

GDK 181.45+172.8:(497.12 Šaleška dolin)

Prispelo / Received: 10.09.2001
Sprejeto / Accepted: 09.04.2002

Izvirni znanstveni članek
Original scientific paper

VSEBNOSTI Cd, Pb, Hg IN As V TROSNJAKIH GLIV IZ GOZDNATE KRAJINE ŠALEŠKE DOLINE

Samar AL SAYEGH-PETKOVŠEK*, Boštjan POKORNY**, Cvetka RIBARIČ-
LASNIK***, Jaroslav VRTAČNIK****

Izvleček

V letu 2000 smo z metodo ICP-MS določili vsebnosti Cd, Pb, Hg in As v 190 vzorcih gob (52 vrst) iz Šaleške doline. Ugotovili smo, da: (1) so vsebnosti težkih kovin v klobukih gob visoko značilno višje kot v betih; (2) imajo glive izjemno sposobnost kopičenja težkih kovin, saj so vsebnosti za en velikostni razred (Pb) do štiri velikostne razrede (As) višje kot v ostalih gozdnih sadežih z istih lokacij; (3) Cd najbolj kopičita poljski in beli gozdni kukmak; As beli gozdni kukmak, prava tintrnica, vodobeti gobanček in vijoličasta kolesnica; Hg travniški kukmak in vijoličasta kolesnica; Pb pa grbičasti dežnik, betičasta in senožetna prašnica; (4) je zaradi visokih vsebnosti Cd in Hg potrebna zmemost pri prehranjevanju z gobami (tedensko sme npr. odrasla oseba v Šaleški dolini zaužiti manj kot 50 g kukmakov oziroma približno 500 g pravih štorovk, vijoličaste kolesnice, orjaških dežnikov ali jesenskih gobanov); (5) je v prihodnje potrebno osnovati vseslovenski monitoring vsebnosti najbolj problematičnih elementov v trošnjakih gob; le-ta je pomemben za izdelavo ocen tveganja za višje člene prehranjevalne verige.

Ključne besede: onesnaženost okolja, kadmij, svinec, živo srebro, arzen, glive, bioindikacija, Šaleška dolina

Cd, Pb, Hg AND As IN FRUITING BODIES OF HIGHER FUNGI FROM THE FOREST LANDSCAPE OF THE ŠALEK VALLEY

Abstract

Levels of Cd, Pb, Hg and As were determined by ICP-MS in 190 samples of higher fungi belonging to 52 species collected in the Šalek Valley in 2000. Our findings were as follows: (1) Heavy metal levels (HML) are significantly higher in the caps of mushrooms in comparison with stems. (2) Fungi have tremendous bio-accumulative potential, therefore HML in fruiting bodies are from one order of magnitude (Pb) to four orders of magnitude (As) higher in comparison with other forest fruits from the same locations. (3) The highest HML were determined in the following species: Cd – *Agaricus arvensis* and *A. silvicola*; As – *A. silvicola*, *Coprinus atramentarius*, *Boletinus cavipes* and *Lepista nuda*; Hg – *A. campestris* and *L. nuda*; Pb – *Macrolepiota mastoidea*, *Lycoperdon perlatum* and *Calvatia utriformis*. (4) Mushrooms should be eaten with great care due to very high contents of Hg and particularly Cd (e.g., the weekly intake rate for an adult in the Šalek Valley should not exceed 50 g of *Agaricus* species, or 500 g of *Armillaria mellea*, *Lepista nuda*, *M. procera* or *Boletus edulis*). (5) A monitoring program of the most problematic elements in mushrooms, which is essential for performing reliable risk assessment for higher links of the food chain, must be established all over the country.

Key words: environmental pollution, cadmium, lead, mercury, arsenic, fungi, bioindication, the Šalek Valley

mag., ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave, Koroška 58, 3320 Velenje, SVN

* univ. dipl. inž. gozd., ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave, Koroška 58, 3320 Velenje, SVN

** dr., ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave, Koroška 58, 3320 Velenje, SVN

*** univ. dipl. inž. str., Termoelektrarna Šoštanj, Ive Lola Ribarja 18, 3325 Šoštani, SVN

VSEBINA
CONTENTS

1 UVOD	
INTRODUCTION.....	7
2 MATERIAL IN METODE	
MATERIAL AND METHODS	14
3 REZULTATI IN RAZPRAVA	
RESULTS AND DISCUSSION	16
4 ZAKLJUČKI	
CONCLUSIONS	38
5 SUMMARY.....	39
6 VIRI	
REFERENCES.....	41
ZAHVALA	
ACKNOWLEDGEMENTS	46

1 UVOD INTRODUCTION

Antropogeno onesnaževanje okolja s težkimi kovinami, ki spadajo med najnevarnejše anorganske strupene snovi, je v zadnjih desetletjih postalo globalni problem. Posebno nevarni so rakotvorni elementi ali pa tisti, ki prizadenejo encimatsko delovanje in presnovo – npr. arzen (As), živo srebro (Hg), kadmij (Cd) in svinec (Pb). Vsi naštetih elementi so uvrščeni v sam vrh najbolj problematičnih onesnažil (ATSDR 1999), za katere je potrebno določiti vsebnosti v sestavnih delih biogeocenoz in njihov vpliv na višje člene prehranjevalnega spleta.

Zaradi velike sposobnosti kopičenja onesnažil, splošne razširjenosti in relativne pogostnosti v prehrani ljudi ter prostoživečih živali je določitev vsebnosti težkih kovin v višjih glivah pomembna iz treh vidikov:

- **bioindikativnega:** glive so – zaradi visokega bioakumulacijskega potenciala – lahko primerni bioindikatorji onesnaženosti okolja s težkimi kovinami (npr. KALAČ / SVOBODA 2000);
- **ohranitvenega:** trosnjaki gliv predstavljajo sezonsko zelo pomemben prehranski vir za številne prostoživeče živalske vrste in lahko pomembno vplivajo na vnos strupenih snovi v živalski organizem (POKORNY / RIBARIČ-LASNIK 2002, POKORNY *et al.* 2001), posledično pa tudi na zdravstveno stanje posameznih osebkov in dolgoživost (*viabilnost*) populacij prostoživečih živali;
- **toksikološkega (antropocentričnega):** potrebno je ugotoviti primernost višjih gliv za prehrano ljudi oziroma določiti količine gob, ki jih je (upoštevaje vsebnosti težkih kovin) dopustno zaužiti v določenem časovnem obdobju.

Poleg razpršenih virov emisij (npr. promet, uporaba kemičnih preparatov v kmetijstvu in gozdarstvu) prispevajo k obremenitvi okolja s težkimi kovinami na lokalni in regionalni ravni predvsem točkovni viri, ki so povezani z izgorevanjem fosilnih goriv, s predelavo rudnin ali z odlaganjem odpadkov. Območja v bližini elektroenergetskih objektov so primeri "vročih točk" – območij, kjer lahko pričakujemo močno povišane vsebnosti težkih kovin v vseh komponentah ekosistemov (KEITH 1996). Zaradi popolnega pomanjkanja podatkov smo za nekatere emisijsko ogrožene predele Slovenije že opozorili na potrebo po določitvi vsebnosti težkih kovin v gozdnih sadežih (glej RIBARIČ-

LASNIK / POKORNY / PAČNIK 1999, POKORNY / RIBARIČ-LASNIK 2002); pričujoča raziskava naj bi zapolnila vrzel v poznavanju vsebnosti težkih kovin in njihovega kroženja v biocenozi Šaleške doline.

1.1 GLIVE KOT BIOINDIKATORJI ONESNAŽENOSTI OKOLJA S TEŽKIMI KOVINAMI FUNGI AS BIOINDICATORS OF HEAVY METAL ENVIRONMENTAL POLLUTION

O bioindikaciji govorimo, ko organizem (lahko tudi življenjska združba ali del organizma) s svojo zgradbo, razširjenostjo in življenjskimi funkcijami specifično odražajo vpliv delovanja enega ali več onesnažil v okolju (BATIČ 1994). Glive lahko uporabimo kot akumulacijske in odzivne bioindikatorje. Slednji podajajo onesnaženost okolja posredno, prek sprememb v njihovih fizioloških procesih, zgradbi in delovanju organizma oziroma s samo prisotnostjo/odsotnostjo v določenem območju. V skupino odzivne bioindikacije sodi npr. raziskava mikorize (mikobioindikacija), kjer se analizira prisotnost tipov ektomikorize v talnih vzorcih različno onesnaženih gozdnih rastišč (npr. KRAIGHER / BATIČ / AGERER 1996, KRAIGHER *et al.* 1999, AL SAYEGH PETKOVŠEK / KRAIGHER 2000). Z uporabo akumulacijskih bioindikatorjev lahko stopnjo onesnaženosti okolja merimo neposredno z določitvijo vsebnosti onesnažil, ki se kopičijo v organizmu izbrane vrste. Številni raziskovalci (zbrano v WONDRATSCHEK / RÖDER 1993, MEJSTRICK / LEPŠOVA 1993, KALAČ / SVOBODA 2000) uvrščajo glive med dobre akumulacijske bioindikatorje onesnaženosti okolja s težkimi kovinami.

Močnejše zanimanje za poznavanje vsebnosti težkih kovin v glivah se je pojavilo sorazmerno pozno, in sicer po pionirskih raziskavah, ki so opozorile na visoke vsebnosti Hg (npr. STEGNAR *et al.* 1973), Pb in Cd (npr. BRYNE / RAVNIK / KOSTA 1976) v nekaterih vrstah gob. Kasneje so številni raziskovalci ugotovili povišane koncentracije težkih kovin v trosnjakih gliv, ki so rasle na površinah, onesnaženih s težkimi kovinami, v primerjavi s predstavniki istih vrst iz neonesnaženih območij (npr. LIUKKONEN-LILJA *et al.* 1983, LEPŠOVA / MEJSTRICK 1988, ZABOWSKI *et al.* 1990, SOVA *et al.* 1991, CIBULKA *et al.* 1996, GARCIA *et al.* 1998, SVOBODA / ZIMMERMANNNOVA / KALAČ 2000).

Glive (miceliji v tleh in trosnjaki, ki jih tvorijo) so zaradi svojih lastnosti (zelo velika površina micelija je v stiku z veliko površino zgornjih talnih horizontov; izmenjava snovi v sistemu tla-podgobje je zelo intenzivna zaradi neposrednega stika z odmrlo organsko snovjo) boljši sprejemniki težkih kovin iz tal kot ostali organizmi. Za biomonitoring onesnaženosti okolja so primerni predvsem trosnjaki; miceliji so – zaradi težje izolacije hif in težavne določitve vrste – manj uporabni za analize težkih kovin. Izredno kratko obdobje rasti trosnjaka na površini tal ima za posledico minimalen privzem kovin iz zraka, zato so tla (v katerih živi micelij več mesecev ali celo let) najpomembnejši medij vnosa onesnažil v tkiva gliv. Le-te so torej predvsem bioindikator onesnaženosti tal (WONDRATSCHEK / RÖDER 1993, MEJSTRIK / LEPŠOVA 1993). Primernost gliv za bioindikacijo stopnjujejo sorazmerno enostavne kemijske analize in visoke vsebnosti težkih kovin v glivah, te so praviloma višje kot v tleh in so zato nad mejo detekcije v veliki večini vzorcev (*ibid.*).

Mnogi avtorji (npr. SCHMITT / MEISH 1985, SVOBODA / ZIMMERMANNNOVA / KALAČ 2000) so kritično razpravljali o uporabnosti višjih gliv kot bioindikatorjev onesnaženosti tal s težkimi kovinami. Prevladuje mnenje, da nobena vrsta gliv praviloma ni povsem natančen kazalec onesnaženosti tal (korelacije med vsebnostmi določene kovine v tleh in v trosnjakih so šibke oziroma sploh ne obstajajo), vendar pa lahko vsebnosti težkih kovin v gobah uporabimo za ločevanje med onesnaženimi in neonesnaženimi območji (KALAČ / SVOBODA 2000). Nasploh so v močno onesnaženih območjih koncentracije težkih kovin v trosnjakih gliv močno povišane: v neposredni bližini avtocest (SOVA *et al.* 1991, GARCIA *et al.* 1998), odlagališč blata čistilnih naprav (ZABOWSKI *et al.* 1990), v emisijskih območjih elektroenergetskih objektov (CIBULKA *et al.* 1996, LEPŠOVA / MEJSTRIK 1988) in v velikih mestih (KUUSI *et al.* 1981); izredno visoke vsebnosti so bile izmerjene v bližini topilnic svinca in cinka (LIUKKONNEN-LILJA *et al.* 1983, KALAČ / BURDA / STAŠKOVA 1991, SVOBODA / ZIMMERMANNNOVA / KALAČ 2000, YTTRI *et al.* 2000).

Poleg onesnaženosti tal vplivajo na vsebnosti kovin v trosnjakih še naslednji dejavniki:

- a) **Ekološka niša gliv in vrstna oziroma rodovna specifičnost.** Vsebnosti težkih kovin v dekompozitorskih (saprofitskih) vrstah gliv s travnatih površin so višje v primerjavi z mikoriznimi glivami (KUUSI *et al.* 1981, KOJO / LODENIUS 1989). Različno kopičenje težkih kovin v različnih vrstah gliv je posledica vrstno različnih sistemov

vnosa in vezave kovin z visoko specifičnimi prenašalci, kot so proteini in peptidi (MICHELOT *et al.* 1998).

