

Istraživanje dinamike rasta crnog bora (*Pinus nigra* Arnold) na području Nacionalnog parka Sjeverni Velebit.

Prugovečki, Darjan

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:523556>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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



ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

DIPLOMSKI STUDIJ URBANOG ŠUMARSTVA, ZAŠTITE PRIRODE I OKOLIŠA

DARJAN PRUGOVEČKI

**ISTRAŽIVANJE DINAMIKE RASTA CRNOG BORA
(*Pinus nigra* Arnold) NA PODRUČJU NACIONALNOG
PARKA SJEVERNI VELEBIT**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2017.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

ISTRAŽIVANJE DINAMIKE RASTA CRNOG BORA (*Pinus nigra* Arnold) NA PODRUČJU NACIONALNOG PARKA SJEVERNI VELEBIT

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Urbano šumarstvo, zaštita prirode i okoliša

Predmet: Prašume i šumski rezervati

Ispitno povjerenstvo:

1. Doc. dr. sc. Stjepan Mikac
2. Doc. dr.sc. Damir Ugarković
3. Dr. sc. Vinko Paulić

Student: Darjan Prugovečki

JMBAG: 0068212568

Broj indeksa: 503/2014

Datum odobrenja teme: 11.04.2016

Datum predaje rada: 02.07.2017

Datum obrane rada: 07.07.2017

Zagreb, srpanj, 2017.

Dokumentacijska kartica

Naslov	Istraživanje dinamike rasta crnog bora (<i>Pinus nigra</i> Arnold) na području Nacionalnog parka Sjeverni Velebit.
Title	Research of black pine (<i>Pinus nigra</i> Arnold) forests dynamics in National park Sjeverni Velebit.
Autor	Darjan Prugovečki
Adresa autora	Bartula kašića 8, 10000 Zagreb
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Doc. dr. sc. Stjepan Mikac
Izradu rada pomogao	Doc. dr. Sc. Stjepan Mikac, Hrvoje Barać dipl. ing., Anja Žmegač mag. ing. silv., Domagoj Trlin mag. ing. silv.
Godina objave	2017.
Obujam	Broj stranica:33 tablica:1 , slika:14 , navoda literature:22
Ključne riječi	Crni bor, prašume, NP sjeverni velebit, dendrokronologija, dendroekologija
Key words	Black pine, old growth forests, NP Sjeverni Velebit, dendrochronology, dendroecology
Sažetak	Cilj ovog rada je istraživanje dinamike rastacrnoga bora posebice na području NP Sjeverni velebit. U tu svrhu korišteno je nekoliko dendrokronoloških metoda i analitičkih programa. Napravljena je kronologija sastavljena od 49 izvrtaka sa 25 stabala. Izvedena je indeksna kronologija te je utvrđena značajna korelacija radijalnog rasta crnog bora sa mjesečnim vrijednostima oborina i temperatura. Prema tim podacima napravljena je rekonstrukcija oborina za razdoblje od 1800-2015 godine. Kronologija poremećaj analizirana je koristeći metodu Nowacki & Abrams (1997) s kojom je utvrđeno 4-5 požara u zadnjih 200-njak godina na području nacionalnog parka. Ovaj diplomski rad napravljen je u sklopu znanstveno istraživačkog projekta "Uspostava dugoročnog znanstvenog monitoringa prirodnih šumski ekosustava Republike Hrvatske - CroFEM financiranog od strane Hrvatske zaklade za znanost (IP-2014-648 09-1834)

Sadržaj

1. UVOD	1
2. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA	8
3. CILJEVI ISTRAŽIVANJA	13
4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA	14
4.1. Područje istraživanja	15
4.2. Prikupljanje i obrada podataka	16
4.3. Klimatski podaci.....	17
4.4. Radijalni rast i analiza poremećaja.....	17
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	19
5.1. Dobna struktura uzorkovanih stabala	19
5.2. Izrađena indeksna kronologija	20
5.3. Odnos radijalnog prirasta i klimatskih čimbenika	22
5.4. Rekonstrukcija oborina za razdoblje od 1800 - 2015.	23
5.5. Analiza pojave požara i dinamika prirodnih poremećaja	26
6. RASPRAVA.....	28
7. ZAKLJUČCI	30
8. POPIS LITERATURE	31

POPIS SLIKA

Slika 1. Prostorna razdioba crnog bora u Europi (EUFORGEN 2009)

Slika 2. Rasprostranjenost crnog bora na području Sv. Jurja

Slika 3. Prostorna razdioba crnog bora od Borovog vrha do Lisca

Slika 4. Prostorna razdioba crnog bora kod grada Senja

Slika 5. Područje istraživanja s položajem pokusne plohe u rezervatu Borov vrh

Slika 6. Izgled sastojine na lokalitetu Borov vrh

Slika 7. Distribucija broja stabala prema dobi

Slika 8. Standardizacija indeksne kronologije

Slika 9. Standardizirana rezidualna kronologija crnoga bora

Slika 10. Linearne korelacije sa mjesečnim vrijednostima oborina i indeksnom kronologijom za razdoblje 1901 - 2015. godine

Slika 11. Linearne korelacije sa mjesečnim vrijednostima temperatura i indeksnom kronologijom za razdoblje 1901 - 2015. godine

Slika 12. Odnos radijalnog prirasta i ukupne količine oborina u mjesecima lipnju i srpnju (gore) i rekonstruirane oborine za razdoblje do 1800 godine (dolje).

Slika 13. Prostorna korelacija TRI sa sumom oborina u lipnju i srpnju tekuće godine

Slika 14. Područje istraživanja s položajem pokusne plohe

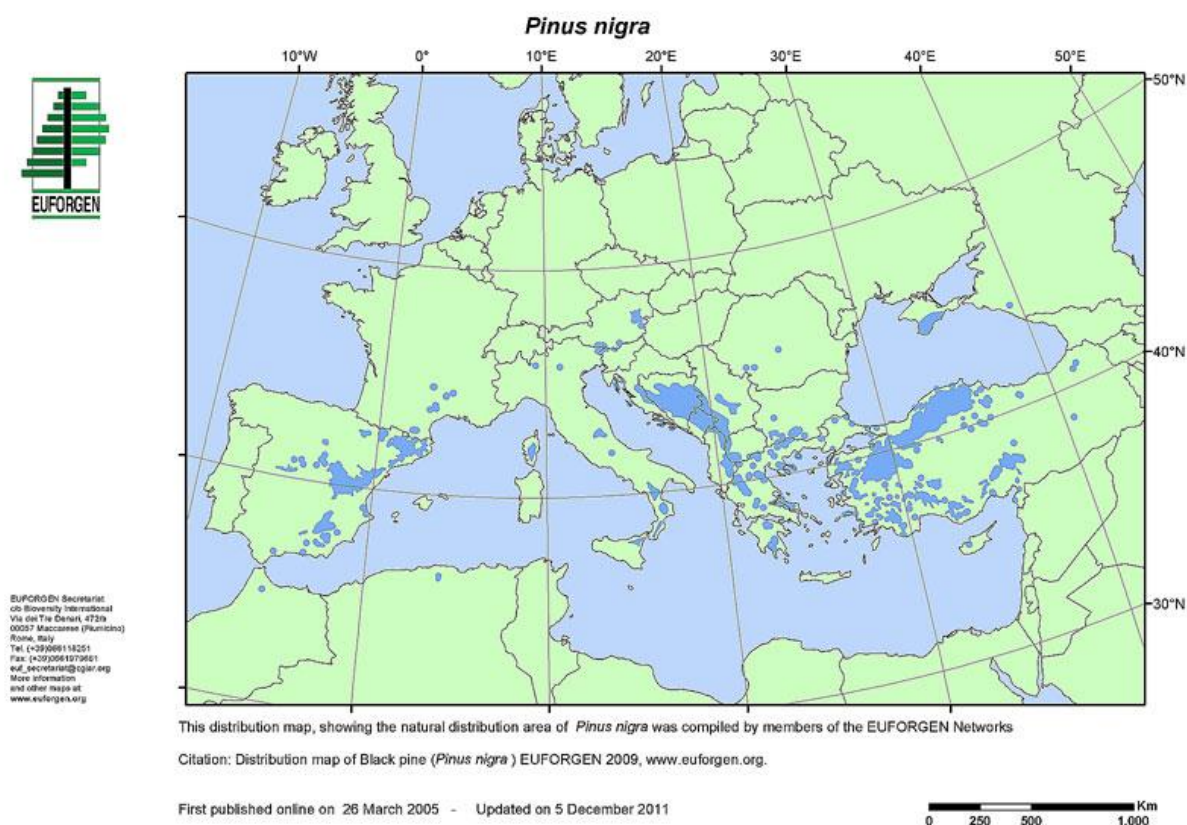
Slika 14. Uzrokovani kolut mrtvog stabla crnoga bora sa ožiljcima od požara

POPIS TABLICA

Tablica 1. Osnovni deskriptivni podaci o širinama godova

1. UVOD

Crni bor (*Pinus nigra* J.F. Arnold) jedna je od najčešćih vrsta borova na području Mediterana sa širokim ali veoma diskontinuiranim arealom. Uglavnom dolazi u planinskim ili semi-planinskim područjima na suhim (aridnim, semiaridnim područjima) i kamenitim terenima. Može rasti na različitim vrstama tla, od pjeskovitih podzolastih tala pa do vapnenaca. Voli suhe i otvorene položaje i izrazita je fotofilna vrsta. Susrećemo ga najčešće u jednoličnim i naizgled jednodobnim sastojinama bez pomlatka što upućuje na pojavu požara i njegovu osjetljivost na sušu. Prirodno je rasprostranjen od 350 metara nadmorske visine u Italiji do 2200 metara na planini Taurus. Crni bor trenutno pokriva preko 3.5 milijuna hektara (Euforgen, *Pinus nigra*, 2004) te je jedna od najrasprostranjenijih vrsta četinjača na području Balkana i Male Azije.



Slika 1. Prostorna razdioba crnoga bora u Europi (EUFORGEN 2009)

Crni bor vrlo je varijabilna vrsta te se dijeli na niz podvrsta, varijeteta i stanišnih rasa te je zbog toga taksonomski vrlo teško ograničiti pojedine skupine. Iako su razlike između pojedinih taksonomskih skupina male, imaju jasno odijeljene granice areala. U ovom radu koristit će se podjela na taksonoske jedinice prema djelu *Flora europaea* (T.G. Tutin, 1964).

