

RADOVI

ŠUMARSKOG
FAKULTETA
UNIVERZITETA U
SARAJEVU

OF THE FACULTY
OF FORESTRY
UNIVERSITY OF SARAJEVO

WORKS

VOLUME 56 | ISSUE 1



SARAJEVO, 2026

The first issue of journal was published in 1952

Works of the Faculty of Forestry, University of Sarajevo were published in certain periods as:

Works of the Faculty of Agriculture and Forestry in Sarajevo (1952 - 1958)

Works of the Faculty of Forestry and the Institute of Forestry and Wood Industry (1959 - 1964)

Works of the Faculty of Forestry and the Institute of Forestry in Sarajevo (1965 - 1981)

Works of the Faculty of Forestry Sarajevo (1981 – 1998)

Works of the Faculty of Forestry University of Sarajevo (1998 -)

Prvo izdanje časopisa je bilo 1952. godine

Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu izdavani su u pojedinim periodima kao:

Radovi Poljoprivredno – šumarskog fakulteta u Sarajevu (1952 – 1958.)

Radovi Šumarskog fakulteta i instituta za šumarstvo i drvnu industriju (1959 – 1964.)

Radovi Šumarskog fakulteta i instituta za šumarstvo u Sarajevu (1965 – 1981.)

Radovi Šumarskog fakulteta u Sarajevu (1981 – 1998.)

Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu (1998 -)

Publisher / Izdavač

Faculty of Forestry, University of Sarajevo / Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu

Zagrebačka 20, 71000 Sarajevo Bosna i Hercegovina

email: radovi@sfsa.unsa.ba

Tel: +387 33 812 490/491

Fax: + 387 33 812 488

www.radovi.sfsa.unsa.ba

Copyright © of the Faculty of Forestry University of Sarajevo

Health status and silvicultural characteristics of Bosnian Pine (*Pinus Heldreichii* Christ) in Bosnia And Herzegovina

Zdravstveno stanje i uzgojne osobine munike (*Pinus heldreichii* Christ) u Bosni i Hercegovini

Osman Mujezinović¹, Mehmed Čilaš¹, Sead Ivojević¹, Damir Prljača^{1*}, Mirza Dautbašić¹

¹ Univerzitet u Sarajevu Šumarski fakultet, Zagrebačka 20, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

ABSTRACT

This study assessed the health status, diameter and height structure, and post-fire resilience of *Pinus heldreichii* stands in selected high-mountain and karst areas of Bosnia and Herzegovina. Results confirmed the species high resistance to abiotic stressors such as frost, drought, and wind, and its ability to survive in degraded and rocky habitats. The most significant pathogens, including *Heterobasidion annosum*, *Dothistroma* sp., and *Diplodia sapinea*, primarily affected roots, stems, and needles, while other tree parts were impacted by pathogens of moderate or minor significance. Among pests, *Ips sexdentatus* and *Thaumatopoea pityocampa* mainly attacked stems and needles, highlighting the need for targeted protection. Forest fires significantly reduced stand volume and structure, increasing susceptibility to secondary pathogens and pests. *Fagus sylvatica* showed lower abundance and productivity, indicating limited post-fire adaptability. These findings provide essential data for stand management, protection strategies, and restoration planning of *Pinus heldreichii* forests in Bosnia and Herzegovina.

Key words: Bosnian pine (*Pinus heldreichii*), forest health status, forest fires, pathogens and insect pests, post-fire resilience

INTRODUCTION - Uvod

Munika (*Pinus heldreichii* Christ.) predstavlja tercijarni relik i subendemičnu vrstu jugozapadnog i južnog dijela Balkanskog poluostrva te dijela južne Italije, ujedno i reliktnu i endemičnu komponentu balkanske i evropske flore. Rasprostranjena je u isprekidanom arealu na planinskim područjima zapadnog Balkana i jugoistočne Evrope (Fukarek i Vidaković, 1965; Vidaković i Franjić,

2004). Prirodna staništa gotovo su isključivo vezana za krečnjačko-dolomitne terene ekstremne stjenovitosti i nagiba, gdje naseljava područja sa plitkim zemljištem i naglašenim klimatskim stresnim djelovanjima. U Bosni i Hercegovini javlja se na ograničenom broju lokaliteta, uključujući Prenj (Slike 1 i 2), Čvrstnicu, Hranisavu, Rujište, Konjički Igman, Orjen i Vran planinu.

* Coresponding author: Damir Prljača, University of Sarajevo – Faculty of Forestry, Zagrebačka 20, 71000 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, email: d.prljaca@sfsa.unsa.ba



Slike 1 i 2. Pogled na sastojinu munike (*Pinus heldreichii*) na planini Prenj i u pozadini Jablaničko jezero (foto Mujezinović)

Figures 1 and 2. View of a Bosnian pine (*Pinus heldreichii*) stand on Mount Prenj with Jablaničko Lake in the background (photo by Mujezinović)

Munika je izrazito pionirska vrsta drveća, sposobna za ekspanzivno širenje na različitim degradiranim površinama, poput šumskih goleti, napuštenih pašnjaka i krečnjačkih kamenjara. Zahvaljujući minimalnim ekološkim zahtjevima, ubraja se među najotpornije vrste drveća u Evropi (Jovanović, 1985; Šilić, 1973). To je visokorastući, dugovječni i spororastući četinar koji može narasti do 30 m visine, karakteriziraju ga debela, ljuskava kora i duge tamnozelenе iglice. Uspijeva u kamenitim, krečnjačkim tlima i suhim, sunčanim mjestima na nadmorskim visinama između 1000 i 2500 m (Hodžić i dr., 2020).

Pokazuje izuzetnu otpornost na mraz, vjetar, led, jak snijeg, zagađenje zraka i napade insekata, a visoka prilagodljivost i kolonizacijski potencijal čine je pogodnom za pošumljavanje ekstenzivnih suhih i visokoplaninskih područja.

Otpornost munike prema uzročniku bolesti *Diplodia sapinea* (Fr.) Fuckelis, koja ugrožava druge vrste borova, čini je konkurentnijom i pogodnom za zaštitu i stabilizaciju degradiranih ekosistema (Vendramin i dr., 2008).

Ipak, zdravstveno stanje munike u velikoj mjeri zavisi od djelovanja različitih abiotičkih i biotičkih faktora. Klimatske promjene, naročito povećanje temperature i smanjenje količine padavina tokom vegetacionog perioda, uzrokuju sušni stres, smanjenje prirasta i slabljenje vitalnosti stabala, čineći ih podložnijim sekundarnim patogenima i štetnicima (Levanić i dr., 2020). Prirodni sukcesijski procesi, kao što je ekspanzija bukve (*Fagus sylva-*

tica L.) i drugih konkurentskih vrsta, dodatno smanjuju dostupne površine pogodnih staništa i stabilnost postojećih sastojina (Ballian i dr., 2005). Abiotički štetni faktori u planinskim uslovima uključuju mehanička oštećenja od snijega, vjetra, lavina i udara groma, dok su šumski požari u posljednjim decenijama značajno narušili sastojine munike na lokalitetima Prenj (Slike 3 i 4), Rujište i Blidinje.

Među biotskim faktorima posebno su značajni uzročnici truleži, gljive *Heterobasidion* sp. i *Armillaria* sp., koje uzrokuju propadanje korijena i debla (Mirchev i dr., 2021). Patogeni iglica, poput *Dothistroma septosporum* (Doroguine) Morelet i *Diplodia sapinea* (Fries) Fuckel, uzrokuju nekroze, defolijaciju i smanjenje fotosintetske aktivnosti kod vrsta roda *Pinus*. *D. septosporum* je uzročnik crvene pjegavosti iglica, dok *D. sapinea* izaziva sušenje iglica i izbojaka, posebno kod stabala pod stresom (Hu i dr., 2023; Drenkhan i dr., 2016).

U pogledu štetnog djelovanja insekata posebno se ističe šestozubi borov potkornjak (*Ips sexdentatus* Börner) (Slika 5), koji napada oslabljena stabla, i borov četnjak (*Thaumtopoea pityocampa* Denis & Schiffermüller), čija učestalost i intenzitet napada rastu zbog klimatskog zatopljenja (Roques, 2015; Buffo i dr., 2007).

Regionalna istraživanja pokazuju varijabilno zdravstveno stanje munike. Prema (Pajević, 2019; Popović i Perović, 2019) na području Crne Gore utvrđeno je relativno stabilno zdravstveno stanje bez značajnog prisustva uzročnika bolesti i štetnih insekata. S druge strane u Bu-



Slike 3 i 4. Oštećena stabla u sjemenskoj sastojini munike (*Pinus heldreichii*) na Prenju (Foto Mujezinović)

Figures 3 and 4. Damaged trees in a seed stand of Bosnian pine (*Pinus heldreichii*) on Mount Prenj (photo by Mujezinović)

garskoj je evidentiran veći broj štetnih organizama koji negativno utiču na vitalnost stabala (Mirchev i dr., 2021). S obzirom na izraženo djelovanje različitih štetnih faktora i ograničenu rasprostranjenost vrste, zdravstveno stanje munike u Bosni i Hercegovini zahtijeva detaljno istraživanje.



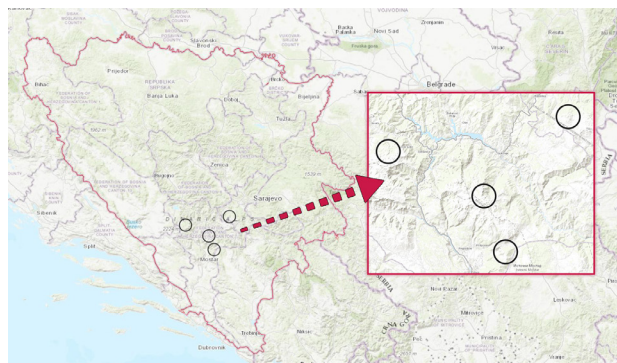
Slika 5. Ubušni otvori borovog potkornjaka (*Ips sexdentatus*) na stablu munike (*Pinus heldreichii*) oboren nakon oštećenja od šumskog požara (foto Mujezinović)

Figure 5. Entrance holes of the six-toothed pine bark beetle (*Ips sexdentatus*) on a Bosnian pine (*Pinus heldreichii*) tree felled after damage caused by a forest fire (photo by Mujezinović)

Cilj ovog rada je utvrditi utjecaj ključnih abiotičkih i biotičkih faktora na zdravstveno stanje sastojina munike na odabranim lokalitetima (Čvrstica, Rujište, Prenj i Hranisava), kao i kvalitetnih karakteristika i stanja obnove, radi boljeg razumijevanja procesa degradacije i definisanja mjera zaštite i očuvanja ove značajne vrste.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH – Materijali i metode istraživanja

Istraživanje za potrebe ovog rada je provedeno na nekoliko lokaliteta u Bosni i Hercegovini gdje je prisutna munika (*Pinus heldreichii*), uključujući Prenj, Hranisava, Rujište i Čvrstica.



Karta 1. Lokaliteti istraživanja munike (*Pinus heldreichii*) u Bosni i Hercegovini (original)

Map 1. Research sites of Bosnian pine (*Pinus heldreichii*) in Bosnia and Herzegovina (original)

Na lokalitetu Prenj istraživanja su provedena na opožarenim površinama Šumarstva "Prenj" d.o.o. Konjic, gospodarska jedinica "Borašnica – Rakov laz" odjeljenje 47, odsjek "f". Na terenu su odabrane dvije premjerne plohe dimenzija 30 × 30 m, smještene na prosječnoj nadmorskoj visini od 1530 m, na krečnjačkoj podlozi s tlom tipa kaklokambisol dubine 10–15 cm. Terenski uslovi karakteriziraju visoka stjenovitost (~90%) i nagib terena između 40 i 80%.

Istraživanje je provedeno na lokalitetu Hranisava, u okviru KJP “Sarajevo-šume” d.o.o. Sarajevo, gospodarska jedinica “Mehina Luka”, odjeljenje 12, odsjek d. U tu svrhu uspostavljena je pravougaona premjerna ploha dimenzija 40 × 20 m (800 m²), na kojoj je izvršen totalni premjer svih stabala. Ploha je smještena na prosječnoj nadmorskoj visini od 1670 m, na krečnjačkoj podlozi, sa plitkim kalkokambisolom dubine 10-15 cm. Stanište karakteriziraju izrazita stjenovitost (oko 90%) i nagib terena od 50 do 65 %. Primjena totalnog premjera omogućila je precizno utvrđivanje strukturnih obilježja sastojine, uključujući broj stabala, dimenzionalnu strukturu, temeljnicu, zapreminu i učešće vrsta drveća.

Na lokalitetima Rujišta, Šumarstvo “Srednjeneretvansko” d.o.o. Mostar, gospodarske jedinice Velež, Bijelo Polje, Nevesinjska Crna Gora i na području Čvrstice “Park prirode Blidinje” uzimanje uzoraka za procjenu zdravstvenog stanja vršeno je maršurtnim metodom tretirajući šire područje obuhvaćeno štetnim djelovanjem različitih faktora abiotskog i biotskog porijekla.

Prikupljeni uzorci su korišteni za identifikaciju uzročnika bolesti, štetnih insekata, procjenu intenziteta oštećenja i njihove prostorne distribucije. Posebna pažnja posvećena je opožarenim površinama, gdje je požar značajno izmijenio stanišne uslove i potencijalno uticao na prisustvo štetnika i patogena.

Istraživanja uzgojnih karakteristika munike obuhvatala su istraživanje strukturnih karakteristika sastojina munike, analizu podmlađivanja i potencijala širenja munike, kao i značaj sastojina munike s aspekta biodiverziteta.

Dostupni materijal za laboratorijske analize je obrađivan u laboratoriji Katedre za zaštitu šuma i urbanog zelenila, Univerziteta u Sarajevu – Šumarskog fakulteta.

U okviru istraživanja posebna pažnja posvećena je utjecaju šumskih požara na zdravstveno stanje i uzgojne karakteristike sastojina munike (*Pinus heldreichii*). Podaci o požarima prikupljeni su iz dostupne dokumentacije šumarskih preduzeća, terenskim opažanjima i analizom opožarenih površina na istraživanim lokalitetima.

Na terenu su evidentirane opožarene i izgorjele površine, stepen oštećenja stabala, kao i promjene u strukturi sastojina. Procjena oštećenja vršena je vizuelnom metodom, pri čemu su stabla klasificirana prema intenzitetu oštećenja (slabo, srednje i jako oštećena, te suha stabla). Posebno su analizirani simptomi oštećenja na kori, deblu, krošnji i korijenovom sistemu.

Na opožarenim plohama izvršena je analiza uticaja požara na zdravstveno stanje stabala, uključujući pojavu sekundarnih štetnika i patogena koji se često javljaju na stablima oslabljenim djelovanjem vatre. Na osnovu toga procijenjen je stepen oštećenja i degradacije sastojina.

Prikupljanje podataka vršeno je u toku 2015–2025. godine u okviru više naučno istraživačkih projekata.

RESULTS – Rezultati

Analizom prikupljenih podataka utvrđena je prisutnost različitih patogena na pojedinim dijelovima munike (*Pinus heldreichii*), što je prikazano u Tabeli 1.

Klasifikacija je izvršena na osnovu procijenjenog intenziteta utjecaja patogena na različite organe biljke.

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da se najznačajniji patogeni javljaju na korijenu i deblu te iglicama, dok su na ostalim dijelovima biljke uglavnom prisutni patogeni umjerenog ili manjeg utjecaja. Uočava se i da je *Diplodia sapinea* zastupljena na više biljnih organa, što ukazuje na njen širi patogeni potencijal.

Tabela 1. Patogeni munike (*Pinus heldreichii*) prema dijelu biljke i jačini utjecaja

Table 1. Pathogens of Bosnian pine (*Pinus heldreichii*) according to plant part and level of impact

Dio biljke	Značajan utjecaj	Umjereno značajan utjecaj	Neznatan utjecaj
Korijen i deblo	<i>Heterobasidion annosum</i>	<i>Armillaria mellea</i>	<i>Fomitopsis pinicola</i>
Grane	-	<i>Cenangium ferruginosum</i> ; <i>Diplodia sapinea</i>	-
Iglice	<i>Dothistroma</i> sp.	<i>Cytospora pinastri</i> ; <i>Diplodia sapinea</i>	<i>Lophodermium pinastri</i>
Šišarice	-	<i>Diplodia sapinea</i>	-

Tabela 2. Štetni insekti munike (*Pinus heldreichii*) prema dijelu biljke i jačini utjecajaTable 2. Insect pests of Bosnian pine (*Pinus heldreichii*) according to plant part and level of impact

Dio biljke	Značajan utjecaj	Umjereno značajan utjecaj	Neznatan utjecaj
Deblo	<i>Ips sexdentatus</i>	<i>Pityogenes bidentatus</i> <i>Monochamus galloprovincialis</i>	-
Grane	<i>Pissodes pini</i>	-	-
Iglice	<i>Thaumetopoea pityocampa</i>	-	-

Rezultati istraživanja o prisustvu štetnih insekata na munici (*Pinus heldreichii*) prikazani su u Tabeli 2.

Iz prikazanih podataka vidljivo je da se najznačajniji štetni insekti javljaju na deblu i iglicama, dok je njihova prisutnost na granama ograničena. Posebno se izdvaja veći broj vrsta koje napadaju deblo, što ukazuje na njegovu veću podložnost napadu.

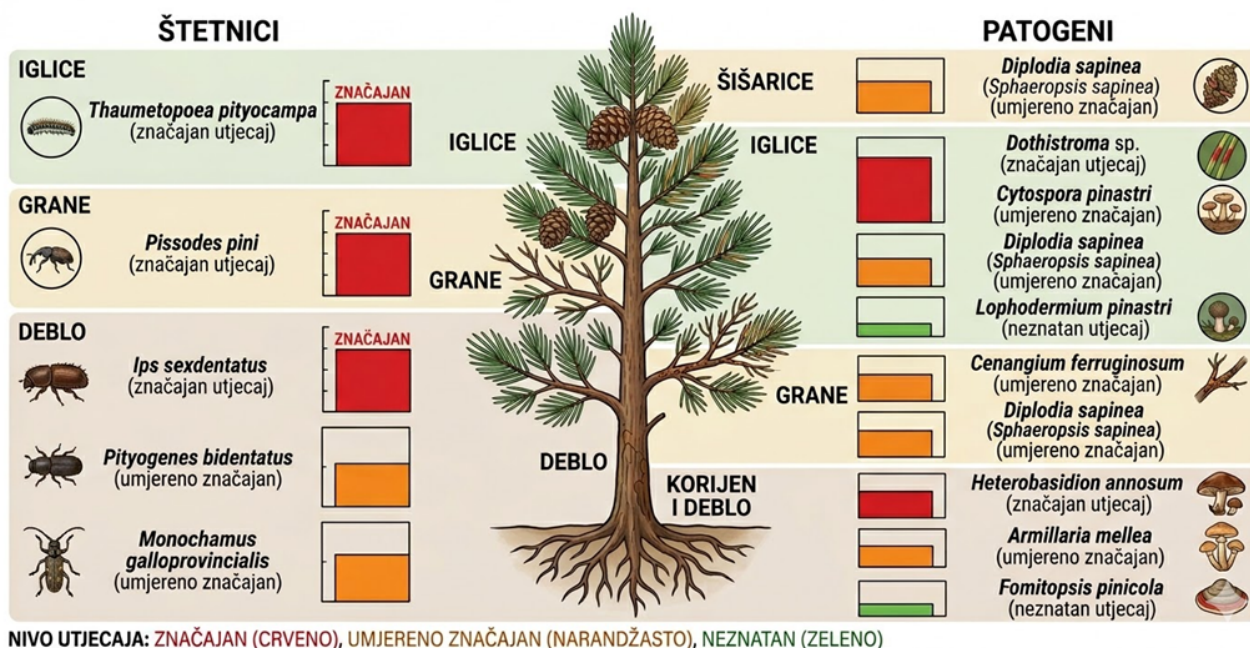
Radi jasnijeg i preglednijeg prikaza raspodjele utvrđenih štetnih organizama, rezultati su dodatno prikazani na slici 5.

Slika 6 jasno pokazuje da su najznačajniji štetni organizmi koncentrirani na deblu i iglicama, dok su na ostalim

dijelovima biljke prisutni organizmi slabijeg ili umjerenog utjecaja. Također se uočava da pojedine vrste zahvataju više biljnih organa, što ukazuje na njihov širi utjecaj.

U cilju prikaza obima i intenziteta oštećenja sastojina munike na istraživanim područjima, u nastavku su dati podaci o opožarenim i izgorjelim površinama.

Iz prikazanih podataka vidljivo je da su opožarene površine značajno zastupljene na svim istraživanim lokalitetima, pri čemu procenat oštećenja sastojina prelazi 60%, što ukazuje na izražen negativan utjecaj požara na stabilnost i vitalnost sastojina munike.



Slika 6. Raspodjela patogenea i štetnih insekata munike (*Pinus heldreichii*) prema dijelu biljke i jačini njihovog utjecaja (Slika generisana pomoću alata umjetne inteligencije)

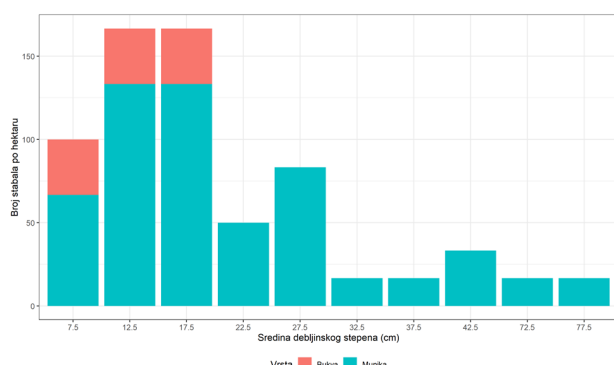
Figure 6. Distribution of pathogens and insect pests of Bosnian pine (*Pinus heldreichii*) according to plant part and level of their impact (Image generated using AI)

Tabela 3. Pregled opožarenih i izgorjelih površina te stepena oštećenja sastojina munike (*Pinus heldreichii*) u Bosni i Hercegovini

Table 3. Overview of burned and fire-affected areas and the degree of damage to Bosnian pine (*Pinus heldreichii*) stands in Bosnia and Herzegovina

Šumsko privredno područje	Gospodarska jedinica	Opožarena površina (ha)	Izgorjela površina (ha)	Procenat oštećenja sastojina (%)
Konjičko	Borašnica – Rakov Laz	60,9	44,1	72,3
Srednjeneretvansko	Velež	249,7	189,5	75,9
Srednjeneretvansko	Bijelo Polje	131,30	83,3	63,4
Srednjeneretvansko	Bijelo Polje - krš	3041,60	2300	75,6
Srednjeneretvansko	Bijela - Prenj - krš	600	420	70

Distribucija stabala po debljinskim stepenima pokazuje strukturu sastojine i odnos između vrsta *Fagus sylvatica* i *Pinus heldreichii* (Grafikon 1).

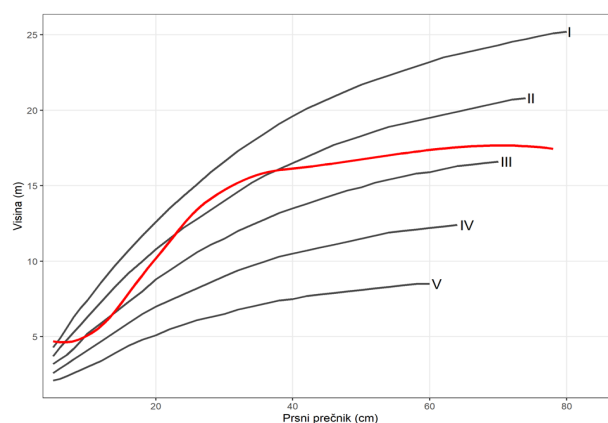


Grafikon 1. Debljinska struktura munike (*Pinus heldreichii*) na oglednoj plohi

Graph 1. Diameter structure of Bosnian pine (*Pinus heldreichii*) on the sample plot

Munika je zastupljena u širem rasponu debljinskih stepena, s izraženim maksimumom u srednjim klasama, ali i jasnim prisustvom u debljim stepenima (Grafikon 1). Ovakva raspodjela ukazuje na njeno kontinuirano prisustvo kroz različite razvojne faze sastojine. Bukva je, s druge strane, koncentrisana pretežno u nižim i dijelu srednjih debljinskih stepena, dok je u višim klasama slabo zastupljena ili izostaje. Ovakav obrazac sugerše ograničeniji razvoj bukve u odnosu na muniku u posmatranim uslovima..

Položaj empirijske visinske krive u odnosu na bonitetne krive pokazuje da se analizirana sastojina munike nalazi u zoni srednjih bonitetnih vrijednosti (Grafikon 2). Kriva se najvećim dijelom prostire između bonitetnih razreda II i III, što upućuje da dati lokalitet, posmatrano u okviru bonitetnog niza za muniku, odgovara približno prosječnim uslovima za razvoj ove vrste.



Grafikon 2. Bonitetne krive munike (*Pinus heldreichii*) na osnovu Drinić i Prolić (1978)

Graph 2. Site index curves of Bosnian pine (*Pinus heldreichii*) according to Drinić and Prolić (1978)

U skladu s tim, strukturni pokazatelji iz Tabele 1 potvrđuju izrazitu dominaciju munike u analiziranoj sastojini. Njeno znatno veće učešće u brojnosti, dimenzijama stabala, temeljnici i zapremini pokazuje da munika nosi glavnu strukturnu i proizvodnu komponentu sastojine, dok se bukva javlja kao prateća vrsta sa znatno manjim udjelom i ograničenim doprinosom ukupnoj strukturi.

DISCUSSION – Diskusija

Rezultati ovog istraživanja potvrđuju ranije nalaze o zdravstvenom stanju i otpornosti munike (*Pinus heldreichii*) u Balkanu i južnoj Italiji. Prirodna otpornost munike na abiotičke faktore, poput mraza, vjetrova i suše, kao i njena sposobnost kolonizacije degradiranih i kamenitih staništa (Jovanović, 1985; Šilić, 1973; Hodžić i dr., 2020), očituje se i u relativno ograničenom prisustvu značajnih patogena i štetnih insekata u proučavanim lokalitetima.

Tabela 4. Prikaz osnovnih taksacionih elemenata na eksperimentalnoj plohi Hranisava

Table 4. Overview of basic mensurational elements on the experimental plot Hranisava

Varijabla	Munika	Bukva	Ukupno
N/ha	567	100	667
Dg (cm)	22,5	11,2	20,8
H (m)	9,77	6,62	9,3
G (m ³ ha ⁻¹)	34	1,12	35,12
V (m ³ ha ⁻¹)	442,1	9,23	451,33

Prema analizi uzročnika bolesti na različitim dijelovima biljke (Tabela 1), pokazano je da se najznačajniji, poput *Heterobasidion annosum* i *Dothistroma* sp., nalaze na korijenu, deblu i iglicama, dok su ostali dijelovi biljke zahvaćeni uglavnom uzročnicima umjerenog ili manjeg utjecaja. Posebno se ističe prisutnost *Diplodia sapinea* na više biljnih organa, što potvrđuje njen široki patogeni potencijal i važnost kontinuiranog praćenja zdravstvenog stanja sastojina (Drenkhan i dr., 2016; Vendramin i dr., 2008).

S druge strane, rezultati o prisustvu štetnih insekata, prikazani u Tabeli 2, pokazuju veću zastupljenost vrsta poput *Ips sexdentatus* i *Thaumetopoea pityocampa* na deblu i iglicama, dok je njihov utjecaj na grane bio ograničen. Rezultati ovih istraživanja odgovaraju i nalazima drugih autora koji upućuju da povećano djelovanje štetnih insekata pod uticajem klimatskih promjena može dodatno ugroziti zdravstveno stanje biljaka napregnuto stresnim faktorima (Roques, 2015; Buffo i dr., 2007).

Vizualni prikaz podataka iz Tabele 1 i Tabele 2 dodatno je sažet i prikazan na Slici 6, što omogućava jasnije predstavljanje prostorne raspodjele uzročnika bolesti i štetnih insekata. Jasno se vidi da su najugroženiji dijelovi drveta deblo i iglice, dok se uzročnici bolesti i štetni insekti s manjim utjecajem pojavljuju na granama i šišaricama. Ova raspodjela potvrđuje prethodne tvrdnje o specifičnoj osjetljivosti pojedinih dijelova biljke te ističe potrebu za ciljanom zaštitom, posebno kod lokaliteta pogođenih požarom ili sušnim stresom (Hu i dr., 2023; Mirchev i dr., 2021).

Međutim, značajan uticaj na zdravstveno stanje sastojina imaju i šumski požari, što potvrđuju podaci o visokom stepenu oštećenja na istraživanim lokalitetima (Tabela 3). Procenat oštećenja sastojina kreće se od 63,4% do 75,9%, pri čemu su najveće vrijednosti zabilježene na lokalitetima Velež (75,9%) i Bijelo Polje – krš (75,6%), dok su i ostala područja pokazala visok nivo degradacije. Ovi

rezultati ukazuju da požari predstavljaju ključni faktor destabilizacije sastojina munike, posebno u krškim i sušnim područjima, gdje se intenzitet i učestalost požara dodatno povećavaju pod uticajem klimatskih promjena.

Posljedice požara ogledaju se ne samo u direktnom smanjenju drvne mase i strukture sastojina, već i u povećanoj osjetljivosti stabala na sekundarne štetnike i patogene. Oštećena i fiziološki oslabljena stabla postaju pogodna za naseljavanje insekata i razvoj bolesti, čime se dodatno ubrzava proces degradacije (Roques, 2015; Buffo i dr., 2007; Drenkhan i dr., 2016).

