

Analiza prirodne sukcesije i promjena zaliha ugljika u šumama alepskog bora nakon šumskih požara

Mihaljević, Paula

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:329705>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-05**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE**

ŠUMARSKI ODSJEK

**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ UZGAJANJE I UREĐIVANJE ŠUMA
S LOVNIM GOSPODARENJEM**

PAULA MIHALJEVIĆ

**ANALIZA PRIRODNE SUKCESIJE I PROMJENA ZALIHA UGLJIKA
U ŠUMAMA ALEPSKOG BORA NAKON ŠUMSKIH POŽARA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.

ZAGREB, rujan 2024.
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK

**ANALIZA PRIRODNE SUKCESIJE I PROMJENA ZALIHA UGLJIKA U
ŠUMAMA ALEPSKOG BORA NAKON ŠUMSKIH POŽARA**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Uzgajanje i uređivanje šuma s lovnim gospodarenjem

Predmet: Uzgajanje šuma II

Ispitno povjerenstvo:

1. izv.prof.dr.sc. Stjepan Mikac
2. izv.prof.dr.sc. Damir Ugarković
3. prof.dr.sc. Darko Bakšić

Student: Paula Mihaljević

JMBAG: 0068231866

Datum odobrenja teme: 20. ožujka 2024.

Datum predaje rada: 22. rujna 2024.

Datum obrane rada: 25. rujna 2024



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

OB FŠDT 05 07

Revizija: 2

Datum: 29.04.2021.

„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“.

U Zagrebu, 25. rujna 2024. godine

vlastoručni potpis

Paula Mihaljević

Sadržaj

1. UVOD	1
2. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA.....	2
2.1. Klimatske promjene	2
2.2. Šumski požari	3
2.3. Veza između klimatskih promjena i šumskih požara.....	5
2.4. Posljedice	7
2.5. Rješavanje problema	8
2.6. Utjecaj požara na emisije CO ₂	9
2.6.1. Dugoročni efekti.....	10
2.6.2. Statistički podaci i globalni utjecaj.....	10
2.6.3. Prevencija i smanjenje utjecaja.....	10
3. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	11
4. MATERIJALI I METODE	12
4.1. Područje istraživanja	12
4.2. Geološka podloga i tlo.....	14
4.3. Klima	14
4.4. Vegetacija	15
4.5. Prikupljanje podataka.....	16
4.6. Analiza i obrada podataka.....	21
5. REZULTATI.....	25
5.1. Strukturna obilježja sastojina	25
5.2. Analiza svojstava tala.....	30
6. RASPRAVA.....	36
7. ZAKLJUČAK	38
8. LITERATURA.....	39

Zahvaljujem se mentoru, izv.prof.dr.sc. Stjepanu Mikcu, na pomoći prilikom odabira teme i izrade diplomskog rada. Hvala prof.dr.sc. Darku Bakšiću na ustupljenom laboratoriju i analizi uzoraka tla.

Veliko hvala Marku, Domagoju, Vici, Karlu i Mari na pomoći pri terenskom radu na 40 °C. Zahvala svim djelatnicima šumarije Šibenik na ustupljenim podacima iz Osnove gospodarenja.

Posebna zahvala ide mojim prijateljima bez kojih ništa od ovoga ne bi imalo smisla. Najveća zahvala ide mojoj obitelji i mom Ivanu za bezuvjetnu podršku, ljubav i vjeru!

Veliko hvala svima!

1. UVOD

Šumski požari u mediteranskoj regiji predstavljaju ozbiljan i rastući problem koji je usko povezan s klimatskim promjenama, promjenama u upotrebi zemljišta i ljudskim aktivnostima. Mediteranska regija obuhvaća dijelove južne Europe, sjeverne Afrike i zapadne Azije, a karakteriziraju je vruća, suha ljeta i blage, vlažne zime. Ova klima čini regiju posebno ranjivom na požare koji se u Republici Hrvatskoj javljaju naročito na području eumediterana.

Uzroci i širenje požara ovise o brojnim čimbenicima, od kojih su neki prirodni, a drugi su vezani uz djelovanje čovjeka. Sve značajniji utjecaj na nastanak i širenje požara imaju klimatske promjene uslijed kojih dolazi do porasta prosječnih temperatura, toplinskih valova i smanjenja prosječne godišnje količine padalina. Duga sušna razdoblja suše vegetaciju, čineći je lako zapaljivom. Većina požara u Mediteranu ipak je uzrokovana ljudskim djelovanjem. Nepažljivo rukovanje vatrom, paljenje otpada, krčenje šuma, industrijalizacija, razvitak turizma i napuštanje poljoprivrednog zemljišta samo su neki od uzroka nastanka i širenja požara.

Posljedice šumskih požara u Mediteranu su brojne i višestruke. Ekološke posljedice su gubitak šumskog tla i degradacija zemljišta, narušavanje stabilnosti ekosustava te uništavanje šuma zbog čega dolazi do smanjenja bioraznolikosti, gospodarskih i zaštitnih uloga šume. Gubitak vegetacije može trajno oštetiti ekosustave. Osim velikih ekoloških šteta požari često zahvaćaju naselja, uništavajući domove, infrastrukturu i poljoprivredne resurse. U nekim slučajevima požari dovode i do ljudskih žrtava. Uništavanje turističkih destinacija, poljoprivrednih površina i infrastrukture rezultira velikim ekonomskim troškovima za obnovu.

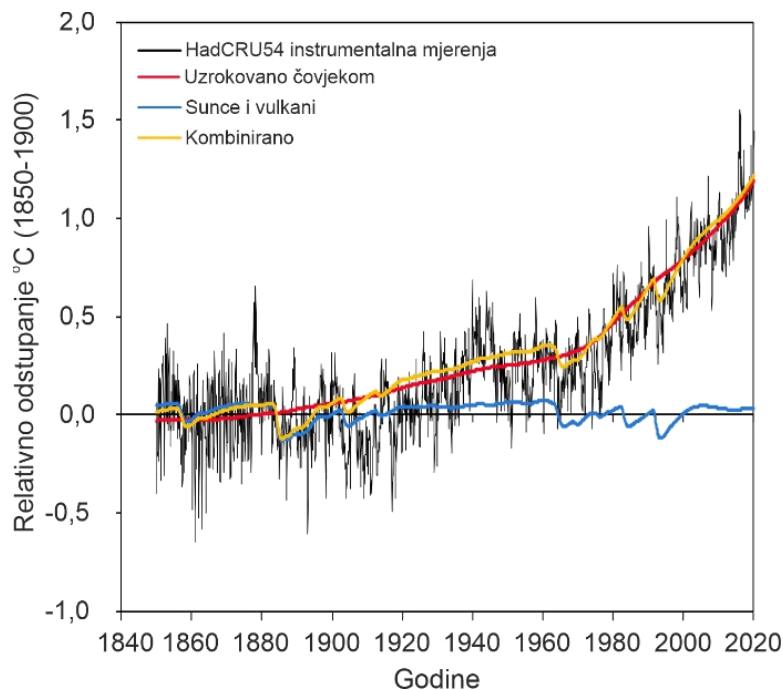
Najugroženije šumske zajednice od požara su šume alepskog bora. U tim šumama su razmjerno najčešći i najrasprostranjeniji požari u Hrvatskoj čemu svjedočimo iz godine u godinu. Zbog svog pionirskog karaktera alepski bor se vrlo uspješno obnavlja nakon požara te sukcesija na požarištima starih sastojina teče vrlo intenzivno. Možemo zaključiti da glavni problem utjecaja šumskog požara na gospodarsku vrijednost šume nije gubitak drvne mase izgubljene u požaru već degradacija staništa.

2. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA

2.1. Klimatske promjene

Najvažniji elementi kojima opisujemo klimu su sunčevo zračenje, temperatura zraka, tlak, smjer vjetra, vlažnost, isparavanje, oborine, naoblaka i snježni pokrivač (Branković, 2013.) Statistički značajne promjene srednjeg stanja ili varijabilnosti klimatskih veličina koje traju desetljećima i duže nazivaju se **klimatskom promjenom**. Ove promjene uglavnom su uzrokovane ljudskim djelovanjem poput sagorijevanja fosilnih goriva, krčenja šuma i industrijskih aktivnosti. Posljedice ovih promjena su:

- **Porast temperatura:** Globalno zagrijavanje dovodi do sve češćih i intenzivnijih toplinskih valova. Taj porast postaje izraženiji od 70-tih godina 20. stoljeća.
- **Promjene u padalinama:** Neke regije doživljavaju suše, dok druge imaju povećane količine padalina, ali u nepravovremenim i ekstremnim oblicima.
- **Porast razine mora:** Topljenje polarnih kapa i ledenjaka povećava razinu mora, što ugrožava obalne zajednice.
- **Ekstremne vremenske nepogode:** Povećana učestalost i intenzitet uragana, poplava, i oluja.



Slika 1. Indeks globalnog zatopljenja (GWI) od 1850. do 2020. godine. Antropogeni doprinos globalnom zagrijavanju prikazan crvenom bojom. Prirodni doprinos (sunce i vulkanski) u plavoj boji. Žuta linija prikazuje kombiniranu (ukupnu) promjenu temperature

2.2. Šumski požari

Požare možemo klasificirati na temelju različitih kriterija. Požare prema postanku dijelimo na prirodne (udar groma), umjetne (kontrolirane ili planirane) te nastale ljudskim nemarom. Nadalje, požare dijelimo s obzirom na mjesto nastanka na požare zatvorenih prostora (objekti) i požare otvorenih prostora. Šumski požari pripadaju skupini požara otvorenih prostora te ih možemo definirati kao prirodne ili ljudskim djelovanjem izazvane nepogode koje uništavaju velike površine šuma, trave i drugih vegetacijskih područja. U velikoj većini slučajeva požari su uzrokovani djelovanjem čovjeka, dok je mali postotak posljedica groma.

Na pojavu i širenje požara otvorenog prostora utječe mnogo različitih faktora, ali najvažniji su

- **Goriva materija:** gorivu materiju kod šumskog požara u najvećem dijelu čini živo i mrtvo raslinje (prizemno raslinje, grmlje, stabla, posječeni materijal, trava)
- **Meteorološki parametri:** utječu na vlažnost gorivog materijala. Gorivo sa većim postotkom vlage teže se pali, a požar se po njemu teže širi. Požar se teže širi i ukoliko u zraku ima veliki postotak relativne vlage (Stipaničev, 2018.)
 - Visoke temperature: Toplinski valovi suše vegetaciju, čineći je lako zapaljivom.
 - Suše: Nedostatak kiše smanjuje vlagu u tlu i biljkama, povećavajući rizik od požara.
- **Vjetar:** faktor koji možda najviše utječe na ponašanje šumskog požara (Stipaničev, 2018.). Jaki vjetrovi mogu brzo širiti plamen preko velikih površina. Vjetar djeluje na razvoj požara mehanički jer prenosi iskre i plamen. Isto tako stalnim donošenjem kisika podržava i rasplamsava vatru (Španjol i sur., 2008.)
- **Topografija:** Orijentacija i nagib terena su važni za širenje požara. Sunčeva radijacija je drugačija na strmim i blažim terenima, također je drugačija na terenima okrenutim prema jugu naspram onih okrenutih sjeveru. Sunčeva radijacija utječe na količinu vlage u gorivu, a posljedično i na širenje požara. Požar se brže širi uzbrdo, nego nizbrdo (Stipaničev, 2018.)
- **Ljudske aktivnosti:** Kampiranje, spaljivanje otpada, ispuštanje žara i drugi izvori paljenja uzrokovani ljudskim djelovanjem.

Tla na vapnencima i dolomitima su vrlo stara tla čemu u prilog ide činjenica da je za ciklus tvorbe tla od 40cm rastvaranjem čistih vapnenaca potrebno više od milijun godina. U tom kontekstu šumski požari kao posljedicu imaju trajni gubitak tla na kršu. Pedološki uvjeti nastanka požara, utjecaj na kruženje bioelemenata i fizikalna svojstva tla nakon požara su važne komponente na koje je potrebno obratiti pažnju prilikom proučavanja šumskih požara.

O pedološkim čimbenicima ovise karakteristike vegetacijskog pokrova, a to se posebno odnosi na sloj šumske prostirke koji čini glavni izvor gorivog materijala u šumi. Na zapaljivost šumske prostirke utječu i unutarnja svojstva tla. Tako primjerice plića tla s manjim kapacitetom uskladištene vode i većom drenažom pogoduju sušenju šumske prostirke.

Tablica 1 Podjela tipova tala s obzirom na opasnost od nastanka i širenja požara

VEĆA OPASNOST OD POŽARA	MANJA OPASNOST OD POŽARA
rendzine	lesivirana tla
crnice	eutrična tla
rankeri	koluvijalna tla
smeđe tlo na vapnencu i dolomitu	crvenice

Kada govorimo o utjecaju požara na kruženje bioelemenata, postavlja se pitanje kako požar utječe na plodnost tla. Naime, kada požar razgori organsku materiju, nehlapljivi sastojci ostaju na površini tla u obliku pepela. One materije koje se mogu rastvoriti oborinama se unose u tlo od čega se dio zadržava u koloidnom kompleksu tla, dio odlazi u dublje slojeve izvan dosega korijena biljaka, a dio se nepovratno gubi iz tla. Od makroelemenata najviše se gubi ugljik, zatim dušik, sumpor, fosfor, kalij, kalcij, a najmanje magnezij. Premda je gubitak hraniva zbog požara dugoročno znatan, nakon požara je povećana biodostupnost hraniva biljkama zbog zgrijavanja. Drugim riječima, povećava se udjel mobilnih hraniva u tlu. Fisher i Binkley, 2013 (prema: Pernar 2017) utvrdili su da je ukupna zaliha organskog dušika nakon požara smanjena, zaliha dušika u mineralnom dijelu tla nije značajno promijenjena, ali je zbog povećanja amonijskog i nitratnog dušika povećana biodostupnost.

Promjene fizikalnih svojstava tla su smanjenje infiltracijske sposobnosti tla, smanjenje zalihe vode u površinskom dijelu tla, smanjenje kapilarne i nekapilarne poroznosti tla na zgarištima, smanjenje vodopropusnosti te povećanje erodibilnosti.

2.3. Veza između klimatskih promjena i šumskih požara

Iako požari otvorenog prostora ovise o nizu čimbenika kao što su geološki, pedološki i vegetacijski, klimatske prilike imaju sve značajniju ulogu na njihov nastanak i širenje. Svako mjesto ima svoj požarni režim koji podrazumijeva učestalost požara na nekom području, prosječne godišnje spaljene površine i dr. Požarni režim se također može opisati izvedenim veličinama koje su rezultat međudjelovanja vlažnosti/suhoće prirodnog gorivog materijala i vremenskih prilika određenog kraja. Jedan od indeksa je srednja mjesečna žestina (Monthly Severity Rating, MSR) iz koje se procjenjuje srednja sezonska žestina (Seasonal Severity Rating, SSR). Srednjom sezonskom žestinom procjenjuje se potencijalna ugroženost od šumskih požara za vrijeme požarne sezone od lipnja do rujna. Ako je $SSR \geq 7$ postoje povoljni vremenski uvjeti za nastanak velikih požara (Španjol, 2021).

Klimatske promjene značajno povećavaju učestalost, intenzitet i trajanje šumskih požara. Klimatske promjene izazvane antropogenim djelovanjem očitavaju se u stakleničkim plinovima koji dopijevaju u atmosferu (CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3), a oni imaju ključnu ulogu u zagrijavanju atmosfere. Porast temperature dovodi do produženja požarne sezone i sušnog razdoblja što stvara idealne uvjete za izbijanje i širenje požara. Prema podacima DHMZ-a, predviđeni porast temperature zraka u 21. stoljeću globalnog je karaktera pri čemu se najveće zatopljenje može očekivati nad kopnom i u visokim zemljopisnim širinama sjeverne hemisfere zimi.

