

GDK: 114.7--01:22:176.1 "Fagus sylvatica L.": "1998-2001"(045)

Prispelo / Received: 13. 5. 2004
Sprejeto / Accepted: 23. 6. 2004

Izvorni znanstveni članek
Original scientific paper

RAZNOVRSTNOST TIPOV EKTOMIKORIZE V BUKOVIH SESTOJIH RAZLIČNO ONESNAŽENIH GOZDNIH PLOSKEV

Samar Al Sayegh Petkovšek*

Izvleček

V obdobju od 1998 do 2001 smo z mikobioindikacijsko metodo analizirali tipe ektomikorize in določili njihovo raznovrstnost v standardnih volumnih tal različno onesnaženih gozdnih raziskovalnih ploskev bukovih sestojev. Gozdne raziskovalne ploskve so bile izbrane v bližini termoenergetskih objektov (onesnaženo območje: Zavodnje - Prednji vrh in Zasavje - Dobovec) in v okolici Kočevske Reke (referenčno, neonesnaženo območje: Preža in Moravške gredice). Identificirali smo 88 različnih tipov ektomikorize iz skupnega števila 95.044 kratkih korenin. Izračunali smo biodiverzitetne indekse (Shannon-Weaverjev indeks, indeks vrstnega bogstva in indeks izenačenosti) in ugotovili, da raznovrstnost tipov ektomikorize v talnih vzorcih onesnaženih ploskev ni bistveno zmanjšana, kar povezujeemo z vitalnostjo bukovih sestojev.

Ključne besede: tipi ektomikorize, indeksi biodiverzitete, *Fagus sylvatica* L., gozdne raziskovalne ploskve

BIODIVERSITY OF TYPES OF ECTOMYCORRHIZAE IN FAGUS STANDS IN DIFFERENTLY POLLUTED FOREST RESEARCH PLOTS

Abstract

Types of ectomycorrhizae were identified by the mycobioidication method and biodiversity was assessed in soil cores from differently polluted beech forest research plots in the period 1998 – 2001. Forest research plots were situated in the vicinity of thermal power plants (polluted plots: Zavodnje – Prednji vrh and Zasavje - Dobovec) and in unpolluted areas (in the vicinity of Kočevska Reka: Preža and Moravške gredice). Eighty-eight different types of ectomycorrhizae were determined from a total of 95,044 root tips. Biodiversity indices (Shannon-Weaver index of diversity, species richness and equitability) were estimated. In soil cores from polluted areas no decrease in biodiversity was determined. Consequently, it can be concluded that high biodiversity reflects good health status of beech forest in Slovenia.

Key words : types of ectomycorrhizae, *Fagus sylvatica* L., forest research plots, diversity indices

* mag., Erico, Velenje, Inštitut za ekološke raziskave, Koroška 58, 3320 Velenje, SLO, samar.petkovsek@erico.si

VSEBINA
CONTENTS

1	UVOD.....	7
	INTRODUCTION	
2	MATERIAL IN METODE.....	10
	MATERIAL AND METHODS	
3	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	12
	RESULTS AND DISCUSSION	
4	ZAKLJUČKI.....	15
	CONCLUSIONS	
5	SUMMARY.....	16
6	VIRI.....	16
	REFERENCES	
	ZAHVALA.....	19
	ACKNOWLEDGEMENTS	

1 UVOD

INTRODUCTION

Ektomikoriza je mutualistična simbioza kratkih korenin dreves in talnih micelijev gliv, ki se je razvila predvsem kot prilagoditev na ekosisteme, kjer je malo razpoložljivih hranil (JOHANSSON 2002, SMITH / READ 1997). Tovrstni ekosistemi so prevladujoči v gozdovih borealnega in zmernege pasu, še posebej na kisljih tleh, kjer je razpadanje listnega opada počasno. Pomanjkanje dušika postaja glavni omejitveni dejavnik rasti, zato ima mobilizacija dušika ter možnost njegove vgraditve, ki ga omogoča ektomikorizna simbioza, izreden ekološki pomen (READ 1991).

Ektomikorizno korenino označuje prisotnost treh struktur: glivnega plašča, ki obdaja korenino, Hartigove mreže (hifni labirint med epidermalnimi in kortikalnimi celicami kratke korenine, ki predstavlja izmenjevalno območje med glivo in rastlino) in ekstramatrikalnega micelija, ki tvori povezavo med tlemi, površino korenin in mozaično razporejenimi viri hranil (KRAIGHER *et al.* 2000). Ektomikorizna simbioza se vzpostavi, ko hife ektomikorizne glive pridejo v stik s površino ustrezne nemikorizne kratke korenine, jo ovijejo in tvorijo plašč, iz katerega izraščajo hife v talni substrat. Hife sprejemajo hranila in vodo ter jih prek glivnega plašča transportirajo v Hartigovo mrežo, kjer se skladiščijo in presnavljajo. Nato hife Hartigove mreže prenesejo hranila in vodo k celicam gostiteljske rastline, od katere v zameno dobijo organske ogljikove spojine (BRUNNER 2001). Glivni partner v tej simbiotski povezavi ima aktivno vlogo pri sprejemanju hranil in vode iz tal, ki so korenini nedostopni in mobilizaciji organsko vezanih hranil; mnoge ektomikorizne glive so sposobne sprejemati organsko snov, ki jo razgrajujejo saprofitske glive. Dodatno ektomikorizni plašč predstavlja fizično zaščito pred sušo, herbivori in patogeni, hkrati pa se z različnimi mehanizmi detoksifikacije v plašču in Hartigovi mreži zmanjša dostopnost in toksičnost težkih kovin za rastline (BERTHELSEN / OLESEN / STEINNES 1995, VODNIK / BOŽIČ / GOGALA 1995).

