Baština Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

# Simpozij zaštita šuma-stabilnost šumskih ekosistema: Dan šuma

**Beus, Vladimir; urednik**

**2024-09**

https://bastina.anubih.ba/handle/123456789/794

Preuzeto s Baštine Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

https://bastina.anubih.ba/

DOI: 10.5644/PI2024.211.11
Originalni naučni članak

# Organski ugljik tla u šumama bukve i jele sa smrčom dinarskih kraških planina – ocjena zalihe i stabilnosti

*Emira Hukić*
Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet
E-mail: e.hukic@sfsa.unsa.ba

*Matjaž Čater, Aleksander Marinšek, Mitja Ferlan, Daniel Žlindra, Primož Simončič*
Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana

*Milan Kobal*
Univerza v Ljubljani – Biotehniška fakulteta, Ljubljana

*Hamid Čustović*
Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

**Apstrakt:** Procesi klimatskih promjena stimulisali su brojna istraživanja usmjerena na potencijal tla da djeluje kao skladište ugljika. Dok su zalihe organskog ugljika u tlu (Corg) u vezi s tipom tla, topografijom i vrstama drveća opsežno dokumentovani drugdje, primjećuje se značajan nedostatak podataka o tlima u šumama dinarskih kraških planina. Dinarska regija se karakteriše prisustvom mješovitih raznodobnih šuma bukve i jele (sa smrčom) kojima se upravlja preborним sistemom, smatranim održivim i pogodnim za očuvanje zaliha Corg tla. U ovom istraživanju, provedenom na četiri uporedive lokacije kraških planinskih šuma (Bjelašnica, Bosna i Hercegovina; Kočevski Rog, Snežnik i Trnovski gozd, Slovenija) istraživano je kako zaliha Corg i odnos C/N variraju u odnosu na uslove staništa, vegetacije i reljefne pozicije. Glavni rezultati obuhvataju podatke o zalihama Corg, procijenjene na temelju izmjerenih koncentracija Corg, izračunatih gustina, grubih fragmenata i efektivnih dubina organskog (Ol, Of, Oh) i mineralnog tla do 60 cm dubine. Istraživanje je otkrilo značajno variranje vrijednosti Corg i C/N u odnosu na stanište i vegetaciju, naročito u organskim horizontima i površinskom mineralnom sloju. Osim toga, istraživanje je pružilo uvid u stabilnost organske materije na temelju odnosa C/N u tlu. Rezultati daju vrijedne informacije o dinamici Corg u tlima dinarskih kraških planina, značaju očuvanja sitnog organskog otpada u šumi i bitne su za održive prakse upravljanja šumama u smislu ublažavanja uticaja klimatskih promjena.

**Ključne riječi:** preborni sistem gospodarenja, mineralno tlo, šumska prostirka, zalihe organskog C, intenzitet sječe šume

# Uvod

U jeku interesovanja o uticaju klimatskih promjena na stabilnost šumskih ekosistema proizašla su brojna istraživanja o stanju zalihe i stabilnosti organskog ugljika tla. Organski ugljik, kao komponenta organske materije tla, skladišti se u tlu umanjujući efekte globalnih klimatskih promjena i pozitivno korelira s koncentracijom nutrijenata i polutanata osiguravajući stabilnost biosfere i sigurnost izvora pitke vode. Drugim riječima, organski ugljik tla je jedan od pokazatelja stabilnosti šumskih ekosistema te se zbog toga uvrštava u parametre praćenja (Evropska Komisija, 2012).

Gledano planetarno, zaliha ugljika u tlu (3500–4800 Pg C) veća je od zalihe u atmosferi (829 Pg C) i vegetaciji (420–620 Pg C) zajedno (Ciais et al., 2014). Procjenjuje se da šumska tla (do 1 m dubine) skladište 383±30 Pg C ili 44% u odnosu na ukupnu zalihu (861±66 Pg C) (Pan et al., 2011). Zaliha ugljika u šumama umjerene klimatske regije procjenjuje se da iznosi oko 159 Pg C, od čega je čak 100 Pg C ili 63% sadržano u tlu, a preostalih 59 Pg C ili 37% u vegetaciji (IPCC, 2002). Usprkos značaju šumskog zemljišta kao skladišta ugljika, i dalje postoji nedovoljna sigurnost u tačnost procjena zaliha organskog C tla.

Zaliha i stabilnost organskog ugljika tla zavise od brojnih faktora, a među najvažnijim su uslovi koji su potrebni za razgradnju organske materije i pristupačnost organske materije organizmima razlagačima. Jedan od novijih koncepata objašnjava da je organska materija tla jedan kontinuum organskih komponenti u različitim fazama raspadanja, koje alteriraju u svom energetskom statusu (Lehmann i Kleber, 2015). Prema tome, proučavanje organske materije je otežano zbog kompleksnosti ove komponente, koja nema univerzalnu definiciju niti je dovoljno poznata njena fizičko-hemijska struktura.