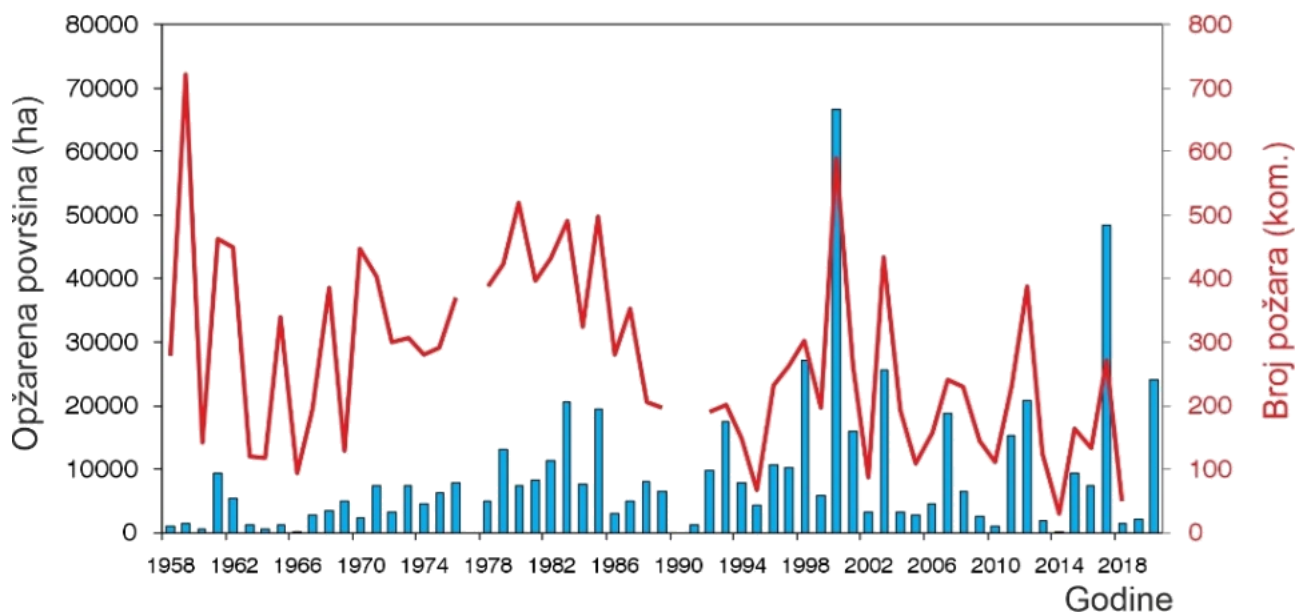
Zbog klimatskih promjena mnoge se europske regije već suočavaju s učestalijim, težim i dugotrajnijim sušama. Suša i promjene u obrascima padalina uzrokuju smanjenje vlažnosti tla i vegetacije, tj. gorivog materijala, stvarajući lako zapaljivi materijal. Smatra se da bi zbog suše izazvane klimatskim promjenama moglo doći do povećanja područja izloženog riziku od šumskih požara. One regije koje trenutačno nisu izložene požarima mogle bi postati rizična područja.

Povećanje učestalosti oluja koje sa sobom donose munje, može uzrokovati početak požara, dok su istovremeno poplave koje prate oluje smanjene ili odgođene, što otežava gašenje požara.

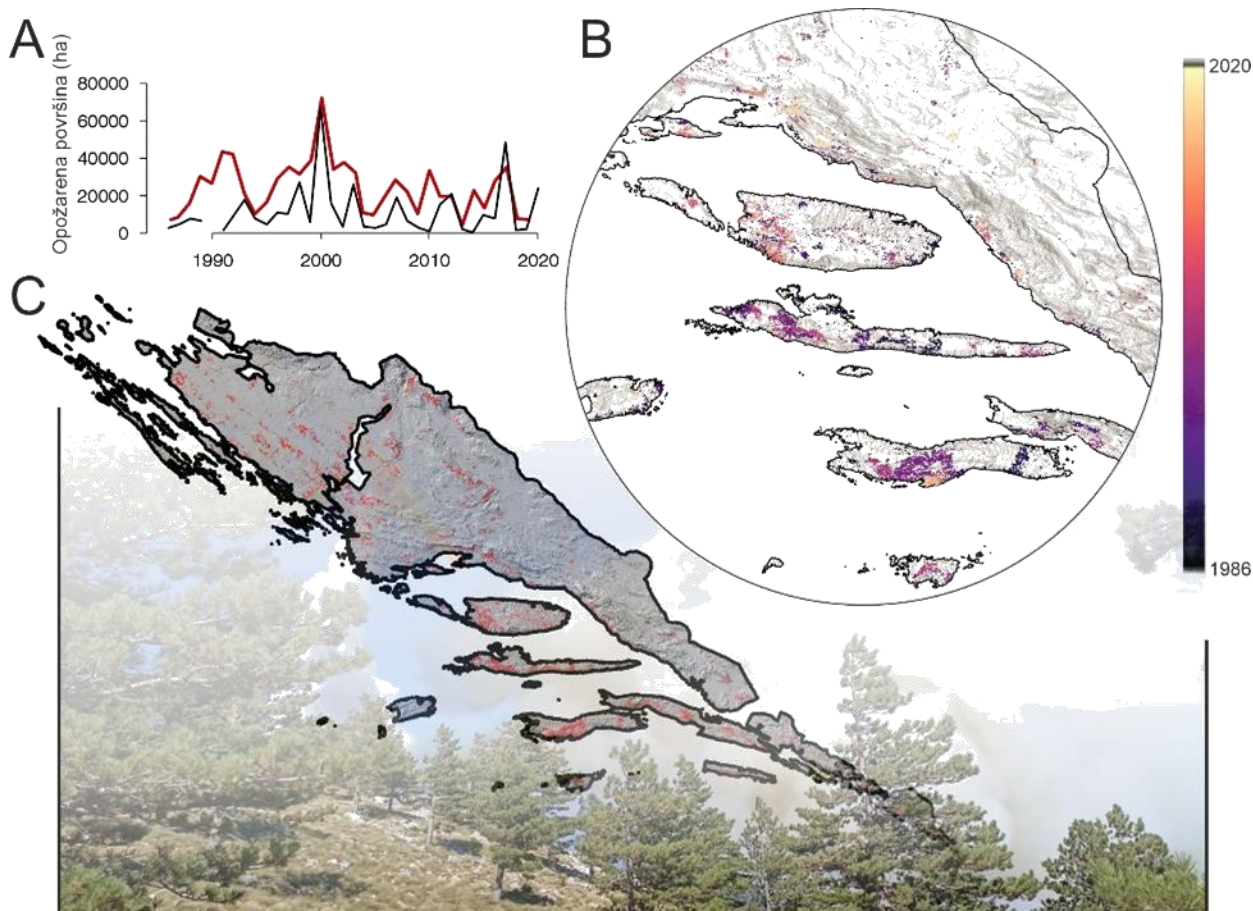
U Republici Hrvatskoj je od posljedica šumskih požara prosječno oštećeno oko 18 m³/ha drvene mase po jedinici površine, dakle po 1 ha. Iz podataka (evidencija) možemo vidjeti da broj opožarenih požara se smanjuje tijekom promatranog razdoblja ali zato opožarena površina sve veća. Premda je zaista teško govoriti o trendu površine jer je vrlo različita od godine do godine.

Tablica 2. Deskriptivni podaci po dekadama o površini, broju i štetama od požara

Dekade	Površina (.000 ha)	Broj (kom)	V (.000 m ³)	EUR (.000)
2020-2010	131,2	1392	2311	EUR 115.573
2009-2000	84,2	1967,0	1541	EUR 77.033
1999-1990	161,5	2195,0	3005	EUR 150.229
1989-1980	89,6	3176,0	1976	EUR 98.794
1979-1970	61,9	3210,0	1064	EUR 53.197



Slika 2. Prikaz opožarene površine u ha i broja požara prema godinama za područje hrvatskog središnjeg



Slika 3. Prikaz opožarene površine u UŠP Split za razdoblje 1985 – 2022. godina dobivene iz satelitskih snimala LANDSAT 7 te usporedba sa podacima iz registra šteta po godinama A.

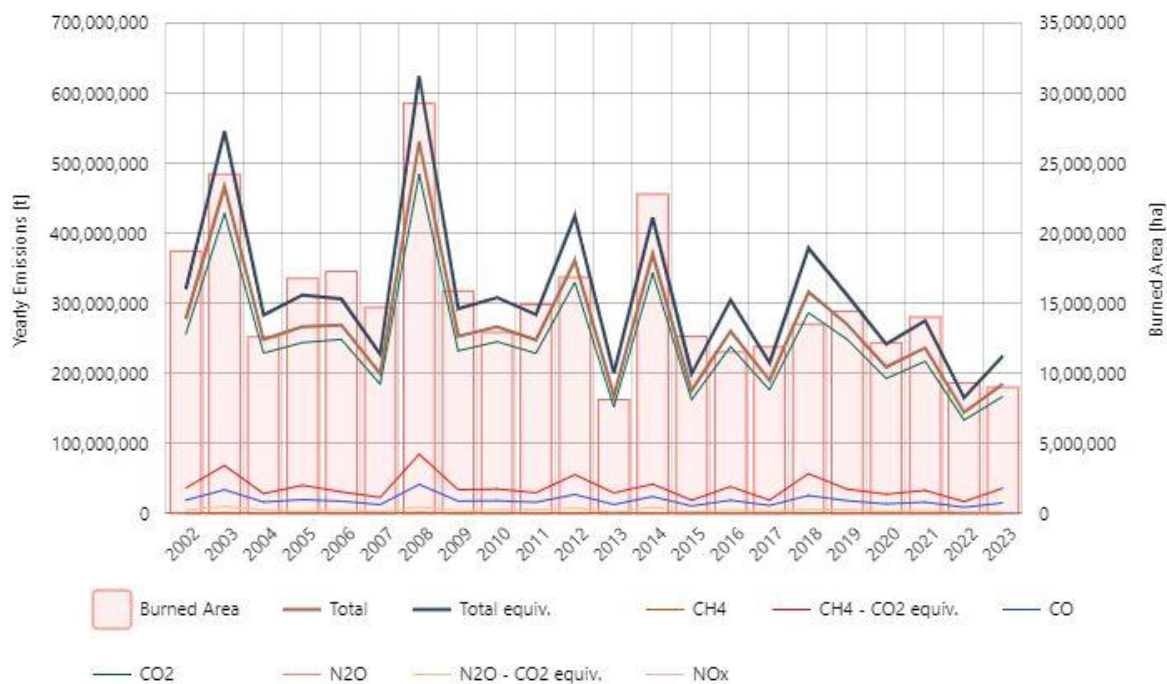
2.4. Posljedice

Posljedice klimatskih promjena i šumskih požara su ozbiljne i dalekosežne. S ekološkog aspekta dolazi uništavanja velikih površina šuma što vodi do gubitka biodiverziteta. Nakon požara, iz klimazonalnih šumskih zajednica nastaju degradirane sastojine (makija, garig) koje su ekološki nestabilnije. Velika opasnost nakon požara je pojava erozije kojom nestaje šumsko tlo. Poremećaji u ekosustavu mogu se odraziti na lokalnu mikroklimu, čime slabi fiziološka stabilnost i vitalitet sastojina u okolici. Prekidaju se ciklusi kruženja dušika i ugljika u prirodi, što posredno i neposredno utječe na rast vegetacije (Španjol, 2021.)

Od zdravstvenih rizika valja istaknuti dim i zagađenje zraka od požara koji mogu uzrokovati respiratorne probleme i druge zdravstvene komplikacije kod ljudi.

Požari uzrokuju materijalnu štetu koja je u direktnoj korelaciji sa ekonomskim gubicima. Požari uništavaju domove, infrastrukturu i poljoprivredne površine, što dovodi do velikih troškova obnove i oporavka. Ekonomske štete ogledaju se u troškovima pošumljavanja, izgubljenog prihoda zbog spaljenog drveća, troškovima obnove infrastrukture, javne imovine, kuća i privatnih objekata nakon požara, izgubljenim prihodima od turizma i rekreacijskih aktivnosti i dr.

Šume su najveći sustav za pohranu ugljika. Prilikom šumskog požara oslobađa se velika količina ugljika u obliku pepela, čađe i stakleničkih plinova. Emisije štetnih plinova, između ostalih i CO₂, prilikom šumskih požara ovise o trajanju i intenzitetu požara, površini zahvaćenoj požarom te vrsti i količini gorive tvari. EFFIS (*European Forest Fire Information System*) koristi najnovije metode izračuna količine emisija oslobođene prilikom šumskog požara.



Slika 4. Opožarene površine (ha) i procjena emisija CO₂ u Mediteranskoj regiji Europe (izvor: EFFIS)

2.5. Rješavanje problema

Borba protiv klimatskih promjena i smanjenje rizika od šumskih požara zahtijevaju kombinirani pristup smanjenja emisija stakleničkih plinova, održivog gospodarenja šumama te priprema i odgovora na požare.

Prelaskom na obnovljive izvore energije i poboljšanjem energetske efikasnosti smanjuje se emisija stakleničkih plinova. Obnovljivi izvori energije, kao što su energija vjetra, solarna energija i hidroenergija, energija oceana i geotermalna energija, biomasa i biogoriva, čišća su alternativa fosilnim gorivima te smanjuju onečišćenje.

Prema Zakonu o šumama (NN 36/24) održivo gospodarenje šumama znači korištenje šuma i šumskog zemljišta na način, i u mjeri, koja održava njihovu bioraznolikost, produktivnost, kapacitet za regeneraciju, vitalnost i potencijal da trenutačno i ubuduće ispune odgovarajuće ekološke, gospodarske i društvene funkcije na lokalnoj, nacionalnoj i globalnoj razini te koja ne uzrokuje štetu drugim ekosustavima. Održivo upravljanje šumama podrazumijeva uzgoj, zaštitu i korištenje šuma i šumskog zemljišta te izgradnju i održavanje šumske infrastrukture, sprječavanje ilegalne sječe, pošumljavanje i očuvanje postojećih šuma.

Unaprjeđenje sustava za rano prepoznavanje požara, obuka vatrogasaca i implementacija strategija za smanjenje rizika od požara neki su od mogućih procesa pripreme i odgovora na požare. Suvremena organizacija upravljanja šumskim požarima sastoji se od tri stupnja aktivnosti: prevencije, predsuzbijanja i suzbijanja. Prvi korak je prevencija ili mjere opreza koje obuhvaćaju zakonsku regulativu (Pravilnik o zaštiti šuma od požara NN 33/14), obrazovanje, gradnju protupožarnih prometnica, prorjeđivanje šuma i dr. Predsuzbijanje podrazumijeva izradu planova o zaštiti šuma, procjene opasnosti od požara određenim sustavima, otkrivanje požara, nabavku opreme. Suzbijanjem se smatraju sve aktivnosti za brzi i djelotvorno gašenje nastalog šumskog požara, a sadržava: otpremu, početni napad, zračni napad, strategiju i taktiku (Dimitrov, 1999.)

Ovi izazovi zahtijevaju globalnu suradnju i predanost na svim razinama društva, od pojedinaca do vlada, kako bi se smanjili negativni utjecaji na naš planet.

