

# Klimatski odziv stabala obične smreke (*Picea abies* L. (H. Karst)) i obične jele (*Abies alba* Mill.) na području Sjevernog Velebita

---

Begović, Krešimir

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:108:945021>

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**

**SMJER: UZGAJANJE I UREĐIVANJE ŠUMA S LOVNIM  
GOSPODARENJEM**

**KLIMATSKI ODZIV STABALA OBIČNE SMREKE (*Picea abies* (L.)**

**H. Karst) I OBIČNE JELE (*Abies alba* Mill.) NA PODRUČJU**

**SJEVERNOG VELEBITA**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij: Uzgajanje i uređivanje šuma s lovnom gospodarenjem

Predmet: Rast i prirast

Ispitno povjerenstvo: 1. Izv. prof. dr. sc. Mario Božić  
2. Dr. sc. Ernest Goršić  
3. Doc. dr. sc. Stjepan Mikac

Student: Univ. bacc. ing. silv. Krešimir Begović

JMBAG: 0068212872

Broj indeksa: 557/14

Datum odobrenja teme: 11.04.2016.

Datum predaje rada: 07.09.2016.

Datum obrane rada: 09.09.2016.

**ZAGREB, RUJAN 2016.**



**UNIVERSITY OF ZAGREB**  
**FACULTY OF FORESTRY**  
**SILVICULTURE AND MANAGEMENT PLANNING WITH GAME**  
**MANAGEMENT**

**CLIMATE RESPONSE OF NORWAY SPRUCE (*Picea abies* (L.) H.**  
**Karst) AND SILVER FIR (*Abies alba* Mill.) IN NORTHERN**  
**VELEBIT**

**MASTER THESIS**

Master studies: Silviculture and Management planning with Wildlife  
management

Subject: Growth and increment

Examination committee: 1. Assoc. prof. dr. sc. Mario Božić  
2. Dr. sc. Ernest Goršić  
3. Assist. dr. sc. Stjepan Mikac

Student: Univ. bacc. ing. silv. Krešimir Begović

JMBAG: 0068212872

Index no.: 557/14

Thesis approved: 11/04/2016

Thesis delivered: 07/09/2016

Thesis defended: 09/09/2016

**ZAGREB, RUJAN 2016.**

## DOKUMENTACIJSKA KARTICA

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NASLOV              | KLIMATSKI ODZIV STABALA OBIČNE SMREKE ( <i>Picea abies</i> (L.) H. Karst) I OBIČNE JELE ( <i>Abies alba</i> Mill.) NA PODRUČJU SJEVERNOG VELEBITA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| AUTOR               | Univ. bacc. ing. silv. Krešimir Begović                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| ADRESA AUTORA       | I. Gundulića 5, 10370 Dugo Selo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| MJESTO IZRADE       | Svetošimunska 25, 10000 Zagreb                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| VRSTA OBJAVE        | diplomski rad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| MENTOR              | Izv. prof. dr. sc. Mario Božić                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| IZRADU RADA POMOGAO | Dr. sc. Ernest Goršić                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| GODINA OBJAVE       | 2016.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| OBUJAM              | 47 stranica + 37 slika + 2 tablice + 85 navoda literature                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| KLJUČNE RIJEČI      | dendroklimatologija, god, prirast, promjena klime                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| SAŽETAK             | <p>Kao dio međunarodnog projekta pod nazivom <i>Mixed severity disturbances as drivers of structural variability and carbon dynamics at the stand and landscape levels</i>, ovaj rad obuhvaća opis problematike rasta i razvoja stabala smreke (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.) i jele (<i>Abies alba</i> Mill.) na području NP Sj. Velebit u prašumskom ekosustavu lokaliteta <i>Smrčevih dolina</i>. Opisuje se povezanost rasta stabala sa promjenama klime u posljednjih 115 godina promatrajući promjene u radijalnom (debljinskom) priraštanju stabala. U radu se koriste i opisuju koncept i metodologija dendroklimatološkog istraživanja uz kratak pregled razvoja dendrokronologije kroz povijest te utjecaj klimatskih čimbenika na varijabilnost strukturnih i anatomskih elemenata, i to ponajprije utjecaj temperature i oborina na radijalni odnosno debljinski prirast stabala obične smreke i obične jele. Korištenjem dendroklimatoloških metoda i tehnike unakrsnog datiranja (<i>cross-dating</i>), razvijene su osnovne kronologije od uzoraka sakupljenih na području <i>Smrčevih dolina</i> u rujnu 2015. godine. Statističkom analizom unakrsnog datiranja u programu <i>COFECHA</i> potvrdila se kvaliteta izmjere i dobila točna kalendarska godina svakog goda. U <i>ARSTAN</i> programu izrađene su referentne kronologije (osnovna i rezidualna) i dobivena je statistička potvrda jačine populacijskog signala među uzorcima uz pomoć <i>EPS</i> i <i>r-bar</i> statističkih pokazatelja. S obzirom na razdoblje za koje su dostupni klimatski podaci (<i>CRU TS 3.23</i>) te uslijed smanjenja snage replikacije (veličine uzorka) prije 1900. godine, rezidualna kronologija izrađena u <i>ARSTAN</i> programu uspoređivana je s klimatskim podacima (temperaturom i oborinama) u razdoblju 1900.-2015. godine. Klimatski odziv na temperaturu i oborine prikazan je korištenje <i>R</i> programske podrške. Analizom odnosa prirasta i klimatskih čimbenika ustanovljen je negativan odnos temperature i prirasta u ljetnim mjesecima za običnu smreku, a pozitivan odnos prirasta i oborina u srpnju kod obje vrste. Kod obične jele zabilježen je pozitivan odnos temperature u studenom prethodne godine i veljači proučavane godine, te negativan utjecaj oborina u travnju.</p> |

**DOCUMENTATION CARD**

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TITLE</b>           | CLIMATE RESPONSE OF NORWAY SPRUCE ( <i>Picea abies</i> (L.) H. Karst) AND SILVER FIR ( <i>Abies alba</i> Mill.) IN NORTHERN VELEBIT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>AUTHOR</b>          | Univ. bacc. ing. silv. Krešimir Begović                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>AUTHOR ADDRESS</b>  | I. Gundulića 5, 10370 Dugo Selo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>SOURCE</b>          | Svetošimunska 25, 10000 Zagreb                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>TYPE OF ARTICLE</b> | Master Thesis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>MENTHOR</b>         | Assoc. prof. dr. sc. Mario Božić                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>ACKNOWLEDGEMENT</b> | Dr. sc. Ernest Goršić                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>YEAR OF RELEASE</b> | 2016.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>VOLUME</b>          | 47 pages + 37 figures + 2 tables + 85 literature references                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>KEYWORDS</b>        | dendroclimatology, tree-rings, growth, climate change                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>SUMMARY</b>         | <p>As part of an international project <i>Mixed severity disturbances as drivers of structural variability and carbon dynamics at the stand and landscape levels</i>, this thesis describes the problematics of growth and development of Norway spruce (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.) and Silver fir (<i>Abies alba</i> Mill.) in virgin forests of <i>Smrčeve doline</i> on Northern Velebit. The thesis tries to describe the connection of tree-ring growth with climate changes in the last few hundreds of years. The concept and history of dendrochronology is described as well. Using the methodology of dendroclimatology, tree-rings are compared to climate data to investigate their variability and mutual connection.</p> <p>Tree-rings are cross-dated to confirm the dating of each tree-ring and reference chronologies of spruce and fir are developed using <i>CDendro</i> programing tool. Secondary statistical check of cross-dating and measurements is done in <i>COFECHA</i> program. Concerning the time period of available climate data (<i>CRU TS</i> – 1901.-2015.) and the replication issues (<i>EPS</i> and <i>r-bar</i>), mean residual reference chronology developed in <i>ARSTAN</i> program is compared to climate data (temperature and precipitation) in a time period of the last 115 years.</p> <p>Response function analysis shows negative correlation of temperature response of tree-rings in July and August for Norway spruce, while showing positive correlation with precipitation in July. For Silver fir, the response on temperature is positive in November of previous year and February of current year, while showing positive correlation on precipitation in July and negative in April.</p> |

## SADRŽAJ RADA

|                                                                                                                                             |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| POPIS SLIKA.....                                                                                                                            | I-II    |
| POPIS TABLICA.....                                                                                                                          | III     |
| PREDGOVOR.....                                                                                                                              | IV      |
| FOREWORD.....                                                                                                                               | V       |
| 1. UVOD.....                                                                                                                                | 1-13    |
| 1.1. ANATOMIJA RASTA I PRIRASTA STABALA.....                                                                                                | 1-3     |
| 1.2. DENDROKRONOLOGIJA – POVIJEST, ZNAČENJE, PRIMJENA.....                                                                                  | 4-5     |
| 1.3. DENDROKLIMATOLOGIJA I KLIMATSKE PROMJENE.....                                                                                          | 5-7     |
| 1.4. NP SJEVERNI VELEBIT I <i>SMRČEVE DOLINE</i> .....                                                                                      | 7-13    |
| 2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA.....                                                                                                                | 14-15   |
| 2.1. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA ŠUMA VELEBITA.....                                                                                             | 14      |
| 2.2. CILJ RADA.....                                                                                                                         | 15      |
| 3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA.....                                                                                                    | 16-26   |
| 3.1. TERENSKI RAD.....                                                                                                                      | 16-20   |
| 3.1.1. Odabir lokacije.....                                                                                                                 | 17-19   |
| 3.1.2. Metodologija bušenja i oprema.....                                                                                                   | 19-20   |
| 3.2. LABORATORIJSKE METODE.....                                                                                                             | 21-26   |
| 3.2.1. Priprema uzoraka za mjerenje i izmjera godova.....                                                                                   | 21-23   |
| 3.2.2. <i>Cross-dating</i> ili unakrsno datiranje.....                                                                                      | 24      |
| 3.2.3. Statistička analiza izmjere i datiranja.....                                                                                         | 24-26   |
| 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....                                                                                                              | 27-46   |
| 4.1. STATISTIČKA ANALIZE MEĐUSOBNE PODUDARNOSTI UZORAKA.....                                                                                | 27-32   |
| 4.1.1. Problematika uzorka i odabira lokacije.....                                                                                          | 30-32   |
| 4.2. INDIKATORSKE GODINE ( <i>POINTERI</i> ).....                                                                                           | 32-35   |
| 4.2.1. Pointeri obične smreke ( <i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.).....                                                                      | 33-35   |
| 4.2.2. Pointeri obične jele ( <i>Abies alba</i> Mill.).....                                                                                 | 35      |
| 4.3. VELIČINA UZORKA, <i>EPS</i> i <i>RUNNING R-BAR</i> .....                                                                               | 36-40   |
| 4.4. ODZIV OBIČNE SMREKE ( <i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.) I OBIČNE JELE ( <i>Abies alba</i> Mill.)<br>PREMA TEMPERATURI I OBORINAMA..... | 41-46   |
| 4.4.1. Konstrukcija rezidualne kronologije i analiza klimatskog odziva.....                                                                 | 45-46   |
| 5. ZAKLJUČAK.....                                                                                                                           | 47      |
| LITERATURA.....                                                                                                                             | VI-XIII |
| ŽIVOTOPIS AUTORA.....                                                                                                                       | XIV     |

## POPIS SLIKA

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1. Poprečni presjek <i>Pinus sp.</i> s osnovnim anatomskim dijelovima (Fritts, 1976).....                                                                                                                                                                                                                              | 1  |
| Slika 2. Prirodni areal rasprostiranja obične smreke ( <i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.) (Caudullo i sur., 2016.).....                                                                                                                                                                                                      | 2  |
| Slika 3. Prirodni areal rasprostiranja obične jele ( <i>Abies alba</i> Mill.)<br>( <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Abies_alba">https://en.wikipedia.org/wiki/Abies_alba</a> ).....                                                                                                                                    | 3  |
| Slika 4. <i>Messiah</i> , violina A.G. Stradivarija, talijanskog graditelja gudačkih instrumenata<br>( <a href="http://www.cello.org/heaven/hill/messiah/messiah.html">http://www.cello.org/heaven/hill/messiah/messiah.html</a> ).....                                                                                      | 5  |
| Slika 5. Prikaz trenda porasta prosječne temperature zraka u posljednjih 160 godina<br>( <a href="http://www.theecologist.org/">http://www.theecologist.org/</a> ).....                                                                                                                                                      | 6  |
| Slika 6. Kartografska lokacija i grafički prikaz NPSV (Plan upravljanja NPSV, 2007).....                                                                                                                                                                                                                                     | 9  |
| Slika 7. Klimadijagram meteorološke postaje Zavižan (Seletković, 2001).....                                                                                                                                                                                                                                                  | 10 |
| Slika 8. Karta staništa (1:25 000) NP Sjeverni Velebit (Plan upravljanja NPSV, 2007).....                                                                                                                                                                                                                                    | 12 |
| Slika 9. Tipičan izgled reljefa i obronka lokaliteta <i>Smrčeve doline</i> (foto: Krešimir Begović).....                                                                                                                                                                                                                     | 13 |
| Slika 10. Položaj <i>Smrčevih dolina</i> (SMR) u RH (Google Earth).....                                                                                                                                                                                                                                                      | 16 |
| Slika 11. Primjer postavljene mreže poligona s istaknutim poligonima izmjere i georeferentnim<br>točkama, NP Sutjeska, 2016. (metodologija projekta <i>Mixed severity disturbances as drivers of structural<br/>variability and carbon dynamics at the stand and landscape levels</i> , 2015. – 2017., Google<br>Earth)..... | 17 |
| Slika 12. Prikaz metodologije odabira ploha i odabira uzorkovanja stabala (metodologija projekta <i>Mixed<br/>severity disturbances as drivers of structural variability and carbon dynamics at the stand and<br/>landscape levels</i> , 2015. – 2017.).....                                                                 | 18 |
| Slika 13. Položaj pokusnih ploha i podploha na lokalitetu <i>Smrčeve doline</i> (Google Earth).....                                                                                                                                                                                                                          | 18 |
| Slika 14. <i>Smrčeve doline</i> (foto: Krešimir Begović).....                                                                                                                                                                                                                                                                | 19 |
| Slika 15. Presslerova svrdla raznih proizvođača i veličina ( <a href="http://www.esf.edu">http://www.esf.edu</a> ).....                                                                                                                                                                                                      | 20 |
| Slika 16. Shema ubušivanja borera Presslerovog svrdla u drvo (Speer, 2010).....                                                                                                                                                                                                                                              | 20 |
| Slika 17. LINTAB mjerni stol (foto: Krešimir Begović).....                                                                                                                                                                                                                                                                   | 22 |
| Slika 18. Dendroekološki laboratorij s kliznim mikrotomom (foto: Krešimir Begović).....                                                                                                                                                                                                                                      | 23 |
| Slika 19. Shematski prikaz označavanja izvrtaka (Speer, 2010).....                                                                                                                                                                                                                                                           | 23 |
| Slika 20. Princip unakrsnog datiranja ( <i>cross-dating</i> ) ( <a href="http://www.slideshare.net">http://www.slideshare.net</a> ).....                                                                                                                                                                                     | 24 |
| Slika 21. Formula za izračunavanje EPS-a (Wiggley i sur., 1984.; Briffa i Jones 1990).....                                                                                                                                                                                                                                   | 25 |
| Slika 22. Pregled osnovnih parametara analize u COFECHA-i za običnu smreku (a) i običnu jelu (b)<br>(COFECHA).....                                                                                                                                                                                                           | 28 |

|                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 23. Prikaz korelacije 50-ogodišnjih segmenata (25-ogodišnji preklap) sa referentnom kronologijom: obična smreka (a) i obična jela (b) ( <i>COFECHA</i> ).....                        | 29 |
| Slika 24. Grafički prikaz širine godova u optimalnim (lijevo) i graničnim (desno) uvjetima za rast i razvoj neke vrste (Speer, 2010).....                                                  | 31 |
| Slika 25. Grafički prikaz osnovne kronologije obične smreke s naznačenim pointerima ( <i>CDendro</i> ).....                                                                                | 32 |
| Slika 26. Grafički prikaz osnovne kronologije obične jele s naznačenim pointerima ( <i>CDendro</i> ).....                                                                                  | 33 |
| Slika 27. Prikaz temperaturnih (a i b) u °C i oborinskih (c i d) u mm anomalija u Europi kao posljedica utjecaja 15 vulkanskih erupcija u posljednjih 500 godina (Robock i Mao, 1995)..... | 34 |
| Slika 28. Grafički prikaz osnovne (A) i rezidualne (B) kronologije te veličine uzorka (C) obične smreke ( <i>ARSTAN</i> ).....                                                             | 37 |
| Slika 29. Grafički prikaz osnovne (A) i rezidualne (B) kronologije te veličine uzorka (C) obične jele ( <i>ARSTAN</i> ).....                                                               | 38 |
| Slika 30. Grafički prikaz $\bar{r}$ -a (A) i <i>EPS</i> (B) pokazatelja statističke analize u osnovnoj kronologiji obične smreke ( <i>ARSTAN</i> ).....                                    | 39 |
| Slika 31. Grafički prikaz $\bar{r}$ -a (A) i <i>EPS</i> (B) pokazatelja statističke analize u rezidualnoj kronologiji obične smreke ( <i>ARSTAN</i> ).....                                 | 39 |
| Slika 32. Grafički prikaz $\bar{r}$ -a (A) i <i>EPS</i> (B) pokazatelja statističke analize u osnovnoj kronologiji obične jele ( <i>ARSTAN</i> ).....                                      | 40 |
| Slika 33. Grafički prikaz $\bar{r}$ -a (A) i <i>EPS</i> (B) pokazatelja statističke analize u rezidualnoj kronologiji obične jele ( <i>ARSTAN</i> ).....                                   | 40 |
| Slika 34. Grafički prikaz koeficijenata korelacije prirasta i temperature po mjesecima za običnu smreku ( <i>Rstudio</i> ).....                                                            | 41 |
| Slika 35. Grafički prikaz koeficijenata korelacije prirasta i oborina po mjesecima za običnu smreku ( <i>Rstudio</i> ).....                                                                | 42 |
| Slika 36. Grafički prikaz koeficijenata korelacije prirasta i temperature po mjesecima za običnu jelu ( <i>Rstudio</i> ).....                                                              | 43 |
| Slika 37. Grafički prikaz koeficijenata korelacije prirasta i oborina po mjesecima za običnu jelu ( <i>Rstudio</i> ).....                                                                  | 44 |



## **POPIS TABLICA**

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablica 1. Osnovni podaci o NP Sjeverni Velebit (Plan upravljanja NPSV, 2007).....               | 8  |
| Tablica 2. Prikaz kodova stanišnih tipova NP Sjeverni Velebit (Plan upravljanja NPSV, 2007)..... | 11 |

## PREDGOVOR

Ovaj rad izrađen je na Zavodu za izmjeru i uređivanje šuma Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u suradnji sa Zavodom za ekologiju Šumarskog fakulteta u Pragu i kao dio međunarodnog projekta pod nazivom *Mixed severity disturbances as drivers of structural variability and carbon dynamics at the stand and landscape levels (Ozbiljnost različitih poremećaja kao faktora strukturalne varijabilnosti i dinamike ugljika na razini sastojine i okoliša)* na kojemu sam aktivno sudjelovao u terenskom i laboratorijskom radu.

