

# Enzimatska aktivnost šumskog tla u oštećenom šumskom ekosustavu obične jele s rebračom

---

Grgurić, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:160689>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**  
**ŠUMARSKI ODSJEK**  
**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ**  
**URBANO ŠUMARSTVO, ZAŠTITA PRIRODE I OKOLIŠA**

**IVANA GRGURIĆ**

**ENZIMATSKA AKTIVNOST ŠUMSKOG TLA U OŠTEĆENOM**  
**ŠUMSKOM EKOSUSTAVU OBIČNE JELE S REBRAČOM**  
**(*Blechno-Abietetum* Ht.)**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2017.**

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**  
**ŠUMARSKI ODSJEK**

**ENZIMATSKA AKTIVNOST ŠUMSKOG TLA U OŠTEĆENOM**  
**ŠUMSKOM EKOSUSTAVU OBIČNE JELE S REBRAČOM**  
**(*Blechno-Abietetum* Ht.)**  
**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij: Urbano šumarstvo, zaštita prirode i okoliša

Predmet: Ekološki monitoring

Ispitno povjerenstvo: 1. doc. dr. sc. Damir Ugarković

2. prof. dr. sc. Ivica Tikvić

3. doc. dr. sc. Stjepan Mikac

Student: Ivana Grgurić

JMBAG: 0068212344

Broj indeksa: 517/14

Datum odobrenja teme: 21.04.2016.

Datum predaje rada: 12.05.2017.

Datum obrane rada: 19.05.2017.

**Zagreb, svibanj, 2017.**

## Dokumentacijska kartica

Naslov	Enzimatska aktivnost šumskog tla u oštećenom šumskom ekosustavu obične jele s rebračom ( <i>Blechno-Abietetum</i> Ht.)
Title	Enzyme activity of the forest soil within damaged forest ecosystem of the silver fir forest with hard fern
Autor	Ivana Grgurić
Adresa autora	Popa Frana Biničkog 6, 53000 Lički Osik, Hrvatska
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Doc. dr. sc. Damir Ugarković
Godina objave	2017.
Obujam	31 stranica, 10 tablica, 21 slika, 40 navoda literature
Ključne riječi	Obična jela, odumiranje, enzimi tla, stanišni čimbenici
Key words	Silver fir, tree dieback, soil enzyme, site conditions

---

Sažetak

Odumiranjem stabala u grupama stvaraju se veći ili manji šumski otvori. Nestankom sklopa krošanja mijenja se i mikroklima šumskog otvora. U šumskom otvoru je toplije i suše u usporedbi sa sklopljenom sastojinom. Nisu utvrđene značajne razlike u kemijskim karakteristikama i enzimatskoj aktivnosti šumskog tla otvora i sklopljene sastojine. Temperature tla šumskog otvora su imale značajan utjecaj na dehidrogenaznu i proteolitičku aktivnost, a temperature zraka u sklopljenoj sastojini na proteolitičku aktivnost. Dehidrogenazna i proteolitička aktivnost međusobno ovise jedna o drugoj. Kemijske karakteristike šumskog tla su također značajno utjecale na enzimatsku aktivnost. Najveća enzimatska aktivnost šumskih tala otvora i sklopljene sastojine je bila na početku vegetacijskog razdoblja u mjesecu svibnju. Ovim istraživanjem nije utvrđena značajnija degradacija tla u šumskom otvoru.

---

# Sadržaj

<b>1.UVOD</b> .....	1
<b>1.1.Šumska biljna zajednica obične jele s rebračom</b> .....	1
<b>1.2.Odumiranje stabala obične jele</b> .....	3
<b>1.3.Mikroorganizmi u pedosferi</b> .....	6
<b>1.4.Značaj mikroorganizama u tlu</b> .....	7
<b>1.5.Enzimatska aktivnost</b> .....	8
<b>2.CILJ ISTRAŽIVANJA</b> .....	9
<b>3.MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA</b> .....	10
<b>3.1.Područje istraživanja</b> .....	10
3.1.1. Zemljopisni položaj i šumski ekosustavi.....	10
3.1.2. Klima i tlo.....	11
<b>3.2.Prikupljanje i obrada podataka</b> .....	12
<b>4.REZULTATI ISTRAŽIVANJA</b> .....	16
<b>4.1.Mikroklima šumskog otvora</b> .....	16
<b>4.2.Kemijske karakteristike šumskog tla</b> .....	20
<b>4.3.Enzimatska aktivnost šumskih tala</b> .....	23
<b>4.4.Utjecaj mikrokline na enzimatsku aktivnost šumskih tala</b> .....	25
<b>4.5.Utjecaj kemijskih karakteristika šumskog tla na enzimatsku aktivnost</b> .....	26
<b>4.6.Sezonska dinamika enzimatske aktivnosti šumskih tala</b> .....	27
<b>5.RASPRAVA</b> .....	28
<b>6.ZAKLJUČAK</b> .....	31
<b>7.LITERATURA</b>	

## Popis slika:

Slika 1. Šuma obične jele s rebračom ( <a href="http://www.np-risnjak.hr">www.np-risnjak.hr</a> ).....	2
Slika 2. Klimadiagrama za meteorološku postaju Vrelo Ličanke.....	11
Slika 3. Oštećeno stablo obične jele.....	12
Slika 4. Odumrlo stablo obične jele.....	12
Slika 5. Šumski otvor nastao sanitarnom sječom oštećenih i odumrlih sabala.....	13
Slika 6. Shema plana mikroklimatskih istraživanja u šumskom otvoru.....	13
Slika 7. Shema plana mikroklimatskih istraživanja u sklopljenoj sastojini (kontrolna ploha).....	14
Slika 8. Usporedba srednjih vrijednosti temperatura zraka (°C).....	16
Slika 9. Usporedba srednjih vrijednosti relativne vlage zraka (%).....	17
Slika 10. Usporedba srednjih vrijednosti temperatura tla (°C).....	18
Slika 11. Usporedba srednjih vrijednosti volumetrijske vlage tla (%).....	19
Slika 12. Deskriptivna statistika pH vrijednosti u šumskom tlu.....	20
Slika 13. Deskriptivna statistika sadržaja organske tvari tla u šumskom tlu (%).....	20
Slika 14. Deskriptivna statistika sadržaja ukupnog dušika u šumskom tlu (%).....	21
Slika 15. Deskriptivna statistika sadržaja humusa u šumskom tlu (%).....	21
Slika 16. Deskriptivna statistika sadržaja organskog ugljika u šumskom tlu (%).....	22
Slika 17. Deskriptivna statistika sadržaja ukupnog ugljika u šumskom tlu (%).....	22
Slika 18. Usporedba dehidrogenazne aktivnosti.....	23
Slika 19. Usporedba proteolitičke aktivnosti.....	24
Slika 20. Sezonska dinamika dehidrogenazne aktivnosti šumskog tla.....	27
Slika 21. Sezonska dinamika proteolitičke aktivnosti šumskog tla.....	27

**Popis tablica:**

Tablica 1. Deskriptivna statistika temperature zraka (°C) .....	16
Tablica 2. Deskriptivna statistika relativne vlage zraka (%).....	17
Tablica 3. Deskriptivna statistika temperatura tla (°C) .....	18
Tablica 4. Deskriptivna statistika volumetrijske vlage tla (%) .....	19
Tablica 5. Deskriptivna statistika dehidrogenazne aktivnosti .....	23
Tablica 6. Deskriptivna statistika proteolitičke aktivnosti .....	24
Tablica 7. Korelacija enzimatske aktivnosti šumskog tla u otvoru s mikroklimatskim elementima.....	25
Tablica 8. Korelacija enzimatske aktivnosti šumskog tla kontrolne plohe s mikroklimatskim elementima.....	25
Tablica 9. Korelacija enzimatske aktivnosti šumskog tla otvora i kontrolne plohe.....	26
Tablica 10. Spearman korelacija enzimatske aktivnosti i kemijskih karakteristika šumskog tla .....	26



# 1.UVOD

## 1.1. Šumska biljna zajednica obične jele s rebračom

Šuma obične jele s rebračom (*Blechno-Abietetum* Ht. 1950) pretežno je rasprostranjena u Gorskom kotaru, a možemo je pronaći i u sjevernoj Hrvatskoj na Macelju. U Gorskom kotaru raste unutar bukovo-jelove šume na nadmorskim visinama od 650 m do 950 m, na podzoliranim tlima i silikatnim stijenama. Gospodarski važni kompleksi nalaze se u širokoj okolini jezera Bajer i Lokvarka, u Sungerskom lugu i Belevinama, Lesci kod Crnog luga, u dolinama rijeka Čabranke i Kupe te u dolinama Pečinskoga potoka i Sušice između Skrada i Ravne Gore. Na Macelju šuma obične jele s rebračom raste na strmijim padinama s manjim nadmorskim visinama i redovito na sjevernim ekspozicijama. Raste na luvisolu i distričnom kambisolu čije je glavno obilježje izrazita kiselost s pH-vrijednostima oko 5 (Vukelić i Baričević, 2001).

Glavna vrsta u sloju drveća je obična jela, uz nju se javljaju smreka, jarebika i manje vitalna bukva. U sloju grmlja, uz redoviti obilan pomladak obične jele i skupina jarebika, dolazi i crna kozja krv (*Lonicera nigra*), a na svjetlijim mjestima malina (*Rubus ideus*). Prizemno rašće ne obiluje vrstama, ali mjestimično prekriva i do 90 % površine. Kao regionalne svojstvene vrste, koje zajednicu *Blechno-Abietetum* ograničuju prema svim drugim zajednicama u istom pojasu, možemo izdvojiti *Blechnum spicant*, *Nephrodium oreopteris*, *Eurhynchium striatum*, *Campylopus flexuosus* i *Melampyrum vulgatum*. Također se javljaju vrste sveze *Piceion excelsae* i reda *Vaccinio-Piceetalia* te ostale acidofine vrste *Luzula luzulina*, *Luzula pilosa*, *Veronica officinalis*, *Vaccinium myrtillus*, *Lycopodium annotinum*, *Lycopodium clavatum*, *Oxalis acetosella* i druge (Vukelić i Baričević, 2001).

Unutar zajednice *Blechno-Abietetum* su opisane tri subasocijacije: *hylocomietosum loreum*, *galietosum rotundifoliae* i *fagetosum*. Subasocijacija *hylocomietosum loreum* raste u manjim depresijama pri prijelazu donjih obronaka u ravne površine, na vlažnim staništima. Takva su staništa manja mrazišta pa se zbog toga smreka češće pojavljuje nego u drugim subasocijacijama, a uz žuti mah (*Hylocomium loreum*) razlikovne su vrste *Carex brizoides*, *Maianthemum bifolium*, *Sphagnum girgensohnii*, *Lysimachia nemorum*. Subasocijacija s okruglolisnom broćikom (*galietosum rotundifoliae*) najčešće raste na padinama i na sušim staništima te predstavlja tipski razvijenu subasocijaciju šume obične jele s rebračom. Osim

broćike razlikovne su vrste *Solidago virgaurea*, *Calamintha grandiflora*, *Mycelis muralis*, *Carex pilulifera*, *Pteridium aquilinum* i druge (Vukelić i Baričević, 2001). Horvat (1962) unutar ove subasocijacije razlikuje više facijesa, na primjer *Rubus hirtus* na dubljim, vlažnim tlima, *Vaccinium myrtillus* na platoima i facijes *Calamagrostis arundinacea* na suhim, južnim i zapadnim padinama. Intenzivnijom sječom i otvaranjem sklopa facijes *Calamagrostis arundinacea* lako prelazi u bukovu šumu, ali, zbog brzog pojavljivanja pomlatka obične jele, na kraju je to ipak izvanredna jelova šuma. No posljednjih petnaestak godina, zbog intenzivnog sušenja obične jele, opisana je i treća subasocijacija *fagetosum* s razlikovnim vrstama *Fagus sylvatica* i *Calamagrostis arundinacea* (Rauš, 1984).