- b) **Lastnosti rastišča.** Pomembne so predvsem fizikalne in kemijske lastnosti tal, ki vplivajo na dostopnost težkih kovin: pH, organska snov in tekstura tal. Za težke kovine v splošnem velja, da nižja pH vrednost rastišča vpliva na večjo mobilnost kovin oziroma na večji privzem iz tal v žive organizme, večja količina organske snovi pa njihov privzem nevtralizira (zbrano v STREIT / STUMM 1993). Tudi za glive je znano, da je pH v okolici micelija izrednega pomena za sprejem težkih kovin; le-ta je praviloma največji na kisljih tleh (WONDRATSCHEK / RÖDER 1993). Tako je optimalen sprejem Pb pri pH = 5; še posebej pH vpliva na mobilnost Cd v tleh. Ko je pH < 5,5, Cd konstantno ostaja v mobilni obliki, zaradi česar imajo kukmaki, ki najraje rastejo na kislem humusu, zelo visoke vsebnosti tega elementa (MICHELOT *et al.* 1998).
- c) **Vrsta težkih kovin.** V privzemu obstajajo velike razlike med težkimi kovinami:
- Sprejem **kadmija** je vezan predvsem na specifične lastnosti posameznih vrst; kukmaki (*Agaricus sp.*) ga kopičijo največ: velikotrosni (*Agaricus macrosporus* (Moell. & J. Schff.) Pil.), travniški (*Agaricus campestris* L.:Fr.), gozdni (*Agaricus silvaticus* Schff.:Fr) in beli gozdni (*Agaricus silvicola* (Vitt.) Sacc.); pri določenih vrstah so bile izmerjene vsebnosti nad 50 mg Cd/kg suhe teže gobe. Velika tintnica (*Coprinus comatus* (Müll.:Fr.) Pers.), orjaški dežnik (*Macrolepiota procera* (Scop.:Fr.) Sing), brezov ded (*Leccinum scabrum* (Bull.:Fr) Gray), majniška kolobarnica (*Calocybe gambosa* (Fr.:Fr.) Sing.), prava štorovka (*Armillaria mellea* (Vahl.:Fr) Kumm.), pšenični goban (*Boletus aestivalis* (Paul.) Fr.) in ciganček (*Rozites caperata* (Pers.:Fr.) Karst.) pogosto vsebujejo nad 1 mg Cd/kg gobe (JORHEM / SUNDSTRÖM 1995). Visoka zmožnost kopičenja je značilnost rodu kukmakov, ki Cd kopičijo tudi, če tla niso onesnažena s tem elementom. Vendar so bile najvišje vsebnosti Cd izmerjene v gobah, ki so rasle v zelo onesnaženih tleh, na primer v bližini topilnice svinca (KALAČ / BURDA / STAŠKOVA 1991) in topilnice bakra (KALAČ *et al.* 1996).
 - Močno kopičenje **živega srebra** v trosnjakih je naraven pojav, saj so visoke koncentracije izmerili tudi v območjih, daleč od točkovnih virov emisij. Hg se zelo učinkovito širi iz naravnih in antropogenih virov skozi zrak, kar prispeva k povišanim vsebnostim Hg v glivah, ki rastejo tudi v odročnih, neonesnaženih območjih. Ugotovitve ALONSA *et al.* (1999) so pokazale, da glive sicer niso ustrezen

- bioindikator onesnaženosti tal s Hg zaradi vpliva prometa, vendar splošna onesnaženost tal in zraka povišuje sprejem tega elementa v trosnjake gliv.
- Razlike v vsebnosti svinca so v različnih vrstah gliv manjše kot v primeru Cd in Hg. Vsebnosti Pb so v saprofitskih gobah višje v primerjavi z mikoriznimi. Promet je zelo pomemben dejavnik, ki vpliva na kopičenje Pb (JORHEM / SUNDSTRÖM 1995). Poleg prometa vpliva na vsebnost Pb v glivah tudi bližina topilnic svinca (npr. LIUKKONEN-LILJA *et al.* 1983).
 - Arzen najbolj kopičijo vijoličasta bledivka (*Laccaria amethystina* (Huds.) Cke.) (BYRNE / TUŠEK-ŽNIDARIČ 1983), betičasta prašnica (*Lycoperdon perlatum* Pers.:Pers) (BYRNE / RAVNIK / KOSTA 1976, BYRNE *et al.* 1995) in ciganček (STANKEVICIENE 1996).
- d) Starost in velikost trosnjakov sta sicer manj pomembna dejavnika (KALAČ / SVOBODA 2000), vendar sta SCHMITT in MEISH (1985) ugotovila višje koncentracije težkih kovin v mlajših trosnjakih, kar je posledica intenzivnega prenosa kovin iz micelija v trosnjak v začetni fazi rasti gobe. Značilno je tudi, da je večina težkih kovin neenakomerno porazdeljena v glivi, in sicer v sosledju trosavnica > klobuk > bet (MELGAR *et al.* 1998, SCHMITT / MEISH 1985).

1.2 VSEBNOSTI TEŽKIH KOVIN V GLIVAH: TOKSIKOLOŠKI POMEN TOXICOLOGICAL IMPORTANCE OF HEAVY METALS IN FUNGI

Vsebnosti težkih kovin so lahko v nekaterih – sicer užitnih – vrstah gob tako visoke, da ima njihovo uživanje negativen vpliv na zdravje ljudi. Zlasti nevarne so nekatere kronične posledice; tako npr. Cd, Hg in Pb povzročajo poškodbe ledvic, živčnega ter prebavnega sistema, metil-Hg pa vpliva na delovanje možganov.

Nabiranje in uživanje gob je v Evropi zelo priljubljen jesenski način preživljanja prostega časa; v tem času predstavljajo gobe pomemben vir hrane za nekatere skupine ljudi. Nekatere države so zato zakonsko določile mejne koncentracije težkih kovin, ki so lahko v užitnih vrstah gob, da je dopustna njihova uporaba v prehranjevalne namene (preglednica 1).

Preglednica 1: Dopustne vsebnosti težkih kovin ($\mu\text{g/g}$) v negojenih gobah v nekaterih evropskih državah (Prirejeno po: Pravilnik o količinah..., KALAČ / SVOBODA 2000, LIUKKONEN-LILJA *et al.* 1983)

Table 1: Permissible levels of heavy metals ($\mu\text{g/g}$) in wild-growing fungi in some European countries (Modified after: Pravilnik o količinah..., KALAČ / SVOBODA 2000, LIUKKONEN-LILJA *et al.* 1983)

	Slovenija / Slovenia		Češka / Czech Republic ^a	Poljska / Poland ^b	Finska / Finland ^b
Hg	3,0 ^a	0,5 ^b	5,0	/	0,8
Cd	3,0 ^a	0,5 ^b	2,0	/	/
Pb	5,0 ^a	1,0 ^b	10,0	0,3	1,0
As	1,0 ^a	0,3 ^b	/	/	/

Opombe / Notes: a-Posušene gobe / Dried fungi; b-Sveže gobe / Fresh fungi

WHO/FAO (1989) je določila mejo tedenskega vnosa **kadmija** v človeški organizem; leta znaša 0,007 mg/kg telesne teže oziroma 0,5 mg Cd na odraslega človeka. V Španiji so MELGAR *et al.* (1998) izračunali, da zaužitje kilograma velikotrosnega kukmaka (s povprečno vsebnostjo 4,3 mg Cd/kg gobe) preseže dovoljeni vnos za obdobje več kot dveh mesecev. Avtorji so zato priporočili, da pred zaužitjem odstranimo trosovnico, ki akumulira največ težkih kovin, oziroma da te vrste ne uživamo, če se želimo povsem izogniti tveganju.

V kopenskih ekosistemih so v splošnem vsebnosti **živega srebra** nizke; izjema so ravno nekatere vrste gliv. Na potencialen vpliv trosnjakov gliv na sezonsko močno povišane vsebnosti Hg v prehranjevalni verigi smo že opozorili (POKORNY / RIBARIČ-LASNIK 2002, POKORNY *et al.* 2002). Visoke koncentracije Hg v nekaterih užitnih glivah so lahko vzrok kroničnim zastrupitvam s tem elementom. Od 3 do 20 % skupnega Hg v glivah je v obliki zelo strupene organske oblike (metil-Hg), ki je za sesalce izredno strupen. Metil-Hg je topen v maščobah in se zato zelo učinkovito akumulira v tkivih sesalcev (GNAMUŠ / BYRNE / HORVAT 2000). Določene vrste gliv lahko preoblikuje anorganski Hg v metil-Hg, zato je pri teh vrstah stopnja kopičenja še višja (FISCHER *et al.* 1995, ALONSO *et al.* 1999). Visoke vsebnosti Hg v nekaterih užitnih vrstah gob lahko zato predstavljajo veliko tveganje za zdravje ljudi (KOJO / LODENIUS 1989, GARCIA *et al.* 1998, MELGAR *et al.* 1998). Vrste, ki zelo kopičijo Hg, so orjaški dežnik, majniška kolobarnica, vijoličasta kolesnica (*Lepista nuda* (Bull.:Fr.) Cke.), travniški in poljski kukmak (*Agaricus arvensis* Schff.:Fr.); precej ga kopičijo tudi gobani ter prašnice (STIJVE / BESSON 1976).

Dovoljen tedenski vnos svinca v človeški organizem je po priporočilu WHO/FAO (1993) 0,025 mg/kg telesne teže oziroma 1,5 do 1,75 mg Pb na odraslo osebo. Najbolj ga akumulirajo betičaste prašnice, rdečeči dežniki (*Macrolepiota rhacodes* (Vitt.) Sing.), vijoličaste kolesnice in velike tintnice; dovoljene vsebnosti ponekod presegajo še kukmaki in orjaški dežniki. Izredno visoke koncentracije Pb so bile izmerjene v neposredni bližini topilnic svinca – npr. na Češkem se je Pb značilno kopičil v vseh vrstah gob, oddaljenih manj kot 6 km od topilnice (KALAČ / BURDA / STAŠKOVA 1991). Močno povišane vsebnosti Pb so bile izmerjene tudi v neposredni bližini avtocest, zato je smiselno prepovedati uživanje gob, ki rastejo na močno onesnaženih območjih; še posebej to velja za saprofitske vrste, katerih rastišče je oddaljeno manj kot 50 m od glavnih cest (GARCIA *et al.* 1998), in za gobe, ki rastejo v bližini topilnic svinca (LIUKKONEN-LILJA *et al.* 1983, SVOBODA / ZIMMERMANNNOVA / KALAČ 2000).

Arzen, ki je opredeljen kot potencialno najbolj nevarno onesnažilo (ATSDR 1999), se v naravi nahaja v nizkih koncentracijah v anorganskih oblikah: v obliki arzenita (As-III) in arzenata (As-V). Slednji je manj mobilni in ne predstavlja nevarnosti za ljudi in živali, medtem ko je As-III strupen za toplokrvne organizme. V glivah se As preoblikuje v različne manj strupene oblike (npr. arzenobetain, arzenoholin, dimetil arzenska kislina). Najverjetneje se ti metaboliti sintetizirajo v miceliju in se nato prenesejo v trosnjake (BYRNE *et al.* 1995, 1997). Najpogostejša oblika As v glivah je nestrupen arzenobetain (AB). Sintetizirani so ga sposobne tako saprofitske kot mikorizne glive, vendar je sposobnost detoksifikacije As v AB pogojena z razvojno stopnjo gliv. Pri evolucijsko najbolj razvitih, kot so trebuhovnice (*Gastrales*) z rodov prašnic in nekatere lističarke (npr. *Agaricaceae*, *Lepiotaceae*, *Cortinaceae*), je dominantna oblika arzenobetain. Sposobnost pretvorbe v AB se manjša vzdož evolucijskega debla; v rjavem ježevcu (*Sarcodon imbricatus* (L.:Fr.) Karst.) je npr. le še polovica As v obliki AB, ostali As je v obliki drugih metabolitov; v pozemni rožici (*Thelephora terrestris* Fr.:Fr.), ki spada k primitivnejšim glivam, pa AB sploh ni (BYRNE *et al.* 1997, ŠLEJKOVEC *et al.* 1997). Očitno je torej, da imajo glive velik pomen za kroženje in pretvorbo As v kopenskih ekosistemih, in še posebej v gozdnati krajini, kjer so višje glive izredno pomemben dekompozitor in preoblikovalec različnih strupenih snovi.

2 MATERIAL IN METODE MATERIAL AND METHODS

2.1 VZORČENJE SAMPLING PROCEDURE

V Šaleški dolini in njenem hribovitem obrobju smo izbrali pet širših območij (Veliki Vrh, Zavodnje, Radojč, Škale in Skorno), v katerih smo vzorčili glive na večjem številu (skupaj 47) podploskev, velikih 1–10 ha. Trosnjake gliv smo nabirali od junija do oktobra 2000. V vzorec smo združili trosnjake iste vrste, ki med seboj niso bili oddaljeni več kot nekaj 10 m. V posameznem vzorcu je bilo različno število trosnjakov (od enega do dvajset, največkrat trije ali štirje), odvisno od velikosti in dostopnosti vrste. V vzorec smo praviloma vključili le klobuke, za primerjavo z njimi pa smo naredili tudi 19 paralelnih vzorcev betov. Skupno smo analizirali 190 vzorcev oziroma 52 vrst gob. Slovenska imena vrst so povzeta po *Seznamu gliv Slovenije* (POLER 1998) oziroma po delu *Naše gobje bogastvo* (STROPNIK / TRATNIK / SELJAK 1988).

2.2 ANALITSKE METODE ANALYTICAL PROTOCOLS

V laboratoriju smo gobe očistili s krtačko in jih s plastičnim nožem narezali na rezine; le-te smo sušili v sušilniku pri 28 °C do konstantne teže (tri do štiri dni). Posušen material smo homogenizirali z visokofrekvenčnim mlinčkom s keramičnim nožem (Büchi-Mixer B-400). Vsebnosti Cd, Hg, Pb in As so bile po popolnem razklopu (kislinski sežig v mikrovalovni napravi Varian CEM MSP 1000; zatehta vzorca $0,5000 \pm 0,0010$ g; reagent: 10 ml ultračiste HNO_3 z dodatkom KMnO_4 ; $T_{\text{max}} = 180$ °C) izmerjene v *ACME Analytical Laboratories* v Vancouverju (Kanada), in sicer s tehniko induktivno sklopljene plazme z masnospektrometrično detekcijo (ICP-MS). Kakovost analitskih meritev je bila preizkušena in potrjena z vzporednimi določitvami vsebnosti težkih kovin v certificiranem referenčnem materialu (*NIST SRM 1515 Apple Leaves*); za vse elemente je bila skladnost meritev v intervalu 90–110 % referenčnih vrednosti.

2.3 STATISTIČNE METODE STATISTICAL PROCEDURES

Vsebnosti večine težkih kovin v glivah imajo logaritemsko porazdelitev; normalnost porazdelitve in homogenost varianc smo zato skušali doseči z logaritemsko (\log_{10}) transformacijo izmerjenih vsebnosti, vse nadaljnje statistične analize pa smo izvajali z uporabo transformiranih podatkov. Razlike v vsebnostih kovin med klobukom in betom iste gobe smo preizkusili s *t-testom za odvisne vzorce*. Soodvisnost med vsebnostmi elementov med obema deloma gob smo določili z izračunom *korelacijskega koeficienta (r) linearne regresije za združen vzorec devetnajstih naključno izbranih predstavnikov gobanov (jesenski, svinjski, žametni, rumeni), dedov (trepetlikov in hrastov turek, brezov in črni ded) ter peščenk*. Razlike v vsebnostih elementov v trosnjakih gliv smo med petimi območji Šaleške doline (Veliki Vrh, Radojč, Zavodnje, Škale z okolico, Skorno z okolico) preizkusili z *enostavno analizo variance (ANOVA)* transformiranih podatkov. Vse statistične analize smo naredili s pomočjo programskega paketa *Statistica for Windows 5.5* (STATSOFT 1999). Kot statistično značilne smo privzeli rezultate, če je bila velikost statističnega tveganja $p < 0,05$. Vse v nadaljevanju podane vsebnosti so izražene v $\mu\text{g/g}$ suhega vzorca, in sicer so praviloma podane dejanske (netransformirane) vsebnosti določene kovine.