Bez obzira na definiciju, stav koji se može čuti prilikom naučnih izlaganja o organskoj materiji tla je da je "više bolje" (Kögel-Knabner, 2017). Odnosno, smatra se da u tlu treba biti što više organske materije ili organskog ugljika. Količina organskog ugljika šumskog tla najviše ovisi o količini i kvalitetu izvornog organskog otpada ili listinca. U prirodnim zajednicama kakve su šume bukve i jele (sa smrčom) na krečnjaku i dolomitu, razlike uslovljene vegetacijom vezane su uz omjer smjese drveća ili dominaciju određene vrste drveća. Vrlo često dominantan faktor jeste geomorfološka forma, pozicija i dužina vremena razvoja tla. Određene pedosekvence imaju razvijeniji pedološki profil usljed ranije započete pedogeneze. Druga tla pak imaju kraću evoluciju ili nepovoljnije uslove za bržu pedogenezu. Podaci o zalihama

organskog ugljika tla u dinarskoj kraškoj regiji su dosta rijetki, što je povezano s izraženom varijabilnošću ovog svojstva te zahtjevnim terenskim i laboratorijskim mjerenjima.

Pored prirodnih stanišnih faktora, varijabilnost zalihe organskog C (Corg), kao i stabilnost organskog ugljika, ocijenjenog na temelju odnosa C i N (odnos C/N), određuje i sistem gospodarenja te primijenjene uzgojno-tehničke mjere. U šumama bukve i jele sa smrčom u dinarskoj kraškoj regiji primjenjuje se grupimično preborni sistem gospodarenja. Općepoznato je da ovakav sistem gospodarenja, koji oponaša prirodne poremećaje u šumama, ne utiče na gubitke organskog ugljika, odnosno u određenim slučajevima čak stimuliše povećanje njegove zalihe, što pokazuju pojedine studije iz ove regije (Hukić et al., 2021).

Osobine krečnjaka i dolomita u smislu trošenja, reljefna pozicija, nadmorska visina, kamenitost i vegetacija su faktori koji se reflektuju na zalihu Corg tla. S tim u vezi, cilj ovog rada je da se na temelju podataka prikupljenih u toku ranijih studija (Hukić, 2018, Man For C. BD, 2010) istraži variranje zalihe Corg i odnosa C/N u tlu u kontekstu razlika u faktorima staništa, vegetacije i reljefne pozicije.

## Područje istraživanja i metode

Područje istraživanja zalihe i stabilnosti organskog ugljika tla smješteno je u šumama bukve i jele dinarskih kraških planina u Bosni i Hercegovini (BiH) i Sloveniji (SL), počevši od najjužnijeg mjesta na planini Bjelašnica – B (1420 m n. v.), preko Kočevskog Roga – K (871 m n. v.), Snežnika – S (870 m n. v.) do Trnovskog gozda – T (814 m n. v.) (Tabela 1). Četiri odabrana lokaliteta karakterišu slični ekološki faktori. Dominantne vrste drveća su bukva (*Fagus sylvatica* L.), jela (*Abies alba* Mill.) i smrča (*Picea abies* (L.) H. Karst), u zajednici koje se imenuju kao *Abieti-Fagetum Dianricum* ili u Sloveniji *Omphalodo-Fagetum*. Sva su mjesta imala sličnu strukturu šume, što je povezano s primijenjenim održivim prebornim sistemom gospodarenja šumom. Pokrivenost površine zemljišta krošnjama od 95%, kao nužna za prirodnu obnovu, tipična je karakteristika ovih šuma. Zaliha na odabranom području je iznosila između 270 i 442 $m^3$ $ha^{-1}$, a prirast između 6,2 i 9,4 $m^3$ $ha^{-1}$ $god^{-1}$ (Šumskogospodarska osnova, 2004, De Cinti et al., 2016). Srednje godišnje temperature variraju između lokaliteta od 7,6 do 11,3°C, a srednje godišnje padavine između 1192 i 1619 mm za razdoblje od 1985. do 2015. godine (BiH: Federalni hidrometeorološki zavod, 2018). Geološka podloga je bila

dominantno izgrađena od krečnjaka asociranih s dolomitima na kojima se pojavljuje tipični kompleks kalkomelanosola, rendzine, kalkokambisola, luvisola, deluvijalnog i ispranog deluvijalnog tla vrtača i uvala. Tla ovih područja pretežno su plitka do umjereno duboka, stjenovita, bogata organskom materijom i glinovita (Ćirić, 1966). Intenzitet grupimično prebornih sječa svojstven odabranom području određuje otvorenost šumskog sklopa, koji uglavnom ne prelazi 5% (stepen zastrtosti krošnjama zemljišta 95%), što je glavni indirektni faktor promjena ekoloških uslova unutar šume.

Tabela 1. Karakteristike odabranih lokaliteta šuma bukve i jele sa smrčom dinarskog krša
*Table 1. Characteristics of selected beech and fir (with spruce) forests in the Dinaric karst*

| Lokalitet/stanište | B | K | S | T |
|---|---|---|---|---|
| Širina (°N) | 43.738 | 45.668 | 45.672 | 45.989 |
| Dužina (°E) | 18.254 | 15.033 | 14.46 | 13.759 |
| Nadmorska visina (m) | 1420 | 871 | 870 | 814 |
| Temperatura (°C) | 7,6 | 9,0 | 8,4 | 11,3 |
| Padavine (mm) | 1192 | 1465 | 1573 | 1619 |
| Zaliha ($m^3\ ha^{-1}$) | 270[1] | 352[2] | 442[2] | 292[2] |
| Prirast ($m^3\ ha^{-1}\ god^{-1}$) | 6,21 | 9,42 | 8,32 | 6,22 |
| Stjenovitost (%) | 19 ± 10 | 38 ± 13 | 31 ± 18 | 17 ± 11 |
| $pHCaCl_2$ vrijednost tla | 5,2 ± 0,8 | 5,3 ± 0,6 | 5,3 ± 0,7 | 4,6 ± 0,4 |

Bosna i Hercegovina (BiH), Bjelašnica – B; Slovenija (SL) Kočevski Rog – K; Snežnik – S; Trnovski gozd – T; Temperatura = prosječna godišnja temperatura; Padavine = prosječne godišnje sume padavina (Federalni hidrometeorološki zavod, 2018). Površinska stjenovitost i $pHCaCl_2$ vrijednost tla određeni su u toku terenskih istraživanja.
[1] Šumskogospodarska osnova, 2004; [2] De Cinti et al., 2016.