Slika 1. Šuma obične jele s rebračom ([www.np-risnjak.hr](http://www.np-risnjak.hr))

## 1.2. Odumiranje stabala obične jele

Kao posljedica promjene prirodnih stanišnih čimbenika javlja se propadanje i izvanredno odumiranje stabala. Ono je jedan od najvećih ekoloških problema u šumarstvu, a uzrokuje i značajne gospodarske probleme kao što je smanjenje drvne zalihe, izostanak prirodne obnove, zakorovljenje staništa i ostalo. Odumiranje stabala može biti prirodno i izvanredno. Kronično propadanje i izvanredno odumiranje stabala je pokazatelj poremećaja u funkcioniranju šumskih ekosustava. Odumiranje stabala se odnosi na pojavu velikog broja izvanredno odumrlih stabala. Kod odumrlih stabala prestaju sve fiziološke funkcije (Eckmüllner i Sterba, 2000; Tikvić i dr. 2006). U stručnim se šumarskim krugovima koriste nepravilni izrazi za odumrla stabla kao što su "suha stabla" ili "sušci". Izrazi su nepravilni jer se ne radi samo o gubitku vlage u stablu, nego i prestanku svih funkcija.

Obična jela je gospodarski, ekološki i tradicionalno najznačajnija hrvatska četinjača s oko 35 % udjela u ukupnoj drvnj zalihi četinjača (Prpić i Seletković, 2001). Odumiranje stabala obične jele u čitavom hrvatskom arealu, a posebice u njezinom dinarskom dijelu, posljedica je djelovanja različitih abiotskih i biotskih čimbenika. Prirodno nepovoljno djeluje klima sa svojim ekscesima (suša, ekstremno visoke i niske temperature) te biotski čimbenici, štetnici i bolesti. U posljednjih stotinu godina sve je jači nepovoljni antropogeni utjecaj koji se očituje kroz opterećenje zraka kemijskim tvarima, kojih prije nije bilo u njegovom sastavu, a naziva se promjenom „kemijske klime“. Svi ti čimbenici su vrlo opasni u sinergizmu i imaju znatan utjecaj na šumske ekosustave. Unatoč prednostima, koje obična jela posjeduje u svojoj ekološkoj konstituciji (dugotrajno podnošenje zasnje, odgodu visinskog rasta zbog obrane od kasnih proljetnih mrazeva, stvaranje biogrupa, brz oporavak od napada štetnika, dobro razvijen korijenski sustav i duboko zakorjenjivanje), ona je ipak najoštećenija vrsta hrvatskih šuma (Prpić i dr. 2001).

Prva odumiranja stabala obične jele u Europi se evidentiraju oko 1900. godine u Francuskoj, 1927. u Saskoj, 1942. u Češkoj, Moravskoj i Karpatima (Androić, 1969), a od početka 20. stoljeća u Sloveniji (Križaj, 1997). U Hrvatskoj prvo intenzivno odumiranje stabala obične jele zabilježeno je 1900. godine pokraj Ogulina (šuma Skamnica). Opet je zapaženo 1930. godine u Lici, uz što treba spomenuti i jake napade potkornjaka 1923., 1924. i 1929. godine. Godine 1951. odumiranje stabala je ponovno zapaženo u Gorskom kotaru, nakon toga se postupno širi i 1967. godine zahvaća cijeli Gorski kotar, Kapelu i Sjeverni Velebit, ali zahvaća i običnu jelu u panonskome dijelu areala, na Macelju. Zbog toga Šumarski fakultet

Zagreb i Šumarski institut Jastrebarsko 1968. godine započinju istraživanja o uzrocima oštećenosti i odumiranja stabala obične jele.

Obična jela je stenovalentna vrsta koja u dugom toplom i sušnom razdoblju fiziološki slabi, što stvara predispoziciju za napad jelova moljca (*Agryresthia fundela* F. R.). No, zbog svoje ekološke konstitucije, brzo se oporavlja od napada moljca te u optimumu svog areala nema opasnosti od odumiranja, što se ne odnosi na granicu njezina areala prema toplijim područjima (Prpić, 1975). U Nacionalnom parku Plitvička jezera i u Gorskom kotaru, uz primjenu metode mikrostaništa, istraženo je opterećenje bukovo-jelovih šuma kiselinama i teškim metalima. Ustanovljeno je da su staništa već dulje vrijeme opterećena mokrim i suhim taloženjem štetnih tvari iz onečišćenog zraka te da u dubokim uvalama i dolinama postoje površine s malim unosom štetnih tvari, dakle imisija raste s nadmorskom visinom (Glavač i dr. 1985).

Oštećenost i odumiranje stabala u Hrvatskoj se sustavno prati i izvještava od 1987. godine kada je RH počela sudjelovati u programu ICP Forests. Prvi podatak o osutosti krošanja obične jele, dobiven 1987. godine, otkrio je veliku oštećenost obične jele. Ustanovljeno je 27,8 % vitalnih stabala obične jele i 39,8 % značajno oštećenih, dok je primjerice kod obične bukve ustanovljeno 80,6 % vitalnih stabala i samo 5 % značajno oštećenih. Do 1999. godine oštećenost obične jele u Gorskom kotaru se znatno pogoršala, vitalnih stabala je bilo manje od 4 %, dok ih je čak 63,8 % značajno oštećenih (Potočić i Seletković, 2000). To je područje osobito izloženo imisijama štetnih tvari koje potječu iz naših i europskih industrijskih zona.

Prosječni intenzitet odumiranja stabala obične jele na području sjevernog Velebita u razdoblju 1998.-2006. kretao se od 0,4 m<sup>3</sup>/ha do 9,1 m<sup>3</sup>/ha (Tikvić i dr. 2008). U sastojinama u kojima je evidentirano odumiranje stabala obične jele na području Gorskog kotara, intenzitet odumiranja stabala (m<sup>3</sup>/ha) veći je od volumnog prirasta sastojina (Ugarković i dr. 2011). Ugarković i dr. (2011) su utvrdili postupno povećanje prosječnog godišnjeg intenziteta odumiranja (m<sup>3</sup>/ha) stabala obične jele, kako u sastojinama na rubu areala, tako i u sastojinama u unutrašnjosti areala Gorskog kotara. U sastojinama na rubu areala intenzitet odumiranja (m<sup>3</sup>/ha) se povećao poslije 2003. godine koja je bila izrazito sušna. Prosječni intenzitet odumiranja stabala obične jele na rubu areala kretao se od 16,9 do 18,8 m<sup>3</sup>/ha, a u sastojinama u unutrašnjosti areala Gorskog kotara od 5,0 do 7,5 m<sup>3</sup>/ha. Isti autori su zaključili da je u sastojinama na rubu areala najveći prosječni intenzitet odumiranja stabala obične jele bio u jelovoj šumi s rebračom (18,6 m<sup>3</sup>/ha), zatim u dinarskoj bukovo-jelovoj šumi (18,4 m<sup>3</sup>/ha), a najmanje u jelovoj šumi s milavom u iznosu od 11,5 m<sup>3</sup>/ha.

Uslijed odumiranja stabla ili grupe stabala dolazi do prekida sklopa i stvaranja manjih ili većih šumskih otvora, takve pojave uvjetuju promjenu mikroklimatskih i mikrobioloških prilika (Ugarkovići dr. 2011). Šumska tla se odlikuju velikom zastupljenošću različitih grupa mikroorganizama. Oni svojim djelovanjem omogućavaju život u prirodnim biocenozama, a posebno im je značajna uloga u ishrani biljaka. Zastupljenost mikroorganizama u tlu može se smatrati jednim od glavnih pokazatelja biogenosti i plodnosti tla. Nestankom viših biljaka opskrba hranjivima za mnoge mikroorganizme nestaje neko određeno vrijeme. Ponovna uspostava mutualističkoga odnosa između mikoriznih gljiva i biljaka je pretpostavka uspješnog razvoja viših biljaka.

Unazad gledano, u posljednjih tridesetak godina svjedoci smo pojačanog odumiranja stabala u našim šumama, kao i u šumama širom europskog kontinenta. Oštećenost i odumiranje stabala u 21. stoljeću je poprimilo opseg ekološke katastrofe. Značajna osutost obične jele u razdoblju od 2006. do 2016. kretala se u rasponu od 59,63 % do 72,48 %, a u 2016. godini je iznosila 64,21 % (Potočić i dr. 2017). Uzimajući u obzir sam značaj šuma obične jele za hrvatsko šumarstvo, privredu i stanovništvo nalaže nam se potreba boljeg razumijevanja ovih ekosustava.

### 1.3. Mikroorganizmi u pedosferi

Mikroorganizmi su najstariji predstavnici živog svijeta u prirodi. Oni se mogu prilagoditi raznovrsnim uvjetima i sami sebi stvoriti uvjete za opstanak. Osnovna uloga mikroorganizama u prirodi je mineralizacija organske tvari koja omogućuje održavanje živog svijeta, a kruženjem tvari i energije se povezuju geološke sfere u kojima se nalazi živi svijet. Sva područja na Zemlji u kojima postoje različiti oblici života se nazivaju biogeosfera. Biogeosferu čine pedosfera, biosfera, hidrosfera i atmosfera. Mikroorganizmi su sastavni dio svih sfera života, dok se u pedosferi pojavljuju u najvećem broju zato što pedosfera pruža najpovoljnije uvjete za rast i razvoj.

Tlo je rezervoar mikroorganizama za ostale prirodne sredine u biogeosferi, sadrži četiri glavne skupine mikroorganizama: bakterije, gljive, praživotinje i virusi. Bakterije su najbrojnije od svih mikroorganizama u tlu. Među organizmima tla, gljive čine skupinu organotrofnih organizama presudnih za razgradnju organskih ostataka tlu, iako su malobrojnije od bakterija. Njihovo je značenje u mikrobiologiji šumskih tala izrazito veliko. Iako mikroorganizmi tla čine manje od 0,5 % mase tla, oni imaju presudan utjecaj na svojstva tla i procese koji se u njemu odvijaju (Tate, 1995). Struktura i plodnost tla ovise o aktivnosti mikroorganizama. Najveću ulogu imaju heterotrofi, bakterije i gljive. Mikroorganizmi tla prerađuju organske ostatke tla u humusne tvari koje se dalje mineralizacijom pretvaraju u mineralne biljne asimilative. Ovim aktivnostima se doprinosi održavanju plodnosti kao nove kvalitativne karakteristike tla.

