

Utjecaj šumskih kultura na zalihu ugljika u šumskoj prostirci na području Đurđevačkih pijesaka

Bajramspahić, Emina

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:008183>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-27**



Repository / Repozitorij:

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



ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

DIPLOMSKI STUDIJ URBANOG ŠUMARSTVA, ZAŠTITE PRIRODE I OKOLIŠA

EMINA BAJRAMSPAHIĆ

**UTJECAJ ŠUMSKIH KULTURA NA ZALIHU UGLJIKA U
ŠUMSKOJ PROSTIRCI NA PODRUČJU ĐURĐEVAČKIH
PIJESAKA**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2019.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

**UTJECAJ ŠUMSKIH KULTURA NA ZALIHU UGLJIKA U ŠUMSKOJ
PROSTIRCI NA PODRUČJU ĐURĐEVAČKIH PIJESAKA**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Urbano šumarstvo, zaštita prirode i okoliša

Predmet: Zaštita i gospodarenje s tlom

Ispitno povjerenstvo: 1. prof. dr. sc. Darko Bakšić

2. doc. dr. sc. Ivan Perković

3. prof. dr. sc. Nikola Pernar

Student: Emina Bajramspahić

JMBAG: 0130279702

Broj indeksa: 7767/16

Datum odobrenja teme: 25.4.2019.

Datum predaje rada: 12.9.2019.

Datum obrane rada: 20.9.2019.

Zagreb, rujan, 2019.

Dokumentacijska kartica

| | |
|---------------------|---|
| Naslov | Utjecaj šumskih kultura na zalihu ugljika u šumskoj prostirci na području đurđevačkih pijesaka |
| Title | Impact of the forest cultures on forest floor carbon stock on Djurdjevac sends area |
| Autor | Emina Bajramspahić |
| Adresa autora | Ogrizovićeve 22a |
| Mjesto izrade | Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu |
| Vrsta objave | Diplomski rad |
| Mentor | prof. dr. sc. Darko Bakšić |
| Izradu rada pomogao | doc. dr. sc. Ivan Perković, univ. bacc. ing. silv. Iva Roso |
| Godina objave | 2019. |
| Obujam | broj stranica: 52, broj tablica: 12, broj slika: 31, broj grafikona: 1, broj navoda literature: 34 |
| Ključne riječi | šumska prostirka, zaliha ugljika, crni bor, obični bor, obični bagrem |
| Key words | forest floor, carbon stock, litter, <i>P. nigra</i> , <i>P. sylvestris</i> , <i>R. pseudoacacia</i> |
| Sažetak | <p>Smirivanje "Đurđevačkih pesaka" obavljeno je podizanjem kultura običnog (<i>Pinus sylvestris</i> L.) i crnog bora (<i>Pinus nigra</i> Arnold), te bagrema (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.) krajem 19. stoljeća. Cilj diplomskog rada je određivanje količina akumulirane organske tvari i zaliha organskog ugljika u šumskoj prostirci s obzirom na vrstu kulture te usporedba s kontrolnim plohamo koje su bile prepuštene prirodnoj sukcesiji. U dosadašnjim istraživanjima, osim određivanja debljine šumske prostirke, nije obavljena njena detaljnija analiza. Najveća količina šumske prostirke utvrđena je u kulturi običnog bora gdje njena srednja vrijednost iznosi 61,5 Mg ha⁻¹. U kulturi crnog bora ona iznosi 55,6 Mg ha⁻¹, dok je u kulturi običnog bagrema nešto manja i iznosi 29,9 Mg ha⁻¹. Na kontrolnoj plohi količina prostirke iznosi svega 20,8 Mg ha⁻¹. Najveće zalihe organskog ugljika zabilježene su u kulturama običnog bora, gdje srednja vrijednost iznosi 26,3 Mg C ha⁻¹, zatim u kulturama crnog bora (24,3 Mg C ha⁻¹), pa se smanjuju u bagremovim kulturama (12,7 Mg C ha⁻¹), dok su na kontrolnim plohamo zabilježene najmanje zalihe organskog ugljika u vrijednosti od 7,9 Mg C ha⁻¹. Utvrđeno je da kulture borova imaju statistički značajno veću količinu šumske prostirke i statistički značajno veću zalihu organskog ugljika od kultura bagrema i vegetacije na kontrolnim plohamo.</p> |

Izjavljujem da je moj *diplomski rad* izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

vlastoručni potpis

Emina Bajramspahić

U Zagrebu, 20.9.2019.

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 1.1. Ugljik..... | 2 |
| 1.2. Ciklus ugljika u šumskim ekosustavima | 3 |
| 1.3. Šumska prostirka..... | 5 |
| 1.4. C/N odnos..... | 9 |
| 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA..... | 10 |
| 2.1. Položaj..... | 10 |
| 2.2. Postanak Đurđevačkih pijesaka | 11 |
| 2.3. Pošumljavanje | 12 |
| 2.4. Pijesci pod šumom | 14 |
| 2.4. Ekološke značajke..... | 15 |
| 2.5. Pedološke značajke | 15 |
| 3. CILJ ISTRAŽIVANJA | 17 |
| 4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA..... | 18 |
| 4.1. Terensko uzorkovanje..... | 18 |
| 4.2. Laboratorijske analize..... | 22 |
| 4.3. Statističke analize..... | 25 |
| 5. REZULTATI..... | 26 |
| 5.1. Količina šumske prostirke..... | 26 |
| 5.2. Udjel organskog ugljika (C) u šumskoj prostirci..... | 28 |
| 5.3. Udjel ukupnog dušika (N) u šumskoj prostirci | 32 |

| | |
|--|----|
| 5.4. C/N odnos | 36 |
| 5.4. Zaliha organskog ugljika (C) i ukupnog dušika (N_{uk}) u šumskoj prostirci..... | 40 |
| 6. RASPRAVA | 46 |
| 7. ZAKLJUČAK..... | 48 |
| LITERATURA | 49 |

1. UVOD

U posljednje vrijeme suočavamo se sa velikim izazovima vezano za klimatske promjene i globalno zatopljenje. Velike količine CO₂, jednog od najznačajnijih stakleničkih plinova, se nalaze u atmosferi, te su direktan uzrok zagrijavanja Zemlje. Posljedica toga su značajne promjene u ekosustavima i narušavanje ekološke ravnoteže. Jedan od načina kontroliranja ugljika na Zemlji je održivo gopodarenje šumskim ekosustavima, pa bi se šumarstvo moglo shvatiti i kao znanost gospodarenja ugljikom. Velik dio ugljika pohranjuje se u tlo, stoga je tlo jedan od važnijih fokusa u cilju ublažavanja klimatskih promjena.

Prije industrijske ere koncentracija atmosferskog ugljičnog dioksida tisućama je godina iznosila oko 280 ppm¹. Od tada (sredina 18. stoljeća) do 1999. godine, prema IPCC², ta vrijednost se popela na 367 ppm (Houghton, 2001). Prema zadnjim podacima američke Nacionalne agencije za istraživanje oceana i atmosfere³ iz svibnja 2019. godine izmjerena koncentracija atmosferskog CO₂ iznosila je 415 ppm (Research.noaa.gov, 2019). Uzrok tom drastičnom povećanju je antropogena emisija CO₂ u atmosferu, i to najvećim dijelom kroz izgaranje fosilnih goriva. Ostatak emisija posljedica je promjene načina uporabe zemljišta (*land use*), naročito deforestacije (Houghton, 2001). To su vrlo zabrinjavajući podaci, budući da koncentracija CO₂ kao jednog od stakleničkih plinova direktno utječe na globalno zatopljenje. Radi toga je 1992. godine u Rio de Janeiru potpisana Okvirna Konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime⁴, u kojoj je jedan od dokumenata Kyoto protokol, kojem je glavni cilj smanjenje neto emisije stakleničkih plinova, među kojima je CO₂. Republika Hrvatska je postala stranka Konvencije 1996. godine (Paladinić, 2009).

Značajan prirodan način uklanjanja CO₂ iz atmosfere predstavljaju šume, budući da biljke kroz proces fotosinteze apsorbiraju CO₂ koji im je potreban za stvaranje asimilata u lisnoj masi. Na taj

¹ ppm (prema engl. *parts per million*: dijelova na milijun), nenormirani znak za milijuntinku, tj. ppm = 1/1 000 000 = 10⁻⁶; 1 ppm = 1 mg/L

² IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change – Međuvladin panel o klimatskim promjenama

³ NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

⁴ UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change

način šume, a posebice šumsko drveće u njima, značajno doprinose smanjenju koncentracije CO₂ u atmosferi, te ih se zbog toga naziva ponorima ugljika (engl. *Carbon sink / pool*) (Paladinić, 2009). Kroz razne procese rasta i razvoja drveća ali i ostalih organizama u šumi te njihovog odumiranja i razlaganja, velike količine organske tvari se pohranjuju u šumsko tlo. Pohranjivanje ugljika u tlu se u literaturi često naziva „sekvestracija“ – engl. *carbon sequestration*. Sve zemlje potpisnice UNFCCC Konvencije moraju provesti nacionalni sustav izvješćivanja o promjenama zaliha ugljika u šumama, te kao dio tog sustava moraju kvantificirati prostornu raspodjelu, veličinu i promjene u zalihama organskog ugljika u tlu. Bitno je razumjeti mehanizme i faktore dinamike spremanja ugljika u šumskim tlima, jer na taj način možemo prepoznati prirodne ponore ugljika u svrhu sekvestracije ugljika, a time i ublažavanja učinaka klimatskih promjena (Herrero et al., 2016).

U svjetskim tlima pohranjena je najveća količina terestričnog ugljika, kako anorganskog tako i organskog. Za globalni ciklus ugljika puno je bitniji organski ugljik tla koji iznosi oko 1750 Pg⁵. To je približno dvostruko više od zalihe ugljika u atmosferi (750 - 830 Pg C) i otprilike tri puta više od zalihe ugljika u fitomasi vegetacije (450 - 650 Pg C). U šumskim tlima je pohranjeno oko 300 Mg⁶ ugljika po hektaru (Pernar, 2017).

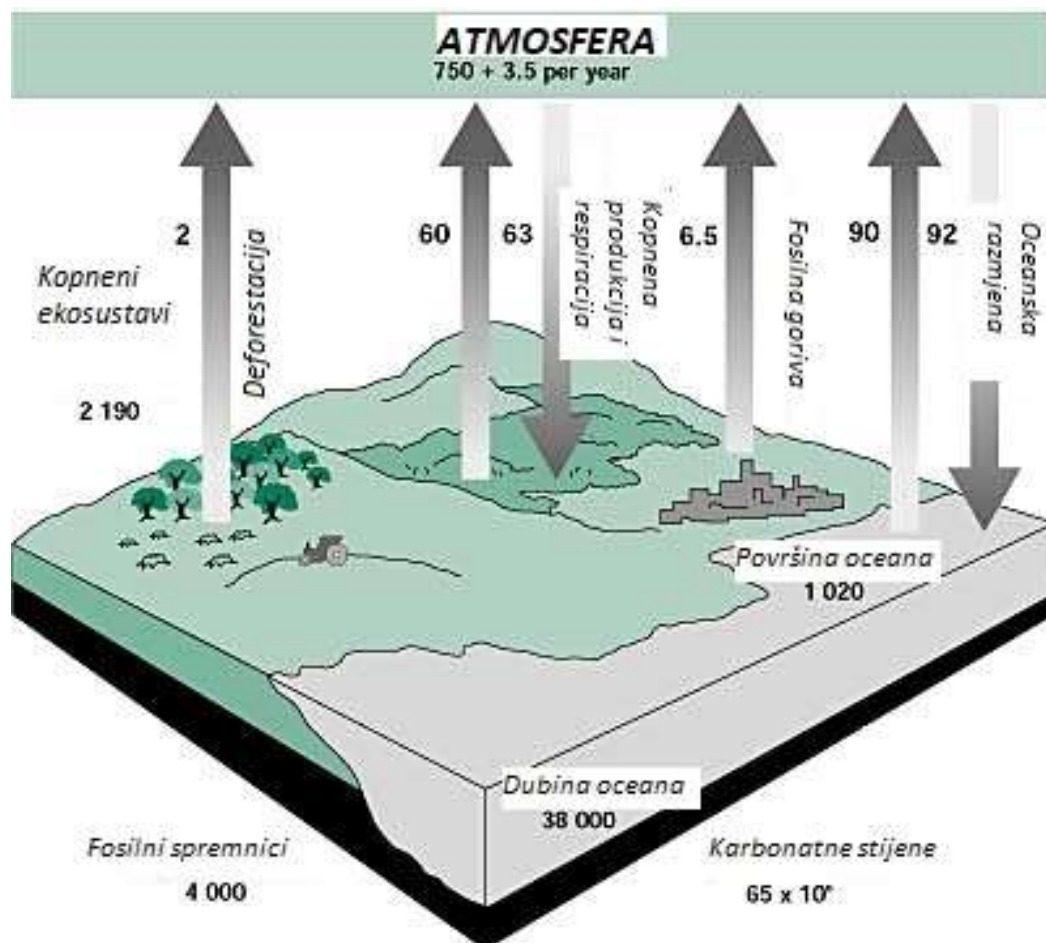
1.1. Ugljik

Ugljik na Zemlji kruži između tri velika spremnika ugljika - atmosfere, oceana i kopnenih sustava, koji su u stalnoj međusobnoj interakciji (slika 1). Četvrti i najveći spremnik je geološki spremnik ugljika te se on smatra stalnim, jer bez antropogenog utjecaja ugljik koji je pohranjen u njemu je isključen iz prirodnog ciklusa. Ipak, industrijalizacijom i intenzivnim korištenjem fosilnih goriva, jedan dio ugljika iz geoloških spremnika ipak sudjeluje u globalnom ciklusu ugljika (Eswaran, 1993). Od svih kopnenih ekosustava šumski ekosustavi su najveći spremnici ugljika, te na taj način značajno sudjeluju u kruženju ugljika (Lorenz i Lal, 2010).

⁵ 1 Pg (petagram) = 10¹⁵ g = 1 Gt (gigatona)

⁶ 1 Mg (megagram) = 10⁶ g = 1 t (tona)

Ugljik je glavni gradbeni element biljne tvari te je zaslužan za protok energije u šumama. S obzirom na osnovnu podjelu biomase, ugljik se u šumskoj biomasi može podijeliti na: a) ugljik u živoj drvenastoj biomasi; b) ugljik u mrtvoj drvenastoj biomasi i c) organski ugljik u šumskom tlu (Paladinić, 2009).



Slika 1. Globalni ciklus ugljika – sve vrijednosti izražene su u Gt (izvor: <http://www.fao.org/3/y0900e/y0900e06.htm>)

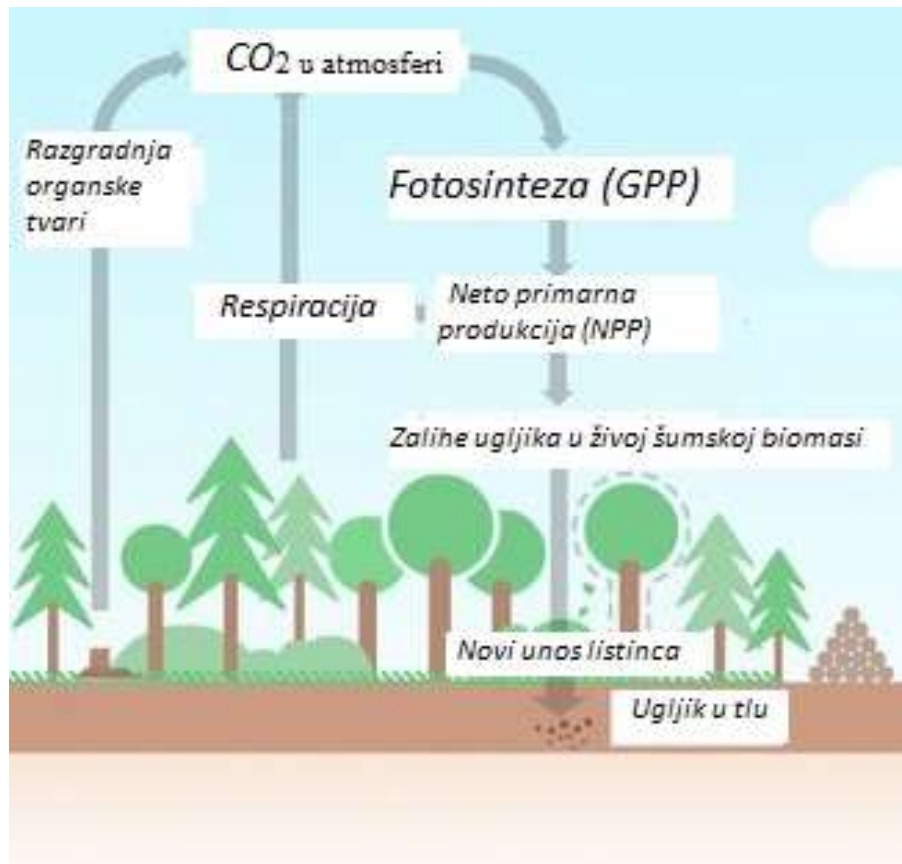
1.2. Ciklus ugljika u šumskim ekosustavima

Ciklus ugljika bi se pojednostavljeno mogao opisati kao premještanje ugljika iz atmosfere u organsku tvar te oksidacija organske tvari i ispuštanje ugljika u atmosferu (Pernar, 2017) (slika 2). Zelene biljke usvajaju CO₂ iz atmosfere putem puči na listovima, te ga procesom

fotosinteze pretvaraju u ugljikohidrate koji snabdijevaju biljku energijom potrebnom za rast i razvoj.