Z ekosistemskega vidika je še zlasti pomembna časovna in prostorska komponenta mikoriznih simbioz, ki se vzpostavlja prek mikoriznih micelijskih povezovalnih mrež (MOLINA *et al.* 2001). Poleg vpliva mikoriznih gliv na procese kroženja hranil je namreč vse bolj raziskan vpliv micelijskih mrež na rastlinsko združbo, na njeno raznovrstnost, produktivnost in stabilnost. Če je v gozdnih tleh vzpostavljena micelijska mreža, le-ta omogoča semenkam hitrejšo in večjo mikorizacijo, kajti semenke se v stiku z micelijem lahko inficirajo hitreje kot pa prek spor in mrtvih korenin; lahko jih inficirajo različne glive in takoj postanejo del že obstoječega mikoriznega micelija, prek katerega lahko sprejemajo mineralna hranila in organske ogljikove spojine (NEWMAN 1988, SIMARD *et al.* 1997,

READ 1998). Poleg prostorske povezave predstavljajo tudi časovno vez v gozdnem ekosistemu. Slednji se spreminja zaradi svojega naravnega razvoja in pod vplivom različnih drugih dejavnikov (suša, vetrolomi, požari, insekti, golosečnja). Pionirske rastline npr. vzdržujejo in gradijo glivno združbo tako, da jo oskrbujejo s fotosintati; rastline kasnejših sukcesijskih stadijev lahko tvorijo mikorizo z večino omenjenih gliv in tako izkoristijo že obstoječo mikorizno simbiozo (MOLINA *et al.* 2001). Dokazali so, da je bilo preživetje sadik duglazije, ki so jih sadili na rastišču, kjer je bila prej razvita erikoidna mikoriza, za 50 % večje kot na rastišču, kjer so prevladovale trave. Mikorizni potencial, ki se je ohranil v tleh, je omogočil hitro in uspešno mikorizacijo sadik in je kot tak bistven za njihovo preživetje (AMARANTHUS / PERRY 1994).

Do nedavnega je naše znanje o talnih združbah ektomikoriznih gliv temeljilo predvsem na popisih trosnjakov višjih gliv (ARNOLDS 1991, FELLNER 1993, LAGANA *et al.* 2000, 2002, MATOČEC *et al.* 2000, PILTAVER *et al.* 2002, AL SAYEGH PETKOVŠEK / POKORNY / PILTAVER 2003, FELLNER / LANDA 2003), toda realnejšo sliko dobimo z identifikacijo tipov ektomikorize direktno na kratkih koreninah dreves (KRAIGHER / BATIC / AGERER 1996, AL SAYEGH PETKOVŠEK / KRAIGHER 2000, 2003, ERLAND / TAYLOR 2002). Mikoriza je namreč vseskozi prisotna v tleh in se ne pojavlja sezonsko kot trosnjaki, poleg tega pa mnoge ektomikorizne glive ne tvorijo trosnjakov oziroma so ti težje opazni (TAYLOR 1995).

Raznolikost talnih združb se spreminja v različnih razvojnih fazah gozda, na različnih rastiščih in pod vplivom različni motenj, vključno z onesnaževanjem okolja. Različni tipi ektomikorize imajo različen fiziološki in ekološki vpliv na rastline oziroma posamezne vrste gliv pozitivno vplivajo na določene vrste rastlin. Večja raznolikost talne ektomikorizne združbe torej lahko omogoča večjo floristično pestrost in posledično večjo stabilnost gozdnega ekosistema (GIANINAZZI-PEARSON 1984, GABROVŠEK / GOGALA 1990, READ 1998, SIMONČIČ *et al.* 1998, KRAIGHER 2002).

Talne ektomikorizne združbe se torej spreminjajo pod vplivom naravnih abiotskih (lastnosti tal in njihova heterogenost: organska snov, vlažnost, pH, temperatura; naravni požari) in antropogenih dejavnikov (vnos dušika, težkih kovin, zakisovanje, vpliv ozona, CO₂, apneneje itd). Antropogeni dejavniki zmanjšujejo vrstno pestrost, povečujejo dominantnost posameznih tipov ektomikorize, hkrati pa se pojavljajo nove, tolerantnejše vrste, ki nadomeščajo občutljivejše (KRAIGHER 1997, 1999, KOVACS / PAUSCH / URBAN 2000, ERLAND / TAYLOR 2002).

Različne raziskave so skušale povezati stanje gozdnega ekosistema in talnih ektomikoriznih združb v onesnaženih območjih. V čeških gozdovih so v različnih sestojih (sestoji bukve, hrasta in smreke) dokazali korelacijo med deležem vitalnih kratkih korenin in deležem močno poškodovanih dreves, vendar z dvema omejitvama. Soodvisnost se je pojavila le, če je bila osutost krošenj vsaj 60 % in če je bilo v talnih vzorcih, ki so jih primerjali, število mikoriznih kratkih korenin podobno (FELLNER / PEŠKOVA 1995).

V raziskavah propadanja hrastovih gozdov v SV delu Avstrije je bilo ugotovljeno zmanjšanje raznovrstnosti tipov ektomikorize propadajočih dreves, pojavljanje nekaterih morfotipov pa je bilo visoko soodvisno s stopnjo osutosti dreves (KOVACS / PAUSCH / URBAN 2000). Podobno je bilo ugotovljeno s primerjavo pojavljanja tipov ektomikorize v talnih vzorcih, vzorčenih na različno onesnaženih ploskvah, izbranih v imisijskem območju največjega termoenergetskega objekta v Sloveniji; izdvojeni so bili tipi ektomikorize, ki so se pogosto in stalno pojavljali (dominantno) v talnih vzorcih onesnažene (*Paxillus involutus* (Batsch: Fr.) x *Picea abies* (L.) Karst. Fr. in *Xerocomus badius* (Fr.: Fr.) Gilb. x *Picea abies* (L.) Karst.) oziroma neonesnažene ploskve (*Hydnum rufescens* Schaeff.: Fr. x *Picea abies* (L.) Karst., *Amphynema byssoides* (Pers.) J. Erikss. x *Picea abies* (L.) Karst. in *Cenococcum geophilum* Fr. x *Picea abies* (L.) Karst) (KRAIGHER / BATIČ / AGERER 1996, KRAIGHER 1999).