Kvantiteta i kvaliteta organske tvari značajno utječe na raspored biomase, aktivnosti, raznolikosti i brojnosti mikroorganizama u tlu, zato su neravnomjerno raspoređeni. Najveći broj organizama u tlu su organotrofi. Za njihov razvoj je potrebna organska tvar koju dobivamo iz korijenja biljaka, organskih ostataka biljaka, uginulih životinja i mikroorganizama. Najviše mikroorganizama se nalazi u površinskim slojevima tla, dok se s dubinom broj mikroorganizama smanjuje. Raspored mikroorganizama u tlu može biti horizontalan i vertikalni. Horizontalni raspored mikroorganizama se odražava na temelju ekoloških uvjeta u različitim područjima, bogatstva organskim tvarima te utjecaja različitih klimatskih faktora (temperatura, vlaga i drugo). Mikroorganizmi su vertikalno raspoređeni ovisno o tipu tla, njegovim fizikalnim i kemijskim karakteristikama te utjecaju rizosfere.

Kao što je već navedeno, osnovna uloga mikroorganizama je mineralizacija organske tvari i stvaranje mineralnih asimilativa kojima se jedino biljke koriste u svom životu. Time je život biljnog svijeta pod neposrednim utjecajem mikroorganizama bez obzira gdje se biljke razvijale (Blažinkov, 2011).

#### **1.4. Značaj mikroorganizama u tlu**

Mikroorganizmi tla sudjeluju u kruženju biljnih hranjiva, razgradnji biljnih ostataka i stvaranju humusa, važni su za očuvanje stabilnosti strukture tla te za detoksikaciju pesticida i drugih ksenobiotika (teški metali, industrijski otpad i ostalo).

Kvaliteta tla uvelike utječe na mikroorganizme. Vrlo su osjetljivi i brzo reagiraju na uvjete u okolišu, zbog toga su sposobni ukazati i na najmanju promjenu u nekoj sredini, npr. štetne utjecaje, onečišćenja teškim metalima i drugo. Mikroorganizmi su važni za monitoring tla zato što su jednostavni za mjerenje (određivanje), prilagodljivi su i mogu funkcionirati u svim uvjetima okoliša te pouzdano otkrivaju postoji li problem i o kojem problemu se radi.

Tlo se sastoji od živih i neživih komponenata koje se nalaze u kompleksnom i heterogenom okolišu. Mikroorganizmi tla su odgovorni za stabilnost agregata, razgradnju organske tvari i većinu kruženja hranjiva koja se odigravaju u tlu. Svi ti organizmi koji žive u tlu, a manji su od 10  $\mu\text{m}$ , čine mikrobnu biomasu. Mikrobna biomasa sastoji se od metabolički aktivnih i neaktivnih organizama, ipak dominiraju najznačajnije grupe u kruženju energije i hranjiva, gljive i bakterije. Svrha određivanja mikrobne biomase u tlu omogućuje procjenu utjecaja dodanih materijala na prirodnu mikrobnu populaciju, procjenu potencijalne sposobnosti razgradnje organskih materijala te kontinuirano održavanje plodnosti tla. Za procjenu biomase koriste se direktne (metoda razrjeđenja, fertilna zrnca i mikrotitarske ploče (MPN)) i indirektne metode (supstrat inducirana respiracijska metoda (SIR) i fumigacijsko-ekstrakcijska metoda (FE)). U različitim uzorcima tla, horizontima ili profilima indirektne metode (SIR, FE) kvantificiraju količinu ugljika ili dušika u mikrobnjoj biomasi ili mjere sposobnost mineralizacije dodanog izvora ugljika. Jedna od važnih spoznaja je mogućnost pojave različitih biomasa između različitih uzoraka tla bez direktne korelacije sa kvalitetom tla (Blažinkov, 2011a).

## 1.5. Enzimatska aktivnost

Općenito, enzimi su biološki katalizatori koji ubrzavaju kemijske reakcije, isto tako u tlu postoje enzimi koji kataliziraju supstrat te tako nastaju specifične transformacije. Enzime koristimo kako bi utvrdili utjecaj gospodarenja tлом, korištenje tla i specifičnih uvjeta u okolišu. Enzimatska aktivnost najčešće se mjeri pomoću laboratorijskih metoda zato što te metode pružaju standardizirane uvjete sredine te nam je omogućena komparacija tala iz različitih geografskih lokacija i različitih uvjeta okoliša. Laboratorijske metode često se koriste za dobivanje informacija o „funktionalnim grupama“. Glavni razlozi za mjerenje enzimatske aktivnosti su utvrđivanje indikatora raznolikosti procesa u tlu i indikatora kvalitete tla. Indikatore iz kojih možemo dobiti podatke o biokemijskom potencijalu, mogućoj otpornosti i potencijalu za gospodarenjem složenim sustavom, tлом, nazivamo indikatorima za raznolikost procesa u tlu. Indikatori kvalitete tla podrazumijevaju promjene u ključnim funkcijama i aktivnostima, oni osiguravaju informacije o progresu remedijacije ili osjetljivosti na određeni tip upravljanja tлом. Određivanjem enzima u tlu osiguravamo mjeru za potencijalnu aktivnost, genotip tla. Usprkos prednostima dobivanja ovih podataka, važno je shvatiti ograničenja enzimatskih metoda i interpretacije rezultata.

Po reakcijama koje kataliziraju enzimi se svrstavaju u skupine pa tako imamo oksidoreduktaze koje se dijele na:

1. dehidrogenaze (kataliziraju reakcije dehidrogenacije),
2. katalaze, peroksidaze (razgradnja vodikovog peroksida na kisik i vodu),
3. pelifenol oksidaze (oksidacija fenolnih spojeva, humifikacija).

Enzimi tla su važni iz nekoliko razloga: oslobađaju hranjiva u tlu kroz razgradnju organske materije, služe nam za identifikaciju tala i mikrobne aktivnosti i indikatori su ekoloških promjena. Enzimi tla su povezani sa mikroorganizmima (Burns, 1982). Enzimatska aktivnost u tlu ima veliku ulogu u procesu katalize, razlaganju organske materije, ciklusu hranjiva kao i u stvaranju organske materije i strukture tla (Sinsabaugh i dr. 1994).

Mikrobi u tlu imaju osnovnu ulogu u dekompoziciji i mineralizaciji kroz stvaranje različitih enzima (Burns, 1982). Ovi enzimi pretvaraju velike molekule u male molekule koje mogu biti usvojene ili asimilirane od strane mikroorganizama ili biljaka.



Sinsabaugh i dr. (1991) su pokazali kako enzimi mogu biti indikatori u proučavanju dekompozicije (razlaganja) organskih ostataka na šumskom tlu. Temperatura, pH, ishrana tla i različiti metali mogu biti ograničavajući (kontrolirani) čimbenik enzimatske aktivnosti.

Enzimatska aktivnost može biti: 1. dehidrogenazna aktivnost;

2. celulolitička aktivnost;

3. proteolitička aktivnost.

Dehidrogenazna aktivnost je općeniti pokazatelj mikrobne aktivnosti. Dehidrogenaze su enzimi iz grupe oksidoreduktaza koje supstrat oksidiraju reakcijom redukcije. Glavna uloga kod organizama im je stvaranje energije, a organske spojeve oksidiraju prenoseći dva vodikova atoma. Čine bitnu komponentu enzimatskog sustava mikroorganizama kao indikator mikrobne aktivnosti tla, održavajući ukupnu oksidativnu aktivnost mikroorganizama tla i oksidirajući organske tvari tla (Blažinkov, 2011a).

Proteolitička aktivnost važan je pokazatelj biološke aktivnosti i usko se povezuje s plodnošću tla pa je stoga od primarnog značaja istražiti proteolitičku aktivnost mikrobnih zajednica u različitim terestričkim ekosustavima. Iako postoje sporadična istraživanja proteolitičke aktivnosti u poljoprivrednim tlima na području RH (Sikora, 1990), gotovo ništa ne znamo o proteolitičkoj dinamici u šumskim tlima (Fuka i dr. 2011).

## **2.CILJ ISTRAŽIVANJA**

Ciljevi ovog istraživanja su:

- utvrditi razlike u vrijednostima mikroklimatskih elemenata između šumskog otvora i sklopljene sastojine (kontrolna ploha);
- utvrditi osnove kemijske karakteristike šumskog tla u šumskom otvoru i sklopljenoj sastojini;
- utvrditi razlike u dehidrogenaznoj i proteolitičkoj aktivnosti šumskog tla u šumskom otvoru i sklopljenoj sastojini;
- utvrditi odnose između dehidrogenazne i proteolitičke aktivnosti te mikrokline.

### 3.MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. Područje istraživanja

##### 3.1.1. Zemljopisni položaj i šumski ekosustavi

Gospodarska jedinica "Brloško" nalazi se na zapadnom dijelu Gorskog kotara i čini karakterističnu cjelinu gorskih i pretplaninskih krajeva koja dijeli kopnene od primorskih krajeva. Sa sjeverne strane ova gospodarska jedinica graniči sa gospodarskom jedinicom "Špičunak" kojom gospodari šumarija Lokve. S istočne strane graniči s privatnim posjedima KO Vrata, dok se s južne strane nalazi gospodarska jedinica "Kobiljak-Bitoraj" šumarije Fužine. Sa zapada graniči s gospodarskom jedinicom "Jelenje velo A i B" šumarije Rijeka.

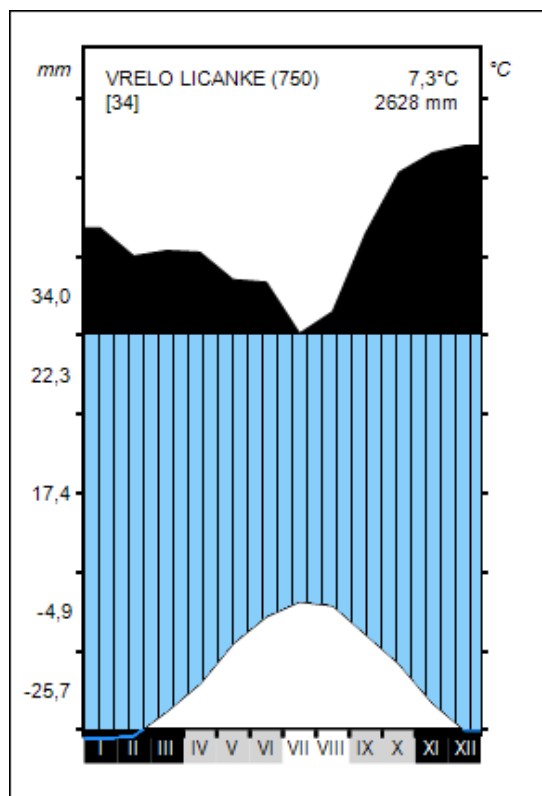
Šume ove gospodarske jedinice ispresijecane su brojnim infrastrukturnim sadržajima kao što su : Autocesta Rijeka – Zagreb, magistralna cesta Rijeka – Zagreb, magistralna pruga Rijeka – Zagreb, lokalne ceste Fužine – Kraljev Jarak, Fužine – Sopač i Fužine – Hreljin, brojni dalekovodi i naftovod. Na području gospodarske jedinice nalaze se jezera Bajer i Lepenice, akumulacije za hidrocentralu Tribalj.

Unutar našeg područja istraživanja (gospodarska jedinica "Brloško") obična jela se javlja uglavnom u dvije biljne zajednice:

- a) dinarsko bukovo-jelova šuma (*Omphalodo-Fagetum* Marinček et al. 1992 subas. *Mercurialetosum perennis*) (*Omphalodo-Fagetum* Marinček et al. 1992 subas. *Festucetosum altissimae*) (*Omphalodo-Fagetum* Marinček et al. 1992 subas. *Typicum*) (*Omphalodo-Fagetum* Marinček et al. 1992 subas. *Aceretosum*);
- b) šuma obične jele s rebračom (*Blechno-Abietetum* Ht. 1950 subas. *Hylocomietosum*) (*Blechno-Abietetum* Ht. 1950 subas. *Galietosum rotundifoliae*) (*Blechno-Abietetum* Ht. 1950 subas. *Fagetosum*).

