

ZNAČAJKE ŠUMSKE PROSTIRKE I TLA U ŠUMI OBIČNE JELE I CRNOGA GRABA (*OSTRYO-ABIETETUM* /FUKAREK 1963/ TRINAJSTIĆ 1983) NA BOKOVO

FOREST FLOOR AND SOIL PROPERTIES OF SILVER FIR AND EUROPEAN HOP HORNBEAM FORESTS (*Ostryo-Abietetum* /Fukarek 1963/Trinajstić 1983) ON BOKOVO MOUNTAIN

Darko BAKŠIĆ, Nera BAKŠIĆ, Daniel KRSTNOŠIĆ, Nikola PERNAR, Ivan PERKOVIĆ, Stjepan MIKAC,
Vibor ROJE, Branimir KRTALIĆ

SAŽETAK

Brojna istraživanja pokazuju da su šume obične jele ugrožene klimatskim promjenama, posebice na južnim rubovima njihova rasprostranjenja gdje su negativni učinci zatopljenja izraženiji. Šume jele i crnoga graba rastu od 850 m do 1150 m nadmorske visine na kontinentalnoj padini planine Biokovo na karakterističnom vrtačastom reljefu, koji utječe na mozaični raspored golih stijena, tla, vegetacije i šumske prostirke. Cilj ovoga istraživanja je, po prvi puta, za termofilne i najjužnije šume jele i crnoga graba u Hrvatskoj utvrditi fiziografske značajke šumske prostirke i tla te sadržaj teških metala u površinskom sloju tla, pa usporediti dobivene podatke za šumsku prostirku i tlo s podacima za ostale jelove zajednice Hrvatske. Terenskim opažanjima u nizu vrtača utvrđeno je da ljeti (sušno i toplo razdoblje) iz jamskih otvora i pukotina struji hladan zrak, stvarajući u vrtačama specifične mikroklimatske uvjete koji pogoduju jeli i mogu potencijalno biti važan čimbenik njenog opstanka. U šumi jele i crnoga graba utvrđene su značajne količine šumske prostirke i zalihe ugljika, koje su u rasponu od 2,86 kg m⁻² do 11,59 kg m⁻², odnosno od 1,13 kg m⁻² do 4,89 kg m⁻² uz izrazitu prostornu varijabilnost. Po fiziografskim značajkama površinskog sloja tla šume jele i crnoga graba grupiraju se uz bukovo-jelove šume sjevernog Velebita i Gorskog kotara, što upućuje na dominantan pedogenetski utjecaj (karbonatnog) matičnog supstrata. Osnovni limitirajući čimbenik tla šuma jele i crnoga graba njegova je mala dubina. U površinskom sloju tla utvrđen je povišen do vrlo visok sadržaj teških metala Cu, Pb, Zn, Ni i Cd.

KLJUČNE RIJEČI: obična jela, tlo, šumska prostirka, crni grab, klimatske promjene

UVOD INTRODUCTION

Brojna istraživanja ukazuju na ugroženost šuma obične jele, gdje se negativan učinak aktualnih klimatskih promjena (IPCC 2023) manifestira kroz porast temperature, promjenu

sezonske raspodjele oborina i učestaliju pojavu sušnih razdoblja, posebno u ljetnom periodu, na koje je jela osjetljiva (Battipaglia i dr. 2009, Čavlović i dr. 2015, Gazol i dr. 2015, Ugarković i dr. 2021). Suša je jedan od čimbenika koji utječu na rast i opstanak stabala. Smanjenje biodostupne vode u

tlu uzrokuje poremećaj u metabolizmu stabala (fotosinteza pada, a respiracija raste) čime se posljedično smanjuje stupanj vezanja ugljika iz atmosfere, reducira rast i smanjuje sposobnost reprodukcije i obrane od patogena i insekata (McDowell & Sevanto 2010). Suša uzrokuje niske koncentracije kalcija u iglicama jele (Potočić i dr. 2005), a oslabljela i jače osuta stabla imaju veće teškoće u reguliranju stanja ishrane dušikom (Potočić i dr. 2007). Niže koncentracije kalcija i magnezija u iglicama jele povezane sa sušom, potvrdila su i istraživanja Ugarković i dr. (2011). Navedeni čimbenici smanjuju vitalnost jele, čime se povećava njezina osjetljivost na štetnike. Oslabljene i oštećene sastojine osjetljivije su na napade sekundarnih štetnika kao što su potkornjaci (Pernek i dr. 2008, Pernek & Lacković 2011).

Osim utjecaja klimatskih promjena, značajan faktor koji može utjecati na stanje šumskih ekosustava je i zagađenost. Elling i dr. (2009) utvrdili su poremećaj u rastu i povećan mortalitet stabala jele u područjima sa zagađenjem zraka, što su za područje Gorskog kotara i Like potvrdila istraživanja Čavlović i dr. (2015), gdje je utvrđen negativan utjecaj emisije SO₂ na radijalni prirast jele za razdoblje od 1962. do 2001. godine. Posebnu se pozornost treba posvetiti populacijama smještenim na južnijim rubovima areala, jer su one osjetljivije na klimatske promjene (Hampe & Petit, 2005). Tako su Ugarković i dr. (2011) utvrdili su da je intenzitet odumiranja stabala jele, za područje Gorskog kotara, u sastojinama na rubu areala značajno veći od intenziteta odumiranja stabala u unutrašnjosti areala.

Izolirana populacija jele na Biokovu, najjužnija je u Hrvatskoj i nalazi se na rubu areala, posebice u termofilnijoj zajednici sa crnim grabom, a na temelju navedenog može se očekivati da će biti značajnije izložena negativnim utjecajima klimatskih promjena. Jela na Biokovu, zbog svog izoliranog položaja i specifičnih ekoloških uvjeta u kojima dolazi, pokazuje razlike u morfologiji zbog kojih su je neki znanstvenici smatrali vrstom, odnosno podvrstom (Šoljan i Šolić 1987, Šoljan 1990, Borzan i dr. 1992, Lovrić i Rac 1992, Rac i Lovrić 1992), dok su drugi navodili da se radi o ekotipu obične jele (Vidaković 1993, Trinajstić, 1999, 2001), što je kasnije i potvrđeno molekularno-genetskim istraživanjima (Ballian 2005, Ballian i Halilović 2016). Do sada provedeni pokusi provenijencija jele (Ivanković i Marjanović 2005, Gradečki-Poštenjak 2010), u kojima je bila uključena i biokovska jela, nisu imali za cilj istražiti fiziološki odziv jele na sušni stres i oporavak nakon suše. Takvim istraživanjem utvrdilo bi se je li biokovska jela, i u kojoj mjeri, prilagođena na stresne uvjete, čime bi potencijalno porasla njena važnost kao genskog resursa. Međutim, za to je nužno i poznavanje stanišnih uvjeta u kojima ta jela opstaje. Općenito su, jelove šume na Biokovu, u odnosu na ostatak jelovih šuma Hrvatske, u znanstvenom pogledu zapostavljene – prepoznaje se deficit kvalitetnih informacija, posebno o specifičnim ekološkim (stanišnim) uvjetima, odnosno klimatskim, edafskim, geomorfološkim i biotskim čimbenicima.

Iako se od 1987. godine u Republici Hrvatskoj, u okviru programa „ICP Forests“ (<https://www.icp.sumins.hr/>) suštavno motri oštećenost šumskih ekosustava, jela s Biokova nije uključena u plohe motrenja, pa zapravo nema dostupnih podataka o njenom stanju. Kako postoje podaci koji upućuju na vrlo povišen sadržaj teških metala, posebice olova, u području šuma crnog bora na Biokovu (Vrbek i Vrbek, 2011), moglo bi se očekivati da se slični rezultati pokažu i kod jelovih šuma Biokova. Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi fiziografske značajke tla i šumske prostirke, sadržaj nekih teških metala u površinskom sloju tla te usporediti dobivene podatke za šumsku prostirku i tlo s ostalim jelovim zajednicama Hrvatske.

