

GDK: 172.8+425(497.12 Šaleška dolina)(045)

Prispelo / Received: 04. 04. 2006

Sprejeto / Accepted: 06. 10. 2006

Izvirni znanstveni članek

Original scientific paper

## GLIVE KOT ODZIVNI IN AKUMULACIJSKI BIOINDIKATORJI ONESNAŽENOSTI GOZDNIH RASTIŠČ V ŠALEŠKI DOLINI

Samar AL SAYEGH PETKOVŠEK<sup>1</sup>, Boštjan POKORNY<sup>2</sup>

### Izvlaček

V Šaleški dolini smo analizirali talne in nadzemne glivne združbe z namenom ugotoviti potencialno onesnaženost gozdnih rastišč. Glive smo uporabili kot odzivne (pojavljanje trosnjakov višjih gliv, raziskave tipov ektomikorize in mikoriznega potenciala tal) in akumulacijske (analize težkih kovin v trosnjakih gliv) kazalce stanja gozdnega ekosistema. Opravljali smo naslednje raziskave: (a) popise trosnjakov višjih gliv, (b) raziskave tipov ektomikorize in njihove biodiverzitete, (c) analize mikoriznega potenciala tal in (d) raziskave vsebnosti težkih kovin v trosnjakih gliv. V vseh primerih so se glive pokazale kot učinkoviti bioindikator stanja gozdnega ekosistema.

Ključne besede: glive, ektomikoriza, inventarizacija višjih gliv, mikorizni potencial, težke kovine, onesnaženost gozdnih rastišč, Šaleška dolina

### *FUNGI AS RESPONSIVE AND ACCUMULATIVE BIOINDICATORS OF FOREST SITE POLLUTION IN THE ŠALEK VALLEY*

### Abstract

*Belowground and aboveground fungal communities in the Šalek Valley were analysed to assess the potential forest site pollution. Fungi were used as responsive (the inventory of macrofungi, determination of types of ectomycorrhizae, analyses of mycorrhizal potential) and accumulative bioindicators (heavy metal level in fruiting bodies of higher fungi). The following issues were emphasized: (a) inventory of macrofungi, (b) identification and biodiversity of types of ectomycorrhizae; (c) analysis of mycorrhizal potential of differently polluted forest research plots; and (d) determination of heavy metal levels in fruiting bodies of macrofungi. Considering all issues, fungi were confirmed as effective bioindicators of forest ecosystem condition.*

*Key words: fungi, ectomycorrhizae, the inventory of macrofungi, mycorrhizal potential, heavy metals, forest site pollution, the Šalek Valley*

## UVOD

### INTRODUCTION

Glive v najširšem pomenu besede so občutljivi kazalci antropogenega stresa, ki se kaže v spremenjenih lastnostih gozdnih tal (zakisovanje, kopičenje dušikovih spojin, težkih kovin, in ostalih onesnažil) in vpliva na številčnost in raznolikost ekstramatrikalnih micelijev, tipov ektomikorize in trosnjakov (BRUNNER 2001); hkrati jih lahko uporabljamo kot akumulacijske kazalce onesnaženosti tal s težkimi kovinami zaradi njihovih hiperakumulacijskih sposobnosti kopičenja težkih kovin (WONDRATSCHEK / RÖDER 1993, KALAČ / SVOBODA 2000, AL SAYEGH PETKOVŠEK *et al.* 2002). V skupino odzivne bioindikacije z uporabo gliv sodijo raziskave mikorize (analize vrstne sestave in pojavljanja tipov ektomikorize, analize mikoriznega potenciala tal, npr. v KRAI-

GHHER 1990, 1991, 1994, 1997, 1999; TAYLOR / MARTIN / READ 2000, GREBENC / KRAIGHER 2006, KRAIGHER *et al.* 2006) in pojavljanja njihovih trosnjakov (ARNOLDS / VRIES 1993, ING 1993, ARNOLDS 1991, LARSSON 2002, E.C.C.F. 2005). Pod vplivom antropogenega stresa se zmanjšajo raznovrstnost tipov ektomikorize in mikorizni potencial tal ter delež mikoriznih gliv glede na vse popisane trosnjake (predvsem na račun povečanja deleža saprofitskih gliv) (ERLAND / TAYLOR 2002). Sočasno se spremeni vrstna sestava ektomikoriznih gliv; občutljivejše vrste zamenjajo tiste, ki so bolj tolerantne do različnih onesnažil (ARNOLDS 1991, FELLNER 1993, KRAIGHER *et al.* 1995, 1996, MATOČEC *et al.* 2000).

V Šaleški dolini smo glive že v predhodnih raziskavah uporabili kot akumulacijske bioindikatorje, in sicer smo do-

<sup>1</sup> mag., S. Al S. P., ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave, Koroška 58, 3320 Velenje, e-mail: samar.petkovsek@erico.si

<sup>2</sup> doc. dr. B. P., ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave, Koroška 58, 3320 Velenje, e-mail: bostjan.pokorny@erico.si

ločali vsebnosti težkih kovin v nekaterih vrstah, ki smo jih izbrali bodisi zaradi njihovih bioindikatorskih lastnosti bodisi ker so zanimive kot prehraben vir za prostoživeče živali in tudi za ljudi. Ugotovljeno sezonsko povišanje vsebnosti težkih kovin v tkivih srnjadi iz Šaleške doline (predvsem Hg in Pb) se namreč ujema s časom najbolj intenzivne rasti višjih gliv, ki so sezonsko priljubljen prehranski vir srnjadi (POKORNY / RIBARIČ LASNIK 2002, POKORNY *et al.* 2004). Ugotovitev o pomenu gob kot koncentriranega vira težkih kovin je pomembna tudi z vidika varovanja zdravja ljudi (AL SAYEGH PETKOVŠEK *et al.* 2002).

V članku pregledno prikazujemo raziskave, v katerih so bile glive uporabljene kot bioindikatorji onesnaženosti gozdnih rastišč v Šaleški dolini. Naš namen je bil potrditi hipoteze, da talne ektomikorizne združbe in trosnjaki, ki jih le-te tvorijo, odsevajo stanje preučevanih gozdnih sestojev v Šaleški dolini.

## MATERIAL IN METODE MATERIAL AND METHODS

### OBMOČJE RAZISKAVE STUDY AREA

Bioindikacijski potencial gliv za ocenitev stanja gozdnega ekosistema smo uporabljali v raziskavah v Šaleški dolini in primerjalno zunaj nje (emisijsko ogrožena območja, referenčna – neonesnažena območja). Šaleška dolina leži v severnem delu osrednje Slovenije ob osrednjem toku reke Pake. Na severu jo obdajajo odrastki vzhodnih Karavank, na jugu pa Ložniško gričevje. V njenem najnižjem delu je locirana Termoelektrana Šoštanj (TEŠ), ki je največji termoeenergetski objekt v Sloveniji.

Analize vrstne sestave in biodiverzitete tipov ektomikorize v bukovih sestojev smo opravljali na izbranih primerljivih raziskovalnih ploskvah v Šaleški dolini (Zavodnje – Prednji vrh, v Zasavju (Dobovec) in v okolici Kočevske Reke (Moravške gredice in Preža) (opisi ploskev zbrani v AL SAYEGH PETKOVŠEK 2004). Dodatno smo izbrali ploskev v smrekovem sestoju na Hudobrežnikovem vrhu. Ploskve, izbrane v neposredni bližini termoeenergetskih objektov (TEŠ: Prednji vrh in Hudobrežnikov vrh; TET: Dobovec), so onesnažene, saj smo v zgornjih slojih gozdnih tal ugotovili povišane vsebnosti Pb (prekoračeni sta mejni in opozorilni imisijski vrednosti), Cd (na Hudobrežnikovem vrhu se izmerjena vsebnost

približuje mejni imisijski vrednosti, medtem ko jo na Prednjem vrhu in Dobovcu prekoračuje) in S (izmerjene vsebnosti so značilne za onesnažena območja) (KALAN / KALAN / SIMONČIČ 1995a, Ur.l. RS 68/96).

Mikorizni potencial tal je bil analiziran na raziskovalnih ploskvah na Prednjem vrhu in v Mislinjskem grabnu (opisi ploskev zbrani v AL SAYEGH PETKOVŠEK / KRAIGHER 2003).

Trosnjake za analizo težkih kovin smo vzorčili na izbranih območjih Šaleške doline in na njenem hribovitem obrobju (Veliki Vrh, Zavodnje, Škale, Radojč, Slatine, Skorno, Lokovica, Graška Gora, Cirkovce, Koželj, Arnače) ter primerjalno v Zgornji Mežiški dolini, v Zasavju, v Zgornji Savinjski dolini in na Kočevskem (AL SAYEGH PETKOVŠEK / POKORNY 2002, POKORNY / AL SAYEGH PETKOVŠEK 2005).

