

Zalihe ugljika u šumskoj prostirci i tlu u sastojini hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* Matt./Liebl.) na području park-šume Maksimir

Megyery, Tonko

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:892597>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE

ŠUMARSKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

URBANO ŠUMARSTVO, ZAŠTITA PRIRODE I OKOLIŠA

TONKO MEGYERY

**ZALIHE UGLJIKA U ŠUMSKOJ PROSTIRCI I TLU U
SASTOJINAMA HRASTA KITNJAKA (*Quercus petraea* Matt./
Liebl.) NA PODRUČJU PARK - ŠUME MAKSIMIR**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2021.

FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE

ŠUMARSKI ODSJEK

**ZALIHE UGLJIKA U ŠUMSKOJ PROSTIRCI I TLU U SASTOJINAMA
HRASTA KITNJAKA (*Quercus petraea* Matt./ Liebl.) NA PODRUČJU
PARK - ŠUME MAKSIMIR**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Urbano šumarstvo, zaštita prirode i okoliša

Predmet: Zaštita i gospodarenje tlom

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

2. doc. dr. sc. Ivan Perković

3. izv. prof. dr. sc. Vibor Roje

Student: Tonko Megyery

JMBAG: 0178093641

Broj indeksa: 1085/19

Datum odobrenja teme: 04.05.2021.

Datum predaje rada: 01.10.2021.

Datum obrane rada: 15.10.2021.

Zagreb, listopad 2021.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	Zalihe ugljika u šumskoj prostirci i tlu u sastojinama hrasta kitnjaka (<i>Quercus petraea</i> Matt./ Liebl.) na području park-šume Maksimir
Title	Carbon stocks in forest floor and soil in sessile oak (<i>Quercus petraea</i> Matt./ Liebl.) stands in the Maksimir Park-Forest
Autor	Tonko Megyery
Adresa autora	Ulica Ljudevita Posavskog 46, 10000 Zagreb
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
Godina objave	2021.
Obujam	Broj stranica : 45 ; broj slika: 12 ; broj tablica: 18 ; broj grafikona: 9
Ključne riječi	Zaliha ugljika, hrast kitnjak, šumska prostirka, šumsko tlo, park-šuma Maksimir, urbano šumarstvo.
Key words	Carbon sequestration, Sessile oak, Forest floor, Forest soil, Urban forestry
Sažetak	<p>Cilj ovog diplomskog rada bio je utvrditi zalihe organskog ugljika (OC) pohranjene u šumskoj prostirci i tlu u sastojinama hrasta kitnjaka i običnog graba (<i>Epimedio-Carpinetum betuli</i> /Ht. 1938/ Borh. 1963.) te utvrditi postoji li statistički značajna razlika u pohrani s obzirom na prsni promjer, odnosno starost, u okviru park-šume Maksimir u Zagrebu.</p> <p>Uzorkovanje je provedeno ispod 30 stabala raspoređenih u 3 kategorije s obzirom na prsni promjer stabala hrasta kitnjaka : 20 – 40 cm, 40 – 60 cm, >60 cm. Šumska prostirka uzorkovana je po podhorizontima OLn, OLv, OF i OH/A kojima su određeni količina, udjel i zaliha OC. Tlo je uzorkovano sondom po dubinama: 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 60 cm, 60 – 80 cm i 80 – 100 cm te su određeni udjel i zaliha OC.</p> <p>Utvrđene količine OLn, OLv i OF podhorizontata šumske prostirke bile su u rasponu od 4,62 do 17,28 Mg ha⁻¹. Količine OH/A iskazane su</p>

zasebno i imale su podjednako širok raspon kao i ukupne vrijednosti za OLn, OLv i OF. Taj se raspon kretao od 0 (nije bilo OH podhorizonta) do 14,24 Mg ha⁻¹. Količine OLn, OLv i OF podhorizontata šumske prostirke, kao i zalihe OC u njima nisu bile statistički različite s obzirom na tri kategorije kitnjakovih sastojina (d = 20 – 40 cm; d = 40 – 60 cm i d > 60 cm), ali je utvrđena statistički značajno veća količina, kao i zaliha OC u OH/A podhorizontu u sastojinama najmanjeg promjera (d = 20 – 40 cm). Potencijalni uzroci tome povezani su s kompleksnošću uzorkovanja OH podhorizonta (OH/A), razlici u gustoći sastojine i hidrotermičkim značajkama tla, a taj utjecaj treba još kvantificirati u budućim istraživanjima.

Najveći udio OC utvrđen je u OLn podhorizontu (48,28 %), zatim u OLv (46,93 %), dok je u OF podhorizontu zabilježen udjel u iznosu od 42,84 %. Najmanji udjel OC utvrđen je u OH/A podhorizontu koji iznosi 25,52 %. Udjeli OC po podhorizontima šumske prostirke (pojedinačno i ukupno) između lokaliteta prilično su ujednačeni i među njima nije utvrđena statistički značajna razlika.

Zalihe OC u šumskoj prostirci kreću se u rasponu od 2,88 do 10,57 Mg C ha⁻¹. Najveće zalihe OC izmjerene su kod stabala prsnog promjera 20 – 40 cm gdje suma srednjih vrijednost iznosi 7,54 Mg C ha⁻¹. Srednje vrijednosti ukupnih zaliha OC u tlu ispod stabala prsnog promjera 20 – 40 cm iznose 114,36 Mg C ha⁻¹, veće su kod stabla promjera 40 – 60 cm gdje iznose 116,354 Mg C ha⁻¹, a najveće u tlu ispod stabala promjera >60 cm gdje iznose 118,477 Mg C ha⁻¹. Najveće zalihe OC u tlu zabilježene su u površinskom sloju do dubine od 10 cm. Nije utvrđena statistički značajna razlika između zaliha OC u tlu za 1 m dubine za tri kategorije kitnjakovih sastojina (d = 20 – 40 cm; d = 40 – 60 cm i d > 60 cm) pa se tu može govoriti o jednoj srednjoj vrijednosti zalihe OC u tlu do 1 m dubine koja za sastojine kitnjaka u park-šumi Maksimir iznosi 116,397 Mg C ha⁻¹.

	IZJAVA O IZVORNOSTI RADA	OB FŠDT DS 09 03
		Revizija: 1
		Datum: 29.04.2021.

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

vlastoručni potpis

Tonko Megyery

U Zagrebu *01.10.2021.*

SADRŽAJ

1. Uvod	1
1.1. Uloga šumskih ekosustava u globalnom kruženju ugljika	3
1.1.2. Tlo urbanih sredina u procesima kruženja ugljika.....	6
1.2. Europske regulative u borbi protiv klimatskih promjena	7
2. Dosadašnja istraživanja.....	8
3. Cilj istraživanja	10
4. Materijali i metode	11
4.1. Područje istraživanja	11
4.1.1. Klimatska obilježja	12
4.1.2. Pedološke i fitocenološke značajke	13
4.2. Terensko uzorkovanje i laboratorijska analiza	15
4.2.1. Uzorkovanje šumske prostirke	16
4.2.2. Laboratorijska analiza šumske prostirke.....	19
4.2.3. Uzorkovanje tla	19
4.2.4. Laboratorijska analiza tla.....	19
4.2.5. Zalihe ugljika u tlu.....	20
4.3. Statističke analize	21
5. Rezultati i rasprava	22
5.1. Količine šumske prostirke.....	22
5.2. Udjel organskog ugljika u šumskoj prostirci.....	26
5.3. Zalihe organskog ugljika u šumskoj prostirci.....	29
5.4. Udjel organskog ugljika u tlu.....	33
5.5. Zalihe organskog ugljika u tlu	35
6. Zaključak	40
7. Literatura i izvori	41

Popis grafikona i slika:

Grafikon 1. Razine CO ₂ u posljednjih 800 000 godina	1
Grafikon 2. Količine atmosferskog CO ₂ i emisije CO ₂ u periodu od 1750. do 2020. god	2
Grafikon 3. Udjeli šumskih pohraništa ugljika u Europi 2020	4
Grafikon 4. Dinamika OC u šumskoj prostirci tijekom životnog vijeka šumskog ekosustava..	5
Grafikon 5. Dinamika zaliha OC u tlu tijekom životnog vijeka šumskog ekosustava.....	6
Grafikon 6. Prikaz količine šumske prostirke po podhorizontima, s obzirom na prsni promjer stabala	23
Grafikon 7. Udjel OC po podhorizontima, s obzirom na prsni promjer stabala	29
Grafikon 8. Zalihe OC po podhorizontima, s obzirom na prsni promjer stabala.....	32
Grafikon 9. Zalihe OC po dubinama, s obzirom na prsni promjer stabala	37
Slika 1. Satelitski snimak položaja park-šume Maksimir unutar grada Zagreba.....	11
Slika 2. Pedološka karta park-šume Maksimir prilagođena (Bakšić, Megyery).....	13
Slika 3. Fitocenološka karta park-šume Maksimir prilagođena (Bakšić, Megyery).	14
Slika 4. Satelitska snimka položaja točaka uzorkovanja	15
Slika 5. Prikaz izdvojenog OL podhorizonta.....	16
Slika 6. Prikaz izdvojenog OF podhorizonta	17
Slika 7. Prikaz izdvojenog OH podhorizonta	17
Slike 8. i 9. Uzorkovanje šumske prostirke	18
Slika 10. “NC SoilFlash 2000 Thermo”	20
Slika 11. Priprema i odvaga uzoraka za određivanje organskog ugljika i ukupnog dušika	20
Slika 12. Pedotransferna funkcija.....	21

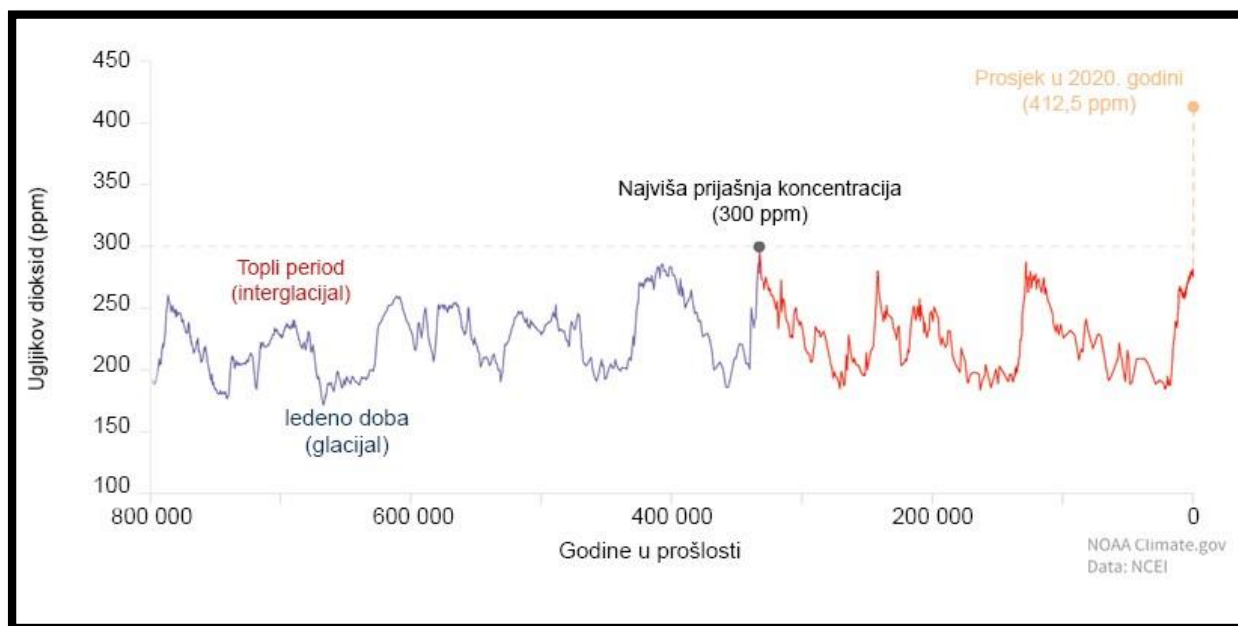
Popis tablica:

Tablica 1. Količine OLn, OLv i OF podhorizontata šumske prostirke, za stabla d = 20 – 40 cm	24
Tablica 2. Količine OLn, OLv i OF podhorizontata šumske prostirke, za stabla d = 40 – 60 cm	25
Tablica 3. Količine OLn, OLv i OF podhorizontata šumske prostirke, za stabla d = 60 + cm	26
Tablica 4. Udjel OC po podhorizontima, za stabla d = 20 – 40 cm	27
Tablica 5. Udjel OC po podhorizontima, za stabla d = 40 – 60 cm.....	28
Tablica 6. Udjel OC po podhorizontima, za stabla d = 60 + cm.....	28
Tablica 7. Zalihe OC po podhorizontima, za stabla d = 20 – 40 cm.....	30
Tablica 8. Zalihe OC po podhorizontima, za stabla d = 40 – 60 cm.....	31
Tablica 9. Zalihe OC po podhorizontima, za stabla d = 60 + cm	32
Tablica 10. Udjel OC po dubinama, za stabla d = 20 – 40 cm	33
Tablica 11. Udjel OC po dubinama, za stabla d = 40 – 60 cm	34
Tablica 12. Udjel OC po dubinama, za stabla d = 60 + cm.....	34
Tablica 13. Zalihe OC po dubinama, za stabla d = 20 – 40 cm.....	35
Tablica 14. Zalihe OC po dubinama, za stabla d = 40 – 60 cm.....	36
Tablica 15. Zalihe OC po dubinama, za stabla d = 60 + cm.....	36
Tablica 16. Zalihe OC do dubina 20 cm i 100 cm, za stabla d = 20 – 40 cm.....	38
Tablica 17. OC do dubina 20 cm i 100 cm, za stabla d = 40 – 60 cm	39
Tablica 18. Zalihe OC do dubina 20 cm i 100 cm, za stabla d = 60 + cm	39

1. Uvod

Klimatske promjene i globalno zatopljenje predstavljaju jedan od većih izazova s kojim se čovječanstvo 21. stoljeća suočava. Ugljik, odnosno ugljikov dioksid, kao jedan od plinova iz skupine GHG¹ najvažniji je Zemljin staklenički plin. Povećanja količine atmosferskog ugljikova dioksida zaslužna su za otprilike $\frac{2}{3}$ ukupnog energetskeg disbalansa koji uzrokuje porast temperature na Zemlji. Ugljikov dioksid upija manje topline po molekuli nego npr. metan ili dušikov oksid, ali ga u u atmosferi ima u većim koncentracijama te se općenito u njoj dulje zadržava. Svjetski prosjek udjela atmosferskog CO₂ 2020. godine iznosio je 412,5 ppm², te su, u tom kontekstu, razine CO₂ u atmosferi najviše tijekom posljednjih 800 000 godina (grafikon 1) (Lindsey, 2020).

Prema IPCC³ - u, porast koncentracije ugljikovog dioksida od 2000. godine iznosio je 20 ppm po desetljeću, što je 10 puta brže od uobičajenih stopa rasta tijekom posljednjih 800 000 godina.



