Golji i Kurbino brdo grupiraju se prema pojavi pitomog kestena s bitnim učešćem mezofilnih vrsta i, ponekad, većim brojem acidofita. Plohe Previž, Lesišćina i Paz diferenciraju se prema flišnom matičnom supstratu i bazičnoj reakciji tla. Pripadaju različitim sukcesijskim fazama šume hrasta medunca i bijelog graba. Plohe Ripenda i Lovranska Draga diferenciraju se prema vapnenačkoj matičnoj podlozi i karakterizira ih veća toplina i suhoća staništa.
- 4) Najveći ukupni broj gljivljih vrsta zabilježen je na plohama Trošti, Trstenik i Lesišćina, dok je najmanje vrsta zabilježeno na plohama Lovranska Draga, Paz i Mali Golji tijekom 2013. godine. Promatrajući samo tri plohe tijekom trogodišnjeg razdoblja praćenja, vrstama je najbogatija bila ploha Trstenik s ukupno 44 vrste. Najveći broj plodišta zabilježen je na plohi Previž, dok ih je najmanje bilo na plohama Lovranska Draga i Paz.



- 5) Istraživane kulture crnog bora razlikuju se po udjelu vrsta i plodišta gljiva unutar trofičkih grupa. Plohe Previž, Lesišćina i Paz imale su najveći udio ECM vrsta i plodišta, dok su najmanji udjeli zabilježeni na plohama Trošti, Kurbino brdo i Lovranska Draga. Za razliku od gljivljih vrsta, plodišta pokazuju veću varijabilnost između pojedinih godina praćenja.
- 6) Piknide vrste *Sphaeropsis sapinea* nisu pronađene na plohama Previž i Lesišćina, dok su na plohi Paz bile prisutne u vrlo malom broju. Najveći broj piknida zabilježen je na plohama Trošti, Kurbino brdo i Mali Golji. Pojedine plohe se statistički značajno razlikuju prema prosječnom broju piknida na iglici.
- 7) Prosječan broj piknida na iglici snažno je povezan s udjelom ECM vrsta i plodišta. Linearni regresijski model statistički je značajan i pokazuje u kojem slučaju možemo očekivati jače zaraze sa *S. sapinea*, odnosno scenarij kada piknide patogena u potpunosti izostaju.
- 8) Na plohama su zabilježeni različiti intenziteti osutosti krošanja, te se pojedine plohe statistički značajno razlikuju. Osutost krošanja pokazuje statistički značajnu ovisnost o udjelu ECM vrsta i njihovih plodišta, te se podudara s porastom broja piknida na iglici.
- 9) Sadržaj dušika i sumpora u jedno- i dvogodišnjim iglicama je niži u kulturama s većim udjelom ECM vrsta. Sadržaj kalija ne pokazuje korelaciju s ostalim varijablama, a jednako tako ni odnos dušika i kalija (N:K).
- 10) Na plohama Previž i Lesišćina pojavila se većina predviđenih osjetljivih mikobioindikatora, što uz odsutnost *S. sapinea* ukazuje na dobro zdravstveno stanje i očekivani pozitivan daljnji razvoj spomenutih kultura. Na plohama jače narušenog zdravstvenog stanja nisu se pojavljivale osjetljive indikatorske vrste.
- 11) Indeksi raznolikosti, dominantnosti i jednakosti razlikovali su se između ploha. Prvenstveno su ovisni o broju plodišta pojedine vrste unutar uzorka i ukupnom broju vrsta. Indeksi ne pokazuju povezanost sa zdravstvenim stanjem istraživanih kultura.
- 12) Ukupna raznolikost vrsta i broj mikoriznih vrsta na plohama nisu pouzdan pokazatelj zdravstvenog stanja borovih kultura. Statistički značajnu povezanost s brojem piknida *Sphaeropsis sapinea* na iglici pokazuju tek u modelu multiple regresijske analize.

- 13) Odnos između trofičkih grupa pokazao se pouzdanim pokazateljem zdravstvenog stanja istraživanih borovih kultura u Istri za razliku od raznolikosti vrsta i trofičkih grupa. Indeksi raznolikosti također nisu pokazatelji zdravstvenog stanja te ih u budućim sličnim istraživanjima ne treba razmatrati.
- 14) Unatoč rezultatima koji potvrđuju postavljenu hipotezu istraživanja da su sastojine s većim udjelom mikoriznih vrsta manje osjetljive prema zarazi fitopatogenom gljivom *S. sapinea*, još uvijek nije moguće sa sigurnošću odgovoriti na osnovna ekološka pitanja o funkcionalnoj ulozi pojedine ECM vrste u otpornosti crnog bora prema zarazi s vrstom *S. sapinea*, ali i drugim stresnim biotskim i abiotskim čimbenicima. Stoga je potrebno provoditi kompleksnija istraživanja ove tematike u budućnosti, uz detaljnu analizu stanišnih uvjeta i uključivanje modernih molekularnih metoda te povećanje uzorka, što bi pružilo preciznije i pouzdanije rezultate koji bi omogućili razvoj novih učinkovitih metoda integrirane zaštite šuma.

## 6. LITERATURA

- 1) Angelini, P., Compagno, R., Arcangeli, A., Bistocchi, G., Gargano, M. L., Venanzoni R., Venturella, G., 2014: Macrofungial diversity and ecology in two Mediterranean forest ecosystems, *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology: Official Journal of the Societa Botanica Italiana*, DOI:10.1080/11263504.2014.987844
- 2) Antonín, V., Noordeloos, M. E., 2004: A monograph of the genera *Hemimycena*, *Delicatula*, *Fayodia*, *Gamundia*, *Myxomphalia*, *Resinomycena*, *Rickenella* and *Xeromphalina* (Tribus *Mycenae* sensu Singer, *Mycena* excluded) in Europe. IHW Verlag, Eching.
- 3) Antonín, V., Noordeloos, M. E., 2010: A monograph of marasmioid and collybioid fungi in Europe. IHW-Verlag, Eching.
- 4) Arnolds, E., 1991: Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 35:209-244.
- 5) Arnolds, E., 1992: The analysis and classification of fungal communities with special reference to macrofungi. U (Winterhoff, W., ur.): *Fungi in vegetation science*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, str. 7-47.
- 6) Arnolds, E., 1999: Conservation and management of fungi in Europe. U (Synge, H. i Akeroyd, J., ur.): *Planta Europa, Proceedings of the second European conference on the conservation of wild plants*. Uppsala, str. 129–139.
- 7) Arnolds, E., 2001: The future of fungi in Europe: treats, conservation and management. U (Moore, D., Nauta, M. M., Evans, S. E. i Rotheroe, M., ur.): *Fungal conservation – issues and solutions*. Cambridge University Press, Cambridge, str. 64–80.
- 8) Ashkannejhad, S., Horton, T. R., 2006: Ectomycorrhizal ecology under primary succession on coastal sand dunes: interactions involving *Pinus contorta*, suilloid fungi and deer. *New Phytologist*, 169(2):345-354.
- 9) Baird, R., Stokes, C. E., Frampton, J., Smith, B., Watson, C., Pilgrim, C., Scruggs, M., 2014: Diversity and density of the EM fungal community present in high elevation Fraser fir forests of Great Smoky Mountains National Park. *North American Fungi*, 9(1):1-21. doi: <http://dx.doi:10.2509/naf2014.009.001>
- 10) Bas, C., Kuyper, T. W., Noordeloos, M. E., Vellinga, E. C., (ur.), 1990: *Flora agaricina neerlandica*. 2. A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.

- 11) Bas, C., Kuyper, T. W., Noordeloos, M. E., Vellinga, E. C., (ur.), 1995: Flora agaricina neerlandica. 3. A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- 12) Bas, C., Kuyper, T. W., Noordeloos, M. E., Vellinga, E. C., (ur.), 1999: Flora agaricina neerlandica. 4. A. A. Balkema, Rotterdam - Brookfield.
- 13) Bas, C., Kuyper, T. W., Noordeloos, M. E., Vellinga, E. C., (ur.), 1988: Flora agaricina neerlandica. 1. A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- 14) Bernicchia, A., 2005: *Polyporaceae* s.l. Fungi Europaei. 10<sup>th</sup> ed. Candusso, Alassio.
- 15) Bidartondo, M. I., Read, D. J., Trappe, J. M., Merckx, V., Ligrone, R., Duckett, J. G., 2011: The dawn of symbiosis between plants and fungi. *Biology letters*, 7(4):574-577.
- 16) Blackwell, M., 2011: The fungi: 1, 2, 3 ... 5.1 million species? *American Journal of Botany* 98(3):426–438.
- 17) Boddy, L., Büntgen, U., Egli, S., Gange, A. C., Heegaard, E., Kirk, P. M., Mohammad, A., Kauserud, H., 2014: Climate variation effects on fungal fruiting. *Fungal Ecology*, 10:20-33.
- 18) Bon, M., 1992: Clé monographique des espèces galéro-naucorioïdes. *Doc Mycol*, 21(84):1-89.
- 19) Bon, M., 1997: Les Clitocybes, Omphales et ressemblants. – Flore mycologique d'Europe 4. *Doc. Mycol. Mémoire hors série 4*. Amiens.
- 20) Bonet, J. A., Fischer, C. R., Colinas, C., 2004: The relationship between forest age and aspect on the production of sporocarps of ectomycorrhizal fungi in *Pinus sylvestris* forests of the central Pyrenees. *Forest Ecology & Management*, 203(1):157-175.
- 21) Bonfante, P., Genre, A., 2010: Mechanisms underlying beneficial plant – fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature Communications*, 1:48. doi: 10.1038/ncomms1046
- 22) Bosshard, W., (ur.) 1986: Kronenbilder mit Nadel- und Blattverlustprozenten. *Sanasilva*, Birmensdorf.
- 23) Breitenbach, J., Kränzlin, F., 1986: Fungi of Switzerland. Volume 2: Non-Gilled Fungi. Luzern, Switzerland, Verlag Mykologia.
- 24) Breitenbach, J., Kränzlin, F., 2000: Fungi of Switzerland. 5. Mykologia Luzern, Luzern.