2.4 PRIMERJAVA S SMERNICAMI WHO/FAO COMPARISON WITH THE WHO/FAO DIRECTIVES

Upošteva je priporočila svetovne zdravstvene organizacije o dovoljenem tedenskem vnosu težkih kovin v organizem odrasle osebe (0,5 mg Cd; 0,3 mg Hg; 1,5 mg Pb; WHO/FAO 1972, WHO/FAO 1993) smo največjo količino gob določene vrste, ki jo lahko v enem tednu zaužije odrasla oseba, izračunali kot kvocient med priporočenim vnosom posamezne kovine in v raziskavi ugotovljeno povprečno vsebnostjo te kovine. Tako dobljeno količino posušenih gob smo množili s faktorjem 10 (delež suhe snovi smo na podlagi lastnih meritev za vse vrste privzeli kot 10 %), s čimer smo dobili količino svežih gob, ki jih je (upošteva je vsebnosti vsake posamezne kovine) dopustno zaužiti v enem tednu. V izračunu smo predpostavljali, da so gobe izbrane vrste edini vir vnosa težkih kovin v človeški organizem; ker zaužijemo pomembno količino težkih kovin tudi z ostalimi prehrabnimi artikli, so dejansko priporočene količine zaužitih gob manjše.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA RESULTS AND DISCUSSION

3.1 VSEBNOSTI TEŽKIH KOVIN V GLIVAH HEAVY METAL LEVELS IN FUNGI

V preglednicah 2, 3, 4, in 5 so prikazane vsebnosti Cd, As, Hg in Pb v glivah, nabranih v letu 2000 v Šaleški dolini, in sicer so za vsako vrsto podane aritmetične sredine z odklonom zaupanja ($\bar{a} \pm t_{0,05} * SE$), standardni odkloni (SD), mediane (Me), minimalne (Min) ter maksimalne (Max) vsebnosti. Čeprav smo pri naključno izbranih predstavnikih gobanov, dedov (turkov) in peščenk vsebnosti kovin določali tudi v betih ($n = 19$), so v preglednicah podane le vsebnosti v klobukih gob, na katere smo analize omejili zaradi naslednjih vzrokov:

- Vsebnosti težkih kovin (izjema je Pb) so v betih statistično visoko značilno nižje v primerjavi s klobuki (t-test za odvisne vzorce, $n = 19$; Cd: $t = 11,55$, $p < 0,0001$; Hg: $t = 9,95$, $p < 0,0001$; As: $t = 7,47$, $p < 0,0001$; Pb: $t = 0,9318$, $p = 0,36$; glej grafikon 1). Zaradi višjih koncentracij je vsebnosti kovin v klobukih lažje meriti, spremembe v vsebnostih kovin pa so bolj opazne, zaradi česar so klobuki potencialno boljši indikator onesnaženosti tal kot beti.
- Med vsebnostmi kovin v klobukih in betih obstaja visoko značilna pozitivna soodvisnost ($p < 0,001$; glej grafikon 2), zaradi česar je analize smiselno omejiti le na en ciljni organ, kar omogoča racionalizacijo dela in posledično vključitev večjega števila vrst gliv v monitoring vsebnosti težkih kovin v gozdnih sadežih.
- Pri vseh vrstah užitnih gliv je za prehrano ljudi in prostoživečih živali primeren klobuk, medtem ko je bet užiten le pri manjšem številu vrst; z ekotoksikološkega vidika je zato pomembno poznati predvsem vsebnosti težkih kovin v klobukih gliv.

Kljub temu, da smo vzorčili v večjem številu območij (Veliki Vrh, Zavodnje, Radojč, Skomo, Škale), smo povprečne vsebnosti podali za celotno Šaleško dolino, saj je bil analiziran vzorec v prvem letu raziskave premajhen, da bi omogočal podrobnejšo prostorsko opredelitev obremenjenosti okolja znotraj Šaleške doline. Združitev dopušča dejstvo, da med omenjenimi območji za večino kovin (izjema je Cd) nismo ugotovili statistično značilnih razlik v vsebnostih v isti vrsti gliv (npr. ANOVA za jesenske gobane, $n = 18$; Cd: $F_{(3,14)} = 3,7603$, $p < 0,05$; Hg: $F_{(3,14)} = 2,7449$, $p = 0,08$; As: $F_{(3,14)} = 1,0202$, $p = 0,41$; Pb: $F_{(3,14)} = 0,9248$, $p = 0,45$).

3.1.1 Kadmij

Cadmium

Preglednica 2: Vsebnosti Cd ($\mu\text{g/g}$ suhe snovi) v klobukih gliv, nabranih v letu 2000 na območju Šaleške doline

Table 2 Levels of Cd ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in caps of fungi collected in the Šalek Valley in 2000

ROD / GENUS VRSTA / SPECIES	n	$\bar{x} \pm t_{0,05} \cdot SE$	SD	Me	Min	Max	MDK*
Kukmaki / Agaricus							
poljski kukmak <i>Agaricus arvensis</i>	2	105,06	34,10	105,06	80,93	129,20	+++
travniški kukmak <i>Agaricus campestris</i>	2	3,39	3,53	3,39	0,90	5,90	+
beli gozdni kukmak <i>Agaricus silvicola</i>	2	115,47	94,77	115,47	48,46	182,49	+++
Mušnice / Amanita							
rdeča mušnica <i>Amanita muscaria</i>	8	17,54 \pm 5,65	6,76	15,59	7,77	27,10	/
rjavi lupinar <i>Amanita fulva</i>	1	2,79	-	-	-	-	
sivi lupinar <i>Amanita vaginata</i>	1	15,01	-	-	-	-	+++
Tintnice / Coprinus							
prava tintnica <i>Coprinus atramentarius</i>	2	1,23	0,98	1,23	0,54	1,93	
velika tintnica <i>Coprinus comatus</i>	3	4,90 \pm 5,20	2,09	6,08	2,49	6,14	+
Dežniki / Macrolepiota							
grbičasti dežnik <i>Macrolepiota mastoidea</i>	3	5,44 \pm 12,60	5,07	5,61	0,28	10,42	+
orjaški dežnik <i>Macrolepiota procera</i>	23	8,67 \pm 4,15	9,63	6,78	0,27	47,29	+++
Kolesnice / Lepista							
bledovijoličasta kolesnica <i>Lepista glaucocana</i>	1	0,68	-	-	-	-	
podvihana kolesnica <i>Lepista inversa</i>	3	1,72 \pm 6,17	2,49	0,32	0,25	4,59	
vijoličasta kolesnica <i>Lepista nuda</i>	2	1,35	0,18	1,35	0,78	1,93	
Golobice / Russula							
slanikova golobica <i>Russula erythropoda</i>	1	1,88	-	-	-	-	
usnjata golobica <i>Russula integra</i>	4	3,86 \pm 5,60	3,53	2,53	1,38	9,11	+
malinova golobica <i>Russula romellii</i>	2	2,85	0,73	2,85	2,34	3,36	
trda golobica <i>Russula rosacea</i>	1	7,80	-	-	-	-	+++

Preglednica 2: (nadaljevanje)
Table 2: (continuation)

ROD / GENUS VRSTA / SPECIES	n	$\bar{x} \pm t_{0,05} * SE$	SD	Me	Min	Max	MDK*
Gobani / Boletus							
jesenski goban <i>Boletus edulis</i>	18	8,10 ± 1,95	3,92	7,91	2,67	17,52	+++
rumeni goban <i>Boletus appendiculatus</i>	1	0,36	-	-	-	-	
leponogi goban <i>Boletus calopus</i>	1	1,60	-	-	-	-	
žametni goban <i>Boletus erythropus</i>	2	1,61	0,93	1,61	0,95	2,27	
svinjski goban <i>Boletus luridus</i>	2	1,15	1,18	1,15	0,31	1,98	
Queletov goban <i>Boletus queletii</i>	1	0,03	-	-	-	-	
kraljevi goban <i>Boletus regius</i>	1	0,65	-	-	-	-	
Dedi, turki / Leccinum							
trepetlikov turek <i>Leccinum aurantiacum</i>	6	0,83 ± 0,65	0,62	0,63	0,28	2,04	
hrastov turek <i>Leccinum quercinum</i>	2	0,75	0,37	0,75	0,48	1,01	
brezov turek <i>Leccinum testaceo-scabrum</i>	1	0,21	-	-	-	-	
črni ded <i>Leccinum melanum</i>	1	0,68	-	-	-	-	
brezov ded <i>Leccinum scabrum</i>	2	2,08	2,21	2,08	0,52	3,64	
Lupljivke / Suillus							
macesnov goban <i>Suillus grevillei</i>	5	5,91 ± 5,39	4,35	4,24	2,10	12,17	+
kravjača <i>Suillus bovinus</i>	8	1,11 ± 0,58	0,69	1,00	0,27	2,60	
ovčarka <i>Suillus granulatus</i>	2	5,07	5,89	5,07	0,91	9,32	+
maslenka <i>Suillus luteus</i>	2	0,45	0,01	0,45	0,44	0,46	
peščenska <i>Suillus variegatus</i>	3	2,77 ± 0,25	0,10	2,78	2,67	2,87	
Polstenke / Xerocomus							
kostanjevka <i>Xerocomus badius</i>	9	2,19 ± 0,70	0,91	2,00	1,00	4,17	
rdečenogi mavel <i>Xerocomus chrysenteron</i>	1	12,28	-	-	-	-	+++

Preglednica 2: (nadaljevanje)

Table 2: (continuation)

ROD / GENUS VRSTA / SPECIES	n	$\bar{x} \pm t_{0,05} * SE$	SD	Me	Min	Max	MDK*
Ostale vrste / Other species							
votlobetni gobanček <i>Boletinus cavipes</i>	2	4,09	5,34	4,09	0,31	7,87	+
navadna lisička <i>Cantharellus cibarius</i>	2	0,98	0,18	0,98	0,54	1,11	
veliki slinar <i>Gomphidius glutinosus</i>	1	0,91	-	-	-	-	
bakrenordeči polžar <i>Chroogomphus rutilus</i>	1	2,00	-	-	-	-	
užitna sirovka <i>Lactarius deliciosus</i>	9	3,98 ± 2,49	3,24	3,29	0,11	10,83	+
ciganček <i>Rozites caperata</i>	1	16,63					+++
prava štorovka <i>Armillaria mellea</i>	7	14,02 ± 2,83	3,06	15,86	9,93	17,8	+++
svilistna žveplenjača <i>Hypholoma capnoides</i>	5	2,26 ± 0,55	0,45	2,21	1,81	2,87	
ostrigar <i>Pleurotus sp.</i>	1	9,66	-	-	-	-	+
borov glivec <i>Sparassis crispa</i>	1	0,80	-	-	-	-	
hrastov glivec <i>Sparassis laminosa</i>	1	0,84	-	-	-	-	
rjavi ježevec <i>Sarcodon imbricatus</i>	2	8,22	6,43	8,22	3,67	12,77	+++
navadna krompirjevka <i>Scleroderma aurantium</i>	1	0,08	-	-	-	-	
visoka prašnica <i>Calvatia excipuliformis</i>	1	5,73	-	-	-	-	+
betičasta prašnica <i>Lycoperdon perlatum</i>	6	2,28 ± 0,92	0,88	2,04	1,44	3,39	
senožetna prašnica <i>Calvatia utriformis</i>	2	8,70	10,26	8,70	1,44	15,95	+++

Opomba / Note:

* Primerjava z maksimalno dovoljeno vsebnostjo (MDK), ki jo določa slovenska zakonodaja (Ur. l. SFRJ 59/83): +++ označuje vrste, v katerih je povprečna vsebnost Cd (oziroma izmerjena vsebnost v primeru le enega vzorca določene vrste) vsaj dvakrat višja od MDK (3 µg/g suhe snovi); + označuje vrste, pri katerih povprečna vsebnost Cd prekoračuje MDK / Comparison with the permitted level (MDK), defined by Slovene regulations (Ur. l. SFRJ 59/83): +++ indicates species with average Cd levels (or a measured concentration in the case of only one sample) at least two-fold higher in comparison with MDK (which is 3 µg/g dry weight); + indicates species with higher average Cd levels in comparison with MDK

Glive na območju Šaleške doline imajo veliko sposobnost kopičenja Cd, saj povprečne vsebnosti tega elementa pri skoraj polovici vrst (41,5 %) prekoračujejo zakonsko dovoljeno vsebnost (MDK) v suhih gobah. Sprejem oziroma kopičenje Cd je vrstno pogojeno; glede na vsebnost Cd lahko združimo glive iz naše raziskave v več skupin:

- Glive z izredno visoko povprečno vsebnostjo Cd (nad 100 $\mu\text{g/g}$ suhe snovi, kar je več kot 30-krat presežen MDK): poljski kukmak in beli gozdni kukmak.
- Glive, v katerih je povprečna vsebnost Cd 2- do 3-krat višja od MDK: rdeča mušnica, sivi lupinar, rdečenogi mavel, ostrigar, orjaški dežnik, trda golobica, jesenski goban, rjavi ježevec, ciganček, prava štorovka in senožetna prašnica.
- Glive, ki vsebuje nekoliko več Cd, kot je dovoljeno: travniški kukmak, velika tintnica, grbičasti dežnik, usnjata golobica, macesnov goban, ovčarka, votlobetni gobanček, užitna sirovka in visoka prašnica.
- Glive z nizkimi vsebnostmi kadmija: rod kolesnic, gobanov (z izjemo jesenskega) in turkov (dedov) ter maslenka, peščenska, kravjača, kostanjevka, navadna lisička, glivci in sivolistna žveplenjača.

