

# Struktura i dinamika prašumskih sastojina crnog bora (*Pinus nigra* Arnold)

---

Krivić, Dario

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:108:576857>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**



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**

**DARIO KRIVIĆ**

**Struktura i dinamika prašumskih sastojina crnog bora (*Pinus nigra*  
Arnold)**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2024.**

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

**Struktura i dinamika prašumskih sastojina crnog bora (*Pinus nigra*  
Arnold)**

**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. akademik Igor Anić

3. izv. prof. dr. sc. Damir Ugarković

4. doc. dr. sc. Vinko Paulić (zamjenski član)

Student: Dario Krivić

JMBAG: 0068233540

Datum odobrenja teme: 05.05.2023.

Datum predaje rada: 20.09.2024.

Datum obrane rada: 25.9.2024.

Zagreb, rujan 2024.

## DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	Struktura i dinamika prašumskih sastojina crnog bora ( <i>Pinus nigra</i> Arnold)
Title	Structure and dynamic of the black pine ( <i>Pinus nigra</i> Arnold.) old-growth forest
Autor	Dario Krivić
Adresa autora	Potkraj BB, Livno 80101 (Bosna i Hercegovina)
Mjesto izrade	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Izv. prof. dr. sc Stjepan Mikac
Izradu rada pomogao	Akademik Igor Anić, dr. sc. Domagoj Trlin, Luka Prša mag. ing. silv., Marko Orešković mag. ing. silv., Karla Agičić mag.ing. silv., Karlo Bikić mag.ing. silv., Zvonimir Opačak mag.ing. silv.
Godina objave	2024.
Obujam	Broj stranica: 37 Broj slika: 23 Broj tablica: 1 Broj navoda literature: 25
Ključne riječi	crni bor, dendrokronologija, Dinaridi, klimatske promjene
Key words	black pine, Dendrochronology, Dinarides, climate change
Sažetak	Crni bor ( <i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold) najrasprostranjenija je četinjača na području Balkanskog poluotoka. U Hrvatskoj se rasprostranjire duž Dinarida, na poluotoku Pelješcu te manjim površinama otoka (Brača, Hvara, Korčule). U radu su opisani lokaliteti crnog bora na Dinari i Biokovu, na oba lokaliteta postavljene su po 2 plohe. Površine pokusnih ploha iznose 1000 m <sup>2</sup> . Iz stabala su uzimani izvrtci koristeći Presslerovo svrdlo. Izvrtak se uzima na visini od 1,30 m okomito na prevladavajući nagib terena. Ciljevi ovog rada bili su prikazati dinamiku razvoja crnog bora na Dinari i Biokovu. Kroz dinamiku razvoja utvrđivala se sastojinska i dobna struktura sastojina. Nadalje, na temelju širine godova istražiti prirodnu dinamiku rasta sastojina crnog bora te analizirati klimatske osjetljivosti radijalnog prirasta crnog bora na istraženim lokalitetima.

	<b>IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI</b>	<b>OB FŠDT 05 07</b>
		Revizija: 2
		Datum: 25.09.2024.

„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. rujana 2024. godine

---

*vlastoručni potpis*

Dario Krivić

# Sadržaj

1. UVOD	2
2. PROBLEMATIKA	3
2.1. Karakteristike crnog bora	3
2.2. Klimatske promjene	5
2.3. Dendrokronologija	7
3. CILJ ISTRAŽIVANJA	8
4. MATERIJAL I METODE RADA	9
4.1. Područje istraživanja	9
4.2. Prikupljanje podataka	14
4.3. Obrada podataka	15
4.4. Izmjera širina godova	17
4.5. Analiza podataka	18
5. REZULTATI	19
5.1. Strukturna obilježja istraživanih sastojina	19
5.2. Dobna struktura istraživanih sastojina	22
5.3. Rezultati analize prirodne dinamiku razvoja istraživanih sastojina na Biokovu i Dinari	25
5.4. Klimatska osjetljivost radijalnog prirasta crnih borova na istraživanih lokalitetima	26
6. RASPRAVA	31
7. ZAKLJUČCI	33
8. LITERATURA	34

# 1.UVOD

Europski ili crni bor (*Pinus nigra* J. F. Arnold) je vrsta koja se prostire na više od 3,5 milijuna hektara i to ju čini jednom od najrasprostranjenijih vrsta četinjača na Balkanskom poluotoku i Maloj Aziji (Vidaković 1965.). Pripada grupi borova sa širokim, ali rascjepkanim arealom od Španjolske do Male Azije pa sve do Maroka, Alžira, Krete i Cipra. Na području Hrvatske je rasprostranjen duž Dinarida, na poluotoku Pelješcu te manjim površinama otoka (Brača, Hvara i Korčule). Prostire se na kamenitim i suhim terenima te brdskim ili planinskim predjelima. Prirodni areal prostire se od same obale mora kao što je to u Hrvatskoj i Italiji pa sve do 2 200 metara nadmorske visine na planini Taurus u Turskoj. Više od 2/3 površina odnosno 2,5 milijuna hektara pod crnim borom nalaze se upravo u Turskoj (Enescu i sur., 2016.).

Tijekom holocena, s porastom temperature, došlo je do značajnog smanjenja površina na kojima su rasle biljne vrste. Antropogeni utjecaji, posebice prekomjerno i dugotrajno iskorištavanje drva, pridonijeli su nestanku borovih šuma na nekim područjima. Uz to, klimatske promjene uzrokovale su povlačenje borova u više predjele, dok su alohtone vrste drveća, koje su postale konkurencija crnom boru, također imale ulogu u ovom procesu.

U radu su opisane sastojine crnog bora na Dinari i Biokovu. Terenska istraživanja obavljena su na Dinari u svibnju 2022. godine, a na Biokovu u srpnju 2023. godine. Na oba lokaliteta su postavljene dvije plohe. Na Dinari su plohe na lokalitetu Crni tavani, a na Biokovu na lokalitetu Borovac.

## 2. PROBLEMATIKA

### 2.1. Karakteristike crnog bora

Crni bor je zimzelena biljka crnogorice koja obično doseže 30 metara visine, a na pogodnim terenima i staništima visina seže i do 40 metara (Vidaković 1993). Njegova kora je obično tamno sivkasto-smeđa do crna (lat. "*nigra*"), a na starijim stablima postaje duboko uzdužno izbrazdana. Mlada stabla imaju stožastu krošnju, dok je kod starijih stabala krošnja poprimila kišobranast oblik. Iglice su promjera 1-2 mm, a dužina samih iglica koje rastu u paru je 4-8(9) cm. Crni bor je heliofilna i kserofitna pionirska vrsta koja u mladosti raste brzo te je pogodan za pošumljavanje degradiranih površina jer smanjuje oštećenja tla od erozija. Crni bor je vrsta koja se razvija na suhim staništima, pretežito na vapnenačkim tlima, dolomitima, a posebno su pogodne južne ekspozicijama brdskog i gorskog pojasa (Vidaković 1993). Kao i mnogim drugim vrstama pa tako i crnim borom pošumljavane su veće površine jer je prepoznat kao kvalitetno drvo, jednostavno za obradu, dugo izdržljivo i bogato smolom. Često je korišten za sadnju u urbanim sredinama jer je otporan na onečišćenje i fizička oštećenja. Rascjepkan areal crnog bora doveo je do morfoloških varijacija i zbog toga je došlo do različitih klasifikacija.



Na lokalitetu Biokovo i danas su zabilježeni tragovi smolarenja (Slika 1). Smolarenje je proces sakupljanja smole iz starijih borova, za industrijske potrebe, posebice za brodogradnju. Proces smolarenja započinje pravljenjem plitkih ureza ili ogrebotina na kori stabla, obično na donjem dijelu debla. Ti rezovi otvaraju kanale kroz koje smola počinje curiti. Rezovi se rade u specifičnom uzorku i pod određenim kutom kako bi se maksimalno iskoristila smola, a stablo ostalo zdravo. Da bi smola konstantno curila, urez se mora redovito obnovljati i uklanjati tanki sloj kore svakih nekoliko tjedana. Kako bi se smola pravilno skupljala, ispod ureza na stablu postavlja se metalni ili plastični kanalić koji vodi smolu u posudu ili vreću pričvršćenu na drvo.



**Slika 1.** Crni bor sa znakovima uzimanja smole na lokalitetu Biokovo (Foto: Šumarija Makarska)

## 2.2. Klimatske promjene

Klimatske promjene postaju iznimna prijetnja za šumske ekosustave na globalnoj razini. Glavni čimbenici koji utječu na promjenu šumskih ekosustava su: temperatura, količina oborina tj. vremenski raspored količine oborina i sve učestaliji ekstremni vremenski događaji. Utjecajem ovih promjena narušava se osjetljiva ekološka ravnoteža, što je dovelo do povećanog krčenja šuma i narušavanja biološke raznolikosti te smanjene otpornosti na bolesti i štetnike. Sama uloga šuma i važnost kvalitetnog gospodarenja šumama ima značajnu ulogu u ublažavanju klimatskih promjena na način jer apsorbiraju ugljikov dioksid. Klimatske promjene utječu na drveće mijenjajući njihovu prikladnost staništa i neizbježno će rezultirati promjenama u strukturi šuma i sastavu drveća (del Río et al., 2021.). Budući klimatski scenariji za europski kontinent predviđaju porast temperatura i promjene u sezonalnosti padalina (Gobiet i sur., 2014.; Le i sur., 2023.) što bi u konačnici značilo i promjenu prostorne distribucije vrsta. Sredozemni bazen, koji se smatra žarištem klimatskih promjena, suočava se s intenzivnim i dugotrajnim epizodama suše koje predstavljaju značajnu prijetnju otpornosti vrsta drveća (Penuelas i sur., 2011.). Danas se bilježi sve veći utjecaj klime na razvoj mnogih šumskih vrsta, a posebno na području Mediterana. Zbog povećanjem prosječnih godišnjih temperatura i smanjenja oborina u drugoj polovici 20. stoljeća javlja se sušni stres (Rodrigo i sur., 1999). Posebnu osjetljivost na klimatske promjene pokazale su dugovječne vrste kao što je *Pinus nigra*. Obzirom na svoju osjetljivost na sušu u mediteranskom bazenu, *P. nigra* se smatra relativno tolerantnom vrstom u umjerenim regijama. Ova prilagodljivost čini ga potencijalnim kandidatom za potpomognutu migraciju u suhim šumskim područjima srednje Europe i zamjenom za autohtone četinjače u budućim klimatskim scenarijima, jer se može prilagoditi različitim tipovima tla i klimatskim uvjetima (Barbéro i dr., 1998).

Požari u sastojinama crnog bora su važan ekološki, ali i zaštitni izazov. Crni bor raste na sušnim i planinskim područjima, često na siromašnim tlima, što ga čini podložnim požarima, posebice u mediteranskom klimatskom području. Jedan od najvećih razloga degradacije i uništavanja šuma kroz povijest bili su požari. Izazivani prirodno tj. udar groma ili pod utjecajem čovjeka stvarali su velike probleme što se tiče obnove. Klimatske promjene imaju direktan utjecaj na učestalost i intenzitet požara. Smatra se kako će u narednih 100 godina zbog promjene klimatski uvjeta doći do povećanja i intenziteta šumskih požara. Posljedice od požara ne ostavljaju samo gospodarske i ekološke gubitke već ostavljaju i velike površine bez vegetacijskog pokrova čim tlo postaje izloženo erozijama i degradaciji.



Obzirom na oblik, požare možemo podijeliti na: podzemni ili požar tla, prizemni požar, požar krošanja ili visoki požar te požari osamljenog drveća i grmlja. Najčešći oblik šumskih požara je prizemni požar uslijed kojeg se spaljuje mrtva i živa vegetacija koja prekriva šumsko tlo. Ovaj oblik šumskog požara ne predstavlja velike štete za borove sastojine jer ne stvara velike probleme za koru i kambij. Zapravo najštetniji oblik šumskih požara je požar krošanja ili visoki požar koji iza sebe ostavlja potpuno uništene i degradirane površine koje postaju izložene erozijama. Većina stabala u starijim borovim sastojinama nemaju grane na deblu i za takve sastojine nisu opasni prizemni požari ,nego samo visoki požari koji zahvate krošnju stabla i ostavljaju velike posljedice za sastojinu.