- 25) Brundrett, M. C., 2008: Ectomycorrhizas. U: Mycorrhizal Associations: The Web Resource. Version 2.0. Pristupljeno: 23. 03. 2015.  
<http://mycorrhizas.info/ecm.html>.
- 26) Brundrett, M., 2004: Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological Reviews*, 79(3):473-495.
- 27) Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., Malajczuk, N., 1996: Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. ACIAR Monograph 32, Canberra.
- 28) Bueé, M., Maurice, J. P., Zeller, B., Andrianarisoa, S., Ranger, J., Courtecuisse, R., Marçais, 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.
- 29) Bujakiewicz, A., 1992: Macrofungi on soil in deciduous forests. U (Winterhoff, W., ur.): *Fungi in vegetation science*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, str. 49-78.
- 30) Butin, H., 2002: Tree diseases and disorders: causes, biology and control in forest and amenity trees. Oxford University Press, Oxford, str. 1–252.
- 31) CABI, 2014: *Sphaeropsis sapinea* (Sphaeropsis blight). Pristupljeno: 28. 03. 2015.  
<http://www.cabi.org/isc/datasheet/19160>
- 32) Cairney, J. W. G., 2000; Evolution of mycorrhiza systems. *Naturwissenschaften*, 87(11):467-475.
- 33) Candusso, M., 1997: *Hygrophorus* s. l. – Fungi Europaei 6. Libreria Basso, Alassio.
- 34) Carlile, M. J., Watkinson, S. C., Gooday, G. W., 2001: *The Fungi*. 2<sup>nd</sup> Ed. Academic Press, London.
- 35) Castellano, M. A., 1994: Current status of outplanting studies using ectomycorrhiza-inoculated forest trees. U (Pfleger, F. L. i Linderman, R. G., ur.): *Mycorrhizae and plant health*. APS Press, St. Paul, str. 261-281.
- 36) Castellano, M. A., Trappe, J. M., 1985: Ectomycorrhizal formation and plantation performance of Douglas-fir nursery stock inoculated with *Rhizopogon* spores. *Canadian Journal of Forest Research*, 15(4):613-617.
- 37) Castellano, M. A., Trappe, J. M., 1991: *Pisolithus tinctorius* fails to improve plantation performance of inoculated conifers in southwestern Oregon. *New forests*, 5(4):349-358.

- 38) Castellano, M. A., Trappe, J. M., Molina, R., 1985: Inoculation of container-grown Douglas-fir seedlings with basidiospores of *Rhizopogon vinicolor* and *R. colossus*: effects of fertility and spore application rate. *Canadian Journal of Forest Research*, 15(1):10-13.
- 39) Christensen, M., Heilmann-Clausen, J., 2013: The genus *Tricholoma*. *Fungi of Northern Europe – Vol. 4. Svampetryk, Danish Mycological Society*. 228 p.
- 40) Comandini, O., Rinaldi, A. C., Kuyper, T. W., 2012: Measuring and estimating ectomycorrhizal fungal diversity: a continuous challenge. U (Pagano, M., ur.): *Mycorrhiza: occurrence in natural and restored environments*. Nova Science Publishers. Nueva York, str. 165-200.
- 41) Consiglio, G., Contu, M., 2002: Il genere *Lyophyllum* P. Karst. emend Kühner, in Italia. *Rivista di Micologia*, 45(2):99-181.
- 42) Cools, N., De Vos, B., 2010: Sampling and Analysis of Soil. Manual Part X. In: *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. UNECE, ICP Forests, Hamburg.
- 43) Dahlberg, A., 2001: Community ecology of ectomycorrhizal fungi: an advancing interdisciplinary field. *New Phytologist*, 150(3):555-562.
- 44) Dahlberg, A., Genney, D. R., Heilmann-Clausen, J., 2010: Developing a comprehensive strategy for fungal conservation in Europe: current status and future needs. *Fungal Ecology*, 3:50-64.
- 45) Das, A., Varma, A., 2009: Symbiosis: The Art of Living. U (Varma, A. i Kharkwal, A. C., ur.): *Symbiotic Fungi, Principles and Practice*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, str. 1-46.
- 46) de Haan, A., Walley, R., 2006: Studies in *Galerina*. *Galerinae Flandriae* (2). – *Fungi non delineati*, 33:1–74.
- 47) Deriu, L., 2010: Selezione di funghi endofiti antagonisti di patogeni forestali. Tesi di Dottorato di Ricerca in: Monitoraggio e Controllo degli Ecosistemi Forestali in Ambiente Mediterraneo, Università degli Studi di Sassari, 76 str.
- 48) Diminić, D., 1994: Prilog poznavanju mikoza borovih kultura u Istri. *Glasnik za šumske pokuse*, 30:21–60.
- 49) Diminić, D., 1997: Istraživanje gljive *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et Sutton na borovima u Hrvatskoj. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 170 str.

- 50) Diminić, D., 1999: The presence of fungus *Sphaeropsis sapinea* on pines in Croatia. U: B. Forster, M. Knížek, W. Grodzki (ur.), Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe, Proceedings of 2nd Workshop IUFRO WP 7.03.10, Switzerland, April, 20–23, 1999, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Birmensdorf, Sion-Châteauneuf, str. 189–193.
- 51) Diminić, D., Hrašovec, B., Potočić, N., 2003: The contributing role of SO<sub>2</sub> and drought in forest decline of Austrian pine in coastal Croatia. *Ekológia (Bratislava)*, 22(Suppl. 1):80–83.
- 52) Diminić, D., Jurc, M., 1999: Some aspects of *Sphaeropsis sapinea* presence on Austrian pine in Croatia and Slovenia. *Phyton*, 39(3):231-234.
- 53) Diminić, D., Potočić, N., Seletković I., 2012: Uloga staništa u predispoziciji crnoga bora (*Pinus nigra* Arnold) na zarazu fitopatogenom gljivom *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et Sutton u Istri. *Šumarski list*, 136(1-2):19-36.
- 54) Diminić, D., Van Dam, B. C., Hrašovec, B., 2004: *Sphaeropsis sapinea*: The cultural characteristics of isolates in relation to various impacts on pines in Croatia. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 39:383–397.
- 55) Druebert, C., Lang, C., Valtanen, K., Polle, A., 2009: Beech carbon productivity as driver of ectomycorrhizal abundance and diversity. *Plant, Cell & Environment*, 32:992–1003.
- 56) Duchesne, L. C., 1994: Role of ectomycorrhizal fungi in Biocontrol. U (Pfleger, F. L. i Linderman, R. G., ur.): *Mycorrhizae and plant health*. APS Press, St. Paul, pp 27-45.
- 57) Dunham, S. M., Larsson, K. H., Spatafora, J. W., 2007: Species richness and community composition of mat-forming ectomycorrhizal fungi in old-and second-growth Douglas-fir forests of the HJ Andrews Experimental Forest, Oregon, USA. *Mycorrhiza*, 17(8):633-645.
- 58) Egli, S., 2009: Mykorrhizapilze auf dem Rückzug – was bedeutet das für den Wald? *Forum für Wissen*, 2009:51–58.
- 59) Egli, S., 2011: Mycorrhizal mushrooms diversity and productivity – an indicator of forest health? *Annals of Forest Science*, 68:81-88.
- 60) Eichhorn, J., Roskams, P., Ferretti, M., Mues, V., Szepesi, A., Durrant, D., 2010: Visual Assessment of Crown Condition and Damaging Agents. Manual Part IV. U: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE ICP

- Forests Programme Co-ordinating Centre, Hamburg. 49 pp. ISBN: 978-3-926301-03-1. [<http://www.icp-forests.org/Manual.htm>]
- 61) Erb, B., Matheis, W., 1983: Pilzmikroskopie. Kosmos, Stuttgart.
  - 62) Feldmann, F., Hutter, I., Grotkass, C., 2003: Mycorrhizal fungi as factors of integrated plant protection in urban horticulture: the state of the art. Mitt. d. Biol. Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 394:205-211.
  - 63) Fellner, R., 1989: Mycorrhiza-forming fungi as bioindicators of air pollution. Agriculture, Ecosystems & Environment, 28:115-120.
  - 64) Fellner, R., 1993: Air pollution and mycorrhizal fungi in central Europe. U (Pegler, D. N., Boddy, L., Ing, B. i Kirk, P. M., ur.): Fungi of Europe: Investigation, Recording and Conservation. Royal Botanic Gardens, Kew, str. 239-250.
  - 65) Fellner, R., Pešková, V., 1995: Effects of industrial pollutants on ectomycorrhizal relationships in temperate forests. Canadian Journal of Botany, 73(Suppl. 1):1310-1315.
  - 66) Franchi, P., Marchetti, M., 2001: Introduzione allo studio del genere *Ramaria* in Europa. Fungi non Delineati, 16:1-104.
  - 67) Fries, E. M., 1823: Systema Mycologicum II. Gryphiswaldiae, str. 1-621.
  - 68) Galante, T. E., Horton, T. R., Swaney, D. P., 2011: 95% of basidiospores fall within 1 m of the cap: a field-and modeling-based study. Mycologia, 103(6):1175-1183.
  - 69) Galli, R., 1996: Le Russule. Edinatura, Milano.
  - 70) Girlanda, M., Perotto, S., Bonfante, P., 2007: Mycorrhizal Fungi: Their Habitats and Nutritional Strategies. U (Kubicek, C. P. i Druzhinina, I. S., ur.): Environmental and Microbial Relationships, 2<sup>nd</sup> Edition, The Mycota IV, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, str. 229-256.
  - 71) Glavaš, M., 1996: Osnove šumarske fitopatologije. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 1-140.
  - 72) González-Ochoa, A. I., De Las Heras, J., Torres, P., Sánchez-Gómez, E., 2003: Mycorrhization of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinaster* Aiton seedlings in two commercial nurseries. Annals of Forest Science, 60(1):43-48.
  - 73) Gračanin, M., Ilijanić, Lj., 1977: Uvod u ekologiju bilja. Školska knjiga, Zagreb.