Zanimiva je primerjava naših rezultatov z nekaterimi evropskimi raziskavami. Vsebnosti Cd so v gobah, nabranih na območju Šaleške doline, bistveno višje kot v španski pokrajini Lugo (MELGAR *et al.* 1998), kjer so bile zelo visoke vsebnosti tega elementa (približno 50 $\mu\text{g/g}$ suhe snovi) izmerjene v velikotrosnem kukmaku, v ostalih vrstah pa so najvišje izmerjene vsebnosti nekoliko presegle 1 $\mu\text{g/g}$ suhe snovi (v veliki tintnici, orjaškem dežniku in travniškem kukmaku). Tudi vsebnosti Cd v glivah iz neonesnaženega predela Hrvaške (Slavonija) so bile nižje kot v Šaleški dolini (MANDIĆ *et al.* 1992). Nasprotno so bile vsebnosti Cd v gobah v območju Tikkurila (Finska), onesnaženem zaradi topilniške dejavnosti, primerljive z našimi rezultati. Najbolj sta Cd kopičila jesenski goban (povprečna vsebnost 16 $\mu\text{g/g}$ suhe snovi) in rdeča mušnica (18 $\mu\text{g/g}$ suhe snovi), kukmaki pa za polovico manj (LIUKKONEN-LILJA *et al.* 1983). V Šaleški dolini so povprečne vsebnosti Cd v rdečih mušnicah podobne zgoraj omenjeni, kukmaki vsebujejo znatno več Cd, jesenski gobani pa za polovico manj. Primerjava z rezultati s Češke (KALAČ / BURDA / STAŠKOVA 1991) kaže, da so vsebnosti Cd v jesenskih in macesnovih gobanih, brezovih dedih ter štorovkah iz Šaleške doline primerljive z vsebnostmi v gobah, ki so rasle v okolici topilnice svinca, medtem ko so vsebnosti v rdečih mušnicah, kostanjevkah in vijoličastih kolesnicah primerljive z vsebnostmi v glivah s kontrolnega, neonesnaženega območja na Češkem.

V sedemdesetih letih so v Sloveniji izvedli raziskavo vsebnosti težkih kovin v glivah, ki so rasle na različno onesnaženih območjih (BYRNE / RAVNIK / KOSTA 1976). Skupno povprečje (združeno za vse vrste) za Cd je bilo 4,8 µg/g suhe snovi, kar je kazalo na precejšnje kopičenje tega elementa v trosnjakih višjih gliv. Najvišjo vsebnost so izmerili v veliki tintnici v okolici Trbovelj (14 µg/g suhe snovi), kar je več kot v velikih tintnicah iz Šaleške doline; izmerjene vsebnosti Cd v rdeči mušnici in jesenskem gobanu iz neonesnaženih območij so bile nižje kot v naši raziskavi.

Če upoštevamo navedene primerjave in razmeroma visok delež vrst s previsokimi vsebnostmi Cd, lahko ugotovimo, da spada Šaleška dolina med območja, obremenjena s tem elementom. Ugotovitev se sklada z dognanji SVETINOVE (1999), da je povprečna vsebnost Cd v vrhnji plasti tal (0–10 cm) v Šaleški dolini višja od slovenskega povprečja. Vendar obstajajo v Sloveniji območja, kjer so ekosistemi še bistveno bolj obremenjeni s Cd – v primerjavi s Šaleško dolino so bile npr. izmerjene značilno višje vsebnosti Cd v vzorcih tal iz Zgornje Mežiške doline (KUGONIČ / ZUPAN / STROPNIK 2001); v izpostavljenih steljkah epifitskega lišaja napihnjene hipogimnije (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) v Zgornji Mežiški dolini in Zasavju (RIBARIČ-LASNIK / RUPREHT 2000) ter v notranjih organih srnjadi, uplenjene v Zgornji Mežiški dolini (POKORNY / RIBARIČ-LASNIK 2000) in na Pokljuki (POKORNY *et al.* 2001). Upoštevaje izreden akumulacijski potencial gliv domnevamo, da so vsebnosti Cd v trosnjakih iz navedenih območij še višje, zato predlagamo vpeljavo sistematičnega monitoringa vsebnosti Cd v prehransko najpomembnejših vrstah gob iz vseh emisijsko ogroženih območij Slovenije.

3.1.2 Arzen

Arsenic

Preglednica 3: Vsebnosti As ($\mu\text{g/g}$ suhe snovi) v klobukih gliv, nabranih v letu 2000 na območju Šaleške doline

Table 3: Levels of As ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in caps of fungi collected in the Šalek Valley in 2000

ROD / GENUS VRSTA / SPECIES	n	$\bar{x} \pm t_{0,05} * SE$	SD	Me	Min	Max	MDK*
Kukmaki / Agaricus							
poljski kukmak <i>Agaricus arvensis</i>	2	1,13	0,35	1,13	0,89	1,38	+
travniški kukmak <i>Agaricus campestris</i>	2	3,40	1,38	3,40	2,42	4,38	+++
beli gozdni kukmak <i>Agaricus silvicola</i>	2	33,65	34,60	33,65	9,19	58,10	+++
Mušnice / Amanita							
rdeča mušnica <i>Amanita muscaria</i>	8	3,49 \pm 1,75	2,04	2,61	1,43	6,64	/
rjavi lupinar <i>Amanita fulva</i>	1	0,20	-	-	-	-	
sivi lupinar <i>Amanita vaginata</i>	1	0,17	-	-	-	-	
Tintnice / Coprinus							
prava tintnica <i>Coprinus atramentarius</i>	2	22,89	8,46	22,89	16,90	28,88	+++
velika tintnica <i>Coprinus comatus</i>	3	3,47 \pm 3,98	1,60	2,74	2,37	5,31	+++
Dežniki / Macrolepiota							
grbičasti dežnik <i>Macrolepiota mastoidea</i>	3	5,30 \pm 17,6	7,07	2,43	0,12	13,35	+++
orjaški dežnik <i>Macrolepiota procera</i>	23	3,01 \pm 1,22	2,82	2,71	0,39	13,30	+++
Kolesnice / Lepista							
bledovijoličasta kolesnica <i>Lepista glaucocana</i>	1	0,80	-	-	-	-	
podvihana kolesnica <i>Lepista inversa</i>	3	3,87 \pm 8,07	3,25	2,47	1,55	7,58	+++
vijoličasta kolesnica <i>Lepista nuda</i>	2	15,88	4,84	15,88	12,46	19,31	+++
Golobice / Russula							
slanikova golobica <i>Russula erythropoda</i>	1	0,22	-	-	-	-	
usnjata golobica <i>Russula integra</i>	4	0,13 \pm 0,05	0,02	0,13	0,10	0,16	
malinova golobica <i>Russula romellii</i>	1	0,05	-	-	-	-	
trda golobica <i>Russula rosacea</i>	1	0,05	-	-	-	-	

Preglednica 3: (nadaljevanje)
Table 3: (continuation)

ROD / GENUS VRSTA / SPECIES	n	$\bar{x} \pm t_{0,05} * SE$	SD	Me	Min	Max	MDK*
Gobani / Boletus							
jesenski goban <i>Boletus edulis</i>	18	1,19 ± 0,30	0,59	1,25	0,32	2,50	+
rumeni goban <i>Boletus appendiculatus</i>	1	1,31	-	-	-	-	
leponogi goban <i>Boletus calopus</i>	1	0,77	-	-	-	-	
zametni goban <i>Boletus erythropus</i>	2	0,57	0,03	0,57	0,55	0,60	
svinjski goban <i>Boletus luridus</i>	2	1,54	1,46	1,54	0,51	2,58	+
Queletov goban <i>Boletus queletii</i>	1	1,92	-	-	-	-	+
kraljevi goban <i>Boletus regius</i>	1	0,44	-	-	-	-	
Dedi, turki / Leccinum							
trepetlikov turek <i>Leccinum aurantiacum</i>	6	0,76 ± 0,38	0,36	0,68	0,32	1,36	
hrastov turek <i>Leccinum quercinum</i>	2	0,46	0,12	0,46	0,37	0,57	
brezov turek <i>Leccinum testaceo-scabrum</i>	1	0,37	-	-	-	-	
črni ded <i>Leccinum melanum</i>	1	1,02	-	-	-	-	+
brezov ded <i>Leccinum scabrum</i>	2	0,82	0,95	0,82	0,15	1,49	
Lupjivke / Suillus							
macesnov goban <i>Suillus grevillei</i>	5	1,15 ± 0,72	0,58	0,93	0,71	2,21	+
kravjača <i>Suillus bovinus</i>	8	1,64 ± 1,53	1,82	0,93	0,49	5,87	+
ovčarka <i>Suillus granulatus</i>	2	0,63	0,12	0,63	0,55	0,72	
maslenka <i>Suillus luteus</i>	2	0,84	0,18	0,84	0,72	0,97	
peščenska <i>Suillus variegatus</i>	3	2,44 ± 2,16	0,87	2,90	1,44	2,97	+
Polstenke / Xerocomus							
kostanjevka <i>Xerocomus badius</i>	9	0,55 ± 0,16	0,22	0,51	0,29	0,89	
rdečenogi mavel <i>Xerocomus chrysenteron</i>	1	1,23	-	-	-	-	+

Preglednica 3: (nadaljevanje)

Table 3: (continuation)

ROD / GENUS VRSTA / SPECIES	n	$\bar{x} \pm t_{0,05} * SE$	SD	Me	Min	Max	MDK*
Ostale vrste / Other species							
votlobetni gobanček <i>Boletinus cavipes</i>	2	23,09	11,15	23,09	15,20	30,98	+++
navadna lisička <i>Cantharellus cibarius</i>	2	0,18	0,14	0,18	0,17	0,19	
veliki slinar <i>Gomphidius glutinosus</i>	1	0,33	-	-	-	-	
bakrenordeči polžar <i>Chroogomphus rutilus</i>	1	0,33	-	-	-	-	
užitna sirovka <i>Lactarius deliciosus</i>	9	2,12 ± 1,94	2,51	1,60	0,32	8,54	+++
ciganček <i>Rozites caperata</i>	1	0,33	-	-	-	-	
prava štorovka <i>Armillaria mellea</i>	7	0,17 ± 0,09	0,10	0,11	0,09	0,34	
sivolistna žveplenjača <i>Hypholoma capnoides</i>	5	0,73 ± 0,69	0,56	0,68	0,26	1,64	
ostrigar <i>Pleurotus sp.</i>	1	1,08	-	-	-	-	
borov glivec <i>Sparassis crispa</i>	1	4,60	-	-	-	-	+++
hrastov glivec <i>Sparassis laminosa</i>	1	4,70	-	-	-	-	+++
rjavi ježevec <i>Sarcodon imbricatus</i>	2	0,52	0,18	0,52	0,39	0,65	
navadna krompirjevka <i>Scleroderma aurantium</i>	1	0,18	-	-	-	-	/
visoka prašnica <i>Calvatia excipuliformis</i>	1	0,84	-	-	-	-	
betičasta prašnica <i>Lycoperdon perlatum</i>	6	5,43 ± 4,86	4,63	3,89	1,48	14,10	+++
senožetna prašnica <i>Calvatia utriformis</i>	2	10,43	13,60	10,43	0,80	20,10	+++

Opomba / Note:

* Primerjava z maksimalno dovoljeno vsebnostjo (MDK), ki jo določa slovenska zakonodaja (Ur. l. SFRJ 59/83): +++ označuje vrste, v katerih je povprečna vsebnost As (oziroma izmerjena vsebnost v primeru le enega vzorca določene vrste) vsaj dvakrat višja od MDK (1 µg/g suhe snovi); + označuje vrste, pri katerih povprečna vsebnost As prekoračuje MDK / Comparison with permitted levels (MDK), defined by Slovene regulations (Ur. l. SFRJ 59/83): +++ indicates species with average As levels (or measured concentration in the case of only one sample) at least two-fold higher in comparison with MDK (which is 1 µg/g dry weight); + indicates species with higher average As levels in comparison with MDK

Povprečne vsebnosti As v klobukih gob prekoračujejo zakonsko dovoljeno vrednost za ta element v 45,3 % vrst gliv, nabranih v letu 2000 v Šaleški dolini. Vrste lahko glede na vsebnost As združimo v naslednje skupine:

- Glive, ki izredno kopičijo As (MDK prekoračujejo za 20- do 30-krat): beli gozdni kukmak, prava tintnica, votlobetni gobanček in vijoličasta kolesnica.
- Glive, pri katerih je vsebnost As 2- do 5-krat višja od MDK: grbičasti dežnik, betičasta prašnica, borov in hrastov glivec, travniški kukmak, rdeča mušnica, velika tintnica, orjaški dežnik, podvihana kolesnica, peščenka in užitna sirovka.
- Glive, ki le rahlo prekoračujejo MDK vrednost: jesenski, svinjski, queletov in macesnov goban, črni ded, kravjača ter rdečenogi mavel.
- Glive z nizkimi vsebnostmi As: rod golobic, nekateri gobani (rumeni, žametni, kraljevi in leponogi), rod turkov in dedov, ovčarka, maslenka, kostanjevka, navadna lisička, veliki slinar, bakrenordeči polžar, ciganček, prava štorovka, sivolistna žvepljenjača, ostrigar, borov in hrastov glivec ter senožetna prašnica.

V trosnjakih gliv so najvišje izmerjene vsebnosti celokupnega As v evropskem prostoru (novejše raziskave sicer ločujejo anorganski in organski As, vendar smo se v preliminarni raziskavi omejili le na celokupno vsebnost tega elementa) presegale 100 µg/g – npr. v vijoličasti bledivki in bledivki *Laccaria fraterna* (STIJVE / VALLINGA / HERMANN 1990, SLEKOVEC 1995, ŠLEJKOVEC *et al.* 1997); tako visokih vsebnosti v glivah iz Šaleške doline ni. Polovico manj As smo izmerili v belem gozdnem kukmaku, pravi tintnici, votlobetnem gobančku in vijoličasti kolesnici. Pri velikem številu vrst iz naše raziskave se vsebnosti gibljejo okoli 4–5 µg/g suhe snovi, kar se ujema z rezultati pionirske slovenske raziskave vsebnosti As v trosnjakih gliv (BYRNE / RAVNIK / KOSTA 1976).

Zanimivo je, da so na območju bivšega vojaškega centra v Litvi (kjer so v preteklosti uporabljali veliko arzenovih spojin) v trosnjakih gliv izmerili bistveno nižje vsebnosti As (z izjemo cigančka – 2,4 µg/g – so bile vsebnosti v vseh ostalih vrstah <1 µg/g; STANKEVICIENE 1996), kar opozarja, da so vsebnosti tega elementa v ekosistemih Šaleške doline visoke oziroma, da omogočajo ekološki pogoji veliko mobilnost po prehranjevalni verigi. Analize tal v Šaleški dolini so pokazale, da vsebnosti As v tleh presegajo slovensko povprečje (SVETINA 1999), na širšem območju Malega in Velikega Vrha, kjer smo nabrali največ gob, pa celo presegajo kritične imisijske vrednosti (KUGONIČ / STROPNIK 2001), zato bo potrebno v prihodnje posvetiti še večjo pozornost vsebnostim tega elementa v gobah in tudi v ostalih gozdnih sadežih.