Prema toj podjeli razlikujemo nekoliko podvrsta: *ssp. nigra*, koja je rasprostranjena od Austrije na sjeveru do Italije na zapadu, pa preko područja Hrvatske, Bosne i Hercegovine, Albanije sve do sjeverne Grčke na jugu; *ssp. salzmannii* Franco. Na području Pirinijeja te centralne i istočne Španjolske; *ssp. laricio* (Poiret) na području Korzike, Sicilije i Kalabrije; *ssp. dalmatica* (Visiani) Franco iz primorskog predjela Hrvatske, Crne gore i Albanije i *ssp. pallasiana* (Lambert) Holomboe iz istočnih (Bugarska) i južnih dijelova (Grčka, Makedonija) Balkanskog poluotoka te s Krima i iz Male Azije. Od navedenih vrsta na području hrvatske prirodno pridolaze dvije podvrste: Austrijski crni bor (*Pinus Nigra* *ssp. nigra*) te dalmatinski crni bor (*Pinus nigra* *ssp. dalmatica*).

Iz ovoga možemo zaključiti da je crni bor veoma varijabilna vrsta. Predpostavlja se da su mnoge morfološke i fiziološke razlike nasljedne zbog diskontinuiranosti i rasprostranjenosti. Vrlo je teško rekonstruirati distribuciju crnoga bora u prošlosti no temeljem analize makrofosila izgledno je da je crni bor bio rasprostranjen na sjeverozapadnom Mediteranu tijekom kasnog pleistocena (P. Roiron i sur., 2013). Smatra se da su te populacije pretrpjele velike gubitke u razdoblju holocena zbog utjecaja globalnog zatopljenja a kasnije i zbog velikog antropogenog utjecaja i sječa (P. Roiron i sur., 2013). Upravo ti događaji doveli su do velike fragmentacije areala crnoga bora koji se proteže od sjeverozapadne Afrike kroz južnu Europu pa sve do Male Azije (Nikolić i Tucić., 1983). Prema događajima iz prošlosti možemo pretpostaviti daljnje širenje, odnosno distribuciju areala crnoga bora koja će uvelike ovisiti o geografskom položaju. Ukoliko se nastavi trend povišenja temperature možemo očekivati suše i pojavu vodnog stresa na području Mediterana koje će se negativno odraziti na rast i distribuciju crnoga bora dok se na području centralne Europe očekuje povećanje njegova areala (Zimmermann i sur., 2014).

Mediteransko područje obuhvaća 27% kopnenog teritorija Republike Hrvatske. Kroz povijest je ovo područje bilo pod antropogenim djelovanjem (nekontrolirana sječa,

brst, ispaša, požari) što je dovelo do degradacije klimatogenih šuma na području Mediterana, osobito šuma hrasta crnike i šuma hrasta medunca. Kao rezultat ovih negativnih utjecaja došlo je do pojave finalnog degradacijskog stadija odnosno do rasprostranjenja gologa krša. Upravo na takvim, kršovitim područjima prirodno se (progresivnom sukcesijom) ili umjetno (pošumljavanjem) obnavljaju borovi.

Crni bor je glavna pionirska vrsta drveća u submediteranskoj, hemimeditersanskoj i epimeditersanskoj vegetacijskoj zoni. U submediteranskoj i epimeditersanskoj zoni tvori šumu crnoga bora i crnoga graba (*Ostrya-Pinetum nigrae* Trinajstić 1999) rasprostranjenu na Velebitu i Dinari, te endemične šumske zajednice crnoga bora na dolomitima (*Euphorbia triflorae-Pinetum nigrae* Trinajstić 1999) kod Grobničkog polja, i šumu crnoga bora i mušmulice (*Cotoneastro tomentosus-Pinetum nigrae* Horvat 1938) na prostorima Velike i Male Paklenice. U hemimeditersanskoj zoni tvori šumske sastojine dalmatinskog crnog bora s crnikom (*Quercus ilicis-Pinetum dalmaticae* Trinajstić 1986) i šumu dalmatinskog crnog bora s resikom (*Erica-manipuliflorae-Pinetum dalmaticae* Trinajstić 1986), na Braču, Hvaru, Korčuli, Pelješcu, od 450 do 750 m n. m.. U pretplaninskom pojasu Biokova, na nadmorskoj visini 800 – 1500 m, opisana je šuma dalmatinskog crnog bora s klečicom (*Juniperus sibiricae-Pinetum dalmaticae* Domac /1962/ 1965) (Anić 2014). Osim ovih sastojina prirodnog postanka u šumama Hrvatskog sredozemlja možemo pronaći i mnoge šumske kulture crnoga bora. One su nastale organiziranim pošumljavanjem krajem 19. stoljeća na području Velike Kapele i Velebita. Osim na tim područjima kulture crnoga bora osobito su podignute i na području Istre.

Najvažnije i najljepše prirodne sastojine možemo pronaći na području Nacionalnog parka Sjeverni Velebit. Te su sastojine reliktnog podrijetla i rasprostiru se na nekoliko izrazito očuvanih područja unutar nacionalnog parka. Prema starijim pisanim izvorima možemo saznati mnogo o njihovom području rasprostranjenja i strukturi. Osobito su dobri podaci iz rada profesora dr. Milana Anića – „Crni bor u Sjevernom Velebitu“ iz 1951. godine. Anić je područje parka podijelio na nekoliko lokaliteta počevši od najsjevernijih odnosno od Senjske Drage prema jugu. Na tom području raščlanjeno je nekoliko lokaliteta koji će biti opisani u nastavku.

Anić za prvi lokalitet izdvaja područje Senjske Drage. Na području Senjske drage crni bor u svom prirodnom obliku održao se samo u predjelu Borova koja se nalazi u

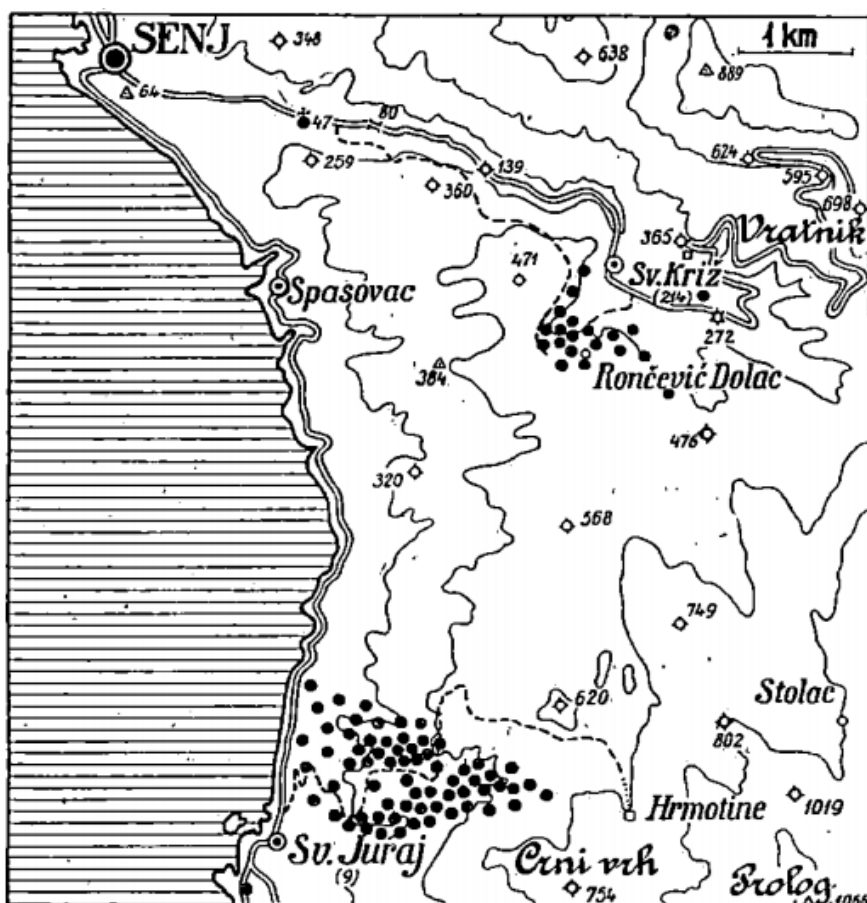
gornjem dijelu uvale. Tamo je opisao stare sastojine crnoga bora do 60 cm debele i 10 metara visoke. Kao najvažniji dio Borova izdvojio je borike kod Rončević Dolca. Opisao ih je kao krupna borova stabla, ravnih debala, bez grana sa tanjurastom krošnjom.

Za drugi lokalitet izdvojeno je područje borika kod Svetog Jurja. To područje je podijeljeno na tri manja lokaliteta: 1. Borova draga, 2. Draga Otinja, 3. Mala Grabova.

Područje Borove drage počinje ispod sela Hrmotina i širi se u zapadnom smjeru prema Svetom Jurju odnosno moru. Na tom području izvršeni su bujični radovi 1883. godine, tako da su goli tereni bili prekriveni kako autohtonim tako i šumskim kulturama crnoga bora. Osobito gusto crni bor ondje pokriva područje Crnoga vrha sa dobro razvijenom etažom listaća a opisani su i borovi do 60 centimetara debljine i 12 metara visine pretežito prirodnog podrijetla.

Područje Drage Otinje nalazi se nešto sjevernije od Borove drage. Opisane su lijepe i guste sastojine borova debelih preko 50 centimetara i oko 15 metara visine na nešto dubljim tlima sa krupnim vapnenačkim blokovima između stabala. Struktura ovih grupa i sastojina upućuje na njihovo prirodno podrijetlo.

Uvala Mala Grabova nalazi se sjevernije od Drage Otinje. Stabla su na tom području uglavnom u manjim skupinama a njihov izgled i struktura ovisi o stanišnim uvjetima pa tako na boljim tlima ima stabala do 40 centimetara debelih i 10 metara visokih a na skeletnim tlima nalazimo stabla jednake debljine ali visine tek do 4 metra.



Slika 2. Rasprostranjenost Crnoga bora na području Sv. Jurja (izvor: Anić 1954)

Za treći lokalitet Anić je izdvojio područje Kita – Marin brižak (Rožanski vrh). Na tom području također su izdvojeni neki važniji centri:, 1. Visibaba (1341 m) sa okolišem, 2. Budim vrh (1206 m) sa okolišem, 3. Padine lisca i Rožanskog vrha, 4. Borov vrh (1080 m) sa okolišem.