- 74) Gröger, F., Bresinsky, A., Besl, H., 2006: Bestimmungsschlüssel für Blätterpilze und Röhrlinge in Europa. Teil 1. Regensburgische Botanische Gesellschaft von 1790 e.V. im Verlag der Gesellschaft, Regensburg.
- 75) Gulden, G., Høiland, K., 1985: The role of ectomycorrhiza in a situation of air pollution and forest death. *Agarica*, 6(12):341-357.
- 76) Hansen, L., Knudsen, H., (ur.), 1997: Heterobasidioid, Aphyllophoroid and Gasteromycetoid Basidiomycetes. *Nordic Macromycetes*, vol. 3. 444 pp.
- 77) Hanso, M., Drenkhan, R., 2009: *Diplodia pinea* is a new pathogen on Austrian pine (*Pinus nigra*) in Estonia. *Plant Pathology*, 58(4):797-797.
- 78) Harley, J. L., Harley, E. L., 1987: A check-list of mycorrhiza in the British flora. *New Phytologist*, 1-102.
- 79) Hausknecht, A., 2009: A monograph of the genera *Conocybe* Fayod, *Pholiotina* Fayod in Europe. *Fungi Europaei* 11. Candusso, Alassio.
- 80) Hausknecht, A., Mešić, A., Tkalčec, Z., 2007: Two remarkable species of *Bolbitiaceae* (*Agaricales*) from Croatia. *Österreichische Zeitschrift für Pilzkunde*, (16):281-286.
- 81) Hawksworth, D. L., 2001: The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research* 105:1422–1432.
- 82) Heilmann-Clausen, J., Verbeken, A., Vesterholt, J., 2000: The genus *Lactarius*. *Fungi of Northern Europe – Vol. 2*. Svampetryk, Danish Mycological Society. 287 p.
- 83) Heilmann-Clausen, J., Vesterholt, J., 2008: Conservation: Selection Criteria and Approaches. U (Boddy, L., Frankland, J. C. i van West, P., ur.): *Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes*. Elsevier – Academic Press, Amsterdam, str. 325-347.
- 84) Heip, C. H. R., Herman, P. M. J., Soetaert, K., 1998: Indices of diversity and evenness. *Oecologia*, 24(4):61-87.
- 85) Heywood, V. H., (ur.), 1995: *Global Biodiversity Assessment*. United Nations Environment Programme. Cambridge University Press, Cambridge.
- 86) Holec, J., 2001: The genus *Pholiota* in central and western Europe. IHW-Verlag, Eching.
- 87) Holec, J., 2005: The genus *Gymnopilus* (*Fungi, Agaricales*) in the Czech Republic with respect to collections from other European countries. *Acta Musei Nationalis Pragae, Series B, Historia Naturalis*, 61(1–2):1–52.

- 88) Holuša, J., Pešková, V., Vostrá, L., Pernek, M., 2009: Impact of mycorrhizal inoculation on spruce seedling: comparisons of a 5-year experiment in forests infested by honey fungus. *Periodicum Biologorum*, 111(4):413-417.
- 89) Horak, E., 2005: *Röhrlinge und Blätterpilze in Europa*. Munchen, Elsevier GmbH.
- 90) ISO 10390, 1994: Soil quality – Determination of pH. ISO, Genève.
- 91) ISO 10693, 1995: Soil quality – Determination of carbonate content – Volumetric method. ISO, Genève.
- 92) ISO 11464, 1994: Soil quality - Pretreatment of samples for physico-chemical analyses. ISO, Genève.
- 93) ISO 13878, 1998: Soil quality – Determination of total nitrogen content by dry combustion (elemental analysis). ISO, Genève.
- 94) Istarska enciklopedija, Leksiografski zavod Miroslav Krleža, 2008: Dostupno na <http://istra.lzmk.hr/clanak.aspx?id=1369>. (Pristupljeno: 20. listopada 2014.).
- 95) Johnson, D., IJdo, M., Genney, D. R., Anderson, I. C., Alexander, I. J., 2005: How do plants regulate the function, community structure, and diversity of mycorrhizal fungi? *Journal of Experimental Botany*, 56(417):1751-1760.
- 96) Jülich, W., 1984: Die Nichtblätterpilze, Gallertpilze und Bauchpilze. In: *Kleine Kryptogamenflora*. IIB/1.
- 97) Kamil, D., Sharma, D. K., Devi, T. P., Singh, M., 2014: First report of leaf blight of Aloe Vera caused by *Sphaeropsis sapinea* in India. *Journal of Plant Pathology*, 1(1).
- 98) Kauserud, H., Heegaard, E., Büntgen, U., Halvorsen, R., Egli, S., Senn-Irlet, B., Krisai-Greilhuber, I., Dämon, W., Sparks, T., Nordén, J., Høiland, K., Kirk, P., Semenov, M., Boddy, L., Stenseth, N. C., 2012: Warming-induced shift in European mushroom fruiting phenology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(36):14488-14493.
- 99) Kauserud, H., Stige, L. C., Vik, J. O., Økland, R. H., Høiland, K., Stenseth, N. C., 2008: Mushroom fruiting and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(10):3811-3814.
- 100) Kendrick, B., 2000: *The fifth kingdom*, 3<sup>rd</sup> ed. Focus Publishing, R. Pullins Co., Newburyport.
- 101) Kirk, P. M., Cannon, P. F., Minter, D. W., Stalpers, J. A., 2008: *Dictionary of the Fungi*: 10<sup>th</sup> ed. CABI, Wallingford, UK.

- 102) Knudsen, H., Vesterholt, J., 2008: Funga Nordica: Agaricoid, Boletoid and Cyphelloid Genera. Narayana Press, Copenhagen.
- 103) Knudsen, H., Vesterholt, J., 2012: Funga Nordica: agaricoid, boletoid and cyphelloid genera. Nordsvamp, Copenhagen, Denmark.
- 104) Komlenović, N., 1989: Utjecaj SO<sub>2</sub> i nekih drugih polutanata na šumsko drveće s posebnim osvrtom na SR Hrvatsku. Šumarski list, 113(6–8):243–260.
- 105) Kost, G., 1992: Macrofungi on soil in coniferous forests. U (Winterhoff, W., ur.): Fungi in vegetation science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, str. 79-111.
- 106) Kraigher, H., Batic, F., Agerer, R., 1996: Types of ectomycorrhizae and mycobioindication of forest site pollution. Phytion, 36(3):115–120.
- 107) Kraigher, H., Petkovšek, S. A. S., Grebenc, T., Simončič, P., 2007: Types of ectomycorrhiza as pollution stress indicators: case studies in Slovenia. Environmental Monitoring and Assessment, 128(1-3):31-45.
- 108) Kränzlin, F., 2005: Champignons de Suisse, Tomo 6, Russulacea. Mycologia Eds, Lucerne.
- 109) Kuyper, T. W., 1986: A revision of the genus *Inocybe* in Europe. I. Subgenus *Inosperma* and the smooth-spored species of subgenus *Inocybe*. Persoonia, Suppl. 3. Rijksherbarium, Leiden.
- 110) Kuyper, T. W., Giller, K. E., 2011: Biodiversity and ecosystem functioning below-ground. Agrobiodiversity Management for Food Security—a critical review. CABI, Oxfordshire, 134-149.
- 111) Kytövuori, I., 1989: The *Tricholoma caligatum* group in Europe and North Africa. Karstenia, 28:65-77.
- 112) Laganá, A., Salerni, E., Barluzzi, C., Perini, C., De Dominicis, V., 2000: Mycocoenology in *Abies alba* Miller woods of central-southern Tuscany (Italy). Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 69(4):293-298.
- 113) Larsson, E., Jacobsson, S., 2004: Controversy over *Hygrophorus cossus* settled using ITS sequence data from 200 year-old type material. Mycological Research, 108:781–786.
- 114) LECO Corporation USA, 2000: Organic application note form No. 203–821–172, Carbon, Nitrogen and Sulfur in Plant Tissue. St. Joseph, USA.
- 115) LECO Corporation USA, 2002: CNS-2000 Instruction Manual. St. Joseph, USA.
- 116) Leonard, L. M., 2006: Melzer's, Lugol's or Iodine for Identification of White-spored *Agaricales*? McIlvainea, 16(1):43-51.