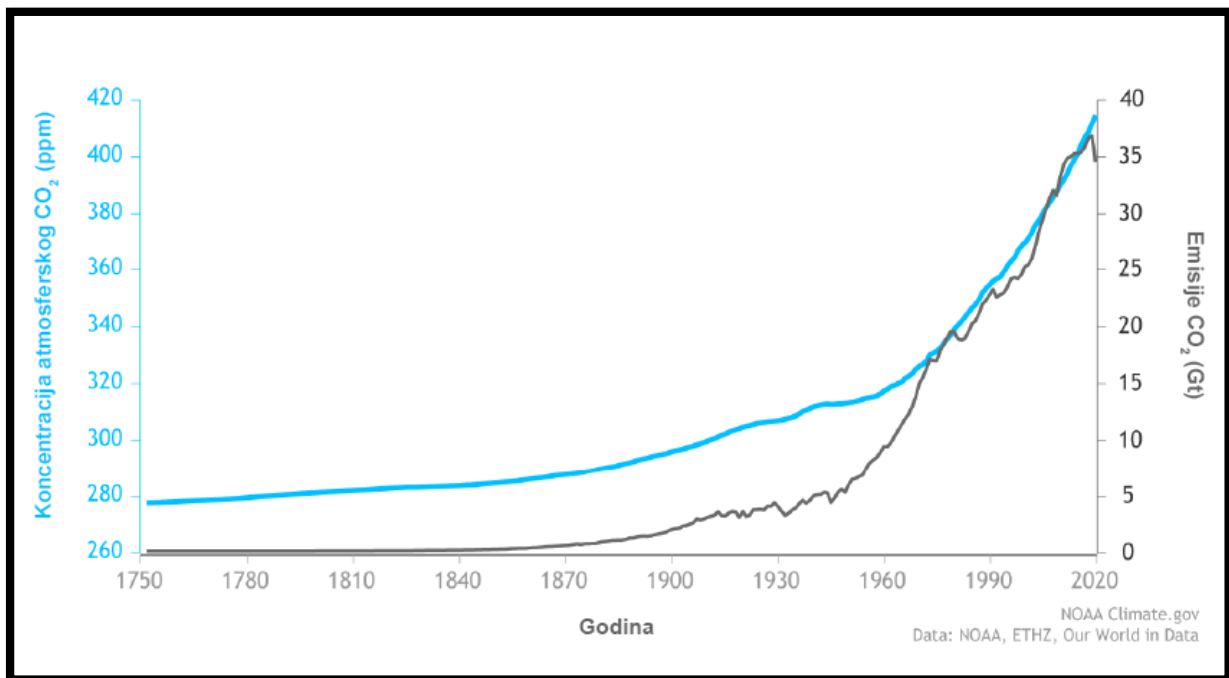
Grafikon 1. Razine CO₂ u posljednjih 800 000 godina; Izvor: NOAA Climate.gov; prema podacima Lüthi *et al.*, (2008), preko NOAA, NCEI paleoklimatološkog programa.

¹ GHG (eng. *Green House Gasses*) - staklenički plinovi, odnosno plinovi koji otežavaju izlazak dugovalnog toplinskog zračenja iz atmosfere planeta te uzrokuju efekt staklenika

² ppm (eng. *parts per million*), nenormirani znak za milijuntinku, tj 1 ppm = 1/1 000 000 = 10⁻⁶

³ IPCC (eng. *The Intergovernmental Panel on Climate Change*) - Međuvladin panel o klimatskim promjenama

Koncentracije CO₂ u atmosferi rastu uglavnom kao posljedica antropogenog djelovanja uzrokovanog sagorijevanjem fosilnih goriva za pridobivanje energije (grafikon 2). Prije početka industrijske revolucije 1700-tih godina, svjetski prosjek količine ugljikova dioksida iznosio je 280 ppm. Sustavno praćenje razine ugljikova dioksida u atmosferi započinje 1958. godine u Manua Loa Vulkanskom Opservatoriju na Havajima kada je izmjereno 315 ppm. Prema Friedlingstein *et. al.*, (2019) od 1850. do 2018. godine sagorijevanjem fosilnih goriva emitirano je $440 \pm 20 \text{ Pg C}^4$ u obliku CO₂, a tijekom 2018. godine prvi put u povijesti emisije fosilnih goriva vrijednosti su dosegle $10 \pm 0.5 \text{ Pg C god}^{-1}$. Ukoliko globalna energetska potražnja nastavi jednakim trendom te se nastave koristiti fosilna goriva kako bi se ta potražnja zadovoljila, procjenjuje se kako bi razine atmosferskog CO₂ mogle premašiti 900 ppm do kraja stoljeća (Lindsey, 2020).



Grafikon 2. Količine atmosferskog CO₂ i emisije CO₂ u periodu od 1750. do 2020. god.; izvor: NOAA Climate.gov; prema originalu Dr.-a Howarda Diamonda (NOAA ARL)

U posljednjih 20 godina raste globalna svijest o važnosti točne procjene uloge šumskih ekosustava u sekvenciji atmosferskog ugljika, prvenstveno zbog potencijala kojega šumski ekosustavi imaju za ublažavanje posljedica antropogenog djelovanja u vidu emisija stakleničkih plinova, poglavito CO₂ (Marjanović *et. al.*, 2011, prema: Brown 2002). Gospodarenje šumskim

⁴ Pg C = petagrama ugljika = 10^{15} g ugljika

ekosustavima, odnosno šumskim tlo prihvaćeno je kao mjera smanjenja koncentracija CO₂ u atmosferi te upravljanja stakleničkim plinovima na nacionalnoj razini (Sevgi *et al.*, 2011, prema: Larsen i Nielsen 2007).

1.1. Uloga šumskih ekosustava u globalnom kruženju ugljika

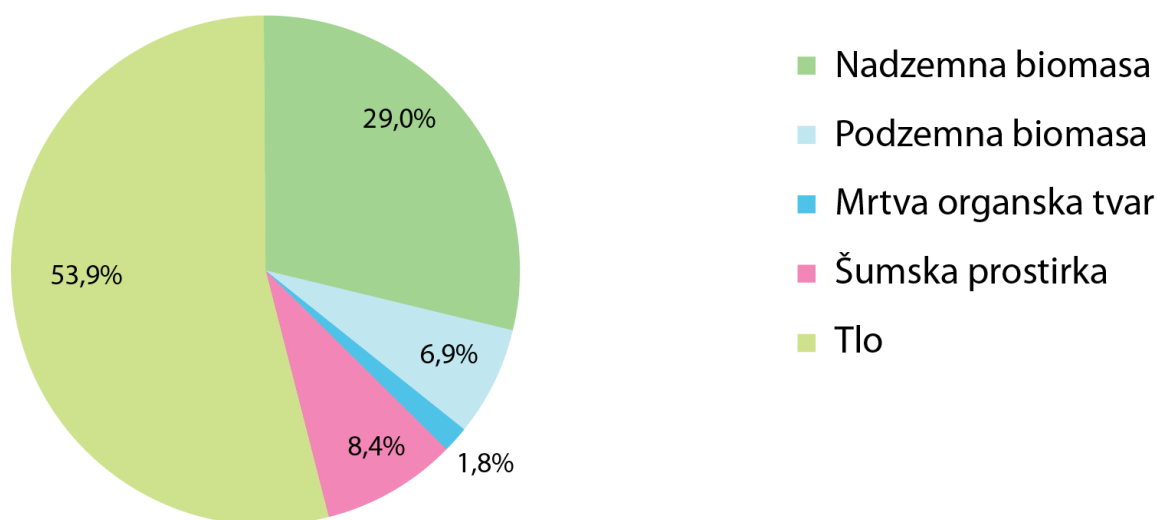
Šumski ekosustavi izmjenjuju energiju, vodu, hranjiva i ugljik (C) sa susjednim ekosustavima i imaju važnu ulogu u globalnom ciklusu ugljika. Oni predstavljaju goleme terestričke ponore ugljika, te pohranjuju velike količine ugljikova dioksida. (Lorenz i Lal, 2010). Pritom, pojam pohrane ugljika podrazumijeva njegove zalihe u različitim sastavnicama šumskog ekosustava (šumska biomasa i šumsko tlo) te bilancu kao neto razliku pohrane i oslobađanja ugljika iz šumskog ekosustava. U tom kontekstu govori se o: bruto primarnoj produkciji (eng. “*Gross Primary Production*”) – glavnom pozitivnom toku ugljika, odnosno količini asimiliranog ugljika putem fotosinteze i respiraciji ekosustava (eng. “*Ecosystem respiration*”), koja predstavlja glavni negativni tok ugljika te podrazumijeva oslobađanje ugljika iz ekosustava kroz proces disanja. U šumskom ekosustavu ugljik se akumulira u živoj biomasi, mrtvom drvu i organskoj tvari šumskog tla (Ostrogović, 2013).

U kontekstu šumskih ekosustava, promatra li se kratkoročno proces kruženja ugljika, najvažniji proces je izmjena ugljika s atmosferom gdje šumska vegetacija koristi CO₂ za fotosintezu te posljedična pohrana fiksiranog ugljika u samu vegetaciju, uz određenu pohranu u tlu, te pohranu u vidu mrtve organske tvari. Različiti šumski ekosustavi usvajaju ugljik različitim stopama pa se tako procjenjuje kako borealne šume usvajaju između 0,49 – 0,7 Pg C godišnje, umjerene šume 0,37 Pg C godišnje, dok tropske šume usvajaju 0,72 – 1,3 Pg C godišnje (Lorenz i Lal, 2010). U periodu od 1990. do 2020. god., u zemljama članicama EU izmjereno je kako se prosječno u šumskoj biomasi pohranjuje 119,9 Mt C⁵ odnosno 439,9 Mt CO₂ godišnje što odgovara 10% ukupnih emisija stakleničkih plinova iz atmosfere tijekom spomenutog perioda (State of Europe’s Forests (SOEF), 2020).

Šumsko tlo također pohranjuje velike količine ugljika. Prosječni odnos pohraništa ugljika u tlu naspram biomase vegetacije iznosi 5:1 u borealnim šumama, 2:1 u umjerenim i 1:1 u tropskim šumama (Jarvis *et al.* 2005). Više od polovice ukupnog ugljika u šumskim ekosustavima pohranjeno je u tlu (grafikon 3: SOEF, 2020). Prema European Environment Agency (2019),

⁵ Mt C = megatona ugljika = 10⁶t ugljika

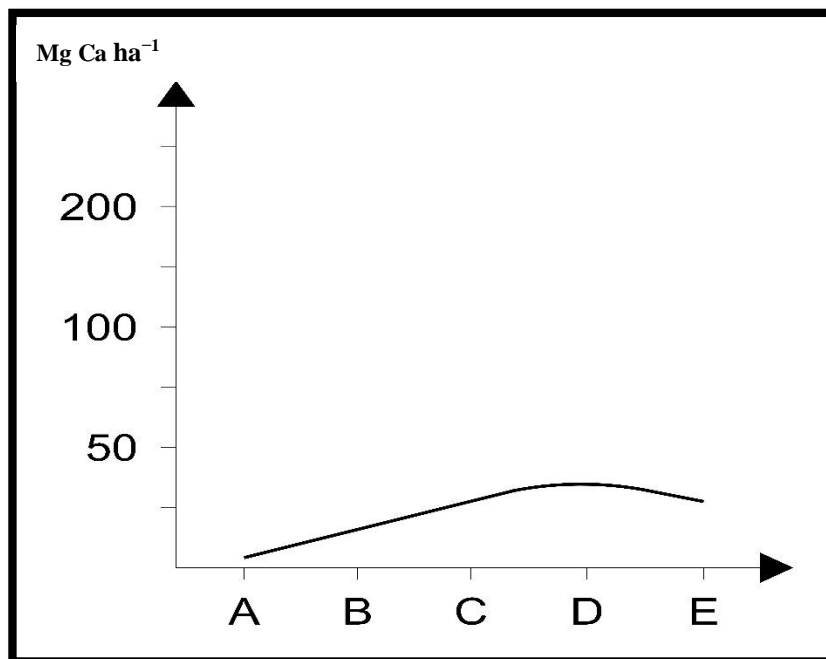
oko 75 milijardi tona organskog ugljika (OC) pohranjeno je u tlima zemalja Europske unije. Usporedbe radi, ukupna količina emisija CO₂ 2017. godine, u kontekstu zemalja članica EU, iznosila je 4,5 milijardi tona. Pedosfera, generalno, ima vrlo važnu ulogu u globalnom ciklusu ugljika, što se izravno odražava na sadržaj CO₂ u atmosferi. Godišnja stopa izmjene ugljika između atmosfere i zelenih biljaka je oko 180 Pg – zelene biljke usvajaju ga oko 120 Pg, a oslobađaju oko 60 Pg. Otprilike 60 Pg ugljika završi u/na tlu, odumiranjem biljnih organa, a iz pedosfere se godišnje također oslobađa oko 60 Pg C (Pernar, 2017).



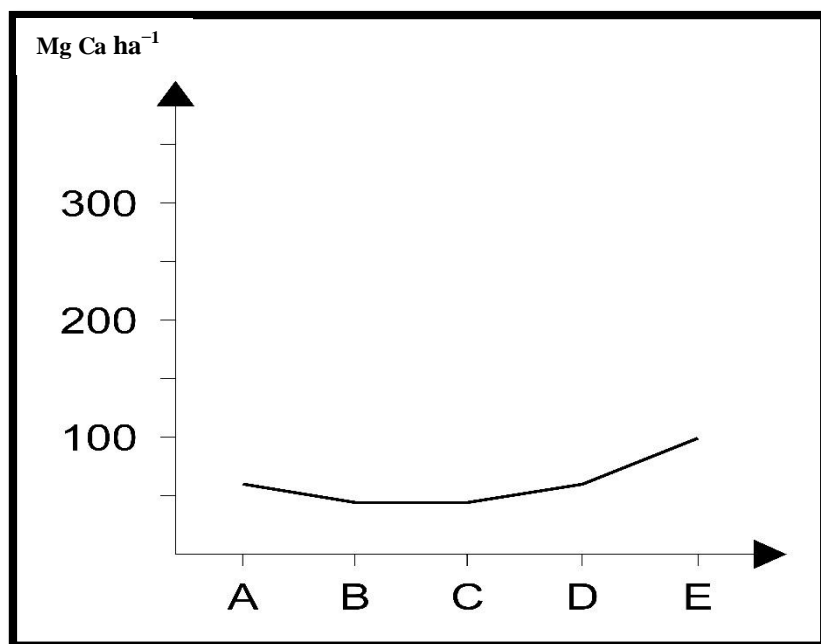
Grafikon 3. Udjeli šumskih pohraništa ugljika u Europi 2020.; izvor SOEF 2020.