2.6. Utjecaj požara na emisije CO₂

Šumski požari imaju značajan utjecaj na emisije ugljičnog dioksida (CO₂), što dodatno pogoršava problem klimatskih promjena. Evo kako šumski požari utječu na emisije CO₂:

Kada šumski požari izbiju, gorenje vegetacije oslobađa velike količine CO₂ u atmosferu. Biljke i drveće tijekom svog rasta apsorbiraju CO₂ iz atmosfere kroz fotosintezu i skladište ga u obliku ugljika u svojim stanicama. Kada vegetacija izgori, sav taj pohranjeni ugljik se vraća u atmosferu u obliku CO₂ i drugih stakleničkih plinova poput metana (CH₄) i dušikovih oksida (NO_x).

Iako je problemu kvantificiranja izravnih emisija stakleničkih plinova posvećena velika pozornost, vrlo malo pažnje je posvećeno pogreškama prilikom procjene. Prilikom proučavanja utjecaja požara na atmosferski ugljik potrebno je uzeti u obzir različitosti u strukturi vegetacije, vrsti vegetacije, ugljiku u tlu, vremenu, vlažnosti gorive tvari i ponašanju požara. Procijenjena godišnja količina emisija ugljika iznosi oko 2100 Mt.

- **Masivna količina ugljika:** Velike šume, poput onih u tropskim i borealnim područjima, pohranjuju ogromne količine ugljika. Kada se te šume zapale, emisije CO₂ mogu biti ekvivalentne godišnjim emisijama cijelih država. Kao primjer možemo navesti šumske požare u Kanadi 2023. godine koji su bili ekstremnog opsega i intenziteta. Prema podacima GFAS-a (Global Fire Assimilation System) šumski požari koji su trajali od svibnja do rujna emitirali su otprilike 480 Mt ugljika u atmosferu, što je pet puta više od prosjeka u zadnjih 20 godina.
- **Nepovratni gubitak:** Nakon požara, dio vegetacije se može regenerirati i ponovno apsorbirati CO₂, ali taj proces traje godinama ili desetljećima. Ako se šume potpuno unište, taj ugljik se trajno gubi iz sustava.

Šumski požari narušavaju prirodni ciklus ugljika smanjenjem apsorpcije CO₂ i transformacijom ekosustava.

Šume su ključne za apsorpciju CO₂ iz atmosfere. Gubitkom velikih površina šuma smanjuje se kapacitet prirode da apsorbira CO₂, čime se povećava koncentracija ovog plina u atmosferi. Spaljivanje biomase je značajan globalni izvor atmosferskih plinova, između ostalih i CO₂, koji doprinose globalnom zatopljenju. Tijekom šumskih požara velike količine CO₂ ispuštaju se u atmosferu. Kako vegetacija u spaljenim ekosustavima ponovno raste, CO₂ se ponovno iz atmosfere fotosintezom ugrađuje u novu vegetaciju.

Nakon požara, ekosustavi se mogu promijeniti, prelazeći iz šumskih u travnjačke ili grmovite zajednice, koje pohranjuju manje ugljika. To znači da će manje CO₂ biti pohranjeno u budućnosti.

Utjecaj požara na organsku tvar tla ovisi o kemijskim i fizikalnim svojstvima tla, tipu vegetacije u tom ekosustavu i intenzitetu požara. Utvrđeno je da se kapacitet ionske izmjene tla smanjuje zbog gubitka adsorpcijskih mjesta s uništavanjem organske tvari tla.

2.6.1. Dugoročni efekti

- **Pozitivna povratna sprega:** Povećane emisije CO₂ iz šumskih požara mogu pridonijeti dodatnom globalnom zagrijavanju, što povećava rizik od budućih požara. Drugim riječima, požar oslobađa ugljikov dioksid i metan koji uzrokuju porast globalne temperature, što pak dovodi do više požara, i tako u nedogled. Ova povratna sprega dodatno destabilizira klimatski sustav.
- **Zagađenje zraka i zdravlje:** Osim CO₂, požari emitiraju i druge štetne plinove i čestice koje zagađuju zrak, što može imati ozbiljne posljedice za ljudsko zdravlje, pogotovo u gusto naseljenim područjima.

2.6.2. Statistički podaci i globalni utjecaj

- **Globalne emisije:** Procjenjuje se da šumski požari pridonose s oko 5-10% ukupnim globalnim emisijama CO₂ godišnje, iako ovaj udio može značajno varirati ovisno o učestalosti i intenzitetu požara u pojedinim godinama.
- **Regionalne razlike:** Borealne šume, poput onih u Sibiru i Kanadi, često imaju najveći udio emisija jer su ove šume pohranjuju velike količine ugljika u svom tlu i vegetaciji.

Tablica 3 Globalna procjena godišnje količine spaljene biomase i količine ispuštenog ugljika i CO₂ u atmosferu (izvor: Gonzales-Perez, 2004.)

Source of burning	Biomass burned (Tg year ⁻¹)	Carbon released ^a (Tg C year ⁻¹)	CO ₂ released ^b (Tg C year ⁻¹)
Savannas	3690	1660	1494
Agricultural waste	2020	910	819
Fuel wood	1430	640	576
Tropical forest	1260	570	513
Temperate and Boreal forest	280	130	117
Charcoal	21	30	27
Total wood	8700	3940	3547

^a Based on a carbon content of 45% in the biomass material. In the case of charcoal, the rate of burning has been multiplied by 1.4.

^b Assuming that 90% of the C released is in the form of CO₂.

2.6.3. Prevencija i smanjenje utjecaja

- **Održivo upravljanje šumama:** Pravilno upravljanje šumama, uključujući smanjenje količine gorivog materijala i sprječavanje nelegalne sječe, može pomoći u smanjenju rizika od velikih požara i s njima povezanih emisija CO₂.
- **Reforestacija i pošumljavanje:** Obnavljanje izgorenih područja sadnjom novih stabala može dugoročno pomoći u ponovnom skladištenju ugljika, ali taj proces traje godinama dok stabla narastu na dimenzije i veličinu onih koja su izgorijela.

3. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Ciljevi ovoga istraživanja su izračunati sadržaj ugljika u tlu u sastojinama alepskog bora koje su potpuno izgorjele od šumskih požara usporedno sa sastojinama koje nisu zahvaćene šumskim požarom. Istraživanjem se želi ukazati na problem požara u hrvatskom Sredozemlju s aspekta izvorišta dodatnih emisija CO₂ u atmosferu.

Hipoteza 1. Sadržaj ugljika u tlu na opožarenim površinama je statistički značajno manji od sadržaja ugljika u tlu u sastojinama koje nisu zahvaćene požarima (kontrolne plohe)

Hipoteza 2. Sadržaj ugljika u tlu se značajno razlikuje s obzirom na vrijeme nastanka požara. Recentno opožarene površine imaju manji sadržaj ugljika od površina šuma koje su prije bile zahvaćene požarima.

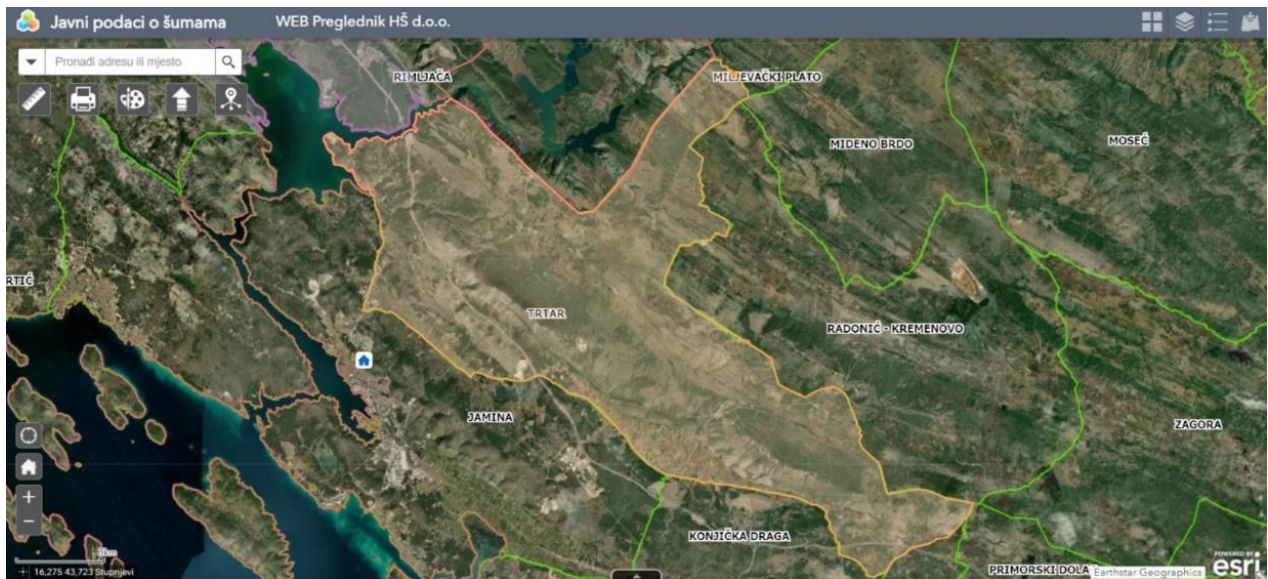
4. MATERIJALI I METODE

4.1. Područje istraživanja

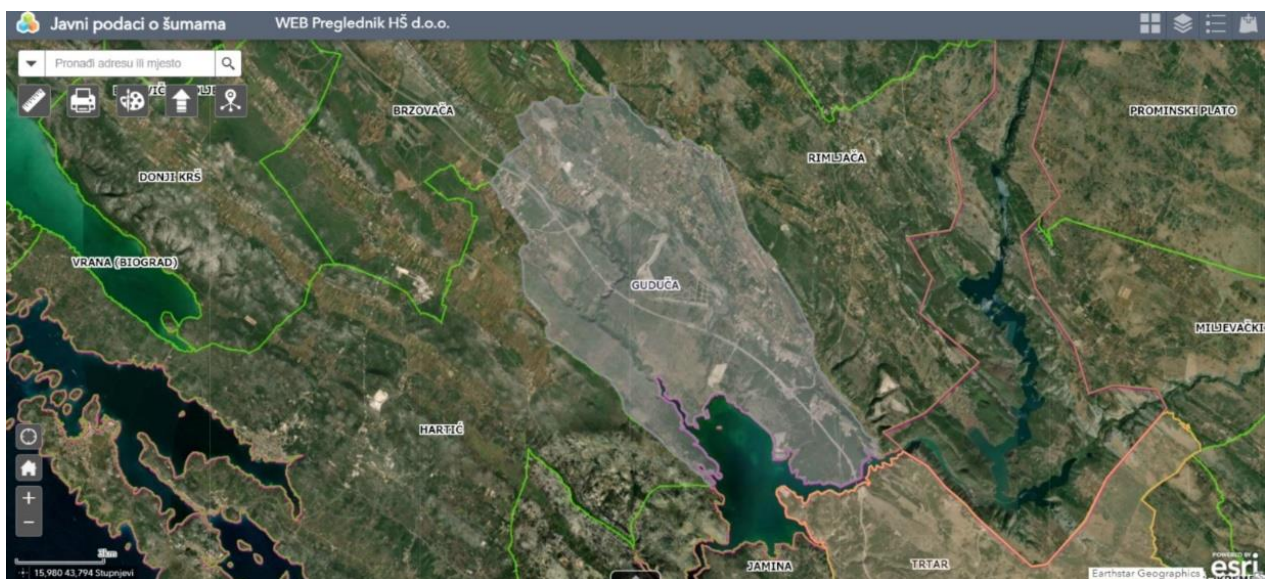
Istraživanje je obavljeno na području Gospodarske jedinice „Trtar“ i Gospodarske jedinice „Guduća“ koje se nalaze na području Uprave šuma Podružnice Split, šumarije Šibenik.

GJ „Trtar“. Na jugozapadnom dijelu granica gospodarske jedinice proteže se od uvale Vrulje pa cestom do Šibenika, te dalje cestom preko Danilo Birnja do Perkovića na istočnom dijelu gospodarske jedinice. Istočna granica ide cestom od Perkovića do Sitno Gornjeg. Sjeveroistočno graniči s šumarijom Drniš (do granice s Nacionalnim parkom „Krka“. Sjeverozapadna granica proteže se od mosta kod Skradina i ide dalje tokom rijeke Krke do uvale Vrulje. Na dijelu zapadne i sjeverne granice uz kanjon rijeke Krke graniči s Nacionalnim parkom „Krka“. Ukupna površina gospodarske jedinice „Trtar“ iznosi 6652,87 ha, a podijeljena je u 143 odjela i 257 odsjeka. Prosječna nadmorska visina u gospodarskoj jedinici kreće se od 150-360 mnv., a cijelo područje gospodarske jedinice se nalazi između 0 i 542 mnv. (Uređajni zapisnik Gospodarske jedinice „Trtar“ za razdoblje od 2019. do 2028. godine)

GJ „Guduća“. Granicu gospodarske jedinice od sjevera, sjeveroistoka do istoka predstavlja prometnica Benkovac – Skradin od mjesta Bribirske Mostine preko Vaćana do Skradina, što je ujedno i granica sa gospodarskom jedinicom Rimljača, zatim obalom rijeke Krke i Pukljanskog jezera do mjesta Raslina što je ujedno i granica s gospodarskim jedinicama Trtar i Jamina. Od Rasline granica nastavlja makadamskom prometnicom do mjesta Gaćezezi i dalje asfaltnom prometnicom do mjesta Čista Mala i Čista Velika što je ujedno i granica sa gospodarskom jedinicom Hartić, odakle dalje prema sjeveru granicu predstavlja granica katastarskih općina Čista Velika – Vukšić i Piramatovci – Ostrovica, što je i granica s gospodarskom jedinicom Brzovača (Šumarija Benkovac). Otprilike po sredini gospodarske jedinice u smjeru sjeverozapad – jugoistok prolazi autocesta A1 Zagreb – Split. Ukupna površina gospodarske jedinice „Guduća“ ima 4457,30 ha, a podijeljena je u 74 odjela i 184 odsjeka. Nadmorska visina na tom području iznosi od 0 – 215 mnv. (Uređajni zapisnik Gospodarske jedinice „Guduća“ za razdoblje od 2017. do 2026. godine)



Slika 5 Gospodarska jedinica "Trtar" (izvor: javni podaci Hrvatskih šuma d.o.o.)



Slika 6 Gospodarska jedinica "Guduća" (izvor: javni podaci Hrvatskih šuma d.o.o.)

4.2. Geološka podloga i tlo

Prema geološkoj karti Osnovne geološke karte mjerila 1:100000 sekcije Šibenik na području gospodarske jedinice „Trtar“ i gospodarske jedinice „Guduća“ dominiraju vapnenci, konglomerati, lapori i nešto dolomita i vapnenaca u izmjeni. Velika raširenost rudistnih i foraminiferskih vapnenaca, i u manjim dijelima lapora pod šumskim površinama uvjetovala je i razvoj rendzina kao najzastupljenijeg tla. Koluvijalni obronačni nanosi puni su nesortiranog grubog nezaobljenog kršja dolomita i vapnenca izmiješanog sa smeđim ilovačama i crvenicom, a zauzimaju niže i strme dijelove na prijelazu strmih obronaka u ravni teren.

U gospodarskoj jedinici „Trtar“ utvrđeno je 7 glavnih tipova tala: kamenjara, vapneno-dolomitna crnica, koluvij, sirozem, rednzina, smeđe tlo na vapnencu i dolomitu te crvenica. U odjelima koji su predmet ovog istraživanja (7b, 8b, 8f) prisutno je smeđe tlo na vapnencu i dolomitu.