Sočasno smo v Šaleški dolini na nekaterih izbranih območjih (Veliki Vrh, Zavodnje – Prednji vrh, Radojč) stalno opravljali intenzivnejši popis vrst višjih gliv (opisi območij zbrani v AL SAYEGH PETKOVŠEK / POKORNY / PILTAVER 2003), v letu 2004 pa smo izbrali primerjalni gozdni ploskvi (50 x 50 m) na Velikem Vrhu in v Ložnici kot neonesnaženem območju. V gozdnih tleh raziskovalne ploskve na Velikem Vrhu je prekoračena mejna imisijska vrednost za Hg, opozorilna vrednost za svinec (Pb), vsebnost cinka (Zn) se približuje kritični vrednosti, medtem ko jo vsebnost arzena (As) prekoračuje; izmerjene vsebnosti žvepla pa so značilne za onesnažena območja (KALAN / KALAN / SIMONČIČ 1995a, Ur.l. RS 68/96).

### POPISI VIŠJIH GLIV INVENTORIES OF HIGHER FUNGI

Z inventarizacijo višjih gliv smo pričeli v letu 2000. Trosnjake višjih gliv smo na izbranih območjih popisovali v poletnem in jesenskem obdobju v letih 2000-2004 in na stalnih primerjalnih ploskvah na Velikem Vrhu ter v Ložnici v letu 2004. Glive smo popisovali od meseca junija do konca oktobra. V jesenskem času smo popise opravljali dvakrat mesečno. Manjši delež gliv smo določili že na terenu, večino vrst pa smo naknadno identificirali kabineto, in sicer z uporabo literature in ključev za določitev gliv (MOSER 1978, PHILLIPS 1981, BREITENBACH / KRAENZLIN 1984, 1986, 1991, 1995, 2000, COURTECUISSE 1999) ter z mikroskopskim opazovanjem spor in barvanjem tkiv gliv. Pri popisovanju je bil poudarek na mikoriznih jesenskih glivah.

## RAZISKAVE TIPOV EKTOMIKORIZE TYPES OF ECTOMYCORRHIZAE

Uporabili smo metodo mikobioindikacije, kjer analiziramo tipe ektomikorize v standardnem volumnu tal (273 ml) v Oh / Ah horizontu (0-18 cm) (KRAIGHER / BATIČ / AGERER 1995, 1996, KRAIGHER / AGERER 2000). Tipe ektomikorize smo določali po metodah, opisanih v *Barvnem atlasu ektomikorize* (AGERER 1987-2002), in na podlagi ustrezne literature (GRONBACH 1988, WEISS 1988, TREU 1990, BRAND 1991, AGERER *et al.* 1996-2001).

## ANALIZE TEŽKIH KOVIN V TROSNJAKIH THE ANALYSES OF HEAVY METALS IN FRUITING BODIES

V celotnem obdobju raziskave smo analizirali 691 vzorcev trosnjakov gliv (87 vrst), in sicer v Šaleški dolini 570 (82), v Zgornji Mežiški dolini 80 (32), v Zasavju 10 (9), v Zgornji Savinjski dolini 19 (10) in na Kočevskem 12 (7) vzorcev. V posamezen vzorec smo združili trosnjake iste vrste, ki med seboj niso bili oddaljeni več kot nekaj 10 m. V vzorcih je bilo različno število trosnjakov gliv iste vrste (od 1 do 20, največkrat 3 ali 4), odvisno od velikosti in dostopnosti vrste. Sistematska določitev je bila praviloma opravljena neposredno na terenu, nekaj vrst pa smo določili v laboratoriju s pomočjo določevalnih ključev.

Pred laboratorijsko pripravo smo vzorce mehansko očistili (odstranitev zemlje s plastično krtačko), ločili bete od klobukov in jih s plastičnim nožem narezali na rezine. Trosnjake smo sušili v sušilniku pri 28 °C do konstantne teže (tri do štiri dni). Posušeni material smo homogenizirali z visokofrekvenčnim mlinčkom s keramičnim nožem (Büchi-Mixer B-400) in ga razklopili s popolnim kislinskim sežigom v mikrovalovni napravi (Varian CEM MSP 1000; zatehta vzorca  $0,5000 \pm 0,0010$  g; reagent: 10 ml ultračiste  $\text{HNO}_3$  z dodatkom  $\text{KMnO}_4$ ;  $T_{\text{max}} = 180$  °C). Vsebnosti Cd, Hg, Pb in As so bile za 55 % vzorcev ( $n = 382$ ) izmerjene v *ACME Analytical Laboratories* v Vancouvru (Kanada), in sicer s tehniko induktivno sklopljene plazme z masnospektrometrično detekcijo (ICP-MS). V preostalih 45 % vzorcev so bile vsebnosti težkih kovin izmerjene v laboratoriju Inštituta za ekološke raziskave ERICo Velenje, in sicer s hidridno (Hg) in elektrotermično tehniko (Cd, Pb, As) na atomskem absorpcijskem spektrometru (Perkin Elmer SIMAA 6000).

## ANALIZA MIKORIZNEGA POTENCIALA TAL THE ANALYSES OF MYCORRHIZAL POTENTIAL

Mikorizni potencial smo ugotavljali s prirejeno metodo lončne analize po KROPAČKU *et al.* (1989). Analizirali smo 25 semenk na ploskev (5 ponovitev na lonček). Semenske smo gojili v različno onesnaženih substratih 6 mesecev. Za vse semenske smo po končanem poskusu določevali maso podzemnih in nadzemnih delov ter določili število mikoriznih kratkih korenin iz skupne vsote vseh kratkih korenin. Mikorizni potencial raziskovalne ploskve na Prednjem vrhu in v Mislinjskem grabnu smo ugotavljali dvakrat, v letih 1993 in 2002.

## STATISTIČNE METODE STATISTICAL PROCEDURES

Za vse statistične analize smo uporabili programski paket *Statistica for Windows* (STATSOFT 1999). Za posamezne raziskave smo uporabili naslednje statistične metode:

- Biotska raznovrstnost tipov ektomikorize: izračunavali smo tri indekse pestrosti: *indeks vrstnega bogastva združbe* ( $d$ ):  $d = S - 1 / \log N$ , kjer je  $S$  = število tipov ektomikorize in  $N$  = število določljivih mikoriznih kratkih korenin; *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; *indeks izenačenosti* ( $j$ )  $j = H / \log S$ , kjer je  $H$  = indeks splošne vrstne diverzitete in  $S$  = število tipov ektomikorize; *Jaccardov indeks podobnosti med združbami* ( $J$ )  $J = g / (a + b) - g$ , kjer je  $g$  = število skupnih vrst v obeh združbah,  $a$  = število vrst v prvi združbi in  $b$  = število vrst v drugi združbi (ATLAS / BARTHA 191981, TARMAN 1992).
- Analiza mikoriznega potenciala tal: značilnost razlik med povprečji za posamezne parametre med obema vzorcema smo izračunali z uporabo *Fisher LSD-testa*.
- Analize težkih kovin: razlike in korelacijo v vsebnosti kovin med klobukom in betom iste vrste smo preizkusili s *t-testom za odvisne vzorce* in z izračunom *korelacijskega koeficienta (r) linearne regresije*. Razlike v vsebnostih elementov v trosnjakih petih vrst smo med štirimi območji Šaleške doline preizkusili z *dvofaktorsko analizo variance* (MANOVA). *Mann-Whitneyev U-test* smo uporabili za preizkus značilnosti razlik v vsebnosti kovin med Zgornjo Mežiško in Šaleško dolino.

## REZULTATI IN RAZPRAVA RESULTS AND DISCUSSION

### POPISI VIŠJIH GLIV

#### INVENTORIES OF HIGHER FUNGI

Skupaj smo v Šaleški dolini v obdobju 2000 do 2004 evidentirali 354 različnih vrst gliv, med njimi smo določili 15 zavarovanih vrst (Ur. l. RS, št. 44/95, PILTAVER 1997) in številne redke vrste (STROPNIK / TRATNIK / SELJAK 1988, VRŠČAJ 1990, ARZENŠEK / TRATNIK / MALOVRH 2002, POLER 2002). Na seznam so vključene naslednje zavarovane vrste: knežja mušnica (karželj) (*Amanita caesarea* (Scop.: Fr.) Pers.), velikoluska mušnica (*Amanita strobiliformis* (Paul.) Bertill.), votlobetni gobanček (*Boletinus caviipes* (Klotzsch.: Fr.) Kalchbr.), kraljevi goban (*Boletus regius* Krbh.), luskasti različek navadne lisičke (*Cantharellus cibarius* var. *amethysteus* Quel.), žolta lisička (*Craterelus lutescens* Pers.: Fr.), švicarski polžar (*Chroogomphus helveticus* (Sing.) Mos.), rožnati slinar (*Gomphidius roseus* (Nees.: Fr.) Gill.), čokata žilolistka (*Gomphus clavatus* (Pers.: Fr.) Gray), modreči bledotrošnik (*Gyroporus cyanescens* (Bull.: Fr.) Quel.), žlahtni ded (*Leccinum crocipodium* (Let.) Watl.), bleščava luskarica (*Phaeolepiota aurea* (Matt.: Fr.) Mre), hrastov glicvec (*Sparassis brevipes* Krbh.), črni kuštravec (*Strobilomyces strobilaceus* (Scop.: Fr.) Bk.) in orjaška kolobarnica (čebular) (*Tricholoma colossus* (Fr.) Quel.). K redkim vrstam spada 8 vrst, popisanih na območju Radojča (queletov goban (*Boletus queletii* Schulz.), grenki goban (*Boletus radicans* Pers.: Fr.), rdečerumeni goban (*Boletus rhodoxanthus* (Krbh.)), odsekani kijec (*Clavariadelphus truncates* Quel.), pečkova ježevka (*Hydnellum peckii* Bank.), koprenasti bledotrošnik (*Leucocortinarius bulbiger* (Alb. & Schw. Ex Fr.)), brezobro-