Pregitzer i Euskirchen (2004) vrše istraživanje kruženja i pohrane ugljika u različitim sastavnicama (živa biomasa, mrtvo drvo, šumska prostirka, šumsko tlo) šumskih bioma diljem svijeta (borealne, umjerene i tropske šume) s obzirom na dob šumskog ekosustava da bi utvrdili utjecaj vremena na tokove, odnosno distribuciju ugljika u prostoru. Isti autori u svom istraživanju navode kako prosječne zalihe ugljika u šumskoj prostirci kroz vrijeme ostaju relativno konstantne ili se povećavaju, s maksimumom priliva u razdoblju od 70-ak godina (grafikon 4). Budući da šumska prostirka predstavlja najdinamičniju komponentu zaliha OC u šumskim ekosustavima, često se zanemaruje kod istraživanja stanja OC u tlu na regionalnoj razini, iako može pohraniti značajne količine ugljika (De Vos *et al.*, 2015). Navedeni autori u svom istraživanju zaliha ugljika europskih šuma tvrde kako su prosječne vrijednosti zaliha ugljika u šumskoj prostirci 22,1 Mg C ha⁻¹, dok medijan iznosi 13,8 Mg C ha⁻¹. U kontekstu zaliha ugljika u tlu, Pregitzer i Euskirchen (2004) objašnjavaju kako su zalihe vrlo varijabilne,

ponajviše u borealnim šumama. Međutim, promatrajući ostale šumske biome, utvrđeno je da postoji sveukupni trend povećanja zaliha OC u tlu s obzirom na vrijeme, odnosno starost sastojina (grafikon 5). Prema IPCC-u (2003), u okviru šumskih ekosustava gdje se gospodari po principu održivosti, odnosno u šumama gdje se gospodarskim zahvatima struktura i produkcija biomase ne narušavaju značajnije, uzima se da su ukupne zalihe OC u tlu relativno uravnotežene.



Grafikon 4. Dinamika OC u šumskoj prostirci tijekom životnog vijeka šumskog ekosustava; A = 0–10 god.; B = 11–30 god.; C = 31–70 god.; D = 71–120 god.; E = 121–200 god. Prema Pregitzer i Euskirchen (2004).



Grafikon 5. Dinamika zaliha OC u tlu tijekom životnog vijeka šumskog ekosustava; A = 0–10 god.; B = 11–30 god.; C = 31–70 god.; D = 71–120 god.; E = 121–200 god. Prema Pregitzer i Euskirchen (2004).

1.1.2. Tlo urbanih sredina u procesima kruženja ugljika

Deneke (1993) definira urbano šumarstvo kao disciplinu koja podrazumijeva održivo planiranje, sadnju, zaštitu i njegu stabala, šuma, zelenih prostora i srodnih površina u okviru gradova, s ciljem ostvarivanja ekonomske, okolišne i društvene blagodati. U tom kontekstu, (urbano) tlo, kao osnovna sastavnica terestričkih ekosustava, zahtijeva pomno gospodarenje, u svrhu optimizacije onih uloga koje su u urbanim sredinama od najvećeg značaja, prvenstveno ekološko-regulacijske te fizičko-prostorne.

Unutar urbanih i peri-urbanih područja, tlo se uglavnom koristi za prihvat infrastrukture bilo podzemne ili nadzemne (npr. građevine, ceste, željeznice, podzemne garaže, sustav cjevovoda i sl.). Može se koristiti za proizvodnju hrane, te različite rekreacijske aktivnosti (npr. parkovi). Također se koristi kao izvor materijalnih sirovina ili kao deponij otpada.

Ekspanzija urbanih područja te posljedična eksavacija i degradacija tla može dovesti do smanjenja potencijalne pohrane ugljika. Urbanizacija dakle, drastično utječe na lokalni i globalni biogeokemijski ciklus (Lorenz i Lal, 2010, prema: Grimm *et al.*, 2008). Urbana područja uzrokuju velike poremećaje u kontekstu kruženja ugljika u vidu prenamjene zemljišta, modifikacije klime te onečišćenja atmosfere (Lorenz i Lal 2010, prema: Trusilova i Churkina 2008).

Nekorištena tla (ili zemljišta) u urbanim sredinama, s druge strane, mogu skladištiti jednake količine OC poput onih iz ruralnih područja. Istovremeno, nekoliko faktora indicira kako se pohrana ugljika u urbanim područjima potencijalno može povećati pa tako Brown *et al.*, (2012) navode kako intenzivno gospodarenje urbanim tlom može dovesti do većih zaliha ugljika nego u sličnim ruralnim područjima. Prema tome, pohrana ugljika u urbanim područjima važna je funkcija kojom treba gospodariti (Soil Resource Efficiency in Urbanized Areas, 2016). Renforth *et al.*, (2011) navode kako se količina pohranjenog OC u urbanim tlima različite namjene te različitih dubina (ne više od 1 m) kreće između 20 i 160 Mg ha⁻¹ dok Howard *et al.*, (1995) za usporedbu iskazuju količine ruralnih područja od 175 Mg ha⁻¹. Promatrajući organski i anorganski ugljik, urbana tla imaju potencijal skladištenja 320 – 460 Mg C ha⁻¹. Takav potencijal treba uzimati u obzir prilikom urbanog planiranja te gospodarenja urbanim tlima.

1.2. Europske regulative u borbi protiv klimatskih promjena

Europska komisija 14. srpnja 2021. godine prihvatila je seriju legislativnih prijedloga kojima se, do 2050. godine, želi postići klimatska neutralnost u Europskoj uniji što uključuje intermedijarni cilj smanjenja neto emisija stakleničkih plinova za 55 % do 2030. godine. Između ostalog, nalaže se kako zemlje članice Europske unije moraju umanjiti i kompenzirati emisije stakleničkih plinova putem uklanjanja CO₂ iz atmosfere, što se pretežito ostvaruje u okviru sektora “Korištenje zemljišta, prenamjena zemljišta i šumarstvo” (*Land Use, Land Use Change and Forestry* – LULUCF). Takozvana LULUCF regulacija obvezuje zemlje članice EU da doprinose cilju smanjenja emisija do 2030. godine, koji uključuje: 40 % – tno smanjenje emisija stakleničkih plinova (u odnosu na 1990. god), zastupljenost obnovljivih izvora energije u kontekstu proizvodnje energije u iznosu od 32 % te povećanje efikasnosti korištenja energije u iznosu od barem 32,5 %. Spomenuta legislativa korespondira s Pariškim sporazumom iz 2015. godine te Kyoto protokolom (dokument u okviru Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o

promjeni klime⁶) iz Rio de Janeiroa nastalog 1992. godine. Oba dokumenta Republika Hrvatska je ratificirala. Međutim, prethodno spomenuta LULUCF Regulacija po prvi puta u povijesti postaje dijelom Europskog zakona (https://ec.europa.eu/clima/policies/forests/lulucf_en).

Republika Hrvatska na godišnjoj osnovi izrađuje izvješća o izvorima antropogenih emisija te uklanjanja istih pomoću ponora stakleničkih plinova (Nacionalno izvješće o inventaru stakleničkih plinova - National Inventory Report, NIR) koji se dostavlja u Europsku komisiju i Tajništvo UNFCCC-a u formatu zadanim Konvencijom i pratećim međunarodnim ugovorima, odlukama i smjernicama. Ulaskom u Europsku uniju obveze Republike Hrvatske u području klimatskih promjena povećane su u smislu opsega izvješćivanja te doprinosa ispunjenju cilja smanjenja emisija stakleničkih plinova Europske unije (<https://mingor.gov.hr/>).

Iz svega navedenog razvidna je korisnost preciznijih procjena zaliha ugljika, njegove pohrane i bilance, poglavito u kontekstu šumarstva, budući da je to jedini sektor u kojem se ostvaruju značajniji odlivi čime se znatno utječe na smanjenje emisija stakleničkih plinova definiranih prema UNFCCC - u i protokolu iz Kyota.

2. Dosadašnja istraživanja

U Hrvatskoj mnoga istraživanja upućuju na važnost preciznije izmjere tokova ugljika unutar šumskih ekosustava. Dinamiku ugljika u mlađim sastojinama hrasta lužnjaka istražuju Marjanović *et al.*, (2011), dok zalihe i bilancu ugljika regularno gospodarene šume hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) istražuje Ostrogović (2013). Ona, između ostalog, zaključuje kako su zalihe ugljika u šumskom ekosustavu hrasta lužnjaka u Pokupskom bazenu usporedive sa zalihama ugljika u drugim listopadnim šumama umjerenog pojasa te tvrdi kako je otprilike 40 % zaliha ugljika šumskog ekosustava pohranjeno u organskoj tvari tla. Buršić (2016) istražuje zalihe ugljika šumske prostirke i tla u prašumi hrasta lužnjaka Prašnik te zaključuje kako su vrijednosti ugljika u tlu znatno veće negoli u prašumama tvrdih listača. Akumulaciju ugljika i dušika u sastojini crne johe u Podravini proučavaju Pernar *et al.* (2012). Bakšić i Bakšić (2017) u sastojinama alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) utvrđuju količine goriva i

⁶ UNFCC (eng. *United Nations Framework Convention on Climate Change*) - Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime

zalihe ugljika u šumskoj prostirci te (2020) istražuju količine goriva i zalihe ugljika šumske prostirke u endemskoj šumi dalmatinskog crnog bora (*Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *dalmatica* [Vis.] Franco). Uz praktične modele za procjenu opasnosti od šumskih požara te modela za predviđanje ponašanja i širenja šumskih požara, ukazuju na značajnu ulogu šumske prostirke u izmjeni tvari i energije (posebice ugljika) u kontekstu globalnih klimatskih promjena. Utjecaj šumskih kultura - običnog bora (*Pinus sylvestris* L.), crnog bora (*Pinus nigra* Arnold) te bagrema (*Robinia pseudoacacia* L.) na zalihi ugljika u šumskoj prostirci na području Đurđevačkih pijesaka (2019) istražuje Bajramspahić gdje je utvrđeno da kulture borova imaju statistički značajno veću količinu šumske prostirke i statistički značajno veću zalihi OC od kultura bagrema.

Pregledom literature ustanovljena je potreba za istraživanjima ovog tipa ne bi li se omogućilo postizanje kvalitetne slike o mogućnostima šumskih ekosustava u kontekstu pohrane ugljika što bi, naposljetku, doprinjelo kvalitetnijem planiranju i gospodarenju terestričnim ekosustavima u cjelini. Nabuurs i Schelhass (2002) navode kako je važno imati u vidu u biološki potencijal pohrane ugljika što bi pomoglo pri gospodarenju u šumarstvu. Sevgi *et al.*, (2011) (prema: Yanai *et al.*, 2003 i Hedde *et al.*, 2008) navode kako je poznavanje mehanizama dinamike OC u šumskoj prostirci i tlu važno kako bi se mogli predvidjeti efekti gospodarenja šumskim ekosustavima u kontekstu upravljanja zalihama OC. Lorenz i Lal (2010) ističu kako nedostaju podaci o pohrani ugljika s obzirom na šumske sastojine svih uzgojnih vrsta, u svakom stadiju, od obnove pa do sječe te kakvi su utjecaji određenih poremećaja u vidu klimatskih promjena. U tom su kontekstu procjene sekvenciranja ugljika u globalnim šumskim biomima i njihova neto C bilanca i dalje nepouzdana (Lorenz i Lal 2010, prema: Jarvis *et al.*, 2005).

3. Cilj istraživanja

Cilj ovog diplomskog rada bio je utvrditi zalihe ugljika pohranjene u šumskoj prostirci i tlu u sastojinama hrasta kitnjaka i običnog graba (*Epimedio-Carpinetum betuli* /Ht. 1938/ Borh. 1963.) te utvrditi postoji li statistički značajna razlika u pohrani s obzirom na prsni promjer, odnosno starost, u okviru park-šume Maksimir u Zagrebu.

Postoji velik broj znanstvenih studija koje proučavaju pohranu ugljika u šumskim ekosustavima izvan urbanih područja dok studije koje se bave pohranom ugljika u šumskim ekosustavima unutar urbanih sredina izostaju. Također, u Hrvatskoj dosad, prema autorovim saznanjima, nisu provedena istraživanja zaliha ugljika u šumskoj prostirci i tlu u sastojinama hrasta kitnjaka.

4. Materijali i metode

4.1. Područje istraživanja

Istraživanje je provedeno na području park-šume Maksimir (slika 1) koja se nalazi u istočnom dijelu grada Zagreba, te se proteže uz granice južnih dijelova Medvednice. Zakonom o zaštiti prirode park je zaštićen kao spomenik parkovne arhitekture, a Zakonom o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara zaštićen je kao kulturno dobro te je upisan u Registar kulturnih dobara Republike Hrvatske.



Slika 1. Satelitski snimak položaja park-šume Maksimir unutar grada Zagreba; izvor: Google Earth

4.1.1. Klimatska obilježja

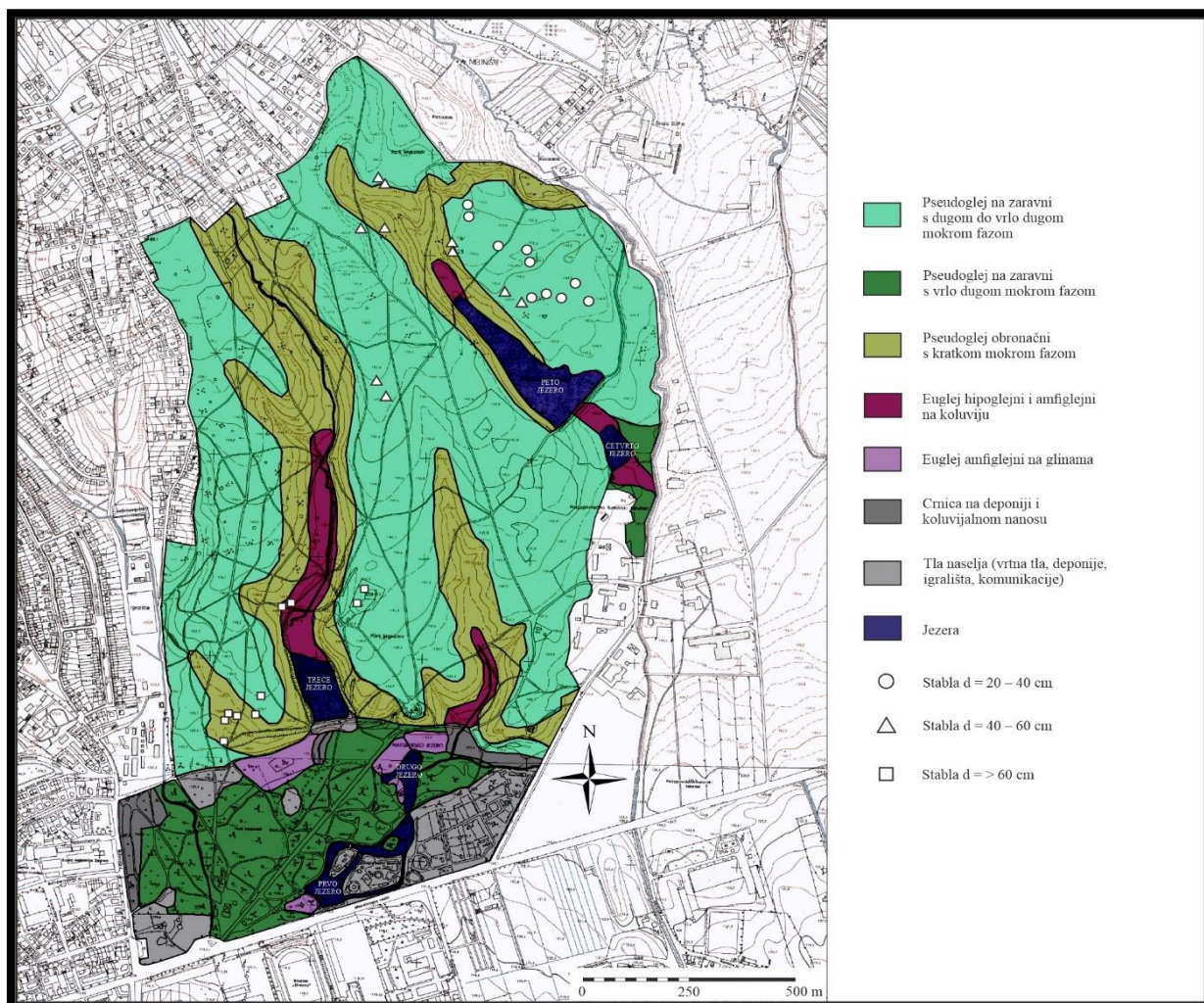
Park-šuma Maksimir smještena je u području umjereno kontinentalne klime modificirane maritimnim utjecajem sa Sredozemlja. Prema Köppenovoj klasifikaciji klime, na području park-šume Maksimir prisutna je topla kišna klima kod koje je temperatura najhladnijeg mjeseca viša od $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ i niža od $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ljeta su relativno svježija, a srednja mjesečna temperatura najtoplijeg mjeseca veća je od $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Raspored oborina relativno je ujednačen tijekom cijele godine. Srednja godišnja temperatura iznosi $11\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zimi, srednja temperatura iznosi $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ dok za period proljeća iznosi $11\text{ }^{\circ}\text{C}$, ljeta $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, a jeseni $11\text{ }^{\circ}\text{C}$. Srednji maksimum temperature iznosi $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, a minimum oko $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (apsolutni minimum može pasti ispod $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$). Temperatura najtoplijeg mjeseca iznosi $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, a najhladnijeg $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (<https://park-maksimir.hr/>).