3.1.3 Živo srebro

Mercury

Preglednica 4: Vsebnosti Hg ($\mu\text{g/g}$ suhe snovi) v klobukih gliv, nabranih v letu 2000 na območju Šaleške doline

Table 4: Levels of Hg ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in caps of fungi collected in the Šalek Valley in 2000

ROD / GENUS VRSTA / SPECIES	n	$\bar{x} \pm t_{0,05} * SE$	SD	Me	Min	Max	MDK*
Kukmaki / Agaricus							
poljski kukmak <i>Agaricus arvensis</i>	2	0,95	0,15	0,95	0,85	1,06	
travniški kukmak <i>Agaricus campestris</i>	2	17,10	10,73	17,10	9,51	24,69	+++
beli gozdni kukmak <i>Agaricus silvicola</i>	2	2,19	0,12	2,19	2,04	2,34	
Mušnice / Amanita							
rdeča mušnica <i>Amanita muscaria</i>	8	5,20 \pm 6,73	8,06	1,10	0,41	19,07	/
rjavi lupinar <i>Amanita fulva</i>	1	0,09	-	-	-	-	
sivi lupinar <i>Amanita vaginata</i>	1	0,25	-	-	-	-	
Tintnice / Coprinus							
prava tintnica <i>Coprinus atramentarius</i>	2	0,40	0,32	0,40	0,17	0,63	
velika tintnica <i>Coprinus comatus</i>	3	1,99 \pm 4,06	1,64	1,17	0,93	3,88	
Dežniki / Macrolepiota							
grbičasti dežnik <i>Macrolepiota mastoidea</i>	3	0,61 \pm 1,21	0,49	0,71	0,08	1,04	
orjaški dežnik <i>Macrolepiota procera</i>	23	2,26 \pm 0,39	0,91	2,38	0,57	3,55	
Kolesnice / Lepista							
bledovijoličasta kolesnica <i>Lepista glaucocana</i>	1	1,07	-	-	-	-	
podvihana kolesnica <i>Lepista inversa</i>	3	1,08 \pm 1,20	0,48	0,89	0,73	1,63	
vijoličasta kolesnica <i>Lepista nuda</i>	2	8,01	1,29	8,01	7,10	8,92	+++
Golobice / Russula							
slanikova golobica <i>Russula erythropoda</i>	1	0,23	-	-	-	-	
usnjata golobica <i>Russula integra</i>	4	0,03 \pm 0,02	0,01	0,03	0,02	0,05	
malinova golobica <i>Russula romellii</i>	2	0,20	0,13	0,20	0,11	0,29	
trda golobica <i>Russula rosacea</i>	1	0,11	-	-	-	-	

Preglednica 4: (nadaljevanje)
Table 4: (continuation)

ROD / GENUS VRSTA / SPECIES	n	$\bar{x} \pm t_{0,05} * SE$	SD	Me	Min	Max	MDK*
Gobani / Boletus							
jesenski goban <i>Boletus edulis</i>	18	4,65 ± 2,46	4,96	3,65	1,39	23,9	+
rumeni goban <i>Boletus appendiculatus</i>	1	5,13	-	-	-	-	+
leponogi goban <i>Boletus calopus</i>	1	2,47	-	-	-	-	
žametni goban <i>Boletus erythropus</i>	2	0,93	0,29	0,93	0,72	1,13	
svinjski goban <i>Boletus luridus</i>	2	2,04	0,71	2,04	1,54	2,55	
Queletov goban <i>Boletus queletii</i>	1	0,18	-	-	-	-	
kraljevi goban <i>Boletus regius</i>	1	4,64	-	-	-	-	+
Dedi, turki / Leccinum							
treptlikov turek <i>Leccinum aurantiacum</i>	6	1,10 ± 0,76	0,72	0,88	0,34	2,17	
hrastov turek <i>Leccinum quercinum</i>	2	0,62	0,18	0,62	0,50	0,75	
brezov turek <i>Leccinum testaceo-scabrum</i>	1	1,25	-	-	-	-	
črni ded <i>Leccinum melanum</i>	1	0,58	-	-	-	-	
brezov ded <i>Leccinum scabrum</i>	2	1,04	0,52	1,04	0,68	1,41	
Lupljivke / Suillus							
macesnov goban <i>Suillus grevillei</i>	5	0,35 ± 0,16	0,13	0,37	0,20	0,48	
kravjača <i>Suillus bovinus</i>	8	0,72 ± 0,72	0,86	0,43	0,20	2,80	
ovčarka <i>Suillus granulatus</i>	2	0,44	0,35	0,44	0,19	0,69	
maslenka <i>Suillus luteus</i>	2	0,15	0,02	0,15	0,09	0,22	
peščenska <i>Suillus variegatus</i>	3	0,20 ± 0,33	0,13	0,20	0,07	0,34	
Polstenke / Xerocomus							
kostanjevka <i>Xerocomus badius</i>	9	0,3 ± 0,18	0,12	0,20	0,11	0,89	
rdečenogi mavel <i>Xerocomus chrysenteron</i>	1	0,08	-	-	-	-	

Preglednica 4: (nadaljevanje)

Table 4: (continuation)

ROD / GENUS VRSTA / SPECIES	n	$\bar{x} \pm t_{0,05} * SE$	SD	Me	Min	Max	MDK*
Ostale vrste / Other species							
votlobetni gobanček <i>Boletinus cavipes</i>	2	0,80	0,47	0,80	0,47	0,11	
navadna lisička <i>Cantharellus cibarius</i>	2	0,03	0,01	0,03	0,02	0,04	
veliki slinar <i>Gomphidius glutinosus</i>	1	0,39	-	-	-	-	
bakrenordeči polžar <i>Chroogomphus rutilus</i>	1	0,08	-	-	-	-	
užitna sirovka <i>Lactarius deliciosus</i>	9	0,48 ± 0,27	0,36	0,40	0,04	1,23	
ciganček <i>Rozites caperata</i>	1	3,19	-	-	-	-	+
prava štorovka <i>Armillaria mellea</i>	7	0,17 ± 0,06	0,06	0,19	0,08	0,24	
sivolistna žveplenjača <i>Hypholoma capnoides</i>	5	0,44 ± 0,35	0,28	0,37	0,22	0,91	
ostrigar <i>Pleurotus sp.</i>	1	0,17	-	-	-	-	
borov glivec <i>Sparassis crispa</i>	1	1,67	-	-	-	-	
hrastov glivec <i>Sparassis laminosa</i>	1	0,96	-	-	-	-	
rjavi ježevec <i>Sarcodon imbricatus</i>	2	3,07	0,74	3,07	2,55	3,59	+
navadna krompirjevka <i>Scloderma aurantium</i>	1	0,02	-	-	-	-	/
visoka prašnica <i>Calvatia excipuliformis</i>	1	0,95	-	-	-	-	
betičasta prašnica <i>Lycoperdon perlatum</i>	6	2,50 ± 1,73	1,65	2,02	0,94	4,67	
senožetna prašnica <i>Calvatia utriformis</i>	2	4,72	4,94	4,72	1,23	8,22	+

Opomba / Note:

* Primerjava z maksimalno dovoljeno vsebnostjo (MDK), ki jo določa slovenska zakonodaja (Ur. l. SFRJ 59/83): +++ označuje vrste, v katerih je povprečna vsebnost Hg (oziroma izmerjena vsebnost v primeru le enega vzorca določene vrste) vsaj dvakrat višja od MDK (3 µg/g suhe snovi); + označuje vrste, pri katerih povprečna vsebnost Hg prekoračuje MDK / Comparison with permitted levels (MDK), defined by Slovene regulations (Ur. l. SFRJ 59/83): +++ indicates species with average Hg levels (or a measured concentration in the case of only one sample) at least two-fold higher in comparison with MDK (which is 3 µg/g dry weight); + indicates species with higher average Hg levels in comparison with MDK

Maksimalno dovoljeno koncentracijo presega 18 % vrst gliv iz Šaleške doline; uvrstimo jih lahko v naslednje skupine:

- Hg zelo izrazito kopičita travniški kukmak in vijoličasta kolesnica, ki prekoračujeta MDK za 3- do 5-krat.
- Skupina gliv, ki nekoliko prekoračujejo MDK so: rdeča mušnica, modrikasta golobica, jesenski goban, rumeni goban, ciganček, rjavi ježevac in senožetna prašnica.
- Vse ostale vrste gliv ne prekoračujejo MDK.

Če rezultate iz Šaleške doline primerjamo z izsledki raziskav iz ostalih območij Evrope, lahko ugotovimo, da so vsebnosti Hg v glivah iz Šaleške doline bistveno nižje kot v okolici topilnice svinca na Češkem (KALAIČ *et al.* 1996), kjer so bile vsebnosti ekstremno visoke (do 40 $\mu\text{g/g}$ v orjaških dežnikih). Travniki kukmaki in jesenski gobani iz Šaleške doline vsebujejo primerljive koncentracije Hg kot v okolici Helsinkov (KUUSI *et al.* 1981), v veliki tintnici pa je tega elementa manj kot v mestnem okolju.

Najvišja vsebnost Hg na območju Slovenije je bila izmerjena v užitni sirovki iz okolice Idrije in v sporah betičaste prašnice iz Bele, v obeh primerih približno 40 $\mu\text{g/g}$ suhe snovi; polovico nižje so bile vsebnosti Hg v travniškem kukmaku v Ljubljani in rjavem ježevcu v Beli (BYRNE / RAVNIK / KOSTA 1976).

Na izreden bioakumulacijski potencial večine vrst gob kaže dejstvo, da so vsebnosti Hg v trosnjakih gliv za dva do tri velikostne razrede višje kot v ostalih gozdnih sadežih (AL SAYEGH-PETKOVŠEK / POKORNY 2001), gozdni vegetaciji in vrtninah (KUGONIČ / STROPNIK 2001), zaradi česar imajo lahko glive zelo pomemben vpliv na sezonsko povišane vsebnosti tega elementa v akumulacijskih organih višjih členov prehranjevalne verige. Tako smo v ledvicah srnjadi, uplenjene v različnih območjih Slovenije v poznem poletju in zgodnji jeseni leta 1998, ugotovili visoko značilno višje vsebnosti Hg v primerjavi z ostalimi letnimi časi (POKORNY *et al.* 2001). Upošteva se fiziološke procese in prehranske navade vrste domnevamo, da je izrazita kulminacija vsebnosti Hg (in tudi Pb) v ledvicah srnjadi med 15. avgustom in 15. oktobrom predvsem posledica dostopnosti prehranjenih virov z izjemnim bioakumulacijskim potencialom, kot so npr. trosnjaki gliv (POKORNY / RIBARIČ-LASNIK 2002). Da bi to hipotezo neposredno potrdili, smo v etu 2001 pričeli s sočasnimi analizami vsebnosti težkih kovin in določitvijo spor gliv v ztrebkah srnjadi (POKORNY *et al.* 2002), s čimer želimo eksplicitno opozoriti na pomen višjih gliv za vnos težkih kovin v višje člene prehranjevalne verige v gozdnati krajini.

3.1.4 Svinec

Lead

Preglednica 5: Vsebnosti Pb ($\mu\text{g/g}$ suhe snovi) v klobukih gliv, nabranih v letu 2000 na območju Šaleške doline

Table 5: Levels of Pb ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in caps of fungi collected in the Šalek Valley in 2000

ROD / GENUS VRSTA / SPECIES	n	$\bar{x} \pm t_{0,05} * SE$	SD	Me	Min	Max	MDK*
Kukmaki / Agaricus							
poljski kukmak <i>Agaricus arvensis</i>	2	0,42	0,11	0,42	0,34	0,50	
travniški kukmak <i>Agaricus campestris</i>	2	0,48	0,28	0,48	0,28	0,67	
beli gozdni kukmak <i>Agaricus silvicola</i>	2	2,19	1,12	2,19	1,40	2,98	
Mušnice / Amanita							
rdeča mušnica <i>Amanita muscaria</i>	8	0,31 \pm 0,26	0,32	0,16	0,06	0,18	/
rjavi lupinar <i>Amanita fulva</i>	1	0,31	-	-	-	-	
sivi lupinar <i>Amanita vaginata</i>	1	0,10	-	-	-	-	
Tintnice / Coprinus							
prava tintnica <i>Coprinus atramentarius</i>	2	0,38	0,09	0,38	0,22	0,39	
velika tintnica <i>Coprinus comatus</i>	3	0,31 \pm 0,21	0,09	0,33	0,22	0,39	
Dežniki / Macrolepiota							
grbičasti dežnik <i>Macrolepiota mastoidea</i>	3	16,02 \pm 34,7	13,96	12,76	3,97	31,32	+++
orjaški dežnik <i>Macrolepiota procera</i>	23	2,44 \pm 0,85	1,99	1,95	0,08	8,43	
Kolesnice / Lepista							
bledovijoličasta kolesnica <i>Lepista glaucocana</i>	1	1,82	-	-	-	-	
podvihana kolesnica <i>Lepista inversa</i>	3	0,75 \pm 1,42	0,57	0,46	0,38	1,41	
vijoličasta kolesnica <i>Lepista nuda</i>	2	2,82	0,75	2,82	2,29	3,35	
Golobice / Russula							
slanikova golobica <i>Russula erythropoda</i>	1	0,70	-	-	-	-	
usnjata golobica <i>Russula integra</i>	4	2,32 \pm 3,97	2,50	2,32	0,55	6,00	
malinova golobica <i>Russula romellii</i>	2	2,68	0,74	2,68	2,15	3,20	
trda golobica <i>Russula rosacea</i>	1	0,46	-	-	-	-	

Preglednica 5: (nadaljevanje)

Table 5: (continuation)

ROD / GENUS VRSTA / SPECIES	n	$\bar{x} \pm t_{0,05} * SE$	SD	Me	Min	Max	MDK*
Gobani / Boletus							
jesenski goban <i>Boletus edulis</i>	18	0,74 ± 0,28	0,56	0,61	0,27	2,63	
rumeni goban <i>Boletus appendiculatus</i>	1	0,40	-	-	-	-	
leponogi goban <i>Boletus calopus</i>	1	0,21	-	-	-	-	
žametni goban <i>Boletus erythropus</i>	2	1,64	0,72	1,64	1,13	2,15	
svinjski goban <i>Boletus luridus</i>	2	0,14	0,03	1,14	0,12	0,16	
Queletov goban <i>Boletus queletii</i>	1	0,58	-	-	-	-	
kraljevi goban <i>Boletus regius</i>	1	0,15	-	-	-	-	
Dedi, turki / Leccinum							
trepetlikov turek <i>Leccinum aurantiacum</i>	6	0,53 ± 0,27	0,25	0,57	0,21	0,84	
hrastov turek <i>Leccinum quercinum</i>	2	0,50	0,47	0,50	0,17	0,83	
brezov turek <i>Leccinum testaceo-scabrum</i>	1	0,46	-	-	-	-	
črni ded <i>Leccinum melanum</i>	1	0,13	-	-	-	-	
brezov ded <i>Leccinum scabrum</i>	2	0,18	0,16	0,18	0,06	0,29	
Lupljivke / Suillus							
macesnov goban <i>Suillus grevillei</i>	5	0,28 ± 0,12	0,09	0,31	0,18	0,41	
kravjača <i>Suillus bovinus</i>	8	0,56 ± 0,47	0,56	0,39	0,12	1,88	
ovčarka <i>Suillus granulatus</i>	2	0,30	0,13	0,30	0,20	0,39	
maslenka <i>Suillus luteus</i>	2	0,33	0,04	0,33	0,30	0,36	
peščenska <i>Suillus variegatus</i>	3	0,34 ± 0,13	0,09	0,35	0,25	0,43	
Polstenke / Xerocomus							
kostanjevka <i>Xerocomus badius</i>	9	0,26 ± 0,11	0,14	0,21	0,10	0,50	
rdečenogi mavel <i>Xerocomus chrysenteron</i>	1	0,41	-	-	-	-	