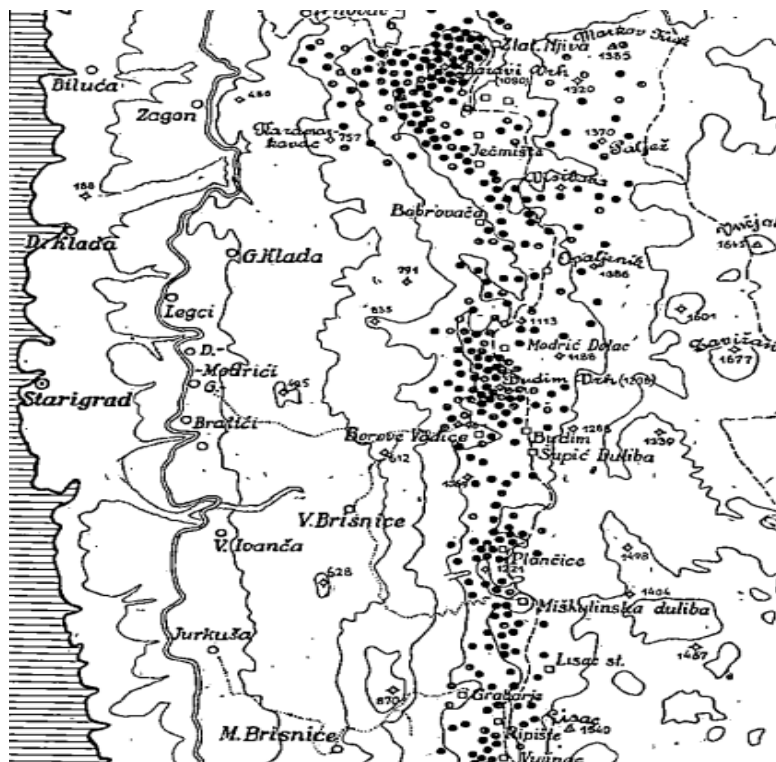
Područje Visibabe okarakterizirano je izlomljenim, škrapovitim terenom sa dosta vrtača. Ovim područjem na većim visinama dominira obična smreka dok se na nešto nižim nadmorskim visinama nalaze prirodne sastojine bora.

Budim vrh također je područje na kojem su se očuvale prirodne sastojine bora i to u velikim skupinama. Osobito lijepe šume prirodnog crnog bora možemo pronaći iznad dolčića Balinovac koji su autori opisali kao jedno od najljepših prirodnih sastojina crnoga bora. Borovi na ovom području tvore dobru, sklopljenu sastojinu na površini od 3 ha sa stablima debelim do 50 centimetara i visokim do 20 metara.

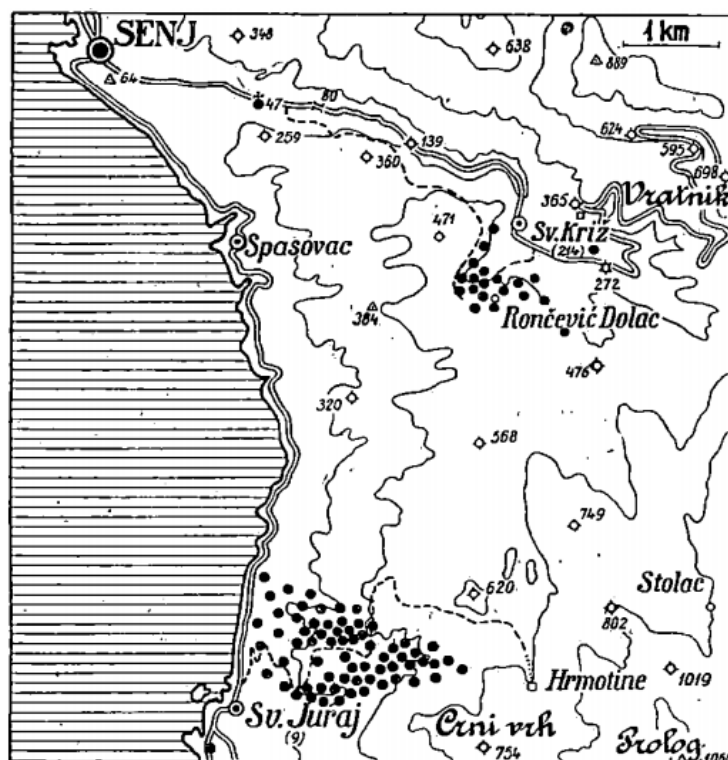
Padine Lisca i Rožanskog vrha karakteriziraju skupine borova koje rastu na grebenima i glavicama dok na dubljim i formiranijim tlima prevladava bukva a na višim uzvisinama pridolazi bor krivulj.

Na četvrtom mjestu ove podjele nalazi se Borov vrh. Borov vrh predstavlja jedno od najvažnijih područja na kojem se očuvala reliktna šuma crnoga bora. Iz starije literature (1951) možemo pronaći podatke da je taj kompleks bio puno veće površine te da je godinama bio utjecan negativnim djelovanjem stoke i požara.

Na velikoj površini od gotovo 150 ha rasprostire se jedan od najvećih i najsuvisljijih kompleksa borova na području Nacionalnog Parka Sjeverni Velebit. Raste pretežito na vapnenačkoj podlozi među velikim vapnenačkim blokovima. Unatoč takvom staništu ondje se razvijaju lijepe velike sastojine crnoga bora sa stablima visokim preko 20 metara i debljim od 60 centimetara u prsnom promjeru. Osobito lijepa sastojina crnoga bora nalazi se na sjeverozapadnoj strani Borovog vrha gdje su se borovi održali unatoč požaru 1948 godine. Na području Borovog vrha uzeti su svi uzorci koji su se koristili u ovom radu pri istraživanju dinamike rasta crnoga bora.



Slika 3. Prostorna razdioba crnog bora od Borovog vrha do Lisca (izvor: Anić 1954)



Slika 4. Prostorna razdioba crnog bora kod grada Senja (izvor: Anić 1954)

2. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA

Ni jedan ekosustav, pa tako ni šuma odnosno šumski ekosustavi nisu statični. Šumski ekosustavi pod stalnim su utjecajem ekoloških i bioloških faktora koji utječu na razvoj odnosno dinamiku šuma. Proces dinamike šuma možemo sumarizirati na dva osnovna procesa a to su utjecaji egzogenih i endogenih poremećaja te sukcesija šuma.

Poremećaji su svi događaji koji kao rezultat svoga djelovanja utječu na promjenu u sastavu vrsta, funkciji i strukturi šuma. Mogu varirati u intenzitetu i učestalosti u kojoj se pojavljuju na određenom području. Dijelimo ih na egzogene i endogene čimbenike. Egzogeni čimbenici su vanjski čimbenici koji direktno utječu na šume poput vjetrova, suše, požara, poplava, snijega, utjecaja štetnih insekata, erozije itd. Ovdje možemo uvrstiti i poremećaje koji nastaju uslijed djelovanja ljudskih aktivnosti poput ispaše, brsta, zbijanja tla i slično. Endogeni čimbenici predstavljaju fiziološko odumiranje stabala zbog starosti.

Prirodni poremećaj je bilo koji događaj (prirodni ili antropogeni) koji dovodi do narušavanja ekosustava, zajednice ili strukture populacije i mijenja resurse, dostupnost supstrata ili fizičku okolinu (Pickett i White, 1985), a uključuje destruktivne, katastrofalne događaje kao i one manje zamjetne promjene u okolišu. U pravilu, poremećaji uzrokuju značajne promjene u promatranom sustavu (1).

Poremećaje možemo karakterizirati na različite načine, a ti pokazatelji kolektivno opisuju i karakteriziraju režim poremećaja.

- **Područje/Veličina** – ukupno površinsko prostiranje poremećaja, uključujući veličinu pojedinih direktno pogođenih područja u određenom vremenu.
- **Prostorna distribucija** – Prostorna distribucija poremećaja; distribucija događaja prema topografiji, tlu, itd. Tipično pruža ili utvrđuje karakterističnu prostornu skalu. Obuhvaća i zarazu – sklonost, brzinu širenja i faktore koji utječu na disperziju događaja.

- **Frekvencija** – prosječan broj poremećaja kroz vremenski period na određenom području. Jedan od najčešće prikazanih atributa u režimu poremećaja.
- **Interval ponavljanja** – prosječno vrijeme između poremećaja na određenom području. Jednaka je inverziji frekvencije poremećaja.
- **Interval povratka** – prosječno vrijeme između poremećaja na istoj lokaciji, odnosno, koliko često je pogođeno isto mjesto na tlu. Predstavlja kritičnu komponentu u režimu poremećaja jer izravno utječe na vrijeme koje ekosistem, zajednica ili populacija ima na raspolaganju za oporavak prije sljedećeg poremećaja
- **Rotacijski period** – Prosječno vrijeme unutra kojega prostor pogođen poremećajima kumulativno dosegne površinu promatranog područja. Drugim riječima, poznavajući frekvenciju poremećaja i veličinu pogođenog područja pojedinim događajem, predviđa se koliko je potrebno vremena da kumulativno bude pogođeno područje jednako veličini cijelog promatranog područja. Uz naglasak da to ne označava vrijeme potrebno da svaka lokacija u promatranom području bude pogođena jer se uzima u obzir da će neka područja biti pogođena nekoliko puta, a neka nijednom. Rotacijski period je jednak intervalu povratka.
- **Predvidivost** – varijacije vezane uz interval ponavljanja ili povratka i/ili frekvencije. Ako postoji malo varijabli postoji veća mogućnost predviđanja kad će neko područje biti pogođeno zasnovano na proteklom vremenu od zadnjeg poremećaja. Ako je varijabilnost veća, postoji mnogo varijacija u intervalu povratka, što onemogućava pouzdano predviđanje.
- **Opseg poremećaja** – Postoje dva aspekta opsega poremećaja: intenzitet koji se odnosi na fizičku snagu događaja po jedinici vremena i veličini područja, te jačina koja se odnosi na opseg utjecaja na organizme, zajednice i ekosistem.
- **Sinergija** – Utjecaj poremećaja na pojavu drugih poremećaja. Na primjer, može postojati sinergijski odnos između šumskog požara i pojave insekata u određenom šumskom tipu.
- **„Feedback“** – Neki poremećaji mogu potaknuti ili zakočiti druge poremećaje. Na primjer, požar može utjecati na frekvenciju požara koji će uslijediti te na granice pojedinačnog pogođenog područja.