### 3.1.2. Klima i tlo

Klima područja istraživanja je analizirana na osnovu klimadijagrama za meteorološku postaju Vrelo Ličanke (slika 2.) koja se nalazi u neposrednoj blizini pokusnih ploha. Prema Koppenu, ovo je područje umjereno tople kišne klime tipa Cfsbx" , nema sušnog razdoblja, s maritimnim oborinskim režimom tj. minimum oborina pada u najtoplije godišnje doba. Prema vrijednostima Langovog kišnog faktora, klima ovog područja je perhumidna i nema niti jednog aridnog mjeseca. Srednja godišnja temperatura zraka je iznosila 7,3 °C. Najhladniji mjesec je siječanj, a najtopliji srpanj. Apsolutni minimum je iznosio -25,7 °C, a apsolutni maksimum temperature zraka je iznosio 34,0 °C. Prosječna godišnja količina oborina je oko 2500 mm. Područje istraživanja ima maritimni oborinski režim, veći dio oborina padne tijekom hladnijeg dijela godine. Maksimalne mjesečne količine oborina padnu u kasnu jesen ili početkom zime, a srpanj je mjesec s najmanjom količinom oborina.



Slika 2. Klimadijagrama za meteorološku postaju Vrelo Ličanke

Za određivanje pedogeografskih odnosa na području gospodarske jedinice Brloško koristili smo se osnovnom pedološkom kartom (M 1 : 50 000), lista Sušak 2 (Martinović, 1973). Središnji dio gospodarske jedinice predstavljen je distričnim smeđim tlima, smeđim

podzolastim tlima i podzolu na pješčenjaku i kvarcnom konglomeratu. Istraživanja Komlenović i dr. (1991) pokazala su ekstremnu kiselost ovih tala, opterećenje olovom i teškim metalima u površinskim horizontima, posebno u Of pothorizontu. Uočen je visok sadržaj pokretljivog aluminija, a mali sadržaj pristupačnog magnezija. Odjeli od 1 do 48 predstavljani su smeđim tлом i smeđim ilimeriziranim tлом u omjeru 70:30, na vapnencima i dolomitima u izmjeni. Sjevernije, od potoka Kostanjevica i sjeveroistočno od Bajerskog jezera dolazi serija tala na vapnencu i dolomitu, gdje su najzastupljeniji smeđe tlo, tipično i ilimerizirano, zatim luvisoli na zaravnima i u vrtačama i organomineralna crnica na grebenima i u gornjim dijelovima padina. U jugozapadnom dijelu gospodarske jedinice nalazi se serija tala također na vapnencu i dolomitu, kao što je smeđe tlo na vapnencu i dolomitu (tipično, plitko), zatim organomineralna crnica s moličnim horizontom i posmeđena crnica.

### 3.2. Prikupljanje i obrada podataka

Istraživanja su obavljena u odjelu 64 gospodarske jedinice "Brloško". Ovom gospodarskom jedinicom gospodari Šumarija Fužine. Tijekom 2016. godine, u jednom šumskom otvoru u šumskoj zajednici obične jele s rebračom i njezinoj kontrolnoj plohi dimenzija 50x50 m, postavljen je pokus. Šumski otvor je nastao prije četiri godine sanitarnom sječom oštećenih (> 80 % osutost krošanja) i odumrlih (100 % osutost krošanja) stabala obične jele.



Slika 3. Oštećeno stablo obične jele

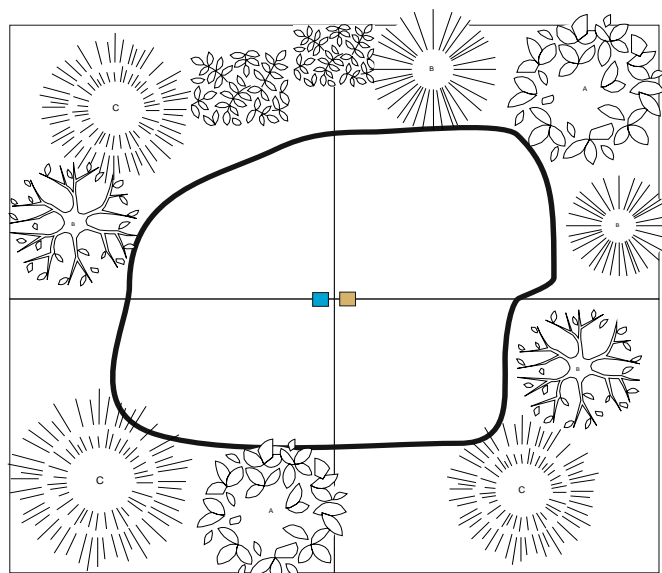


Slika 4. Odumrlo stablo obične jele



Slika 5. Šumski otvor nastao sanitarnom sječom oštećenih i odumrlih stabala

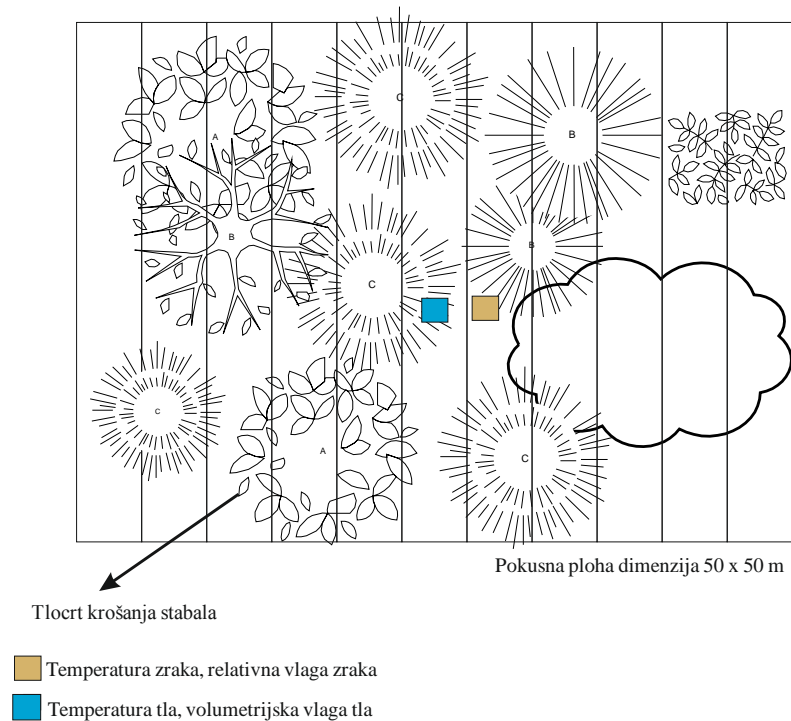
Veličina šumskog otvora utvrđena je GPS uređajem, a iznosila je 1400 m<sup>2</sup>. Rub šumskog otvora definiran je rubom krošanja okolnih stabala. Središte šumskog otvora određeno je prema metodi Runkla (1982). U središtu šumskog otvora postavljene su mikroklimatske stanice Rotronic na visini 1,5 m od tla za mjerenje temperature zraka (°C) i relativne zračne vlage (%), te mikroklimatske stanice Spectrum za mjerenje temperature tla (°C) i volumetrijske vlage tla (%). Mjerenja mikroklimatike šumskog tla su obavljena na dubini od 10 cm.



- Temperatura zraka, relativna vlaga zraka
- Temperatura tla, volumetrijska vlaga tla
- Rub šumskog otvora

Slika 6. Shema plana mikroklimatskih istraživanja u šumskom otvoru

U susjednoj sklopljenoj sastojini (kontrolna ploha) obavljeno je identično mikroklimatsko mjerenje temperature zraka (°C) i relativne zračne vlage (%) na visini 1,5 m od tla, te mjerenje temperature tla (°C) i volumetrijske vlage tla (%) na dubini od 10 cm.



Slika 7. Shema plana mikroklimatskih istraživanja u sklopljenoj sastojini (kontrolna ploha)

Mikroklimatska mjerenja su obavljena svaki sat vremena u vremenskom razdoblju od 1.05.2016. do 31.09.2016. godine (N=3672 mjerenja).

Na svakoj pokusnoj plohi sakupljeni su uzorci šumskog tla pomoću pedološke sonde (do dubine 10 cm) u četiri repeticije (N=4 uzoraka po pokusnoj plohi). Laboratorijske analize šumskog tla su napravljene prema metodama:

- reakcija tla je određena u H<sub>2</sub>O na pH-metru;
- ukupni ugljik je određen metodom po Scheilberu;
- ukupni dušik je određen na elementarnom analizatoru Leco;
- humus i organska tvar tla su određeni po Tjurinu.

U tri termina tijekom 2016. godine (svibanj, srpanj i rujna) pedološkom sondom su sakupljeni uzorci šumskog tla do dubine 10 cm za enzimatske analize. Uzorci su sakupljeni u četiri repeticije (N=12 uzoraka po pokusnoj plohi). Dehidrogenazna aktivnost je određena metodom

trifeniltetrazolium klorida (TTC) (Casida i dr. 1964). Proteolitička aktivnost je određena metodom razgradnje kazeina do aromatičnih aminokiselina (Ladd i Butler, 1972).

Svi klimatski podaci obrađeni su u programima HW3 i SpecWare 9.0. Statistička obrada mikroklimatskih, pedoloških i enzimatskih podataka (deskriptivna statistika, jednosmjerna analiza varijance ANOVA i neparametarska Spearman R korelacija) provedena je u statističkom programu Statistica 7.1. (StatSoft, Inc. 2003).

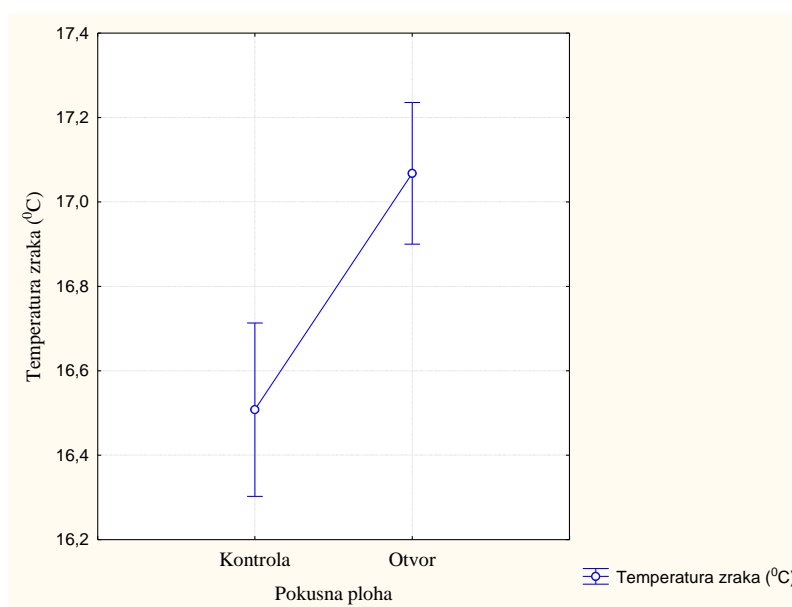
## 4.REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 4.1. Mikroklima šumskog otvora

Prema rezultatima prikazanim u tablici 1., srednja temperatura zraka u šumskom otvoru je iznosila 17,07 °C, a u sklopljenoj sastojini (kontrola) 16,51 °C. Maksimalna temperatura zraka je također izmjerena u šumskom otvoru u iznosu od 29,19 °C.