U gospodarskoj jedinici „Guduća“ utvrđena su 4 glavna tipa tla: kamenjara, vapneno-dolomitna crnica, sirozem i rendzina. U odjelima koji su predmet ovog istraživanja (37a, 38b) prisutna je kamenjara.

Smeđe tlo na vapnencu i dolomitu. Javlja se isključivo na tvrdim čistim vapnencima i dolomitima koji imaju manje od 1% nerastvorivog ostatka. Maksimalna dubina tla ne prelazi na ovom području 30-40 cm. Veće prodiranje korjenovog sistema u tlo omogućeno je tamo gdje je slojanje stijena okomito ili koso. Tla su dobro drenirana zbog propusnosti vapnenca. Vrijednosti pH u pravilu se kreću od 5,5 do 6,5. Promjenjivost dubine te stjenovitost i kamenitost ovog terena ograničava mogućnost njegovog intenzivnijeg korištenja za primjenu mehanizacije kod pošumljavanja.

Kamenjara. Tla sa apsolutnom dominacijom frakcije kamena u njima. Ova tla formiraju se tamo gdje je proces mehaničkog raspadanja stijena veliki te daju kameni detritus. Akumulacija humusa je vrlo slaba. Dubina tla do 10 cm. Ekstremno su propusna za vodu te su vrlo siromašna hranjivim materijama. Minimalne su plodnosti, a šumska vegetacija može imati samo meliorativnu funkciju.

4.3. Klima

Prema Langovoj i Köppenovoj klasifikaciji klime obilježje klimatske zone u kojem se nalazi šibensko područje je mediteransko semiaridna klima. Srednja godišnja temperatura zraka iznosi 15,7 °C s amplitudom od 18,5 °C. Za rast vegetacije su važne i temperature zraka po godišnjim dobima. Najtopliji mjesec je srpanj sa srednjakom od 25,6 °C, a najhladniji siječanj sa 7,1 °C. Srednja godišnja količina oborina iznosi 808 mm, a godišnja relativna vlažnost zraka iznosi 58%. Dominantni vjetrovi su bura (sjeveroistočnjak), jugo (jugoistočnjak), maestral (sjeverozapadnjak) i levant (istočnjak).

4.4. Vegetacija

Zbog malih i apsolutnih i relativnih nadmorskih visina čitav biljni pokrov pripada sklopu mediteranske vegetacijske regije mediteransko-litoralnom vegetacijskom pojasu i to submediteranskoj vegetacijskoj zoni (Trinajstić 1986, 1998).

Uzrok degradaciji prvobitne šumske vegetacije bili su plitkoća tla i gusta naseljenost. Krajnji degradacijski stadij bili su razvijeni kamenjarski pašnjaci uslijed paše ovaca i koza te gnojidbe. Napuštanjem stočarstva i depopulacijom, čitavo je područje u posljednjih 50 godina više-manje prepušteno prirodnom razvoju elemenata šumske vegetacije. Već u razdoblju od 1965. do 1968. godine, prilikom provođenja vegetacijskog kartiranja, osim vegetacije kamenjarskih pašnjaka zapažene su velike površine dračika koji su prvi stadij u progredivnoj sukcesiji vegetacije. U njih se useljavao bijeli grab zbog kojeg sve površine obrasle šumskim elementima pripadaju asocijaciji *Quercus-Carpinetum orientalis*. To su pokazala i usporedna istraživanja vegetacije u susjednom Nacionalnom parku "Krka" provedena od 1989. do 1990. godine. Pokazalo se je da je najveći dio nekad kamenjarskih pašnjaka i dračika tada već bio obrastao sastojinama medunca i bjelog graba. To je nakon još jednog desetljeća došlo još više do izražaja.

Tablica 4 Zastupljenost šumskih zajednica u gospodarskoj jedinici "Trtar" (napomena: ukupna površina šumskih zajednica ne podudara se s obraslom površinom gospodarske jedinice jer u kulturama crnog bora, pinije, primorskog bora i alepskog bora nisu određivane šumske zajednice, kao ni u neobraslom neproizvodnom šumskom zemljištu za potrebe održavanja bioraznolikosti šumskih ekosustava i neplodnom šumskom zemljištu.)

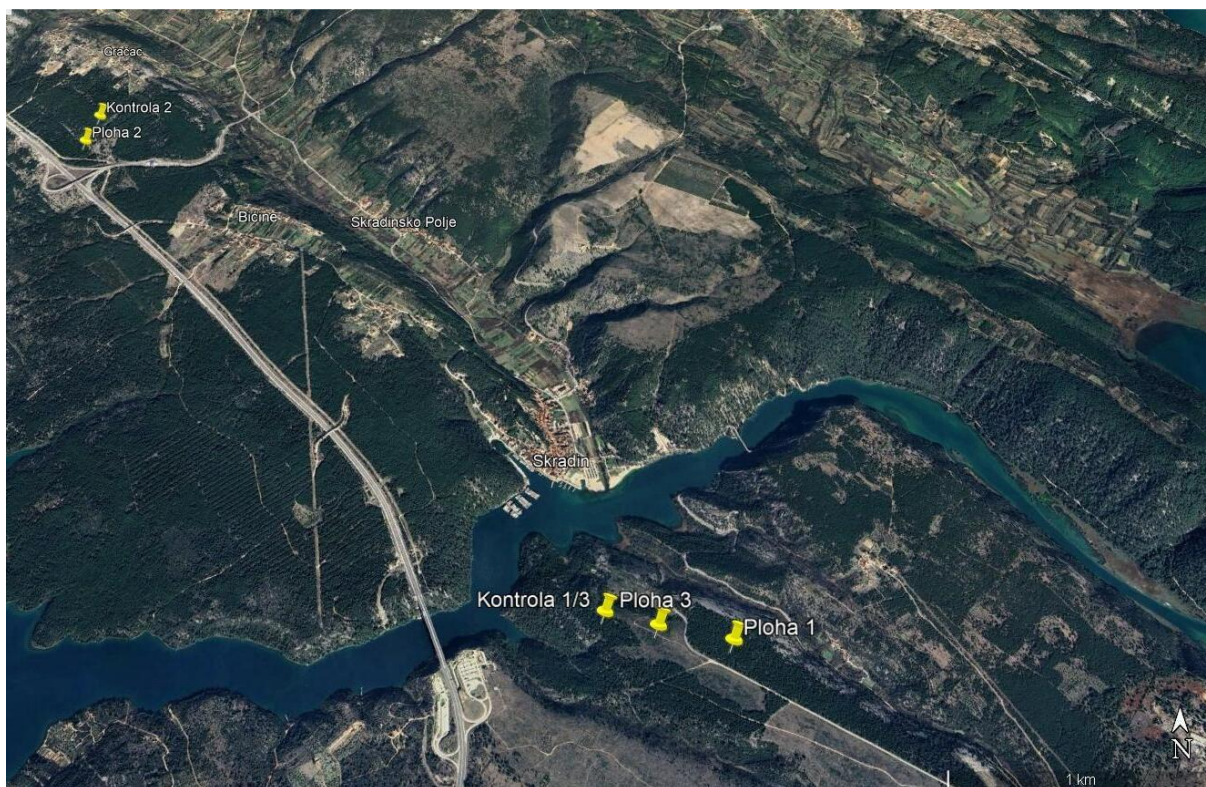
Šumske zajednice	Površina (ha)	%
<i>Quercus pubescenti-Carpinetum orientalis</i> Horvatić 1939. Šuma hrasta medunca i bijelog graba	3002,12	64,73
<i>Aristolochio luteae-Quercetum pubescentis</i> (Horvat 1959.) Poldini 2008. Mješovita šuma i šikara hrasta medunca i crnog graba s vučjom stopom	637,89	13,75
<i>Fraxino orni-Quercetum ilicis</i> Horvatić (1956.) 1958. Šuma hrasta crnike i crnoga jasena	423,94	9,14
<i>Pistacio lentisci-Pinetum halepensis</i> De Marco, Veri et Caneva 1984. Šuma alepskoga bora s tršljom	574,08	12,38
Ukupno obrasla površina	4638,03	100

Na području gospodarske jedinice „Guduća“ kao glavna i najznačajnija asocijacija opisana je šuma hrasta medunca i bijelog graba (*Quercus pubescenti-Carpinetum orientalis* Horvatić 1939.) Osim toga, na ovom području evidentirani su i sljedeći stanišni tipovi:

1. Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci (pripadaju razredu *Festuco-brometea*)
2. Primorske, termofilne šume i šikare medunca (Sveza *Ostryo-Carpinion orientalis* Ht. (1954) 1959)
3. Šume običnog i crnog bora na dolomitima (sveza *Fraxino orni-Ericion* Ht. 1958)

4.5. Prikupljanje podataka

Terensko prikupljanje podataka i istraživanje je provedeno u sastojinama alepskog bora na kojima je bio požar 1992., 2003. i 2018. godine te na dvije kontrolne plohe koje nisu bile opožarene. Zbog sličnih stanišnih uvjeta i vegetacijskog sastava izmjerena je jedna kontrolna ploha za pripadajuće plohe 1 (požar 1992.) i 3 (požar 2018.). Dakle, istraživanje je provedeno na ukupno 5 ploha.



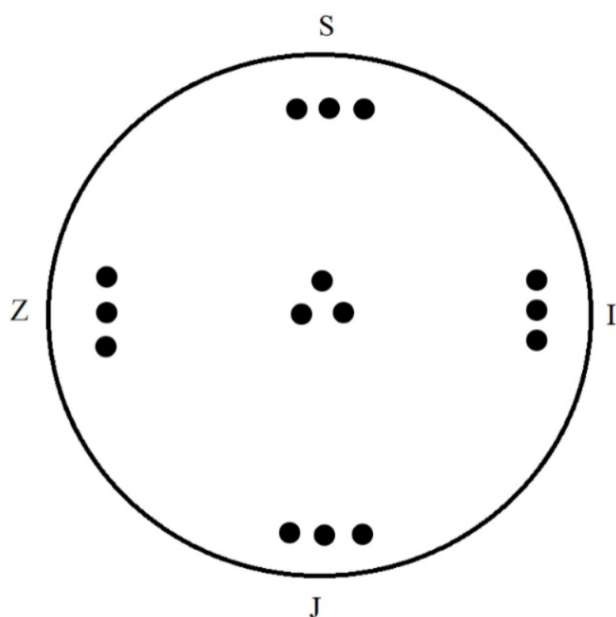
Slika 7 Prostorni položaj pokusnih ploha (izvor: Goole Earth)

Terenska izmjera izvršena je 10. i 11. srpnja 2024. godine. Postavljene su plohe površine 200m², sa pripadajućim radijusom od 7, 987m \approx 8 m. Za određivanje površine ploha korišten je Vertex. Na plohama je obavljeno mjerenje elemenata strukture sastojine (prsni promjer i visina ili broj stabala) svih stabala na površini plohe i uzorkovanje tla. Za izmjeru visina stabala korišten je Vertex, za obilježavanje izmjerenih stabala kreda, za izmjeru prsnog promjera korištena je promjerka.

Tablica 5 Opći podaci istraživanog područja

Oznaka	Godina požara	Gospodarska jedinica	Odjel/odsjek	Tip tla
PLOHA 1	1992.	Trtar	7b	smeđe tlo na vapnencu i dolomitu
PLOHA 2	2003.	Guduća	38b	kamenjar
PLOHA 3	2018.	Trtar	8b	smeđe tlo na vapnencu i dolomitu
KONTROLA 1/3		Trtar	8f	smeđe tlo na vapnencu i dolomitu
KONTROLA 2		Guduća	37a	kamenjar

Uzorci tla uzeti su sa svake plohe na njenoj sjevernoj, istočnoj, južnoj i zapadnoj strani te iz centra plohe po šabloni prikazanoj na slici 8. Uzorci su uzeti sa dubine 0-10 cm tla. Tako smo ukupno imali 25 uzoraka tla. Za uzorkovanje tla koristili smo sondu za uzimanje uzoraka tla i plastične vrećice za pohranu uzoraka. Svaki uzorak smo obilježili pripadajućom oznakom koja sadrži informacije o plohi sa koje je uzet uzorak, dubini uzorkovanja i strani svijeta sa koje je uzet uzorak na plohi.



Slika 8 Shematski prikaz prikupljanja uzoraka tla na pokusnoj plohi

„PLOHA 1“ dio je odsjeka 7b gospodarske jedinice „Trtar“. To je sastojina koja je zahvaćena požarom 1992. godine. U tom su odsjeku u razdoblju od 2009. do 2018. provedeni radovi čišćenja. To je sastojina III. Dobnog razreda. Izmjeren je 21 prsni promjer i 5 visina. Uzorkovano je 5 uzoraka tla.

„PLOHA 2“ dio je odsjeka 38b gospodarske jedinice „Guduća“. Ta sastojina je zahvaćena požarom 2003. godine, spada u sastojinu II. dobnog razreda. Propisan je rad prorjeđivanja sastojina do trećine ophodnje. Izmjereni su prsni promjeri za 51 stablo i visine za 5 stabala. Uzorkovano je 5 uzoraka tla

„PLOHA 3“ dio je odsjeka 8b gospodarske jedinice „Trtar“ zahvaćenog požarom 2018. godine. Ova sastojina je prije požara bila dio odsjeka 8a, a nakon požara je izdvojena. Sastojina je I. dobnog razreda. 134 stabla su svrstana u visinske kategorije 0,5m, 1m, 1,5m, 2m. Uzorkovano je 5 uzoraka tla.

Ploha „KONTROLA 1/3“ postavljena je u GJ „Trtar“ u odsjeku 8f, u sastojini koja nije bila zahvaćena požarom. To je sastojina V. dobnog razreda. Izmjeren je 16 prsni promjera i 5 visina stabala. Uzorkovano je 5 uzoraka tla.

Ploha „KONTROLA 2“ dio je odsjeka 37a GJ „Guduća“. Ploha nije bila zahvaćena požarom. Pripada uređajnom razredu kultura alepskog bora, sastojina je III. Dobnog razreda. Izmjereni su 43 prsni promjera i 5 visina stabala. Uzorkovano je 5 uzoraka tla.



Slika 9 Izgled sastojina alepskog bora na pokusnim plohama gdje su: a) Ploha 1 (požar 1992.), b) Ploha 2 (požar 2003.), c) Ploha 3 (požar 2018.), d) Kontrola 1/3, e) Kontrola 2



Stanje 1967. godine



Stanje 2011. godine



Stanje 2017. godine

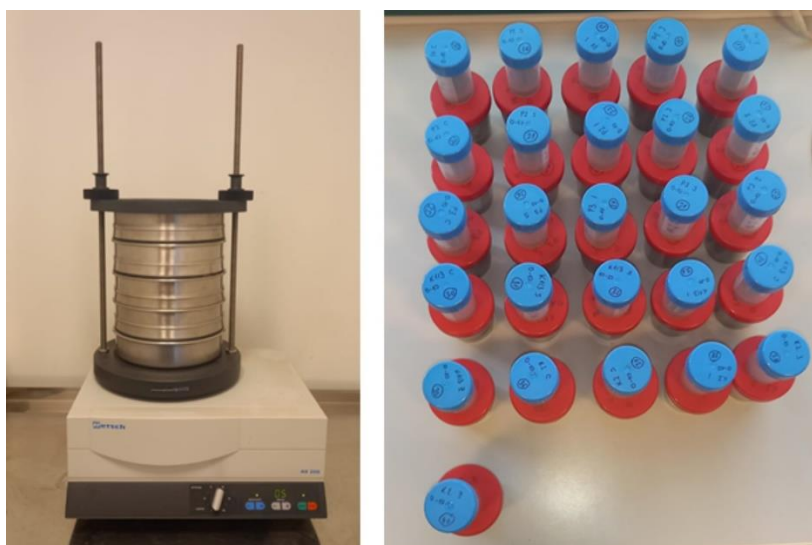


Stanje 2023. godine

4.6. Analiza i obrada podataka

4.6.1. Analiza uzoraka tla

Prvi korak prije analize fizičko-kemijskih svojstava tla je sušenje uzoraka tla. S obzirom na to da je uzorkovanje obavljeno u prvoj polovici srpnja tlo je već bilo izrazito suho i izdrobljeno. Svih 25 uzoraka s pripadajućim laboratorijskim brojem i oznakom smo prvo izvagali laboratorijskom vagom s točnošću očitavanja 0,001 g. Sljedeći korak je bilo suho prosijavanje uzoraka tla pomoću tresilice i sita za prosijavanje za frakcije >8 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm. Zatim smo izvagali masu svih pojedinačnih frakcija svakog uzorka tla. Sve frakcije veće od 1mm više nam nisu bile potrebne, a frakciju od 1 mm smo dodatno prosijali kroz sita 0,2 mm i 0,1 mm.