Količina asimiliranog ugljika iz CO₂ procesom fotosinteze se naziva bruto primarna produkcija – GPP (engl. *Gross Primary Production*). Jedan dio GPP se ugrađuje u biljna tkiva, listove, korijen i drvo, dok se drugi dio vraća u atmosferu kroz autotrofno disanje – R_a (engl. *Autotrophic Respiration*: disanje nadzemnih biljnih organa, korijena, mikorize). Godišnji rast biljke je razlika između autotrofnog disanja (respiracije) i fotosinteze. Drugim riječima, to je količina asimiliranog ugljika u živoj biomasi i naziva se neto primarna produkcija - NPP (engl. *Net Primary Production*). NPP je uravnotežena heterotrofnim disanjem - R_h (engl. *Heterotrophic Respiration*: disanje mikroba koji razgrađuju organsku tvar te disanje ostale faune) s malim udjelom izgaranja – izravne oksidacije u požarima (Marjanović et al., 2011; Farquhar et al., 2001; Schulze, 2000). Dakle, ugljik koji je procesom fotosinteze ugrađen u biljna tkiva, predstavlja izvor hrane za heterotrofne organizme u tlu. Razgradnjom organskih ostataka odnosno biokemijskom oksidacijom i heterotrofnim disanjem, ugljik koji se nalazi u organskom materijalu prelazi u CO₂ i izlazi u atmosferu. Dio ugljika koji se ne može razgraditi ugrađuje se u humus i isključuje se iz ciklusa, dok manji dio ugljika sudjeluje u reakcijama u tlu u obliku ugljične kiseline (Pernar, 2017; Lorenz i Lal, 2010; Schulze, 2000). Međutim, u odgovarajućim uvjetima se i sam humus može remobilizirati ukoliko se promjene edafski uvjeti i organizmi razgrađivači. U tom slučaju, razgradnjom humusa ugljik se premješta u podzemne vode (Schulze, 2000).

Godišnji promet ugljika između biljaka i atmosfere je oko 180 Pg, pri čemu biljke usvajaju 120 Pg C, a oslobađaju 60 Pg C. Odumiranjem biljnih organa na tlu 60 Pg C završava u pedosferi, a iz nje se disanjem (razgradnjom organske tvari) godišnje oslobađa 60 Pg C (Pernar, 2017). Ciklus ugljika je usko vezan sa procesima nastanka tla – pedogenezom u terestričnim ekosustavima, a posebno u šumama. Također, količina ugljika u tlu varira s obzirom na područje gdje se nalazi (tropske, umjerene i borealne šume) i o kojem se tlu radi (histosoli imaju najveću količinu ugljika u svijetu) (Ashton, 2012).



Slika 2. Ciklus ugljika u šumskim ekosustavima (izvor: <https://www.forestresearch.gov.uk/tools-and-resources/statistics/forestry-statistics/forestry-statistics-2018/uk-forests-and-climate-change/carbon-cycle/>)

1.3. Šumska prostirka

Tlo možemo proučavati ektomorfološki i endomorfološki. Endomorfologija tla se proučava na profilu tla koji se sastoji od horizonata. Horizont se definira kao najistaknutije obilježje nekog profila tla i po svojim morfološkim karakteristikama i svojstvima razlikuje se od ostalih horizonata. Također horizont tla obilježava granicu prema susjednim horizontima i relativno je paralelan s površinom tla. Ovisno o pedogenetskim procesima u evoluciji tla, postoje različite vrste tala, sa različitim horizontima. Prema FAO–WRB–klasifikacijskom sustavu, za

označavanje 10 glavnih horizonata i slojeva koriste se velika slova abecede. Jedan od horizonata je O – horizont⁷ koji se naziva i organski horizont (Pernar et al., 2013).

Pernar et al. (2013) definiraju O – horizont kao „ (...) površinski sloj u kojem dominira nerazgrađeni ili slabo razgrađeni organski materijal (maseni udjel organske tvari je > 30%), čija razgradnja nije usporena jer nema dugotrajne stagnacije vode. Saturiranost tla vodom i ležanje vode na površini tla je kratkotrajno pa se ne odražava značajno na razgradnju organskih ostataka. (...) uključeni su ostatci svih nadzemnih biljnih organa, mahovina, lišajeva, i faune. Može se naći i dublje u tlu kao zatrpani (fosilni) organski sloj ili organski horizont.“

O – horizont u šumi nazivamo šumskom prostirkom. Šumska prostirka su sveukupni organski ostaci, uglavnom biljnog porijekla, koji se nalaze na površini mineralnog dijela tla u šumi. Šumska prostirka je veoma bitan ekološki čimbenik između biljaka, atmosfere i tla. Vrlo je važna u regulaciji hidroloških uvjeta tla, smanjuje evaporaciju te povećava infiltracijsku sposobnost tla (Barčić et al., 2011). Šumska prostirka smanjuje eroziju tla, ublažava temperaturne ekstreme te predstavlja hranu za faunu tla. Ona utječe na pH vrijednost tla, te ukoliko se sastoji od ostataka koji se sporo razgrađuju, pH tla se snižava, odnosno tlo se zakiseljuje (Pernar, 2017). Šumska prostirka ima znatan utjecaj na hraniva, pedološke procese, regeneraciju i spremanje atmosferskog ugljika (Vesterdal, 1998).

U šumskoj prostirci dominira list odnosno iglice drveća, dok grančice, kora, plodovi i cvjetovi sudjeluju s oko 20 – 40% mase, a prizemno rašće sa 5% mase. Količina prostirke ovisi o priljevu organskih ostataka, ovisno o biljnim zajednicama, te o brzini njihove razgradnje. Također se priljev mijenja ovisno o načinu gospodarenja šumom te o starosti šume kod jednodobnih sastojina (Pernar, 2017).

Pernar (2017) navodi da se prema Ćiriću (1984) u umjerenom pojasu se nakupljaju sljedeće količine organskih ostataka u šumskoj prostirci (Mg ha^{-1} suhe tvari⁸):

- borove šume: 2 – 4;
- hrastove šume: 3 – 4;

⁷ prema engl. *organic* = organski
⁸ suha tvar je tvar sušena na 50 °C do konstantne mase

- smrekove šume: 4 – 7;
- bukove šume: 2,5 – 4.

Šumska prostirka se može razlučiti na 2 ili 3 podhorizonta ovisno o stupnju razgradnje (slika 3). Prema tome, razlikujemo Oi – slabo razgrađen organski materijal gdje su više od 2/3 volumena biljni ostaci prepoznatljivog porijekla, Oe – umjereno razgrađen organski materijal gdje je od 1/6 do 2/3 prepoznatljivih ostataka i Oa – visoko razgrađen organski materijal gdje je manje od 1/6 prepoznatljive organske tvari jer je organska tvar humificirana (Pernar, 2017). praksi se ti pothorizonti češće označavaju na sljedeći način: Oi = OL, Oe = OF i Oa = OH.

U ovome istraživanju korištene su upravo oznake s tim indeksima. OL (engl. *litter* = listinac) je horizont koji se uglavnom sastoji od lišća/iglica, grančica i drvenastog materijala, te je većinu biljnih organa moguće identificirati golim okom. Lišće, odnosno iglice mogu biti obojene ili neznatno fragmentirane, a huminska komponenta iznosi manje od 10% volumena. OF (engl. *fragmented* = fragmentiran, izdijeljen) je horizont kojeg karakterizira nakupljanje djelomično razgrađenog (tj. fragmentiranog) listinca, uglavnom od transformiranog lišća/iglica, grančica i drvenastog materijala, ali bez čitavih biljnih organa. Proporcije huminske komponente iznose od 10% do 70% volumena. OH (engl. *humus* = humus, *humification* = humifikacija) je horizont karakteriziran akumulacijom zoogeno transformiranog materijala, a porijeklo (dijelovi biljaka) razgrađenog materijala nije jasno, organski ostaci su humificirani. Huminska komponenta iznosi više od 70% volumena (Zanella et al., 2011). Razgradnjom biljnih ostataka nastaje humus koji se nakuplja na površini tla ili se povezuje sa mineralnim dijelom tla. Prema Pernaru (2017), šumske forme humusa se dijele na *mull* (zreli humus), *moder* (polusirovi humus) i *mor* (sirovi humus). Uzak C/N odnos, izostanak OH- podhorizonta, visok sadržaj dušika pogoduju razgradnji organske tvari i to karakterizira *mull*- humus. S druge strane, karakteristike *mor*- humusa su dominantni OF i OH- podhorizonti, visok C/N odnos ($C/N > 20$), debeo OF- podhorizont koji otežava procese razgradnje.

Brzina razgradnje šumske prostirke ovisi o svojstvima tla, različitoj kvaliteti listinca među vrstama drveća i klimatskim uvjetima. Naime, kvaliteta šumske prostirke, kao supstrata za razgrađivače, i tip tla su ključni faktori razgradnje organske tvari. Listinac četinjača je manje kvalitete nego listinac listača, no to se može povezati i sa time što četinjače uglavnom prirodno pridolaze ili se uzgajaju na siromašnijim tlima. Klimatski uvjeti također utječu na brzinu

raspadanja prostirke, jer visoke temperature povećavaju aktivnost razgrađivača, no u tom slučaju i uvjeti vlage moraju biti zadovoljeni (Vesterdal, 1998).



Slika 3. Podhorizonti šumske prostirke alepskog bora na Mljetu
(izvor: Bakšić i Bakšić, 2017)

Šumska prostirka se ubraja u neživu organsku tvar tla, a temeljni element organske tvari tla je ugljik. U njoj je pohranjena velika količina ugljika – oko 1500 Pg (Fröberg et al., 2003). Određivanje zaliha ugljika u prostirci i tlu je još uvijek najzahtjevnije, jer se ostale sastavnice šumskog ekosustava (npr. nadzemna biomasa) mogu istraživati i putem metoda daljinskih istraživanja. Danas se najčešće koristi LiDAR metoda daljinskih istraživanja. Za razliku od toga, prostirku još uvijek treba uzorkovati te analizirati u laboratoriju.

1.4. C/N odnos

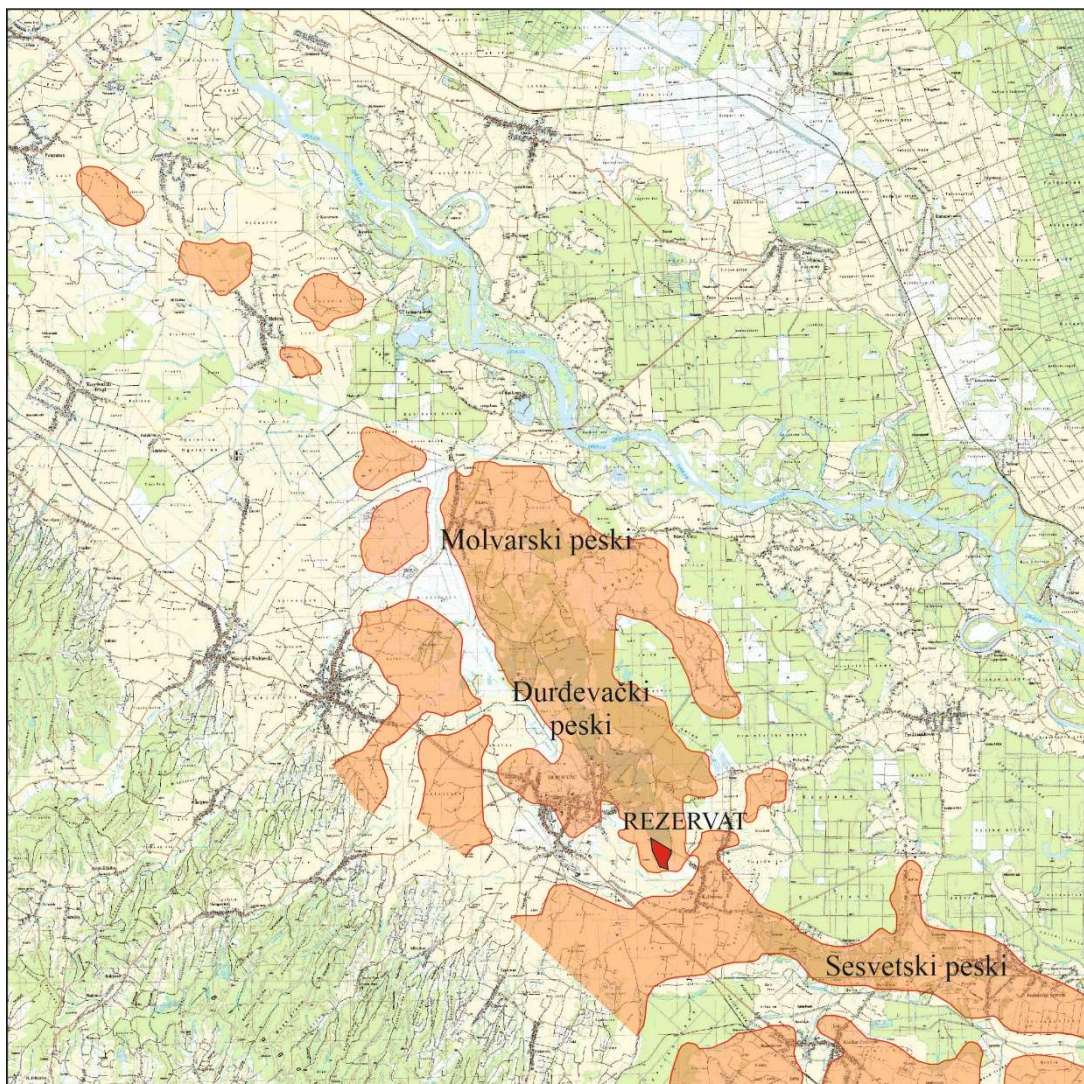
Dušik je jedno od najznačajnijih hraniva u tlu, a nedostatak ili nedostupnost dušika u tlu uzrokuje nepovoljan okoliš za uspješan rast i razvoj biljaka. U tlu se nalazi otopljeni organski dušik i mineralni dušik. Mineralni oblici dušika su amonijev ion (NH_4^+), nitratni ion (NO_3^-) i nitritni ion (NO_2^-). Dospijevaju u tlo mineralizacijom organskih ostataka (nitrifikacijom i amonifikacijom), zatim kao posljedica električnog pražnjenja i sagorijevanja te gnojidbom. Biljke usvajaju dušik iz tla u amonijskom, no još češće u nitratnom obliku. Dušik u nitratnom obliku je vrlo mobilan, te ga biljke lako apsorbiraju iz tla, no isto tako zbog svoje mobilnosti se vrlo lako ispire iz tla u hidrosferu. U biljnom tkivu ima mnogo dušika, a najviše ga ima u listu i plodovima. Suha biljna tvar sadrži oko 10 – 50 g kg^{-1} dušika, dok se udjel dušika u šumskoj prostirci kreće između 10 i 15 g kg^{-1} (Pernar, 2017). U šumskom ekosustavu dušik najvećim dijelom ulazi u tlo kroz odumiranje i razgradnju organskih ostataka šumskoga drveća, no s druge strane se dušik u šumskim ekosustavima značajno gubi kroz hlapljenje i oksidaciju u šumskim požarima. Dušik također izlazi iz tla u atmosferu u procesom denitrifikacije.

Budući da je dušik potreban mikroorganizmima za izgradnju staničnih bjelančevina, a time i razgradnju organske tvari, udjel dušika u listincu je važan pokazatelj njegove razgradivosti. Prema tome, C:N odnos je važan pokazatelj kvalitete šumske prostirke i brzine njene razgradnje. C:N odnos se kreće u rasponu 20 – 150, te što je C:N odnos manji, to je razgradnja organskih ostataka brža. Na primjer, ukoliko je $\text{C:N} < 30$, razgradnja listinca se odvija unutar jedne godine. Što je C:N odnos veći (50 – 70), to je razgradnja usporenija, te se odvija unutar 3 – 4 godine. Listinac listača ima manji C:N odnos od listinca četinjača, što znači da se brže razgrađuje. Dakle manji C:N odnos je povoljniji za razgradnju organske tvari (Pernar, 2017).

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

2.1. Položaj

Istraživanje je obavljeno na području Đurđevačkih pijesaka, koji su smješteni na SI dijelu Središnje Hrvatske u Koprivničkoj – križevačkoj županiji, na sjevernom te jugoistočnom rubu grada Đurđevca. Đurđevački pijesci se pružaju na prostoru Gornje hrvatske Podravine uz desnu obalu rijeke Drave, u smjeru sjeverozapad – jugoistok (slika 4).



