

GDK 172.8 : 181.351 . 181.45 . (497.12 Šoštanj)

Prispelo / Received: 23. 12. 1996
Sprejeto / Accepted: 24. 2. 1997

MIKORIZNI POTENCIAL DVEH RAZLIČNO ONESNAŽENIH GOZDNIH RASTIŠČ V IMISIJSKEM OBMOČJU TERMoeLEKTRARNE ŠOŠTANJ

Samar AL SAYEGH PETKOVŠEK*

Izvleček

V imisijskem območju Termoelektrarne Šoštanj smo izbrali gozdne ploskve, ki so med seboj primerljive po značilnosti rastišč, so pa različno onesnažene. Ploskvi v Zavodnjah ležita v onesnaženem območju, ploskvi v Mislinjskem grabnu pa v relativno čistem območju. V območju Zavodnej in Mislinjskega grabna smo v prvi seriji analiz (marec - junij 1993) izbrali po dve ploskvi, ki sta se razlikovali predvsem po svetlobnem režimu. Kasneje (februar - junij 1994) smo se omejili le na po eno ploskev z vsakega območja. Določali smo mikorizni potencial gozdnih ploskev s prirejeno metodo lončne analize. Avtorji te metode (KROPAČEK *et al.* 1988) so definirali mikorizni potencial kot zmožnost propagulov naravno prisotnih ektomikoriznih gliv v gozdnih tleh, da tvorijo mikorizo s semenkami smreke. Raziskave mikoriznega potenciala tal smo povezali z analizami tipov ektomikorize pri semenkah, ki so rastle na substratih z različno onesnaženih gozdnih tal. Rezultati raziskave so pokazali, da je bil mikorizni potencial manj onesnaženega območja (Mislinjski graben) večji, ravno tako je bil koreninski sistem semenk, ki so rastle na substratu s tega območja bolj razvit. V številu tipov ektomikorize ni bilo razlik med semenkami, ki so rastle na bolj oziroma manj onesnaženem substratu.

Ključne besede: ektomikoriza, smreka (*Picea abies* (L.) Karst.), mikorizni potencial, onesnaženost gozdnih rastišč

MYCORRHIZAL POTENTIAL OF TWO DIFFERENTLY POLLUTED FOREST SITES IN THE EMISSION REGION OF THE THERMAL POWER PLANT ŠOŠTANJ

Abstract

*In the emission region of the Thermal Power Plant Šoštanj those forest areas have been selected which are comparable as to site characteristics and differently polluted. The plots in Zavodnje are situated in a polluted area, the two in the Mislinjski graben, however, in a relatively unpolluted region. Two plots from each area have been selected within the first series of analyses (March - June 1993), which primarily differed by illumination regime. Later (February - June 1994) our attention was only directed to one plot from each area. The mycorrhizal potential of forest plots was established by means of the adapted method of pot analysis. The authors of this method (KROPAČEK *et al.* 1988) gave the definition of mycorrhizal potential as a capacity of the propagules of naturally occurring ectomycorrhizal fungi in forest soil to form mycorrhiza with Norway spruce seedlings. The investigations on the mycorrhizal potential of soil have been linked to the analyses of ectomycorrhiza types in the seedlings which grew on substrates of differently polluted forest soil. The results of the research have shown that the mycorrhizal potential of the less polluted region (the Mislinjski graben) is higher; similarly the root system of seedlings which grew on the substrate from this region is more developed. There were no differences regarding the number of ectomycorrhiza's types between seedlings which grew on more polluted substrate and those from less polluted substrate.*

*Key words: ectomycorrhiza, Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), mycorrhizal potential, forest sites' pollution*

* Mag.dipl. biol.; ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave, 3322 Velenje, Koroška 58, SLO

KAZALO

1	UVOD / INTRODUCTION	325
1.1	OSNOVNE ZNAČILNOSTI MIKORIZE / <i>BASIC CHARACTERISTICS OF ECTOMYCORRHIZA</i>	325
1.2	POMEN EKTOMIKORIZE / <i>THE SIGNIFICANCE OF ECTOMYCORRHIZA</i>	326
1.3	PROPADANJE GOZDOV IN EKTOMIKORIZA / <i>DYING BACK OF FORESTS AND ECTOMYCORRHIZA</i>	326
1.4	PREDSTAVITEV IN NAMEN NAŠE RAZISKAVE / <i>THE PRESENTATION AND PURPOSE OF THE PRESENT RESEARCH</i>	329
2	METODE DELA, MATERIAL IN OPIS GOZDNIH PLOSKEV / WORKING METHODS, MATERIAL AND FOREST PLOTS DESCRIPTION	330
2.1	GOZDNE PLOSKVE / <i>FOREST PLOTS</i>	330
2.1.1	Izbira in opis gozdnih ploskev / <i>The selection and description of forest plots</i>	330
2.1.2	Vzorčenje in analizni rezultati talnih substratov izbranih gozdnih ploskev / <i>Sampling and data on soil substrates from chosen forest research plots</i>	331
2.2	METODA ANALIZE MIKORIZNEGA POTENCIALA / <i>THE METHOD OF SOIL MYCORRHIZAL POTENTIAL ANALYSIS</i>	332
2.3	KLASIFIKACIJA TIPOV EKTOMIKORIZE IN DELEŽ MIKORIZNIH KRATKIH / <i>THE CLASSIFICATION OF ECTOMYCORRHIZA TYPES AND SHARE OF MYCORRHIZAL SHORT ROOTS</i>	333
2.4	MERITVE MORFOLOŠKIH PARAMETROV / <i>MEASUREMENTS OF MORPHOLOGICAL PARAMETERS</i>	334
2.6	STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV / <i>STATISTICAL DATA PROCESSING</i>	334
3	REZULTATI / RESULTS	334
3.1	DELEŽI MIKORIZE IN ŠTEVILO KRATKIH KORENIN / <i>MYCORRHIZAL SHARES AND THE NUMBER OF SHORT ROOTS</i>	334
3.2	TIPI EKTOMIKORIZE / <i>TYPES OF ECTOMYCORRHIZA</i>	338
3.3	TEŽE SEMENK / <i>WEIGHTS OF SEEDLINGS</i>	339
4	RAZPRAVA IN SKLEPI / DISCUSSION AND CONCLUSIONS	343
5	VIRI / REFERENCES	346
6	ZAHVALA / ACKNOWLEDGEMENTS	350

1 UVOD

1.1 OSNOVNE ZNAČILNOSTI MIKORIZE

Ektomikoriza je ena najobičajnejših mikoriznih zvez in je prevladujoča pri večini gozdnih dreves. A. B. Frank jo je leta 1885 prvi opisal. Po njem je to zunanji plašč glivnih hif okoli gostiteljske korenine in Hartigova mreža med primarno skorjo korenin.

Večina simbiotskih ektomikoriznih gliv je iz poddebel *Ascomycotina* in *Basidiomycotina*, nekaj pa tudi iz poddebla *Zygomycotina* (rod *Endogone*). Gostiteljske rastline najdemo med 140 rodovi, še posebej pogosta pa je ektomikoriza v naslednjih družinah semenk: *Pinaceae*, *Fagaceae*, *Myrtaceae*, *Salicaceae* in *Betulaceae*. Ne najdemo je pri enokaličnicah (NEWMAN / REDDELL 1987 cit. v WERNER 1992). V primerjavi z arbuskularno mikorizo tvori ektomikorizo mnogo manj vrst, le 3% od vseh vrst semenk je lahko ektomikoriznih. Prednačijo drevesa in grmi. Specifičnost med gostiteljsko rastlino in glivo je majhna.

Ektomikoriza se razvije na kratkih koreninah, kadar so celice primarne skorje žive. Proces infekcije korenine se sproži s sproščanjem koreninskih eksudatov. Korenina izloča v rizosfero ogljikove hidrate, aminokislino in rastne hormone in tako pospeši rast simbiotskih gliv v rizosferi (CURL / TRUELOVE 1985). Hife vdrejo v korenino vedno subapikalno, nikoli skozi koreninsko čepico. Območje infekcije se imenuje "mikorizna infekcijska cona" (MARKS / FOSTER 1973). Predvidevajo, da hife prodirajo v korenino tako, da se najprej tvori hifna ovojnica in nato tako imenovana Hartigova mreža znotraj korenine med celicami parenhimov primarne skorje korenine. Nikoli pa ektomikorizne hife ne vstopijo v sloj endoderma. Proces staranja se prične v zunanjih kortikalnih celicah. Ko te odmrejo, hife pogosto prodrejo skozi celične stene v notranjost celic (KOTTKE / OBERWINKLER 1986). Za razvoj ektomikorize je dejansko najprimernejši rahlo kisel opad z nizko vsebnostjo dušika in fosforja, vendar dobro prezračen in primerno vlažen (WERNER 1992).