ča lupljivka (*Suillus collinitus* (Fr.) Kuntze) in uhati drhtavež (*Tremiscus helvelloides* (D.:C. Fr.) Donk); 10 vrst na območju Zavodnj (oranžni lupinar (*Amanita crocea* (Quell.) Melz.), višnjeva ježevka (*Hydnellum caeruleum* (Horn.: Fr.) Karst.), vonjava ježevka (*Hydnellum suaveolus* (Scop.: Fr.) Karst.), vegasta mlečnica (*Lactarius flexuosus* (Pers.: Fr.) Gray), črni ded (*Leccinum melaneum* (Smotl.) Pilat et Dermek), rdeča griva (*Ramaria botrytis* (Pers.: Fr.) Rick.), dimasta griva (*Ramaria versatilis* Quel.), močvirska golobica (*Russula aquosa* Leclair), brezobroča lupljivka (*Suillus collinitus* (Fr.) Fr.) in sivkasta lupljivka (*Suillus viscidus* (L.) Roussel); in 4 vrste na območju Velikega Vrha (queletov goban (*Boletus queletii* Schultz.), vijoličasta koprenka (*Cortinarius violaceus* (L.: Fr.) Fr.), ježasta prašnica (*Lycoperdon echinatum* Pers.: Pers.) in dimasta griva (*Ramaria versatilis* Quel.)). Seznam vseh popisanih vrst do leta 2002 je objavljen v AL SAYEGH PETKOVŠEK / POKORNY / PILTAVER 2003.

Med popisanimi višjimi glivami smo izločili za onesnaževanje občutljive vrste (preglednica 1). Delež občutljivih vrst gliv v skupnem številu vseh vrst se v obravnavanih letih praktično ni spreminjal - na Velikem Vrhu se vseskozi giblje okoli 13 %, na preostalih dveh lokacijah pa okoli 20 % (AL SAYEGH PETKOVŠEK / POKORNY / PILTAVER 2003; AL SAYEGH PETKOVŠEK / POKORNY 2005). Še zlasti zanimivo je pojavljanje gliv na območju Prednjega vrha v Zavodnjah. V preteklih obdobjih so bili gozdovi tega območja med najbolj poškodovanimi v Šaleški dolini (KOLAR 1989, FERLIN 1990, RIBARIČ LASNIK 1996), vendar z inventarizacijo višjih gliv v preučevanem obdobju (2000-2004) tega nismo dokazali. Pojavljajo se zavarovane vrste (6), redke vrste (9) in vrste, ki sodijo na *Rdeči seznam ogroženih gliv Evrope* (11) (ING 1993). Med občutljivimi bioindikatorskimi vrstami so v tem predelu zanimive številne vrste ježevk

Preglednica 1: Število popisanih vrst višjih gliv, ki sodijo k občutljivim rodovom

Table 1: Number of species of higher fungi belonging to the sensitive genera

| območje/<br>št. vrst       | Občutljivi rodovi (odzivni bioindikatorji), popisani v letih 2000-2004 |                                |                             |                        |                               |                            |                             |                                  | %           |
|----------------------------|--|--------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------|
|                            | <i>Cantharellus</i><br>lisičke   | <i>Cortinarius</i><br>koprenke | <i>Hydnellum</i><br>ježevke | <i>Hydnum</i><br>ježki | <i>Phellodon</i><br>plutozobi | <i>Sardocon</i><br>ježevci | <i>Suillus</i><br>lupljivke | <i>Tricholoma</i><br>kolobarnice |             |
| <b>Veliki Vrh</b><br>(202) | 3*   | 12                             | 0                           | 2                      | 0                             | 0                          | 4                           | 6                                | <b>13,4</b> |
| <b>Zavodnje</b><br>(172)   | 2  | 10                             | 5                           | 2                      | 1                             | 1                          | 7                           | 10                               | <b>22,1</b> |
| <b>Radojč</b><br>(171)     | 4*   | 11                             | 1                           | 2                      | 0                             | 1                          | 5                           | 12                               | <b>20,5</b> |

Legenda: \*Upoštevali smo tudi lijasto lisičko, ki najverjetneje ni vrsta, občutljiva za onesnaževanje (MATOČEC *et al.* 2000). \*\* Izračunali smo delež občutljivih vrst glede na vse vrste gliv.

\* Note: *Cantharellus tubeaformis* was also included, although it is probably not sensitive to pollution (MATOČEC *et al.* 2000). \*\* The percentage of sensitive species in view of all fungal species.

(5) (40 % vseh, ki se pojavljajo v Sloveniji), ki sodijo med najbolj za onesnaževanje občutljive vrste gliv (ARNOLDS 1991, ING 1993, MATOČEC *et al.* 2000).

Na primerjalnih ploskvah, izbranih v najbolj (Veliki Vrh) in najmanj onesnaženem predelu (Ložnica), smo skupaj evidentirali 77 vrst gliv, od tega na gozdni raziskovalni ploskvi Veliki Vrh 33 vrst (30 mikoriznih in 3 za onesnaževanje občutljive vrste gliv), na ploskvi v Ložnici pa 64 vrst (49 mikoriznih in 6 za onesnaževanje občutljive vrste gliv). Glede na rezultate je verjetno, da med obema območjema obstajajo razlike v pojavnosti višjih gliv; možen vzrok so lahko stresni dejavniki, ki se kažejo v kopičenju žveplovih spojin in težkih kovin v gozdnih tleh raziskovalne ploskve Velikega Vrha (glej poglavje 2.1).

## RAZISKAVE MIKORIZE MYCORRHIZAL RESEARCH

### Tipi ektomikorize Types of ectomycorrhizae

Raziskave talnih ektomikoriznih združb v Šaleški dolini smo opravljali na raziskovalnih ploskvah Zavodnje - Prednji vrh in Hudobrežnikov vrh. Glede na povečano vsebnost težkih kovin (Pb, Cd) in žveplovih spojin v humusnem sloju tal (AL SAYEGH PETKOVŠEK 2004) sta si ploskvi podobni,

razlikujeta pa se glede na vitalnost in vrsto dreves, ob katerih smo vzorčili. V prvem primeru smo vzorčili ob bukvah s krošnjami, ki so sodile v III. razred osutosti (povprečna osutost 40,7 % v letu 1998), na Hudobrežnikovem vrhu pa ob smreki z močnimi poškodbami asimilacijskega aparata (IV. razred - vsaj 60 % osutost krošnje).

Na raziskovalni ploskvi Zavodnje - Prednji vrh smo v 5 talnih vzorcih identificirali 39 različnih tipov ektomikorize (iz skupnega števila 9.957 določljivih kratkih korenin), v 6 talnih vzorcih s Hudobrežnikovega vrha pa 17 tipov ektomikorize (iz skupnega števila 6.284 določljivih kratkih korenin). Ker smo vrstno sestavo in opise tipov ektomikorize talnih vzorcev Prednjega vrha predstavili v predhodnem članku »Vrstna sestava ektomikoriznih talnih združb bukovih sestojev različno onesnaženih gozdnih ploskev« (AL SAYEGH PETKOVŠEK 2005), v tem prispevku podajamo le preliminarni seznam tipov ektomikorize, identificiranih v talnih vzorcih ob močno prizadeti smreki s Hudobrežnikovega vrha (preglednica 2).

V bukovih sestojih Šaleške doline in primerjalnih ploskvah (Dobovec, Moravske gredice, Preža) je bilo identificiranih skupaj 88 tipov ektomikorize, od tega jih sodi 22 k še neopisanim tipom ektomikorize. Med njimi smo izločili skupino dominantnih in pogostih tipov ektomikorize, med katerimi nismo identificirali vrst, ki bi bile povezane z onesnaženimi ploskvami in bi kot take imele bioindikacijski značaj (AL SAYEGH PETKOVŠEK 2005). Domnevamo, da stres vpliva

Preglednica 2: Seznam tipov ektomikorize, identificiranih v talnih vzorcih s Hudobrežnikovega vrha