Slika 4. Areal prostiranja pijesaka i lesolikih naslaga u Podravini, prilagođeno prema D. Feletaru

2.2. Postanak Đurđevačkih pijesaka

Geomorfološki fenomen pjeskovitog humlja se u krajoliku Podravine jasno ističe u svojim najvišim dijelovima u okolici naselja Molve, Đurđevac, Kalinovac i Kloštar Podravski. Budući da su u okolici Đurđevca pijesci najviše istaknuti, najčešće ih nazivamo Đurđevački pijesci (na đurđevačkom kajkavskom dijalektu „Peski“, „Krvavi peski“, „Hrvatska Sahara“). To je jedan od posljednjih ostataka Podravske pijesake koji su dio velikog kompleksa zapadno-panonskih pijesaka koji se rasprostiru južno od Blatnog jezera u susjednoj Mađarskoj (Ozimec et al., 2016).



Slika 5. Posebni geografsko-botanički rezervat Đurđevački pijesci

(Foto: *E. Bajramspahić*, 2018.)

Trošenjem istočnih Alpa u pleistocenu, akumulacijom materijala u ledenjacima te otapanjem ledenjaka u holocenu, nekoć velika rijeka Paleo-Drava donijela je pijeske na područje Panonske nizine i Podravine, a jaki vjetrovi su te sedimente dalje raznosili po kopnu. Na taj način su nastali Podravski pijesci.

Pijesak je sediment koji nastaje trošenjem, erozijom, transportom i taloženjem dijelova različitih stijena. Promjer zrna pijeska kreće se između 0,06 i 2 mm, a sastav i boja pijeska se razlikuju ovisno o stijenama od kojih su nastali. Đurđevački pijesci su sitno i srednjezrnati pijesci žućkaste, svijetlo-smeđe i sivkaste boje, a tipični sastav su najvećim dijelom zrna kvarca te muskovit i listići muskovita, karbonatna zrna i teški minerali (posebno granati). Minerali u pijescima pokazuju da su se u nastanku pijesaka trošile vrlo različite stijene, uglavnom metamorfiti i eruptivi, a zatim i taložne klastične i karbonatne stijene (Kranjčev, 2006).

U sloju taloženja pijeska se često mogu naći pješćane konkreције u obliku krutih vapnenastih valjaka unutar kojih se nalaze ostaci korijenja nekadašnjih biljaka, što bi značilo da je postojao biljni pokrivač na pijescima. Sve do kraja 18. stoljeća, kad su Turci otišli sa tih prostora, područje Pijesaka je bilo prekriveno vegetacijom, što se vidi i na starim zemljopisnim kartama. Odlaskom Turaka, lokalno stanovništvo se počelo vraćati na te posjede, te krčenjem šuma i ispašom stoke, Pijesci su ponovno ogolili i postali pokretni (Kranjčev, 2006).

2.3. Pošumljavanje

Veliki problem bilo je raznošenje pijesaka vjetrom na okolna polja, vinograde, te zatrpavanje dvorišta pa čak i kuća lokalnog stanovništva, pa se iz tih razloga pijesci počinju pošumljavati. Prva pošumljavanja Đurđevačkih pijesaka obavljena su krajem 19. stoljeća. Pošumljavanju pijesaka prethodile su faze poravnavanja tla i smirivanja pijesaka. Faza smirivanja pijesaka je bila složena od metode mehaničkog smirivanja i biološkog smirivanja kretanja pijeska. Mehaničko smirivanje (slika 6) se obavilo tako da su se u tlu iskopale jame te ukopale grane zečjaka (*Cytisus scoparius* /L./ Link), borovice, johe i ostalih vrsta gdje je zečjak odigrao ključnu ulogu u smirivanju pijeska (Anić i Matić, 2017; Ozimec et al., 2016). Zečjak se pokazao vrlo dobrim odabirom zbog toga što vrlo brzo raste, dobro veže i nakuplja nitrata u tlu, ima duboko korijenje, reducirano lišće i sposobnost obavljanja fotosinteze stabljikama (Muir i Vamosi, 2014). Biološko smirivanje pijesaka se obavljalo sjetvom trava, ponajviše vlasulja bradica (*Festuca vaginata* Waldst. et Kit. ex Willd.). Prve dvije faze trajale su dvije godine, a zatim se pristupilo pošumljavanju. Pošumljavalo se pionirskim vrstama drveća: sadnicama crnog bora (*Pinus nigra* J.

F. Arnold), običnoga bora (*Pinus sylvestris* L.) i običnoga bagrema (*Robinia pseudoacacia* L.). Negdje su sađene i obična smreka, pajasen i jablani, pa čak i trnovac, a kasnije su se prirodnim putem pojavili i hrast lužnjak, javor klen, divlja trešnja, crna joha, obični grab i ostale vrste (Anić i Matić, 2017; Ozimec et al., 2016). Pošumljavalo se sve do početka Drugog svjetskog rata (područje prema Kalinovcu najkasnije je „smireno“) (Kranjčev, 2006; Matica, 2011).



Slika 6. Radovi na smirivanju pijesaka (Foto: *F. Šandor*, oko 1910.; izvor: Vrbeč i Pilaš, 2011)



Slika 7. Mladi borovi 1930-ih godina (Foto: *Dr. I. Kranjčev* ; izvor: *Kranjčev, 2006*)

2.4. Pijesci pod šumom

Sustavnim pošumljavanjem, nekad „živi“ i pokretni pijesci su smireni, te se na njima i danas razvijaju kulture crnog bora, bijelog bora i običnog bagrema. Najveći dio Pijesaka danas je pod srednjodobnim i starim sastojinama crnog i bijelog bora (slika 8) gdje one najstarije sastojine imaju stotinjak godina. Bagremove sastojine (slika 9) su na znatno manjim površinama, mjestimično su vitalne i u prizemnom sloju obiluju kupinom. Desetak godina prošlog stoljeća (1947.-1957.) na području Pijesaka trajalo je smolarenje, a tragovi smolarenja su i danas vidljivi na dijelu preostalih starijih borovih stabala (*Kranjčev, 2006*).

Ovo je jedinstven primjer podizanja i oblikovanja šumskih sastojina na najvećim pješčanim tlima u Hrvatskoj te ove sastojine nemaju samo gospodarsku već i veliku ekološku vrijednost.

Godine 1939. dio Đurđevačkih pijesaka proglašen je stalnom zaštitnom šumom, a Skupština općine Đurđevac je 1963. godine dio nepošumljenih površina Đurđevačkih pijesaka proglasila specijalnim geografsko-botaničkim rezervatom (slika 5). Rješenjem Skupštine Koprivničko-križevačke županije, dio šuma gospodarske jedinice Đurđevački pijesci na površini od 115,18 hektara zaštićen je kao park - šuma (Petrić, 2008).

2.4. Ekološke značajke

Područje istraživanja nalazi se kraj Đurđevca na nadmorskoj visini između 110 i 135 m. Srednja temperatura zraka u proljeće iznosi 10,2 °C, ljeti 19,2 °C, u jesen 10,3 °C i zimi 0,7 °C, dok je srednja godišnja temperatura 10,1 °C. Godišnja količina oborina je oko 950 mm i prema Köppenovoj klasifikaciji, ima oznaku Cfwbx". Prema Thornthwait-ovoj klasifikaciji, područje je humidno, jer je vrijednost P/E na tom području 88. U vegetacijskom smislu područje Đurđevačkih pijesaka nalazi se u zoni klimatogene zajednice (*Carpino betuli-Quercetum roboris*, Anić 1956 ex. Rauš 1969) (Vrbek i Pilaš, 2011).

2.5. Pedološke značajke

U posljednjih sto godina šumska vegetacija, odnosno kulture crnog i bijelog bora te bagrema, imale su veliki utjecaj na pedogenetske procese na području Đurđevačkih pijesaka. Nekoć su to bili pokretni pijesci, no nakon pošumljavanja se u sastojinama počinje stvarati humusni horizont i šumska prostirka. Pod kulturama crnog i običnog bora te bagrema pridolazi arenosol silikatni, riječni, humozni. Organični horizont debljine je 1 do 3 cm, a humusni horizont do 10 cm, dok je na kontrolnim mjestima bez šumske vegetacije zastupljen arenosol silikatni, riječni, slabo humozni. Humusni horizont je debljine do 2 cm. Evolucija tala se razvija progresivno prema skupini kiselih smeđih tala – distričnim kambisolima (Cambisols) (Vrbek et al., 2017).



Slika 8. Izgled borovih sastojina u GJ Đurđevački peski (izvor: Kranjčev, 2006)



Slika 9. Izgled bagremove sastojine u GJ Đurđevački peski (Foto: *E. Bajramspahić*, 2018.)

3. CILJ ISTRAŽIVANJA

Budući da je šumska prostirka vrlo važan ekološki čimbenik u šumskim ekosustavima i da pohranjuje veliku količinu ugljika, istraživanjem se planira utvrditi kakav je utjecaj pošumljenih kultura crnog bora, običnog bora i običnog bagrema s aspekta zaliha ugljika. Cilj istraživanja bio je odrediti količinu akumulirane organske tvari i zalihu organskog ugljika u šumskoj prostirci s obzirom na vrstu kulture te usporediti s kontrolnim plohama koje su bile prepuštene prirodnoj sukcesiji.

U dosadašnjim istraživanjima, osim određivanja debljine šumske prostirke – 1-3 cm (Vrbek et al., 2017), nije obavljena njena detaljnija analiza.

4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

4.1. Terensko uzorkovanje

Uzorkovanje šumske prostirke obavljeno je u gospodarskoj jedinici Đurđevački peski tijekom listopada i početkom studenog 2018. godine (slika 10). Šume gospodarske jedinice Đurđevački Peski nalaze se na području Uprave šuma Podružnica Koprivnica, šumarija Đurđevac. Gospodarska jedinica Đurđevački peski nalazi se u nizinskom dijelu Podravine, u blizine rijeke Drave. Geografski je ovo područje smješteno između 46°01' i 46°05' sjeverne širine, te 17°00' i 17°06' istočne dužine od Greenwicha (prema: Obnova Osnove gospodarenja za gospodarsku jedinicu Đurđevački Peski).



Slika 10. Položaj ploha uzorkovanja

Točne koordinate svih uzorkovanih ploha prikazane su u tablici 1. U tablici 1 za istraživane kulture također se vide podaci o starosti i drvnj zalihi po hektaru.

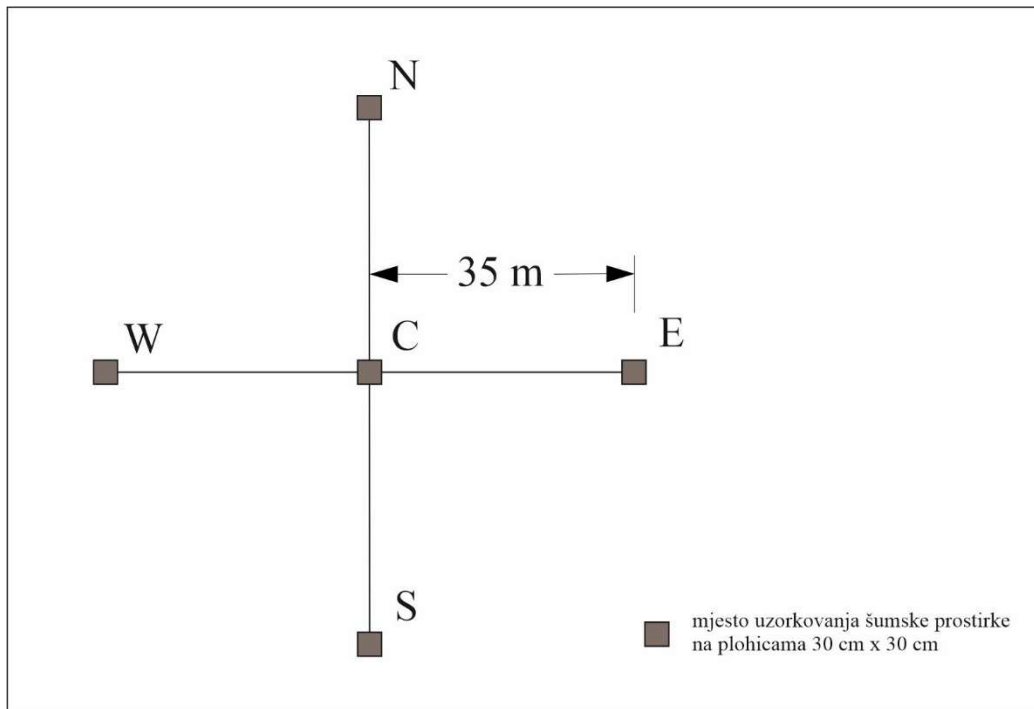
| Oznake uzoraka | Kultura | N | E | Gospodarska Jedinica | Odsjek | Starost (god.) | Drv. zaliha po ha (m ³ ha ⁻¹) | Drv. zaliha (m ³) | Površina (ha) |
|----------------|-----------------|-------------|-------------|--|--------|----------------|--|-------------------------------|---------------|
| ĐP-CB1 | Crni bor | 46°04'19.7" | 17°04'13.3" | Đurđevački peski | 3a | 113 | 328,57 | 1748 | 5,32 |
| ĐP-CB2 | Crni bor | 46°04'19.9" | 17°04'30.6" | Đurđevački peski | 4i | 113 | 357,88 | 5540 | 15,48 |
| ĐP-CB3 | Crni bor | 46°04'19.2" | 17°04'16.0" | Đurđevački peski | 3a | 113 | 328,57 | 1748 | 5,32 |
| ĐP-OB1 | Obični bor | 46°04'24.4" | 17°04'12.7" | Đurđevački peski | 3a | 113 | 328,57 | 1748 | 5,32 |
| ĐP-OB2 | Obični bor | 46°04'17.5" | 17°04'21.6" | Đurđevački peski | 4i | 113 | 357,88 | 5540 | 15,48 |
| ĐP-OB3 | Obični bor | 46°04'14.6" | 17°04'28.4" | Đurđevački peski | 4i | 113 | 357,88 | 5540 | 15,48 |
| ĐP-Ba1 | Bagrem | 46°03'46.7" | 17°04'35.3" | Đurđevački peski | 4h | 36 | 137,71 | 241 | 1,75 |
| ĐP-Ba2 | Bagrem | 46°03'29.0" | 17°04'18.8" | Đurđevački peski | - | 72 | | | |
| ĐP-Ba3 | Bagrem | 46°03'53.9" | 17°04'34.7" | Đurđevački peski | 4h | 36 | 137,71 | 241 | 1,75 |
| ĐP-K1 | Kontrolna ploha | 46°01'44.8" | 17°05'52.3" | Geografsko-botanički rezervat Đurđevački pijesci | | - | | | |
| ĐP-K2 | Kontrolna ploha | 46°01'45.7" | 17°05'52.2" | Geografsko-botanički rezervat Đurđevački pijesci | | - | | | |
| ĐP-K3 | Kontrolna ploha | 46°01'46.7" | 17°05'52.6" | Geografsko-botanički rezervat Đurđevački pijesci | | - | | | |

Tablica 1. Podaci o uzorkovanim ploham preuzeti iz gospodarske osnove

Šumska prostirka uzorkovana je unutar kultura crnog bora, običnog bora i bagrema, kao i prostirka na kontrolnim ploham u geografsko-botaničkom rezervatu Đurđevački pijesci. Uzorkovanje je obavljeno u najstarijim kulturama borova, odnosno u drugoj generaciji kultura bagrema. Pri tome se nastojalo zadovoljiti kriterij da u sloju drveća bude isključivo (ili barem dominantno) crni bor, odnosno obični bor, odnosno bagrem.

Na taj način nastojao se izdvojiti utjecaj pojedine kulture na pripadajuću količinu šumske prostirke i zalihu ugljika u njoj. Problem je predstavljao ulazak bagrema u borove sastojine te kontakt ploha crnog i običnog bora što može imati neznatan utjecaj na dobivene rezultate. Treba istaknuti da bagremove kulture na području istraživanja čine stabla druge generacije pa nije moguće utvrditi utjecaj prve generacije, odnosno definirati konkretan utjecaj jedne generacije bagrema na količinu šumske prostirke i zalihu ugljika u njoj.

U svim kulturama i na kontroli uzorkovanje je obavljeno u 3 ponavljanja, što se vidi iz tablice 1. Na svakoj od ploha uzeti su uzorci šumske prostirke (prostirke) unutar metalnog okvira dimenzije 30 x 30 cm (slika 12) na 5 pozicija: C – centar, N – sjever, E – istok, S – jug, W – zapad (slika 11). Dakle, uzorkovano je po 15 uzoraka prostirke po zasebnim podhorizontima (slojevima).



Slika 11. Shema uzorkovanja prostirke na pojedinačnoj pokusnoj plohi

Šumska prostirka u kulturama crnog bora, običnog bora i bagrema uzorkovana je po podhorizontima OL, OF₁, OF₂ i OH (slika 12). Samo uzorkovanje detaljnije je opisano u Bakšić i Bakšić (2017):

- OL – posebno su izdvajane iglice crnog bora, običnog bora, listovi bagrema i ostalih vrsta, a na površini OL- podhorizonta posebno su odvajane grančice, češeri, plodovi bagrema (mahune), kora i živa tvar. OL će u ovom diplomskom radu biti prikazan cjelovito, odnosno ukupna masa svih navedenih sastavnica;
- OF – ovaj podhorizont je uzorkovan u dva dijela: OF₁ i OF₂;
- OH – humificirani organski ostaci koji su odvajani od OF₂- podhorizonta suhim prosijavanjem pomoću sita dimenzija otvora 2 mm.