Slika 10 Lijevo: tresilica za sita s pripadajućim sitima za prosijavanje, desno: prosijani uzorci s pripadajućim oznakama i laboratorijskim brojevima

4.6.2. Određivanje reakcije tla

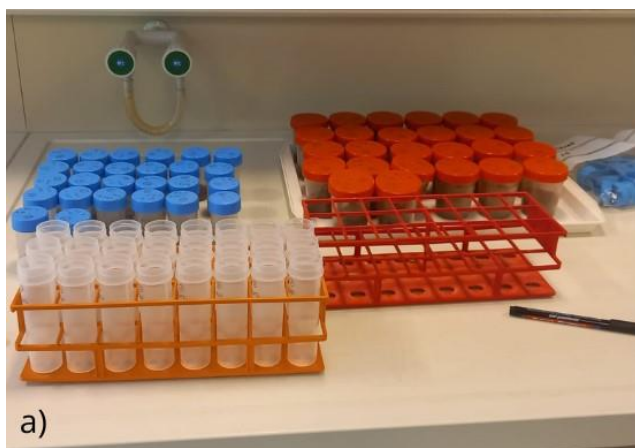
Za određivanje pH vrijednosti svakog uzorka potrebne su nam dvije suspenzije: suspenzija uzorka tla i deionizirane vode te suspenzija uzorka tla i otopine CaCl_2 . U kivetu se uzme uzorak tla volumena 5ml i prelije se sa pet puta većim volumenom vode, odnosno otopine CaCl_2 . Suspenziju dobivenu u kiveti mućka se pet minuta u mućkalici. Nakon mućkanja suspenzija s tlom stoji najmanje dva sata prije mjerenja pH vrijednosti.

Prije početka analize potrebno je obaviti kalibraciju pH-metra pomoću najmanje dvije puferske otopine, koristili smo prethodno pripravljene puferske otopine pH 4 i pH 7. Neposredno prije mjerenja kivetu sa suspenzijom tla potrebno je protresti, pričekati da se tlo istaloži i konačno uroniti u elektrodu pH-metra. Kada se pH vrijednost stabilizira, očitamo ju s monitora pH-metra. Rezultati mjerenja iskazuju se na dvije decimale. Prema izmjerenoj pH vrijednosti tlo se svrstava u odgovarajuću klasu.

Tablica 6 Klasifikacija tla s obzirom na vrijednost pH izmjerenu u suspenziji tla u H₂O prema Gračaninu i Ilijaniću (1977), i suspenziji tla u otopini CaCl₂ prema Schefferu i Schachtschabelu

pH (H ₂ O)	ocjena
<4,0	vrlo jako kiselo
4,0-5,0	jako kiselo
5,0-6,0	osrednje kiselo
6,0-6,5	slabo kiselo
6,5-6,9	vrlo slabo kiselo
oko 7,0	neutralno
7,1-7,5	vrlo slabo alkalno
7,5-8,0	slabo alkalno
8,0-9,0	osrednje alkalno
9,0-11,0	jako alkalno
>11,0	vrlo jako alkalno

pH (CaCl ₂)	ocjena
<3,0	ekstremno kiselo
3,0-3,9	vrlo jako kiselo
4,0-4,9	jako kiselo
5,0-5,9	osrednje kiselo
6,0-6,9	slabo kiselo
7	neutralno
7,1-8,0	slabo alkalno
8,1-9,0	osrednje alkalno
9,1-10,0	jako alkalno
10,1-11,0	vrlo jako alkalno
>11,0	ekstremno alkalno



Slika 11 a,b) priprema uzoraka, c) mućkalica, d) mjerenje pH vrijednosti pH-metrom

4.6.3. Određivanje udjela karbonata u tlu i udjela vode u tlu

Udjel karbonata u tlu izražava se kao ekvivalent koncentracije kalcijevog karbonata (CaCO_3) i hidrogenkarbonata bikarbonata koji su prisutni u uzorku tla. Karbonati se javljaju u obliku kalcita i aragonita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), siderita (FeCO_3) i rodohrozita (MnCO_3).

Uzorku tla dodaje se klorovodična kiselina (HCl) kako bi otopila karbonate. Volumen CO_2 oslobođen prilikom reakcije HCl s uzorkom tla mjeri se Scheibler-ovim kalcimetrom, a zatim se uspoređuje s volumenom CO_2 oslobođenim prilikom reakcije s čistim CaCO_3 .

Reagensi:

1. Deionizirana voda
2. Klorovodična kiselina, $c(\text{HCl}) = 4 \text{ mol/dm}^3$
3. Kalcijev karbonat (CaCO_3)

Uređaji i pribor:

1. Satno stakalce
2. Analitička vaga s točnošću očitavanja 0,0001 g
3. Erlenmeyerove tikvice volumena 150 ml ili više
4. Male epruvete koje mogu stati u Erlenmeyerovu tikvicu
5. Hvataljka otporna na kiselinu
6. Kalcimetar

U početku se izvrši preliminarni kvalitativni test s ciljem utvrđivanja postojanja karbonata u uzorku tla. Na satno stakalce stavi se uzorak tla i pomoću kapalice se prelije klorovodičnom kiselinom (HCl). Ako u uzorku tla ima karbonata, dolazi do reakcije pri kojoj se oslobađa CO_2 , što se manifestira pojavom mjehurića plina uz šum. Temeljem duljine i intenziteta reakcije procjenjuje se količina uzorka za analizu. Ako je utvrđeno da u uzorku tla ima karbonata, onda se njihov udjel određuje volumetrijski na kalcimetru.

Tablica 7 Odnos intenziteta reakcije, procijenjenog udjela karbonata i količina uzorka tla koja se uzima za analizu

Intenzitet reakcije	Udjel karbonata (g/kg)	Masa uzorka tla za analizu (g)
Nema reakcije ili je vrlo slaba	<20	10
Ima reakcije, ali kratko traje	20-80	5
Jaka reakcija, dugo traje	80-160	2,5
Vrlo jaka reakcija koja dugo traje	>160	≤ 1

Na temelju reakcije na satnom stakalcu odvagnu se količine uzoraka potrebne za analizu. Uzorci se stave u Erlenmeyerove tikvice i preliju sa 20 ml deionizirane vode. Zatim se u tikvice hvataljkom umetnu epruvete s po 7 ml HCl, pazeći da HCl iz epruvete ne dođe u dodir s uzorkom u tikvici. Tikvice se stave na kalcimetar i začepu. Deionizirana voda u biletama kalcimetra mora biti podešena na 0 ml, a ručica ventila na vrhu kalcimetra u horizontalnom položaju (položaj za mjerenje – zatvoren sustav).

Naginjanjem i laganim mućkanjem Erlenmeyerove tikvice, HCl iz epruvete dolazi u dodir s uzorkom tla i započinje kemijska reakcija. Oslobođeni CO₂ potiskuje razinu vode u bireti i podiže razinu vode u kompenzacijskoj posudi. Potrebno je spuštanjem kompenzacijske posude pratiti razinu vode u bireti. Razlika između vode u bireti i vode u kompenzacijskoj posudi ne smije biti veća od 3 ml. Erlenmeyerovu tikvicu treba lagano mućkati pet minuta dok se razina vode u bireti ne ustabili. Kada se razina vode u bireti ustabili, očita se volumen oslobođenog CO₂ (ml).



Slika 1 Lijevo: analitička vaga, desno: kalcimetar

Prilikom određivanja udjela vode u tlu koristili smo keramičke posudice, analitičku vagu s točnošću očitavanja na 0,0001 g te eksikator. Nakon određivanja mase praznih posudica, izvagali smo po 10 g svakog uzorka. Uzorke smo stavili sušiti na temperaturu 105 °C na 24 sata. Nakon 24 sata, uzorci su ponovno izvagani.



Slika 13 Uzorci tla u eksikatoru nakon sušenja na 105 °C

5. REZULTATI

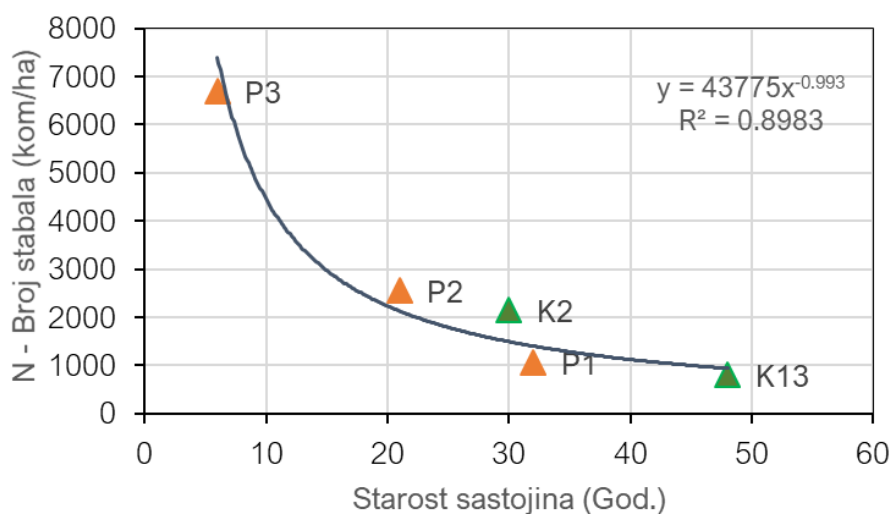
5.1. Strukturna obilježja sastojina

Sve istraživane sastojine su nastale pošumljavanjem na golim dalmatinskim kamenjarama. Sastojine su monotipske (čiste), jednodobne s dominacijom alepskoga bora (*Pinus halepensis*). Istraživane sastojine možemo podijeliti u dvije grupe i to: P1, P3 i K1-3 koje se nalaze na smeđem tlu na vapnencu i dolomitu te sastojine koje se nalaze na golim kamenjarima P2 i K2. Plohe s oznakom P su zahvaćene požarima, a plohe s oznakom K su kontrolne, dakle sastojine koje recentno (zadnjih 40 godina) nisu bile zahvaćene požarima.

Gustoća istraživanih sastojina (broj stabala) je izrazito varijabilna. Kreće se u rasponu od 800 do 6700 kom/ha. Naravno da je broj stabala usko vezan s dobi sastojine pa starije sastojine imaju manji broj stabala kao što je kontrolna ploha K1-3 800 kom/ha. Ploha P3 ima najveći broj stabala i to 6700 kom/ha jer je najmlađa, sastojina je umjetno obnovljena 2019. godina dakle njena starost iznosi 5. godina.

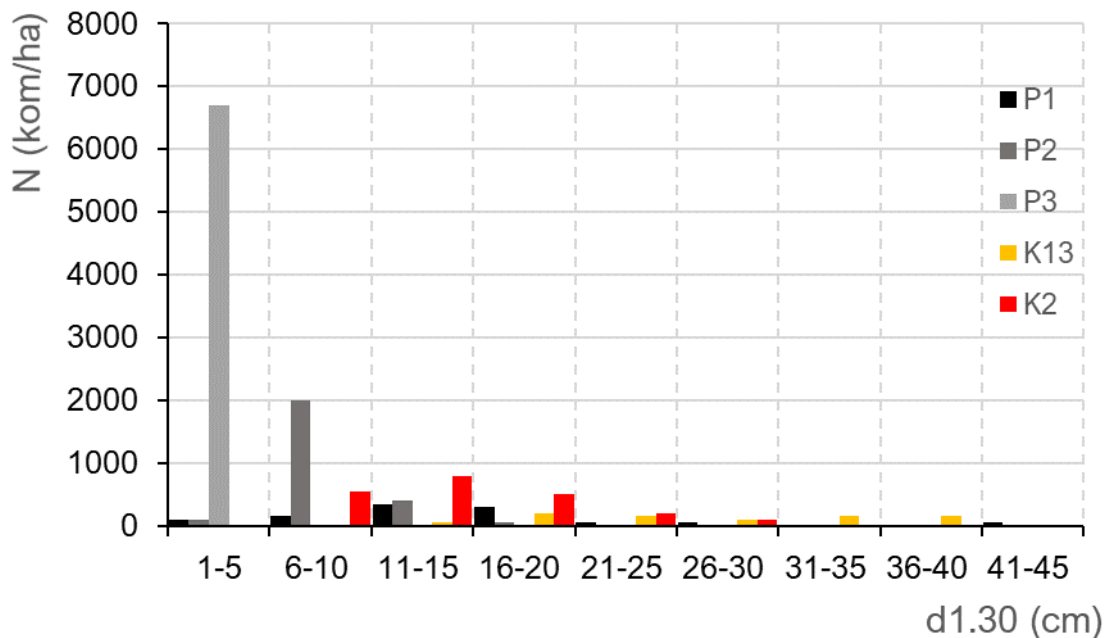
Tablica 8 Broj stabala (kom/ha) prema istraživanim ploham i debljinskim razredima d1.30 (cm). Žutom bojom su označene opožarene plohe.

d1.30 (cm)	P1	P2	P3	K1-3	K2
1-5	100	100	6700		
6-10	150	2000			550
11-15	350	400		50	800
16-20	300	50		200	500
21-25	50			150	200
26-30	50			100	100
31-35				150	
36-40				150	
41-45	50				
Ukupno (kom/ha)	1050	2550	6700	800	2150



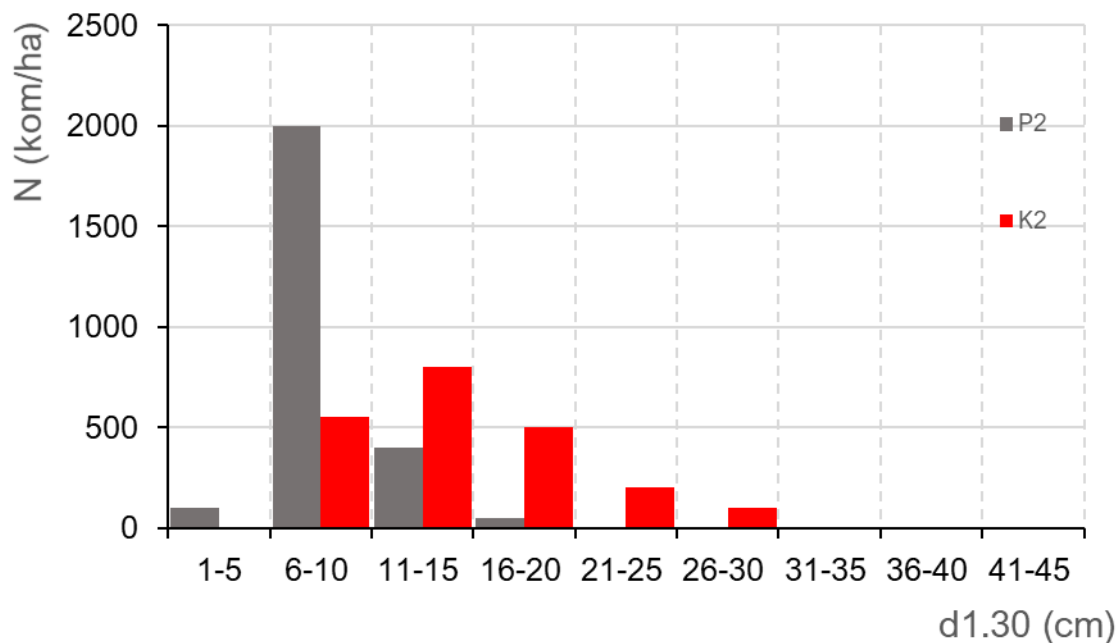
Slika 14 Ovisnost gustoće sastojina o starosti za istraživane plohe

Razdioba broja stabala po debljinskim stupnjevima za sve istraživane sastojine ukazuje na unimodalni oblik distribucije. Opseg prsnih promjera kreće se od 3 do 30 cm za P1, od 3 do 20 cm za P2 dok na kontrolnim plohama od 15 do 40 cm K1-3 i od 10 do 30 cm na K2.