Iz analize navednih područja možemo zaključiti kako crni bor na Velebitu čini veliki gotovo neprekinuti areal koji se proteže od sjevernog dijela Nacionalnog parka pa sve do područja Rožanskih kukova te se dalje širi prema Paklenici. Vro je široke ekološke amplitude pa ga tako možemo naći na područjima uz more pa sve do nepristupačnih kamenih visova na visini od 1400 metara.

Zbog toga se i sastav i struktura borovih šuma uvelike razlikuje ovisno o ekološkim i stanišnim uvjetima. Iako mu je areal razmjerno velik, crni bor najčešće ne pridolazi u velikim skupinama već ovisno o stanišnim uvjetima zauzima ona mjesta gdje druge vrste ne bi mogle uspijevati i priprema ekološke uvijete za njihov pridolazak. S obzirom na biološka svojstva bora i njegove ekološke odnose na ovom se području svakako radi o autohtonim staništima (Anić, 1954).

Iz prijašnje literature možemo zaključiti da je područje na kojem se razvija crni bor kroz povijest negativno utjecano ponajviše požarima. Iako starija stabla imaju debelu koru te manje stradavaju od prizemnog požara, visoki požari znatno utječu na dinamiku borovih šuma. O čestim i opsežnim požarima svjedoče nam i nazivi u parku kao što su: Palež, Paljež, Opaljeni vrh, Opaljenik i dr. (Anić, 1954). Velika je vjerojatnost da su u čitavom arealu crnoga bora šume bile potpuno uništene i to po više puta. Najveću štetu učinio bi požar ako bi se pojavio u razdoblju kada na stablima još nije bilo razvijenog sjemena. U tom slučaju borove sastojine znale su biti opožarene do temelja. Iza požara ostajali bi ili posve goli tereni, ili su se ondje ukoliko su bili povoljni ekološki uvijeti postupno počele razvijati zajednice autohtonih listača. Ako bi se požar pojavio tijekom jeseni ili tijekom ranijeg proljeća i ukoliko je u to vrijeme na stablu bilo zrelih češera, došlo bi također do uništenja starih borovih sastojina, no u ovom slučaju zapaljeno bi se tlo nakon požara prirodno pošumilo sa sjemenom. Upravo zbog takvog načina prirodne obnove nakon požara često na staništu crnoga bora nalazimo regularne odnosno jednodobne sastojine crnoga bora. Često osim borika regularnog oblika možemo pronaći i sastojine crnoga bora koje se nalaze u gotovo prebornom obliku. Takve sastojine nastaju prirodnom obnovom na lošijim terenima gdje su se mjestimično održala starija stabla koja su preostala nakon požara a između njih se pojavio pomladak. I danas se na arealu crnoga bora često događaju požari.

U literaturi možemo pronaći podatke o požarima na području Nacionalnog parka Sjeverni Velebit pa tako Anić navodi veliki požar 1948. godine također na području Borova vrha te prizemni požar 1946. godine u Rastovičiću. Zadnji požar dogodio se na Borovom vrhu 2012. godine, no međutim nije učinio znatne štete jer je bio prizemnoga oblika. Požari prizemnog oblika zahvaćaju samo prizemni sloj i iako ne uzrokuju propadanje starijih stabala dolazi do poremećaja u flornom sastavu, odnosno do gubitka prizemnog raslinja.

Na požare također utječe suša pa su tako tijekom sušnih razoblja vjerojatnosti pojave požara veće. Količina oborina može dosta varirati s obzirom na nadmorsku visinu na kojoj se borovi nalaze. Ljetne suše su česta pojava i bor je na njih dosta dobro prilagođen. S obzirom na količinu oborina i zračnu vlagu možemo zaključiti da bor općenito raste na područjima na kojima vlada oskudica vode. Na to osobito utječe i geološka građa te geomorfološke karakteristike terena. Na takvim skeletnim i oskudnim terenima bor može opstati jer razvija duboku žilu srčanicu i korijenovu mrežu te prema nekim navodima na takvim terenima bolje opstaje nego na ilovastim tlima.

Osim učestale pojave požara na crni bor utječu i mnogi drugi ekološki faktori poput vjetra. Vjetar je vrlo važan faktor i također utječe na rast i dinamiku crnih borova. Osobito na njihov rast i distribuciju utječe bura koja puše u hladnim mjesecima i može postići velike brzine. Anić ističe da se crni bor pojavljuje na mjestima koja su izložena vrlo jakim vjetrovima na kojima gotovo niti jedno drugo stablo ne može opstati osim crnog bora. Takvi su položaji najčešće veliki nepristupačni grebeni. Otpornost na jake vjetrove omogućava mu dobro razvijeni korijenski sustav. Raspored drveća na terenu jasno nam pokazuje, kako se ono odnosi prema vjetru. Bukva se nalazi na posve zaklonjenim, zasjenjenim i svježijim mjestima. Primorske listače zauzimaju također zaklonjena mjesta ali na toplijim položajima dok se na najizloženijim terenima pojavljuje bor (Anić, 1954).

Osim prirodnih poremećaja i ekoloških faktora na rasprostranjenje i rast crnoga bora također je utjecao i čovjek. Čovjek već dugi niz godina živi na Velebitu. Na ravnim terenima koji su bili pogodni za uzgoj poljodjelskih kultura čovjek je iskrčio borove, dok je na ostalim terenima boravio tijekom ljetnih mjeseci sa stokom. To je dakako i

utjecalo na njegovo rasprostranjenje pa je tako bor opstao na nepristupačnim terenima. Stoka je također značajno utjecala na rast borovih sastojina. Osim što se ispašom uništavala iskonska prizemna vegetacija borov pomladak stradavao je od brsta stoke pa je tako obnova bila otežana na takvim područjima. Čovjek je u prošlosti radio velike štete borovima i istesavanjem treščica za luči zbog čega je došlo do odumiranja i sušenja stabala ili bi nakon toga bila lako polomljena vjetrom. I danas se na Velebitu mogu pronaći takva stabla.

Iz analize ekoloških odnosa koji utječu na rast i dinamiku šuma crnoga bora možemo zaključiti da je crni bor vrlo prilagodljiva i otporna vrsta koja može uspjevati na ekstremnim terenima koji nisu pogodni za ostale vrste. Utjecaj tih ekoloških čimbenika na sam rast i dinamiku borovih sastojina možemo prikazati uz pomoć dendrokronologije odnosno dendroekologije. Naime činjenica je da stabla svake godine stvaraju godove koji bilježe odnosno reflektiraju stanje iz okoliša. Uz pomoć proučavanja i analize godova možemo doći do informacija poput same starosti stabla ali i mnogih drugih informacija koje stablo bilježi poput informacija o količini padalina, učestalosti suša te ostalim negativnim utjecajima u kojima se stablo našlo tijekom svoga života poput požara, poplava itd. Analizom godova možemo rekonstruirati klimu ili pak istražiti utjecaj klime na rast i dinamiku stabla.

3. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Ciljevi ovoga istraživanja su:

- 1) Utvrditi dobnu strukturu sastojina crnog bora na području Borovog vrha
- 2) Utvrditi utjecaj klimatskih čimbenika na radijalni prirast crnog bora
- 3) Napraviti rekonstrukcije klimatskih prilika koristeći indeksne kronologije
- 4) Analizirati dinamiku prirodnih poremećaja i pojavnosti požara

4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA



Slika 5. Područje istraživanja s položajem pokusne plohe u rezervatu Borov vrh

4.1. Područje istraživanja

Područje istraživanja obuhvaća šumski kompleks Borov vrh (1080m) i njegov okoliš, ukupne površine od oko 600 ha i nadmorske visine od 700-1400 metara. Borovi vrh prostire se prema jugu preko Pogledala do Visibabe, a prema zapadu pokriva padine počevši od Zlatine njive i Ječmišta pa sve do Trnovca i Karamarkova vrha. Na ovom području crni bor čini gotovo čiste sastojine. Geomorfološki radi se o raznolikom staništu od lako trošivih vapnenaca pa sve do tala sa dubljim supstratima. Pretežito raste na skeletnim i skeletoidnim smeđim primorskim karbonatnim tlima. Na cijelom području možemo vidjeti velike kamene blokove između kojih raste bor. Specifičnost ovih terena su i veliki vapnenački visovi i grebeni na kojima također uspjevaju borovi. Zbog svoje iznimne vrijednosti (prašuma crnog bora) ovaj kompleks je izuzet iz gospodarenja.

Za istraživanje klimatskih čimbenika uzeti su podaci sa Zavižana, najbliže meteorološke postaje području istraživanja. Prema podacima sa meteorološke postaje šire područje Zavižana uz Gorski kotar prima najveće godišnje količine oborina. Najviše oborina pada u hladnim mjesecima u vidu snijega ili kiše. Gotovo 50% dana su izrazito vlažni s prosječnom zračnom vlagom od 80%. Karakteristično za područje Velebita je i veliki broj dana s maglom, odnosno zadržavanje oblačnog sloja na vrhovima Velebita. Tijekom toplih dana česte su i grmljavinske oluje. Prosječna snježna zima traje dulje od sedam mjeseci dok se u udolinama i ponikvama može zadržati i duže. Najveća količina snijega padne tijekom veljače i ožujka a njegova prosječna visina kreće se oko 130 cm. Najviša količina snijega izmjerena je u ožujku 1984 godine i iznosila je 320 cm. Područje Zavižana jedno je od najhladnijih područja Hrvatske. Srednja godišnja temperatura inosi 3,3 °C. Najviša temperatura ikad izmjerena iznosila je +28 °C dok je najniža izmjerena temperatura iznosila -29 °C. Najhladniji mjesec je veljača sa srednjom temperaturom od -4,3 °C, a najtopliji srpanj sa 12,2 °C. (Zavižan između snijega, vjetra i sunca, 2003).



Slika 6. Izgled sastojine na lokalitetu Borov vrh

4.2. Prikupljanje i obrada podataka

Uzorci na terenu prikupljeni su standardnom metodologijom (Phipps 1985) korištenjem Presslerovog svrdla na približnoj visini stabla 1,30 m od razine tla, okomito na prevladavajući nagib terena. Bušenje se vršilo na velikim starim stablima kako bi se dobio veći godišnji raspon, odnosno što više informacija. U srpnju 2015. godine sa terena je uzeto 49 izvrtaka sa 25 stabala.

Uzorci se, po povratku s terena, skladište u hladnjaku na temperaturi od oko 5°C. Prije daljnje laboratorijske obrade, uzorci se lijepe na daščice radi lakše obrade i nakon toga bruse standardnom grubom i finom obradom brusnim papirom postupno povećavajući granulaciju papira.