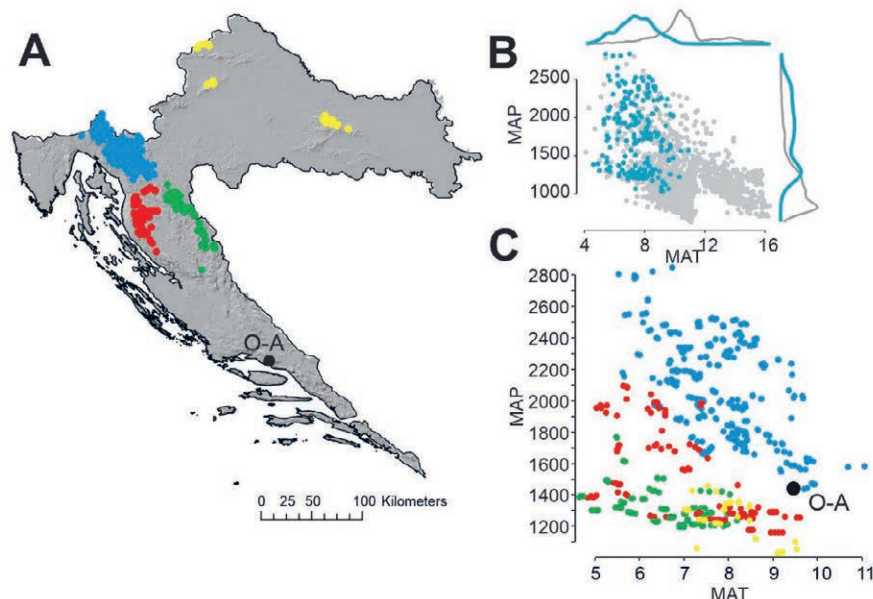
MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA MATERIAL AND METHODS OF RESEARCH

Područje istraživanja – *Research area*

Šume jele i crnoga graba (*Ostrya-Abietetum* /Fukarek 1963/ Trinajstić 1983) – oznaka O-A, na Biokovu rasprostiru se na nadmorskoj visini u rasponu od 850 m do 1150 m na vrtačastim platoima izgrađenima od vapnenačko-dolomitnih blokova ispresijecanih dubljim škrapama i pukotinama, na kalkomelanosolu i kalkokambisolu, a blizina mora daje im termofilniji karakter od ostalih jelovih šuma i omogućuju specifičan florni sastav (Vukelić i dr. 2008). S obzirom da u području rasprostiranja jele na Biokovu nema primjerenih meteoroloških postaja, za potrebe grubog opisa i usporedbu klimatskih značajki O-A s klimatskim značajkama jelovih šuma u Hrvatskoj korišteni su podaci, odnosno karte iz Klimatskog atlasa Hrvatske (Zaninović i dr. 2008) za razdoblje 1961. – 1990. godine.

Srednja godišnja temperatura zraka u O-A iznosi između 9 i 10 °C, a srednja godišnja količina oborine od 1400 do 1500 mm. Značajnije je, međutim, promatrati temperaturne vrijednosti i količinu oborine tijekom vegetacijskog razdoblja pa bi u O-A srednja temperatura zraka u srpnju bila između 19 i 20 °C, a količina oborine od travnja do listopada 400 do 500 mm. Kada se klimatske značajke za O-A na Biokovu usporede s klimatskim značajkama jelovih šuma u Hrvatskoj (Seletković 2001, Medvedović 2001) može se reći da se srednje godišnje vrijednosti temperature zraka, godišnje vrijednosti količine oborine i količine oborine u vegetacijskom razdoblju značajno razlikuju od onih za jelove šume Gorskog kotara i sjevernog i srednjeg Velebita. Klimatske značajke jelovih šuma Biokova najbližije su onima iz nižih područja Like (slika 1).

Ako se uspoređuje količina oborine u vegetacijskom razdoblju, jelove šume Biokova imaju najmanje vrijednosti količina, posebno ako se uzme u obzir da u Klimatskom atlasu Hrvatske dane vrijednosti količine oborine uključuju jedan mjesec više (od travnja do listopada) u odnosu na podatke koje daju Seletković (2001) i Medvedović (2001). Srednja



Slika 1. Prostorni položaj nalazišta obične jele u RH: žute oznake Panonska Hrvatska, plave – Gorski kotar, crvene – Velebit, zelene – Kapela i Plješivica A. Odnos između prosječne temperature zraka MAT (°C) i ukupne količine oborina MAP (mm) za plohe na kojima se pojavljuje jela (plave točke) u odnosu na plohe gdje nema jele (sive točke) B. Odnos između prosječne temperature zraka MAT (°C) i ukupne količine oborina MAP (mm) za plohe na kojima se pojavljuje jela po područjima.

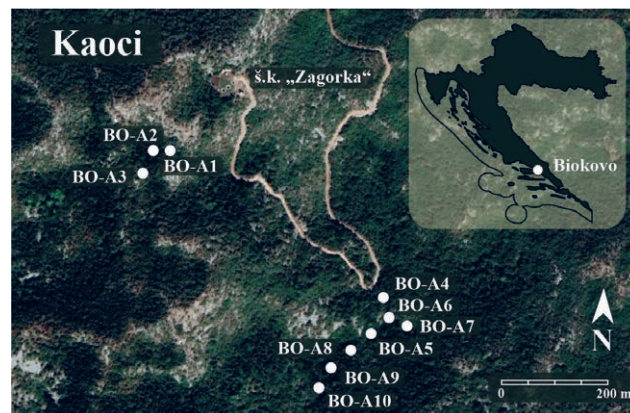
Figure 1. Spatial location of common fir sites in the Republic of Croatia: yellow marks Pannonian Croatia, blue - Gorski Kotar, red – Velebit, green – Kapela and Plješivica A. Relationship between mean annual temperature MAT (°C) and mean annual precipitation MAP (mm) for plots with fir (blue dots) versus plots without fir (grey dots) B. Relationship between mean annual temperature MAT (°C) and mean annual precipitation MAP (mm) for plots with fir by location.

mjesečna temperatura zraka u srpnju za termofilne jelove šume Biokova podjednaka je vrijednostima za područje je-lovih šuma Panonske Hrvatske.

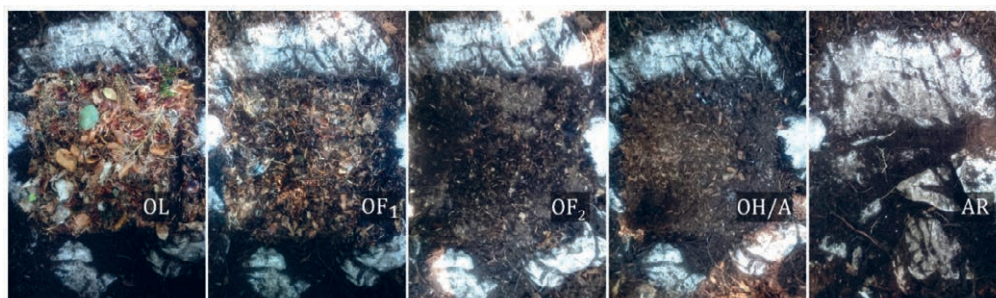
Šumska prostirka uzorkovana je unutar okvira dimenzija 30 cm × 30 cm po metodologiji detaljno opisanoj u Bakšić

Uzorkovanje šumske prostirke i tla – *Sampling of forest floor and soil*

Uzorkovanje šumske prostirke obavljeno je u predjelu Kaoci (slika 2) na 10 lokaliteta, unutar termofilne šume jele i crnoga graba: 5 lokaliteta u dnu vrtača gdje dominiraju stabla jela većih dimenzija; 3 lokaliteta u gornjoj trećini vrtača na mjestima gdje šumska prostirka i tlo uglavnom pokrivaju stijene, gdje su stabla jele tanjih dimenzija, izmješana sa stablima crnoga graba i 2 lokaliteta u dnu uvale gdje su stabla jele također većih dimenzija. Na jednom lokalitetu, u gornjoj trećini vrtače, tlo nije bilo moguće uzorkovati jer ga nije bilo, odnosno na vapnenačkoj stijeni bila je akumulirana samo šumska prostirka.



Slika 2. Područje istraživanja
Figure 2 Study site



Slika 3. Uzorkovanje šumske prostirke i površinskog sloja tla.
Figure 3 Sampling of the forest floor and topsoil.

i Bakšić (2017, 2020). Zasebno su uzorkovani podhorizonti šumske prostirke OL, OF₁, OF₂, OH (Schulp i dr. 2008) i površinski sloj tla do 10 cm dubine (slika 3).

Laboratorijske analize šumske prostirke i tla – Laboratory analyses of forest floor and soil

Masa suhe tvari uzoraka šumske prostirke određena je gravimetrijskom metodom nakon sušenja uzoraka na 100 °C 48 sati. Udjel organskog ugljika – OC (HRN ISO 10694, 2004) i ukupnog dušika – Nuk (HRN ISO 13878, 2004) u uzorcima šumske prostirke i tla određen je suhim spaljivanjem. Udjel vode (HRN ISO 11465:2004) određen je sušenjem uzoraka šumske prostirke (50 °C) i tla (105 °C) do konstantne mase. Granulometrijski sastav u mineralnom dijelu tla određen je metodom prosijavanja i sedimentacije (HRN ISO 11277, 2011). Na uzorcima tla određena je pH-vrijednosti u vodi i u otopini 0,01 mol dm⁻³ CaCl₂ (HRN ISO 10390, 2005). U uzorcima OH-podhorizonta (pH_{CaCl2} > 5,5) i tla (pH_{CaCl2} > 6) određen je udjel karbonata (HRN ISO 10693:2004), potreban za indirektnu metodu određivanja udjela organskog ugljika. Biogeni elementi i teški metali određeni su ekstrakcijom u zlatopotpi (HRN ISO 11466:2004). Određivanje koncentracija elemenata u priređenim otopinama obavljeno je tehnikom atomske emisijske spektrometrije uz induktivno spregnutu plazmu (ICP-AES).

