

NEKE MIKROBIOLOŠKE ZNAČAJKE TALA I PRIRODNO POMLAĐIVANJE ŠUMSKIH OTVORA OŠTEĆENIH ŠUMSKIH EKOSUSTAVA OBIČNE JELE (*Abies alba* Mill.) U GORSKOM KOTARU

MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SOILS AND NATURAL
REGENERATION OF FOREST GAPS WITHIN DAMAGED FOREST
ECOSYSTEMS OF THE SILVER FIR (*Abies Alba* Mill.) IN GORSKI KOTAR

**Damir UGARKOVIĆ¹, Ivica TIKVIĆ¹, Zvonko SELETKOVIĆ²,
Milan ORŠANIĆ¹, Ivan SELETKOVIĆ², Mihaela BLAŽINKOV³,
Mirna MRKONJIĆ FUKA³, Sulejman REDŽEPOVIĆ³**

SAŽETAK: Obična jela (*Abies alba* Mill.) je najoštećenija vrsta šumskog drveća u Republici Hrvatskoj. Kao posljedica promjene prirodnih stanišnih čimbenika javlja se propadanje i iznenadno odumiranje njezinih stabala. Zbog intenzivnog odumiranja stabala dolazi do prekida sklopa i stvaranja manjih ili većih šumskih otvora. Takve pojave izazivaju promjenu mikroklimatskih i mikrobioloških uvjeta te probleme kod pomlađivanja. Istraživanja su provedena u Gorskom kotaru, u području bukovo-jelovih i jelovih šuma. Osnovni cilj istraživanja bio je utvrditi promjene kemijskog i mikrobiološkog sastava tla šumskih otvora, te prirodno pomlađivanje na njima. Obavljene su kemijske i mikrobiološke analize šumskog tla. Mikrobiološke analize tla obuhvaćale se određivanje broja bakterija i gljiva, kao i zastupljenost funkcionalnih skupina mikroorganizama. Prema kemijskim pokazateljima utvrđene su veće vrijednosti u kontrolnim plohama (šumska sastojina) u odnosu na velike šumske otvore. Iznimka je bio mali šumski otvor, gdje su vrijednosti kemijskih varijabli tla bile veće u otvoru nego na pripadajućoj kontrolnoj plohi. U pogledu zastupljenosti pojedinih funkcionalnih skupina mikroorganizama mali šumski otvor ima srednju biogenost tla, dok veliki otvori imaju slabu biogenost tla. U velikom otvoru u šumi bukve i jele utvrđen je manji broj aerobnih asimbiotskih fiksatora dušika i celulolitičkih gljiva u odnosu na kontrolnu plohu. Mali otvor u šumi bukve i jele imao je veću zastupljenost pojedinih funkcionalnih skupina mikroorganizama tla u odnosu na pripadajuću kontrolnu plohu, osim celulolitičkih gljiva. Najveća biogenost tla utvrđena je u malom otvoru. U velikom otvoru u šumi jele s rebračom u odnosu na kontrolnu plohu utvrđen je značajno manji ukupan broj gljiva i celulolitičkih gljiva. S obzirom na brojnost starijih biljaka utvrđena je dobra pomlađenost listopadnim vrstama drveća unutar samih otvora i to gorskim javorom i običnom bukvom.

Cljučne riječi: obična jela, šumski otvori, mikrobiološke značajke tala, funkcionalne skupine mikroorganizama u tlu, odumiranje stabala, prirodno pomlađivanje.

¹ Dr. sc. Damir Ugarković, izv. prof. dr. sc. Ivica Tikvić, prof. dr. sc. Milan Oršanić, Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: damir.ugarkovic@gs.htnet.hr

² Prof. dr. sc. Zvonko Seletković, dr. sc. Ivan Seletković, Zavod za ekologiju šuma Hrvatski šumarski institut, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko, Hrvatska

³ Doc. dr. sc. Mihaela Blažinkov, doc. dr. sc. Mirna Mrkonjić Fuka, dr. sc. Sulejman Redžepović, prof. em., Zavod za mikrobiologiju, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska

UVOD – Introduction

Prema procjeni oštećenosti krošnja po Međunarodnom programu za procjenu i motrenje utjecaja zračnog onečišćenja na šume (ICP Forests) obična jela (*Abies alba* Mill.) je najoštećenija vrsta šumskog drveća u Hrvatskoj. Postotak značajno oštećenih stabala od 2000. godine iznosi preko 70 % (Potočić i dr. 2008). Sadašnje stanje jelovih šuma obilježeno je poremećenom prebornom strukturom, što je razlogom niza promjena u tim šumama: loše ili potpuno izostalo prirodno pomlađivanje obične jele, smanjenje ili povećanje drvene zalihe u odnosu na normalu, smanjenje vitalnosti i odumiranje dominantnih stabala. Osim toga, značajni su i negativni utjecaji kiselih kiša, promjene u sastojinskoj mikroklimi, degradacija šumskog tla zbog zakorovljenja, erozije, smanjenja mikrobiološke aktivnosti i nagomilavanja sirovog humusa, pojava sekundarnih štetnika koji ubrzavaju proces odumiranja stabala obične jele i povećanje udjela obične bukve (Matić i dr. 1996).

Jela je glavninom svoga areala u Hrvatskoj vezana ponajprije na Dinaride – Veliku i Malu Kapelu, veći dio Velebita, Ličku Plješivicu, sjeverne padine Dinare i Kamešnice te izolirane sastojine na sjevernim padinama Biokova (Trinajstić, 2001).

Propadanje i odumiranje stabala obične jele u hrvatskom arealu te vrste, a osobito u dinarskom dijelu, povezano je s kompleksnim djelovanjem abiotskih i biotskih čimbenika.

U posljednjih nekoliko desetljeća prošloga stoljeća zabilježeno je značajno odumiranje stabala obične jele u Gorskom kotaru, a posebice na rubnim, južnim dijelovima njezina areala, ali i u središnjem dijelu (Matić i dr. 2001).

Kao posljedica promjene prirodnih stanišnih čimbenika javlja se propadanje i iznenadno odumiranje stabala. Ono je jedan od najvećih ekoloških problema u šumarstvu, a uzrokuje značajne gospodarske probleme, kao što je smanjenje drvene zalihe, izostanak prirodne obnove, zakorovljenje staništa i dr. Kronično propadanje i iznenadno odumiranje stabala pokazatelj je poremećaja u šumskim ekosustavima. Odumiranje stabala predstavlja potpuni prestanak svih fizioloških funkcija (Eckmüller i Sterba, 2000).

Zbog odumiranja stabla ili grupe stabala dolazi do prekida sklopa sastojine i stvaranja manjih ili većih šumskih otvora (Lundquist, 1993; Clinton, 2003). Takve pojave izazivaju promjenu mikroklimatskih i mi-

krobioloških uvjeta te probleme kod pomlađivanja (Ugarković, 2009). Prema Runkle (1982) šumski otvor je prekid sklopa sastojine nastao zbog nedostatka jednog ili više odumrlih, izvaljenih ili slomljenih stabala, unutar kojega je visina mladog naraštaja manja od 10 m. Prema Pravilniku o uređivanju šuma (Anon., 2006) otvor u sastojini nastao prekidom sklopa koji se ne može zatvoriti krošnjama susjednih stabala se naziva progaljen sklop. U ovom istraživanju su obrađivani veliki (> 1000 m²) i mali šumski otvori (< 1000 m²). Otvori u sastojini koji su rezultat nestanka stabala odlikuju se drukčijim ekološkim uvjetima od susjedne sklopljene sastojine (Hubbell i Foster, 1986; Muscolo i dr. 2007), što utječe na pojavu pomlađivanja (Brown, 1993).