- 117) Li, D. W., 2013: Microscopic Methods for Analytical Studies of Fungi. U (Gupta, V. K., et al., ur.): Laboratory Protocols in Fungal Biology: Current Methods in Fungal Biology, Fungal Biology, Springer Science+Business Media, str. 113-131. DOI 10.1007/978-1-4614-2356-0\_7
- 118) Linaldeddu, B. T., Hasnaoui, F. S., Franceschini, A., 2008: First report of shoot blight and dieback caused by *Diplodia pinea* on *Pinus pinaster* and *P. radiata* trees in Tunisia. *Phytopathologia Mediterranea*, 47(3):258-261.
- 119) Lisiewska, M., Połczyńska, M., 1998: Changes in macromycetes of the oak-hornbeam forests in the "Dębina" reseire (Northern Wielkopolska). *Acta Mycologica*, 33(2):191-230.
- 120) Luoma, D. L., Eberhart, J. L., 2006: Are differences in the ectomycorrhiza community correlated with Swiss needle cast severity? U (Shaw, D., ur.): Annual report 2006, Swiss needle cast cooperative, Oregon State University, Corvallis, str. 60-64.
- 121) Luoma, D., Eberhart, J., 2009: Second-year Response of Ectomycorrhizae to Soil Nutritional Amendments Across a Gradient of SNC Disease. U (D. Shaw, D. i Wooley, T., ur.): Annual Report 2009, Swiss Needle Cast Cooperative, College of Forestry, Oregon State University, Corvallis, str. 85-98.
- 122) Marchand, A., 1976: Champignons du Nord et du Midi, tome IV : *Aphyllophorales* (fin), *Hydnaceae*, *Gastéromycètes*, *Ascomycètes*. Société mycologique des Pyrénées méditerranéennes, Perpignan, str. 1- 261.
- 123) Marjanović, Ž., Nehls, U., 2008: Ectomycorrhiza and Water Transport. U (Varma, A., ur.): Mycorrhiza, 3<sup>rd</sup> ed., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, str. 149-160.
- 124) Martin, F., 2007: Fair Trade in the Underworld: the Ectomycorrhizal Symbiosis. U (Howard, R. J. i Gow, N. A. R., ur.): Biology of the Fungal Cell, 2<sup>nd</sup> ed., The Mycota VIII, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, str. 291-308.
- 125) Martin, F., Tunlid, A., 2009: The ectomycorrhizal symbiosis: a marriage of convenience. U (Deising, H., ur.): Plant Relationships, 2<sup>nd</sup> ed., The Mycota V, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, str. 237-257.
- 126) Martínez de Aragón, J., Bonet, J. A., Fischer, C. R., Colinas, C., 2007: Productivity of ectomycorrhizal and selected edible saprotrophic fungi in pine forests of the pre Pyrenees Montains, Spain: Predictive equations for forest management of mycological resources. *Forest Ecology & Management* 252:239 – 256.

- 127) Martín-Pinto, P., Vaquerizo, H., Peñalver, F., Olaizola, J., Oria-de-Rueda, J. A., 2006: Early effects of a wildfire on the diversity and production of fungal communities in Mediterranean vegetation types dominated by *Cistus ladanifer* and *Pinus pinaster* in Spain. *Forest Ecology & Management*, 225(1):296-305.
- 128) Matošec, N., Antonić, O., Mrvoš, D., Piltaver, A., Hatić, D., Bukovec, D., 2000: An estimate of fir forest health based on mycobioindication: the Križ stream catchment area, Gorski Kotar, Croatia, a case study. *Natura Croatica*, 9(1):15-33.
- 129) Mejstrik, V., 1989: Ectomycorrhizas and forest decline. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 28:325-337.
- 130) Mešić, A., Tkalčec, Z., 2008 *Entoloma reinwaldii*, a rare species new to Croatia. *Mycotaxon*, 105:295–300.
- 131) Mihál, I., 2012: Species diversity, abundance and dominance of macromycetes in beech forest stands with different intensity of shelterwood cutting interventions. *Folia Oecologica*, 39:53-62.
- 132) Miller, R. M., Lodge, D. J., 2007: Fungal responses to disturbance: Agriculture and Forestry. U (Kubicek, C. P. i Druzhinina, I. S., ur.) 2<sup>nd</sup> ed., *The Mycota IV, Environmental and Microbial Relationship*. Springer-Verlag, Berlin, str. 47-68.
- 133) Mleczko, P., 2004: Mycorrhizal and saprobic macrofungi of two zinc wastes in southern Poland. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 46, 25-38.
- 134) Molina, R., 1994: The role of mycorrhizal symbioses in the health of Giant Redwoods and other forest ecosystems. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-151, str. 78-81.
- 135) Montecchio, L., Motta E., Mutto Accordi S., 2009: Le ectomicorrize come indicatori di salute delle piante forestali. Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura. Taormina (ME), 16-19 ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, str. 657-662.
- 136) Mosca, E., Montecchio, L., Sella, L., Garbaye, J., 2007: Short-term effect of removing tree competition on the ectomycorrhizal status of a declining pedunculate oak forest (*Quercus robur* L.). *Forest Ecology & Management*, 224:129-140.
- 137) Moser, M. M., 2004: Subalpine conifer forests in the Alps, the Altai, and the Rocky mountains: a comparison of their fungal populations. U (Cripps, C. L., ur.): *Fungi in forest ecosystems: systematics, diversity and ecology*. The New York Botanical Garden Press, New York, str. 151-158.

- 138) Moser, M., 1960: Die Gattung Phlegmacium (Schleimköpfe). – Die Pilze Mitteleuropas IV. Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn Obb.
- 139) Moser, M., 1983: Die Röhrlinge und Blätterpilze (*Polyporales, Boletales, Agaricales, Russulales*). – Kleine Kryptogamenflora IIB/2. Gustav Fischer, Stuttgart - New York.
- 140) Mueller, G. M., Schmit, J. P., 2007: Fungal biodiversity: what do we know? What can we predict? *Biodiversity and Conservation*, 16:1–5.
- 141) MycoBank, 2015: International Mycological Association. Pristupljeno: 30. 03. 2015.  
<http://www.mycobank.org/BioLMIICS.aspx?Link=T&TableKey=1468261600000067&Rec=25932&Fields=All>
- 142) Nagendra, H., 2002: Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied Geography*, 22(2):175-186.
- 143) Nara, K., 2008: Community Developmental Patterns and Ecological Functions of Ectomycorrhizal Fungi: Implications from Primary Succession. U (Varma, A., ur.): *Mycorrhiza*, 3<sup>rd</sup> ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, str. 581-609.
- 144) Newman, E. I., Reddell, P., 1987: The distribution of mycorrhizas among families of vascular plants. *New Phytologist*, 106(4):745-751.
- 145) Niemelä, T., Saarenoksa, R., 1989: On Fennoscandian polypores 10. *Boletopsis leucomelaena* and *B. grisea* described and illustrated. *Karstenia*, 29:12-28.
- 146) Noordeloos, M. E., 1992: *Entoloma* s. l. – Fungi Europaei 5. Libreria editrice Giovanna Biella, Saronno.
- 147) Noordeloos, M. E., 2004: *Entoloma* s. l. Supplemento. – Fungi Europaei 5a. Edizioni Candusso, Alassio.
- 148) Noordeloos, M. E., Kuyper, T. W., Vellinga, E. C., (ur.) 2001: Flora agaricina neerlandica. 5. A. A. Balkema Publishers, Lisse, Abingdon, Exton (Pa), Tokyo.
- 149) Norwell, L. L., Exeter, R. L., 2004: Ectomycorrhizal epigeous basidiomycete diversity in Oregon Coast Range *Pseudotsuga menziesii* forests – Preliminary observation. U (Cripps, C. L., ur.): *Fungi in forest ecosystems: systematics, diversity and ecology*. The New York Botanical Garden Press, New York, str. 159-189.
- 150) Nuñez, M. A., Hayward, J., Horton, T. R., Amico, G. C., Dimarco, R. D., Barrios-Garcia, M. N., Simberloff, D., 2013: Exotic Mammals Disperse Exotic Fungi That Promote Invasion by Exotic Trees. *PloS ONE*, 8(6):e66832.

- 151) Nuytinck, J., Verbeken, A., 2005: Morphology and taxonomy of the European species in *Lactarius* sect. *Deliciosi* (Russu-Russulales). *Mycotaxon*, 92:125–168.
- 152) 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(12):1699-1711.
- 153) Olariaga, I., Salcedo, I., 2012: New combinations and notes in clavarioid fungi. *Mycotaxon*, 121:37-44.
- 154) Oliva, J., Boberg, J., Stenlid, J., 2013: First report of *Sphaeropsis sapinea* on Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Austrian pine (*P. nigra*) in Sweden. *New Disease Reports* 27, 23. <http://dx.doi.org/10.5197/j.2044-0588.2013.027.023>
- 155) Oliva, J., Stenlid, J., Martínez-Vilalta, J., 2014: The effect of fungal pathogens on the water and carbon economy of trees: implications for drought-induced mortality. *New Phytologist*, 203(4):1028-1035.
- 156) Palermo, B. L., Clancy, K. M., Koch, G. W., 2003: The potential role of ectomycorrhizal fungi in determining Douglas-fir resistance to defoliation by the Western Spruce Budworm (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology*, 96(3):783-791.
- 157) Pal-Fam, F., 2011: Mecseki Erdei Élőhelyek Nagygyombaközösségeinek Jellemzése. *Clusiana*, 50(1):55–88.
- 158) Pedersen, C. T., Sylvia, D. M., 1996: Mycorrhiza: ecological implications of plant interactions. U (Mukerji, K. G., ur.): *Concepts in mycorrhizal research*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, str. 197-222.
- 159) Peet, R. K., 1974: The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5:285-307.
- 160) Peet, R. K., 1975: Relative diversity indices. *Ecology*, 496-498.
- 161) Pera, J., Parladé, J., 2005: Inoculación controlada con hongos ectomicorrícicos en la producción de planta destinada a repoblaciones forestales: estado actual en España. *Forest Systems*, 14(3):419-433.
- 162) Perkin Elmer AAnalyst 700, 2011: Users Guide. Perkin Elmer, Waltham, MA, USA.
- 163) Pernek, M., Novak Agbaba, S., Lacković, N., Đođ, N., Lukić, I., Wirth, S., 2012: Uloga biotičkih čimbenika u sušenju borova (*Pinus* spp.) na području sjeverne Dalmacije. *Šumarski list*, 136(5–6): 343–354.