Analiza podataka – Data analysis

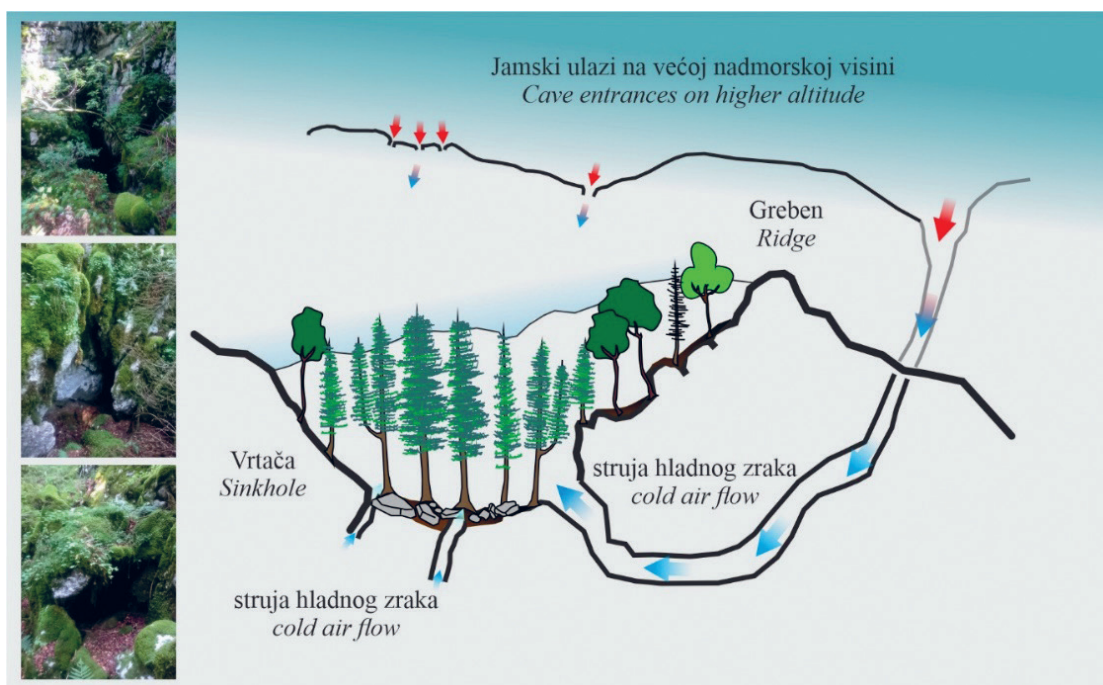
Za debljinu i količinu šumske prostirke, zalihu organskog ugljika (OC zaliha) i zalihu ukupnog dušika (Nuk zaliha)

po podhorizontima dana je deskriptivna statistika (N, aritmetička sredina, standardna devijacija te minimalne i maksimalne vrijednosti). Greška tipa I (α) od 5% smatrana je statistički značajnom (Sokkal i Rohlf 1995). Razlike količina prostirke, OC zaliha, Nuk zaliha prema položaju u reljefu testirane su analizom varijance ako je bio zadovoljen uvjet homogenosti varijance. Kad je analiza varijance pokazala da postoji statistički značajna razlika, pojedinačne razlike testirane su Tukey-evim višestrukim post hoc testom (Petz i dr., 2012). Za varijable kod kojih nije zadovoljen uvjet homogenosti varijance rađen je neparametrijski Kruskal-Wallis-ov test. Statistička analiza podataka obavljena je u programima Excel i Statistica 14 (TIBCO Software Inc. 2020). Utvrđeni sadržaj teških metala u površinskom sloju tla uspoređen je s maksimalno dopuštenim količinama (MDK) te je određen stupanj onečišćenja (So) prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 9/2014, NN 71/2019).

REZULTATI I RASPRAVA RESULTS AND DISCUSSION

Terenska opažanja – Field observations

Prilikom terenskih istraživanja zapaženo je da je jela, u dnu vrtača gdje je količina šumske prostirke veća, a tlo dublje, očekivano, vitalnija i u pravilu većih dimenzija te manje izložena odumiranju. U dnu vrtača mozaično se izmjenjuju kalkomelanosol, kalkokambisol plitki i rjeđe, srednje duboki. Dubina tla rijetko prelazi 40 cm. Iz jamskih otvora i



Slika 4. U nizu vrtača utvrđeno je da ljeti iz jama i pukotina pritječe hladan zrak stvarajući specifične mikroklimatske uvjete pogodne za jelu.

Figure 4. In a number of sinkholes, it was found that in summer (the dry and hot period) cold air flows in, from caves and cracks, creating specific microclimatic conditions in sinkholes that are favourable for fir.

Tablica 1. Količina šumske prostirke, OC zalihe i Nuk zalihe po podhorizontima OL, OF₁, OF₂ i OH u šumi jele i crnoga graba.
Table 1. Forest floor mass, OC stocks and Ntot stocks in OL, OF₁, OF₂ i OH subhorizons in fir and european hop hornbeam forests.

| Pod-horizont Sub-horizont | N | Količina prostirke (kg m ⁻²) Forest floor mass | | | | OC zaliha (kg m ⁻²) OC stock | | | | Nuk zaliha (kg m ⁻²) Ntot stock | | | |
|--|---|---|------------------------|--------------|---------------|---|------------------------|--------------|---------------|--|------------------------|--------------|---------------|
| | | Aritm. sred. Mean | Std. dev. Std. dev. | Min. Min. | Maks. Max. | Aritm. sred. Mean | Std. dev. Std. dev. | Min. Min. | Maks. Max. | Aritm. sred. Mean | Std. dev. Std. dev. | Min. Min. | Maks. Max. |
| dno vrtače sinkhole bottom | | | | | | | | | | | | | |
| OL | 5 | 0,69 | 0,25 | 0,41 | 1,05 | 0,35 | 0,15 | 0,20 | 0,56 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| OF ₁ | 5 | 1,22 | 0,21 | 0,99 | 1,50 | 0,56 | 0,12 | 0,43 | 0,72 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,02 |
| OF ₂ | 5 | 3,03 | 1,40 | 1,64 | 5,17 | 1,25 | 0,66 | 0,63 | 2,28 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,09 |
| OH | 5 | 3,10 | 1,08 | 1,63 | 4,50 | 1,09 | 0,41 | 0,61 | 1,69 | 0,06 | 0,02 | 0,04 | 0,10 |
| Ukupno Total | 5 | 8,03 | 2,52 | 4,81 | 11,59 | 3,24 | 1,11 | 1,93 | 4,89 | 0,14 | 0,04 | 0,09 | 0,21 |
| gornja trećina vrtače the upper third of the sinkhole | | | | | | | | | | | | | |
| OL | 3 | 0,44 | 0,20 | 0,23 | 0,63 | 0,22 | 0,10 | 0,11 | 0,31 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| OF ₁ | 3 | 1,19 | 0,52 | 0,80 | 1,79 | 0,53 | 0,26 | 0,38 | 0,83 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,02 |
| OF ₂ | 3 | 2,83 | 1,73 | 0,86 | 4,13 | 1,24 | 0,90 | 0,26 | 2,04 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,06 |
| OH | 3 | 1,25 | 0,69 | 0,55 | 1,93 | 0,48 | 0,34 | 0,13 | 0,81 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,03 |
| Ukupno Total | 3 | 5,71 | 2,49 | 2,86 | 7,49 | 2,48 | 1,31 | 1,02 | 3,54 | 0,08 | 0,03 | 0,05 | 0,11 |
| uvala karst valley | | | | | | | | | | | | | |
| OL | 2 | 1,18 | 0,14 | 1,08 | 1,28 | 0,55 | 0,07 | 0,50 | 0,60 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,02 |
| OF ₁ | 2 | 0,31 | 0,00 | 0,61 | 0,61 | 0,14 | 0,00 | 0,28 | 0,28 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| OF ₂ | 2 | 1,39 | 0,64 | 0,93 | 1,84 | 0,43 | 0,31 | 0,21 | 0,65 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,03 |
| OH | 2 | 1,31 | 0,18 | 1,18 | 1,44 | 0,42 | 0,01 | 0,41 | 0,43 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,02 |
| Ukupno Total | 2 | 4,18 | 1,04 | 3,45 | 4,92 | 1,54 | 0,57 | 1,13 | 1,94 | 0,07 | 0,02 | 0,05 | 0,08 |