Izmjera širina godova je provedena koristeći integrirani sustav ATRICS opremljen sa OLYMPUS binokularom i polariziranim izvorom svjetla. Daljnje procesuiranje podatka provedeno je pomoću TSAP-Win™ dendrochronological software (<http://www.rinntech.de>). Datiranje obrađenih izvrtaka u individualnu kronologiju napravljeno je vizualno te koristeći t - vrijednosti koeficijenta korelacije (Baillie & Pilcher 1973) i *Gleichläufigkeit* koeficijent (Schweingruber 1988). Za analizu kontrole kvalitete datacije upotrijebljen je program COFECHA (Holmes 1983, Grissino-Mayer 2001).

Standardizacija, odnosno uklanjanje varijabilnosti niske frekvencije (low frequency variability) koja je posljedica efekta biološke starosti i/ili sustava prirodnih poremećaja provedeno je pomoću *Spline* metode (odziva frekvencije is 0.50 na 67% duljine izvrtka) koristeći paket "*dplR*" u R-u (Bunn 2008). Individualne serije su nakon standardizacije kombinirane u jedinstvenu kronologiju (TRI) izračunatu pomoću *Tukey's biweight robust mean* (Mosteller & Tukey 1977) minimalizirajući utjecaj grubih pogrešaka (outliers) (Bunn 2008). U svim naknadnim analizama korištena je standardna kronologija ("Standard Chronology"). Za procjenu pouzdanosti kronologije korišten je izraženi populacijski signal (EPS). Vrijednosti EPS-a veće od 0.85 su uzete kao prihvatljive za daljnu obradu podataka (Wigley et al. 1984). Za statističku analizu korišteni su pokazatelji kao: prosječna osjetljivost (*MS* – Mean Sensitivity), prosječna korelacija između pojedinačnih serija (*Rbar*) te autokorelacija prvog reda (*AC*).

4.3. Klimatski podaci

Klimatski podaci (mjesečne vrijednosti temperature zraka, oborina i standardiziranog Palmerovog indeksa suhoće - scPDSI) preuzeti su iz gridded CRU TS3.24.01 baze prostorne rezolucije 0.5° x 0.5° za razdoblje od 1901. - 2014. godine koristeći platformu KNMI Climate Explorer (Oldenborgh and Burgers 2005, <http://climexp.knmi.nl>). Za potrebe rekonstrukcije klimatskih prilika korišteni su podaci sa meteorološke postaje Zavižan za razdoblje od 1954 - 2015. godine.

4.4. Radijalni rast i analiza poremećaja

Korelacijski (CF) i koeficijenti odziva (RF) između mjesečnih vrijednosti klimatskih elemenata i standardne kronologije (TRI) su izračunati koristeći paket "*treeclim*" u R-u (Zang 2014) za razdoblje od 17 mjeseci (od lipnja prethodne godine do listopada tekuće godine).

Korelacijski i koeficijenti odziva izračunati su za tri razdoblja: od 1901-2015. Sezonska parcijalna korelacijska analiza (Seasonal (partial) correlation analysis) je provedena s ciljem razdvajanja konfuznog utjecaja međukorelacije temperature i oborina koristeći naredbu "*seascorr*" unutar paketa "*treeclim*" (Zang, 2014) za 95%

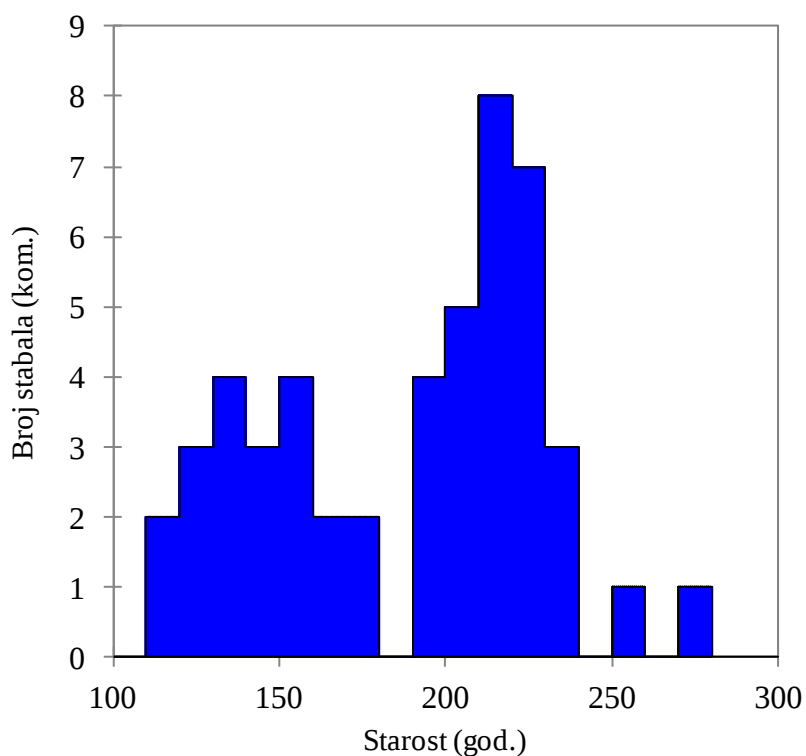
interval pouzdanosti. Korelacija primarne varijable sa kronologijom (TRI) izračunata je kao jednostavni linearni (*Pearson*) korelacijski koeficijent, dok je utjecaj sekundarne varijable izračunat sa rezidualima primarne.

Sezonske korelacije izračunate su za različite duljine sezona raspona od 1 - 9 mjeseci sa korakom od jednog mjeseca s tim da su u rezultatima prikazane za duljine sezona 3, 4 i 6 mjeseci. Kako bismo testirali vremensku stabilnost mjesečnih i prosječnih sezonskih vrijednosti korelacijskih koeficijenata korištena je pomična korelacija analiza (MCF). Pomične korelacije su napravljene za odabrane najznačajnije mjesečne i sezonske vrijednosti klimatskih elemenata koristeći pomičnu sredinu duljine 30 godina. Prostorna korelacija je napravljena pomoću platforme KNMI koristeću CRU TS3.24.01 baze prostorne rezolucije $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ (Oldenborgh and Burgers 2005, <http://climexp.knmi.nl>).

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

5.1. Dobna struktura uzorkovanih stabala

Analizirana dobna struktura ukazuje na postojanje dvije starosne populacije crnoga bora na istraživanom području. Prva populacija obuhvaća mlađa i tanja stabla, prosječne starosti oko 140. godina dok druga populacija obuhvaća deblja i starija stabla dimenzija oko 60 cm prsnoga promjera i prosječne starosti oko 220 godina (Slika 6).



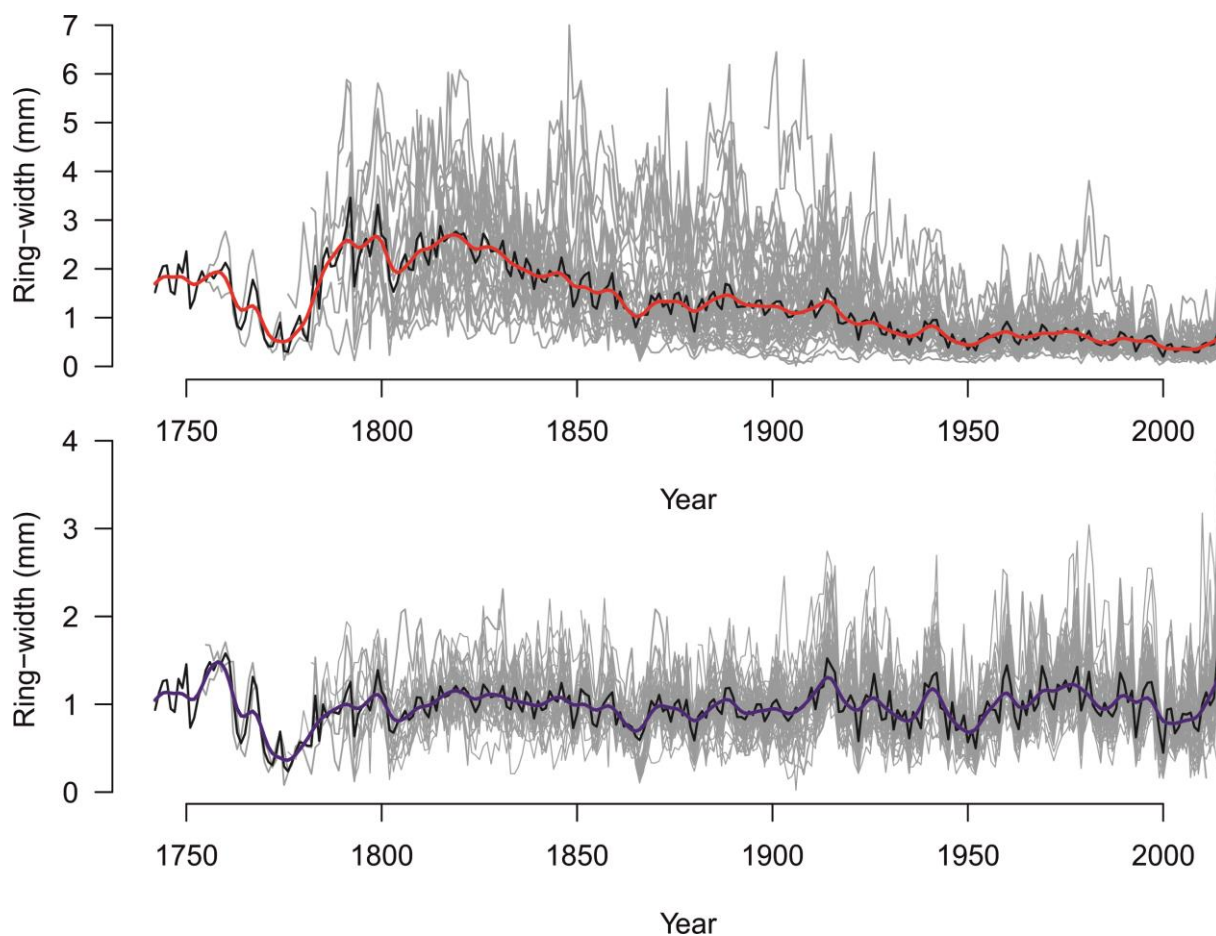
Slika 7. Distribucija broja stabala prema dobi

5.2. Izrađena indeksna kronologija

Izrađena je indeksna kronologija na osnovi 25 stabala odnosno 45 izvrtaka. Prosječna širina godova iznosi 1.20 mm i standardnom devijacijom 0.92 mm. Maksimalna širina goda iznosi i do 7 mm. Ukupna duljina kronologije iznosi 274 godine a duljina pogodna za istraživanje odnosa klime i radijalnog prirasta je od 1800 godina do danas, odnosno 215 godina. Rezultat standardizacije, odnosno uklanjanja biološkog trenda rasta pomoću metode "Cubic Spline" (odziva 0.5 na 67% duljine kornologije) je prikazano na slici 7.