U tom kontekstu, analiza debljinske strukture (Grafikon 1) i visinskog rasta stabala (Grafikon 2) dodatno ukazuje na način na koji se sastojina strukturno organizuje. Dominacija munike potvrđena je kako kroz raspodjelu po debljinskim stepenima, tako i kroz visinski rast i proizvodne parametre. Munika je zastupljena u širem rasponu debljinskih stepena, pri čemu je najveći broj jedinki koncentrisan u nižim i srednjim klasama, dok je prisutna i u višim debljinskim stepenima. Ovakva raspodjela ukazuje na kontinuiranu obnovu i stabilnu strukturu sastojine, pri čemu se tanja stabla često javljaju u skupinama, dok deblja stabla predstavljaju nosioce glavne strukturne i proizvodne komponente. U poređenju s tim, bukva je dominantna uglavnom u nižim i srednjim debljinskim stepenima.

Podaci iz Tabele 4 dodatno naglašavaju ovu razliku: broj stabala munike (567 N/ha) znatno nadmašuje broj bukve (100 N/ha), dok su i srednji prečnik ($D_g = 22,5$ cm) i visina ($H = 9,77$ m) munike znatno veći od onih kod bukve. Ove razlike se reflektuju i u temeljnici i zapremini po hektaru, gdje munika dostiže $G = 34$ m³/ha i $V = 442,1$ m³/ha, dok su odgovarajući parametri bukve minimalni.

Dominacija munike u svim ključnim strukturnim i proizvodnim parametrima potvrđuje da ona predstavlja osnovni nosilac stabilnosti sastojine, dok se bukva javlja

kao prateća vrsta sa ograničenim učešćem. Istovremeno, izražena zastupljenost tanjih stabala i njihova prostorna grupisanost može ukazivati na aktivan proces prirodne obnove, ali i na povećanu kompeticiju unutar skupina, što može imati implikacije na zdravstveno stanje stabala u uslovima dodatnih stresnih faktora. Nasuprot tome, niža zastupljenost i manji proizvodni parametri bukve sugeriraju njenu ograničenu prilagodljivost i veću osjetljivost na nepovoljne stanišne uslove.

Iako rezultati pružaju vrijedan uvid u zdravstveno stanje munike na odabranim lokalitetima, prostorna i vremenska ograničenja uzorka (ograničen broj lokaliteta i period praćenja 2015–2025.) mogu smanjiti generalizaciju nalaza na čitavu teritoriju Bosne i Hercegovine. Stoga su potrebna dalja istraživanja s većim brojem lokaliteta i dugoročnim praćenjem kako bi se dobila cjelovitija slika stanja sastojina.

CONCLUSIONS – Zaključci

Na osnovu provedenih analiza zdravstvenog stanja i uzgojnih karakteristika sastojina munike mogu se izdvojiti nekoliko ključnih zaključaka. Dobiveni rezultati potvrđuju da munika pokazuje visoku otpornost na abiotičke faktore i izraženu sposobnost opstanka u kamenitim, sušnim i visokoplaninskim staništima, što se ogleda u njenoj dominantnoj zastupljenosti, većim dimenzijama stabala i višim proizvodnim parametrima u sastojinama nakon požara. Istovremeno, utvrđeno je da se najznačajniji uzročnici bolesti i štetni insekti, uključujući *Heterobasidion annosum*, *Dothistroma* sp., *Diplodia sapinea*, *Ips sexdentatus* i *Thaumetopoea pityocampa*, najčešće javljaju na korijenu, deblu i iglicama, što ukazuje na potrebu posebne pažnje pri zaštiti ovih najosjetljivijih dijelova stabla. Rezultati također pokazuju da šumski požari predstavljaju ključni faktor narušavanja zdravstvenog stanja sastojina, jer uzrokuju smanjenje drvne mase, degradaciju strukturne izgrađenosti i povećanu podložnost stabala sekundarnim štetnicima i patogenima, posebno u krškim i sušnim područjima. U takvim uslovima munika potvrđuje svoju ekološku prilagođenost i konkurentsku prednost, dok niža zastupljenost i slabiji proizvodni parametri bukve ukazuju na njenu ograničenu prilagodljivost i manju konkurentnost u postpožarnim uslovima. Bukva se stoga u analiziranim sastojinama javlja uglavnom kao prateća vrsta, bez značajnijeg utjecaja na ukupnu strukturu sastojine.

Iako rezultati pružaju vrijedan uvid u zdravstveno stanje i strukturne osobine sastojina munike, određena ograničenja istraživanja, prije svega ograničen broj lokaliteta i period praćenja od 2015. do 2025. godine, upućuju na potrebu daljih istraživanja. Buduća istraživanja trebala bi obuhvatiti veći broj lokaliteta i duži period monitorin-

ga kako bi se omogućilo pouzdanije sagledavanje zdravstvenog stanja sastojina munike i definisanje efikasnih mjera njihove zaštite i obnove.

REFERENCES – Literatura

- Ballian, D., Horvat, I., & Grubanov, V. (2005). Vegetation dynamics in Balkan high-mountain ecosystems. *Plant Ecology*, 178(2), 175–190.
- Buffo, E., Battisti, A., & Larsson, S. (2007). Pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*): ecology, distribution, and management. *Journal of Pest Science*, 80(3), 225–238.
- Drenkhan, R., i dr. (2016). Dothistroma needle blight in Europe: current knowledge and future perspectives. *Forest Pathology*, 46(4), 273–292.
- Drinić, P., & Prolić, N. (1978). Taksacioni elementi kao pokazatelji proizvodnih mogućnosti šuma munike (*Pinus heldreichii* Christ.). *Radovi Šumarskog Fakulteta Univerziteta U Sarajevu*, 26(3-4), 53–105. <https://doi.org/10.54652/rsf.1978.v26.i3-4.532>
- EUFORGEN. (2009). *Pinus heldreichii* – European Forest Genetic Resources Programme. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fukarek, P., & Vidaković, M. (1965). Relict and endemic trees of the Balkan Peninsula. *Acta Botanica Croatica*, 24(1), 1–35.
- Hodžić, S., Kovačević, S., & Marić, D. (2020). Bosnian pine (*Pinus heldreichii*): growth, ecology, and conservation. *Forestry Studies*, 63, 45–62.
- Hu, B., Liu, Z., Haensch, R., i dr. (2023). *Diplodia sapinea* infection reprograms foliar traits of its pine (*Pinus sylvestris* L.) host to death. *Tree Physiology*, 43(4), 611–629.
- Jovanović, S. (1985). *Silvicultural characteristics of Balkan conifers*. Belgrade: University of Belgrade, Faculty of Forestry.
- Levanič, T., Zavodnik, D., & Hrast, A. (2020). Impact of climate change on forest tree health: the case of *Pinus heldreichii*. *Forest Ecology and Management*, 472, 118–126.
- Mirchev, P., Dimitrov, D., & Ivanov, I. (2021). Pathogens and pests affecting *Pinus heldreichii* in Bulgaria. *Journal of Forest Research*, 26(4), 301–315.
- Pajević, S. (2019). Health status of *Pinus heldreichii* in Montenegro. *Montenegrin Journal of Forestry*, 10(1), 55–70.

Popović, M., & Perović, V. (2019). Forest health assessment of *Pinus heldreichii* in Serbia. *Annals of Forest Research*, 62(2), 153–168.

Roques, A. (2015). *Thaumtopoea pityocampa* and climate effects on forest pests. Oxford: CABI Publishing.

Šilić, Č. (1973). Forest trees of Yugoslavia. Zagreb: Šumarski Fakultet.

Vidaković, M., & Franjić, J. (2004). Dendrology of the Balkan region. Zagreb: Šumarski Fakultet.

Vendramin, G.G., Bucci, G., & Fady, B. (2008). Air pollution tolerance of *Pinus heldreichii*: physiological and ecological aspects. *Environmental Pollution*, 153(3), 539–546.

SUMMARY

Bosnian pine (*Pinus heldreichii* Christ.) represents a Tertiary relict and a subendemic species of the Balkan Peninsula, adapted to extreme site conditions of high-mountain and karst environments. It is characterized by high resistance to abiotic stressors such as drought, frost, and wind, as well as a significant colonization potential on degraded sites. However, its health status may be threatened by biotic factors and forest fires, the frequency of which is increasing as a result of climate change.

The aim of this study was to assess the health condition and silvicultural characteristics of Bosnian pine (*Pinus heldreichii*) stands at selected sites in Bosnia and Herzegovina (Prenj, Hranisava, Rujište, and Čvrstica), with special emphasis on the influence of abiotic and biotic factors, as well as forest fires.

The research was conducted using a combination of field and laboratory methods. On selected plots, tree health condition was assessed, pathogens and harmful insects were identified, and structural stand characteristics were analyzed. Special attention was given to burned areas, where the degree of damage and the impact of fire on stand stability were evaluated. The collected data were presented in tables (Tables 1–4), graphs (Graphs 1 and 2), and images (Figures 1–6).

The results showed that the most significant pathogens were present on roots, stems, and needles (Table 1), while among harmful insects, species predominantly attacking stems and needles were identified (Table 2). The distribution of harmful organisms is further illustrated in Figure 6, clearly indicating that the most affected parts of the tree are the stem and needles.

The analysis of burned areas (Table 3) revealed a high level of stand damage (>60%), indicating a pronounced negative impact of fire. Structural analysis (Graphs 1 and 2) and forest inventory data (Table 4) confirm the dominance of Bosnian pine over European beech (*Fagus sylvatica*), suggesting its better adaptation to post-fire conditions.

The results confirm the high resistance of Bosnian pine to abiotic stressors, while also highlighting forest fires as a key factor of stand degradation. The obtained findings provide an important basis for planning protection measures, restoration, and sustainable management of Bosnian pine stands in Bosnia and Herzegovina.

Received: April, 06, 2026; **Accepted:** June, 10, 2026; **Published:** July, 31, 2026

Funding: This research received no external funding.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.



© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Phytochemical Composition and Biological Activities of Essential Oils from *Pinus nigra* J. F. Arnold and *Pinus sylvestris* L.

Fitohemijski sastav i biološka aktivnost eteričnih ulja iz *Pinus nigra* J. F. Arnold i *Pinus sylvestris* L.

Adna Borovac¹, Irma Mahmutović-Dizdarević^{2,*}, Ilderina Jusufović¹, Katarina Hafner-Vuk³, Monia Avdić Obučić¹

¹ International Burch University, Francuske revolucije bb, Ilidža 71210, Bosnia and Herzegovina

² University of Sarajevo-Faculty of Science, Department of Biology, Zmaja od Bosne 33-35, 71000 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

³ Institut za mjeriteljstvo, BiH, Branilaca Sarajeva 25, 71000 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

ABSTRACT

This research aimed to examine the chemical composition, as well as the antioxidant, antibacterial, and antibiofilm properties of essential oils (EOs) derived from black pine (*Pinus nigra* J. F. Arnold) and white pine (*Pinus sylvestris* L.). The essential oils were extracted using the hydrodistillation method and analyzed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The dominant components identified in the EOs were monoterpenes and sesquiterpenes. The antioxidant capacity was assessed using the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) method, which revealed that both EOs exhibited moderate antioxidant activity. The antibacterial activity was evaluated against *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 and Extended-Spectrum Beta-lactamase (ESBL) - producing *Escherichia coli* ATCC 35218, using the agar diffusion method and the microdilution technique. Antibiofilm activity was assessed using the Tissue Culture Plate (TCP) method. The results of the agar diffusion method suggested that *P. sylvestris* exhibited stronger antibacterial activity compared to *P. nigra*. This finding aligns with the results of the broth microdilution method, which showed lower minimum inhibitory concentration (MIC) values for the essential oil of *P. sylvestris*. *Staphylococcus aureus* investigated in this study formed a moderately adherent biofilm, while ESBL *E. coli* was identified as strong biofilm former. Tested EOs performed the capacity to change the biofilm-forming category in a species-specific and concentration-dependent manner, with *P. nigra* EO showing more pronounced antibiofilm effects.

Keywords: Essential oil, black pine, Scots pine, chemical composition, antibacterial activity

INTRODUCTION - Uvod

Essential oils (EOs) are complex mixtures of volatile, naturally occurring compounds with strong aroma, classified as secondary plant metabolites. They exhibit diverse biological activities, including antimicrobial, anti-in-

flammatory, sedative, analgesic, and spasmolytic effects. Based on their biosynthetic origin, the main groups of EO compounds are terpenes (oxidized and non-oxidized) and low-molecular-weight aromatic or aliphatic compounds (Bakkali et al., 2008). Terpenoids, in particular, have demonstrated antibacterial effects, often exhibi-

ting stronger activity against Gram-positive bacteria than Gram-negative (Chouhan et al., 2017). Some monoterpenes, such as limonene, can act synergistically with antibiotics, inhibiting the growth of multidrug-resistant strains, including *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* (Costa et al., 2019; Guimarães et al., 2019). *Pinus nigra* J. F. Arnold (black pine) and *Pinus sylvestris* L. (Scots pine) are widely distributed in Europe and the Balkans, including Bosnia and Herzegovina. Traditionally, preparations from these species have been used to treat respiratory conditions, skin disorders, and infections (Mirković et al., 2024). Their essential oils are rich in monoterpenes and sesquiterpenes, including α -pinene, β -pinene, germacrene D, and β -caryophyllene (Agić et al., 2011; Mirković et al., 2024). These compounds contribute to both antimicrobial and antioxidant effects. Due to the rising resistance of microorganisms to conventional antibiotics, natural products such as pine EOs are being investigated as alternative therapeutic agents. This study aims to evaluate the chemical composition, antioxidant, antibacterial, and antibiofilm activities of *P. nigra* and *P. sylvestris* essential oils, with a focus on their potential application against multidrug-resistant bacteria.

MATERIAL AND METHODS -

Materijal i metode

Essential Oils

The essential oil samples were obtained directly from distillers located in the southern Herzegovina region (Eterična ulja d.o.o. Ljubuški; Biohalilović, Ilijaš, Eko Aromatik d.o.o. Ljubuški). The oils were produced for pharmaceutical and related commercial applications. All samples were prepared and bottled by the distillers and delivered to the laboratory in tightly sealed amber glass vials. Upon receipt, the vials were refrigerated until analysis to ensure preservation of chemical integrity. EOs were tested in pure form (100%) and 25% dilution (250 μ L/mL) in 1% dimethyl sulfoxide (DMSO) $\geq$ 99.9% analytical reagent grade (Fisher Scientific, UK). Stock solutions of the test substances were kept at room temperature in the dark.

GC/MS Analysis of White and Black Pine Essential Oils

The GC/MS analysis of black pine (*P. nigra*) and Scots pine (*P. sylvestris*) essential oils was performed using an Agilent 7820A gas chromatograph equipped with a HP5-MS ultra-inert capillary column (30 m $\times$ 250 μ m i.d., film thickness 0.25 μ m, temperature range -60 $^{\circ}$ C to 325 $^{\circ}$ C) and interfaced with an Agilent 5977E mass selective detector (MSD). High-purity helium (5.0 grade) was used

as the carrier gas at a constant flow rate of 1.02 mL/min, with an inlet pressure of 8.4599 psi and an average linear velocity of 36.987 cm/s. A 1 μ L aliquot of each EO sample (diluted in n-hexane) was injected in splitless mode at 220 $^{\circ}$ C. The GC oven temperature was programmed as follows: initial temperature of 60 $^{\circ}$ C (1 min hold), ramped to 246 $^{\circ}$ C at 3 $^{\circ}$ C/min (no hold), and further increased to 280 $^{\circ}$ C at 10 $^{\circ}$ C/min. The total runtime was 86.4 minutes, with an equilibration time of 3 minutes. A solvent cut-off time of 4 minutes was applied to exclude the solvent peak. The autosampler needle was washed three times with n-hexane before and after each injection. The MSD operated in electron ionization mode (EI, 70 eV), scanning in the m/z range of 40-400. The transfer line, ion source, and quadrupole temperatures were maintained at 250 $^{\circ}$ C, 230 $^{\circ}$ C, and 150 $^{\circ}$ C, respectively. Data acquisition and processing were conducted using ChemStation software.

Identification and Semi-Quantitative Analysis

Following the acquisition, chromatograms were processed using RTE-mode integration with predefined parameters (minimum peak area threshold: 0.1% of the largest peak; integration via baseline-drop or tangent method), ensuring consistent peak detection and integration. Component identification was based on mass-spectral matching against NIST (NIST14, NIST05) and Wiley7 libraries, where only matches with a similarity score above 80% were accepted. Retention indices (RI) were assigned using corresponding library data obtained through similarity-search identification and further compared with literature values reported for essential oils of the same *Pinus* species. All identified compounds are expected constituents of essential oils based on published compositional profiles.

Antioxidant Activity (DPPH)

The DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical scavenging assay was used to evaluate antioxidant activity (Meda et al., 2005). EOs were tested at concentrations of 25% and 100%. After 30 minutes of incubation with DPPH solution, absorbance was measured at 517 nm. Radical inhibition was calculated as:

$$\text{Inhibition (\%)} = \frac{A_0 - A_{30}}{A_0} \times 100$$

Where A_0 is the initial absorbance, and A_{30} is the absorbance after 30 minutes.

Bacterial Species

Investigation of antibacterial and antibiofilm properties of selected EOs included Gram-positive bacterium: *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 and Gram-negative

bacterium: Extended-Spectrum Beta-lactamase (ESBL) - producing *Escherichia coli* ATCC 35218, a multidrug-resistant (MDR) strain. Investigated bacterial strains were purchased from the American Type Culture Collection (ATCC). Inocula were set in accordance with EUCAST (2017). After incubating overnight, bacterial cultures were diluted in sterile saline solution to achieve a final turbidity of 0.5 McFarland standard (1.5×10^8 CFU/mL).

Agar Diffusion Method

The initial assessment of bacterial sensitivity to EOs was conducted using the agar diffusion method (Balouiri et al. 2016). Müller-Hinton agar (MHA; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO) plates were inoculated with bacterial suspension using sterile swabs, and such plates were left at room temperature for 15 minutes to achieve better absorption of the inoculum into the medium. Plates were then drilled to make 8 mm-diameter wells. Wells were filled with 100 μ L of EO (250 μ L/mL) and incubated for 16 to 18 hours at 37 °C. Both EOs were triple tested. At the same time, an antibiogram was performed using the following antibiotics as positive controls: Ampicillin (2 μ g), Erythromycin (15 μ g), Ceftazidime (30 μ g), Clindamycin (2 μ g), Rifampicin (30 μ g), Tetracycline (3 μ g), Gentamicin (10 μ g), Ciprofloxacin (5 μ g), Chloramphenicol (30 μ g), and Amikacin (30 μ g) (Oxoid™, Great Britain). DMSO at a concentration of 1% was used as a negative control. The antibacterial activity was evaluated based on the diameter of inhibition zones (in mm), and the following categories were defined: <10 mm = *insensitive*, 10-15 mm = *weak sensitivity*, 16-20 mm = *moderate sensitivity*, >20 mm = *strong sensitivity* (Pirvu et al., 2014).

Broth Microdilution Method

Values of the minimum inhibitory concentration of *P. nigra* and *P. sylvestris* EOs were determined through the Broth microdilution method, following CLSI guidelines (2018). The 96-well microplate was filled with Tryptic Soy Broth (TSB) (Sigma Aldrich St. Louis, MO), followed by the addition of 200 μ L of two-fold dilutions of EO, forming the final range of 250-0.00006 μ L/mL. The amount of 20 μ L of bacterial suspension was used to inoculate each well. Positive controls were bacteria in TSB only, while the uninoculated media were taken as the negative controls. Plates were incubated overnight and analysed using a microplate reader (BioTek Epoch Microplate Spectrophotometer) at 595 nm. Experiments were performed in quadruplets.

Impact on Bacterial Biofilms

Evaluation of the impact of *P. nigra* and *P. sylvestris* EOs on bacterial biofilms was performed through the Tissue

Culture Plate (TCP) method in 96-well plates with the Tryptic Soy Broth, TSB as the diluting medium (Merritt et al., 2005). The initial concentration of EOs (250 μ L/mL) was twofold diluted in TSB to an end concentration of 0.00006 μ L/mL, and 100 μ L of such dilution was added to each well. Inoculation is performed with 20 μ L of bacterial culture, prepared as previously described. The inoculated TSB medium was taken as the positive control, while the sterile medium was the negative control. The biofilm formation was determined by the bacterial adherence in the presence of TSB only. After incubating overnight, the plates were decanted, washed in Phosphate Buffered Saline, PBS (Sigma Aldrich St. Louis, MO), and stained with 0.1% crystal violet solution for 10 minutes. This step was followed by washing the plates and filling them with 96% ethanol. Results were read on a microplate reader (BioTek Epoch Microplate Spectrophotometer) at the wavelength of 595 nm. The experiment was performed in quadruplets, and the results are presented as mean values $\pm$ standard deviation (STDEV). The biofilm-forming category was determined according to Stepanović et al. (2007). The optical density cut-off value (OD_c) was calculated as three standard deviations above the mean OD of the negative control, while the biofilm-forming categories were determined as follows: $OD \leq OD_c$: *non-adherent*, $OD_c < OD \leq 2 \times OD_c$: *weakly adherent*, $2 \times OD_c < OD \leq 4 \times OD_c$: *moderately adherent*, and $4 \times OD_c < OD$: *strongly adherent*. The percentage of biofilm inhibition achieved by the activity of the investigated EOs was calculated in accordance with Jadhav et al. (2013).

Statistical analysis

All descriptive statistical computations were conducted by use of Microsoft Excel 2019 (Microsoft Corporation, Redmond, USA). One-way ANOVA with the post hoc multiple comparison tests (LSD) in terms of determining significant differences between the test compounds and the controls was performed using Statistica 10 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Differences were considered statistically significant at the $p < 0.05$ level. For the determination of MIC values, as well as in antibiofilm assays, data were presented descriptively, and interpretation was done according to predefined threshold values/percent of inhibition.

RESULTS AND DISCUSSION - Rezultati i diskusija

GC-MS analysis confirmed that α -pinene was the dominant constituent in both oils (Table I), accompanied by β -pinene, D-limonene and *o*-cymene in *P. nigra*, and α -terpineol, verbenone, isothujol, and isoborneol in *P. syl-*

vestris. The high α -pinene content correlates with much of the observed antimicrobial and antioxidant activity. Minor compositional differences may explain functional variations, particularly the stronger antibiofilm activity of *P. nigra* EO. Previous studies have shown that the content of pine EO compounds can vary. Thus, Salem et al. (2015) noticed that α -phellandrene and α -pinene were the only common compounds in oil obtained from the bark and wood of *P. sylvestris*. The chemical composition of EOs has been attributed to antimicrobial activity. Specifically, the elevated content of sesquiterpenes and oxygenated monoterpenes in *P. nigra* has been associated with interference in bacterial adhesion processes and the destabilization of biofilm structures (Roy et al., 2018). Overall, *P. sylvestris* EO demonstrated superior antibacterial activity, while *P. nigra* EO exhibited more pronounced antibiofilm effects. Both oils displayed mo-

derate antioxidant activity, highlighting their potential as natural agents for managing multidrug-resistant bacteria and biofilm-associated infections.

The DPPH radical scavenging assay revealed weak to moderate antioxidant activity (Table 2) for both EOs, which increased with concentration. *Pinus nigra* EO displayed slightly stronger activity compared to *P. sylvestris*. These findings align with previous studies showing that the antioxidant activity in pine species varies based on species, plant part, and analytical method (Kurti et al., 2019; Koutsaviti et al., 2021).

Table 1. Chemical compounds of the *P. nigra* and *P. sylvestris* EOs

Tabela 1. Hemijski spojevi eteričnih ulja *P. nigra* i *P. sylvestris*

	RI	Compound	<i>P. nigra</i>		<i>P. sylvestris</i>	
			Conc. (%)	RT	Conc. (%)	RT
1	929	α -pinene	88.908	5.872	63.420	5.855
2	979	β -pinene	1.578	7.077	2.090	7.077
3	1022	<i>o</i> -cymene	2.166	8.641	1.108	8.641
4	1030	D-limonene	3.560	8.794	2.631	8.789
5	1090	<i>p</i> -cymenene	/	/	0.942	11.073
6	1113	fenchol	/	/	0.485	12.020
7	1139	trans-pinocarveole	0.527	13.056	1.467	13.056
8	1142	cis-verbenol	/	/	1.116	13.297
9	1143	sabinol	1.153	13.297	/	/
10	1153	β -terpineole	/	/	1.335	14.105
11	1157	isoborneol	/	/	3.159	14.181
12	1168	isothujol	/	/	3.874	14.689
13	1183	<i>p</i> -cymene-8-ol	0.453	15.010	/	/
14	1189	α -terpineol	/	/	6.064	15.259
15	1193	myrtenal	/	/	0.847	15.505
16	1195	myrtenol	/	/	1.744	15.627
17	1205	verbenone	1.657	16.037	4.219	16.042
18	1285	bornyl acetate	/	/	2.010	19.370
19	1376	α -copaene	/	/	0.479	23.180
20	1384	β -bourbonene	/	/	1.466	23.548
21	1419	trans-caryophyllene	/	/	0.696	24.960
22	1477	γ -muurolene	/	/	0.849	27.315
Sum concentration			99.022		95.703	

Table 2. DPPH antioxidant activity of *P. nigra* and *P. sylvestris* EOs

Tabela 2. DPPH antioksidativna svojstva esencijalnih ulja *P. nigra* i *P. sylvestris*

EO/ concentration	Diluted EO (25%)	Pure EO (100%)
<i>P. nigra</i>	9.27	23.13
<i>P. sylvestris</i>	7.21	15.73

Both *P. nigra* and *P. sylvestris* EOs exhibited weak to moderate inhibitory effects against *S. aureus* and the ESBL strain of *E. coli*. Agar diffusion assays showed inhibition zones of 13.67 ± 1.15 mm (*P. nigra*) and 17.0 ± 1.0 mm (*P. sylvestris*) against *S. aureus*. On the contrary, both EOs had a weaker effect on the ESBL strain of *E. coli* (Table 3), where inhibition zones were measured as 10.33 ± 0.58 (*P. nigra*) and 12.00 ± 0.00 (*P. sylvestris*). Results of the antimicrobial screening generated in the agar diffusion method indicated a stronger antibacterial potential of Scots pine when compared to black pine.

Table 3. Obtained inhibition zones due to the activity of *P. nigra* and *P. sylvestris* EOs

Tabela 3. Postignute zone inhibicije usljed djelovanja eteričnih ulja *P. nigra* i *P. sylvestris*

Essential oil	Inhibition zone, IZ (mm)*	
	<i>S. aureus</i> ATCC 6538	ESBL <i>E. coli</i> ATCC 35218
<i>P. nigra</i>	13.67 ± 1.15	10.33 ± 0.58
<i>P. sylvestris</i>	17.00 ± 1.00	12.00 ± 0.00
Controls		
Ampicillin	30.00 ± 0.00	10.00 ± 0.00
Erythromycin	22.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00
Ceftazidime	18.00 ± 0.00	25.00 ± 0.00
Clindamycin	23.00 ± 0.00	NI
Rifampicin	31.00 ± 0.00	16.00 ± 0.00
Tetracycline	24.00 ± 0.00	19.00 ± 0.00
Gentamicin	20.00 ± 0.00	19.00 ± 0.00
Ciprofloxacin	24.00 ± 0.00	27.00 ± 0.00
Chloramphenicol	20.00 ± 0.00	19.00 ± 0.00
Amikacin	19.00 ± 0.00	18.00 ± 0.00
Results are presented as mean $\pm$ STDEV.		
*All generated IZ values differ significantly after performing a <i>post-hoc</i> LSD test.		
NI=No inhibition.		
DMSO=NI		

The MIC values of the investigated EOs are presented in Table 4. *Pinus nigra* against *S. aureus* had an MIC at 3.90 $\mu\text{L/mL}$, while the ESBL strain of *E. coli* was less susceptible to this EO, with the MIC at 15.62 $\mu\text{L/mL}$. Results of the Broth microdilution method were in accordance with the initial antibacterial screening, where *P. sylvestris* performed stronger antibacterial activity. MIC values of the Scots pine were 1.95 $\mu\text{L/mL}$ against *S. aureus* and 3.90 $\mu\text{L/mL}$ against ESBL *E. coli*. Average OD values of quadruplets ($\pm$ STDEV) used in the determination of MIC values of EOs against tested bacteria are presented in Figure 1.

Table 4. Determined MIC values of investigated EOs

Tabela 4. Određene vrijednosti MIK istraživanih eteričnih ulja

Essential oil	MIC value ($\mu\text{L/mL}$)	
	<i>S. aureus</i> ATCC 6538	ESBL <i>E. coli</i> ATCC 35218
<i>P. nigra</i>	3.90	15.62
<i>P. sylvestris</i>	1.95	3.90

Research on the antimicrobial properties of *Pinus* species native to Bosnia and Herzegovina is still limited, particularly regarding the essential oils (EOs) and their potential synergistic effects with antibiotics. Several *Pinus* species were examined, revealing that the essential oil extracted from *P. sylvestris* cones displayed the strongest antimicrobial activity (Mirković et al., 2024). In contrast, EOs from *P. sylvestris* needles, *P. mugo*, and *P. nigra* needles and cones showed weaker antimicrobial potential against the tested microorganisms. Interestingly, *P. nigra* was identified as the most effective of all the tested EOs against *E. coli*. Gojković Cvjetković et al. (2020) reported inhibition zones of 14.33 mm for *S. aureus*, compared to inhibition zones of 17.33 mm for both *E. coli* and *Klebsiella pneumoniae*, and 17.00 mm for *Bacillus subtilis*. Similar findings were observed in our research, where *P. sylvestris* demonstrated better antibacterial activity against both types of bacteria. Bacteria that produce Extended-Spectrum Beta-Lactamases (ESBLs) exhibit resistance to β -lactam antibiotics as well as other classes of antibiotics (Chong et al., 2018). This resistance leads to the development of a multiple-drug resistance phenotype (Kyo et al. 2021), making these bacteria a significant cause of morbidity and mortality worldwide (Jouini et al. 2013; Klibi et al. 2019).