- 164) Pešková, V., 2005: Dynamics of oak mycorrhizas. *Journal of Forest Science*, 51:259–267.
- 165) Pešková, V., 2007: Changes in the mycorrhizal status of some mountain spruce forests. *Journal of Forest Science*, 53,(Special Issue):82–89.
- 166) Pešková, V., Landa, J., Soukup, F., 2011: Findings regarding ectotrophic stability of Norway spruce forest of the Krkonoše and Oorlické mountains based on mycorrhiza studies. *Journal of Forest Science*, 57,(11):500-513.
- 167) Pešková, V., Soukup, F., Landa, J., 2009: Comparison of mycobiota of diverse aged spruce stands on former agricultural soils. *Journal of Forest Science*, 55,(10):452–460.
- 168) Phillips, R., 1982: *Das Kosmosbuch der Pilze*. Franckh Kosmos Verlag, Stuttgart, str. 1-288.
- 169) Potočić, N., Ćosić, T., Pilaš, I., Seletković, I., Vrbeč, B., 2007: Oštećenost i ishrana obične jele. *Radovi – Šumarski institut Jastrebarsko*, 42 (2):109–125.
- 170) Potočić, N., Seletković, I., 2011: Osutost šumskog drveća u Hrvatskoj u razdoblju od 2006. do 2009. godine. *Šumarski list*, 135(13):149-158.
- 171) Program gospodarenja za gospodarsku jedinicu „Kras“, 2014: Uprava šuma podružnica Buzet, Odjel za uređivanje šuma.
- 172) Program gospodarenja za gospodarsku jedinicu „Liburnija“, 2007: Uprava šuma podružnica Buzet, Odjel za uređivanje šuma.
- 173) Program gospodarenja za gospodarsku jedinicu „Motovun“, 2006: Uprava šuma podružnica Buzet, Odjel za uređivanje šuma.
- 174) Program gospodarenja za gospodarsku jedinicu „Planik“, 2006: Uprava šuma podružnica Buzet, Odjel za uređivanje šuma.
- 175) Program gospodarenja za gospodarsku jedinicu „Smokovica“, 2004: Uprava šuma podružnica Buzet, Odjel za uređivanje šuma.
- 176) Qu, L., Makoto, K., Choi, D. S., Qureshi, A. M., Koike, T., 2010: The role of ectomycorrhiza in boreal forest ecosystem. U (Osawa, A. et al., ur.): *Permafrost Ecosystems: Siberian Larch Forests*, Springer Science+Business Media, Ecological studies, Vol. 209, str. 413-425, DOI 10.1007/978-1-4020-9693-8\_21
- 177) Repáč, I., 2011: Ectomycorrhizal Inoculum and Inoculation Techniques. U (Rai, M. i Varma, A. ur.): *Diversity and Biotechnology of Ectomycorrhizae*, Soil Biology 25, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, str. 43-66, DOI 10.1007/978-3-642-15196-5\_3



- 178) Rimington, W. R., Pressel, S., Duckett, J. G., Bidartondo, M. I., 2015: Fungal associations of basal vascular plants: reopening a closed book? *New Phytologist*, 205:1394–1398.
- 179) Rinaldi, A. C., Comandini, O., Kuyper, T. W., 2008: Ectomycorrhizal fungal diversity: separating the wheat from the chaff. *Fungal Diversity* 33:1-45.
- 180) Riva, A., 2003: *Tricholoma* (Fr.) Staude. Suppl. U: *Fungi Europaei* 3A, Alassio.
- 181) Robin, P. D., Amadou, B., Daniel, M., Antoine, G., Ezékiel, B., Bernard, D., Yves, P., 2011: Biotechnological Processes Used in Controlled Ectomycorrhizal Practices. U (Rai, M. i Varma, A. ur.): *Diversity and Biotechnology of Ectomycorrhizae*, *Soil Biology* 25, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, str. 143-154, DOI 10.1007/978-3-642-15196-5\_3
- 182) Romagnesi, H., 1985: *Les Russules d'Europe et d'Afrique du Nord*. J. Cramer, Vaduz.
- 183) Ryvarden, L., Gilbertson, R. L., 1993: European polypores. Part 1. Synopsis fungorum 6, *Fungiflora*, Oslo.
- 184) Ryvarden, L., Gilbertson, R. L., 1994: European polypores. Part 2. Synopsis Fungorum, 7:394-743.
- 185) Sarnari, M., 1998: *Monografia illustrata del Genere Russula in Europa*. Tomo Primo. A.M.B., Trento - Vicenza.
- 186) Sarnari, M., 2005: *Monografia illustrata del Genere Russula in Europa*. Tomo Secondo. A.M.B., Trento - Vicenza.
- 187) Scattolin, L., Dal Maso, E., Mutto Accordi, S., Sella, L., Montecchio, L., 2012: Detecting asymptomatic ink-diseased chestnut trees by the composition of ectomycorrhizal community. *Forest Pathology*, 42:501-509.
- 188) Schmit, J. P., Lodge, D. J., 2005: Classical methods and modern analysis for studying fungal diversity. U (Dighton, J., White, J. F., Oudemans, P., ur.): *The Fungal Community: its organization and role in the ecosystem*, 3<sup>rd</sup> ed., CRC Press, str. 193–214.
- 189) Senn-Irlet, B., Bieri, G., 1999: Sporocarp succession of soil-inhabiting macrofungi in an autochthonous subalpine Norway spruce forest of Switzerland. *Forest Ecology & Management*, 124(2):169-175.
- 190) Shaw, P. J. A., Kibby, G., Mayes, J., 2003: Effect of thinning treatment on an ectomycorrhizal succession under Scots pine. *Mycological Research*, 107(3):317-328.

- 191) Stangl, J., 1989: Die Gattung *Inocybe* in Bayern. *Hoppea*, 46:5-388.
- 192) Stanosz, G. R., Blodgett, J. T., Smith, D. R., Kruger, E. L., 2001: Water stress and *Sphaeropsis sapinea* as a latent pathogen of red pine seedlings. *New Phytologist*, 149(3):531-538.
- 193) 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*, 105:515–523.
- 194) Straatsma, G., Krisai-Greilhuber, I., 2003: Assemblage structure, species richness, abundance, and distribution of fungal fruit bodies in a seven year plot-based survey near Vienna. *Mycological Research*, 107(5):632–640.
- 195) Swart W. J., Wingfield, M. J., 1991: Biology and control of *Sphaeropsis sapinea* on *Pinus* species in South Africa. *Plant Disease*, 75:761–766.
- 196) Šegota, T., Filipčić, A., 2003: Köppenova podjela klima i Hrvatsko nazivlje, *Geoadria*, 8(1):17-37.
- 197) Škorić, A. 1982: Priručnik za pedološka istraživanja. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb, str. 57.
- 198) Tarkka, M., 2000: Developmentally regulated proteins in *Pinus sylvestris* roots and ectomycorrhiza. Academic dissertation, Helsinki.
- 199) Taylor, A. F. S., 1995: Ectomycorrhizal response to environmental perturbation. U: Proceedings of the BIOFOSP. Slovenian Forestry Institute & BF, Ljubljana, str. 173–180.
- 200) Taylor, D. L., Bruns, T. D., 1999: Community structure of ectomycorrhizal fungi in a *Pinus muricata* forest: minimal overlap between the mature forest and resistant propagule communities. *Molecular Ecology*, 8(11):1837-1850.
- 201) Termorshuizen, A. J., Schaffers, A. P., 1987: Occurrence of carpophores of ectomycorrhizal fungi in selected stands of *Pinus sylvestris* in the Netherlands in relation to stand vitality and air pollution. *Plant and Soil*, 104:209-217.
- 202) Termorshuizen, A. J., Schaffers, A. P., 1989: The relation in the field between fruitbodies of mycorrhizal fungi and their mycorrhizas. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 28(1):509-512.
- 203) Timling, I., Dahlberg, A., Walker, D. A., Gardes, M., Charcosset, J. Y., Welker, J. M., Taylor, D. L., 2012; Distribution and drivers of ectomycorrhizal fungal communities across the North American Arctic. *Ecosphere* 3(11):111.  
<http://dx.doi.org/10.1890/ES12-00217.1>

- 204) Tkalčec, Z., Mešić, A., 2008: *Gloiocephala cerkezii*, a new species from Croatia. *Mycologia*, 100(2):320-324.
- 205) Tkalčec, Z., Mešić, A., Hausknecht, A., 2009: Two new taxa of *Bolbitiaceae* (*Agaricales*) from Croatia. *Mycotaxon*, 107(1):249-258.
- 206) Tkalčec, Z., Mešić, A., Matočec, N., Kušan, I., 2008: Crvena knjiga gljiva Hrvatske. Ministarstvo kulture, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb.
- 207) Tomiczek, C., Diminić, D., Cech, T., Hrašovec, B., Krehan, H., Pernek, M., Perny, B., 2007: Bolesti i štetnici urbanog drveća. Šumarski institut, Jastrebarsko, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- 208) UN-ECE ICP Forests, 2006. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part IIIa – Sampling and Analysis of Soil. Updated 06/2006. <http://www.icpforests.org/Manual.htm>
- 209) UN-ECE ICP Forests, 2010. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part IV – Visual Assessment of crown Condition and Damaging Agents. Updated 05/2010. <http://www.icpforests.org/Manual.htm>
- 210) Van der Linde, S., Holden, E., Parkin, P. I., Alexander, I. J., Anderson, I. C., 2012: Now you see it, now you don't: the challenge of detecting, monitoring and conserving ectomycorrhizal fungi. *Fungal Ecology*, 5(5):633-640.
- 211) Vanmechelen, L., Groenmans, R., Van Ranst, E., 1997: Forest soil condition in Europe, Results of a Large-Scale Soil Survey. Forest Soil Coordinating Centre, Brussels, Genève.
- 212) Vesterholt, J., 2005: Fungi of Northern Europe. Vol. 3. The Genus *Hebeloma*. Danish Mycological Society, Copenhagen.
- 213) Vidaković, M., Franjić, J., 2004: Golosjemenjače. 3. izd. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatske šume, Akademija šumarskih znanosti, Zagreb.
- 214) Vukadinović, V., Lončarić, Z., 1998: Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet Osijek, str. 292.
- 215) Wang, B., Qiu, Y. L., 2006: Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza* 16:299–363.
- 216) Whitehill, J. G., Lehman, J. S., Bonello, P., 2007: *Ips pini* (Curculionidae: Scolytinae) is a vector of the fungal pathogen, *Sphaeropsis sapinea*

- (Coelomycetes), to Austrian pines, *Pinus nigra* (Pinaceae). Environmental Entomology, 36(1):114-120.
- 217) Wösten, H. A. B., Wessels, J. G. H., 2006: The Emergence of Fruiting Bodies in Basidiomycetes. U (Kües, U. i Fischer, R., ur.): The Mycota I, Growth, Differentiation and Sexuality, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, str. 393-417.
- 218) Zgrablić, Ž., Brenko, A., Matočec, N., Kušan, I., Fornažar, A., Čulinović, J., Prekalj, G., 2014: Strategija održivog tartufarstva u Istri. Istarska županija, Upravni odjel za poljoprivredu, šumarstvo, lovstvo, ribarstvo i vodoprivredu, Pazin.
- 219) Zotti, M., Di Piazza, S., Ambrosio, E., Mariotti, M. G., Roccotello, E., Vizzini, A., 2013: Macrofungal diversity in *Pinus nigra* plantations in Northwest Italy (Liguria). Sydowia 65(2):223–243.