Različite skupine mikroorganizama imaju važnu ulogu u šumskom ekosustavu, posebno u procesima kruženja tvari, mineralizacije organskih ostataka, simbioze s biljkama i dekompozicije organskih i anorganskih spojeva (Nannipieri i dr. 2003). Mogućnost šumskog tla da podržava populacije mikroorganizama ovisi o ekološkim, biološkim i fizikalnim čimbenicima u tlu. Prirodni ekološki čimbenici u tlu kao što su temperatura, količina hranjiva, vlažnost, pH i dr. utječu na pojavu, razvoj i funkcioniranje mikroorganizama u tlu. Promjena jednog ili više čimbenika utječe na život mikroorganizama. U okolnostima nestanka viših biljaka, kao što je sječa šuma i odumiranje stabala, opskrba hranjivima za mnoge mikroorganizme nestaje na određeno vrijeme i oni ugibaju. To se posebno odnosi na simbiotske mikroorganizme. Ponovna uspostava mutualističkog odnosa između mikroorganizama i biljaka je pretpostavka uspješnog razvoja viših biljaka. Mikroorganizmi, kao i ostali organizmi u šumskom ekosustavu, ovisni su o ekološkim čimbenicima. Kemijska i fizikalna svojstva tla predstavljaju najvažnije čimbenike za razvoj mikroorganizama u tlu. Raznolikost mikroorganizama rizosfere je pretpostavka stabilnosti šumskih ekosustava (Tikvić, 2001). Mikroorganizmi u tlu su ključni pokretači sinteze i mineralizacije organskih tvari, te je njihovo funkcioniranje u određenim tipovima tala različitog stupnja antropogenog utjecaja značajno za stabilnost šumskih ekosustava (Vasilj i dr. 2007).

Cilj istraživanja bio je utvrditi promjene kemijskog i mikrobiološkog sastava tla šumskih otvora, zatim biogenost tala te utvrditi stanje pomlađivanja šumskih otvora.

MATERIJAL I METODE RADA – Material and Methods

Istraživanja su provedena u Gorskom kotaru, u arealu bukovo-jelovih i jelovih šuma. Istraživanjima su obuhvaćene sastojine narušene stabilnosti i strukture, na rubnim, južnim područjima rasprostiranja obične jele prema primorju, u gospodarskim jedinicama Brloško i Kobiljak-Bi-

toraj šumarije Fužine, Uprava šuma Podružnica Delnice. Navedeno područje istraživanja je odabrano zbog naglašene nestabilnosti jelovih i bukovo-jelovih šuma na rubu njihova areala, kao i pojave propadanja i odumiranja stabala te čitavih sastojina (Matić i dr. 2001).

Pokusne plohe bile su postavljene u dvije najzastupljenije biljne zajednice obične jele kod nas, u dinarskoj bukovo-jelovoj šumi (*Omphalodo-Fagetum*

Tregubov 1957, Marinček 1993) i jelovoj šumi s rebračom (*Blechno-Abietetum* Horvat 1950).

Tablica 1. Opis i obilježja istraživanih pokusnih ploha (šumskih otvora i kontrolnih ploha) u arealu bukovo-jelovih i jelovih šuma Gorskog kotara

Table 1 Description and characteristics of the researched experimental plots (forest gaps and control plots) in beech-fir and fir forest areal of Gorski Kotar

Oznaka pokusne plohe <i>Experimental plot symbol</i>	Veličina ploha m ² <i>Plot area</i>	Biljna zajednica <i>Forest association</i>	Tip tla <i>Soil type</i>
Otvor 1 – O1 <i>Forest gap 1 – O1</i>	1200	Dinarska bukovo-jelova šuma <i>The Dinaric beech-fir forest</i>	Smeđe tlo na vapnencu i dolomitu <i>Calcocambisol</i>
Kontrola 1 – K1 <i>Control plot 1 – K1</i>	250		
Otvor 2 – O2 <i>Forest gap 2 – O2</i>	200		
Kontrola 2 – K2 <i>Control plot 2 – K2</i>	250		
Otvor 3 – O3 <i>Forest gap 3 – O3</i>	1500	Jelova šuma s rebračom <i>Fir forest with hard fern</i>	Kiselo smeđe tlo <i>Dystric cambisol</i>
Kontrola 3 – K3 <i>Control plot 3 – K3</i>	250		

Na područjima u kojima stabla obične jele intenzivno odumiru odabrali smo prema površini odumiranja dva veća i jedan manji šumski otvor (tablica 1). Šumski otvori nastali su nakon intenzivnog odumiranja stabala obične jele tj. nakon provedene sanitarne sječe prije 3 godine. Kontrolne plohe nalazile su se u neposrednoj blizini šumskih otvora u istim stanišnim uvjetima (tlo, geološka podloga, reljef) i sa istom biljnom zajednicom koja se razvijala na otvoru. Kontrolne plohe K1 i K2 su bile u dinarskoj bukovo-jelovoj šumi, a kontrolna ploha K3 bila je u jelovoj šumi s rebračom. Ukupna drvena zaliha na kontrolnoj plohi K1 iznosila je 316 m³/ha s odnosom debljinskih razreda 15 % : 44 % : 41 % (prema prsnim promjerima, 10-30 cm : 30-50 cm : > 50 cm). Kontrolna ploha K2 imala je drvenu zalihu od 518 m³/ha s odnosom debljinskih razreda 12 % : 45 % : 43 %. Kontrolna ploha K3 imala je drvenu zalihu od 596 m³/ha, a odnos debljinskih razreda bio je 9 % : 16 % : 75 %.

Svaka pokusna ploha iz tablice 1 podijeljena je na četiri podplohe. Unutar jedne podplohe pedološkom sondom su uzorkovana 24 uzorka tla do 10 cm dubine, iz čega je napravljen jedan kompozitni uzorak. Svaka podploha predstavljala je jednu repeticiju, te su dobivene 4 repeticije po pokusnoj plohi. Uzorkovanje tla obavljeno je tijekom ljeta 2007. godine. Analize šumskog tla napravljene su u laboratoriju Hrvatskog šumarskog instituta Jastrebarsko. Analize su obuhvaćale određivanje reakcije tla u H₂O i KCl na pH-metru HACH EC 30, ukupnog ugljika pomoću kalcimetra metodom po Scheibleru, ukupnog dušika na elementarnom analizatoru Leco CNS 2000 i humusa metodom po Tjurinu.

Za mikrobiološka istraživanja šumskih tala uzorkovanja obavljana su svaka dva mjeseca tijekom cijele go-

dine, na dubini od 10 cm u četiri ponavljanja. Ukupno su obrađena 144 uzorka sakupljena u 6 termina u razdoblju od jeseni 2007. do ljeta 2008. godine. Analize uzoraka napravljene su u Zavodu za mikrobiologiju Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Mikrobiološke analize obuhvaćale su određivanje broja bakterija dilucijom metodom (Wollum, A. G. 1982), određivanje broja gljiva (Atlas i Bartha, 1987), zastupljenost celulolitičkih gljiva i bakterija prema Priručniku za ispitivanje zemljišta i voda (Anon., 1966), zastupljenost amonifikatora metodom najvjerojatnijeg broja (Most Probable Number) i MPN metodom na mikrotitarskim pločama (Schmidt i Belser, 1994), te zastupljenost asimbiotičkih fiksatora dušika.