All replicates of the positive control demonstrated that *S. aureus* ATCC 6538 investigated in this study formed a moderately adherent biofilm. After the application of the *P. nigra* EO, the first two subinhibitory concentrati-

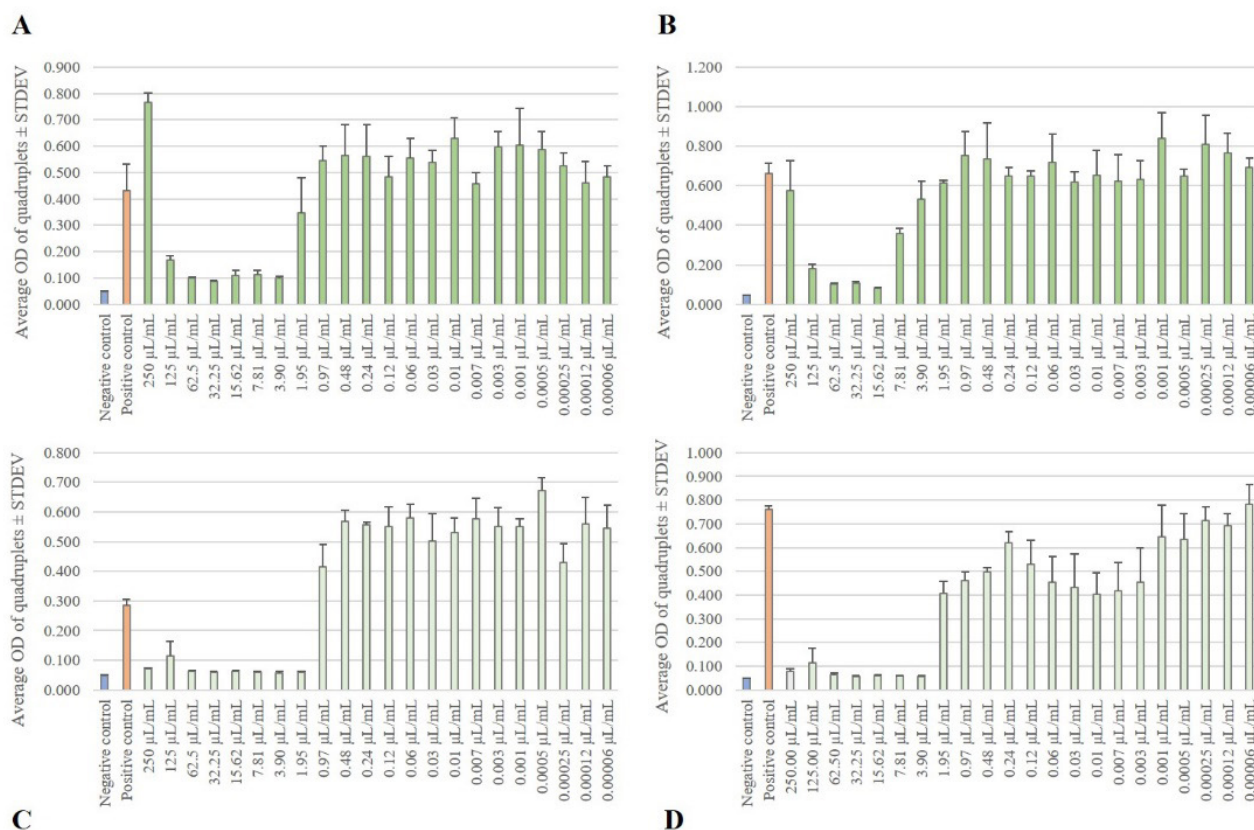


Figure 1. Average OD of quadruplets $\pm$ STDEV in the determination of MIC values of investigated EOs against tested bacteria. A. *P. nigra* against *S. aureus*; B. *P. nigra* against *E. coli*; C. *P. sylvestris* against *S. aureus*; D. *P. sylvestris* against *E. coli*.

Slika 1. Prosječne OD vrijednosti kvadrupleta $\pm$ STDEV u determinaciji MİK vrijednosti istraživanih eteričnih ulja protiv testnih bakterija. A. *P. nigra* protiv *S. aureus*; B. *P. nigra* protiv *E. coli*; C. *P. sylvestris* protiv *S. aureus*; D. *P. sylvestris* protiv *E. coli*.

ons (1.95 $\mu\text{L/mL}$ and 0.97 $\mu\text{L/mL}$) did not cause a change in the biofilm-forming capacity, while the rest of the dilution (up to 0.00006 $\mu\text{L/mL}$) induced the occurrence of strong biofilm. A similar pattern was observed in this bacterium after the application of *P. sylvestris* EO, where at first, subinhibitory concentrations (0.97–0.24 $\mu\text{L/mL}$) biofilm stayed moderately-adherent. Other serial dilutions led to the formation of strong biofilm. An extended-spectrum β -lactamase-producing strain of *E. coli* ATCC 35218 in this study was determined as a strong biofilm-former in all replications of the positive control. All subinhibitory concentrations of *P. nigra* EO, starting from 7.81 $\mu\text{L/mL}$, led to the elimination of this strong biofilm formation. The percentage of inhibition ranged from 77.74% to 96.56%. *P. sylvestris* EO eliminated this biofilm at 1.95 $\mu\text{L/mL}$ and 0.97 $\mu\text{L/mL}$, with the inhibition rate of 81.31–87.62%. Following serial dilutions (from 0.48 $\mu\text{L/mL}$ to 0.003 $\mu\text{L/mL}$) decreased the strong biofilm for two categories (to weakly-adherent), and the inhibition percent ranged from 59.94% to 72.29%. Lowest concentrations of this EO decreased biofilm for one category, to moderately-adherent, with

inhibition of 20.37% to 43.40%. Mean absorbance values ($\pm$ STDEV) observed in the evaluation of the impact of *P. nigra* and *P. sylvestris* EOs on the bacterial biofilms are presented in Tables 5 and 6.

These findings suggest that *P. nigra* essential oil may serve as a potential natural agent to inhibit biofilm formation in certain bacteria, particularly those responsible for infections caused by MDR strains like ESBL (Mirković et al., 2025). These actions contribute to the antimicrobial activity of EOs by impairing the ability of microorganisms to form and maintain biofilms, making them more susceptible to conventional antimicrobial agents. Furthermore, numerous studies have shown that EOs can degrade key components of the extracellular matrix, including polysaccharides and proteins, thereby weakening the structural integrity of biofilms (Touati et al., 2025). This study showed that *S. aureus* exhibits increased biofilm-forming capacity after the application of EOs in subinhibitory dilutions. Similar results have been observed in other Gram-positive bacteria, such as *Bacillus subtilis* and *Bacillus subtilis* (Beauregard et

Table 5. Absorbance values (mean $\pm$ STDEV) in evaluating the impact of *P. nigra* EO on the bacterial biofilmsTabela 5. Vrijednosti absorbanci (mean $\pm$ STDEV) u evaluaciji uticaja eteričnog ulja *P. nigra* na bakterijske biofilmove

Bacteria	Negative control	Positive control	Subinhibitory concentrations of EOs (μ L/mL)						
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538	0.063 $\pm$ 0.009	0.303 $\pm$ 0.127	1.95	0.97	0.48	0.24	0.12	0.06	0.03
			0.341 $\pm$ 0.520	0.331 $\pm$ 0.184	0.576 $\pm$ 0.079	0.632 $\pm$ 0.091	0.640 $\pm$ 0.082	0.664 $\pm$ 0.272	0.589 $\pm$ 0.167
			0.01	0.007	0.003	0.001	0.0005	0.00025	0.00012
			0.661 $\pm$ 0.104	0.539 $\pm$ 0.152	0.601 $\pm$ 0.131	0.674 $\pm$ 0.072	0.555 $\pm$ 0.167	0.600 $\pm$ 0.043	0.643 $\pm$ 0.103
			0.00006	-	-	-	-	-	-
			0.593 $\pm$ 0.125	-	-	-	-	-	-
ESBL <i>Escherichia coli</i> ATCC 35218	Negative control	Positive control	Subinhibitory concentrations of EOs (μL/mL)						
	0.245 $\pm$ 0.218	3.624 $\pm$ 0.261	7.81	3.90	1.95	0.97	0.48	0.24	0.12
			0.125 $\pm$ 0.013 [*]	0.250 $\pm$ 0.047 [*]	0.367 $\pm$ 0.069 [*]	0.485 $\pm$ 0.095 [*]	0.526 $\pm$ 0.060 [*]	0.657 $\pm$ 0.045 [*]	0.671 $\pm$ 0.137 [*]
			0.06	0.03	0.01	0.007	0.003	0.001	0.0005
			0.685 $\pm$ 0.192 [*]	0.664 $\pm$ 0.167 [*]	0.630 $\pm$ 0.264 [*]	0.679 $\pm$ 0.215 [*]	0.645 $\pm$ 0.184 [*]	0.679 $\pm$ 0.049 [*]	0.712 $\pm$ 0.137 [*]
			0.00025	0.00012	0.00006	-	-	-	-
			0.703 $\pm$ 0.070 [*]	0.776 $\pm$ 0.061 [*]	0.807 $\pm$ 0.078 [*]	-	-	-	-

^{*}Biofilm elimination.Table 6. Absorbance values (mean $\pm$ STDEV) in evaluating the impact of *P. sylvestris* EO on the bacterial biofilmsTabela 6. Vrijednosti absorbanci (mean $\pm$ STDEV) u evaluaciji uticaja eteričnog ulja *P. sylvestris* na bakterijske biofilmove

Bacteria	Negative control	Positive control	Subinhibitory concentrations of EOs (μ L/mL)						
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538	0.068 $\pm$ 0.006	0.191 $\pm$ 0.026	0.97	0.48	0.24	0.12	0.06	0.03	0.01
			0.258 $\pm$ 0.100	0.335 $\pm$ 0.011	0.319 $\pm$ 0.038	0.442 $\pm$ 0.036	0.516 $\pm$ 0.084	0.442 $\pm$ 0.249	0.398 $\pm$ 0.136
			0.007	0.003	0.001	0.0005	0.00025	0.00012	0.00006
			0.414 $\pm$ 0.062	0.488 $\pm$ 0.103	0.444 $\pm$ 0.102	0.453 $\pm$ 0.068	0.404 $\pm$ 0.041	0.509 $\pm$ 0.081	0.425 $\pm$ 0.032
ESBL <i>Escherichia coli</i> ATCC 35218	Negative control	Positive control	Subinhibitory concentrations of EOs (μL/mL)						
	0.086 $\pm$ 0.043	0.848 $\pm$ 0.069	1.95	0.97	0.48	0.24	0.12	0.06	0.03
			0.105 $\pm$ 0.011 [*]	0.159 $\pm$ 0.052 [*]	0.235 $\pm$ 0.084 ^{**}	0.275 $\pm$ 0.063 ^{***}	0.323 $\pm$ 0.112 ^{**}	0.259 $\pm$ 0.162 ^{**}	0.286 $\pm$ 0.174 ^{**}
			0.01	0.007	0.003	0.001	0.0005	0.00025	0.00012
			0.298 $\pm$ 0.169 ^{***}	0.276 $\pm$ 0.155 ^{**}	0.340 $\pm$ 0.174 ^{**}	0.480 $\pm$ 0.124 ^{***}	0.571 $\pm$ 0.102 ^{***}	0.588 $\pm$ 0.101 ^{***}	0.589 $\pm$ 0.104 ^{***}
			0.00006	-	-	-	-	-	-
			0.675 $\pm$ 0.069 ^{***}	-	-	-	-	-	-

^{*}Biofilm elimination.^{**}Decreasing for two biofilm-forming categories.^{***}Decreasing for one biofilm-forming category.

al., 2013; Li et al., 2021), where biofilm formation was triggered in vitro by certain plant compounds, probably used by bacteria as a sugar source during the synthesis of the exopolysaccharide matrix. Furthermore, there are reports indicating that the application of plant compounds increases biofilm formation in certain bacteria (Abedini et al., 2020), which may be a specific bacterial response to stressful conditions.

CONCLUSION - Zaključak

Chemical analysis revealed that α -pinene was the major constituent, representing 88.91% in *Pinus nigra* and 63.42% in *P. sylvestris*. These findings highlight the therapeutic potential of pine essential oils, particularly in combating multidrug-resistant microorganisms. This study demonstrates that essential oils from *P. nigra* and *P. sylvestris* exhibit moderate antioxidant activity and dose-dependent antimicrobial effect. The impact of the EOs on bacterial biofilms was also noted. Further in vivo studies, toxicological assessments, and standardization of oil composition are recommended to validate clinical applications. Integrating traditional knowledge with modern research provides a promising framework for developing new antimicrobial and antioxidant agents.

REFERENCES - Literatura

- Abedini, A., Colin, M., Hubert, J., Charpentier, E., Angelis, A., Bounasri, H., Bertaux, B., Kotland, A., Refuveille, F., Nuzillard, J.M., Renault, J.H., & Gangloff, S.C. (2020). Abundant Extractable Metabolites from Temperate Tree Barks: The Specific Antimicrobial Activity of Prunus Avium Extracts. *Antibiotics (Basel)*, 9(3), 111. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9030111>.
- Agić, D., Mirković, M., & Škorić, D. (2011). Chemical composition and biological activities of Pinus essential oils. *Journal of Essential Oil Research*, 23(5), 37–45.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – a review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475.
- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibensouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.j.2015.11.005>.
- Beauregard, P.B., Chai, Y., Vlamakis, H., Losick, R., & Kolter, R. (2013). *Bacillus subtilis* biofilm induction by plant polysaccharides. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 110(17): E1621–E1630. <https://doi.org/10.1073/pnas.1218984110>.
- Chong, Y., Shimoda, S., & Shimono, N. (2018). Current epidemiology, genetic evolution and clinical impact of extended-spectrum β -lactamase-producing *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*. *Infection, Genetics and Evolution*, 61, 185–188.
- Chouhan, S., Sharma, K., & Guleria, S. (2017). Antimicrobial activity of some essential oils – a review. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 3(1), 17–29.
- Clinical and Laboratory Standards Institute, CLSI. (2018). Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically: Approved standard (11th ed.). Clinical and Laboratory Standards Institute.
- Costa, R., Silva, S., & Duarte, A. (2019). Synergistic effects of limonene and gentamicin against bacterial pathogens. *Microbial Pathogenesis*, 137, 103752.
- EUCAST - European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing. (2017). EUCAST guidelines for detection of resistance mechanisms and specific resistances of clinical and/or epidemiological importance.
- Gojković Cvjetković, V., Marjanović-Balaban, Ž., Kapović-Solomun, M., Stanojević, Lj., Stanojević, J., & Kalaba, V. (2020). Quality testing of industrially produced essential oil of white pine (*Pinus sylvestris* L.) from the Republic of Srpska. *Journal of Engineering & Processing Management*, 12, Article 036. <https://doi.org/10.7251/JEPM2002036B>.
- Guimarães, A. C., Meireles, L. M., Lemos, M. F., Guimarães, M. C. C., Endringer, D. C., Fronza, M., & Scherer, R. (2019). Antibacterial activity of terpenes and terpenoids present in essential oils. *Molecules*, 24(13), 2471. <https://doi.org/10.3390/molecules24132471>.
- Jadhav, S., Shah, R., Bhawe, M., & Palombo, E.A. (2013). Inhibitory activity of yarrow essential oil on *Listeria* planktonic cells and biofilms. *Food Control*, 29(1), 125–130. <https://doi.org/10.1016/foodcont.2012.05.071>.
- Jouini, A., Ben Slama, K., Klibi, N., Ben Sallem, R., Estepa, V., Viñes, L., Sáenz, Y., Ruiz-Larrea, F., Boudabous, A., & Torres, C. (2013). Lineages and virulence gene content among extended-spectrum β -lactamase-producing *Escherichia coli* strains.

ins of food origin in Tunisia. *Journal of Food Protection*, 76(2), 323-327.

<https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-251>.

Klibi, A., Jouini, A., El Andolsi, R. B., Kmiha, S., Ben Hamda, C., Ghedira, K.,

Hamrouni, S., Ghram, A., & Maaroufi, A. (2019). Epidemiology of β -lactamase-producing staphylococci and Gram-negative bacteria as cause of clinical bovine mastitis in Tunisia. *BioMed Research International*, 2019, 2165316.

<https://doi.org/10.1155/2019/2165316>.

Koutsaviti, A., Toutoungy, S., Saliba, R., Loupassaki, S., Tzakou, O., Roussis, V., &

Ioannou, E. (2021). Antioxidant potential of pine needles: A systematic study on the essential oils and extracts of 46 species of the genus *Pinus*. *Foods*, 10(1), 142.

<https://doi.org/10.3390/foods10010142>.

Kurti, F., Giorgi, A., Beretta, G., Mustafa, B., Gelmini, F., Testa, C., ... & Hajdari, A. (2019). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oils of different *Pinus* species from Kosovo. *Journal of Essential Oil Research*, 31(4), 263-275.

Kyo, J. J., Sukdong, Y., Song, J. S., Kim, H. S., & Park, S. E. (2021). Non-carbapenem antimicrobial therapy in young infant with urinary tract infections caused by community-acquired extended-spectrum β -lactamase-producing *Escherichia coli*.

Pediatrics and Neonatology, 62(3), 271-277.

<https://doi.org/10.1016/j.pedneo.2021.01.005>

Li, M., Shu, C., Ke, W., Li, X., Yu, Y., Guan, X., & Huang, T. (2021). Plant Polysaccharides Modulate Biofilm Formation and Insecticidal Activities of *Bacillus thuringiensis* Strains. *Frontiers in Microbiology*, 12, 676146. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.676146>.

Meda, A., Lamien, C. E., Romito, M., Millogo, J., & Nacoulma, O. G. (2005). Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, 91, 571-577. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.006>.

Merritt, J. H., Kadouri, D. E., & O'Toole, G. A. (2005). Growing and analyzing static biofilms. *Current Protocols in Microbiology*, 1(1), 1B.1.

<https://doi.org/10.1002/9780471729259.mc01b01s00>.

Mirković, D., Petrović, J., & Ristić, M. (2024). Antimicrobial activity of essential oils from pine species against human pathogens. *Phytotherapy Research*, 38(3), 745-756.

<https://doi.org/10.1002/ptr.7374>.

Mirković, S., Martinović, M., Tadić, V. M., Nešić, I., Jovanović, A. S., & Žugić, A.

(2025). Antimicrobial and Antioxidant Activity of Essential Oils from Selected *Pinus* Species from Bosnia and Herzegovina. *Antibiotics*, 14(7), 677.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics14070677>.

Pirvu, L., Hlevca, C., Nicu, I., & Bubueanu, C. (2014). Comparative studies on analytical, antioxidant, and antimicrobial activities of a series of vegetal extracts

prepared from eight plant species growing in Romania. *Journal of Planar Chromatography – Modern TLC*, 27(5), 346-356.

Roy, R., Tiwari, M., Donelli, G., & Tiwari, V. (2018) Strategies for combating bacterial biofilms: A focus on anti-biofilm agents and their mechanisms of action. *Virulence*, 9(1), 522-554. <https://doi.org/10.1080/21505594.2017.1313372>.

Salem, M. Z. M., Zeidler, A., Böhm, M., Mohamed, M. E. A., & Ali, H. M. (2015).

GC/MS analysis of oil extractives from wood and bark of *Pinus sylvestris*, *Abies alba*, *Picea abies*, and *Larix decidua*. *Bioresources*, 10, 7725-7737.

<https://doi.org/10.15376/biores.10.4.7725-7737>.

Stepanović, S., Vuković, D., Hola, V., Di Bonaventura, G., Đukić, S., Cirković, I., & Ruzicka, F. (2007). Quantification of biofilm in microtiter plates: Overview of testing

conditions and practical recommendations for assessment of biofilm production by staphylococci. *APMIS*, 115(8), 891-899. https://doi.org/10.1111/j.1600-0463.2007.apm_630.x.

Touati, A., Mairi, A., Ibrahim, N. A., & Idres, T. (2025). Essential Oils for Biofilm Control: Mechanisms, Synergies, and Translational Challenges in the Era of Antimicrobial Resistance. *Antibiotics*, 14(5), 503.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics14050503>.

SAŽETAK

Ovo istraživanje imalo je za cilj ispitati hemijski sastav, antioksidativna i antibakterijska svojstva eteričnih ulja crnog bora (*Pinus nigra*) i bijelog bora (*Pinus sylvestris*), te evaluirati uticaj ulja na bakterijske biofilmove. Eterična ulja su dobijena metodom hidrodestilacije i analizirana pomoću gasne hromatografije-masene spektrometrije (GC-MS). Kao dominantni hemokonstituenti istraživanih eteričnih ulja identificirani su monoterpeni i seskviterpeni (Tabela 1), koji su prepoznati po svojoj bioaktivnosti. Antioksidativna aktivnost eteričnih ulja je procijenjena DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) metodom, a dobijeni rezultati sugeriraju efekat zavisn od koncentracije (Tabela 2). Antibakterijska aktivnost je testirana na jednu Gram-pozitivnu bakteriju: *Staphylococcus aureus* i jednu Gram-negativnu bakteriju: *Escherichia coli* koja proizvodi prošireni spektar beta-laktamaza (ESBL), koristeći metodu difuzije u agaru i mikrodilucijsku tehniku. Dobijeni rezultati ukazuju na varijabilan antibakterijski potencijal ispitivanih eteričnih ulja u zavisnosti od vrste ulja i vrste testirane bakterije (Tabela 3). Minimalne inhibitorne koncentracije (MIK) eteričnih ulja određene su mikrodilucijskom metodom, čime je omogućena kvantitativna procjena njihove antibakterijske efektivnosti. Utvrđene MIK vrijednosti razlikovale su se između ispitivanih eteričnih ulja, kao i između Gram-pozitivne i Gram-negativne bakterije, što upućuje na različitu osjetljivost testnih sojeva (Tabela 4). Tokom determinacije MIK vrijednosti, praćene su promjene optičke gustine (OD), a prosječne OD vrijednosti kvadrupleta sa standardnim devijacijama prikazane su grafički pružajući uvid u dinamiku inhibicije rasta bakterija pri različitim koncentracijama eteričnih ulja (Slika 1). Uticaj eteričnih ulja na bakterijske biofilmove je evaluiran metodom kulture tkiva na ploči. Rezultati agar difuzije su sugerirali jače antibakterijsko djelovanje bijelog bora u odnosu na crni bor, što je u korelaciji sa rezultatima mikrodilucijskog testa. Soj *S. aureus* korišten u ovoj studiji je pokazao kapacitet za formiranje umjereno jakog biofilma, dok je ESBL soj *E. coli* formirao jaki biofilm (Tabele 5 i 6). Istraživana eterična ulja su ispoljila potencijal promjene kategorije biofilma na način koji je specijski-specifičan i koncentracijski ovisan.

Received: Decembar, 30, 2025; **Accepted:** Februar, 2, 2026; **Published:** July, 31, 2026

Funding: This research received no external funding.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.



© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Inventory and analysis of the decorative and health condition of the trees of the Stojčevac excursion site in Ilidža

Inventarizacija i analiza dekorativnog i zdravstvenog stanja drveća izletišta Stojčevac na Ilidži

Dino Hadžidervišagić^{1,*}, Naida Gadžo¹, Selma Vehabović²

¹ Univerzitet u Sarajevu Šumarski fakultet, Zagrebačka 20, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

² Green Servis d.o.o. Sarajevo

ABSTRACT

This paper presents the results of an inventory and analysis of the decorative and health condition of the dendroflora of the Stojčevac excursion site in Ilidža, conducted in 2024. The research encompassed an area of 20.78 ha, within which 375 trees were recorded and analyzed. The results indicate a dominance of deciduous species (98%) compared to conifers (2%). A total of 33 woody taxa belonging to 13 families were identified, with the highest representation of species from the families Rosaceae and Betulaceae.

The analysis of geographical origin shows a significant presence of Eurasian species (41.1%), while horticultural species account for the smallest share (7.2%). Assessment of tree health condition using the modified Visual Tree Assessment (VTA) method revealed that the majority of trees are in relatively good condition, with over 70% showing no significant damage across observed parameters. However, 29% of trees were classified as diseased, and 38% showed certain types of damage, indicating the need for management and maintenance measures.

The vitality and decorative value of most trees were assessed as high, confirming the ecological and aesthetic importance of the site. The study provides a valuable basis for future planning, and protection of green spaces.

Key words: *inventory, dendroflora, tree health condition, Stojčevac, Ilidža*

INTRODUCTION – Uvod

Inventarizacija i analiza zdravstvenog stanja biljnog genofonda izletišta Stojčevac na Ilidži, u neposrednoj blizini Sarajeva, pruža cjelovit uvid u aktuelno stanje autohtone i alohtone dendroflore, kao i zdravstveno stanje biljaka i zastupljena oštećenja. Na osnovu provedene inventarizacije i analize formirane su baze podataka vezana za različite stepene dekorativnosti i vitaliteta drveća, zatim različite vrste oboljenja i mehaničkih oštećenja drveća zastupljenog na istraživanom području, kao i jačanje svijesti građana o važnosti očuvanja i zaštite urbanog zelenila.

Na području Bosne i Hercegovine provedena su brojna istraživanja dendroflore urbanih parkova, historijskih vrtova i drugih zelenih površina (Stefanović, 1955; Fukarek, 1959; Šilić, 1964; Janjić, 1966, 1984, 1996, 1998, 2002; Ljujić-Mijatović i dr., 2010; Bašić i dr., 2019; Hadžidervišagić, 2018; Hadžidervišagić i dr., 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025; Bašić i dr., 2024). Međutim, većina dosadašnjih istraživanja bila je prvenstveno usmjerena na taksonomsku inventarizaciju, floristički sastav ili historijski razvoj pojedinih lokaliteta. Znatno manji broj radova istovremeno analizira kvantitativne i kvalitativne karakteristike den-

droflore, dekorativno-estetske vrijednosti i potencijalne probleme u upravljanju ovakvim prostorima. Posebno je izražen nedostatak istraživanja koja se odnose na rekreacijske prostore i izletišta, iako upravo takvi prostori imaju značajnu društvenu, turističku i pejzažnu funkciju.

Također, istraživanja sa posebnim fokusom na zdravstveno stanje gradskog zelenila u Bosni i Hercegovini nisu česta i u novije vrijeme objavljeno je samo nekoliko radova (Mujezinović i dr., 2016, 2025; Gadžo, 2021) kroz koje je gradska dendroflora tretirana isključivo sa aspekta vitaliteta biljaka i potrebe za njihovom zaštitom. Iako rijetka, ovakva istraživanja ključna su za savremeni pristup upravljanja gradskim zelenilom i polazna su tačka za uspostavljanje i održavanje stabilnih i zdravih gradskih ekosistema. Prema Avdagiću i dr. (2025) savremeni pristupi uključuju i primjenu GIS tehnologija i vizuelnih metoda procjene stabilnosti stabala (VTA), što dodatno unapređuje kvalitet inventarizacije i omogućava preciznije donošenje upravljačkih odluka.

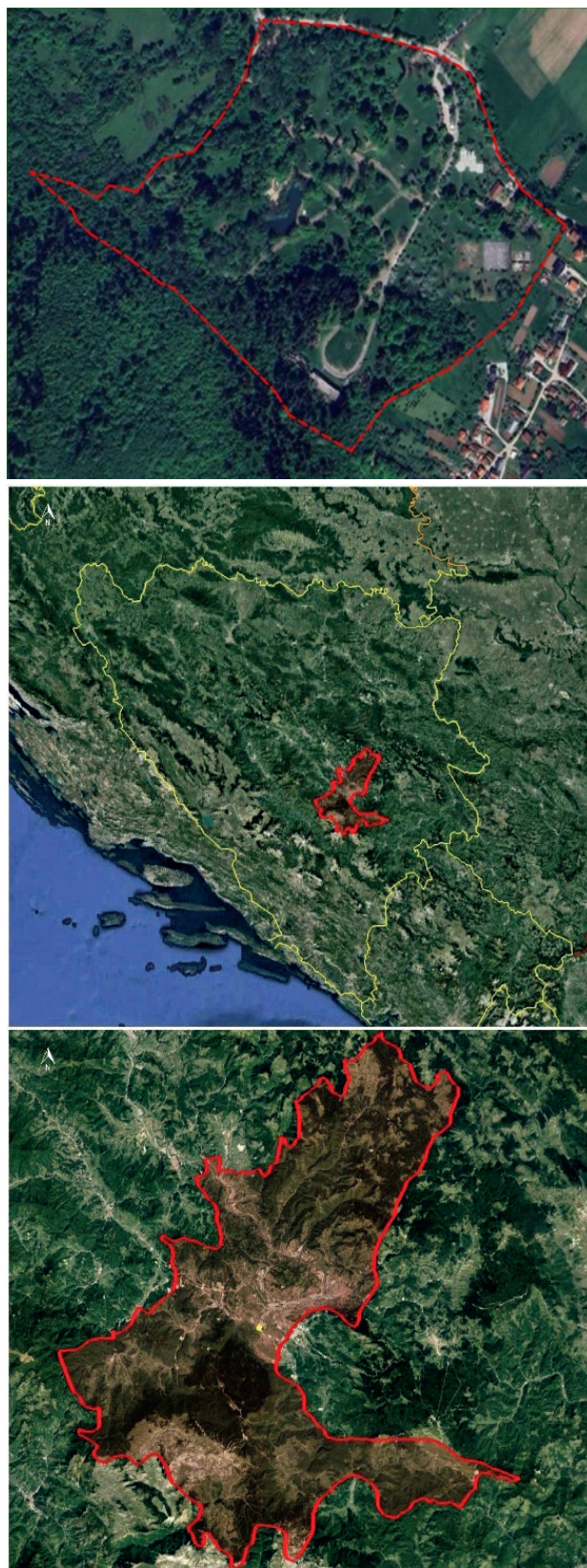
Izletište Stojčevac predstavlja jednu od najznačajnijih rekreacijskih zelenih površina na području Ilidže i Kantona Sarajevo. Uprkos njegovom značaju za lokalno stanovništvo i posjetioce, do sada nisu provedena detaljna istraživanja koja bi pružila cjelovit uvid u strukturu dendroflore, njeno dekorativno-estetsko i zdravstveno stanje, stepen očuvanosti i potencijalne rizike za buduće korištenje prostora. Naučni problem ovog istraživanja ogleda se u nedostatku pouzdanih i sistematiziranih podataka o postojećem stanju dendroflore, što otežava njegu i zaštitu ovog prostora.