Table 2: List of ectomycorrhizal types in soil samples from Hudobrežnikov vrh

| Oznaka        | Ime  | Talni vzorci                             |
|---------------|--|--|
| SLO 803-SA3   | <i>Cenococum geophilum</i> Fr. + <i>Picea abies</i> (L.) Karst.                    | S1/03, S2/03, S3/03, S1/02, S2/02, S3/03 |
| SLO 824-SA24  | <i>Dermocybe cinnamomea</i> * + <i>Picea abies</i> (L.) Karst.                     | S1/02, S2/02                             |
| SLO 836-SA24  | <i>Dermocybe</i> sp.   | S3/03                                    |
| SLO 912-SA112 | <i>Dermocybe</i> sp. 1   | S3/02                                    |
| SLO 876-SA53  | <b><i>Fagirhiza oleifera</i></b> + <b><i>Fagus sylvatica</i></b> L.                | S2/03, S3/03, S1/02                      |
| SLO 808-SA8   | <i>Fagirhiza pallida</i> + <i>Fagus sylvatica</i> L.                               | S2/03, S3/03                             |
| SLO 911-SA111 | <b><i>Fagirhiza spinulosa</i></b> x <b><i>Fagus sylvatica</i></b> L.               | S2/03, S3/03, S1/02                      |
| SLO 908-SA118 | <i>Hebeloma mesopheum</i> (Pers.) Quel. + <i>Picea sitkaensis</i> (Bong.) Carriere | S1/02                                    |
| SLO 909-SA92  | <i>Laccaria amethystina</i> * (Bolt.) Murr + <i>Fagus sylvatica</i> L.             | S1/02                                    |
| SLO 917-SA117 | <i>Lactarius acris</i> Bolt.: Fr. + <i>Fagus sylvatica</i> L.                      | S1/03, S2/03                             |
| SLO 874-SA74  | <i>Lactarius rubrocintus</i> Fr. + <i>Fagus sylvatica</i> L.                       | S1/03                                    |
| SLO 821-SA21  | <i>Piceirhiza horti-atrata</i> + <i>Picea abies</i> (L.) Karst.                    | S1/02                                    |
| SLO 898-SA98  | <i>Ramaria</i> sp.   | S1/03                                    |
| SLO 918-SA118 | <i>Tricholoma acerbum</i> (Bull.: Fr.) Quel. + <i>Fagus sylvatica</i> L.           | S2/03, S3/03                             |
| SLO 809-SA9   | <i>Tuber puberulum</i> Berk. & Br. + <i>Picea abies</i> (L.) Karst.                | S1/03                                    |
| SLO 870-SA70  | <i>Xerocomus chrysenteron</i> (Bull.) Quel. + <i>Fagus sylvatica</i> L.            | S1/02                                    |
| SLO 919-SA119 | neznana tip ektomikorize   | S3/03                                    |

Legenda: talne oznake so sestavljene iz letnice: 02 vzorčeno v letu 2002, 03 vzorčeno v letu 2003. Tipi ektomikorize, označeni z \*, le delno ustrezajo opisu. S krepkim smo označili tipe ektomikorize, ki se pojavljajo v obeh letih.

Legend: The soil core identity code is combined with the year of sampling 2002 (02) and 2003 (03). Types of ectomycorrhizae marked with \* are similar to the types presented in the table. Identity codes in bold mark types of ectomycorrhizae that occurred in both years.

na ektomikorizno združbo ob osuti smreki. Število določenih vrst ob osuti smreki je namreč značilno manjše od števila vrst v talnih vzorcih bukovih sestojev (preglednica 3), hkrati pa se stalno pojavljajo tipi ektomikorize, za katere domnevamo, da ima njihovo pojavljanje bioindikatorsko vrednost (*Cenococcum geophilum*, *Fagihiza oleifera* in *Fagihiza spinulosa*). Še zlasti je zanimiva vrsta *Cenococcum geophilum*, ki se pojavlja v 4 vzorcih s prevladujočim deležem. Vzrokov je lahko več. Mnoge raziskave povezujejo ta tip ektomikorize z onesnaženimi rastišči (predvsem povišane vsebnosti Pb zvišujejo delež kratkih korenin, inokuliranih z njim) (CHAPELKA *et al.* 1991); poleg tega je znano, da kolonizira starajoče korenine v obliki sekundarne infekcije, kjer nadomesti propadajoče tipe (CHAPELKA *et al.* 1991, KRAIGHER 1990, 1991, VODNIK / BOŽIČ / GOGALA 1995, ERLAND / TAYLOR 2002). Hkrati zaradi svojih morfoloških značilnosti (volnata površina) zmanjšuje edafski šok zaradi sušnega rastišča, ki je zaradi precejšnega nagiba značilnost obravnavane raziskovalne ploskve.

Biodiverzitetna talnih ektomikoriznih združb ponazarja njihovo stabilnost oziroma identificira stresne razmere, ki jih kažejo manjši indeksi biodiverzitet (ERLAND / TAYLOR 2002). Običajne vrednosti Shannon-Weaverjevega indeksa (H) se gibljejo med 1,5 do 3,5 (URBANČIČ / KUTNAR 1998). Onesnaževanje in drugi stresni dejavniki znižujejo biodiverzitetne indekse na smreki (KRAIGHER 1999), hrastu (KOVACS / PAUSCH / URBAN 2000) in drugih drevesnih vrstah (ERLAND / TAYLOR 2002); na bukvi pa značilnega zmanjšanja biodiverzitet nismo opazili (AL SAYEGH PETKOVŠEK 2004, KRAIGHER *et al.* 2006). V preglednici 3 navajamo indekse biodiverzitetne talnih vzorcev s ploskev v Šaleški dolini in primerjalno za talne vzorce iz imisijskega območja Termoelektrarne Trbovlje (Dobovec) ter referenčnega območja v okolici Kočevske Reke (Preža in Moravske

gredice). Najnižji indeksi, ki kažejo stresne razmere, so bili določeni v talnih vzorcih ob močno osuti smreki, največji pa v posameznih talnih vzorcih z referenčnih lokacij (Preža, Moravske gredice) in v talnem vzorcu z raziskovalne ploskve Dobovec.

## Analiza mikoriznega potenciala tal

### Analyses of mycorrhizal potential

Analizo mikoriznega potenciala tal raziskovalne ploskve Zavodnje – Prednji vrh smo opravili v letu 1993 in v letu 2002, ko so se emisije SO<sub>2</sub> iz 86.101 t (1993) zmanjšale na 22.873 t (ROTNİK 2005); primerjalna ploskev je bila izbrana v Mislinjskem grabnu (AL SAYEGH PETKOVŠEK 1997, AL SAYEGH PETKOVŠEK / KRAIGHER 2003). Obkraj je bil mikorizni potencial manjši v substratu z onesnažene ploskve (Prednji vrh) (1993: 93,4 % proti 79,2 %; 2002: 96 % proti 84,5 %). Dokazali smo statistično značilno razliko med lokacijama (Fisher LSD,  $p < 0,001$ ), razlika med leti pa je pokazala trend naraščanja mikorizacije (Fisher LSD,  $p < 0,007$ ). Mikorizni potencial tal raziskovalne ploskve Prednji vrh se je v obdobju od 1993 do 2002 povečal za 5,5 %, medtem ko se je (pričakovano) v Mislinjskem grabnu spremenil bistveno manj (za 2,6 %). Tudi razlike v številu kratkih korenin med lokacijama in hkrati med obema letoma so bile statistično značilne (Fisher LSD,  $p < 0,001$ ) (preglednica 4).

## VSEBNOST TEŽKIH KOVIN V TROSNJAKIH GLIV

### HEAVY METAL LEVELS IN FRUITING BODIES

V obdobju 2000 – 2004 smo določili vsebnosti Cd, Pb, Hg in As v izbranih vrstah trošnjakov višjih gliv, vzorčenih v Šaleški dolini in primerjalno zunaj nje. Ugotovili smo, da so: (1) vsebnosti težkih kovin v klobukih gob visoko značilno višje

Preglednica 3: Indeksi biodiverzitetne tipov ektomikorize v talnih vzorcih

Table 3: Biodiversity indexes in soil samples

| ploskev            | d       | H              | j       | S     | N      |
|--------------------|---------|----------------|---------|-------|--------|
| <b>Prednji vrh</b> | 2,8-4,4 | 1,3-2,0        | 0,6-0,7 | 10-16 | 1991,4 |
| Dobovec            | 2,3-3,5 | 1,6-2,3        | 0,7-0,9 | 8-12  | 1119,0 |
| Hudobrežnikov vrh* | 0,8-1,9 | <b>0,7-1,4</b> | 0,7-1,8 | 3-7   | 1428,0 |
| Preža              | 1,8-5,2 | 1,6-2,6        | 0,7-0,9 | 7-17  | 1618,7 |
| Moravske gredice   | 1,9-3,8 | 1,3-2,8        | 0,7-1,1 | 7-13  | 1823   |

Legenda: v tabelah prikazujemo interval vrednosti posameznih indeksov (minimalno in maksimalno vrednost). **d**: indeks vrstnega bogastva; **H**: Shannon-Weaverjev indeks splošne vrstne pestrosti; **j**: indeks izenačenosti; **S**: število vrst / tipov ektomikorize; **N**: povprečno število določljivih kratkih korenin v posameznem talnem vzorcu. \*drevesni partner je smreka (*Picea abies* (L.) Karst.), v vseh drugih talnih vzorcih je to bukev (*Fagus sylvatica* L.).

Legend: **d**: species richness, **H**: Shannon-Weaver diversity index, **j**: equitability, **S**: number of types of ectomycorrhizae, **N**: the average number of vital mycorrhizal short roots in soil core. \* plant symbiont is Norway Spruce; in all other samples, the symbiont is European Beech.