Prvenstveno se zahvaljujem svom mentoru izv. prof. dr. sc. Mariu Božiću na ukazanom povjerenju i podršci prilikom pisanja ovog diplomskog rada.

Također, moram se zahvaliti i pohvaliti dr. sc. Ernesta Goršića na pruženim konzultacijama, na besprijeornoj i svakodnevnoj pomoći dijeljenjem svojeg znanja i svojih ideja. Bez njegove energije i konstantnog pružanja izazova, ovaj rad bi bio umanjene vrijednosti.

Također, zahvaljujem se prof. Ing. Miroslavu Svobodi, PHD. koji mi je ustupio mjesto u laboratoriju na svom zavodu, učio me metodologiju dendrokronologije, korištenje analitičkih računalnih programa i sofisticirane mjerne opreme te me konstantno savjetovao i nadzirao moj rad u prošloj 2015. i ovoj 2016. godini.

Zahvaljujem svojoj obitelji koja mi je bila konstantna moralna podrška, a naročito roditeljima čiji su savjeti i potpora stizali i do Praga.

Ovaj rad pomogla je financirati *Hrvatska zaklada za znanost* projektom CroFEM (IP-2014-648 09-1834) kojeg je voditelj Doc. dr. sc. Stjepan Mikac kojem također želim zahvaliti na pozivu za sudjelovanjem na terenskom radu na Velebitu u rujnu 2015. godine.

## FOREWORD

This article was made on Department of Forest Inventory and Management of Forestry faculty on University of Zagreb, but also with the cooperation with the Faculty of Forestry on CULS in Prague as part of a international project *Mixed severity disturbances as drivers of structural variability and carbon dynamics at the stand and landscape levels* of which I've been a part of.

Firstly, I must show gratitude to my menthor Assoc. prof. dr. sc. Mario Božić for allowing me to work in his field of study and work under his mentorship.

I show my deepest gratitude to dr. sc. Ernest Goršić for his consultations and advices, his everyday help and undeniable wish to reach perfection in this work. Without his energy and without the constant challenges he put before me, this Thesis wouldn't have been made.

Also, I give thanks to prof. Ing. Miroslav Svoboda, PHD. for giving me a place in the Dendro-ecological Laboratory on Department of Ecology in Prague, for teaching me the methodology of dendrochronology, for giving me knowledge of working with sophisticated tools and analitical programs for dendroclimatological resarch.

Last, but not least, the biggest "thank you" goes to my family who has supported me and had always been there for me and with me, even when I was thousands of kilometers away from home, they showed their faith in me and made my life in Prague easier.

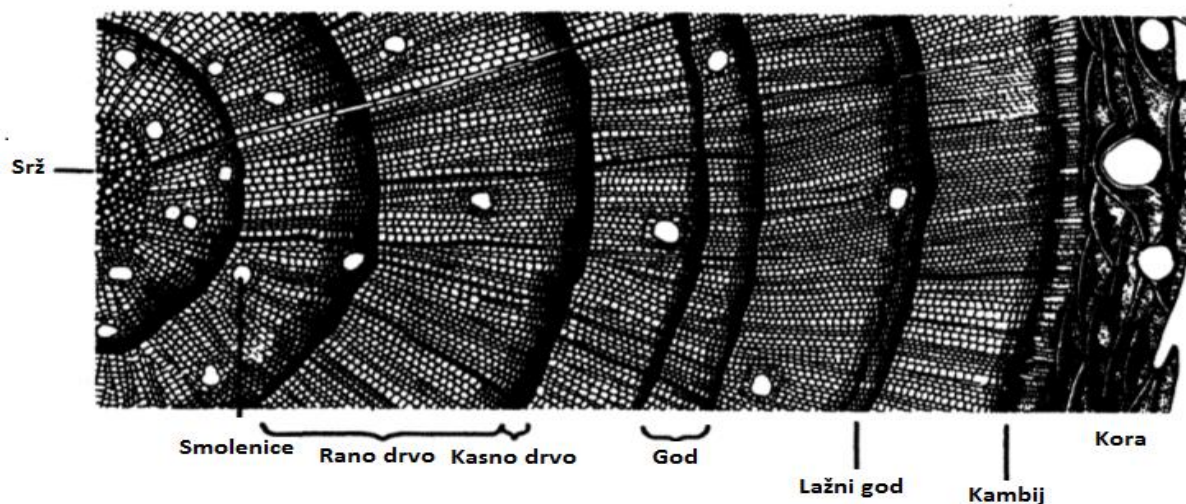
This work has been supported in part by the *Croatian Science Foundation* under the project CroFEM (IP-2014-648 09-1834), which is being directed by Assist. prof. sc. Stjepan Mikac who I also give thanks for the invitation on the field work on Velebit in September of 2015.

## 1. UVOD

### 1.1. ANATOMIJA RASTA I PRIRASTA STABALA

Godišnji prirasti drva stabala (ili godovi) koje na poprečnom presjeku vidimo kao koncentrične prstenove, produkt su niza kompleksnih reakcija tokom asimilacijskih procesa unutar pojedinih stabala. U umjerenoj i suptropskoj klimatskoj zoni, stabla četinjača i većine listača godišnje proizvedu jedan god, a unutar svakog goda možemo razlikovati zonu ranog (stanice većeg lumena, šira zona) i kasnog (stanice kompaktnijeg lumena, uža i u pravilu tamnija zona) drva. Širina godova varira iz godine u godinu, a u čvrstoj je vezi sa stanišnim (geomorfološka podloga, nadmorska visina, nagib, ekspozicija, i dr.), klimatskim (periodičnost i učestalost sušnih perioda, količina oborina, pojava mrazeva, i dr.), sastojinskim (gustoća sastojine, konkurentnost stabala) te biološko-fiziološkim (morfologija korijena, struktura stanica drva, i dr.) svojstvima vrste, a razvojne mogućnosti svake vrste ograničene su utjecajem limitirajućeg faktora<sup>1</sup> (Božić, 2003).

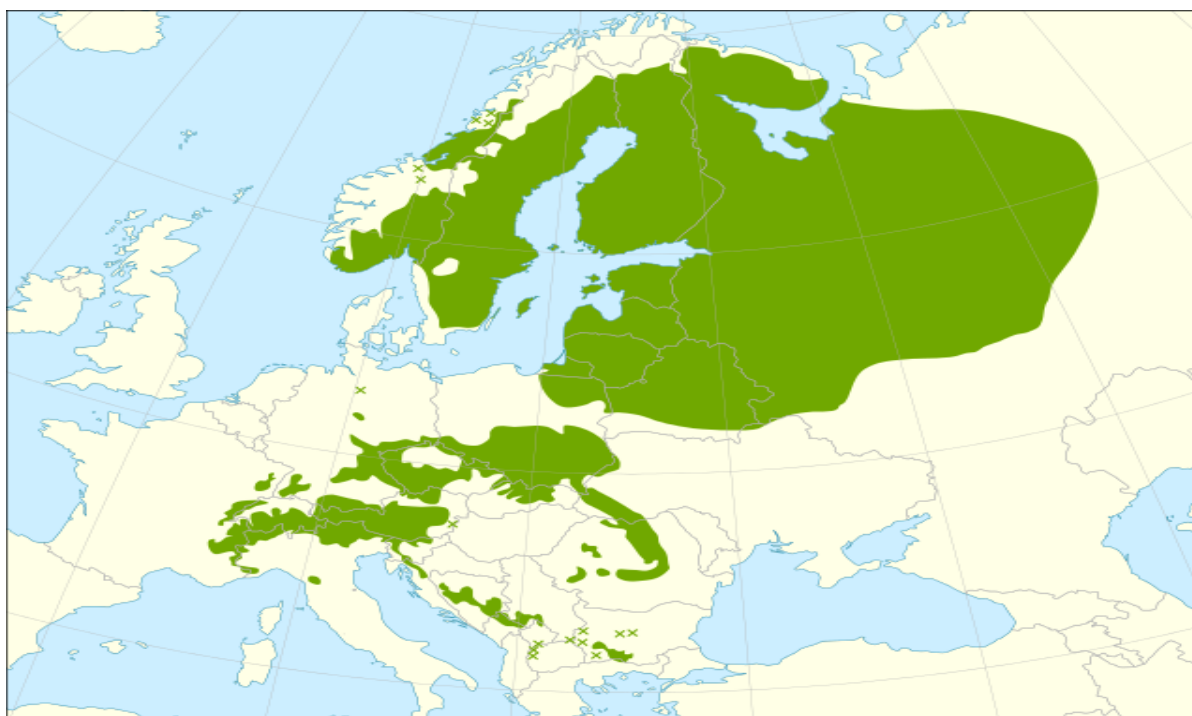
Uslijed promjenjivih abiotskih i biotskih utjecaja, nerijetko dolazi do stvaranja lažnih i nepostojećih godova, što uvelike otežava datiranje individualnih uzoraka (slika 1), no taj problem može se ukloniti pravilnom pripremom uzoraka za mjerenje i unakrsnim datiranjem većeg broja uzoraka s neke lokacije (**princip replikacije**), o čemu će biti govora kasnije.



Slika 1. Poprečni presjek *Pinus sp.* s osnovnim anatomskim dijelovima (Fritts, 1976.)

<sup>1</sup> Liebigov zakon minimuma – rast je kontroliran utjecajem onog faktora koji je u prirodi najoskudniji

Obična smreka (*Picea abies* (L.) H. Karst.) jest crnogorična vazdazelena i jednodomna vrsta drveća, stožaste krošnje i pršljenastog razgranjenja, sa četverobridnim i spiralno raspoređenim iglicama na izbojku koji ostaje hrapav po njihovom opadanju (Idžojić, 2009). Obična smreka je vrsta polusjene (semi-heliofit), tipičnog ponirućeg korijenskog sustava bez žile srčanice i s brojnim bočnim izbojima, podnosi zimske hladnoće, a često se javlja i u vrtačama i mrazištima i na nižim nadmorskim visinama. Dostiže visine od 35–55 m i 1.5 m promjera. Prirodno se rasprostire u sjevernoj Europi, planinskim predjelima srednje i južne Europe (slika 2), a u Hrvatskoj je autohtona vrsta, gdje uglavnom nastanjuje blago do srednje acidofilna tla u planinskim i brdskim pojasevima uklopljena u zone mješovitih šuma bukve i jele ili čiste preplaninske bukve (Vukelić, 2005).



Slika 2. Prirodni areal rasprostiranja obične smreke (*Picea abies* (L.) H. Karst.) (Caudullo, G. i sur., 2016)

Obična jela (*Abies alba* Mill.) jest crnogorična vazdazelena i jednodomna vrsta drveća, valjkastog oblika krošnje i pravilnog pršljenastog razgranjenja, sa plosnatim iglicama (odozdo s 2 bijele crte) na glatkom izbojku te korijenskog sustava sa dubokom žilom srčanicom, što joj daje stabilnost protiv utjecaja vjetrova (Idžojić, 2009). Jela je vrsta sjene (skiofit), voli duboka i humusom bogata blago kisela tla te za razliku od smreke zahtijeva više topline.

Kroz prošlost je uočena osjetljivost stabala obične jele na onečišćen zrak, a danas je pod velikim negativnim utjecajem kiselih kiša, o čemu su već pisali Vestreng i sur. (2007) i Smith i sur. (2011) (Bošela i sur., 2014), dok su Čavlović i sur. (2015) uočili veliku varijabilnost u debljinskom prirastu uzrokovanu polucijom SO<sub>2</sub> emisijama te osjetljivošću obične jele na klimatske promjene u šumama dinarskog područja. U prirodnim šumama dostiže dimenzije od 40 do 60 metara visine i promjera od 1.5 do 2 metra. Areal obične jele vezan je za planinske predjele srednje, južne i dijela zapadne Europe, od 300 do 1,700 metara nadmorske visine. U RH, obična jela uglavnom raste u šumskim zajednicama hrvatskih Dinarida (Gorski kotar, Mala i Velika Kapela, Velebit), zajedno s bukvom i smrekom, te izolirano na gorama kontinentalne Hrvatske (Medvednica, Papuk, Psunj i Macelj), na visinama od 700 do 1400 metara nadmorske visine (Gračan i sur., 1999) (slika 3).



Slika 3. Prirodni areal rasprostiranja obične jele (*Abies alba* Mill.)

([https://en.wikipedia.org/wiki/Abies\\_alba](https://en.wikipedia.org/wiki/Abies_alba))

## 1.2. DENDROKRONOLOGIJA – POVIJEST, ZNAČENJE, PRIMJENA

Dendrokronologija je relativno nova i javnosti donekle nepoznata znanost, no širokih mogućnosti primjene i iskoristiva u različitim znanstvenim poljima. Još davne 322. godine prije nove ere, antički grčki filozof Teofrast počeo je proučavati fiziologiju stabala i način prirašćivanja stabala tokom jedne godine (Studhalter, 1956.). Iako su još i Leonardo da Vinci u 15. stoljeću, Michel de Montaigne u 16. stoljeću te razni drugi znanstvenici kasnije uočili važnost i mogućnosti korištenja godova u datiranju <sup>2</sup>te povezanost razvoja godova i klime, dendrokronologija svoje službene znanstvene početke pronalazi u radu američkog dendrokronologa A. E. Douglas, koji se s razlogom naziva „ocem dendrokronologije”.

Usmjerena na proučavanje i analiziranje godišnjih prirasta stabala, svoje službene znanstvene početke dendrokronologija nalazi u SAD-u u Arizoni (1937. godine) gdje je osnovan *Laboratorij za istraživanje godova*, ujedno i prvi dendrokronološki laboratorij. Laboratorij je osnovao američki astronom i znanstvenik A.E. Douglass koji je otkrićem korelacije između godova i ciklusa Sunčevih pjega, utemeljio znanstvenu disciplinu zvanu dendrokronologija, a ponajviše je zaslužan za usavršavanje metode unakrsnog datiranja (*cross-dating*<sup>3</sup>) (Webb, 1983).

**Dendrokronologija** (grč. *dendro*, stablo; *chronologia*, proučavanje vremena) predstavlja znanstvenu disciplinu koja se bavi snimanjem okolišne varijabilnosti kroz mjerenje i analizu strukture godova. Anatomija drva i specifični mehanizmi rasta i razvoja stabala omogućuju dendrokronolozima da kroz analizu godišnjeg radijalnog prirasta stabala te korištenjem unakrsnog datiranja, razviju dugačke vremenske kronologije (kronološki poredane godove) sastavljene od određenog broja uzoraka stabala za određeno područje (grupa stabala, ploha, sastojina, regija, ...) na temelju kojih se proučavaju i interpretiraju informacije iz okolišnih ili stanišnih i povijesnih ili klimatskih događaja i procesa.

Za potpuno i sveobuhvatno razumijevanje analize klimatskih signala zabilježenih u prašumama smreke i jele s područja Nacionalnog parka Sjeverni Velebit, nužno je definirati princip rada i osnovne postulate znanstvenih disciplina koje stoje iza dotičnog istraživanja, a to su dendrokronologija i dendroklimatologija.

---

<sup>2</sup> datiranje – proces pripisivanja točno određene godine nekom objektu u prošlosti (u dendrokronologiji: svakom godu) radi razvijanja kronologije ili usporedbe tog podatka s nekom kronologijom

<sup>3</sup> *Cross-dating* (unakrsno datiranje) – tehnika uklapanja uskih i širokih godova jednog stabla sa godovima drugih stabala u svrhu određivanja točne kalendarske godine svakog goda



Prije više od 100 godina, analiziranje godova već se koristilo za prepoznavanje i kvantificiranje oštećenja šuma uzrokovanih onečišćenjem zraka (Cook i Kairiukstis, 1990.).

Danas, dendrokronologija svoju svrhu ispoljava i u arheologiji, klimatologiji, ekologiji, geomorfologiji, kemiji, kriminalističkoj forenzici, povijesti<sup>4</sup>, i sl.



Slika 4. *Messiah*, violina A.G. Stradivarija, talijanskog graditelja gudačkih instrumenata (<http://www.cello.org/heaven/hill/messiah/messiah.html>)

### 1.3. DENDROKLIMATOLOGIJA I KLIMATSKE PROMJENE

Rezultati dendrokronoloških istraživanja su dendrokronološki nizovi koji se mogu koristiti za različita istraživanja, ovisno o tome koju skupinu metoda i tehnika koristimo te u koju svrhu koristimo podatke dobivene analizom godova. Poddisciplina koja koristi informacije o godovima za analizu razvoja i varijabilnosti klime kroz povijest, u svrhu razumijevanja današnjih klimatskih trendova, naziva se **dendroklimatologija**.

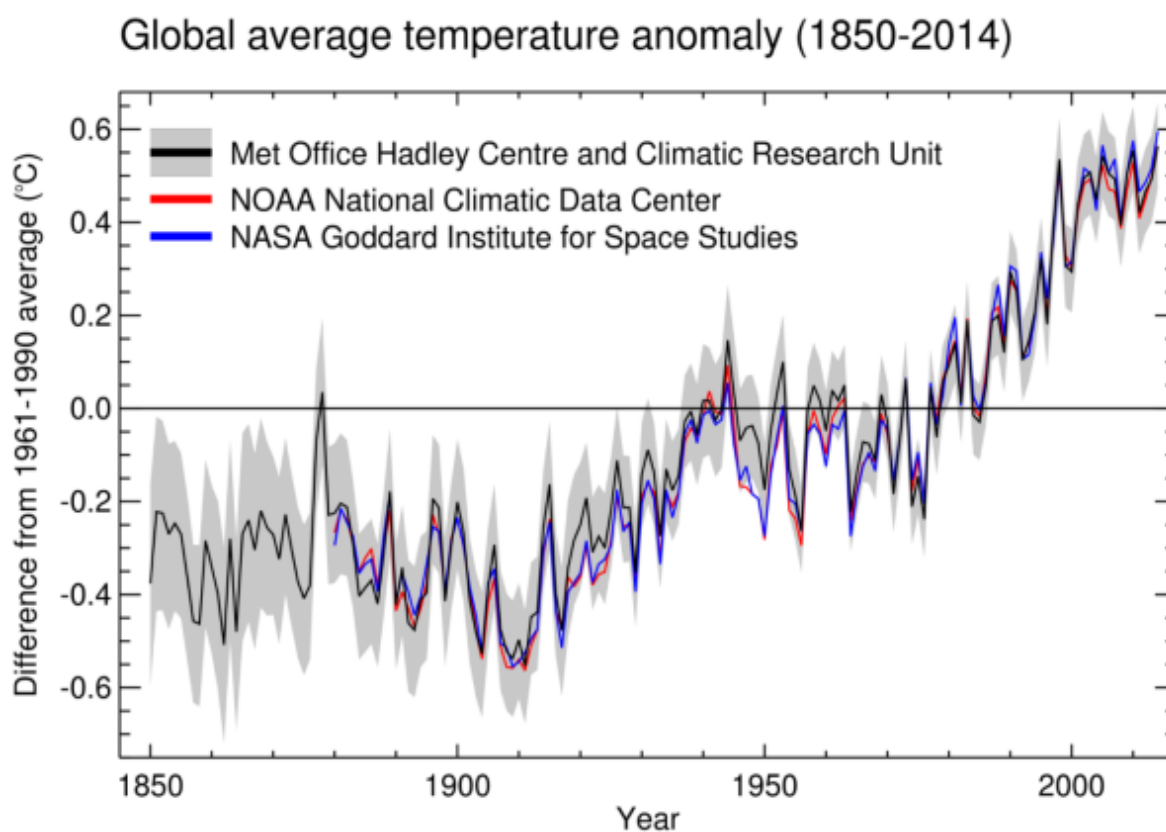
Rast i razvoj stabala u direktnoj je međuovisnosti s promjenama klime. Utjecaj klimatskih pojava (poput varijabilnosti u temperaturi, oborinama, utjecaju vjetera, utjecaju leda, i sl.), a naročito klimatskih stresova, stabla imaju mogućnost bilježenja i „zapisivanja” u svojoj anatomskoj strukturi, konkretno kroz varijabilnost u širini, gustoći ili strukturi godova, a upravo ti „zapisi” ili „žigovi”, služe dendroklimatolozima za analizu i interpretaciju klimatske prošlosti, s ciljem shvaćanja sadašnjosti i predviđanja ili pretpostavljanja očekivanog razvoja stabala na promjene klimatskih uvjeta u budućnosti.