Cilj istraživanja bio je inventarizacija dendroflore izletišta Stojčevac na Ilidži, utvrđivanje taksonomskog sastava, brojnosti i geografskog porijekla zastupljenog drveća sa analizom njihovog zdravstvenog i dekorativno-estetskog stanja primjenom modificirane metode vizuelne procjene stabala (VTA), kao i unaprjeđenje postojećeg stanja. Dobiveni rezultati istraživanja imaju naučnu vrijednost kroz proširenje spoznaja o dendroflori urbanih rekreacijskih prostora, ali i značajnu praktičnu primjenu kao osnove za planiranje mjera njege i zaštite dendroflore ovog značajnog rekreacijskog prostora.

MATERIAL AND METHODS –

Materijal i metode

Materijal istraživanja predstavljaju zelene površine izletišta Stojčevac na Ilidži ukupne površine 207.855,56 m² (20,78 ha). Granice izletišta čine obronci planine Igman, ulica Hrasnička cesta prema Hrasnici i Vrelo Bosne (slika 1.).



Slika 1. Istraživano područje izletišta (a. Kanton Sarajevo, b. izletište Stojčevac) (Google Earth, 2024)

Figure 1. Researched area of excursion site (a. Canton Sarajevo, b. Stojčevac excursion site) (Google Earth, 2024)

Inventarizacija i identifikacija dendroflora izletišta Stojčevac provedena je 2024. godine primjenom komparativno-morfološke metode. Zbog gusto zarasle vegetacije okolnih dijelova izletišta i nepristupačnog terena analize su obuhvatile samo obilježene individue laganе za pristup koje su prikazane kao izdvojeno područje (vidi sliku 2), a ne cjelokupno označeni prostor izletišta gdje su zastupljena stabla bijelog bora *Pinus sylvestris* L., smrče *Picea abies* (L.) H. Karst., američke duglazije *Pseudotsuga menziesii* Mirb., kao i određeni broj stabala obične breze *Betula pendula* Roth. Većina taksona determinirana je na osnovu relevantne dendrološke literature, uključujući radove Krüssmanna (1976–1978, 1983), Vučićević (1996), Jovanović (2000) i Warde (2001).

Mapiranje stabala izvršeno je pomoću GPS uređaja *Magellan* i mobilne aplikacije *Coordinates*. Evidentirana stabla sa zabilježenim koordinatama unesena su u GIS aplikaciju, gdje su im dodijeljeni redni brojevi, odnosno odgovarajuće šifre, nakon čega je formirana baza podataka. Na ovaj način omogućen je i grafički prikaz postojećih biljnih taksona unutar prostora izletišta Stojčevac.

Geografsko porijeklo vrsta je urađeno i svrstano u sljedeće kategorije: Sj.Am. – Sjeverna Amerika, Az. – Azija, Eur. – Europa, Eur.Az. – Euroazija, Eur.Az. Af. – Euroazija i Afrika, Eur.Az. Sj.Am. – Euroazija i Sjeverna Amerika, Eur.Az. Sj.Af. – Euroazija i Sjeverna Afrika i Hort. – hortikulturni kultivar.

Valorizacija dekorativno-zdravstvenog stanja inventarizovane dendroflora provedena je modificiranom metodom vizuelne procjene stabala – VTA (*Visual Tree Assessment*), zasnovanoj na izvornoj VTA metodi autora Mattheck i Breloer (1994). Za razliku od izvorne VTA metode, u kojoj je vizuelni pregled dijagnostičkih simptoma samo prva od tri faze procedure provođenja (Gadžo, 2021), modificirana metoda korištena za potrebe ovog istraživanja podrazumijeva samo vizuelni pregled dijagnostičkih simptoma i donošenje zaključaka na osnovu primijećenog.

Identifikovana dendroflora valorizovana je kroz analizu šest sljedećih parametara: prisustvo truleži, polomljenih grana, suhovrhosti, sječenih grana, te stepena vitaliteta i dekorativnosti. Trulež debla i debljih ramenih grana, pojava suhovrhosti i prisustvo većih sječenih grana ocjenjivani su skalom od 1 do 3, pri čemu vrijednost 1 označava minimalna, a vrijednost 3 izražena oštećenja. Vitalitet i dekorativnost dendroloških jedinki ocjenjivani su ocjenama od 1 do 5, gdje ocjena 5 predstavlja odličan, a ocjena 1 nezadovoljavajući stepen vitaliteta i dekorativnosti.

RESULTS AND DISCUSSION – Rezultati i diskusija

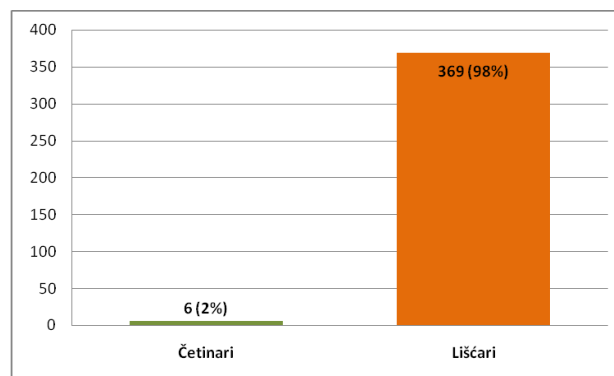
Na površini od 20,7 ha istraživanog dijela zelenih površina, ukupan broj analiziranih stabala iznosi 375 i predstavlja analizirani broj jedinki koje se nalaze na dijelu izletišta pristupačnom posjetiocima (slika 2.).



Slika 2. Prikaz istraživanih i mapiranih stabala u QGIS softveru (Vehabović, 2024.)

Figure 2. Display of researched and mapped trees in QGIS software (Vehabović, 2024)

Istraživanjem i analizom dendrološkog sadržaja izletišta Stojčevac utvrđena je zastupljenost 375 stabala različite starosne dobi, od čega je 6 četinarskih stabala (2%) i 369 lišćarskih stabala (98%; grafikom 1.). Važno je i navesti da se u sastojinama iznad izletišta Stojčevac nalaze šume bijelog bora.



Grafikon 1. Zastupljenost četinarskih i lišćarskih stabala na izletištu Stojčevac

Graph 1. The distribution of coniferous and deciduous tree species at the Stojčevac excursion site

Dobiveni rezultati (tabela 1.) ukazuju na dominaciju lišćarskih vrsta (98%) u odnosu na četinarske (2%), izuzimajući okolne i nepristupačne dijelove izletišta koji nisu analizirani ovim istraživanjem gdje preovladavaju četi-

narske vrste. Prema Ljujić-Mijatović i dr. (2010) lišćarske vrste se češće koriste za sadnju na urbanim zelenim površinama u BiH zbog boljih sanitarno-higijenskih, ekoloških i estetskih funkcija u odnosu na četinarske vrste. Dominacija taksona *Malus* sp. (34,93%) može ukazivati na plansku sadnju voćkarica u prošlosti.

Taksonomskom identifikacijom evidentirana su 33 drvenasta taksona različite starosne dobi. Registrovani taksoni dolaze u okviru 13 porodica. Najzastupljenije jedinke taksona su *Malus* sp. (131 kom.) i *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. (48 kom.) dok su znatno manje zastuplje-

ne jedinke *Acer tataricum* subsp. *ginnala* (Maxim.) Wesm., *Betula pendula* Roth, *Fraxinus excelsior* L., *F. ornus* L., *Prunus cerasifera* Ehrh., *Robinia pseudoacacia* L., *Salix fragilis* L. i *Ulmus laevis* Pallas sa samo jednim primjerkom.

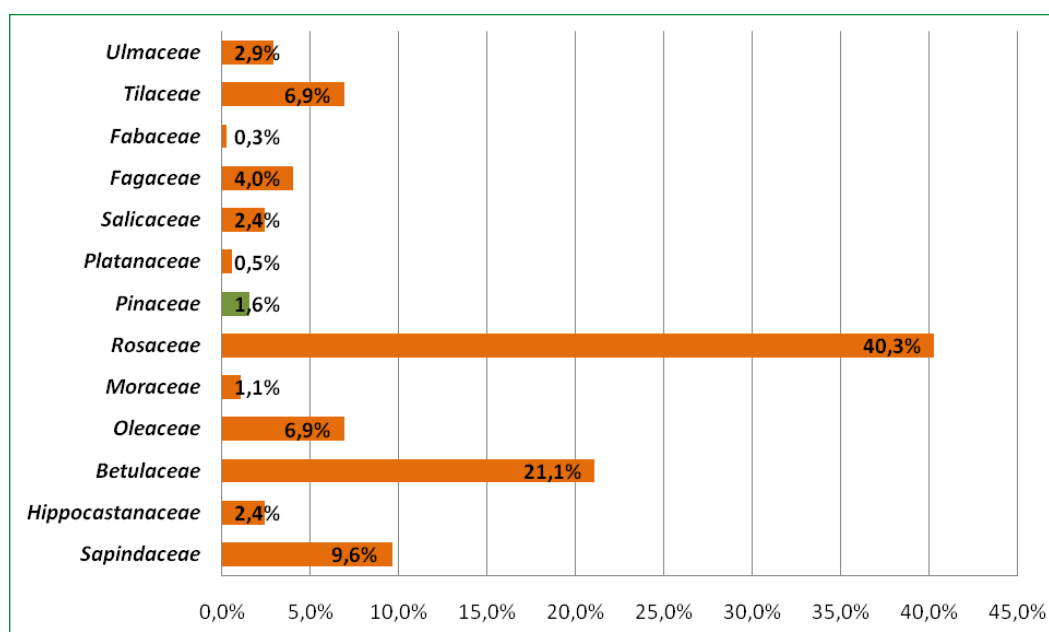
Prema broju različitih taksona (grafikon 2.) najzastupljenije porodice su *Rosaceae* (40,25%) i *Betulaceae* (21,06%) dok su najmanje procentualno zastupljene porodice *Fabaceae* (0,26%), *Platanaceae* (0,53%), *Moraceae* (0,53%) i *Pinaceae* (1,6%).

Tabela 1. Zastupljenost, geografsko porijeklo i brojnost taksona na izletištu Stojčevac

Table 1. Representation, geographic origin, and abundance of taxa at the Stojčevac excursion site

R. br. No.	Takson Taxa	Porodica Family	Geografsko porijeklo Geographic origin	Broj stabala (kom.) Number of Trees (pcs)	Procent Percent (%)
1.	<i>Acer campestre</i> L.	<i>Sapindaceae</i>	Eur.Az. Af.	6	1,6
2.	<i>Acer negundo</i> L.	<i>Sapindaceae</i>	Sj.Am.	18	4,8
3.	<i>Acer platanoides</i> L.	<i>Sapindaceae</i>	Eur.Az.	3	0,8
4.	<i>Acer pseudoplatanus</i> 'Atropurpureum'	<i>Sapindaceae</i>	Hort.	2	0,53
5.	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	<i>Sapindaceae</i>	Eur.Az.	6	1,6
6.	<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>ginnala</i> (Maxim.) Wesm.	<i>Sapindaceae</i>	Az.	1	0,26
7.	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	<i>Hippocastanaceae</i>	Eur.	9	2,4
8.	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	<i>Betulaceae</i>	Eur.Az. Af.	48	12,8
9.	<i>Betula pendula</i> Roth	<i>Betulaceae</i>	Eur.Az.	1	0,26
10.	<i>Carpinus betulus</i> L.	<i>Betulaceae</i>	Eur.Az.	12	3,2
11.	<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	<i>Betulaceae</i>	Sj.Am.	18	4,8
12.	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	<i>Oleaceae</i>	Eur.Az.	1	0,26
13.	<i>Fraxinus ornus</i> L.	<i>Oleaceae</i>	Eur.Az.	1	0,26
14.	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marshall	<i>Oleaceae</i>	Sj.Am.	24	6,4
15.	<i>Maclura pomifera</i> (Raf.) C. K. Schneid	<i>Moraceae</i>	Sj.Am.	2	0,53
16.	<i>Malus</i> sp.	<i>Rosaceae</i>	-	131	34,93
17.	<i>Morus alba</i> 'Pendula'	<i>Moraceae</i>	Hort.	2	0,53

R. br. No.	Takson <i>Taxa</i>	Porodica <i>Family</i>	Geografsko porijeklo <i>Geographic origin</i>	Broj stabala (kom.) <i>Number of Trees (pcs)</i>	Procent Percent (%)
18.	<i>Picea abies</i> (L.) Karsten	<i>Pinaceae</i>	Eur.	6	1,6
19.	<i>Platanus</i> x <i>acerifolia</i> Wild.	<i>Platanaceae</i>	Hort.	2	0,53
20.	<i>Populus nigra</i> 'Italica'	<i>Salicaceae</i>	Hort.	6	1,6
21.	<i>Prunus avium</i> L.	<i>Rosaceae</i>	Eur.Az. Sj.Af.	2	0,53
22.	<i>Prunus cerasifera</i> 'Atropurpurea'	<i>Rosaceae</i>	Hort.	15	4,0
23.	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.	<i>Rosaceae</i>	Eur.Az.	1	0,26
24.	<i>Prunus padus</i> L.	<i>Rosaceae</i>	Eur.Az.	2	0,53
25.	<i>Quercus robur</i> L.	<i>Fagaceae</i>	Eur.Az. Sj.Am.	15	4,0
26.	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	<i>Fabaceae</i>	Sj.Am.	1	0,26
27.	<i>Salix caprea</i> L.	<i>Salicaceae</i>	Eur.Az.	2	0,53
28.	<i>Salix fragilis</i> L.	<i>Salicaceae</i>	Eur.Az.	1	0,26
29.	<i>Tilia cordata</i> Mill.	<i>Tilaceae</i>	Eur.	11	2,93
30.	<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	<i>Tilaceae</i>	Eur.	7	1,86
31.	<i>Tilia tomentosa</i> Moench.	<i>Tilaceae</i>	Eur.Az.	8	2,13
32.	<i>Ulmus laevis</i> Pallas	<i>Ulmaceae</i>	Eur.Az.	1	0,26
33.	<i>Ulmus minor</i> Miller	<i>Ulmaceae</i>	Eur.Az. Af.	10	2,66
UKUPNO				375	100,0

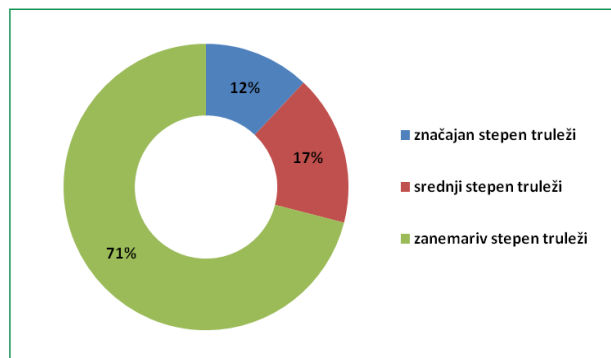


Grafikon 2. Zastupljenost drvenastih porodica na izletištu Stojčevac

Graph 2. Representation of woody plant families at the Stojčevac excursion site

Prema tabeli 1. u odnosu na geografsko porijeklo drvenastih vrsta najviše je zastupljeno euroazijskih vrsta (41,1%) dok je najmanji procent zastupljenosti hortikulturnih vrsta (7,2%). Također treba spomenuti da je zastupljenost sjevernoameričkih vrsta 16,8% na izletištu Stojčevac.

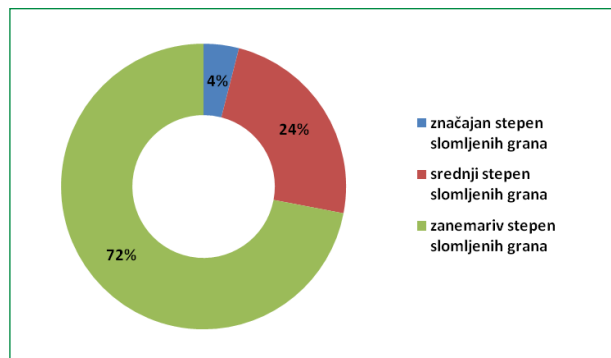
Sa aspekta zdravstvenog stanja i prisustva mehaničkih oštećenja promatranih stabala, u obzir su uzeti sljedeći faktori destabilizacije zdravstvenog stanja stabala: prisustvo truleži, mehaničko oštećenje – polomljene grane, suhovitost i ukupan vitalitet stabala. Primjenom modificirane VTA metode, konstatirana su tri stepena zastupljenosti truleži. Značajnu zastupljenost truleži ima 12% drvenastih vrsta u odnosu na ukupan broj, srednje značajan stepen zastupljenosti truleži ima 17% drvenastih vrsta dok je kod 71% vrsta stepen zastupljenosti truleži zanemariv za ukupan vitalitet stabala (grafikon 3.). Značajan stepen truleži najviše je izražen kod vrste *Aesculus hippocastanum* L. posebno osjetljive na moljca minera (*Cameraia ohridella* Deschka & Dimić) i gljivična oboljenja.



Grafikon 3. Stepen truleži

Graph 3. Degree of wood decay

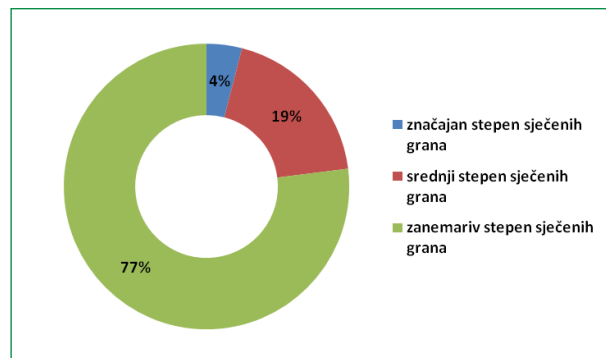
Prema stepenu oštećenja slomljenih grana drvenastih vrsta na izletištu Stojčevac značajan stepen je konstatovan kod 4% vrsta u odnosu na ukupan broj, srednji stepen kod 24% vrsta dok je zanemariv stepen zabilježen kod 72% vrsta (grafikon 4.).



Grafikon 4. Stepen slomljenih gran

Graph 4. Degree of broken branches

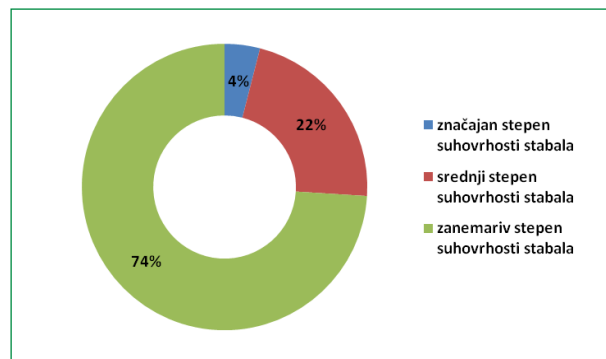
Kad su u pitanju sječene grane kod 4% drvenastih vrsta konstatovan je značajan stepen sječenih grana, 19% vrsta ima srednji stepen sječenih grana dok 77% vrsta ima zanemariv stepen sječenih grana (grafikon 5.).



Grafikon 5. Stepen sječenih grana

Graph 5. Degree of cut branches

Analizom drvenastih vrsta na izletištu Stojčevac uočena su i suhovitost stabla gdje 4% vrsta ima značajan procent suhovitosti, 22% vrsta ima srednji stepen suhovitosti dok 74% drvenastih vrsta ima zanemarivu suhovitost u odnosu na ukupan broj (grafikon 6.).

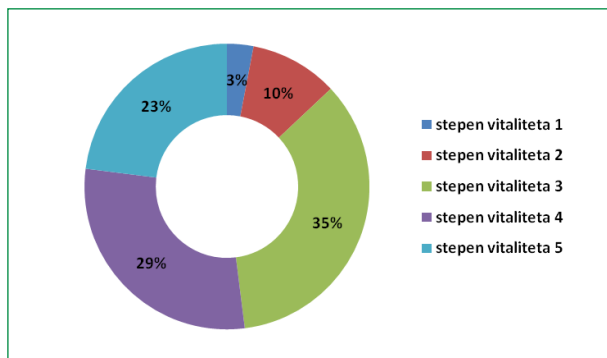


Grafikon 6. Intenzitet suhovitosti

Graph 6. Intensity of dryness

Oboljelih stabala na izletištu Stojčevac ima 29% dok 71% predstavljaju zdrava stabla u odnosu na ukupan broj istraživanih stabala. Također, kod 38% stabala je zastupljen različit vid oštećenja dok 62% stabala od ukupnog broja nema oštećenja. Visok stepen zdravih stabala postignut je provođenjem mjera njege i održavanja oštećenih stabala gdje je neophodno čišćenje krošnje uklanjanjem unutrašnjih grana, bolesnih i suhih dijelova pri čemu se vrši tzv. "prozračivanje" krošnje. Prema Deliću i dr. (2021) uključivanjem stručnih lica na održavanju i praćenju toka razvoja vegetacije moguće je suzbiti razne bolesti i širenje štetočina čime se ujedno povećava vitalitet i dekorativnost stabala.

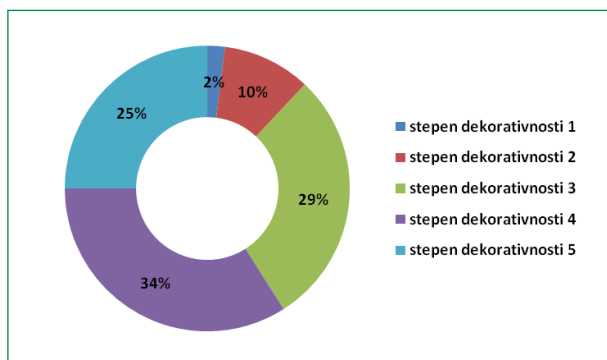
Vitalitet evidentiranih drvenastih vrsta pokazuje da 23% jedinki ima odličan vitalitet (ocjena 5), zatim 29% jedinki ima vrlo dobar vitalitet (ocjena 4) dok izrazito mali procent vrijednosti od 3% ukazuje na neprihvatljiv vitalitet drvenastih vrsta (ocjena 1) izletišta Stojčevac (grafikon 7.). Vrste sa najvećim vitalitetom (ocjena 5) su *Quercus robur* L. i *Carpinus betulus* L. dok je najmanje vitalna vrsta *Betula pendula* Roth (ocjena 1).



Grafikon 7. Vitalitet stabala

Graph 7. Tree vitality

Analiza dekorativnosti stabala na izletištu Stojčevac pokazuje da 25% stabala ima odličnu dekorativnost (ocjena 5), zatim 34% stabala ima vrlo dobru dekorativnost (ocjena 4) dok neprihvatljivu dekorativnost (ocjena 1) ima 2% stabala u odnosu na ukupan broj evidentiranih stabala (grafikon 8.). Vrste sa najvećom dekorativnošću (ocjena 5) su *Prunus cerasifera* 'Atropurpurea' i *Platanus × acerifolia* Wild. dok je najmanje dekorativna vrsta *Robinia pseudoacacia* L (ocjena 1).



Grafikon 8. Dekorativnost stabala

Graph 8. Decorativeness of trees

Stepen dekorativnosti stabala posebno dolazi do izražaja prilikom sadnje i podizanja novih parkovskih površina. Zelić i Crnjac (2012) navode da se znalačkim, stručnim pristupom u prirodni pejzaž, dopunom ili redukcijom biljnog dendromaterijala, dovođenjem u ravnotežu prirodnih karakteristika i građevinskih elemenata postižu

sklad i ravnoteža, te povećava dekorativno-estetska vrijednost prostora.

Vitalitet i dekorativnost stabala su na relativno visokom nivou, što potvrđuje da prostor izletišta Stojčevac i dalje posjeduje značajan estetski, ali i rekreativni potencijal. U tom kontekstu, Hadžidervišagić i dr. (2020, 2023, 2025) naglašavaju da upravo ovakvi prostori predstavljaju osnovu za mogući razvoj parkovske baštine, urbane rekreacije, kao i planskog unaprjeđenja.

Analiza zdravstvenog stanja pokazuje da većina stabala nema značajnijih mehaničkih oštećenja (preko 70% u svim kategorijama), što ukazuje na relativno stabilno stanje dendroflore. Međutim, prisustvo 29% oboljelih stabala i 38% stabala sa određenim mehaničkim oštećenjima ukazuje na potrebu za planskim mjerama njege i sanacije. Prema konceptu vizuelne procjene stabala (VTA) ovakvi rezultati zahtijevaju detaljniji pregled rizičnih jedinki i eventualno uklanjanje ili sanaciju (Mattheck i Breloer, 1994).

CONCLUSIONS – Zaključci

Na osnovu provedenog istraživanja inventarizacije i analize zdravstvenog stanja dendroflore izletišta Stojčevac na Ilidži mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Na istraživanom području evidentirano je ukupno 375 stabala, sa izraženom dominacijom lišćarskih stabala (98%) u odnosu na četinarske (2%).
- Identificirana su 33 drvenasta taksona raspoređena u 13 porodica, pri čemu dominiraju vrste iz porodice *Rosaceae* i *Betulaceae*.
- Prema geografskom porijeklu drvenastih vrsta najviše je zastupljeno euroazijskih vrsta (41,1%) dok je najmanji procent zastupljenosti hortikulturnih vrsta (7,2%).
- Zdravstveno stanje stabala je relativno zadovoljavajuće obzirom da većina stabala nema značajan stepen truleži i oštećenja što ukazuje na relativno stabilno stanje dendroflore. Prisustvo oboljelih i oštećenih stabala zahtijeva provođenje mjera njege i sanacije.
- Vitalitet i dekorativnost većine stabala ukazuju na očuvan estetski i funkcionalni potencijal prostora. Vrsta sa najvećim vitalitetom je *Quercus robur* L. dok je najdekorativnija vrsta *Prunus cerasifera* 'Atropurpurea'. Visok nivo vitaliteta i dekorativnosti izletišta Stojčevac pokazuje da navedeni prostor ima značajan estetski i rekreativni karakter zelene površine.

REFERENCES – Literatura

- Avdagić, A., Hadžidervišagić, D., Balić, B., Erović, B. (2025). Application of GIS in Urban Inventory – Study Case. In: Karabegović, I., Kovačević, A., Mandžuka, S. (eds) *New Technologies, Development and Application VIII. NT 2025. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 1484. Springer, Cham. pp. 327-335. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95200-5_36
- Bašić, N.; Hadžidervišagić, D.; Hadžić, S. (2019). Inventarizacija dendroflora Banjskog parka Ilidža kod Sarajeva. *Naše šume, UŠIT FBiH i Hrvatsko šumarsko društvo*, God. XVII, Br. 56-57, Sarajevo, str. 79-89.
- Bašić, N., Pustahija, F., Boškailo, A., Muratović, E. (2024). A Survey of Alien Dendroflora of Bosnia and Herzegovina, SEEFOR – South-East European Forestry, International Scientific Journal in Field of Forestry, Vol. 15, No. 2, p. 225-232. <https://doi.org/10.15177/seefor.24-20>
- Delić, E., Dorbić, B., Adžemović, A. (2021). Dendroflora Donatim parka u Adapazariju/Sakarija - Republika Turska. *Glasiilo Future*, Vol. 4, Br. 2-3, Šibenik, Hrvatska, str. 1-15. <https://doi.org/10.32779/gf.4.2-3.1>
- Fukarek, P. (1959). Pregled dendroflora Bosne i Hercegovine. *Narodni šumar*, 5/6 Sarajevo, str. 263-286.
- Gadžo, N. (2021). Utvrđivanje zdravstvenog stanja drveća – studij slučaja Veliki park u Sarajevu. Master teza, Univerzitet u Sarajevu – Šumarski fakultet.
- Hadžidervišagić, D. (2018). Pejzažno-arhitektonska i istorijska analiza Banjskog parka Ilidža kod Sarajeva - koncept razvoja. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo.
- Hadžidervišagić, D.; Krstić, M. (2020). Valorizacija dekorativno-estetskog i zdravstvenog stanja drveća Banjskog parka Ilidža. *Naše šume, UŠIT FBiH i Hrvatsko šumarsko društvo*, God. XVIII, Br. 60-61, Sarajevo, str. 57-68.
- Hadžidervišagić, D.; Čabaravdić, A. (2021). Važnost i strukturna raznolikost stabala u povijesnom parku. *Šumarski list, Hrvatsko šumarsko društvo, Zagreb*, God. CXLV, Br. 3-4:117-125. <https://doi.org/10.31298/sl.145.3-4.1>
- Hadžidervišagić, D.; Šaćić, D.; Krstić, P. (2022). Način i učestalost korištenja parkovske baštine i mogućnost vraćanja historijskih elemenata na primjeru Malog parka u Sarajevu. *Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, Vol. 52, No. 1, Sarajevo, str. 35-44. <https://doi.org/10.54652/rsf.2022.v52.i1.369>
- Hadžidervišagić, D.; Bašić, N. (2023). Procjena historijskih vrijednosti Banjskog parka Ilidža u svrhu zaštite i očuvanja parkovske baštine. *Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, Vol. 53, No. 2, Sarajevo, str. 3-11. <https://doi.org/10.54652/rsf.2023.v53.i2>
- Hadžidervišagić, D.; Muratović, E. (2024). Inventarizacija i valorizacija dendrovrsta u parku Safet Isović i dvorištu kod Druge gimnazije u Sarajevu. *Naše šume, UŠIT FBiH, God. XXII, Sarajevo*, Br. 74/75:30-39.
- Hadžidervišagić, D.; Vehabović, S., Avdagić, A. (2025). Način i učestalost korištenja zelene površine izletišta Stojčevac na Ilidži. *Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, Vol. 55, No. 1, Sarajevo, str. 15-23. <https://doi.org/10.54652/rsf.2025.v55.i1.600>
- Janjić, N. (1966). Prilog poznavanju nesamonikle dendroflora Sarajeva i okoline. *Akademija nauka i umjetnosti BiH, Radovi-XXIX, Odjel prirodno-tehničkih nauka*, knjiga 9, Sarajevo, str. 115-186.
- Janjić, N. (1984). Dalji prilog poznavanju nesamonikle dendroflora Sarajeva i okoline. *Akademija nauka i umjetnosti BiH, Radovi-LXXXVI, Odjel prirodnomatematičkih nauka*, knjiga 23, Sarajevo, str. 185-218.
- Janjić, N. (1996). Četvrti prilog poznavanju nesamonikle dendroflora Sarajeva i okoline. *Akademija nauka i umjetnosti BiH, Radovi-LXXXIX (1992-1996), Odjel prirodno-matematičkih nauka*, knjiga 23, Sarajevo, str. 67-107.
- Janjić, N. (1998). Peti prilog poznavanju nesamonikle dendroflora Sarajeva i okoline. *Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, br. 1, knjiga XXVIII, Sarajevo, str. 41-75.
- Janjić, N. (2002). Šesti prilog poznavanju nesamonikle dendroflora Sarajeva i okoline. *Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, br. 1, knjiga XXXII, Sarajevo, str. 53-97.
- Jovanović, B. (2000). *Dendrologija*. Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
- Krüssmann, G. (1976–1978). *Handbuch der Laubgehölze*, II, III. 2. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Krüssmann, G. (1983). *Handbuch der Nadelgehölze*, 2. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Ljujić-Mijatović, Lj., Živojević, S., Bečić, B. (2010). Identifikacija, valorizacija i zaštita parkovske baštine u periodu Austrougarske u Bosni i Hercegovini. *Glasnik Zaštite bilja*, God. 33, Br. 6, Zagreb, str. 18-25.