TAYLOR s sodelavci (2000) je raziskoval vpliv dušikovih spojin na ektomikorizne združbe na območjih, izbranih na transektu od severa do juga Evrope (od Skandinavije do osrednje Evrope). Dokazal je zmanjšanje raznovrstnosti morfotipov v bolj onesnaženih predelih Evrope, vendar le za smrekove gozdove. Dve vrsti (*Tylospora fibrillosa* (Burt) Donk x *Picea abies* (L.) Karst. in *Lactarius rufus* (Scop.: Fr.) Fr. x *Picea abies* (L.) Karst.) sta prevladovali v večini talnih združb močno onesnaženih območij. Obraten trend je bil značilen za pripadnike družine Cortinariaceae (TAYLOR / MARTIN / READ 2000). Tudi druge raziskave so pokazale, da je rod koprenk izredno občutljiv na evtrofikacijo z dušikovimi spojinami (LILLESKOV / FAHEY 1996).

Poleg vnosa dušikovih spojin na ektomikorizne združbe pomembneje vpliva pH tal. Spremembe, ki nastanejo zaradi zakisovanja tal, so manj drastične kot tiste, povezane z apnenjem tal, saj so ektomikorizne glive večinoma prilagojene na kislila tla. Ob tretiranju raziskovalnih ploskev s kislim dežjem se je število tipov zmanjšalo, dominantnost pa povečala; slednje je bilo zlasti značilno za tipa ektomikorize *Russula ochroleuca* (Hall.) Pers. x *Picea abies* (L.) Karst. in *Cenococcum geophilum* Fr. x *Picea abies* (L.) Karst) (TAYLOR 1995).

2 MATERIAL IN METODE MATERIAL AND METHODS

2.1 OPIS GOZDNIH RAZISKOVAНИH PLOSKEV SITE DESCRIPTION

Gozdne raziskovalne ploskve smo izbrali v neposredni bližini termoelektrskih objektov (Termoelektrarna Šoštanj (TEŠ): Zavodnje – Prednji vrh, Termoelektrarna Trbovlje (TET): Zasavje – Dobovec) in primerjalno v neonesnaženem območju v okolici Kočevske Reke (Moravske gredice in Preža). Značilnosti raziskovalnih ploskev prikazujemo v preglednici 1.

Preglednica 1: Opis gozdnih raziskovalnih ploskev

Table 1: Description of forest research plots

Ploskev / Plot	Lega / Location	N. v. / Elev.	Matična kamnina / Bedrock	Tip tal / Soil type	Rastlinska združba / Plant association
Prednji vrh	8,3 km SZ od TEŠ	830 m	tonalit	distrična rjava tla	<i>Castaneo-Fagetum sylvaticae</i> var. geogr. <i>Hieracium rotundatum</i> MARINČEK, ZUPANČIČ 1979
Dobovec	2,5 km S od TET	790 m	apnec	rendzina in rjava pokarbonatna tla	<i>Dentario-Fagetum</i> M. WRABER 1960
M. gredice	okolica Kočevske Reke	540 m	skrilavci peščenjaki	distrična rjava tla	<i>Blechno-Fagetum</i> HORVAT 1950
Preža	okolica Kočevske Reke	670 m	apnec	rendzina in rjava pokarbonatna tla	<i>Lamio orvale-Fagetum praedinaricum</i> MARINČEK, PUNCER, ZUPANČIČ (1982) 1983

Izbrani raziskovalni ploskvi, ki ležita v imisijskem območju termoelektrarn, sodita v onesnaženo območje. V gozdnih tleh se kopičijo žveplene spojine (Prednji vrh: 0,18 % in Dobovec: 0,21 %) in posamezne težke kovine (Cd in Pb). Vsebnosti Cd prekoračujejo mejne vrednosti (Zavodnje) in ponekod opozorilne vrednosti (Dobovec); vsebnosti Pb so enake oziroma prekoračujejo opozorilne vrednosti v zgornji plasti obeh ploskev (AL SAYEGH PETKOVŠEK 2000). Na raziskovalni ploskvi Zavodnje – Prednji vrh je bila v letu 1998 osutost bukve 40,7 %, osutost smreke pa 73 % (SMOLEJ *et al.* 2000). Primerjava rezultatov iz Zasavja z rezultati popisa (za leto 1999) na vseslovenski mreži kaže, da

je povprečna osutost na vseh ploskvah večja, največji delež med poškodovanimi drevesi ima Dobovec skupaj s Kovkom. Osutost bukve na ploskvi Preža je bila pod slovenskim povprečjem (BIENELLI KALPIČ 2002, MAVSAR 1999). Povprečne vsebnosti žvepla v listih bukve prekoračujejo zgornjo mejno vrednost na Dobovcu in v Zavodnjah, v okolici Kočevske Reke pa mejna vrednost ni presežena (BIENELLI KALPIČ 2000).

2.2 METODA MIKOBIOINDIKACIJE MYCOBIOINDICATION METHOD

Uporabili smo metodo mikobioindikacije z analizo bolj in manj občutljivih tipov ektomikorize. Metoda predvideva analizo tipov ektomikorize v standardnem volumnu tal (KRAIGHER / BATIČ / AGERER 1996). V vzorcu tal (273 cm³) smo prešteli vse kratke korenine in jih ločili v dve skupini; v skupino tipov ektomikorize, ki smo jih opisali (določljivi tipi ektomikorize), in skupino nedoločljivih tipov ektomikorize. Vzorčenja smo opravili v obdobju od leta 1998 do 2001, in sicer: 1.6.1998 (ZB1, ZB2, P1, Mg2); 22.10.1998 (ZB II, P2 II, Mg 2 II); 29.6.1999 (D1, D2); 14.4.2000 (Ds1 II, Db3 II); 1.10.2000 (ZB III, Mg III); 3.4.2001 (PA III PA1 III, Mg IV) in 13.6.2001 (ZB IV, DIII) (oznake talnih vzorcev so zbrane v Preglednici 2).