---

<sup>4</sup> Jedna od značajnijih dendrokronoloških priča je zasigurno pokušaj datiranja Stradivarijeve violine ogromne vrijednosti zvane *Messiah* (slika 4), navodno iz 1716. godine. Izrađena od drveta smreke, u sebi je sadržavala 120 godova, no kroz uzajamno datiranje (*cross-dating*) godova violine s *Europskom referentnom kronologijom*, ustanovljena je kalendarska godina 1687. kao „prvi rođendan” violine, što je konsistentno s dva prethodna Stradivarijeva gudačka instrumenta: *Archinto* (1686.) i *Kux/Castelbraco* (1684.) viole (Grissino-Mayer i Henri, 2001, Grissino-Mayer i sur., 2003)



Dendroklimatologija, kao dio šire znanstvene discipline zvane paleoklimatologija, koja osim godova, koristi i zapise iz ledenih pokrivača, depozicije sedimenata, razvoja koralja i špiljskih ukrasnih stijena (poput stalaktita i stalagmita) za proučavanje klime (Speer, 2010), dobiva sve veći značaj uslijed aktualizacije i jačanja globalne svijesti o klimatskim promjenama i njihovom ispoljavanju kroz sve češće ekstremne pojave s razornim učincima na ljude i njihove živote. Kao rezultat intenzivne industrijalizacije, nekontrolirane urbanizacije, ubrzanog porasta broja stanovništva, oštećenja ozonskog omotača što dovodi do negativnog utjecaja efekta staklenika, stabilnost ljudskog ekosustava i kvaliteta života nalaze se u stanju ugroženosti. Iako danas postoje oprečna razmišljanja o pravim razlozima i interpretaciji klimatskih promjena, činjenica je da smo u posljednjih 100 godina svjedoci sve učestalijih elementarnih nepogoda te zabilježenog trenda porasta prosječne godišnje temperature zraka (slika 5).



Slika 5. Prikaz trenda porasta prosječne temperature zraka u posljednjih 160 godina  
(<http://www.theecologist.org/>)

Predmet dendroklimatoloških istraživanja su analize i usporedbe modela referentnih kronologija<sup>5</sup> proćavanih lokacija (sastojina, skup sastojina, šuma, regija, ...) sa klimatskim podacima lokalnih meteoroloških postaja ili mrežom meteoroloških podataka za dobivanje informacije o generalnoj robusnosti proućavane kronologije i njezine primjenjivosti u dendroklimatološkom istraživanju (Evans i sur., 2006).

Statistićke analize u dendroklimatologiji, podrazumijevaju korištenje računalnih programa (*COFECHA*, *ARSTAN*, *R*) za provođenje standardizacijskih<sup>6</sup> postupaka kojima se, s obzirom na cilj istraživanja i traženi signal, pokušavaju izolirati ili pojaćati signali u proućavanoj kronologiji, a standardizacijom ukloniti trendovi koji nisu predmet istraživanja, a mogli bi narušiti kvalitetu i pouzdanost kasnije korelacijske analize. Postoje razni standardizacijski modeli, pa tako Biondi i Qedan (2008) predlažu standardiziranje individualnih izvrtaka prije nego se uklope u glavnu (*master*) kronologiju, ne bi li se uklonile varijacije u prirastu individualnih stabala i referentnoj kronologiji, zatim za soliterna stabla koristi se tzv. *negativna eksponencijalna krivulja* (Fritts, 1969) koja prati model rasta stabala, te danas često korištena *fleksibilna kubna krivulja* (tzv. *spline*) kao empirićki model koji najbolje izdvaja populacijski signal (Cook, 1985).

#### 1.4. NP SJEVERNI VELEBIT I *SMRĆEVE DOLINE*

Velebit je najveća hrvatska planina i pripada sustavu Dinarida, koji se pruža od istoćnih Alpa do Šarsko-pinskog gorja. Ukupna je dužina Velebita oko 145 km, a njegova širina od 10 do 30 km. Park se proteže na nadmorskoj visini od 518 do 1676 m, na površini od oko 110 km<sup>2</sup>. Sjeverni Velebit proglašen je nacionalnim parkom 1999. godine. Smješten je u Lićko-senjskoj županiji, unutar administrativnih granica Grada Senja. Geografski obuhvaća dio sjevernog Velebita, između *Borovog vrha*, *Markovog kuka* i *Babić-siće* na sjeveru, te *Zećjaka* i *Štirovaće* na jugu – između 44° 41' 31" i 44° 51' 17" sjeverne geografske širine te između 14° 55' 27" i 15° 3' 54" istoćne geografske dužine (slika 6). Nalazi se u blizini Jadranskog mora, svega 2 km istoćno od obale, te otprilike 15 km južno od grada Senja (tablica 1).

---

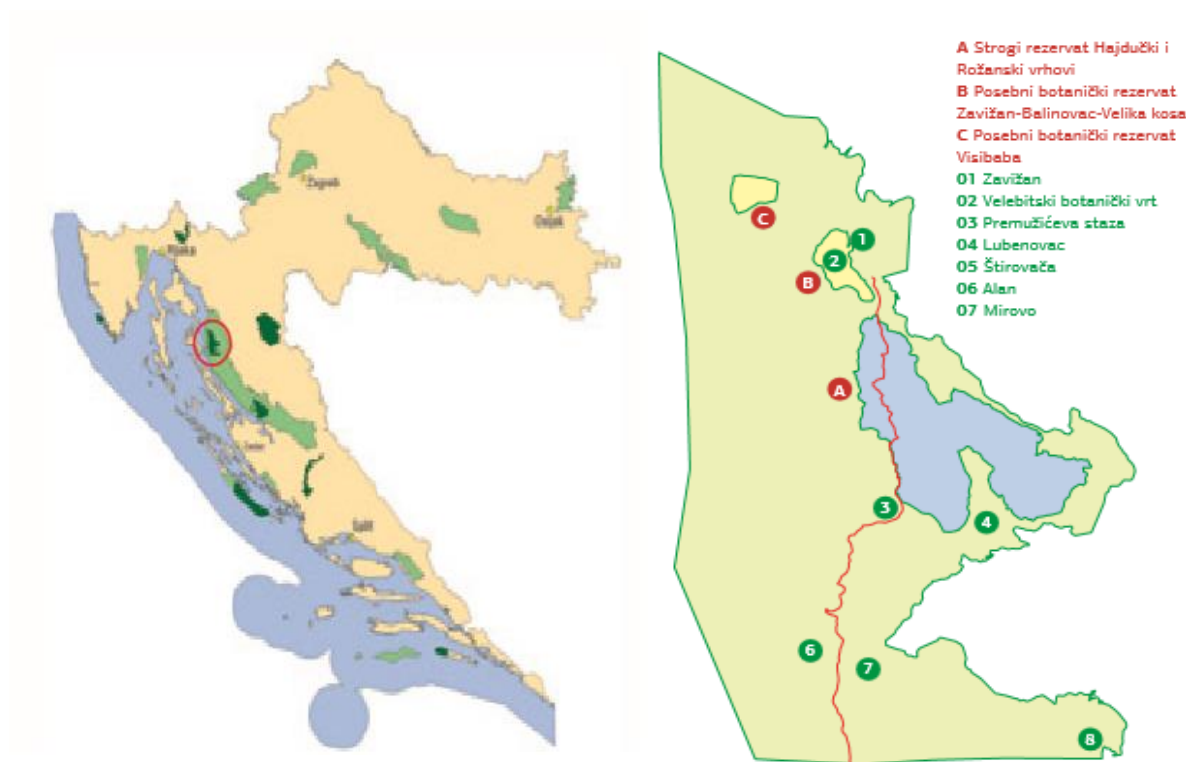
<sup>5</sup> prema Vaganovu i sur. (1999) *predstavljaju prosjećan trend grupiranih unakrsno datiranih uzoraka stabala sa neke lokacije*

<sup>6</sup> standardizacija – postupak uklapanja krivulja u trendovima širina godova individualnih uzoraka radi uklanjanja varijabilnosti i znaćajki prirasta koje se smatraju "šumom" (Speer, 2010)

Područje je proglašeno nacionalnim parkom zbog mnogobrojnosti, raznovrsnosti i osebnosti krških oblika, bogatstva živog svijeta i iznimnih prirodnih ljepota na relativno malom prostoru (Plan upravljanja NPSV., 2007).

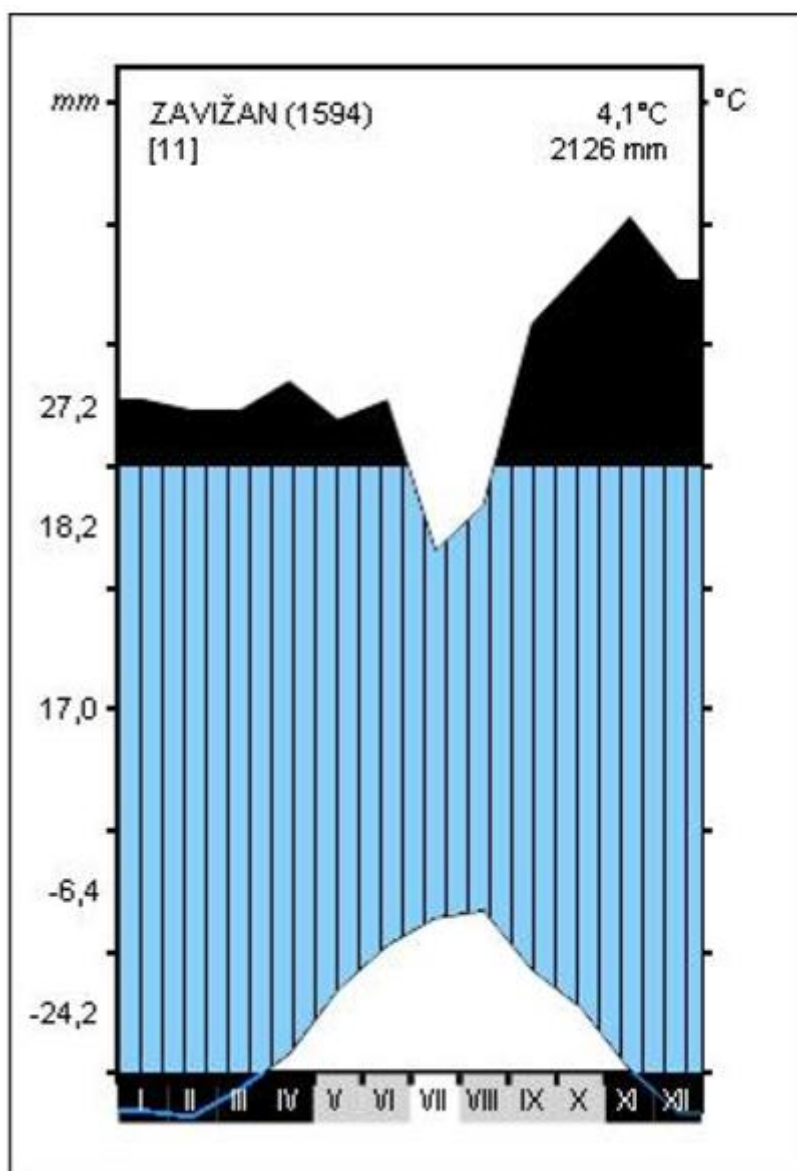
Tablica 1. Osnovni podaci o NP Sjeverni Velebit (Plan upravljanja NPSV, 2007)

|                                                     |                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Naziv zaštićenog područja</b>                    | Sjeverni Velebit                                                                                                                                     |
| <b>Kategorija zaštićenog područja</b>               | Nacionalni Park IUCN - kategorija II                                                                                                                 |
| <b>Datum proglašenja zaštićenog područja</b>        | 09. lipnja 1999. godine                                                                                                                              |
| <b>Akt o proglašenju</b>                            | Zakon o proglašenju Nacionalnog parka „Sjeverni Velebit”, (Narodne novine br. 58/99)                                                                 |
| <b>Površina</b>                                     | 109 km <sup>2</sup> (Zakon o proglašenju Nacionalnog parka „Sjeverni Velebit”)<br>111 km <sup>2</sup> (granice NP Sjeverni Velebit utvrđene GIS-om)  |
| <b>Datum donošenja Plana upravljanja</b>            | 17. rujna 2007. godine                                                                                                                               |
| <b>Plansko razdoblje/revizija plana upravljanja</b> | 10 godina/revizija nakon 5 godina                                                                                                                    |
| <b>Uprava</b>                                       | Javna ustanova Nacionalni park Sjeverni Velebit,<br>Krasno 96, 53274 Krasno<br>npsv@np-sjeverni-velebit.hr                                           |
| <b>Statut Javne ustanove</b>                        | Statut Javne ustanove „Nacionalni park Sjeverni Velebit”, Upravno vijeće Javne ustanove „Nacionalni park Sjeverni Velebit”, 27. veljače 2006. godine |
| <b>Pravilnik o unutarnjem redu</b>                  | Pravilnik o unutarnjem redu u Nacionalnom parku „Sjeverni Velebit”, (Narodne novine br. 75/00)                                                       |



Slika 6. Kartografska lokacija i grafički prikaz NPSV (Plan upravljanja NPSV, 2007)

Velebit se u klimatskom smislu nalazi na granici između područja s Cf klimom (tip C, podtip f – umjereno topla vlažna klima) i Cs klimom (tip C, podtip s – sredozemna klima), a Velebit svojom visinom i duljinom predstavlja tu granicu. Uslijed goleme količine vodene pare, donešene vjetrovima s Jadranskog mora koja kondenzira na velebitskim kukovima i vrhovima, ovo područje obilježeno je obilnim godišnjim količinama oborina (i do 2500-3000 mm) te niskim godišnjim temperaturnim prosjekom (4 – 6 °C). Također, specifične su i temperaturne inverzije u depresijama koje potom uzrokuju dugo zadržavanje snijega (40 – 100 dana trajanje snježnog pokrivača većeg od 30 cm) (slika 7). Nacionalni park je smješten u dijelu najkišovitijeg područja Hrvatske. Unutar Parka se nalazi i glavna meteorološka postaja Zavižan, smještena na 1594 m/nm, kraj planinarskog doma Zavižan. To je najviša (i najstarija) planinska postaja u Hrvatskoj, na kojoj se meteorološka mjerenja i motrenja vrše od kraja 1953. godine (Plan upravljanja NPSV, 2007).



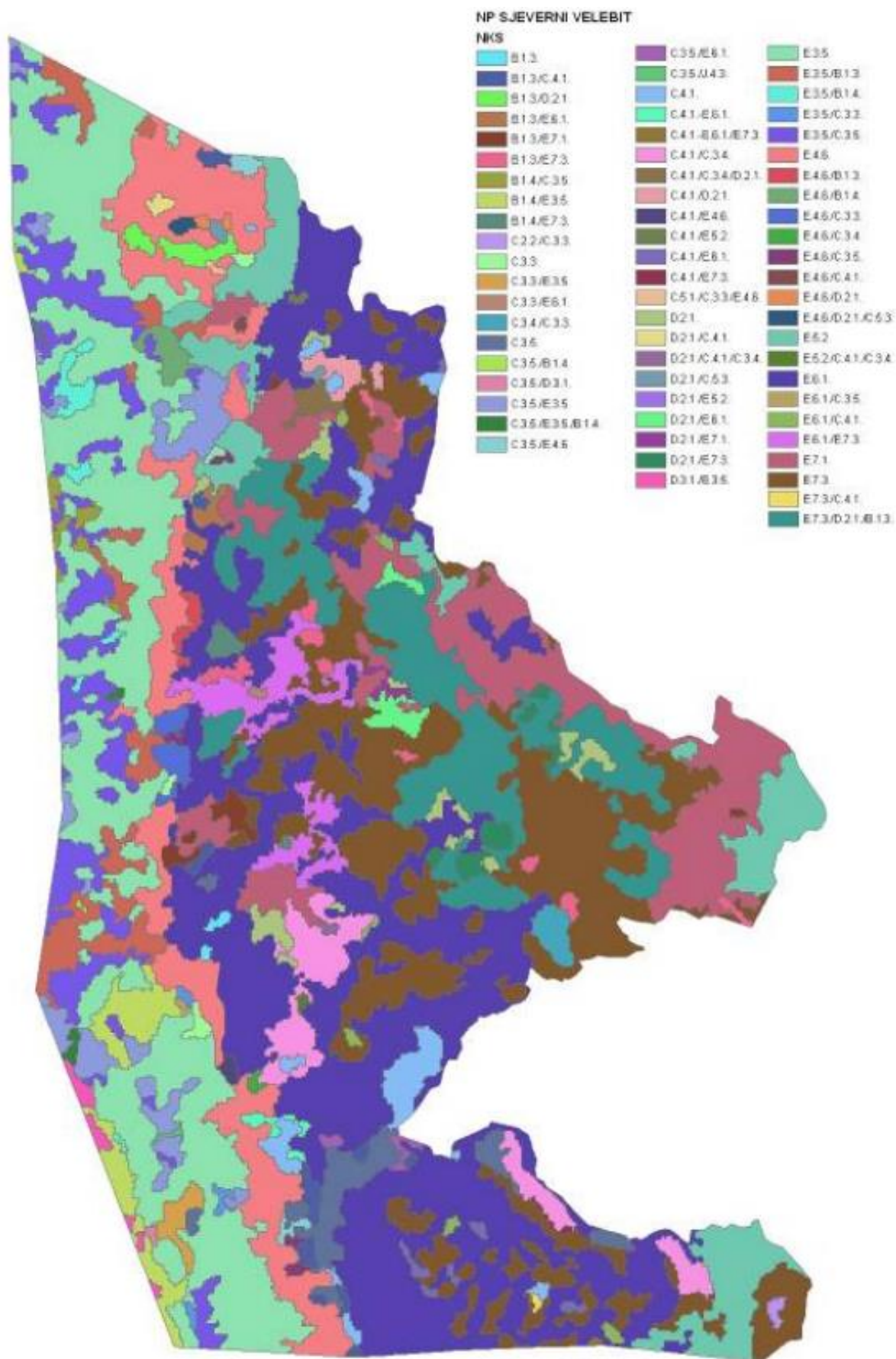
Slika 7. Klimadijagram meteorološke postaje Zavižan (Seletković, 2001)

Područje Parka je obilježeno krškim reljefnim oblicima (škrape, ponikve, dulibe, vrtače i dr.) i velikom raščlanjenošću terena, kao rezultat korozivskih, erozijskih i klimatskih uvjeta kroz povijest. U geološkoj građi Parka ističu se vapnenačke i dolomitne stijene slabopropusnih ili nepropusnih hidroloških karakteristika dok su tla na području Parka prostorno varijabilna. Istraživanjima su determinirane sljedeće vrste tala: litosol, koluvijalno tlo, vapnenačko–dolomitna crnica, smeđe tlo na vapnencu i lesivirano tlo (Plan upravljanja NPSV, 2007) (slika 8, tablica 2).