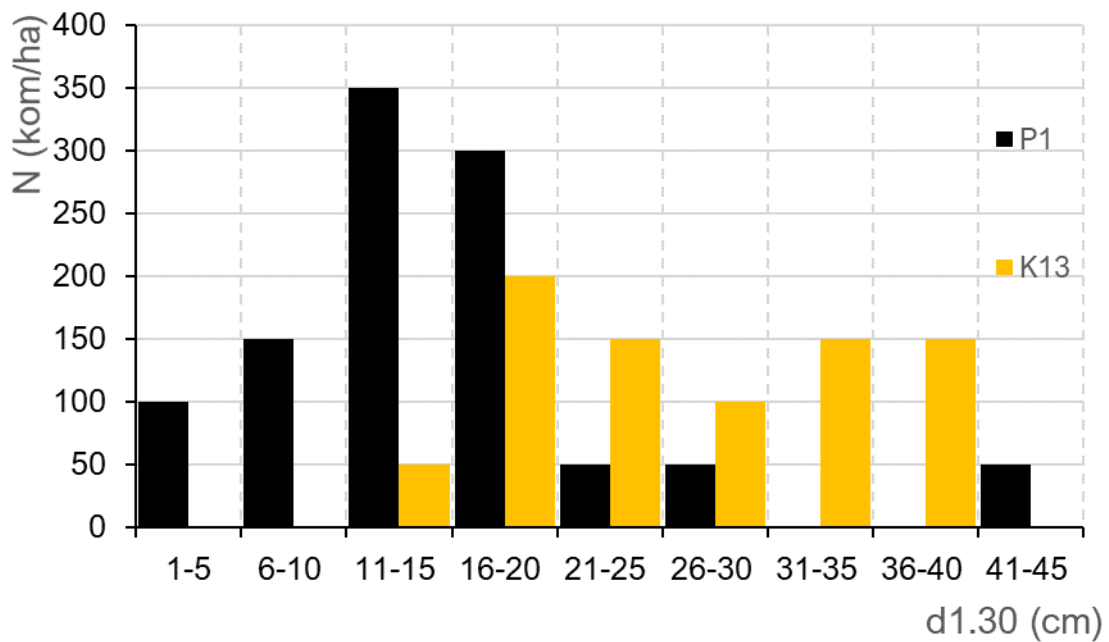
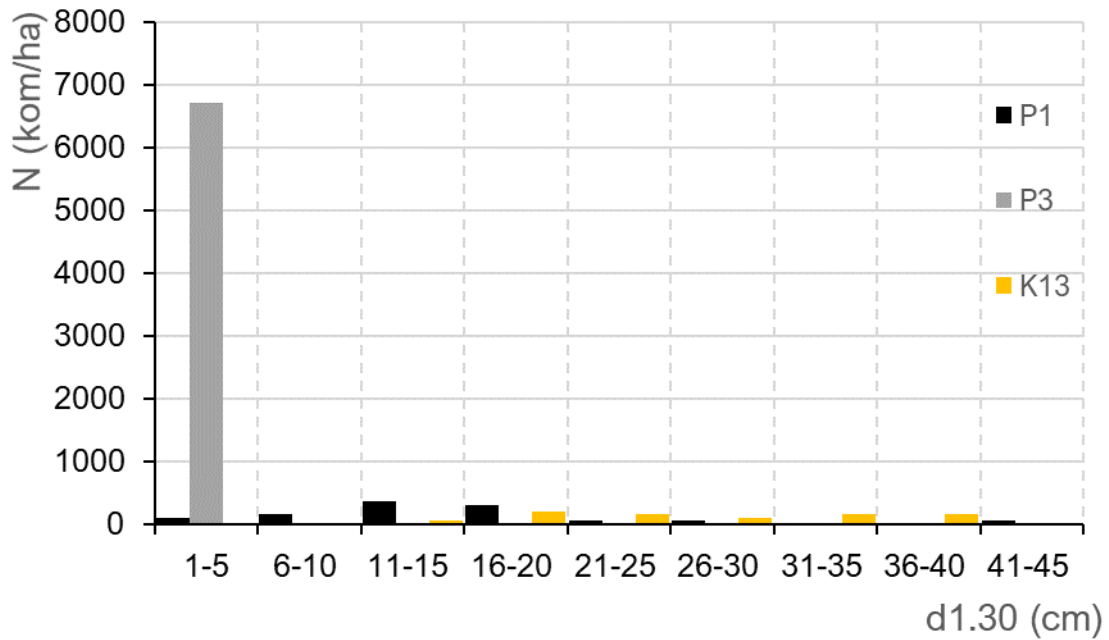
Slika 15 Distribucija broja stabala po debljinskim razredima za istraživane plohe

Ako usporedimo oblike distribucija prsnih promjera po debljinskim razredima sukladno tipu tla (smeđe tlo i kamenjare) tada vidimo da su maksimalni promjeri na kamenjarama značajno manji nego na smeđem tlu i dosežu maksimalno 30 cm za V dobni razred.



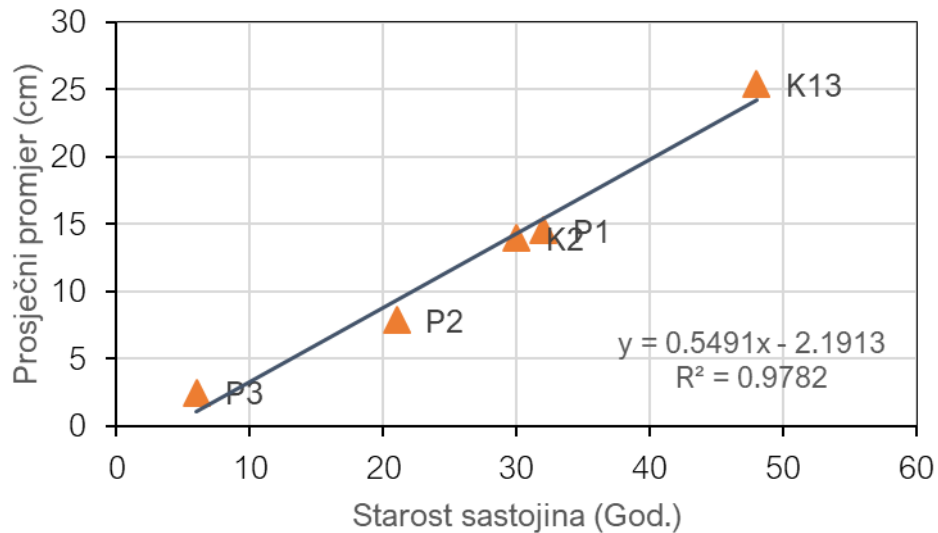
Slika 16 Distribucija broja stabala po debljinskim razredima za plohe na kamenjari

Distribucije prsnih promjera na smeđem tlu na vapnencu i dolomitu su svojim oblikom jednake (unimodalne) kao i na kamenjarama, ali su širine prsnih promjera značajno veće (Slika 17).

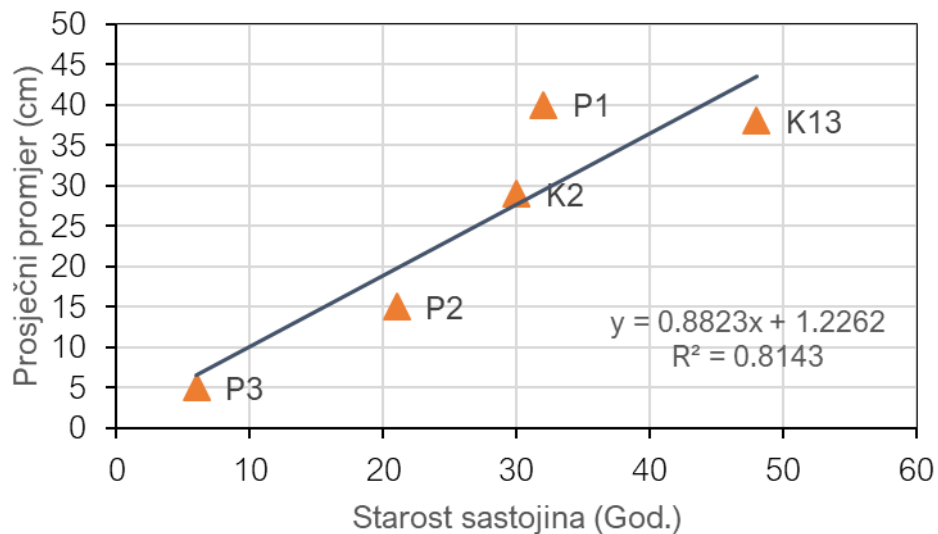


Slika 17 Distribucija broja stabala po debljinskim razredima za plohe na smeđem tlu. Donja slika predstavlja uvećani pogled za plohe P1 i K1-3 da bi se jasnije prikazale sličnosti i razlike između ove dvije sastojine.

Bez obzira na sve i dalje u svim sastojinama uočavamo širok raspon prsnih promjera iako se radi o gotovo pa podjednakim starostima stabala na svakoj pojedinoj istraživanoj sastojini. Razloge tome naravno osim u kvaliteti staništa mogu se pripisati i izostanku provođenja šumskouzgojnih zahvata njege sastojina gdje se ponajprije treba voditi računa o ujednačavanju strukture sastojina prilagođenom ekologiji alepskog bora.



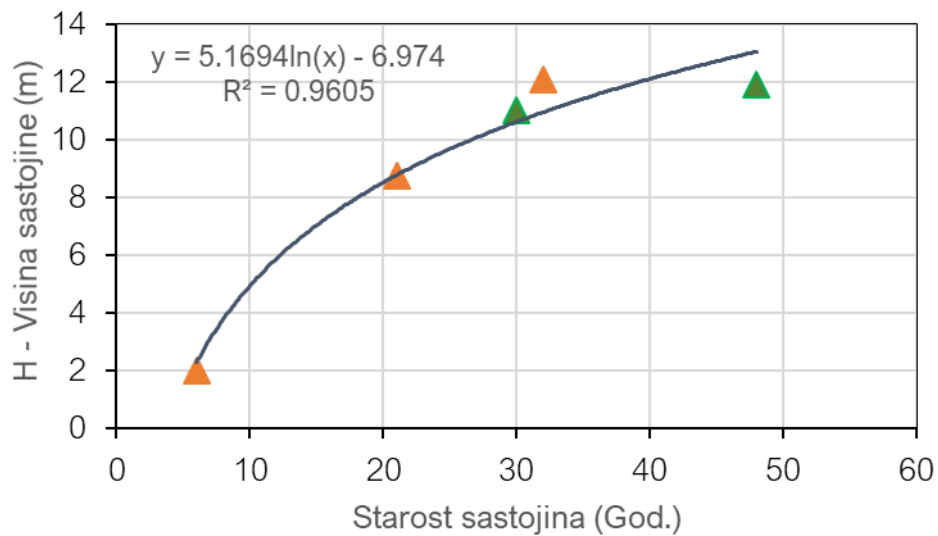
Slika 17 Ovisnost prosječnog promjera (cm) o starosti sastojine



Slika 18 Ovisnost maksimalno prosječnog prsnog promjera (cm) o starosti sastojine

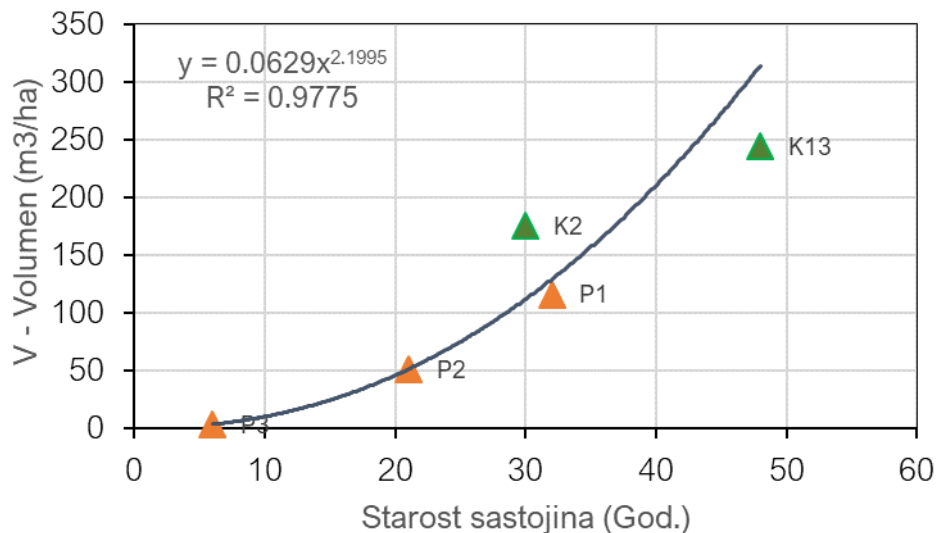
Produktivnost sastojina također ovisi o starosti, ali i uvjetima kvalitete staništa. Prosječni promjer raste sa starosti sastojine, ali vidimo da na istraživanom području u 50. godini starosti on iznosi svega 25 cm. To ukazuje na izrazito teške stanišne prilike, ali i ponovno na izostanak adekvatnih uzgojnih zahvata. To je najbolje vidljivo na maksimalnim vrijednostima promjera koje dosežu i do 40 cm (Slika 18).

Za razliku od promjera, visine najbolje indiciraju produktivnost staništa. Maksimalne visine iznose do 12 m što je relativno nisko posebice za kontrolne plohe koje su dobi oko 50 godina (slika 19).



Slika 19 Ovisnost maksimalnih visina o starosti sastojine

Maksimalna produktivnost gledana kroz volumen istraživanih sastojina iznosi do 250 m³/ha za starost od 50 godina. Ovakva produktivnost s obzirom na visine je neočekivano velika ali se uglavnom može pripisati velikoj gustoći stabala u istraživanim sastojinama. Ovisnost volumena je prikazana na Slici 20.