**Slika 2.** Sastojina crnog bora nekoliko godina nakon požara na Biokovu (na gornjoj slici prikaz vegetacijskog pokrova koji se javlja nakon požara)

### 2.3. Dendrokronologija

Dendrokronologija je znanstvena disciplina koja se bavi istraživanjem rasta stabla i upoznavanjem sa prošlim događajima posebno paleoklime i klimatskim trendovima na osnovu širine godova. Kao početak znanstvenog proučavanja širine godova uzima se početak 20. stoljeća kad je Andrew Ellicott Douglass osim varijacija u širini godova kod jednog stabla zamijetio da je varijabilnost slična između više stabala. Današnja istraživanja su također bazirana na pretpostavkama kako sunce i klima zapravo utječu na sam razvoj prstena kod stabla. Širina goda odnosno količina rasta stabla u jednoj godini određena je različitim unutarnjim i vanjskim čimbenicima, a najveći utjecaj na razvoj čine količina oborina ili temperaturni ekstremi. Ova metoda istraživanja na temelju podataka o širini godova može dati odgovore na klimatske promjene unazad više od tisuću godina. Vrste koje nemaju jasno vidljive granice godova nisu od velikog značaja za dendrokronologiju. Kod nekih vrsta, osim što su jasno vidljive granice prstena, mogu se lako razlučiti i granice unutar prstena odnosno „rano drvo“ koje nastaje tijekom proljeća i početka ljeta te „kasno drvo“ koje nastaje krajem ljeta i početkom jeseni.

### **3. CILJ ISTRAŽIVANJA**

Ciljevi ovog istraživanja su:

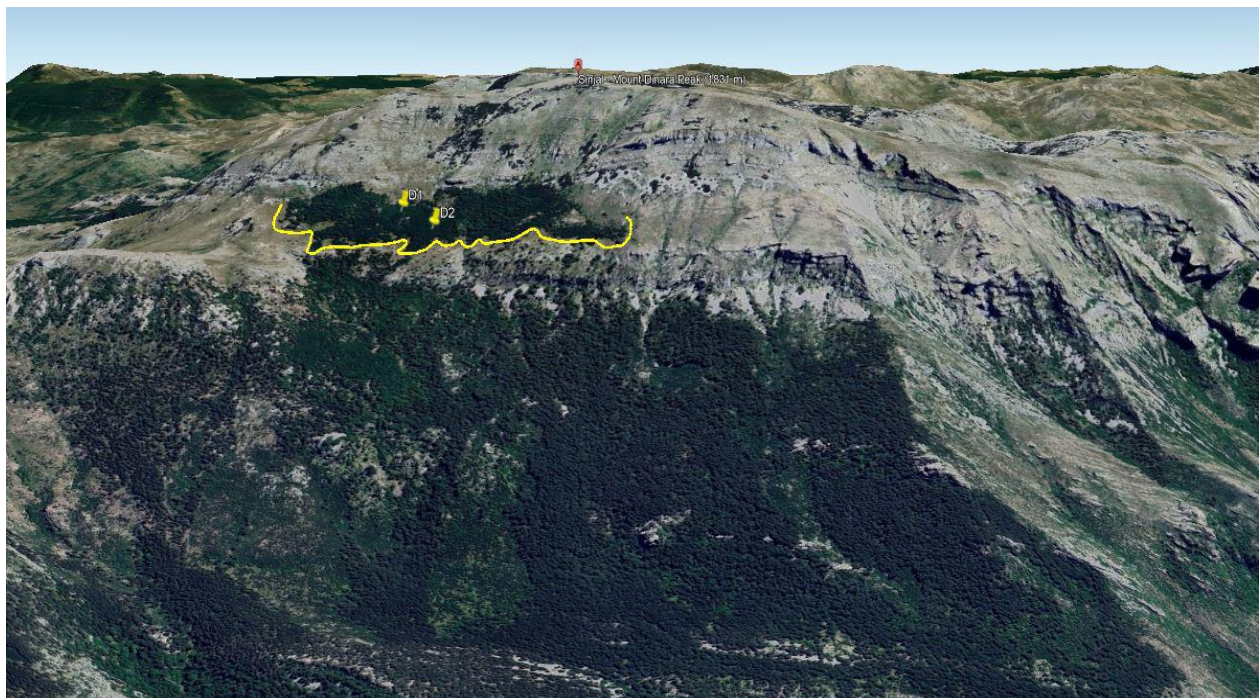
1. Analizirati i usporediti strukturu sastojina crnog bora na Biokovu i Dinari
2. Analizirati dobnu strukturu sastojina crnoga bora na Biokovu i Dinari
3. Analizirati klimatsku osjetljivost radijalnog prirasta crnih borova na istraživanih lokalitetima
4. Na temelju kronologije širina godova analizirati prirodnu dinamiku razvoja istraživanih sastojina na Biokovu i Dinari



## 4. MATERIJAL I METODE RADA

### 4.1. Područje istraživanja

Planina Dinara nalazi se u dalmatinskom zaleđu, a sa svojim najvišim vrhom Sinjalom, koji doseže 1831 metar, predstavlja najvišu planinu u Republici Hrvatskoj. Dinara se proteže u duljini od 84 kilometra. Geografski gledano Dinara je prirodna granica između Republike Hrvatske i Bosne i Hercegovine, dijele ih najviši vrhovi masiva. Položaj planine je dinarski smjer, jer se gledajući na karti prostire od sjeverozapada prema sjeveroistoku. Dinara se nalazi u središnjem dijelu Dinarskog gorja<sup>1</sup> koje je baš po Dinari i dobilo ime. Hrvatska strana Dinare i njezini niži dijelovi koji se pružaju prema moru pokazuju veliki raspon klimatskih parametara na malom području. Viši dijelovi Dinare, iznad 1300 m nadmorske visine odnosno oko 56 km<sup>2</sup> pripada snježno-šumskoj klimi.



**Slika 3.** Prikaz položaja istraživanog područja i postavljenih ploha na Dinari

---

<sup>1</sup> Dinaridi su planinski lanac dug 650 km te seže od rijeke Soče u Italiji do planina Prokletija u Albaniji.

Na području planine Dinare utvrđeno je devet glavnih tipova tala, zajedno s podtipovima, formama i varijetetima. Sva tla na ovom području pripadaju automorfnim tlima, kojima je zajedničko vlaženje tla atmosferskom vodom te slobodna perkolacija vode, što znači da nema stagnirajuće vode u tlu. Na plohi na kojoj je postavljeno istraživanje prevladava kalkokambisol odnosno smeđe tlo na vapnencu i dolomitu. Dok veći dio područja oko 493 km<sup>2</sup> pripada umjereno toploj kišnoj klimi. Satelitske snimke iz 1968. i 2022. godine (Slika 5) pokazuju značajno širenje šumske vegetacije na istraživanim lokalitetima, a razlog širenju šumske vegetacije je i prestanak pašarenja koji je u prošlosti bio zastupljen na lokalitetima Dinare.

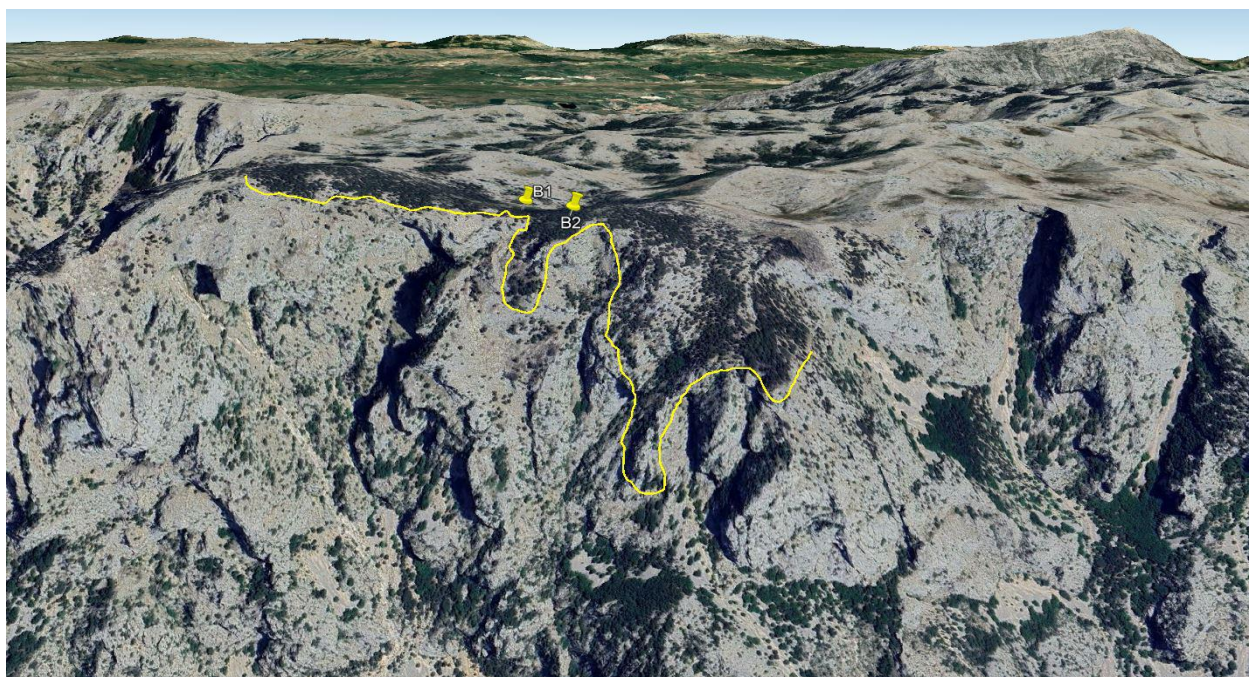


**Slika 4.** Izgled terena i sastojina na Dinari (lijevo) i izgled terena i sastojine na Biokovu (desno)



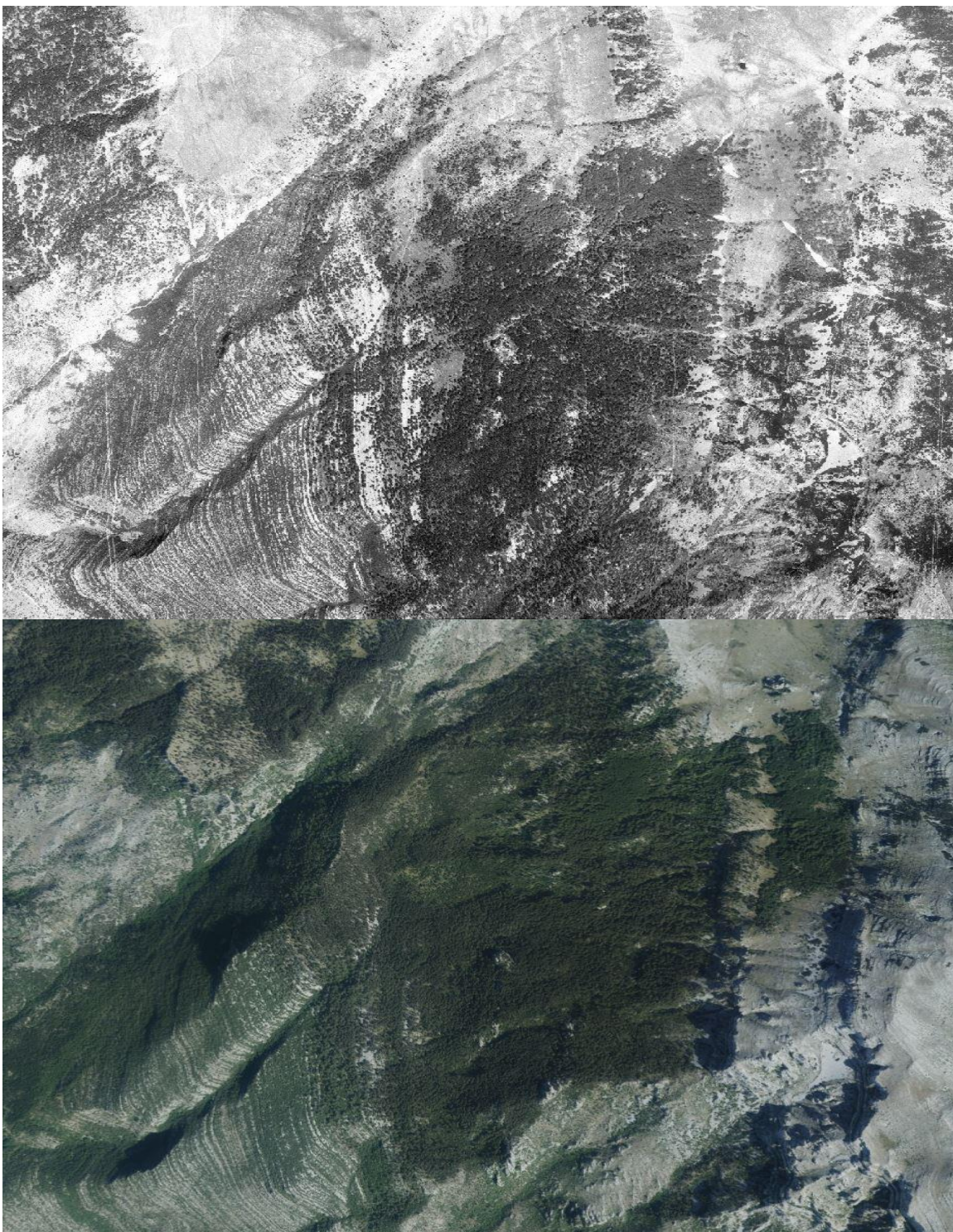
Biokovo je dio planinskog lanca Dinarida. Nalazi se neposredno uz istočnu obalu Jadranskog mora. Gledano s krajobraznog aspekta Biokovu pripadaju dva krajobraza: obalno područje srednje i južne Dalmacije (60%) i Dalmatinska zagora (40%). Biokovo je dugo 36 km te prosječno široko 7 km, najširi dijelovi su 9,5 km. Obuhvaća površinu oko 200 km<sup>2</sup>. Planina se pruža od prijevoja Dubci (288 m) na zapadu do prijevoza Staza (897 m) na istoku i pruža se u klasičnom dinarskom smjeru SZ-JI. Biokovo je najviša planina hrvatskog dijela Jadrana, a njegov najviši vrh Sveti Jure (1762 m) je treći najveći vrh u Republici Hrvatskoj.