Preglednica 5: (nadaljevanje)

Table 5: (continuation)

ROD / GENUS VRSTA / SPECIES	n	$\bar{x} \pm t_{0,05} * SE$	SD	Me	Min	Max	MDK*
Ostale vrste / Other species							
votlobetni gobanček <i>Boletinus cavipes</i>	2	0,43	0,25	0,43	0,25	0,61	
navadna lisička <i>Cantharellus cibarius</i>	2	0,83	0,44	0,82	0,51	1,14	
veliki slinar <i>Gomphidius glutinosus</i>	1	0,66	-	-	-	-	
bakrenordeči polžar <i>Chroogomphus rutilus</i>	1	0,88	-	-	-	-	
užitna sirovka <i>Lactarius deliciosus</i>	9	0,53 ± 0,34	0,44	0,45	0,09	1,45	
ciganček <i>Rozites caperata</i>	1	0,20	-	-	-	-	
prava štorovka <i>Armillaria mellea</i>	7	0,36 ± 0,28	0,31	0,24	0,10	1,02	
sivolistna žveplenjača <i>Hypoholoma capnoides</i>	5	0,27 ± 0,21	0,17	0,27	0,11	0,54	
ostrigar <i>Pleurotus sp.</i>	1	0,28	-	-	-	-	
borov glivec <i>Sparassis crispa</i>	1	0,47	-	-	-	-	
hrastov glivec <i>Sparassis laminosa</i>	1	0,51	-	-	-	-	
rjavi ježevec <i>Sarcodon imbricatus</i>	2	0,25	0,18	0,25	0,12	0,37	
navadna krompirjevka <i>Scleroderma aurantium</i>	1	0,66	-	-	-	-	/
visoka prašnica <i>Calvatia excipuliformis</i>	1	1,45	-	-	-	-	
betičasta prašnica <i>Lycoperdon perlatum</i>	6	8,09 ± 2,41	2,29	7,44	5,90	11,84	+
senožetna prašnica <i>Calvatia utriformis</i>	2	6,63	8,14	6,63	0,87	12,38	+

Opomba / Note:

* Primerjava z maksimalno dovoljeno vsebnostjo (MDK), ki jo določa slovenska zakonodaja (Ur. l. SFRJ 59/83): +++ označuje vrste, v katerih je povprečna vsebnost Pb (oziroma izmerjena vsebnost v primeru le enega vzorca določene vrste) vsaj dvakrat višja od MDK (5 µg/g suhe snovi); + označuje vrste, pri katerih povprečna vsebnost Pb prekoračuje MDK. / Comparison with permitted levels (MDK), defined by Slovene regulations (Ur. l. SFRJ 59/83): +++ indicates species with average Pb levels (or a measured concentration in the case of only one sample) at least two-fold higher in comparison with MDK (which is 5 µg/g dry weight); + indicates species with higher average Pb levels in comparison with MDK

Povprečne vsebnosti Pb prekoračujejo MDK vrednost v treh vrstah gob; te vrste so grbičasti dežnik, betičasta in senožetna prašnica. Rezultati se ujemajo z ugotovitvami prejšnjih raziskav, saj KALAČ in SVOBODA (2000) navajata, da so dežniki in betičaste

prašnice izredno dobri akumulatorji svinca. Najvišje vsebnosti Pb so bile izmerjene v glivah iz okolice topilnic svinca in avtocest (SOVA *et al.* 1991, KALAIČ / SVOBODA 2000). Vsebnost v orjaškem dežniku iz neposredne okolice topilnice svinca na Finskem je bila 170 µg/g, v rdečkasti bledivki 100 µg/g, jesenski gobani pa so vsebovali v povprečju 63 µg Pb/g suhe snovi (LIUKKONEN-LILJA *et al.* 1983). V okolici topilnice svinca na Češkem je orjaški dežnik vseboval največ 40 µg Pb/g suhe snovi; zelo visoke vsebnosti so v tem območju izmerili v betičasti prašnici (do 223 µg/g; SVOBODA / ZIMMERMANNNOVA / KALAIČ 2000). Vsebnosti Pb v glivah iz Šaleške doline so primerljive z vsebnostmi iz neonesnaženega območja na Finskem (KUUSI *et al.* 1981) in območja Lugo v Španiji (GARCIA *et al.* 1998).

V zadnji raziskavi so ugotovili, da je velika tintnica izredno učinkovit kazalec onesnaženosti tal s Pb; najvišje vsebnosti so bile izmerjene v tintnicah, ki so rasle v mestnem središču. Velike tintnice iz naše raziskave so vsebovale izredno malo Pb, kar kaže, da tla v Šaleški dolini niso onesnažena s Pb; ugotovitev je skladna z meritvami težkih kovin v tleh na kmetijskih površinah (KUGONIČ / STROPNIK 2001). Kot metodo bioindikacije bi bilo raziskavo vsebnosti Pb v trosnjakih gliv smiselno razširiti v nekatera mestna središča (prava in velika tintnica), v bližino najbolj prometnih cest (tintnice, dežniki) in predvsem v okolico topilnice svinca v Žerjavu (betičasta prašnica, dežniki, tintnice, vijoličasta kolesnica).

3.2 VSEBNOSTI KOVIN OMEJUJEJO PREHRANJEVANJE Z GOBAMI HEAVY METAL LEVELS IN FUNGI RESTRICT THEIR EDIBILITY

Na podlagi poznanih povprečnih vsebnosti težkih kovin (preglednice 2, 3, 4 in 5) so v preglednici 6 prikazane količine nekaterih užitnih vrst, ki jih lahko na območju Šaleške doline pojemo v enem tednu in ne presežemo dovoljenega tedenskega vnosa za odraslo osebo, kot ga priporoča svetovna zdravstvena organizacija: 0,5 mg Cd, 0,3 mg Hg (WHO/FAO 1972) in 1,5 mg Pb (WHO/FAO 1993). Podane dopustne količine tedensko zaužitih gob temeljijo na vsebnostih težkih kovin v posušenih vzorcih, preračunanih na svežo težo gob (delež suhe snovi smo na podlagi lastnih meritev za vse vrste privzeli kot 10 %).

Preglednica 6: Največja količina klobukov svežih gob (kg), ki jo je dopustno zaužiti v enem tednu, upošteva je priporočila WHO/FAO o dovoljenem tedenskem vnosu kovin v človeški organizem ^a

Table 6: Maximum weekly adult consumption of fresh fungi caps (kg), considering the WHO/FAO directives about the permitted weekly intake of heavy metals ^a

VRSTA / SPECIES	Glede na vnos Cd / Regarding Cd intake	Glede na vnos Hg / Regarding Hg intake	Glede na vnos Pb / Regarding Pb intake
beli gozdni kukmak / <i>Agaricus silvicola</i>	0,04 *	1,4	6,8
poljski kukmak / <i>Agaricus arvensis</i>	0,05 *	3,2	35,7
travniški kukmak / <i>Agaricus campestris</i>	1,5	0,2 *	31,2
vijoličasta kolesnica / <i>Lepista nuda</i>	3,7	0,4 *	5,3
prava štorovka / <i>Armillaria mellea</i>	0,4 *	18,0	41,7
jesenski goban / <i>Boletus edulis</i>	0,6 *	0,6 *	20,3
betičasta prašnica / <i>Lycoperdum perlatum</i>	2,2	6,3	1,8 *
orjaški dežnik / <i>Macrolepiota procera</i>	0,6 *	1,3	6,1
grbičasti dežnik / <i>Macrolepiota mastoidea</i>	0,9 *	4,9	0,9 *
macesnov goban / <i>Suillus grevillei</i>	0,8 *	8,6	53,6
velika tintnica / <i>Coprinus comatus</i>	1,0 *	1,5	48,4
užitna sirovka / <i>Lactarius deliciosus</i>	1,3	1,2 *	28,3
usnjata golobica / <i>Russula integra</i>	1,3 *	100,0	6,5
peščenska / <i>Suillus variegatus</i>	1,8 *	15,0	44,1
kravjača / <i>Suillus bovinus</i>	4,5	4,2 *	26,8
kostanjevka / <i>Xerocomus badius</i>	2,3 *	10,0	57,7
trepetlikov turek / <i>Leccinum aurantiacum</i>	60,2	2,7 *	28,3
navadna lisička / <i>Cantharellus cibarius</i>	5,1 *	100,0	18,0

Opombe / Notes:

a Najnovejše smernice WHO/FAO pri navajanju strupenosti As ločujejo med anorganskimi As in organskimi spojinami As; ker smo določali le celokupni As, tega elementa nismo vključili v zgornjo tabelo / The latest WHO/FAO recommendations distinguish between inorganic and organic As compounds regarding their toxicology; only total As was determined in our study, therefore this element is not included in the table

* Z zvezdico so označene maksimalne količine klobukov svežih gob, ki jih je še priporočljivo pojesti v enem tednu, upošteva je najbolj problematičen element za posamezno vrsto / The maximum acceptable mass of fresh caps, which is recommended to be consumed by human per week considering the most problematic metal for each species, is indicated with an asterisk

Zgornji izračun upošteva, da so gobe izbrane vrste edini vir vnosa težkih kovin v človeški organizem; ker zaužijemo pomembno količino težkih kovin tudi z ostalimi prehrabnimi artikli, so dejansko priporočene količine zaužitih gob še manjše. Količine svežih gob so izračunane za odraslo osebo s telesno težo 60 kg.

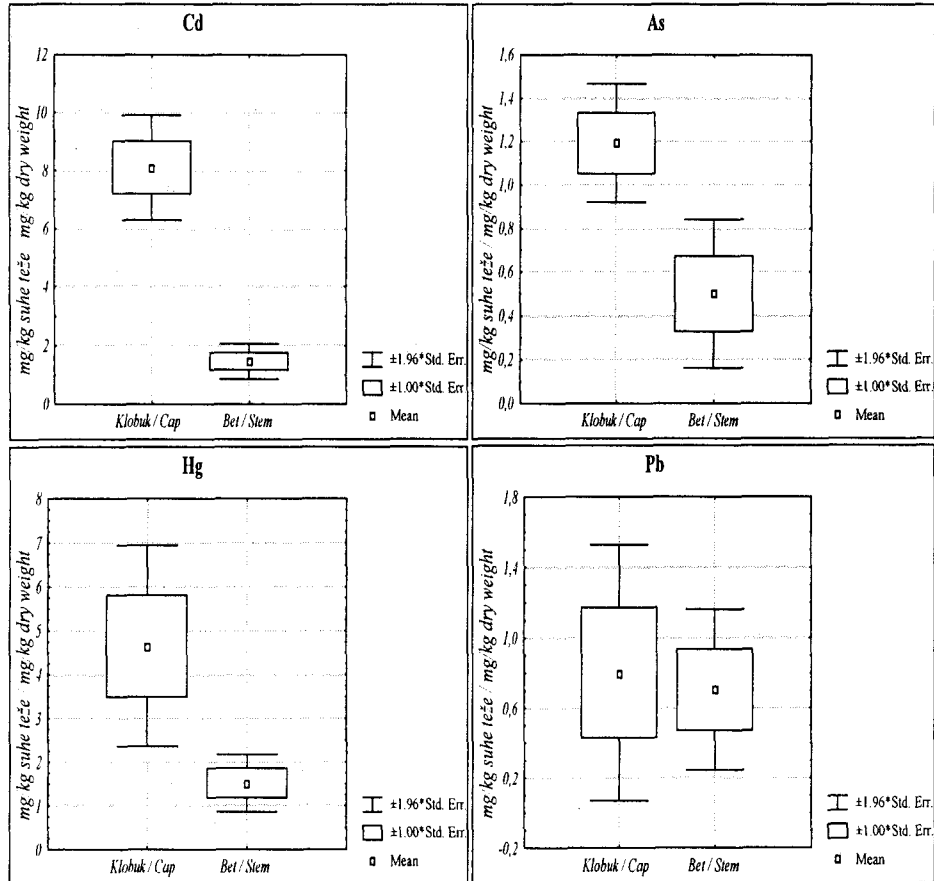
V Šaleški dolini je problematično uživanje gob predvsem z vidika vnosa Cd in Hg v človeški organizem; še posebej zmerni moramo biti pri uživanju vseh vrst kukmakov in vijoličastih kolesnic – kulinarično najbolj kvalitetnih vrst, katerih pa zaradi zelo visokih

vsebnosti omenjenih elementov ne smemo zaužiti več kot 0,05 oziroma 0,4 kg v enem tednu. Zelo zmerni moramo biti tudi pri uživanju sicer v prehrani ljudi najbolj pogostih in cenjenih vrst – jesenskih gobanov, vseh vrst dežnikov in pravih štorovk; le-teh smemo v tednu zaužiti približno 0,5 kg. Zaradi najnovejših smernic WHO/FAO, ki zaradi različne strupenosti anorganskih in organskih oblik As zahtevajo njihovo ločevanje, celokupnih vsebnosti As (le-te smo določali mi) v tem poglavju nismo upoštevali; vendar pa za As velja, da se ta najverjetneje v večini vrst gliv (med njimi so tudi kukmaki, betičasta prašnica in orjaški dežnik, ki najbolj kopičijo celokupni As; glej preglednico 3) preoblikuje v arzenobetain – zdravju neškodljivo obliko As (BYRNE *et al.* 1997).

Upoštevanje vsebnosti proučevanih težkih kovin je neproblematično uživanje gob iz rodov turkov (dedov), lupljivk, polstenk, večine golobic, sirovk ter pravih lisičk, ki težke kovine ne kopičijo prekomerno.