U bagremovim kulturama OH- podhorizont jasno se mogao odvojiti od OF₂ samo na 3 plohe. Na preostalim plohicama zajedno su prikupljeni OF₂ i OH, a označeni su kao OF₂/OH. Na kontrolnim ploham prostirka nije mogla biti uzorkovana na isti način, budući da su se kontrolne plohe nalazile u rezervatu koji nije pošumljen, pa se zapravo to ne može nazvati šumskom prostirkom i podijeliti na navedene podhorizonte. Na kontrolnim ploham razdvojeni su slijedeći podhorizonti: OL, M/OF (M = mahovina) i OF (OF₁ i OF₂ nisu se mogli jednostavno razdvojiti). Svi prikupljeni uzorci stavljeni su u plastične vrećice i označeni pripadajućom oznakom uzorka.



Slika 12. Uzorkovanje šumske prostirke unutar okvira 30 x 30 cm na kontrolnoj plohi (lijevo) i u kulturi crnog bora (desno) (Foto: *E. Bajramspahić*, 2018.)

4.2. Laboratorijske analize

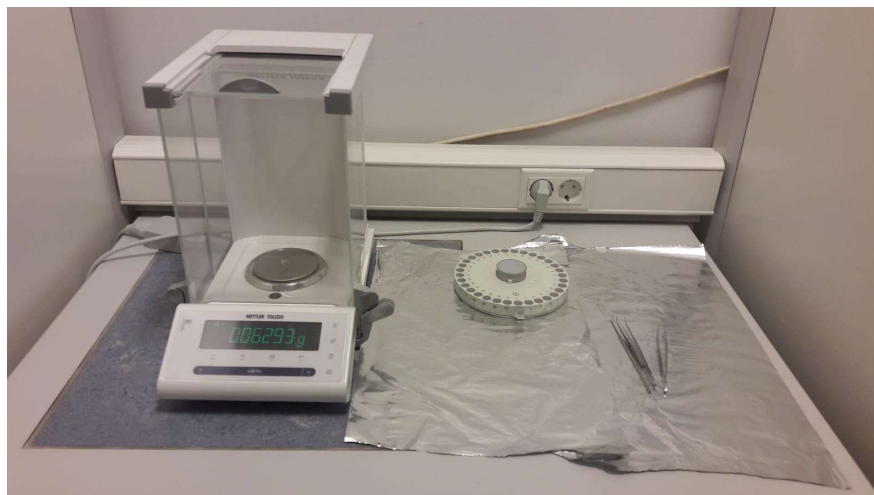
Nakon terena, uzorci su odnešeni u Ekološko-pedološki laboratorij Šumarskog fakulteta u Zagrebu. U laboratoriju su napravljene sljedeće analize šumske prostirke:

- Određivanje udjela vode (u skladu s ISO 11465 :1993 i 16586:2003);
- Određivanje udjela organskog ugljika (HRN ISO 10694:2004) i ukupnog dušika (HRN ISO 13878:2004) suhim spaljivanjem.

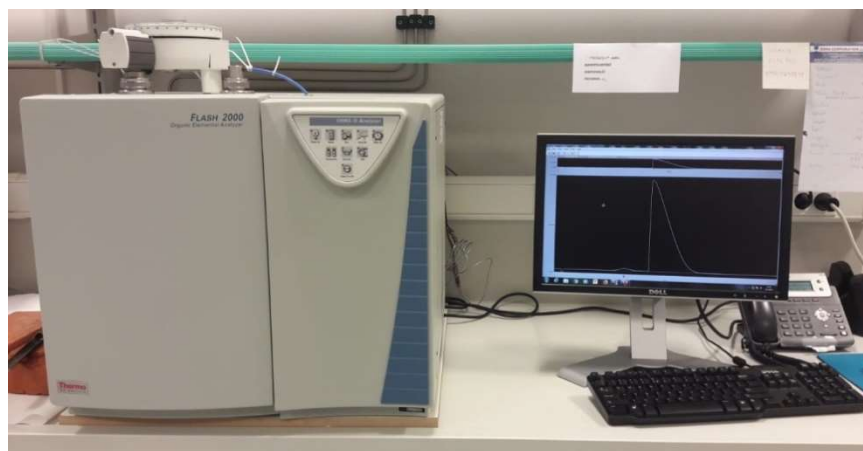
Uzorci šumske prostirke, kako su prikupljeni na terenu po sastavnicama (različite sastavnice OL- podhorizonta) i podhorizontima, prebačeni se u aluminijske posudice gdje su se nekoliko dana sušili na zraku, nakon čega im je određena masa (masa zrakosuhog uzorka). Od svakog zrakosuhog uzorka odvojen je manji poduzorak (slika 13), koji je drobljen električnom drobilicom za potrebe određivanja udjela organskog ugljika (HRN ISO 10694:2004) i ukupnog dušika (HRN ISO 13878:2004) metodom suhog spaljivanja (slike 14 i 15). Za suho spaljivanje korišten je NC analizator “NC Soil Flash 2000 elemental analyser” (Thermo Fisher Scientific, Milan, Italy). Masa suhe tvari dobivena je sušenjem uzoraka 48 h na 100°C i odvagom na analitičkoj vagi Mettler Toledo JS2002G s preciznošću na 0,01 g. U konačnici, količina prostirke izražena je masom suhe tvari po jedinici površine (Mg ha^{-1}).



Slika 13. Sušenje uzoraka u sušioniku (lijevo) i pripremljeni poduzorak za suho spaljivanje (desno) (Foto: E. Bajramspahić, 2019.)



Slika 14. Priprema i odvaga uzoraka za suho spaljivanje (Foto: *I. Perković*, 2019.)



Slika 15. Određivanje udjela organskog ugljika i ukupnog dušika suhim spaljivanjem na NC analizatoru „NC Soil Flash 2000 elemental analyser“ (Thermo Fisher Scientific, Milan, Italy)
(Foto: *I. Perković*, 2019.)

Budući da je u OH- podhorizontu zamijećen visok udjel pijeska, odvajanje poduzoraka za analize organskog ugljika i ukupnog dušika radilo se na sljedeći način: iz uzoraka OH- podhorizonta uzet je poduzorak koji je prebačen u staklenu čašu s deioniziranom vodom. Nakon toga uzorak je promiješan staklenim štapićem i ostavljen 5 minuta. Pijesak se slegnuo na dno čaše, dok je organska tvar ostala na površini vode. Organska tvar sakupljena je i prebačena u porculanske lončiče. Tako odvojena organska tvar OH- podhorizonta zatim je sušena u sušioniku 24 h na 50 °C te je korištena za određivanje udjela organskog ugljika i ukupnog dušika.

4.3. Statističke analize

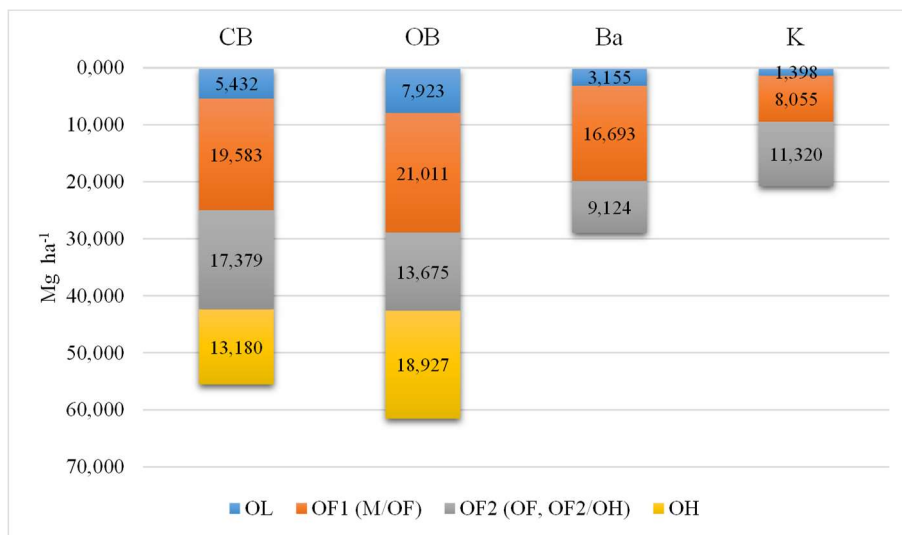
Statističke analize i grafikoni napravljeni su u programima "Statistica 8" (StatSoft, Inc., 2007) i Microsoft Excel. Deskriptivna statistika za količinu šumske prostirke, udjel organskog ugljika i ukupnog dušika, C:N, te zalihu organskog ugljika i ukupnog dušika: broj uzoraka, aritmetička sredina, medijan, minimum, maksimum, donji kvartil, gornji kvartil, standardna devijacija, koeficijent varijacije i standardna pogreška aritmetičke sredine prikazani su za sve kulture (crni bor, obični bor, bagrem) i kontrolne plohe zasebno po podhorizontima i ukupno.

Međusobne razlike za sve varijable između pojedinih kultura (obični bor – OB, crni bor – CB, bagrem – Ba) i kontrolnih ploha (K) po podhorizontima šumske prostirke i ukupno testirane su analizom varijance ako je bio zadovoljen uvjet homogenosti varijance, a ako nije Kruskal-Wallisov-im neparametrijskim testom. Greška tipa I (α) od 5% smatrana je statistički značajnom (Sokkal i Rohlf, 1995).

5. REZULTATI

5.1. Količina šumske prostirke

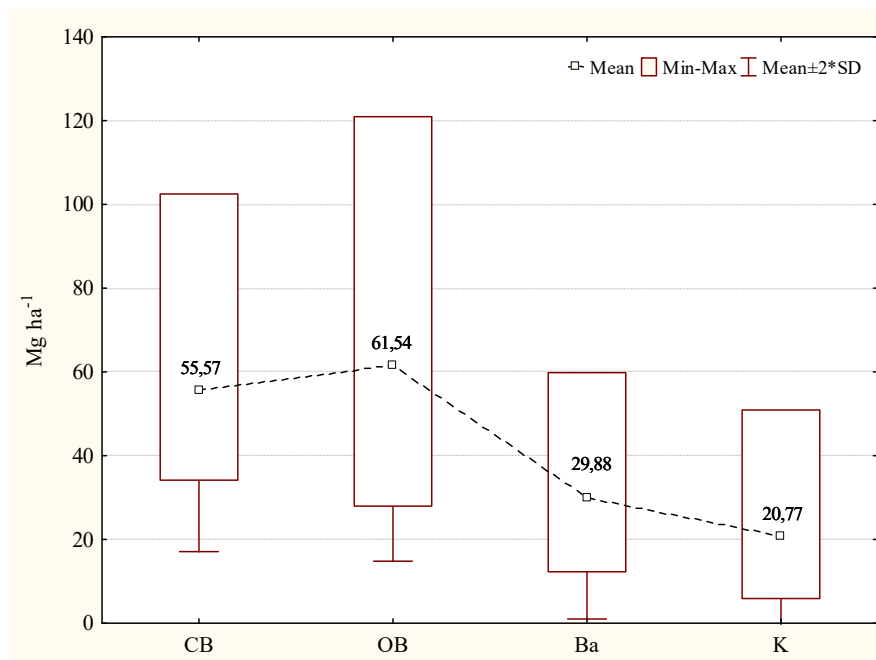
Količina šumske prostirke najveća je u kulturi običnog bora gdje iznosi $61,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ (aritm. sred.). U kulturi crnog bora ona iznosi $55,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, dok je u kulturi običnog bagrema nešto manja i iznosi $29,9 \text{ Mg ha}^{-1}$. Na kontrolnoj plohi količina prostirke iznosi svega $20,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ (slika 17 i grafikon 1). Dakle, srednje vrijednosti utvrđenih količina šumske prostirke u kulturama borova dvostruko su veće od vrijednosti količina u kulturama bagrema, odnosno trostruko veće od vrijednosti količina na kontrolnim plohama. Najveće količine šumske prostirke zabilježene su kod kultura običnog bora s rasponom od $27,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ do $120,9 \text{ Mg ha}^{-1}$, dok su najmanje količine šumske prostirke zabilježene na kontrolnim plohama s rasponom od $5,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ do $50,9 \text{ Mg ha}^{-1}$. Najveća količina organske tvari u borovim i bagremovim kulturama akumulirana je u OF₁ - podhorizontima, a na kontrolnim plohama u OF. Najmanja količina akumulirane organske tvari utvrđena je u OL- podhorizontima svih istraživanih ploha (tablica 2).



Grafikon 1. Količina šumske prostirke po podhorizontima OLUK, OF₁, OF₂ i OH u kulturama crnog bora (CB) i običnog bora (OB), zatim OLUK, OF₁ i OF₂/OH u kulturama običnog bagrema (Ba) te OL, M/F i OF na kontrolnoj plohi (K).

Tablica 2. Količina šumske prostirke po podhorizontima OLuk, OF₁, OF₂ i OH u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnoj plohi (K) (N = 15 za svaku kulturu odnosno za kontrolne plohe, osim za bagrem kod podhorizonta OF₂ (N = 4), OF₂/OH (N = 11) i OH (N = 3))

| Sloj | Aritm. sred. | Medijan | Minimum | Maksimum | Donji kvartil | Gornji kvartil | Std. dev. | Koef. varijacije | Std. pogreška |
|---|--------------|---------|---------|----------|---------------|----------------|-----------|------------------|---------------|
| Količina prostirke CB (Mg ha⁻¹) | | | | | | | | | |
| OL_{uk} | 5,432 | 5,077 | 2,082 | 10,865 | 3,830 | 6,285 | 2,389 | 43,968 | 0,617 |
| OF₁ | 19,583 | 18,412 | 9,921 | 30,367 | 13,073 | 28,100 | 7,139 | 36,455 | 1,843 |
| OF₂ | 17,379 | 16,898 | 4,137 | 41,458 | 8,871 | 20,519 | 10,469 | 60,239 | 2,703 |
| OH | 13,180 | 11,137 | 4,906 | 25,867 | 7,547 | 18,466 | 6,571 | 49,857 | 1,697 |
| Ukupno | 55,575 | 52,219 | 34,173 | 102,492 | 36,340 | 65,397 | 19,235 | 34,611 | 4,966 |
| Količina prostirke OB (Mg ha⁻¹) | | | | | | | | | |
| OL_{uk} | 7,923 | 7,118 | 2,948 | 14,630 | 5,759 | 11,057 | 3,292 | 41,552 | 0,850 |
| OF₁ | 21,011 | 18,737 | 13,919 | 32,889 | 14,979 | 28,158 | 6,828 | 32,497 | 1,763 |
| OF₂ | 13,675 | 14,089 | 4,900 | 30,709 | 9,129 | 15,857 | 6,139 | 44,890 | 1,585 |
| OH | 18,927 | 15,407 | 5,143 | 47,457 | 10,841 | 20,966 | 11,999 | 63,396 | 3,098 |
| Ukupno | 61,536 | 56,256 | 27,969 | 120,953 | 45,849 | 70,025 | 23,365 | 37,971 | 6,033 |
| Količina prostirke Ba (Mg ha⁻¹) | | | | | | | | | |
| OL_{uk} | 3,155 | 3,227 | 1,333 | 4,511 | 2,523 | 3,945 | 0,949 | 30,062 | 0,245 |
| OF₁ | 16,693 | 14,755 | 7,860 | 30,816 | 10,182 | 24,541 | 7,388 | 44,260 | 1,908 |
| OF₂ | 9,348 | 7,901 | 2,754 | 18,838 | 2,943 | 15,754 | 7,815 | 83,596 | 3,907 |
| OF₂/OH | 9,124 | 7,301 | 0,000 | 30,798 | 0,000 | 13,189 | 10,377 | 113,730 | 3,129 |
| OH | 5,737 | 5,166 | 4,564 | 7,481 | 4,564 | 7,481 | 1,540 | 26,842 | 0,889 |
| Ukupno | 29,879 | 24,663 | 12,294 | 59,838 | 18,213 | 38,560 | 14,431 | 48,297 | 3,726 |
| Količina prostirke K (Mg ha⁻¹) | | | | | | | | | |
| OL_{uk} | 1,398 | 1,207 | 0,000 | 4,240 | 0,347 | 2,293 | 1,219 | 87,203 | 0,315 |
| OF₁ (M/OF) | 8,055 | 8,604 | 0,000 | 14,700 | 5,628 | 10,630 | 4,067 | 50,492 | 1,050 |
| OF₂ (OF) | 11,320 | 8,672 | 0,000 | 38,798 | 0,267 | 16,754 | 10,848 | 95,829 | 2,801 |
| Ukupno | 20,773 | 16,428 | 5,894 | 50,926 | 12,197 | 28,376 | 11,882 | 57,200 | 3,068 |



Slika 17. Ukupna količina šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnim plohama (K)

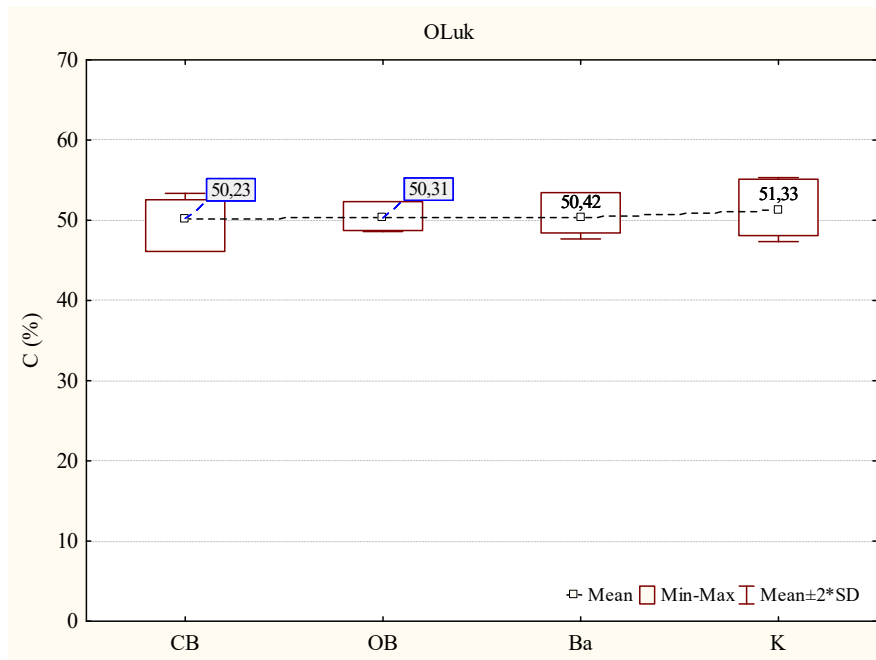
5.2. Udjel organskog ugljika (C) u šumskoj prostirci

Najveći udjel organskog ugljika zabilježen je u OLUK, zatim u OF₁, onda u OF₂, a najmanji udjel org. C zabilježen je u OH podhorizontima (tablica 3 i slika 18, 19, 20 i 21). Npr., kod OB vidimo da se udjel org. C smanjuje sa 50,3 % u OLUK, na 47,9 % u OF₁, pa na 38,4 % u OF₂, do 34,8 % u OH (tablica 3).