Srednje mjesečne količine oborina predstavljaju karakterističan kontinentalni oborinski režim. Godišnje oborine iznose oko 870 mm (zima 21% , proljeće 22% , ljeto 30% i jesen 27%). Maksimalne količine oborina su u lipnju, najčešće u obliku pljuskova praćenih jakim vjetrom. Minimum mjesečnih oborina javlja se u siječnju i veljači. Period mogućeg snijega traje oko 136 dana.

Prema Köppenovoj klasifikaciji klima je obilježena formulom $Cfbwx''$. Osnovno obilježje toga tipa klime je izostanak suhoga razdoblja, ravnomjeran raspored oborina tijekom cijele godine, a najsuše razdoblje pada u hladni dio godine (Seletković *et al.*, 2010). Također, značajan utjecaj na mikrolokaciju parka Maksimir imaju dva elementa: gradski promet i industrija te blizina Medvednice, koja svojim reljefom i šumom ima velik utjecaj na cjelokupnu klimu Zagreba (<https://park-maksimir.hr/>).

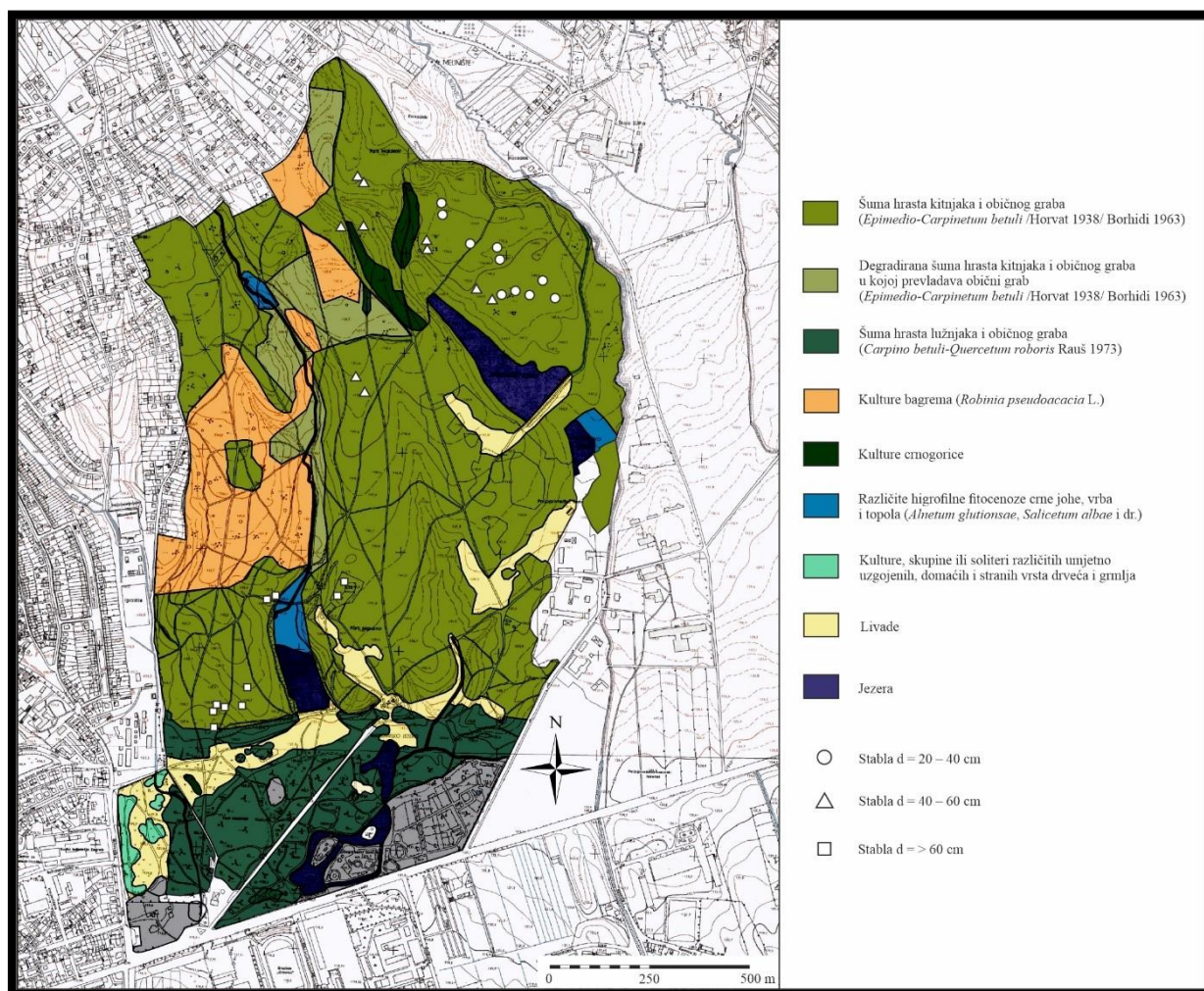
4.1.2. Pedološke i fitocenološke značajke

Martinović i Mayer 1982 (prema: Šimunić, Basch, 1975, Velić 1982) navode kako su na području parka Maksimir zastupljeni pliocenski, pleistocenski i holocenski sedimenti. Pliocenski šljunci i pijesci izgrađuju gornje maksimirske terase (130 – 160 m.n.v.) i pokriveni su pretežno mladim lesoidnim materijalom. Najzastupljeniji je pleistocenski kopneni beskarbonatni les (svi položaji iznad 120 m.n.v.) transformiran u “mramoriranu ilovaču” debelu od 100 do 200 i više centimetara. Na tom supstratu dominantno su formirana tla tipa pseudogleja (Martinović i Mayer 1982). Većina uzorkovanja obavljena je na pseudogleju na zaravni s dugom do vrlo dugom mokrom fazom te na pseudogleju obronačnom s kratkom mokrom fazom (slika 2).



Slika 2. Pedološka karta park-šume Maksimir prilagođena (Bakšić, Megyery) prema Martinović, Mayer (1982) s označenim lokalitetima uzorkovanja šumske prostirke i tla, izvor: Maksimir, monografija (1982).

U kontekstu fiocenološkog aspekta, park-šuma Maksimir obiluje razmjerno raznolikim šumskim zajednicama. Anić i Oršanić (2010.) navode kako u park-šumi Maksimir fragmentirano rastu šuma bijele vrbe (*Salicetum albae* prov.) i šuma crne johe (*Alnetum glutinosae* prov.) koje se pojavljuju uz potoke i rubove jezera. U dolinama potoka razvija se šuma hrasta lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli - Quercetum roboris* /Anić 1959/ Rauš 1968). Na višim terenima pojavljuje se i hrast cer (*Quercus cerris* L.) te zajednica hrasta kitnjaka i običnog graba (*Epimedio - Carpinetum betuli* /Ht. 1938/ Borh. 1963.). U parku su također prisutne kulture bagrema te skupine ili soliteri različitih umjetno uzgojenih vrsta. Uzorkovanje je, u skladu s ciljem istraživanja, obavljeno unutar šume hrasta kitnjaka i običnog graba (*Epimedio-Carpinetum betuli* /Ht. 1938/ Borh. 1963.) (slika 3).



Slika 3. Fitocenološka karta park-šume Maksimir prilagođena (Bakšić, Megyery) prema Martinović, Mayer (1982) s označenim lokalitetima uzorkovanja šumske prostirke i tla, izvor: Maksimir, monografija (1982).

4.2. Terensko uzorkovanje i laboratorijska analiza

Terensko uzorkovanje provedeno je na 30 lokacija u okviru park-šume Maksimir (slika 4). Kriterij za odabir lokacija bio je prsni promjer stabala hrasta kitnjaka, na temelju kojeg su odabrane tri kategorije (deset stabala po kategoriji) : 20 – 40 cm (lokacije MI 1 – 10 na karti), 40 – 60 cm (lokacije Sr 1 – 10 na karti), > 60 cm (lokacije St1 – 10 na karti). Uzorkovanje tla i šumske prostirke obavljano je u proljeće 2021. godine.



Slika 4. Satelitska snimka položaja točaka uzorkovanja; izvor: Google Earth

4.2.1 Uzorkovanje šumske prostirke

Šumska prostirka predstavlja sveukupne organske ostatke (dominantno biljne) na površini mineralnog dijela tla u šumi, bez obzira na stupanj razgradnje. Kako se organski ostaci na površini šumskog tla obično ne razgrade tijekom jedne godine, šumska prostirka gotovo redovito pokazuje slojevitost, kao posljedicu razlike u razgrađenosti (Pernar, 2017).

Budući da je šumska prostirka podložna transformacijama, odnosno ovisi o stupnju raspadanja organske tvari, izlučuju se stanoviti podhorizonti koje prema Zanella *et. al.* (2011) označavamo kao OL, OF i OH:

OL (eng. *Organic and Litter*) podhorizont karakteriziran je akumulacijom lišća (iglica), grančica, sjemena i ostalog šumskog materijala. Biljni organi jasno su prepoznatljivi, a mogu biti blago diskolorirani i/ili neznatno fragmentirani (slika 5). OL podhorizont se dalje raščlanjuje na dva podtipa:

OL_n = (eng. *new litter*); odnosi se na opad ne stariji od godinu dana, bez diskoloracija te nefragmentirani;

OL_v = (eng. *old litter*); odnosi se na opad koji karakterizira početak raspadanja u vidu promjene boje, fragmentacije, omekšavanja, skeletnosti i sl.



Slika 5. Prikaz izdvojenog OL podhorizonta (Foto: T. Megyery)

Prijelaz iz jednog podtipa OL horizonta u drugi može biti veoma brz (1 - 3 mjeseca) ili veoma spor (više od godinu dana) što ovisi o omjeru vrsta uzorkovanog područja, klimi, godišnjem dobu te stupnju mikrobiološke aktivnosti.

OF (eng. *fragmented and inappropriately 'fermented'*) podhorizont definiran je akumulacijom djelomično razgrađenog (npr. fragmentiran, izbijeljen, točkast, skeletan) opada. Uglavnom se sastoji od transformiranog lišća, grančica i plodova, ali bez ijednog suvislog biljnog organa te je nerijetko prožet micelijem gljiva (slika 6).



Slika 6. Prikaz izdvojenog OF podhorizonta (Foto: T. Megyery)

OH (eng. *humus, humification*) podhorizont karakteriziran je akumulacijom zoogeno prerađenog, odnosno razrađenog (humificiranog) šumskog materijala uz koji se mogu pronaći primjese mineralnih čestica. Ne prepoznaje se izvorna struktura, a najčešće je sive, crne, sivo-smeđe ili crvenkasto-smeđe boje (slika 7).



Slika 7. Prikaz izdvojenog OH podhorizonta (Foto: T. Megyery)

Šumska prostirka uzorkovana je koristeći metalni okvir dimenzija 30 × 30 cm unutar kojeg su izdvajani prethodno opisani podhorizonti (slike 8 i 9). Na svakoj lokaciji uzimala su se po dva uzorka. Jedan za potrebe određivanja količine organske tvari, drugi za potrebe određivanja udjela OC. OH podhorizont nije bilo moguće jednostavno razdvojiti od A horizonta jer je prijelaz bio postupan pa je prilikom uzorkovanja OH podhorizonta prikupljena i određena manja ili veća količina organomineralnih čestica iz vršnog dijela A horizonta. S obzirom na to da je gustoća, odnosno masa mineralne komponente iz A horizonta značajno veća od mase organske tvari iz OH podhorizonta to utječe na precjenjivanje količine šumske prostirke. Stoga je odlučeno ovaj podhorizont navesti kao OH/A, a u tablicama za šumsku prostirku sumarne količine iskazane su za OLn, OLv i OF zasebno te zatim ukupno s OH/A.



Slike 8. i 9. Uzorkovanje šumske prostirke unutar metalnih okvira dimenzija 30 x 30 cm
(Foto: T. Megyery)

4.2.2 Laboratorijska analiza šumske prostirke

Uzorci šumske prostirke prikupljeni na terenu analizirani su u Ekološko-pedološkom laboratoriju Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije, na Zavodu za ekologiju i uzgajanje šuma i to:

- masa suhe tvari za uzorke šumske prostirke dobivena je sušenjem uzoraka u trajanju od 48 sati na 100 °C i odvagom na analitičkoj vagi (Mettler Toledo JS2002G). Količina šumske prostirke izražena je masom suhe tvari po jedinici površine (Mg ha^{-1});
- udjel OC koji je određen metodom suhog spaljivanja neizravnim metodom (sukladno HRN ISO 10694:2004) na uređaju za određivanje dušika i ugljika NC SoilFlash 2000 Thermo (slika 10).