Tablica 1. Deskriptivna statistika temperature zraka (°C)

Pokusna ploha	Sred.vrijednost	Stand.devijacija	Minimum	Maksimum
Otvor	17,07	3,68	7,94	29,19
Kontrola	16,51	4,50	6,44	26,25



Slika 8. Usporedba srednjih vrijednosti temperatura zraka (°C)

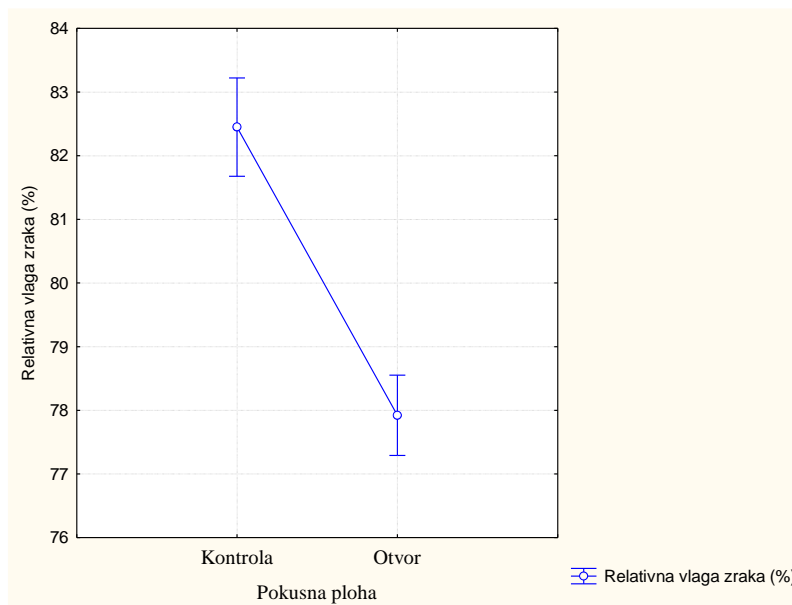
Prema rezultatima jednosmjerne analize varijance (ANOVA) prikazanim na slici 8., srednja temperatura zraka je bila statistički značajno veća u šumskom otvoru u odnosu na kontrolnu plohu ( $p = 0,0003$ ).



Tablica 2. Deskriptivna statistika relativne vlage zraka (%)

Pokusna ploha	Sred.vrijednost	Stand.devijacija	Minimum	Maksimum
Otvor	77,92	13,82	35,15	100,00
Kontrola	82,45	16,91	36,06	100,00

Srednja vrijednost relativne zračne vlage u šumskom otvoru je iznosila 77,92 %, a u sklopljenoj sastojini 82,45 %. Maksimalne vrijednosti relativne zračne vlage su u obje pokusne plohe iznosile 100 % (tablica 2.).



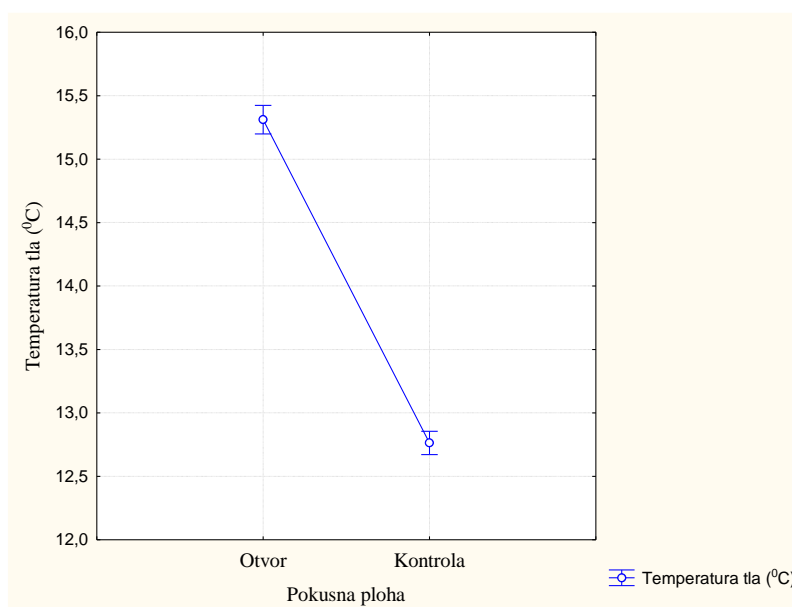
Slika 9. Usporedba srednjih vrijednosti relativne vlage zraka (%)

Prema rezultatima ANOVA na slici 9., srednja vrijednost relativne zračne vlage je bila statistički značajno veća u kontroli tj. sklopljenoj sastojini ( $p = 0,0001$ ).

Tablica 3. Deskriptivna statistika temperatura tla (°C)

Pokusna ploha	Sred.vrijednost	Stand.devijacija	Minimum	Maksimum
Otvor	15,31	3,48	7,60	22,80
Kontrola	12,76	2,84	7,00	16,90

U tablici 3. je prikazana deskriptivna statistika temperatura šumskog tla. Srednja vrijednosti temperature tla u otvoru je bila 15,31 °C, a u sklopljenoj sastojini je iznosila 12,76 °C. Maksimalna temperatura tla je bila veća u šumskom otvoru (22,80 °C) u odnosu na sklopljenu sastojinu (16,90 °C).



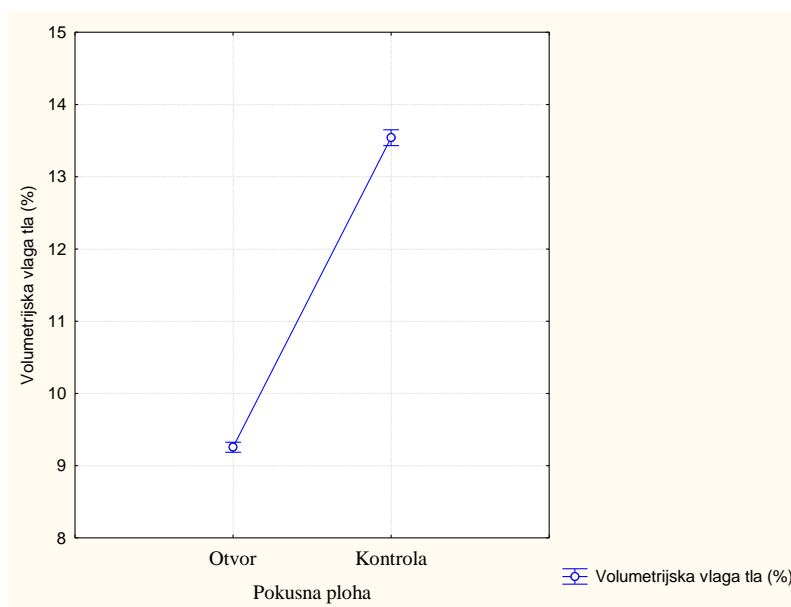
Slika 10. Usporedba srednjih vrijednosti temperatura tla (°C)

Na slici 10. prikazan je rezultat usporedbe srednjih vrijednosti temperatura tla (ANOVA). Utvrđena je značajno veća vrijednost temperature tla u šumskom otvoru ( $p = 0,0001$ ).

Tablica 4. Deskriptivna statistika volumetrijske vlage tla (%)

Pokusna ploha	Sred.vrijednost	Stand.devijacija	Minimum	Maksimum
Otvor	9,26	2,15	5,40	23,60
Kontrola	13,54	3,38	6,30	26,20

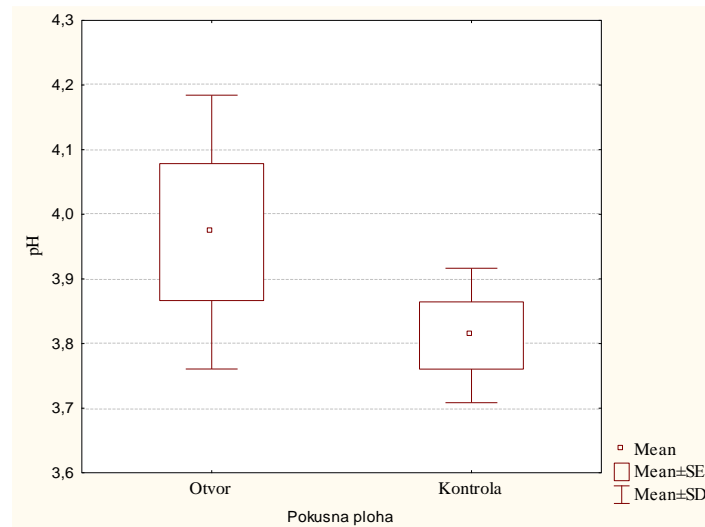
U vremenskom periodu od svibnja do rujna 2016. godine srednja vrijednost volumetrijske vlage tla u otvoru je iznosila 9,26 %, a u sklopljenoj sastojini 13,54 %. Minimalna vlaga tla u šumskom otvor je bila 5,40 %, a u sklopljenoj sastojini 6,30 %. Maksimalne vrijednosti vlage tla su iznosile 23,60 % u otvoru, odnosno 26,20 % u kontrolnoj plohi (tablica 4.).



Slika 11. Usporedba srednjih vrijednosti volumetrijske vlage tla (%)

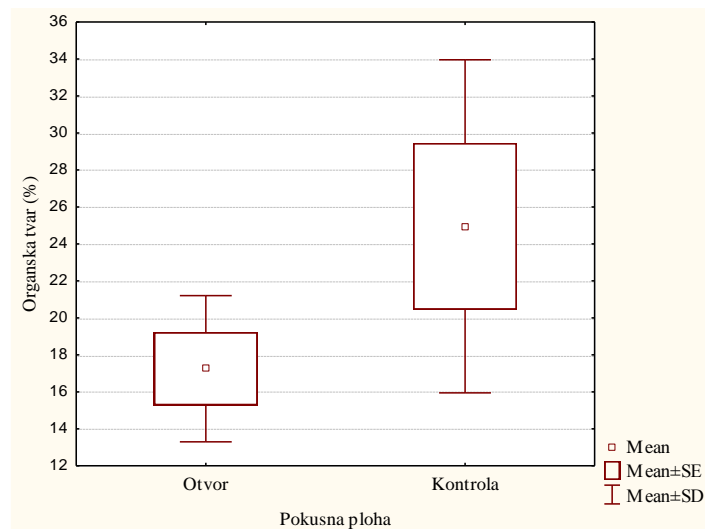
Usporedbom srednjih vrijednosti volumetrijske vlage tla (slika 11.) utvrđena je značajno veća vrijednost u sklopljenoj sastojini ( $p = 0,0001$ ) u odnosu na šumski otvor.