## Eksperimentalni dizajn terenskog istraživanja

Eksperimentalni dizajn je postavljen na način da se odredi varijabilnost Corg ($kg\ m^{-2}$) i odnosa C/N u kontekstu odabranih faktora. Prosječne vrijednosti zalihe Corg tla i odnosa C/N upoređene su između četiri staništa: Bjelašnica – B, Kočevski Rog – K, Snežnik – S, Trnovski gozd – T, četiri kategorije vegetacije: bukva – BU, jela – JE, smrča – SM i mješovita sastojina – MIX te četiri reljefne pozicije određene stranom svijeta padine (jug – J, sjever – S, istok – I i zapad – Z). Dimenzije eksperimentalnih ploha u BiH (B: 2 plohe) i SL (K, S, T: 9 ploha) iznosile su ~0,5 ha. Broj mjesta na plohama B, K, S i T s kojih su uzeti kompozitni uzorci (3 uzorka) iznosio je šest i četiri. Međusobna udaljenost između mjesta uzorkovanja iznosila je minimalno 10 m.

Uzorkovanje tla za analizu sadržaja Corg i ukupnog N obavljeno je na način da su odvojeno uzeti volumni uzorci organskih (Ol, Of, Oh) i na fiksnim dubinama mineralnih slojeva (M10: 0 –10 cm, M20: 10–20 cm, M40: 20–40 cm i M60: 40–60 cm). Ova dubina uzorkovanja usklađena je s informacijom da prosječna dubina tla rijetko iznosi više od 50 cm (Ćirić, 1966). Slojevi Ol, Of, Oh i mineralno tlo su uzimani odvojeno. Svaki odvojeni organski sloj je iskopan u okviru dimenzija 25 × 25 cm; svaki mineralni sloj tla određene dubine uziman je uz pomoć sonde od nehrđajućeg čelika (promjer = 6,7 cm). Za organski sloj je određena debljina.

Broj pozicija uzimanja kompozitnih uzoraka na dvije plohe u BiH je iznosio 12, a u SL 36. Broj uzoraka po staništu (B, K, S, T), tipu vegetacije (BU, JE, SM, MIX) i poziciji (J, S, I, Z) iznosio je: 12(Ol), 12(Of), 12(Oh), 10(M10), 7(M20), 7(M40), 7(M60). Ukupan broj uzoraka po organskom sloju iznosio je 48(Ol, Of, Oh), a po mineralnom 40(M10), 28(M20), 21(M40) i 18(M60).

## Laboratorijske analize

Organski i mineralni uzorci tla odmah su sušeni na zraku, zatim su izvagani i samljeveni nakon uklanjanja i mjerenja kamenja i korijenja u uzorku. Koncentracije organskog C i ukupnog N tla određene su suhim spaljivanjem korištenjem CNS analizatora (Elemental Analyser LECO CNS 2000, St. Joseph, MI, SAD). Procijenjen je volumen kamenja u tlu. Određena je zapreminska gustina (ZG) za mineralno tlo (g $cm^{-3}$) i masa po jedinici površine suhe organske materije (kg $m^{-2}$). Vrijednost pH je određena u 0,01 *M* rastvoru $CaCl_2$. U uzorcima s pH($CaCl_2$) određen je sadržaj $CaCO_3$ radi korekcije koncentracije organskog ugljika (Corg). Odnos C prema N je izračunat kao količnik koncentracija. Masa po jedinici površine (kg $m^{-2}$) organskog C je izračunata za slojeve Ol, Of i Oh po Formuli 1, a na osnovu zapreminske gustine, dubine i stjenovitosti izračunata je zaliha Corg (kg $m^{-2}$) za mineralne slojeve po Formuli 2.

Formula 1
Ol/Of/Oh-sloj:
Corg-zalihaOl/Of/Oh = Corg × masa tla / 100 (Formula 1).
Corg-zalihaOl/Of/Oh = zaliha Corg u slojevima Ol/Of/Oh (kg $m^{-2}$).
Corg = koncentracija organskog ugljika u organskom sloju (%).
Masa = suha masa organskog sloja (kg $m^{-2}$).

Formula 2
M10, M20, M40 i M60-sloj:
Corg-zaliha M = Corg × ZG × d × KFst*10 (Formula 2).
Corg-zaliha M = zaliha organskog ugljika u mineralnom tlu (kg $m^2$).
d = debljina sloja/horizonta (m).
Corg = koncentracija organskog ugljika u mineralnom tlu (%).
ZG = zapreminska gustina (g $cm^{-3}$).
KFst = korekcijski faktor za stjenovitost na plohi, 100 − (% stjenovitosti)/100.
10 – broj kojim se množi da se vrijednost izrazi u kg $m^{-2}$
Stjenovitost je iznosila u prosjeku 22% (B), 50% (K), 55%, 30% i 20% (S), 25% i 10% (T).