Utvrđivanje dimenzija šumskih otvora napravljeno je iskolčenjem poligona po njihovom rubu (tablica 1). Površina je izračunata prema formuli za elipsu (Runkle, 1982). Unutar svakog otvora i pripadajuće kontrolne plohe, na sjecištu mreže 10 x 10 m postavljene su manje plohe dimenzija 1,5 x 1,5 m radi utvrđivanja brojnosti mladog naraštaja. Ukupno je obrađeno 365 takvih ploha. Statistička obrada podataka (deskriptivna statistika i Studentov t-test) provedena je u statističkom programu Statistica 7.1. (StatSoft, Inc. 2003) i SAS 8.2.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA – Results of research

1. Pedološke značajke šumskih tala – Pedological characteristics of forest soils

Većina kemijskih varijabli tla u otvorima O1 i O3 imale su manje vrijednosti u odnosu na kontrolne plohe K1 i K3 (tablica 2). Iznimka je mali šumski otvor gdje su kemijske varijable tla bile veće u otvoru O2 u od-

nosu na pripadajuću kontrolnu plohu K2. Vrijednosti pH tla i C:N odnos bili su veći u otvoru O3 u odnosu na pripadajuću kontrolu.

Tablica 2. Srednje vrijednosti kemijskih značajki šumskih tala na otvorima i kontrolnim ploham u bukovo-jelovim i jelovim šumama Gorskog kotara

Table 2. Average values of forest soil chemical characteristics in forest gaps and control plots in beech-fir and fir forests of Gorski Kotar

Pokusne plohe <i>Experimental plots</i>	Kemijske varijable tla – <i>Soil chemical variables</i>							
	pH H ₂ O	pH 1M KCl	Organska tvar <i>Organic matter</i> (%)	Ukupni N <i>Total N</i> (g kg ⁻¹)	Humus <i>Humic matter</i> (%)	Organski C <i>Organic C</i> (g kg ⁻¹)	Ukupni C <i>Total C</i> (g kg ⁻¹)	C:N
O1	4,66	3,82	28,60	5,87	13,81	80,30	88,73	13,61
K1	5,12	4,06	30,60	6,35	15,24	88,62	104,32	13,84
O2	4,88	3,92	32,90	7,50	17,49	101,67	126,15	13,56
K2	4,83	3,81	29,10	7,02	14,78	85,92	104,02	12,28
O3	3,76	2,96	16,20	3,35	10,63	52,60	58,90	15,47
K3	3,60	2,87	23,90	4,98	12,86	74,78	82,39	14,96

Uspoređujući međusobno otvore, najveće srednje vrijednosti organske tvari, humusa, organskog i ukup-

nog ugljika, te ukupnog dušika utvrđene su u malom šumskom otvoru (tablica 2).

2. Mikrobiološke značajke šumskih tala – Microbiological characteristics of forest soils

U otvoru O1 utvrđena je statistički značajno manja zastupljenost asimbiotskih fiksatora dušika i celulolitičkih gljiva u odnosu na pripadajuću kontrolnu plohu. Zastupljenost asimbiotskih fiksatora dušika iznosila je 14,4 %, a u kontrolnoj plohi 19,7 %. Celulolitičkih

gljiva bilo je 38,6 %, a u kontrolnoj plohi 58,8 %. Ostale grupe mikroorganizama nisu pokazale statistički značajne razlike između otvora O1 i pripadajuće kontrole (tablica 3).

Tablica 3. Rezultat Studentovog t-testa za različite skupine mikroorganizama na pokusnim ploham O1 i K1 u bukovo-jelovoj šumi

Table 3. Results of the Student's t-test for different microorganism groups in experimental plots O1 and K1 in beech-fir forest

Skupina mikroorganizama <i>Microorganism group</i>	Pokusne plohe – <i>Experimental plots</i>		Razina značajnosti <i>Significance level</i>
	Otvor O1 <i>Forest gap O1</i>	Kontrola K1 <i>Control plot K1</i>	
Ukupan broj gljiva <i>Total fungi count (1x10⁶ CFU/ g tla/soil)</i>	17,231±6,025	15,969±5,337	ns
Ukupan broj bakterija <i>Total bacteria count (1x10⁶ CFU/ g tla/soil)</i>	8,099±6,580	10,478±5,195	ns
Asimbiotski fiksatori dušika <i>Asymbiotic nitrogen fixators (%)</i>	14,375±5,842	19,656±11,789	*
Celulolitičke gljive <i>Cellulose decomposition fungi (%)</i>	38,580±16,103	58,749±6,615	*
Celulolitičke bakterije <i>Cellulose decomposition bacteria (%)</i>	15,665±4,414	14,648±4,357	ns
Amonifikatori <i>Ammonia forming bacteria (MPN 1x10⁵)</i>	7,420±6,953	6,425±5,094	ns

ns = nesignifikantno; ns = not significant; *p<0,05; (LSMEAN±SD)

U malom otvoru O2 ukupan broj gljiva i zastupljenost asimbiotskih fiksatora dušika bio je statistički značajno veći u odnosu na kontrolnu plohu. Broj celulolitičkih gljiva bio je statistički značajno manji u otvoru O2 u od-

nosu na kontrolu, dok su ostale skupine mikroorganizama bile većih vrijednosti u otvoru, ali razlike nisu bile statistički značajne (tablica 4).

Tablica 4. Rezultat Studentovog t-testa za različite skupine mikroorganizama na pokusnim plohama O2 i K2 u bukovo-jelovoj šumi

Table 4 Results of the Student's t-test for different microorganism groups in experimental plots O2 and K2 in beech-fir forest

Skupina mikroorganizama <i>Microorganism groups</i>	Pokusne plohe – <i>Experimental plots</i>		Razina značajnosti <i>Significance level</i>
	Otvor O2 <i>Forest gap O2</i>	Kontrola K2 <i>Control plot K2</i>	
Ukupna broj gljiva <i>Total fungi count (1x10⁶ CFU/ g tla/soil)</i>	17,257±6,177	13,106±4,950	*
Ukupna broj bakterija <i>Total bacteria count (1x10⁶ CFU/ g tla/soil)</i>	11,011±8,916	9,337±9,137	ns
Asimbiotski fiksatori dušika <i>Asymbiotic nitrogen fixators (%)</i>	20,098±9,084	12,935±6,557	*
Celulolitičke gljive <i>Cellulose decomposition fungi (%)</i>	35,982±10,263	64,683±8,575	*
Celulolitičke bakterije <i>Cellulose decomposition bacteria (%)</i>	15,350±4,414	15,103±4,279	ns
Amonifikatori <i>Ammonia forming bacteria (MPN 1x10⁵)</i>	12,680±8,445	9,725±7,650	ns

ns = nesignifikantno; ns = not significant; * $p < 0,05$; (LSMEAN±SD)

U otvoru O3 ukupan broj gljiva i celulolitičkih gljiva bio je statistički značajno manji u odnosu na kontrolnu plohu (tablica 5). Ukupan broj bakterija,

asimbiotskih fiksatora dušika i celulolitičkih bakterija također je bio manji u otvoru O3 u odnosu na kontrolnu plohu, ali razlike nisu bile statistički značajne.

Tablica 5. Rezultat Studentovog t-testa za različite skupine mikroorganizama na pokusnim plohama O3 i K3 u jelovoj šumi s rebračom

Table 5 Results of the Student's t-test for different microorganism groups in experimental plots O3 and K3 in fir forest with hard fern

Skupina mikroorganizama <i>Microorganism group</i>	Pokusne plohe <i>Experimental plots</i>		Razina značajnosti <i>Significance level</i>
	Otvor O3 <i>Forest gap O3</i>	Kontrola K3 <i>Control plot K3</i>	
Ukupna broj gljiva <i>Total fungi count (1x10⁶ CFU/ g tla/soil)</i>	10,764±3,960	13,698±5,171	*
Ukupna broj bakterija <i>Total bacteria count (1x10⁶ CFU/ g tla/soil)</i>	7,481±5,114	7,755±6,204	ns
Asimbiotski fiksatori dušika <i>Asymbiotic nitrogen fixators (%)</i>	1,500±5,239	2,273±2,931	ns
Celulolitičke gljive <i>Cellulose decomposition fungi (%)</i>	33,003±11,118	57,039±11,760	*
Celulolitičke bakterije <i>Cellulose decomposition bacteria (%)</i>	13,620±4,299	14,123±3,270	ns
Amonifikatori <i>Ammonia forming bacteria (MPN 1x10⁵)</i>	2,797±2,050	2,400±1,797	ns

ns = nesignifikantno; ns = not significant; * $p < 0,05$; (LSMEAN±SD)

Uspoređujući međusobno otvore ukupan broj gljiva u otvorima O1 i O2 u šumi bukve i jele bio je statistički značajno veći u odnosu na otvor O3 u šumi jele s rebračom. U otvorima O1 i O2 ukupan broj gljiva iznosio je oko 17 (1x10⁶ CFU/ g tla), dok je u otvru O3 iznosio oko 11 (1x10⁶ CFU/ g tla). Nisu utvrđene značajne razlike u ukupnom broju gljiva između velikog i malog otvora u šumi bukve i jele. Zastupljenost asimbiotskih

fiksatora dušika i amonifikatora bila je statistički najveća u malom otvoru O2, zatim u velikom otvoru O1 u šumi bukve i jele, a najmanja u otvoru O3 u šumi jele s rebračom (tablica 6).