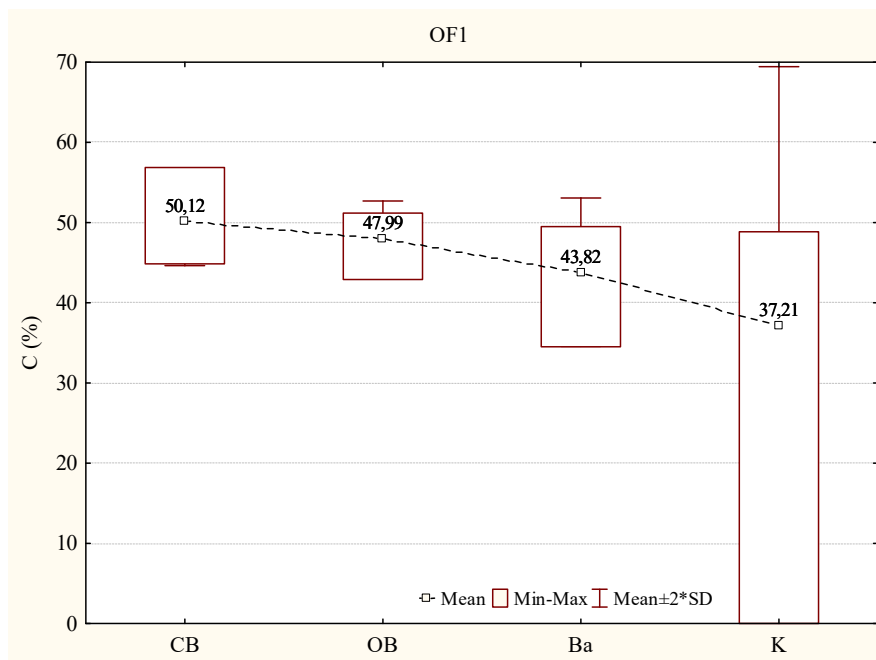
Nije utvrđena statistički značajna razlika za podhorizonte OL i OH između nijedne istraživane plohe. U OF₁- podhorizontu, kulture crnog bora imaju statistički značajno veći udjel org. C od kulture bagrema i kontrolne plohe, a obični bor ima statistički značajno veći udjel org. C od kontrolne plohe. Kulture crnog bora imaju statistički značajno veći udjel org. C u OF₂- podhorizontu od kultura običnog bora, bagrema i kontrolne plohe (tablica 4).

Tablica 3. Udjel organskog ugljika po podhorizontima OLUK, OF₁, OF₂ i OH u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnoj plohi (K) (N = 15 za svaku kulturu odnosno za kontrolne plohe, osim za bagrem kod podhorizonta OF₂ (N = 4), OF₂/OH (N = 11) i OH (N = 3))

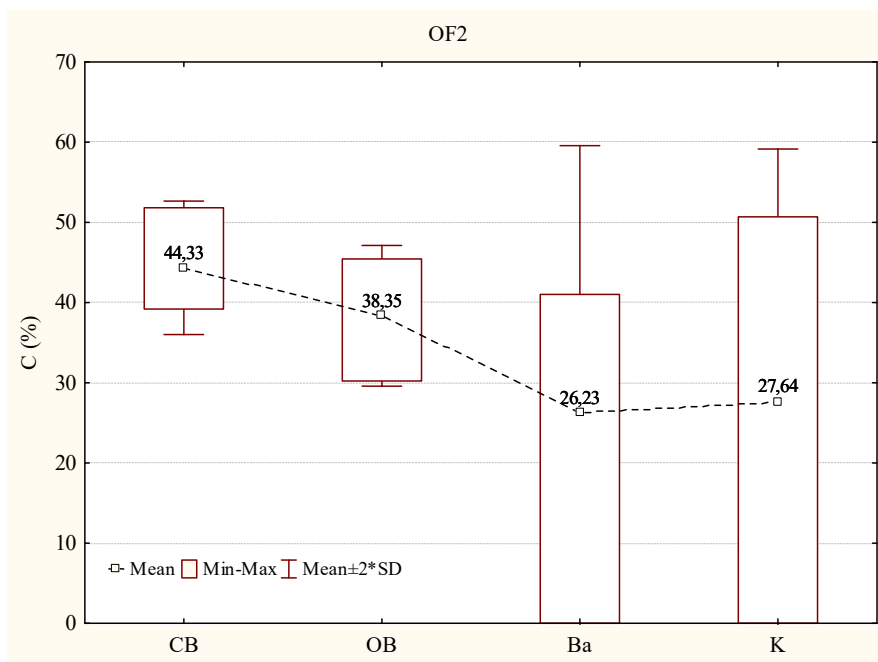
| Sloj | Aritm. sred. | Medijan | Minimum | Maksimum | Donji kvartil | Gornji kvartil | Std. dev. | Koef. varijacije | Std. pogreška |
|---------------------------------------|--------------|---------|---------|----------|---------------|----------------|-----------|------------------|---------------|
| Udjel organskog ugljika CB (%) | | | | | | | | | |
| OLuk | 50,23 | 50,39 | 46,12 | 52,56 | 49,57 | 51,19 | 1,57 | 3,12 | 0,40 |
| OF₁ | 50,12 | 49,87 | 44,86 | 56,87 | 49,27 | 50,89 | 2,75 | 5,48 | 0,71 |
| OF₂ | 44,33 | 44,54 | 39,20 | 51,83 | 40,41 | 47,65 | 4,16 | 9,38 | 1,07 |
| OH | 32,74 | 30,31 | 22,20 | 48,46 | 27,45 | 38,75 | 7,21 | 22,02 | 1,86 |
| Udjel organskog ugljika OB (%) | | | | | | | | | |
| OLuk | 50,31 | 50,24 | 48,73 | 52,33 | 49,95 | 50,79 | 0,85 | 1,69 | 0,22 |
| OF₁ | 47,99 | 48,34 | 42,90 | 51,19 | 46,51 | 49,82 | 2,35 | 4,89 | 0,61 |
| OF₂ | 38,35 | 38,81 | 30,23 | 45,44 | 35,27 | 41,18 | 4,39 | 11,44 | 1,13 |
| OH | 34,78 | 36,03 | 24,73 | 42,53 | 30,11 | 37,78 | 5,11 | 14,70 | 1,32 |
| Udjel organskog ugljika Ba (%) | | | | | | | | | |
| OLuk | 50,42 | 50,18 | 48,43 | 53,46 | 49,32 | 51,22 | 1,37 | 2,73 | 0,35 |
| OF₁ | 43,82 | 43,38 | 34,52 | 49,50 | 41,09 | 47,77 | 4,63 | 10,56 | 1,19 |
| OF₂ | 33,48 | 32,66 | 29,22 | 39,41 | 30,17 | 36,80 | 4,45 | 13,29 | 2,22 |
| OF₂/OH | 23,59 | 33,98 | 0,00 | 41,02 | 0,00 | 38,51 | 18,83 | 79,84 | 5,68 |
| OH | 29,64 | 32,14 | 20,74 | 36,03 | 20,74 | 36,03 | 7,94 | 26,80 | 4,59 |
| Udjel organskog ugljika K (%) | | | | | | | | | |
| OLuk | 51,33 | 50,92 | 48,09 | 55,13 | 50,31 | 52,33 | 2,00 | 3,89 | 0,55 |
| OF₁ (M/OF) | 37,21 | 45,14 | 0,00 | 48,86 | 32,07 | 47,00 | 16,12 | 43,31 | 4,16 |
| OF₂(OF) | 27,64 | 32,42 | 0,00 | 50,69 | 21,77 | 38,10 | 15,76 | 57,02 | 4,07 |



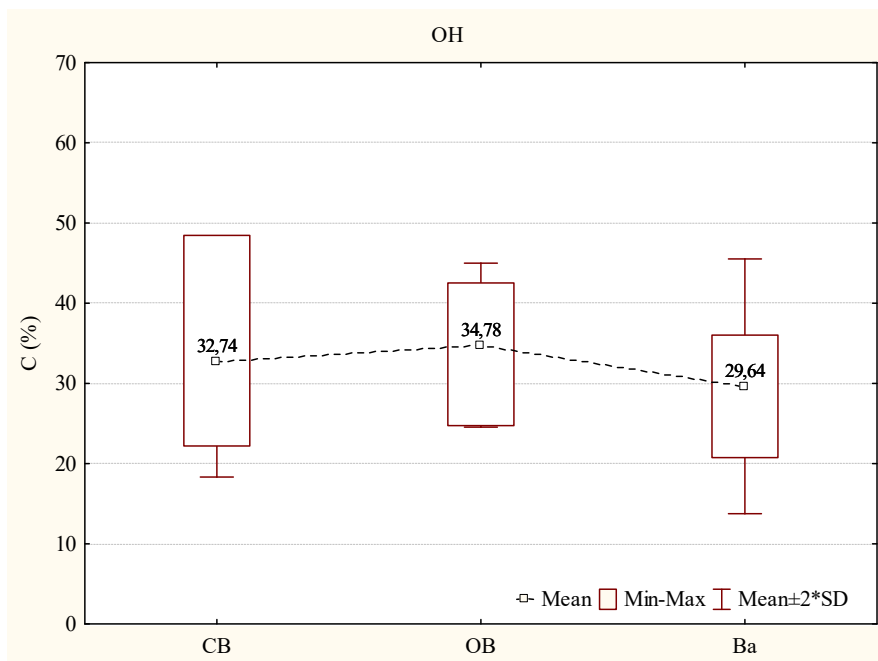
Slika 18. Udjel organskog ugljika u OLuk- podhorizontu šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnim ploham (K)



Slika 19. Udjel organskog ugljika u OF₁- podhorizontu šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnim ploham (K)



Slika 20. Udjel organskog ugljika u OF₂- podhorizontu šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB) i na kontrolnim plohama (K), a kod običnog bagrema (Ba) u OF₂ i OF₂/OH



Slika 21. Udjel organskog ugljika u OH- podhorizontu šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnim plohama (K)

Tablica 4. Test razlika udjela organskog ugljika po podhorizontima šumske prostirke između kultura crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i kontrolnih ploha (K)

| Sloj šumske prostirke | Statistički test | |
|-----------------------|---|-------------------------|
| OLuk | Nema statistički značajne razlike | |
| OF1 | K-W: $H(3, N=60) = 27,805$ $p < 0,001$ | (CB, OB)(OB, Ba)(Ba, K) |
| OF2 | ANOVA: $F = 10,066$ $p < 0,001$ | (CB)(OB, Ba, K) |
| OH | Nema statistički značajne razlike | |

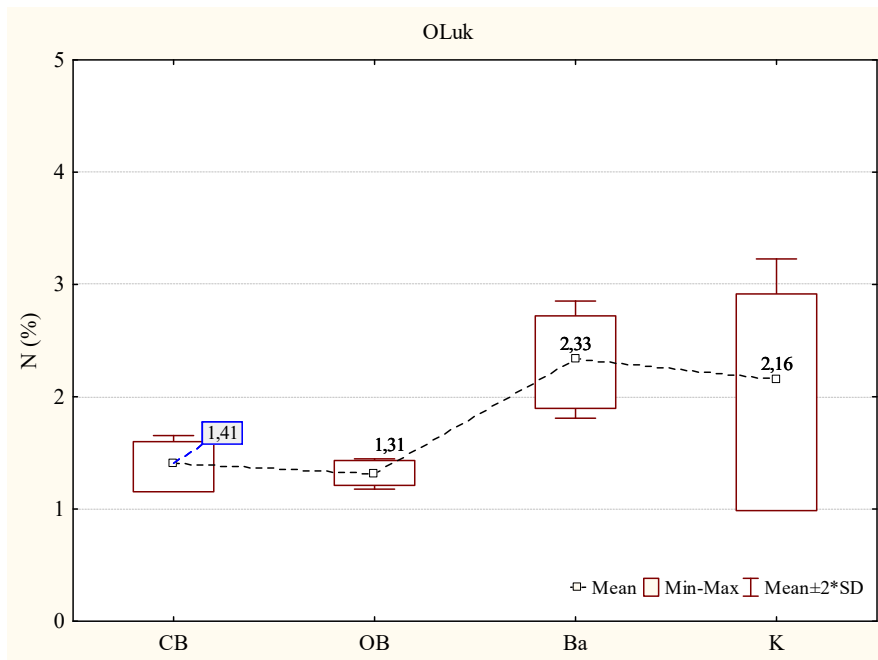
5.3. Udjel ukupnog dušika (N) u šumskoj prostirci

Udjel ukupnog dušika je kod kultura crnog bora i običnog bora najmanji u OL- podhorizontu, dok je kod bagremovih kultura i kontrole najmanji u OF₂- podhorizontu. Najviši udjel ukupnog dušika je kod kultura običnog bora i bagrema i kontrole zabilježen u OF₁- podhorizontu, dok je u kulturi crnog bora zabilježen u OF₂- podhorizontu (tablica 5 i slike 22, 23, 24 i 25).

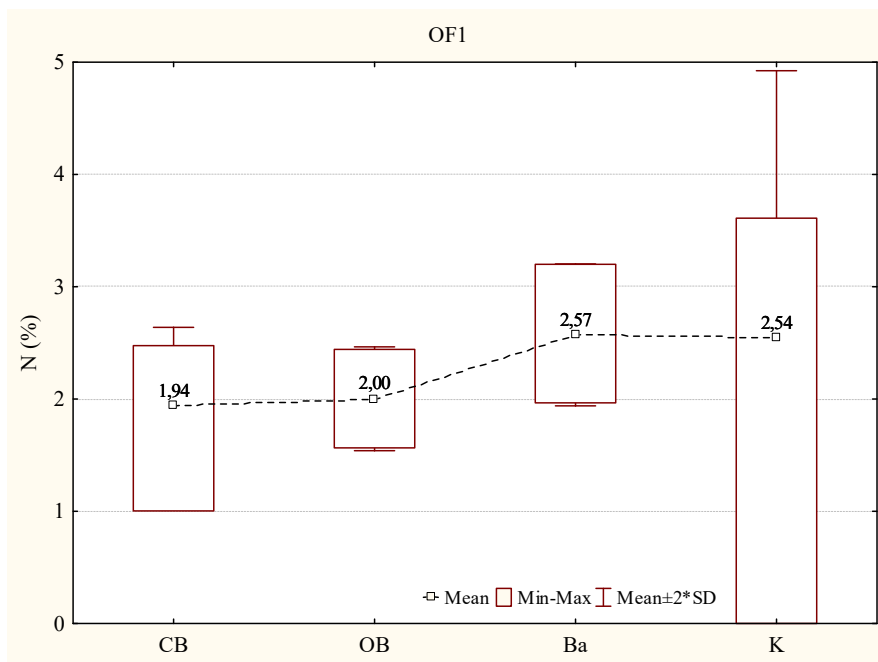
Utvrđeno je da borove kulture imaju statistički značajno manji udjel ukupnog dušika u OL i OF₁- podhorizontima od kulture bagrema i kontrolne plohe. U OF₂ obični bor se statistički značajno razlikuje od bagrema i kontrole, a za OH- podhorizont nigdje nema statistički značajne razlike u udjelu ukupnog dušika (tablica 6).