Mattheck, C.; Breloer, H. (1994). *The Body Language of Trees: A Handbook for Failure Analysis*. London: HMSO.

Mujezinović, O., Dautbašić, M., Zahirović, K. (2016). Zdravstveno stanje stabala urbanog zelenila grada Vi-teza. Naše šume, UŠIT FBiH, God. XV, Sarajevo, Br. 44/45:51-56.

Mujezinović, O., Prljača, D., Gadžo, N., Martinović-Jukić, A., Čilaš, M., Ivojević, S., Dautbašić, M. (2025). Ocjena kvaliteta i zdravstvenog stanja urbanog zelenila u kam-pusu Univerziteta u Sarajevu i ulici Zmaja od Bosne. Ra-dovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu, br. I, knjiga LV, Sarajevo, str. 3-14.

Stefanović, V. (1955). Prilog poznavanju nesamonikle den-droflora Sarajeva i okoline. Nauč. Druš. NRBiH Radovi - V, Odjelj. privr.-tehn. nauka, knj. I, Sarajevo, str. 75-109.

Šilić, Č. (1964). Prilog poznavanju dendroflora Banja Luke i okoline. Radovi Šumarskog fakulteta i Instituta za šumarstvo i drvnu industriju u Sarajevu, Knjiga 9, Sveska 2, Sarajevo. <https://doi.org/10.54652/rsf.1964.v12.i2.430>

Vukićević, E. (1996). Dekorativna dendrologija. Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.

Warda, H-D. (2001): Das grose Buch der Garten- und Landschaftsgehölze. 2. erweiterte Auflage, Bruns Pflan-zen, Bad Zwischenahn.

Zelić, J., Crnjac, T. (2012). Park u Lipiku – zaštićeni spo-menik parkovne arhitekture (grad, lječilište i perivoj). Javna ustanova za upravljanje zaštićenim područjem Po-žeško-slavonske županije, Požega.

SUMMARY

The study focuses on the inventory and evaluation of the dendroflora of the Stojčevac recreational area in Ilidža, Bosnia and Herzegovina. The main objective was to determine the composition, health status, and decorative characteristics of tree species, as well as to provide guidelines for future management and improvement of the site.

A total of 375 trees were recorded within the researched area. Taxonomic analysis identified 33 woody species distributed across 13 families. The most abundant taxa include *Malus sp.* and *Alnus glutinosa*, while several species are represented by only a single specimen.

Health condition assessment showed that the majority of trees are in satisfactory condition, although a notable percentage exhibits signs of damage and disease. The applied modified VTA method proved effective for rapid field evaluation and identification of potentially hazardous trees.

The findings contribute to a better understanding of the current state of dendroflora and provide a scientific basis for protection of this valuable recreational and landscape area.

Received: May, 18, 2026; **Accepted:** July, 22 2026; **Published:** July, 31, 2026

Funding: This research received no external funding.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.



© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Occurrence and share of the false heartwood in beech (*Fagus silvatica* L.) trees and technical roundwood

Pojava i udio lažne srži kod stabala i tehničke oblovine bukve (*Fagus silvatica* L.)

Jusuf Musić^{1*}, Jasmin Avdibegović², Jelena Knežević¹, Velid Halilović¹, Ehlimana Pamić¹, Vildan Hajić³, Admir Avdagić¹

1 Univerzitet u Sarajevu Šumarski fakultet, Zagrebačka 20, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

2 JP "Šume Tuzlanskog kantona" d.d. Kladanj

3 ŠPD "Srednjobosanske šume" d.o.o. Donji Vakuf

ABSTRACT

This study investigated the occurrence and proportion of false heartwood in beech trees and technical roundwood in relation to diameter at breast height (DBH) and tree age. The research was conducted in four forest compartments dominated by beech, and the sample comprised 300 trees representing a wide range of diameter and age classes. Following tree felling and the production of forest wood assortments, the volume of each assortment was determined using Huber's formula, whereas the volume of false heartwood was calculated according to Smalian's formula. Regression analysis revealed that both DBH and tree age had a statistically significant effect (95% confidence level) on the occurrence of false heartwood and its average proportion in the volume of technical roundwood. False heartwood was found in all trees with a DBH exceeding 50 cm and/or an age greater than 110 years. The occurrence of false heartwood among some relatively young trees at certain sites was primarily associated with mechanical damage and the applied forest management practices. The average proportion of false heartwood in the volume of technical roundwood was 9.36%, ranging from 1.20% in the 10-15 cm diameter class to 17.76% in the 60-65 cm diameter class, where its occurrence was the highest. In addition, the analysis also revealed the occurrence of a double culmination of the observed variable. Knowledge of the occurrence and extent of false heartwood in beech can significantly improve the content and quality of forest management planning by enabling more accurate predictions of the assortment structure of forest wood products obtained from tree felling.

Key words: beech, false heartwood, technical roundwood.

INTRODUCTION AND SCOPE OF RESEARCH –

Uvod i problematika istraživanja

Evropskoj bukvi (*Fagus silvatica* L.) pripada veoma važno mjesto u vegetaciji Evrope. U svom prirodnom arealu

bukva zauzima površinu između 17 i 20 miliona hektara (Paule 1996) i predstavlja privredno jednu od najznačajnijih lišćarskih vrsta. Na osnovu podataka provedene Druge nacionalne inventure šuma u BiH, ukupna površina dostupnih šuma gdje je zastupljena bukva iznosi 984.700 ha, sa oko 183.925.200 m³ zalihe (Lojo i dr.

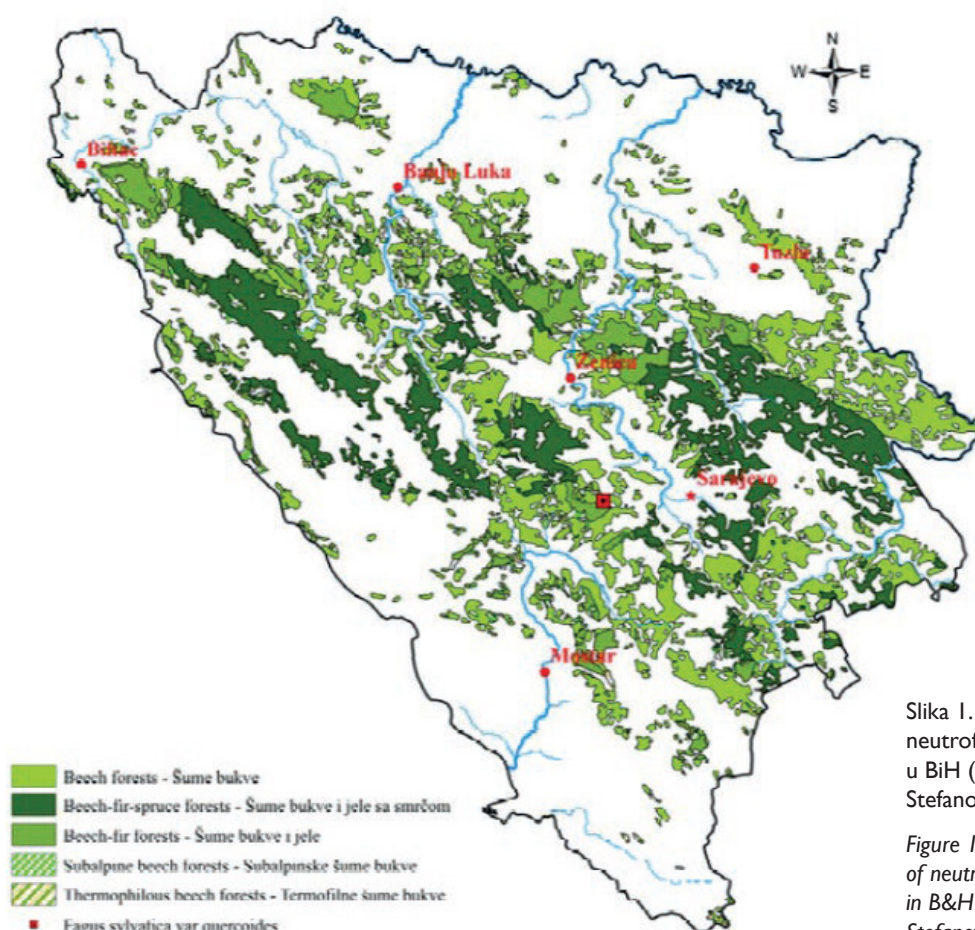
* Coresponding author: Jusuf Musić, j.music@sfsa.unsa.ba, University of Sarajevo – Faculty of Forestry

2011). To iznosi 41% od ukupne površine i 40,4% od ukupne zalihe svih dostupnih šuma u BiH, što je čini našom gospodarski najvažnijom vrstom. Bukva pokazuje jako dobru horizontalnu i vertikalnu raslojenost (Beus 1984), pa se javlja od najnižih šumskih pojasa, gdje je u asocijaciji s hrastom lužnjakom i kitnjakom (*Fagetum submontanum*), potom raste u brdskom pojasu gdje čini čiste sastojine (*Fagetum montanum*) te u najvažnijem gorskom pojasu, gdje u zajednici s običnom jelom ili sa jelom i smrčom čini najznačajniju šumsku zajednicu bukovo-jelovih šuma (*Abieti fagetum*). Rasprostranjenost šuma u kojima je zastupljena bukva u BiH prikazana je na slici 1.

Što se tiče mehaničkih svojstava gustoća drveta bukve je srednja do visoka. Vrlo je čvrsto (na pritisak, zatezanje, savijanje) i tvrdo drvo, ali se kod sušenja jako uteže (niska dimenzijska stabilnost) i sklono je pucanju tijekom sušenja (Pramreiter i Grabner 2023). Vrlo je velikog elasticiteta i velike snage ogrijevanja. Otporna je na habanje, ali je osjetljiva na gljivične napade. Suši se teško i sporo, dobro se obrađuje, polira i tokari, a parena se lako savija. Upotreba bukovog drveta je izuzetno široka. Koristi se za proizvodnju različitog namještaja (kućanskog, kancelarijskog, školskog), izradu ljuštenih furnira,

željezničkih pragova, raznih vrsta drvnih ploča, parketa, paleta, drvene galanterije, za fabrikaciju celuloze (fagoceluloza), drvenog uglja itd. Trenutni istraživački napori bave se različitim inženjerskim drvnim proizvodima poput lijepljenog lameliranog drveta (BSH), križno lameliranog drveta (CLT) i lameliranog furnira (LVL), a od posebnog su interesa tehnologije lijepljenja i poboljšanje dimenzijske stabilnosti (Pramreiter i Grabner 2023). Sa oko 250 poznatih načina upotrebe drveta, bukva je, u tom pogledu, najdiverzibilnija lišćarska vrsta u Evropi (Lojo i dr. 2021).

Kod mnogih vrsta drveta postoji razlika u boji između centralnog dijela debla i perifernog plašta. Centralni (tamniji) dio naziva se srž, a periferni (svjetliji) dio bjeljika. Fiziološke promjene koje se dešavaju prilikom prelaska bjeljike u srž nazivaju se procesom osržavanja. Pored normalne ili prave srži razlikujemo pojmove ozljedne i lažne srži. Ozljedna srž nastaje iz patoloških razloga kod jedričavih vrsta prije vremena normalnog osržavanja. Naime, žive ćelije biljke uginu, a na drvo na tom mjestu potamni i poprimi boju normalne srži. Lažna ili neprava srž razvija se u mnogim bakuljavim vrstama drveća. Takva srž je sivkastosmeđa, smeđa ili crvenkastosmeđa, a po položaju u deblu odgovara srži



Slika 1. Karta realne šumske vegetacije neutrofilnih i acidofilnih šuma bukve u BiH (Selimović i Vojniković, prema Stefanović i dr. 1983)

Figure 1. The map of real forest vegetation of neutrophilic and acidophilic beech forest in B&H (Selimović and Vojniković, according Stefanović et al. 1983)

jedričavih vrsta, odnosno zauzima centralni dio debla. S aspekta novijih fizioloških istraživanja smatra se da osržavanje drveta nije ograničeno samo na jedričave vrste, već je općenita pojava starenja kod svih vrsta. Termin jedričavo i bakuljavo drvo odnosi se samo na razlike u boji bjeljike i srži u morfološkom smislu, te se uvijek ne podudara s fiziološkim značenjem srži (Karahasanović 1988). Prema tome, jedričave vrste drveća mogu biti obligatorne ili fakultativne. Sržne tvari obligatornih jedričavih vrsta ugrađene su pretežno u zidove ćelija, a proces osržavanja zahvaća podjednako sve elemente građe drveta. U fiziološkom i morfološkom smislu obligatorno osržavanje je stalna i markantna pojava u starenju stabla, koja se zbiva vrlo pravilno (*Larix*, *Quercus*, *Morus*). Pravilnost obligatornog osržavanja ogleda se u vremenu početka osržavanja, te u rasporedu i omjeru srži i bjeljike u stablu. Fakultativnim osržavanjem sržne tvari akumuliraju se pretežno u lumenima ćelija parenhima, a u zidove ćelija prodiru nejednoliko i slabo. Fakultativno osržavanje u fiziološkom smislu nije stalna karakteristika vrste, a vrijeme početka osržavanja vrlo je promjenljivo. U morfološkom smislu ono je nepravilno s obzirom na intenzitet boje srži i raspored srži i bjeljike u stablu (*Fraxinus*, *Fagus*, *Corylus*, *Betula*, *Acer*). Obična ili evropska bukva (*Fagus silvatica* L.) pripada bakuljavim vrstama koje starenjem fakultativno ili uvijek stvaraju obojenu srž nepravilnoga oblika (Gurda i Musić 2015).

Lažna bukova srž predstavlja obilježje kvaliteta drveta koje izaziva stručni i naučni interes već više od 100 godina (Krpan i dr. 2006). Pa ipak, brojne teorije i tumačenja njenog nastanka i danas su hipotetske (Prka i dr. 2009). Ranije se smatralo da je lažna srž reakcija ćelija drveta na napad gljiva (Tusson 1905 prema Glavašu 2003). Poslije je utvrđeno da primarni uzrok njenog nastanka nije biotski već abiotski faktor (Zycha 1948). Prema ovoj teoriji, primarno se ne radi o djelovanju gljiva, odnosno o reakciji drveta na napade gljiva, već o reakciji živog drveta na prodor kisika kroz sva otvorena mjesta kod određenog kritičnog sadržaja vode u pojedinim dijelovima drveta. Tile se obrazuju kada sadržaj vode padne ispod 60% i to je tzv. "kritični sadržaj vode". Zycha (1948) tvrdi da i samo osržavanje, a ne samo promjena boje, nastupa uslijed prodora kisika u drvo. Napad gljiva, prema ovom autoru, sekundaran je i ne mora uslijediti u svim slučajevima. Kišpatic (1955) potvrđuje ovu teoriju i također smatra da je kisik iz zraka primaran uzrok crvenila i nepravog srca, a ne, kako se do tada općenito smatralo, reakcija drveta na prodor gljiva. Zrak, koji je prodro kroz oštećenja na drvetu na ćelije drveta djeluje kao otrov, a ćelije se brane osržavanjem i proizvodnjom tila što za posljedicu ima stvaranje lažne srži (Glavaš 2003). Materije koje nastaju u ćelijama

i daju im boju ne ulaze u sastav ćelijskog zida već su uz njega prilegnute, što čini osnovnu razliku između prave i neprave srži (Glavaš 1999).

Torelli (1984) navodi da je lažna bukova srž uzrokovana djelovanjem okoliša, pri čemu su svi faktori koji izazivaju smanjenje sadržaja vode u središnjem dijelu debla odgovorni za njezin nastanak. U dobi od 80 do 90 godina života bukovih stabala (što ovisi o uslovima rasta) dolazi do određenog narušavanja fiziološke ravnoteže (Prka 2003). U toj dobi lisna površina i korijenov sistem bukovih stabala više se ne povećavaju, iako stabla i dalje debljinski prirašćuju. To dovodi do narušavanja ravnoteže vodnog režima unutar stabla te središnji dio debla dehidrira i taj proces je, fiziološki gledano, sličan genetski uvjetovanom osržavanju. Bilo kakva mehanička oštećenja stabala s dehidriranim središnjim dijelom dovode do prodora kisika u stablo, čime započinje enzimatski proces stvaranja tila (Prka 2003). Između stabala sa vanjskim obilježjima, kao što su mrazopuc, široke i duboke povrede kambija, trule grane, sušenje krošnje i stabala bez navedenih obilježja utvrđena je signifikantna razlika u veličini lažne srži (Krempl i Mark 1962).

Udio lažne srži u tehničkoj oblovinu bukve ima odgovarajući uticaj i na kvalitet bukovih trupaca. Ona u manjoj mjeri smanjuje mehanička svojstva drveta, ali su promjene estetskih svojstava izrazite (Karahasanović 1988). Osim toga, drvo lažne srži se teže impregnira i manje je savitljivo nego neosrženo drvo. Može se konstatovati da lažna srž bukve generalno karakteriše mala trajnost i otežana impregnacija, što je veoma bitna karakteristika kod vanjske upotrebe. Ipak, u novije vrijeme neki od prerađivača počinju da traže zdravu lažnu srž da bi iskoristili njenu dekorativnu osobinu. Crvenkasto-smeđa srž postaje popularan materijal u kreativnim projektima. Ona daje bukvi prekrasnu prirodnu boju i otkriva izuzetne estetske vrijednosti. Prema aktuelnim stilskim trendovima bukva sa crvenom srži prodaje se pod nazivima kao što su "prirodna bukva", "eko-bukva" i sl., pružajući nadu šumarskoj industriji za većim vrijednovanjem bukve sa crvenom srži (Hansmann i dr. 2009). Općenito, posljednjih godina raste potražnja za obojenom srži, ne samo bukve već i drugih vrsta, kao npr. jasen (Wagemann 2006). Ipak, lažna srž bukve još uvijek značajno smanjuje kvalitet bukovih trupaca, odnosno uzrokuje finansijske gubitke za šumarska preduzeća. Njena prisutnost može dovesti do smanjenja 40% - 50% prihoda koji dolaze od vrednovanja bukovog oblog drveta, bez obzira na sistem razvrstavanja (Câmpu 2010), odnosno 0,76 – 28,04 €/m³ u zavisnosti od starosti stabala i forme lažne srži (Trenčiansky i dr. 2017). Sa stanovišta iskorištavanja šuma i spoznaja o sortimentnoj

strukturi bukovih sastojina, razumljiv je interes za nastanak i razvoj lažne srži, a prije svega njenog učešća u zapremini tehničke oblovine bukovih stabala. Otuda i glavni motiv za ovo istraživanje čiji je cilj utvrđivanje učestalosti pojave lažne srži bukve i njenog udjela u zapremini tehničke oblovine.

STUDY AREA – Područje istraživanja

Prije početka terenskih radova i prikupljanja podataka, bilo je neophodno izvršiti izbor odgovarajućih sastojina u kojima će se snimati i evidentirati neophodni podaci. Izbor lokaliteta izvršen je po sljedećim kriterijima:

- odabrati sastojine bukve u kojima će biti izvršena sječa u narednom periodu,
- odabrati odjeljenja na kojima je doznačen dovoljan broj stabala - zadovoljavajuća veličina uzorka,
- odabrati šumska odjeljenja sa učešćem bukve preko 50%,

- odabrati šumska odjeljenja u kojima će se primijeniti isti sistem iskorištavanja šuma - sortimentni.

Za potrebe predmetnih istraživanja odabrana su četiri šumska odjeljenja (slike 2 i 3) koja se nalaze na području tri kantona Federacije BiH (Kanton Sarajevo, Tuzlanski kanton i Srednjobosanski kanton). Osnovni podaci o lokalitetima istraživanja prikazani su u tabeli 1.

Sva odabrana šumska odjeljenja zadovoljavaju sa veličinom uzorka od po 60 i više doznačenih stabala bukve. Također, omjer smjese je zadovoljavajući uz učešće bukve preko 50%. Doznačena stabla u odabranim odjeljenjima pripadaju različitim bonitetnim razredima (II i III). Četvrti kriterij ostvaren je primjenom sortimentne metode pri sječi i izradi drveta na svim lokalitetima istraživanja. To podrazumijeva izradu tehničke oblovine, višemetarskog industrijskog drveta i drveta za ogrjev u sječini kod panja

Tabela 1. Podaci o lokalitetima istraživanja

Table 1. Characteristics of the research sites

Šumsko odjeljenje <i>Forest compartment</i>	107	47	36	71
Gospodarska jedinica <i>Management unit</i>	Gostelja	Srednja Drinjača	Goleš Radalje	Mehina Luka
Gazdinska klasa <i>Management class</i>	I 150 Sekundarne visoke šume bukve (čiste ili sa drugim lišćarima) na dubokim kiselo-smeđim i/ili ilimerizovanim zemljištima na silikatnim i/ili silikatno-karbonatnim substratima	I 233 Šume bukve i jele sa smrčom na dubokim zemljištima na bazičnim eruptivima i različiti derivati ovih šuma	I 108 Sekundarne visoke šume bukve (čiste i sa drugim lišćarima) na pretežno plitkim zemljištima na krečnjacima i/ili dolomitima	I 103 Sekundarne šume bukve u pojasu šuma bukve i jele na kiselim smeđim zemljištima na silikatnim supstratima
Ekspozicija <i>Terrain aspect</i>	južna	južna	sjeverna	sjeverna
Bonitet bukve <i>Site index of beech</i>	II	III	III	III
Površina (ha) <i>Area (ha)</i>	55,2	82,6	79,4	64,5
Nadmorska visina (m) <i>Elevation (m)</i>	320 - 700	750 – 1.150	700 – 1.200	1.050 – 1.1130
Nagib (%) <i>Slope (%)</i>	15	15	25	35



Slika 2. Sastojine bukve u šumskim odjeljenjima 107 (lijevo) i 47 (desno)

Figure 2. Beech stands in forest compartments 107 (left) and 47 (right)



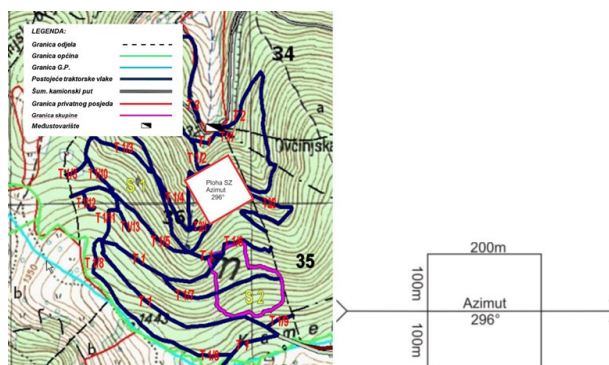
Slika 3. Sastojine bukve u šumskim odjeljenjima 36 (lijevo) i 71 (desno)

Figure 3. Beech stands in forest compartments 36 (left) and 71 (right)

METHODS OF RESEARCH –

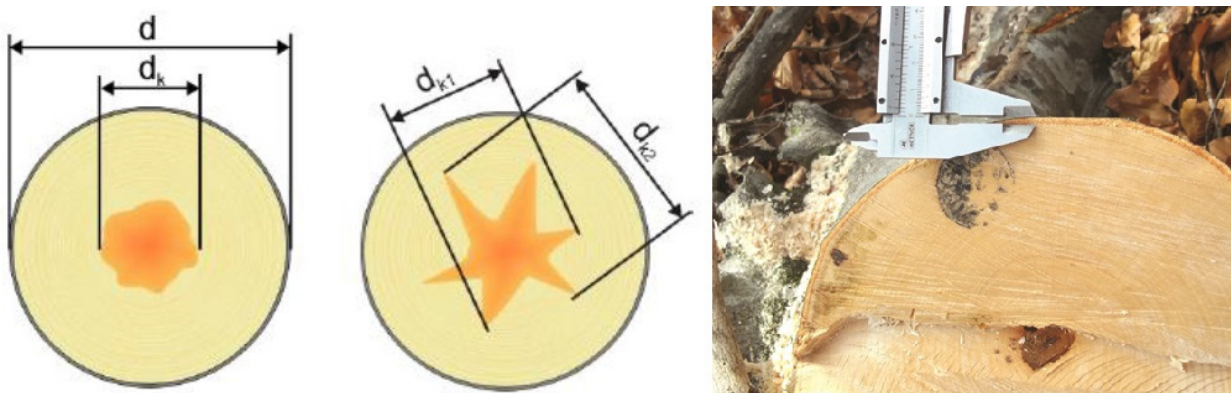
Metode istraživanja

Primjerna (modelna) stabla odabrana su iz doznačenih stabala na plohama koje su postavljene polaganjem dvije međusobno okomite linije po azimutu 296° (odjeljenja 36 i 71) te 76° (odjeljenja 107 i 47), širine 100 m na jednu i na drugu stranu te dužine 200 m (slika 4). Sva stabla uzorka označena su na terenu brojevima kako bi se omogućilo njihovo praćenje tokom cijelog istraživanja.



Slika 4. Postavljenje ploha u šumskom odjeljenju 36

Figure 4. Layout of plots in forest compartment 36



Slika 5. Metod mjerenja lažnog srca (Vusić 2012) i premjer debljine kore

Figure 5. Method of measurement of false heartwood (Vusić 2012 and measurment of bark thickness

Na označenim modelnim stabalima izvršena su sljedeća mjerenja:

- Svakom stablu iz uzorka izmjerena su dva unakrsna prsna prečnika, visina stabla i dužina debla u skladu sa važećim standardima (JUS 1969, JUS 1984)
- Nakon sječe stabala i krojenja debla izmjerene su dužine i prečnici izrađenih sortimenata (na tanjem i debljem kraju te sredini) radi utvrđivanja njihove zapremine, kao i prečnici lažne srži u cilju računanja njenog učešća u zapremini izrađenih sortimenata (slike 5 i 6).
- Odbijanjem dvostruke debljine kore dobiveni su prečnici koji su korišteni za obračun zapremine svakog pojedinog komada tehničke oblovine Huberovom formulom. Za obračun zapremine lažne srži korištena je Smalianova formula. Ova formula, poznata je kao formula dvaju krajnjih presjeka, a pomoću nje se tačno može odrediti zapremina krnjeg paraboloidea (Pranjić i Lukić 1997). Debljina kore nije odbijana po osnovu uobičajenih veličina u šumarskoj praksi BiH, nego je vršen premjer debljine kore na terenu (slika 5).



Slika 6. Izrađeni drveni sortimenti bukve (Aldibegović 2014)

Figure 6. Processed assortments of beech (Aldibegović 2014)

Određivanje zapremine lažne srži je napravljeno s određenim pojednostavljenjima koja su uvjetovana samim postupkom sječe i izrade drvnih sortimenata. Za preciznije određivanje zapremine lažne srži u svakom komadu tehničke oblovine, bilo bi nužno više prereza ili uzdužno rezanje svakog trupca, što iz razumljivih razloga nismo mogli učiniti. Svjesni smo da je zapremina lažne srži unutar pojedinih komada sortimenata neprecizna kod trupaca u kojima se ona pojavila samo na jednom prerezu (čelu). Ipak, s obzirom da se isti način procjenjivanja udjela lažne srži primjenjuje pri razvrstavanju drvnih sortimenata u kvalitetne klase

prilikom njihove klasifikacije i prodaje (JUS 1969), smatramo ovu procjenu dovoljno tačnom.

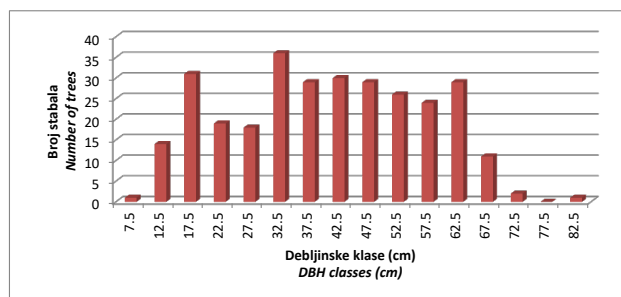
d) Starost reprezentativnih stabala bukve utvrdila se brojanjem godova na panju.