Obalni dio Biokova odlikuje eumediteranska klima, područje koje se nalazi na teritoriju dalmatinske zagore odlikuje submediteranska klima. Na najvišim dijelovima Biokova na Biokovskoj vršnoj zaravni vlada hladna visoko-planinska klima s preko više od 2500 mm oborina, posebno zimi. Na satelitskim snimkama lokaliteta istraživanja na Biokovu (Slika 6) iz 1968. i 2022. godine vidljive su promjene i širenje šumske vegetacije kao i na Dinari. Biokovo je također bilo izloženo čovjekovom utjecaju i utjecaju pašarenja. U blizini istraživanih lokaliteta vidljivi su tragovi kamenih zidova i ostatci kamenih kuća.



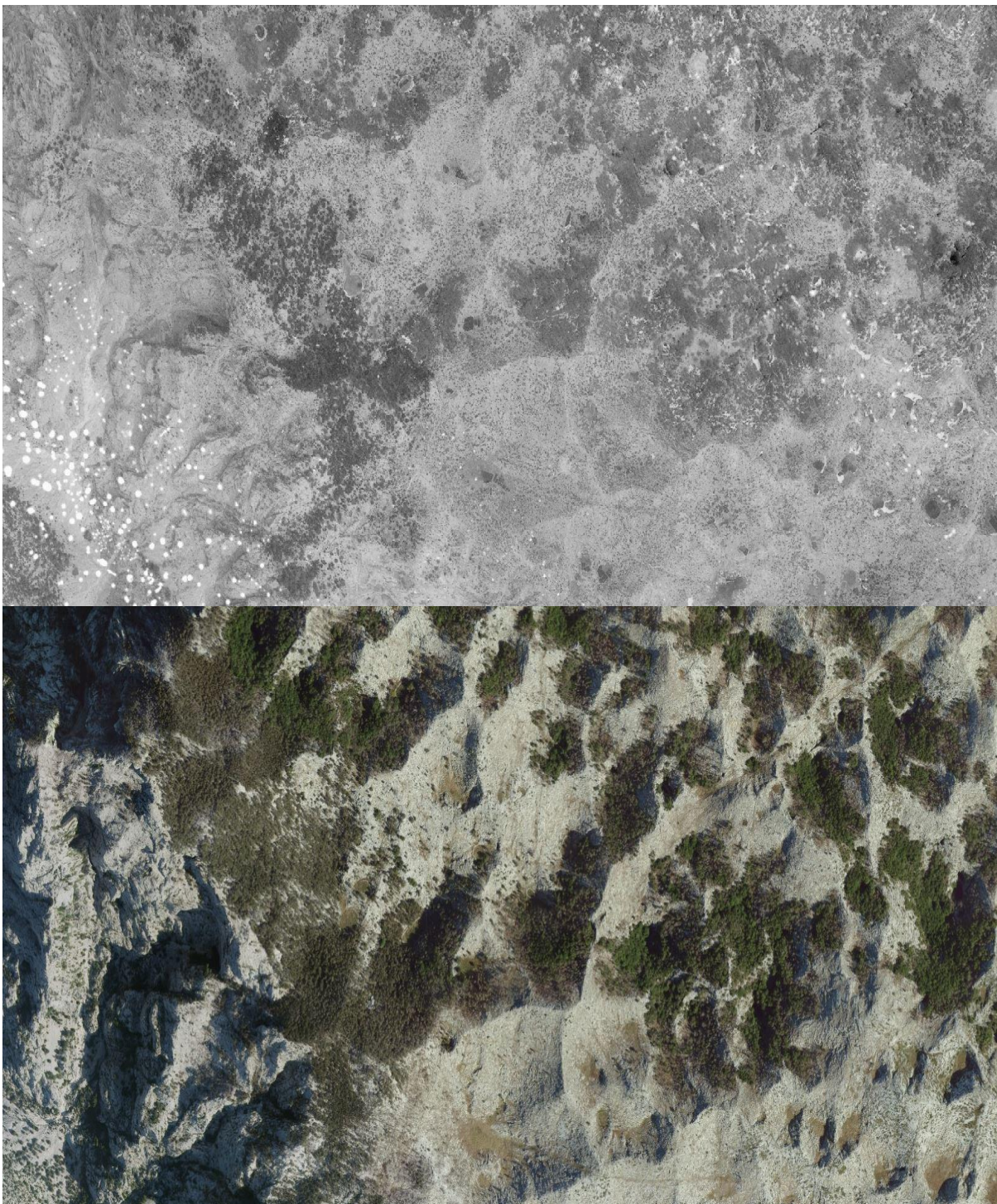
**Slika 5.** Prikaz položaja istraživanog područja i postavljenih ploha na Biokovu





**Slika 6.** Avionski snimak područja istraživanja na lokaliteti Crni tavani stanje 1968. (gore) i 2022. (dolje).





**Slika 7.** Avionski snimak područja istraživanja na lokaliteti Borovac stanje 1968 (gore) i 2022 (dolje).

## 4.2. Prikupljanje podataka

Na jugozapadnim padina Dinare točnije na lokalitetu Crni tavani (Slika 3) i u blizini najvišeg vrha Hrvatske Sinjal (1831 m.n.v.) 2022. godine obavljen je prvi dio istraživanja. Nakon obilaska lokaliteta postavljene su dvije jednake plohe u reprezentativnim dijelovima sastojine crnog bora. Površina svih istraživanih ploha s obzirom na pogodan teren definirana je 1000 m<sup>2</sup>.

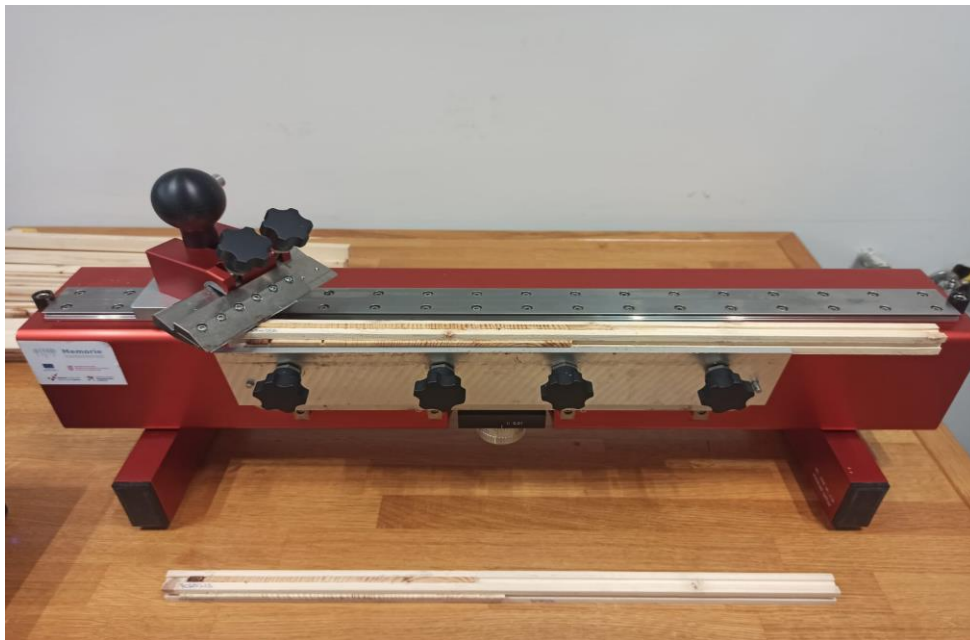
Drugi dio istraživanja obavljen je u srpnju 2023. godine u prirodnoj sastojini crnog bora na padinama Biokova (Slika 5) iznad Baške vode i Makarske. Plohe su postavljene u blizini lokaliteta Borovac i Veliki Šibenik gdje se nalaze prirodne sastojine crnog bora. To je područje Borovca koji pripada Šumariji Makarska u odsjeku 54a, također je sastavni dio Parka prirode Biokovo.

Istraživanje je obavljeno na 4 plohe na Biokovu i Dinari. Površine svih pokusnih ploha su definirane na 1000 m<sup>2</sup>, a rubovi ploha su označeni pomoću spreja. Na svim pokusnim plohamo sva su stabla označena rednim brojem, s tim da su brojevi bili okrenuti prema centru plohe. Izmjereni su prsni promjeri pomoću mjerne vrpce te visina za svako stablo pomoću visinomjera VERTEX (Haglöf Sweden AB) u m. Podatci o prsnim promjerima i visinama upisani su u terenske manuale.

Uzimanje samih izvrtaka iz stabala koji su se nalazili unutar plohe napravljeno je pomoću Presslerovog svrdla (Haglöf Sweden), promjera 5,1 mm, duljina 30 i 50 cm koje je montirano na prijenosnu bušilicu. Izvrtci su se uzimali na prsnoj visini (1,30 m) okomito na prevladavajući nagib terena. Nakon bušenja izvrtci se spremaju u plastične slamke sa pripadajućim oznakama. U centru svih pokusnih ploha su se pomoću GPS uređaja označene točke s pripadajućim koordinatama.

### 4.3. Obrada podataka

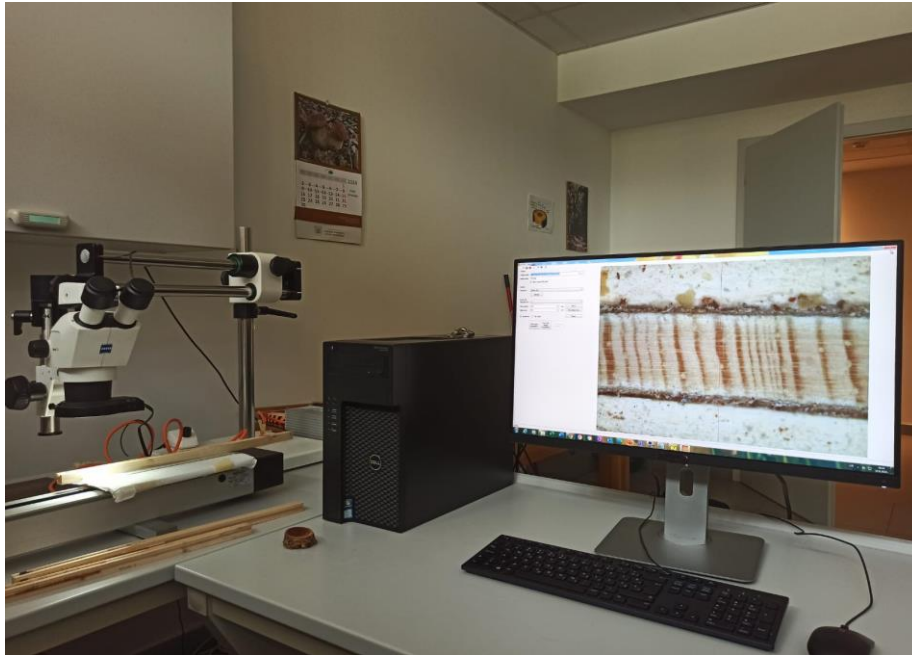
Priprema uzoraka za daljnju analizu izvršena je na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije na Zavodu za ekologiju i uzgajanje šuma, u Laboratoriju za dendroekologiju. Izvrtci se vade iz plastičnih slamki koje su služile za transport i očuvanje izvrtaka te se lijepe pomoću drvofiksa za drvene podloške u kojima su napravljeni utori kako bi bilo praktičnije položiti izvrtak. Važno je same uzorke zalijepiti u radijalnom položaju kako bi se jasno vidjeli godovi. Na drvene podloške također su zapisane šifre za svaki uzorak. Nakon lijepljenja potrebno je pustiti uzorke da se osuše i čvrsto prime za drvenu podlogu. Kad su uzorci pripremljeni pristupa mehaničkoj obradi pomoću Core Microtome (WSL) (Slika 8). Kad se uzorak fiksira na mikroton kistom namočimo izvrtak vodom kako bi žilet na sječnoj glavi mikrotona lakše skida slojeve po površini izvrtka. Kad je cijela površina ravnomjerno pripremljena i kad su jasno vidljive granice godova izvrtak je spreman za skeniranje.