## 7. PRILOZI

**PRILOG 1.** Obrazac za unos podataka o prikupljenim gljivama na pokusnim plohama.



HRVATSKI ŠUMARSKI INSTITUT  
CENTAR ZA OPĆEKORISNE FUNKCIJE ŠUMA „JOSIP RESEL“, PAZIN

**OBRAZAC PRIKUPLJENIH UZORAKA GLJIVA NA POKUSNIM PLOHAMA**

<b>Uzorak uzeo:</b>		<b>Vremenski uvjeti:</b>				
<b>Datum:</b>		<b>Vrijeme:</b>				
<b>Oznaka plohe:</b>		<b>Lokacija plohe:</b>				
<b>Oznaka uzorka:</b>		<b>Determinirao:</b>				
<b>Vrsta:</b>						
<b>Opis uzorka:</b>						
Dimenzije uzorka:	mm	Promjer klobuka				
	mm	Duljina/širina stručka				
	kom	Broj plodišta na plohi				
	g	Masa u svježem/suhom stanju				
Miris na svježem presjeku						
Promjena boje na svježem presjeku						
Okus						
Kožica klobuka						
<b>Reakcija mesa</b>		Površina klobuka	Meso klobuka	Meso u bazi stručka	Listići	Mlijeko na prerezu
	KOH					
	NH <sub>4</sub> OH					
	FeSO <sub>4</sub>					
	Lugolova otopina					
<b>Napomena:</b>						

**PRILOG 2.** Fotografije otvorenih pedoloških profila u istraživanim kuturama.

Eutrični kambisol na flišu – ploha Previž



Eutrični kambisol na flišu, plitki – ploha Lesišćina, (autor: Boris Vrbek)



Eutrični kambisol na flišu, plitki – ploha Paz, (autor: Boris Vrbek)



Kalkokambisol, plitki – ploha Lovranska Draga, (autor: Boris Vrbek)



Kalkokambisol, srednje duboki – ploha Trstenik, (autor: Boris Vrbek)



Kalkokambisol, plitki – ploha Ripenda, (autor: Boris Vrbek)



Kalkokambisol, plitki – ploha Kurbino brdo, (autor: Boris Vrbek)



Terra rossa, lesivirana – ploha Mali Golji, (autor: Boris Vrbek)



Terra rossa, srednje duboka – ploha Trošti, (autor: Boris Vrbek)

**PRILOG 3.** Fitocenološki snimak istraživanih ploha.

Table number	TRSTENIK	MALI GOLJI	TROŠTI	KURB BRDO	LESIŠĆINA	PREVIŽ	PAZ	RIPENDA	LOV DRAGA
Date (year/month/day)	20140617	20140618	20140616	20140617	20140617	20140616	20140616	20140618	20140617
RelevÚ area (m2)	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00
Cover tree layer (%)	80	60	60	50	60	80	60	70	50
Cover shrub layer (%)	40	80	70	80	60	40	20	30	50
Cover herb layer (%)	80	70	40	40	30	60	70	60	90
Cover moss layer (%)	0	0	40	50	0	70	0	20	0
<i>Vrste reda Quercetalia pubescentis</i>									
<i>Pinus nigra</i>	t1	3	3	3	3	4	3	3	3
<i>Fraxinus ornus</i>	t1	.	+	3	.	2	+	3	1
<i>Sorbus torminalis</i>	t1	.	.	.	.	+	+	1	.
<i>Quercus pubescens</i>	t1	.	+	.	.	1	+	.	.
<i>Pinus nigra</i>	s1	.	.	.	.	1	.	.	.
<i>Fraxinus ornus</i>	s1	+	+	2	+	1	1	2	3
<i>Quercus cerris</i>	s1	.	+	.	.	.	.	.	+
<i>Quercus pubescens</i>	s1	.	+	+	+	.	+	1	+
<i>Sorbus torminalis</i>	s1	.	+	.	.	+	+	+	.
<i>Acer obtusatum</i>	s1	.	.	.	.	+	.	.	.
<i>Cotinus coggygria</i>	s1	.	.	.	.	2	+	3	1
<i>Pinus nigra</i>	hl	.	.	.	.	+	.	.	.
<i>Quercus cerris</i>	hl	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Fraxinus ornus</i>	hl	.	.	.	.	1	.	1	1
<i>Acer obtusatum</i>	hl	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Quercus pubescens</i>	hl	.	.	.	+	.	1	1	.
<i>Prunella laciniata</i>	hl	.	+	.	.	+	+	.	.
<i>Ruscus aculeatus</i>	hl	.	+	+	.	.	1	.	+

<i>Tamus communis</i>	hl	.	+	+	.	.	+	1	.	.
<i>Viola hirta</i>	hl	.	+	+	.	r	.	+	+	.
<i>Brachypodium pinnatum</i>	hl	.	.	.	.	.	+	+	.	+
Vrste sveze <i>Ostryo-Carpinion orientalis</i>										
<i>Ostrya carpinifolia</i>	t1	2	.	.	.	.	.	+	1	.
<i>Acer monspessulanum</i>	s1	+	+	.	.	.	+	.	+	+
<i>Carpinus orientalis</i>	s1	+	+	.	.	+	.	r	.	.
<i>Ostrya carpinifolia</i>	s1	1	.	+	.	+	.	+	+	+
<i>Prunus mahaleb</i>	s1	+	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Coronilla emerus ssp. emeroides</i>	s1	.	.	.	.	.	.	.	.	2
<i>Sesleria autumnalis</i>	hl	2	+	.	.	+	1	3	3	4
<i>Asparagus acutifolius</i>	hl	.	+	+	.	.	.	1	1	1
<i>Trifolium rubens</i>	hl	.	.	.	.	+	.	+	.	.
Vrste ass. <i>Seslerio-Fagetum</i> te druge iz reda <i>Fagetalia</i>										
<i>Fagus sylvatica</i>	t1	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Corylus avellana</i>	s1	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Berberis vulgaris</i>	s1	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Daphne mezereum</i>	s1	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lonicera alpigena</i>	s1	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rhamnus fallax</i>	s1	1	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rosa pendulina</i>	s1	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rubus idaeus</i>	s1	1	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ulmus glabra</i>	s1	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lonicera xylosteum</i>	s1	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sorbus aria</i>	s1	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sorbus aucuparia</i>	s1	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rhamnus cathartica</i>	s1	+	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Actaea spicata</i>	hl	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Anemone nemorosa</i>	hl	+	.	.	.	.	.	.	.	.



<i>Aremonia agrimonoides</i>	hl	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Asarum europaeum</i>	hl	1	.	.	.	.	.	.	.
<i>Dentaria enneaphyllos</i>	hl	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Moehringia muscosa</i>	hl	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sanicula europaea</i>	hl	1	.	.	.	.	.	.	.
<i>Viola reichenbachiana</i>	hl	+	.	.	.	.	.	.	.
Vrste as. <i>Helleboro multifidi-Castanetum</i> i druge mezofile i acidofilne vrste									
<i>Castanea sativa</i>	t1	.	+	1	+	.	.	.	.
<i>Ulmus minor</i>	t1	.	.	+	.	.	.	.	.
<i>Castanea sativa</i>	s1	.	.	1	+	.	.	.	+
<i>Euonymus europaeus</i>	s1	.	.	+	+	.	.	.	.
<i>Acer campestre</i>	s1	.	.	+	+	.	.	+	.
<i>Cornus sanguinea</i>	s1	.	+	2	1	.	+	+	.
<i>Ulmus minor</i>	s1	.	.	+	+	.	.	+	.
<i>Cornus mas</i>	s1	+	+	1	+	.	.	+	+
<i>Rubus fruticosus agg.</i>	s1	.	3	.	2	.	.	.	.
<i>Crataegus monogyna</i>	s1	+	.	+	+	.	+	.	.
<i>Ligustrum vulgare</i>	s1	.	2	2	2	.	1	+	.
<i>Prunus spinosa</i>	s1	+	.	2	1	.	.	.	.
<i>Castanea sativa</i>	hl	.	+	+	.	.	.	.	.
<i>Helleborus multifidus ssp. istriacus</i>	hl	+	+	+	+	.	.	.	+
<i>Lonicera caprifolium</i>	hl	.	2	3	2	.	+	+	2
<i>Clematis vitalba</i>	hl	1	1	1	3	.	+	.	1
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	hl	.	1	1	+	.	.	.	.
<i>Mycelis muralis</i>	hl	+	+	.	+	.	.	.	.
<i>Pteridium aquilinum</i>	hl	.	2	.	2	.	.	.	.
<i>Veronica officinalis</i>	hl	.	+	+	.	.	.	.	.
<i>Tanacetum macrophyllum</i>	hl	.	+	+	.	.	.	.	.