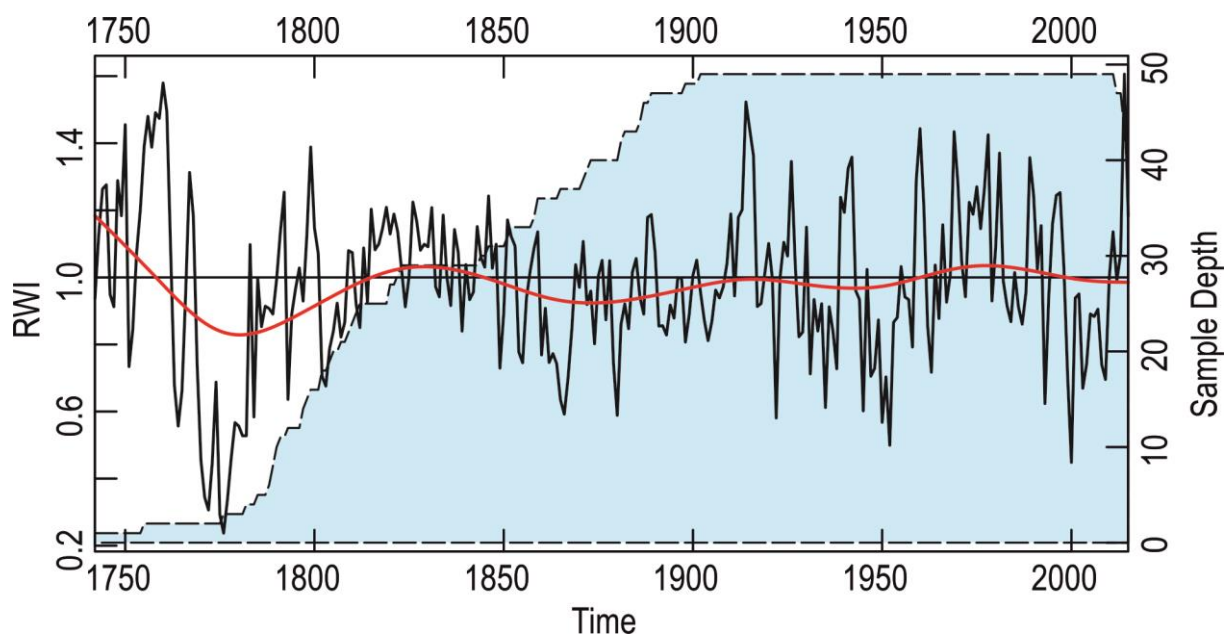
Tablica 1. Osnovni deskriptivni podaci o širinama godova

n.cores	n.trees	n	n.tot	n.wt	n.bt	rbar.tot	rbar.eff	eps	snr
49	25	17.526	1176	25	1151	0.683	0.737	0.98	49.048



Slika 8. Standardizacija indeksne kronologije

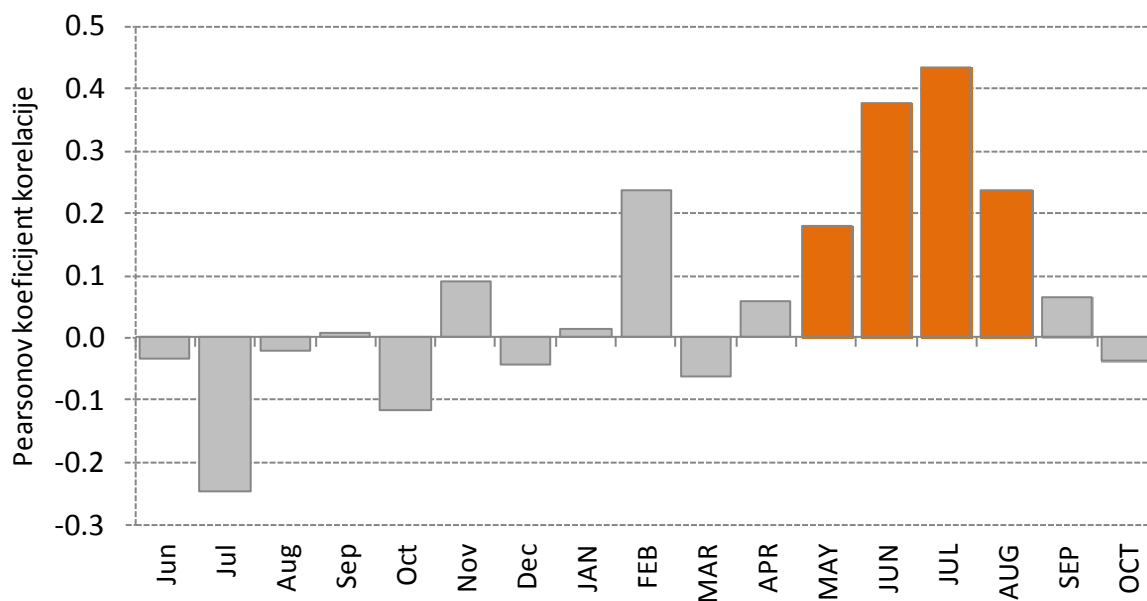
Prosječna standardna kornologija za crni bor je dobivena kao aritmetička sredina (izračunata pomoću metode *Tukey's biweight robust mean*) koja otklanja utjecaj ekstremnih vrijednosti (Slika 8).



Slika 9. Standardizirana rezidualna kronologija crnoga bora

5.3. Odnos radijalnog prirasta i klimatskih čimbenika

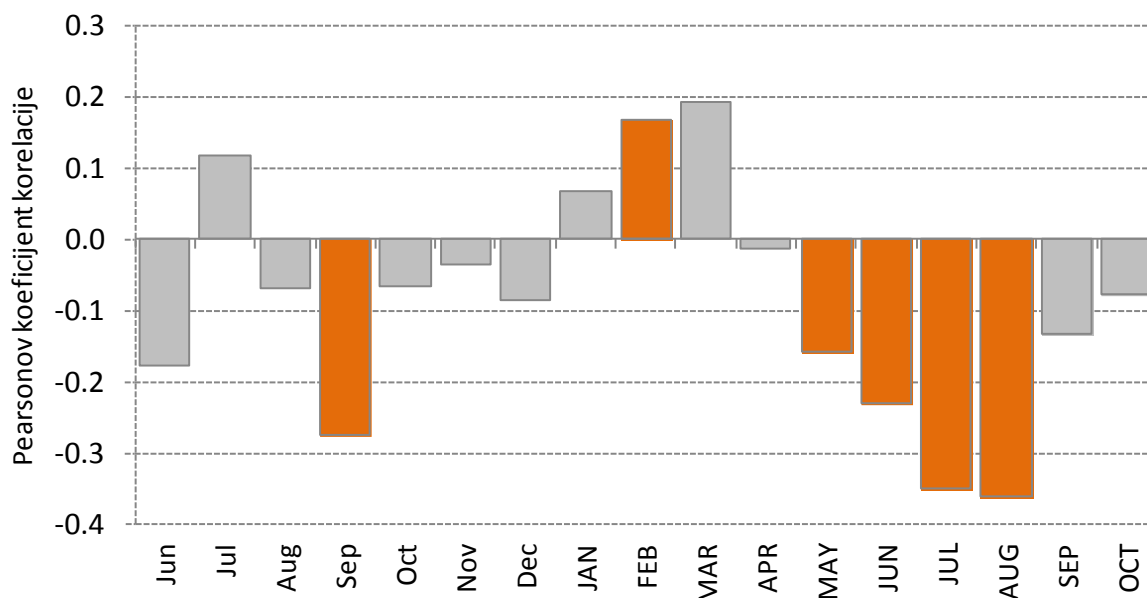
Utjecaj klimatskih čimbenika na radijalni prirast crnoga bora ukazuje na značajan ($P < 0.05$) pozitivan utjecaj oborina u ljetnom dijelu godine (od svibnja – kolovoza) te negativan utjecaj visokih temperatura zraka od svibnja do kolovoza (Slika 10).



Slika 10. Linearne korelacije sa mjesečnim vrijednostima **oborina** i indeksom kronologijom za razdoblje 1901 - 2015. godine

Najveća pozitivna korelacija je utvrđena za oborine u mjesecu srpnju ($R = 0.43$, $P < 0.05$) dok je negativna korelacija za temperaturu zraka u mjesecu kolovozu ($R = -0.36$, $P < 0.05$).

Osim pojedinačnih mjesečnih korelacija napravljene su analize za prosječne sezonske korelacije sa oborinama i temperaturom za duljine sezona 1 - 9 mjeseci. Utvrđena je značajna pozitivna i razmjerno visoka korelacija sa ukupnom količinom oborina u lipnju i srpnju ($R = 0.66$, $P < 0.05$).