**Slika 8.** Mikrotom za pripremu uzoraka



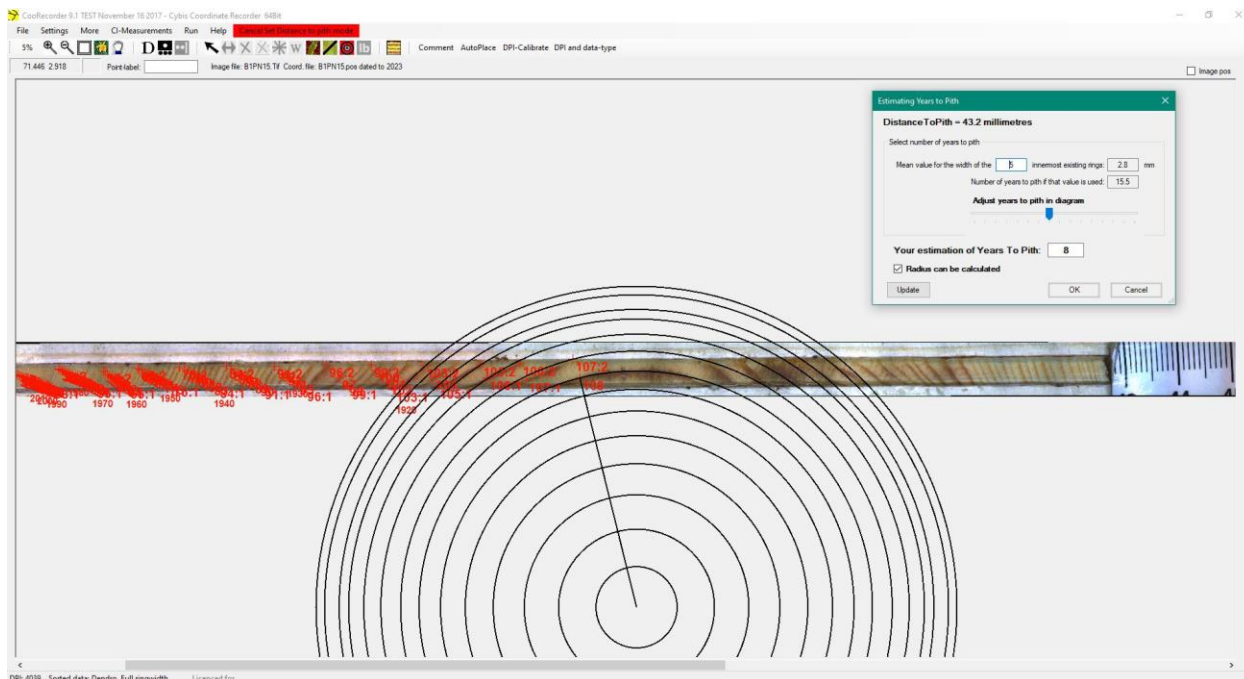
Pripremljeni uzorci skenirani su i digitalizirani koristeći sustav ATRICS (Advanced Tree Ring Image Capturing System) za snimanje slika visoke razlučivosti. Sustav se sastoji od automatiziranog mjernog stola (Isel MS200HT), binokularnog mikroskopa (Zeiss Stemi 305) i digitalne kamere (Infinity Lumenera 1), koji su povezani s računalom (Levanič, 2007). Fotografije se izrađuju pomicanjem uzorka na automatskom mjernom stolu, pri čemu se slike spajaju u jedinstveni digitalni prikaz. Prije skeniranja, na svaki uzorak postavlja se kalibracijsko mjerilo kako bi se nakon analize širine godova vrijednosti iz pixela mogle pretvoriti u stotinke milimetra (Levanič, 2007).



**Slika 9.** Snimanje uzoraka u sustavu ATRICS

## 4.4. Izmjera širina godova

Izmjera širine godova napravljena je u programima CooRecorder i Cdendro specijaliziranim za potrebe dendrokronologije. Sam postupak izmjere širine godova obavlja se na spremljenim digitalnim fotografijama. Godovi se broje od kore prema središtu izvrtka. Kao početne godine za lokalitet Dinare korištena je 2021. godina, a za lokalitet Biokovo korištena je 2022. godina. Cilj je za svaki izvrtak odnosno za svako uzorkovano stablo utvrditi točnu starost. Prilikom uzimanja izvrtka iz stabla teško je pogoditi sam centar stabla pa za stabla koji nemaju sam centar odradi se procjena pomoću geometrijskog centra uzimajući u obzir zadnjih nekoliko godina. Na opisani način za svaki uzorak (stablo) se odredi dob na prsnoj visini.



**Slika 9 .** Očitavanje uzoraka i procjena starosti pomoću programa CooRECORDER

## 4.5. Analiza podataka

Lokalne visinske krivulje konstruirane su pomoću Mihajlove jednadžbe na osnovu izmjerenih visina  $h$  (m) i prsnih promjera  $d_{1.30}$  (cm) za sve istraživane plohe. Množenjem broja stabala ( $N$ ) u svakom debljinskom stupnju sa srednjim volumenom za svaki debljinski stupanj širine 2 cm dobivena je distribucija volumena po debljinskim stupnjevima. Na osnovu dobivenih podataka izrađena je tablica za strukturu sastojine na istraživanim lokalitetima, gdje su prikazani elementi strukture, a to su gustoća sastojine ( $N$ , kom/ha), temeljnica ( $m^2/ha$ ) i volumen ( $V$ ,  $m^3/ha$ ).

Nakon pripreme, obrade i očitavanja izvrtaka stabala crnoga bora, pristupa se statističkoj analizi dobivenih podataka. Cilj je izraditi kronologije za istraživane lokalitete i usporediti ih međusobno. Nakon izrade kronologija, izračunavaju se korelacije s lokalnim i regionalnim klimatskim čimbenicima kako bi se procijenio njihov utjecaj na radialni rast drva. Time se nastoji utvrditi odgovor stabala na klimatske promjene u prošlosti te kako su klimatski čimbenici utjecali na njihov rast.

## 5. REZULTATI

### 5.1. Strukturna obilježja istraživanih sastojina

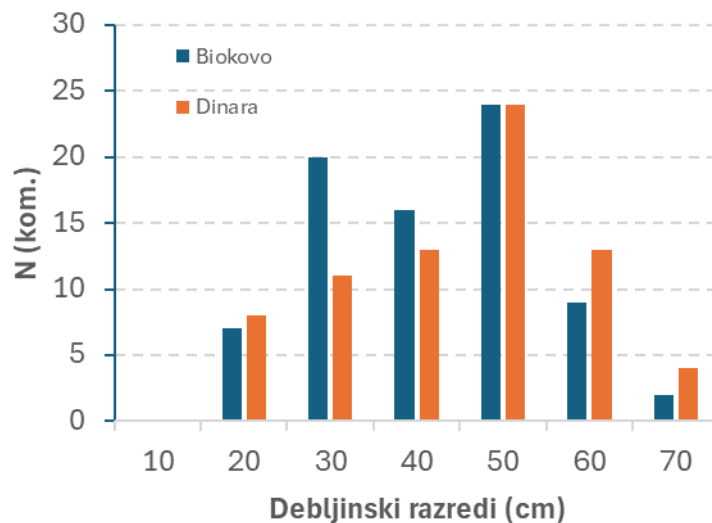
Za dendrokronološka istraživanja uzorkovano je ukupno 105 stabala na svi plohama, a ukupno je izmjereno 151 stablo za analizu strukturnih karakteristika koje su prikazane u tablici 2. Na lokalitetu Biokovo je zabilježena veća gustoća stabala od 780 kom/ha dok je na Dinari zabilježena nešto manja gustoća i iznosi 730 kom/ha. Najviše stabala nalazi se u debljinskom razredu (40-50 cm). Drvna zaliha na lokalitetu Dinara je 853.68 m<sup>3</sup>/ha što je više od duplo u odnosu na lokalitet Biokovo gdje iznosi 475.24 m<sup>3</sup>/ha.

**Tablica 1.** Distribucija broja stabala, temeljnice i volumena crnog bora

Lokalitet	Biokovo			Dinara		
Deb.razred	<i>Pinus nigra</i>			<i>Pinus nigra</i>		
	N	G	V	N	G	V
	(kom/ha)	(m <sup>2</sup> /ha)	(m <sup>3</sup> /ha)	(kom/ha)	(m <sup>2</sup> /ha)	(m <sup>3</sup> /ha)
10						
20	7	0,148	0.653	8	0.120	0.578
30	20	1,034	6.073	11	0.522	3.742
40	16	1,660	9.296	13	1.346	10.590
50	24	3.838	19.481	24	4.036	32.616
60	9	1.774	9.049	13	2.964	27.138
70	2	0.633	2.972	4	0.959	10.703
Ukupno	<b>78</b>	<b>9.087</b>	<b>47.524</b>	<b>73</b>	<b>9.947</b>	<b>85.368</b>
Ukupno (ha)	<b>780</b>	<b>90.871</b>	<b>475.244</b>	<b>730</b>	<b>99.467</b>	<b>853.682</b>

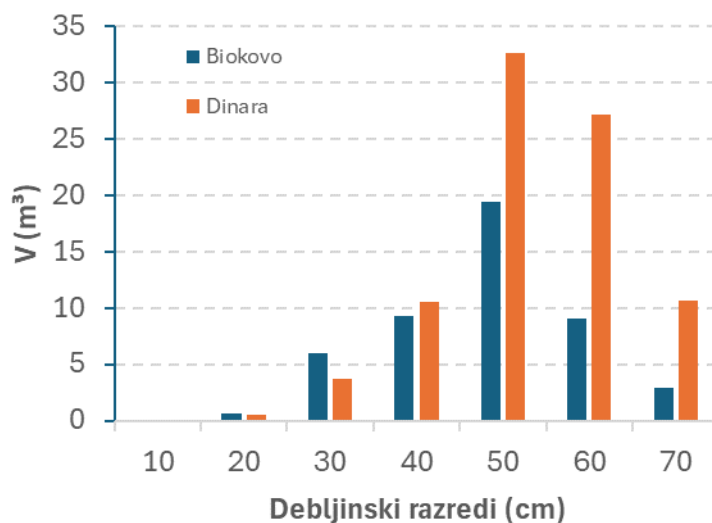
Distribucija broja stabala pod debljinskim razredima ukazuje da oba istraživana lokaliteta imaju unimodalnu distribuciju što je karakteristika sastojina crnoga bora. Raspon distribucija se kreće od 20 do 70 cm što je posljedica prirodne dinamike ovih sastojina i vjerojatno prirodnih požara.





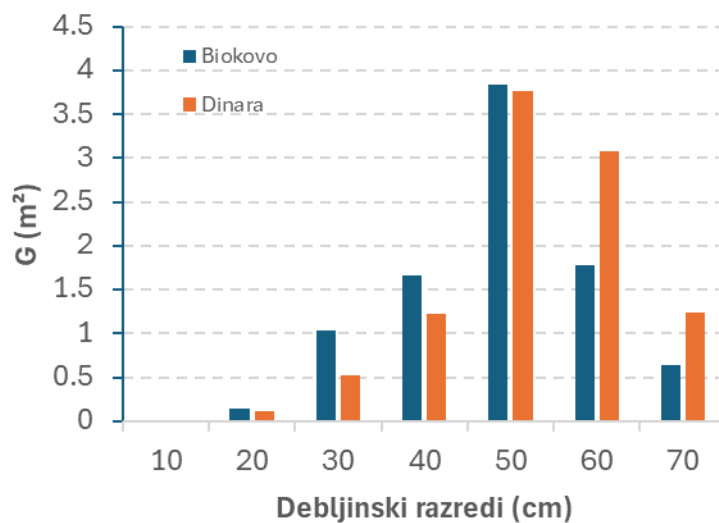
**Slika 9.** Distribucija broja stabala po debljinskim razredima i lokalitetima istraživanja

Slično kao i distribucije broja stabala izgledaju i distribucije drvene zalihe (volumena) istraživanih sastojina. Najveći dio volumena se nalazi upravo na najdebljim stablima (debljinski razredi > 50 cm).