Tablica 6. Rezultat Studentovog t-testa za različite skupine mikroorganizama na pokusnim plohama O1, O2 i O3.
 Table 6 Results of the Student's t-test for different microorganism groups in experimental plots O1, O2 and O3

Skupina mikroorganizama <i>Microorganism group</i>	Pokusne plohe – <i>Experimental plots</i>			Sig.
	Šuma bukve i jele <i>The Dinaric beech-fir forest</i>		Šuma jele s rebračom <i>Fir forest with hard fern</i>	
	Otvor O1	Otvor O2	Otvor O3	
Ukupna broj gljiva <i>Total fungi count (1x10⁶ CFU/ g tla/soil)</i>	17,231±6,025 ^a	17,257±6,177 ^a	10,764±3,960 ^b	*
Ukupan broj bakterija <i>Total bacteria count (1x10⁶ CFU/ g tla/soil)</i>	8,099±6,580	11,011±8,916	7,481±5,114	ns
Asimbiotski fiksatori dušika <i>Asymbiotic nitrogen fixators (%)</i>	14,375±5,842 ^a	20,098±9,084 ^b	1,500±5,239 ^c	*
Celulolitičke gljive <i>Cellulose decomposition fungi (%)</i>	38,580±16,103	35,982±10,263	33,003±11,118	ns
Celulolitičke bakterije <i>Cellulose decomposition bacteria (%)</i>	15,665±4,414	15,350±4,414	13,620±4,299	ns
Amonifikatori <i>Ammonia forming bacteria (MPN 1x10⁵)</i>	7,420±6,953 ^a	12,680±8,445 ^b	2,797±2,050 ^c	*

^{a,b,c} Vrijednosti unutar reda označene različitim slovom značajno se razlikuju; ns = nesignifikantno

^{a,b,c} Means with in row marked with different superscript differ significantly; ns = not significant; * p<0,05; (LSMEAN±SD)

Zastupljenost asimbiotskih fiksatora dušika je bila najveća u šumi bukve i jele u sastojini K1 i iznosila je 19,7 %, zatim u sastojini K2 (12,9 %), a najmanja u šumi jele s rebračom u sastojini K3 (2,3 %). Zastupljenost celulolitičkih gljiva i amonifikatora bila je statistički značajno veća u šumi bukve i jele u odnosu na šumu

jele s rebračom (tablica 7). Broj celulolitičkih gljiva u šumi bukve i jele bio je od 58,8 % do 64,7 %, a u šumi jele s rebračom 57,0 %. Zastupljenost amonifikatora u šumi bukve i jele bila je od 6,4 do 9,7 (MPN 1x10⁵), a u šumi jele s rebračom 2,4 (MPN 1x10⁵).

Tablica 7. Rezultat Studentovog t-testa za različite skupine mikroorganizama na kontrolnim plohama K1, K2 i K3.
 Table 7 Results of the Student's t-test for different microorganism groups in experimental plots K1, K2 and K3

Skupina mikroorganizama <i>Microorganism group</i>	Pokusne plohe – <i>Experimental plots</i>			Sig.
	Šuma bukve i jele <i>The Dinaric beech-fir forest</i>		Šuma jele s rebračom <i>Fir forest with hard fern</i>	
	K1	K2	K3	
Ukupna broj gljiva <i>Total fungi count (1x10⁶ CFU/ g tla/soil)</i>	15,969±5,337	13,106±4,950	13,698±5,171	ns
Ukupan broj bakterija <i>Total bacteria count (1x10⁶ CFU/ g tla/soil)</i>	10,478±5,195	9,337±9,137	7,755±6,204	ns
Asimbiotski fiksatori dušika <i>Asymbiotic nitrogen fixators (%)</i>	19,656±11,789 ^a	12,935±6,557 ^b	2,273±2,931 ^c	*
Celulolitičke gljive <i>Cellulose decomposition fungi (%)</i>	58,749±6,615 ^{ab}	64,683±8,575 ^a	57,039±11,760 ^b	*
Celulolitičke bakterije <i>Cellulose decomposition bacteria (%)</i>	14,648±4,357	15,103±4,279	14,123±3,270	ns
Amonifikatori <i>Ammonia forming bacteria (MPN 1x10⁵)</i>	6,425±5,094 ^a	9,725±7,650 ^a	2,400±1,797 ^b	*

^{a,b,c} Vrijednosti unutar reda označene različitim slovom značajno se razlikuju; ns = nesignifikantno

^{a,b,c} Means with in row marked with different superscript differ significantly; ns = not significant; * p<0,05; (LSMEAN±SD)

3. Pomlađivanje šumskih otvora – *Regeneration of forest gaps*

Najveći broj biljaka mladog naraštaja utvrđen je na otvoru O1, dok su druga dva otvora imala podjednak broj biljaka (tablica 8). U odnosu na kontrolne plohe otvor O1 imao je dvostruko veći broj biljaka od kontrole. Na otvoru O2 utvrđen je dvostruko manji broj biljaka u odnosu na kontrolu, dok je otvor O3 imao podjednak broj biljaka kao kontrola. Što se tiče kontrol-

nih ploha veći broj biljaka utvrđen je u šumi bukve i jele (K1 i K2), a manji u šumi jele s rebračom (K3). S obzirom na starost biljaka na svim otvorima i kontrolnim plohama utvrđen je najveći broj dvogodišnjih biljaka. Trogodišnjih biljaka bilo je više u šumi bukve i jele, dok je u šumi jele s rebračom utvrđen veći broj ponika.

Tablica 8. Broj ponika, dvogodišnjih i trogodišnjih biljaka u otvorima i kontrolnim ploham (kom/ha).

Table 8 Number of seedlings, biennial and triennial plants per hectare in forest gaps and control plots (pcs/ha)

Starost biljaka <i>Plants' age</i>	Šuma bukve i jele – <i>The Dinaric beech-fir forest</i>				Šuma jele s rebračom <i>Fir forest with hard fern</i>	
	Otvor 1 <i>Gap 1</i>	Kontrola 1 <i>Control 1</i>	Otvor 2 <i>Gap 2</i>	Kontrola 2 <i>Control 2</i>	Otvor 3 <i>Gap 3</i>	Kontrola 3 <i>Control 3</i>
Ponik <i>Seedling</i>	1852	493	556	4692	1778	2346
Dvogodišnje <i>Biennial</i>	20001	14815	6666	10988	7704	6296
Trogodišnje <i>Triennial</i>	11490	988	2778	5062	592	988
Ukupno <i>Total</i>	33343	16296	10000	20742	10074	9630

Prema postotnom udjelu broja biljaka starosti do tri godine po vrstama drveća, na otvorima je utvrđeno najveće učešće obične jele, zatim gorskog javora, a najmanje obične bukve (tablica 9). Mlade biljke obične jele

bile su manje zastupljene u šumi bukve i jele u odnosu na šumu jele s rebračom. Obična bukva je bila gotovo podjednako zastupljena u otvoru i kontroli. Gorski javor veliki je konkurent običnoj jeli u šumi bukve i jele.