Tablica 2. Prikaz kodova stanišnih tipova NP Sjeverni Velebit (Plan upravljanja NPSV, 2007)

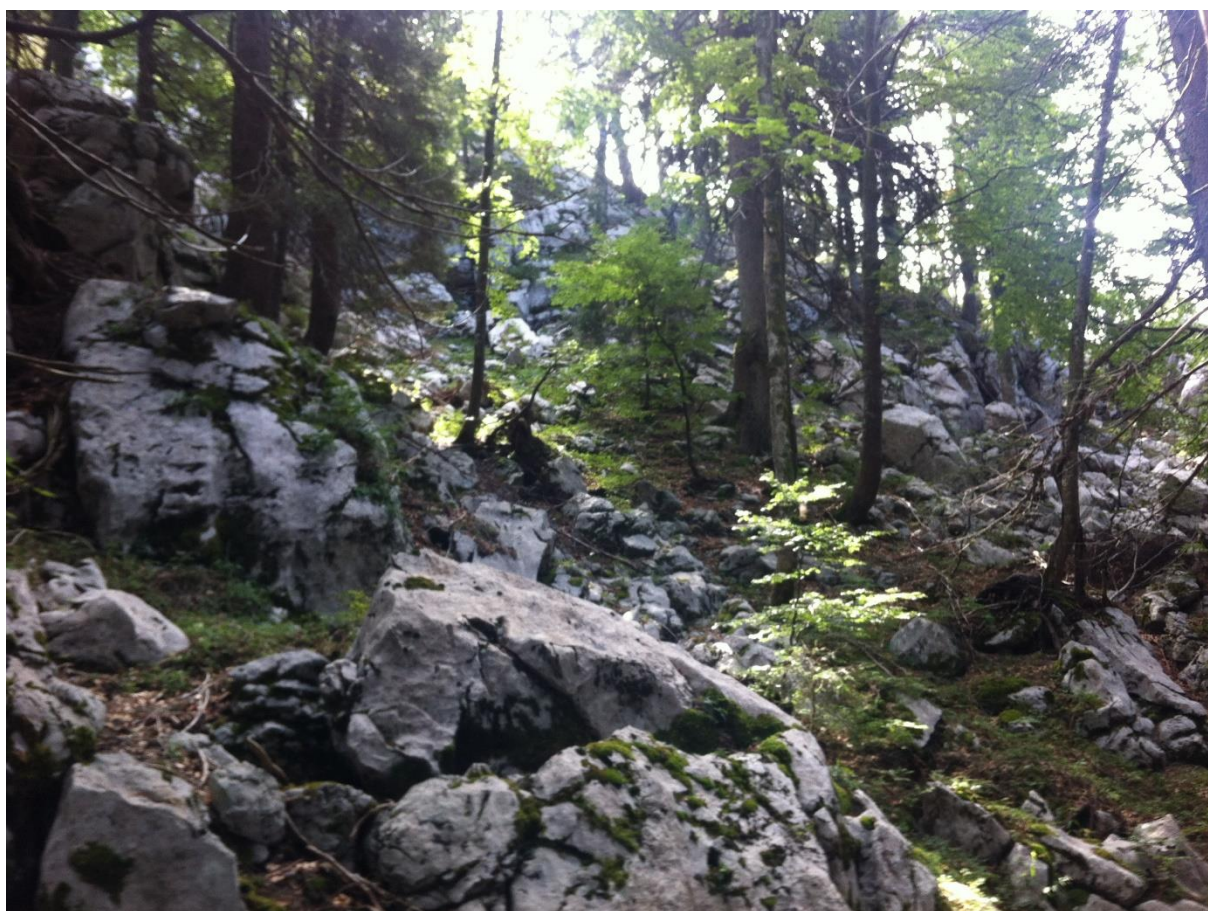
| NKS_KOD              | NKS opis                                                                                                                           | Površina (ha) |                      |                                                                                                                               |        |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|                      |                                                                                                                                    |               | C.5.1./C.3.3./E.4.6. | Šumski rubovi/Subatlantski mezofilni travnjaci i brdske livade/Jugoistočnoalpsko-ilirske, termofilne bukove šume              | 3,1    |
| B.1.3.               | Alpsko-karpatko-balkanske vapnenačke stijene                                                                                       | 7,8           | D.2.1.               | Pretplaninska klekovina                                                                                                       | 91,4   |
| B.1.3./C.4.1.        | Alpsko-karpatko-balkanske vapnenačke stijene/Planinske rudine                                                                      | 62,1          | D.2.1./C.4.1.        | Pretplaninska klekovina/Planinske rudine                                                                                      | 7,5    |
|                      |                                                                                                                                    |               | D.2.1./C.4.1./C.3.4. | Pretplaninska klekovina/Planinske rudine/Europske suhe vršine i travnjaci trave tvrdače                                       | 4,2    |
| B.1.3./D.2.1.        | Alpsko-karpatko-balkanske vapnenačke stijene/Pretplaninska klekovina                                                               | 37,4          | D.2.1./C.5.3.        | Pretplaninska klekovina/Pretplaninska i planinska vegetacija visokih zeleni                                                   | 9,6    |
|                      |                                                                                                                                    |               | D.2.1./E.5.2.        | Pretplaninska klekovina/Dinarske bukovo-jelove šume                                                                           | 3,6    |
| B.1.3./E.6.1.        | Alpsko-karpatko-balkanske vapnenačke stijene/Pretplaninske bukove šume                                                             | 22,9          | D.2.1./E.6.1.        | Pretplaninska klekovina/Pretplaninske bukove šume                                                                             | 40,1   |
|                      |                                                                                                                                    |               | D.2.1./E.7.1.        | Pretplaninska klekovina/Kalcifilne jelove šume                                                                                | 11,4   |
| B.1.3./E.7.1.        | Alpsko-karpatko-balkanske vapnenačke stijene/Kalcifilne jelove šume                                                                | 39,2          | D.2.1./E.7.3.        | Pretplaninska klekovina/Smrekove šume                                                                                         | 49,8   |
|                      |                                                                                                                                    |               | D.3.1./E.3.5.        | Dračici/Primorske, termofilne šume i šikare medunca                                                                           | 25,7   |
| B.1.3./E.7.3.        | Alpsko-karpatko-balkanske vapnenačke stijene/Smrekove šume                                                                         | 58,5          | E.3.5.               | Primorske, termofilne šume i šikare medunca                                                                                   | 1672,4 |
|                      |                                                                                                                                    |               | E.3.5./B.1.3.        | Primorske, termofilne šume i šikare medunca/Alpsko-karpatko-balkanske vapnenačke stijene                                      | 233,5  |
| B.1.4./C.3.5.        | Tirensko-jadranske vapnenačke stijene/Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci                                             | 26,9          | E.3.5./B.1.4.        | Primorske, termofilne šume i šikare medunca/Tirensko-jadranske vapnenačke stijene                                             | 43,6   |
|                      |                                                                                                                                    |               | E.3.5./C.3.3.        | Primorske, termofilne šume i šikare medunca/Subatlantski mezofilni travnjaci i brdske livade                                  | 14,6   |
| B.1.4./E.3.5.        | Tirensko-jadranske vapnenačke stijene/Primorske, termofilne šume i šikare medunca                                                  | 146,2         | E.3.5./C.3.5.        | Primorske, termofilne šume i šikare medunca/Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci                                  | 473,0  |
| B.1.4./E.7.3.        | Tirensko-jadranske vapnenačke stijene/Smrekove šume                                                                                | 18,9          | E.4.6.               | Jugoistočnoalpsko-ilirske, termofilne bukove šume                                                                             | 760,1  |
| C.2.2./C.3.3.        | Vlažne livade Srednje Europe/Subatlantski mezofilni travnjaci i brdske livade                                                      | 7,0           | E.4.6./B.1.3.        | Jugoistočnoalpsko-ilirske, termofilne bukove šume/Alpsko-karpatko-balkanske vapnenačke stijene                                | 17,5   |
| C.3.3.               | Subatlantski mezofilni travnjaci i brdske livade                                                                                   | 17,7          | E.4.6./B.1.4.        | Jugoistočnoalpsko-ilirske, termofilne bukove šume/Tirensko-jadranske vapnenačke stijene                                       | 31,7   |
| C.3.3./E.3.5.        | Subatlantski mezofilni travnjaci i brdske livade/Primorske, termofilne šume i šikare medunca                                       | 31,9          | E.4.6./C.3.3.        | Jugoistočnoalpsko-ilirske, termofilne bukove šume/Subatlantski mezofilni travnjaci i brdske livade                            | 38,9   |
| C.3.3./E.6.1.        | Subatlantski mezofilni travnjaci i brdske livade/Pretplaninske bukove šume                                                         | 3,2           | E.4.6./C.3.4.        | Jugoistočnoalpsko-ilirske, termofilne bukove šume/Europske suhe vršine i travnjaci trave tvrdače                              | 5,0    |
| C.3.4./C.3.3.        | Europske suhe vršine i travnjaci trave tvrdače/Subatlantski mezofilni travnjaci i brdske livade                                    | 32,4          | E.4.6./C.3.5.        | Jugoistočnoalpsko-ilirske, termofilne bukove šume/Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci                            | 15,0   |
| C.3.5.               | Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci                                                                                   | 145,0         | E.4.6./C.4.1.        | Jugoistočnoalpsko-ilirske, termofilne bukove šume/Planinske rudine                                                            | 3,2    |
| C.3.5./B.1.4.        | Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci/Tirensko-jadranske vapnenačke stijene                                             | 5,6           | E.4.6./D.2.1.        | Jugoistočnoalpsko-ilirske, termofilne bukove šume/Pretplaninska klekovina                                                     | 5,8    |
| C.3.5./D.3.1.        | Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci/Dračici                                                                           | 3,2           | E.4.6./D.2.1./C.5.3. | Jugoistočnoalpsko-ilirske, termofilne bukove šume/Pretplaninska klekovina/Pretplaninska i planinska vegetacija visokih zeleni | 6,7    |
| C.3.5./E.3.5.        | Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci/Primorske, termofilne šume i šikare medunca                                       | 213,7         | E.5.2.               | Dinarske bukovo-jelove šume                                                                                                   | 557,9  |
| C.3.5./E.3.5./B.1.4. | Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci/Primorske, termofilne šume i šikare medunca/Tirensko-jadranske vapnenačke stijene | 9,8           | E.5.2./C.4.1./C.3.4. | Dinarske bukovo-jelove šume/Planinske rudine/Europske suhe vršine i travnjaci trave tvrdače                                   | 3,1    |
|                      |                                                                                                                                    |               | E.6.1.               | Pretplaninske bukove šume                                                                                                     | 2441,8 |
| C.3.5./E.4.6.        | Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci/Jugoistočnoalpsko-ilirske, termofilne bukove šume                                 | 17,4          | E.6.1./C.3.5.        | Pretplaninske bukove šume/Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci                                                    | 3,2    |
|                      |                                                                                                                                    |               | E.6.1./C.4.1.        | Pretplaninske bukove šume/Planinske rudine                                                                                    | 23,0   |
| C.3.5./E.6.1.        | Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci/Pretplaninske bukove šume                                                         | 12,1          | E.6.1./E.7.3.        | Pretplaninske bukove šume/Smrekove šume                                                                                       | 183,5  |
|                      |                                                                                                                                    |               | E.7.1.               | Kalcifilne jelove šume                                                                                                        | 805,0  |
| C.3.5./J.4.3.        | Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci/Površinski kopovi                                                                 | 3,2           | E.7.3.               | Smrekove šume                                                                                                                 | 1472,0 |
| C.4.1.               | Planinske rudine                                                                                                                   | 134,1         | E.7.3./C.4.1.        | Smrekove šume/Planinske rudine                                                                                                | 2,6    |
| C.4.1.-E.6.1.        | Planinske rudine-Pretplaninske bukove šume                                                                                         | 15,3          | E.7.3./D.2.1./B.1.3. | Smrekove šume/Pretplaninska klekovina/Alpsko-karpatko-balkanske vapnenačke stijene                                            | 776,1  |





Slika 8. Karta staništa (1:25 000) NP Sjeverni Velebit (Plan upravljanja NPSV, 2007)

***Smrčeve doline*** je naziv za lokalitet šireg prostora u podnožju *Rožanskih kukova* koji se proteže između Velikog Zavižana na sjeveru i staze *Rossijeva koliba – Velike Brisnice* na jugu, a od Lubenovca na istoku je dijeli poznata *Premužićeva staza*. Unutar lokaliteta nalaze se 3 šumske zajednice: smrekova šuma s obrubljenim gladcem (*Laserpitio krapfii – Piceetum abietis* Vukelić i sur. 2010), na gornjim i srednjim padinama pretplaninska bukova šuma sa žabnjakom (*Ranunculo platanifoliae – Fagetum* Marinček i sur. 1993.) te pretplaninska smrekova šuma s čopocem (*Hyperico grisebachii - Piceetum abietis* Bertović 1975./Vukelić i sur. 2010.) u kojoj su se nalazile i naše istraživane plohe, uglavnom po strmim obroncima ili u hladnim i zatvorenim ponikvama, na visini između 1300 i 1550 m/nv (slika 9) (Vukelić i sur., 2011).



Slika 9. Tipičan izgled reljefa i obronka lokaliteta *Smrčeve doline* (foto: Krešimir Begović)



## 2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

### 2.1. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA ŠUMA VELEBITA

NP Sjeverni Velebit u posljednjih 50-ak godina predstavlja zanimljivo, ali biološki i znanstveno još nedovoljno istraženo područje. Iako je mnogo uloženo i napravljeno kako bi se obogatila turistička i rekreativna ponuda uživanja prirodnih dobara koje ovaj Park pruža (poboljšanje infrastrukture, uređenje ugostiteljskih objekata, jačanje promotivnih i marketinških aktivnosti) (Plan upravljanja NPSV, 2007.), mnogi podaci vezani za strukturu, dinamiku rasta i prirasta i cjelokupni ciklus ugljika i biomase, naročito u primarnim šumama, ne postoje, a povijesni zapisi antropogenih utjecaja su nedorečeni ili izgubljeni.

Međutim, u posljednjih 20 godina provedena su istraživanja i izdani mnogi radovi izrađeni na temu područja Velebita. Tako **Božić i sur. (2006)** modeliraju status oštećenosti stabala obične jele (*Abies alba* Mill.) s obzirom na utjecaj geomorfoloških, klimatskih i sastojinskih faktora. **Vukelić (2005)** izdaje monografiju o šumama i povijesti šumarstva na sjevernom Velebitu, a kasnije provodi i fitocenološka istraživanja u šumama altimontansko-subalpinskim smrekovim šumama s obrubljenim gladcem gdje ustanovljuje i novu asocijaciju (*Laserpitio krapfii* – *Piceetum abietis* ass. nova) (Vukelić i sur., 2010). **Bakšić i sur. (2011)** istražuju pedofiziografske značajke i sadržaj teških metala u smrekovim šumama Sj. Velebita i Štirovače gdje dolaze do podataka o velikoj zagađenosti površinskog sloja tla kadmijem, cinkom i olovom na određenim staništima. **Tikvić i sur. (2007)** istražuju porast trenda povećanja količine mrtvog drva i odumiranja stabala obične jele (*Abies alba* Mill.) u razdoblju 1996.-2005., u korelaciji sa porastom temperature i stanišnim značajkama (nadmorska visina, nagib, ekspozicija). **Oršanić i sur. (2007)** prate stupanj prirodne regeneracije stabala smreke na pokusnim plohama sekundarne prašume Klepina Duliba na Štirovači (1 ploha) i iz gospodarenih dijelova sj. Velebita (3 plohe) na prijelazu u 21. stoljeće gdje se dolazi do spoznaja o vrlo slabom obnavljanju smreke kao rezultat krivih gospodarskih metoda koje narušavaju edafske i klimatske uvjete za obnovu smreke, dok **Potočić i sur. (2007)** prate utjecaj promjena klimatskih čimbenika (srednja godišnja temperatura zraka, godišnja količina oborina, i temperatura u vegetacijskom periodu) na osutost krošanja stabala obične bukve i obične jele.

## 2.2. CILJ RADA

Kao dio međunarodnog projekta pod nazivom *Mixed severity disturbances as drivers of structural variability and carbon dynamics at the stand and landscape levels* (*Ozbiljnost različitih poremećaja kao faktora strukturalne varijabilnosti i dinamike ugljika na razini sastojine i okoliša*), nastoji se kroz dendrokronološku i dendroklimatološku analizu kronologija stabala obične smreke (*Picea abies* (L.) H.Karst.) i obične jele (*Abies alba* Mill.) u istraživanoj prašumi s lokaliteta *Smrčevih dolina*, unutar NP Sjeverni Velebit, prikazati utjecaj klimatskih čimbenika, konkretno temperature i oborina, na dinamiku debljinskog prirasta smrekovih i jelovih stabala.