**Slika 10.** Distribucija drvene zalihe po debljinskim razredima i lokalitetima istraživanja

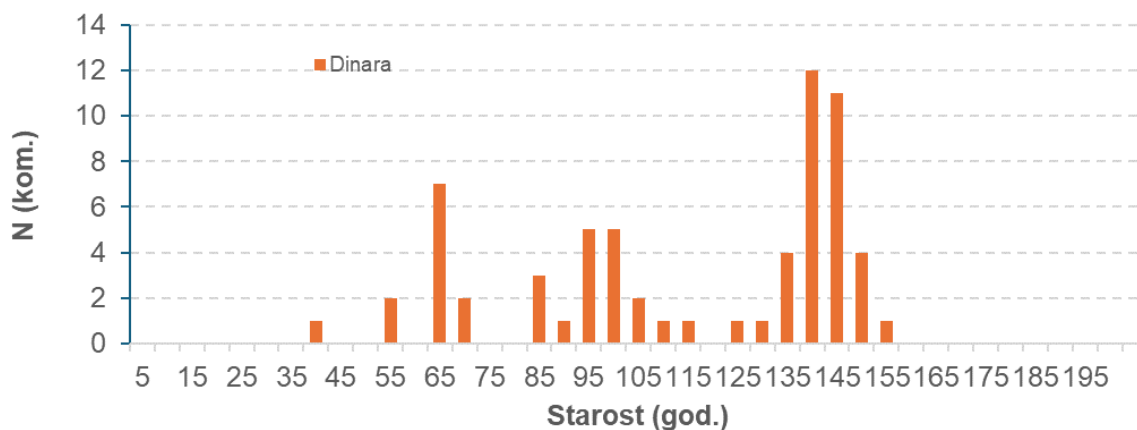
Istraživane sastojine crnog bora na Biokovu imaju temeljnicu od 9.08 m<sup>2</sup>/ha, dok je na istraživanom lokalitetu na Dinari nešto veća te iznosi 9.95 m<sup>2</sup>/ha. U ranijim istraživanjima se primjećuje da sastojine crnoga bora na zapadu Dinarida, posebno u priobalnom pojasu hrvatskog Sredozemlja, imaju značajno manju temeljnicu u usporedbi sa sastojinama na istočnom području Dinarida, poput Zelengore, Perućice i Višegrada (Lukač, 2023), što je potvrđeno i u ovom istraživanju na Biokovu i Dinari. Razlog takvim rezultatima se mogu pripisati značajnom utjecaju bure i velikoj kamenitosti terena posebice za lokalitet Biokova.



**Slika 11.** Distribucija temeljnice po debljinskim razredima i lokalitetima istraživanja

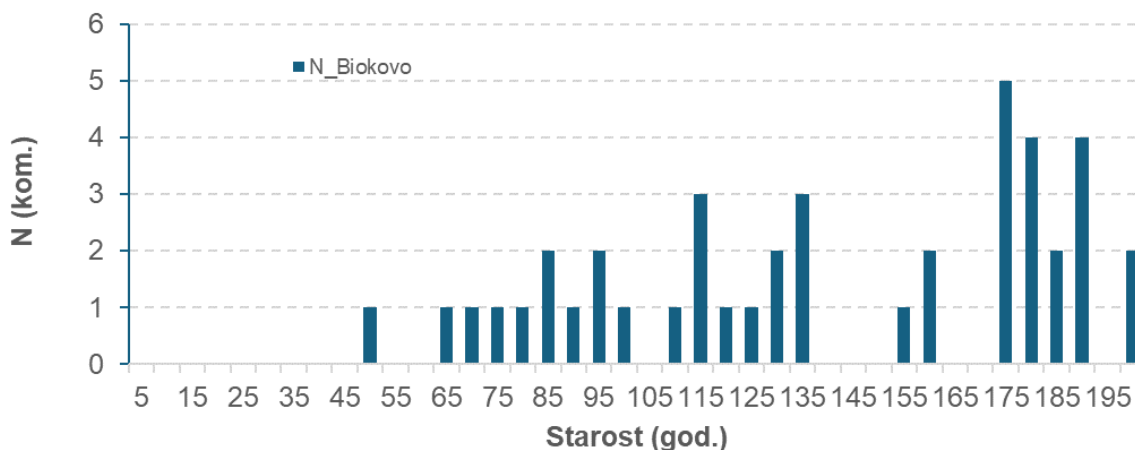
## 5.2. Dobna struktura istraživanih sastojina

Analize dobnih struktura za područje istraživanih sastojina prikazane su na slici 12, a za Biokovo na slici 13. Rezultati analize ukazuju da je području Dinare najveći broj stabala stariji od 100. godina. Osim toga utvrđene su tri generacije stabala. Prva generacija prosječne starosti oko 140. godina, druga oko 100 i treća oko 65 godina (Slika 12).



**Slika 12.** Distribucija broja stabala prema starosti za lokalitet Dinara

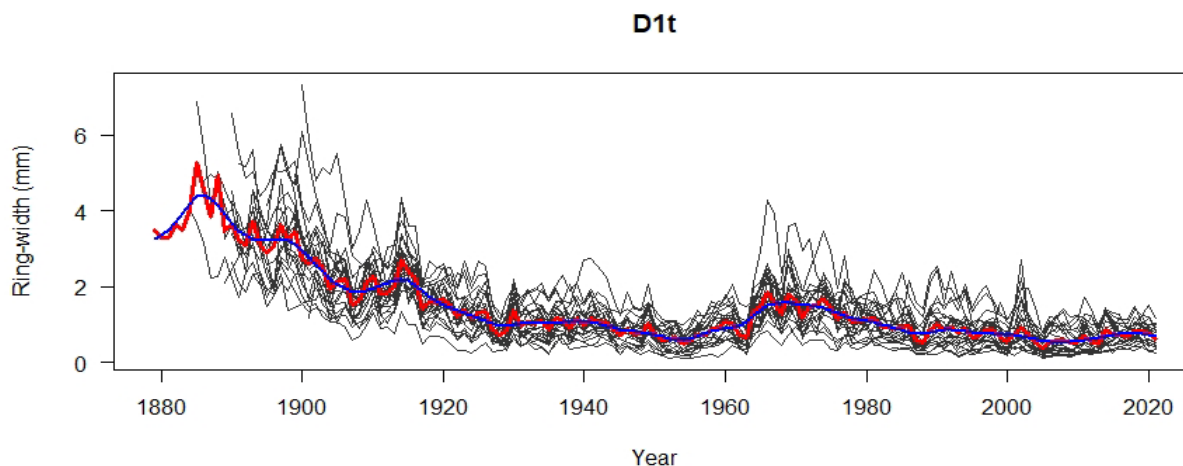
Premda je manji broj uzorkovanih stabala na lokalitetu Biokovo u odnosu na Dinaru također su utvrđene tri generacije stabala crnog bora (Slika 13).



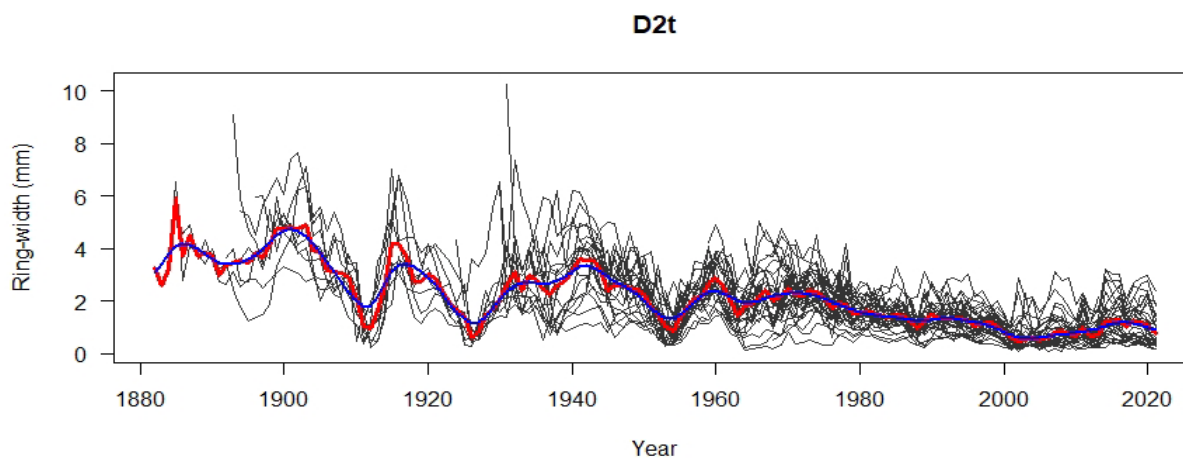
**Slika 13.** Distribucija broja stabala prema starosti za lokalitet Biokovo

Kronologije širina godova (TRW) su napravljene za svaki lokalitet posebno, a one su prikazane na slikama 14., 15., 16. i 17. Obzirom na oblik navedenih kronologija vidljivo je da se trend širine godova međusobno razlikuje. Svaki istraživani lokalitet ima svojstvenu dinamiku rasta i razvoja za promatrano razdoblje, tj. tijekom životnog vijeka za istraživane sastojine. Na plohama je kvalitetno uzorkovano minimalno 20 stabala na Biokovu (ploha 2) i maksimalno 35 na Dinari (ploha 2).

Kronologije širina godova (TRW) za Dinare pokazuju očekivani biološki trend smanjenja širine godova tijekom životnog vijeka stabala i sastojina, ali ipak se uočavaju određene razlike. Oblik kronologije na plohi 1 ukazuje da su stabla nastala na otvorenoj površini (nakon požara) gdje nije bilo utjecaja nadstojnih stabala, također je zabilježen nagli skok u širini godova nakon 1960. godine. Takav skok ukazuje da su stabla u jednom trenutku bila oslobođena konkurencije i reagirala su značajnim povećanjem prirasta. Trend rasta na plohi 2 bilježi više naglih skokova u širini godova, a najznačajniji je nakon 1950. godine. Prosječna vrijednost širine godova na plohi 1 je 1,76 mm, a na plohi 2 je 1,29 mm.

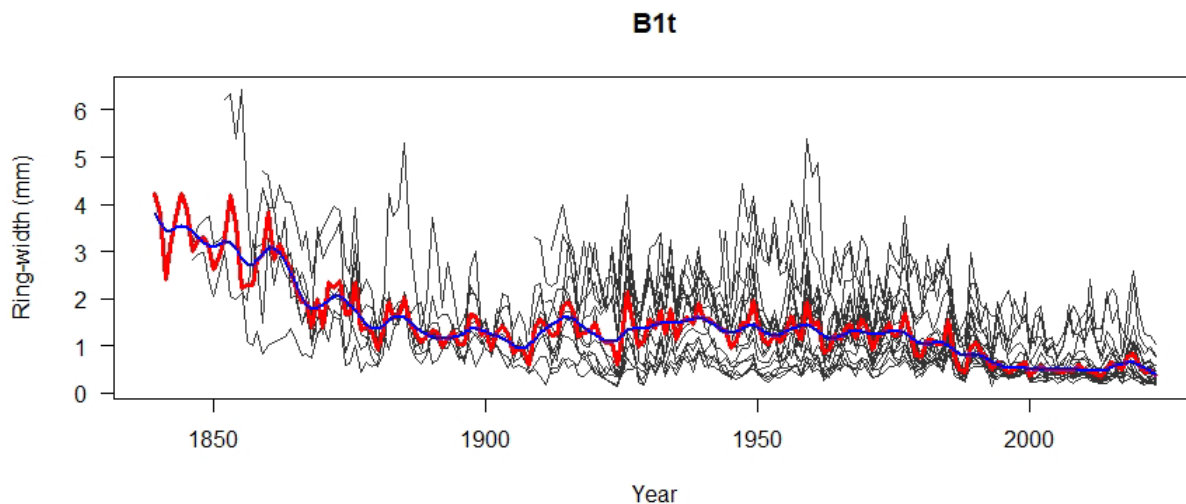


**Slika 14.** Širine godova crnog bora na Dinari (ploha 1)

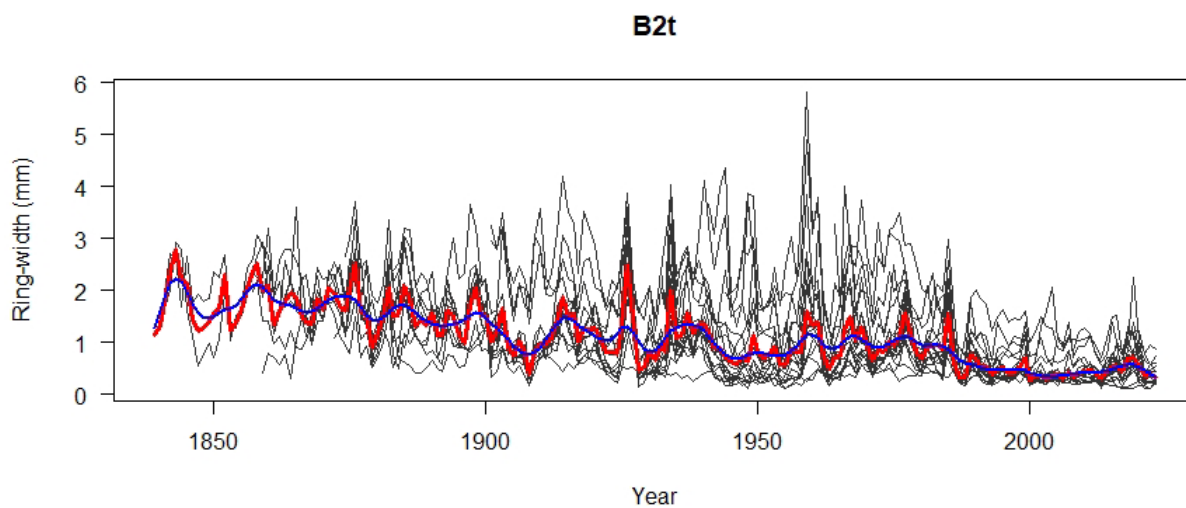


**Slika 15.** Serija širine godova crnoga bora prema godinama na Dinari (ploha 2)

Za razliku od prethodno opisanih lokaliteta, na Biokovu je trend pada širine godova manje izražen. Širina godova u mladosti (prvih 50 godina) je veća, te postupno s vremenom od 1830. godine pa sve do danas širina godova se smanjuje. Prosječna širina godova za plohu 1 je 1.30 mm dok za plohu 2 iznosi 1.11 mm.