Tablica 9. Postotni udio broja biljaka starosti do tri godine u otvorima i kontrolnim ploham (%).

Table 9 Percentage of three year old plants in forest gaps and control plots (%)

Vrste drveća <i>Tree species</i>	Šuma bukve i jele – <i>The Dinaric beech-fir forest</i>				Šuma jele s rebračom <i>Fir forest with hard fern</i>	
	Otvor 1 <i>Gap 1</i>	Kontrola 1 <i>Control 1</i>	Otvor 2 <i>Gap 2</i>	Kontrola 2 <i>Control 2</i>	Otvor 3 <i>Gap 3</i>	Kontrola 3 <i>Control 3</i>
Obična jela <i>Silver fir</i>	42	18	50	50	97	100
Obična bukva <i>Common beech</i>	3	5	6	8	3	0
Obična smreka <i>Common juniper</i>	0	6	0	0	0	0
Gorski javor <i>Mountain maple</i>	55	71	44	42	0	0

Prema broju biljaka starijih od tri godine na otvoru O1 je utvrđen najveći broj biljaka gorskog javora, nešto manje obične bukve, dok je značajno manje bilo biljaka obične jele. Na kontrolnim ploham najveća je bila za-

stupljenost biljaka obične bukve, dvostruko manje biljaka gorskog javora i 10 puta manje biljaka obične jele. Kod sve tri vrste drveća utvrđena je veća zastupljenost biljaka na otvoru u odnosu na kontrolu (tablica 10).

Tablica 10. Broj biljaka starijih od tri godine prema visinskim klasama i vrstama drveća u velikom otvoru O1 i kontrolnoj plohi K1 u šumi bukve i jele (kom/ha).

Table 10 Number of plants older than three years according to altitude classes in big forest gap O1 and control plot K1 in the Dinaric beech-fir forest (pcs/ha)

Visinska klasa (cm) <i>Height class (cm)</i>	Vrste drveća – <i>Tree species</i>					
	Obična jela <i>Silver fir</i>		Obična bukva <i>Common beech</i>		Gorski javor <i>Mountain maple</i>	
	Otvor <i>Gap</i>	Kontrola <i>Control</i>	Otvor <i>Gap</i>	Kontrola <i>Control</i>	Otvor <i>Gap</i>	Kontrola <i>Control</i>
0-50	1111	494	8889	5926	14444	5185
50-100	0	0	2963	2840	1111	0
100-150	0	0	370	1852	0	0
150-200	0	0	0	247	0	0
200-250	0	0	0	247	0	0
250-300	0	0	0	0	0	0
300-350	0	0	0	123	0	0
350-400	0	0	0	247	0	0
Ukupno – <i>Total</i>	1111	494	12222	11482	15555	5185

Tablica 11. Broj biljaka starijih od tri godine prema visinskim klasama i vrstama drveća u malom otvoru O2 i kontrolnoj plohi K2 u šumi bukve i jele (kom/ha).

Table 11 Number of plants older than three years according to altitude classes in small forest gap O2 and control plot K2 in the Dinaric beech-fir forest

Visinska klasa (cm) Height class (cm)	Vrste drveća – Tree species					
	Obična jela Silver fir		Obična bukva Common beech		Gorski javor Mountain maple	
	Otvor Gap	Kontrola Control	Otvor Gap	Kontrola Control	Otvor Gap	Kontrola Control
0-50	556	2716	11667	6667	12222	18395
50-100	0	123	7222	4568	1111	3086
100-150	0	0	3333	2716	0	494
150-200	0	0	3333	617	556	0
200-250	0	0	1111	494	0	0
250-300	0	0	0	0	0	123
300-350	0	0	0	247	0	0
350-400	0	0	0	494	0	0
Ukupno – Total	556	2839	26666	15803	13889	22098

U otvoru O2 utvrđen je najveći broj biljaka obične bukve, zatim gorskog javora, a biljaka obične jele bilo 30–50 puta manje u odnosu na običnu bukvu (tablica 11).

I na kontrolnim plohamu zastupljenost je biljaka obične jele bila nekoliko puta manja u odnosu na običnu bukvu.

Tablica 12. Broj biljaka starijih od tri godine prema visinskim klasama i vrstama drveća u velikom otvoru O3 i kontrolnoj plohi K3 u šumi jele s rebračom (kom/ha).

Table 12 Number of plants older than three years according to altitude classes in big forest gap O3 and control plot K3 in fir forest with hard fern

Visinska klasa (cm) Height class (cm)	Vrste drveća – Tree species					
	Obična jela Silver fir		Obična bukva Common beech		Gorski javor Mountain maple	
	Otvor Gap	Kontrola Control	Otvor Gap	Kontrola Control	Otvor Gap	Kontrola Control
0-50	0	2099	7407	4691	0	0
50-100	0	0	889	864	0	0
100-150	0	0	1185	123	0	0
150-200	0	0	296	0	0	0
200-250	0	0	0	0	0	0
250-300	0	0	0	0	0	0
300-350	0	0	0	0	0	0
350-400	0	0	0	0	0	0
Ukupno – Total	0	2099	9777	5678	0	0

U velikom otvoru O3 utvrđen je najveći broj biljaka obične bukve, starijih od tri godine, dok nije utvrđena niti jedna biljka obične jele i gorskog javora. Na kontrolnoj je plohi utvrđena dva puta veća zastupljenost biljaka obične bukve u odnosu na običnu jelu (tablica 12).

Prema zastupljenosti biljaka starijih od tri godine na otvorima i pripadajućim kontrolnim plohamu utvrđena je dominacija obične bukve i gorskog javora u odnosu na običnu jelu (tablice 10, 11 i 12).

RASPRAVA – Discussion

Reakcija tla (pH) obilježje je koje utječe na distribuciju vrsta, te uspijevanje biljaka i mikroorganizama tla (Neale i dr. 1997). U istraživanju je utvrđena niža reakcija tla u velikom otvoru u šumi bukve i jele u odnosu na kontrolnu plohu, dok je u malom otvoru utvrđena neznatno veća reakcija tla u odnosu na kontrolu. Veliki otvor u šumi jele s rebarčom imao je veću reak-

ciju tla od pripadajuće kontrolne plohe (tablica 2). Reakcija tla na plohamu u šumi bukve i jele je bila kisela, a na plohi u šumi jele s rebračom jako kisela. Reakcija tla u istraživanjima Muscolo i dr. (2007) u malom i velikom otvoru, te pripadajućim kontrolnim plohamu je imala slične odnose.