## 4.2. Kemijske karakteristike šumskog tla



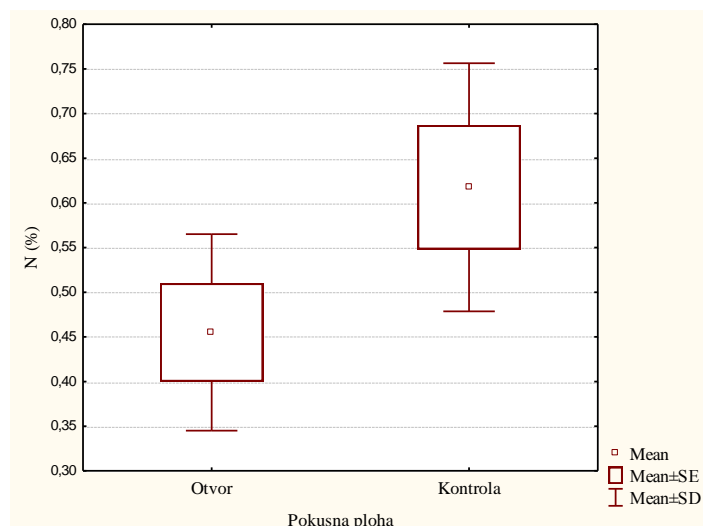
Slika 12. Deskriptivna statistika pH vrijednosti u šumskom tlu

Na slici 12. prikazana je deskriptivna statistika pH vrijednosti šumskog tla. Srednja vrijednost pH tla u šumskom otvoru je iznosila 3,97, a u sklopljenoj sastojini 3,81. Nisu utvrđene značajne razlike u pH vrijednostima šumskog tla ( $p = 0,2240$ ).



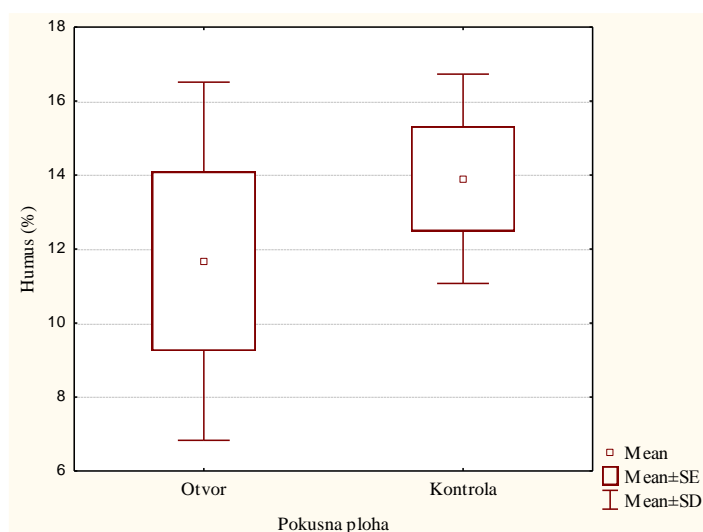
Slika 13. Deskriptivna statistika sadržaja organske tvari tla u šumskom tlu (%)

Prema rezultatima na slici 13. srednji sadržaj organske tvari tla u šumskom otvoru je iznosio 17,25 %, a u sklopljenoj sastojini 24,95 %. Prema rezultatima ANOVA nisu utvrđene statistički značajne razlike u sadržaju organske tvari tla između šumskog otvora i sklopljene sastojine ( $p = 0,1684$ ).



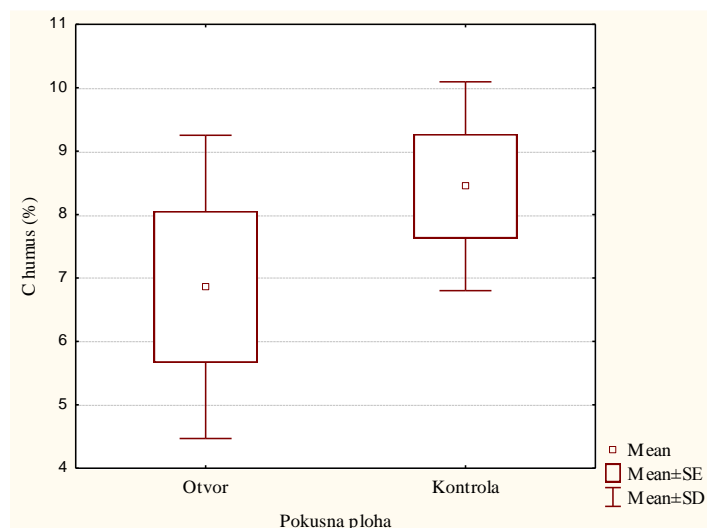
Slika 14. Deskriptivna statistika sadržaja ukupnog dušika u šumskom tlu (%)

Srednji sadržaj dušika (N) u tlu na području šumskog otvora je iznosio 0,45 %, a u sklopljenoj sastojini 0,61 %. Također nisu utvrđene statistički značajne razlike ( $p = 0,1162$ ) u postotku sadržaja dušika (slika 14.).



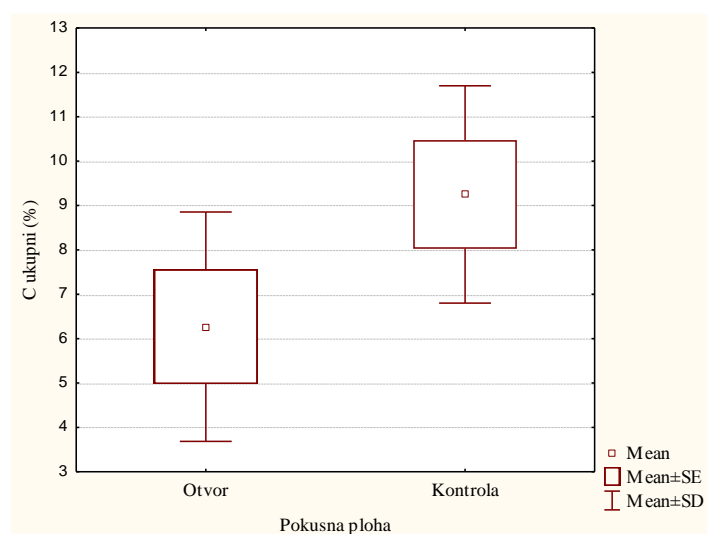
Slika 15. Deskriptivna statistika sadržaja humusa u šumskom tlu (%)

Srednja vrijednost sadržaja humusa u tlu šumskog otvora je iznosila 11,67 %, a u sklopljenoj sastojini 13,90 %. Prema rezultatima ANOVA nisu postojale statistički značajne razlike ( $p = 4566$ ) između istraživanih pokusnih ploha (slika 15.).



Slika 16. Deskriptivna statistika sadržaja organskog ugljika u šumskom tlu (%)

Srednja vrijednost sadržaja organskog ugljika u šumskom otvoru je iznosio 6,86 %, a u sklopljenoj sastojini 8,44 % (slika 16.). Nisu utvrđene statistički značajne razlike u sadržaju organskog ugljika ( $p = 0,3160$ ).



Slika 17. Deskriptivna statistika sadržaja ukupnog ugljika u šumskom tlu (%)

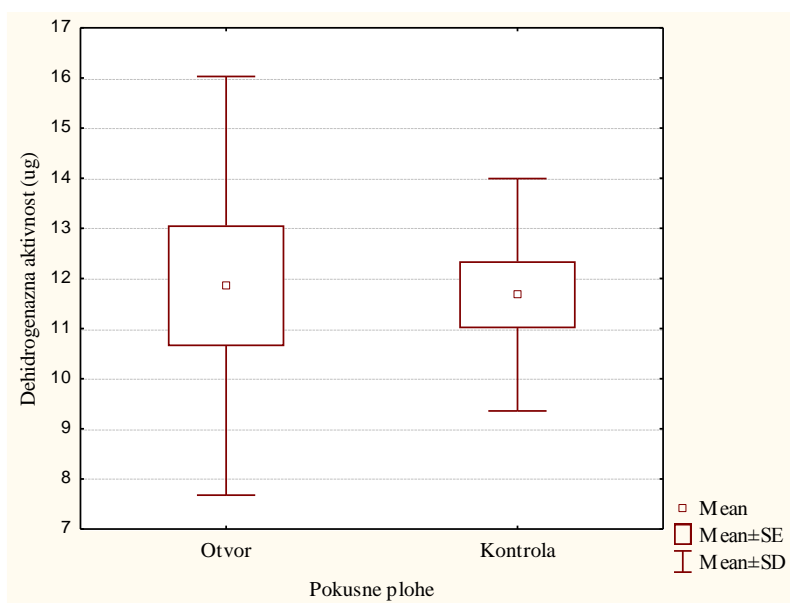
Srednja vrijednost sadržaja ukupnog ugljika u tlu na prostoru šumskog otvora je iznosila 6,26 %, a na kontrolnoj plohi 9,24 % (slika 17.). Na istraživanim pokusnim plohama nisu postojale statistički značajne razlike u sadržaju ukupnog ugljika ( $p = 0,1451$ ).

### 4.3. Enzimatska aktivnost šumskih tala

Tablica 5. Deskriptivna statistika dehidrogenazne aktivnosti ( $\mu\text{g}$ )

Pokusna ploha	Sred.vrijednost	Stand.devijacija	Minimum	Maksimum
Otvor	11,85	4,18	5,98	20,10
Kontrola	11,68	2,32	9,00	16,80

Prema rezultatima u tablici 5. dehidrogenazna aktivnost tla u šumskom otvoru se kretala u rasponu od 5,98 do 20,10  $\mu\text{g}$ , a u sklopljenoj sastojini (kontrola) se kretala u rasponu od 9,00 do 16,80  $\mu\text{g}$ .



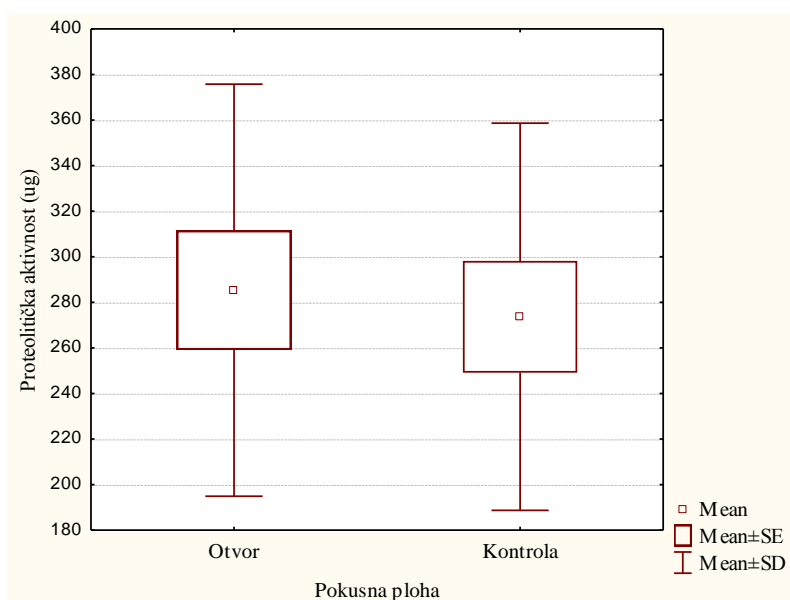
Slika 18. Usporedba dehidrogenazne aktivnosti

Na slici 18. su prikazane srednje vrijednosti, standardne pogreške i standardne devijacije dehidrogenazne aktivnosti. Nisu utvrđene statistički značajne razlike ( $p = 0,8977$ ) u srednjim vrijednostima dehidrogenazne aktivnosti šumskog tla u otvoru (11,85  $\mu\text{g}$ ) i kontrolne plohe (11,68  $\mu\text{g}$ ).