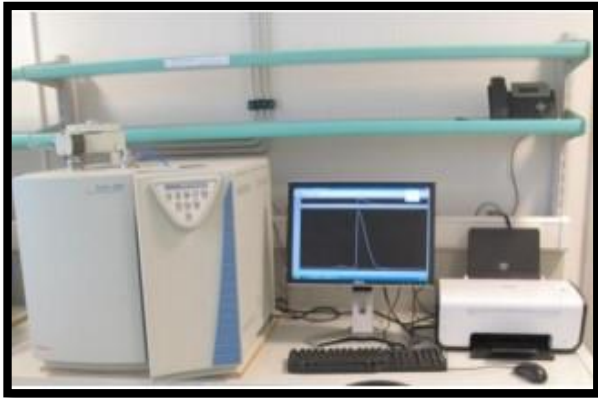
4.2.3 Uzorkovanje tla

Tijekom terenskih istraživanja tlo je uzorkovano metodom randomiziranog uzorkovanja. Na svakoj lokaciji sondom su uzeti uzorci tla s dubina: 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 60 cm, 60 – 80 cm i 80 – 100 cm. Do 60 cm dubine uzeta su po tri uzorka od kojih je formiran jedan kompozitni uzorak, a ispod 60 cm dubine uzet je po jedan uzorak tla.

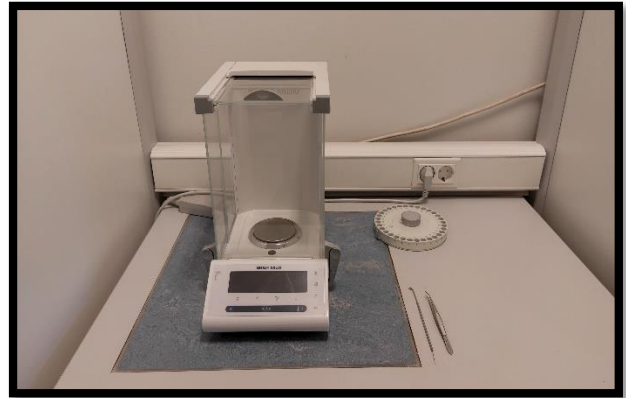
4.2.4. Laboratorijska analiza tla

Po dolasku u laboratorij uzorci tla:

- pripremljeni su za fizičko - kemijske analize (u skladu s ISO 11464, 1994)
- određen im je udjel OC metodom suhog spaljivanja neizravnim metodom (sukladno HRN ISO 10694:2004) na uređaju za određivanje dušika i ugljika NC SoilFlash 2000 Thermo (slika 10).



Slika 10. "NC SoilFlash 2000 Thermo";
https://www.sumfak.unizg.hr/site/assets/files/2261/kata_log_opreme_sumarskog_fakulteta.pdf; datum pristupa:
 27.08.2021.



Slika 11. Priprema i odvaga uzoraka za određivanje organskog ugljika i ukupnog dušika
 (Foto: T. Megyery)

4.2.5 Zalihe ugljika u tlu

Za određivanje mase OC u tlu po hektaru šumske površine prvo je trebalo utvrditi masu tla po površini što se izračunalo sljedećom formulom:

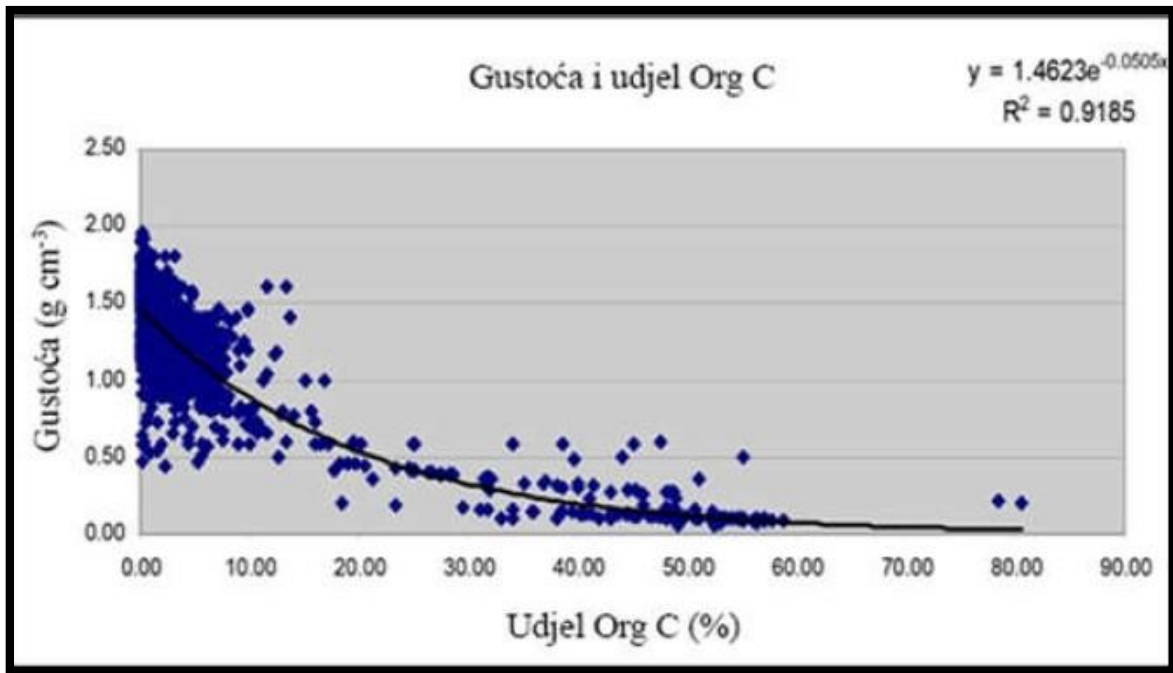
$$\underline{\underline{masa\ tla\ (kg\ ha^{-1}) = volumen\ uzorkovanog\ tla\ (dm^3\ m^{-2}) \times gustoća\ tla\ (kg\ dm^{-3}) \times 1000\ m^2\ ha^{-1}}}$$

Pritom se uzorcima tla gustoća nije određivala, već je izračunata po pedotransfernoj funkciji (slika 12). Skeletnost tla nije uključena u ovoj formuli iz razloga jer je nije bilo.

Zatim se dobivena masa tla množila sa postotnim udjelom OC koji je utvrđen laboratorijskom analizom:

$$\underline{\underline{masa\ org.\ C\ po\ ha = masa\ tla\ po\ ha\ (kg\ ha^{-1}) \times maseni\ udjel\ (org.\ C\% / 100)}}$$

U konačnici je zaliha OC izražena u Mg ha⁻¹.



Slika 12. Izvor: "SPADE-2: The Soil Profile Analytical Database for Europe Version 1.0"

4.3. Statističke analize

Statističke analize i izrada grafikona obavljani su u programima "Statistica 8" (StatSoft, Inc., 2007) i Microsoft Excel. Deskriptivna statistika za količinu šumske prostirke, udjel OC te zalihu OC: broj uzoraka, aritmetička sredina, medijan, minimum, maksimum, donji kvartil, gornji kvartil, standardna devijacija, koeficijent varijacije i standardna pogreška aritmetičke sredine prikazane su za sve tri kategorije stabala hrasta kitnjaka $d = 20 - 40$ cm, $d = 40 - 60$ cm i $d > 60$ cm zasebno po podhorizontima šumske prostirke i ukupno te po dubinama tla i ukupno.

Međusobne razlike za sve varijable između pojedinih kategorija hrasta kitnjaka $d = 20 - 40$ cm, $d = 40 - 60$ cm i $d > 60$ cm po podhorizontima šumske prostirke i ukupno te po dubinama tla i ukupno testirane su analizom varijance ako je bio zadovoljen uvjet homogenosti varijance, a ako nije, Kruskal-Wallisovim neparametrijskim testom. Greška tipa I (α) od 5% smatrana je statistički značajnom (Sokkal i Rohlf, 1995).

5. Rezultati i rasprava

5.1. Količine šumske prostirke

U uzorkovanoj šumskoj prostirci u zajednici hrasta kitnjaka i običnog graba u park-šumi Maksimir jasno se moglo raspoznati OL, OF te OH podhorizonte, s dominantno uvjetovanom zoogenom razgradnjom, iz čega se može zaključiti da se radi o formi moder (polusirovog)-humusa (Pernar, 2017), odnosno eumoder humusa (Zanella *et al.*, 2019).

Kako je istaknuto u potpoglavlju „4.2.1. Uzorkovanje šumske prostirke“, OH podhorizont nije bilo moguće jednostavno razdvojiti od A horizonta pa je označen kao OH/A, a njegova količina prikazana je zasebno. Da je uzorkovanje OH podhorizontna kompleksno razvidno je i iz studije Trum *et al.*, (2011) u kojoj autori OH podhorizont označavaju s O*, a on zapravo predstavlja različite varijante u rasponu OH, OF-OH, OF-Ah. Količina prostirke u OL_n podhorizontu kreće se u rasponu od 3,29 Mg ha⁻¹ do 3,87 Mg ha⁻¹ (grafikon 6), a odgovarala bi otprilike količini godišnjeg opada kojeg za hrastove šume navode Pernar (2017), odnosno Jurkšienė *et al.* (2017).

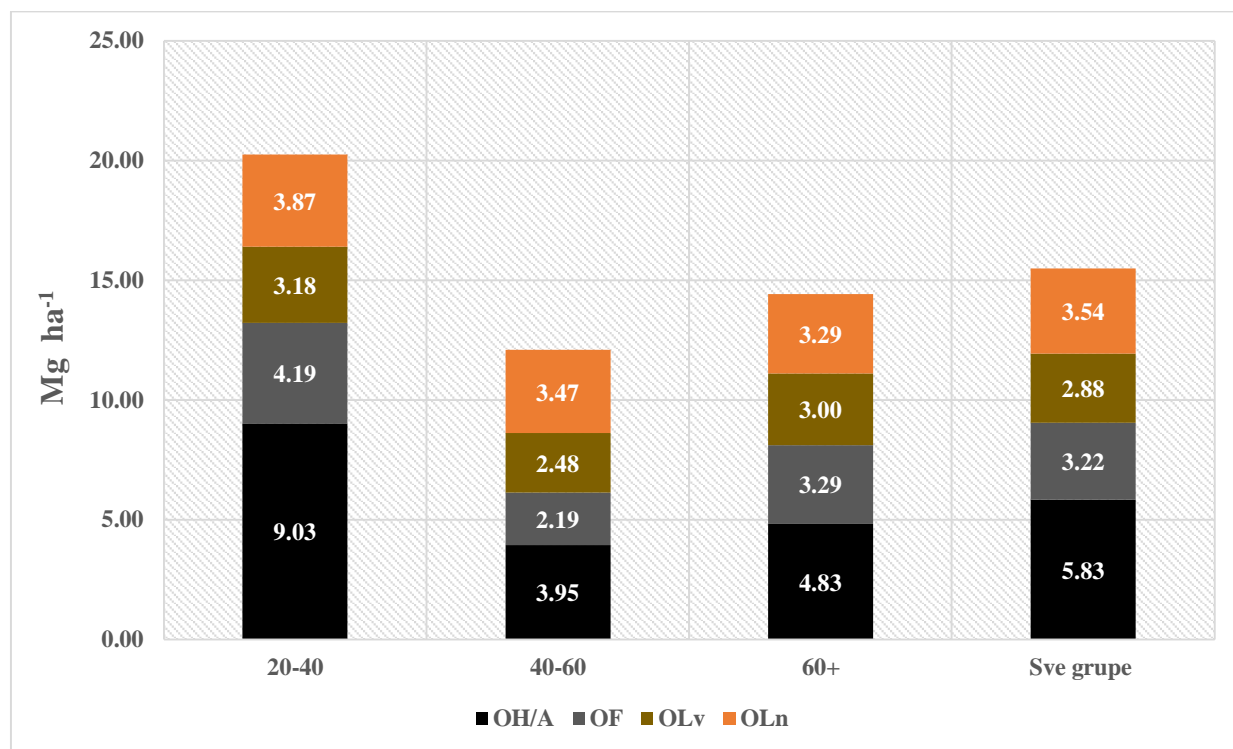
Utvrđene količine OL_n, OL_v i OF podhorizonta šumske prostirke bile su u rasponu od 4,62 Mg ha⁻¹ (tablica 2) do 17,28 Mg ha⁻¹ (tablica 1)⁷. Količine navedenih podhorizonta (pojedinačno i ukupno) između lokaliteta (d = 20 – 40 cm, d = 40 – 60 cm i > 60 cm) dosta su ujednačene (grafikon 6), a između njih nije utvrđena statistički značajna razlika. Najveće količine zabilježene su uz stabla prsnog promjera 20 – 40 cm gdje je srednja vrijednost (aritmetička sredina) iznosila 11,23 Mg ha⁻¹ (tablica 1), dok su najmanje količine utvrđene kod stabala promjera 40 – 60 cm sa srednjom vrijednosti od 8,14 Mg ha⁻¹ (tablica 2). Kod stabala promjera većeg od 60 cm utvrđena je količina u iznosu od 9,58 Mg ha⁻¹ (tablica 3). Količine OH/A imale su podjednako širok raspon kao i ukupne vrijednosti za OL_n, OL_v i OF. Taj se raspon kretao od 0 (nije bilo OH podhorizonta) do 14,24 Mg ha⁻¹. Najveće količine u OH/A zabilježene uz stabla prsnog promjera 20 – 40 cm gdje je srednja vrijednost (aritmetička sredina) iznosila 9,03 Mg ha⁻¹, dok su najmanje količine utvrđene kod stabala promjera 40 – 60 cm sa srednjom vrijednosti od 3,95 Mg ha⁻¹. Kod stabala promjera većeg od 60 cm utvrđena je količina u OH/A od Mg ha⁻¹ (tablice 1, 2, 3).

ANOVA je pokazala statistički značajnu razliku u količini OH/A podhorizonta ispod stabala hrasta kitnjaka promjera 20 – 40 cm u odnosu na ostale kategorije. Međutim, interpretaciji rezultata valja pristupiti s oprezom s obzirom na navedeni problem razdvajanja OH

⁷ Mg = megagram = 10⁶g = 10³kg

podhorizonta od A horizonta. Osim toga, veća količina šumske prostirke uz stabla hrasta kitnjaka najmanjeg promjera 20 – 40 cm mogla bi se potencijalno objasniti većom gustoćom sastojine uvjetovanom velikom zastupljenošću stabala običnog graba (*Carpinus betulus* L.), kao i različitim hidrotermičkim značajkama tla. Naime, stabla najmanjeg promjera rastu povrh pseudogleja na zaravni s dugom do vrlo dugom mokrom fazom dok su ostala, poglavito stara stabla na pseudogleju obronačnom s kratkom mokrom fazom. Ovi utjecaji nisu bili tema ovog rada pa nisu kvantificirani. Mnogi autori (Lorenz i Lal 2010, Sevgi *et al.*, 2011, Trum *et al.*, 2011) navode da na količinu, odnosno masu šumske prostirke utječe nemali broj faktora poput: gustoće sastojine, omjera vrsta, kakvoće (sastava) listinca, razlika u dekompoziciji listinca s obzirom na mikrolokalitetne uvjete, kao i sam način uzorkovanja i analitičke metode (Schulp *et al.*, 2008).