Slika 20 Ovisnost volumena (m³/ha) o starosti istraživanih sastojina

5.2. Analiza svojstava tala

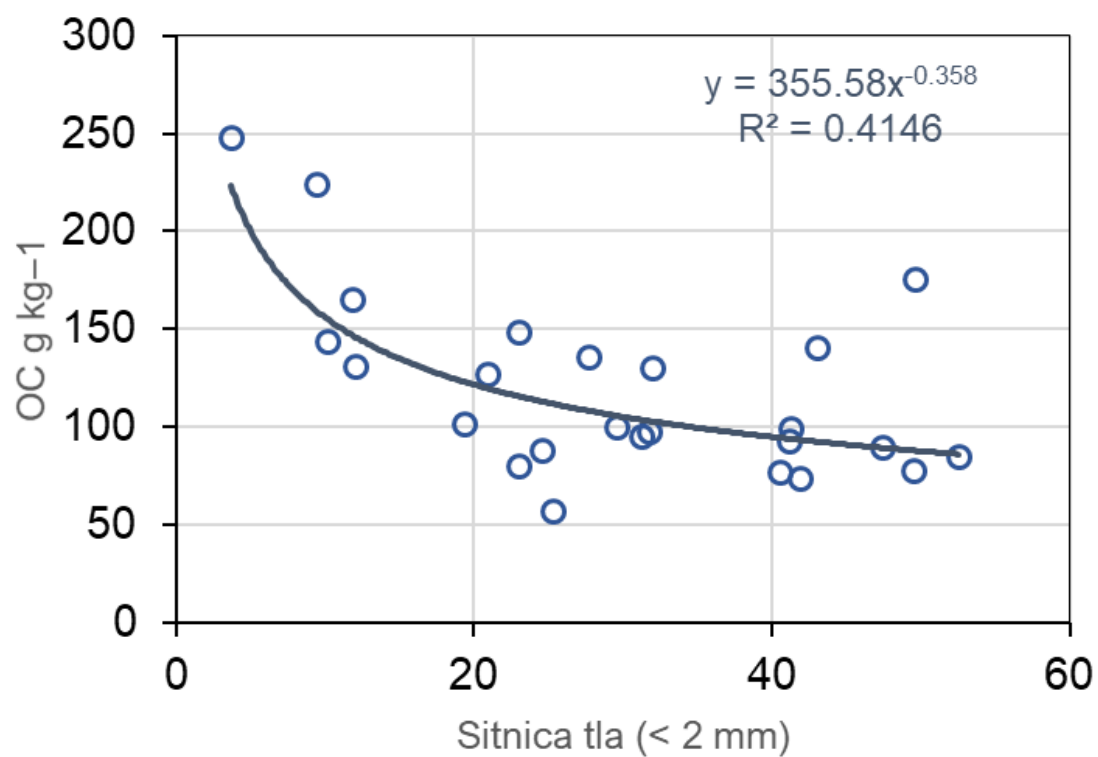
5.2.1. Analiza skeletnosti i sitnice tla

Krš zauzima oko 45% ukupne površine Republike Hrvatske. Specifičnost krša je njegov mehanički sastav koji ukazuje na kamenitost tala, skeletoidna tla sadrže do 50% kamenog materijala, a skeletna sadrže preko 50% kamenog materijala. Sve frakcije koje prosijavanjem uzorka tla kroz mrežu 2 x 2 mm ostaju na situ nazivaju se skelet, a sve frakcije koje se prosiju kroz takvo sito nazivaju se sitnica tla. Istraživana tla nastala na vapnencima su izrazito skeletna s udjelom skeleta u uzorku od 47,46% do 96,33%.

Tablica 9 Rezultati analize skeletnosti tala po pokusnim ploham

Oznaka uzorka	Uzorak	Položaj	SKELET > 8 mm	SKELET 8 mm	SKELET 4 mm	SITNICA 2 mm	SITNICA1 mm	SKELET > 2mm	SITNICA < 2mm
P1 C	P1	C	47.69	10.96	9.32	14.11	17.91	67.98	32.02
P1 S	P1	S	58.92	7.33	6.00	8.51	19.24	72.25	27.75
P1 I	P1	I	52.01	8.50	7.72	12.48	19.29	68.23	31.77
P1 J	P1	J	49.77	8.09	12.49	14.34	15.31	70.35	29.65
P1 Z	P1	Z	55.81	6.67	6.19	9.90	21.42	68.67	31.33
P2 C	P2	C	85.10	9.17	2.06	1.19	2.48	96.33	3.67
P2 S	P2	S	48.60	17.92	12.58	9.39	11.51	79.11	20.89
P2 I	P2	I	64.66	14.89	8.44	5.80	6.22	87.99	12.01
P2 J	P2	J	73.62	9.88	6.31	4.75	5.44	89.81	10.19
P2 Z	P2	Z	61.90	17.71	8.52	5.39	6.48	88.14	11.86
P3 C	P3	C	30.75	7.08	9.63	19.06	33.49	47.46	52.54
P3 S	P3	S	42.95	9.81	5.92	9.43	31.89	58.69	41.31
P3 I	P3	I	37.67	12.48	9.32	9.65	30.89	59.46	40.54
P3 J	P3	J	52.84	12.15	9.70	11.13	14.17	74.70	25.30
P3 Z	P3	Z	35.08	13.32	8.53	11.98	31.09	56.93	43.07
K 1-3 C	K1-3	C	12.04	16.13	29.92	20.47	21.45	58.08	41.92
K 1-3 S	K1-3	S	8.15	16.34	25.96	21.36	28.19	50.45	49.55
K 1-3 I	K1-3	I	10.63	17.67	22.02	18.47	31.21	50.32	49.68
K 1-3 J	K1-3	J	23.78	6.07	22.70	22.99	24.47	52.54	47.46
K 1-3 Z	K1-3	Z	12.70	20.18	25.87	19.80	21.45	58.75	41.25
K2 C	K2	C	43.36	16.34	15.69	9.74	14.87	75.39	24.61
K2 S	K2	S	46.20	14.55	16.22	10.59	12.43	76.98	23.02
K2 I	K2	I	56.35	11.00	13.30	8.39	10.96	80.65	19.35
K2 J	K2	J	81.72	5.21	3.62	2.74	6.71	90.55	9.45
K2 Z	K2	Z	41.05	18.32	17.61	11.22	11.79	76.99	23.01

Maseni sadržaj ugljika u tlu ovisi o skeletnosti tla. Visok udio skeleta u istraživanim tlima predstavlja otegotnu okolnost prilikom izračuna vrijednosti sadržaja ugljika u tlu.



Slika 21 Ovisnost skeletnost tla o sadržaju ugljika u tlu (t/ha). Primjer sitnica <math><2\text{ mm}</math>.

5.2.2. Analiza pH, karbonata, ugljika i dušika

pH vrijednosti suspenzija uzoraka tla i deionizirane vode kreću u rasponu od 7,33 do 8,30 (vrlo slabo alkalno do osrednje alkalno), dok se pH vrijednosti suspenzija uzoraka tla i otopine CaCl₂ kreću u rasponu od 6,73 do 7,54 (slabo kiselo do slabo alkalno).

Udjel karbonata CaCO₃ kreće se u rasponu od 3,7 g/kg do 261,8 g/kg, s pripadajućim rasponom od niske do visoke ocjene udjela karbonata u tlu.

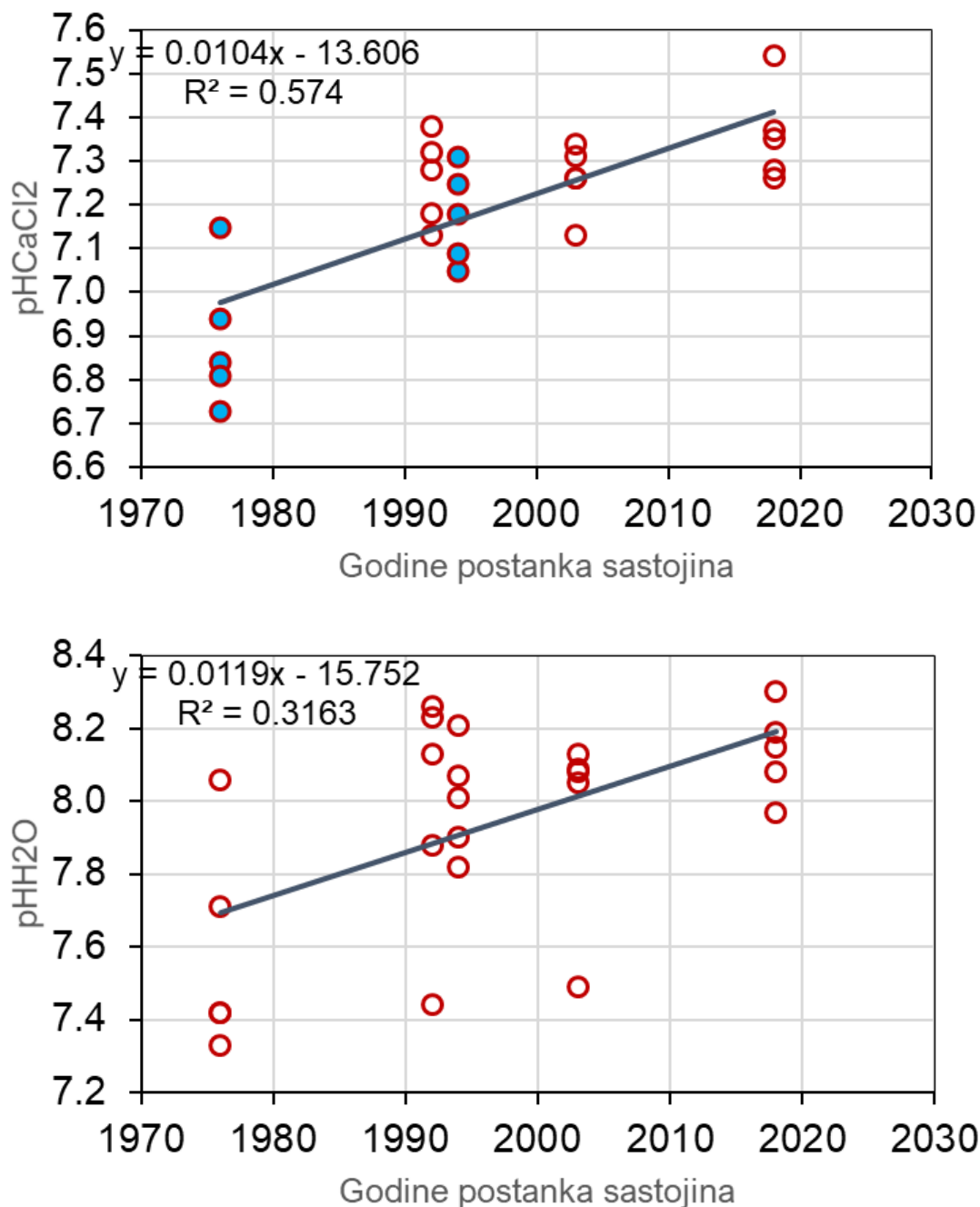
Udjel organskog ugljika u tlu, odnosno humusa u analiziranim uzorcima kreće se u rasponu od 5,64% do 24,81%, dok udjel ukupnog dušika iznosi od 0,39% do 1,41%. Odnos ugljika i dušika u tlu kreće se u rasponu od 12:1 do 22:1.

Tablica 10 Rezultati analize pH vrijednosti, karbonata, ugljika i dušika prema pokusnim ploham

Oznaka uzorka	pHH ₂ O	pHCaCl ₂	CaCO ₃ g kg ⁻¹	CaCO ₃ (%)	OC g kg ⁻¹	OC (%)	Nuk g kg ⁻¹	Nuk (%)	C:N
P1 C	8.13	7.32	13.2	1.3	130.1	13.01	8.50	0.85	15
P1 S	7.88	7.13	10.7	1.1	135.7	13.57	8.50	0.85	16
P1 I	8.23	7.18	12.7	1.3	97.2	9.72	6.60	0.66	15
P1 J	7.44	7.28	14.9	1.5	100.0	10.00	6.80	0.68	15
P1 Z	8.26	7.38	12.6	1.3	94.7	9.47	7.00	0.7	14
P2 C	7.49	7.13	260.5	26.1	248.1	24.81	14.10	1.41	18
P2 S	8.09	7.34	115.8	11.6	126.7	12.67	7.30	0.73	17
P2 I	8.05	7.26	214.4	21.4	130.7	13.07	8.30	0.83	16
P2 J	8.13	7.31	178.2	17.8	143.6	14.36	8.20	0.82	18
P2 Z	8.08	7.26	256.5	25.6	164.7	16.47	9.10	0.91	18
P3 C	8.30	7.28	11.1	1.1	84.3	8.43	6.60	0.66	13
P3 S	8.08	7.35	21.3	2.1	98.7	9.87	6.80	0.68	15
P3 I	8.19	7.54		26.2	77.0	7.70	6.50	0.65	12
P3 J	7.97	7.26	25.9	2.6	56.4	5.64	3.90	0.39	14
P3 Z	8.15	7.37	42.0	4.2	140.0	14.00	10.10	1.01	14
K 1-3 C	7.71	6.94	8.4	0.8	73.1	7.31	4.50	0.45	16
K 1-3 S	8.06	7.15	6.5	0.7	77.3	7.73	5.20	0.52	15
K 1-3 I	7.33	6.84	6.4	0.6	175.2	17.52	9.50	0.95	18
K 1-3 J	7.42	6.81	6.9	0.7	89.1	8.91	6.30	0.63	14
K 1-3 Z	7.42	6.73	3.7	0.4	92.2	9.22	5.90	0.59	16
K2 C	8.01	7.05	19.6	2.0	88.2	8.82	4.40	0.44	20
K2 S	8.07	7.18	23.8	2.4	79.9	7.99	4.10	0.41	19
K2 I	8.21	7.25	30.8	3.1	101.5	10.15	5.30	0.53	19
K2 J	7.82	7.09	82.5	8.2	223.7	22.37	10.30	1.03	22
K2 Z	7.90	7.31	37.9	3.8	148.4	14.84	7.30	0.73	20

5.2.3. Analiza utjecaj starosti sastoji ili godine postanka na pH vrijednost tla.

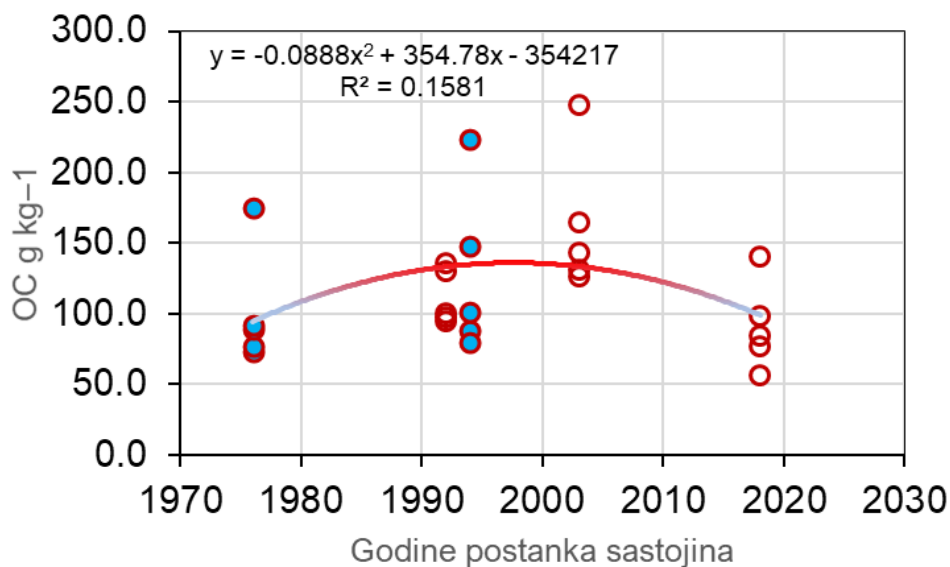
Ustanovljena je ovisnost prosječne vrijednosti pH tla o starosti sastojina ili o godini postanka ako promatramo sve uzorke zajedno. Ako pogledamo prema stanišnim tipovima: smeđe tlo na vapnencu i dolomitu onda uočavamo da kontrolna ploha K1-3 ima najmanju vrijednost pH i to od 6,89 dok ploha koja je gorila 2018. godine ima najveći vrijednost od 7,36. Slični odnosi su utvrđeni i za plohe na kamenjari.