Tablica 6. Deskriptivna statistika proteolitičke aktivnosti ( $\mu\text{g}$ )

Pokusna ploha	Sred.vrijednost	Stand.devijacija	Minimum	Maksimum
Otvor	285,33	90,43	163,00	454,00
Kontrola	273,67	84,96	183,00	471,00

Proteolitička aktivnost šumskog tla u otvoru se kretala u rasponu od 163,00 do 454,00  $\mu\text{g}$ , a u kontroli od 183,00 do 471,00  $\mu\text{g}$ . Srednja vrijednost u šumskom otvoru je iznosila 285,33  $\mu\text{g}$ , a u kontrolnoj plohi 273,67  $\mu\text{g}$  (tablica 6.).



Slika 19. Usporedba proteolitičke aktivnosti

Prema rezultatima ANOVA ( $p = 0,7477$ ) nisu utvrđene statistički značajne razlike u proteolitičkoj aktivnosti šumskog tla na istraživanim pokusnim ploham (slika 19.).



#### 4.4. Utjecaj mikroklime na enzimatsku aktivnost šumskih tala

Tablica 7. Korelacija enzimatske aktivnosti šumskog tla u otvoru s mikroklimatskim elementima

Varijable	Temp. zraka	Vlaga zraka	Temp. tla	Vol. vlaga tla
Dehidrogenazana aktivnost	0,50	-0,23	0,60*	0,06
Proteolitička aktivnost	0,34	-0,30	0,70*	0,44

\* značajno,  $p < 0,05$

U tablici 7. prikazani su rezultati korelacijske analize dehidrogenazne i proteolitičke aktivnosti šumskog tla s mikroklimatskim elementima. Utvrđena ja značajna i pozitivna korelacija između enzimatske aktivnosti šumskog tla s temperaturama tla.

Tablica 8. Korelacija enzimatske aktivnosti šumskog tla kontrolne plohe s mikroklimatskim elementima

Varijable	Temp. zraka	Vlaga zraka	Temp. tla	Vol. vlaga tla
Dehidrogenazana aktivnost	0,32	-0,17	0,01	0,37
Proteolitička aktivnost	0,69*	-0,46	0,23	0,46

\* značajno,  $p < 0,05$

Tlo u kontrolnoj plohi imalo je značajnu i pozitivnu korelaciju (0,69\*) između proteolitičke aktivnosti i temperature zraka (tablica 8.).

Tablica 9. Korelacija enzimatske aktivnosti šumskog tla otvora i kontrolne plohe

Varijable	Dehidrogenazna (otvor)	Proteolitička (otvor)	Dehidrogenaza (kontrola)	Proteolitička (kontrola)
Dehidrogenazna (otvor)	1,00	--	--	--
Proteolitička (otvor)	0,76*	1,00	--	--
Dehidrogenaza (kontrola)	-0,36	-0,25	1,00	--
Proteolitička (kontrola)	0,34	0,60*	0,41	1,00

\* značajno,  $p < 0,05$

Prema rezultatima prikazanim u tablici 9. utvrđena je značajna i pozitivna korelacija između dehidrogenazne i proteolitičke aktivnosti (0,76\*) u šumskom otvoru. Također postojala je značajna i pozitivna korelacija između proteolitičke aktivnosti tla šumskog otvora i kontrolne plohe (0,60\*).

#### 4.5. Utjecaj kemijskih karakteristika šumskog tla na enzimatsku aktivnost

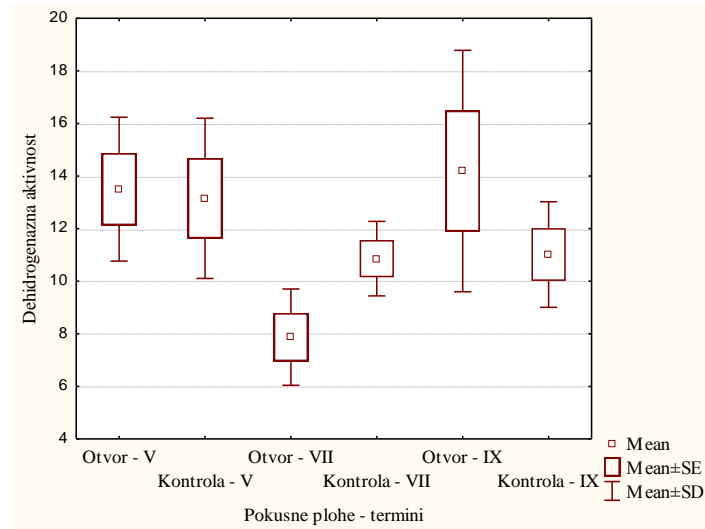
Tablica 10. Spearman korelacija enzimatske aktivnosti i kemijskih karakteristika šumskog tla

Enzimi	pH	Organska tvar	Dušik	Humus	Organski ugljik	Ukupni ugljik
Dehidrogenaza	-0,32	0,50*	0,52*	0,10*	0,10*	0,52*
Proteolitička	-0,10	0,73*	0,80*	0,78*	0,78*	0,83*

\*signifikantno  $p < 0,05$

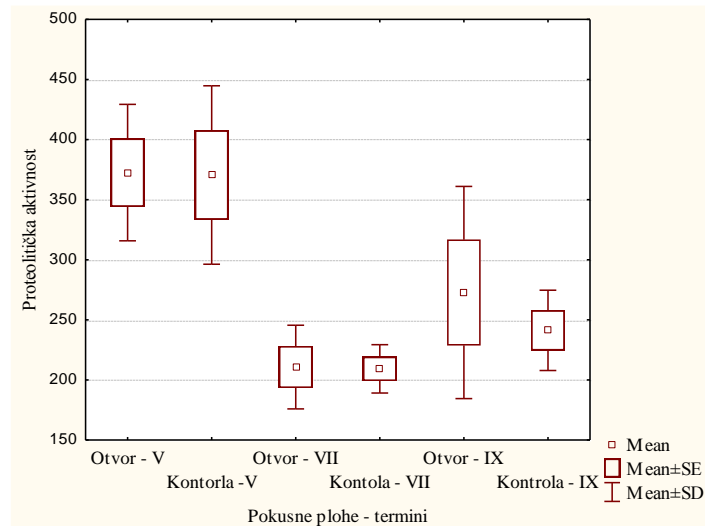
Prema rezultatima korelacijske analize u tablici 10. utvrđena je značajna korelacija između enzimatske aktivnosti i kemijskih karakteristika šumskog tla. Povećanjem organske tvari, dušika, humusa, organskog i ukupnog ugljika u tlu, povećava se i enzimatska aktivnost šumskih tala. Najveće korelacije su utvrđene za proteolitičku aktivnost šumskih tala i prema Roemer i Orphal skali su bile jake i vrlo jake.

#### 4.6. Sezonska dinamika enzimatske aktivnosti šumskih tala



Slika 20. Sezonska dinamika dehidrogenazne aktivnosti šumskog tla

Prema rezultatima ANOVA (slika 20.) nisu utvrđene statistički značajne razlike u sezonskoj dehidrogenaznoj aktivnosti šumskog tla po mjesecima između otvora i sklopljene sastojine (kontrola). Sezonski gledajući, statistički najmanja dehidrogenazna aktivnost tla u šumskom otvoru je bila u mjesecu srpnju ( $p < 0,05$ ). U sklopljenoj sastojini nisu utvrđene značajne razlike u dehidrogenaznoj aktivnosti između termina uzorkovanja (mjeseci).



Slika 21. Sezonska dinamika proteolitičke aktivnosti šumskog tla

Na slici 21. su prikazani rezultati sezonske proteolitičke aktivnosti šumskih tala. Nisu utvrđene značajne razlike u sezonskoj proteolitičkoj aktivnosti između otvora i kontrole. S obzirom na termine (mjeseci), statistički najmanja proteolitička aktivnost tala otvora je bila u mjesecu srpnju ( $p = 0,0059$ ). Statistički najmanja proteolitička aktivnost tla kontrolne plohe je bila u mjesecu srpnju ( $p = 0,0011$ ) te mjesecu rujnu ( $p = 0,0043$ ).

## 5.RASPRAVA

Sanitarnom sječom oštećenih i odumrlih stabala u šumi obične jele s rebračom stvaraju se šumski otvori (progale, plješine). Njihove dimenzije, odnosno veličine, ovise o intenzitetu odumiranja stabala te o površini kojom je takvo intenzivno odumiranje zahvaćeno. Ukoliko je sanitarna sječa provedena na grupi oštećenih ili odumrlih stabala, značajno se mijenja sastojinska struktura, što za posljedicu ima i promjene u šumskoj klimi odnosno mikroklimi. Razbijanjem sklopa krošanja u sastojini dovodimo više sunčevog zračenja, tj. uvjeti postaju heliofilniji, što za posljedicu ima veće vrijednosti temperatura, a manje vrijednosti vlage.

Procesi kao što su fotosinteza, evapotranspiracija, respiracija, dekompozicija ili razlaganje tvari i neki drugi su ovisni o klimatskim, odnosno mikroklimatskim prilikama.

Uklanjanjem stabala s površine šumskog tla poremećujemo, odnosno smanjujemo i priljev svježih organske tvari i celuloze kao najzastupljenijeg spoja u prirodi. Iz tog razloga su neke kemijske karakteristike šumskog tla imale veće vrijednosti u sklopljenoj sastojini u odnosu na šumski otvor.

Reakcija tala je na svim pokusnim plohama manja od 4,5 pH. Takva tla su bila jako kisele reakcije. Prema postotnom sadržaju humusa i po Grčaninu (1951) (skala humoznosti tala), istraživana tla su bila jako humozna i vrlo jako humozna.

U sklopljenoj sastojini su utvrđene veće vrijednosti organske tvari tla, ukupnog dušika, humusa, organskog i ukupnog ugljika. Međutim, ovo povećanje nije bilo statistički značajno. Analogno nesigificantnim promjenama kemijskih karakteristika tla, utvrđene su i nesigificantne enzimatske aktivnosti šumskog tla u istraživanim pokusnim plohama. S obzirom da je postupak stvaranja šumskog tla dugotrajan proces, smatramo da u ovakvim uvjetima i šumskom tlu treba puno više vremena da pokaže značajnije promjene nekih svojih kemijskih karakteristika. Razlog je i u činjenici da je šumski otvor star svega četiri godine i relativno dobro pomlađen s listopadnim vrstama pa su i nesigificantne razlike u nekim kemijskim i enzimatskim karakteristikama tla i bile za očekivati. Ukoliko je šumski otvor dobro pomlađen, pa čak i ako je zakorovljen, postoji priljev svježih organske tvari i mikrobiološka aktivnost u šumskom tlu nije značajno smanjena.

Organska tvar ima značajan utjecaj na biologiju tla (Brady i Weil, 1996). Prema Pernar i Bakšić (2001), jelove i bukovo-jelove šume u Hrvatskoj imaju relativno visoki prinos organske tvari kojim se osiguravaju uravnoteženi proces transformacije i tijek tvari i energije te u takvim uvjetima humizacija ima pozitivan trend.

Istraživanja Dhruva i dr. (1992) pokazuju da poremećena tla i degradirane šume imaju nepovoljan učinak na brojnost mikrobne populacije. S obzirom na nesigifikantne razlike u enzimatskoj aktivnosti šumskog tla između otvora i sklopljene sastojine, šumsko tlo u istraživanom otvoru nije značajno degradirano i poremećeno.