Preglednica 2: Talni vzorci, vzorčeni v obdobju 1998 - 2001

Table 2: Soil samples collected in the years 1998 - 2001.

Ploskev / Plot	Oznake talnih vzorcev / Soil sample code
Zavodnje – Prednji vrh	ZB1, ZB2, ZB II, ZB III, ZB IV
Dobovec	D1, D2, Ds1 II, Db3 II, D III
Moravške gredice	Mg 2, Mg 2 II, Mg III, Mg IV
Preža	P1, P2 II, PA1 III, PA III

2.3 STATISTIČNE METODE STATISTICAL ANALYSES

Za statistične analize smo uporabili programski paket *Statistica for Windows*. (STATSOFT 1999). Značilnost razlik med dvema območjema smo izračunali s neparametričnimi metodami z uporabo Mann-Whitney U testa. Soodvisnost med številom določljivih kratkih korenin in številom tipov ektomikorize smo testirali z izračunom korelacijskega koeficienta linearne regresije (r).

Izračunavali smo tri indekse biodiverzitete in Jaccardov indeks podobnosti (ATLAS / BARTHA 1981, TARMAN 1992):

- a) Indeks vrstnega bogastva združbe (d): $d = S - 1 / \log N$, kjer je S = število tipov ektomikorize in N = število določljivih mikoriznih kratkih korenin.
- b) Shannon - Weaverjev indeks splošne vrstne diverzitete (H): $H = -\sum P_i \log P_i$, kjer je $P_i = n_i / N$ in n_i = št. mikoriznih kratkih korenin posameznega tipa ektomikorize, N je število določljivih mikoriznih kratkih korenin in P_i = verjetnost za posamezno vrsto.
- c) Indeks izenačenosti (j): $j = H / \log S$, kjer je H = indeks splošne vrstne diverzitete in S = število tipov ektomikorize.
- d) Jaccardov indeks: $J = g / (a + b) - g$, kjer je g = število skupnih vrst v obeh združbah, a = število vrst v prvi združbi in b = število vrst v drugi združbi.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA RESULTS AND DISSCUSION

V obdobju od leta 1998 do 2001 smo pregledali 95.044 kratkih korenin v 18 talnih vzorcih, vzorčenih na štirih izbranih gozdnih ploskvah, kjer prevladuje bukev. Skupaj smo identificirali 88 različnih tipov ektomikorize.

Izračunavali smo tri vrste biodiverzitetnih indeksov: indeks vrstnega bogastva (d) (povezuje število vrst in število osebkov vseh vrst), indeks izenačenosti (j) (pove nam, ali obstajajo v populaciji dominantne vrste) in indeks splošne vrstne diverzitete ali Shannon-Weaverjev indeks (H). Med vsemi indeksi je najbolj uporaben slednji, ker upošteva relativno pogostnost posamezne vrste. V stresnih razmerah so vsi indeksi manjši, iz česar sklepamo, da so populacije slabše prilagojene na stresne razmere. Običajne vrednosti Shannon-Weaverjevega indeksa se gibljejo od 1,5 do 3,5 (URBANČIČ / KUTNAR 1998). Manjše vrednosti indeksa smo izračunali za tri talne vzorce, in sicer: ZB III, ZB IV (Zavodnje – Prednji vrh) in Mg 2 II (Moravske gredice); izenačen pa je bil v talnem vzorcu ZB1 (Zavodnje – Prednji vrh). Zgornje meje ni prekorlačil noben izračunan indeks. Največje indekse smo izračunali v talnih vzorcih P1, PA1 II (Preža), Mg 2 (Moravske gredice), vse v talnih vzorcih, odvzetih na referenčnih (neonesnaženih) območjih. Primerjali smo indekse biodiverzitete za združen vzorec in ugotovili, da med povprečnima vrednostima posameznih indeksov za onesnaženo oziroma neonesnaženo območje ni statistično značilnih razlik; ravno tako ni statistično značilnih razlik v številu tipov ektomikorize in v številu določljivih kratkih korenin (Preglednica 3). Primerjava Shannon-Weaverjevih indeksov za posamezne lokacije pokaže, da so vsi izenačeni (okoli 2), le za lokacijo Prednji vrh je ta nekoliko manjši (1,6).

Preglednica 3: Indeksi biodiverzitete tipov ektomikorize v talnih vzorcih
Table 3: Biodiversity indices of types of ectomycorrhizae in soil samples

Talni vzorec / Soil sample	d	H	j	S	N	%
Zavodnje ZB1	3,1	1,5	0,6	11	1873	11,5
Zavodnje ZB2	4,0	2,0	0,7	15	2901	20,2
Zavodnje ZB II	4,4	2,0	0,7	16	2551	44,9
Zavodnje ZB III	2,8	1,4	0,6	10	1606	48,5
Zavodnje ZB IV	3,0	1,3	0,6	10	1026	28,8
Dobovec D1	2,9	1,6	0,7	10	1214	25,6
Dobovec D2	3,5	2,3	0,9	12	1342	28,5
Dobovec Ds1 II	2,9	2,0	0,9	10	1108	28,8
Dobovec Db3 II	2,3	1,8	0,9	8	1180	55,8
Dobovec III	2,4	1,8	0,9	8	751	24,9
a ± t_{0,05} *SE	3,1 ± 0,2	1,8 ± 0,1	0,7 ± 0,07	10,0 ± 0,5	1555 ± 158,9	-
Preža P1	5,2	2,6	0,9	17	1160	20,4
Preža P2 II	2,4	1,6	0,7	9	1875	34,6
Preža PA1 III	1,8	2,6	0,7	7	1773	46,6
Preža PA III	2,5	1,8	0,8	9	1667	44,9
M. gredice Mg2	3,8	2,8	1,1	13	1550	36,6
M. gredice Mg2 II	1,9	1,3	0,7	7	1511	31,4
M. gredice Mg III	2,7	1,9	0,8	10	2408	40,9
a ± t_{0,05} *SE	2,9 ± 0,45	1,9 ± 0,35	0,7 ± 0,05	10,3 ± 1,3	1706,3 ± 84,3	-