Tablica 5. Udjel ukupnog dušika po podhorizontima OLuk, OF₁, OF₂ i OH u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnoj plohi (K) (N = 15 za svaku kulturu odnosno za kontrolne plohe, osim za bagrem kod pohorizontata OF₂ (N = 4), OF₂/OH (N = 11) i OH (N = 3))

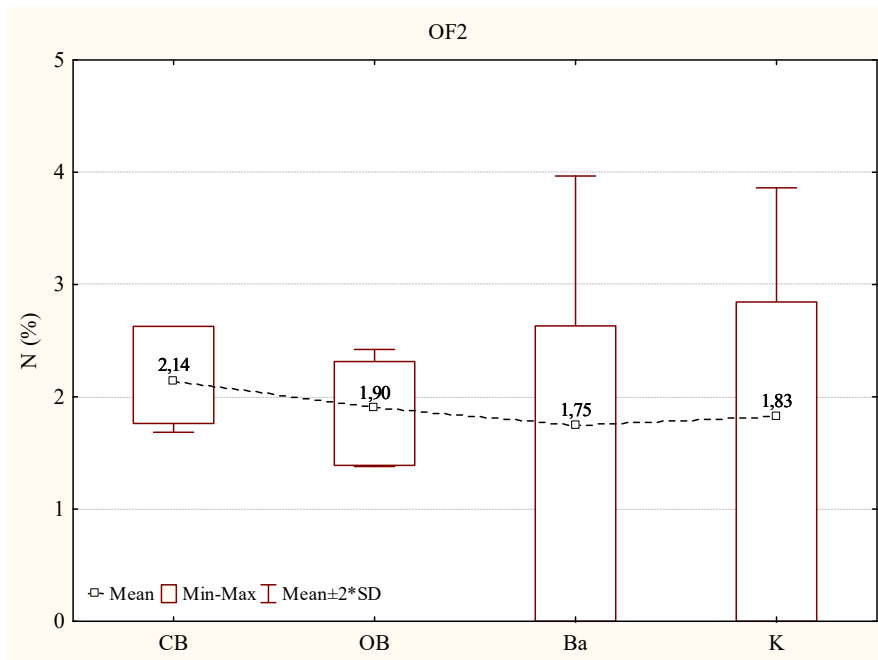
| Sloj | Aritm. sred. | Medijan | Minimum | Maksimum | Donji kvartil | Gornji kvartil | Std. dev. | Koef. varijacije | Std. pogreška |
|------------------------------------|--------------|---------|---------|----------|---------------|----------------|-----------|------------------|---------------|
| Udjel ukupnog dušika CB (%) | | | | | | | | | |
| OL_{uk} | 1,41 | 1,43 | 1,15 | 1,60 | 1,34 | 1,50 | 0,12 | 8,76 | 0,03 |
| OF₁ | 1,94 | 1,94 | 1,00 | 2,47 | 1,80 | 2,15 | 0,35 | 18,08 | 0,09 |
| OF₂ | 2,14 | 2,13 | 1,76 | 2,63 | 1,94 | 2,31 | 0,23 | 10,73 | 0,06 |
| OH | 1,75 | 1,73 | 1,16 | 2,33 | 1,50 | 2,09 | 0,36 | 20,63 | 0,09 |
| Udjel ukupnog dušika OB (%) | | | | | | | | | |
| OL_{uk} | 1,31 | 1,32 | 1,21 | 1,43 | 1,25 | 1,36 | 0,07 | 5,15 | 0,02 |
| OF₁ | 2,00 | 2,02 | 1,56 | 2,44 | 1,80 | 2,12 | 0,23 | 11,55 | 0,06 |
| OF₂ | 1,90 | 1,90 | 1,39 | 2,31 | 1,72 | 2,08 | 0,26 | 13,72 | 0,07 |
| OH | 1,85 | 1,85 | 1,36 | 2,35 | 1,67 | 2,00 | 0,26 | 13,81 | 0,07 |
| Udjel ukupnog dušika Ba (%) | | | | | | | | | |
| OL_{uk} | 2,33 | 2,35 | 1,90 | 2,72 | 2,13 | 2,60 | 0,26 | 11,19 | 0,07 |
| OF₁ | 2,57 | 2,57 | 1,97 | 3,20 | 2,33 | 2,77 | 0,32 | 12,29 | 0,08 |
| OF₂ | 2,22 | 2,14 | 1,99 | 2,60 | 2,01 | 2,43 | 0,28 | 12,77 | 0,14 |
| OF₂/OH | 1,58 | 2,41 | 0,00 | 2,63 | 0,00 | 2,50 | 1,26 | 79,50 | 0,38 |
| OH | 2,07 | 2,27 | 1,44 | 2,50 | 1,44 | 2,50 | 0,56 | 27,05 | 0,32 |
| Udjel ukupnog dušika K (%) | | | | | | | | | |
| OL_{uk} | 2,16 | 2,09 | 0,99 | 2,92 | 1,88 | 2,34 | 0,54 | 24,84 | 0,15 |
| OF₁ (M/OF) | 2,54 | 3,13 | 0,00 | 3,61 | 1,91 | 3,40 | 1,19 | 46,92 | 0,31 |
| OF₂ (OF) | 1,83 | 2,20 | 0,00 | 2,85 | 1,48 | 2,49 | 1,02 | 55,64 | 0,26 |



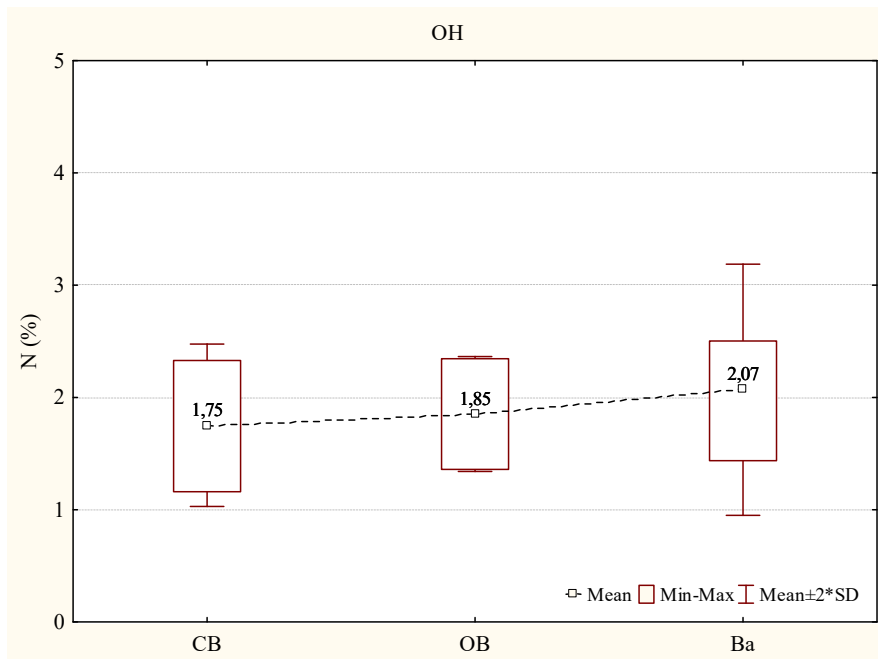
Slika 22. Udjel ukupnog dušika u OLuk- podhorizontu šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnim plohama (K)



Slika 23. Udjel ukupnog dušika u OF₁- podhorizontu šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnim plohama (K)



Slika 24. Udjel ukupnog dušika u OF₂- podhorizontu šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB) i na kontrolnim plohama (K), a kod običnog bagrema (Ba) u OF₂ i OF₂/OH



Slika 25. Udjel ukupnog dušika u OH- podhorizontu šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnim plohama (K)

Tablica 6. Test razlika udjela ukupnog dušika po podhorizontima šumske prostirke između kultura crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i kontrolnih ploha (K)

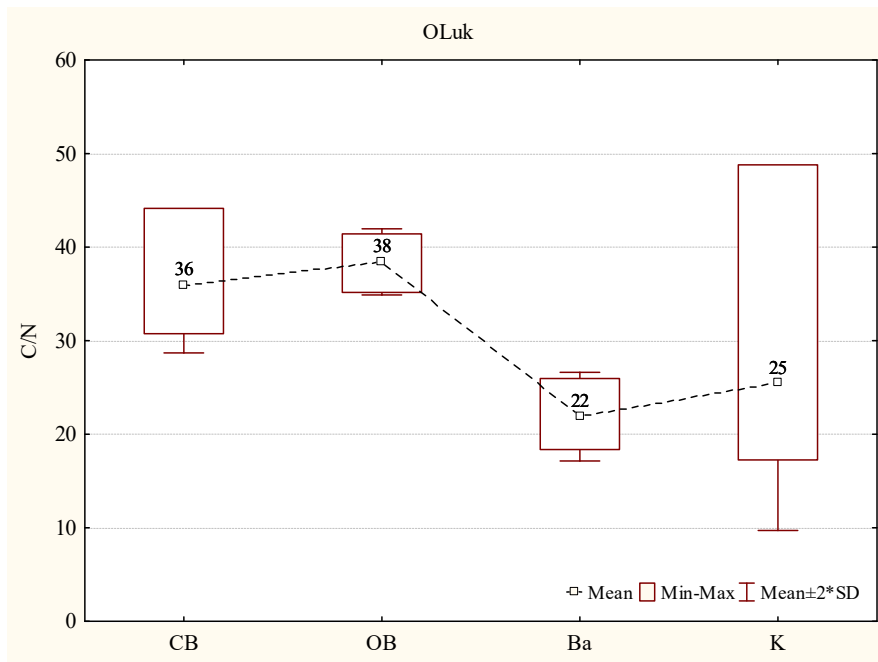
| Sloj šumske prostirke | Statistički test | |
|-----------------------|---|---------------------|
| OLuk | K-W: $H(3, N=60) = 39,540$ $p < 0,001$ | (CB, OB) (Ba, K) |
| OF1 | K-W: $H(3, N=60) = 21,144$ $p < 0,001$ | (CB, OB) (Ba, K) |
| OF2 | ANOVA: $F = 6,937$ $p < 0,001$ | (OB,CB) (CB, Ba, K) |
| OH | Nema statistički značajne razlike | |

5.4. C/N odnos

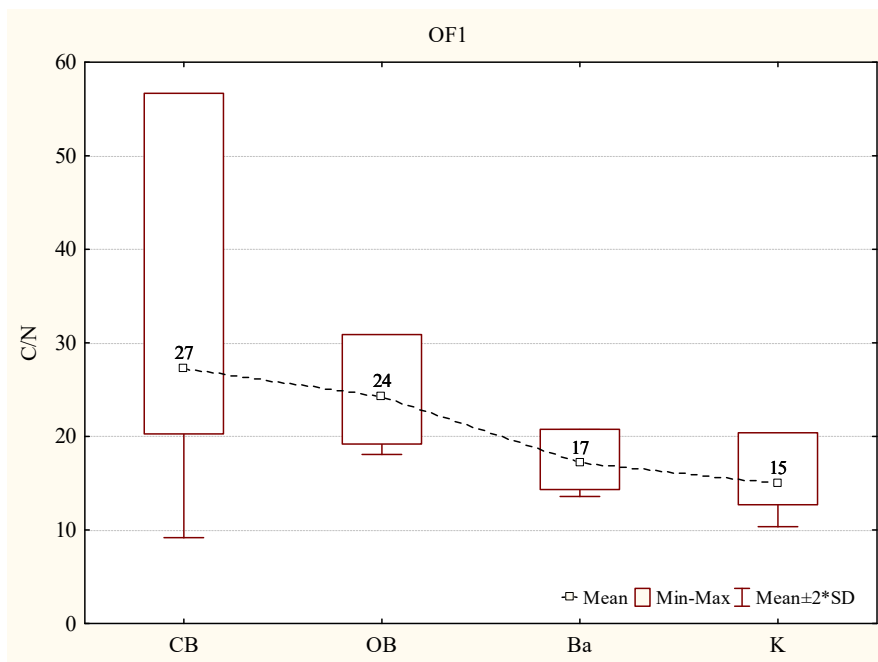
Kod svih istraživanih ploha, najveći C/N odnosi su zabilježeni u OLuk- podhorizontu, a kako se ide prema OH- podhorizontu, C/N odnos je sve manji. Najveći C/N odnosi zabilježeni su u kulturi običnog bora, zatim u kulturi crnog bora, a manji C/N odnosi se nalaze u bagremovoj kulturi i na kontrolnoj plohi (tablica 7 i slika 26, 27, 28 i 29). Utvrđeno je da borove kulture imaju statistički značajno veće C/N odnose od kulture bagrema i kontrole (tablica 8).

Tablica 7. C/N odnos po podhorizontima OLuk, OF₁, OF₂ i OH u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnoj plohi (K) (N = 15 za svaku kulturu odnosno za kontrolne plohe, osim za bagrem kod podhorizontata OF₂ (N = 4), OF₂/OH (N = 11) i OH (N = 3))

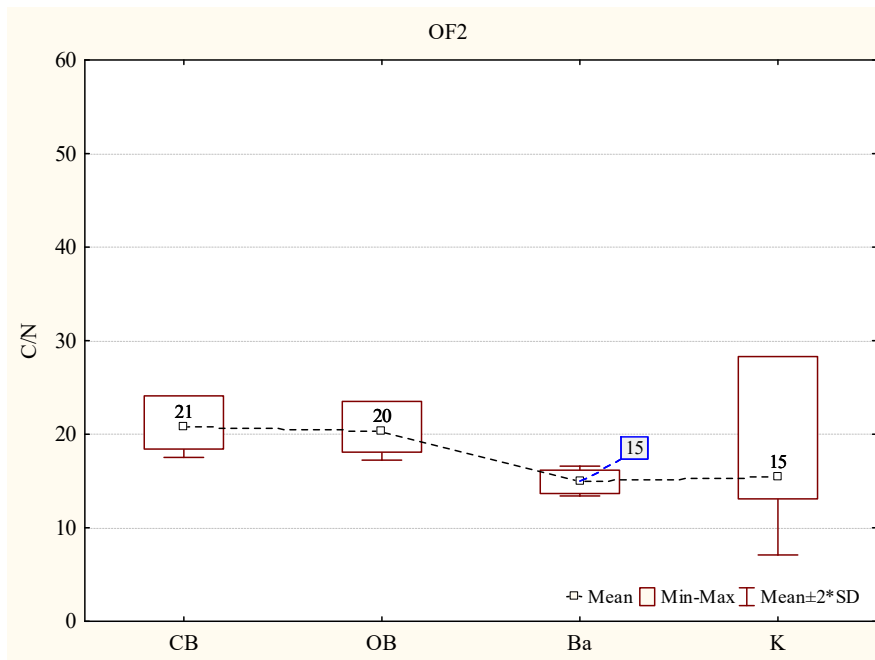
| Sloj | Aritm. sred. | Medijan | Minimum | Maksimum | Donji kvartil | Gornji kvartil | Std. dev. | Koef. varijacije | Std. pogreška |
|----------------------------------|--------------|---------|---------|----------|---------------|----------------|-----------|------------------|---------------|
| C/N odnos CB | | | | | | | | | |
| OL_{uk} | 36,0 | 35,7 | 30,7 | 44,1 | 33,0 | 37,7 | 3,6 | 10,1 | 0,9 |
| OF₁ | 27,3 | 25,0 | 20,3 | 56,7 | 22,6 | 29,1 | 9,1 | 33,2 | 2,4 |
| OF₂ | 20,8 | 20,9 | 18,4 | 24,1 | 19,7 | 21,6 | 1,6 | 7,8 | 0,4 |
| OH | 18,7 | 18,6 | 17,2 | 20,8 | 18,0 | 19,3 | 1,1 | 5,7 | 0,3 |
| C/N odnos OB | | | | | | | | | |
| OL_{uk} | 38,4 | 38,4 | 35,2 | 41,4 | 37,9 | 40,2 | 1,8 | 4,6 | 0,5 |
| OF₁ | 24,3 | 24,8 | 19,2 | 30,9 | 21,6 | 25,1 | 3,1 | 12,8 | 0,8 |
| OF₂ | 20,3 | 20,1 | 18,1 | 23,5 | 19,4 | 21,2 | 1,5 | 7,5 | 0,4 |
| OH | 18,8 | 18,8 | 17,0 | 23,0 | 17,6 | 19,2 | 1,6 | 8,7 | 0,4 |
| C/N odnos Ba | | | | | | | | | |
| OL_{uk} | 21,9 | 21,4 | 18,4 | 26,0 | 20,1 | 23,9 | 2,4 | 10,8 | 0,6 |
| OF₁ | 17,2 | 17,2 | 14,3 | 20,8 | 15,9 | 17,6 | 1,8 | 10,4 | 0,5 |
| OF₂ | 15,1 | 15,1 | 14,4 | 15,6 | 14,8 | 15,4 | 0,5 | 3,3 | 0,2 |
| OF₂/OH | 14,9 | 15,3 | 13,7 | 16,2 | 13,8 | 15,6 | 1,0 | 6,5 | 0,4 |
| OH | 14,3 | 14,4 | 14,2 | 14,4 | 14,2 | 14,4 | 0,1 | 0,9 | 0,1 |
| C/N odnos K | | | | | | | | | |
| OL_{uk} | 25,5 | 24,3 | 17,3 | 48,8 | 21,4 | 27,0 | 7,9 | 30,9 | 2,2 |
| OF₁ (M/OF) | 15,0 | 14,0 | 12,7 | 20,4 | 13,6 | 15,3 | 2,3 | 15,6 | 0,7 |
| OF₂ (OF) | 15,4 | 14,1 | 13,1 | 28,3 | 13,7 | 14,7 | 4,2 | 27,0 | 1,2 |