pukotina u dnu vrtača ljeti se osjeća strujanje hladnog i vlažnog zraka (u nekim jamama na Biokovu zabilježena je temperatura zraka od 3 °C, Bušelić i Ozimec 2008). Hladan zrak ostaje „zarobljen“ u vrtači, čime se stvaraju specifični mikroklimatski uvjeti koji pogoduju opstanku jele. Na Biokovu, u vršnoj zoni velik je broj jamskih otvora, te nebrojen broj pukotina (potencijalnih viših ulaza), a na nižim nadmorskim visinama u zoni rasprostranjenja jele brojne su vrtače s jamskim otvorima i pukotinama (niži ulazi) što omogućuje cirkulaciju zraka između površine i podzemlja (slika 4). Iako je pojava zabilježena u većem broju vrtača, taj utjecaj nije kvantificiran. Sličnu pojavu zapazi je i opisao i Mihevc (2021) u Smrekovoj dragi u Sloveniji. Ako se utvrdi da je ova pretpostavaka točna, cirkulacija zraka između površine i podzemlja mogla je biti, i biti će, važna za opstanak jele. Rezultati istraživanja utjecaja klimatskih promjena na ekološku nišu jele (Anić i dr. 2009) pokazali su vjerojatnost značajnog smanjenja prostorne distribucije ekološke niše u odnosu na današnje stanje, pa se u budućnosti može očekivati i smanjenje areala jele na Biokovu te njeno povlačenje i preživljavanje u vrtačama.

DEBLJINE, KOLIČINE TE ZALIHE ORGANSKOG UGLJIKA I UKUPNOG DUŠIKA U ŠUMSKOJ PROSTIRCI

DEPTH, MASS AND STOCKS OF ORGANIC CARBON AND TOTAL NITROGEN IN FOREST FLOOR

Prosječna debljina šumske prostirke u šumi jele i crnoga graba iznosi 4,0 cm, a ovisi o položaju u reljefu, pa je tako najveća debljina šumske prostirke zabilježena u dnu vrtača 4,9 cm, u gornjoj trećini vrtača se smanjuje pa iznosi 3,7 cm, dok na grebenima prevladavaju stijene i kameni blokovi, a tlo i prostirka često potpuno izostaju. U uvali je debljina šumske prostirke iznosila 2,5 cm.

Kako su debljina šumske prostirke, njena količina i zalihe OC i Nuk zavisne varijable, one pokazuju isti trend. Tako je ukupna količina šumske prostirke u dnu vrtača najveća i kreće su u rasponu od 4,81 kg m⁻² do 11,59 kg m⁻². Manja količina, utvrđena je u gornjim dijelovima vrtača u rasponu od 2,86 kg m⁻² do 7,49 kg m⁻², a najmanja u dnu uvale, u rasponu od 3,45 kg m⁻² do 4,92 kg m⁻². Na stjenovitim i ka-

menitim grebenima nije bilo akumulirane šumske prostirke ili je bila akumulirana u značajno manjim količinama.

Nije utvrđena statistički značajana razlika u udjelu OC i Nuk u šumskoj prostirci između istovrsnih podhorizonta s obzirom na položaj u reljefu, pa srednje vrijednosti (aritm. sred. \pm std. dev.) po podhorizontima za OC iznose: u OL $49,09 \pm 2,32$ % (F 1,946, $p = 0,213$), u OF₁ $45,17 \pm 2,52$ % (F 0,136, $p = 0,876$), u OF₂ $38,01 \pm 7,48$ % (F 2,404, $p = 0,160$), a u OH $34,63 \pm 5,47$ % (F 0,214, $p = 0,812$). Udio Nuk u OL iznosi $1,49 \pm 0,47$ % (F 1,097, $p = 0,385$), u OF₁ $1,49 \pm 0,22$ % (F 0,943, $p = 0,441$), u OF₂ $1,53 \pm 0,31$ % (F 1,981, $p = 0,208$), a u OH $1,81 \pm 0,31$ % (F 1,513, $p = 0,284$).

Ukupna OC zaliha u dnu vrtača u rasponu je od $1,93 \text{ kg m}^{-2}$ do $4,89 \text{ kg m}^{-2}$. Manja OC zaliha utvrđena je u gornjim dijelovima vrtača u rasponu od $1,02 \text{ kg m}^{-2}$ do $3,54 \text{ kg m}^{-2}$, a još manja u dnu uvale u rasponu od $1,13 \text{ kg m}^{-2}$ do $1,94 \text{ kg m}^{-2}$. Ukupna Nuk zaliha u dnu vrtača kreće su u rasponu od $0,09 \text{ kg m}^{-2}$ do $0,21 \text{ kg m}^{-2}$. Manja Nuk zaliha utvrđena je u gornjim dijelovima vrtača u rasponu od $0,05 \text{ kg m}^{-2}$ do $0,11 \text{ kg m}^{-2}$, a još manja u dnu uvale u rasponu od $0,05 \text{ kg m}^{-2}$ do $0,08 \text{ kg m}^{-2}$. Deskriptivnom statistikom u tablici 1 prikazane su količine šumske prostirke, OC i Nuk zalihe po podhorizontima i ukupno.

Rubovi vrtača i grebeni imaju izraženiju stjenovitost, manju količinu šumske prostirke koja je prostorno neujednačeno akumulirana, te plitko tlo (kalkomelanosol). Tu do-

miniraju termofilne vrste drveća crni grab, hrast medunac, maklen i crni jasen, a stabla jele manjih su dimenzija te se pojavljuju sporadično ili izostaju. To je logično, jer su ovakvi položaji ljeti češće izloženi nepovoljnim sušnim uvjetima. Stabla jele uz rubove vrtača često su suha ili smanjene vitalnosti. Grebeni između vrtača na nekim su mjestima stjenoviti i kameniti bez vegetacije, prostirke i tla.

Dobiveni rezultati uspoređeni su s dostupnim rezultatima ranijih znanstvenih istraživanja (Bakšić 2002, Martinović 2003, Pernar i dr. 2008, Bakšić i dr. 2008, Glamočlija 2014, Bakšić i dr. 2020, Bakšić N 2022) za tri najzastupljenije je-love zajednice: zapadnodinarska bukovo-jelova šuma s miš-jim uhom (*Omphalodo-Fagetum* /Tregubov 1957/ Marinček i dr. 1993) – oznaka O-F; šuma jele s rebračom (*Blechno-Abietetum* Horvat /1938/ 1950) – oznaka B-A i panonska bukovo-jelova šuma s vlasuljom (*Festuco drymeiae-Abietetum* Vukelić et Baričević 2007) oznaka F-A (Tablica 2).

Količina akumulirane šumske prostirke, te OC i Nuk zaliha u zajednici O-A sa Biokova slična je onoj zajednice B-A iz Gorskog kotara, međutim udjel pojedinih podhorizonta u ukupnoj količini prostirke između ove dvije zajednice je različit, a najizraženija je razlika u udjelu OH-podhorizonta. U O-A OH-podhorizont čini 33 % ukupne mase, dok u B-A OH-podhorizont čini čak 76 % ukupne mase. O-F iz prašume Čorkova uvala ima manje srednje vrijednosti količina, OC i Nuk zaliha u šumskoj prostirci od O-A

Tablica 2. Količina, OC i Nuk zaliha u šumskoj prostirci različitih jelovih šuma Hrvatske: O-A (*Ostryo-Abietetum*), B-A (*Blechno-Abietetum*), O-F (*Omphalodo-Fagetum*) i F-A (*Festuco-Abietetum*)