Glede na to, da se težke kovine najbolj kopičijo v trosovnici (MELGAR *et al.* 1998), je priporočljivo, da se pri vrstah z največjim akumulacijskim potencialom trosovnica odstrani. Ker so pri nekaterih vrstah užitni tudi beti, smo za primerjavo med obema organoma primerjali vsebnosti težkih kovin v betu in klobuku devetnajstih naključno izbranih gobanov, dedov in peščenk (slika 1). Ugotovili smo, da so povprečne vsebnosti težkih kovin (izjema je Pb) v klobukih statistično visoko značilno višje kot v betih (t-test za odvisne vzorce, $n = 19$; Cd: $t = 11,55$, $p < 0,0001$; Hg: $t = 9,95$, $p < 0,0001$; As: $t = 7,47$, $p < 0,0001$; Pb: $t = 0,9318$, $p = 0,36$), kar je v skladu z že poznanimi dejstvi (*ibid.*). Uživanje betov določenih vrst gob lahko nekoliko poveča količino teh vrst, ki jih je tedensko dopustno zaužiti.

Vendar so za večino vrst užitni predvsem klobuki, med vsebnostmi vseh kovin v klobukih in betih pa obstaja visoko značilna pozitivna soodvisnost ($p < 0,001$) za vse kovine (korelacijski koeficienti so podani na sliki 2); zaradi racionalizacije dela je zato dovolj, če meritve težkih kovin v prihodnje opravimo le v klobukih izbranih vrst, prihranjena sredstva pa namenimo za vključitev večjega števila vrst v monitoring vsebnosti težkih kovin.

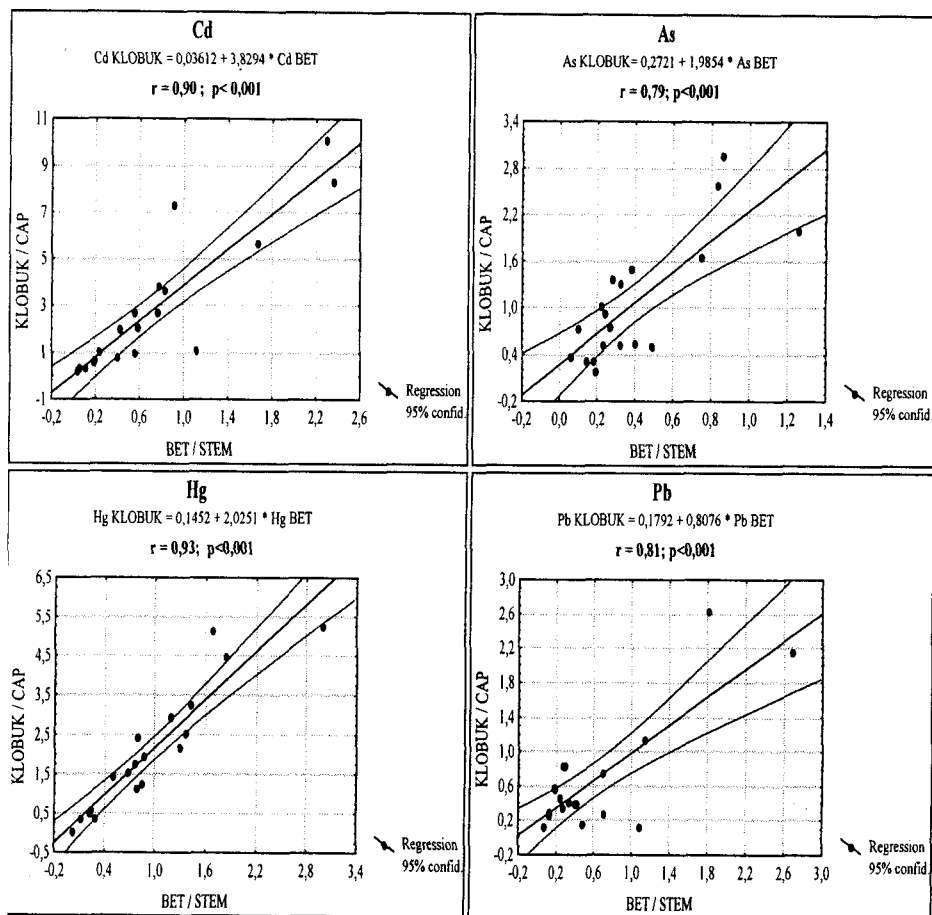


Slika 1: Povprečne vsebnosti kovin v klobukih in betih jesenskih gobanov ($n = 6$), nabranih v Šaleški dolini v letu 2000

Figure 1: Average heavy metal levels in caps and stems of *Boletus edulis* ($n=6$), collected in the Šalek Valley in 2000

Večino gob uživamo prekuhanih, zato se postavlja zanimivo vprašanje, kaj se zgodi s težkimi kovinami med kuhanjem. Nekateri raziskovalci so ugotovili zmanjšanje vsebnosti Hg pri kuhanju gob (npr. WENNING *et al.* 1978), drugi pa pomembnih izgub Hg pri segrevanju do 120 °C niso ugotovili (LODENIUS / TULISALO 1995). Pri kuhanju morskih rakov se vsebnosti težkih kovin niso zmanjšale; zaradi izgube vode (koncentriranje kovin na teža tkiva), privzema iz soli in obarjanja iz sten posod so vsebnosti nekaterih kovin (Pb, Cd) celo značilno narasle (JORHEM *et al.* 1994). Zaradi

pomanjkanja podatkov in njihovega neskladja bi bilo smiselno vsebnosti težkih kovin določiti tudi v prekuhanih (za prehrano ljudi pripravljenih) gobah, s čimer bi lahko ugotovili dejansko izpostavljenost ljudi, ki se pogosto prehranjujejo z večjimi količinami gob.



Slika 2: Linearne regresije med vsebnostmi težkih kovin v betih in klobukih nekaterih vrst iz rodu gobanov, turkov in lupljivk (n = 19)

Figure 2: Linear regressions between heavy metal levels in stems and caps of some species from the genera *Boletus*, *Leccinum* and *Suillus* (n=19)

4 ZAKLJUČKI **CONCLUSIONS**

Posamezne vrste in rodovi gliv so se pokazali kot učinkoviti hiperakumulatorji težkih kovin, saj vsebujejo bistveno višje vsebnosti vseh težkih kovin (za en velikostni razred v primeru Pb, dva do tri velikostne razrede v primeru Cd in Hg, celo štiri velikostne razrede v primeru As) v primerjavi z višjimi rastlinami iz istih lokacij (glej AL SAYEGH-PETKOVŠEK / POKORNY 2001). Povišane povprečne vsebnosti Cd in As smo izmerili tudi v rodovih, za katere iz literature ni poznana izrazita sposobnost kopičenja. Zdi se torej, da je okolje v Šaleški dolini obremenjeno s Cd in As oziroma, da lastnosti rastišč omogočajo znaten sprejem in kopičenje teh kovin v trosnjakih gliv.

Povprečne vsebnosti Pb prekorajajo zakonsko dovoljeno vrednost le v treh vrstah, ki so znane bioakumulatorske vrste, kar kaže, da tla z izbranih lokacij niso onesnažena s Pb. To dejstvo ne preseneča, saj smo vzorčili na gozdnih ploskvah, ki so večinoma precej oddaljene od gostega prometa – v Šaleški dolini potencialno najpomembnejšega onesnaževalnika tal s tem elementom. Čeprav naši rezultati sovpadajo z rezultati analiz tal, pa bomo dokončne sklepe o možnosti uporabe gliv v bioindikativne namene lahko oblikovali šele, ko bomo poznali bioakumulacijski potencial vrst, oziroma ko bomo na podlagi poznanih vsebnosti v tleh v neposredni bližini trosnjakov lahko izračunali biokoncentracijske faktorje za izbrane vrste gob.

Zaradi visokih vsebnosti težkih kovin je potrebna pazljivost pri prehranjevanju z določenimi vrstami gliv, in sicer predvsem z vidika vnosa Cd in Hg v človeški organizem. Tedensko smemo pojesti manj kot 50 g belega gozdnega in poljskega kukmaka, da ne presežemo maksimalno dovoljenega vnosa Cd; pri tem je potrebno upoštevati, da je količina izračunana za odraslega človeka brez upoštevanja vnosa težkih kovin z drugo hrano. Problematična vrsta glede vnosa kovin v človeški organizem je tudi vijoličasta kolesnica, ki podobno kot kukmaki spada v prvi kakovostni razred kulinarično zanimivih gob; vendar pa tudi najpogostejše vrste v prehrani ljudi – jesenski goban, dežniki in prava štorovka – znatno kopičijo težke kovine. Jesenskega gobana lahko tedensko pojemo 0,6 kilograma, štorovke največ 400 g. Več kot 40 % vrst, nabranih v Šaleški dolini, kopiči Cd in As v količinah, ki presegajo v Sloveniji veljaven normativ za gobe; v primeru Hg presega zakonsko določeno vrednost 20 % vrst gliv.

Za prostorsko opredelitev obremenjenosti gliv s težkimi kovinami v Šaleški dolini, ki naj bi omogočila tudi izločitev tistih predelov, ki niso primerni za nabiralniško dejavnost, bomo v nadaljevanju raziskave vzorčenje gob omejili predvsem na tiste vrste, za katere so preliminarni rezultati pokazali, da so najboljši akumulatorji težkih kovin in so hkrati zanimive tudi za prehrano ljudi: vse vrste kukmakov, tintnic in dežnikov; poleg njih pa še vijoličasta kolesnica, jesenski goban, trepetlikov turek, kravjača, kostanjevka, ciganček, prava štorovka, betičasta prašnica in senožetna prašnica.

Vsebnosti Cd, Hg, As in Pb je smiselno v teh vrstah določiti tudi v ostalih emisijsko ogroženih območjih Slovenije; znano je namreč, da so vsebnosti večine težkih kovin v višjih členih prehranjevalne verige (npr. v ledvicah srnjadi) v Šaleški dolini značilno nižje kot v Zgornji Mežiški dolini (Pb, Cd, Zn; POKORNY / RIBARIČ-LASNIK 2000), Zasavju (As; POKORNY 2000) in celo na Pokljuki (Cd, Pb, Hg, As; POKORNY *et al.* 2001), iz česar lahko sklepamo, da so v teh območjih vsebnosti kovin v trosnjakih gliv še višje in so morda celo tako visoke, da nekatere vrste gob sploh niso primerne za prehrano ljudi.

Zelo visok bioakumulacijski potencial večine vrst višjih gliv potrjuje našo hipotezo, da predstavljajo gobe sezonsko zelo pomemben vir vnosa težkih kovin v višje člene prehranjevalne verige (POKORNY / RIBARIČ-LASNIK 2002, POKORNY *et al.* 2002), zato je potrebno v prihodnje zastaviti sistematičen monitoring vsebnosti najbolj problematičnih elementov (Cd, As, Hg in Pb) v trosnjakih gob. Le-ta je pomemben za izdelavo ocen tveganja za višje člene prehranjevalne verige (vključno z ljudmi), visok bioakumulacijski potencial pa omogoča tudi enostavno sledljivost trendov v onesnaženosti okolja.

5 SUMMARY

Higher fungi have a tremendous bioaccumulative ability for heavy metals; moreover, they have widespread geographic distribution and present seasonally important foodstuff for wildlife as well as for humans. Therefore, the determination of heavy metal levels (HML) in mushrooms is important from the following points of view: (a) bioindication: fungi may act as an indicator of environmental pollution; (b) conservation: fungi may

have a strong impact on the seasonal intake rate of pollutants into animal bodies; consequently, they might have an influence on the vitality of individuals and even on the viability of populations; (c) human toxicology: considering HML, the maximum amount of mushrooms, which is recommended to be consumed by a person in a defined period of time, should be defined.

In the Šalek Valley, HML in mushrooms have not been determined so far. Therefore, we determined levels of Cd, Pb, Hg and As in 190 samples of higher fungi belonging to 52 species by ICP-MS. Our findings were as follows:

- HML are significantly higher in caps in comparison with stems. Due to a highly significant positive correlation between both parts it is adequate to determine HML only in the cap, which is the part with a better accumulative ability for majority of metals. The limitation on the cap is further supported with the fact, that this organ is also the most important edible part of mushrooms.
- Fungi have tremendous bioaccumulative potential, therefore HML in ripe fungi are much higher than in comparison with green plants from the same locations (up to one order of magnitude in the case of Pb, two to three orders of magnitude in the case of Cd and Hg, even three to four orders of magnitude in the case of As).
- The highest Cd levels were determined in *Agaricus arvensis* and *Agaricus silvicola* (over 100 µg/g of dry weight); additionally, the average Cd levels exceeded the permitted level defined by Slovene regulations (3 µg/g) at least two-fold in the following species: *Amanita vaginata*, *Xerocomus chrysenteron*, *Pleurotus* sp., *Macrolepiota procera*, *Russula rosacea*, *Boletus edulis*, *Sarcodon imbricatus*, *Rozites caperata*, *Armillaria mellea* and *Calvatia uniformis*.
- The highest As levels were determined in *Agaricus silvicola*, *Coprinus atramentarius*, *Boletinus cavipes* and *Lepista nuda* (over 20 µg/g); additionally, the average As levels exceeded the permitted level (1 µg/g) at least two-fold in the following species: *Macrolepiota mastoidea*, *Lycoperdon perlatum*, *Sparassis crispa*, *Sparassis laminosa*, *Agaricus campestris*, *Coprinus comatus*, *Macrolepiota procera*, *Lepista inversa*, *Suillus variegatus* and *Lactarius deliciosus*.
- The highest Hg levels were determined in *Agaricus campestris* and *Lepista nuda* (over 5 µg/g); besides, the average Hg levels exceeded the permitted level (3 µg/g) in the following species: *Boletus edulis*, *Boletus appendiculatus*, *Rozites caperata*, *Sarcodon imbricatus* and *Calvatia utrififormis*.

- The highest Pb levels were determined in *Macrolepiota mastoidea*, *Lycoperdon perlatum* and *Calvatia utriformis*; however, the Pb levels in other species are well below the permitted level, which is 5 µg/g.
- Mushrooms should be eaten with a high level of care due to very high contents of Hg and particularly Cd; in the Šalek Valley, the recommended weekly intake rates for an adult are as follows: less than 50 g of *Agaricus silvicola* or *Agaricus arvensis*; approximately 200 g of *Agaricus campestris*; around 0,5 kg of *Armillaria mellea*, *Lepista nuda*, *Macrolepiota sp.* or *Boletus edulis*. However, species belonging to the genera *Leccinum*, *Suillus*, *Xerocomus* and *Russula* are suitable for human consumption.

A systematic monitoring program of the most problematic heavy metals (e.g. Cd, As, Hg and Pb) in mushrooms has to be established all over Slovenia; this program is essential for performing reliable risk assessment for higher links of the food chain (including humans); furthermore it may help in determining trends of environmental pollution with heavy metals as well.