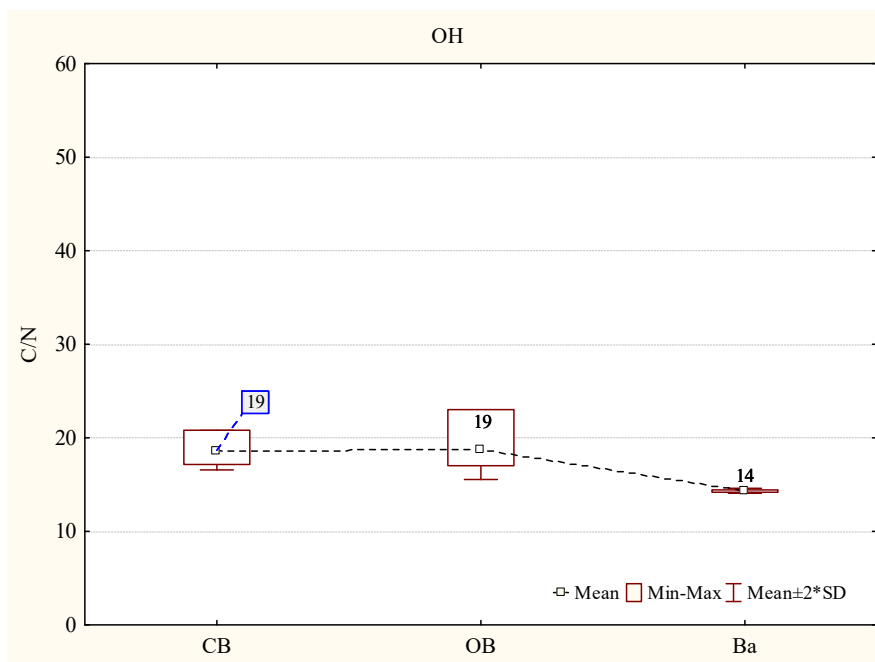
Slika 26. C/N u OLuk- podhorizontu šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (B) i na kontrolnim plohama (K)



Slika 27. C/N u OF1- podhorizontu šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (B) i na kontrolnim plohama (K)



Slika 28. C/N u OF₂- podhorizontu šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB) i na kontrolnim plohama (K), a kod običnog bagrema (Ba) u OF₂ i OF₂/OH



Slika 29. C/N u OH- podhorizontu šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (B) i na kontrolnim plohama (K)

Tablica 8. Test razlika C/N po podhorizontima šumske prostirke između kultura crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (B) i kontrolnih ploha (K)

| Sloj šumske prostirke | Statistički test | |
|-----------------------|---|-------------------|
| OLuk | K-W: $H(3, N=60) = 39,716$ $p < 0,001$ | (CB, OB) (B a, K) |
| OF1 | K-W: $H(3, N=60) = 42,437$ $p < 0,001$ | (CB, OB) (B a, K) |
| OF2 | ANOVA: $F = 22,751$ $p < 0,001$ | (CB, OB) (B a, K) |
| OH | ANOVA: $F = 15,054$ $p < 0,001$ | (CB, OB) (B a) |

5.4. Zaliha organskog ugljika (C) i ukupnog dušika (N_{uk}) u šumskoj prostirci

Najveće zalihe organskog ugljika zabilježene su u kulturama običnog bora, gdje srednja vrijednost iznosi $26,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$, zatim u kulturama crnog bora ($24,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$), pa se smanjuju u bagremovim kulturama ($12,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$), dok su na kontrolnim plohama zabilježene najmanje zalihe organskog ugljika u vrijednosti od $7,9 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (slika 30). U borovim i bagremovim kulturama najveća je zaliha organskog ugljika pohranjena u OF₁- podhorizontima., a na kontrolnim plohama u OF₂. Najmanje zalihe ugljika pohranjene su u OL - podhorizontima (tablica 9).

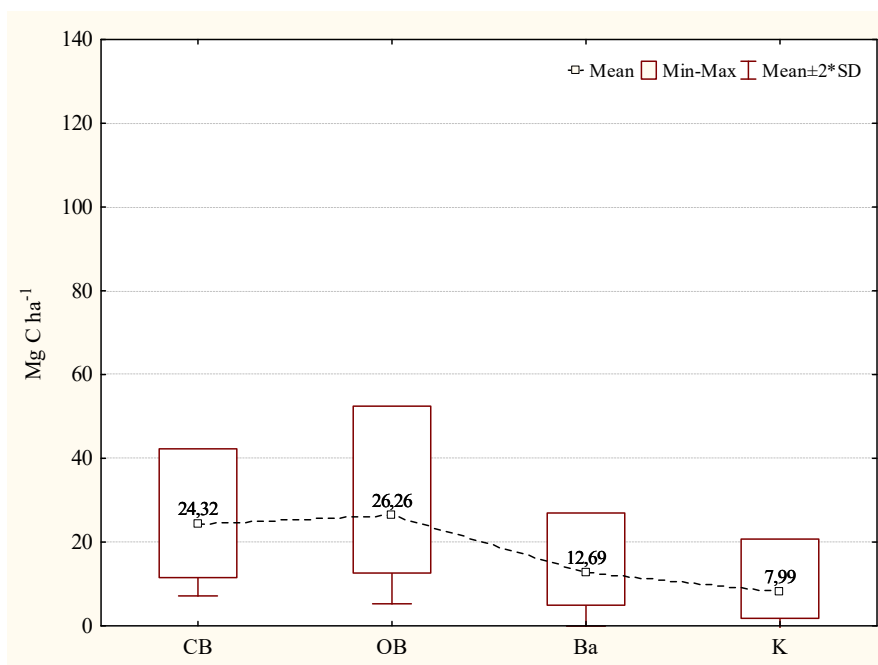
Najveće zalihe ukupnog dušika zabilježene su u kulturama običnog bora ($1,14 \text{ Mg ha}^{-1}$), zatim u kulturama crnog bora ($1,06 \text{ Mg ha}^{-1}$), dok bagremove kulture imaju nešto manju zalihu od $0,75 \text{ Mg ha}^{-1}$, a na kontrolnim plohama zabilježene su najmanje zalihe ukupnog dušika u vrijednosti od $0,54 \text{ Mg ha}^{-1}$ (slika 31 i tablica 11).

Tablica 9. Zaliha organskog ugljika po podhorizontima OLuk, OF₁, OF₂ i OH u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnoj plohi (K) (N = 15 za svaku kulturu odnosno za kontrolne plohe, osim za bagrem kod podhorizonta OF₂ (N = 4), OF₂/OH (N = 11) i OH (N = 3))

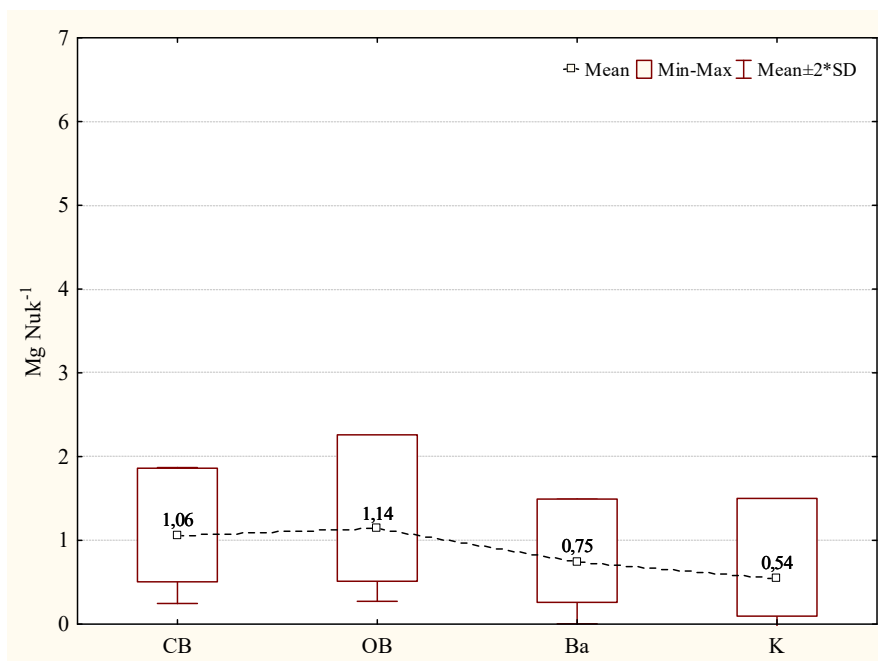
| Sloj | Aritm. sred. | Medijan | Minimum | Maksimum | Donji kvartil | Gornji kvartil | Std. dev. | Koef. varijacije | Std. pogreška |
|---|--------------|---------|---------|----------|---------------|----------------|-----------|------------------|---------------|
| Zaliha organskog ugljika CB (Mg ha⁻¹) | | | | | | | | | |
| OLuk | 2,587 | 2,563 | 1,070 | 5,419 | 2,033 | 3,106 | 1,094 | 42,284 | 0,292 |
| OF₁ | 9,793 | 9,187 | 5,070 | 15,220 | 6,519 | 14,172 | 3,560 | 36,348 | 0,919 |
| OF₂ | 7,724 | 7,019 | 1,656 | 17,192 | 3,702 | 9,620 | 4,585 | 59,351 | 1,184 |
| OH | 4,384 | 3,971 | 1,676 | 9,047 | 1,976 | 6,696 | 2,530 | 57,720 | 0,653 |
| Ukupno | 24,316 | 23,961 | 11,529 | 42,278 | 17,098 | 30,155 | 8,579 | 35,280 | 2,215 |
| Zaliha organskog ugljika OB (Mg ha⁻¹) | | | | | | | | | |
| OLuk | 3,989 | 3,559 | 1,522 | 7,596 | 2,867 | 5,610 | 1,721 | 43,136 | 0,444 |
| OF₁ | 10,060 | 8,891 | 6,358 | 16,092 | 7,397 | 12,348 | 3,247 | 32,281 | 0,838 |
| OF₂ | 5,300 | 5,403 | 2,018 | 12,599 | 3,269 | 6,068 | 2,643 | 49,862 | 0,682 |
| OH | 6,909 | 5,983 | 1,782 | 20,184 | 3,468 | 7,877 | 5,202 | 75,294 | 1,343 |
| Ukupno | 26,257 | 23,801 | 12,617 | 52,460 | 19,042 | 30,745 | 10,497 | 39,976 | 2,710 |
| Zaliha organskog ugljika Ba (Mg ha⁻¹) | | | | | | | | | |
| OLuk | 1,601 | 1,634 | 0,659 | 2,418 | 1,246 | 1,983 | 0,495 | 30,936 | 0,128 |
| OF₁ | 7,462 | 6,792 | 2,741 | 14,508 | 4,232 | 11,503 | 3,693 | 49,489 | 0,954 |
| OF₂ | 2,974 | 2,708 | 0,975 | 5,504 | 1,030 | 4,918 | 2,295 | 77,188 | 1,148 |
| OF₂/OH | 3,400 | 2,481 | 0,000 | 12,634 | 0,000 | 4,836 | 3,990 | 117,342 | 1,203 |
| OH | 1,707 | 1,644 | 1,072 | 2,404 | 1,072 | 2,404 | 0,668 | 39,168 | 0,386 |
| Ukupno | 12,691 | 11,141 | 4,934 | 26,945 | 7,612 | 16,687 | 6,371 | 50,199 | 1,645 |
| Zaliha organskog ugljika K (Mg ha⁻¹) | | | | | | | | | |
| OLuk | 0,727 | 0,606 | 0,000 | 2,287 | 0,184 | 1,244 | 0,645 | 88,740 | 0,167 |
| OF₁ (M/OF) | 3,460 | 3,934 | 0,000 | 5,975 | 2,024 | 4,714 | 1,769 | 51,135 | 0,457 |
| OF₂ (OF) | 3,804 | 2,789 | 0,000 | 14,981 | 0,135 | 6,294 | 3,949 | 103,812 | 1,020 |
| Ukupno | 7,991 | 7,147 | 1,813 | 20,736 | 3,786 | 10,886 | 4,829 | 60,427 | 1,247 |

Tablica 10. Zaliha ukupnog dušika po podhorizontima O_{Luk}, O_{F1}, O_{F2} i O_H u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnoj plohi (K) (N = 15 za svaku kulturu odnosno za kontrolne plohe, osim za bagrem kod podhorizonta O_{F2} (N = 4), O_{F2}/O_H (N = 11) i O_H (N = 3))

| Sloj | Aritm. sred. | Medijan | Minimum | Maksimum | Donji kvartil | Gornji kvartil | Std. dev. | Koef. varijacije | Std. pogreška |
|--|--------------|---------|---------|----------|---------------|----------------|-----------|------------------|---------------|
| Zaliha ukupnog dušika CB (Mg ha⁻¹) | | | | | | | | | |
| O_{Luk} | 0,074 | 0,063 | 0,028 | 0,170 | 0,051 | 0,085 | 0,037 | 50,747 | 0,010 |
| O_{F1} | 0,385 | 0,309 | 0,185 | 0,704 | 0,216 | 0,507 | 0,177 | 46,080 | 0,046 |
| O_{F2} | 0,372 | 0,351 | 0,079 | 0,802 | 0,189 | 0,474 | 0,215 | 57,967 | 0,056 |
| O_H | 0,233 | 0,212 | 0,088 | 0,443 | 0,103 | 0,390 | 0,130 | 55,752 | 0,034 |
| Ukupno | 1,058 | 0,922 | 0,505 | 1,862 | 0,711 | 1,405 | 0,406 | 38,355 | 0,105 |
| Zaliha ukupnog dušika OB (Mg ha⁻¹) | | | | | | | | | |
| O_{Luk} | 0,102 | 0,090 | 0,033 | 0,178 | 0,074 | 0,136 | 0,039 | 37,841 | 0,010 |
| O_{F1} | 0,415 | 0,432 | 0,251 | 0,641 | 0,300 | 0,515 | 0,122 | 29,358 | 0,031 |
| O_{F2} | 0,262 | 0,268 | 0,086 | 0,551 | 0,151 | 0,335 | 0,121 | 46,326 | 0,031 |
| O_H | 0,358 | 0,312 | 0,101 | 1,049 | 0,200 | 0,418 | 0,254 | 70,925 | 0,066 |
| Ukupno | 1,137 | 1,026 | 0,512 | 2,260 | 0,875 | 1,296 | 0,432 | 38,025 | 0,112 |
| Zaliha ukupnog dušika Ba (Mg ha⁻¹) | | | | | | | | | |
| O_{Luk} | 0,070 | 0,070 | 0,032 | 0,104 | 0,050 | 0,090 | 0,022 | 31,674 | 0,006 |
| O_{F1} | 0,434 | 0,416 | 0,171 | 0,836 | 0,241 | 0,598 | 0,209 | 48,109 | 0,054 |
| O_{F2} | 0,200 | 0,179 | 0,062 | 0,381 | 0,067 | 0,334 | 0,159 | 79,275 | 0,079 |
| O_{F2}/ O_H | 0,227 | 0,182 | 0,000 | 0,810 | 0,000 | 0,299 | 0,264 | 116,130 | 0,080 |
| O_H | 0,119 | 0,114 | 0,074 | 0,169 | 0,074 | 0,169 | 0,048 | 40,090 | 0,028 |
| Ukupno | 0,748 | 0,668 | 0,260 | 1,493 | 0,434 | 1,081 | 0,372 | 49,745 | 0,096 |
| Zaliha ukupnog dušika K (Mg ha⁻¹) | | | | | | | | | |
| O_{Luk} | 0,032 | 0,028 | 0,000 | 0,085 | 0,010 | 0,054 | 0,028 | 88,171 | 0,007 |
| O_{F1} (M/O_F) | 0,240 | 0,278 | 0,000 | 0,428 | 0,115 | 0,361 | 0,135 | 56,004 | 0,035 |
| O_{F2} (O_F) | 0,272 | 0,181 | 0,000 | 1,104 | 0,005 | 0,451 | 0,291 | 107,067 | 0,075 |
| Ukupno | 0,545 | 0,462 | 0,095 | 1,501 | 0,248 | 0,767 | 0,359 | 65,976 | 0,093 |



Slika 30. Ukupna zaliha organskog ugljika u šumskoj prostirci u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnim plohama (K)



Slika 31. Zaliha ukupnog dušika u šumskoj prostirci u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnim plohama (K)

Kulture borova imaju statistički značajno veću količinu šumske prostirke i veću zalihu organskog ugljika od kultura bagrema i vegetacije na kontrolnim plohama (tablica 11). Sve kulture (OB, CB i Ba) imaju statistički značajno veću zalihu ukupnog dušika od kontrolnih ploha, a kulture običnog bora se također i statistički značajno razlikuju od kultura crnog bora i bagrema (tablica 11).