Table 2. Mass, OC and Ntot stock in the forest floor of different fir forests in Croatia: O-A (*Ostryo-Abietetum*), B-A (*Blechno-Abietetum*), O-F (*Omphalodo-Fagetum*) i F-A (*Festuco-Abietetum*)

| Šumska zajednica / Lokalitet Forest community / Locality | N | Aritm. sred. Mean | Std. dev. Std. dev. | Min. Min. | Maks. Max. | Udio OH OH proportion |
|---|----|----------------------|------------------------|--------------|---------------|--------------------------|
| O-A Biokovo | | | | | | |
| Količina <i>Mass</i> | 10 | 6,57 | 2,65 | 2,86 | 11,59 | 33 |
| OC zaliha <i>OC ctock</i> | 10 | 2,67 | 1,20 | 1,02 | 4,89 | 29 |
| Nuk zaliha <i>Ntot stock</i> | 10 | 0,11 | 0,05 | 0,05 | 0,21 | 38 |
| B-A Gorski kotar | | | | | | |
| Količina <i>Mass</i> | 25 | 6,25 | 2,50 | 3,15 | 11,53 | 76 |
| OC zaliha <i>OC ctock</i> | 25 | 2,39 | 0,91 | 1,26 | 4,27 | 70 |
| Nuk zaliha <i>Ntot stock</i> | 25 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,07 | 72 |
| O-F Gorski kotar | | | | | | |
| Količina <i>Mass</i> | 30 | 1,17 | 0,66 | 0,33 | 3,56 | 0 |
| OC zaliha <i>OC ctock</i> | 30 | 0,50 | 0,28 | 0,14 | 1,49 | 0 |
| Nuk zaliha <i>Ntot stock</i> | 30 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,05 | 0 |
| O-F Čorkova uvala | | | | | | |
| Količina <i>Mass</i> | 18 | 4,18 | 2,45 | 1,17 | 9,46 | 23 |
| OC zaliha <i>OC ctock</i> | 18 | 1,74 | 1,10 | 0,49 | 4,87 | 21 |
| Nuk zaliha <i>Ntot stock</i> | 18 | 0,07 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 23 |
| F-A Medvednica | | | | | | |
| Količina <i>Mass</i> | 20 | 3,72 | 2,63 | 1,10 | 10,39 | 60 |
| OC zaliha <i>OC ctock</i> | 20 | 1,19 | 0,71 | 0,44 | 3,08 | 47 |
| Nuk zaliha <i>Ntot stock</i> | 20 | 0,08 | 0,05 | 0,03 | 0,21 | 56 |

Tablica 3. Fiziografske značajke tla jelovih šuma Hrvatske
Table 3. Physiographic soil properties of fir forests in Croatia

| Šumska zajednica Forest community | <i>Ostryo-Abietetum</i> O-A | | <i>Omphalodo-Fagetum</i> O-F | | <i>Blechno-Abietetum</i> B-A | | <i>Festuco-Abietetum</i> F-A | |
|--|--|---|---|--|--|---|--|--|
| | Lokalitet Locality | Broj uzoraka Number of samples | Velebit | Gorski kotar | Gorski kotar | Gorski kotar | Medvednica | Panonska Hrvatska |
| Dominantan tip tla Dominant soil types | Biokovo N = 9 | N = 18 | Kalkokambisol <i>Leptic Cambisol</i> | Kalkokambisol <i>Leptic Cambisol</i> | Distrični kambisol <i>Haplic Cambisol</i> (<i>Dystric</i>) | Podzol <i>Haplic Podzol</i> | Distrični kambisol <i>Cambisol</i> (<i>Dystric, Skeletic</i>) | Distrični kambisol <i>Haplic Cambisol</i> (<i>Dystric</i>) |
| Dubina tla Soil Depth | < 40 cm | 37 – 80 cm | 27 – 66 cm | 32 – 102 cm | 30 – 120 cm | 27 – 120 cm | 36 – 100 cm | |
| Dominantan matični supstrat Dominant parent substrate | Kalkomelanosol <i>Mollic Leptosol</i> | Karbonatne stijene – dominantno vapnenac <i>Carbonate rocks – mostly limestone</i> | | Kremeni konglomerati i pješčenjaci <i>Quartz conglomerates and sandstones</i> | | Niskometamorfizirani škrljci <i>Low-grade metamorphic schists</i> | Biotitski i biotitni muskovitni gnajsovi <i>Biotitic and biotite muscovitic gneisses</i> | |
| pH _{H2O} | – | 5,60 ± 0,51 | 6,06 ± 0,66 | 4,08 ± 0,36 | 4,12 ± 0,18 | 4,89 ± 0,69 | 4,40 ± 0,28 | |
| pH _{CeCl2} | – | 5,21 ± 0,61 | 5,65 ± 0,72 | 3,52 ± 0,37 | 3,38 ± 0,18 | 4,42 ± 0,74 | 3,80 ± 0,23 | |
| OC | g kg ⁻¹ | 91,6 ± 26,1 | 94,9 ± 24,2 | 115,4 ± 61,0 | 31,8 ± 17,3 | 112,6 ± 34,0 | 69,8 ± 26,5 | |
| Nuk | g kg ⁻¹ | 6,1 ± 1,8 | 6,8 ± 1,8 | 8,04 ± 5,0 | 2,7 ± 1,2 | 8,5 ± 2,0 | 4,8 ± 1,9 | |
| C:N | – | 15 ± 3 | 14 ± 3 | 15 ± 4 | 13 ± 6 | 13 ± 2 | 15 ± 4 | |
| Udio gline Clay content | % | 19 ± 6 | 19 ± 5 | 14 ± 4 | 12 ± 6 | 25 ± 6 | 10 ± 3 | |
| pH _{H2O} | – | 6,31 ± 0,70 | 6,64 ± 0,65 | 4,60 ± 0,51 | 4,42 ± 0,19 | 4,85 ± 0,47 | 5,00 ± 0,59 | |
| pH _{CeCl2} | – | 5,71 ± 0,84 | 6,11 ± 0,74 | 4,11 ± 0,46 | 3,88 ± 0,17 | 4,40 ± 0,48 | 4,32 ± 0,55 | |
| OC | g kg ⁻¹ | 33,1 ± 10,5 | 30,8 ± 11,2 | 27,4 ± 12,7 | 29,0 ± 14,0 | 37,4 ± 21,1 | 16,0 ± 10,3 | |
| Nuk | g kg ⁻¹ | 3,9 ± 0,8 | 3,2 ± 0,9 | 2,4 ± 1,2 | 2,3 ± 1,1 | 2,9 ± 1,8 | 1,8 ± 0,7 | |
| Udio gline Clay content | % | 32 ± 8 | 32 ± 8 | 22 ± 5 | 19 ± 5 | 21 ± 5 | 16 ± 6 | |

i B-A, ali mu maksimalne vrijednosti ne odudaraju značajno. Najmanja količina šumske prostirke, te OC i Nuk zalihe zabilježena je u O-F u Gorkom kotaru, gdje nema OH-podhorizonta. Šumska prostirka u području krša, posebno na vapnenačkoj podlozi prostorno je značajno varijabilna, a na mnogim mjestima zbog stjenovitosti i kameinitosti prostirka izostaje pa ju tu nije niti moguće uzorkovati, što onda utječe na više minimalne i srednje vrijednosti. U B-A šumska prostirka kontinuirano pokriva tlo, pa se zapravo može reći da su realno najveće količinite OC i Nuk zalihe u njoj.

Značajna razlika između B-A i O-F (tablica 2) koje se nalaze u istom bioklimatu (Gorski kotar) može se objasniti različitim matičnim supstratom (silikat – vapnenac) koji uvjetuje formiranje različitih tipova tla, pa se u B-A na podzolu i distričnom kambisolu javlja karakteristična morforma humusa, dok se u O-F na kalkokambisolu javlja mull i mull-moder forma humusa. U F-A i O-A prisutna je morforma humusa.

FIZIOGRAFSKE ZNAČAJKE TLA PHYSIOGRAPHIC SOIL PROPERTIES

Tekstura tla u površinskih 10 cm dubine u šumi jele i crnoga graba kreće se u rasponu od praškaste ilovače do praškaste gline, a dvije najzastupljenije frakcije su prah $49,9 \pm 9,4\%$ i glina $30,0 \pm 12,4\%$. Udjel OC u površinskom sloju tla do 10 cm dubine iznosi $130,0 \text{ g kg}^{-1}$ što ga svrstava u kategoriju vrlo jako humoznog, a raspon se kreće od $45,0 \text{ g kg}^{-1}$ do $248,7 \text{ g kg}^{-1}$, odnosno od jako do vrlo jako humoznog. Iako nije utvrđena statistički značajna razlika u udjelu OC (F 3,216, p = 0,112), najniže vrijednosti imalo je tlo u uvali (raspon od $45,0 \text{ g kg}^{-1}$ do $60,0 \text{ g kg}^{-1}$). Udjel Nuk u površinskom sloju tla do 10 cm dubine iznosi $8,8 \text{ g kg}^{-1}$ što ga svrstava u kategoriju vrlo bogatog, a raspon se kreće od $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ do $16,6 \text{ g kg}^{-1}$ (sve je u kategoriji vrlo bogatog). Iako nije utvrđena statistički značajna razlika u udjelu Nuk (F 1,923, p = 0,226), najniže vrijednosti imalo je tlo u uvali (raspon od $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ do $3,8 \text{ g kg}^{-1}$). Nije utvrđena statistički značajna razlika C/N (F 3,442, p = 0,101) tla s obzirom na položaj u reljefu. C/N odnos u površinskom sloju tla do 10 cm dubine iznosi 15 (raspon od 13 – 22). Vrijednosti pH površinskog sloja tla do 10 cm dubine iznose $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} 5,83 \pm 0,59$, dok je $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} 5,30 \pm 0,65$.