Slika 11. Linearne korelacije sa mjesečnim vrijednostima **temperatura** i indeksnom kronologijom za razdoblje 1901 - 2015. godine

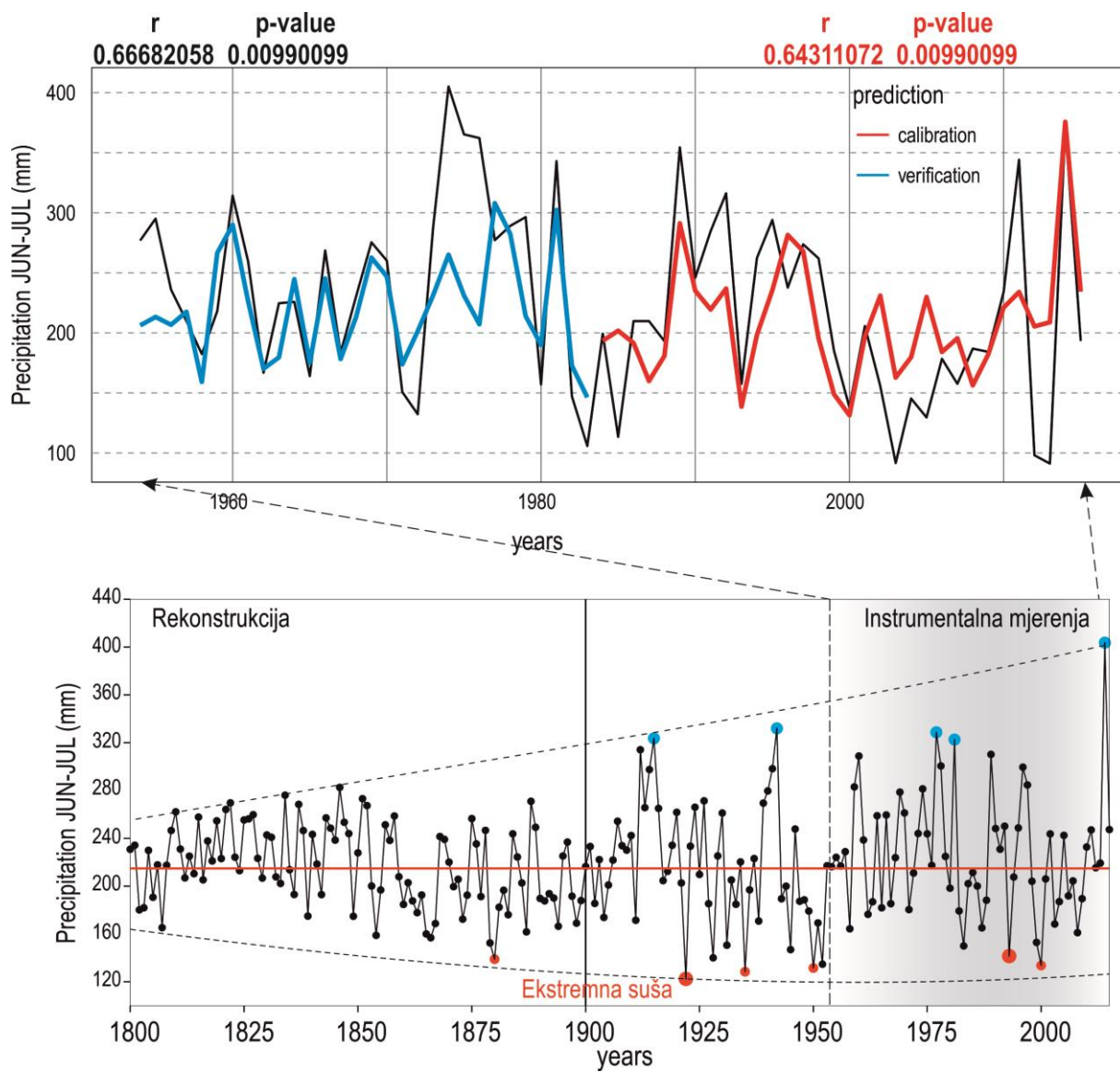
5.4. Rekonstrukcija oborina za razdoblje od 1800 - 2015.

Kako je najveća utvrđena korelacija sa ukupnom količinom oborina u lipnju i srpnju pozitivna i visoka napravljena je rekonstrukcija oborina za ljetne količine oborina koristeći indeksnu rezidualnu kornologiju crnoga bora za razdoblje od 1800 - 2015. godine koristeći podatke meteorološke postaje Zavižan.

Rekonsturkcija je napravljena pomoću lineranog regresijskog modela u kojemu su zavisne varijable ukupna količina oborina u lipnju i srpnju a nezavisna je indeksna kronologija crnoga bora (Slika 11).

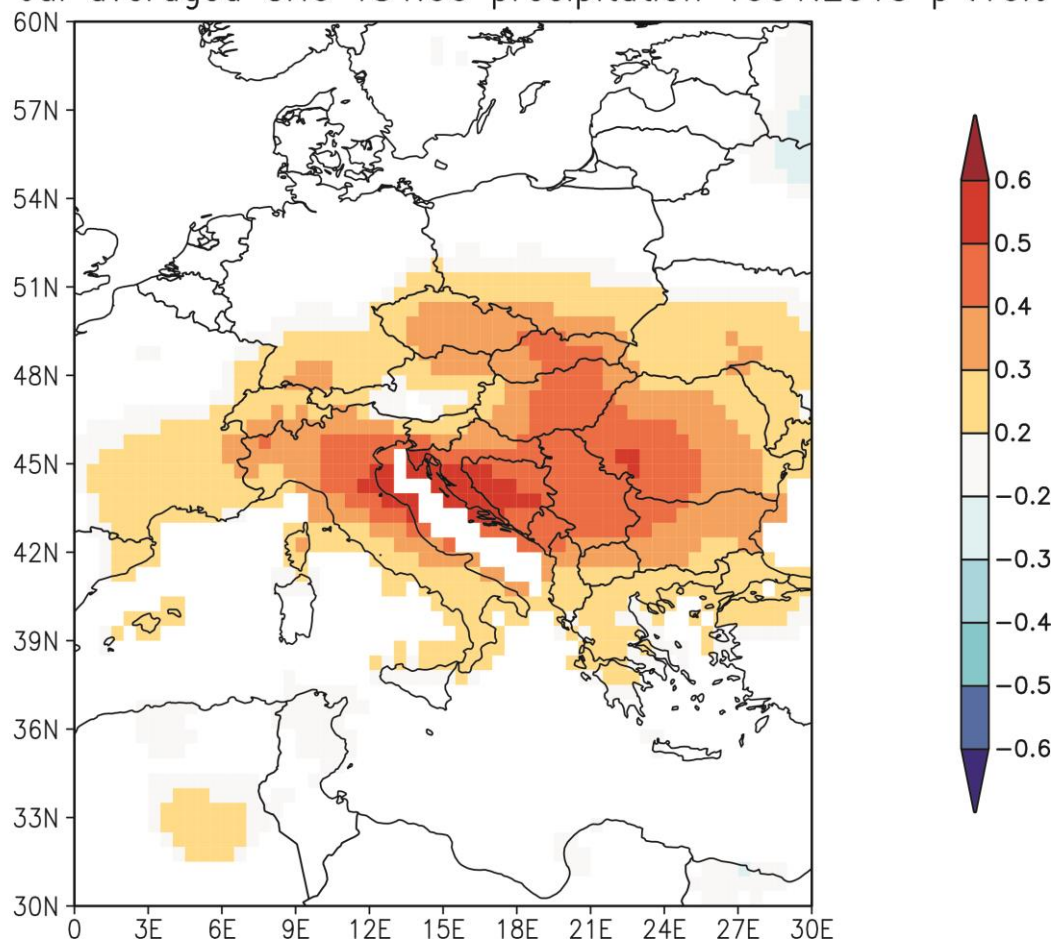
Rekonstrukcija je napravljena na način da je set podataka meteoroloških mjerenja podijeljen na dva perioda: kalibracijski (od 1984 - 2016. godine) i verifikacijski (od 1954 - 1984. godine) te je za prvi period napravljena linearna regresijska analiza a za drugi period je napravljena evaluacija modela (Slika 11).

Obzirom na rezultate možemo zaključiti da korelacijski koeficijent oborina za puno razdoblje od (1954 - 2016. godine) iznosi $R = 0.66$ ($P = 0.0099$) te da je ukupna objašnjena varijabilnost oborina putem indeksne kronologije gotovo 44 %.



Slika 12. Odnos radijalnog prirasta i ukupne količine oborina u mjesecima lipnju i srpnju (gore) i rekonstruirane oborine za razdoblje do 1800 godine (dolje).

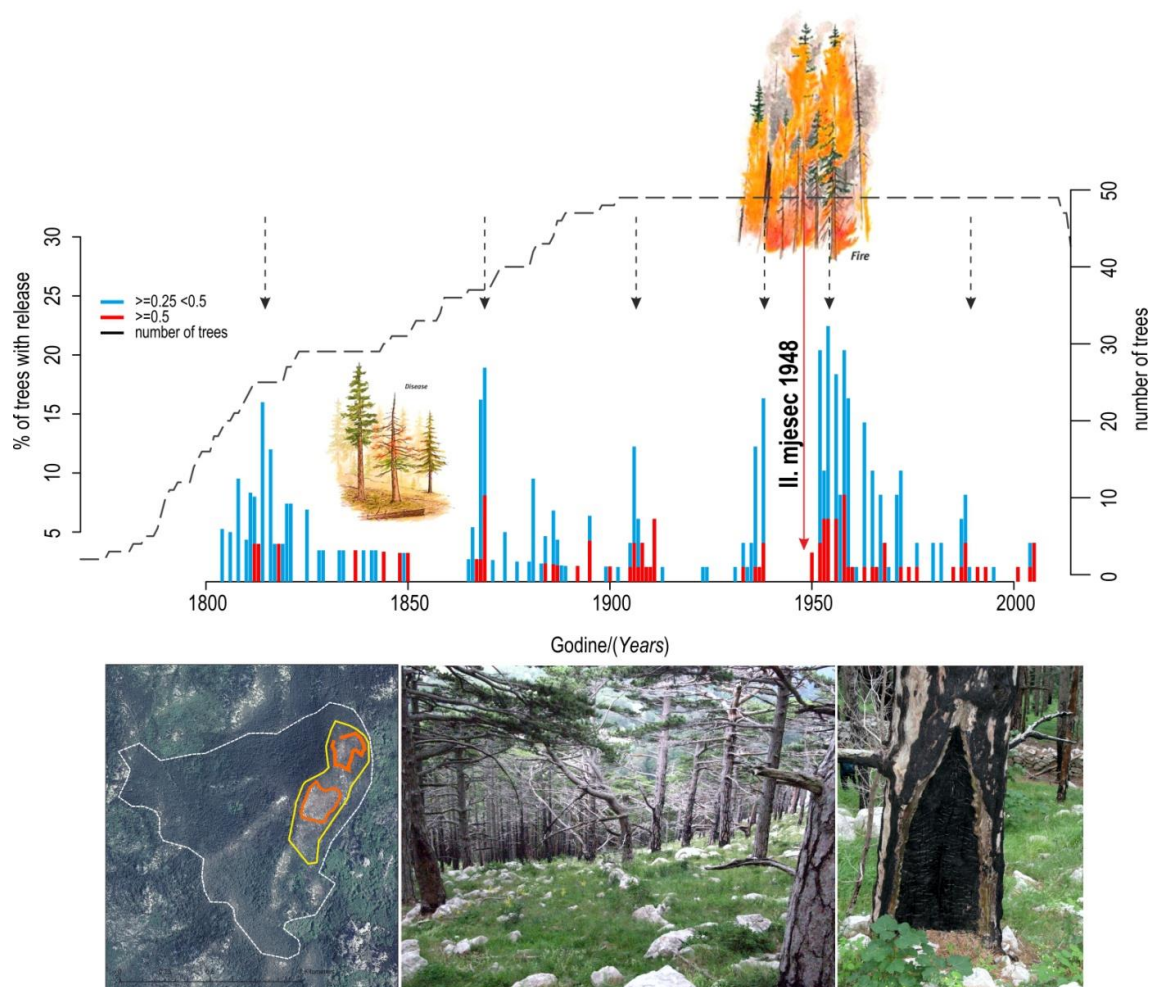
corr May-Jul averaged crni bor index
with May-Jul averaged CRU TS4.00 precipitation 1901:2015 $p < 10\%$



Slika 13. Prostorna korelacija TRI sa sumom oborina u lipnju i srpnju tekuće godine

5.5. Analiza pojave požara i dinamika prirodnih poremećaja

Kronologija poremećaj analizirana je koristeći metodu Nowacki & Abrams (1997). Analizom kronologije poremećaja detektirano je 6 većih događaja (Slika 13). Prema povijesnim zapisima zabilježen je veći požar 1948. godine nakon čega se vidi značajan skok u radijalnom prirastu crnoga bora, što se može pripisati smanjenoj kompeticiji za ona stabla koja su preživjela takav eksces. Sudeći prema analiziranoj kronologiji poremećaja moguća su 4 - 5 požara u zadnjih 200-njak godina na području Borova vrha.