1.2 POMEN EKTOMIKORIZE

Mikoriza ima pomembno vlogo v dinamiki gozdnega ekosistema. Potencialno vpliva na vse vidike njegovega delovanja, je ključna povezava v kroženju hranil in energije znotraj gozdnega ekosistema (FAHEY 1992, DIGHTON / MASON 1985). Ektomikoriza je najbolj razširjena pri drevesnih vrstah v severnih gozdovih Evroazije in severne Amerike. V teh gozdovih je razpadanje listnega opada relativno počasno in tako nastaja znaten sloj, ki vsebuje kisel organski material s slabo dostopnimi ali povsem nedostopnimi hranili. Ta hranila so ektomikorizne glive sposobne sprejemati in transportirati, predvsem fosfor in dušik, tako da sproščajo encime (glivne kisle fosfataze mobilizirajo organsko vezani fosfor, organsko vezani dušik pa glivne proteaze in peptidaze) (READ 1991). Poleg tega pa se s povečano absorpcijsko površino poveča sposobnost korenin, da vsrkajo iz talne raztopine mineralna hranila, preden jih vgradijo v svoja tkiva drugi organizmi (glive, bakterije..), ali pa se prerazporedijo v globlje dele tal, kjer jih korenine ne morejo več doseči (DIGHTON 1991). Hkrati se tako izboljša tudi vodni režim rastline. Ektomikorizna korenina pogosto varuje gostitelja pred strupenimi elementi in patogeni. Izmenjava med gostiteljem in simbiotom poteka v obe smeri. Gliva dobiva od gostiteljske rastline predvsem asimilate. Zelo pomemben je tudi ekološki vidik mikorizne simbioze. Ekstramatrikalni micelij povezuje rastline istih ali različnih vrst (READ / FRANCIS / FINLAY 1985, cit. v PANKOW / BOLLER / WIEMKEN 1991). Gozdna drevesa lahko delijo svoja hranila preko skupne mreže micelija hif. READ s sodelavci (1984, cit. v ALLEN 1991) je večkrat dokazal, da se je ogljikov dioksid, ki ga je fiksirala rastlina, transportiral h glivnemu partnerju in da so ga lahko našli v koreninah druge rastline, ki je bila povezana z istim mikoriznim glivnim partnerjem. Dokazal je tudi, da lahko senčne rastline dobivajo ogljik preko glivne povezave od rastlin, ki so imele višjo raven fotosinteze zaradi boljših svetlobnih pogojev.

1.3 PROPADANJE GOZDOV IN EKTOMIKORIZA

V centralni Evropi se je v zadnjem desetletju pojavil nov tip propadanja gozdov, ki je povezan z degradacijo tal, pomanjkanjem hranil, propadanjem korenin in motnjami v delovanju mikorize (MEJSTRIK 1989). Poleg naravnih stresnih dejavnikov (suša, zmrzal, bolezni) so se pojavili novi, antropogenega izvora. Brez njih ne bi bilo tolikšnega propadanja gozdov. Te nove stresne dejavnike

predstavljajo zračni onesnaževalci in njihovi derivati (SO_2 , NO_x , NH_x) (PFANZ *et al.* 1989).

Med pomembnejšimi vzroki propadanja gozdov je pomanjkanje hranil kot posledica vplivov kislih padavin. Drevesa oslabi do te mere, da niso le bolj dojemljiva za bolezni, sušo in zmrzal, ampak tudi za koncentracije onesnaževalcev, ki sicer zdravih dreves ne prizadevajo (PFANZ *et al.* 1989).

Propadanje gozdov je povezano s propadanjem ektomikorize. Prizadeta mikoriza dodatno vpliva na pomanjkanje hranil in na vodni stres in zato še poslabša stanje dreves, poškodovanih zaradi onesnaževanja (MEYER 1989). Dejansko so drevesa z ektomikorizo (na primer *Picea* sp., *Abies* sp., *Quercus* sp. in *Fagus* sp.) celo bolj občutljiva za vplive onesnaženja kot pa drevesa z endomikorizo ali brez nje (MEYER 1982, cit. v WERNER 1992). Obstaja več domnevnih vzrokov za propadanje ektomikoriznih gliv: zaradi naravnih dejavnikov, odstranjevanja sporokarpov in fizične degradacije gozdnih tal zaradi rekreativnih dejavnosti, načina gospodarjenja z gozdovi (vnos novih "eksotičnih vrst"), naraščanja opada in sprememb podrastja v gozdovih. Možno je, da lahko akumulacija opada delno razloži različno sestavo ektomikoriznih gliv v mladih oziroma starih gozdovih. Kisla gozdna tla favorizirajo nekatere trave, kot so: *Deschampsia flexuosa*, *Molina caerulea*, znano pa je, da obstaja negativna korelacija med pojavljanjem trav in trosnjakov makromicet (BARKMAN 1976, cit. v ARNOLDS 1990). Zračni onesnaževalci vplivajo tudi neposredno na ektomikorizne glive. Dokazali so, da se zaradi visokih koncentracij žveplovega dioksida zmanjša dihanje čiste kulture nekaterih ektomikoriznih gliv (GARRETT / CAENEY / HEDRICK 1982, cit. v ARNOLDS 1990). Nadaljnji vzrok propadanja ektomikorize je kopičenje dušika v gozdnih tleh. Mikoriza se bolje razvije v tleh, ki so revna s hranili, še posebej z dušikom (READ, 1991). Na Nizozemskem je eutrofikacija z dušikom najpomembnejši dejavnik, povezan s propadanjem ektomikoriznih gliv (ARNOLDS 1991).

Tudi kislota vplivajo na propadanje ektomikoriznih gliv. Vendar pa je odgovor na kisel pH vrstno specifičen. So tudi vrste, ki imajo svoj rastni optimum v tleh, kjer je pH manjši od 4 (ARNOLDS 1991). Zaradi daljše izpostavljenosti kislemu dežju ponavadi ne pride do katastrofalnih sprememb v gozdni mikocenozi, ampak le v spremenjeni vrstni sestavi in številčnosti posameznih vrst. Bolj občutljive vrste zamenjajo vrste, ki so bolj prilagojene na nove razmere. Predvsem za tip

ektomikorize *Russula ochroleuca* poročajo, da se je po dveletni izpostavljenosti kislemu dežju delež mikoriznih kratkih korenin, na katerih so identificirali ta tip, značilno povečal. Ravno tako se je povečalo tudi število trosnjakov (TAYLOR 1995). Večja kislost poveča koncentracijo aluminija v talni raztopini, kar ne samo poškoduje korenine, ampak tudi inhibira rast ektomikoriznih gliv. Imajo pa nekatere glive (*Pisolithus tinctorius*, *Cenococcum geophilum*) določene proteine, ki jim do neke mere omogočijo toleranco za težke kovine (MORSELT / SMITS / LIMONARD 1986). *In vitro* gliva *Lactarius rufus* oziroma *Lactarius piperatus* tolerirata visoke koncentracije aluminija, ki celo stimulira rast teh gliv (HINTIKKA 1987, ŽEL / GOGALA 1989).

FELLNER (1988) je povezal poškodbe mikorize z vitalnostjo dreves in ločuje tri faze: latentne motnje, za katere je značilno zmanjšanje sporulacije ektomikoriznih gliv in kjer ni znakov zmanjšanja vitalnosti dreves. Drugo fazo predstavljajo akutne motnje, spremeni se vrstna sestava ektomikoriznih gliv in je vitalnost dreves rahlo poškodovana, kar se kaže v manjšem obnavljanju listne mase. V tretji fazi pa se število ektomikoriznih gliv zelo zmanjša in so jasno vidne poškodbe dreves. Če povzamemo, sta vzroka za zmanjšanje ektomikorize v glavnem dva. Prvi vzrok je zmanjšanje vitalnosti dreves, ki je povezano z manjšo fotosintezo in zato z manjšo količino ogljikovih hidratov, ki se transportirajo h kratkim koreninam. Drugi negativni vpliv na ektomikorizo pa predstavljajo spremembe v tleh zaradi povečane kislosti in kopičenja dušika (ARNOLDS 1991).

Ko presojamo vpliv onesnaževalcev na mikorizo, moramo vedno upoštevati, da so različne vrste različno fiziološko in ekološko učinkovite. V naravi je določena rastlinska vrsta povezana z več vrstami mikoriznih gliv. Število teh glivnih partnerjev je še posebej veliko pri drevesih z razvito ektomikorizo. Ključni dejavnik, ki določa strukturo te mikorizne populacije, je sposobnost posameznih vrst gliv, da inficirajo korenino v določenih pogojih in v prisotnosti drugih simbiotov. Nove korenine namreč neprestano nastajajo in različne glive tekmujejo med seboj, katera jih bo inficirala prva (GARBAYE 1991). Drugače rečeno, z različnimi vrstami gliv in celo sevi se spreminja učinkovitost mikoriznega sožitja (GIANINAZZI - PEARSON 1984, GABROVŠEK / GOGALA 1990).

Mnoge ektomikorizne glive so zelo občutljivi bioindikatorji onesnaženosti. *Russula mustellina* naj bi bila v smrekovih gozdovih indikator čistega okolja (FELLNER

1989). Določene vrste naj bi bile značilne za onesnažena področja. *Paxillus involutus*, *Russula ochroleuca*, *Phallus impudicus* so pogoste vrste starih smrekovih gozdov (Shlechte, 1988, cit. v Arnolds, 1991). Ugotavljajo, da onesnaževanje zmanjšuje pogostnost in vrstno sestavo trosnjakov ektomikoriznih gliv in da se pogosteje pojavljajo saprofitske glive. ARNOLDS je ugotovil znatno zmanjšanje ektomikoriznih gliv v gozdovih Nizozemske, še zlasti iz rodu *Cortinarius*, *Tricholoma* in pri družini *Boletaceae* (ARNOLDS 1991), število vrst saprofitskih gliv pa se ni zmanjšalo. V slovenskih gozdovih bi morda lahko predlagali za občutljivo vrsto *Hydnum rufescens*, kot neobčutljivo pa *Paxillus involutus* (KRAIGHER 1995).