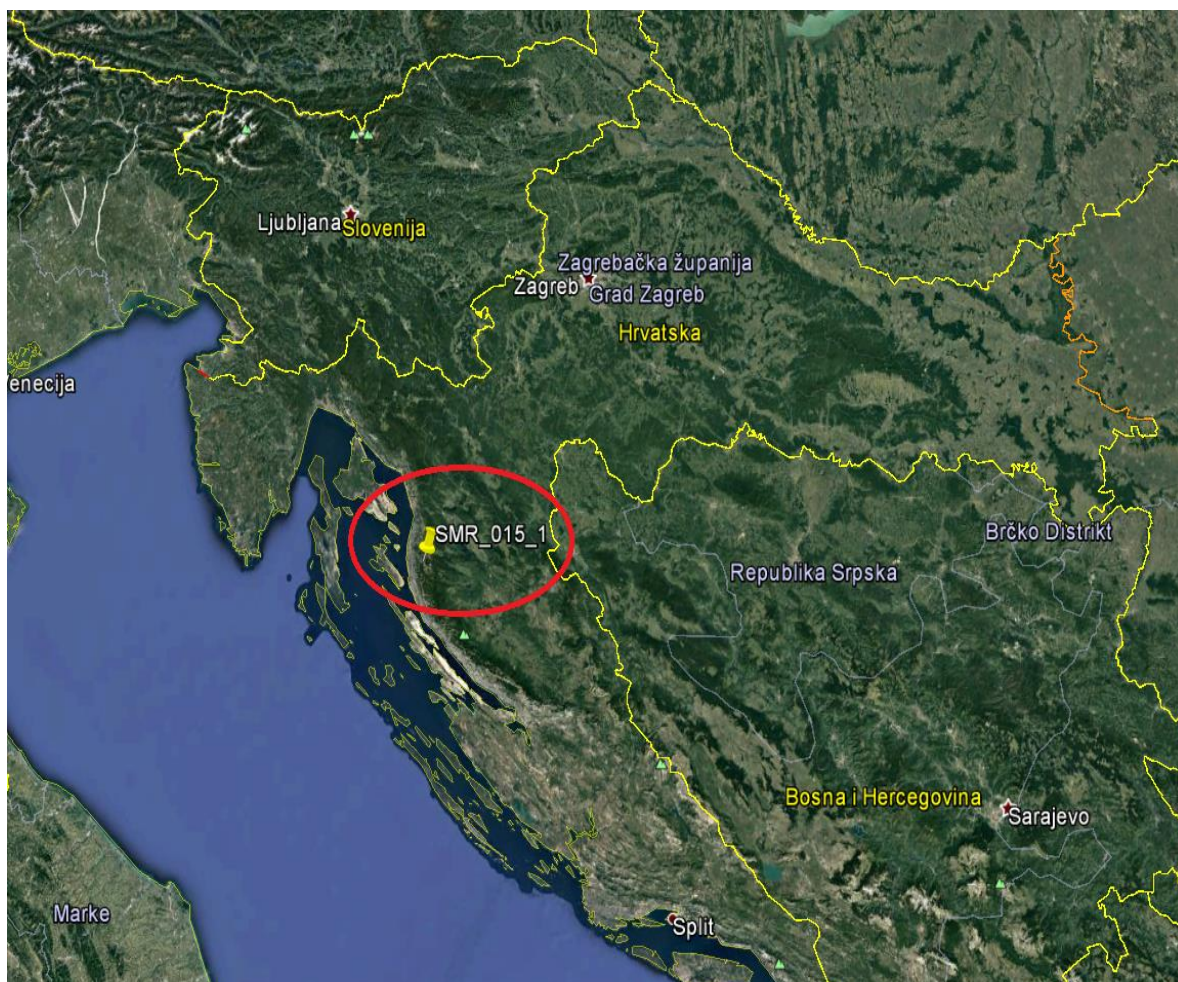
Pomoću prikupljenih uzoraka (izvrtaka), opisat će se postupci datiranja individualnih stabala mjerenjem godova i razvijanje kvalitetnih i reprezentativnih kronologija za običnu smreku i običnu jelu. Na temelju referentnih kronologija, prikazat će se analiza značajnosti utjecaja klimatskih čimbenika (konkretno temperature i količine oborina) na radijalni, odnosno debljinski prirast stabala smreke i jele te grafičkim prikazom međusobne ovisnost između debljinskog prirasta i klimatskih vrijednosti, izdvojiti neposredan utjecaj temperature i oborina na prirast individualnih stabala tokom promatranog razdoblja.

Također, ispitat će se ekstremne pojave koje su zadesile prostor *Smrčevih dolina* u proteklom stoljeću, a u kronologiji su zabilježene kao iznenadan pad ili rast debljinskog prirasta (indikatorske godine - *pointeri*), te kroz takve empirijske podatke pokušati objasniti uzroke istih ukazujući na očekivanja budućih klimatskih pojava i mogućnosti reakcije stabala na te klimatske promjene kroz promjene u rastu i prirastu.

### 3. MATERIJALI I METODE RADA

#### 3.1. TERENSKI RAD

Svako znanstveno istraživanje mora početi kvalitetno izvedenim i detaljno isplaniranim terenskim radom. Za potrebe dendroklimatološke analize, naročita pažnja mora se posvetiti dizajniranju odabira uzorka kako bi se dobila što reprezentativnija i dovoljno velika količina uzoraka stabala, po mogućnosti uzorkujući ona stabla koja rastu na području granice svoje ekološke rasprostranjenosti radi dobivanja maksimalnog signala u godovima. U slučaju ovog rada i dendroklimatologije općenito, potrebno je prethodno sakupljanju podataka obaviti posao **odabira lokacije uzorkovanja** (slika 10).

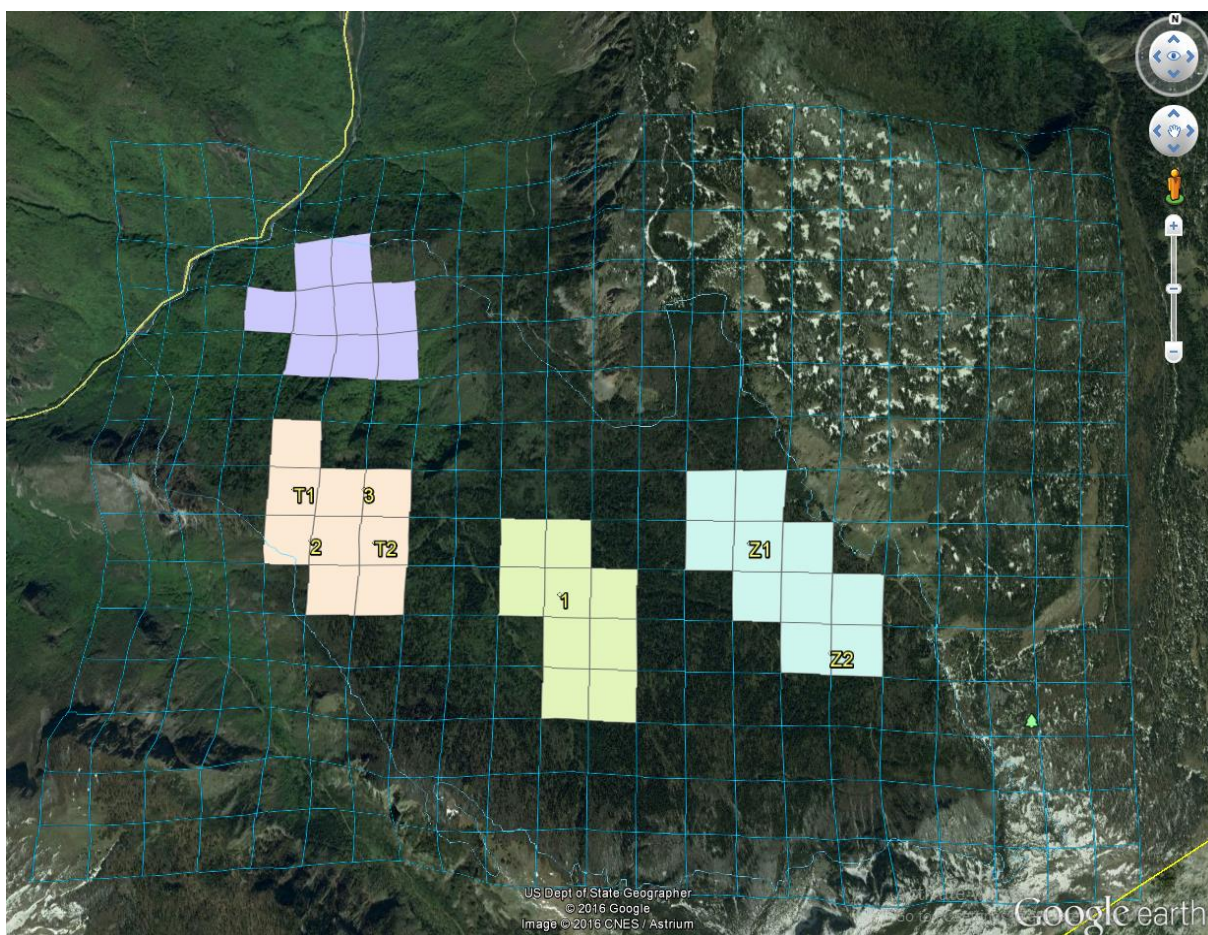


Slika 10. Položaj *Smrčevih dolina* (SMR) u RH (Google Earth)



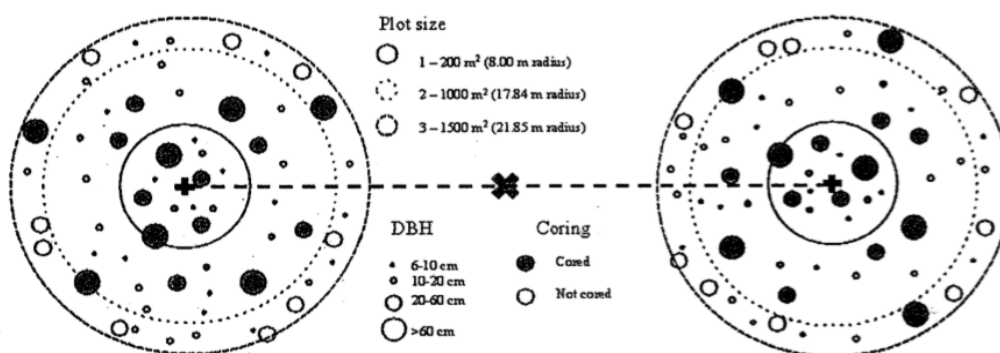
### 3.1.1. Odabir lokacije

Unutar prethodno projicirane i postavljene mreže poligona na kartografskom prikazu proučavanih lokacija unutar NP Sjeverni Velebit (*Smrčeve doline, Ramino korito, i dr.*) (10 ha svaka mreža) nasumičnim odabirom postavljene su 3 točke unutar mreže poligona, iz kojih su se georeferenciranjem odabirale središnje poligone točke ploha na terenu (slika 11). Po dolasku do georeferenciranih i odabranih središnjih poligonih točaka, prema unaprijed određenom azimutu, na udaljenosti 40 m na obje strane od središnje poligone točke, fiksiralo se središte svake kružne podplohe, unutar koje su izdvojena 3 kruga različitih radijusa. Središta kružnih podploha su u pravilu bila postavljena u istoj liniji prema središnjoj poligonoj točki, ako su okolnosti na terenu to dopuštale.



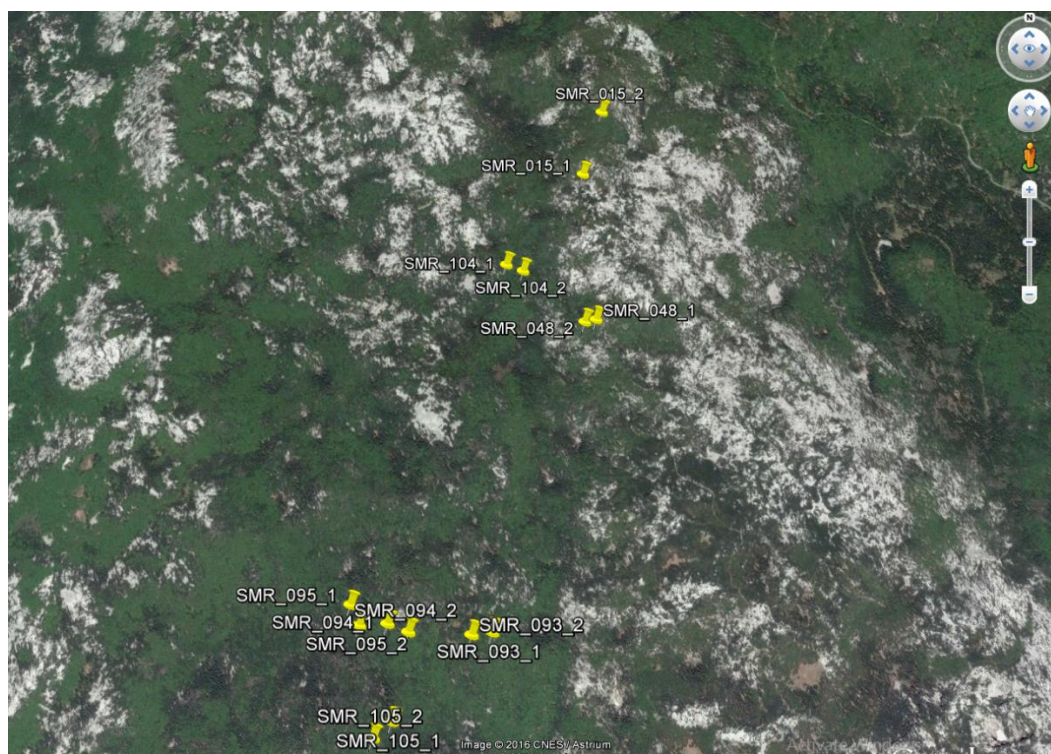
Slika 11. Primjer postavljene mreže poligona s istaknutim poligonima izmjere i georeferentnim točkama u NP Sutjeska, 2016. (Google Earth; metodologija projekta *Mixed severity disturbances as drivers of structural variability and carbon dynamics at the stand and landscape levels*, 2015. – 2017.)

Kružne podplohe sačinjavane su od 3 kruga različitog radijusa, unutar kojih su se sakupljali uzorci, s obzirom na minimalni prsni promjer stabala za vađenje izvrtaka određen prethodno uspostavljenom metodologijom rada. U prvom krugu, radijusa 8 m ( $200 \text{ m}^2$ ) bušena su sva stabla minimalnog prsnog promjera od 6 cm, u drugom krugu, radijusa 17.84 m ( $1000 \text{ m}^2$ ) stabla minimalnog promjera od 20 cm, a u trećem krugu, radijusa 21.85 m ( $1500 \text{ m}^2$ ), birana su samo stabla promjera većeg od 60 cm (slika 12).



Slika 12. Prikaz metodologije odabira ploha i odabira uzorkovanja stabala (metodologija projekta *Mixed severity disturbances as drivers of structural variability and carbon dynamics at the stand and landscape levels*, 2015. – 2017.)

Uzorci korišteni u ovom radu uzeti su sa 7 ploha, tj. 14 podploha iz područja *Smrčevih dolina* (slika 13, 14).



Slika 13. Položaj pokusnih ploha i podploha na lokalitetu *Smrčeve doline* (Google Earth)





Slika 14. *Smrčeve doline* (foto: Krešimir Begović)

### 3.1.2. Metodologija bušenja i oprema

Osnovna oprema korištena na terenu sastojala se od standardnih alata korištenih u dendrokronološkom istraživanju: mjerna vrpca (60 m) i promjerka (izmjera prsnog promjera),

Presslerova svrdla (srednja i dulja) s izvlakačem uzorka (slika 15),

mehanički starter (pomagač pri početnom ubušivanju u stablo),

plastične slamke (za pohranu individualnih uzoraka),

tuba (za prijenos svih uzoraka),

vosak (zaštita stabala),

vodo-otporni crni marker (označavanje uzoraka<sup>7</sup>),

odgovarajući formulari za evidenciju stabala i GPS uređaj.

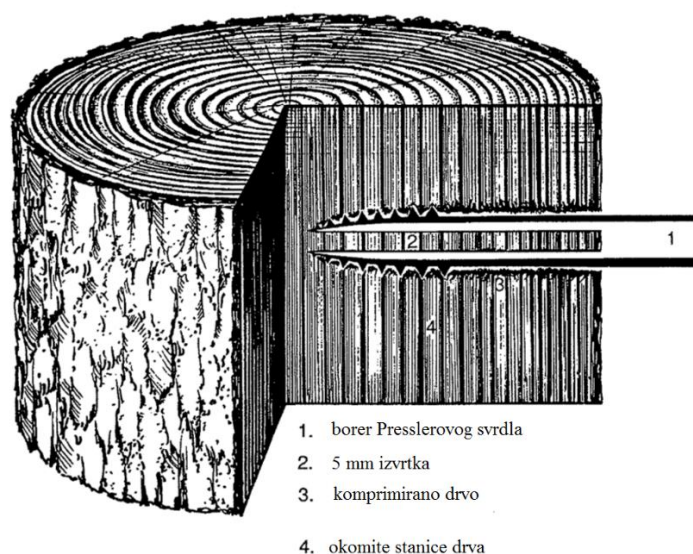
---

<sup>7</sup> primjer oznake: SMR\_093\_001\_005A; SMR – naziv lokacije, 093 – broj plohe, 001 – broj subplohe, 005A – broj stabla i slovo uzorka (metodologija projekta *Mixed severity disturbances as drivers of structural variability and carbon dynamics at the stand and landscape levels*, 2015. – 2017.)



Slika 15. Presslerova svrdla raznih proizvođača i veličina  
(<http://www.esf.edu/fnrm/stella/facilities.html>)

Bušenje stabala vršilo se na prsnoj visini, ne dublje od  $\frac{2}{3}$  ukupnog promjera stabla, na stablima na nagibu paralelno sa slojnicom (kako bi se prošlo kroz srce stabla i izbjeglo reakcijsko drvo) (slika 16). Iz svakog stabla uzimao se 1-2 uzorka koji su se vadili izvlakačem iz borera svrdla, te koji su se potom, s upisanim odgovarajućim oznakama uzorkovanog stabla određene plohe, unutar plastičnih slamki spremali u transportnu tubu s ostalim uzorcima i prenosili u laboratorij na skladištenje, sušenje i pripreme za analizu.



Slika 16. Shema ubušivanja borera Presslerovog svrdla u drvo (Speer, 2010)



### 3.2. LABORATORIJSKE METODE

Pri povratku s terena uzorci su skladišteni u hladnjaku na konstantnoj temperaturi od 5 °C radi sprečavanja gljivičnih ili drugih vrsta potencijalnih štetnih utjecaja na kvalitetu uzoraka.

Pri daljnjoj laboratorijskoj obradi te za samo mjerenje i kasnije datiranje uzoraka, korišteni su klizni mikrotom, ručni brusni papir i *LinTAB* (linearni mjerni stol) spojen na računalo (slika 17, 18), dok su za sekundarnu statističku analizu i razvijanje kronologija i analizu klimatskih odziva korištene programske podrške *COFECHA*, *ARSTAN* i *R*.

Klimatski podaci preuzeti su u obliku mreže meteoroloških podataka sa web stranice *KNMI Climate Explorer* u obliku *CRU TS3.23*<sup>8</sup> podataka.