Tablica 11. Test razlika količine šumske prostirke i zalihe organskog ugljika i ukupnog dušika u njoj u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnim plohama (K)

| Varijable | Statistički test | |
|---------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| Količina šumske prostirke | ANOVA: $F = 18,388$ $p < 0,001$ | (CB, OB) (Ba, K) |
| Zaliha organskog ugljika | ANOVA: $F = 19,081$ $p < 0,001$ | (CB, OB) (Ba, K) |
| Zaliha ukupnog dušika | ANOVA: $F = 7,354$ $p < 0,001$ | (CB, OB) (CB, Ba) (K) |

U OLuk- podhorizontu, utvrđeno je da kulture crnog bora imaju statistički značajno veću količinu prostirke, zalihu org. C i zalihu ukupnog dušika od kontrolnih ploha. Također je za isti podhorizont utvrđeno da kulture običnog bora imaju statistički značajno veću količinu prostirke, zalihu org. C i zalihu ukupnog dušika od bagremovih kultura i kontrolnih ploha.

U OF₁- podhorizontu, utvrđeno je da kulture crnog bora, običnog bora i bagrema imaju statistički značajno veću količinu prostirke i zalihu org. C od kontrolnih ploha. Za isti podhorizont je utvrđeno da bagremove kulture imaju statistički značajno veće zalihe ukupnog dušika od kontrolnih ploha. U OF₂- podhorizontu nema statistički značajne razlike za količinu prostirke i zalihu ukupnog dušika, no utvrđeno je za isti podhorizont da kulture crnog bora imaju statistički značajno veće zalihe organskog ugljika od kultura običnog bora, bagrema i kontrolnih ploha.

U OH- podhorizontu nema statistički značajne razlike između borovih kultura, a budući da je OH izdvojen samo za 3 uzorka kod bagremovih kultura, ne može se korektno statistički usporediti, dok na kontroli uopće nije bilo OH- podhorizonta (tablica 12).

Tablica 12. Test razlika količina i zaliha organskog ugljika i ukupnog dušika po slojevima šumske prostirke u kulturama crnog bora (CB), običnog bora (OB), običnog bagrema (Ba) i na kontrolnim plohama (K)

| Varijabla | Sloj šumske prostirke | Statistički test | |
|---------------------------|-----------------------|--|---------------------------|
| Količina šumske prostirke | OLuk | K-W: H (3, N = 60) = 40,647 p < 0,001 | (CB, Ba) (CB, OB) (Ba, K) |
| Zaliha organskog ugljika | OLuk | K-W: H (3, N = 60) = 39,283 p < 0,001 | (CB, Ba) (CB, OB) (Ba, K) |
| Zaliha ukupnog dušika | OLuk | ANOVA: F = 11,875 p < 0,001 | (CB, Ba) (CB, OB) (Ba, K) |
| Količina šumske prostirke | OF1 (M/OF) | K-W: H (3, N = 60) = 28,330 p < 0,001 | (CB, OB, Ba) (K) |
| Zaliha organskog ugljika | OF1 (M/OF) | K-W: H (3, N = 60) = 31,204 p < 0,001 | (CB, OB, Ba) (K) |
| Zaliha ukupnog dušika | OF1 (M/OF) | ANOVA: F = 4,287 p < 0,001 | (CB, OB, Ba) (CB, OB, K) |
| Količina šumske prostirke | OF2 (OF2/OH) | nema statistički značajne razlike | |
| Zaliha organskog ugljika | OF2 (OF2/OH) | ANOVA: F = 4,232 p < 0,001 | (CB, OB) (OB, Ba, K) |
| Zaliha ukupnog dušika | OF2 (OF2/OH) | nema statistički značajne razlike | |
| Količina šumske prostirke | OH | nema statistički značajne razlike između OH kod CB i OB; OH sloj izdvojen je samo za 3 uzorka Ba pa se ne može korektno statistički usporediti, dok na K uopće nije bilo OH | |
| Zaliha organskog ugljika | OH | | |
| Zaliha ukupnog dušika | OH | | |

6. RASPRAVA

Često se u istraživanjima šumska prostirka uzorkuje u cjelini bez razdvajanja na podhorizonte, a udjel ugljika se u tom slučaju računa kao 50 % mase akumulirane prostirke. U ovom istraživanju nije primjenjivan korekcijski faktor, niti su korišteni ujednačeni pristupi, već su udjeli organskog ugljika i ukupnog dušika po podhorizontima šumske prostirke utvrđeni laboratorijskim analizama. Količina šumske prostirke svakog podhorizonta nam indirektno ukazuje na brzinu raspadanja organske tvari, što je vrlo bitno znati budući da o tome ovisi količina ugljika koja se premješta u šumsko tlo. U ovom istraživanju, srednje vrijednosti akumulirane prostirke u borovim kulturama su čak dvostruko veće od vrijednosti akumulirane prostirke u bagremovim kulturama, a trostruko veće od vrijednosti na kontrolnim odnosno nepošumljenim plohama. Takvi rezultati su i očekivani, budući da različite biljne vrste utječu na količinu akumulirane organske tvari u prostirci i da četinjače akumuliraju veće količine prostirke od listača (Schulp et. al., 2008; Vesterdal et. al., 2013; Smith i Heath, 2002). Naime, prema Schulp et al. (2008) prostirka četinjača ima više komponenti koje je teže razgraditi od prostirke listača što rezultira akumulacijom opada u šumskoj prostirci i nastajanjem kiselih uvjeta u njoj. Time se također i može objasniti najveća količina prostirke dobivena u OF- podhorizontima našeg istraživanja, budući da se zbog takvih kiselih uvjeta, a time i manje mikrobiološke aktivnosti, prostirka teže razgrađuje te je manje prostirke humificirano. Drugim riječima, zbog svega navedenog manja količina prostirke prelazi u OH- podhorizont, a veća količina se zadržava u OF- podhorizontima. Nadalje, rezultati udjela organskog ugljika u ovom istraživanju pokazuju da se udjel ugljika smanjuje od OL- podhorizonta prema OH- podhorizontu, na primjer kod običnog bora: OL - 50,3 %, OF₁ - 47,9 %, OH - 34,8 %. Vrlo slične vrijednosti dobili su Herrero et al. (2016) također kod običnog bora, gdje su se udjeli org. C kretali od 50,3 % u OL, preko 46,6 % u OF, sve do 31,1 % u OH- podhorizontu. Smanjivanje udjela ugljika od OL prema OF i OH podhorizontima bi se moglo objasniti time što pod utjecajem razgradnje organskih ostataka ugljik izlazi iz prostirke u atmosferu. Rezultati ukupnih zaliha organskog ugljika kod običnog bora (26,3 Mg C ha⁻¹) i kod crnog bora (24,3 C Mg ha⁻¹) mogu se usporediti sa istraživanjem Heath i Smith (2002) gdje su utvrđene zalihe organskog ugljika osamdesetogodišnjih borovih sastojina na zapadu SAD - a iznosile 24,1 Mg ha⁻¹. Borove kulture su u ovom istraživanju imale statistički značajno

veće zalihe organskog ugljika od bagremovih kultura i kontrole. Veće zalihe org. C kod četinjača nego kod listača potvrđuju i Herrero et al. (2016), Vesterdal et al. (2013), Smith i Heath (2002), Schulp et al. (2008). Kontrolne plohe u zaštićenom botaničko-geografskom rezervatu imale su zalihu organskog ugljika u vrijednosti od 7,9 Mg C ha⁻¹, što je značajno manje nego na pošumljenim površinama, no tu vrijednost ne možemo uzeti kao realno stanje kakvo bi bilo da se pijesci nisu pošumljavali. Naime, 80 - 90 % rezervata je obraslo zečjakom i drugim vrstama s okolnih staništa, a prije pošumljavanja su na tim površinama bile zastupljene pješčarske biljne vrste, odnosno pijesci su bili u trajnom stadiju endemične biljne zajednice panonske trave vlasulje bradice i sivkaste gladice (*Corynephoroto-Festucetum vaginatae croaticum* Sokl. 42.) (Kranjčev, 2006). Da je rezervat ostao u tom stadiju, zalihe ugljika bi na kontrolnim plohama bila značajno manje nego što su sada. Što se tiče C/N odnosa, on se na svim istraživanim plohama smanjuje od OL→OF₁→OF₂→OH, što potvrđuju i Cools et al. (2014) u svome istraživanju. C/N odnos je u našem istraživanju bio značajno veći u borovim kulturama nego u bagremovim kulturama i na kontrolnim plohama. Takvi rezultati su i očekivani, budući da je C/N odnos veći kod četinjača nego kod listača. Posebno su kod borova utvrđeni najviši C/N odnosi u šumskoj prostirci (Cools et al., 2014). Manji C/N odnos (C/N<30) je povoljniji, a prostirka se u takvim uvjetima brže razgrađuje, jer su potrebe mikroorganizama (razgrađivača) za dušikom iz organske tvari tada zadovoljene. Visok C/N odnos i debeo OF- podhorizont su karakteristike koje upućuju na to da se u borovim kulturama koje smo istraživali nalazi *mor*- humus. Nizak C/N odnos i izostanak OH- podhorizonta su karakteristike koje upućuju da se u bagremovim kulturama koje smo istraživali nalazi *mull*- humus. Prema svemu što je prethodno navedeno, *mull*- humus je povoljniji od *mor*- humusa, jer ima povoljnije uvjete za razgradnju, što bi značilo da bagremove kulture imaju kvalitetniji humus od borovih kultura.

7. ZAKLJUČAK

Kulture crnog i običnog bora akumuliraju dva puta više prostirke od bagremovih kultura i čak tri puta više prostirke od nepošumljenih ploha. Također borove kulture spremaju dvostruko više ugljika u šumsku prostirku nego bagremove kulture, i trostruko više ugljika nego nepošumljena područja. Kontrolna ploha u rezervatu nije u stadiju u kojemu bi bila da se okolna staništa nisu pošumila, posljedica čega je zaraštanje zečjaka i ostalih vrsta u rezervatu. Unatoč tome, usporedba kontrolnih ploha sa pošumljenim kulturama daje nam vrlo dobar uvid koliko je značajna razlika s aspekta zaliha ugljika naspram pošumljenih kultura.

LITERATURA

Anić, I. i Matic, S. (2017) Šumskouzgojne značajke područja Đurđevačkih pijesaka. U: Bašić, F. i Feletar, D. ,ur. *Znanstveni skup: Đurđevački pijesci ; geneza, stanje i perspektive*. Koprivnica: Zavod za znanstvenoistraživački i umjetnički rad Koprivničko – križevačke županije u Križevcima, str. 16-17.

Ashton, M. S. (2012) *Managing forest carbon in a changing climate*. Dordrecht: Springer.

Bakšić, N. i Bakšić, D. (2017) Količine goriva i zalihe ugljika u šumskoj prostirci sastojina alepskog bora na otoku Mljetu. *Šumarski list*. 5-6, str. 247-256.

Barčić, D., Španjol, Ž. i Rosavec, R. (2011) Čimbenici utjecaja šumske prostirke na požare u šumskim ekosustavima. *Vatrogastvo i upravljanje požarima*. 1 (1-2), str. 26-34.

Cools, N., Vesterdal, L., De Vos, B., Vanguelova, E. i Hansen, K. (2014) Tree species is the major factor explaining C:N ratios in European forest soils. *Forest Ecology and Management*. 311, str. 3-16.

Eswaran, H., Berg, E. van den, Reich, P. (1993) Organic carbon in soils of the world. *Soil Science Society of America Journal*. 57, str. 192-194.

Fao.org. (2019) *STATE OF THE WORLD'S FORESTS 2001*. [online] Dostupno na: <http://www.fao.org/3/y0900e/y0900e06.htm> [4. rujna 2019.].

Farquhar, G. D., Fasham, M. J. R., Goulden, M. L., Heimann, M., Jaramillo, V. J., Khashgi, H. S., Le Quéré, C., Scholes, R. J. i Wallace, D. W. .R. (2001) The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide. U: Houghton, J.T., ur. *Climate change 2001: the scientific basis : contribution of Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

Forest Research. (2019) *Carbon cycle - Forest Research*. [online] Dostupno na: <https://www.forestresearch.gov.uk/tools-and-resources/statistics/forestry-statistics/forestry-statistics-2018/uk-forests-and-climate-change/carbon-cycle/> [4. rujna. 2019.].

Fröberg, M., Berggren, D., Bergkvist, B., Bryant, C. i Knicker, H. (2003). Contributions of Oi, Oe and Oa horizons to dissolved organic matter in forest floor leachates. *Geoderma*. 113, str. 311-322.

Herrero, C., Turrión, M. B., Pando, V. i Bravo, F. (2016) Carbon content of forest floor and mineral soil in Mediterranean *Pinus* spp. and Oak stands in acid soils in Northern Spain. *Forest Systems*. 25 (2), str. 1-13.

Houghton, J. T. (2001) *Climate change 2001: the scientific basis : contribution of Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

Kranjčev, R. (2006) *Đurđevački pijesci: pijesci u Podravini*. Đurđevac: Gradska knjižnica Đurđevac.

Lorenz, K. i Lal, R. (2010) *Carbon Sequestration in Forest Ecosystems*. New York: Springer.

Marjanović, H., Ostrogović, M. Z., Alberti, G., Balenović, I., Paladinić, E., Indir, K., Peressotti, A. i Vuletić, D. (2011) Dinamika ugljika u mlađim sastojinama hrasta lužnjaka tijekom dvije vegetacije. *Šumarski list*. (posebni broj), str. 59-73.

Matica, M. (2011) Prostorni razvoj Đurđevca i njegov okoliš s posebnim osvrtom na pridravski prostor. *Podravina*. 10 (20), str. 57-73.

Muir, J. L. i Vamosi, J. C. (2015) Invasive Scotch broom (*Cytisus scoparius*, *Fabaceae*) and the pollination success of three Garry oak-associated plant species. *Biological Invasions*. 17, str. 2429-2446.

Obnova Osnove gospodarenja za gospodarsku jединicu Đurđevački Peski za razdoblje 01.01.2017.-31.12.2026. Uprava šuma Podružnica Koprivnica, Hrvatske šume d.o.o. Zagreb. [online] Dostupno na: <http://javni-podaci.hrsume.hr/bindata/pdf/181/Opis.pdf>. [10. rujna 2019.]

Ozimec, R., Baković, N., Baričević, L., Božić, B., Drakšić, M., Ernoić, M., Fressel, N., Kučinić, M., Kušan, I., Lacković, D., Martinko, M., Matočec, N., Samardžić, M., Skejo, J. i Šincek, D. (2016) *Đurđevački peski*. Zagreb: ADIPA.

Paladinić, E. (2009) *Procjena sposobnosti šumskih sastojina za spremanje ugljika u kontekstu obveza u provedbi Kyoto protokola*. Doktorski rad. Zagreb: Šumarski fakultet.

Pernar, N. (2017) *Tlo ; nastanak, značenje, gospodarenje*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.

Pernar, N., Bakšić, D., Perković, I. (2013) *Terenska i laboratorijska istraživanja tla ; Priručnik za uzorkovanje i analizu*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.

Petrić, H. (2008) „Neodrživi razvoj“ ili kako je krčenje šuma u ranome novom vijeku omogućilo širenje Đurđevačkih pijesaka. *Ekonomika i ekohistorija*. 4 (4), str. 5-26.

Research.noaa.gov. (2019) *Carbon dioxide levels hit record peak in May - Welcome to NOAA Research*. [online] Dostupno na:

<https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/2461/Carbon-dioxide-levels-hit-record-peak-in-May> [15. kolovoza 2019.].

Schulp, C. J. E., Nabuurs, G. J., Verburg, P. H. i De Waal, R. W. (2008) Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest Ecology and Management*. 256, str. 482-490.

Schulze, E.-D. (2000) *Carbon and nitrogen cycling in European forest ecosystems*. Berlin: Springer.

Smith, J. E. i Heath, L. S. (2002) A model of forest floor carbon mass for United States forest types.

Sokal, R. R. i Rohlf, F. J. (1995) *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. New York: Freeman and Company.

StatSoft, Inc. (2007) STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com

Vesterdal, L. (1998) *Forest floors as affected by tree species, thinning intensity and soil properties*. Ph. D. Thesis. Hørsholm: The Royal Veterinary and Agricultural University, Unit of Forestry, Department of Economics and Natural Resources.

Vesterdal, L., Clarke, N., Sigurdsson, B. D. i Gundersen, P. (2013) Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests? *Forest Ecology and Management*. 309, str. 4-18.

Vrbek, B. i Pilaš, I. (2011) Istraživanje promjena nekih kemijskih i fizikalnih osobina u tlu pod šumom bora i bagrema na području Đurđevačkih pijesaka. *Šumarski list*. (posebni broj), str. 230-238.

Vrbek, B., Pernar, N., Bakšić, D. i Perković, I. (2017) Neke pedološke značajke ekosustava Đurđevačkih pijesaka. U: Bašić, F. i Feletar, D., ur. Znanstveni skup: *Đurđevački pijesci ; geneza, stanje i perspektive*. Koprivnica: Zavod za znanstvenoistraživački i umjetnički rad Koprivničko – križevačke županije u Križevcima, str. 8.

Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J.F., Sartori, G., De Waal, R., Van Delft, B., Graefe, U., Cools, N., Kazensteiner, K., Hager, H., English, M., Breths, A., Broll, G., Gobat, J.M., Brun, J.J., Milbert, G., Kolb, E., Wolf, U., Frizzera, F., Galvan, P., Kolli, R., Baritz, R., Kemmers, R., Vacca, A., Serra, G., Banas, D., Garlato, A., Chersich, S., Klimo, E. i Langohr, R. (2011) European Humus Forms Reference Base.