Baziofilne vrste:										
<i>Blackstonia perfoliata</i>	hl	.	.	.	.	+	+	.	.	.
<i>Carex flacca</i>	hl	.	.	.	.	+	1	.	.	.
<i>Buphthalmum salicifolium</i>	hl	.	.	.	.	+	+	.	.	.
<i>Dorycnium germanicum</i>	hl	.	.	.	.	.	+	.	.	.
<i>Dorycnium pentaphyllum agg.</i>	hl	.	.	.	.	1	.	.	.	+
<i>Medicago lupulina</i>	hl	.	.	.	.	+	+	.	.	.
<i>Teucrium chamaedrys</i>	hl	.	.	.	.	+	1	.	.	+
<i>Sanguisorba minor</i>	hl	.	.	.	.	+	+	.	.	.
<i>Inula hirta</i>	hl	.	.	.	.	+	+	.	+	.
<i>Inula salicina</i>	hl	.	.	.	.	+	.	.	.	.
<i>Juniperus oxycedrus</i>	s1	.	.	.	.	3	1	.	+	.
Acidofilne vrste:										
<i>Juniperus communis</i>	s1	.	+	.	+	.	1	+	.	.
<i>Cytisus nigricans</i>	s1	.	.	.	.	2	+	.	.	.
<i>Hieracium pilosella</i>	hl	.	.	.	.	+	2	.	.	.
<i>Hieracium racemosum</i>	hl	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Hieracium sylvaticum</i>	hl	+	.	.	.	+	.	+	.	.
<i>Carex halleriana</i>	hl	.	.	.	.	.	1	.	.	.

**PRILOG 4.** Popis vrsta gljiva i broj njihovih plodišta prema plohama i godinama praćenja. Legenda: 1 – Trstenik, 2 – Mali Golji, 3 – Previž, 4 – Trošti, 5 – Kurbino brdo, 6 – Paz, 7 – Lovranska Draga, 8 – Ripenda, 9 – Lesišćina; A – 2011. god., B – 2012. god., C – 2013. god.; sap – saprotrof, mik – mikorizna vrsta.

VRSTA	TROF. GRUP A	PLOHA (broj plodišta)															
		1			2			3			4	5	6	7	8	9	
		A	B	C	A	B	C	A	B	C							
<i>Agaricus impudicus</i> Fr.	sap								1								
<i>Amanita phalloides</i> (Fr.) Link	mik															5	
<i>Auriscalpium vulgare</i> Gray	sap					1	1					17	10			5	2
<i>Baeospora myosura</i> (Fr.) Singer	sap	7	1	11					4			10	7		11		
<i>Boletopsis grisea</i> (Peck) Bondartsev & Singer	mik																1
<i>Cantharellus lutescens</i> (Pers.) Fr.	mik								188	966				9		11	
<i>Chroogomphus rutilus</i> (Schaeff.) O.K. Mill.	mik				1		1					1	5	3	2	5	1
<i>Clavulina cinerea</i> (Bull.) J. Schröt.	mik			6								12					
<i>Clavulina coralloides</i> (L.) J. Schröt.	mik			10								65					
<i>Clavulina rugosa</i> (Bull.) J. Schröt.	mik		29														
<i>Clitocybe gibba</i> (Pers.) P.	sap											1					
<i>Clitocybe glareosa</i> Röllin & Kumm Monthoux	sap											3					8
<i>Clitocybe nebularis</i> (Batsch) P. Kumm.	sap			2								32	40				
<i>Clitocybe phaeophthalma</i> (Pers.) Kuyper	sap		1	11		9	4										
<i>Clitocybe</i> sp. 1	sap												1				1
<i>Clitocybe</i> sp. 2	sap			5													
<i>Clitocybe</i> sp. 3	sap								2	1							
<i>Clitocybe</i> sp. 4	sap			1													
<i>Clitocybe</i> sp. 5	sap			1													
<i>Clitocybe</i> sp. 6	sap		1														
<i>Clitocybe</i> sp. 7	sap																1



<i>Hemimycena lactea</i> (Pers.) Singer	sap					3	4	2		13
<i>Hemimycena</i> sp. 1	sap						1			
<i>Hydnellum ferrugineum</i> (Fr.) P. Karst.	mik		5	29	44					27
<i>Hydnum albidum</i> Peck	mik			7	28					14
<i>Hygrocybe psittacina</i> (Schaeff.) P. Kumm.	sap						2			
<i>Hygrophorus cossus</i> (Sowerby) Fr.	mik									10
<i>Hygrophorus latitabundus</i> Britzelm.	mik		1	1				1		1
<i>Hygrophorus lindtneri</i> M.M. Moser	mik	1								
<i>Hypholoma fasciculare</i> (Huds.) P. Kumm.	sap									188
<i>Inocybe bongardii</i> (Weinm.) Quél.	mik		1	1						
<i>Inocybe flavella</i> P. Karst.	mik									4
<i>Inocybe geophylla</i> (Sowerby) P. Kumm.	mik			43		2				
<i>Inocybe mixtilis</i> (Britzelm.) Sacc.	mik		6		4			2	6	
<i>Inocybe</i> sp. 1	mik			1	24					
<i>Inocybe</i> sp. 2	mik									3
<i>Inocybe</i> sp. 3	mik						1			46
<i>Inocybe</i> sp. 4	mik									2
<i>Inocybe</i> sp. 5	mik			1						
<i>Inocybe</i> sp. 6	mik								1	
<i>Inocybe</i> sp. 7	mik							3		
<i>Inocybe</i> sp. 8	mik				1					
<i>Inocybe</i> sp. 9	mik									2
<i>Inocybe whitei</i> (Berk. & Broome) Sacc.	mik	2	2							
<i>Laccaria laccata</i> (Scop.) Cooke	mik			2						
<i>Lactarius atlanticus</i> Bon	mik				1					
<i>Lactarius aurantiacus</i> (Pers.) Gray	mik				2		3			10
<i>Lactarius chrysorrheus</i> Fr.	mik							6	82	

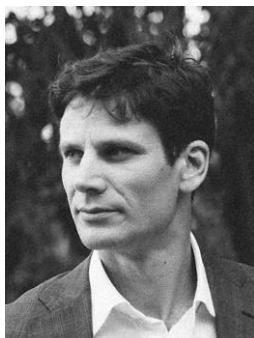
<i>Lactarius deliciosus</i> (L.) Gray	mik	1				1		7					4	
<i>Lactarius sanguifluus</i> (Paulet) Fr.	mik					1	5	11		1			14	
<i>Lactarius</i> sp. 1	mik					1								
<i>Lepiota cristata</i> (Bolton) P. Kumm.	sap	1												
<i>Lepista flaccida</i> (Sowerby) Pat.	sap									1				
<i>Lepista glaucocana</i> (Bres.) Singer	sap								5					
<i>Lepista nuda</i> (Bull.) Cooke	sap								1					
<i>Lepista</i> sp. 1	sap												3	
<i>Limacella glioderma</i> (Fr.) Maire	sap	10	4											
<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.	sap						3						4	
<i>Lycoperdon</i> sp. 1	sap								1					
<i>Lyophyllum aemiliae</i> Cons.	mik					8	68	70					10	
<i>Macrolepiota mastoidea</i> (Fr.) Singer	sap				1									
<i>Macrolepiota procera</i> (Scop.) Singer	sap				5									
<i>Marasmius epiphyllus</i> (Pers.) Fr.	sap										2			
<i>Melanoleuca</i> sp. 1	sap												5	
<i>Melanoleuca</i> sp. 2	sap		1											
<i>Mycena epipterygia</i> (Scop.) Gray	sap									5				
<i>Mycena galopus</i> (Pers.) P. Kumm.	sap	38	9	5	5	7		6	19	17	13	7	6	5
<i>Mycena haematopus</i> (Pers.) P. Kumm.	sap									6				
<i>Mycena maculata</i> P. Karst.	sap				1	2								
<i>Mycena pura</i> (Pers.) P. Kumm.	sap	3	4		1		4	9	8					3
<i>Mycena rosea</i> Gramberg	sap													4
<i>Mycena seynesii</i> Quél.	sap										3	5	3	
<i>Mycena</i> sp. 1	sap								10			1	1	
<i>Mycena</i> sp. 10	sap									2				
<i>Mycena</i> sp. 2	sap								22	2			1	
<i>Mycena</i> sp. 3	sap		1											

<i>Mycena</i> sp. 4	sap						4	1		12		5	4
<i>Mycena</i> sp. 5	sap								6				
<i>Mycena</i> sp. 6	sap							1	2				
<i>Mycena</i> sp. 7	sap					2	1					1	
<i>Mycena</i> sp. 8	sap				7				1				
<i>Mycena</i> sp. 9	sap								2		3		
<i>Mycena vulgaris</i> (Pers.) P. Kumm.	sap								13			2	
<i>Phellodon niger</i> (Fr.) P. Karst.	mik						70	33					109
<i>Pholiota gummosa</i> (Lasch) Singer	sap									11			
<i>Pluteus pouzarianus</i> Singer	sap									1			
<i>Pluteus</i> sp. 1	sap									2	1	1	
<i>Postia stiptica</i> (Pers.) Jülich	sap										2		
<i>Psathyrella</i> sp. 1	sap	3	7										
<i>Ramaria decurrens</i> (Pers.) R.H. Petersen	mik								2	3			
<i>Ramaria gracilis</i> (Pers.) Quél.	mik	1							4				
<i>Rhizomarasmius undatus</i> (Berk.) R.H. Petersen	sap									2			
<i>Rhodocollybia butyracea</i> (Bull.) Lennox	sap	4	10	4	14			2	1	1			
<i>Rickenella fibula</i> (Bull.) Raitelh.	sap						4	2					
<i>Russula aurea</i> Pers.	mik	1			2	10			1				
<i>Russula cessans</i> A. Pearson	mik	8	11	3						2			
<i>Russula chloroides</i> (Krombh.) Bres.	mik		5										
<i>Russula delica</i> Fr.	mik			3									
<i>Russula integra</i> (L.) Fr.	mik		5							2			
<i>Russula</i> sp. 1	mik		1		1	1	1	2					
<i>Russula</i> sp. 2	mik							2	1				
<i>Russula</i> sp. 3	mik					2							
<i>Russula</i> sp. 4	mik	3											
<i>Russula</i> sp. 5	mik				1								