**Slika 16.** Serija širine godova crnoga bora prema godinama na Biokovu (ploha B1)

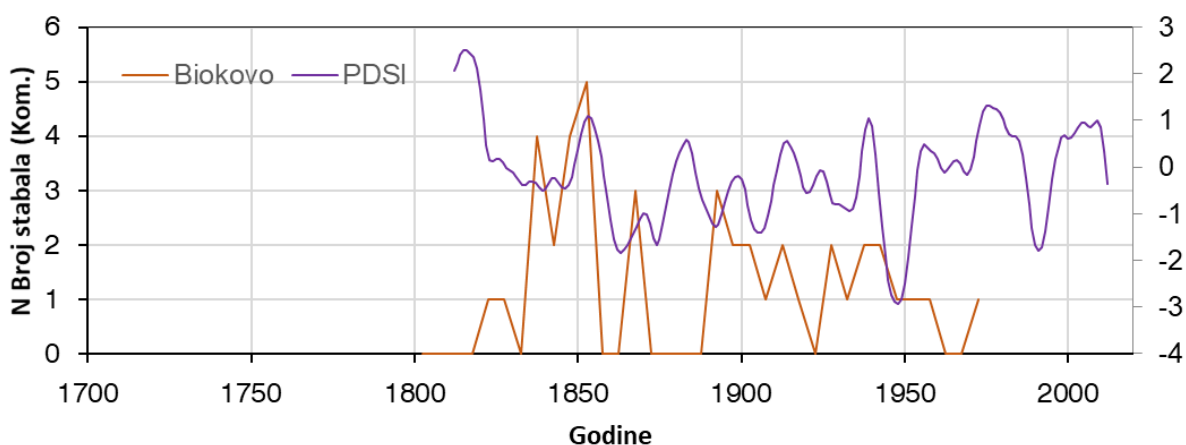


**Slika 17.** Serije širine godova crnoga bora prema godinama na Biokovu (ploha 2)

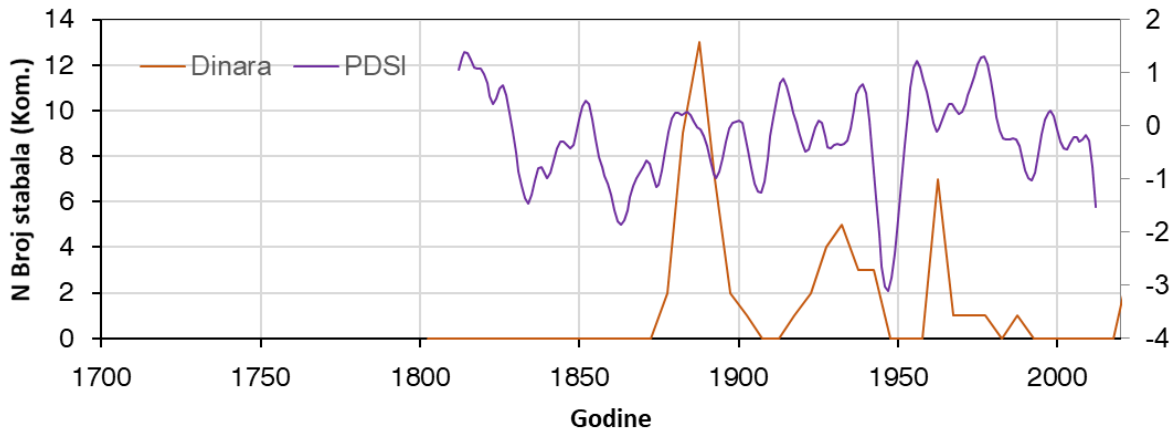
### 5.3. Rezultati analize prirodne dinamiku razvoja istraživanih sastojina na Biokovu i Dinari

Analizom je utvrđena pojavnost generacije crnoga bora na istraživanim lokalitetima te su obje kronologije analizirane u odnosu na Palmerov indeks jačine suše (PDSI). Ovaj indeks se učestalo koristi u ekologiji i klimatologiji a ukazuje na jačinu i trajanje suše. Vrijednosti PDSI-a: ukazuju na stanje suše ili vlažnosti u sustavu te su izražene kao indeksne vrijednosti gdje negativne vrijednosti ukazuju na sušne uvjete (npr. -2 ukazuje na umjerenu sušu, dok -4 ili niže ukazuje na ekstremnu sušu) dok pozitivne vrijednosti ukazuju na vlažne uvjete (npr. +2 znači umjerene vlažne uvjete, a +4 ekstremnu vlažnost). Vrijednosti oko 0 predstavljaju normalne uvjete vlage.

Analizom je utvrđeno da na području Dinare masovna pojavnost nove generacije bora koincidiraju sa sušnim razdobljima i to naročito u razdobljima nakon 1850 i 1940 godina (Slika 19). Za razliku od Dinare na Biokovu zbog manjeg broja uzrokovanih stabla ne možemo sa sigurnošću potvrditi ovu zakonitost.



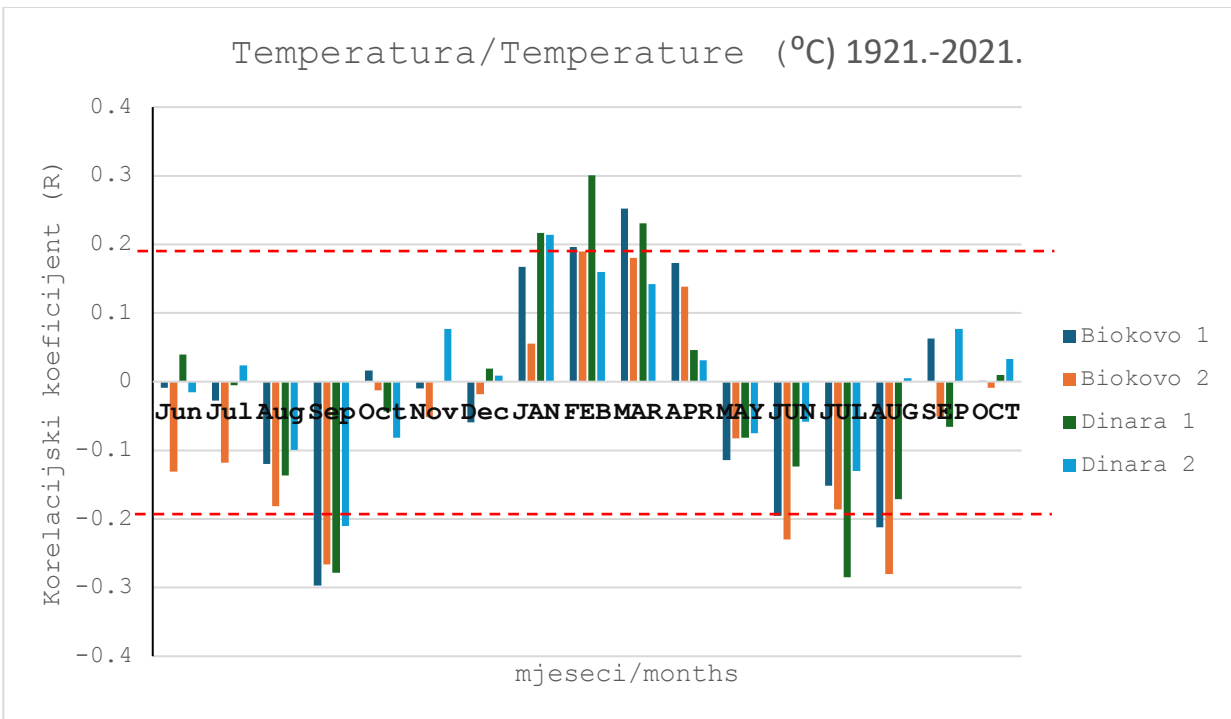
**Slika 18.** Kronologija broja stabala crnoga bora prema godinama postanka u odnosu na Palmerov indeks jačine suše (PDSI) za područje Biokova



**Slika 19.** Kronologija broja stabala crnoga bora prema godinama postanka u odnosu na Palmerov indeks jačine suše (PDSI) za područje Dinare

#### 5.4. Klimatska osjetljivost radijalnog prirasta crnih borova na istraživanim lokalitetima

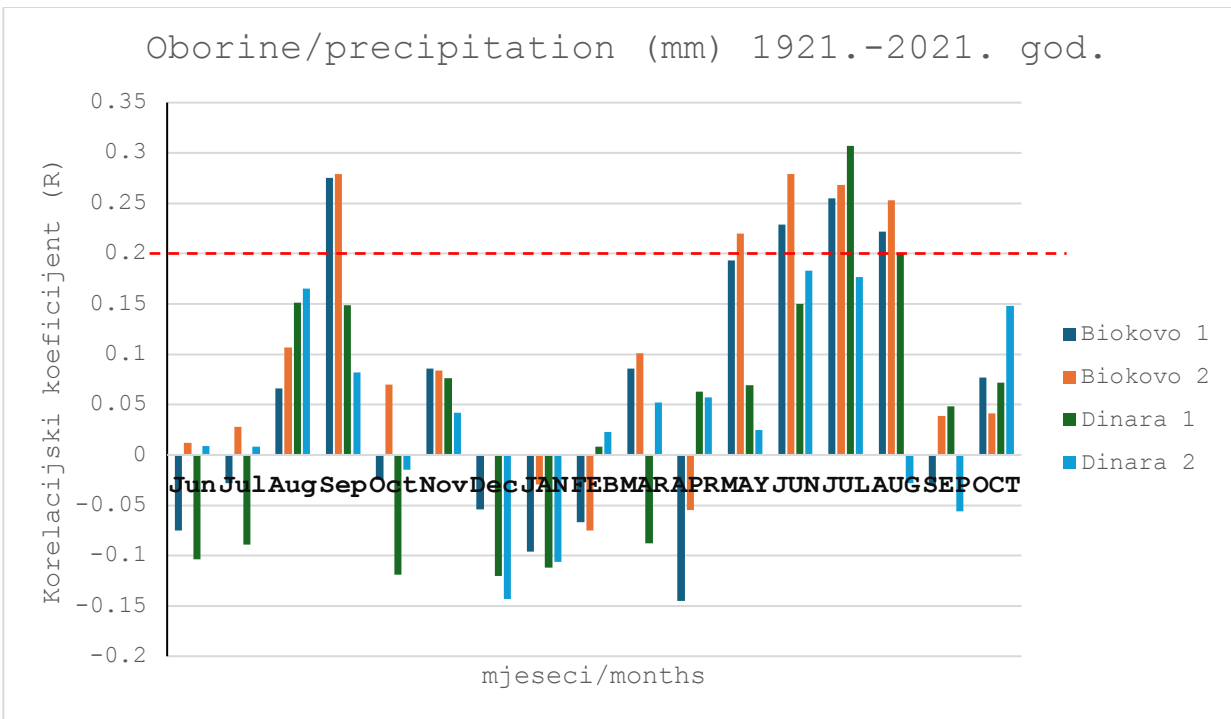
Korelacija kronologija rasta crnoga bora s temperaturom pokazuju značajne negativne vrijednosti u rujnu (Sep) prethodne godine za sve lokalitete. Raspon vrijednosti između lokaliteta iznosi od 0.21 do 0.30. Značajne pozitivne vrijednosti pokazuju se u siječnju tekuće godine (JAN), ali samo za dva lokaliteta i one iznose 0.22 (D1) i 0.21 (D2), te u veljači tekuće godine (FEB) za sve lokalitete osim za lokalitet D2. Pozitivne vrijednosti se bilježe i u ožujku tekuće godine (MAR) za B1 i D1. Što se tiče značajnih negativnih vrijednosti u tekućoj godini one su zabilježene u razdoblju od lipnja (JUN) do kolovoza (AUG). U lipnju značajne negativne vrijednosti su samo na lokalitetu B2, u srpnju (JUN) samo na lokalitetu D1, dok su u kolovozu značajne negativne korelacije na svim lokalitetima osim na D2.



**Slika 20.** Korelacijski koeficijenti (R) između mjesečnih vrijednosti lokalnih klimatskih čimbenika (prosječnih temperatura zraka) sa svakom pojedinom kronologijom širina godova prema lokalitetima. Mjeseci prethodne godine su označeni malim slovima, a štampanim slovima mjeseci tekuće godine nastanka goda. Korelacije su napravljene za razdoblje od 1921. – 2021. godine. Skraćene oznake lokaliteta: B1, B2, D1 i D2.