Uspoređujući rezultate kemijskih značajki tla u sastojinama i šumskim otvorima koje je dobio Muscolo i dr. (2007) s rezultatima kemijskih analiza tala u ovom istraživanju (tablica 2), uočavamo dosta velike razlike u količini organske tvari i ukupnog ugljika u tlu. Na plohama u Gorskom kotaru utvrdili smo veće količine organske tvari, ukupnog ugljika i dušika u tlu u odnosu na rezultate u jelovim šumama Kalabrijskih Apenina. Te razlike su zbog različitih stanišnih uvjeta na području Kalabrijskih Apenina u usporedbi sa stanišnim uvjetima u Gorskom kotaru. Jelove i bukovo-jelove šume u Hrvatskoj ekosustavi su s relativno visokim prinosom organske tvari koji osiguravaju uravnoteženi proces transformacije i tijek tvari i energije. U takvim uvjetima humizacija ima pozitivan trend (Pernar i Bakšić, 2001). Utjecaj organske tvari na biologiju tla značajan je (Brady i Weil, 1996). U našem slučaju zaliha organske tvari tla bila je veća u kontrolnim plohama K1 i K3, pod sklopom krošanja stabala, nego u velikim šumskim otvorima O1 i O3. U malom otvoru O2 u šumi bukve i jele u usporedbi sa sklopljenom sastojinom, utvrđene su veće vrijednosti organske tvari tla, ukupnog dušika, humusa, organskog ugljika, ukupnog ugljika i C:N odnosa (tablica 2). Rezultati se u potpunosti poklapaju s rezultatima Muscolo i dr. (2007), osim u količinama ukupnog dušika koji je u njihovim istraživanjima bio veći u sklopljenoj sastojini. Prema rezultatima Muscolo i dr. (2007) odnos C:N kretao se u rasponu od 8,2 do 18,0 dok je u ovom istraživanju utvrđen odnos C:N u rasponu od 14,8 do 16,8. C:N odnos indicira pristupačnost dušika u organskoj tvari. Povoljan C:N odnos za više biljke je između 12 i 25 (Vukadinović i Lončarić, 1998). Muscolo i dr. (2007) utvrdili su najveću količinu organske tvari, mikrobne biomase i najveći C:N odnos u malim šumskim otvorima. Rezultati tih istraživanja podudaraju se s našim rezultatima za pokusnu plohu mali šumski otvor O-2, gdje je utvrđena najveća biogenost tla (tablica 2).

Mikroorganizmi imaju dominantnu ulogu u svim procesima kruženja dušika, a primanje dušika od strane mikroorganizama tla ključno je za regulaciju bilance dušika u šumskim ekosustavima (Stark i Hart, 1997; Zogg i dr. 2000). Prema istraživanjima Muscolo i dr. (2007) nastanak šumskih otvora ima utjecaja na biomasu mikrobne populacije u tlu, kao i na dekompoziciju organskih tvari. Veliki šumski otvori odlikuju se drukčijim stanišnim uvjetima u odnosu na šumu. Prema njihovim istraživanjima u malim šumskim otvorima stanišni čimbenici slični su kao oni u šumi. Do sličnih smo spoznaja došli i mi u ovim istraživanjima.

Ukupan broj mikroorganizama u određenom ekosustavu smatra se jednim od pokazatelja biogenosti tla, a ovisan je o fizikalnim i kemijskim svojstvima tla, te o stupnju antropogenog utjecaja (Redžepović i dr.

1991). U poljoprivrednim tlima prevladavaju populacije bakterija i aktinomiceta, dok u šumskim tlima koja su hladnija, vlažnija i kiselija dominiraju populacije gljiva. U tla svakodnevno kroz organske ostatke dolaze velike količine celuloze koju razgrađuju celulolitičke bakterije, gljive i nešto manje aktinomicete. Vasilj i dr. (2007) su u svim tipovima tala utvrdili veću zastupljenost celulolitičkih gljiva u odnosu na celulolitičke bakterije, što smo i mi utvrdili u šumskim tlima na području Gorskog kotara. Utvrdili smo veću zastupljenost ukupnog broja gljiva i celulolitičkih gljiva u odnosu na ukupan broj bakterija i celulolitičkih bakterija (tablice 3, 4 i 5). U šumskim otvorima u šumi bukve i jele na smeđem tlu na vapnencu utvrdili smo veću ili podjednaku zastupljenost celulolitičkih bakterija u odnosu na kontrolne plohe (tablice 3 i 4). U šumskom otvoru u šumi jele s rebračom na kiselom smeđem tlu utvrdili smo manju, ali ne statistički značajnu zastupljenost celulolitičkih bakterija u odnosu na kontrolnu plohu (tablica 5). Nešto veća zastupljenost te skupine mikroorganizama je u smeđem tlu na vapnencu, s obzirom da razvoju celulolitičkih bakterija pogoduju prozračnost tla, neutralna reakcija tla uz dobru opskrbljenost organskim i mineralnim dušikom, kao i priljev svježije organske tvari (tablice 6 i 7). Dominacija celulolitičkih gljiva je ponajprije uvjetovana dobrom adaptiranošću tih mikroorganizama na nepovoljne uvjete u tlu, kao što su kiselost tla i slaba opskrbljenost hranjivima (Vasilj i dr. 2007).

Prema istraživanjima Dhruva i dr. (1992), brojnost populacije gljiva i bakterija veća je u manje degradiranim šumama u odnosu na jače degradirane šume. Prema rezultatima njihovih istraživanja poremećena tla i degradirane šume imaju nepovoljan učinak na brojnost mikrobne populacije. Prema našim istraživanjima, uspoređujući mikrobiološke značajke otvora s pripadajućim kontrolnim plohama, u velikom otvoru O1 utvrđeno je statistički značajno manje asimbiotskih fiksatora dušika i celulolitičkih gljiva (tablica 3), a u velikom otvoru O3 značajno manji ukupan broj gljiva i celulolitičkih gljiva (tablica 5). U malom otvoru O2 u šumi bukve i jele utvrđena je statistički značajno manja zastupljenost celulolitičkih gljiva, a značajno veća zastupljenost ukupnog broja gljiva i asimbiotskih fiksatora dušika u odnosu na pripadajuću kontrolnu plohu (tablica 4). Ako uspoređujemo mikrobiološke značajke otvora s obzirom na njihovu površinu, u velikom otvoru O1 u odnosu na mali otvor O2 u šumi bukve i jele utvrđeno je statistički značajno manje asimbiotskih fiksatora dušika i amonifikatora (tablica 6).

Prema Alexanderu (1977) broj amonifikatora ovisi o količini i vrsti supstrata, o tipu tla, o ekološkim čimbenicima, te o rizosferi tj. biljnoj vrsti. S obzirom na zastupljenost pojedinih fizioloških skupina mikroorganizama u tlu šumskih otvora, nismo uočili veću degradaciju i osiromašenje tla u malom šumskom otvoru

O2 (tablica 4). U pogledu zastupljenosti pojedinih funkcionalnih skupina mikroorganizama mali šumski otvor O2 ima srednju, dok veliki otvori imaju slabu biogenost tla. Uspoređujući velike otvore u različitim šumskim zajednicama, veliki otvor O1 u šumi bukve i jele u odnosu na veliki otvor O3 u šumi jele s rebračom, ima značajno veći ukupan broj gljiva, asimbiotskih fiksatora dušika i amonifikatora (tablica 6).

Različita stanišna i strukturna obilježja bukovo-jelovih šuma uzrokuju i različitu zastupljenost pojedinih fizioloških skupina mikroorganizama u tlu (Tikvić 1996). Rezultat toga je različita biogenost tala, koja utječe na sve procese u ekosustavu, ponajprije na procese kruženja tvari i ishranu biljaka. U ovom istraživanju utvrdili smo različitu zastupljenost pojedinih skupina mikroorganizama u tlu uspoređujući šumu jele i bukve sa šumom jele s rebračom. Tla u šumi jele i bukve (kontrolne plohe K1 i K2), u usporedbi s kontrolnom plohom u šumi jele s rebračom (K3), imala su značajno više asimbiotskih fiksatora dušika, celulolitičkih gljiva i amonifikatora (tablica 7).

Prema postotnom udjelu biljaka obične jele do tri godine starosti u velikom otvoru O1 bilo je više biljaka na otvoru, nego na kontroli. Na području malog otvora O2 utvrđen je podjednak postotak biljaka obične jele u otvoru u odnosu na kontrolu. Neznatno veći postotak biljaka obične jele starosti do tri godine bio je na kontrolnoj plohi K3 u odnosu na veliki otvor O3. Udio obične bukve starosti do tri godine bio je manji u otvoru

O1, a veći u otvoru O2 i O3 u odnosu na kontrolne plohe. Prema postotnom udjelu listopadnih vrsta drveća starosti do tri godine (obična bukva i gorski javor) u odnosu na postotni udio biljaka obične jele utvrđen je veći udio listopadnih vrsta drveća na otvoru O1 i kontrolnoj plohi K1, te podjednak udio na otvoru O2 i kontrolnoj plohi K2. U šumi jele s rebračom na pokusnim ploham O3 i K3 je utvrđen veći postotak biljaka obične jele u odnosu na listopadne vrste drveća (tablica 9).