1.4 PREDSTAVITEV IN NAMEN NAŠE RAZISKAVE

Raziskava mikoriznega potenciala tal je potekala v imisijskem območju Termoelektrarne Šoštanj. V tem okolju so že bile izvedene raziskave ektomikorize na različno onesnaženih gozdnih rastiščih (KRAIGHER 1994), kajti k propadanju gozdov bistveno prispeva tudi propadanje mikorize. Najprej propadejo trosnjaki, nato se zmanjša število ektomikoriznih gliv in temu sledi uničenje mikorizne mikocenoze (FELLNER 1989). V okviru doktorske disertacije so analizirali tudi tipe ektomikorize in pojavljanje trosnjakov in ugotovili, da je metoda mikobioindikacije z analizo prisotnosti občuljivih oziroma neobčutljivih vrst gliv primerna metoda za ugotavljanje onesnaženosti gozdnih rastišč (KRAIGHER 1995, KRAIGHER 1996). Dejansko je spremljanje ektomikorize primernejša metoda za ugotavljanje prisotnosti določene vrste gliv na določenem rastišču kot pa spremljanje trosnjakov, ker micelije gliv lahko najdemo v tleh celo leto, medtem ko se trosnjaki pojavljajo le v določenih obdobjih in je to odvisno tudi od vremena. Poleg tega pa nekatere glive ne tvorijo trosnjakov ali pa jih je težko opaziti (ibid.). Mi smo za naše raziskave mikoriznega potenciala na različno onesnaženih tleh uporabili metodo lončne analize mikoriznega potenciala tal, da bi ugotovili, ali je mikorizni potencial različen na različno onesnaženih tleh (KROPAČEK *et al.* 1988, KRAIGHER 1990). KROPAČEK s sodelavci (1988) je definiral mikorizni potencial kot zmožnost propagulov naravno prisotnih ektomikoriznih gliv v gozdnih tleh, da tvorijo mikorizo s semenkami smreke. Ti avtorji so mikorizni potencial določali v tleh z različno onesnaženih raziskovalnih ploskev. Gre za posreden vpliv onesnaževanja, katerega vpliv preko tal naj bi se

pokazal v deležu mikoriznih kratkih korenin glede na vse kratke korenine. Raziskave mikoriznega potenciala tal smo povezali z analizami tipov ektomikorize pri semenkah, ki so rastle na substratih različno onesnaženih tal. Z nalogo smo želeli preveriti uporabnost te metode in osvojiti metodo klasifikacije ektomikoriznih tipov. Dodatno smo želeli preveriti vpliv osvetljenosti (zatrnosti) ploskev, s katerih smo vzorčili talne substrate, na mikorizni potencial. Lončna analiza mikoriznega potenciala tal se dopolnjuje z vsemi zgoraj naštetimi raziskavami in je ena od metod bioindikacije onesnaženosti gozdnih rastišč.

2 METODE DELA, MATERIAL IN OPIS GOZDNIH PLOSKEV

2.1 GOZDNE PLOSKVE

2.1.1 Izbira in opis gozdnih ploskev

Gozdarski inštitut Slovenije je v imisijskem območju Termoelektrarne Šoštanj, ki leži ob južnem robu Šaleške doline v najnižjem delu kotline, izbral gozdne ploskve, ki so med seboj po značilnostih rastišč primerljive, so pa različno onesnažene.

V onesnaženem območju smo izbrali ploskvi v Zavodnjah, ki sta približno 8 km severozahodno od TEŠ. Območje Zavodenj spada v IV. območje onesnaženosti, kjer je zrak onesnažen nad kritično mejo (HRČEK 1988). To se kaže tudi na gozdovih, ki so znatno poškodovani in spadajo v najvišji, četrti razred poškodovanosti gozdov (KOLAR 1989). Tudi po zadnjem popisu poškodovanosti gozdov območje Zavodenj še spada v četrti razred poškodovanosti (JURC *et al.* 1995).

Drugo, relativno čisto kontrolno območje, je Mislinjski graben, ki leži približno 20 km severovzhodno od TEŠ. Tu gozdovi skoraj niso poškodovani in sodijo v I - II razred poškodovanosti gozdov (KOLAR 1987). Mislinjski graben je začetek Mislinjske doline (porečje reke Mislinje), ki se razširi v Slovenjegraško kotlino. Zgornji del Mislinjske doline z Mislinjskim grabnom leži v največji tektonski razpoki Pohorja.

2.1.2 Vzorčenje in analizni rezultati talnih substratov izbranih gozdnih ploskev

Marca leta 1993 smo vzorčili talne vzorce ploskev pretežno Oh/Ah horizonta tal. Vzorčili smo ob smrekah, ki so rastle na ploskvah tako, da smo odstranili zgornjo plast opada. Vso zemljo smo nato premešali in presejali v laboratoriju skozi 2 mm sito. Približno kilogram presejanega povprečnega vzorca substrata smo nato dali v analizo, ki so jo opravili v kemijskem laboratoriju Gozdarskega inštituta Slovenije. Analizni rezultati talnih vzorcev so prikazani v preglednici 1 in preglednici 2. Oznaka za posamezne ploskve je začetna črka območja, kjer se ploskev nahaja, in številka ploskve.

Preglednica 1: Analitični rezultati presejanih talnih vzorcev.

Table 1: *Analytical data on the sieved soil substrates.*

	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	humus [g/kg]	C [g/kg]	N [g/kg]	C/N
M5	3.8	3.36	293.1	170	8.2	21
M2	4.2	3.43	232.7	135	6.5	21
Z5	4.3	3.76	112.1	65	3	22
Z4	4.3	3.66	224.1	130	6.6	20

Preglednica 2: Podatki o kationski izmenjalni kapaciteti (KIK).

Table 2: *Data on cation exchange capacity (CEC) of the sieved soil substrates.*

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	H ⁺	KIK	V (%)
	[cmol ⁺ /kg]									
M5	3.11	0.90	0.50	0.17	15.60	2.17	0.17	7.2	29.65	15
M2	3.45	0.89	0.35	0.08	13.70	1.40	0.11	46	24.50	19
Z5	0.61	0.19	0.14	0.08	5.88	0	0.29	1.6	8.71	11
Z4	1.69	0.43	0.19	0.08	10.27	0.35	0.16	3.4	16.49	14

Vsebnosti ogljika in dušika v presejanih talnih vzorcih kombinirane plasti Oh/Ah na ploskvi Z5, največje pa v preučevani talni plasti s ploskve 5 iz Mislinjskega grabna. Razmerje C/N (20 - 22) kaže na prhlinasto obliko humusa na vseh štirih raziskovalnih ploskvah. Vrednost KIK (Preglednica 2) je največja v talni plasti M5

(29.7 $\text{cmol}^{(+)} / \text{kg tal}$) in je po Killianu (KILLIAN 1992) v visokem območju KIK vrednosti (20.1 - 40 $\text{cmol}^{(+)} / \text{kg tal}$). V Zavodnjah na ploskvi Z5 je vrednost KIK v plasti Oh/Ah nizka (8.7 $\text{cmol}^{(+)} / \text{kg tal}$). Podobno kot za KIK vrednosti velja tudi za vrednosti nasičenosti tal z bazičnimi kationi (V vrednosti), ki je najmanjša v tleh v Zavodnjah (ploskev Z5 - 8.7 %). Po Kilianu je ta vrednost zelo majhna in kaže na slabo izravnalno sposobnost. Na ploskvah Z4, M2 in M5 so V vrednosti nekoliko večje (14 - 19 %), vendar se še nahajajo v območju majhnih V vrednosti. Vsebnosti izmenljivih kationov (Ca, Mg, Al in Fe) so največje v tleh v Mislinjskem grabnu, najmanjše pa v talni plasti Oh/Ah v Zavodnjah (Z5), kar se lahko poveže s pH CaCl_2 vrednostjo preučevanih tal. Lastnosti gozdnih tal v Zavodnjah so slabše kot v Mislinjskem grabnu, tla so bolj občutljiva na vnose kislih usedlin.