Na temelju određene srednje pH vrijednosti tlo je osrednje kiselo, odnosno, ako se promatraju minimalne i maksimalne vrijednosti ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} 4,89 - 6,74$; $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} 4,19 - 6,24$), u rasponu od jako kiselog do vrlo slabo kiselog (Pernar i dr. 2013). Za uzorke tla u kojima je $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ bio iznad 6 određen je udjel karbonata. U četiri uzorka utvrđen je nizak udjel karbonata (CaCO_3) u rasponu od $0,63$ do $2,12 \text{ g kg}^{-1}$, dok su svi ostali uzorci bili beskarbonatni.

Po pH-vrijednosti (H(6, N=135) = 93,669, p = 0,363), udjelu OC (H(6, N=135) = 17,175, p = 1,557) i Nuk (H(6, N=135) = 24,621, p = 0,827) O-A se ne razlikuje statistički značajno od O-F sjevernog Velebita i Gorskog kotara što upućuje na dominantan pedogenetski utjecaj (karbonatnog) matičnog supstrata. Jedinu razliku čine udjel gline u A horizontu i ukupna dubina tla. Osnovni limitirajući čimbenik u šumi jele s crnim grabom je dubina tla. U odnosu na ostale jelove šume u području sjevernog Velebita, Gorskog kotara i Panonske Hrvatske radi se o najplićim tlima koja rijetko prelaze dubinu od 40 cm, dok primjerice kalkokambisoli na sjevernom Velebitu imaju raspon dubina od 37 do 80 cm, a u Gorkom kotaru od 27 do 66 cm. U Gorkom kotaru površ silikatne podloge distrični kambisol ima dubinu u rasponu od 32 do 102 cm, a podzol čak od 30 do 120 cm pa i više. Usporedba nekih fiziografskih značajki različitih jelovih zajednica (Bakšić 2002, Bakšić i dr. 2008, Glamočlija 2014) prikazana je u tablici 3.

BIOGENI ELEMENTI U TLU BIOGENIC ELEMENTS IN THE SOIL

Ekstrakcija elemenata u zlatotopci omogućuje uvid u „semitotalne“ vrijednosti udjela nekog elementa u tlu. U tablici 4 prikazana je deskriptivna statistika za svaki element. Za makroelemente P, K, Ca i Mg, te mikroelemente Fe i Mn u tablici 4 u trećem stupcu prikazane su i vrijednosti iskazane u % kako bi bile usporedive s rezultatima iz „Geokemijskog atlasa Republike Hrvatske“.

Udjel As, Cd i Pb u površinskom sloju tla do 10 cm dubine prikazan je deskriptivnom statistikom u tablici 5.

Tablica 4. Biogeni elementi ekstrahirani zlatotopkom u površinskom sloju tla do 10 cm dubine (N = 9).

Table 4. Biogenic elements extracted with Aqua Regia in topsoil (N = 9).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------|---------------------|--------------|-----------|---------------------|---------|------------------|
| Element | Aritm. sred. | Aritm. sred. | Std. dev. | Min. | Maks. | Koef. Varijacije |
| Element | Mean | Mean | Std. dev. | Min. | Max. | CV |
| | mg kg ⁻¹ | % | | mg kg ⁻¹ | | % |
| P | 1236,9 | 0,12 | 357,4 | 821,6 | 1902,8 | 29 |
| K | 6390,3 | 0,64 | 1396,5 | 4242,3 | 8694,6 | 22 |
| Ca | 17960,4 | 1,80 | 7755,4 | 6084,0 | 32030,0 | 43 |
| Mg | 7671,4 | 0,77 | 1512,9 | 5096,9 | 9219,9 | 20 |
| Fe | 38577,8 | 3,86 | 7288,7 | 25070,0 | 46050,0 | 19 |
| Mn | 1101,0 | 0,11 | 285,8 | 755,3 | 1561,2 | 26 |
| Cu | 45,3 | | 6,9 | 33,6 | 56,5 | 15 |
| Zn | 163,4 | | 22,9 | 138,5 | 210,5 | 14 |
| Ni | 60,8 | | 27,4 | 26,6 | 114,9 | 45 |
| Mo | 2,4 | | 3,0 | 0,9 | 10,2 | 124 |
| B | 41,9 | | 4,6 | 33,1 | 48,5 | 11 |

Tablica 5. Škodljivi elementi As, Cd i Pb u površinskom sloju tla do 10 cm dubine (N = 9).**Table 5.** Harmful trace elements As, Cd and Pb in topsoil (N = 9)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|
| Element <i>Element</i> | Aritm. sred. <i>Mean</i> | Std. dev. <i>Std. dev.</i> | Min. <i>Min.</i> | Maks. <i>Max.</i> | Koef. Varijacije <i>CV</i> |
| mg kg ⁻¹ | | | | | % |
| As | 13,9 | 6,1 | 8,9 | 22,2 | 44 |
| Cd | 6,3 | 0,9 | 5,0 | 7,9 | 14 |
| Pb | 71,8 | 21,0 | 37,7 | 96,7 | 29 |

Uspoređene su srednje vrijednosti (medijan) koncentracija za Cu, Zn, Ni, As, Cd i Pb (tablica 6, stupac 3) sa srednjim vrijednostima iz „Geokemijskog atlasa Hrvatske“ GKA RH (Halamić i Miko 2009) za područje Primorske Hrvatske (tablica 6, stupac 4). Vrijednosti medijana za Cd, Cu, Pb i Zn u zajednici O-A nalaze se unutar raspona vrijednosti za svaki pojedini element, ali su povišene u odnosu na vrijednosti medijana iz GKA RH (tablica 6, stupac 4), odnosno nalaze se iznad prosječnih geogenih vrijednosti za tlo (Pernar 2017). Kada se vrijednosti usporede s maksimalno dopuštenim – MDK (tablica 6, stupac 5), te stupnjem onečišćenja (tablica 6, stupac 6) (Pravilnik o onečišćenju poljoprivrednog zemljišta, NN 71/2019) kategorije onečišćenja (tablica 6, stupac 7) idu od povećane onečišćenosti za Cu do zagađenog za Cd.

U istraživanjima u sastojinama crnog bora na Biokovu u površinskim horizontima tla utvrđen je vrlo povišen sadržaj teških metala (Pb, Cu, Zn), posebice olova (Vrbek & Vrbek 2011) kojeg autori pripisuju zračnom daljinskom tran-

sporu i suhom i mokrom taloženju. Vrijednosti za Pb, Cu i Zn u O-A više su od onih utvrđenih u sastojinama crnog bora te bi se također mogle pripisati suhom i mokrom taloženju. Dobivene vrijednosti upućuju na potrebu uspostave motrenja koncentracija teških metala prema ICP programu (Bommarez i dr. 2021).

ZAKLJUČCI CONCLUSIONS

Usporedba klimatskih značajki jelovih šuma u Hrvatskoj pokazala je da jelove šume na Biokovu imaju veće srednje vrijednosti temperature zraka, manje srednje vrijednosti količine oborine, kao i manje količine oborine u vegetacijskom razdoblju od jelovih šuma Gorskog kotara i sjevernog i srednjeg Velebita. Klimatske značajke jelovih šuma Biokova najslabije su onima iz nižih područja Like. S obzirom da ne postoje direktno mjereni meteorološki podaci, nameće se potreba za uspostavom meteorološkog motrenja u predjelu Kaoci za potrebe preciznijeg definiranja klimatskih značajki u području pridolaska jele.