Preglednica 4: Povprečno število kratkih korenin in delež nemikoriznih kratkih korenin semenk smreke

Table 4: The average number of short roots and the percentage of non-mycorrhizal short roots of Norway Spruce seedlings

| Število vseh kratkih korenin       |    |                        |      |      |      |
|------------------------------------|----|------------------------|------|------|------|
| lokacija                           | n  | $a \pm t_{(0,05)}$ *SE | Me   | Min  | Max  |
| Prednji vrh 1993                   | 20 | 40,2 ± 25,9            | /    | 8    | 84   |
| Prednji vrh 2002                   | 25 | 280,2 ± 40,1           | 285  | 79   | 787  |
| Mislinjski graben 1993             | 20 | 126,8 ± 72,9           | /    | 43   | 294  |
| Mislinjski graben 2002             | 25 | 409,4 ± 71,9           | 391  | 51   | 873  |
| delež nemikoriznih kratkih korenin |    |                        |      |      |      |
| Prednji vrh 1993                   | 20 | 20,8 ± 13,0            | 12,8 | 7,5  | 50,0 |
| Prednji vrh 2002                   | 25 | 4,0 ± 1,6              | 3,5  | 0,96 | 7,6  |
| Mislinjski graben 1993             | 20 | 6,6 ± 1,6              | 7,5  | 2,7  | 8,6  |
| Mislinjski graben 2002             | 25 | 5,9 ± 3,8              | 5,8  | 2,7  | 9,7  |

Legenda:  $a \pm t_{(0,05)}$  \*SE (aritmetična sredina z odklonom zaupanja), Me (mediana), Min (minimalno št. kratkih korenin), Max (največje št. kratkih korenin)

Legend:  $a \pm t_{(0,05)}$  \*SE : arithmetic mean with confidence limit, Me (mediana), Min (minimal number of short roots), Max (maximal number of short roots)

kot v betih; zaradi izrazite pozitivne soodvisnosti med klobuki in beti je dovolj, če analize opravljamo le v klobuku, ki je pri večini vrst tudi najpomembnejši prehranski del za ljudi in prostoživeče živali; (2) imajo glive izjemno sposobnost kopičenja težkih kovin, saj so vsebnosti Pb v gobah iz Šaleške doline za velikostni razred višje kot v plodovih drugih gozdnih sadežev; vsebnosti Cd in Hg so višje za dva do tri, vsebnosti As pa celo za tri do štiri velikostne razrede; (3) Cd najbolj kopičijo nekatere vrste kukmakov (poljski, odsekani in beli gozdni), pšenična poprhnjenka, sivorumena mraznica in rdeča mušnica; As – beli gozdni kukmak, votlobeti gobanček, prava tintnica in vijoličasta kolesnica; Hg – travniški kukmak, jesenski goban in vijoličasta kolesnica; Pb – poljski dežnik, bledovijolična kolesnica, betičasta in senožetna prašnica; (4) vsebnosti Cd (0,11-325 mg/kg) in As (0,05-441 mg/kg) so v večini vrst višjih gliv iz Šaleške doline med najvišjimi izmerjenimi v Evropi (STJIVE / BESSON 1976, LIUKKONEN-LILJA *et al.* 1983, MELGAR *et al.* 1998, SVOBODA / ZIMMERMANNNOVA / KALAČ, 2000, KALAČ / SVOBODA 2000), kar kaže na obremenjenost okolja s tema dvema elementoma; nasprotno padejo vsebnosti Pb (0,05-31,5 mg/kg) in Hg (0,02-55 mg/kg) za večino vrst v rang koncentracij, ki je značilen za neonesnažena območja; (5) zaradi visokih vsebnosti Cd, As in Hg je potrebna zmernost pri prehranjevanju z določenimi vrstami gliv; priporočamo, da se iz prehrane ljudi na območju Šaleške doline v celoti izločijo poljski in beli gozdni kukmak, pšenična poprhnjenka, prava tintnica, votlobetni gobanček in sivorumena mraznica; za prehrano ljudi so brez zadržkov primerne le nekatere užitne vrste – npr. navadna lisička, kostanjasta polstenka, maslenka, prožna lupljivka, veliki slinar in vse vrste turkov; (6) v primerjavi z

Zgornjo Mežiško dolino so vsebnosti Pb v orjaškem dežniku ( $z = 3,41$ ,  $p < 0,001$ ), jesenskem gobanu ( $z = 3,41$ ,  $p < 0,001$ ), brezovem turku ( $z = 2,12$ ,  $p < 0,05$ ), macesnovi lupljivki ( $z = 2,65$ ,  $p < 0,01$ ), kostanjasti polstenki ( $z = 2,25$ ,  $p < 0,05$ ), navadni lisički ( $z = 2,35$ ,  $p < 0,05$ ) in užitni sirovki ( $z = 2,60$ ,  $p < 0,05$ ) značilno nižje, kar kaže, da so glive lahko zelo dober bioindikator onesnaženosti tal s težkimi kovinami; (7) na podlagi analize podatkov iz literature in lastnih raziskav smo ločili potencialne bioindikatorske vrste, in sicer za Cd – rdeča in rdečkasta mušnica, orjaški dežnik, jesenski goban; za Pb – vijoličasta kolesnica, dežniki, prašnice in velika tintnica; za Hg – travniški kukmak; za As – vijoličasta bledivka.

## ZAKLJUČKI CONCLUSIONS

Na območju Prednjega vrha (Zavodnje) so bili v preteklih dveh desetletjih uporabljeni vsi tipi glivne bioindikacije, kot tako je to območje lahko "vzorčno" za testiranje uporabnosti gliv kot bioindikatorjev onesnaženosti gozdnih rastišč oziroma stanja gozdnega ekosistema (AL SAYEGH PETKOVŠEK 1996, KRAIGHER 1990, 1994, 1997, 1999, KRAIGHER / HANKE 1995, 1996, KRAIGHER / BATIČ / AGERER 1995, 1996, TROŠT *et al.* 1999, ROBIČ *et al.* 1998, VILHAR 2001, VUKOVIČ 2003, KRAIGHER *et al.* 2003 idr.). V preučevanem obdobju so bile krošnje bukev srednje poškodovane (III. razred osutosti), krošnje iglavcev pa močno poškodovane (IV. razred osutosti) (ČATER 2000); slednjemu ustrezajo podatki o vsebnosti celokupnega žvepla v iglicah, saj so smreke glede na celokupno S uvrščene v III. razred, kjer že lahko pričakujemo poškodbe asimilacijskega aparata.

ta (KALAN / KALAN / SIMONČIČ 1995b, AL SAYEGH PETKOVŠEK / RIBARIČ LASNIK 2004). Kljub zgornjim podatkom o osutosti krošenj drevesnih partnerjev in glede na lastnosti zgornje plasti gozdnih tal (Oh/Ah) (povečane vsebnosti Pb, Cd in S) ugotavljamo, da talne združbe bukovega sestoja na Prednjem vrhu le do neke mere odsevajo stresne razmere, biodiverzitetni indeksi posameznih talnih vzorcev so nižji, mikorizni potencial pa manjši od tistega, določenega na referenčni lokaciji. Nismo dokazali značilnega vpliva onesnaženega zraka na združbo trosnjakov višjih gliv; pojavljajo se mnoge na onesnaževanje občutljive vrste gliv (še posebej je značilno pojavljanje ježevk) (ARNOLDS 1991, FELLNER 1993). Hkrati se pojavljajo številne redke ter zavarovane vrste, ki povečujejo pestrost gozdnih sestojev in posledično njihovo stabilnost. Sklepamo, da se poškodbe asimilacijskega aparata drevesnega partnerja kažejo v spremembah talnih ektomikoriznih združb šele tedaj, ko je pretok organskih snovi h koreninam in glivnemu partnerju znatno moten; slednje se ujema z ugotovitvami FELLNERJA in PEŠKOVE (1995), da se soodvisnost med deležem vitalnih kratkih korenin in osutostjo dreves pojavi le pri drevesih z močno poškodovanimi krošnjami (vsaj 60 % osutost). SIMONČIČ (1996) ugotavlja, da so tla na Prednjem vrhu zaradi svojih nevtralizacijskih sposobnosti začasno ublažila oz. upočasnila vpliv kisljih padavin in da razmere niso kritične. Poudariti tudi velja, da je na raziskovalni ploskvi naravno rastišče bukve, ki je manj občutljiva za vnos dušika, mikorizo z njo pa praviloma tvorijo favorizirane nitrofilne simbiotske glive (TAYLOR / MARTIN / READ 2000). Dodatna značilnost talnih ektomikoriznih združb preučevanih bukovih sestojev je, da se vrstno zelo razlikujejo (Jaccardovi indeksi manjši od 0,3), njihova pestrost (indeksi biodiverzitete) pa je večja kot v smrekovih sestojih (ROBIČ *et al.* 1998, KRAIGHER 1999, VILHAR / KRAIGHER 1999, KRAIGHER *et al.* 2003, AL SAYEGH PETKOVŠEK 2004). Slednje jim daje elastičnost in možnost prilagoditve na spremenjene razmere.