<i>Russula torulosa</i> Bres.	mik	1	1	1			14	9	18		1	31	1	3
<i>Suillus collinitus</i> (Fr.) Kuntze	mik						27	9	1			26		5
<i>Suillus granulatus</i> (L.) Roussel	mik	27	20	21	8	14	3		2	32	94	1	2	9
<i>Suillus luteus</i> (L.) Roussel	mik	1					7	1	8					1
<i>Suillus mediterraneensis</i> (Jacquet. & J. Blum) Redeuilh	mik							3						
<i>Suillus variegatus</i> (Sw.) Kuntze	mik						3		12					
<i>Trametes versicolor</i> (L.) Lloyd	sap		1											
<i>Tricholoma batschii</i> Gulden	mik								9					
<i>Tricholoma caligatum</i> (Viv.) Ricken	mik						6	11	14					
<i>Tricholoma focale</i> (Fr.) Ricken	mik						6	4						
<i>Tricholoma psammopus</i> (Kalchbr.) Quél.	mik													1
<i>Tricholoma stans</i> (Fr.) Sacc.	mik	3	1				1							
<i>Tricholoma terreum</i> (Schaeff.) P. Kumm.	mik						122	13	77					57
<i>Xerula pudens</i> (Pers.) Singer	sap												1	
<i>Xerula radicata</i> (Relhan) Dörfelt	sap	17	3											



## 8. ŽIVOTOPIS



Željko Zgrablić rođen je 10. listopada 1980. godine u Puli. Osnovnu školu Vladimir Nazor u Pazinu završava 1995. godine, a Drvodjeljsku školu u Zagrebu 2000. godine. Iste godine upisuje Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Diplomirao je 14. srpnja 2005. godine na Zavodu za zaštitu šuma i lovno gospodarenje, s radom pod naslovom „Utjecaj krupne divljači na sloj grmlja i prizemnog rašća u šumi hrasta crnike i crnog jasena u uzgajalištu divljači Ubaš“. Iste godine, u rujnu, zapošljava se u Vrtnom centru Istrasjeme u Puli gdje radi do veljače 2009. godine. Potom radi kao voditelj izvedbe projekta krajobraznog uređenja krova podzemne garaže u Punta Skala Resort, (Petrčane, Zadar) te kao voditelj izvedbe projekta krajobraznog uređenja interijera u West Gate trgovačkom centru (Zaprešić). U siječnju 2010. godine zapošljava se u Hrvatskom šumarskom institutu kao znanstveni novak – asistent na projektu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa pod nazivom „Rast i razvoj šuma u različitim ekološkim i gospodarskim uvjetima“. U akademskoj godini 2010/2011. upisuje poslijediplomski doktorski studij Šumarstvo na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, smjer Urbano šumarstvo, zaštita prirode, uređivanje i zaštita šuma.

U svom znanstveno-istraživačkom radu bavi se šumskim mikorizama i njihovom ulogom u ekosustavu, utjecaju na zdravstveno stanje šumskog drveća, produkcijom biomase, brojnošću, fenologijom i bioraznolikošću makrogljiva, nedrvinim šumskim proizvodima, te održivim razvojem i gospodarenjem tartufima.

Kao suradnik je sudjelovao na projektu *FOPER II* te još nekoliko projekata. Od 2013. godine aktivno sudjeluje u COST akciji FP1303 pod nazivom *European non-wood forest products network*.

Tijekom poslijediplomskog studija završio je više međunarodnih radionica i sudjelovao na osam domaćih i međunarodnih konferencija.

Osim znanstveno-istraživačkog rada, obavljaio je i stručne poslove koje provodi Hrvatski šumarski institut. Aktivno se služi engleskim i talijanskim jezikom, a pasivno i španjolskim.

Tajnik je Istarskog mikološko – gljivarskog saveza.

Član je Hrvatskog mikološkog društva i Hrvatskog lovačkog saveza.

U slobodno se vrijeme bavi filatelijom.

### **Radovi u prvoj skupini referentnih časopisa (a1)**

1. **Zgrablić, Ž.**, Tkalčec, Z., Marjanović, H., Mešić, A., Diminić, D., 2015: Smanjuju li ektomikorizne gljive osjetljivost crnog bora (*Pinus nigra* J. F. Arnold) na zarazu vrstom *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et Sutton? Šumarski list, u tisku.

### **Prezentacija na međunarodnom znanstvenome skupu (a3)**

1. **Zgrablić, Ž.**, Medak, J., 2014: First results on mycocoenological and phytocoenological characteristics of Austrian pine (*Pinus nigra*) stands in Istria, Croatia. Natural resources, green technology & sustainable development, Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb.
2. **Zgrablić, Ž.**, Vrbek, B., 2014: Preliminary research on fungi productivity indicator in forest soils of Istria, Croatia. 4th African Conference on Edible and Medicinal Mushrooms (ACEMM4), Kakamega, Kenija, Masinde Muliro University of Science and Technology.
3. **Zgrablić, Ž.**, Diminić, D., 2013: Abundance, biomass and phenology of genus *Suillus* in Austrian pine (*Pinus nigra*) stands in Istria, Croatia – preliminary results. 4. Hrvatski Botanički Simpozij s međunarodnim sudjelovanjem, Split, Hrvatsko botaničko društvo, Sveučilište u Splitu Prirodoslovno-matematički fakultet.
4. **Zgrablić, Ž.**, 2012: Rare mycorrhizal fungi of genus *Tricholoma* in Austrian pine (*Pinus nigra*) stands in Istria, Croatia – preliminary results. International Symposium on "Evolution of Balkan Biodiversity" Zagreb, Hrvatsko botaničko društvo.

### **Poster na međunarodnom znanstvenom skupu**

1. **Zgrablić, Ž.**, Milotić, M., Grebenc, T., 2014: Truffles in Istria: An overview of their importance for people and ecology. The second symposium on hypogeous fungi in the Mediteranean basin (HYPOGES 2) and The Fifth Congress *Tuber aestivum / uncinatum*

European Scientific Group (TAUESG 5), Rabat, Maroko, Université Mohammed V–Agdal, Faculté des Sciences, Département de Biologie.

2. **Zgrablić, Ž.**, Diminić, D., 2013: Productivity of edible mycorrhizal fungi in Austrian pine (*Pinus nigra*) stands in Istria, Croatia – preliminary results. Non-wood forest products, health and well-being, Helsinki, Finska, University of Helsinki, Ruralia Institute.
3. **Zgrablić, Ž.**, Fornažar, A., Kolar, I., Littvay, T., 2010: Traditional production of beech charcoal (*Fagus sylvatica* L.) at Ćićarija mountain. FAGUS 2010, International Scientific Symposium "Is there future for beech - changes, impacts and answers", Varaždin, Hrvatski šumarski insitut.

### **Izlaganje na domaćem znanstvenom skupu**

1. **Zgrablić, Ž.**, Diminić, D., 2015: Preliminarno istraživanje mikoriznih gljiva kao indikatora zdravstvenog stanja kultura crnog bora u Istri. 59. Seminar biljne zaštite, Opatija, Hrvatsko društvo biljne zaštite.

### **Patenti, knjige i dijelovi knjiga**

1. **Zgrablić, Ž.**, Brenko, A., Matočec, N., Kušan, I., Fornažar, A., Čulinović, J., Prekalj, G., 2014: Strategija održivog tartufarstva u Istarskoj županiji. Istarska županija, Upravni odjel za poljoprivredu, šumarstvo, lovstvo, ribarstvo i vodoprivredu, Pazin, str. 1-64.

## 9. CURRICULUM VITAE

*Željko Zgrablić was born on the 10<sup>th</sup> of October 1980 in Pula. He finished elementary school Vladimir Nazor in Pazin (1995), and high school in Zagreb (2000). He graduated on the 14<sup>th</sup> of July 2005 at The Faculty of Forestry, University of Zagreb, Department of Forest Protection and Game Management, with Master thesis “Influence of Big Game on Shrub and Ground Layer Vegetation in Holm Oak and Mana Ash Forest at Ubaš Breeding Site”.*

*From September 2005 to February 2009, he was employed at Garden centre Istrasjeme in Pula. Afterwards, he worked as building site supervising engineer for landscaping at Punta Skala Resort (Zadar) and for the landscape arrangement inside the West Gate Shopping City (Zagreb). From January 2010 he has been working at Croatian Forest Research Institute, as science novice – assistant on the project of Ministry of Science, Education and Sports, entitled “Growth and Development of Forests in Different Ecological and Management Conditions”. In academic year 2010/2011 he entered a postgraduate doctoral program Forestry, at the Faculty of Forestry, University of Zagreb, direction Urban forestry, nature protection, forest management and forest protection.*

*As a scientific researcher he is interested in forest mycorrhizae and their role in the ecosystem, influence on forest tree health, biomass production, abundance, phenology and biodiversity of macrofungi, non-wood forest products, and sustainable truffle management.*

*He was an associate in the FOPER II project and several other projects. Since 2013 he has been actively involved in COST Action FP1203 entitled „European Non-wood Forest Products Network“.*

*During postgraduate doctoral study he attended several international workshops and participated in eight domestic and international conferences. Aside his scientific and research work, he has been involved in professional work tasks regularly carried out by the Croatian Forest Research Institute.*

*He is a secretary of the Istrian Mycological – Mushrooming Association, a member of the Croatian Mycological Society and the Croatian Hunting Association.*

*Foreign languages proficiency: English (A), Italian (B), and Spanish (C)*

*Hobbies: Philately.*