U termofilnoj šumi jele i crnog graba, stabla jele u dnu vrtača, gdje je količina šumske prostirke veća (4,81 kg m⁻² do 11,59 kg m⁻²), a tlo dublje, u pravilu su većih dimenzija, vitalnija, a time i manje izložena odumiranju. Iako je utvrđena značana količina akumulirane šumske prostirke i zaliha organskog ugljika u O-A, to treba promatrati u kontekstu izrazito velike prostorne varijabilnosti, gdje prostorna distribucija predstavlja mozaik od izostanka do maksimalno utvrđenih vrijednosti. U dnu vrtača mozaično se izmjenjuju kalkomelanosol, kalkokambisol plitki i, rjeđe,

Tablica 6 Usporedba medijana koncentracija elemenata u tlu (0-10 cm) u O-A sa medijanima iz „Geokemijskog atlasa Hrvatske“. Maksimalno dopuštena količina - MDK i stupanj onečišćenja temeljem jednadžbe So (%) = ukupni sadržaj teških metala u zemljištu/maksimalno dopuštena vrijednost $\times 100$ (NN 9/2014, NN 71/2019).**Table 6.** Comparison of median concentrations of elements in soil (0-10 cm) in O-A with medians from the “Geochemical Atlas of Croatia”. Maximum Permissible Limits - MPL and pollution level based on the equation PI (%) = total content of heavy metals in soil/maximum permissible limit $\times 100$ (NN 9/2014, NN 71/2019).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------|----------|---|
| Element <i>Element</i> | O-A Aritm. sred. <i>Mean</i> | O-A Medijan <i>Median</i> | GKA RH Medijan <i>Median</i> | MDK MPL | So PI | Kategorija <i>Category</i> |
| mg kg ⁻¹ | | | | pHKCI 5 – 6 | % | |
| Cu | 45,3 | 45,3 | 35,5 | 90 | 50 | Povećana onečišćenost <i>Increased contamination</i> |
| Zn | 163,4 | 160,6 | 108,0 | 150 | 109 | Onečišćeno <i>Contaminated</i> |
| Ni | 60,8 | 59,0 | 74,6 | 50 | 122 | Onečišćeno <i>Contaminated</i> |
| As | 13,9 | 8,9 | 18,0 | 25 | 56 | Velika onečišćenost <i>High contamination</i> |
| Cd | 6,3 | 6,4 | 1,1 | 1,5 | 420 | Zagađeno <i>Polluted</i> |
| Pb | 71,8 | 78,6 | 48,7 | 100 | 72 | Velika onečišćenost <i>High contamination</i> |

srednje duboki (dubina < 40 cm). Iako vrtače zbog svoje morfologije, uz potpuno zatvoren šumski sklop, imaju svoje mikroklimatske posebnosti, treba istaknuti da se u većem broju vrtača, između vapnenačkih blokova, iz pukotina i jamskih otvora, u ljetnim mjesecima, osjeća strujanje hladnog i vlažnog zraka, čime su mikroklimatski uvjeti za opstanak jele povoljniji nego da se radi o samom utjecaju re-ljefa. Valjalo bi istražiti (terenskim obilaskom i motrenjem mikroklimatskih uvjeta) radi li se o lokalnom utjecaju (predjel Kaoci) ili o utjecaju koji je prisutan u cijelom području rasprostranjenja jele na Biokovu, a bilo bi preporučljivo uspostaviti plohu trajnog motrenja (ICP ploha) u sastojinama jele, jer kategorije onečišćenja idu od povećane onečišćenosti za Cu do zagađenog za Cd. Rubovi vrtača i grebeni imaju izraženiju stjenovitost, manju količinu šumske prostirke koja je prostorno neujednačeno akumulirana, te plitko tlo (kalkomelanosol). Tu dominiraju termofilne vrste drveća crni grab, hrast medunac, maklen i crni jasen, a stabla jele manjih su dimenzija te se pojavljuju sporadično ili izostaju. Na ovakvim nepovoljnijim, sušim položajima, stabla jele smanjene su vitalnosti i često se suše.

Zahvala – Acknowledgements

Autori zahvaljuju Parku prirode Biokovo na potpori ovom istraživanju.

LITERATURA REFERENCES

- Anić, I., J. Vukelić, S. Mikac, D. Bakšić, D. Ugarković, 2009: Utjecaj globalnih klimatskih promjena na ekološku nišu obične jele (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj Sumar List br 3-4, CXXXIII, 135-144.
- Bakšić, D., 2002: Adsorpcijski kompleks tla na nekarbonatnim supstratima u jelovim i bukovo-jelovim sastojinama Hrvatske, magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 133 p.
- Bakšić, D., N. Pernar, J. Vukelić, D. Baričević, 2008: Properties of cambisol in beech-fir forests of Velebit and Gorski kotar, *Period Biol* 110 (2). 119-125.
- Bakšić, D., D. Krstonošić, B. Hrašovec, N. Bakšić, N. Pernar, I. Perković, V. Roje, D. Ugarković, S. Mikac, A. Žmegač, D. Trlin, 2020: Motrenje stanja i kartiranje posebno značajnih šumskih asocijacija Parka prirode Biokovo, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, izvješće, 80 p.
- Bakšić, N., D. Bakšić, 2017: Količine goriva i zalihe ugljika u šumskoj prostirci sastojina alepskog bora na Mljetu (Forest floor fuel loads and carbon stocks in Aleppo pine forests on island Mljet), *Sumar List*, 5–6: 247–256, <https://doi.org/10.31298/sl.141.5-6.3>
- Bakšić, N., D. Bakšić, 2020: Estimation of fuel loads and carbon stocks of forest floor in endemic Dalmatian black pine forests, *iForest - Biogeosciences and Forestry*, Volume 13, Issue 5: 382-388 <https://doi.org/10.3832/ifer3184-013>.
- Bakšić, N., 2022: Zalihe ugljika i ukupnog dušika u šumskoj prostirci u prašumi Čorkova uvala, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvene tehnologije, 23 p.
- Ballian, D., 2005: Novi prilog poznavanju obične jele (*Abies alba* Mill.) s Biokova. *Sumar List* 1-2, CXXXIX, 63-70.
- Ballian, D., V. Halilović, 2016: Varijabilnost obične jele (*Abies alba* Mill.) u Bosni i Hercegovini. Udruženje inženjera i tehničara šumarstva Federacije Bosne i Hercegovine, *Silva Slovenica – izdavački centar Šumarskog instituta Slovenije*, Sarajevo, Ljubljana, 345 p.
- Battipaglia, G., M. Saurer, P. Cherubini, R. T. W. Siegwolf, M. F. Cotrufo, 2009: Tree rings indicate different drought resistance of native (*Abies alba* Mill.) and a nonnative (*Picea abies* (L.) Karst.) species co-occurring at a dry site in Southern Italy, *For Ecol Manage* 257: 820–828, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.10.015>
- Bommaré, T., N. Cools, B. De Vos, 2021: Heavy metals in forest floors and topsoils of ICP Forests Level I plots. *Forest Soil Coordinating Centre of ICP Forests. Report of the Research Institute for Nature and Forest* (5). Research Institute for Nature and Forest, Brussels. DOI: doi.org/10.21436/inbor.29316481
- Borzan, Ž., A. Ž. Lovrić, M. Rac, 1992: Hrvatski biljni endemi. ed. Monografija Šume u Hrvatskoj, str. 231-232.
- Bušelić, S., R. Ozimec, 2008: Speleologija Biokova. u Ozimec, R. (ur.2008): *Biokovo*. Graphis d.o.o. Zagreb, Javna ustanova Park Prirode Biokovo, 49-73, Zagreb.
- Čavlović, J., A. Bončina, M. Božić, E. Goršić, T. Simončić, K. Teslak, 2015: Depression and growth recovery of silver fir in uneven-aged Dinaric forests in Croatia from 1901 to 2001, *Forestry* 2015; 88, 586–598, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpv026>
- Elling, W., Ch. Dittmar, K. Pfaffelmoser, T. Rotzer, 2009: Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in Southern Germany, *For Ecol Manage* 257: 1175–1187.
- Gazol, A., J. J. Camarero, E. Gutiérrez, I. Popa, L. Andreu-Hayles, R. Motta, P. Nola, M. Ribas, G. Sangüesa-Barreda, C. Urbinati, M. Carrer, 2015: Distinct effects of climate warming on populations of silver fir (*Abies alba*) across Europe, *J Biogeogr* 42: 1150–1162, <https://doi.org/10.1111/jbi.12512>
- Glamočlija, N., 2014: Utjecaj litološke podloge na fiziografske značajke tla bukovo-jelovih šuma na Medvednici, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 57 p.
- Gradečki-Poštenjak, M., 2010: Utjecaj oštećenosti krošanja na varijabilnost fizioloških i kvantitativnih svojstava obične jele (*Abies alba* Mill.), disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 158 p.
- Halamić, J., S. Miko, 2009: Geokemijski atlas Hrvatske, Hrvatski geološki institut Zagreb, p. 87.
- Hampe, A., R. J. Petit, 2005: Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. *Ecology Letters*, 8, 461–67.
- IPCC, 2023: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Ge-