Za potrebe evidentiranja svih opisanih taksacionih elementa kreiran je poseban manual. Prikupljeni podaci su grupisani u tabele, a zatim obrađeni u softverima MS Office Excel LTSC i Statistica 8.

RESULTS AND DISCUSSION –

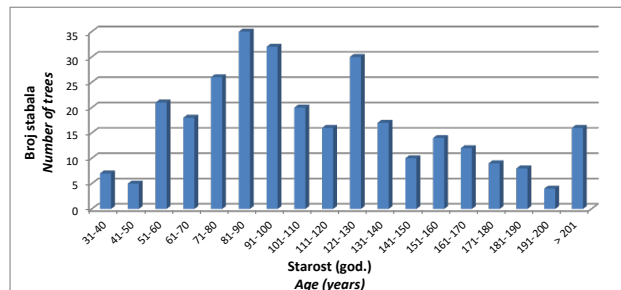
Rezultati i diskusija

Uzorak istraživanja sačinjavalo je ukupno 300 stabala. Struktura stabala uzorka po lokalitetima i debljinskim klasama širine 5 cm prikazana je u tabeli 2, dok je na grafikonu 1 prikazana distribucija svih stabala uzorka po definisanim debljinskim klasama. S obzirom da je prilikom prikupljanja podataka evidentirana i starost stabala, na grafikonu 2 prikazana je distribucija stabala uzorka po klasama starosti od 10 godina.



Grafikon 1. Distribucija stabala uzorka po debljinskim klasama

Graph 1. Distribution of sample trees by thickness classes



Grafikon 2. Distribucija stabala uzorka po klasama starosti

Graph 2. Distribution of sample trees by age classes

Tabela 2. Struktura uzorka po lokalitetima i debljinskim klasama

Table 2. Sample structure by locality and DBH classes

Šumsko odjeljenje 36 Forest compartment 36		Šumsko odjeljenje 107 Forest compartment 107		Šumsko odjeljenje 47 Forest compartment 47		Šumsko odjeljenje 71 Forest compartment 71	
Debljinska klasa (cm) DBH class (cm)	Broj stabala Number of trees	Debljinska klasa (cm) DBH class (cm)	Broj stabala Number of trees	Debljinska klasa (cm) DBH class (cm)	Broj stabala Number of trees	Debljinska klasa (cm) DBH class (cm)	Broj stabala Number of trees
7,5	1	7,5	0	7,5	0	7,5	0
12,5	1	12,5	1	12,5	4	12,5	8
17,5	7	17,5	6	17,5	6	17,5	12
22,5	5	22,5	4	22,5	3	22,5	7
27,5	4	27,5	4	27,5	3	27,5	7
32,5	12	32,5	2	32,5	5	32,5	17
37,5	10	37,5	8	37,5	5	37,5	6
42,5	15	42,5	11	42,5	4	42,5	0
47,5	11	47,5	10	47,5	5	47,5	3
52,5	14	52,5	7	52,5	5		
57,5	16	57,5	5	57,5	3		
62,5	10	62,5	2	62,5	17		
67,5	11						
72,5	2						
77,5	0						
82,5	1						
Suma Total	120		60		60		60

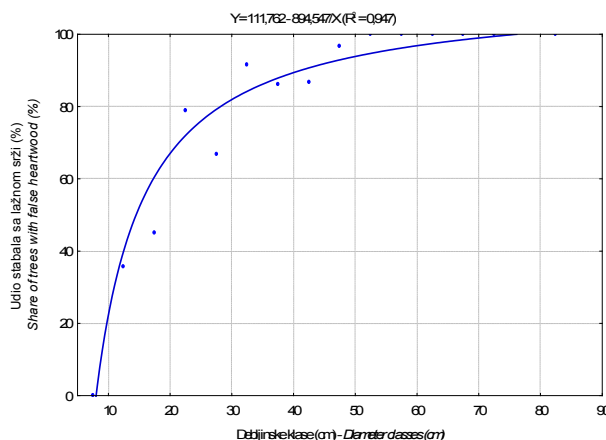
Kao što se vidi na osnovu prikazane tabele 2 i grafikona 1 i 2 u uzorku su zastupljena stabla skoro svih debljinskih i starosnih klasa. Ipak, najzastupljenija su stabla debljine 25-65 cm koja čine skoro 75% uzorka, te stabla starosti 71-170 god. koja u uzorku participiraju sa 70%.

UDIO STABALA S LAŽNOM SRŽI – *Share of trees with false heartwood*

Na uzorku od 300 stabala lažna srž evidentirana je kod 251 stabla ili oko 84%. Podaci o broju stabala sa lažnom srži i njenim prosječnim procentualnim učešćem (%) u zapremini tehničke oblovinе u zavisnosti od prečnika stabala prikazani su u tabeli 3.

Provedenom regresionom analizom utvrđeno je da se utjecaj prsnog prečnika stabla (debljinska klasa) na procentualni udio stabala sa lažnom srži ispoljio i da je statistički značajan pri vjerovatnoći 95% (tabele 4 i 5).

Zavisnost procentualnog učešća stabala sa lažnom srži od prsnog prečnika stabala (debljinske klase) prikazana je na grafikonu 3.



Grafikon 3. Procentualno učešće stabala sa lažnom srži u zavisnosti od debljinske klase

Graph 3. The share of trees with false heartwood depending of the diameter classes

Tabela 3. Lažna srž u zavisnosti od prečnika stabala

Table 3. False heartwood depending of diameter of trees

Debljinska klasa (cm) DBH class (cm)	Broj stabala Number of trees	Broj stabala sa lažnom srži Number of trees with false heartwood	Učešće stabala sa lažnom srži (%) Share of trees with false heartwood (%)	Prosječni udio lažne srži u zapremini tehničke oblovinе (%) Average share of false heartwood in volume of technical roundwood (%)
7,5	1	0	0,00	0,00
12,5	14	5	35,71	1,20
17,5	31	14	45,16	5,26
22,5	19	15	78,95	7,84
27,5	18	12	66,67	14,93
32,5	36	33	91,67	7,18
37,5	29	25	86,21	5,00
42,5	30	26	86,67	8,26
47,5	29	28	96,55	10,87
52,5	26	26	100,00	12,59
57,5	24	24	100,00	9,94
62,5	29	29	100,00	17,76
67,5	11	11	100,00	14,83
72,5	2	2	100,00	2,03
77,5	-	-	-	-
82,5	1	1	100,00	9,33
Suma Total	300	251	83,67	

Tabela 4. Parametri regresione analize

Table 4. Regression analysis parameters

Parametar Parameter	Veličina Estimate	Standardna greška Standard Error	T - statistički T - statistic	P - vrijednost P - value
Sl. član - Intercept	111,762	2,81304	39,73	0,0000
Debljinska klasa – Diameter class	-894,547	58,3412	-15,333	0,0000

Tabela 5. Analiza varianse

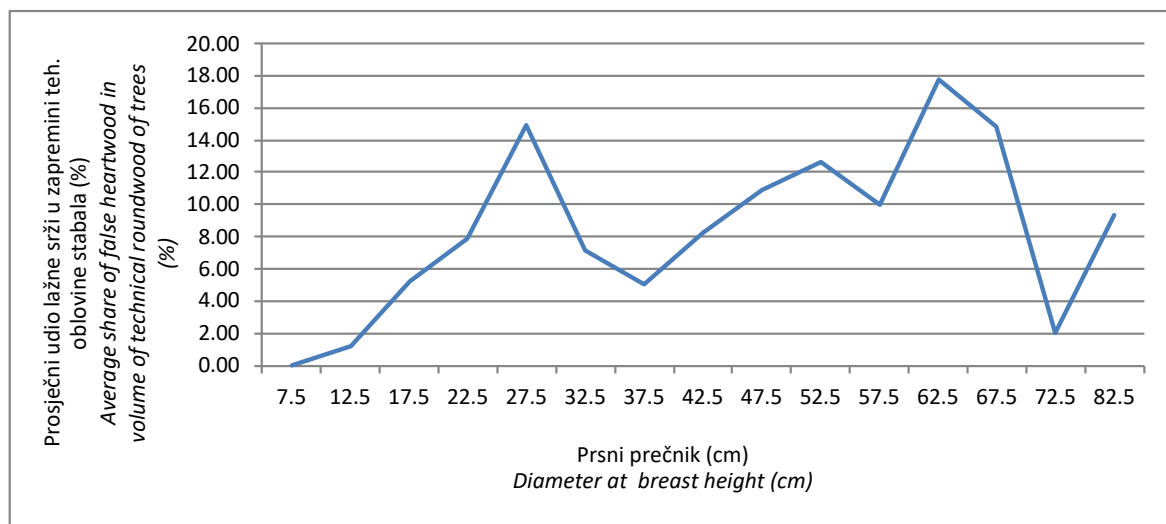
Table 5. Variance analysis

Izvor variranja Source of variability	Varijanca Sum of squares	Stupanj slobode Deg. of freedom	Sredina kvadrata Mean Square	F - odnos F- ratio	p - vrijednost p - value
Model -Model	11974,9	1	11974,9	235,10	0,0000
Rezidual - Residual	662,157	13	50,9352		
Ukupno - Total (Corr.)	12637,1	14			

Vidljivo je sa grafikona da se udio stabala sa lažnom srži povećava sa prsnim prečnikom, te da je na području istraživanja kod svih stabala bukve iznad 50 cm evidentirana njena pojava. Dobiveni rezultati u velikoj mjeri koreliraju sa rezultatima do kojih je u okviru svojih istraživanja došao Prka (2003), s tom razlikom da se lažna srž pojavljivala kod svih stabala iznad 60 cm prsnog prečnika, odnosno kod stabala nešto većeg prečnika.

UDIO LAŽNE SRŽI U ZAPREMINI TEHNIČKE OBLOVINE STABALA – Share of false heartwood in volume of technical roundwood of trees

Na osnovu izračunatih zapremina lažne srži i zapremina tehničke oblovine izvršen je obračun prosječnog procentualnog udjela lažne srži u zapremini tehničke oblovine (tabela 2), a radi dobivanja jasnije slike ovi rezultati su prikazani i na grafikonu 4.



Grafikon 4. Prosječni udio lažne srži u zapremini tehničke oblovine u zavisnosti od prsnog prečnika

Graph 4. Average share of false heart in volume of technical roundwood depending of DBH

Tabela 6. Lažna srž u zavisnosti od starosti stabala

Table 6. False heartwood depending of age of trees

Starost stabala (god.) Age of trees (y.)	Broj stabala Number of trees	Broj stabala sa lažnom srži Number of trees with false heartwood	Učešće stabala sa lažnom srži (%) Share of trees with false heartwood (%)	Prosječni udio lažne srži u zapremini tehničke oblovine (%) Average share of false heartwood in volume of technical roundwood (%)
31-40	9	2	22,22	4,75
41-50	8	4	50,00	2,90
51-60	24	10	41,67	4,84
61-70	23	17	73,91	5,18
71-80	28	23	82,14	5,20
81-90	28	24	85,71	10,99
91-100	30	24	80,00	8,42
101-110	17	14	82,35	5,89
111-120	13	13	100,00	16,20
121-130	30	30	100,00	7,92
131-140	17	17	100,00	10,01
141-150	10	10	100,00	10,30
151-160	14	14	100,00	14,06
161-170	12	12	100,00	14,50
171-180	9	9	100,00	9,90
181-190	8	8	100,00	12,19
191-200	4	4	100,00	22,00
> 201	16	16	100,00	20,90
Suma	300	251	83,67	

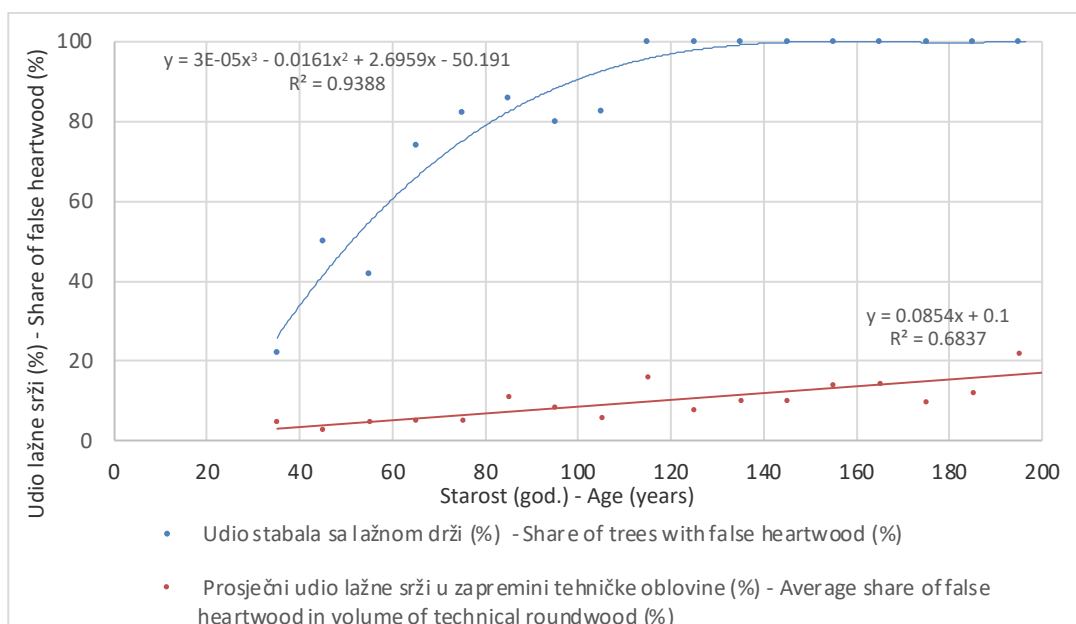
Na osnovu prikazanog grafikona može se konstatovati da je lažna srž procentualno najzastupljenija kod stabala prečnika 60-65 cm (17,76%). Također, vidljivo je da postoji dvostruka kulminacija posmatranog obilježja, jedna u debljinskoj klasi 25-30 cm i druga u debljinskoj klasi 60-65 cm. Do sličnih rezultata došao je i Prka (2003). On je istražujući ovo obilježje u pripremnom sjeku bukovih sastojina konstatovao prvu kulminaciju prosječnog procentualnog udjela lažne srži u zapremini tehničke oblovine u debljinskoj klasi 20-25 (16,6 %), zatim opadanje ove veličine te ponovan rast i najveću vrijednost u debljinskoj klasi 75-80 cm.

LAŽNA SRŽ U ZAVISNOSTI OD STAROSTI STABALA – *False heart depending of age of trees*

Rezultati o broju stabala sa lažnom srži i prosječnim procentualnim udjelom lažne srži u zapremini tehničke oblovine u zavisnosti od starosti prikazani su u tabeli 6.

Zavisnost procentualnog učešća stabala sa lažnom srži i prosječnog udjela lažne srži u zapremini tehničke oblovine od starosti stabala prikazana je na grafikonu 5.

Provedenom regresionom analizom utvrđeno je da se utjecaj starosti stabala na procentualni udio stabala sa lažnom srži te na prosječni udio lažne srži u zapremini tehničke oblovine ispoljio i da je statistički značajan pri vjerovatnoći 95% (za oba obilježja $p < 0,0001$). Sa grafikona 5 je uočljivo da sa povećanjem starosti očekivano raste procentualni udio stabala sa lažnom srži, pri čemu je ona evidentirana kod svih stabala starijih od 110 godina. Ipak, s obzirom da dobiveni rezultati u određenoj mjeri odstupaju od rezultata ranijih istraživanja, neophodno ih je detaljnije diskutovati. Naime, proces stvaranja nepravne srži kod bukve najčešće počinje nakon 60-e (Pejoski 1951), odnosno 75-e godine (Vasiljević 1974). Ispod ove dobi sadržaj vode u unutarnjim dijelovima stabla obično je još uvijek visok, a velike mrtve grane koje bi mogle predstavljati otvore za ulazak kisi-



Grafikon 5. Udio stabala sa lažnom srži i prosječni udio lažne srži u zapremini tehničke oblovine u zavisnosti od starosti stabala
 Graph 5. Share of trees with false heartwood and average share of false heartwood in volume of technical roundwood depending of age of trees

ka rijetko je javljaju (Zycha 1948). U ovom je istraživanju lažna srž zabilježena kod znatno mlađih stabala. Međutim, potrebno je naglasiti da je ova pojava na mlađim stablima (oko 40 god.) evidentirana samo u šumskom odjeljenju 36 GJ "Goleš Radalje". U ostalim odjeljenjima lažna srž se počela pojavljivati kod starijih stabala (iznad 50-e god. u odjeljenju 71 GJ "Mehina Luka" i odjeljenju 107 GJ "Gostelja", te tek iznad 80-e god. u odjeljenju 47 GJ "Srednja Drinjača"). Generalno se može konstatovati da je pojava lažne srži kod određenog broja relativno mlađih stabala bila vjerovatno uvjetovana mehaničkim oštećenjima na njima (Račko i dr. 2018), što je i bio osnovni razlog njihove doznake za sječu. To sličnih rezultata u svojim istraživanjima došli su Račko i dr. (2018). Osim navedenog, vjerovatno se u određenoj mjeri ispoljio i utjecaj načina gospodarenja. Naime, današnji sastav i struktura bukovih šuma u BiH ne odgovara ni jednom osnovnom uzgojnom obliku visoke uređene šume, a sistem prebornih sječa, koji se najčešće primjenjuje, ne predstavlja prihvatljivo rješenje i ne daje dobre rezultate (Bozalo 1991). Naprotiv, Brinar (1965) prema Vasiljeviću (1974) tvrdi da preborni način gospodarenja bukvom pospješuje stvaranje lažne srži.

Prosječni udio lažne srži u zapremini tehničke oblovine za sva stabla i sve primjerne plohe iznosi 9,36%, pri čemu se linearno povećava sa starošću stabala. Istražujući ovo obilježje kod bukovih stabala i tehničke oblovine području GJ Bjelovarska Bilogora, Prka (2003) je utvrdio procentualno učešće lažne srži u zapremini tehničke oblovine od 1,6% do 17,9% u zavisnosti od vrste

sjeka i starosti stabala, dok su Janković i Prokić (1969) utvrdili učešće lažne srži od 21,5% zapremine debla kod visoke bukove sastojine. Može se zaključiti da dobiveni rezultati u velikoj mjeri koreliraju sa rezultatima navedenih autora koji su istraživali lažnu srž bukve u zemljama okruženja (Hrvatska i Srbija). Poređenja radi, u predmetnim istraživanjima procentualni udio lažne srži kod stabala starosti 70-90 god. iznosi 7,37%; kod stabala starosti 100-110 god. je 9,71%, dok se kod starijih stabala (preko 150 god.) kreće oko 15%.

CONCLUSIONS - Zaključci

Na osnovu dobivenih rezultata, koji su u okviru rada detaljno prikazani i komentarisani, mogu se izdvojiti sljedeći bitniji zaključci:

- Na odabranim lokalitetima istraživanja lažna srž je evidentirana kod svih doznačenih stabala iznad 50 cm prsnog prečnika i/ili 110 godina starosti. Pojava lažne srži kod određenog broja relativno mlađih stabala, na nekim lokalitetima, bila je uvjetovana, prije svega, njihovim vjerovatnim mehaničkim oštećenjima i načinom gospodarenja.
- Procentualni udio lažne srži u zapremini tehničke oblovine doznačenih stabala iznosi 9,36%, a kreće se od 1,20% u debljinskoj klasi 10-15 cm do 17,76 % u debljinskoj klasi 60-65 cm, gdje je i najzastupljenija. Analizom je, između ostalog, evidentirana i pojava dvostruke kulminacija posmatranog obilježja.
- Čak i ukoliko raspoložemo sa potpuno tačnim in-

formacijama o učešću lažne srži u bukovim stablima (sastojinama) nemoguće je smanjiti njeno učešće u kratkom vremenskom periodu i ove informacije neće nam pomoći da poboljšamo ekonomske rezultate. Ipak, saznanja o učešću i veličini lažne srži mogu značajno unaprijediti sadržaj i kvalitet planova u šumarstvu (ŠGO, godišnji planovi, izvedbeni projekti) u smislu tačnije procjene asortimana šumskih drvnih proizvoda koji će se dobiti sječom stabala. U kojoj mjeri i na koji način (pozitivno ili negativno) će to uticati na prihod šumarskih preduzeća ovistit će najviše o tržišnim trendovima i spremnosti domaćih prerađivača i potrošača da se u te trendove uključe.

ACKNOWLEDGEMENTS – Zahvale

Istraživanje je finansiralo Ministarstvo privrede Kantona Sarajevo, te im se ovim putem iskreno zahvaljujemo. Autori se, također, zahvaljuju i uposlenicima KJP "Sarajevo-šume" d.o.o. Sarajevo, JP "Šume Tuzlanskog kantona" d.d. Kladanj i ŠPD "Srednjobosanske šume" d.o.o. Donji Vakuf na nesebičnoj pomoći prilikom prikupljanja potrebnih podataka.

REFERENCES – Literatura

- Avdibegović, J. (2014). Učešće i raspored nepravne srži bukve u zavisnosti od boniteta u šumskim odjeljenjima 107 GJ "Gostelja" i 47 GJ "Srednja Drinjača". Završni rad II ciklusa. Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu.
- Bozalo, G. (1991). Proučavanje sistema gazdovanja u prirodnim šumama. Izvještaj za period 1989.-1990. u okviru D.C.VII. Sarajevo.
- Beus, V. (1984). Vertikalno raščlanjenje šuma u svjetlu odnosa realne i primarne vegetacije u Jugoslaviji. ANUBiH, Radovi LXXVI, Odjeljenje prirodnih i matematičkih nauka, knjiga 23.
- Câmpu, R.V. (2010). Research Concerning the Development of Red Heartwood and its Influence on Beech Wood Sorting. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, 3 (52), 11-16. <http://but.unitbv.ro/BU2010/Series%20II/BULETIN%20II%20PDF/Forestry/Campu%20RV.pdf>
- Glavaš, M. (1999). Gljivične bolesti šumskog drveća. Udžbenik. Sveučilište u Zagrebu.
- Glavaš, M. (2003). Crveno srce i trulež bukovine. Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, str. 561-573.
- Gurda, S., Musić, J. (2015). Anatomija i greške drveta. Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu.
- Hansmann, C., Stingl, R. & Teischinger, A. (2009). Inquiry in beech wood processing industry concerning red heartwood. Wood research, 54 (3), 1-12. https://www.researchgate.net/publication/285908369_Inquiry_in_beech_wood_processing_industry_concerning_red_heartwood
- Janković, B., Prokić, D. (1969). Ispitivanje rasporeda čvorova kod bukovih stabala u odnosu na uzgojne tipove šuma i druge faktore. Institut za šumarstvo i drvenu industriju – studija, 1-118. Beograd.
- Jugoslovenski standard sa obaveznom primenom – JUS (1969): Greške drveta - Terminologija, definicije i merenje (JUS D.AO.101).
- Jugoslovenski standard sa obaveznom primenom – JUS (1969): Delovi stabla, građa i karakteristike drveta (JUS D.BO.020).
- Jugoslovenski standard sa obaveznom primenom – JUS (1984): Razvrstavanje i merenje neobrađenog i obrađenog drveta (JUS D.BO.022).
- Karahasanović, A. (1988). Nauka o drvetu, 1. izdanje. "Svjetlost", OOUR Zavod za udžbenika i nastavna sredstva, Sarajevo.
- Kišpatić, J. (1955). Pokusi zaštite bukovih trupaca od "prešlosti" (crvenila, zagušenosti, piravosti). Šumarski list, 79 (3-4), 69-85. <https://www.sumari.hr/sumlist/195503.pdf>
- Krempl, H., Mark, E. (1962). Untersuchungen über den Kern der Rotbuche [Investigations about the heartwood of beech]. Allgemeine Forstzeitung, 186-191.
- Krpan, A.P.B., Prka, M. & Zečić, Ž. (2006). Pojava i značajke nepravne srži u bukovim prorednim i oplodnim sječama gospodarske jedinice Bjelovarska Bilogora. Glasnik za šumske pokuse, Posebno izdanje 5, 529-542.
- Lojo, A., Balić, B., Treštić, T., Vojniković, S., Višnjić, Č., Čabaravdić, A., Deliće, S., Musić, J. (2011). Druga inventura šuma na velikim površinama u Bosni i Hercegovini (preliminarni podaci) – manuskript. Univerzitet Sarajevu – Šumarski fakultet.
- Lojo, A., Musić, J., Balić, B., Avdagić, A., Halilović, V., Ibrahimspahić, A. & Knežević, J. (2021). Modeliranje debljine kore bukve (*Fagus sylvatica* L.). Šumarski list, 145 (5-6), 239-247. <https://doi.org/10.31298/sl.145.5-6.3>

- Paule, L. (1995). Gene conservation in European Beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forest Genetics*, 2(3), 161-170. https://kf.tuzvo.sk/sites/default/files/FG02-3_161-170.pdf
- Pejoski, B. (1951). Pridones kon poznavaljeto na bukovinata vo SR Makedonija. Godišen Zbornik Univerzitetstva Skopje.
- Pramreiter, M & Grabner, M. (2023). The Utilization of European Beech Wood (*Fagus sylvatica* L.) in Europe. *Forests*, 14 (17), 149. <https://doi.org/10.3390/f14071419>
- Pranjić, A., Lukić, N. (1997). Izmjera šuma. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu.
- Prka, M. (2003). Pojavnost neprave srži kod bukovih stabala i tehničke bukove oblovinne iz prorednih i pripremnih sječa na području bjelovarske Bilogore. *Šumarski list*, 127 (9-10), 467-474. <https://www.sumari.hr/sumlist/pdf/200304670.pdf>
- Prka, M., Zečić, Ž., Krpan, A.P.B. & Vusić, D. (2009). Characteristic and Share of European Beech False Heartwood in Felling Sites of Central Croatia. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 30 (1), 37-49. <https://crojfe.com/archive/volume-30-no-1/characteristics-and-share-of-european-beech-false-heartwood-in-felling-sites-of-central-croatia-p.37-49/>
- Račko, V., Mišiková, V., Hlaváč, P. & Deáková, V. (2018). Can bark stripping cause red heartwood formation in beech stems? *iForest*, 11 (2), 251-258. <https://doi.org/10.3832/for2147-011>
- Stefanović, V., Beus, V., Burlica, Č., Dizdarević, H. & Vukorep, I. (1983). Ekološko-vegetacijska rejonizacija Bosne i Hercegovine. *Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, 17(1), 1-83. <https://doi.org/10.54652/rsf.1983.v1.i17.275>
- Torelli, N. (1984). The Ecology of Discoloured Wood as Illustrated by Beech (*Fagus Sylvatica* L.). *IAWA Journal*, 5(2), 121-127. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000875>
- Trenčiansky, M., Lieskovský, M., Merganič, J. & Šulek, R. (2017). Analysis and evaluation of the impact of stand age on the occurrence and metamorphosis of red heartwood. *iForest*, 10 (3), 605-610. <https://doi.org/10.3832/for2116-010>
- Vasiljević, J. (1974). Osržavanje bukve na području Zrinjske Gore [Beech heartwood formation in the region of the Zrinjska Gora Mountain (Croatia)]. *Šumarski list*, 98 (12), 505-520. <https://www.sumari.hr/sumlist/197412.pdf>
- Vusić, D. (2012). Pridobivanje drva II. Stacionarna terenska nastava. Metode premjera. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Wagemann, M. (2006). Verwendung von Kernholz im Aufwärtstrend. *Forst und Holz*, 61(11), 475.
- Zycha, H. (1948). Über die Kernbildung und verwandte Vorgänge im Holz der Rotbuche. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 67 (2), 80-109. <https://doi.org/10.1007/BF02083068>

SUMMARY

False heartwood in beech is an important wood quality characteristic that has attracted considerable scientific and professional interest for more than a 100 years. Although its influence on the mechanical properties of wood is relatively limited, its effect on aesthetic quality is pronounced. Wood containing false heartwood is generally characterized by reduced durability and poor impregnation properties, which are particularly relevant for products intended for outdoor use. The occurrence of false heartwood in technical roundwood considerably reduce the quality and market value of beech logs, resulting in significant economic losses for forestry enterprises. Regardless of the applied grading system, the presence of false heartwood may reduce revenues from the valuation of beech roundwood by 40-50%. Nevertheless, recent market trends indicate increasing interest among certain wood processors in naturally coloured red heartwood due to its distinctive decorative properties. Reddish-brown heartwood has become a desirable material in creative and design-oriented applications, as it provides beech wood with an attractive natural colouration and enhances its aesthetic value. From the perspective of forest utilization and knowledge of the assortment structure of beech stands, understanding the formation and development of false heartwood is of considerable importance, particularly regarding its proportion in the volume of technical roundwood obtained from beech trees. This represents the main motivation for the present study. The study was conducted in four forest compartments located in three cantons of the Federation of Bosnia and Herzegovina (Sarajevo Canton, Tuzla Canton, and Central Bosnia Canton), characterized by a dominant proportion of beech (>50%). On systematically established sample plots, model trees were selected and their dimensions were measured, while tree age was determined after felling by counting annual rings on the stump. Following tree felling and the production of forest wood assortments, the volume of individual assortments was calculated using Huber's formula, while the volume of false heartwood was determined according to Smalian's formula. Among the 300 analysed trees, false heartwood was recorded in 251 trees, corresponding to approximately 84% of the total sample. Regression analysis demonstrated that both DBH and tree age significantly influenced the occurrence of false heartwood and its average proportion in the volume of technical roundwood, with statistical significance confirmed at the 95% confidence level. False heartwood was present in all trees exceeding 50 cm in DBH and/or 110 years of age. In addition, the analysis also revealed the occurrence of a double culmination of the observed variable. The occurrence of false heartwood among some of relatively young trees at certain sites was primarily attributed to mechanical injuries and tree selection harvesting system practices, which are considered important factors promoting the formation and development of false heartwood. The average proportion of false heartwood in the volume of technical roundwood, calculated for all investigated trees and sample plots, was 9.36%. Its proportion increased linearly with tree age, reaching 7.37% in trees aged 70-90 years, 9.71% in trees aged 100-110 years, and approximately 15% in trees older than 150 years. The obtained results show a significant correlation with findings reported by other researchers investigating false heartwood formation in beech in neighbouring countries, particularly Croatia and Serbia. Comprehensive knowledge of the occurrence, extent, and variability of false heartwood can significantly contribute to improving the accuracy and quality of forest management planning documents, including forest management plans, annual operational plans, and implementation projects, by enabling more precise predictions of the assortment structure of forest wood products obtained from tree felling. The extent to which these findings will influence the revenues of forestry enterprises, and whether this impact will be positive or negative, will largely depend on market trends and the willingness of domestic processors and consumers to adapt to these trends.