2.2 METODA ANALIZE MIKORIZNEGA POTENCIALA TAL

Metoda, ki smo jo uporabili za analizo mikoriznega potenciala tal, je prirejena metoda lončne analize mikoriznega potenciala tal in je povzeta po KROPAČKU *et al.* (1988). Mikorizni potencial smo izrazili z deležem mikoriznih kratkih korenin glede na skupno število kratkih korenin v vzorcu. V vsakem lončku smo analizirali pet semenek. Skupno število semenek, ki so rastle na istem substratu je bilo dvajset v štirih lončkih oziroma petindvajset semenek v petih lončkih. Metoda analize mikoriznega potenciala tal predvideva analizo 25 semenek, ki rastejo v petih lončkih (pet semenek v enem lončku) na substratu z določene raziskovalne ploskve. Število ponovitev (semenek) smo izračunali tudi po formuli za preizkušanje razlik med malimi vzorci (ČOKL 1980). Sredi oktobra 1992 smo vzorčili tla za prvo serijo analiz, za drugo serijo analiz pa konec avgusta 1993. V lončke s talnimi substrati iz Mislinjskega grabna in Zavodenj smo posadili tri tedne stare semenke smreke, ki so vzkalile v petrijevkah na perlitu v sterilnem okolju. Površino substrata smo prekrili z alufolijo, tako da smo vsaj delno preprečili okužbe s sporami iz zraka. Lončke smo postavili v kalilnik, kjer so bili pogoji enaki za vse semenke. Štiri do šest mesecev so semenke rastle v pogojih s šestnajsturno dnevno svetlobo (intenziteta fotosintetsko aktivnega dela spektra = 90 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, celotni spekter = 17 Wm^{-2} , osvetljenost = 6.3 klux), temperatura je nihala med 220 in 250 C. Relativna vlaga zraka se je gibala med 50 - 80 %, ko pa je padla pod 50 %, smo semenke zalili. Po približno šestih mesecih smo analizirali morfološke in ekofiziološke parametre, na kratkih koreninah pa delež mikoriznih kratkih korenin in tipe ektomikorize. Raziskavo mikoriznega potenciala tal smo dvakrat

ponovili. Prvo serijo semenk smo analizirali med marcem in junijem 1993 (v nadaljevanju prva serija analiz), drugo pa med februarjem in junijem 1994 (druga serija analiz). V prvi seriji analiz smo v vsakem območju izbrali po dve ploskvi z različnim svetlobnim režimom, v območju Zavodnjah ploskev 4 in ploskev 5, v območju Mislinjskega grabna pa ploskev 2 in ploskev 5. Na podlagi meritev intenzitete fotosintetsko aktivnega dela spektra v jasnem vremenu, v dopoldanskem času (od 9 do 13 ure) smo ugotovili, da je zastrtost ploskve 5 v Zavodnjah in ploskve 5 v Mislinjskem grabnu približno 80 % (osvetljenost je 20 %), zastrtost ploskve 4 v Zavodnjah in ploskve 2 v Mislinjskem grabnu pa približno 50 %. Po dve in dve ploskvi sta bili torej primerljivi glede na svetlobni režim (ploskev 2 v Mislinjskem grabnu in ploskev 4 v Zavodnjah ter ploskev 5 v Mislinjskem grabnu in ploskev 5 v Zavodnjah).

V drugi seriji analiz smo se osredotočili le na ploskev 5 v Zavodnjah in ploskev 5 v Mislinjskem grabnu. Mikorizni potencial bolj in manj onesnaženega območja smo analizirali vzporedno, po en lonček s semenkami, ki so rastle na substratu s ploskve 5 v Zavodnjah, in en lonček s semenkami na substratu s ploskve 5 v Mislinjskem grabnu.

2.3 KLASIFIKACIJA TIPOV EKTOMIKORIZE IN DELEŽ MIKORIZNIH KRATKIH KORENIN

Izbrali smo po štiri lončke (prva serija analiz) oziroma pet lončkov (druga serija analiz) s substratom z vsake ploskve in analizirali po pet semenk iz vsakega lončka. Pri vsaki semeni smo prešteli vse korenine ne glede na dolžino in določili delež mikoriznih kratkih korenin. Od celotne vsote mikoriznih kratkih korenin smo odšteli mikorizne kratke korenine, kjer je bila mikoriza prestara ali pogosteje premalo razvita, da bi lahko določali tipe ektomikorize. V drugi skupini mikoriznih kratkih korenin smo nato določali tipe ektomikorize po metodah, opisanih v Barvnem atlasu ektomikorize (AGERER 1987 - 1996). Določanje tipov ektomikorize je potekalo v sodelovanju s skupino prof. dr. Reinharda Agererja z Inštituta za sistematsko botaniko v Münchenu in dr. Hojke Kraigher z Gozdarskega inštituta Slovenije v Ljubljani. Atlas točno predpisuje postopek identifikacije tipov ektomikorize. Posamezne tipe ektomikorize smo primerjali z ustrežno izvirno literaturo (GRONBACH 1988, WEISS 1989, TREU 1990). Zbirka tipov ektomikorize je spravljena v laboratoriju Inštituta za ekološke raziskave ERICO Velenje.

2.4 MERITVE MORFOLOŠKIH PARAMETROV

Pri vseh semenkah smo stehali korenine in nadzemni del (sveže teže) z analitsko tehtnico. Iglicam smo določili tudi suho težo tako, da smo jih stehali po liofilizaciji. Suha teža je bila skupna suha teža iglic petih semenk iz lončka. Za vsak lonček posebej smo izračunali povprečne vrednosti sveže teže korenin in nadzemnega dela in suhe teže iglic.

2.6 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV

Statistično smo obdelali podatke s statističnim programom STATISTICA for Windows: Basic Statistics and Tables. Uporabili smo tudi Studentov t test, da bi ugotovili, ali se podatki statistično značilno razlikujejo med seboj in s kakšno verjetnostjo to lahko trdimo.

Vsi podatki (deleži mikorize, deleži tipov ektomikorize, teže, vodni potencial in koncentracije pigmentov) so preračunani na en lonček. V vsakem lončku je pet semenk, torej je rezultat za določen lonček vedno povprečje petih vrednosti. Vse standardne deviacije (SD) so izračunane na podlagi celotnega števila semenk, ki so rastle na istem substratu. V preglednicah so v oklepajih prikazane minimalne in maksimalne vrednosti.

V histogramih in tabelah smo uporabljali naslednje oznake za stopnjo značilne razlike glede na semenke, ki so rastle na različnih substratih:

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

| standardna deviacija (SD)

3 REZULTATI

3.1 DELEŽI MIKORIZE IN ŠTEVILO KRATKIH KORENIN

Skupno število kratkih korenin, ki smo jih analizirali v prvi seriji analiz (Preglednica 3), je bilo 8358 pri 80 semenkah. V prvi seriji analiz smo pregledali enako število semenk za vsako ploskev, tako da je število kratkih korenin med seboj tudi direktno primerljivo. Obakrat je bilo skupno število kratkih korenin večje pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskev iz Mislinjskega grabna.

Preglednica 3: Skupno število kratkih korenin pri semenkah smreke v obdobju marec - junij 1993.

Table 3: Total Number of Short Roots in Norway Spruce Seedlings between March and June 1993.

	Število kratkih korenin (marec - junij 1993) <i>Number of sh. roots</i>	Skupaj <i>Total</i>
Mislinjski graben pl. 5	2536	5174
Mislinjski graben pl. 2	2638	
Zavodnje pl. 5	804	3184
Zavodnje pl. 4	2380	
skupaj	8358	8358

V preglednici 4 so prikazani deleži nemikoriznih kratkih korenin, deleži določljivih in deleži nedoločljivih mikoriznih kratkih korenin. Poleg povprečnih vrednosti so prikazane standardne deviacije (SD). Slednje kažejo, da je variabilnost števila kratkih korenin in deležev nemikoriznih in mikoriznih kratkih korenin tako velika, da teh podatkov statistično ne moremo analizirati.

Mikoriznih korenin, ki jih iz različnih vzrokov nismo mogli določiti, je bilo pri vseh štirih ploskvah največ. Delež nemikoriznih kratkih korenin je bil največji pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve 5 v Zavodnjah (20.8 %), najmanjši delež pa ima ploskev 2 v Mislinjskem grabnu (2.9 %). Na koreninah semenk, ki so rastle na substratu s ploskve 5 v Mislinjskem grabnu, smo določili največji delež določljivih tipov ektomikorize (14.5 %). V splošnem je bil delež mikoriznih kratkih korenin večji pri semenkah substratu iz Mislinjskega grabna.

Preglednica 4: Delež mikoriznih, nemikoriznih, delež nedoločljivih kratkih korenin in število kratkih korenin, ki smo jih določili v prvi seriji analiz (marec - junij 1993).

Table 4: The Share of Mycorrhizal, Non-mycorrhizal, Undefinable Short Roots and the Number of Short Roots Established in the First Series of Analyses (March -June 1993).

	Št. kratkih korenin <i>Number of short roots</i>	% nemikoriznih kr. korenin <i>Non-my. short roots</i>	% določljivih mik. kratkih korenin <i>Definable my. short roots</i>	% nedoločljivih mik. kratkih korenin <i>Undefinable my. short roots</i>
Mislinjski graben ploskev 5	126.8 ± 72.9 (43, 294)	6.6 ± 7.3 (0.8, 32.6)	14.5 ± 11.1 (2.4, 36.8)	78.9 ± 13.2 (45.2, 93.7)
Mislinjski graben ploskev 2	131.9 ± 61.5 (54, 283)	2.96 ± 2.9 (0, 15.1)	1.6 ± 2.6 (0, 6.8)	95.4 ± 4.6 (82.6, 100)
Zavodnje ploskev 5	40.2 ± 25.9 (8, 84)	20.8 ± 24.5 (0, 100)	9.6 ± 10.2 (0, 33.3)	69.6 ± 25.4 (0, 100)
Zavodnje ploskev 4	119 ± 52.8 (20, 229)	10.6 ± 7.8 (0, 24.6)	6.8 ± 8.1 (0, 22.7)	82.6 ± 11 (62.9, 100)

V drugi seriji analiz (februar - avgust 1994) smo analizirali 43529 kratkih korenin, od tega 24476 kratkih korenin 85 semenek, ki so rastle na substratu s ploskve 5 iz Mislinjskega grabna, in 19053 kratkih korenin 75 semenek, ki so rastle na substratu s ploskve 5 iz Zavodenj (Preglednica 5). Semenke prvih petih lončkov smo analizirali v obdobju od februarja do junija 1994, ostale semenke pa julija in avgusta.