6 VIRI REFERENCES

- ALONSO, J. / SALGRADO, M. J. / GARCIA, M. A. / MELGAR, M. J., 1999. Accumulation of mercury in edible macrofungi: Influence of some factors.- *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 38: 158-162.
- AL SAYEGH PETKOVŠEK, S. / KRAIGHER, H., 2000. Types of Ectomycorrhizae from Kočevska Reka.- *Phyton (Horn)* 40, 4: 37-42.
- AL SAYEGH-PETKOVŠEK, S. / POKORNY, B., 2001. Vsebnost težkih kovin v gozdnih sadežih na območju Šaleške doline.- Velenje, ERICo Velenje, DP-7/02/01, 59 s.
- ATSDR, 1999. CERCLA list of priority hazardous substances.- Agency for toxic substances and disease registry, www.atsdr.cdc.gov/99list.
- BATIČ, F., 1994. Bioindikacija onesnaženosti zraka in njen pomen pri vzpostavitvi integralnega monitoringa.- V: BATIČ, F. (Ur.). *Varstvo zraka, stanje in ukrepi za izboljšanje stanja v Sloveniji*. Ljubljana, Zavod za tehnično izobraževanje, s. 12/1-12/10.

- BYRNE, A. R. / RAVNIK, V. / KOSTA, L., 1976. Trace element concentration in higher fungi.- Sci. Total Environ. 6: 65-78.
- BYRNE, A. R. / TUŠEK-ŽNIDARIČ, M., 1983. Arsenic accumulation in the mushroom *Laccaria amethystina*.- Chemosphere 12: 1113-1117.
- BYRNE, A. R. / ŠLEJKOVEC, Z. / STIJEVE, T. / FAY, L. / GÖSSER, W. / GAILER, J. / IRGOLIČ, K. J., 1995. Arsenobetain and other arsenic species in mushrooms.- Appl. Organometal. Chem. 9: 305-313.
- BYRNE, A. R. / ŠLEJKOVEC, Z. / STIJEVE, T. / GÖSSER, W. / GAILER, J. / IRGOLIČ, K. J., 1997. Identification of arsenic compounds in mushrooms, and evidence for mycelia methylation.- Australian Mycol. Newsletter (Canberra) 16, 3: 49-54 .
- CIBULKA, J. / ŠIŠAK, L. / PULKRAB, K. / MIHOLOVA, D. / SZAKOVA, J. / FUCIKOVA, A., 1996. Cadmium, lead, mercury and caesium levels in edible mushrooms and forest berries from different localities of the Czech Republic.- Scientia Agriculturae Bohemia 27, 2: 113-129.
- FISCHER, R. G. / RAPSOMANIKIS, S. / ANDREAE, M. O. / BALDI, F., 1995. Bioaccumulation of methylmercury and transformation of inorganic mercury by macrofungi.- Environ. Sci. Technol. 29: 993-999.
- GARCIA, M. A. / ALONSO, J. / FERNANDEZ, M. I. / MELGAR, M. J., 1998. Lead content in edible wild mushrooms in north-west Spain as indicator of environmental contamination.- Arch. Environ. Contam. Toxicol. 34: 330-335.
- GNAMUŠ, A. / BYRNE, A. R. / HORVAT, M., 2000. Mercury in the soil-plant-deer-predator food chain of a temperate forest in Slovenia.- Environ. Sci. Technol. 34: 3337-3345.
- JORHEM, L. / SUNDSTRÖM, B., 1995. Levels of some trace elements in edible fungi.- Z. Lebensmittel. Unters. Forsch. 201: 311-316.
- JORHEM, L. / ENGMAN, B. / SUNDSTRÖM, B. / THIM, A. M., 1994. Trace elements in crayfish: regional differences and changes induced by cooking.- Arch. Environ. Contam. Toxicol. 26: 137-142.
- KALAČ, P. / SVOBODA, L., 2000. A review of trace element concentrations in edible mushrooms.- Food Chemistry 69: 273-281.
- KALAČ, P. / BURDA, J. / STAŠKOVA, I., 1991. Concentration of lead, cadmium, mercury and copper in mushrooms in the vicinity of a lead smelter.- Sci. Total Environ. 105: 109-119.
- KALAČ, P. / NIZNANSKA, M. / BEVILAQUA, D. / STAŠKOVA, I., 1996. Concentrations of mercury, copper, cadmium and lead in fruiting bodies of edible mushrooms in the vicinity of a mercury smelter and a copper smelter.- Sci. Total Environ. 177: 251-258.

- KEITH, J. O., 1996. Residue analyses: how they were used to assess the hazards of contaminants to wildlife.- V: BEYER, W. N. / HEINZ, G. H. / REDMON-NORWOOD, A. W. (Ur.). Environmental contaminants in wildlife. New York, Lewis publishers, s. 1-47.
- KOJO, M. / LODENIUS, M., 1989. Cadmium and mercury in macrofungi – mechanisms of transport and accumulation.- *Angewandte Botanik* 63: 279-292.
- KRAIGHER, H. / BATIČ, F. / AGERER, R., 1996. Types of ectomycorrhizae and mycobioidication of forest site pollution.- *Phyton (Horn)* 36: 115-120.
- KRAIGHER, H. / PILTAVER, A. / KALAN, P. / MUNDA, A. / RUPEL, M. / AL SAYEGH-PETKOVŠEK, S. / TROŠT, T. / VILHAR, U., 1999. Pestrost in pomen biokomponente v gozdnih tleh in rizosferi.- V: KRAIGHER, H., SMOLEJ, I., (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. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, s. 110-189.
- KUGONIČ, N. / STROPNIK, M., 2001. Vsebnosti težkih kovin v tleh in rastlinah na kmetijskih površinah v Šaleški dolini.- Velenje, ERICo Velenje, DP-24/02/01, 164 s.
- KUGONIČ, N. / ZUPAN, M. / STROPNIK, M., 2001. Soil and plant pollution assessment near lead smelter and electricity generating centres in Slovenia.- V: Sixth international conference on the biogeochemistry of trace elements, Guelph, 29.7.–2.8. 2001, University of Guelph, s. 495.
- KUUSI, T. / LAAKSOVIRTA, K. / LIUKKONEN-LILJA, H. / LODENIUS, M. / PIEPPONEN, S., 1981. Lead, cadmium and mercury contents of fungi in Helsinki area and in unpolluted control areas.- *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 173: 261-267.
- LEPŠOVA, A. / MEJSTRIK, V., 1988. Accumulation of trace elements in the fruiting bodies of macrofungi in the Krušne Hory Mountains, Czechoslovakia.- *Sci. Total Environ.* 76: 117-128.
- LIUKKONEN-LILJA, H. / KUUSI, T. / LAAKSOVIRTA, K. / LODENIUS, M. / PIEPPONEN, S., 1983. The effect of a lead processing works on the lead, cadmium and mercury contents of fungi.- *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 176: 120-123.
- LODENIUS, M. / TULISALO, E., 1995. Open digestion of some plant and fungus materials for mercury analyses using different temperatures and samples size.- *Sci. Total Environ.* 176: 81-84.
- MANDIĆ, M. L. / GRGIĆ, J. / GRGIĆ, Z. / ŠERUGA, M., 1992. The natural levels of aluminium, cadmium and lead in wildlife mushrooms in Eastern Croatia.- *Deutsche Lebensmittel* 88, 3: 76-77.

- MEJSTRIK, V. / LEPŠOVA, A., 1993. Applicability of fungi to the monitoring of environmental pollution by heavy metals.- V: MARKERT, B. (Ur.). Plants as biomonitors: Indicators for heavy metals in the terrestrial environment. Weinheim, VCH Verlagsgesellschaft, s. 365-378.
- 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. Environ. Sci. Health 33, 4: 439-455.
- MICHELOT, D. / SIOBUD, E. / DORE, J. C. / VIEL, C. / POIRIER, F., 1998. Update on metal content profiles in mushrooms – toxicological implications and tentative approach to the mechanisms of bioaccumulation.- Toxicol. 36, 12: 1997-2012.
- POKORNY, B., 2000. Roe deer *Capreolus capreolus* as an accumulative bioindicator of heavy metal burdens.- Web Ecology 1: 54-62.
- POKORNY, B. / RIBARIČ-LASNIK, C., 2000. Lead, cadmium and zinc in tissues of roe deer (*Capreolus capreolus*) near the lead smelter in the Koroška region (northern Slovenia).- Bull. Environ. Contam. Toxicol. 64: 20-26.
- POKORNY, B. / RIBARIČ-LASNIK, C., 2002. Seasonal variability of mercury and heavy metals in roe deer (*Capreolus capreolus*) kidney.- Environ. Pollut. 117: 35-46.
- POKORNY, B. / RIBARIČ-LASNIK, C. / DOGANOC, D. Z. / ADAMIČ, M., 2001. Ledvice smjadi (*Capreolus capreolus* L.) kot bioindikator onesaženosti okolja s težkimi kovinami.- Zb. Gozd. Les. 64: 143-186.
- POKORNY, B. / AL SAYEGH-PETKOVŠEK, S. / RIBARIČ-LASNIK, C. / DOGANOC, D. Z. / ADAMIČ, M., 2002. Seasonal variability of heavy metal levels in roe deer kidneys: the contribution of fungi ingestion.- V: Challenges in environmental risk assessment and modelling, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Vienna, s. 173.
- POLER, A., 1998. Seznam gliv Slovenije (2. dopolnjena in posodobljena izdaja).- Ljubljana, Zveza gobarskih društev Slovenije, 120 s.
- Pravilnik o količinah pesticidov in drugih strupenih snovi, hormonov, antibiotikov in mikotoksinov, ki smejo biti v živilih.- Ur. l. SFRJ, št. 59/83.
- RIBARIČ-LASNIK, C. / RUPREHT, H., 2000. Ugotavljanje vnosa onesnažil iz termoenergetskih objektov v ekosisteme z epifitskim lišajem *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.- Velenje, ERICo Velenje, DP-37/2000, 64 s.
- RIBARIČ-LASNIK, C. / POKORNY, B. / PAČNIK, L. (Ur.), 1999. Problem težkih kovin v Zgornji Mežiški dolini.- Zbornik referatov. Velenje, ERICo Velenje, 134 s.
- SCHMITT, J. A. / MEISCH, H. U., 1985. Cadmium in mushrooms – distribution, growth effects and binding.- Trace elements in medicine 2, 4: 163-166.

- SLEKOVEC, M., 1995. Determination of total arsenic and arsenic compounds in mushrooms.- Dissertation, Graz, Karl-Franzens Universität, 130 s.
- SOVA, Z. / CIBULKA, J. / SZAKOVA, J. / MIHOLOVA, D. / MADER, D. / REINEROVA, H., 1991. Contents of cadmium, mercury and lead in mushrooms from areas in Bohemia.- Sbornik Agronomicke fakulty v Č. Budejovicich 8: 13-29.
- STANKEVICIENE, D., 1996. Mycological and lichenological investigations in the former Soviet military forestries in Lithuania: Heavy metals in macromycetes.- *Botanica Lithuanica* 2, 4: 379-394.
- STATSOFT, Inc., 1999. Statistica for Windows 5.5 ('99 Edition).- Tulsa, StatSoft, CD-ROM.
- STEGNAR, P. / KOSTA, L. / BYRNE, A. R. / RAVNIK, V., 1973. The accumulation of mercury by, and the occurrence of methyl mercury in, some fungi.- *Chemosphere* 2: 57-63.
- STIJVE, T. / BESSON, R., 1976. Mercury, cadmium, lead and selenium concentration of mushroom species belonging to the genus *Agaricus*.- *Chemosphere* 2: 151-158.
- STIJVE, T. / VALLINGA, C. / HERMANN A., 1990. Arsenic accumulations in some higher fungi.- *Persoonia* 14: 161-166.
- STREIT, B. / STUMM, W., 1993. Chemical properties of metals and the process of bioaccumulation in terrestrial plants.- V: MARKERT, B. (Ur.). Plants as biomonitors: Indicators for heavy metals in the terrestrial environment. Weinheim, VCH Verlagsgesellschaft, s. 31-62.
- STROPNIK, Z. / TRATNIK, B. / SELJAK, G., 1988. Naše gobje bogastvo.- Ljubljana, Mladinska knjiga, 607 s.
- SVETINA, M., 1999. Geokemična študija vnosa kadmija v tla v Šaleški dolini.- Doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Oddelek za geologijo, 164 s.
- SVOBODA, L. / ZIMMERMANNNOVA, K. / KALAČ, P., 2000. Concentrations of mercury, lead and copper in fruiting bodies of edible mushrooms in an emission area of a copper smelter and a mercury smelter.- *Sci. Total Environ.* 246: 61-67.
- ŠLEJKOVEC, Z. / BYRNE, A. R. / STIJVE, T. / GÖSSER, W. / GAILER, J. / IRGOLIČ, K. J., 1997. Arsenic compounds in higher fungi.- *Appl. Organometal. Chem.* 11: 673-682.
- ZABOWSKI, D. / ZASOSKI, R. J. / LITKE, W. / AMMIRATI, J., 1990. Metal content of fungal sporocarps from urban, rural and sludge-treated sites.- *J. Environ. Qual.* 19: 372-377.
- WENNING, R. / WENNING-BATTIN, T. / JUNGBLUT, F., 1978. Champignons toxiques.- Paris, Masson Publisher.
- WHO/FAO, 1972. Evaluation of certain food additives and contaminants: Sixteenth Report.- Geneva, FAO/WHO Expert Committee on Food Additives.

- WHO/FAO, 1989. Evaluation of certain food additives and contaminants: Thirty-third report.- Geneva, WHO Technical Report Series, 77.
- WHO/FAO, 1993. Evaluation of certain food additives and contaminants.- Geneva, WHO Technical Report Series, 837.
- 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.
- YTTRI, K. E. / ANDERSEN, R. A. / BERTHELSEN, B. O. / COLLIN-HANSEN, C. / STEINNES, E., 2000. Mushrooms from a Cd and Zn contaminated spruce forest: Occurrence of heavy metals and heavy metal binding proteins.- V: NRIAGU, J. (Ur.). 11th Annual international conference on the heavy metals in the environmental. Ann Arbor, University of Michigan, Contribution number 1385.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskavo je financirala Termoelektrarna Šoštanj. Na Inštitutu za ekološke raziskave ERICO Velenje so se s pripravo vzorcev ukvarjali Melita Stropnik, Stane Vanovšek in Meta Zaluberšek. Posebno zahvalo namenjamo vsem, ki so nam pomagali pri nabiranju vzorcev: Petru Silovšku, Zvonku Likebu, Francu Avberšku, Eriki Glasenčnik, Nives Kugonič in Meti Zaluberšek. Zahvaljujemo se dr. Anthony R. Byrneu za pomoč pri pridobivanju najnovejših informacij o oblikah As v glivah. Koristne pripombe dveh recenzentov so bistveno izboljšale prvotno verzijo prispevka.