## Statističke metode

Izračunati su deskriptivno-statistički parametri za Corg, ukupni N, ZG, pH($CaCl_2$), zalihu Corg i odnos C/N u tlu. Primijenjene su metode univarijantne statistike, ANOVA test ($p \leq 0{,}05$). Prije izvođenja univarijantne statističke analize, proveden je Shapiro-Wilkov test kako bi se provjerila normalnost distribucije uzoraka. Jednakost varijansi određena je korištenjem Leveneovog testa. Varijable koje nisu slijedile normalnu distribuciju transformisane su logaritmiranjem. Sve analize su provedene upotrebom R Studio programa (R Studio Team, 2020).

## Rezultati i diskusija

### *Svojstva tla*

Prosječne vrijednosti analiziranih osobina organske materije tla u regiji dinarskog krša u BiH i SL, uključujući sva četiri staništa, tipa vegetacije i reljefne pozicije na plohama, prikazane su za organske horizonte (Ol, Of, Oh) i mineralno tlo (M10, M20, M40, M60) (Tabela 2). Vrijednosti Corg, N i odnosa C/N pokazuju uobičajenu distribuciju, smanjenje s povećanjem dubine tla, dok vrijednosti ZG i zalihe Corg rastu s povećanjem dubine. Premda su formirana na krečnjačkom i dolomitnom matičnom supstratu, tla su uglavnom blago kisela, a bazičnu reakciju imaju tek najdublji slojevi tla na 40–60 cm dubine.

Ukupna zaliha Corg (Ol+Of+Oh) u organskom sloju tla u analiziranim šumama dinarskog krša iznosila je ~1,62 kg $m^{-2}$ (Tabela 2), što odgovara vrijednostima procijenjenim za evropske šumske ekosisteme umjerene klimatske

regije (De Vos et al., 2015). Varijante Mull forme humusa, koje preovladavaju u staništima bukve i jele sa smrčom, smatra se da skladište 0,8 kgC $m^{-2}$, a Moder i Amfi 1,91 $kgCm^{-2}$ i 1,93 $kgCm^{-2}$ (De Vos et al., 2015). Ukupna zaliha Corg u mineralnom sloju na 0–60 cm iznosila je oko 16 $kgCm^{-2}$, što je više u odnosu na ukupnu zalihu 12,1 $kgCm^{-2}$ izračunatu za kambična tla, iz nalaza istih autora (De Vos et al., 2015). Koncentracije Corg i N također su u saglasnosti s vrijednostima za iste tipove tla i slična planinska šumska staništa Bavarskih Alpa (Christophel et al., 2015).

Tabela 2. Deskriptivno-statistički parametri izmjerenih koncentracija organskog C (Corg, %), ukupnog N (N,%), odnosa C/N, zapreminske gustine (ZG, g $cm^{-3}$) ili mase organskog tla po jedinici površine (ZG, kg $m^{-2}$), zalihe Corg (kg $m^{-2}$) i pH vrijednosti mjerene u $CaCl_2$. X – aritmetička sredina, SD – standardna devijacija, Min – minimalna vrijednost, Max – maksimalna vrijednost.

*Table 2. Descriptive-statistical parameters of measured concentrations of organic C (Corg, %), total N (N, %), C/N ratio, mass of organic soil per unit area (Masa, kg $m^{-2}$) or bulk density for mineral layers (ZG, g $cm^{-3}$), Corg stocks (Zaliha $C_{org}$, kg $m^{-2}$), and pH values measured in $CaCl_2$. $\bar{X}$ – arithmetic mean, SD – standard deviation, Min – minimum value, Max – maximum value.*

| Sloj | Parametar | Corg | N | C/N | Masa/ZG | Zaliha$C_{org}$ | pH($CaCl_2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ol** | X | | | | | | |
| | SD | | | | | | |
| | Min | | | | | | |
| | Max | | | | | | |
| **Of** | X | | | | | | |
| | SD | | | | | | |
| | Min | | | | | | |
| | Max | | | | | | |
| **Oh** | X | | | | | | |
| | SD | | | | | | |
| | Min | | | | | | |
| | Max | | | | | | |
| **M10** | X | | | | | | |
| | SD | | | | | | |
| | Min | | | | | | |
| | Max | | | | | | |
| **M20** | X | | | | | | |

| Sloj | Parametar | Corg | N | C/N | Masa/ZG | Zaliha$C_{org}$ | pH($CaCl_2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | SD | | | | | | |
| | Min | | | | | | |
| | Max | | | | | | |
| **M40** | X | | | | | | |
| | SD | | | | | | |
| | Min | | | | | | |
| | Max | | | | | | |
| **M60** | X | | | | | | |
| | SD | | | | | | |
| | Min | | | | | | |
| | Max | | | | | | |

## *Variranje zalihe Corg i C/N odnosa tla*

Rezultati istraživanja pokazuju da zaliha Corg i odnos C/N variraju među četiri analizirana staništa, kao i u odnosu na prisutnu vegetaciju (Slika 1, Slika 2). Izostanak statistički značajnih razlika u zalihi Corg i odnosu C/N konstatovan je vezano za reljefnu poziciju.