Legenda: d: indeks vrstnega bogastva, H: Shannon-Weaverjev indeks splošne vrstne raznovrstnosti, j: indeks izenačenosti, S: število vrst tipov ektomikorize, N: število določenih mikoriznih kratkih korenin in % delež določenih mikoriznih kratkih korenin. a ± t_{0,05} *SE : aritmetična sredina z odklonom zaupanja.

Legend: d: species richness, H: Shannon-Weaver diversity index, j: equitability, S: number of types of ectomycorrhizae, N: number of vital mycorrhizal short roots and % percentage of vital mycorrhizal short roots, a ± t_{0,05} *SE : arithmetic mean with confidence limits.

Podobnost združb smo primerjali tudi z Jaccardovim indeksom, ki temelji na ugotavljanju skupnih vrst združb. Vsi so majhni, indeks ni nikjer večji od 0,3. Še najbolj sta si podobni ploskvi Preža in Dobovec, kjer je 27 % skupnih vrst. Povzamemo lahko, da gre za vrstno zelo raznolike združbe, kjer je sorazmerno malo skupnih vrst, vendar pa je splošna vrstna diverziteta podobna in biodiverzitetni indeksi niso bistveno zmanjšani. Nekoliko manjši so le v posameznih talnih vzorcih raziskovalne ploskve Prednji vrh.

Naredili smo primerjavo (povzeto iz literature in lastnih podatkov) med indeksi splošne vrstne diverzitete (H) v talnih vzorcih, vzorčenih v predelu korenin smrek, bukev in hrastov (Preglednica 4). V tabeli smo primerjali povprečne vrednosti H (vpisana ena vrednost) oziroma posamezne vrednosti v talnih vzorcih (prikazan je interval od minimalnih do maksimalnih vrednosti) za posamezno lokacijo. Najmanjše vrednosti H so določene v talnih vzorcih s Hudobrežnikovega vrha, pobočja, ki je direktno izpostavljeno emisijam iz TEŠ. Še zlasti majhna biodiverziteta je v talnih vzorcih ob osuti smreki. Enake majhne

vrednosti so določene v talnih vzorcih ob hrastih, pri propadajočih še manjše kot pri vitalnih hrastih (KOVACS / PAUSCH / URBAN 2000).

Preglednica 4: Primerjava Shannon-Weaverjevih indeksov (H) v talnih vzorcih iz smrekovih, hrastovih in bukovih sestojev iz različno onesnaženih območij
Table 4: Comparison of Shannon-Weaver indices (H) in soil samples from spruce, oak and beech stands in differently polluted areas

Dominantna drevesna vrsta / Predominant tree species	Neonesnaženo območje / Unpolluted area	Onesnaženo območje / Polluted area	Reference / Bibliography
Smreka <i>Picea abies</i>	2,2 (Pokljuka, Slovenija) 2,2 (Mislinjski graben, Slovenija) 3,5 (Ahden, S Švedska)	2,3 (Zavodnje, Slovenija) 0,7 – 1,2 (Hudobrežnikov vrh, Slovenija)* 1,0 – 1,3 (Hudobrežnikov vrh, Slovenija)** 2,6 (Waldstein, Nemčija) 3,3 (Aubure, SV Francija in Klosterhede, Danska)	KRAIGHER 1999; KRAIGHER <i>et al.</i> 2000 AL SAYEGH PETKOVŠEK / POKORNY 2003 TAYLOR / MARTIN / READ 2000
Hrast <i>Quercus sp.</i>		1,2 – 1,3 (SV Avstrija)* 1,3 – 1,5 (SV Avstrija)**	KOVACS / PAUSCH / URBAN 2000
Bukev <i>Fagus sylvatica</i>	2,8 (Gribskov, S Danska) 1,6 – 2,6 (Preža, Slovenija) 1,9 – 2,8 (Moravške gredice, Slovenija)	2,3 (Aubure, SV Francija) 3,2 (Collelongo, Italija) 3,9 (Schacht, Nemčija) 1,3 – 2,0 (Zavodnje, Slovenija) 1,6 – 2,3 (Dobovec, Slovenija)	TAYLOR / MARTIN / READ 2000

Legenda: * označuje vrednosti H v vzorcih, kjer so bila drevesa osuta (so propadala), ** označujeta vrednosti H v vzorcih z istih lokacij, odvzetih ob vitalnih drevesih. Krepko so označene največje vrednosti H.

Legend: With * we marked damaged trees and with ** vital trees at the same location. The highest values for spruce and beech are bolded.

Ob primerjavi biodiverzitetnih indeksov velja opozoriti, da je vse rezultate, povezane z raznovrstnostjo, treba obravnavati previdno, vsaj dokler ne bomo razumeli prostorske razporeditve tipov ektomikorize, ki nikakor ni slučajna, in tem ugotovitvam prilagodili način vzorčenja (ERLAND / TAYLOR 2002).