V primerjavi z bukvi je smreka za onesnažen zrak bolj občutljiva (KRAIGHER 1999, ERLAND / TAYLOR 2002, KRAIGHER *et al.* 2006). Krošnje smrek, rastočih na pobočju Hudobrežnikovega vrha, ki je neposredno izpostavljen emisijam iz TEŠ (oddaljenost < 1 km), so močno poškodovane. Zelo nizki indeksi biodiverzitete, določeni v talnih vzorcih ob močno osuti smreki, so najverjetneje odsev manjšega prenosa organskega ogljika do korenin in posledično h glivnemu partnerju ter edafskega šoka zaradi sušnosti rastišča. Na osnovi pojavljanja tipov ektomikorize *Cenococum geophilum*, *Fa-*

*girhiza oleifera* in *Fagihiza spinulosa* na onesnaženih območjih v obeh letih vzorčenja sklepamo, da omenjene vrste lahko predstavljajo tolerantne tipe ektomikorize.

Raziskave vsebnosti težkih kovin so pokazale, da se v trosnjakovih višjih gliv, vzorčenih v Šaleški dolini, kopičijo težke kovine, vendar nam med posameznimi območji znotraj Šaleške doline ni uspelo dokazati statistično značilnih razlik. Povišane vsebnosti predvsem Cd in As kažejo na problematiko onesnaženosti tal s tema dvema elementoma v Šaleški dolini, kar se ujema z ugotovitvijo KUGONIČEVE in STROPNIKOVE (2001), da posamezne kovine (Cd in As) na določenih lokacijah v Šaleški dolini prekoračujejo zakonsko določene imisijske vrednosti.

Iz pregleda raziskav, s katerim smo želeli preveriti in ovrednotiti uporabnost gliv kot akumulacijskih in odzivnih kazalcev onesnaženosti gozdnih rastišč, povzemamo bistvene ugotovitve v povezavi z uporabljenimi metodami: (a) Analiza mikoriznega potenciala tal je zelo hitra, uporabna in enostavna metoda (v primerjavi z drugimi mikobioindikacijskimi metodami, ki temeljijo na morfoloških, anatomskih in kemijskih značilnostih mikorize ter so taksonomsko zahtevne; npr. KRAIGHER 1990). Pri izbiri primerjalnih lokacij moramo izbrati ploskve, ki se med seboj razlikujejo le po onesnaženosti tal, drugi dejavniki pa so med ploskvami primerljivi. (b) Vrstna analiza tipov ektomikorize je dovolj reprezentativna metoda za ocenitev stanja glivnih združb, ki jo je treba opravljati sočasno s popisi trosnjakov in molekularnimi analizami (GREBENC 2005). Podobno kot v uporabi metode mikobioindikacije v raziskavah vplivov stresa (onesnaženosti, gozdnogojitvenih ukrepov ipd.) na smrekove sestoje (KRAIGHER 1994, 1997, 1999, KRAIGHER / BATIČ / AGERER 1995, 1996, idr.) ugotavljamo, da lahko z inventarizacijo trosnjakov izpustimo pomemben delež ektomikoriznih gliv (v naši raziskavi je bilo med določenimi tipi ektomikorize 40 % tistih, katerih glivni partnerji v popise niso zajeti – npr. glive, ki tvorijo podzemne trosnjake, in tiste z manj opaznimi trosnjaki) (KRAIGHER / BATIČ / AGERER 1996, AL SAYEGH PETKOVŠEK 2005). Pri vzorčenju in oceni rezultatov je nujno upoštevati, da se tipi ektomikorize pojavljajo neenakomerno – žepasto, glede na koreninski sistem in organski opad (ERLAND / TAYLOR 2002, JOHANSSON 2002, AGERER / GÖTTLEIN 2003). Vzorčenje je standardizirano z uporabo sonde s stalnim volumnom in globino (273 ml, 18 cm) (KRAIGHER / BATIČ / AGERER 1996, KRAIGHER 1997) in tako posamezni talni vzorci zajamejo primerljivo število kratkih korenin (protokoli po KRAIGHER / AGERER



2000). Primerjava povprečnega števila kratkih korenin v talnih vzorcih, vzorčenih v bukovih (1119 do 1992) in smrekov sestojih (1211 do 1679) (podatki preračunani po SIMONČIČ *et al.* 1998, KRAIGHER 1999, KRAIGHER *et al.* 2003, AL SAYEGH PETKOVŠEK 2004) posameznih ploskev, kaže, da je z metodo zagotovljena reprezentativnost vzorčenja. Potrdimo torej lahko, da je mikobioindikacijska metoda, povzeta po KRAIGHER / BATIČ / AGERER (1997), uporabna metoda za analizo raznovrstnosti in vrstne sestave talnih ektomikoriznih združb. (c) Glive so zaradi svojih lastnosti bistveno boljši sprejemniki težkih kovin iz tal kot drugi organizmi. Kljub vrstno specifičnemu sprejemu težkih kovin iz tal so vsebnosti težkih kovin v trosnjakih odlični pripomoček za ločevanje med onesnaženimi in neonesnaženimi območji, kar smo dokazali s primerjavo rezultatov zlasti med Šaleško dolino in Zgornjo Mežiško dolino (statistično visoko značilne razlike v vsebnosti Pb in Cd za skoraj vse analizirane vrste gliv).

## SUMMARY

Belowground and aboveground fungal communities in the emission area of the Šoštanj Thermal Power Plant (ŠTPP) were analysed to assess the potential forest site pollution. Fungi were used as sensitive (the inventory of macrofungi, determination of types of ectomycorrhizae, analyses of mycorrhizal potential) and accumulative bioindicators (heavy metal level in fruiting bodies of higher fungi). The following issues were emphasized: (a) inventory of macrofungi; (b) identification and biodiversity of types of ectomycorrhizae; (c) analysis of mycorrhizal potential of differently polluted forest research plots; and (d) determination of heavy metal level in fruiting bodies of macrofungi.

In general, no decrease in biodiversity of belowground ectomycorrhizal community was determined in the Šalek Valley. The only exceptions were soil cores sampled near damaged spruce trees at Hudobrežnikov vrh (in the immediate vicinity of TEŠ). Sensitive species of macrofungi were determined at all locations; however, the percentage of sensitive species was lower at the most polluted location (Veliki Vrh, 13%) in comparison with both Zavodnje and Radojč (20%). Moreover, the comparison between two plots indicated that the number of species, number of ectomycorrhizal fungi and number of sensitive ectomycorrhizal species were higher in the less polluted area of Ložnica. Pollution has been reducing the mycorrhizal potential of forest soil in Zavodnje as well. Irrespective of species, heavy metals were measured in inter-

vals as follows: 0.11-325 mg/kg, 0.05-31.3 mg/kg, 0.02-55 mg/kg, and 0.05-441 mg/kg for Cd, Pb, Hg and As, respectively. The combination of all types of bioindication revealed that biodiversity of fungal community in the beech forests in Šalek Valley is not seriously affected; however, elevated Cd and As levels in fruiting bodies indicated high exposure of ecosystems to these two elements.

## VIRI REFERENCES

- AGERER, R., 1987-2002. Colour Atlas of Ectomycorrhizae. 1<sup>st</sup> – 11<sup>th</sup> Delivery.- Einhorn-Verlag, München.
- AGERER, R. / DANIELSON, R.M. / EGLI, S. / INGLEBY, K. / LUOMA, D. / TREU, R. (Ur.), 1996 - 2001. Descriptions of Ectomycorrhizae 1-6.- Einhorn-Verlag.
- AGERER, R. / GÖTTLEIN, A., 2003. Correlation between projection area of ectomycorrhizae and H<sub>2</sub>O extractable nutrients in organic soil layers.- Mycological Progress 2(1): 45-52.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S., 1996. Vpliv onesnaževanja in nekaterih rastiščnih dejavnikov na mikorizne sadike smreke.- Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, 107 s.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S., 1997. Mikorizni potencial dveh različno onesnaženih gozdnih rastišč v imisijskem območju termoelektrarne Šoštanj.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 52: 323-350.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S., 2004. Raznovrstnost tipov ektomikorize v bukovih sestojih različno onesnaženih gozdnih ploskev.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 75: 5-19.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S., 2005. Vrstna sestava ektomikoriznih talnih združb bukovih sestojev različno onesnaženih gozdnih ploskev.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 76: 5-38.
- 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., 2005. Glive kot odzivni in akumulacijski bioindikatorji onesnaženosti gozdnih rastišč.- Letno poročilo, ERICo Velenje DP 1/02/05, 66 s.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S. / RIBARIČ LASNIK, C., 2004. Biomonitoring gozdnega ekosistema po zmanjšanju emisije iz TEŠ na osnovi biokemijskih parametrov v iglicah smreke.- Poročilo, ERICo Velenje DP 14/02/04, 62 s.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S. / POKORNY, B. / PILTAVER, A., 2003. Prvi seznam makromicet s širšega območja Šaleške doline.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 72: 83-120.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S. / POKORNY, B. / RIBARIČ LASNIK, C. / VRTAČNIK, J., 2002. Vsebnost Cd, Pb, Hg in As v trosnjakih gliv iz gozdnate krajine Šaleške doline.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 67: 5-46.
- ARNOLDS, E., 1991. Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe.- Agriculture, Ecosystems. Environment, 35: 209-244.
- ARNOLDS, V. / VRIES, B., 1993. Conservation of Fungi in Europe.- V: PEGLER., D. N. / BODDY, L. / ING, B. / KIRK, P. M. (Ur.). Fungi of Europe: investigation Recording and Conservation, Royal Botanic Gardens, Kew, s. 211-230.
- ARZENŠEK, B. / TRATNIK, B. / MALOVRH, B., 2002. Naše gobe.- Založba Modrijan, Ljubljana, 363 s.
- ATLAS, R. / BARTHA, R., 1981. Introduction to microbiology.- Addison-Wesley Publishing Company Reading, s.242-244.
- BRAND, F., 1991. Ektomykorrhizen an *Fagus sylvatica*. Charakterisierung und Identifizierung, Okologische Kennzeichnung und unsterile Kultivierung.- IHW-Verlag, 183 s.