U pogledu zalihe Corg u organskom sloju, konstatovane su statistički značajno veće vrijednosti u Ol horizontu staništa na B i K i statistički manje vrijednosti u horizontima Of i Oh na B (Slika 1). Statistički značajno manje vrijednosti zalihe Corg (u Of i Oh) zabilježene su na MIX plohama u odnosu na plohe na kojima dominira jedna vrsta drveća (BU, JE, SM). U pogledu zalihe Corg u mineralnim slojevima nije bilo značajnih razlika između BiH i SL staništa, vegetacije i pozicije. Izuzetak predstavljaju statistički veće vrijednosti zalihe Corg u slojevima M10 i M20 staništa K u odnosu na B, S i T.

Statistički značajno variranje zalihe Corg i C/N odnosa u kontekstu faktora staništa i vegetacije bilo je svojstveno površinskim slojevima tla, organskim horizontima (Ol, Of, Oh) i mineralnom tlu do 20 cm dubine (M10, M20). Razlike u dubljim mineralnim slojevima nisu se mogle identifikovati na temelju promatranog uzorka zbog izražene varijabilnosti unutar uzorka. S tim u vezi, rezultati rada također upućuju na to da je variranje zalihe Corg i C/N odnosa uslovljeno dubinom tla.

Rezultat da su varijacije u zalihi Corg uslovljene staništem i prisutnom vegetacijom pokazuju druge relevantne studije (Prietzel i Christophel, 2014). Premda u ovom radu variranje na nivou plohe u odnosu na reljefnu poziciju

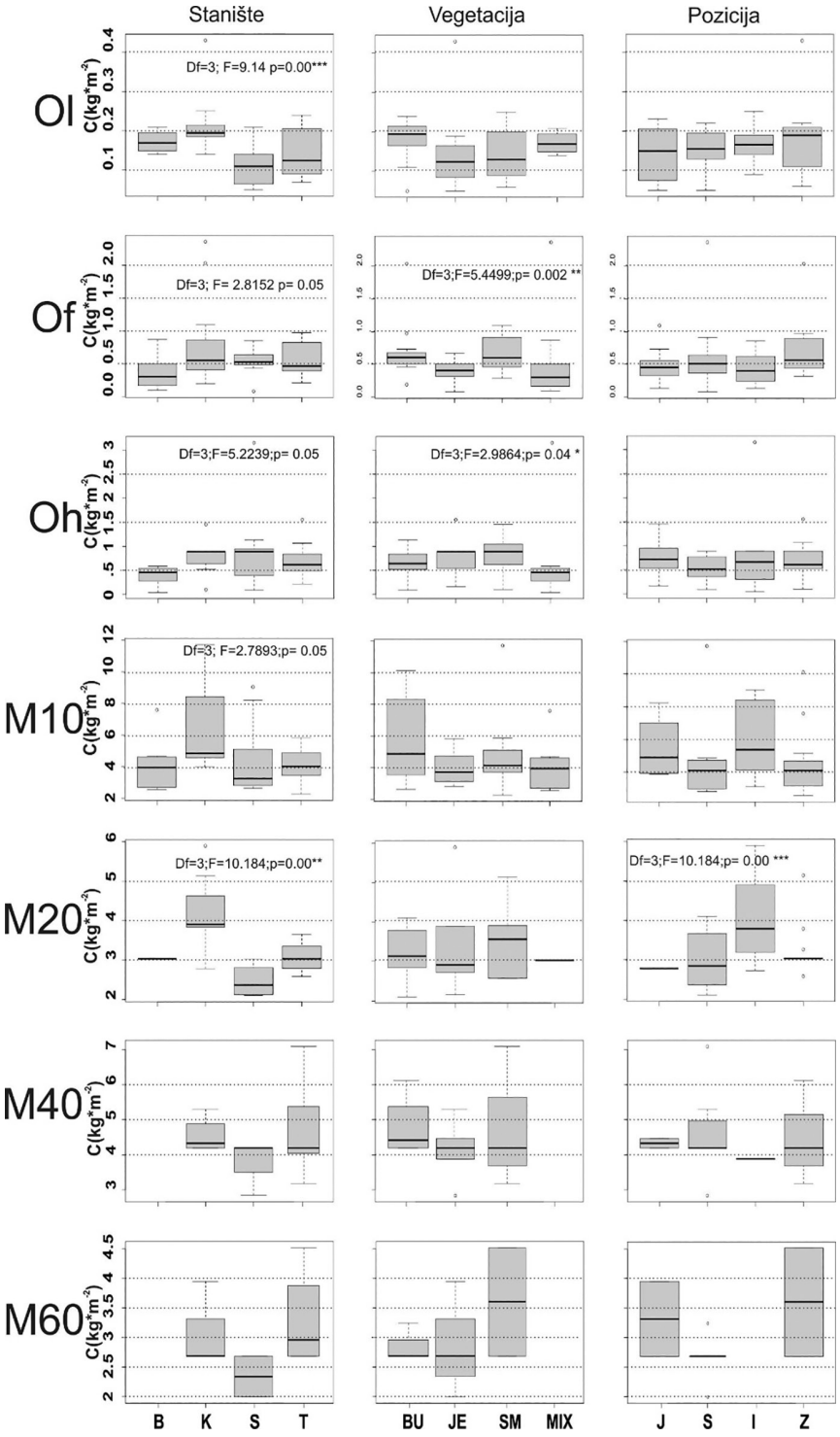
(S, J, I, Z) nije ustanovljeno, poznato je da tip tla i reljef također determiniraju skladištene količine ugljika u tlu (Homann et al., 1995).