Kljub zgornjim pomislekom pa lahko ugotovimo, da so indeksi talnih vzorcev, odvzetih v bukovih sestojih iz okolice Kočevske Reke, večji kot tisti, vzorčeni v smrekovih sestojih Pokljuke in Pohorja (obakrat gre za neonesnaženo območje). Večji indeksi splošne vrstne

biodiverzitete v primerjavi s smreko so najverjetneje odraz vitalnosti bukev, saj je bukev v Sloveniji drevesna vrsta z najmanj znaki poškodovanosti (HOČEVAR / MAVSAR / KOVAČ 2002). Očitno obstaja povezava med pestrostjo tipov ektomikorize in vitalnostjo dreves. Korelacija med deležem vitalnih kratkih korenin in osutostjo dreves je bila v nekaterih primerih že dokazana (FELLNER / PEŠKOVA 1995), vendar se je ta soodvisnost pojavila le pri drevesih, ki so močno poškodovana (vsaj 60 % osutost). V bukovih sestojih obravnavanih ploskev je bila povprečna osutost bukve v letu 1999 znatno manjša, še zlasti to velja za ploskvi Preža (14,5 %) in Dobovec (22 %) (BIENELLI KALPIČ 2002), medtem ko je bila na ploskvi Prednji vrh v letu 1998 nekoliko večja (40,7 %) (SMOLEJ *et al.* 2000). Ta podatek morda lahko povežemo z dejstvom, da je bil najmanjši povprečni indeks H izračunan za talne vzorce s te ploskve in zato sklepamo, da se večja osutost bukve odraža v manjši pestrosti tipov ektomikorize. Povezava med raznovrstnostjo in deležem vitalnih kratkih korenin ter posredno vitalnostjo bukev je verjetnejša tudi zato, ker je korelacija med številom določljivih tipov ektomikorize (ki jih lahko enačimo z vitalnim tipi mikorize) in številom vrst za združen vzorec z obeh onesnaženih ploskev (Zavodnje in Dobovec) visoko značilna ($r = 0,89$ in $p < 0,05$). Te soodvisnosti za referenčno območje nismo uspeli dokazati.

Poudariti velja, da tudi v drugih okoljih (TAYLOR / MARTIN / READ 2000) niso uspeli dokazati negativnega vpliva onesnaževanja (evtrofikacije z dušikovimi spojinami) na združbo ektomikoriznih gliv bukovih gozdov (spremljali so pojavljanje morfotipov in trosnjakov gliv). Vzrok je morda ta, da so ektomikorizne združbe bukovih sestojev najverjetneje odpornejše na vnos dušika, saj bukev naravno raste v tleh, ki imajo večjo sposobnost nitrifikacije in mineralizacije dušika in je zato selekcija favorizirala nitrofilne ektomikorizne glive (*ibid.*).

4 ZAKLJUČKI CONCLUSIONS

Analizirane ektomikorizne združbe posameznih raziskovalnih ploskev se med seboj vrstno zelo razlikujejo (vsi Jaccardovi indeksi so manjši od 0,3), vendar je raznovrstnost podobna. Indeksi splošne vrstne diverzitete (H) za združen vzorec s posameznih ploskev so izenačeni. Izjema je Prednji vrh, kjer so v nekaterih vzorcih indeksi biodiverzitete manjši. Sklepamo torej, da je raznovrstnost tipov ektomikorize v preučevanih bukovih sestojih velika. To ugotovitev povezujemo z dejstvom, da so bukke na obravnavanih ploskvah le rahlo (Dobovec, Preža) do zmerno osute (Prednji vrh). Spremembe v ektomikorizni

združbi so pričakovane le, če ima rastlinski partner močno poškodovano krošnjo. Predvidevamo, da je vitalnost bukev oziroma njihova manjša občutljivost na onesnažila vzrok, da nismo dokazali zmanjšanja raznovrstnosti talnih združb bukovih sestojev gozdnih ploskev izbranih v imisijskih območjih termoelektrarn.

5 SUMMARY

The aim of our study was to assess the below-ground diversity of ectomycorrhizae (through the Shannon-Weaver diversity index, the index of equitability and species richness). All indices were high in both types of sites (polluted and unpolluted); however, they were slightly lower in some soil cores at Prednji vrh, where the percentage of damaged beech trees was higher in comparison to other locations. It is evident that ectomycorrhizal diversity in studied beech forest plots was not affected; therefore it seems that high biodiversity reflects good health status of sustainably managed beech forest sites in Slovenia.

In addition, we also compared similarities among fungal communities (with the Jaccard index). As all the calculated indices were low, a conclusion was made that the below-ground fungal communities are very diverse on each of the studied plots while only a small number of types were shared between plots.

6 VIRI REFERENCE

- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S., 2000. Mikobioindikacija gozdnih rastišč v Zavodnjah, Zasavju in Kočevski Reki.- Letno poročilo. ERICo Velenje DP 577/99.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S. / KRAIGHER, H., 2000. Types of Ectomycorrhizae from Kočevska Reka.- *Phyton (Austria)*, 40 (4): 37-42.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S. / KRAIGHER, H., 2003. Mycorrhizal potential of two forest research plots with respect to reduction of the emission from the Thermal Power Plant Šoštanj.- *Acta Biologica Slovenica*, Vol. 46, št.1: 9-16.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S. / POKORNY, B., 2003. Bioindikacija onesnaženosti gozdnih rastišč (popisi gliv in analize tipov ektomikorize).- Letno poročilo, ERICo Velenje DP 5/02/03.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S. / POKORNY, B. / PILTAVER, A. 2003. Prvi seznam makromicet s širšega območja Šaleške doline.- *Zb. Gozd. Les* 74: 83-120.
- AMARANTHUS, M. P. / PERRY, D. A., 1994. The functioning of ectomycorrhizal fungi in the field: linkages in space and time.- *Plant and Soil* 159: 133-140.
- ARNOLDS, E., 1991. Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe.- *Agric., Ecosyst. Environ.*, 35: 209-244.