- BREITENBACH, J. / KRAENZLIN, F., 1984. Fungi of Switzerland.- Vol. 1, Ascomycetes. Verlag Mycologia, Luzern.
- BREITENBACH, J. / KRAENZLIN, F., 1986. Fungi of Switzerland.- Vol. 2, Non gilled fungi. Verlag Mycologia, Luzern.
- BREITENBACH, J. / KRAENZLIN, F., 1991. Fungi of Switzerland.- Vol. 3, Boletes and agarics, 1st part. Verlag Mycologia, Luzern.
- BREITENBACH, J. / KRAENZLIN, F., 1995. Fungi of Switzerland.- Vol. 4, Agarics 3rd part. Verlag Mycologia, Luzern.
- BREITENBACH, J. / KRAENZLIN, F., 2000. Fungi of Switzerland.- Vol. 5, Agarics 2nd part. Verlag Mycologia, Luzern.
- 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.
- CHAPELKA, A. H. / KUSH, J. S. / RUNION, G. B. / MEIER, S. / KELLEY, W. D., 1991. Effect of soil - applied lead on seedling growth and ectomycorrhizal colonization of loblolly pine.- Environmental Pollution, 72: 307-211.
- COURTECUISE, R., 1999. Mushrooms of Britain & Europe.- HarperCollinsPublishers, London.
- ČATER, M., 2000. Osutost drevja na trajnih raziskovalnih ploskvah na Pokljuki 1995-1998, pri Zavodnjah 1996 in Kočevski Reki 1996-1998.- V: 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. 27-32.
- ERLAND, S. / TAYLOR, A. F. S., 2002. Diversity of ectomycorrhizal fungal communities in relation to the abiotic environment.- V: VAN DER HEIJDEN, M. / SANDERS, T. (Ur.). The ecology of ectomycorrhizas. Ecological studies Series, Volume 157, Chapter 7, Springer Verlag, s.163-193.
- European Council for the Conservation of Fungi (E.C.C.F). Country reports for the period 2000-2005.- Newsletter 14 – December 2005, 47 s.
- FELLNER, R., 1993. Air pollution and mycorrhizal fungi in central Europe.- V: PEGLER, D. N. / BODDY, L. / ING, B. / KIRK, P. M. (Ur.). Fungi of Europe: Investigation, Recording and Conservation, Royal Botanic Gardens, Kew, s. 239-250.
- FELLNER, R. / PEŠKOVA, V., 1995. Effects of industrial pollutants on ectomycorrhizal relationship in temperate forest.- Canadian Journal of Botany 73 (Suppl. 1): S1310-S1315.
- FERLIN, F., 1990. Vpliv onesnaženega zraka na rastno obnašanje in rastno zmogljivost odraslih smrekovih sestojev.- Magistrsko delo. Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo, Ljubljana.
- GREBENC, T., 2005. Tipi ektomikorize na bukvi (*Fagus sylvatica* L.) v naravnem in gospodarskem gozdu.- Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Interdisciplinaren podiplomski študij biotehnologije, 174 s.
- GREBENC, T. / KRAIGHER, H., 2006. Types of Ectomycorrhizae of Mature Beech and Spruce at Ozone-Fomigated and Controled Forest Plots.- Environ. Monit. Assess., v tisku. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-006-9414-3>.
- GRONBACH, E., 1988. Charakterisierung und Identifizierung von Ektomykorrhizen in einem Fichtenbestand mit Untersuchungen zur Merkmalsvariabilität in saurer berechneten Flächen.- Bibliotheca Mycologica, Bd. 125, 216 s.
- ING, B., 1993. Towards a Red List of Endangered European Macrofungi.- V: PEGLER, D. N. / BODDY, L. / ING, B. / KIRK, P. M. (Ur.). Fungi of Europe: Investigation Recording and Conservation, Royal Botanic Gardens, Kew, s. 231-237.
- JOHANSSON, J. F., 2002. Belowground ectomycorrhizal community structure along a local nutrient gradient in boreal forest in Northern Sweden.- Msc. Thesis. Swedish University of Agriculture Sciences, Department of Forest Mycology and Pathology. Uppsala, Sweden, 127 s.
- KALAC, P. / SVOBODA, L., 2000. A review of trace element concentrations in edible mushrooms.- Food Chemistry 69: 273-281.
- KALAN, J. / KALAN, P. / SIMONČIČ, P., 1995a. Preučevanje gozdnih tal na stalnih raziskovalnih ploskvah.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 47: 57-84.
- KALAN, J. / KALAN, P. / SIMONČIČ, P., 1995b. Bioindikacija onesnaženosti gozdov z žveplom na podlagi vsebnosti žvepla v asimilacijskih delih gozdnega drevja.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 47: 85-116.
- KOLAR, I., 1989. Umiranje smreke v gozdovih Šaleške doline.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 34: 121-198.
- KOVACS, G. / PAUSCH, M. / URBAN, A., 2000. Diversity of Ectomycorrhizal Morphotypes and oak Decline.- Phytion (Austria), special issue: Root-soil interactions, Vol. 39: 199-202.
- KRAIGHER, H., 1990. Raziskave mikorize pri smreki v različno onesnaženih okoljih.- Raziskovalna naloga, IGLJ, Ljubljana, 55 s.
- KRAIGHER, H., 1991. Mineralna prehrana mikoriznih smrek na Pohorju.- Magistrsko delo. Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 126 s.
- 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.- V: ROBEK, R. (Ur.). Proučevanje propadanja gozdov v Sloveniji v obdobju 1985-1995, tematska številka. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 52: 279-322.
- KRAIGHER, H., 1999. Diversity of types of ectomycorrhizae on Norway spruce in Slovenia.-Phyton (Horn, Austria) 39 (3): 199-202.
- KRAIGHER, H. / AGERER, R., 2000. Identification and characterisation of types of ectomycorrhizae.- V: MARTIN, M. P. (Ur.). Methods in root-soil interactions research: protocols compiled for the Technical Workshop of the COST E6 Action Eurosilva "Forest Tree Physiology Research" held in Gozd Martuljek, Slovenia, September 8, 1999. Ljubljana, Slovenian Forestry Institute, 29-34.
- KRAIGHER, H., AL SAYEGH PETKOVŠEK, S. / GREBENC, T. / SIMONČIČ, P., 2006. Types of Ectomycorrhizae as Pollution Stress Indicators: Case Studies in Slovenia.- Environ. Monit. Assess., v tisku. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-006-9413-4>.
- KRAIGHER, H. / BATIČ, F. / AGERER, R., 1995. Mycobioindication of forest site pollution.- V: KRAIGHER, H. / BATIČ, F. / HANKE, D. / AGERER, R. / GRILL, D. (Ur.). Proceedings of the International Colloquium on Bioindication of Forest Site Pollution: Development of Methodology and Training (BIOFOSP), August 22-31 1995, Ljubljana, Slovenia, (Tempus M-JEP 04667). Ljubljana, Slovenian Forestry Institute, Biotechnical Faculty, Agronomy Department, s. 195-200.
- KRAIGHER, H. / BATIČ, F. / AGERER, R., 1996. Types of ectomycorrhizae and mycobioindication of forest site pollution.- Phytion (Horn, Austria) 36 (3): 115-120.
- KRAIGHER, H. / GREBENC, T. / AL SAYEGH-PETKOVŠEK, S. / PUČKO, M. / VILHAR, U. / VUKOVIČ, N. / ŽELEZNIK, P. / BLEJEC, A., 2003. Growth of roots and mycorrhizae as a tool for bioindication of stress in forest sites.- V: Third International Symposium on Dynamics of Physiological Processes in Woody Roots: 28 September - 3 October 2003, Perth, Australia: Programme and Abstracts. Perth: School of Plant Biology, The University of Western Australia, 2003, s. 79.
- KRAIGHER, H. / HANKE, D.E., 1995. Cytokinins in Norway spruce seedlings as tester organisms of forest soil pollution.- V: KRAIGHER, H. / BATIČ, F. / HANKE, D. E. / AGERER, R. / GRILL, D. (Ur.). Proceedings of the International Colloquium on Bioindication of Forest Site Pollution: Development of Methodology and Training (BIOFOSP), August 22-31 1995, Ljubljana, Slovenia, (Tempus M-JEP 04667). Ljubljana: Slovenian Forestry Institute: Biotechnical Faculty, Agronomy Department, s. 95-100.
- KRAIGHER, H. / HANKE, D. E., 1996. Cytokinins in Norway spruce seedlings and forest soil pollution.- Phytion (Horn, Austria), 36 (3): 57-60.
- KROPAČEK, K. / KRISTINOVA, M. / CHEMELIKOVA, E. / CUDLIN, P., 1989. The mycorrhizal inoculation potencial of forest soils exposed to different pollutions stress.- Agriculture, Ecosystems and Environment 28: 217- 277.