Received: July, 9, 2026; **Accepted:** July, 20, 2026; **Published:** July, 31, 2026

Funding: The research was funded by the Ministry of Economy of Sarajevo Canton.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.



© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Assessing Site Productivity Across Age-Class Structured *Pinus caribaea* Stands, Using Site Index and Growth Variables in Enugu-Ngwo, Nigeria

Procjena proizvodnosti staništa u jednodobnim sastojinama *Pinus caribaea* različitih dobnih razreda primjenom stanišnog indeksa i pokazatelja rasta u Enugu-Ngwo, Nigerija

Ogu, Comfort Iworima^{1*}, Oyebade Bukola Amoo²

1 Ignatius Ajuru University of Education, Port Harcourt, Rivers State, Nigeria.

2 Department of Forestry and Wildlife Management, University of Port Harcourt, Choba.

ABSTRACT

Assessing site productivity and growth performance is vital for effective management of plantation forests. This study evaluated growth dynamics and site index variation among three age structured *Pinus caribaea* stands (49, 50, and 51 year-old) in the Enugu-Ngwo Forest Reserve, Nigeria. Data on diameter at breast height (DBH), Height and basal area were collected systematically from 20 × 20 m plots established. Site index (SI), Basal area, Dominant height, provided measures of productivity indicators. Analysis of variance showed significant differences in growth parameters among plots and stands, revealing notable spatial heterogeneity. Site Index values ranged from 0.652 in the 50year stand to 0.729 in the 49year stand, indicating meaningful productivity gradients. The 49-year-old stand exhibited superior diameter, height and basal area, a, showing the stand with highest productivity. Non uniform site quality across the reserve highlighted localized influences of environmental and historical factors. generally, *Pinus caribaea* plantations demonstrated strong productivity potential, particularly in the 1976 stand, which showed a strong height age trend. The study emphasizes the need for site specific silvicultural practices adaptive rotation planning and continuous monitoring to improve timber yield and sustain long term forest productivity.

Key words: dominant height, Site index, basal area, *Pinus caribaea*, plantation productivity

INTRODUCTION - Uvod

Assessment of site productivity is vital to the management of the forest, it represents the capacity of forest site to produce biomass and support tree growth, Skovsgaard and vanclay (2007). Site productivity assessment and plantation forest growth performance is es-

sential for effective estimation of timber production potential, producing stand yield, management planning and planning silvicultural intervention. Ezenwa (1976) stated that: Spatial variability in plantation site productivity arises from differences in soil properties, topography, drainage, and stand structure. To estimate site quality and growth performance in conifers Site index, Height

* Cooresponding author: Ogu, Comfort Iworima , ogucomfort832@gmail.com

and basal area remain the most reliable indicators. Understanding how these vary spatially across plantations is essential for sustainable management. This study uses age structured *Pinus caribaea* stands to quantify spatial variation in productivity in the *Pinus caribaea* plantation of Enugu Ngwo, and can also be used for same ecological zone of Nigeria. Diane (2014), Growth variables such as basal area, total height, diameter at breast height (dbh), tree volume, and crown metrics produce quantifiable measurements that shows biomass accumulation and stand development. Together, site index and growth variables enable yield prediction and forest management decisions, facilitating optimal thinning regimes, rotation lengths, and sustainable timber harvest planning. Diane, (2014).

The evaluation of site productivity commonly involves using site index and growth variables to assess the quality and potential timber yield of the site. The site index is typically defined as the dominant height of trees at a specific base age (often 10 years for *Pinus caribaea*). It serves as a key indicator of site quality by reflecting how well trees grow in terms of height on a particular site. Growth variables such as diameter, height increment, volume production, and mean annual increment complement the site index by indicating overall stand performance and productivity over time. Oye-bade, 2014

Common methods used to determine site index are based on tree height, plant composition and the use of soil maps. Also it can be achieved by measuring and averaging the total height and age of the trees found on that site (Avery and Burkhart 2002). Height is obtained from dominant or codominant trees in an even aged stand usually from an instrument called Clinometers, and age is calculated from an instrument called an increment borer or from planting or harvest record (Avery, and Burkhart 2002). The estimated height model describes tree heights as a function of diameter at breast height, site index, dominant height and dominant diameter. Total tree height and diameter at breast height (1.3m above ground, DBH) outside bark are essential measurements in forest management and are used for predicting total and merchantable tree volume, estimating site index and other important variables in forest growth and yield (Zhang and Hill 2001). Since tree heights are relatively more difficult and time consuming to obtain, measurement of all sample trees for DBH and a portion of these trees for height is an exceedingly common practice with both permanent and temporary sample plots. Height diameter models are then used to estimate the heights of trees measured only for diameter. Site index is the essential tool for forest

management to estimate the productivity of forest land generally. Site index equation is developed and used by relationship between stand and age and dominant tree height. However, there are limit to the use of the site index equation in the application of variable ages, environment influence and estimation of site index for unstocked land. Prediction methods of site index have been of interest to many researchers because of the limitations associated with ground-based measurement of the index, such as the destructive nature of the stem analysis. Additional limitation occurs because there is a certain age for trees below which site factors will not reflect actual condition.

Assessing site productivity in age class structured *Pinus caribaea* stands at Enugu Ngwo Forest Reserve addresses the need for localized growth models in erosion-prone areas of Nigeria. Existing research has developed site index equations for this specific location using a base age of 50 years (oyebade et al 2012), yet broader evaluations across age classes remain limited. This study provides essential data for timber production potential and silvicultural management in challenging terrains. Thus, combining site index and growth variables provides a robust framework to assess site productivity across age-class structured homogeneous stands, enhancing forest resource utilization and ecological sustainability.

METHODS OF RESEARCH –

Metode istraživanja

Study Area

Enugu-Ngwo Forest Reserve, southeastern Nigeria, classified by well-drained upland soils suited for pine growth. Plantation establishment occurred in phases, resulting in three close age-classes (49, 50, and 51 years) Ngwo town is located in the south-eastern State of Enugu, Nigeria, with a population of about 50,000 people. Enugu Ngwo is situated on Udi escarpment, at an altitude of about 396.24m, longitude 070 271 East and latitude 060 261 North of the equator (Ainslie 1935). The annual rainfall ranges between 32 and 87 degrees centigrade while it is hottest between May and October each year. the plantation was established in 1972 with about 100 hectares size coverage and under close management by forest research institute of Nigeria (FRIN).

Sampling Technique

The sampling technique that will be used for this study is systematic sampling. This is because the plantation is homogenous. Systematic sampling design (systemic line

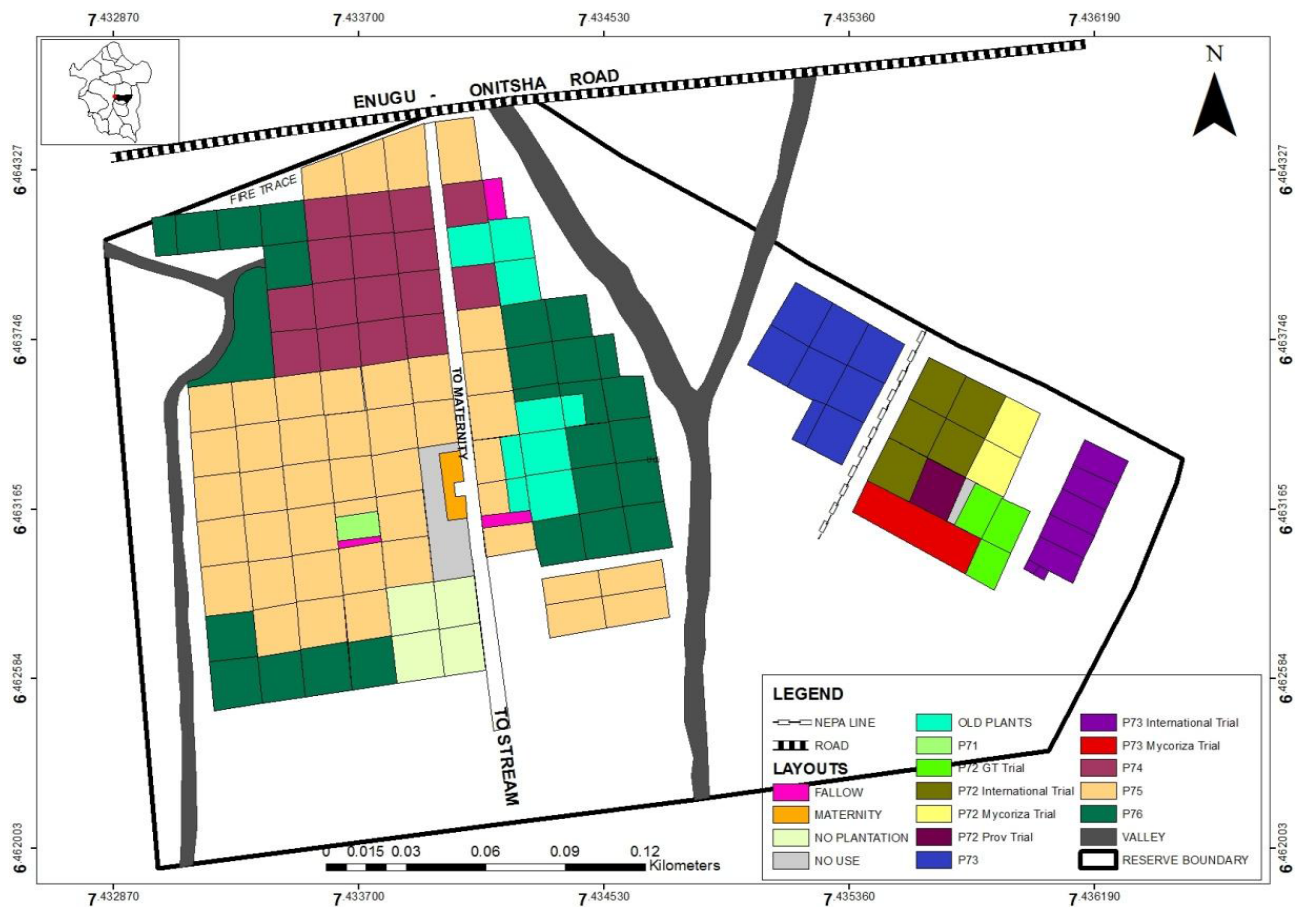


Figure 1. Map of the study area showing experimental layouts in Enugu-Ngwo, Nigeria.
Source: Authors' GIS compilation from field survey data (2024)

Slika 1. Karta područja istraživanja s prikazom rasporeda oglednih ploha u Enugu-Ngwo, Nigerija.
Izvor: GIS obrada autora na osnovu podataka terenskih istraživanja (2024).

transect) was employed for laying of plots. Three transects at 200 m intervals were laid out in *Pinus caribaea* stands established in 1974, 1975, and 1976. Temporary sample plots of size, 20 m x 20 m (0.04 ha) was laid in different direction along each transect at 5m interval and thus adding up to 4 sample plots per transect. In each plot the outside bark diameter at breast height (Dbh) (taken at 1.3m from ground), tree total height and Crown Diameter was taken. Systematic sampling is a form of probabilistic sampling in which the target is divided into equal sized blocks (for example, a series of squares covering a survey region) and a sample taken at a predetermined point in each block (example, on the grid intersection or in the middle or each square). This method is useful for sampling unevenly distributed populations but runs the risk of missing thing that is regularly spaced. The population variance can be expressed as:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{y}_k)^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^K (Nk-1) S_k^2 \quad (1)$$

Where y_{km} refers to individual number in sample number k , the variance withing samples cma be expressed as S^2 within

$$\frac{1}{N-K} \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{Nk} (y_{km} - \bar{y}_k)^2 = \frac{1}{N-K} \sum_{k=1}^K (Nk-1) S_k^2 \quad (2)$$

Where S_k^2

is the population variance in sample k , the variance between samples is expressed as S_k^2 between =

$$\frac{1}{N-K} \sum_{k=1}^k NK(\bar{y}_k - \bar{y})^2 \quad (3)$$

Using this variance simplification it can be shown that

$$\text{Var}((\bar{y} \text{ sy})) = \frac{k-1}{N} S^2 \text{ Between}$$

Or

$$\text{Var}((\bar{y} \text{ sy})) = \frac{B-1}{N} S^2 - \frac{n-1}{n} \text{ within} \quad (4)$$

Using that $\text{Var}((\bar{y} \text{ sy})) = \frac{n-n}{nN} S^2$, it follows that

$$\text{Var}((\bar{y} \text{ sy})) > \text{var}(\bar{y} \text{ sy}) > \frac{N-n}{nN} S^2 \quad (5)$$

Method of Data Collection

Data collection is a term used to describe process of preparing and collection data. The purpose of data collection is to obtain quantitative data for the site index equations to be developed. The data on the tree parameters that was collected are height, age, diameter at breast height (dbh) and crown diameter using recent modern measurement equipment's. Dominant trees was selected based on the combined ranks of height and dbh from all sample trees. Between one and three trees per plot and measurement occasion will be identified as dominant trees. In each plot, the outside bark diameter at breast height (Dbh) (taken at 1.3m from ground), crown diameter and tree total height all was measured.

Data Analysis

Determining the height and related growth variable of *Pinus caribaea* in the study Area

In other to evaluate *Pinus caribaea* growth variable, descriptive statistics was to get the mean,

standard deviation, maximum value and minimum value of the variable, Significant difference

(ANOVA) was used to determine the difference, Mean comparisons among stand ages were

performed using Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at a 5% significance level.

Develop empirical models for Site index prediction of *Pinus caribaea* in the Study area

Though several methods have been developed and applied, the method used by Akindele (1990)

was adopted in this study following its simplistic procedures of development of site index

equation for estimating the site indices of the sample plots, the computation of site index values

of the corresponding sample plots, and fitting of the linear regression model for predicting site

index from the growth characteristics variables with agreement of linearized regression function

of Schumacher (1939) for site index estimation of the order:

$$H_d = \exp(b_0 + b_1(A-1)) \text{ eqn.1}$$

Where,

H_d = average dominant

height A = Stand Age

b_0, b_1 = Regression coefficients

Taking the logarithm of the equation, the equation becomes:

$$\ln H_d = b_0 + b_1(A-1) \text{ eqn.2}$$

Fitting the equation to dominant height data when A equals the index age; the average dominant height (H_d) will be equal to site index (SI). Twenty-Five

Stand Productivity Metrics

- Dominant height = stand growth potential indicator
- Basal area = stand density index
- Site Index (SI) = growth performance classification

RESULTS – Rezultati

Evaluation of height and related growth variable of *Pinus caribaea* in the study Area

Evaluation of *Pinus caribaea* growth variables such as Height, Diameter (Dbh), Crown diameter, Basal area, Crown projection area, Linear crown index and Crown spread ratio in the stands established in 1974, 1975 and

Table 1. Growth Attribute of age 51 *Pinus Caribaea* Stand Sampled in the Study Area

Tabela 1. Parametri rasta uzorkovane sastojine *Pinus caribaea* starosti 51 godinu na području istraživanja

	N Statistic	Minimum Statistic	Maximum Statistic	Mean Statistic ± Std. Error
Dbh	119	21.59	55.12	35.0652 ± 0.64237
THT	119	23.06	67.71	38.4046 ± 0.78790
Cd	119	0.75	10.70	5.0982 ± 0.18192
Ba	119	0.04	0.24	0.1004 ± 0.00380
Cpa	119	0.44	89.93	1.54105 ± 16.81084
Lci	119	3.11	28.63	14.4295 ± 0.44422
Csr	119	.03	0.29	0.1335 ± 0.0448

1976 (51, 50 and 49) years are presented in Table 1, 2, 3 and 4 respectively. The results of the evaluation of growth parameters in the plots of 48 years old highest means for total height, Diameter at breast height, Crown diameter, Basal area, Crown projection area, Linear crown index and Crown spread ratio and it is found in Table 1.

Where, Dbh= diameter at breast height (cm), BA= basal area (m²), CPA= crown projection area (m²), CD= crown diameter (m). Csr= crown spread ratio, Lci= live crown index, THT= Total height of tree

Where, Dbh= diameter at breast height (cm), BA= basal area (m²), CPA= crown projection area (m²), CD= crown diameter (m). Csr= crown spread ratio, Lci= live crown index, THT= Total height of tree.

Where, Dbh= diameter at breast height (cm), BA= basal area (m²), CPA= crown projection area (m²), CD= crown diameter (m). Csr= crown spread ratio, Lci= live crown index, THT= Total height of tree

Development of Empirical Models for Site Index Prediction of *Pinus caribaea* in the Study Area

The computed site indices for the *Pinus caribaea* stands in Enugu-Ngwo are presented in Table 4. The 1976 stand (49 years old) recorded the highest site index (0.729), followed by the 1974 stand (51 years old) with a site index of 0.692, while the 1975 stand (50 years old) had the lowest site index (0.652). Although the differences in stand age were small, the variation in site index val-

Table 2. Growth Attribute of Age 50 *Pinus caribaea* stand Sampled in the Study Area.

Tabela 2. Parametri rasta uzorkovane sastojine *Pinus caribaea* starosti 50 godina na području istraživanja

	N Statistic	Minimum Statistic	Maximum Statistic	Mean Statistic ± Std. Error
Dbh	120	20.83	42.67	33.7088 ± .38446
THT	120	3.36	52.77	37.2880 ± .57751
Cd	120	.75	7.70	4.2312 ± .14127
Ba	120	.03	0.14	0.0906 ± .00202
Cpa	120	.44	46.57	15.9287 ± .94915
Lci	120	3.01	36.97	12.5565 ± .44136
Csr	120	.03	1.67	0.1246 ± .01345

Table 3: Growth Attribute of Age 49 Pinus Caribaea Stand Sampled in the Study Area

Tabela 3. Parametri rasta uzorkovane sastojine Pinus caribaea starosti 49 godina na području istraživanja

	N Statistic	Minimum Statistic	Maximum Statistic	Mean Statistic ± Std. Error
Dbh	41	20.53	40.32	32.4353 ± 0.697
THT	41	24.83	47.97	37.1284 ± 0.838
Cd	41	0.95	7.70	4.1971 ± 0.253
Ba	41	0.03	0.13	0.0842 ± 0.003
Cpa	41	0.71	46.57	15.8419 ± 1.811
Lci	41	3.98	35.56	12.8777 ± 0.815
Csr	41	0.04	0.23	0.1113 ± 0.006

ues indicates differences in site productivity among the stands.

Site index is an indicator of site quality based on dominant height development. Higher site index values generally reflect better growing conditions and greater potential for height growth. Therefore, the 1976 stand, with a site index of 0.729, can be considered the most productive site among the three stands, suggesting that it experienced more favourable conditions for tree growth. Conversely, the lower site index of 0.652 recorded in the 1975 stand indicates comparatively lower site productivity.

The average dominant heights of 53.7 m, 45.7 m and 46.0 m recorded for the 1974, 1975 and 1976 stands, respectively, demonstrate that Pinus caribaea attained substantial height growth across the study area. The observed differences in site index may be attributed to variations in soil fertility, moisture availability, micro-topography, stand management history, and other environmental factors influencing tree growth.

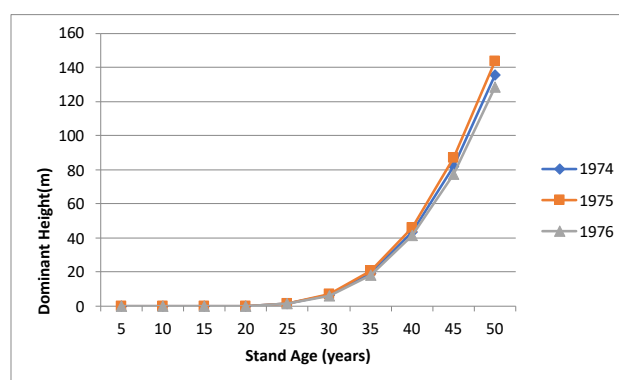


Figure 2. Site index curve for Pinus caribaea in the three-age series of the study area.

Slika 2. Kriva stanišnog indeksa za Pinus caribaea za tri dobne serije na području istraživanja.

Table 4: Site Index Equation, Average Dominant and Computed Site Index (SI) According to Sites in the Study Area

Tabela 4. Jednačina stanišnog indeksa, prosječna dominantna visina i izračunati stanišni indeks (SI) prema lokalitetima na području istraživanja

Site	Average dominant height	SI	Site index model	Model parameter R ²
1974	53.7	0.692		
1975	45.7	0.652	LnHd = b0 + b1(A ⁻¹)	0.486
1976	46.0	0.729		

Table 5: Stand Structural Attributes and Site Index of Age-Class *Pinus caribaea* Stands in Enugu-Ngwo Forest Reserve

Tabela 5. Strukturne karakteristike sastojina i stanišni indeks sastojina *Pinus caribaea* različitih dobnih razreda u šumskom rezervatu Enugu-Ngwo

Stand Age	No. of Plots	Trees Measured	Trees ha ⁻¹	BA(m ² ha ⁻¹)	Site Index
51 years	4	119	744	74.7	0.692
50 years	4	120	750	68.0	0.652
49 years	2	41	513	43.2	0.729

DISCUSSION – Diskusija

Evaluation of Growth variable of *Pinus caribaea* in the Study Area

The assessment of site productivity Across age-class structured *Pinus caribaea* stands in the Enugu-Ngwo Forest Reserve, numerous height growth and computed site index showed significant disparities among three sampled sites (49, 50 and 51 years). Despite their close age difference, the observed growth performance differences confirm spatial heterogeneity in site productivity across the reserve. There were clearly defined age classes for size (both when measured height and volume) and crown development in the growth variable assessment across the three *Pinus caribaea* age classes. It was showed that mean diameter, height, crown diameter, basal area and The crown projection area was greater in the 51-year-old stand than in the 50- and 49-year-old stands. This pattern is not surprising, as diameter and height growth proceed through late stand maturity (though the increments may decline with age. The relative increase in crown dimensions with age also indicates continued crown expansion consistent with stand self-thinning and reduced inter-tree competition

Despite being close in age, the three stands did not converge in growth traits. The 51 year stand showed wider height ranges (23.06 – 67.71 m) and crown sizes, indicating heterogeneity in site conditions, genetic variability, or differences in early stand management. The broad variation supports earlier observations that *Pinus caribaea* plantations show considerable differences in tree form and branching habit (Shigeru, 2010). The irregular crown form and fox-tailing tendency pose challenges for silvicultural interventions, especially in maintaining uniform stand structure.

Basal area values calculated from the mean DBH were 0.1004 m², 0.0906 m², and 0.0842 m² per tree for the 51-, 50-, and 49-year-old stands, respectively. These values indicate that trees in the 51-year-old stand had larger stem cross-sectional areas than those in the younger stands. The higher basal area per tree reflects great-

er stem development and biomass accumulation with stand age. However, because basal area was calculated on an individual-tree basis rather than on a per-hectare basis, it cannot be used to assess stand stocking status or site occupancy. Evaluation of stocking would require stand basal area expressed as m² ha⁻¹ together with tree density (trees ha⁻¹).

The crown projection area (CPA) values are relatively high, especially in the older stand, indicating broad canopy spread and increased dominance of fewer surviving trees. These findings differ markedly from the lower CPA values reported by Adesoye and Ezenwenyi (2014) for similarly aged *Pinus caribaea* plantations. The larger canopies here may reflect wider initial spacing, reduced thinning intensity, or better site quality. High CPA implies greater light interception capacity, which supports continued height and diameter growth but can increase competition pressure on suppressed trees.

The live crown index (LCI) values trend slightly upward in the older stand, suggesting a healthier crown ratio and good photosynthetic efficiency. Crown spread ratio (CSR) values, although generally low, decrease with stand density, highlighting the effect of competition on lateral crown expansion.

Generally, The 51 year stand recorded the highest mean values in total height, DBH, basal area, crown diameter, and crown projection area, indicating better biomass accumulation and competitive performance on that site. This suggests that slight differences in micro-environmental conditions such as soil richness, early stand treatment, drainage, or topographic position influenced the resource availability for tree growth. Similar variations in *Pinus caribaea* due to site-specific factors were highlighted by Akindele (1991), who noted that exotic pine plantations in Nigeria respond strongly to favorable soils and climate conditions. The need for silvicultural adjustments to improve uniformity and stand stability.

Stand density ranged from 513 to 750 trees ha⁻¹ across the *Pinus caribaea* stands. The 50-year-old stand record-

ed the highest density (750 trees ha⁻¹), followed closely by the 51-year-old stand (744 trees ha⁻¹), while the 49-year-old stand had the lowest density (513 trees ha⁻¹). Basal area per hectare was highest in the 51-year-old stand (74.7 m² ha⁻¹), followed by the 50-year-old stand (68.0 m² ha⁻¹) and the 49-year-old stand (43.2 m² ha⁻¹). The higher basal area observed in the older stands indicates greater stand occupancy, growing stock accumulation, and resource utilization. This suggests that the 51- and 50-year-old stands were better stocked and had higher productivity potential than the 49-year-old stand. The observed differences in basal area and stand density may also explain the variation in site index among the stands, as site quality influences tree growth, stand development, and biomass production.

Site Index Prediction of *Pinus caribaea* the Study Area

The site index estimation for various age-series of *Pinus caribaea* (1974, 1975, 1976) at Enugu Ngwo indicates marked difference in the dominant height growth performance. The highest site index (0.729) was seen at the 1976 stand suggesting its comparatively better site productivity from the other two stands. While differences in ages are small, these variations indicate that plantation site-quality can change considerably between plantations even in close proximity as a result of soil fertility gradients, microclimate variances or management history and early stand establishment conditions. This is in accordance with results from Wang et al. (2008), Waring et al. (2006) and Johansson (1995), who highlighted that both environmental and biological factors affect the height growth and following site classes.

The height growth pattern in general shown in Fig. 1 suggest that *Pinus caribaea* respond well to the growing conditions at Enugu Ngwo, with the best sites supporting early rapid height growth. For example, a 15 year old tree on the best site can attain heights around 25 m. This confirms earlier reports by Akindele (1991), who attributed strong growth of exotic conifers in Nigeria to favorable climatic and soil conditions.

The differences in model strength among the sites also reflect site variability. The model fitted for the 1975 stand ($R^2 = 0.486$) indicates moderate predictive reliability and suggests that height age dynamics are not fully captured by age alone. Similar challenges were reported by Arosław et al. (2021), who demonstrated that incorporating regional or ecological variation improves site index predictions. Dynamic and polymorphic site index models developed using nonlinear regression techniques have been shown to better represent height

growth across different site qualities (Mehmet & Oytun, 2015; Deschamps, 1990), implying that model refinement could further improve accuracy in this study area.

The results also support earlier work by Oyebade et al., (2012), who successfully developed a site index model for *Pinus caribaea* in the same forest reserve and concluded that the species has strong timber production potential when properly managed. Likewise, Huebschmann and Martin (1996) stressed the operational importance of site index for identifying stands with high economic value, since those with higher indices tend to reach merchantable size earlier.

Thus, the *Pinus caribaea* plantations at Enugu Ngwo remain productive resources, but ongoing quantitative monitoring is necessary to optimize their sustainable management.

The discrepancy between the highest site index in the 1976 (46 year) stand and the superior current growth performance observed in the 48-year stand reflects differences in the biological interpretation of these metrics. Site index is primarily influenced by dominant height growth during the early stages of stand development and is therefore a strong indicator of initial site quality and early resource availability. The higher site index in the 1976 stand suggests that its trees experienced more favorable growth conditions during establishment. In contrast, the superior DBH, basal area, crown diameter, and crown projection area recorded in the 48-year stand are structural attributes that accumulate over time and are more strongly shaped by stand age, density dynamics, competition effects, and later biomass allocation patterns. Thus, while the 48-year stand has had more time for stem thickening and crown expansion, the 1976

stand retains the advantage in dominant height growth potential. These results emphasize that site productivity assessment requires both early-growth indicators such as site index and contemporary stand structural variables to fully capture stand performance and long-term productivity differences. Diane (2014)

Generally, the variations observed among the age-segregated stands confirm the importance of site-specific evaluation rather than generalized management assumptions across plantations. The results also emphasize that while the Enugu Ngwo Forest Reserve overall supports highly productive *Pinus caribaea* stands, differences in site indices highlight the need for differentiated silvicultural strategies such as tailored thinning intensity, monitoring of stand density, and adaptive rotation scheduling.

CONCLUSIONS – Zaključci

The results indicate evident spatial variation in growth performance and productivity in age Structured *Pinus caribaea* stands within the Enugu Ngwo Forest Reserve. Although there are minor differences in age, the 51-year-old stand performs well concerning DBH, basal area, height, and crown dimensions, demonstrating higher biomass accumulation and competitive superiority. On the other hand, the 1976 (49) year-old stand shows the highest site index value, suggesting higher initial growth potential and early site quality. The findings confirm that site index describes the initial productivity level, while the current stand structure indicates accumulated growth and competitive impacts. In general, productivity is consistent within the forest reserve, but uneven site quality calls for site-specific and evidence-based forest management rather than uniform silviculture measures. Combining site index with current structural characteristics is necessary for optimal rotation planning, accurate productivity estimation, and yield maximization in the plantation.