#### 3.2.1. Priprema uzoraka za mjerenje i izmjera godina

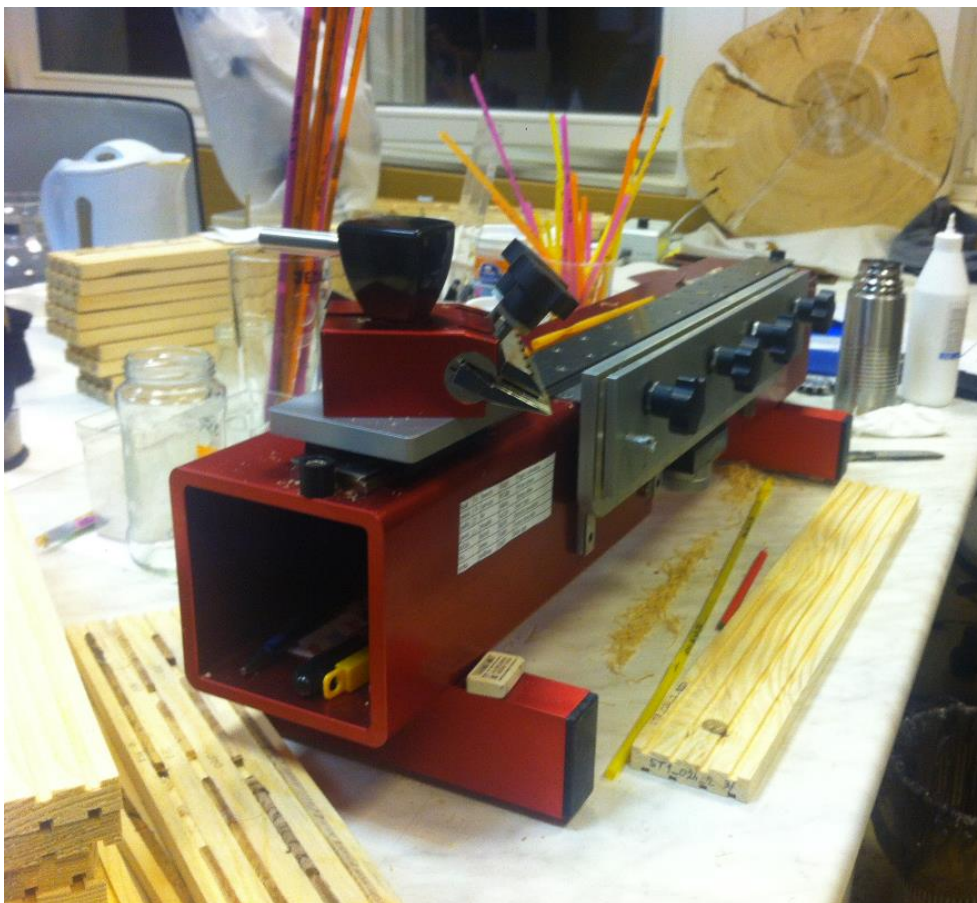
Prethodno navlaženim izvrtcima, pomoću žileta učvršćenim na sječnoj glavi mikrotoma, postepeno su skidani slojevi do one dubine izvrtka prilikom koje su granice godina bile jasno vidljive, a uzorak dovoljno obrađen za umetanje i učvršćivanje u utore drvenih pločica. Po potrebi, brusnim papirom dodatno se ručno polirala rezana površina radi poboljšanja vidljivosti granica godina te lakšeg očitavanja granica godina.

---

<sup>8</sup> *CRU TS (Climatic Research Unit Timeseries)* = sastoji se od mreže podataka mjesečnih vremenskih serija za oborine, dnevne maksimume i minimume temperature i dr. varijabli u razdoblju 1901-2014. Mreža meteoroloških podataka je 0.5 x 0.5 rezolucije, a bazirana na zapisima nekoliko meteoroloških postaja najbližih lokaciji istraživanja (<https://climatedataguide.ucar.edu>)



Slika 17. *LINTAB* mjerni stol (foto: Krešimir Begović)



Slika 18. Dendroekološki laboratorij s kliznim mikrotomom (foto: Krešimir Begović)

Mjerenje se vršilo pomoću **LinTAB-a**, linearnog mjernog stola spojenog na računalo i koristeći software **TSAP-Win** kojim se bilježila širina godova, počevši od kore prema središtu izvrtka (srži). Širina jednog goda podrazumijeva širinu kasnog i ranog drva, a vrijednost širine (u 1/100 mm) koristila se dalje u analizi i izradi individualne kronologija (TRW<sup>9</sup>). Radi kasnijeg lakšeg snalaženja prilikom statističke analize i vizualne provjere kvalitete datiranja, običnom olovkom su se stavljale oznake u središte pojedinog goda <sup>10</sup>(slika 19).



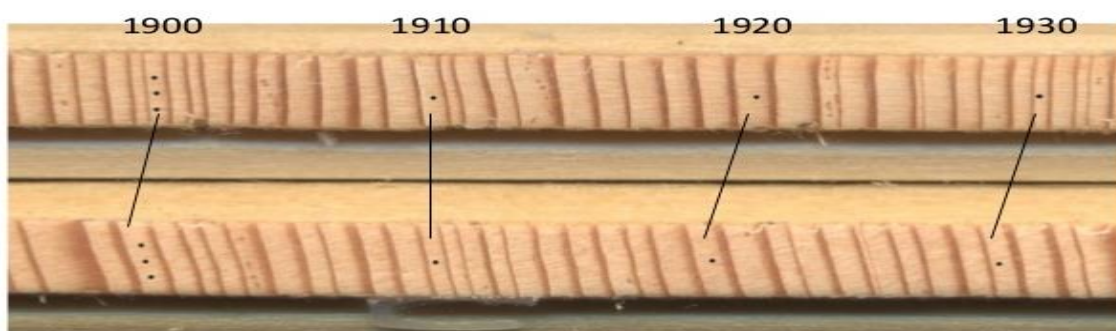
Slika 19. Shematski prikaz označavanja izvrtaka (Speer, 2010)

<sup>9</sup> TRW – *tree ring width* (širina goda)

<sup>10</sup> 1 točka na svako desetljeće, 2 točke na svakih 50 godina, 3 točke na svako stoljeće

### 3.2.2. *Cross-dating* ili unakrsno datiranje

Unakrsno datiranje (slika 20) vršilo se u programu **CDendro**. To je švedski program koji jednostavnim sučeljem i jasnim grafičkim prikazom omogućuje učinkovitu i brzu analizu i vizualnu kontrolu kakvoće mjerenja svih uzoraka, dozvoljavajući korisniku mogućnost manipulacije godovima individualnih uzoraka radi točnijeg datiranja, zatim izradu i pregled osnovne kronologije (srednje vrijednosti), kao i pregled korelacijskog odnosa svih uzoraka ili korelacije između 20-ogodišnjih segmenata individualnih uzoraka sa kronologijom. Uzorci visokog korelacijskog indeksa korišteni su za razvoj kronologije, dok su ostali uzorci za potrebe ovog rada, odbačeni. Osnovni statistički pokazatelji podudarnosti uzoraka u programu **CDendro** jesu *GFK* (*Gleichläufigkeit*) vrijednost, kao mjera sličnosti između dvije individualne kronologije bazirana na prvoj razlici između sukcesivnih godina (Schweingruber, 1988), *TTest* vrijednost bazirana na odnosu duljine preklapanja uspoređenih uzoraka i *GFK* vrijednosti i *CorrC* vrijednost kao korelacijski koeficijent sirovih nenormaliziranih vrijednosti širina godina (<http://www.cybis.se/forfun/dendro>).



Slika 20. Princip unakrsnog datiranja (*cross-dating*) (<http://www.slideshare.net>)

### 3.2.3. Statistička analiza izmjere i datiranja

Statistička analiza i sekundarna provjera međusobne podudarnosti uzoraka te izrada tzv. referentne (*master*) kronologije vršila se pomoću **COFECHA** programa, američkog znanstvenika Richarda Holmesa iz 1982.

**COFECHA** prikazuje statističke rezultate iz kojih se može zaključiti pouzdanost pravilnog unakrsnog datiranja svakog pojedinog uzorka u odnosu na referentnu kronologiju (Grissino-Mayer i Henri, 2001). Važno je naglasiti kako se referentna kronologija razvijena u **COFECHA**-i razlikuje od referentne kronologije koja će se koristiti za usporedbu s klimatskim podacima (Speer, 2010).



Standardizacijski postupci bazirani su na korištenju statističkih računalnih programa koji različite tipove krivulja prilagođavaju trendovima u godovima kako bi kroz uklanjanje razlika u stopama prirasta između pojedinačnih uzoraka, izdvojili i negirali utjecaj onih čimbenika varijabilnosti koje se smatra neželjenima (a smatraju se "šumom") u krajnjoj analizi i izradi referentnih kronologija, te pojačali željeni signal (u ovom radu klimatski). Način na koji se to statistički postiže, bazira se na zamjeni izmjerenih vrijednosti godova (u 1/100 mm) sa srednjim indeksnim vrijednostima jednakim vrijednosti 0 (*COFECHA*) ili 1 (*ARSTAN*) (Holmes, 1983; Cook i Krusic, 2005).

**ARSTAN** (*AutoRegressive STANdardization*) je osnovni program za izradu finalne kronologije proučavanih uzoraka neke sastojine, lokacije ili regije, a bazira se na korištenju različitih tehnika i matematičkih modela standardizacije serije godova i minimaliziranja utjecaja autokorelacijskih i, s obzirom na predmet istraživanja, ometajućih komponenata u individualnim uzorcima (Cook i Holmes, 1986). U dendroklimatološkim istraživanjima, *ARSTAN* se koristi kako bi u osnovnoj kronologiji, sastavljenoj međusobnim preklapanjem izmjerenih širina godova, uklonio neklimate trendove (poput juvenilnog rasta, utjecaja strukturalnih poremećaja u šumi poput kalamiteta, kompeticije u šumi, autokorelacije, i dr.) koji proizlaze iz sastojinskih utjecaja na rast stabala, i maksimizirao klimatski signal proučavanog skupa uzoraka. Jednostavnim determinističkim modelima uklanjaju se neželjeni trendovi, a potom izračunavaju srednje vrijednosti svih individualnih uzoraka za izradu glavne referentne kronologije (Speer, 2010; Hughes i sur., 2011). Kao osnovni statistički pokazatelji u *ARSTAN*-u koji potvrđuju ispravnost veličine uzorka unutar referentne kronologije za dobivanje stabilnog i jasnog zajedničkog klimatskog signala u klimatološkim istraživanjima, ističu se *R-bar* i *EPS* (Butler i sur.; 2013).

*R-bar* (ili *running r-bar*) je prosječni korelacijski koeficijent između pojedinih uzoraka koji se koristi za izračun kvalitete signala kroz cijelu kronologiju (Goršić, 2013). *EPS* (*expressed population signal*) je statistička mjera koja ukazuje na razinu zajedničkog signala među uzorcima korištenim za konstrukciju kronologije (slika 21).

$$EPS(t) = \frac{\bar{r}_{bt}}{\bar{r}_{bt} + (1 - \bar{r}_{bt})/t} = \frac{t\bar{r}_{bt}}{t\bar{r}_{bt} + (1 - \bar{r}_{bt})}$$

Slika 21. Formula za izračunavanje *EPS*-a (Wiggle i sur., 1984; Briffa i Jones 1990)

t – prosječna vrijednost nizova godova

$\bar{r}_{bt}$  – *r-bar*



Empirički prihvaćena granična vrijednost *EPS*-a (od 0.85) predstavlja granicu ispod koje promatrana kronologija počinje gubiti koherentni skupni signal i počinje dominirati signal pojedinačnih stabala (Clark i Speer, unpublished) i iako se takva kronologija može koristiti za datiranje (npr. u dendroarheološkim istraživanjima), ona zbog svoje varijabilnosti nije pouzdana za kalibraciju sa klimatskim podacima i interpretaciju u svrhu rekonstrukcije klime (Speer, 2010).

Za konačan prikaz funkcija klimatskog odziva smreke i jele, korišten je **R program** baziran na *R* programskom jeziku koji se koristi za integralno razvijanje statističkog računanja, grafiku, linearno i nelinearno modeliranje, analizu vremenskih nizova i sl. (<https://www.r-project.org>). Referentna rezidualna<sup>11</sup> kronologija iz *ARSTAN*-a uspoređuje se sa klimatskim podacima (Zang i Biondi, 2012), a kombinacijom indirektna regresijske analize (Christiansen, 2011) i tzv. *bootstrapping* tehnike (Guiot, 1991; Biondi, 2000), koristeći *Pearsonove koeficijente* kao mjere linearne korelacije vrijednosti dviju ulaznih varijabli, dobivaju se korelacijski grafički prikazi odnosa rezidualne kronologije sa klimatskim podacima.

Podaci o temperaturi (prosječne godišnje temperature po mjesecima) i oborinama (godišnja količina oborina po mjesecima) preuzeti su sa *KNMI Climate Explorer* web stranice, koja generira klimatske podatke na temelju mreže meteoroloških postaja. Podaci su dobiveni interpolacijom za koordinate istraživanih ploha. Korištena je TS3.23 verzija *CRU* podataka za razdoblje od 1901. do 2014. godine.

Indikatorske godine (*pointeri*) su one godine u kojima je određen dostatan broj uzoraka stabala u kronologiji reagirao neuobičajenim prirastom manifestiranim kroz značajno smanjenje ili povećanje prosječne širine godova kao rezultat ekstremnih prirodnih pojava (Bijak, 2008). Analiza indikatorskih godina u ovom radu bazirala se na uočavanju i analiziranju onih godina kod kojih su zabilježene ekstremne širine godova u barem 50% proučavanih uzoraka, a objašnjene korištenjem povijesnih klimatskih zapisa dostupnih iz tih razdoblja na razini središnje Europe.

---

<sup>11</sup> poglavlje 4, podpoglavljje 4.1.

## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 4.1. STATISTIČKA ANALIZE MEĐUSOBNE PODUDARNOSTI UZORAKA

Statistička analiza u COFECHA-i provedena je na 34 uzorka obične smreke, osnovne kronologije dužine 436 godina, i 20 uzoraka obične jele, osnovne kronologije dužine 393 godine (slika 22). Koristeći *fleksibilnu 32-ogodišnju kubnu krivulju* sa 50%-tnim odrezom (*32 year cubic smoothing spline 50% cutoff*) za filtriranje podataka glavne kronologije i autoregresivnim modelom sa rezidualnim podacima, dobivene su odlične korelacije 50-ogodišnjih segmenata (s 25-ogodišnjim preklapanjem) individualnih serija uzoraka sa glavnom kronologijom u razdoblju od 1900.-2015. godine u prosječnoj vrijednosti od .60 za običnu smreku i .53 za običnu jelu, a u nekih uzoraka čak i segmente starije od 1900. godine, no za potrebe ovog rada one nisu uzete u obzir zbog nedostupnosti klimatskih podataka (slika 23). Mjera prosječne osjetljivosti (*average mean sensitivity*) kronologije od .21 za običnu smreku, tj. .20 za običnu jelu jamči nam teoretski dovoljnu osjetljivost širina godova za rekonstrukciju klime (slika 22, 23<sup>12</sup>) (Speer, 2010).

---

<sup>12</sup> crvena linija (slika 23, 31, 33) predstavlja granicu duljine kronologije za dendroklimatološko istraživanje ovog rada

QUALITY CONTROL AND DATING CHECK OF TREE-RING MEASUREMENTS

Title of run: SMR-S-finish

File of DATED series: SMR-S-EG-finish.rwl

CONTENTS:

- Part 1: Title page, options selected, summary, absent rings by series
- Part 2: Histogram of time spans
- Part 3: Master series with sample depth and absent rings by year
- Part 4: Bar plot of Master Dating Series
- Part 5: Correlation by segment of each series with Master
- Part 6: Potential problems: low correlation, divergent year-to-year changes, absent rings, outliers
- Part 7: Descriptive statistics

| RUN CONTROL OPTIONS SELECTED                                               | VALUE                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1 Cubic smoothing spline 50% wavelength <del>cutoff</del> for filtering    | 32 years                                                           |
| 2 Segments examined are                                                    | 50 years lagged successively by 25 years                           |
| 3 Autoregressive model applied                                             | A Residuals are used in master dating series and testing           |
| 4 Series transformed to logarithms                                         | Y Each series log-transformed for master dating series and testing |
| 5 CORRELATION is Pearson (parametric, quantitative)                        |                                                                    |
| Critical correlation, 99% confidence level                                 | .3281                                                              |
| 6 Master dating series saved                                               | N                                                                  |
| 7 Ring measurements listed                                                 | N                                                                  |
| 8 Parts printed                                                            | 1234567                                                            |
| 9 Absent rings are omitted from master series and segment correlations (Y) |                                                                    |

Time span of Master dating series is 1579 to 2014 436 years  
 Continuous time span is 1579 to 2014 436 years  
 Portion with two or more series is 1642 to 2014 373 years

\*\*\*\*\*  
 \*C\* Number of dated series 34 \*C\*  
 \*O\* Master series 1579 2014 436 yrs \*O\*  
 \*F\* Total rings in all series 7404 \*F\*  
 \*E\* Total dated rings checked 7341 \*E\*  
 \*C\* Series ~~intercorrelation~~ .531 \*C\*  
 \*H\* Average mean sensitivity .210 \*H\*  
 \*A\* Segments, possible problems 32 \*A\*  
 \*\*\* Mean length of series 217.8 \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

Title of run: JelaSNR

File of DATED series: Jela-Smrceve.rwl

CONTENTS:

- Part 1: Title page, options selected, summary, absent rings by series
- Part 2: Histogram of time spans
- Part 3: Master series with sample depth and absent rings by year
- Part 4: Bar plot of Master Dating Series
- Part 5: Correlation by segment of each series with Master
- Part 6: Potential problems: Low correlation, divergent year-to-year changes, absent rings, outliers
- Part 7: Descriptive statistics

| RUN CONTROL OPTIONS SELECTED                                               | VALUE                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1 Cubic smoothing spline 50% wavelength <del>cutoff</del> for filtering    | 32 years                                                           |
| 2 Segments examined are                                                    | 50 years lagged successively by 25 years                           |
| 3 Autoregressive model applied                                             | A Residuals are used in master dating series and testing           |
| 4 Series transformed to logarithms                                         | Y Each series log-transformed for master dating series and testing |
| 5 CORRELATION is Pearson (parametric, quantitative)                        |                                                                    |
| Critical correlation, 99% confidence level                                 | .3281                                                              |
| 6 Master dating series saved                                               | N                                                                  |
| 7 Ring measurements listed                                                 | N                                                                  |
| 8 Parts printed                                                            | 1234567                                                            |
| 9 Absent rings are omitted from master series and segment correlations (Y) |                                                                    |

Time span of Master dating series is 1622 to 2014 393 years  
 Continuous time span is 1622 to 2014 393 years  
 Portion with two or more series is 1646 to 2014 369 years

\*\*\*\*\*  
 \*C\* Number of dated series 20 \*C\*  
 \*O\* Master series 1622 2014 393 yrs \*O\*  
 \*F\* Total rings in all series 4048 \*F\*  
 \*E\* Total dated rings checked 4024 \*E\*  
 \*C\* Series ~~intercorrelation~~ .527 \*C\*  
 \*H\* Average mean sensitivity .200 \*H\*  
 \*A\* Segments, possible problems 18 \*A\*  
 \*\*\* Mean length of series 202.4 \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

Slika 22. Pregled osnovnih parametara analize u COFECHA-i za običnu smreku (a) i običnu jelu (b) (COFECHA)