Ukupna količina šumske prostirke (OLn, OLv, OF i OH/A) bila je u širokom rasponu od 7,34 Mg ha⁻¹ kod stabala prsnog promjera 40 – 60 cm do 29,97 Mg ha⁻¹ kod stabala prsnog promjera 20 – 40 cm što je u skladu s vrijednostima za hrast kitnjak koje navode Makineci (2005) i Sevgi *et al.*, (2011). U Hrvatskoj, po autorovim saznanjima, nema publiciranih studija koje su se bavile istraživanjem količina šumske prostirke u sastojinama hrasta kitnjaka pa nije moguće dati usporedbu.



Grafikon 6. Prikaz količine šumske prostirke po podhorizontima, s obzirom na prsni promjer stabala

Tablica 1. Količine OLn, OLv i OF podhorizontata šumske prostrirke, za stabla d = 20 – 40 cm (N = 10)

Količina (Mg ha ⁻¹)									
d = 20 – 40 cm									
Podhorizont	Aritm. sredina	Medijan	Minimum	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. devijacija	Koef. varijacije	Std. pogreška
OLn	3,87	3,88	2,81	4,82	3,52	4,27	0,59	15,37	0,19
OLv	3,18	3,13	0,86	5,16	1,96	4,65	1,55	48,74	0,49
OF	4,19	3,91	1,29	8,36	2,17	5,15	2,54	60,59	0,80
OLn, OLv, OF	11,23	10,25	6,48	17,28	7,84	14,42	3,83	34,07	1,21
OH/A	9,03	9,71	4,56	14,24	5,95	11,85	3,55	39,35	1,18
OLn – OH/A	20,26	18,48	11,04	29,97	15,62	23,77	6,15	31,78	1,95

Tablica 2. Količine OLn, OLv i OF podhorizontata šumske prostirke, za stabla d = 40 – 60 cm (N = 10)

Količina (Mg ha ⁻¹)									
d = 40 – 60 cm									
Podhorizont	Aritm. sredina	Medijan	Minimum	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. devijacija	Koef. varijacije	Std. pogreška
OLn	3,47	3,72	1,47	4,36	2,86	4,22	0,92	26,41	0,29
OLv	2,48	2,42	1,09	4,61	2,23	2,66	0,91	36,85	0,29
OF	2,19	2,15	0,92	3,62	1,31	3,10	0,96	43,75	0,30
OLn, OLv, OF	8,14	8,18	4,62	10,51	6,49	9,68	1,88	23,15	0,60
OH/A	3,95	3,14	2,66	7,17	2,76	5,05	1,50	37,96	0,47
OLn – OH/A	12,09	11,68	7,34	17,16	9,54	14,73	3,07	25,36	0,97

Tablica 3. Količine OLn, OLv i OF podhorizontata šumske prostirke, za stabla d = 60 + (N = 10)

Količina (Mg ha ⁻¹)									
d = 60 + cm									
Podhorizont	Aritm. sredina	Medijan	Minimum	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. devijacija	Koef. varijacije	Std. pogreška
OLn	3,29	3,44	2,17	4,17	2,72	4,03	0,76	23,16	0,24
OLv	3,00	2,60	1,76	5,35	2,19	2,99	1,27	42,46	0,40
OF	3,29	2,55	1,21	8,09	1,69	3,40	2,29	69,53	0,72
OLn, OLv, OF	9,58	8,63	5,89	16,17	8,13	9,76	3,08	32,10	0,97
OH/A	4,83	4,78	0,00	9,11	2,66	7,08	2,95	61,12	0,93
OLn – OH/A	14,41	13,69	13,69	23,25	11,97	16,38	5,12	35,54	1,62

5.2. Udjel organskog ugljika u šumskoj prostirci

Nerijetko je slučaj da se šumska prostirka uzorkuje u cjelini, bez odvajanja na podhorizonte te se u takvom slučaju udjel OC računa kao 50 % od sveukupne mase prostirke. U ovom su istraživanju udjeli OC određeni zasebno po podhorizontima metodom suhog spaljivanja (poglavlje „4.2.2. Laboratorijska analiza šumske prostirke“). Uvidom u dobivene rezultate,

utvrđeno je kako se najveći udio OC nalazi u okviru OLn podhorizonta (48,28 %), zatim u OLv (46,93 %), dok je u OF podhorizontu zabilježen udjel u iznosu od 42,84%. Najmanji udjel OC utvrđen je u OH/A podhorizontu te iznosi 25,52 % (grafikon 7). Vrijednost udjela OC za OLn podhorizont u skladu su s rasponom udjela OC kojeg za svježi opad navode Pitman *et. al.* (2010).

Vidljivo je kako se vrijednosti OC smanjuju s obzirom na stupanj transformacije odnosno razgradnje radi koje je jedan dio ugljika vezan i relativno stabiliziran u humusu, a drugi oslobođen u atmosferu u obliku CO₂. Trend smanjenja udjela OC od površine prema donjim slojevima šumske prostirke općenito je poznat, a za sastojine hrasta kitnjaka Trum *et al.*, (2011) utvrdili su gotovo identične udjele kao i u ovom radu. U njihovoj studiji navedeni su sljedeći udjeli OC: 47 % u OLn i OLv podhorizontima, 41 % u OF podhorizontu, te 30 % u OH podhorizontu. Udjeli OC po podhorizontima šumske prostirke (pojedinačno i ukupno) između lokaliteta (d = 20 – 40 cm, d = 40 – 60 cm i > 60 cm) prilično su ujednačeni (grafikon 7) te među njima nije utvrđena statistički značajna razlika.

Tablica 4. Udjel OC po podhorizontima, za stabla d = 20 – 40 cm (N=10)

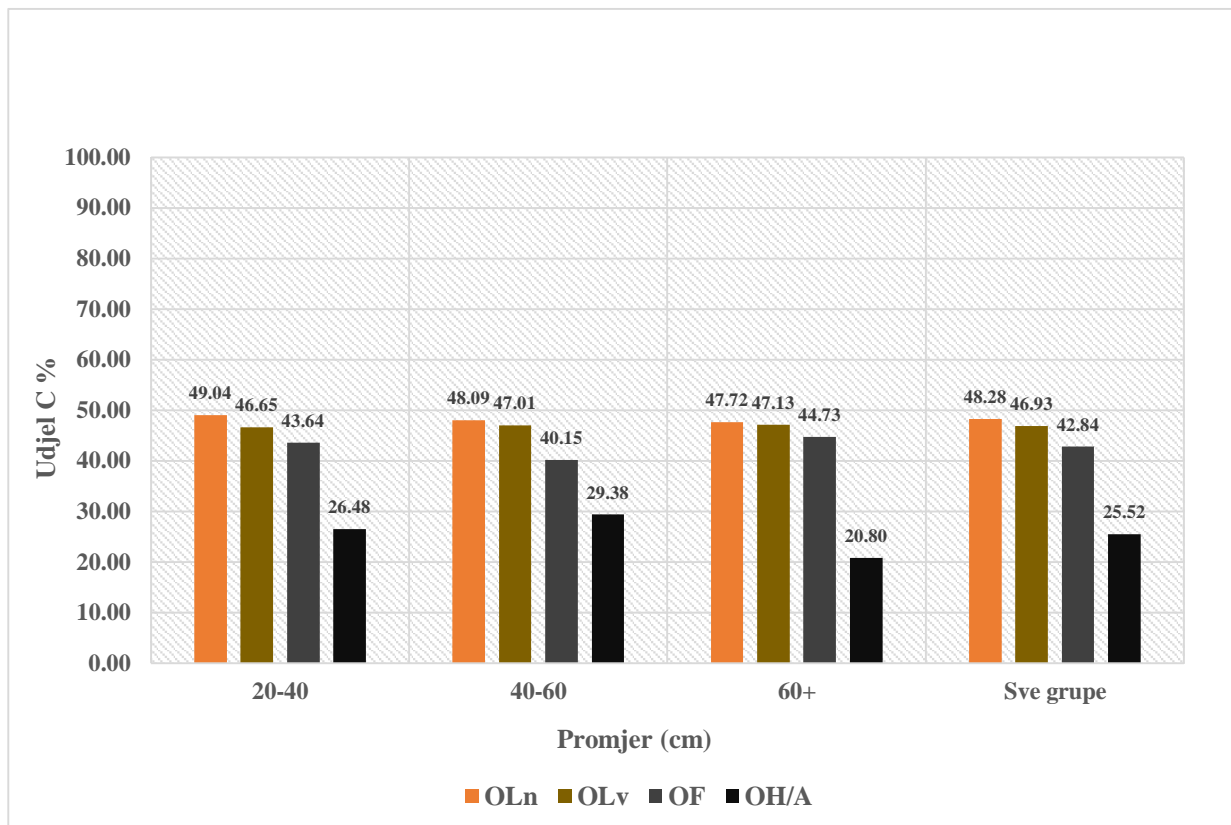
Udjel OC % d = 20 – 40 cm									
Podhorizont	Aritm. sredina	Medijan	Minimum	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. devijacija	Koef. varijacije	Std. pogreška
OLn	49,04	49,05	47,56	50,71	48,64	49,35	0,88	1,79	0,28
OLv	46,65	46,72	44,07	48,32	46,16	47,63	1,27	2,72	0,40
OF	43,64	43,73	40,16	47,51	41,38	46,24	2,61	5,98	0,82
OH/A	26,48	22,64	20,56	36,17	21,63	31,35	5,97	22,54	1,99

Tablica 5. Udjel OC po podhorizontima, za stabla d = 40 – 60 cm (N = 10)

Udjel OC % d = 40 – 60 cm									
Podhorizont	Aritm. sredina	Medijan	Minimum	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. devijacija	Koef. varijacije	Std. pogreška
OLn	48,09	48,10	46,91	49,67	47,33	48,52	0,84	1,76	0,27
OLv	47,01	46,91	44,75	49,67	45,31	48,74	1,82	3,88	0,58
OF	40,15	40,80	30,55	50,84	35,29	43,40	6,24	15,54	1,97
OH/A	29,38	29,28	18,00	34,89	27,54	32,81	4,87	16,57	1,54

Tablica 6. Udjel OC po podhorizontima, za stabla d = 60 + cm (N = 10)

Udjel OC % d = 60 + cm									
Podhorizont	Aritm. sredina	Medijan	Minimum	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. devijacija	Koef. varijacije	Std. pogreška
OLn	47,72	48,61	41,20	49,43	47,92	49,32	2,50	5,24	0,79
OLv	47,13	47,18	45,86	48,43	46,14	48,17	1,03	2,19	0,33
OF	44,73	45,58	38,75	46,81	45,01	46,07	2,46	5,49	0,78
OH/A	20,80	19,46	0,00	36,47	17,97	28,30	9,75	46,90	3,08



Grafikon 7. Udjel OC po podhorizontima, s obzirom na prsni promjer stabala

5.3. Zalihe organskog ugljika u šumskoj prostirci

Zalihe OC u šumskoj prostirci (grafikon 8) za istraživanje sastojine hrasta kitnjaka u park-šumi Maksimir kreću se u rasponu od 2,88 – 10,57 Mg C ha⁻¹ što je podudarno s vrijednostima koje daju Sevgi *et al.*, (2011) i Trum *et al.*, (2011). S obzirom da zalihe OC direktno ovise o količini šumske prostirke, one pokazuju identičan trend. Zalihe OC u OLn, OLv i OF podhorizontima šumske prostirke ne pokazuju statistički značajnu razliku s obzirom na prsni promjer osim za OH/A podhorizont koji je kod stabala promjera 20 – 40 cm statistički značajno veći ($F = 10,038$; $p < 0,01$). Potencijalni uzroci tome, povezani s kompleksnošću uzorkovanja OH podhorizonta (OH/A), kao i razlike u gustoći sastojine i hidrotermičkim značajkama tla, već su navedeni u poglavlju „5.1. Količine šumske prostirke“. Najveće zalihe OC izmjerene su kod stabala prsnog promjera 20 - 40 cm gdje suma srednjih vrijednost iznosi 7,54 Mg C ha⁻¹ (tablica 7). Kod stabala prsnog promjera 40 – 60 cm ustanovljena je najmanja srednja količina OC u šumskoj prostirci te ona iznosi 4,86 Mg C ha⁻¹ (tablica 8), dok kod stabala promjera većeg od 60 cm srednje zalihe OC iznose 5,53 Mg C ha⁻¹ (tablica 9). Tablice i grafikon u nastavku daju detaljniji uvid u zalihe OC po podhorizontima, s obzirom na stabla različitih promjera.

Tablica 7. Zalihe OC po podhorizontima, za stabla d = 20 – 40 cm (N = 10)

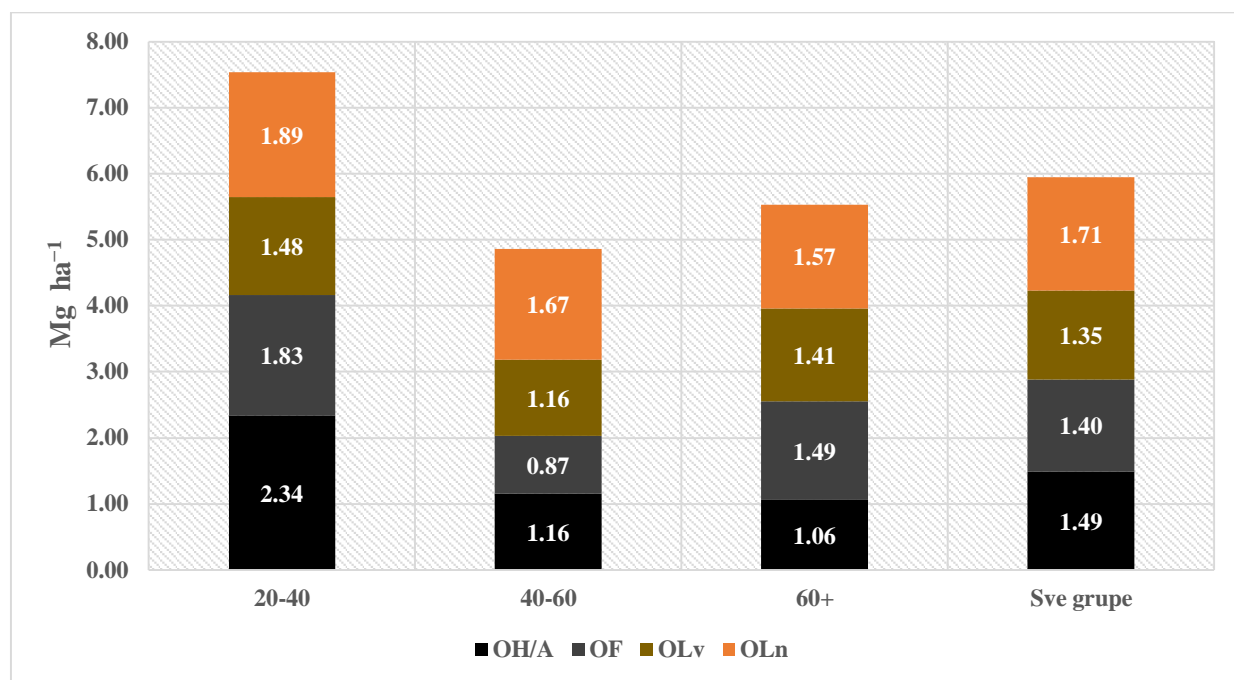
Zalihe OC (Mg C ha ⁻¹)									
d = 20 – 40 cm									
Podhorizont	Aritm. sredina	Medijan	Minimum	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. devijacija	Koef. varijacije	Std. pogreška
OLn	1,89	1,90	1,38	2,35	1,76	2,09	0,28	14,99	0,09
OLv	1,48	1,43	0,40	2,41	0,93	2,18	0,72	48,54	0,23
OF	1,83	1,70	0,52	3,71	0,90	2,23	1,10	59,98	0,35
OLn, OLv, OF	5,20	4,71	3,12	8,02	3,68	6,65	1,72	33,05	0,54
OH/A	2,34	2,27	1,00	3,93	1,62	2,97	0,92	39,20	0,31
OLn – OH/A	7,54	6,92	4,52	10,57	5,63	9,66	2,20	30,13	0,70