Odnos C/N varirao je značajno u odnosu na stanište i vegetaciju u organskim horizontima Ol, Of i Oh te mineralnom tlu M10 (Slika 2). Najuži C/N odnos, u organskim horizontima tla (Ol, Of, Oh), bio je svojstven staništu B i vegetaciji MIX, odnosno plohama s mješovitom strukturom vrsta drveća. Stanište T se karakteriše najužim odnosom u mineralnom tlu M20 i M40.

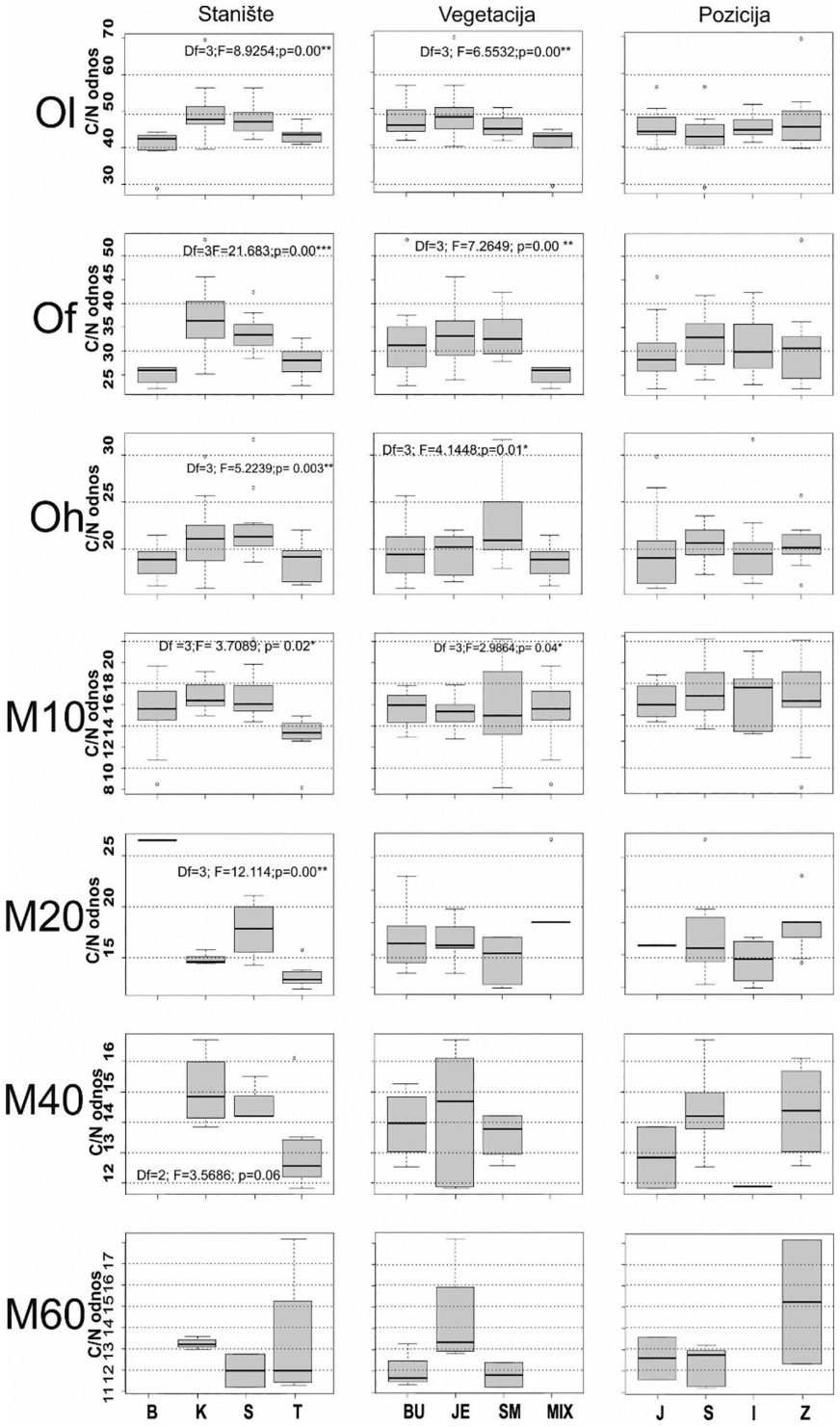
Na osnovu rezultata istraživanja, najvažnije je istaknuti nalaz da je stanište faktor variranja u zalihi Corg, a da je vegetacija pored toga faktor vertikalne distribucije zalihe Corg. Ovaj nalaz se može komentarisati na temelju manje zalihe Corg u organskim horizontima tla (Of, Oh) na MIX plohama, s mješovitim sastavom bukve, jele i smrče, u odnosu na plohe na kojima dominira jedna vrsta drveća. Podatak je podržan pretežno jednakim zalihama Corg u mineralnom sloju tla na sva četiri staništa.

Odnos C/N u organskoj materiji tla igra ključnu ulogu za stabilnost ugljika u tlu. Dok u organskom sloju odnos C/N upućuje na brzinu razgradnje, jer uži odnos potiče aktivnost mikroorganizama, u dubljim mineralnim slojevima uži odnos C/N može stimulisati akumulaciju organskog ugljika. Uži odnos C/N u dubljim slojevima može biti odraz ispiranja nitrata, u stanišnim uslovima koji pogoduju aerobnim nitrifikatorima. Nalaz potvrđuju druge relevantne studije (Cools et al., 2014). Veća stabilnost organske materije može se protumačiti u određenoj mjeri na temelju većih zaliha Corg staništa T i S s užim odnosom C/N. Poznato je da veće koncentracije N i uži odnos C/N utiču na povećanje stabilnih formi organske materije (Chen et al., 2017). Stabilnost organske materije u tlu važna je za dugoročno zadržavanje ugljika u tlu, a najpovoljnije stanje organske materije tla jesu veće količine Corg u mineralnom tlu s užim odnosom C/N. Stabilnost organske materije svakako je povezana s oblicima u kojima se nalazi, odnosno s njenom rekalcitracijom povezivanjem s Ca ionom, što je vjerovatan proces u Ca tlima kakva su tla na krečnjaku i dolomitu (Rowley et al., 2018).