Korelacija kronologije rasta crnoga bora sa oborinama za razliku od temperature ne pokazuje značajne negativne vrijednosti, kako za prethodnu tako ni za tekuću godinu. Što se tiče pozitivnih korelacija one su značajne za lokalitete na Biokovu u rujnu prethodne godine (Sep). U tekućoj godini značajne pozitivne korelacije zabilježene su u svibnju (MAY) na lokalitetu B2, u lipnju na svim lokalitetima osim na D1, te u srpnju i kolovozu značajne pozitivne korelacije su zabilježene na svi lokalitetima osim na D2.

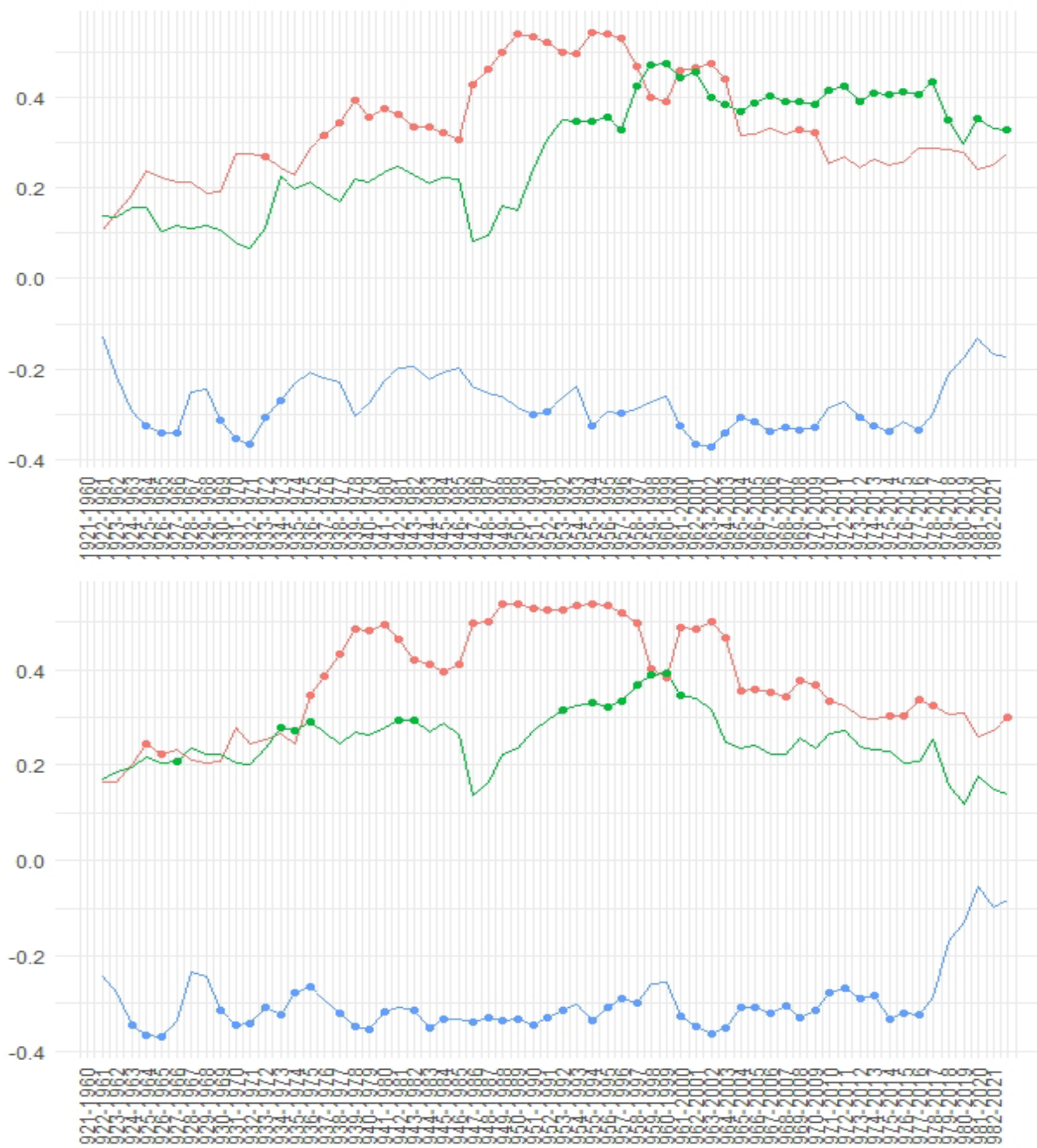




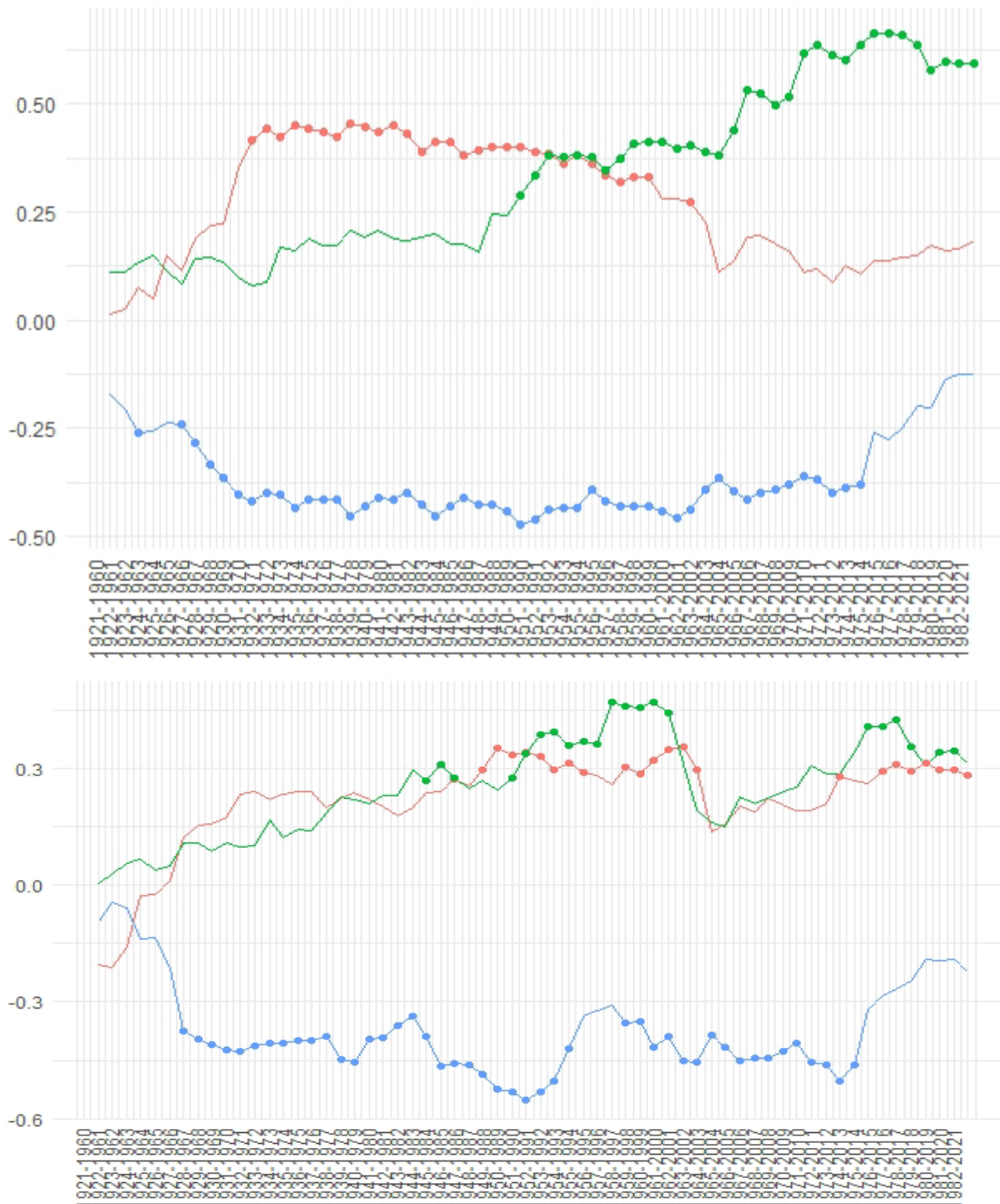
**Slika 21.** Korelacijski koeficijenti (R) između mjesečnih vrijednosti lokalnih klimatskih čimbenika (sume oborina) sa svakom pojedinom kronologijom širina godina prema lokalitetima. Mjeseci prethodne godine su označeni malim slovima, a štampanim slovima mjeseci tekuće godine nastanka goda. Korelacije su napravljene za razdoblje od 1921. – 2021. godine. Skraćene oznake lokaliteta: B1, B2, D1 i D2.

Pomične korelacije između rezidualnih kronologija (lokaliteta) i sezonskih vrijednosti oborina i temperature zraka, prikazane na slikama 22. i 23., omogućuju analizu promjena klimatskih uvjeta tijekom vremena i njihovog utjecaja na rast stabala. Ove korelacije pružaju uvid u stabilnost klimatskog signala tijekom promatranog razdoblja, što znači da možemo pratiti ostaje li odnos između klimatskih varijabli (oborina i temperature) i rasta stabala dosljedan ili se mijenja kroz vrijeme.

Ako korelacije ostaju konzistentne, to sugerira stabilan klimatski utjecaj na rast stabala. Međutim, ako se korelacije mijenjaju, to može ukazivati na promjene u klimatskom režimu ili u osjetljivosti stabala na specifične klimatske uvjete. Takve promjene mogu biti uzrokovane raznim faktorima, uključujući promjene u regionalnoj klimi, ekološkim uvjetima ili odgovorima stabala na stresne uvjete, kao što su suše ili promjene u temperaturi. Zato su ove pomične korelacije važne jer omogućuju detektiranje potencijalnih promjena u klimatskom utjecaju na rast stabala, što može biti korisno za razumijevanje dugoročnih trendova u ekosustavima i reakcijama na klimatske promjene.



**Slika 22.** Pomične korelacije s prosječnim vrijednostima temperature zraka u ljeto prethodne godine (od kolovoza – listopada, plava linija) sa sumom oborina (od kolovoza – rujna, crvena linija), te sa prosječnom temperaturom zraka u proljeće tekuće godine (veljača – ožujak, zelena linija) sa kronologijom crnoga bora. B1 (gore) i B2 (dolje)



**Slika 23.** Pomične korelacije s prosječnim vrijednostima temperature zraka u ljeto prethodne godine (od kolovoza – listopada, plava linija) sa sumom oborina (od kolovoza – rujna, crvena linija), te sa prosječnom temperaturom zraka u proljeće tekuće godine (veljača – ožujak, zelena linija) sa kronologijom crnoga bora. D1 (gore) i D2 (dolje)

## 6. RASPRAVA

Crni bor (*Pinus nigra* J. F. Arnold) predstavlja izuzetno značajnu i prilagodljivu vrstu drveća, s ključnom ekološkom i ekonomskom ulogom u mnogim područjima Europe i Mediterana. Zbog svojih fizioloških osobina, otpornosti na teške uvjete te sposobnosti oporavka nakon požara, nezamjenjiv je u šumarstvu i obnovi degradiranih krajolika. Ipak, izazovi poput klimatskih promjena, učestalih požara i napada štetnika zahtijevaju stalnu pažnju kako bi se očuvala dugovječnost i zdravlje sastojina crnog bora. Sastojine crnog bora na Biokovu i Dinari obzirom na svoj položaj i nepristupačan teren nisu bile pod utjecajem čovjeka u obliku gospodarskih zahvata. Prepuštene su prirodnoj obnovi, a isto tako su često izložene požarima. Analizom strukture je utvrđeno da se ne radi o tako starim sastojinama crnog bora. Na lokalitetu Borovac najstarije datirano stablo bilo je staro 199 godina, a na lokalitetu Crni tavani radi se o nešto mlađim sastojinama gdje je najstarije datirano stablo od 144 godine. Analiza broja stabala po debljinskim razredima pokazuje da se najveći broj stabala na istraživanim lokalitetima nalazi u debljinskom razredu 40-50 cm.

Temeljnice u sastojinama crnog bora je podjednake na istraživanim lokalitetima Biokova iznosi  $9.09 \text{ m}^2/\text{ha}$ , a na Dinari  $9.95 \text{ m}^2/\text{ha}$ . Što se tiče drvne zalihe ona se značajno razlikuje između lokaliteta te je na Biokovu ona manja zbog ekstremnijih uvjeta i iznosi  $475.24 \text{ m}^3/\text{ha}$ , dok na Dinari zbog pogodnijeg terena ta vrijednost iznosi  $853.68 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Najveća drvna zaliha nalazi se u debljinskom razredu 50 cm na Biokovu, a na Dinari u debljinskim razredima 50-60 cm. Biokovske sastojine crnog bora imaju manji visinski rast te je najviše stablo 14 m visine, a na Dinari 21.8 m.

U istraživanjima koje je proveo Miklič 2021. u sastojinama koje su pošumljavane i starosti od 130. godina na hrvatskom Sredozemlju bilježe drvnu zalihu od 130 do  $560 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Kao što je vidljivo u istraživanju koje je proveo Miklič 2021. i prema rezultatima istraživanja na lokalitetima Biokova i Dinare uočene je velika varijabilnost drvne zalihe. Ta varijabilnost osim što je povezana sa starosti također je i pod velikim utjecajem kamenitosti koja odlikuje dinarski krš.