Tablica 8. Zalihe OC po podhorizontima, za stabla d = 40 – 60 cm (N = 10)

Zalihe OC (Mg C ha ⁻¹)									
d = 40 – 60 cm									
Podhorizont	Aritm. sredina	Medijan	Minimum	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. devijacija	Koef. varijacije	Std. pogreška
OLn	1,67	1,76	0,72	2,16	1,39	2,04	0,44	26,52	0,14
OLv	1,16	1,13	0,51	2,06	1,09	1,24	0,41	35,15	0,13
OF	0,87	0,83	0,32	1,34	0,55	1,18	0,36	42,01	0,12
OLn, OLv, OF	3,70	3,86	2,14	4,63	2,98	4,26	0,79	21,24	0,25
OH/A	1,16	1,01	0,58	2,13	0,86	1,46	0,47	40,79	0,15
OLn – OH/A	4,86	5,18	2,88	6,39	3,85	5,66	1,08	22,28	0,34

Tablica 9. Zalihe OC po podhorizontima, za stabla d = 60 + cm (N = 10)

Zalihe OC (Mg C ha ⁻¹)									
d = 60 + cm									
Podhorizont	Aritm. sredina	Medijan	Minimum	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. devijacija	Koef. varijacije	Std. pogreška
OLn	1,57	1,65	1,00	2,00	1,31	1,87	0,36	23,03	0,11
OLv	1,41	1,19	0,83	2,55	1,06	1,44	0,60	42,28	0,19
OF	1,49	1,12	0,47	3,79	0,77	1,54	1,08	72,04	0,34
OLn, OLv, OF	4,47	4,03	2,82	7,65	3,78	4,40	1,46	32,66	0,46
OH/A	1,06	1,16	0,00	2,05	0,60	1,48	0,62	58,88	0,20
OLn – OH/A	5,53	4,86	3,47	9,70	4,77	5,71	1,91	34,52	0,60



Grafikon 8. Zalihe OC po podhorizontima, s obzirom na prsni promjer stabala

5.4. Udjel organskog ugljika u tlu

Tablice u nastavku daju detaljan uvid promjene prosječnog udjela OC u tlu, s obzirom na dubinu uzorkovanja. Vidljivo je kako udjel OC u tlu pada s obzirom na dubinu (tablice 10, 11, 12) što predstavlja tipičan uzorak dinamike OC na različitim dubinama u šumskim ekosustavima (De Vos *et al.*, 2015; prema: Arrouyas i Pelissier, 1994; Nakane 1976). Pomoću ovih vrijednosti izračunate su zalihe ugljika o kojima se detaljnije govori u sljedećem potpoglavlju.

Tablica 10. Udjel OC po dubinama, za stabla d = 20 – 40 cm (N = 5)

Udjel OC % d = 20 – 40 cm									
Dubina	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
0-10 cm	2,85	2,65	2,23	4,19	2,37	2,82	0,78	27,39	0,35
10-20 cm	1,68	1,54	1,37	2,03	1,52	1,97	0,30	17,56	0,13
20-40 cm	0,95	0,88	0,75	1,28	0,81	1,02	0,21	22,15	0,09
40-60 cm	0,43	0,46	0,28	0,50	0,45	0,48	0,09	19,70	0,04
60-80 cm	0,33	0,31	0,28	0,39	0,30	0,36	0,05	14,53	0,02
80-100 cm	0,27	0,26	0,23	0,30	0,26	0,28	0,03	9,61	0,01

Tablica 11. Udjel OC po dubinama, za stabla d = 40 – 60 cm (N = 5)

Udjel OC % d = 40 – 60 cm									
Dubina	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
0-10 cm	3,19	3,32	2,78	3,72	2,81	3,33	0,40	12,43	0,18
10-20 cm	1,69	1,50	1,39	2,15	1,46	1,93	0,34	20,00	0,15
20-40 cm	0,91	0,91	0,83	1,02	0,90	0,91	0,07	7,65	0,03
40-60 cm	0,45	0,39	0,38	0,58	0,39	0,49	0,09	19,77	0,04
60-80 cm	0,28	0,28	0,22	0,35	0,23	0,33	0,06	21,33	0,03
80-100 cm	0,27	0,22	0,20	0,37	0,22	0,33	0,08	29,39	0,04

Tablica 12. Udjel OC po dubinama, za stabla d = 60 + cm (N = 5)

Udjel OC % d = 60 + cm									
Dubina	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
0-10 cm	3,34	3,06	2,43	4,68	3,01	3,52	0,85	25,31	0,38
10-20 cm	1,40	1,42	1,09	1,70	1,24	1,54	0,24	17,15	0,11
20-40 cm	0,94	0,94	0,75	1,10	0,87	1,01	0,13	14,27	0,06
40-60 cm	0,54	0,47	0,43	0,74	0,44	0,60	0,13	24,88	0,06
60-80 cm	0,32	0,31	0,26	0,39	0,28	0,36	0,05	16,33	0,02
80-100 cm	0,27	0,25	0,24	0,34	0,25	0,28	0,04	15,44	0,02

5.5. Zalihe organskog ugljika u tlu

U tablicama i grafikonima priloženim u nastavku prikazane su zalihe OC po odgovarajućim dubinama. Također, prikazan je odnos zaliha ugljika na dubinama do 20 cm i do 100 cm, odnosno udjel zalihe OC u površinskih 20 cm tla.

Tablica 13. Zalihe OC po dubinama, za stabla $d = 20 - 40$ cm ($N = 5$)

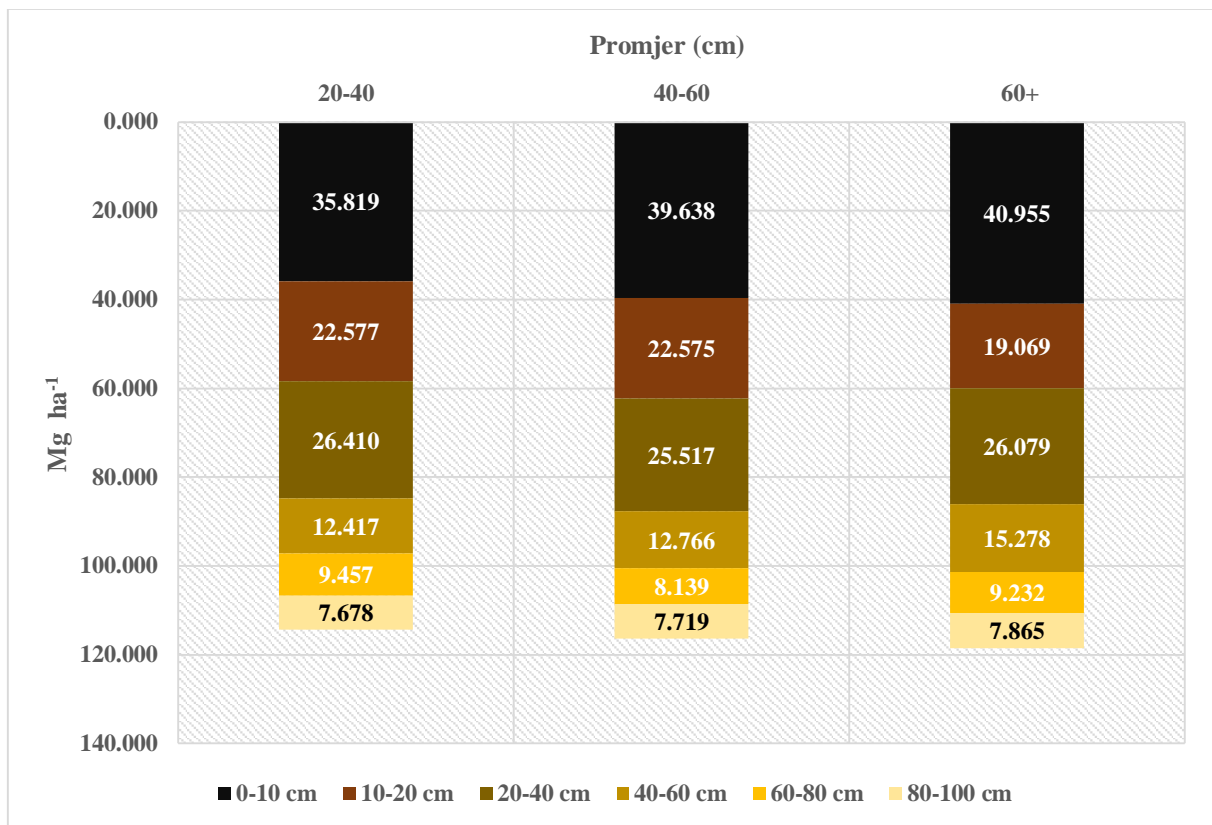
Zalihe OC (Mg ha^{-1}) $d = 20 - 40$ cm									
Dubina	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
0-10 cm	35,819	33,882	29,128	49,540	30,753	35,793	8,100	22,614	3,622
10-20 cm	22,577	20,793	18,696	26,807	20,530	26,058	3,621	16,037	1,619
20-40 cm	26,410	24,618	21,204	35,146	22,854	28,229	5,536	20,962	2,476
40-60 cm	12,417	13,111	8,207	14,181	12,896	13,688	2,406	19,379	1,076
60-80 cm	9,457	9,015	7,937	11,324	8,698	10,310	1,350	14,279	0,604
80-100 cm	7,678	7,441	6,778	8,677	7,396	8,096	0,728	9,477	0,325

Tablica 14. Zalihe OC po dubinama, za stabla d = 40 – 60 cm (N = 5)

Zalihe OC (Mg ha ⁻¹)									
d = 40 – 60 cm									
Dubina	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
0-10 cm	39,638	41,049	35,340	45,056	35,605	41,139	4,133	10,428	1,848
10-20 cm	22,575	20,313	18,941	28,243	19,774	25,606	4,108	18,195	1,837
20-40 cm	25,517	25,406	23,151	28,367	25,190	25,471	1,860	7,290	0,832
40-60 cm	12,766	11,227	10,798	16,479	11,215	14,110	2,462	19,284	1,101
60-80 cm	8,139	8,127	6,296	10,088	6,587	9,597	1,712	21,039	0,766
80-100 cm	7,719	6,364	5,685	10,738	6,348	9,460	2,236	28,969	1,000

Tablica 15. Zalihe OC po dubinama, za stabla d = 60 + cm (N = 5)

Zalihe OC (Mg ha ⁻¹)									
d = 60 + cm									
Dubina	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
0-10 cm	40,955	38,349	31,381	54,073	37,852	43,119	8,439	20,604	3,774
10-20 cm	19,069	19,382	15,141	22,853	17,081	20,886	3,045	15,971	1,362
20-40 cm	26,079	26,250	21,252	30,562	24,296	28,037	3,551	13,617	1,588
40-60 cm	15,278	13,402	12,371	20,896	12,571	17,149	3,687	24,131	1,649
60-80 cm	9,232	8,964	7,600	11,164	8,135	10,296	1,483	16,067	0,663
80-100 cm	7,865	7,218	7,038	9,844	7,080	8,143	1,195	15,197	0,535



Grafikon 9. Zalihe OC po dubinama, s obzirom na prsni promjer stabala

Iz priloženih tablica i grafikona uočava se kako su zalihe OC u tlu veće kod stabala s većim prsnim promjerom što je u skladu s istraživanjima Pregitzer i Euskirchen (2004) koji upućuju na trend povećanja zalihe OC u tlu sa starošću kod šumskih ekosustava umjerenih područja (grafikon 5). Srednje vrijednosti (aritm. sredine) ukupnih zaliha OC u tlu ispod stabala prsnog promjera 20 – 40 cm iznose 114,36 Mg C ha⁻¹, veće su kod stabla promjera 40 – 60 cm gdje iznose 116,354 Mg C ha⁻¹, a najveće u tlu ispod stabala promjera >60 cm gdje iznose 118,477 Mg C ha⁻¹. Zalihe OC u tlu šuma umjerenih područja kreću se u rasponu od 82,3 ± 39,5 Mg C ha⁻¹ (Pregitzer i Euskirchen 2004), 108 Mg C ha⁻¹ (De Vos *et al.*, 2015) pa do 147 Mg C ha⁻¹ (Prentice 2001). Najveće zalihe OC u tlu zabilježene su u površinskom sloju do dubine od 10 cm. Kod stabala promjera većeg od 60 cm, do dubine od 10 cm, zaliha OC u tlu iznosi 40,96 Mg C ha⁻¹. Kod stabala promjera 40 – 60 cm zalihe su neznatno manje 39,64 Mg C ha⁻¹, dok su kod stabala prsnog promjera 20 – 40 cm utvrđene najmanje zalihe OC u tlu u iznosu od 35,82 Mg C ha⁻¹. Na dubini 10 – 20 cm, s druge strane, najveća zaliha OC zabilježena je kod stabala promjera 20 – 40 cm (22,577 Mg C ha⁻¹). Gotovo jednake količine

utvrđene su kod stabala promjera 40 – 60 cm, dok je kod stabala promjera većeg od 60 cm izmjerena najmanja količina OC na dubini 10 – 20 cm (19,069 Mg C ha⁻¹).

Hiederer 2009 (prema: Batjes 1996) navodi kako zaliha OC u površinskih 30 cm tla, na svjetskoj razini, čini gotovo 50 % zalihe OC tla do dubine 1 m. De Vos *et al.*, (2015) navode da je približno 50 % zalihe OC u tlu do dubine od 1 m pohranjeno u površinskih 20 cm, a oko 55 – 65 % u površinskih 30 cm. Srednja vrijednost zalihe OC za Europu u površinskih 30 cm tla, prema istim autorima iznosi 71,3 Mg C ha⁻¹. Za dubinu do 20 cm Baritz *et al.*, (2010) navode raspon zalihe OC u tlu od 11,3 – 126,3 Mg C ha⁻¹. U ovom istraživanju spomenuti se raspon kreće između 58,40 i 62,21 Mg C ha⁻¹. Kod određivanja odnosa zaliha OC do dubina 20 cm i 100 cm utvrđeno je kako se kod mladih stabala (promjer 20 – 40 cm), 51,06 % ugljika nalazi u površinskih 20 cm tla, dok se ostatak (48,94 %) nalazi u preostalim 80 cm tla. Pri srednjedobnim stablima (promjer 40 – 60 cm), taj odnos iznosi 53,47 % u površinskih 20 cm tla, odnosno 46,53 % za dubinu 20 – 100 cm. Kod starih stabala (promjer veći od 60 cm), 50,66 % OC nalazi u površinskih 20 cm tla, a ostatak (49,44 %) u donjih 80 cm tla. Tablice u nastavku daju detaljniji uvid.