- KUGONIČ, N. / STROPNIK, M., 2001. Vsebnost težkih kovin v tleh in rastlinah na kmetijskih površinah v Šaleški dolini.- Letno poročilo, ERICo Velenje DP 24/02/01, 183 s.
- LARSSON, T., 2002. Proposal to include 33 fungi species in Appendix 1 of Bern Convention.- Sweddis environmental protection agency, 75 s.
- LIUKKONEN-LILJA, H. / KUUSI, T. / LAAKSOVIRTA, H. / LODENIUS, M. / PIEPPONEN, S., 1983. The effect of a lead processing works on the lead, cadmium and mercury contents of fungi.- Z. Lebensm. Unters. Forch. 176: 120-123.
- MATOČEC, N. / ANTONIČ, O. / MRVOŠ, D. / PILTAVER, A. / HATIČ, D. / BUKOVEC, D., 2000. An estimate of fir forest health based on mycobioindication: The Križ stream catchment area, Gorski Kotar, Croatia, a case study.- Nat.Croat., Vol. 9, No. 1: 15-33.
- MELGAR, M. J. / ALONSO, M. / PEREZ-LOPEZ, M. / GARCIA, M. A., 1998. Influence of some factors in toxicity and accumulation of cadmium from edible wild macrofungi in NW Spain.- J. Environment. Sci. Health B 33: 430-455.
- MOSER, M., 1978. Die Röhrlinge und Blätterpilze.- Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, 532 p.
- PHILLIPS, R., 1981. Mushrooms and other fungi of Great Britain & Europe.- Pan Books Ltd, Macmillan Publisher Ltd, London, Basingstone and Oxford, 287 s.
- PILTAVER, A., 1997. Zavarovane glive v Sloveniji.- Strokovno gradivo k uredbi o zavarovanju samoniklih gliv. Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za varstvo narave, Ljubljana, 199 s.
- POKORNY, B. / AL SAYEGH PETKOVŠEK, S., 2003. Prvi seznam višjih gliv Občine Šmatno ob Paki 2001/2002.- Zbirka Okolje, zv. 5, ERICo Velenje, 209-222.
- POKORNY, B. / AL SAYEGH PETKOVŠEK, S., 2005. Vsebnost težkih kovin v gozdnih sadežih iz Šaleške doline, Zasavja, Zgornje Mežiške doline in Zgornje Savinjske doline.- Zaključno poročilo, ERICo Velenje DP 8/02/05.
- POKORNY, B. / RIBARIČ LASNIK, C., 2002. Seasonal variability of mercury and heavy metals in roe deer (*Capreolus capreolus*) kidney.- Science of the Total Environment 324: 223-234.
- POKORNY, B. / AL SAYEGH PETKOVŠEK, S. / RIBARIČ LASNIK, C. / VRTAČNIK J. / DOGANOC, D. Z. / ADAMIČ, M., 2004. Fungi ingestion as an important factor influencing heavy metal intake in roe deer: evidence from faeces.- Science of Total Environment 324: 223-234.
- POLER, A., 2002. Veselo po gobe.- Mohorjeva družba, Celovec, 363 s.
- RIBARIČ LASNIK, C., 1996. Ugotavljanje stresa pri smreki (*Picea abies* (L.) Karst.) na osnovi biokemijskih analiz na vplivnem območju termoelektrane Šoštanj.- Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, 179 s.
- ROBIČ, D. / VILHAR, U. / KRAIGHER, H., 1998. Gozdnogojitveni vidiki kompeticije v rizosferi zatravljenega antropogenega altimontanskega smrekovja.- V: DIACI, J. (Ur.). Gorski gozd: zbornik referatov. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana, str. 255-268.
- ROTNIK, U., 2005. Bilten TEŠ.- AV Studio, Velenje.
- SIMONČIČ, P., 1996. Odziv gozdnega ekosistema na vplive kislih odločin s poudarkom na preučevanju prehranskih razmer za smreko (*Picea abies* (L.) Karsten) in bukev (*Fagus sylvatica* L.) na vplivnem območju Termoelektrane Šoštanj.- Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo, 156 s.
- 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.
- SVOBODA, L. / ZIMMERMANNNOVA, K. / KALAČ, P., 2000. Concentration of mercury, lead and copper in fruiting bodies of edible mushrooms in an emission area of a copper smelter and a mercury smelter.- Science of Total Environment 246: 61-67.
- STIJVE, Z. / BESSON, R., 1976. Mercury, cadmium, lead and selenium concentration of mushroom species belonging to the genus *Agaricus*.- Chemosphaera 51: 151-158.
- STATSOFT INC., 1999. Statistica for Windows 5.5 (99 Edition).- Tulsa, StatSoft: CD-ROM.
- STROPNIK, Z. / TRATNIK, B. / SELJAK, G., 1988. Naše gobje bogastvo.- Mladinska knjiga, 611 s.
- TARMAN, K., 1992. Osnove ekologije in ekologija živali.- DZS, s. 547.
- 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. (Ur.). Ecological studies, vol. 142. Springer Berlin Heidelberg New York, s. 343-365.
- TREU, R., 1990. Charakterisierung und Identifizierung von Ektomykorrhizen aus dem Nationalpark Berchtesgaden.- Bibliotheca Mycologica, Band 134. J. Cramer, Berlin-Stuttgart 1990, 196 s.
- TROŠT SEDEJ, T. / AGERER, R. / URBANČIČ, M. / KRAIGHER, H. 1999. Biodiversity of ectomycorrhizae in a norway spruce stand on Pokljuka.- Phytton (Horn, Austria), 39 (4): 225-232.
- URBANČIČ, M. / KUTNAR, L., 1998. Pestrost talnih razmer in pritalne vegetacije gozdov na morenah Poključke planote. XIX.- Zbornik referatov: "Gorski gozd". Logarska dolina, marec 1998, s. 223-241.
- Uredba o spremembi uredbe o zavarovanju samoniklih gliv.- Ur. l. RS, št. 44/1995.
- Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih koncentracijah imisijskih vrednosti nevarnih snovi v tleh.- Ur. l. RS, št. 68/1996.
- VILHAR, U. / KRAIGHER, H., 1999. Types of ectomycorrhizae on Pohorje.- Phytton (Horn, Austria), 39 (3): 203-206.
- VILHAR, U., 2001. Pestrost tipov ektomikorize na naravnem mladju smreke na Pokljuki. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire, Ljubljana, 72 s.
- VODNIK, D. / BOŽIČ, M. / GOGALA, N., 1995. Lead toxicity in ectomycorrhizae - growth response of spruce transplanted onto polluted soil.- V: KRAIGHER, H. / BATIČ, F. / HANKE, D. / AGERER, R. / GRILL, D. (Ur.). Proceedings of the International Colloquium on Bioindication of Forest Site Pollution: Development of Methodology and Training (BIOFOSP), August 22-31 1995, Ljubljana, Slovenia, (Tempus M-JEP 04667). Ljubljana: Slovenian Forestry Institute: Biotechnical Faculty, Agronomy Department, 119-124.
- VRŠČAJ, D., 1990. Glive od Triglava do Jadrana.- ČZP Kmečki glas, Ljubljana, 416 s.
- VUKOVIČ, N., 2003. Bioindikacija stresa na različnih gozdnih rastiščih z izpostavljanjem enoletnih sadik smreke. Diplomsko naloga.- Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Ljubljana, 56 s.
- WEISS, M., 1988. Ektomykorrhizen von *Picea abies* Synthese, Ontogenie und Reaktion auf Umweltschadstoffe.- Dissertation, Fachb. Biologie, Ludwig - Maximilians - Universität München, 141 p.
- WONDRATSCHEK, I. / RÖDER, U., 1993. Monitoring of heavy metals in soils by higher fungi.- V: MARKERT, B. (Ur.). Plants as biomonitors: Indicators for heavy metals in the terrestrial environment. Weinheim, VCH Verlagsgesellschaft, s. 345-364.

## **ZAHVALA**

### **ACKNOWLEDGEMENTS**

Raziskave so financirali Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo RS (L4-7402, L1-6404-1007-05), Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS (L4-7402) ter Termoelektrarna Šoštanj prek različnih raziskovalnih projektov. Zahvaljujemo se Andreju Piltaverju z Inštituta za siste-

matiko višjih gliv, ki je sodeloval pri popisih gliv, in še zlasti doc. dr. Hojki Kraigher z Gozdarskega inštituta Slovenije, saj smo pod njenim mentorstvom opravljali raziskave mikorize, njene pripombe pa so tudi obogatile pričujoči članek. Zahvala velja tudi dr. Tinetu Grebencu, ki je kot recenzent bistveno izboljšal članek. Članek je bil pripravljen v okviru projekta Phare Termoelektrarna Šoštanj in prekomejno onesnaževanje zraka 1987-2004 (4908701-02-01-0009).