Preglednica 5: Skupno število kratkih korenin pri semenkah smreke v obdobju februar - avgust 1994.

Table 5: Total Number of Short Roots in Norway Spruce Seedlings from February - August 1994.

	Število kratkih korenin (februar - junij 1994) <i>Number of sh. roots</i>	Število kratkih korenin (julij - avgust 1994) <i>Number of sh. roots</i>	Skupaj <i>Total</i>
Mislinjski graben pl. 5	5150 (v 5 lončkih)	19326 (v 12 lončkih)	24476
Zavodnje pl. 5	4683 (v 5 lončkih)	14370 (v 10 lončkih)	19053
skupaj	9833	33696	43529

Prvih 25 semenek z vsake ploskve smo analizirali v časovnem obdobju štirih mesecev in jim določili tudi tipe ektomikorize. Povprečno število kratkih korenin za to obdobje je nekoliko večje pri semenkah, ki so rastle na substratu iz Mislinjskega grabna, vendar razlika ni statistično značilna (Preglednica 6, 7). Tudi v drugi seriji analiz je bil delež mikoriznih kratkih korenin večji pri semenkah, ki so rastle na substratu iz Mislinjskega grabna (Preglednica 6), vendar o statistično značilnih razlikah zaradi variabilnosti ne moremo govoriti. Delež nemikoriznih kratkih korenin je znašal za vse semenke, ki so rastle na substratu iz Mislinjskega grabna, 18.1 %, za semenke, ki so rastle na substratu iz Zavodenj, pa je delež nemikoriznih kratkih korenin znašal 25.9 %. Nekoliko več ektomikoriznih tipov smo določili semenkam, ki so rastle na substratu iz Mislinjskega grabna. Delež nedoločljivih mikoriznih kratkih korenin je bil pri semenkah s substrata iz Mislinjskega grabna, in pri semenkah s substrata iz Zavodenj, približno enak in je znašal okoli 60 %.

Ob koncu poskusa (v mesecu juliju oziroma avgustu) smo prešteli kratke korenine in določili deleže mikoriznih kratkih korenin vsem ostalim semenkam v kalilniku. Ugotovili smo, da je bilo število kratkih korenin tudi pri nekoliko starejših

semenkah (sedem do osem mesecev stare semenke) večje pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve iz Mislinjskega grabna (Preglednica 7). Dodatno smo določili odstotek mikoriznih kratkih korenin še semenkam v desetih (Zavodnje) oziroma v dvanajstih lončkih (Mislinjski graben). Pri teh semenkah zaradi časovnih razlogov tipov ektomikorize nismo določali. Skupno povprečje nemikoriznih kratkih korenin teh zadnjih semenk znaša 1 % (Mislinjski graben) oziroma 1.8 % (Zavodnje), torej so po sedmih oziroma osmih mesecih skoraj vse kratke korenine mikorizne (Preglednica 7). Vendar tudi v tem primeru nismo podatkov statistično analizirali zaradi variabilnosti znotraj obeh skupin.

Preglednica 6: Delež mikoriznih, nemikoriznih in nedoločljivih kratkih korenin in število kratkih korenin, ki smo jih določili v drugi seriji analiz (februar - junij 1994).

Table 6: *The Share of Mycorrhizal, Non-mycorrhizal and Undefinable Short Roots and the Number of Short Roots Established in the Second Series of the Analyses (February - June 1994).*

	Št. kratkih korenin <i>Number of sh. roots</i>	% nemikoriznih kratkih korenin <i>Non-my. short roots</i>	% določljivih mik. kratkih korenin <i>Definable my. short roots</i>	% nedoločljivih mik. kratkih korenin <i>Undefinable my. short roots</i>
Mislinjski graben pl.5 (feb.-jun. 94)	206 ± 82.6 (80, 342)	18.1 ± 13.4 (1.8, 59.6)	17.4 ± 12.2 (1.5, 40.9)	64.5 ± 16.4 (32.9, 94.1)
Zavodnje pl.5 (feb.- jun. 94)	187.9 ± 61.5 (49, 329)	25.9 ± 27.4 (0.4, 71.7)	13 ± 16.2 (0, 57.7)	61.1 ± 22.1 (15.4, 91.8)

Preglednica 7: Delež mikoriznih, nemikoriznih in nedoločljivih kratkih korenin in število kratkih korenin, ki smo jih določili v drugi seriji analiz (julij - avgust 1994).

Table 7: *The Share of Mycorrhizal, Non-mycorrhizal and Undefinable Short Roots and the Number of Short Roots Established in the Second Series of the Analyses (July - August 1994).*

	Št. kratkih korenin <i>Number of sh. roots</i>	% nemikoriznih kratkih korenin <i>Non-my. short roots</i>	% mikoriznih kratkih korenin <i>Mycorrhizal sh. roots</i>
Mislinjski graben pl.5 (julij- avg. 94)	322 ± 110.3 (230, 418)	1.1 ± 0.6 (0.3, 2.4)	98.9 ± 0.6 (87.9, 99.7)
Zavodnje pl.5 (julij- avg. 94)	287 ± 96.9 (202, 373)	1.8 ± 0.8 (0.7, 2.8)	98.2 ± 0.8 (97.2, 99.3)

3.2 TIPI EKTOMIKORIZE

Vsi deleži ektomikoriznih tipov so prikazani v spodnjih preglednicah (Preglednici 8, 9) in preračunani na en lonček. V prvi seriji analiz smo identificirali štiri tipe ektomikorize, katerih opisi ustrezajo naslednjim: *Piceirhiza horti - atrata* (tip ektomikorize A93), *Piceirhiza guttata* (tip ektomikorize B93) in *Piceirhiza horti - inflata* (tip ektomikorize D93). Tip ektomikorize C93 je najverjetneje doslej še neopisan tip ektomikorize. Najpogosteje se pojavljajo na kratkih koreninah semenk, ki rastejo na substratih z različnih ploskev, trije tipi ektomikorize, le v enem primeru (Zavodnje, ploskev 4) najdemo štiri tipe ektomikorize. Tip ektomikorize *Piceirhiza guttata* (B93) najdemo pri semenkah, ki rastejo na vseh štirih substratih.

Preglednica 8: Povprečni deleži tipov ektomikorize na kratkih koreninah semenk, ki so rastle na substratih s ploskev iz Mislinjskega grabna in s ploskev iz Zavodnj (marec - junij 1993).

Table 8: *The Averages Shares of Ectomycorrhiza in Short Roots of Seedlings which Grew on Substrates in the Plots from the Mislinjski graben and those from Zavodnje (March - June 1993).*

	Ektomikorizni tip <i>Ectomycoriza</i> A93 (%)	Ektomikorizni tip <i>Ectomycoriza</i> B93 (%)	Ektomikorizni tip <i>Ectomycoriza</i> C93 (%)	Ektomikorizni tip <i>Ectomycoriza</i> D93 (%)
Mislinjski graben pl. 5	0	47.6	5.3	47.1
Mislinjski graben pl. 2	4.6	29.6	40.8	0.0
Zavodnje ploskev 5	4.2	70.8	0	25
Zavodnje ploskev 4	16.7	66.0	17	0.3

V letu 1994 smo pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve 5 iz Mislinjskega grabna, določili tri oziroma štiri tipe ektomikorize, pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve 5 v Zavodnjah, pa dva oziroma tri tipe ektomikorize. V glavnem se niso pojavljali isti tipi ektomikorize. Skupna je le skupina "črnih" tipov ektomikorize, ki so se pojavili na obeh lokacijah. V skupini "črnih" tipov ektomikorize sta združena dva tipa ektomikorize, prvi je tip *Cenococum geophilum* in ga ni težko identificirati, drugega pa smo označili s

črko H94 in je verjetno doslej še neopisan tip. Makroskopsko obeh tipov ektomikorize praktično ni možno ločiti, zato smo ju združili. Vsi tipi ektomikorize, ki smo jih identificirali v drugi seriji analiz, razen tipa *Cenococum geophilum*, so najverjetneje doslej še neopisani tipi ektomikorize.

Preglednica 9: Deleži tipov ektomikorize na kratkih koreninah semenk, ki so rastle na substratih s ploskve 5 iz Mislinjskega grabna in s ploskve 5 iz Zavodnj (februar - junij 1994).