- ATLAS, R. / BARTHA, R., 1981. Introduction to microbiology.- Addison-Wesley Publishing Company, Reading, s.
- BERTHELSEN, B. O. / OLSEN, R. A. / STEINNES, E., 1995. Ectomycorrhizal heavy metal accumulation as a contributing factor to heavy metal levels in organic surface soil.- *Sci. Total. Environ.* 170: 141-149.
- BIENELLI KALPIČ, A., 2000. Raziskave gozdnega ekosistema na vplivnem območju Termoelektrarne Trbovlje.- Letno poročilo. ERICo Velenje DP 95/2000.
- BIENELLI KALPIČ, A., 2002. Ugotavljanje stresa pri bukvi (*Fagus sylvatica* L.) na vplivnem območju Termoelektrarne Trbovlje z izbranimi ekofiziološkimi kazalniki.- Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za biologijo, 146 s.
- BRUNNER, I., 2001. Ectomycorrhizas: their role in forest ecosystems under the impact of acidifying pollutants.- *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, Vol. 4/1: 13-27.
- ERLAND, S. / TAYLOR, A. F. S., 2002. Diversity of ectomycorrhizal fungal communities in relation to the abiotic environment.- In: VAN DER HEIJDEN, M. / SANDERS, T. (Eds.), *The ecology of ectomycorrhizas.- Ecological studies Series, Volume 157, Chapter 7*, Springer Verlag, s.163-193.
- FELLNER, R., 1993. Air pollution and mycorrhizal fungi in central Europe.- In: PEGLER, D. N. / BODDY, L. / ING, B. / KIRK, P. M. (Eds.) *Fungi of Europe: Investigation, Recording and Conservation*, Royal Botanic Gardens, Kew, s. 239-250.
- FELLNER, R. / LANDA, J., 2003. Mycorrhizal revival: case study from the Giant Mts., Czech Republic.- *Czech Mycol.* 54 (3-4): 193-203.
- FELLNER, R. / PEŠKOVA, V., 1995. Effects of industrial pollutants on ectomycorrhizal relationship in temperate forest.- *Can. J. Bot.* 73 (Suppl. 1): S1310-S1315.
- GABROVŠEK, K. / GOGALA, N., 1990. Vpliv nekaterih ektomikoriznih gliv na rast sadik smreke (*Picea abies* (L.) Karst.).- *Biološki vestnik* 38(3): 47-55.
- GIANINAZZI-PEARSON, V., 1984. Host-fungus Specificity, Recognition and Compatibility in Mycorrhizae.- In: *Genes involved in Microbe - Plant Interactions*, s. 225-254.
- HOČEVAR, M. / MAVSAR, R. / KOVAČ, M., 2002. Zdravstveno stanje gozdov v Sloveniji v letu 2000.- *Zb. Gozd. Les.* 67:119-157.
- JOHANSSON, J. F., 2002. Belowground ectomycorrhizal community structure along a local nutrient gradient in boreal forest in Northern Sweden.- *Swedish University of Agriculture Sciences, Department of Forest Mycology and Pathology, Msc Thesis. Uppsala, Sweden*, 127 s.
- KOVACS, G. / PAUSCH, M. / URBAN, A., 2000. Diversity of Ectomycorrhizal Morphotypes and Oak Decline.- *Phyton (Austria)*, Special issue: Root-soil interactions, Vol. 40 (4): 109-116.
- KRAIGHER, H., 1994. Citokinini in tipi ektomikorize pri sadikah smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) kot kazalci onesnaženosti gozdnih rastišč.- *Doktorska disertacija*. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, 156 s.
- KRAIGHER, H., 1997. Mikobioindikacija onesnaženosti dveh gozdnih rastišč.- *Zb. Gozd. Les.* 52: 279-322.
- KRAIGHER, H., 1999. Diversity of ectomycorrhizae on Norway Spruce in Slovenia.- *Phyton (Austria)*, Special issue: *Plant Physiology*, Vol. 39: 199-202.
- KRAIGHER, H., 2002. Mikorizne glive. V: HLAD, B. / SKOBERNE, P., (Eds.) *Pregled stanja biotske raznovrstnosti in krajinske pestrosti v Sloveniji*.- Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, 1. ponatis, 224 s.
- KRAIGHER, H. / BATIČ, F. / AGERER, R., 1996. Types of ectomycorrhizae and mycobioindication of forest site pollution.- *Phyton (Horn, Austria)* 36 (3): 115- 120.
- KRAIGHER, H. / PILTAVER, A. / KALAN, P. / MUNDA, A. / RUPEL, M. / AL SAYEGH PETKOVŠEK, S. /