REFERENCES – Literatura

- Adame, P., del Río, M. & Cañellas, I. (2008). A mixed non-linear height-diameter model for pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Forest Ecology and Management*, 256(1-2): 88-98.
- Adesoye, P.O., & Ezenwenyi E.E (204). Tree Species Diversity and Soil Status of Two Natural Forest Ecosystems In Lowland Humid Tropical Rainforest Region of Nigeria. *Journal of Ecology and the Natural Environment*. 6(9), 268-276.
- Akindele, S.O (1991). Development of Site Index Equation for Teak Plantations in Southern Nigeria, *Journal Of Tropical Forest Science*. 4(2), 162 -169.
- Alder D. & Abayomi J.O (1994). Assessment of data requirements for sustained Yield Calculation, Unpublished report prepared for the Nigerian Tropical Action Programme, FORMECU, Federal Department of Forestry, Ibadan, Nigeria, P. 28.
- Avery and Burkhart (2002). *Forest Measurements*. 5th McGraw- Hill, Boston, Ma. Xxiii, 456p.
- Diane K (2014). *Natural Resources Biometrics*- Milne Publishing- Chap 9
- Huebschmann, M & Martin J (1996). *Estimatin And Interpretating Site Index*. G3361, Lake State Woodlands. University Of Ui
- Oyebade, B.A, Popo-ola, F.S. and Aguma S. 2012. Site index equation for *Pinus caribaea* plantation in erosion prone Enugu Ngwo, Nigeria. *International Journal of Science and Nature*. Vol.3 (3). 586-591.
- Shigeru .K. (2010). A Theoretical Model for Tree Growth Under One Sided Competition. *Ecological Modlling*. 22(7), 1041 -1047.
- Synott, T.M. (1992). Inventory Techniques for Sustainable Forest Management in Tropical Forests. In *Proceedings of FAO Expert Consultation on Sustainable Forest Management*. Rome, Italy. Pg25.
- Wamg, H., Hall, C.A.S & Cornell. J.D (2008). Assessing Evidence for A Pervasive Alteration In Tropical Tree Communities *Plos One*, 3(3). Ei807
- Waring et al., (2006). Use Of 3-Pg And 3-Pgs to Simulate Forest Growth Dynamics Of Hoop Pine Plantation Queensland, Australia. *Forest Ecology and Management*. 234 (1-3), 306 -319.

SAŽETAK

Procjena proizvodnosti staništa i uspješnosti rasta od ključnog je značaja za efikasno gospodarenje šumskim plantažama. U ovom istraživanju analizirana je dinamika rasta i varijabilnost stanišnog indeksa u tri sastojine *Pinus caribaea* različite starosti (49, 50 i 51 godina) u šumskom rezervatu Enugu-Ngwo u Nigeriji. Podaci o prečniku stabala na prsnoj visini (DBH), visini stabala i temeljnici sistematski su prikupljeni na postavljenim oglednim ploham dimenzija 20 × 20 m. Stanišni indeks (SI), temeljnica i dominantna visina korišteni su kao pokazatelji proizvodnosti.

Analiza varijanse pokazala je statistički značajne razlike u parametrima rasta između oglednih ploha i sastojina, ukazujući na izraženu prostornu heterogenost. Vrijednosti stanišnog indeksa kretale su se od 0,652 u sastojini starosti 50 godina do 0,729 u sastojini starosti 49 godina, što ukazuje na značajne razlike u proizvodnosti. Sastojina starosti 49 godina imala je veće vrijednosti prečnika, visine i temeljnice te je pokazala najveću proizvodnost. Neujednačen kvalitet staništa na području rezervata ukazuje na lokalni uticaj okolišnih faktora i historijskih okolnosti gospodarenja.

Općenito, plantaže *Pinus caribaea* pokazale su visok proizvodni potencijal, posebno sastojina osnovana 1976. godine, kod koje je utvrđena izražena povezanost visine i starosti. Rezultati istraživanja naglašavaju potrebu za primjenom stanišno prilagođenih uzgojnih mjera, fleksibilnim planiranjem ophodnje i kontinuiranim monitoringom radi povećanja prinosa drvne mase i očuvanja dugoročne proizvodnosti šumskih plantaža.

Received: May, 15, 2026; **Accepted:** June, 17, 2026; **Published:** July, 31, 2026

Funding: This research received no external funding.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.



© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Soil Mesofauna: Biodiversity Indices and Research Methodology

Mezofauna tla: Indeksi biodiverziteta i metodologija istraživanja

Ena Nezirović Omerdić^{1*}, Elvira Hadžiahmetović Jurida¹

¹ Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Tuzla, Univerzitetska 4, 75000 Tuzla, Bosnia and Herzegovina

ABSTRACT

This review paper examines the role of soil mesofauna in maintaining the biological balance and functionality of edaphic ecosystems, with a particular focus on its application as a bioindicator of soil quality in the Balkan region. The aim of the study is to consolidate existing knowledge on the composition of mesofauna, its ecological role, research methodology, and the application of various biodiversity indices in assessing soil status. The analysis is based on a synthesis of relevant scientific literature in the fields of pedoecology and soil biology, including both original and review studies related to forest, agricultural, and urban soils. The results of the review indicate that mesofauna, particularly mites (Acari) and springtails (Collembola), plays a key role in the decomposition of organic matter, stimulation of microbial activity, and nutrient cycling. Furthermore, the high sensitivity of mesofauna to environmental changes has been confirmed, making it a reliable indicator of degradation, pollution, and intensive land use. Analyzed biodiversity indices, including the Soil Biocenosis Quality Index, the Arthropod-Based Soil Biological Quality Index, as well as the Shannon–Wiener, Simpson, and Berger–Parker indices, have proven to be effective tools for assessing the ecological status of soils. It is concluded that the combined application of functional and structural indices, alongside standardized sampling and analytical methodologies, allows for a reliable assessment of soil biological quality and contributes to the development of sustainable land management in the region.

Keywords: soil mesofauna, biodiversity, bioindicators, soil quality, pedoecology

INTRODUCTION - Uvod

Tlo predstavlja dinamičan i kompleksan ekosistem u kojem se odvijaju ključni biološki, hemijski i fizički procesi neophodni za održavanje funkcionalnosti kopnenih ekosistema i ljudskih aktivnosti (Bardgett i van der Putten, 2014). Pored svoje uloge kao supstrata za rast biljaka, tlo predstavlja stanište velikog broja mikroorganizama i beskičmenjaka koji učestvuju u kruženju materije i energije, razgradnji organske materije i održavanju biološke ravnoteže ekosistema. Mezofauna tla obuhvata organizme veličine približno 0,1–2 mm, među kojima

su najzastupljenije grinje (Acari) i skokuni (Collembola), koji često čine više od polovine ukupne brojnosti mezofaune. Pored njih, značajnu ulogu imaju nematode (Nematoda), diplure (Diplura), proture (Protura) i druge grupe sitnih artropoda. Ovi organizmi učestvuju u fragmentaciji organske materije, stimulaciji mikrobne aktivnosti i ubravanju procesa mineralizacije hranjivih elemenata. Mezofauna djeluje kao posrednik između mikroorganizama i makrofaune tla, utičući na brzinu razgradnje detritusa, humifikaciju, aeraciju tla i redistribuciju hranjivih elemenata, uključujući azot, fosfor i ugljenik (Lavelle i sar., 2006; Rusek, 1998). Zbog svoje osjetljivo-

* Corresponding author: Ena Nezirović Omerdić, ena.nezirovic@untz.ba | Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Tuzla

sti na promjene uslova sredine, mezofauna tla predstavlja značajan bioindikator ekološkog stanja tla, naročito u agroekosistemima i urbanim sredinama (Bardgett i van der Putten, 2014).

Problem istraživanja ogleda se u potrebi za pouzdanim indikatorima ekološkog kvaliteta tla, jer intenzivna poljoprivreda, urbanizacija i klimatske promjene dovode do degradacije tla, smanjenja biodiverziteta i narušavanja funkcionalnih procesa u tlu. Iako su fizičke i hemijske analize tla standardni alati za procjenu kvaliteta zemljišta, one često ne odražavaju stvarnu biološku funkcionalnost ekosistema (Ilić i sar., 2018). Stoga istraživanja mezofaune tla i njene primjene kao bioindikatora omogućavaju detaljniji uvid u ekološki status tla i stepen očuvanosti edafskih ekosistema.

Pregled dosadašnjih istraživanja pokazuje da su klasične taksonomske studije predstavljale osnovu za razumijevanje sastava mezofaune u različitim staništima (Hopkin, 2007; Rusek, 1998). Savremena istraživanja dodatno ističu povezanost biodiverziteta tla i ekosistemskih funkcija, kao i značaj funkcionalnih indeksa u procjeni kvaliteta tla (Bardgett i van der Putten, 2014; Lavelle i sar., 2006). Regionalna istraživanja ukazuju da prirodna i šumska tla imaju veću raznovrsnost mezofaune u odnosu na intenzivno korištena poljoprivredna i urbana tla (Ilić i sar., 2018; Marković i sar., 2021). Pored klasičnih metoda, savremeni pristupi uključuju primjenu funkcionalnih indeksa i molekularnih metoda, poput eDNA analize, čime se omogućava preciznija procjena raznovrsnosti i funkcionalnog kapaciteta mezofaune tla.

Cilj ovog preglednog rada je prikazati različite metodološke pristupe i indikatore ekološkog kvaliteta tla zasnovane na brojnosti, sastavu i funkcionalnoj ulozi mezofaune tla. Poseban fokus stavljen je na primjenu funkcionalnih i strukturnih indeksa biodiverziteta u procjeni kvaliteta tla u šumskim, poljoprivrednim i urbanim ekosistemima Balkanskog poluotoka.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH – Materijali i metode istraživanja

S obzirom na to da se radi o preglednom radu, korištena je metoda analize i sinteze relevantne naučne literature iz oblasti pedoekologije i biologije tla. Analizirani su originalni i pregledni naučni radovi koji se odnose na sastav mezofaune tla, njenu ekološku ulogu, metodološke pristupe istraživanju i primjenu različitih indeksa biodiverziteta u procjeni kvaliteta tla. Posebna pažnja posvećena je istraživanjima sprovedenim u šumskim, poljoprivrednim i urbanim ekosistemima Balkanskog poluotoka.

U radu su analizirani različiti indikatori ekološkog kvaliteta tla zasnovani na brojnosti, sastavu i funkcionalnoj ulozi mezofaune tla. Indeks kvaliteta biocenoze tla (IQB) korišten je kao funkcionalni indikator za procjenu biološkog stanja tla na osnovu prisustva i zastupljenosti različitih taksonomskih grupa mezofaune. Ovaj indeks omogućava procjenu stepena očuvanosti i stabilnosti edafskog ekosistema. QBS-ar indeks analiziran je kao pokazatelj stepena ekomorfološke adaptacije artropoda na život u tlu. Vrijednosti indeksa zasnovane su na prisustvu morfoloških karakteristika koje ukazuju na prilagođenost organizama edafskim uslovima, čime se omogućava procjena biološkog kvaliteta tla. Shannon–Wienerov indeks korišten je za procjenu raznovrsnosti i ravnomjernosti zajednica mezofaune tla. Ovaj indeks omogućava kvantifikaciju biodiverziteta i poređenje različitih tipova staništa i stepena antropogenog uticaja. Simpsonov indeks primijenjen je za procjenu dominacije pojedinih taksona unutar zajednice mezofaune tla. Njegove vrijednosti omogućavaju uvid u stepen poremećenosti i stabilnosti ekosistema. Berger–Parkerov indeks korišten je za određivanje stepena dominacije najbrojnijeg taksona u zajednici mezofaune. Ovaj indeks posebno je značajan u istraživanjima degradiranih i antropogeno izmijenjenih staništa. Dobijeni podaci iz analiziranih studija korišteni su za komparativnu analizu primjene navedenih indeksa u različitim tipovima ekosistema, s ciljem procjene njihove efikasnosti u određivanju ekološkog statusa i biološkog kvaliteta tla.

Metodologija istraživanja mezofaune tla

Istraživanje mezofaune tla obuhvata nekoliko ključnih faza: uzorkovanje tla, ekstrakciju organizama, konzervaciju, determinaciju i obradu podataka. Najčešće se koriste cilindrični uzorkivači standardizovanih dimenzija, a uzorkovanje se obavlja sezonski i prostorno, uz odgovarajući broj ponavljanja. Za ekstrakciju mezofaune najčešće se primjenjuju Tullgrenov i Berleseov aparat, dok se Baermannova metoda koristi za ekstrakciju nematoda. Nakon ekstrakcije, organizmi se konzerviraju u etanolu, a determinacija se vrši pomoću standardnih determinacionih ključeva (Hopkin, 2007; Krantz i Walter, 2009). Dobijeni podaci koriste se za izračunavanje bioloških indeksa i statističku analizu.

RESULTS – Rezultati

Indeksi biodiverziteta mezofaune tla

U procjeni kvaliteta tla koriste se različiti indeksi biodiverziteta koji omogućavaju kvantitativnu analizu strukture zajednice mezofaune.

Indeks kvaliteta biocenoze tla (IQB)

Indeks kvaliteta biocenoze tla (IQB) predstavlja jedan od ranije razvijenih funkcionalnih indeksa za procjenu biološkog stanja tla, zasnovan na strukturi zajednice mezofaune. Polazi se od pretpostavke da različite taksonomske grupe mezofaune pokazuju različit stepen osjetljivosti na promjene u uslovima sredine, te da njihovo prisustvo i relativna zastupljenost odražavaju stepen očuvanosti edafskog ekosistema (Rusek, 1998). Prilikom izračunavanja IQB indeksa, svakoj taksonomskoj grupi mezofaune dodjeljuje se ponderisana vrijednost (w_i), koja zavisi od njene ekološke uloge, stepena adaptacije na život u tlu i tolerancije na degradacione procese. Grupe karakteristične za stabilna i slabo poremećena tla dobijaju veće ponderisane vrijednosti, dok se tolerantnijim i oportunističkim grupama dodjeljuju niže vrijednosti. Vrijednost indeksa izračunava se prema formuli: $\text{IQB} = \sum (n_i \times w_i)$ gdje je n_i prisustvo ili relativna zastupljenost i-te taksonomske grupe, a w_i njena ponderisana vrijednost. Više vrijednosti IQB indeksa ukazuju na viši biološki kvalitet tla i stabilniju biocenozu (Rusek, 1998). Primjena IQB indeksa omogućava detekciju promjena u biološkoj strukturi tla koje nisu uvijek uočljive na osnovu abiotičkih parametara. Posebno je značajan u istraživanjima uticaja poljoprivrednih praksi, kao što su intenzivna obrada tla, primjena pesticida i mineralnih đubriva, gdje dolazi do smanjenja osjetljivih i povećanja tolerantnih grupa mezofaune. U takvim uslovima, zabilježene su niže vrijednosti IQB indeksa, što ukazuje na narušenu biološku ravnotežu tla (Lavelle i sar., 2006). U ekotoksikološkim studijama, IQB indeks se koristi za procjenu efekata zagađenja teškim metalima i drugim kontaminantima, budući da promjene u sastavu mezofaune predstavljaju rani indikator ekološkog stresa. Dugotrajna izloženost zagađenju dovodi do pojednostavljenja strukture zajednice i dominacije tolerantnih taksona, što rezultira smanjenjem vrijednosti IQB indeksa (Bardgett i van der Putten, 2014). Prednost IQB indeksa ogleda se u njegovoj relativnoj jednostavnosti i širokoj primjenjivosti, ali njegova upotreba zahtijeva dobro poznavanje lokalne mezofaune, jer ponderisane vrijednosti mogu varirati u zavisnosti od staništa i regiona. Zbog toga se u savremenim istraživanjima često kombinuje sa drugim funkcionalnim i klasičnim indeksima biodiverziteta, poput QBS-ar, Shannon–Wienerovog i Simpsonovog indeksa, radi sveobuhvatnije procjene kvaliteta tla (Parisi i sar., 2005; Magurran, 2004).

QBS-ar indeks

QBS-ar indeks (Soil Biological Quality Index – Arthropods) predstavlja funkcionalni biološki indeks koji se zasniva na stepenu ekomorfološke adaptacije artropoda

na edafski način života. Osnovna pretpostavka indeksa jeste da stepen morfološke prilagođenosti artropoda životu u tlu odražava stabilnost i ekološki kvalitet edafskog ekosistema. U stabilnim i slabo poremećenim tlima očekuje se veća zastupljenost visoko adaptiranih edafskih formi, dok degradirana tla karakteriše dominacija slabo adaptiranih ili epigeičnih organizama. Prilikom izračunavanja QBS-ar indeksa, artropodi se svrstavaju u morfološke grupe, pri čemu se svakoj grupi dodjeljuje ekomorfološki indeks (EMI). Vrijednosti EMI-a određuju se na osnovu prisustva morfoloških karakteristika koje ukazuju na prilagođenost životu u tlu, kao što su redukcija očiju i pigmentacije, skraćivanje ekstremiteta, mekša kutikula i dorzoventralno spljošteno tijelo. Vrijednosti EMI-a obično se kreću od 1 (slabo adaptirane epigeične forme) do 20 (visoko adaptirane edafske forme) (Parisi i sar., 2005). Ukupna vrijednost QBS-ar indeksa izračunava se kao zbir najvećih EMI vrijednosti registrovanih morfoloških grupa u uzorku, prema sljedećoj formuli: $\text{QBS-ar} = \sum \text{EMI}_i(\text{max})$ gdje $\text{EMI}_i(\text{max})$ predstavlja najveću ekomorfološku vrijednost i-te morfološke grupe prisutne u uzorku. Svaka morfološka grupa ulazi u obračun samo jednom, bez obzira na brojnost jedinki, čime se naglašava kvalitativni, a ne kvantitativni karakter indeksa. Jedna od glavnih prednosti QBS-ar indeksa ogleda se u činjenici da ne zahtijeva determinaciju organizama do nivoa vrste, što omogućava brzu, ekonomičnu i standardizovanu primjenu u različitim tipovima staništa. Zbog svoje jednostavnosti i osjetljivosti na promjene u strukturi zajednice, QBS-ar indeks se široko koristi u dugoročnim monitoring programima, procjeni efekata poljoprivrednih praksi, degradacije staništa i zagađenja tla (Parisi i sar., 2005; Bardgett i van der Putten, 2014).

Shannon–Wienerov i Simpsonov indeks

Shannon–Wienerov indeks diverziteta (H') predstavlja jedan od najčešće korištenih klasičnih indeksa biodiverziteta u ekološkim istraživanjima, uključujući i proučavanje zajednica mezofaune tla. Ovaj indeks istovremeno uzima u obzir bogatstvo taksona i njihovu relativnu zastupljenost, čime omogućava kvantifikaciju strukturne kompleksnosti i ravnomjernosti zajednice (Magurran, 2004). Vrijednost indeksa izračunava se prema sljedećoj formuli: $H' = - \sum (p_i \ln p_i)$ gdje p_i predstavlja udio jedinki i-tog taksona u ukupnom broju jedinki zajednice. U istraživanjima mezofaune tla, Shannon–Wienerov indeks se široko primjenjuje u poređenju različitih tipova staništa, sezonskih varijacija i uticaja načina korištenja zemljišta. Šumska tla u pravilu pokazuju više vrijednosti H' indeksa u odnosu na intenzivno obrađivana poljoprivredna i urbana tla, što ukazuje na složeniju i stabilniju strukturu zajednice mezofaune (Magurran, 2004; Bardgett i van der Putten, 2014).

Simpsonov indeks diverziteta predstavlja mjeru vjerovatnoće da dvije nasumično odabrane jedinke iz uzorka pripadaju istom taksonu. Za razliku od Shannon–Wienerovog indeksa, Simpsonov indeks je izraženije osjetljiv na dominantne taksone u zajednici, zbog čega je posebno pogodan za detekciju promjena u ravnomjernosti i dominaciji zajednice mezofaune tla (Magurran, 2004). Simpsonov indeks izračunava se prema sljedećoj formuli: $D = \sum (p_i^2)$ gdje p_i predstavlja relativnu zastupljenost i -tog taksona u zajednici. Više vrijednosti Simpsonovog indeksa ukazuju na dominaciju manjeg broja taksona i smanjenu raznolikost zajednice, dok niže vrijednosti indeksa odražavaju veću ravnomjernost i bogatstvo taksona. U degradiranim, zagađenim ili intenzivno korištenim tlima često se registruju povišene vrijednosti Simpsonovog indeksa, što ukazuje na dominaciju tolerantnih i oportunističkih grupa mezofaune, kao što su pojedine grupe grinja ili nematoda. Suprotno tome, prirodna i slabo poremećena tla karakterišu niže vrijednosti Simpsonovog indeksa, koje odražavaju uravnoteženiju strukturu zajednice (Bardgett i van der Putten, 2014). U savremenim pedoeколошkim istraživanjima, Shannon–Wienerov i Simpsonov indeks se najčešće primjenjuju komplementarno, čime se omogućava detaljnija interpretacija strukturnih promjena u zajednicama mezofaune tla i pouzdanija procjena ekološkog statusa tla (Magurran, 2004).

Berger–Parkerov indeks dominacije

Berger–Parkerov indeks dominacije predstavlja jednostavan, ali informativan pokazatelj strukture biološke zajednice, koji izražava relativni udio najbrojnijeg taksona u ukupnom broju jedinki. Ovaj indeks se koristi za procjenu stepena dominacije unutar zajednice i posebno je osjetljiv na poremećaje koji dovode do smanjenja ravnomjernosti i povećanja udjela tolerantnih grupa mezofaune tla (Magurran, 2004). Vrijednost Berger–Parkerovog indeksa izračunava se prema sljedećoj formuli: $d = N_{max} / N$ gdje N_{max} predstavlja broj jedinki najbrojnijeg taksona, dok N označava ukupan broj jedinki u uzorku. Vrijednosti indeksa kreću se od 0 do 1, pri čemu više vrijednosti ukazuju na izraženiju dominaciju jednog taksona i smanjenu ukupnu raznolikost zajednice. U tlima izloženim intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji, urbanizaciji ili zagađenju, često se registruju povišene vrijednosti Berger–Parkerovog indeksa, što ukazuje na narušenu strukturu zajednice mezofaune. Takvi uslovi pogoduju razvoju tolerantnih i oportunističkih grupa, dok se osjetljivije edafske forme postepeno potiskuju ili nestaju. Kao posljedica toga dolazi do pojednostavljenja zajednice i povećane dominacije pojedinih taksona, najčešće određenih grupa grinja (Oribatida) i nematoda (Bardgett i van der Putten, 2014). Suprotno tome,

prirodna i slabo poremećena tla karakterišu niže vrijednosti Berger–Parkerovog indeksa, što odražava ravnomjerniju raspodjelu jedinki među taksonima i veću strukturnu složenost zajednice mezofaune. Zbog svoje jednostavnosti i jasne interpretacije, Berger–Parkerov indeks se često koristi u kombinaciji sa Shannon–Wienerovim i Simpsonovim indeksom, čime se omogućava sveobuhvatnija procjena biodiverziteta i ekološkog statusa tla (Magurran, 2004).

DISCUSSION – Diskusija

Na osnovu analize dostupne literature može se zaključiti da mezofauna tla predstavlja jedan od najvažnijih bioloških elemenata edafskih ekosistema, sa značajnom ulogom u procesima razgradnje organske materije, kruženja hranjivih elemenata, humifikacije i održavanja strukture tla. Zbog izražene osjetljivosti na promjene abiotičkih i biotičkih faktora, mezofauna se danas smatra pouzdanim bioindikatorom kvaliteta tla u različitim tipovima ekosistema, uključujući prirodna, poluprirodna i antropogeno izmijenjena staništa.

Dosadašnja istraživanja ukazuju da funkcionalni indeksi, poput QBS-ar i IQB indeksa, zajedno sa klasičnim indeksima biodiverziteta, kao što su Shannon–Wienerov i Simpsonov indeks, omogućavaju detaljniju procjenu biološkog kvaliteta tla i stabilnosti edafskih ekosistema. Funkcionalni indeksi daju uvid u stepen adaptacije organizama životu u tlu i reflektuju funkcionalnu strukturu zajednice, dok klasični indeksi omogućavaju procjenu raznovrsnosti, ravnomjernosti raspodjele i dominacije pojedinih taksona. Kombinovana primjena ovih pokazatelja pruža najpotpuniju sliku ekološkog statusa tla i omogućava preciznije razlikovanje očuvanih i degradiranih staništa.

Za područje Balkanskog poluotoka posebno su značajni rezultati istraživanja koji pokazuju da prirodni šumski ekosistemi imaju znatno više vrijednosti QBS-ar i IQB indeksa u poređenju sa poljoprivrednim i urbanim tlima. Više vrijednosti ovih indeksa u šumskim tlima ukazuju na prisustvo većeg broja visoko adaptiranih edafskih formi i stabilniju strukturu mezofaune, dok antropogeno opterećena tla karakterišu smanjena raznovrsnost i dominacija tolerantnih morfoloških grupa. Slični obrasci zabilježeni su i u drugim evropskim istraživanjima, gdje prirodni ekosistemi pokazuju viši stepen biološke stabilnosti i očuvanosti tla u odnosu na intenzivno korištene agroekosisteme i urbana staništa.

Istraživanja provedena na Balkanskom poluotoku još uvijek nisu dovoljno brojna niti metodološki ujednačena, posebno kada su u pitanju dugoročna i sezonska

istraživanja mezofaune tla. Većina dostupnih studija fokusirana je na poređenje prirodnih i antropogeno izmijenjenih staništa, dok su podaci o prostornoj i vremenskoj dinamici zajednica mezofaune relativno ograničeni. Zbog toga postoji potreba za daljim interdisciplinarnim istraživanjima koja bi obuhvatila različite tipove tala, klimatske uslove i intenzitet antropogenih uticaja.

Za područje Balkana, uključujući Bosnu i Hercegovinu, posebno korisnim pokazateljima mogu se smatrati QBS-ar i IQB indeks, jer omogućavaju relativno jednostavnu i ekonomičnu procjenu biološkog kvaliteta tla, bez potrebe za determinacijom organizama do vrste. Ovi indeksi su pogodni za monitoring različitih tipova staništa, posebno šumskih i poljoprivrednih ekosistema koji dominiraju ovim područjem. Njihova kombinacija sa Shannon–Wienerovim i Simpsonovim indeksom omogućava detaljnije sagledavanje promjena u strukturi zajednice i biodiverzitetu mezofaune, što je naročito značajno u uslovima pojačanog antropogenog pritiska i klimatskih promjena. Savremeni pristupi procjeni kvaliteta tla sve više naglašavaju potrebu integracije bioloških pokazatelja u standardne programe monitoringa. Primjena funkcionalnih i klasičnih indeksa biodiverziteta može značajno doprinijeti održivom upravljanju tlom, očuvanju ekosistemskih funkcija i preciznijoj procjeni stepena degradacije tla. U tom smislu, mezofauna tla predstavlja važan indikator ekološke stabilnosti i potencijalno vrijedan alat u budućim pedoeколошkim istraživanjima na Balkanskom poluotoku.

to assess soil quality and biodiversity: A new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105(1–2), 323–333. Elsevier.

Rusek, J. (1998). Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7(9), 1207–1219. Springer.

Internet izvori

Ilić, B., Petrović, J., & Stanković, S. (2018). Soil mesofauna as indicators of soil quality in forest and agricultural ecosystems of the Balkans. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 19(2), 455–463. Preuzeto sa <https://www.scibulcom.net>

Marković, M., Jovanović, D., & Nikolić, A. (2021). Application of biodiversity indices in assessment of soil ecological status in urban and forest ecosystems. *Archives of Biological Sciences*, 73(4), 589–601. Preuzeto sa <https://www.serbiosoc.org.rs>

REFERENCES – Literatura

Štampani izvori

Bardgett, R. D., & van der Putten, W. H. (2014). *Belowground biodiversity and ecosystem functioning*. Oxford University Press.

Hopkin, S. P. (2007). *A key to the Collembola (springtails) of Britain and Ireland*. Field Studies Council.

Krantz, G. W., & Walter, D. E. (2009). *A manual of acarology* (3rd ed.). Texas Tech University Press.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., & Rossi, J. P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42(S1), S3–S15. Elsevier.

Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing.

Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C., & Mozzanica, E. (2005). Microarthropod communities as a tool

SUMMARY

This review paper analyzes the role of soil mesofauna in maintaining the biological balance and functionality of edaphic ecosystems, with particular emphasis on its application as a bioindicator of soil quality in forest, agricultural, and urban habitats of the Balkan Peninsula. The study is based on a synthesis of relevant scientific literature in the fields of pedoecology and soil biology, including original research and review studies addressing mesofaunal composition, its ecological role, sampling and extraction methods, and the application of biodiversity indices. Particular attention is given to functional and conventional indices, including the Soil Biocenosis Quality Index (IQB), the QBS-ar index, and the Shannon–Wiener, Simpson, and Berger–Parker indices. The findings indicate that soil mesofauna, particularly mites (Acari) and springtails (Collembola), plays a key role in organic matter decomposition, stimulation of microbial activity, and nutrient cycling. The analyzed indices demonstrate the high sensitivity of mesofauna to anthropogenic impacts and changes in environmental factors, making these organisms reliable indicators of the ecological status of soils. The discussion confirms that the combined application of functional and structural indices, together with standardized methodological approaches, enables an accurate assessment of soil biological quality. It is concluded that soil mesofauna represents a valuable tool for monitoring, conservation, and sustainable land management, and that further long-term and systematic research is needed to enable the monitoring of seasonal and spatial variations in mesofaunal communities.

Received: March, 23, 2026; **Accepted:** June, 6, 2026; **Published:** July, 31, 2026

Funding: This research received no external funding.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.



© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).