Table 9: *The Shares of Ectomycorrhiza Occurring in Short Roots of Seedlings which Grew on Substrates in Plot No.5 from the Mislinjski graben and in Plot No. 5 from Zavodnje (February - June 1994).*

	Ektomikorizni tip <i>Ectomycoriza</i> E94 (%)	Ektomikorizni tip <i>Ectomycoriza</i> F94 (%)	Ektomikorizni tip <i>Ectomycoriza</i> G94 (%)	Črni tipi ektomikorize <i>Ectomycoriza</i> (C. g. + H94)
Mislinjski graben pl. 5	35.4	0	2.2	62.4
Zavodnje ploskev 5	0	44.2	0	35.8

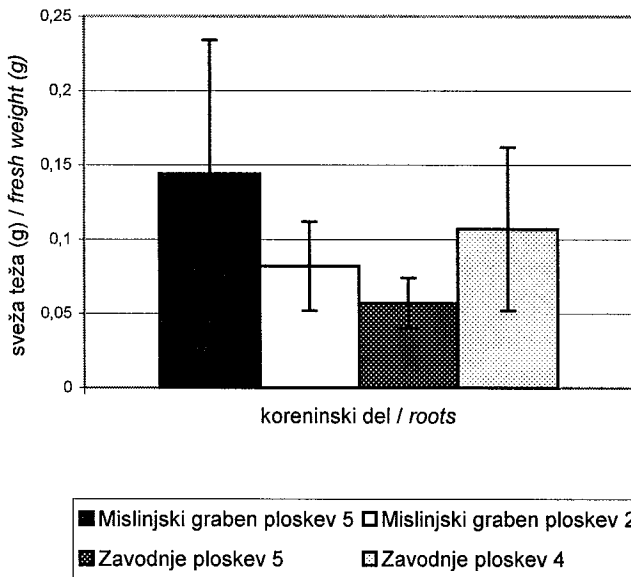
3.3 TEŽE SEMENK

Vsem semenkam smo določili svežo težo nadzemnega dela, korenin in suho težo iglic. V obdobju od marca do junija 1993 smo teže določili 40 semenkam s substrata s ploskve 5 in ploskve 4 iz Zavodnj, in 40 semenkam s substrata z dveh ploskev iz Mislinjskega grabna (ploskev 2 in ploskev 5). Najprej smo analizirali korenine semenk s ploskve 5 iz Mislinjskega grabna, in semenke, ki so rastle na substratu s ploskve 5 iz Zavodnj. Vedno smo analizirali po en lonček z vsake ploskve. Variabilnost znotraj posameznih skupin (semenke, ki so rastle na istem substratu) je tako različna, da statistično nismo analizirali podatkov.

Korenine in nadzemni del (Grafikon 1, 2) semenk, ki so rastle v lončkih z zemljo s ploskve 5 v Mislinjskem grabnu, so bile najtežje. Semenke s ploskve 5 v Zavodnjah so bile najlažje. Povprečne teže semenk s ploskve 4 v Zavodnjah in s ploskve 2 v Mislinjskem grabnu so bile približno enake in višje od povprečnih tež semenk ploskve 5 v Zavodnjah. Slednji rezultat je razumljiv, saj so bile semenke zadnjih dveh ploskev vsaj mesec dni starejše v primerjavi s tistimi s prvih dveh ploskev, zato teh dveh skupin semenk ne moremo primerjati.

Semenke iz prvih petih lončkov (Zavodnje: Z1 do Z5; Mislinjski graben: M1 do M5) smo stehali v obdobju od februarja do junija 1994, ostale semenke pa julija oziroma avgusta 1994. Korenine, nadzemni del semenk in iglice semenk, ki so rastle na substratu iz Mislinjskega grabna, so težje v primerjavi s semenkami, ki so rastle na substratu iz Zavodnej (Grafikon 3). To velja za semenke prvih petih lončkov pa tudi za vse semenke skupaj (za 85 semenk v 17 lončkih, ki so rastle na substratu iz Mislinjskega grabna, in 75 semenk v 15 lončkih s substratom iz Zavodnej). Povprečne teže semenk, ki so rastle na različnih substratih, smo statistično analizirali in ugotovili, da so povprečne teže korenin, nadzemnega dela in iglic značilno različne. Zaključimo torej lahko, da je biomasa semenk, ki so rastle na substratu iz Mislinjskega grabna, tudi statistično značilno večja.

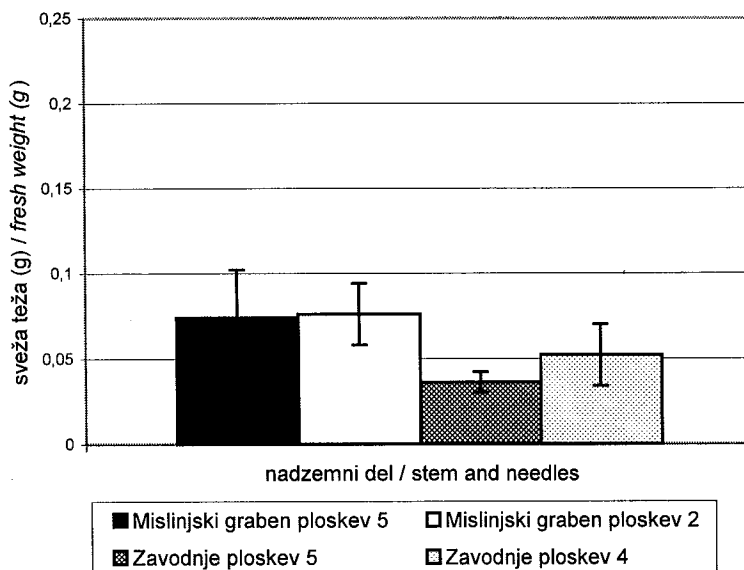
Povprečne mase / Average masses
(februar-junij 1993 / February-June 1993)



Grafikon 1: Skupne povprečne teže koreninskega dela semenk, ki so rastle na različnih substratih v prvi seriji analiz (oznaka I prikazuje povprečni odklon SD od povprečja).

Figure 1: Total Mean Weights of the Root Section of the Seedlings which Grew on Different Substrates in the First Series of the Analyses (Mark I indicates mean deviation MD from the average).

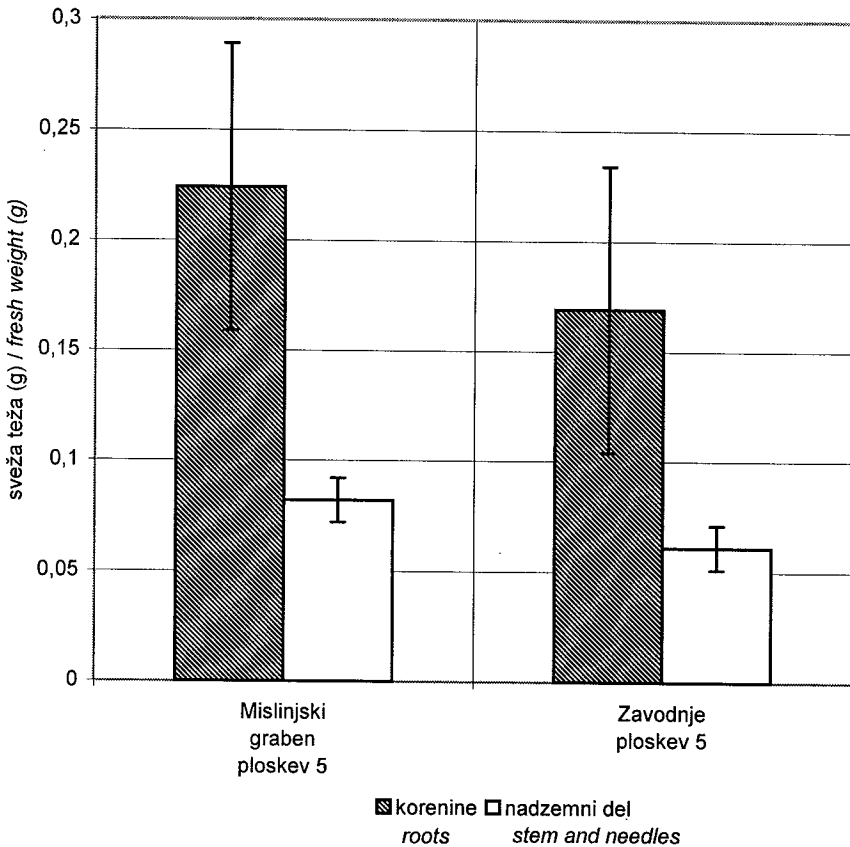
Povprečne mase / Average masses
(februar-junij 1993 / February-June 1993)



Grafikon 2: Skupne povprečne teže nadzemnega dela semenk, ki so rastle na različnih substratih v prvi seriji analiz (oznaka I prikazuje povprečni odklon SD od povprečja).

Figure 2: Total Mean Weights of the above the Ground Section of Seedlings which Grew on Different Substrates in the First Series of the Analyses (Mark I indicates mean deviation MD from the average).

Povprečne mase / Average masses
(februar-avgust 1993 / February-August 1994)



Grafikon 3: Skupne povprečne teže semenk, ki so rastle na različnih substratih v drugi seriji analiz (Označene so statistično značilne razlike med težami koreninskega in nadzemnega dela semenk, ki so rastle na različnih substratih (* za $P \leq 0.05$ in** za $P \leq 0.01$)).