Iako ova studija omogućava analizu stabilnosti Corg u tlu, za čvršću potvrdu uticaja odnosa C/N na zalihe Corg neophodno je provesti opsežnija istraživanja koja će uzeti u obzir i druge relevantne faktore.




Slika 1. / *Figure 1.*




Slika 2. / *Figure 2.*

Slika 1. Variranje zalihe organskog C (Corg u kg $m^{-2}$) u odnosu na stanište (Bjelašnica – B, Kočevski Rog – K, Snežnik – S, Trnovski gozd – T), vegetaciju (bukva – BU, jela – JE, smrča – SM, mješovita šuma – MIX) i reljefnu poziciju plohe (jug – J, sjever – S, istok – I, zapad – Z) u organskim (Ol, Of, Oh) i mineralnim (M10: 0–10 cm, M20: 10–20 cm, M40: 20–40 cm i M60: 40–60 cm) slojevima tla. Napomena: Rezultati ANOVA testa prikazani su na grafikonima gdje su utvrđene statistički značajne ($p \leq 0,05$) razlike.

*Figure 1. Variation in organic C stock (Corg in kg $m^{-2}$) relative to site (Bjelašnica – B, Kočevski Rog – K, Snežnik – S, Trnovski gozd – T), vegetation type (beech – BU, fir – JE, spruce – SM, mixed forest – MIX), and relief position of the plot (south – J, north – S, east – I, west – Z) in organic (Ol, Of, Oh) and mineral (M10: 0–10cm, M20: 10–20cm, M40: 20–40cm, and M60: 40–60cm) soil layers. Note: Results of the ANOVA test are depicted in the graphs where statistically significant differences (p≤0.05) were identified.*

Slika 2. Variranje vrijednosti C/N u odnosu na stanište (Bjelašnica – B, Kočevski Rog – K, Snežnik – S, Trnovski gozd – T), vegetaciju (bukva – BU, jela – JE, smrča – SM, mješovita šuma – MIX) i reljefnu poziciju plohe (jug – J, sjever – S, istok – I, zapad – Z) u organskim (Ol, Of, Oh) i mineralnim (M10: 0–10 cm, M20: 10–20 cm, M40: 20–40 cm i M60: 40–60 cm) slojevima tla. Napomena: Rezultati ANOVA testa su prikazani na grafikonima gdje su utvrđene statistički značajne ($p \leq 0,05$) razlike.

*Figure 2. Variation in C/N ratio values relative to site (Bjelašnica – B, Kočevski Rog – K, Snežnik – S, Trnovski gozd – T), vegetation type (beech – BU, fir – JE, spruce – SM, mixed forest – MIX), and relief position of the plot (south – J, north – S, east – I, west – Z) in organic (Ol, Of, Oh) and mineral (M10: 0–10cm, M20: 10–20cm, M40: 20–40cm, and M60: 40–60cm) soil layers. Note: Results of the ANOVA test are depicted in the graphs where statistically significant differences (p≤0.05) were identified.*

## Zaključci

Zalihe organskog ugljika u organskom sloju (Ol+Of+Oh) iznosile su ~1,62 kg $m^{-2}$, a u mineralnom tlu od 0–60 cm dubine ~16,0 kg $m^{-2}$. Odnos C/N je varirao srazmjerno sloju tla, te je u slojevima Ol, Of, Oh, M10, M20, M40 i M60 iznosio 45, 31, 21, 16, 18, 14 i 13. Rezultati istraživanja pokazuju da zaliha Corg i odnos C/N u tlu variraju među četiri analizirana staništa i u odnosu vegetaciju (plohe na kojima dominira bukva, jela ili smrča, te

mješoviti sastav), dok nema značajne varijacije u odnosu na reljefnu poziciju. Vrijednosti odnosa C/N u površinskim slojevima organskog tla povoljne su za mikrobiološku razgradnju, dok uži odnos u dubljim slojevima upućuje na moguću stimulaciju skladištenja ugljika u mineralnom tlu.

## Literatura

Chen, Z. J., Geng, S. C., Zhang, J. H., Setälä, H., Gu, Y., Wang, F., Zhang, X., Wang, X. X., Han, S. J. (2017): Addition of nitrogen enhances stability of soil organic matter in a temperate forest, European Journal of Soil Science, 68, 189-199. doi.org/10.1111/ejss.12404.

Christophel, D., Höllerl, S., Prietzel, J., Steffens, M. (2015): Long-term development of soil organic carbon and nitrogen stocks after shelterwood- and clear-cutting in a mountain forest in the Bavarian Limestone Alps, European Journal of Forest Research, 134 (4), 623-640.

Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V. et al. (2014): Carbon and Other Biogeochemical Cycles, u: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M. (ur.), Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 465-570. https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/.