- neva, Switzerland, (in press), https://report.ipcc.ch/ar6syrr/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf
- Ivanković, M., H. Marjanović, 2005: Varijabilnost visina sadnica obične jele (*Abies alba* Mill.) po sjemenskim jedinicama u pokusu provenijencija Brloško. Rad. Šumar. Inst. 40 (2): 117-130.
 - Lovrić A. Ž., M. Rac, 1992: Suhe jelove šume na primorskim vjetrometinama (*Abieti-Quercion* i *Calamagrostio-Abietion*), 6 IUFRO Tannensymposium, Zagreb, str. 143-150.
 - Martinović, J., 2003: Gospodarenje šumskim tlima u Hrvatskoj, Šumarski institut Jastrebarsko, 521 p.
 - McDowell N, S. Sevanto, 2010: The mechanisms of carbon starvation: how, when, or does it even occur at all? *New Phytol* 186:264–266,
 - Medvedović, J., 2001: Klima i hidrološke prilike u jelovim šumama Panonske Hrvatske, Obična jela (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj (Prpić, B., ur.). Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume d.o.o., 147-161 p.
 - Mihevc, A., 2021: Ice in caves and its effect on thermal inversion and permafrost in the case of the Velika Ledena jama v Paradani, Smrekova draga and neighbouring dolines, *Acta Carsologica* 50/2-3, 241-251, Postojna.
 - NN 9/2014: Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja, Ministarstvo poljoprivrede RH, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_01_9_167.html
 - NN 71/2019: Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja, Ministarstvo poljoprivrede RH, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_07_71_1507.html
 - Pernar, N., 2017: Tlo, nastanak, značajke, gospodarenje. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 799 p.
 - Pernar, N., S. Matić, D. Bakšić, E. Klimo, 2008: The accumulation and properties of surface humus layer in mixed selection forests of fir on different substrates, *EKOLÓGIA*, 27, 1: 41-53.
 - Pernar, N., D. Bakšić, I. Perković, 2013: Terenska i laboratorijska istraživanja tla, priručnik za uzorkovanje i analizu. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 192 p.
 - Pernek, M., B. Hrašovec, D. Matošević, I. Pilaš, T. Kiristis, J. C. Moser, 2008. Phoretic mites of three bark beetles (*Pityokteines* spp.) on Silver fir. *Journal of Pest Science* 81: 35-42.
 - Pernek, M., N. Lacković, 2011: Uloga jelovih krivozubih potkornjaka u sušenju jele i mogućnosti primjene feromonskih klopki za njihov monitoring. *Sumar List* 13: 114-121.
 - Petz, B., V. Kolesarić, D. Ivanec, 2012: Petzova statistika – Osnovne statističke metode za nematematičare, Naklada Slap, 680 p.
 - Potočić, N., T. Čosić, I. Pilaš, 2005. The influence of climate and soil properties on calcium nutrition and vitality of silver fir (*Abies alba* Mill.). *Environmental Pollution* 137:596-602, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.01.045>
 - Potočić, N., T. Čosić, I. Pilaš, I. Seletković, B. Vrbek, 2007. Dinamika dušika i fosfora u iglicama obične jele (*Abies alba* Mill.) različitog stupnja osutosti krošanja. Rad. – Šum. inst. Izvanredno izdanje 42:109-125.
 - Rac, M., A. Ž. Lovrić, 1992: Taksonomski varijacijski prikazi vrsta jele na zapadnom Balkanu i nova prirodna staništa endemske *Abies pardei* s ostalim hibridima. 6 IUFRO Tannensymposium, Zagreb, str. 57-67.
 - Schulp, C. J. E., G.-J. Nabuurs, P. H. Verburg, R. W. de Waal, 2008: Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories, *For Ecol Manage* 256, 482-490, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.007>
 - Seletković, Z., 2001: Klima i hidrološke prilike u dinarskim jelovim šumama u Hrvatskoj, Obična jela (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj (Prpić, B., ur.). Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume d.o.o., 133-146 p.
 - Sokkal, R. R., F. J. Rohlf, 1995: Biometry: The principles and practice of statistics in biological research. 3rd ed. W. H. Freeman, New York, 887 p.
 - Šoljan D., E. Šolić, 1986/1987: Prilog poznavanju jele na Biokovu. *Glasnik Zemaljskog muzeja BiH*, 25-26: 53-69.
 - Šoljan. D., 1990: Novi varijetet vrste *Abies alba* Mill. *Bilten Društva ekologa BiH*, 5: 77-80.
 - TIBCO Software Inc., 2020: Data Science Workbench, version 14. <http://tibco.com>.
 - Trinajstić, I., 1999: Što su *Abies pardei* Gussone i *Abies biokovenssis*. *Sumar List*, Zagreb, 1-2: 11-16.
 - Trinajstić, I., 2001: Rasprostranjenost obične jele *Abies alba* u Hrvatskoj. ed. Obična jela u Hrvatskoj, Zagreb, str. 98-101.
 - Ugarković, D., I. Tikvić, Z. Seletković, 2011: Odnos stanišnih i strukturnih čimbenika prema odumiranju i ishrani stabala obične jele (*Abies alba* Mill.) u Gorskom kotaru. *Croat J For Eng* 32 (1), 57-71.
 - Ugarković, D., I. Seletković, I. Tikvić, M. Ognjenović, K. Popić, M. Orešković, N. Potočić, 2021: Povezanost mortaliteta obične jele (*Abies alba* Mill.) s klimatskim i strukturnim parametrima, *Sumar List*, 7-8: 311-321.
 - Vidaković, M., 1993: Četinjače - morfologija i varijabilnost. Grafički zavod Hrvatske, Hrvatske šume, p.o. Zagreb, Zagreb, str.1-741.
 - Vrbek, B., M. Vrbek, 2011: Sadržaj teških kovina u tlu pod crnim borom na SZ obroncima Biokova, Znanstveno-stručni skup „Biokovo na razmeđu milenija: razvoj parka prirode u 21. stoljeću“, Potrka K., Škrabić H., Srzić S. (ur) Makarska JU PP Biokovo, str. 20-21.
 - Vukelić, J., S. Mikac, D. Baričević, D. Bakšić, R. Rosavec, 2008: Šumska staništa i šumske zajednice u Hrvatskoj. Nacionalna ekološka mreža, Državni zavod za zaštitu prirode, 264 p.
 - Zaninović, K., M. Gajić-Čapka, M. Perčec Tadić, M. Vučetić, J. Milković, A. Bajić, K. Cindrić, L. Cvitan, Z. Katušin, D. Kaučić, T. Likso, E. Lončar, Ž. Lončar, D. Mihajlović, K. Pandžić, M. Patarčić, L. Srnec, V. Vučetić, 2008: Klimatski atlas Hrvatske 1961-1990, 1971-2000. Croatian Meteorological and Hydrological Service, pp 200. - https://klima.hr/razno/publikacije/klimatski_atlas_hrvatske.pdf

SUMMARY

Climate change is affecting the availability of resources and conditions critical to the life and survival of forest communities and the species that inhabit them, especially at the edges of their distribution. Numerous studies indicate that fir forests are threatened by climate change, especially at the southern edges of their range where the negative effects of warming are more pronounced.

The aim of this study was to determine for the first time for the thermophilic and southernmost fir and hornbeam forests (*Ostryo-Abietetum*) in Croatia the physiographic characteristics of the forest floor and soil, as well as the content of heavy metals in topsoil layer, and to compare the obtained data for the forest floor and soil with data for other fir communities in Croatia. These forests grow from 850 m to 1150 m a.s.l. on the continental slope of Biokovo Mountain on a characteristic sinkhole relief which influences the mosaic arrangement of soil, vegetation and forest floor.

Field observations in a number of sinkholes have shown that in summer (the dry and hot period) cold air flows in from caves and cracks and creates specific microclimatic conditions in the sinkholes that are favourable for fir and could be a key factor for its survival.

At the bottom of the sinkholes, fir trees dominate, rockiness is less pronounced and Mollic Leptosol and Leptic Cambisol alternate. The forest floor mass (load) is higher. On the other hand, at the edges of the sinkholes, the rockiness is more pronounced, the soil is either very shallow (Mollic Leptosol) or absent, and the forest floor mass is lower. Thermophilic tree species dominate, while firs are sporadic or absent.

Considerable amounts of forest floor and carbon stocks were determined in the fir and hornbeam forests, ranging from 2.86 kg m⁻² to 11.59 kg m⁻² and 1.13 kg m⁻² to 4.89 kg m⁻², respectively, with high spatial variability. According to the physiographic characteristics of the surface layer of the soil, fir and hornbeam forests are grouped together with the beech-fir forests of the northern Velebit and Gorski kotar, indicating the dominant pedogenetic influence of the (carbonate) parent substrate. The basic limiting factor of the soil of fir and hornbeam forests is its shallow depth. Elevated to very high content of the heavy metals Cu, Pb, Zn, Ni and Cd were found in the topsoil.

KEY WORDS: silver fir, soil, forest floor, European hop hornbeam, climate change