S obzirom da smo u većim šumskim otvorima utvrdili određene promjene u mikrobiološkim obilježjima tla, u odnosu na mali otvor, možemo zaključiti da veći otvori predstavljaju određena specifična mikrostaništa. Naime, u šumskim se otvorima pojavljuju mlade biljke obične jele, dok se uočava nedostatak starijih biljaka (tablice 9, 10, 11 i 12). Jedan od uzroka velikog mortaliteta biljaka obične jele su promijenjeni mikroklimatski uvjeti (Ugarković, 2009). Što se tiče velikog otvora O1 u šumi bukve i jele, najveći broj biljaka obične jele starijih od tri godine, izmjeren je u području otvora (tablica 10), dok je kod velikog otvora O3 u šumi jele s rebračom i malog otvora O2 u šumi bukve i jele najveći broj biljaka utvrđen na kontrolnim ploham tj. sastojine (tablice 11, 12).

Prema visini u otvorima ne pojavljuju se biljke obične jele veće od 50 cm (tablice 10, 11 i 12). Istražujući prirodno pomlađivanje obične bukve Madesen i dr. (1997) utvrdili su da se s povećanjem otvora u sklopu krošanja događaju i promjene u visinskom rastu mladih biljaka.

ZAKLJUČCI – Conclusions

Kemijske značajke tla u malom otvoru u šumi bukve i jele bile su većih vrijednosti, a u velikom otvoru manjih vrijednosti, u odnosu na kontrolne plohe. Kemijske značajke tla u velikom otvoru u šumi jele s rebračom, bile su manjih vrijednosti u odnosu na kontrolnu plohu, osim pH vrijednosti tla. Na svim pokusnim ploham (otvori i kontrole), utvrđena je veću zastupljenost ukupnog broja gljiva i celulolitičkih gljiva u odnosu na ukupan broj bakterija i celulolitičkih bakterija u istraživanim šumskim tlama.

U svim je otvorima utvrđena statistički značajno manja zastupljenost celulolitičkih gljiva u odnosu na kontrolne sastojine. U velikim šumskim otvorima utvrđena je slaba, a u malom šumskom otvoru srednja biogenost tla. U velikim otvorima utvrđeno je značajno manje asimbiotskih fiksatora dušika, celulolitičkih gljiva i ukupnog broja gljiva. U malom šumskom otvoru utvrđena je statistički značajno veća zastupljenost ukupnog broja gljiva i asimbiotskih fiksatora dušika u odnosu na kontrolu.

Mikrobiološke značajke tala u otvorima u šumi bukve i jele imaju veće vrijednosti u odnosu na otvor u šumi jele s rebračom. Utvrđen je statistički značajno

veći ukupan broj gljiva, asimbiotskih fiksatora dušika i amonifikatora. U malom otvoru u šumi bukve i jele utvrđeno je statistički značajno više asimbiotskih fiksatora dušika i amonifikatora u odnosu na veliki otvor. U tlama šume bukve i jele u odnosu na šumu jele s rebračom, utvrđen je statistički značajno veći broj asimbiotskih fiksatora dušika, celulolitičkih gljiva i amonifikatora.

Udio listopadnih vrsta drveća (gorskog javora i obične bukve) starosti do tri godine bio je veći u velikom otvoru u šumi bukve i jele, dok je u malom otvoru taj odnos bio podjednak. U velikom otvoru u šumi jele s rebračom dominiraju biljke obične jele starosti do tri godine.

Prema broju biljaka starijih od tri godine u šumskim otvorima i na kontrolnim ploham dominiraju biljke gorskog javora i obične bukve, dok je zastupljenost biljaka obične jele bila vrlo mala.

S obzirom da se veliki šumski otvori povećavaju, a ne smanjuju i da su dosta dobro pomlađeni s biljakama obične bukve i gorskog javora, smatramo da su šumski otvori, staništa u kojima se događa izmjena vrsta drveća.

Nova istraživanja treba usmjeriti na daljinska istraživanja veličine i brojnosti šumskih otvora u područjima u kojima obična jela intenzivno odumire. Na taj

bi se način dobili podaci o njihovoj veličini i brojnosti i stvorili kvalitetniji šumsko-uzgojni planovi za njihovu sanaciju. S obzirom da trendovi temperatura zraka na području Gorskog kotara statistički značajno rastu i da

je pojava sušnih razdoblja učestalija, za pretpostaviti je da će u šumskim otvorima biti još toplije i suše, što predstavlja nepovoljne uvjete za rast i razvoj biljaka obične jele (Ugarković, 2009).

LITERATURA – References

- Anon., 2006: Pravilnik o uređivanju šuma, Narodne novine 111/06, Zagreb, 2006.
- Anon., 1966: Priručnik za ispitivanje zemljišta i voda, Knjiga II, JDZP, Beograd, 1966.
- Alexander, M., 1977: Introduction to Soil Microbiology. John Wiley and Sons, New York.
- Atlas, R. M., R. Bartha, 1987: Microbial Ecology: Fundamentals and Applications, 2nd edition. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Menlo Park.
- Brady, N. C., R. R. Weil, 1996: The nature and properties of soils. Prentice Hall, New Jersey, 11 ed., 740 str.
- Brown, N., 1993: The implication of climate and gap microclimate for seedling growth conditions in a borean lowland forest. *J. Trop. Ecol.*, 9: 153–168.
- Clinton, B. D., 2003: Light, temperature and soil moisture responses to elevation, evergreen understory and small canopy gaps in the southern Appalachians. *Forest Ecology and Management* 186: 243–255.
- Dhruva, K. J., G. D. Sharma, R. R. Mishra, 1992: Soil microbial population numbers and enzyme activities in relation to altitude and forest degradation. *Soil Biol. Biochem.* 24 (8): 761–767.
- Eckmüller, O., H. Sterba, 2000: Crown condition, needle mass and sapwood area relationships of Norway spruce (*Picea abies* Karst.). *Canadian Journal of Forest Research* 30: 1646–1654.
- Hubbel, S. P., R. B. Foster, 1986: Canopy gaps and the dynamics of a neotropical forest. U: Crawley, M. J. (ur.). *Plant Ecology*, Blackwell Scientific, Oxford.
- Lundquist, J. E., 1993: Spatial and temporal characteristics of canopy gaps caused by *Armillaria* root disease and their management implications in lowveld forest of South Africa. *European Journal of Forest pathology* 23: 362–371.
- Madsen, P., J. B. Larsen, 1997: Natural regeneration of beech (*Fagus sylvatica* L.) with respect to canopy density, soil moisture and soil carbon content. *Forest Ecology and Management* 97: 95–105.
- Matić, S., M. Oršanić, I. Anić, 1996: Neke karakteristike i problemi prebornih šuma obične jele (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj. *Šumarski list* 3–4: 9–100.
- Matić, S., I. Anić, B. Prpić, M. Oršanić, 2001: Uzgojni postupci u jelovim šumama oštećenim propadanjem. U: Prpić, B. (ur.), *Obična jela (Abies alba Mill.) u Hrvatskoj*, Akademija šumarskih znanosti i “Hrvatske šume”, p.o. Zagreb, Zagreb, 461–472.
- Muscolo, A., M. Sidari, R. Mercurio, 2007: Variations in soil chemical properties and microbial biomass in artificial gaps in silver fir stands. *European Journal of Forest Research* 126: 59–65.
- Nannipieri, P., J. Ascher, M. T. Ceccherini, L. Landi, G. Pietramellara, G. Renella, 2003: Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science* 54: 655–670.
- Neale, S. P., Z. Shah, W. A. Adams, 1997: Changes in microbial biomass and nitrogen turnover in acid organic soils following liming. *Soil Biology and Biochemistry* 29 (9/10): 1463–1474.
- Pernar, N., D. Bakšić, 2001: Značajke humusa tla jelovih i bukovo-jelovih šuma u Hrvatskoj. U: S. Matić (ur.), *Znanstvena knjiga Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama*, Šumarski fakultet Sveučilište u Zagrebu, Šumarski institut Jastrebarsko, Zagreb, 117–122.
- Potočić, N., I. Seletković, D. Ugarković, A. Jazbec, S. Mikac, 2008: The influence of climate properties on crown condition of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) and Silver fir (*Abies alba* Mill.) on Velebit. *Periodicum Biologorum* 110 (2): 145–150.
- Redžepović, S., Đ. Sertić, S. Sikora, 1991: Agropedološka studija R. J. Senkovic, (mikrobiološki dio). Fakultet poljoprivrednih znanosti, Institut za agroekologiju, Zagreb.
- Runkle, J. R., 1982: Patterns of disturbance in some old-growth mesic forest of eastern North America. *Ecology*, 63: 1533–1546.
- SAS Institute Inc. Cary, NC, USA: SAS Online Doc; 1999.
- Schmidt, J. M., L. W. Belser, 1994: Autotrophic nitrifying bacteria. U: J. M. Bigham, (ur.), *Methods of Soil Analysis. Part 2, Microbiological and Biochemical Properties*, SSSA Book Series No. 5, SSSA, Madison, WI, str. 159–177.
- Stark, J. M., S. C. Hart, 1997: High rate of nitrification and nitrate turnover in undisturbed coniferous forest. *Nature*, 385: 61–64