Prema korelacijskoj analizi, enzimatska aktivnost šumskog tla u otvoru se povećava s vrijednostima temperatura zraka i tla. Iz tog razloga je i enzimatska aktivnost šumskog tla nešto veća u šumskom otvoru, a manja u sklopljenoj sastojini (kontrola), jer su i vrijednosti temperatura zraka i tla bile veće u šumskom otvoru, a manje u sklopljenoj sastojini.

Proteolitička aktivnost je više osjetljiva na mikroklimu u odnosu na dehidrogenaznu aktivnost. Naime, proteolitička aktivnost, osim temperature tla u šumskom otvoru, je ovisna i o vrijednostima temperature zraka u sklopljenoj sastojini.

Prema Fuka i dr. (2011) sezonske promjene proteolitičke aktivnosti povezane su sa sezonskim fluktuacijama abiotičkih faktora kao što su dostupnost hranjiva, temperatura te količina dostupne vode. Veća proteolitička aktivnost zabilježena je kroz sve mjesece i uzorke na vapnenačko-dolomitnom tlu u odnosu na kiselo smeđe tlo što se može povezati s razlikama u količini organske tvari i pH vrijednostima istraživanih tala.

Ukoliko nije došlo da značajnog smanjenja organske tvari ni mikrobiološka aktivnost šumskog tla neće biti poremećena.

S obzirom na probleme oko odumiranja stabala obične jele na području Gorskog kotara, rezultati ovog istraživanja mogu poslužiti šumarskim stručnjacima za donošenje odluka treba li ići u sanaciju određenih područja (otvora tj. progala i plješina) i na koji način provesti sanaciju.

U usporedbi s dehidrogenaznom aktivnošću, proteolitička aktivnost šumskih tala je više ovisna o kemijskim karakteristikama tla. U slučaju osiromašenja tla i njegove daljnje degradacije prije će doći do smanjenja proteolitičke aktivnosti šumskih tala. Degradacijom tala proteolitička aktivnost šumskih tala će se i vrijednosno najviše smanjiti.

Najveća enzimatska aktivnost je bila u mjesecu svibnju, na početku vegetacijskog razdoblja. Razlog tome je povećanje vrijednosti temperatura zraka i tla te optimalno stanje vlage u šumskom tlu. Najmanja enzimatska aktivnost šumskih tala je bila u mjesecu srpnju, što je

vjerojatno rezultat pomanjkanja optimalne vlage u tlu. Područje istraživanja ima maritimni oborinski režim, odnosno najmanje oborina je u srpnju ili kolovozu. Uz visoke temperature zraka za to doba godine, posljedično je najmanja vlaga u tlu. Ona je također neophodna za rast, razvoj i život mikroorganizama, ali mora biti u svom optimumu. Prema Fuka i dr. (2011), te rezultatima Sardans i Penuelas (2005), smanjenjem vlage u tlu smanjuje se i proteolitička aktivnost. Iz rezultata ovog istraživanja proizlazi da su procesi humifikacije i mineralizacije najintenzivniji na početku vegetacijskog razdoblja.

## 6.ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenog istraživanja, može se zaključiti:

- U šumskim otvorima nastalim sanitarnim sječama je značajno toplije i suše u odnosu na sklopljene sastojine. Temperature zraka i tla su u otvorima značajno veće, a relativna vlaga zraka i volumetrijska vlaga tla je značajno manja u odnosu na sklopljene sastojine.
- U sklopljenoj sastojini su utvrđene veće vrijednosti organske tvari, dušika, humusa, organskog i ukupnog ugljika. U šumskom otvoru smo utvrdili veću pH vrijednost šumskog tla.
- Međutim, provedenim istraživanjem nisu utvrđene značajne razlike u ovim kemijskim karakteristikama šumskog tla u otvoru u odnosu na sklopljenu sastojinu. Analogno tome nisu utvrđene signifikantne razlike u dehidrogenaznoj i proteolitičkoj aktivnosti šumskog tla u otvoru i sklopljenoj sastojini.
- Utvrđena je značajna ovisnost dehidrogenazne i proteolitičke aktivnosti u šumskom otvoru o vrijednostima temperature tla, te proteolitičke aktivnosti u tlu sklopljene sastojine o temperaturi zraka.
- Istraživane enzimatske aktivnosti u šumskom otvoru međusobno pozitivno koreliraju odnosno pozitivno utječu jedna na drugu.
- Provedenim istraživanjem nije utvrđeno značajno smanjenje (degradacija) enzimatske aktivnosti šumskog tla u otvoru.
- Enzimatska aktivnost šumskih tala je bila najveća na početku vegetacijskog razdoblja u uvjetima optimalne temperature i vlage tla.

## 7.LITERATURA

1. Androić, M., 1969: Problem sušenja jele u Gorskom kotaru, Lici i Sloveniji. Šumarski list, broj 1-2.
2. Blažinkov, M., 2011: Mikroorganizmi u prirodnim sredinama. Predavanje, ppt. Agronomski fakultet Zagreb, Zagreb.
3. Blažinkov, M., 2011a: Mikrobni indikatori kvalitete tla. Predavanje, ppt. Agronomski fakultet Zagreb, Zagreb.
4. Brady, N. C., R. R. Weil, 1996: The nature and properties of soils. Prentice Hall, New Jersey, 11 ed., 740 str.
5. Burns, R. G., 1982: Enzyme activity in soil: location and possible role in microbial ecology. *Soil Biology and Biochemistry* 14: 423-427.
6. Casida L. E. Jr., D. A. Klein, R. Santoro, 1964: Soil dehydrogenase activity. *Soil Science*, 98: 371-378.
7. 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.
8. Eckmüllner, 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.
9. Glavač, M., H. Koenies & B. Prpić, 1985: Zur Imissionsbelastung der industriefernen Bauchen und Bauchentannenwaelder in den Dinarischen Gebirgen Norwestjugoslaviens. *Verhandlungen der Gesellschaft fuer Oekologie*, Band XV: 237-247, Gratz (Goettingen 87).
10. Gračanin, M., 1951: Pedologija III dio. Poljoprivredni nakladni zavod, Zagreb.
11. Horvat, I., 1962: Vegetacija planina zapadne Hrvatske. *JAZU, Acta biol.*, 2(30):1-179.
12. Komlenović, N., P. Rastovski, N. Pezdirc, 1991: Odnos ishrane i oštećenosti obične jele (*Abies alba* Mill.) u šumi jele s rebračom na području Fužina. *Radovi Šumarskog instituta*, 26 (2): 187-198.
13. Križaj, B., 1997: Zveza med vsebnostjo kalija, magnezija, kalcija in mangana v živih tkivih ter prizadetjostjo jelke (*Abies alba* Mill.) in anatomsko – fiziološka interpretacija električne upornosti. Doktorska disertacija, Ljubljana.



14. Ladd, J. N., J. H. A. Butler, 1972: Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. *Soil biology and biochemistry*, 4: 19-30.
15. Martinović, J., 1973: Tla sekcije Sušak 2. Tumač, Osnovna pedološka karta SFRJ, Pedološka karta SR Hrvatske, Šumarski institut, Jastrebarsko.
16. Monachus 2004: KlimaSoft 2.1., [www.mrg.hr](http://www.mrg.hr)
17. Mrkonjić Fuka, M., D. Ugarković, M. Blažinkov, M. Dumbović, S. Redžepović, 2011: Sezonska dinamika proteolitičke aktivnosti u degradiranim šumskim tlima. U: M. Pospišil (ur.), Zbornik radova 46. hrvatski i 6. međunarodni simpozij agronoma, Agronomski fakultet Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, str. 135-138.
18. 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.
19. 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.
20. Potočić, N., I. Seletković, 2000: Stanje oštećenosti šuma u Republici Hrvatskoj 1998. godine. *Šumarski list* 1–2: 51–56.
21. Potočić, N., I. Seletković, T. Jakovljević, H. Marjanović, K. Indir, J. Medak, N. Lacković, M. Ognjenović, A. Laslo, 2017: Oštećenost šumskih ekosustava Republike Hrvatske. Izvješće za 2016. godinu, Hrvatski šumarski institut, Jastrebarsko. str. 82.
22. Priručnik za ispitivanje zemljišta i voda, Knjiga II, JDPZ, Beograd, 1966.
23. Prpić, B., 1975: Zakorjenjivanje i hidratacija obične jele. Istraživanje uzroka i posljedica sušenja prirodnih jelovih šuma u SR Hrvatskoj. *Radovi Šumarskoga instituta Jastrebarsko*, 23: 41-53.
24. Prpić, B., Z. Seletković, 2001: Ekološka konstitucija obične jele. U: B. Prpić (ur.), *Obična jela (Abies alba Mill.) u Hrvatskoj*, Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, p.o. Zagreb, Zagreb, 255–276.
25. Prpić, B., Z. Seletković, P. Jurjević, 2001: Sušenje jele i promjena “kemijske klime”. U: B. Prpić (ur.), *Obična jela (Abies alba Mill.) u Hrvatskoj*, Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, p.o. Zagreb, Zagreb, 299–312.
26. Rauš, Đ., 1984: Šumska vegetacija na sjeverozapadnoj granici Balkanskog poluotoka. *Šumarski list*, CVIII (5-6): 225-238.

27. Runkle, J. R., 1982: Patterns of disturbance in some old-growth mesic forest of eastern North America. *Ecology*, 63: 1533-1546.
28. Sardans, J., J. Penuelas, 2005: Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean *Quercus ilex* L. forest. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 1455-1461.
29. Sikora, S. (1990). Mikrobiološke karakteristike nekih antropogenih tala Zapadne Slavonije. (Magistarski rad), FPZ- Zagreb.
30. Sinsabaugh, R. L., Antibus, R. K., Linkins, A. E., 1991: An enzymic approach to the analysis of microbial activity during plant litter decomposition. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 34: 43-54.
31. Sinsabaugh, R. L., Moorhead, D. L., Linkins, A. E., 1994: The enzymatic basis of plant litter decomposition: emergence of an ecological process. *Applied Soil Ecology* 1: 97-111.
32. StatSoft, Inc. 2003. STATISTICA for Windows. Tulsa: StatSoft, Inc.
33. Škorić, A., 1991: Sastav i svojstva tla. Agronomski fakultet, Zagreb. str. 136.
34. Tikvić, I., Z. Seletković, D. Ugarković, Z. Balta, 2006: Procjena propadanja šuma hrasta kitnjaka na temelju indeksa odumiranja stabala. *Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje 5*, Zagreb, 117–127.
35. Tikvić, I., Z. Seletković, D. Ugarković, S. Posavec, Ž. Španjol, 2008: Dieback of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) on Northern Velebit (Croatia). *Periodicum Biologorum* 110 (2): 137-143.
36. Tate, R. L., 1995: *Soil Microbiology*. First edition, John Wiley and Sons, New York.
37. Ugarković, D., I. Tikvić, Z. Seletković, 2011: Odnos stanišnih i strukturnih čimbenika prema odumiranju i ishrani stabala obične jele (*Abies alba* Mill.) u Gorskom kotaru. *Croatian Journal of Forest Engineering* 32 (1): 57-71.
38. Vasilj, Đ., 2000: *Biometrika i eksperimentiranje u bilinogojstvu*. Hrvatsko agronomsko društvo, Zagreb. str. 320.
39. Vukelić, J., D. Baričević, 2001: Šumske zajednice obične jele u Hrvatskoj. U: B. Prpić (ur.), *Obična jela (Abies alba Mill.) u Hrvatskoj*, Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, p.o. Zagreb, Zagreb, 162-196.
40. [www.np-risnjak.hr](http://www.np-risnjak.hr)