Correlations of 50-year dated segments, lagged 25 years  
 Flags: A = correlation under .3281 but highest as dated; B = correlation higher at other than dated position

| Seq | Series              | Time_span | 1625  | 1650  | 1675 | 1700 | 1725 | 1750 | 1775  | 1800  | 1825 | 1850 | 1875 | 1900 | 1925 | 1950 | 1975 |
|-----|---------------------|-----------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
|     |                     |           | 1674  | 1699  | 1724 | 1749 | 1774 | 1799 | 1824  | 1849  | 1874 | 1899 | 1924 | 1949 | 1974 | 1999 | 2024 |
| 1   | 104154              | 1841 2014 |       |       |      |      |      |      |       |       | .38  | .26A | .42  | .55  | .65  | .73  | .65  |
| 2   | 104237              | 1789 2014 |       |       |      |      |      |      | -.03B | .01B  | .20B | .45  | .50  | .46  | .49  | .53  | .57  |
| 3   | 151100              | 1888 2014 |       |       |      |      |      |      |       |       |      |      | .41  | .50  | .52  | .56  | .53  |
| 4   | 151152              | 1675 2014 |       |       | .15B | .58  | .61  | .62  | .75   | .57   | .32A | .25A | .54  | .68  | .56  | .64  | .67  |
| 5   | 152062              | 1905 2014 |       |       |      |      |      |      |       |       |      |      |      | .48  | .44  | .50  | .57  |
| 6   | 152144              | 1772 2014 |       |       |      |      |      | .10B | .16B  | .36   | .51  | .48  | .56  | .75  | .72  | .69  | .69  |
| 7   | 152147              | 1704 2014 |       |       |      | .42  | .45  | .49  | .53   | .60   | .54  | .42  | .50  | .53  | .53  | .59  | .61  |
| 8   | 152261              | 1812 2014 |       |       |      |      |      |      | .33   | .51   | .55  | .61  | .59  | .70  | .75  | .65  |      |
| 9   | 481028              | 1579 2014 | -.16B | -.02B | .07B | .57  | .63  | .57  | .63   | .42   | .41  | .54  | .51  | .53  | .46  | .41  | .52  |
| 10  | 481085              | 1874 2014 |       |       |      |      |      |      |       |       |      | .32B | .35B | .64  | .72  | .69  | .63  |
| 11  | 481134              | 1865 2014 |       |       |      |      |      |      |       |       |      | .30A | .47  | .49  | .52  | .60  | .54  |
| 12  | 481141              | 1662 2014 |       | .26B  | .35  | .39  | .38  | .32A | .39   | .42   | .23B | .59  | .65  | .42  | .38  | .42  | .52  |
| 13  | 482030              | 1897 2014 |       |       |      |      |      |      |       |       |      |      | .55  | .56  | .77  | .79  | .73  |
| 14  | 482060              | 1832 2014 |       |       |      |      |      |      |       |       | .26A | .67  | .66  | .62  | .61  | .67  | .58  |
| 15  | 931033              | 1837 2014 |       |       |      |      |      |      |       |       | .38  | .64  | .77  | .75  | .74  | .70  | .61  |
| 16  | 931057              | 1902 2014 |       |       |      |      |      |      |       |       |      |      |      | .43  | .60  | .68  | .56  |
| 17  | 931061              | 1815 2014 |       |       |      |      |      |      | .35   | .49   | .69  | .79  | .79  | .79  | .84  | .82  | .74  |
| 18  | 931066              | 1815 2014 |       |       |      |      |      |      | .50   | .60   | .67  | .67  | .59  | .60  | .66  | .65  |      |
| 19  | 931084              | 1818 2014 |       |       |      |      |      |      | .42   | .47   | .43  | .60  | .60  | .43  | .52  | .51  |      |
| 20  | 932030              | 1832 2014 |       |       |      |      |      |      | .48   | .61   | .57  | .57  | .66  | .67  | .67  | .62  |      |
| 21  | 932090              | 1861 2014 |       |       |      |      |      |      |       | .76   | .81  | .70  | .62  | .50  | .39  |      |      |
| 22  | 932091              | 1862 2014 |       |       |      |      |      |      |       |       |      | .37  | .46  | .72  | .82  | .74  | .67  |
| 23  | 951007              | 1798 2014 |       |       |      |      |      |      | -.04B | -.03B | .31A | .45  | .59  | .71  | .80  | .74  | .64  |
| 24  | 951021              | 1841 2014 |       |       |      |      |      |      | .57   | .53   | .59  | .69  | .78  | .65  | .61  |      |      |
| 25  | 951024              | 1809 2014 |       |       |      |      |      |      | .21B  | .33   | .48  | .52  | .66  | .65  | .54  | .59  |      |
| 26  | 951059              | 1866 2014 |       |       |      |      |      |      |       |       | .27B | .37  | .64  | .54  | .46  | .46  |      |
| 27  | 951095              | 1824 2014 |       |       |      |      |      |      | .10B  | .18B  | .58  | .65  | .65  | .60  | .53  | .65  |      |
| 28  | P399LS              | 1852 2014 |       |       |      |      |      |      |       |       | .48  | .51  | .56  | .62  | .56  | .60  |      |
| 29  | P452S               | 1702 2014 |       |       | .68  | .58  | .35  | .53  | .59   | .28B  | .49  | .69  | .60  | .69  | .54  | .46  |      |
| 30  | P452SA              | 1773 2014 |       |       |      |      |      | .30A | .35   | .44   | .59  | .60  | .56  | .53  | .47  | .38  | .45  |
| 31  | P472S               | 1642 2014 | .02B  | .27B  | .26B | .58  | .57  | .52  | .57   | .50   | .49  | .44  | .56  | .57  | .55  | .63  | .65  |
| 32  | P571LS              | 1667 2014 |       | .33A  | .37  | .69  | .69  | .64  | .65   | .53   | .51  | .68  | .69  | .63  | .52  | .53  | .62  |
| 33  | P631L               | 1704 2014 |       |       |      | .42  | .47  | .50  | .38   | .46   | .55  | .70  | .80  | .80  | .77  | .74  | .60  |
| 34  | P637L               | 1791 2014 |       |       |      |      |      | .68  | .61   | .51   | .71  | .78  | .57  | .57  | .72  | .54  |      |
| Av  | segment correlation |           | -.07  | .21   | .24  | .54  | .55  | .44  | .43   | .39   | .42  | .51  | .58  | .60  | .62  | .61  | .59  |

a

Correlations of 50-year dated segments, lagged 25 years  
 Flags: A = correlation under .3281 but highest as dated; B = correlation higher at other than dated position

| Seq | Series              | Time_span | 1625 | 1650 | 1675 | 1700 | 1725 | 1750 | 1775  | 1800  | 1825 | 1850 | 1875 | 1900 | 1925 | 1950 | 1975 |
|-----|---------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
|     |                     |           | 1674 | 1699 | 1724 | 1749 | 1774 | 1799 | 1824  | 1849  | 1874 | 1899 | 1924 | 1949 | 1974 | 1999 | 2024 |
| 1   | A_550_              | 1622 2014 | .30A | .31A | .48  | .43  | .57  | .70  | .62   | .52   | .62  | .56  | .48  | .50  | .60  | .65  | .60  |
| 2   | A_651_              | 1646 2014 | .30A | .32A | .44  | .45  | .56  | .54  | .65   | .68   | .66  | .54  | .42  | .47  | .55  | .53  | .46  |
| 3   | A_637_              | 1682 2014 |      |      | .46  | .39  | .51  | .59  | .59   | .51   | .56  | .44  | .40  | .53  | .64  | .60  | .46  |
| 4   | A_581_              | 1713 2014 |      |      |      | .43  | .55  | .53  | .59   | .67   | .42  | .54  | .79  | .73  | .69  | .57  | .53  |
| 5   | 48_2_0              | 1797 2014 |      |      |      |      |      |      | -.09B | -.14B | .43  | .66  | .72  | .79  | .69  | .53  | .58  |
| 6   | 95_1_0              | 1811 2014 |      |      |      |      |      |      | .24A  | .58   | .69  | .65  | .62  | .73  | .54  | .33  |      |
| 7   | 95_1_0              | 1813 2014 |      |      |      |      |      |      | .19B  | .39   | .48  | .58  | .66  | .67  | .66  | .61  |      |
| 8   | 95_1_0              | 1816 2014 |      |      |      |      |      |      | .50   | .60   | .64  | .67  | .73  | .76  | .68  | .63  |      |
| 9   | 95_1_0              | 1824 2014 |      |      |      |      |      |      | .50   | .49   | .68  | .70  | .68  | .68  | .55  | .58  |      |
| 10  | 95_1_1              | 1827 2014 |      |      |      |      |      |      |       | .32A  | .55  | .56  | .56  | .60  | .46  | .21A |      |
| 11  | 95_1_1              | 1837 2014 |      |      |      |      |      |      |       | .44   | .57  | .56  | .63  | .69  | .52  | .50  |      |
| 12  | 48_2_0              | 1843 2014 |      |      |      |      |      |      | -.22B | -.19B | .14B | .73  | .84  | .83  | .74  |      |      |
| 13  | 104_2_              | 1853 2014 |      |      |      |      |      |      |       | .29B  | .30B | .63  | .70  | .49  | .47  |      |      |
| 14  | 95_1_0              | 1856 2014 |      |      |      |      |      |      |       | .31A  | .44  | .71  | .65  | .48  | .59  |      |      |
| 15  | A_591_              | 1870 2014 |      |      |      |      |      |      |       | .09B  | .24B | .61  | .63  | .65  | .71  |      |      |
| 16  | 95_2_0              | 1876 2014 |      |      |      |      |      |      |       | .67   | .61  | .66  | .69  | .70  |      |      |      |
| 17  | 104_1_              | 1878 2014 |      |      |      |      |      |      |       | .38   | .70  | .78  | .71  | .61  |      |      |      |
| 18  | 104_1_              | 1895 2014 |      |      |      |      |      |      |       | .51   | .56  | .54  | .60  | .67  |      |      |      |
| 19  | 105_21              | 1895 2014 |      |      |      |      |      |      |       | .42   | .52  | .51  | .39  | .43  |      |      |      |
| 20  | 15_2_0              | 1898 2014 |      |      |      |      |      |      |       | .52   | .51  | .51  | .46  | .44  |      |      |      |
| Av  | segment correlation |           | .30  | .32  | .46  | .42  | .55  | .59  | .47   | .41   | .44  | .46  | .51  | .62  | .66  | .58  | .54  |

b

Slika 23. Prikaz korelacije 50-ogodišnjih segmenata (25-ogodišnji preklop) sa referentnom kronologijom: obična smreka (a) i obična jela (b) (COFECHA)

#### 4.1.1. Problematika uzorka i odabira lokacije

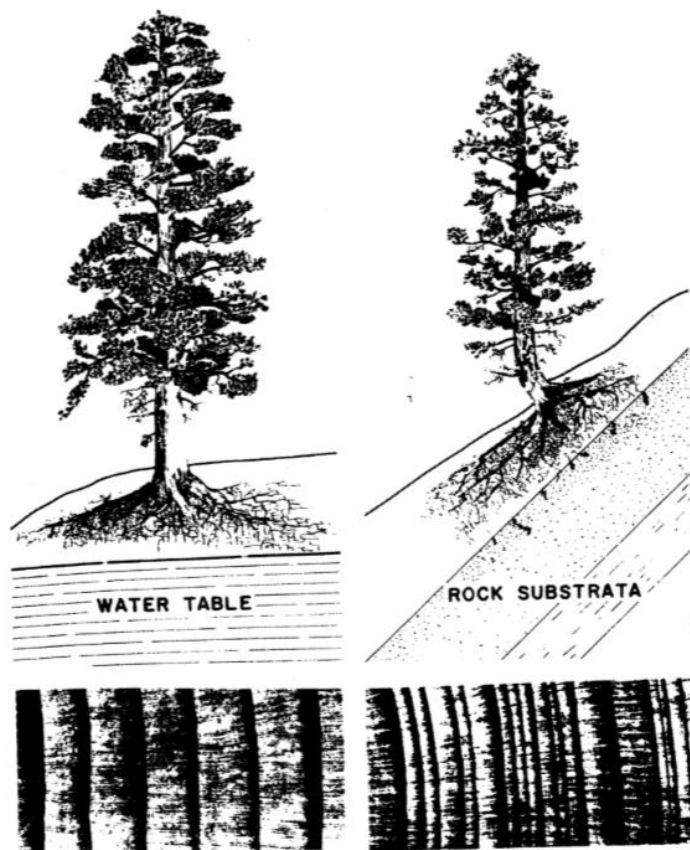
Svaka vrsta, ovisno o nasljednim osobinama koje određuju njen fenotip, može rasti i razmnožavati se u određenom rasponu staništa (Fritts, 1976). Ekološka amplituda je uzorak vegetacije na nekom krajobrazu koji je kontroliran rasponom klimatskih faktora na koje vrsta reagira (Lomolino i sur., 2006). Obična smreka (*Picea abies* (L.) H.Karst.) je vrsta plitkog korijenja, spada u jednu od najraširenijih vrsta u Europi kojoj pogoduju zimske hladnoće kontinentalne i planinske klime te mrazišta nižih nadmorskih visina, a prema istraživanjima (Pulkkinen, 1993) već od dobi pomladka prilagođena je na utjecaje mraza, ovisno o provenijenciji vrste. Obična jela (*Abies alba* Mill.) na lokalitetu *Smrčeve doline*, zajedno sa običnom smrekom i običnom bukvom, gradi prašumsku zajednicu na relativno plitkim tlima povrh vapnenaca i dolomita, strmim nagibima i krškim reljefnim oblicima terena (vrtače, ponikve i duliba te izbijajući elementi geomorfološke podloge), stoga njezin rast i razvoj u takvim planinskim i terestričkim uvjetima uvelike ovisi o upotpunjujućem utjecaju visokih temperatura i količine oborina te dostupnosti vode tokom vegetacije (Tardif i sur., 2003).

Odabir *Smrčevih dolina* kao istraživane lokacije, baziran je na činjenici da na tom području i na tim visinama smreka i jela rastu na granici svoje ekološke amplitude na Velebitu, te je pretpostavka da će klimatski signal (naročito temperature) na tim lokacijama i u tim klimatskim uvjetima biti snažniji, a nizovi godina biti dovoljno osjetljivi za dendroklimatološku analizu (Schweingruber, 1996; Mäkinen i sur., 2003).

Uzimajući u obzir geomorfologiju i topografiju terena, već odabirom lokacije nastojao se maksimizirati signal koji je predmet istraživanja i gdje prirast stabala najbolje odražava lokalne klimatske prilike, a još uvijek se držat principa nepristranog odabira (slika 24). Pri tome, težilo se dobiti što dulje dendrokronološke nizove ne bi li se izbjegli uzorci mladih stabala sa velikim udjelom juvenilnog drva koje nije dobar pokazatelj za dendroklimatološka istraživanja (Cook i Kairiukstis, 1990), stoga su se uzorkovala čak i ona stabla koja nužno nisu bila pozicionirana unutar prethodno određenih ploha, ali su bila reprezentativna za lokalnu klimu s pretpostavkom da će ta stabla u sebi, upravo zbog svoje pozicije, sadržavati i visoko-frekventne i nisko-frekventne varijacije u širini godina (Hughes i sur., 2011).



Precizan odabir veličine uzorka nemoguće je točno odrediti na terenu, budući da tek nakon provedenog mjerenja godova, unakrsnog vizualnog datiranja te statističke analize u *COFECHA* i *ARSTAN* programima, dobivamo pouzdanu informaciju o zadovoljenju principa replikacije.



Slika 24. Grafički prikaz širine godova u optimalnim (lijevo) i graničnim (desno) uvjetima za rast i razvoj neke vrste (Speer, 2010)

Prema rezultatima analize u *COFECHA* i *ARSTAN* programima, jasno se iščitava činjenica da sva 34 uzorka obične smreke i svih 20 uzoraka obične jele u razdoblju od 115 godina međusobno odlično interkoreliraju (slika 23), a ukupne podudarnosti kronologija zadovoljavaju uvjet osjetljivosti uzoraka za testiranje klimatskog odziva. Razlog zbog kojeg su kronologije uzoraka u *COFECHA*-i uspoređivane samo u posljednjih 115 godina jest u duljini dostupnih klimatskih podataka (*CRU data*). U slijedećim starijim segmentima prije 1900. godine počinju se pojavljivati tipične vrijednosti slabije međusobne podudarnosti segmenata prema referentnoj kronologiji, što nužno ne bi značilo nepouzdanost duže kronologije za nastavak analize kao referentne sa klimatskim podacima, no samo u slučaju da su veličina uzorka, tj. vrijednost replikacije zadovoljavajući (slika 28 - 33).

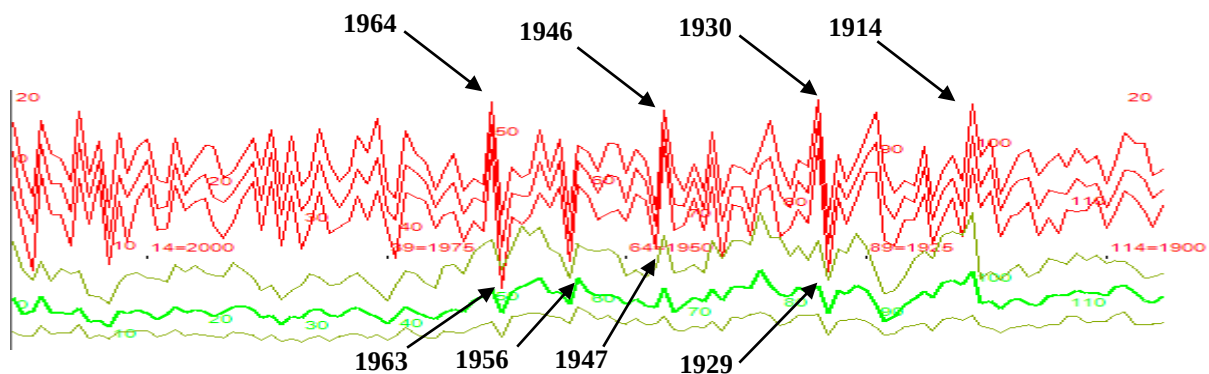
#### 4.2. INDIKATORSKE GODINE (*POINTERS*)

Slika 25. Grafički prikaz osnovne kronologije obične smreke s naznačenim pointerima  
(*CDendro*)

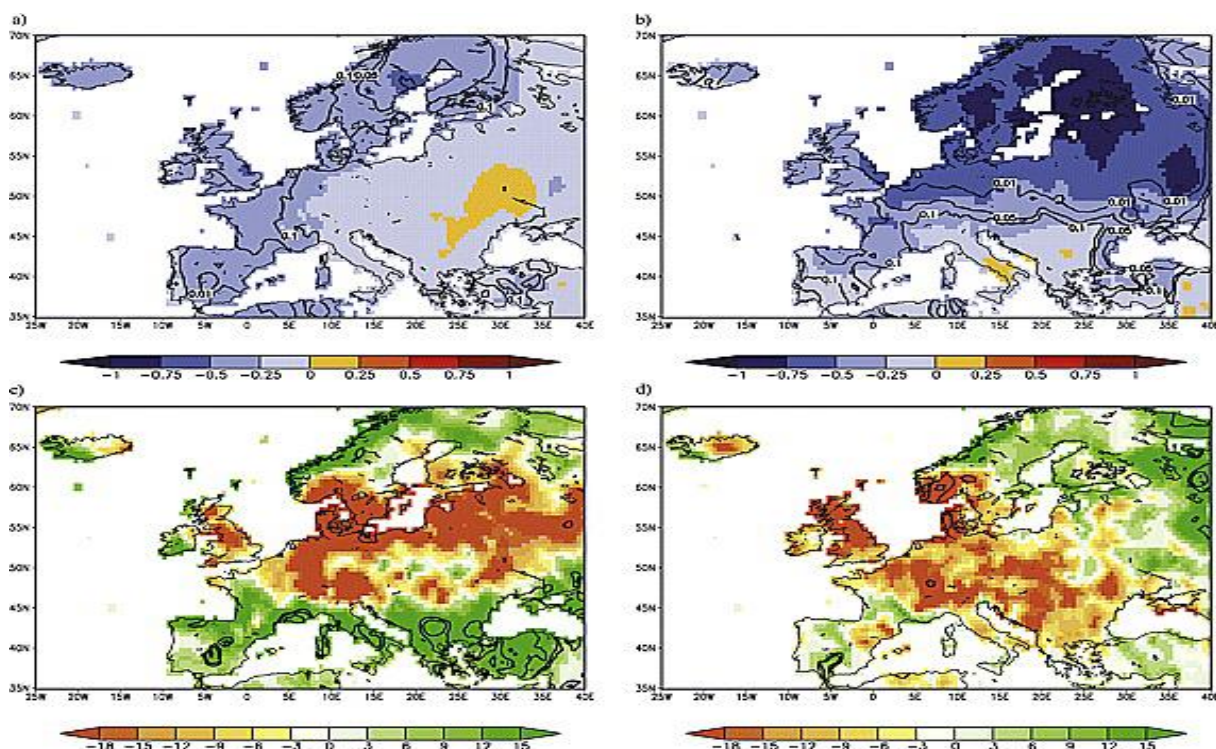
Prema drugom grafu, najveći broj uzoraka pokazuje 4 indikatorske godine prirasnog pada (1929., 1947., 1956. i 1963.) te 4 godine rasta debljinskog prirasta (1914., 1930., 1946. i 1964.).