Figure 3: Total Mean Weights of Seedlings which Grew on Different Substrates in the Second Series of the Analyses (Statistically characteristic differences between the weights of the root and the above the ground sections of seedlings which grew on different substrates are marked (* for $P \leq 0.05$ and ** $P \leq 0.01$)).

4 RAZPRAVA IN SKLEPI

Namen naloge je bil določiti mikorizni potencial različno onesnaženih gozdnih tal. Domnevali smo, da je v bolj onesnaženih tleh mikorizni potencial manjši. To naj bi se odražalo na deležu mikoriznih kratkih korenin in hkrati na razvoju koreninskega sistema. Semenske rastle v lončkih v kalilniku, tako da so bili pogoji za vse semenske enaki (temperatura, svetloba, relativna vlaga zraka, zalivanje), razlikoval se je le substrat, v katerem so rastle semenske. S to metodo so analizirali mikorizni potencial različno onesnaženih ploskev v čeških gozdovih (KROPAČEK *et al.* 1988) in jasno dokazali vpliv onesnaževanja, ki preko tal vpliva na vzpostavitev mikorize in na njeno delovanje. Ugotovili so, da večji kot je stres, revnejši je koreninski sistem in manjša je sposobnost tvorbe mikorize.

Analize mikoriznega potenciala tal v naši raziskavi so pripeljale do podobnih ugotovitev:

1. Če sta teža korenin in število kratkih korenin kazalca razvitosti koreninskega sistema, lahko trdimo, da je koreninski sistem semenk, ki so rastle na substratu s ploskve 5 iz Zavodenj, slabše razvit. Število kratkih korenin je bilo vedno večje pri semenkah, ki so rastle na substratu z manj onesnaženega območja, razen v prvi seriji analiz, ko smo primerjali semenske, ki so rastle na substratu s ploskve 4 iz Zavodenj, in tiste na substratu s ploskve 2 iz Mislinjskega grabna. Semenske, ki so rastle na substratu s teh dveh ploskev, so imele približno enako število kratkih korenin in enako biomaso. Na teh dveh ploskvah so svetlobni pogoji ugodnejši, drugačna je podrast, mineralizacija je hitrejša in je morda zaradi ugodnejših pogojev vpliv mikorizacije na razvoj koreninskega sistema manjši. Pogoji so torej na obeh ploskvah bolj izenačeni. To bi se lahko odražalo na približno enakem številu kratkih korenin in enaki biomasii semenk, ki so rastle na substratih s teh dveh ploskev.
2. Če zgornje rezultate primerjamo z deleži mikoriznih kratkih korenin, lahko zaključimo, da je koreninski sistem vedno bolj razvit pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve iz Mislinjskega grabna in da je pri šestmesečnih semenkah tudi delež mikoriznih kratkih korenin večji. Ta trditev se sklada z ugotovitvami različnih avtorjev, da je v območjih, izpostavljenih polucijskemu stresu, ektomikorizna simbioza motena. Mnogi avtorji poročajo, da se pojavlja

zmanjševanje mikorizne biomase (BLASCHKE 1990, KOCUREK / BYSTRICHAN 1989, KROPAČEK *et al.* 1988, MEJSTRIK 1989) in različne anatomsko-morfološke spremembe (KOTTKE *et al.* 1987) v povezavi s propadanjem gozdov.

Če povzamemo ugotovitve v povezavi s tipi ektomikorize:

1. Na kratkih koreninah semenk smo identificirali omejeno število tipov ektomikorize (do 9). V številu tipov ektomikorize ni bilo razlik med semenkami, ki so rastle na bolj oziroma manj onesnaženih substratih. Večinoma so se pojavljali trije, redkeje štirje ektomikorizni tipi na določenem substratu. Ko so leta 1990 analizirali mikorizni potencial tal različno onesnaženih gozdnih rastišč v imisijskem območju Termoelektrarne Šoštanj so tudi, podobno kot v naši raziskavi, identificirali manjše število tipov ektomikorize. Tam se je pojavljalo večinoma pet tipov ektomikorize, najmanj trije in največ sedem tipov ektomikorize (KRAIGHER 1990).
2. V vsaki seriji smo analizirali druge tipe ektomikorize, deležev teh tipov med seboj ne moremo primerjati.
3. Težko sklepamo o tem, ali je kateri od tipov ektomikorize v našem poskusu značilen za onesnažena območja ali ne. Črnih ektomikoriznih tipov ne moremo povezati z bolj onesnaženimi območji. Ta trditev se sklada tudi z rezultati KROPAČKA (1988), ki ravno tako ni našel korelacije med pojavljanjem črnih tipov in onesnaženimi ploskvami.
4. Črne tipe ektomikorize, ki so se pojavljali na kratkih koreninah smreke, so navadno povezovali s tipom ektomikorize *Cenococcum geophilum*, za ta tip pa domnevajo, da je zaradi debelejšega hifnega plašča odpornejši na onesnaževanje (KOWALSKI *et al.* 1987). Z našo raziskavo smo ugotovili, da dejansko vseh črnih tipov ne moremo povezati s tipom *Cenococcum geophilum* in da je v skupini črnih tipov vsaj še nekaj drugih.
5. V prvi seriji analiz (primerjava med ploskvijo 2 iz Mislinjskega grabna in ploskvijo 4 iz Zavodenj) so bili trije od štirih tipov ektomikorize skupni (tip A93, tip B93 in tip C93). To podobnost v pojavljanju tipov ektomikorize pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskev, kjer je bila osvetljenost večja,

lahko razložimo s hitrejšo mineralizacijo in večjo raznolikostjo ektomikoriznih gliv na ploskvah.

6. V drugi seriji analiz (ploskvi z enako osvetljenostjo) so bili skupni na obeh substratih le "črni tipi", ostali pa so se pojavljali le pri substratu iz Zavodenj (tip F94) oziroma pri semenkah, ki so rastle na substratu s ploskve iz Mislinjskega grabna (tip E94 in tip G94).
7. Če primerjamo tipe ektomikorize, ki smo jih identificirali v naši raziskavi, z raziskavo omenjeno v prvi točki (KRAIGHER 1990), lahko ugotovimo, da so skupni trije tipi ektomikorize: *Piceirhiza horti - atrata*, *Piceirhiza guttata* in *Cenococcum geophilum*.
8. Razmeroma majhen je bil odstotek določljivih tipov, večinoma je bila mikoriza premalo razvita, da bi lahko uspešno določali tipe ektomikorize. Tudi drugi avtorji poročajo, da ima mikoriza, ki se razvije pri semenkah v lončkih, pogosto slabo razvit plašč ali pa je celo brez njega (BLASCHKE / WEISS 1990). Pri starejših semenkah, kjer je mogoča določitev vseh tipov ektomikorize (v naših poskusih je bila mikoriza premalo razvita), je mogoče modificirati to metodo glede na tipe ektomikorize, ki se pojavljajo pogosteje v neonesnaženih oziroma v onesnaženih talnih substratih (tipi ektomikorize kot bioindikatorji obremenjenosti tal).

Zaključimo lahko:

- Mikorizni potencial manj onesnaženega območja (Mislinjski graben) je bil večji.
- Koreninski sistem semenk, ki so rastle na substratu z manj onesnaženega območja, je bil bolj razvit.
- Hitrost mikorizacije kratkih korenin semenk, ki so rastle na različno onesnaženih substratih, se je razlikovala. Mikorizacija kratkih korenin je bila hitrejša pri semenkah, ki so rastle na manj onesnaženem substratu. Pri približno osemmesečnih semenkah pa so bile že skoraj vse kratke korenine mikorizne.
- Za analizo tipov ektomikorize bi moral poskus trajati dlje (1 do 2 leti), vendar bi bil takrat mikorizni potencial že izenačen.

- Identifikacijo tipov ektomikorize je bolje vezati na raziskave na samih ploskvah, ker je čas, potreben za raziskave tipov na kratkih koreninah semenk, ki rastejo v lončkih, predolg.
- Metoda lončne analize mikoriznega potenciala tal je primerna za hitrejše analize mikoriznega potenciala tal.
- Za točno ovrednotenje vplivov onesnaževanja na mikorizni potencial tal so potrebne dodatne raziskave. Poudariti velja, da smo vzeli vzorce tal vedno le z določenega mesta na ploskvi in da dejansko ne moremo govoriti o nekem reprezentančnem vzorcu tal.
- Ker smo v vsaki seriji določili druge tipe ektomikorize ne glede na to, da je bil vzorec Oh/Ah horizonta tal vzet z iste ploskve, sklepamo, da nismo zajeli vseh tipov ektomikorize in da je raznolikost tipov ektomikorize še mnogo večja.

5 VIRI

- AGERER, R., 1987-1996. Colour Atlas of Ectomycorrhizae.- Einhorn-Verlag, München.
- ALLEN, M. F., 1991. The ecology of mycorrhizae. Cambridge University Press, Cambridge, 180 s.
- ARNOLDS, E., 1989. Conservation of macrofungi in Europe.- Comm. no. 417 of the Biological Station, Wijster, Netherlands, 25 s.
- ARNOLDS, E., 1991. Decline of ectomycorrhizal fungi in Europe.- Agriculture, Ecosystems and Environment, 35, s. 209-244.
- BLASCHKE, H. / WEISS, M., 1990. Impact of Ozone, Acid Mist and Soil Characteristics on Growth and Development of Fine Roots and Ectomycoohiza of Young Clonal Norway Spruce.- Environmental Pollution 64, s. 255-263.
- CARL, E. A. / TRUELOVE, B., 1996. The rhizosphere.- Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 288 s.
- ČOKL, M., 1980. Gozdarski in lesnoindustrijski priročnik.- Tablice (peta izdaja). BF Ljubljana, VTOZD za gozdarstvo, 374 s.
- DIGHTON, J., 1991. Acquisition of nutrients from organic resources by mycorrhizal autrophic plants.- Experientia, 47, 4, s. 362-369.