Tablica 16. Zalihe OC do dubina 20 cm i 100 cm, za stabla d = 20 – 40 cm (N = 5)

Zalihe OC (Mg C ha ⁻¹) do dubina 20 cm i 100 cm d = 20 – 40 cm									
Dubina	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
0-20 cm	58,40	54,49	49,92	75,60	51,28	60,69	10,47	17,94	4,68
0-100 cm	114,357	118,883	102,289	120,484	109,695	120,434	8,098	7,082	3,622

Tablica 17. Zalihe OC do dubina 20 cm i 100 cm, za stabla $d = 40 - 60$ cm ($N = 5$)

Zalihe OC (Mg C ha^{-1}) do dubina 20 cm i 100 cm $d = 40 - 60$ cm									
Dubina	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
0-20 cm	62,21	61,36	54,55	70,66	55,11	69,38	7,63	12,26	3,41
0-100 cm	116,354	109,977	101,999	132,197	105,441	132,159	14,719	12,650	6,583

Tablica 18. Zalihe OC do dubina 20 cm i 100 cm, za stabla $d = 60 +$ cm ($N = 5$)

Zalihe OC (Mg C ha^{-1}) do dubina 20 cm i 100 cm $d = 60 +$ cm									
Dubina	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
0-20 cm	60,023	57,732	46,523	76,926	54,932	64,005	11,347	18,904	5,074
0-100 cm	118,477	112,801	109,713	145,645	111,174	113,053	15,247	12,869	6,819

6. Zaključak

Cilj diplomskog rada u potpunosti je ispunjen jer su utvrđene količine, odnosno zalihe OC pohranjene u šumskoj prostirci i tlu u sastojinama hrasta kitnjaka i običnog graba (*Epimedio-Carpinetum betuli* /Ht. 1938/ Borh. 1963.) na području park-šume Maksimir, u Zagrebu. Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima sličnih inozemnih znanstvenih studija.

Dok količine OLn, OLv i OF podhorizontata šumske prostirke, kao i zalihe OC u njima nisu statistički različite s obzirom na tri kategorije kitnjakovih sastojina ($d = 20 - 40$ cm; $d = 40 - 60$ cm i $d > 60$ cm), utvrđena je statistički značajno veća količina, kao i zaliha OC u OH/A podhorizontu u sastojinama najmanjeg promjera ($d = 20 - 40$ cm). Potencijalni uzroci tome povezani su s kompleksnošću uzorkovanja OH podhorizonta (OH/A), razlici u gustoći sastojine i hidrotermičkim značajkama tla, a taj utjecaj treba još kvantificirati u budućim istraživanjima. Bez obzira na utvrđenu statistički značajnu razliku, koja je „opterećena“ raznim nekontroliranim utjecajima, u svim kategorijama sastojina hrasta kitnjaka, u danim stanišnim uvjetima, formirao se eumoder humus s podjednakim udjelom svih prisutnih podhorizontata (OLn, OLv, OF i OH/A). Udjeli OC jednaki su u svim kategorijama sastojina i može se općenito reći da OLn, OLv i OF imaju ujednačen udjel OC čija srednja vrijednost iznosi 46 %, a za OH/A ona iznosi 26 %.

Nije utvrđena statistički značajna razlika između zaliha OC u tlu za 1 m dubine za tri različite kategorije kitnjakovih sastojina ($d = 20 - 40$ cm; $d = 40 - 60$ cm i $d > 60$ cm) pa se tu može govoriti o jednoj srednjoj vrijednosti zalihe OC u tlu do 1 m dubine koja za sastojine kitnjaka u park-šumi Maksimir iznosi $116,397 \text{ Mg C ha}^{-1}$.

Urbane šume i njihove mogućnosti pohrane ugljika u Hrvatskoj dosada nisu detaljnije istraživane. Sa svrhom stvaranja potpune slike o zalihama ugljika u šumskim ekosustavima urbanih područja, u budućim istraživanjima trebalo bi uključiti ostale komponente šumskih ekosustava koji sudjeluju u procesima kruženja ugljika poput žive biomase i mrtvog drva.

Rezultati ovog rada daju preliminarni uvid u stanje urbanih šuma i šuma hrasta kitnjaka u kontekstu zaliha OC u šumskoj prostirci i tlu te kao takvi mogu poslužiti za usporedbu u budućim istraživanjima koja su nužna da bi se na razini Republike Hrvatske učinkovito i potrajno gospodarilo terestričnim ekosustavima u kontekstu postizanja klimatske neutralnosti.

7. Literatura i izvori

- Anić, I. i Oršanić M., 2010. "Morfološka i šumskouzgojna obilježja park-šuma grada Zagreba." U: *Park-šume grada Zagreba*, (ur.) Matić, S. i Anić, I., 135-146. Zagreb: Akademija šumarskih znanosti.
- Bajramspahić, E. 2019. "Utjecaj šumskih kultura na zalihu ugljika u šumskoj prostirci na području Đurđevačkih pijesaka."
- Bakšić, N i D. Bakšić. 2017. "Količine goriva i zalihe ugljika u šumskoj prostirci sastojina alepskog bora na otoku Mljetu." *Šumarski list* 247-255.
- Bakšić, N. i D. Bakšić. 2020. "Estimation of fuel loads and carbon stocks of forest floor in endemic Dalmatian black pine forests." *iForest* 382-388.
- Baritz, R., G. Seufert, L. Montanarella i E. Van Ranst. 2010. "Carbon concentrations and stocks in forest soils of Europe ." *Ecology* 262-277.
- Brown, S., E. Miltner i C. Cogger. 2012. "Carbon sequestration potential in urban soil." In *Carbon sequestration in Urban Ecosystems*, by R. Lal i B. Augustin. Dordrecht: Springer.
- Buršić, D. 2016. "Zalihe ugljika šumke prostirke i tla u prašumi hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)", diplomski rad, Šumarski fakultet, Zagreb.
- De Vos, B., N. Cools, H. Ilvesniemi, L. Vesterdal, E. Vanguelova i S. Carnicelli. 2015. "Benchmark values for forest soil carbon stocks in Europe: Results from a large scale forest soil survey." *Geoderma* 33-46.
- Deneke, F. 1993. "Urban Forestry in North America: Towards a Global Ecosystem Perspective." Winnipeg MB: Proceedings of the First Canadian Urban Forests Conference.
- European Commission. 2021. *Land use and forestry regulation for 2021-2030*. Pristupljeno 29.08.2021. [https://ec.europa.eu/clima/policies/forests/lulucf_en]
- European Environment Agency. 2019. *Land and soil in Europe*. Publications Office of the European Union.

European Environment Agency. 2016. *Soil resource efficiency in urbanised areas*. Publications Office of the European Union.

Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Bakker, D. C. E., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Anthoni, P., Barbero, L., Bastos, A., Bastrikov, V., Becker, M., Bopp, L., Buitenhuis, E., Chandra, N., Chevallier, F., Chini, L. P., Currie, K. I., Feely, R. A., Gehlen, M., Gilfillan, D., Gkritzalis, T., Goll, D. S., Gruber, N., Gutekunst, S., Harris, I., Haverd, V., Houghton, R. A., Hurtt, G., Ilyina, T., Jain, A. K., Joetzjer, E., Kaplan, J. O., Kato, E., Klein Goldewijk, K., Korsbakken, J. I., Landschützer, P., Lauvset, S. K., Lefèvre, N., Lenton, A., Lienert, S., Lombardozzi, D., Marland, G., McGuire, P. C., Melton, J. R., Metzl, N., Munro, D. R., Nabel, J. E. M. S., Nakaoka, S.-I., Neill, C., Omar, A. M., Ono, T., Peregon, A., Pierrot, D., Poulter, B., Rehder, G., Resplandy, L., Robertson, E., Rödenbeck, C., Séférian, R., Schwinger, J., Smith, N., Tans, P. P., Tian, H., Tilbrook, B., Tubiello, F. N., van der Werf, G. R., Wiltshire, A. J., Zaehle, S.: "Global Carbon Budget 2019." *Earth Syst. Sci. Data*, 11, 1783–1838, [<https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>] 2019.

Hiederer, R. 2009. *"Distribution of Organic Carbon in Soil Profile Data."* Luxemburg: European Commission.

Howard, P., P. Loveland, R. Bradley, F. Dry, D.C. Howard i D.M. Howard. 1995. "The carbon content of soil and its geographical distribution in Great Britain." *Soil Use and Managment* 9-15.

ISO 11464, 1994: Soil quality - Pretreatment of samples for physico-chemical analyses. ISO, Genève

ISO 10694, 1995: Soil quality – Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis). ISO, Genève.

IPCC. 2003. *"Good practice guidance for land use, land-use change and forestry."*

IPCC. 2018. *"Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change."*

- Jarvis, P. G., A Ibrom i S. Linder. 2005. *The Carbon balance of forest biomes*. Oxon: Taylor & Francis.
- Jurkšiene, G., Janušauskaitė D., Armolaitis, K., Baliuckas, V. 2017. "Leaf litterfall decomposition of pedunculate (*Quercus robur* L.) and sessile (*Q. petraea* [Matt.] Liebl.) oaks and their hybrids and its impact on soil microbiota." *Dendrobiology* 51-62.
- Kohl, M. i Linser S. 2020. "Status and trends in European forests characterised by the Updated pan-European indicators for sustainable forest management." U: *FOREST EUROPE, 2020: State of Europe's Forests 2020*. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe - Forest Europe.
- Lindsey, R. 2020. "*Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide*." Pristupljeno 28.09.2021. [<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>]
- Lorenz, K. i Lal, R. 2010. "*Carbon sequestration in Forest Ecosystems*." New York: Springer.
- Makineci, E. 2005. "Long term effects of thinning on soil and forest floor in a sessile oak (*Quercus petraea* (Matlusch) Lieb.) forest in Turkey." *Journal of Environmental Biology* 257-263.
- Marjanović, H., M. Ostrogović, G., Balenović, I. Alberti, E. Paladinić, K. Indir, A. Peressotti, i D. Vuletić. 2011. "Dinamika ugljika u mlađim sastojinama hrasta lužnjaka tijekom dvije vegetacije."
- Martinović, J. i B. Mayer. 1982. "Opis tala parka Maksimir." U *Maksimir*, K. Košić, 190-193. Zagreb: Urbanistički institut SRH.
- Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2021. "*Korištenje zemljišta, promjene u korištenju zemljišta i šumarstvo (LULUCF)*." Pristupljeno 29.08.2021. [<https://mingor.gov.hr/>]
- Nabuurs, G. i M. Schelhaas. 2002. "Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO2FIX." *Ecological Indicators* 213-223.
- National Centers for Environmental Information; National Oceanic and Atmospheric Administration. Pristupljeno 01.09.2021. [<https://www.ncdc.noaa.gov/>]
- Ostrogović, M. 2013. "Zalihe i bilance ugljika regularno gospodarene šume hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Pokupskom bazenu."

- Park Maksimir - Javna ustanova Maksimir*. Pristupljeno 29.08.2021. [<https://park-maksimir.hr/>]
- Pernar, N. 2017. "*Tlo; nastanak, značajke, gospodarenje*". Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.
- Pernar, N., Klimo, E., Bakšić, D., Perković I., Rybniček M., Vavrčik, H. i Gryc, V. 2012. "Akumulacija ugljika i dušika u sastojini crne johe (*Alnus glutinosa* Gaertn.) u Podravini." *Šumarski list* 431-443.
- Pitman R, Bastrup-Birk A, Breda N, Rautio P, 2010: Sampling and Analysis of Litterfall. 16 pp. Part XIII. U: "Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests." UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre, Hamburg. ISBN: 978-3-926301-03-1. Pristupljeno 01.09. 2021. [<http://www.icp-forests.org/Manual.htm>]
- Pregitzer, K. i E. Euskirchen. 2004. "Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age." *Global Change Biology* 2052-2077.
- Prentice, I.C. 2001. "The Carbon cycle and atmospheric carbon dioxide ." In *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, by IPCC. Cambridge, UK: Cambridge Univerisity Press.
- Renforth, P, J. Edmondson, J.R. Leake, Gaston, K.J. i Manning, D.A.C. 2011. "Designing a carbon capture function into urban soils." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Urban Design and Planning*.
- Sokal, R., Rohlf, F. J. 1995. "*Biometry: the Principles and Practice of Statistics in Biological Research*." 3rd edition, W.H. Freeman and Co., New York
- Schulp, C.J.E., GJ. Nabuurs, P.H. Verburg i R.W. de Waal. 2008. "Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories." *Forest Ecology and Management* 482-490.
- Seletković, Z., I. Tikvić, i D. Ugarković. 2010. "Stanišni uvjeti park-šuma grada Zagreba." *Park-šume grada Zagreba*, 39-44.
- Sevgi, O., E. Makineci i O. Karaoz. 2011. "The Forest Floor and Mineral Soil Carbon Pools of Six Different Forest Tree Species." *Ekoloji* 8-14.

- Sokal, R., Rohlf, F. J. 1995. "*Biometry: the Principles and Practice of Statistics in Biological Research.*" 3rd edition, W.H. Freeman and Co., New York
- StatSoft, Inc (2007) STATISTICA (data analysis software system), version 8.0.
- Trum, F., Hugues, T., Ranger, J., Delvaux, B. 2011. "Influence of tree species on carbon and nitrogen transformation patterns in forest floor profiles." *Annals of Forest Science* 837-847
- Zakon o zaštiti prirode. 2019. Članak 106. NN 15/18. Pristupljeno 01.09.2021. [<https://www.zakon.hr/>]
- Zakon o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara. 2020. Članak 6. NN 152/14; 90/18; 62/20. Pristupljeno 01.09.2021. [<https://www.zakon.hr/>]
- Zanella, Augusto, Bernard Jabiol, Jean-François Ponge, Giacomo Sartori, Rein de Waal, et al. 2011. "European Humus Forms Reference Base."
- Zanella A., K. Katzensteiner, J.-F. Ponge, B. Jabiol, G. Sartori, E. Kolb, R.-C. Le Bayon, M. Aubert, J. Ascher-Jenull, M. Englisch, H. Hager, 2019: TerrHum: An iOS Application for Classifying Terrestrial Humipedons and Some Considerations about Soil Classification, *Soil Science Society of America Journal* Volume 83, Issue S1 p. S42-S48; North American Forest Soils Conference – International Symposium on Forest Soils