- TROŠT, T. / VILHAR, U., 2000. Pestrost in pomen biokomponente v gozdnih tleh in rizosferi.- In: KRAIGHER, H. (Ed.). Raziskave gozdnih tal in rizosfere ter njihov vpliv na nekatere fiziološke parametre gozdnega drevja v izbranih gozdnih ekosistemih, sestojnih tipih in razvojnih stadijih gozda (L4-7402).- Strokovna in znanstvena dela / Gozdarski inštitut Slovenije 118, s. 110-189.
- LAGANA, A. / SALERINI, E. / BARLUZZI, C. / PERINI, C. / DE DOMINICIS, V., 2000. Mycocoenology in *Abies alba* Miller woods of central-southern Tuscany (Italy).- Acta Societatis Botanicorum Poloniae, Vol. 69 (4): 293-298.
- LAGANA, A. / SALERINI, A. / BARLUZZI, C. / PERINI, C. & DE DOMINICIS, V., 2002. Macrofungi as long-term indicators of forest health and management in central Italy.- Cryptogamie, Mycologie, 23 (1): 39 - 50.
- LILLESKOV, E. A. / FAHEY, T. J., 1996. Patternes of ectomycorrhizal diversity over an atmospheric nitrogen deposition gradient near Kenai, Alaska.- In: SZARO, T. M. / BRUNS, T. D. (Eds.): Abstract of the 1st International Conference of Mycorrhizae, University of California, Berkeley, s. 76.
- MATOČEC, N. / ANTONIĆ, O. / MRVOŠ, D. / PILTAVER, A. / HATIĆ, D. / BUKOVEC, D., 2000. An estimate of fir forest health based on mycobioidication: The Križ stream catchment area, Gorski Kotar, Croatia, a case study.- Nat. Croatia. Vol. 9, No. 1: 15-33.
- MAVSAR, R., 1999. Popis stanja gozdov v Sloveniji leta 1998 na 16 x 16 km mreži, spremembe stanja v obdobju 1987 - 1997 in stanje gozdov v Sloveniji.- Zb.Gozd.Les. 58: 139-163.
- MOLINA, R. / PILZ, D. / SMITH, J. / DUNHAM, S. / DREISBACH, T. / O'DELL, T. / CASTELLANO, M. 2001. Conservation and managment of forest fungi in the Pacific Northwestern United States: an integrated ecosystem approach.- In: MOORE, D. / NAUTA, M. M. / EVANS, S. E. / ROTHEROE, M. (Eds.): Fungal Conservation: Issues and Solutions.- Cambridge, University Press, s. 19-63.
- NEWMAN, E., 1988. Mycorrhizal Links Between Plants: Their Functioning and Ecological Significance.- Advances in Ecological Research Vol. 18., Academic Press Inc. (London) Limited, s. 243-270.
- PILTAVER, A. / MATOČEC, N. / KOSEC, J. / JURC, D., 2002. Macrofungi on dead wood of beech in Slovenian forest reserves Rajhenavski Rog and Krokar.- Zb. Gozd. Les. 69: 171-196.
- READ, D. J., 1991. Mycorrhizas in ecosystems.- Experientia, 47(4): 376-390.
- READ, D. J., 1998. Plants on the web.- Nature, Vol. 396, pp. 22-23.
- SIMARD, S. W. / PERRY, D. A. / JONES, M. D. / MYROLDS, D. D. / DURALL, D. M. / MOLINA, R., 1997. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field.- Nature, Vol. 388/7: 579-581.
- SIMONČIČ, P. / SMOLEJ, I. / RUPEL, M. / URBANČIČ, M. / KALAN, P. / KRAIGHER, H., 1998. Kroženje hranil in pestrost ektomikorize v smrekovem gozdu na Pokljuki.- XIX. Gozdarski študijski dnevi.- Zbornik referatov »Gorski gozd«. Logarska dolina, marec 1998, s. 207- 221.
- SMITH, S. E. / READ, D. J., 1997. Mycorrhizal symbiosis.- Academic Press, Cambridge, 605 s.
- SMOLEJ, I. / ČATER, M. / URBANČIČ, M. / SIMONČIČ, P. / KUTNAR, L., 2000. Naravne razmere, preteklo gospodarjenje in stanje gozda na raziskovalnih ploskvah.- In: KRAIGHER, H. (ur.). Raziskave gozdnih tal in rizosfere ter njihov vpliv na nekatere fiziološke parametre gozdnega drevja v izbranih gozdnih ekosistemih, sestojnih tipih in razvojnih stadijih gozda (L4-7402).- Strokovna in znanstvena dela / Gozdarski inštitut Slovenije 118, s. 12-31.
- TARMAN, K., 1992. Osnove ekologije in ekologija živali.- Državna založba Slovenije, 546 s.
- TAYLOR A. F. S., 1995. Ectomycorrhizal response to environmental perturbation.- Proc. of BIOFOSP, Ljubljana, Avgust, 22-31, 1995:173-179.
- TAYLOR, A. F. S. / MARTIN, F. / READ, D. J., 2000. Fungal diversity in ecto-mycorrhizal communities of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Beech (*Fagus sylvatica* L.) along north-south transects in Europe.-

- In: SHULZE, E. D. (Ed.): Ecological studies, vol. 142. Springer Berlin Heidelberg New York, pp 343-365.
- URBANČIČ, M. / KUTNAR, L., 1998. Pestrost talnih razmer in pritalne vegetacije gozdov na morenah Pokljuške planote. XIX.- Zbornik referatov: "Gorski gozd". Logarska dolina, marec 1998, s. 223-241.
- VODNIK, D. / BOŽIČ, M. / GOGALA, N., 1995. Lead toxicity in ectomycorrhizae – growth response of spruce transplanted onto polluted soil.- Bioindication of Forest Site Pollution: Development of Methodology and training. TEMPUS M-JEP 04667. August 22-31, 1995. Ljubljana, Slovenija.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskave so bile delno izvedene v okviru projekta »Raziskave gozdnih tal in rizosfere ter njihov vpliv na nekatere fiziološke parametre gozdnega drevja v izbranih gozdnih ekosistemih, sestojnih tipih in razvojnih fazah gozda (Rizosfera)« (L4-7402), ki sta ga financirala Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport RS in Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS ter delno v okviru raziskovalnih projektov, ki jih je financirala Termoelektrarna Šoštanj.

Za sodelovanje se zahvaljujem sodelavcem z Gozdarskega inštituta Slovenije: doc. dr. Hojki Kraigher, dr. Primožu Simončiču, Mateju Ruplu in sodelavcem iz inštituta ERICo Velenje: Marku Videmšku, Meti Zaluberšek, Jožici Verzolak, mag. Juliji Beričnik Vrbovšek in doc. dr. Boštjanu Pokornemu za pregled članka in strokovne pripombe, ki so izboljšale članek. Hvala tudi recenzentom prof. dr. Francu Batiču, doc. dr. Hojki Kraigher in Tinetu Grebencu. Še posebej dragocena je bila pomoč doc. dr. Hojke Kraigher, ki je na GIS vodila projekt »Rizosfera« in je tudi po njegovem prenehanju z nasveti in idejami pomembno prispevala k vsebini naše raziskave. Na koncu velja prisrčna zahvala sodelavki z inštituta ERICo Jelki Flis, ki me je vseskozi vzpodbujala, da pri analizah desettisočev kratkih korenin nisem obupala.