Kronologije širine godova (TRW) često se koriste za rekonstrukciju povijesnih promjena i kretanja klimatskih utjecaja na područjima za koja nisu dostupna klimatska mjerenja. Obzirom da se poboljšanjem dendrokronoloških tehnika povećalo znanje o klimatskim promjenama u proteklom tisućljeću (Wilson i sur., 2016). Promatranjem kronologija širine godova uočeno je da svaki lokalitet ima različitu dinamiku razvoja iako plohe na istim područjima istraživanja pokazuju manje međusobne razlike. Glavni utjecaj na širinu godova imaju stanišne prilike i odnos mikroklimatskih uvjeta. Na svim lokalitetima je zabilježen očekivani biološki trend smanjenja širine godova. Oblik kronologije starosti na lokalitetu Dinara (ploha 1) pokazuje da sastojina nastaje na čistoj površini tj. nakon požara i gdje se kasnije nakon 1960. uočava skok u rastu, što upućuje da su stabla oslobođena konkurencije te se pojavljuje nova generacija. Na lokalitetu Dinara zabilježene su tri generacije stabala što je posljedica učestalih požara. Zbog manjeg broja uzoraka na

Biokovu nisu jasno izražene, ali isto se javljaju tri generacije. Najzastupljenija stabla na Biokovu su bila najstarija stabla. Prosječne širine godova su manje na Biokovu i one iznose 1.1 mm, odnosno to je pokazatelj ograničavajućih čimbenika i lošijih uvjeta za razvoj u odnosu na Dinaru. Istraživanje provedeno u Španjolskoj pokazalo je da se crni bor može znatno brže prilagoditi na uvjete nedostatka vode i ekstremne stanišne uvjete u usporedbi s drugim vrstama.

Također, u sastojinama crnog bora tijekom sušnih razdoblja dolazi do pojačane kompeticije među susjednim stablima. Dominantna stabla crnog bora pokazuju veću prilagodljivost na sušu, što im omogućuje brži oporavak nakon sušnih perioda (Martín-Benito i sur., 2008). Drugu polovicu dvadesetog stoljeća obilježili su promjenjivi ekološki uvjeti, uključujući povećanje koncentracije CO<sub>2</sub>, taloženje dušika (N) i rast temperatura zraka. Ovi čimbenici, bilo pojedinačno ili u međusobnoj interakciji, utječu na rast stabala i produktivnost šuma (Zhou i sur., 2001).

Na istraživanim lokalitetima u sastojinama crnoga bora zabilježen je klimatski signal odnosno zabilježena je klimatska osjetljivost na temperaturu zraka i oborine, Palmerov indeks jačine suše (PDSI). Zabilježen je značajan i negativan utjecaj temperature zraka na prirast crnog bora, a najznačajnije negativne temperature javljaju se u jesen prethodne godine, te u ljeto tekuće godine tijekom promatranog razdoblja. Što bi značilo da veće temperature zraka tijekom promatranog razdoblja značajno smanjuju prirast crnog bora. Što se tiče klimatske osjetljivosti na sezonske oborine na istraživanim lokalitetima su zabilježene značajne pozitivne vrijednosti u ljetnim mjesecima tekuće godine, dok za razliku od temperature promatrane sastojine ne bilježe značajne negativne vrijednosti za oborine.

U opstanku ove vrste na trenutnim područjima najviše igraju stanišni uvjeti na koje se vrsta s vremenom prilagođava. U prethodnim istraživanjima pokazalo se da značajnije pomlađivanje u sastojinama crnog bora događa otprilike svakih 50 godina, a da se razmak između pojave novih generacija povećava nakon 1950. godine. Ova promjena može se pripisati utjecaju klimatskih promjena i antropogenih čimbenika (Lukač, 2023). Analizirane širine godova pokazale su povezanost između stanišnih uvjeta i rasta stabla. Obzirom da su istraživane sastojine raznodobne strukture što upućuje na učestale požare, ali na manjim površinama. Samo na mjestima požari su zahvati krošnje stabala pa se tu pojavljuju nove pomladne jezgre. Sastojine na istraživanim lokalitetima nisu izložene smanjenju površina koje prekriva crni bor nego je samo zabilježen smanjen prirast zbog povećanih temperatura.

## 7. ZAKLJUČCI

1) Analizom strukture istraživanih sastojina možemo zaključiti da istraženi lokaliteti imaju obilježja tipičnih crno-borovih sastojina. Distribucije broja stabla su unimodalne (zvonolike), ali s velikim rasponom prsnih promjera što ukazuje na njihov način postanka i da se radi o sastojinama koje su pod isključivim utjecajem prirodnih čimbenika. Produktivnost sastojina iskazana kroz volumen ukazuje na značajne razlike između istraživanih sastojina što je rezultat ekstremnih stanišnih prilika (manje kvalitete).

2) Dobna struktura unatoč debljinskoj distribuciji ipak ukazuje da se radi o raznodobnim sastojinama u kojima su utvrđene tri generacije borova. Stoga možemo zaključiti da su istraživane sastojine raznodobne strukture.

3) Pojavnost novih generacije crnih borova na istraživanim lokalitetima ukazuje da se pojava novih generacija crnoga bora (prirodno pomlađivanje) uglavnom podudara s intenzivnim sušnim razdobljima što upućuje na požare kao glavne pokretače prirodne obnove.

4) Crni borovi na istraživanim lokalitetima pokazuju značajnu pozitivnu osjetljivost na ljetne oborine i negativnu osjetljivost na temperature zraka u ljetu tekuće godine. Visoke temperature zraka u kombinaciji s izostankom oborina ograničavaju rast crnih borova.

5) Pozitivna osjetljivost na proljetne temperature zraka, naročito od 1960. do danas ipak ukazuje na možebitnu prirodnu aklimatizaciju jer borovi iskorištavaju topla proljeća kako bi formirali svoje godove, a tijekom ljeta odlaze u stadij mirovanja.

## 8. LITERATURA

1. del Río, S., Canas, R., Cano, E., Cano-Ortiz, A., Musarella, C., Pinto-Gomes, C., Penas, A., 2021. Modelling the impacts of climate change on habitat suitability and vulnerability in deciduous forests in Spain. *Ecol. Indic.* 131, 108202 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108202>.
2. Enescu, Cristian, Daniele de Rigo, Giovanni Caudullo, i Tracy Durrant. (2016): *Pinus nigra in Europe: distribution, habitat, usage and threats*. European Atlas of Forest Tree Species Publisher: Publication Office of the European Union, Luxembourg
3. Fulé, Peter Z., Montserrat Ribas, Emilia Gutiérrez, Ramón Vallejo, i Margot W. Kaye. (2008): Forest Structure and Fire History in an Old Pinus Nigra Forest, Eastern Spain. *Forest Ecology and Management* 255 (3–4): 1234–42. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.10.046>.
4. Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., Stoffel, M., 2014. 21st century climate change in the European Alps—a review. *Sci. Total Environ.* 493, 1138–1151. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.050>.
5. Hafner, Polona, Iain Robertson, Danny McCarroll, Neil J. Loader, Mary Gagen, Roderick J. Bale, Högne Jungner, Eloni Sonninen, Emmi Hiltunen, i Tom Levanič. (2011): Climate Signals in the Ring Widths and Stable Carbon, Hydrogen and Oxygen Isotopic Composition of Larix Decidua Growing at the Forest Limit in the Southeastern European Alps. *Trees* 25 (6): 1141–54. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0589-z>.
6. Izmir, S.C., Jevšenak, J., Krajnc, L., Hafner, P., Kose, N., Distinct spatial patterns in climate-growth relationships, vegetation and resilience indices of Black pine (*Pinus nigra* J.F. Arnold) from its northern and southern distribution range; *Dendrochronologia* 88 (2024) 126236. [www.elsevier.com/locate/dendro](http://www.elsevier.com/locate/dendro).
7. Levanič, T., 2007. Atrics – a new system for image acquisition in dendrochronology. *Tree-Ring Res.* 63, 117–122. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-63.2.117>.

8. Levanič, Tom, Simon Poljanšek, i Elvin Toromani. (2015): Early Summer Temperatures Reconstructed from Black Pine ( *Pinus Nigra* Arnold) Tree-Ring Widths from Albania. *The Holocene* 25 (3): 469–81. <https://doi.org/10.1177/0959683614561882>.
9. Levanič, Tom, Ionel Popa, Simon Poljanšek, i Constantin Nechita. (2013): A 323-Year Long Reconstruction of Drought for SW Romania Based on Black Pine (*Pinus Nigra*) Tree-Ring Widths. *International Journal of Biometeorology* 57 (5): 703–14. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0596-9>.
10. Lukač, Lj., Dinamika prašuma crnog bora (*Pinus nigra* J. F. Arnold) i munike (*Pinus heldreichii* H. Christ) u subalpskom pojasu jugoistočnih Dinarida Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije. Doktorska disertacija
11. Mihevc, Andrej, Mitja Prelovšek, i Nadja Zupan Hajna. (2010): Introduction to the Dinaric Karst. ZRC SAZU, Založba ZRC. <https://doi.org/10.3986/9789612541989>
12. Miklič, Boris, Igor Anić, Stjepan Mikac, Marko Orešković, Domagoj Trlin, i Anja Žmegač. (2021): Climate sensitivity of black pine ( *Pinus nigra* Arnold.) chronology in the Northern Velebit. *Šumarski list* 145 (3–4): 137–45. <https://doi.org/10.31298/sl.145.3-4.3>.
13. Nagel, Thomas A., i Matteo Cerioni. (2023): Structure and Dynamics of Old-Growth *Pinus Nigra* Stands in Southeast Europe. *European Journal of Forest Research* 142 (3): 537–45. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01540-5>.
14. Nagel, Thomas A., Dejan Firm, Rok Pisek, Tomaz Mihelic, David Hladnik, Maarten de Groot, i Dusan Rozenberger. (2017a): Evaluating the Influence of Integrative Forest Management on Old-Growth Habitat Structures in a Temperate Forest Region. *Biological Conservation* 216 (prosinac): 101–7. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.10.008>.
15. Penuelas, ~ J., Terradas, J., Lloret, F., 2011. Solving the conundrum of plant species coexistence: water in space and time matters most. *N. Phytol.* 189, 5–8. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03570.x>.



16. Rodrigo F.S., Esteban-Parra M.J., Pozo-Vazquez D., and Castro-Diez Y., 1999. A 500-year precipitation record in Southern Spain. *Int. J. Climatol.* 9: 1233–1253. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199909\)19:11%3C1233::AID-JOC413%3E3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199909)19:11%3C1233::AID-JOC413%3E3.0.CO;2-L).
17. Thom, Dominik, i Rupert Seidl. (2016): Natural Disturbance Impacts on Ecosystem Services and Biodiversity in Temperate and Boreal Forests. *Biological Reviews* 91 (3): 760–81. <https://doi.org/10.1111/brv.12193>.
18. Trouet, Valerie. (2014): A Tree-Ring Based Late Summer Temperature Reconstruction (AD 1675–1980) for the Northeastern Mediterranean. *Radiocarbon* 56 (4): S69–78. [https://doi.org/10.2458/azu\\_rc.56.18323](https://doi.org/10.2458/azu_rc.56.18323).
19. Vidaković M., Fukarek, P.,. (1965): Nalaz prelazne ili hibridne svojte borova (*Pinus nigra* subsp. *malenovii* Fuk. et Vid.) na planini Prenju u Hercegovini., 68–87.
20. Vilalta, J. M., Pinol, J., Drought-induced mortality and hydraulic architecture in pine populations of the NE Iberian Peninsula; 161 (2002) 247-256. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00495-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00495-9).
21. White, P. S., Pickett, S. T. A. (1985): The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics.
22. Wigley, T. M. L., K. R. Briffa, and P. D. Jones. (1984): On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 2 (23): 201–13.
23. Wilson, Rob, Kevin Anchukaitis, Keith R. Briffa, Ulf Büntgen, Edward Cook, Rosanne D'Arrigo, Nicole Davi, i sur. (2016): Last Millennium Northern Hemisphere Summer Temperatures from Tree Rings: Part I: The Long Term Context. *Quaternary Science Reviews* 134 (veljača): 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.12.005>.

24. Zang, C., i F. Biondi. (2015): Treeclim: An R Package for the Numerical Calibration of Proxy-climate Relationships. *Ecography* 38 (4): 431–36. <https://doi.org/10.1111/ecog.01335>.
25. Zhou, Liming, Compton J. Tucker, Robert K. Kaufmann, Daniel Slayback, Nikolay V. Shabanov, i Ranga B. Myneni. (2001): Variations in Northern Vegetation Activity Inferred from Satellite Data of Vegetation Index during 1981 to 1999. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 106 (D17): 20069–83. <https://doi.org/10.1029/2000JD000115>.