- Tikvić, I., 2001: Mikrobiološka aktivnost tla i mikro-riza u jelovim šumama. U: Prpić, B. (ur.), Obična jela (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti i "Hrvatske šume" p.o. Zagreb, Zagreb, 277–279.
- Tikvić, I., 1996: Mikrobiološka istraživanja tala u različitim stanišnim i strukturnim prilikama bukovo-jelovih šuma Hrvatske. Magistarski rad, Šumarski fakultet, Zagreb, 75 str.
- Trinajstić, I., 2001: Rasprostranjenost, morfologija i taksonomija jele u Hrvatskoj. U: Prpić, B. (ur.), Obična jela (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti i "Hrvatske šume", p.o. Zagreb, Zagreb, 93–102.
- Ugarković, D., 2009: Utjecaj stanišnih i strukturnih čimbenika na odumiranje obične jele (*Abies alba* Mill.) u Gorskom Kotaru. Disertacija, Šumarski fakultet, Zagreb, str. 200.
- Vasilj, V., S. Redžepović, M. Bogunović, K. Babić, S. Sikora, 2007: Mikrobiološke karakteristike različitih tipova tala zapadne Hercegovine. *Agronomski glasnik* 6: 425–444.
- Vukadinović, V., Z. Lončarić, 1998: Ishrana bilja. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet Osijek, 293 str.
- Wollum, A. G., 1982: Cultural methods for soil microorganisms. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. 2nd edition, American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin. Pp. 781–802.
- Zogg, G. P., D. R. Zak, K. S. Pregitzer, A. J. Burton, 2000: Microbial immobilization and the retention of antropogenic nitrate in a northern hardwood forest. *Ecology*, 81: 1858–1866.

SUMMARY: Silver fir (Abies alba Mill.) is the most damaged forest tree species in Republic of Croatia. As a result of changes in natural biotope factors tree degradation and sudden decline is manifested. Intensive tree decline leads to canopy degradation and creating smaller or larger forest gaps. These advents cause changes in microclimatic and microbiological conditions, and regeneration problems. Researches are carried out in Gorski kotar, in beech-fir and fir forest areal. The main aim of this research was to determine changes in chemical and microbiological composition of forest gap soil, and natural regeneration within gaps. Chemical and microbiological analyses of forest soil were done. Soil microbiological analyses included determination of total fungi and bacteria count, and presence of microorganism functional groups. According to chemical parameters higher values were found in control plots (canopy) than in large forest gaps. Exception was small forest gap where values of chemical variables were higher than in corresponding control plot (table 2).

In large beech-fir forest gap was found smaller number of asymbiotic nitrogen fixators and cellulose decomposition fungi than in control plot (table 3).

Small forest gap in beech-fir forest had higher value of individual soil functional microorganism groups than corresponding control plot, except cellulose decomposition fungi. The highest soil biogenity was found in small forest gap (table 4).

In large fir with hard fern forest gap regarding control plot was found significantly smaller total fungi count and amount of cellulose decomposition fungi (table 5).

Comparing gaps between themselves total fungi count in O1 and O2 beech-fir forest gaps was significantly higher than in O3 fir with hard fern gap. Amount of asymbiotic nitrogen fixators and ammonia forming bacteria was significantly the highest in small gap O2, then in large gap O1 in beech-fir forest, and the lowest in O3 fir with hard fern forest gap (table 6).

Amount of asymbiotic nitrogen fixators, cellulose decomposition fungi and ammonia forming bacteria was significantly higher in beech-fir forest than in fir with hard fern forest (table 7).

The highest number of seedlings was found in gap O1, while other two gaps have had equal plant number. Regarding control plots gap O1 had two times more plants than control. In gap O2 was found two times lower plants number regarding control, while gap O3 had equal plants number as control. Considering plants age in all gaps and control plots was found the highest number of biennial plants (table 8).

Considering percentage of tree species younger than three years, in gaps was found the highest proportion of silver fir, then mountain maple, and the lowest common beech (table 9).

Considering the number of older trees good regeneration with deciduous tree species was found within gaps namely with mountain maple and common beech (tables 10, 11 and 12).

Considering amount of different functional microorganism groups small forest gap O2 has medium, while large gaps have lower soil biogenity. Comparing large gaps in different forest associations, large gap O1 in beech-fir forest regarding large gap O3 in fir with hard fern forest has significantly higher total fungi count, amount of asymbiotic nitrogen fixatros and ammonia forming bacteria. In this research was found different amount of soil individual microorganism groups comparing beech-fir forest and fir with hard fern forest. As in larger forest gaps were found certain changes in soil microbiological characteristics regarding small gap it can be concluded that large gaps represent specific microbiotops. Namely in forest gaps are found young silver fir plants, while there is lack of older ones. According to height in gaps there are no silver fir plants higher than 50 cm. As large forest gaps are enlarging and not getting smaller, also are good regenerated with common beech and mountain maple plants, were are believe that forest gaps are biotops with exchanging tree species.

Soil chemical characteristics in small beech-fir forest gap had higher values, and large gap lower values than control plots. Soil chemical characteristics in large fir with hard fern gap had smaller values than in control plots, except soil pH value. In all gaps was found significantly lower amount of cellulose decomposition fungi than in control canopies. In large forest gaps was found low, and in small forest gap medium soil biogenity. Microbiological characteristics of soils in beech-fir forests have higher values than in fir with hard fern forest gaps.

Proportion of deciduous tree species (mountain maple and common beech) younger than three years was higher in large beech-fir forest gap, while in small gap was same. In large fir with hard fern forest gap dominate silver fir plants younger than three years.

According to number of plants younger than three years in forest gaps and control plots are dominating mountain maple and common beech plants, while proportion of silver fir plants was small.

Key words: Silver fir, forest gaps, microbiological characteristics of the soils, microorganism functional groups in the soil, tree decline, natural regeneration