Slika 14. Područje istraživanja s položajem pokusne plohe



Slika 15. Uzrokovani kolut mrtvog stabla crnoga bora sa ožiljcima od požara.

6. RASPRAVA

Cilj ovog rada bio je prikazati dinamiku prirodnih poremećaja i njihov utjecaj na rast crnog bora na lokalitetu Borov vrh na području NP Sjeverni Velebit. Ovaj lokalitet jedan je od vrijednih i dobro očuvanih reliktnih prašuma crnoga bora. Dendrokronološkim metodama dobili smo prikaz dinamike razvoja crnog bora na ovom području. Analizom dobne strukture utvrđeno je da na ovom lokalitetu postoje dvije starosne populacije. Prva populacija je mlađa i obuhvaća stabla sa prosječnom starosti od 140 godina, dok druga obuhvaća starija i veća stabla prosječne starosti oko 220 godina. Iz ovih podataka možemo pretpostaviti da je u prošlosti došlo do nekog prirodnog poremećaja najvjerojatnije požara ili pak do sukcesijskog naleta bora.

Ukupna duljina kronologije iznosila je 274 godine a izrađana je na osnovi 25 stabala odnosno 45 izvrtaka te je prema tome izvedena indeksna kronologija. Duljina kronologije pogodna za istraživanje odnosa klime i radijalnog prirasta iznosila je 215 godina. Analizom je utvrđeno da radijalni prirast crnog bora pozitivno korelira sa količinom oborina u ljetnom dijelu godine (od svibnja do kolovoza). Također je utvrđen i negativan utjecaj visokih temperatura zraka u ljetnim mjesecima (od svibnja do kolovoza). Najveća pozitivna korelacija je utvrđena za oborine u mjesecu srpnju ($R = 0.43$, $P < 0.05$) dok je negativna korelacija za temepraturu zraka u mjesecu kolovozu ($R = -0.36$, $P < 0.05$). Slične podatke dobio je i S. Poljanšek. Analizom crnog bora na području Bosne i Hercegovine također je utvrdio negativan utjecaj temperature na rast cnog bora u ljetnim mjesecima od lipnja do kolovoza ($R = -0.45$, $P < 0.001$) i jaki pozitivan utjecaj oborina tijekom ljetnih mjeseci (osobito u lipnju) na radijalni rast crnog bora (Poljanšek 2013). Pokazalo se da općenito na radijalni prirast crnog bora negativno utječu visoke temperature u lipnju, srpnju i kolovozu a pozitivno utječu oborine u lipnju (Levanić i Toromani 2010). Ovo pravilo se pokazalo pri istraživanju crnog bora u Španjolskoj, Albaniji, Bosni i Hercegovini a odgovara i rezultatima dobivenim u ovome radu, što nam govori kako su prašume crnog bora u Hrvatskoj pogodne za istraživanje. Kako je najveća utvrđena korelacija sa ukupnom količinom oborina u lipnju i srpnju pozitivna i visoka napravljena je rekonstrukcija oborina za ljetne količine oborina. Rekonsturkcija je napravljena pomoću lineranog

regresijskog modela u kojemu su zavisne varijable ukupna količina oborina u lipnju i srpnju a nezavisna je indeksna kronologija crnoga bora.

Rekonstrukcijom oborina utvrđeno je da je unazad dvjestotinjak godina na ovom području bilo barem 6 ekstremnih suša sa prosječnom količinom padalina 160 mm ili manje u razdoblju od lipnja do srpnja, koje su se negativno odrazile na radijalni prirast crnog bora. Isto tako vidimo značajni skok u prirastu u godinama kada je tijekom ljetnih mjeseci bilo kiše.

Prilikom uzimanja uzoraka na terenu na nekim su se stablima vidjele štete od prizemnog požara koji se zbio 2012 godine. Analizom kronologije utvrđeno je 6 većih poremećaja koji su povezani sa sušom i požarima. Prema povijesnim zapisima, veći požar zabilježen je 1948. godine. Prilikom analize izvrtaka uočeno je da nakon 1948. godine dolazi do značajnog skoka u radijalnom prirastu crnog bora, što se može pripisati smanjenoj kompeticiji za ona stabla koja su preživjela požar. Prema rezultatima možemo zaključiti da se na području Borovog vrha dogodilo oko 4 – 5 većih požara u zadnjih 200-injak godina. Analizom koluta mrtvog stabla također su utvrđeni ožiljci od požara (fire scars) koji upućuju na požare na ovom području.

Prema tome možemo zaključiti da je bor iako izrazito otporna vrsta, vrlo zavisna o temperaturi i količini oborina, osobito na mediteranskom području gdje su ekstremi jače izraženi (suša i oborine). Tijekom sušnih godina sa malo padalina i visokom temperaturom, često dolazi do požara koji su uglavnom prizemni i kao takvi ne predstavljaju veliku štetu borovima. Ukoliko dođe do većih požara poput požara koji se zbio 1948. godine može nastati značajna šteta na borovim sastojinama.

7. ZAKLJUČCI

- Prirodna dinamika prašume crnoga bora na lokalitetu Borov vrh ovisi o prirodnim poremećajima, ponajviše kombinaciji prirodnih požara i sušnih razdoblja koji uzrokuju odumiranje određenog dijela populacija te time oslobađaju prostor za rast i razvoj nove generacije stabala. Rezultat takvih ekscesa vidljiv je na povećanju radijalnog prirasta više do 25 % u odnosu na prethodno 10 godišnje razdoblje.
- Rast i razvoj stabala crnog bora značajno je pozitivno uvjetovan većim količinama oborina i nižom temperaturom zraka u ljetnom dijelu godine.
- Crni bor na istraživanom lokalitetu izuzetno je pogodan za dendroklimatološke rekonstrukcije oborina i lokalne varijabilnosti klime za područje meteorološke postaje Zavižan

8. POPIS LITERATURE

Anić, I., Uzgajanje šuma crnoga bora (*Pinus nigra* J. F. Arnold) u mediteranskom području Hrvatske., XXXI. Gozdarski študijski dnevni: (2014)

Anić, M., Glasnik za šumske pokuse, volumen 13; Crni bor u Sjevernom Velebitu 451-507 (1957)

Baillie M.G.L., i Pilcher, J.R, A simple cross-dating program for tree-ring research (1973)

Bunn, A.G, A dendrochronology program library in R (dplR), Volume 26, Issue 2, 1, Pages 115-124 (2008)

forest.jrc.ec.europa.eu/european-atlas-of-forest-tree-species/pinus-nigra

Gajić-Čapka, M. i Čaplar, A., Zavižan između snijega, vjetra i sunca: monografija u povodu 50. obljetnice rada meteorološke postaje Zavižan, Državni hidrometeorološki zavod (Croatia), Hrvatsko meteorološko društvo (2003)

Grissino-Mayer, D., Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA, Tree ring research, Vol. 57(2), pp. 205-221 (2001)

Holmes, R., Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement, tree ring bull journal (1983)

<http://www.rinntech.de>

Isajev, V.; Fady, B.; Semerci, H.; Andonovski, V. *Pinus nigra* - Technical guidelines for genetic conservation and use for European black pine (2003)

Levanic, T. and Toromani, E., Austrian pine (~ *Pinus nigra* Arnold.) tree-ring width chronology from northeast Albania-preliminary results, TRACE, Otocec, Slovenia (2010)

Mosteller, F. & Tukey, J.W, Data analysis and regression: a second course in statistics Addison-Wesley Pub. Co., c (1977)

Nikolic, D. and Tucic,N., Isoenzyme Variation within and among Populations of European Black Pine (*Pinus nigra* Arnold). *Silvae Genetica*, 32: 80-89. (1983)

Nikolić, D. and Tucić, N., *Silvae Genetica* 32, 80, (1983)

Oldenborgh, G.J., Burgers, G., Searching for decadal variations in ENSO precipitation teleconnections, *Geophysical research letters*, Volume 32, issue 15 (2005)

Pickett, S. T. A., i White, P. S., *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press, New York (1985)

Poljanšek, S.; Ceglar, A.; Levanić, T., Long-term summer sunshine/moisture stress reconstruction from tree-ring widths from Bosnia and Herzegovina (2012)

Roiron, P.; Chabal, L.; Figueiral, I.; Terral, J.-F.; Ali, A.A. Review of Palaeobotany and Palynology 194, 1 (2013)

Schweingruber, F. H., Tree rings - basics and applications of dendrochronology. (1988)

Tutin, T.G, Flora Europaea, Cambridge University Press (1980)

Wigley, T.M.L., Briffa, K.R & Jones, P.D, On the Average Value of Correlated Time Series, With Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology (1983)

Zang, C., Biondi, F., Paleoclimatic calibration of proxy data in R – the package bootRes for bootstrapped response function analysis. Dendrochronologia 31:68-74. (2013)

Zimmermann, N.E. et al., Environmental portfolio of central european tree species (appendix s1), Tech. rep., Swiss Federal Research Institute WSL (2014)