- FAHLEY, T. J., 1992. Mycorrhizae and forest ecosystems.- *Mycorrhiza* 1, s. 83-89.
- FELLNER, R., 1988. Effects of acid deposition on the ectotrophic stability of mountain forest ecosystems in Central Europe (Czechoslovakia).- V: *Ectomycorrhizae and Acid Rain. Proc. Workshop on Ectomycorrhiza, 1987, Berg en Dal, The Netherlands, Bilthoven*, s. 116-121.
- FELLNER, R., 1989. Mycorrhizae - forming fungi as bioindicators of air pollution.- *Agriculture, Ecosystem, Environmental* 28, s. 115-120.
- GABROVŠEK, K. / GOGALA, N., 1990. Vpliv nekaterih ektomikoriznih gliv na rast sadik smreke (*Picea abies* L. Karst.).- *Biološki vestnik* 38, 3, s. 47-55.
- GARBAYE, J. 1991. Biological interactions in the mycorrhizosphere.- *Experientia*, 47, 4, s. 370-376.
- GERRETT, H. E. / CAENEY, I. L. / HEDRICK, H. G., 1982. The effect of ozone and sulphur dioxide on respiration of ectomycorrhizal fungi.- *Can. J. For. Res.* 12, s. 141-145.
- GIANINAZZI - PEARSON, V., 1984. Host- fungus Specificity, Recognition and Compatibility in Mycorrhizae.- V: *Genes involved in Microbe - Plant Interactions*, s. 225-254.
- GOGALA, N., 1979. Mikoriza - sožitje med gobo in višjo rastlino.- *Fiziološke raziskave in njihov pomen za gozdarstvo, Gozdarski vestnik*, 37, 1, s. 9-14.
- GOGALA, N., 1990. Vzroki propadanja mikoriznih gliv.- *Izkoriščanje in varstvo gozdne mikoflore. VTOZD za gozdarstvo BF, Ljubljana*, s. 48-55.
- GOGALA, N., 1991. Regulation of mycorrhizal infection by hormonal factors produced by host and fungi.- *Experientia*, 47, 4, s. 331-339.
- 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.
- HINTIKKA, V., 1987. Aluminum and manganese tolerance in ectomycorrhizal and saprophytic basidiomycetes.- *Aquilo Ser. Bot.*, 25, s. 68-70.
- HRČEK, D., 1988. Proučitev mezoklimatskih razmer v občini Velenje.- *Raziskovalna naloga Občinske raziskovalne skupnosti Velenje, Hidrometeorološki zavod SRS*.

- JURC, D. / BOGATAJ, N. / ELERŠEK, L. / KALAN, P. / KRAIGHER, H. / SIMONČIČ, P. / SMOLE, I. / SMOLEJ, I. / ZUPANČIČ, M., 1995. Popis poškodovanosti gozdov. Zaključno poročilo o rezultatih opravljenega znanstveno-raziskovalnega dela na področju aplikativnega raziskovanja.- Naslov projekta: Onesnaževanje zraka, padavin, tal in vodnih virov v Šaleški dolini pred pričetkom obratovanja odžvepljevalne naprave v TEŠ. Gozdarski inštitut Slovenije, 5 s.
- KOLAR, I., 1988. Umiranje smreke v gozdovih Šaleške doline.- Zbornik gozdarstva in lesarstva 34, s. 121-198.
- KOTTKE, I. / OBERWINKLER F., 1986. Mycorrhiza of forest trees structure and function.- Trees 1, s. 1-24.
- KOWALSKI, S. / WOJEWODA, W. / BARTNIK C. / RUPIK, A., 1989. Mycorrhizal species composition and infection patterns in forest plantations exposed to different levels of industrial pollution.- Agriculture, Ecosystems and Environment, 28, s. 249-255.
- KRAIGHER, H., 1990. Raziskave mikorize pri smreki v različno onesnaženih okoljih.- Raziskovalna naloga, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani.
- KRAIGHER, H., 1991. Mineralna prehrana mikoriznih smrek na Pohorju.- Magistrska naloga, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za biologijo.
- 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.
- KRAIGHER, H., 1995. Mikoriza nekaterih drevesnih in grmovnih vrst v Sloveniji.- V: Prezrte drevesne vrste. Zbornik seminarja, Dolenjske toplice, 9. in 10. november, 1995, s. 127-138.
- KRAIGHER, H. / BATIČ, F. / AGERER, R., 1995. Mycobioidication of forest site pollution.- Proc. of Bioindication of Forest Site Pollution: Development of Methodology and training. Ljubljana, August, 22-31. 1995, s. 195-200.
- KRAIGHER, H. / BATIČ, F. / AGERER, R., 1996. Types of ectomycorrhizae and mycobioidikation of forest site pollution.- Phytion, 36.

- KRAIGHER, H., 1996. Tipi ektomikorize - taksonomija, pomen in aplikacija.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 49, 1996, s. 33-66.
- KROPAČEK, K. / KRISTINOVA, M. / CHEMELIKOVA, E. / CUDLIN, P., 1988. The mycorrhizal inoculation potencial of forest soils exposed to different polutions stress.- V: Proceedings of 2nd European Symposium on Mycorrhizae. Praga, avgust 1988.
- LAST, F.T. *et all.*, 1987. Successions of Sheathing Mycorrhizal Fungi.- Tree, 2, 6.
- MARKS, G. C. / FOSTER, R. C., 1973. Ectomycorrhizae - Their ecology and physiology.- Academic Press, New York, London, s. 1-41.
- MEJSTRIK, V., 1989. Ectomycorrhizae and forest decline.- Agriculture, Ecosysteme and Enviromenment 28, s. 325-337.
- MEYER, F. H., 1982. Bäume in der Stadt.- E. Ulmer, Stuttgart, s. 214-216.
- MEYER, F. H., 1989. I. Symbiosen: Mycorrhiza, a) Ectomycorrhiza.- Progr. Bot., 51, s. 375 -390.
- MORSELT, A. F. W. / SMITS, W. T. M. / LIMONARD, T., 1986. Histochemical demonstration of heavy metal tolerance in ectomycorrhizal fungi.- Plant and Soil, 96, s. 417-420.
- NEWMAN, E. I. / REDELL, P., 1987. The distribution of mycorrhizas among families of vascular plants.- New Phytol., 106, s. 754 -752.
- PANKOW, W. / NIEDERER M. / WIESER U. / SCHMID, B. / BOLLER, T. / WIEMKEN, A., 1989. Biochemical symptoms of the stress in the mycorrhizal roots of the Norway spruce (*Picea abies*).- Tree, 3, s. 65-72.
- PANKOW, W. / BOLLER, T. / WIEMKEN, A., 1991. The significance of mycorrhizas for protective ecosystems.- Experientia, 47, 4, s. 391-394.
- PFANZ, H. / WEIKERT, R. / HEBER, U. / LANGE, O. L., 1989. Photosynthesis of damaged and undamaged forest trees: A study with spruce in the Fichtelgebirge.- International Congress on Forest Decline Research: State Of Knowledge and Perspectives, 2 - 6 Oktober, 1989, s. 527-550.
- READ, D. J. / FRANCIS, R. / FINLAY, R. D., 1985. Mycorrhizal mycelia and nutrient cycling in plant communities.- V: Ecological Interactions in Soil: Plants, Microbes and Animals, Oxford, s. 193-217.
- READ, D. J., 1991. Mycorrhizas in ecosystems.- Experientia, 47, 4, s. 376-390.
- TAYLOR, AFS., 1995. Ectomycorrhizal response to enviromental perturbation.- Proc. of BIOFOSP, Ljubljana, August, 22. - 31. 1995, s. 173-180.

- TRUE, R., 1990. Charakterisierung und Identifizierung von Ektomykorrhizen aus dem National Berchtesgaden.- *Bibliotheca Mycologica*, Bd. 134, 169 s.
- WERNER, D., 1992. *Symbiosis of Plant and Microbes*.- Chapman & Hall. London.
- ŽEL, J. / GOGALA, N., 1989. Influence aluminium on mycorrhizae.- *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 28, s. 569-573.

6 ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem doc. dr. Hojki Kraigher za vso strokovno pomoč, nasvete, za ideje in za organizacijo. Zahvaljujem se tudi prof. dr. Nadi Gogala in prof. dr. Francu Batiču za strokovne nasvete in pomoč pri izvedbi naloge.

Raziskavo je sofinanciralo Ministrstvo za znanost in tehnologijo. Delo na Inštitutu za sistematsko botaniko v Münchnu je omogočil program: Tempus JEP 04667-93/2 "Bioindikation of forest site pollution - Development of methodology and training".