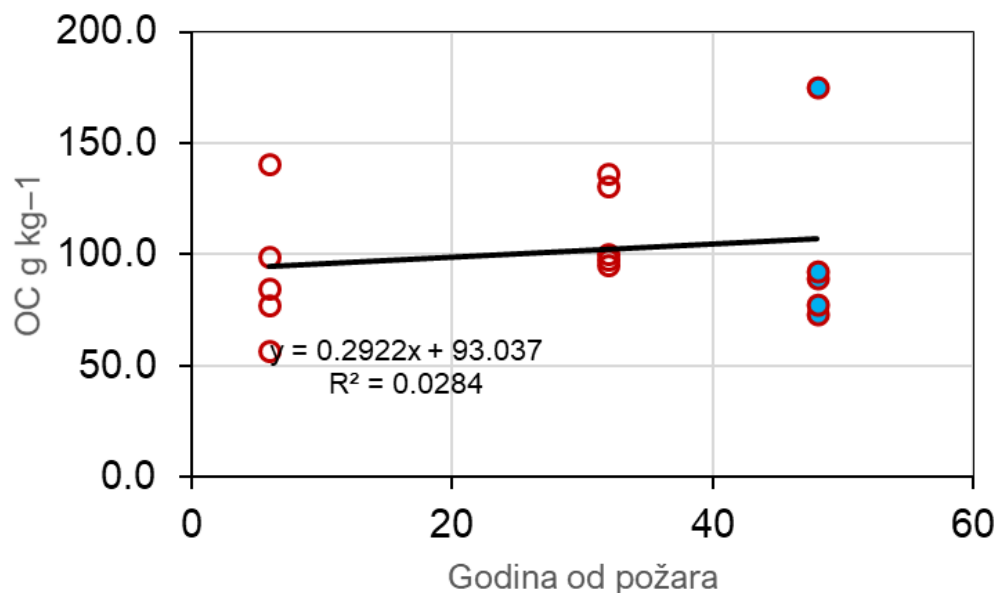
Slika 22 Ovisnost pH tla o godini postanka sastojine za sve plohe zajedno. Plavom bojom su označene kontrolne plohe.

5.2.4. Analiza stanja ugljika

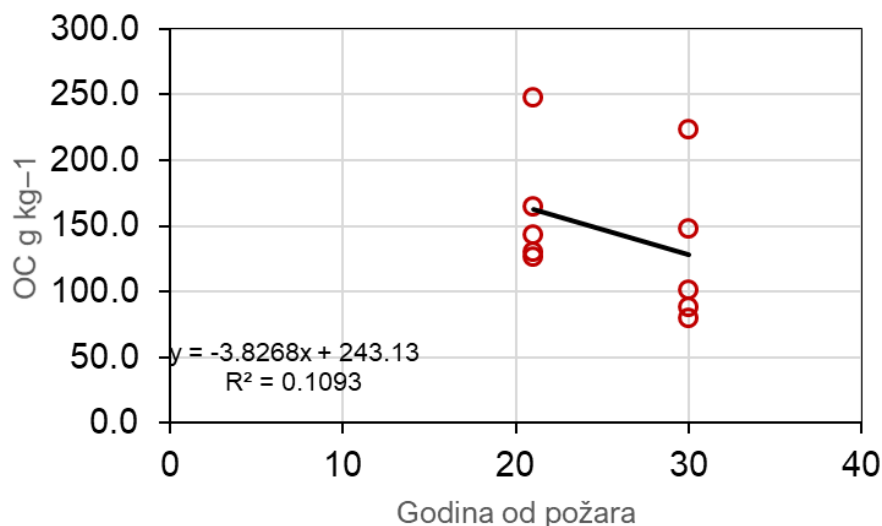
Količina organskog ugljika na opožarenim plohama kreće se u rasponu od 56,4 do 248,1 g/kg, dok je količina ugljika na kontrolnim plohama u rasponu od 73,1 do 223,7 g/kg.



Slika 23 Ovisnost količine ugljika (t/ha) o godini postanka sastojine za sve plohe zajedno. Plavom bojom su označene kontrolne plohe.



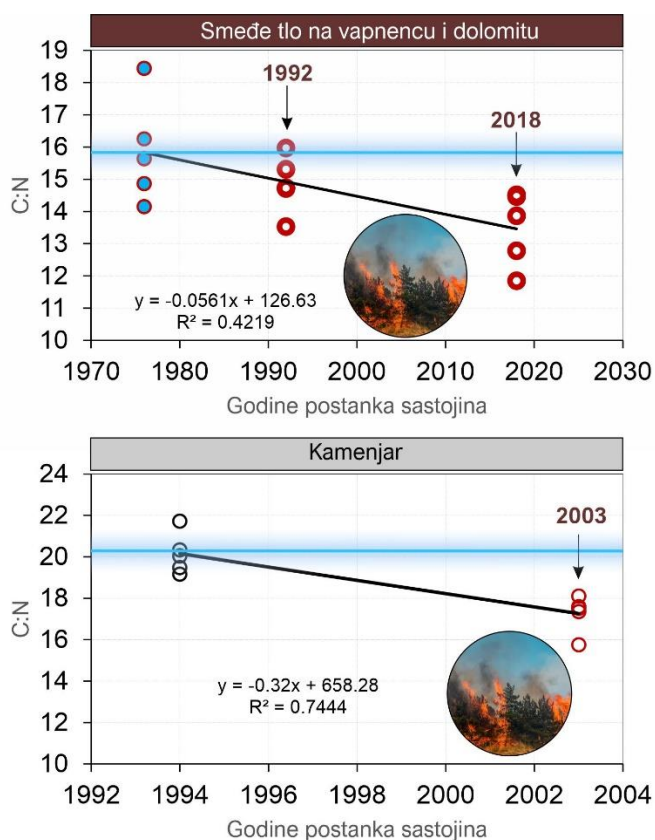
Slika 24 Ovisnost količine ugljika (t/ha) o godinama proteklim od požara za sastojine na smeđem tlu. Plavom bojom je označena kontrolna ploha.



Slika 25 Ovisnost količine ugljika (t/ha) o godinama proteklim od požara za sastojine na kamenjaru tlu. Plavom bojom je označena kontrolna ploha.

5.2.5. Analiza stanja CN u tlima

Na slici 26 prikazani su rezultati odnosa C:N u kontrolnim ploham i u opožarenim. U prosjeku nakon požara C:N odnos iznose oko 13 dok u kontroli K13 iznose oko 16.



Slika 26 Ovisnost C:N o godinama postanka sastojine odvojeno prema staništu (tipu tala). Plavom bojom je označena kontrolna ploha

6. RASPRAVA

Sve istraživane sastojine su čiste jednodobne s dominacijom alepskoga bora. Osim utjecaja vremena kao nezavisne varijable unutar modela razvoja jednodobne sastojine, na obilježja strukture sastojine utječu još i vrsta drveća, bonitet te ciljevi i način gospodarenja. Tri plohe se nalaze na smeđem tlu na vapnencu i dolomitu, dok se dvije sastojine nalaze na kamenjarima.

Broj stabala po hektaru, odnosno gustoća sastojina najveća je u najmlađoj sastojini, dok starije sastojine imaju manji broj stabala po hektaru. Smanjenje ukupnog broja stabala tijekom vremena povezano je s razvojem raspodjele broja stabala po debljinskim stupnjevima tijekom vremena. Razdioba broja stabala po debljinskim stupnjevima za sve istraživane sastojine ukazuje na unimodalni oblik, ali su širine prsnih promjera značajno manje na kamenjarima u odnosu na sastojine nastale na smeđem tlu. Razlog tomu je prvenstveno kvaliteta staništa, ali i izostanak provođenja šumskouzgojnih zahvata njege sastojina.

Za razliku od promjera, visine su najbolji indikator produktivnosti staništa. Maksimalne visine na istraživanim ploham su relativno niske s obzirom na dob sastojina, posebice kontrolnih ploha. S druge strane, produktivnost gledana kroz volumen istraživanih sastojina iznosi oko 250 m³/ha za starost od 50 godina, što je neočekivano visoko. Razlog tomu je velika gustoća stabala u istraživanim sastojinama.

Uzorci tla koji su analizirani u ovom istraživanju pokazuju visok udio skeleta. Analizom i usporedbom sadržaja ugljika na opožarenim i kontrolnim ploham u sastojinama alepskog bora, nisu utvrđene značajne razlike. Razlike nisu utvrđene ni zasebno ako se pogledaju tipovi tala. Sukladno tome, sadržaj ugljika se ne razlikuje značajno niti s obzirom na vrijeme nastanka požara na ploham zahvaćenim požarom. Ugljik u istraživanim sastojinama je vrlo varijabilan čemu u prilog ide činjenica da je sadržaj ugljika na smeđim tlima na vapnencu i dolomitu na opožarenim ploham neznatno manji od istovjetne plohe koja nije bila zahvaćena požarom, dok je sadržaj ugljika na kamenjari na opožarenoj površini bio neznatno veći od istovjetne površine koja nije bila opožarena. Sadržaj ugljika svih ploha u prosjeku iznosi 100 t/ha.

Značajnije razlike ogledaju se u porastu pH vrijednosti opožarenih ploha u odnosu na kontrolne plohe. Najviša pH vrijednost utvrđena je u najmlađoj sastojini, odnosno na plohi koja je najrecentnije opožarena, 2018. godine, a iznosi 7,36. Najniža vrijednost pH utvrđena je u najstarijoj sastojini na kontrolnoj plohi, a iznosi 6,89. Nakon požara redovito dolazi do povećanja pH vrijednosti tla zbog izgaranja organske tvari i ulaska bazičnih kationa u otopinu tla.

Analiza stanja C:N ukazuje na značajan utjecaj požara na ovu komponentu tala. Naime, ako promatramo plohe prema stanišnim tipovima odnosno prema tipovima tala tada vidimo da su požari s obzirom na godine kada su izbili značajno utjecali na smanjenje C:N odnosa u tlima. Prosječan odnos ugljika i dušika nakon požara iznosi 13:1, dok je na plohama koje nisu bile zahvaćene požarom taj odnos 16:1. C:N odnos u organskoj tvari tla može znatno utjecati na brzinu razgradnje organske tvari tla. Oslobođanje dušika i mogućnost usvajanja višim biljkama započinje tek kad je C:N odnos manji od 25:1. To odgovara činjenici da je neposredno nakon požara količina biodostupnih hraniva veća, dok se dugoročno ta količina smanjuje.

7. ZAKLJUČAK

Najveće emisije ugljikova dioksida u atmosferu proizlaze iz energetskog sektora, proizvodnje hrane, prometa i industrije. Šumski požari su, također, jedan od čimbenika ljudskog djelovanja uslijed kojeg dolazi do sve većeg povećanja emisija CO₂ u atmosferi.

Šumski požari su direktno povezani sa klimatskim promjenama. Povećanje temperature i smanjenje količine oborina u ljetnom razdoblju kao posljedice klimatskih promjena rezultiraju dugotrajnijim sušama čime se povećava opasnost od šumskih požara. Za nastanak i širenje požara ključna je vlažnost gorive tvari na koju utječu oborine, relativna vlaga zraka, temperatura zraka i brzina vjetera. Porastom temperature se smanjuje relativna vlaga zraka i dolazi do sušenja gorivog materijala.

Direktan utjecaj šumskih požara na emisije CO₂ u atmosferu proizlazi iz izgaranja vegetacije. Nadalje, šumski požari utječu na kvalitetu šumskih staništa jer dolazi do povećanja pH vrijednosti tala, smanjenja produktivnosti staništa te dugoročno do degradacije šumskih sastojina koje su ekološki nestabilnije (makija, garig, kamenjar).

S obzirom na njihov doprinos klimatskim promjenama, ključno je raditi na prevenciji požara, održivom upravljanju šumama i smanjenju emisija stakleničkih plinova kako bi se smanjio njihov utjecaj na okoliš. Jedno od rješenja za smanjenje udjela ugljikovog dioksida u atmosferi je povećanje pohranjivanja ugljika u tlu, vegetaciji i vodi. Također, vrlo je važno podići svijest ljudi o razornim utjecajima požara te provoditi edukacije s ciljem prevencije nastanka požara.

8. LITERATURA

Bakšić, D., 2017: Količine goriva i zalihe ugljika u šumskoj prostirci sastojina alepskog bora na otoku Mljetu. Šumarski list, 2017 (br. 5 – 6): 247 – 256

Branković, Č., 2013: Klima i klimatske promjene. Matematičko-fizički list, 2013-2014 (br. 3): 152 – 162

Byrne, B., 2023: Carbon emissions from the 2023 Canadian wildfires. <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07878-z>

Certini, G., 2003: Effects of fire on properties of forest soils: a review. Oecologia 2005 143: 1–10

Dimitrov, T., 1999: Šumski požari u Hrvatskoj – povod za razmišljanje. Šumarski list, 1999 (br. 5 – 6): 461 – 468

Francos, M., Colino-Prieto, F., Sánchez-García, C., 2024: How Mediterranean Ecosystem Deals with Wildfire Impact on Soil Ecosystem Services and Functions: A Review. Land, 2024 (br. 13) <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/4/407>

Gonzalez-Perez, J.A., Gonzalez-Vila, F.J., Almendros, G., Knicker, H., 2004: The effect of fire on soil organic matter – a review. Environment International 2004 (br. 30): 855 – 870

Kisić, I., Bogunović, I., Delač, D., Barčić, D., 2023: Požari otvorena prostora u Republici Hrvatskoj – pojava, učestalost i suzbijanje. Hrvatske vode, 2023 (br. 31): 117 – 126

Knicker, H., 2007: How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. Biogeochemistry, 2007: 91 – 118

Maradin, M., 2014: Promjene klime. Geografski horizont, 2014 (br. 2): 7 – 18

Moriondo, M., Good, P., Durao, R., Bindi, M., 2006: Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. Climate research, 2006 (br. 31): 85 – 95

Pernar, N., 2017: Tlo; nastanak, značajke, gospodarenje. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 799 str.

Rosavec, R., Španjol, Ž., Barčić, D., 2012: Šumski požari kao ekološki i krajobrazni čimbenik u području Dalmatinske zagore. Vatrogastvo i upravljanje požarima, 2012 (br. 3): 51 – 64

San-Miguel-Alyanz, J., Camia, A., Schulte, E., 2012: Comprehensive Monitoring of Wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS). Research Gate

Stipaničev, D. 2018: Modeliranje i simuliranje širenja požara. http://vatra.fesb.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=62:modeliranje-i-simuliranje-irenja-poara&catid=37:sirenjepozara&Itemid=72 (pristupljeno 31. 8. 2024.)

Stougiannidou, D., Zafeiriou, E., Raftoyannis, Y., 2019: Forest Fires in Greece and Their Economic Impacts on Agriculture. Economies of the Balkan and Eastern European Countries 2019: 54 – 70. DOI [10.18502/kss.v4i1.5977](https://doi.org/10.18502/kss.v4i1.5977)

Španjol, Ž., 2021: Požari otvorenog prostora _ Interna skripta

Španjol Ž., Rosavec, R., Barčić, D., 2008: Šumski požari i fizikalni modeli. Šumarski list, 2008 (br. 5 – 6): 259 – 267