Cools, N., Vesterdal, L., De Vos, B., Vanguelova, E., Hansen, K. (2014): Tree species is the major factor explaining C:N ratios in European forest soils, Forest Ecology and Management, 311, 3-16. doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.047.

Ćirić, M. (1966): Zemljišta planinskog područja Igman – Bjelašnica, u: Živadinović, J. Pregled faune tla Igmana, Radovi Šumarskog fakulteta i Instituta za šumarstvo – Sarajevo, knj. 10 (1), Sarajevo.

De Cinti, B., Bombi, P., Ferretti, F., Cantiani, P., Di Salvatore, U., Simončič, P., Kutnar, L., Čater, M., Garfì, V., Mason, F., Matteucci, G. (2016): From the experience of LIFE+ ManFor C.BD to the manual of best practices in sustainable forest management, Italian Journal of Agronomy, 11, 1-175. doi:10.4081/ija.2016.789.

De Vos, B., Cools, N., Ilvesniemi, H., Vesterdal, L., Vanguelova, E., Carnicelli, S. (2015): Benchmark values for forest soil carbon stocks in Europe: Results from a large scale forest soil survey, Geoderma, 251–252: 33-46. doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.03.008.

Evropska komisija (2012): European Commission COM((2012) 46 final). Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, The implementation of the Soil Thematic Strategy and ongoing activities. http://www.parlament.gv.at/PAKT/EU/XXIV/EU/07/22/EU_72283/imfname_10018183.pdf.

Federalni hidrometeorološki zavod (2018): Meteorološki godišnjaci. https://fhmzbih.gov.ba/latinica/KLIMA/godisnjaci.php (12. 7. 2018).

Homann, P. S., Sollins, P., Chappell, H. N., Stangenberger, A. G. (1995): Soil organic carbon in a mountainous, forested region: relation to site characteristics, Soil Science Society of America Journal, 59, 1468-1475.

Hukić, E. (2018): Svojstva tla i dinamika organske materije u šumama bukve i jele (sa smrčom) na krečnjacima i dolomitima na području Bjelašnice, doktorska disertacija.

Hukić, E., Čater, M., Marinšek, A., Ferlan, M., Kobal, M., Žlindra, D., Čustović, H., Simončič, P. (2021): Short-Term Impacts of Harvesting Intensity on the Upper Soil Layers in High Karst Dinaric Fir-Beech Forests, Forests, 12 (5), 581. doi.org/10.3390/f12050581.

IPCC (2002): IPCC Special Report: Land Use, Land Use Change, and Forestry, Summary for Policymakers, WMO, UNEP. https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/srl-en.pdf (14. 2. 2024).

Kögel-Knabner, I. (2017): The soil matrix – Visualising and quantifying microscale associations of organic and mineral components. Plenary talk presented at the 6th International Symposium on Soil Organic Matter, Harpenden, United Kingdom.

Lehmann, J., Kleber, M. (2015): The contentious nature of soil organic matter, Nature, 526, 60-68. doi:10.1038/nature16069.

Man For C. BD (2010): Managing forests for multiple purposes: carbon, biodiversity and socio-economic wellbeing, LIFE+ Project 2010–2015 Life Environment Project LIFE09 ENV/IT/000078. https://www.manfor.eu/new/.

Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A. et al. (2011): A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests, Science, 333 (6045), 988-993. doi:10.1126/science.1201609.

Prietzel, J., Christophel, D. (2014): Organic carbon stocks in forest soils of the German Alps, Geoderma 221–222, 28-39.

R Studio Team (2020): RStudio: Integrated Development for R, R Studio, PBC, Boston, MA. http://www.rstudio.com/.

Rowley, M. C., Grand, S., Verrecchia, E. P. (2018): Calcium-mediated stabilisation of soil organic carbon, Biogeochemistry, 137, 27-49. https://doi.org/10.1007/s10533-017-0410-1.

Šumskogospodarska osnova (2004): Šumskogospodarska osnova za period od 2004. god. do 2013. god. ŠGP/ŠPP, Igmansko.

WMO Climate Explorer (2018): http://www.climexp.knmi.nl (20. 7. 2018).

# Soil organic carbon in beech and fir forests with spruce of the Dinar karst mountains – stock and stability

**Summary:** The processes of climate change have stimulated numerous studies focused on the soil's potential to act as a carbon sink. While the contents of organic carbon in the soil (Corg), in relation to soil type, topography, and tree species, have been extensively documented elsewhere, there is a significant lack of data for soils in the forests of the Dinaric karst mountains. The Dinaric region is characterized by the presence of mixed, uneven-aged beech and fir forests primarily managed through the selection system, considered sustainable and suitable for preserving soil Corg stocks. This study, conducted at four comparable locations/sites in the karst mountain forests (Bjelašnica, Bosnia and Herzegovina; Kočevski Rog, Snežnik, and Trnovski gozd, Slovenia), investigated how soil Corg stocks and other chemical parameters, such as the C/N ratio, vary in relation to site conditions. The main results encompass data on Corg stocks, estimated based on measured C concentrations, calculated densities, coarse fragments, and effective depths of organic-mineral soil up to 60 cm deep. Additionally, the research revealed significant factors influencing the variability of these values concerning site and vegetation, particularly in the organic layer. Furthermore, the study provided insight into the stability of organic matter based on the soil's C/N ratio. The results offer valuable information on the dynamics of Corg in the soils of the Dinaric karst mountains, the significance of preserving fine organic debris in the forest, and are crucial for sustainable forest management practices in mitigating the impacts of climate change.