<sup>13</sup> „Srednja osjetljivost je statistička mjera varijabilnosti u širini godova na razini od godine-do godine, u rasponu od 0 do 1” (Speer, 2010).

<sup>14</sup> Crvene krivulje predstavljaju normalizirane širine godova (prema modelu P2yrsL), a zelene krivulje osnovne vrijednosti širine godova u razdoblju 2015.-1900. godine (sa standardnom devijacijom)



1918. i 1963. godine zabilježen je značajan pad prosječne godišnje temperature, što korespondira i sa grafičkim prikazom trenda godišnjih temperatura (slika 5), dok je zima 1962./1963. obilježila 20. stoljeće kao jedna od najhladnijih i najdužih. Također, postoji i moguća povezanost temperaturnih vrijednosti 1963. sa porastom  $\text{SO}_2$  u atmosferi uzrokovanog vulkanskom erupcijom vulkana Agung u Indoneziji u veljači 1963. godine (Ammann i sur., 2003; Fischer i sur., 2007), a s obzirom na zabilježen trend utjecaja vulkanskih erupcija u posljednjih 500 godina na klimatske čimbenike Europe (slika 27) (Fischer i sur., 2007).



Slika 27. Prikaz temperaturnih (a i b) u  $^{\circ}\text{C}$  i oborinskih (c i d) u mm anomalija u Europi kao posljedica utjecaja 15 vulkanskih erupcija u posljednjih 500 godina

a) i c) 0-ta godina erupcije, b) i d) 1. godina nakon erupcije (Robock i Mao, 1995)

2003. godine zabilježen je trend ekstremnih vrućina i dolazak udarnog toplotnog vala u Europu, koji je rezultirao blagom zimom i najtoplijim ljetom u posljednjih 450 godina, a znanstveni krugovi dignuti su na noge s pojačanim optužbama ljudskog utjecaja kao glavnog benefaktora ekstremnih temperatura 2003. godine (Stott i sur., 2004).

Što se tiče pozitivnih prirasnih indikatorskih godina, ponekad je teško sa sigurnošću tvrditi da su one povezane isključivo s klimatskim čimbenicima. Slučajevi 1919. i 1964. godine mogu se objasniti kao rezultat viših prosječnih godišnjih minimuma tokom početka vegetacijskog perioda (travanj – lipanj) nakon prilično vlažnog ožujka uslijed duge prethodne zime koja je nosila ogromne količine snijega (Larcher, 1995; Rolland i sur., 2000), te kao rezultat odumiranja većeg broja stabala što je omogućilo ubrzani prirast preživjelih stabala, tzv. oslobođeni rast (*growth release*) (Fraver & White, 2005, Svoboda i sur., 2011).

#### 4.2.2. *Pointeri* obične jele (*Abies alba* Mill.)

1928./1929. godine zabilježena je "zima stoljeća" na prostorima današnje Hrvatske (<http://crometeo.hr/vremeplov-1929>). Uslijed prodora hladnog zraka nad Sredozemljem i čestih i obilnih količina snježnih oborina, vrlo niske temperature zraka i dugotrajni snježni pokrivač produžili su nepovoljne uvjete i do polovice travnja, što je vjerojatno rezultiralo padom prirasta uslijed smrzavanja pupova i odgađanja početka vegetacije. Slična situacija, ponovila se i u zimu 1955./1956. (<http://crometeo.hr/vremeplov-1929>), no ono što je obilježilo tu zimu je manjak snježnog pokrivača, s vrlo niskim temperaturama zraka, mrazom te smanjenim količinama oborina tokom početka vegetacije (Rolland i sur., 2000.; Schweingruber i sur., 1992.b).

1947. godina spada u godinu smanjene količine proljetnih i ljetnih oborina te pojave ljetne suše u srednjoj Europi što se vjerojatno odrazilo i na smanjenje širine godova u stabala obične jele na Velebitu (Brazdil i sur., 2016).

1963. godina također je obilježena prethodno hladnom i dugom zimom, te vrlo sušnim i toplim ljetom, stoga kao i u smreke, stabla jele reagirala su očiglednim smanjenjem prirasta.

1930. i 1964. godine obilježene su povećanjem temperaturnih godišnjih minimuma i produljenjem vegetacijskog razdoblja, a osim promjena klimatskih faktora, takav tipičan izgled ekstremnog porasta prirasta nakon negativnog *pointer*a, vjerojatno je rezultat ubrzanog prirašćivanja podstojnih stabala jele uslijed oslobođenog rasta (Nagel i sur., 2008), što i nije neuobičajeno u šumama obične jele. Kao primjer navodi se povećanje prirasta u gospodarenim šumama Gorskog kotara kao rezultat intenzivnih sječa te sušenja stabala uslijed napada jelovog moljca igličara, sredinom 60-ih godina 20. stoljeća (Božić i sur., 2001).

Za godine 1914. i 1946. nisu pronađeni čvrsti materijalni klimatski pokazatelji pozitivnog prirasta stabala obične jele.



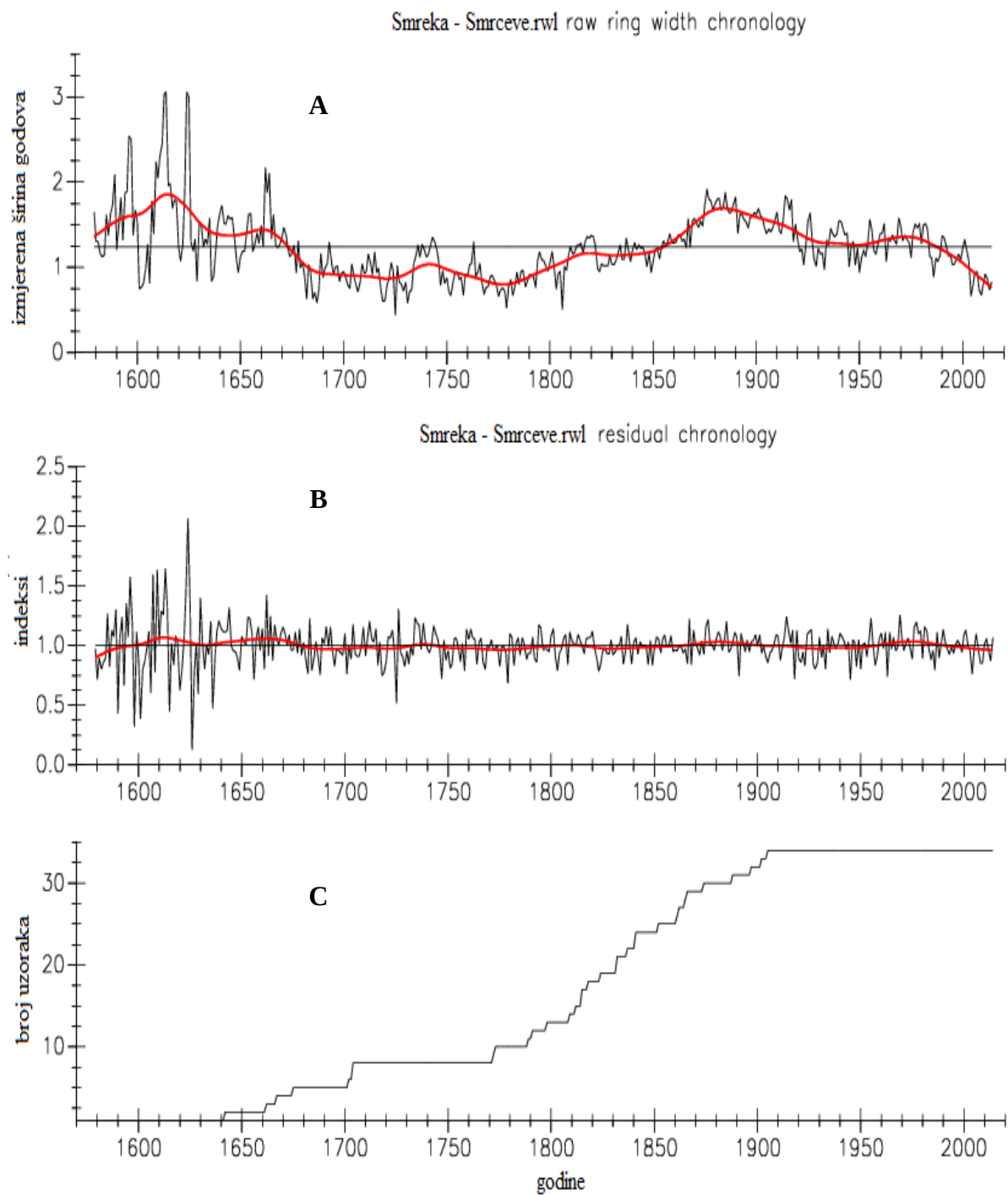
#### 4.3. VELIČINA UZORKA, *EPS* i *RUNNING R-BAR*

Koristeći fleksibilnu (*spline*) krivulju s 50%-tnim odrezom, uz prethodnu transformaciju podataka koristeći metodu adaptivne transformacije (*adaptive power transformation*) (Cook i Peters, 1997), tehniku za stabiliziranje varijance osnovne kronologije, te uz *r-bar* sa 30-ogodišnjim segmentom promatranja i pomakom za jednu godinu (*29-year overlap*), u grafičkom obliku dobiven je pregled referentnih kronologija u osnovnom (*raw*) i rezidualnom (*residual*) obliku (slika 28, 29), kao i pregled statističkih pokazatelja *rbar*-a i *EPS*-a te veličine uzorka (slika 30-33).

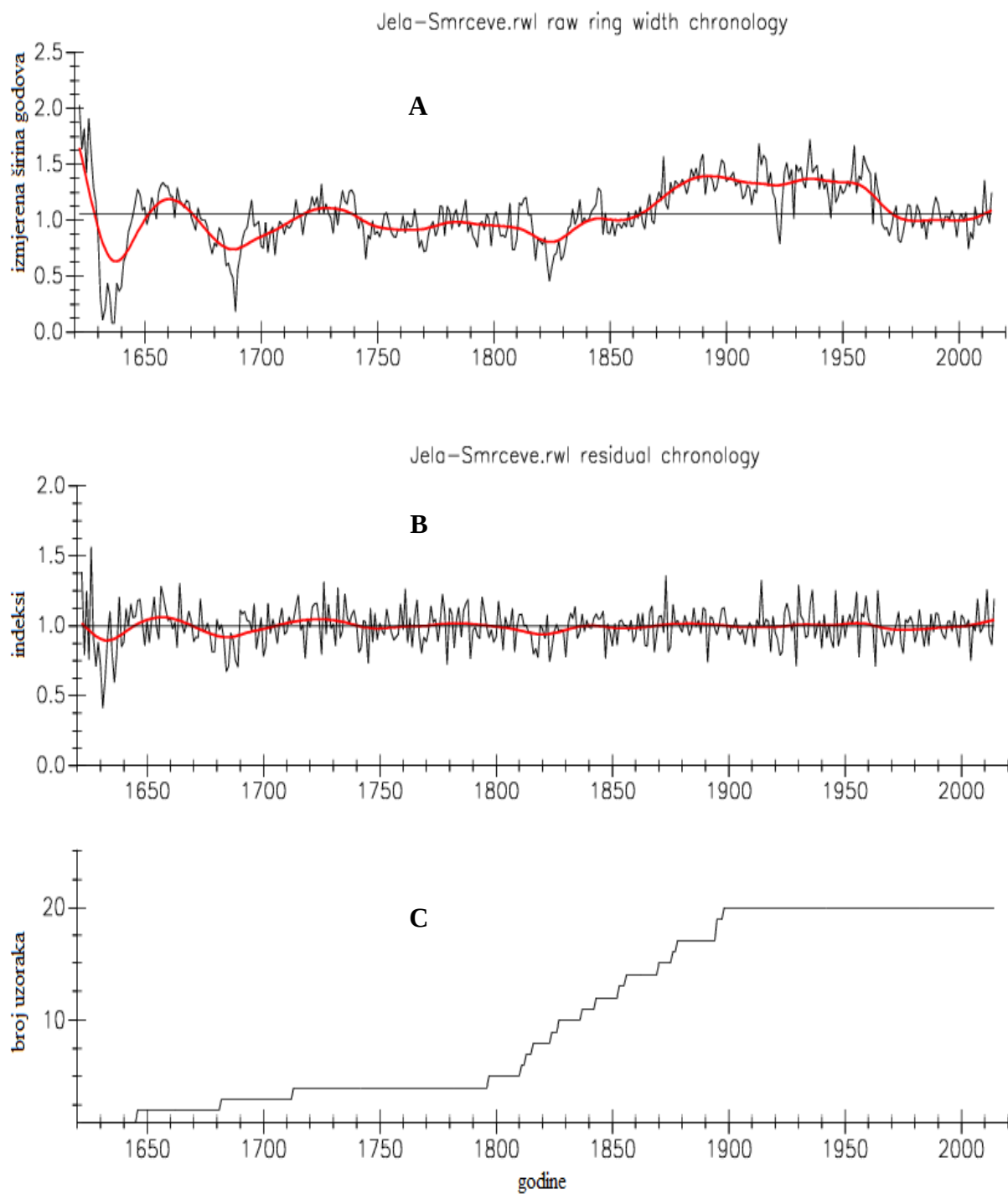
U obične smreke, kroz čitavo razdoblje osnovne kronologije može se vidjeti jedan tipičan izgled sinusoidne krivulje sa jednim očitim negativnim trendom s početkom oko 1880. godine pa do danas, gdje nam je replikacija još uvijek snažna, a prosječne godišnje vrijednosti širine godova opadaju, što je u prošlom stoljeću uobičajen trend odnosa prirast/klimatski odziv za smreku u 20. stoljeću (prema Büntgen i sur., 2005). Rezidualna kronologija, koja je dodatno obrađena koristeći autoregresivno modeliranje za uklanjanje autokorelacije (<http://www.cybis.se>) u istraživanom razdoblju uglavnom pokazuje vrijednosti indeksa (*indices*) između 0.75 i 1.25.

U osnovnoj kronologiji obične jele također se vidi sinusoidni oblik krivulje, međutim u razdoblju od 1860. do 1960. godine primjećuje se gotovo ravna krivulja prosječne širine godova, i to znatno iznad linije prosjeka, a potom postepeno opadanje i početak negativnog trenda širina godova. Rezidualna kronologija u razdoblju 1900.-2015. godine uglavnom pokazuje vrijednosti indeksa (*indices*) slično kao u smreke: između 0.75 i 1.35.

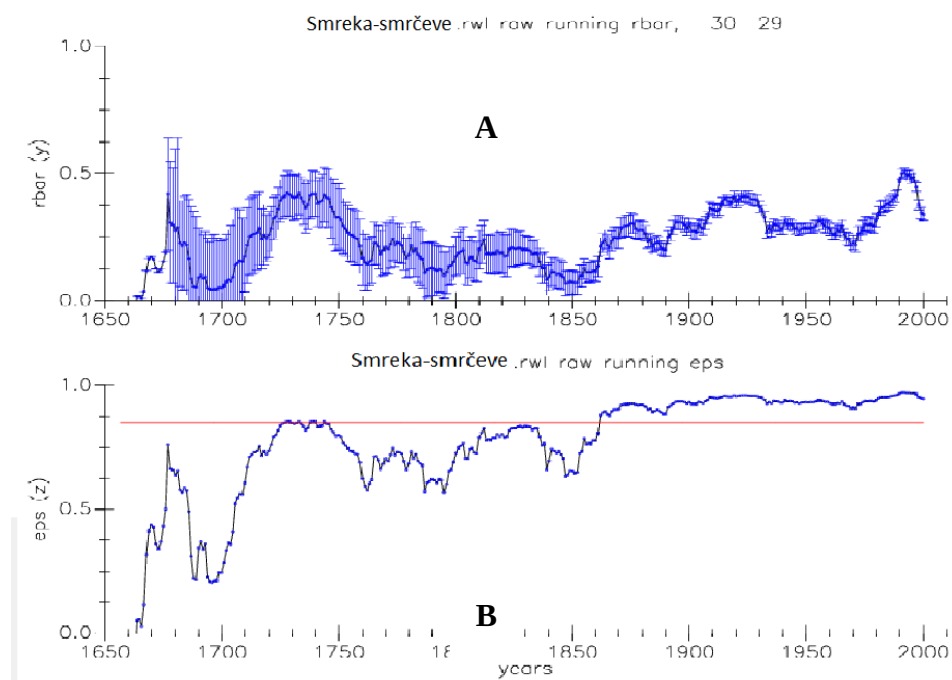
Kod obje vrste prosječna vrijednost *EPS*-a znatno prelazi empirijski prihvaćenu granicu za pouzdanost referentne kronologije u svrhu dendroklimatološkog istraživanja, no s opadanjem veličine uzoraka opadaju i vrijednosti *r-bara*, i ta vrijednost se smanjuje sve do otprilike 1850. godine (kod obične jele već na prijelazu u 20. stoljeće *EPS* se nalazi u graničnoj vrijednosti, a prije 1870. godine više podaci nisu pouzdani), nakon čega više ni snaga replikacije, a ni vrijednosti *EPS*-a ne pružaju zadovoljavajuće vrijednosti za nastavak istraživanja (Briffa i Jones, 1990).



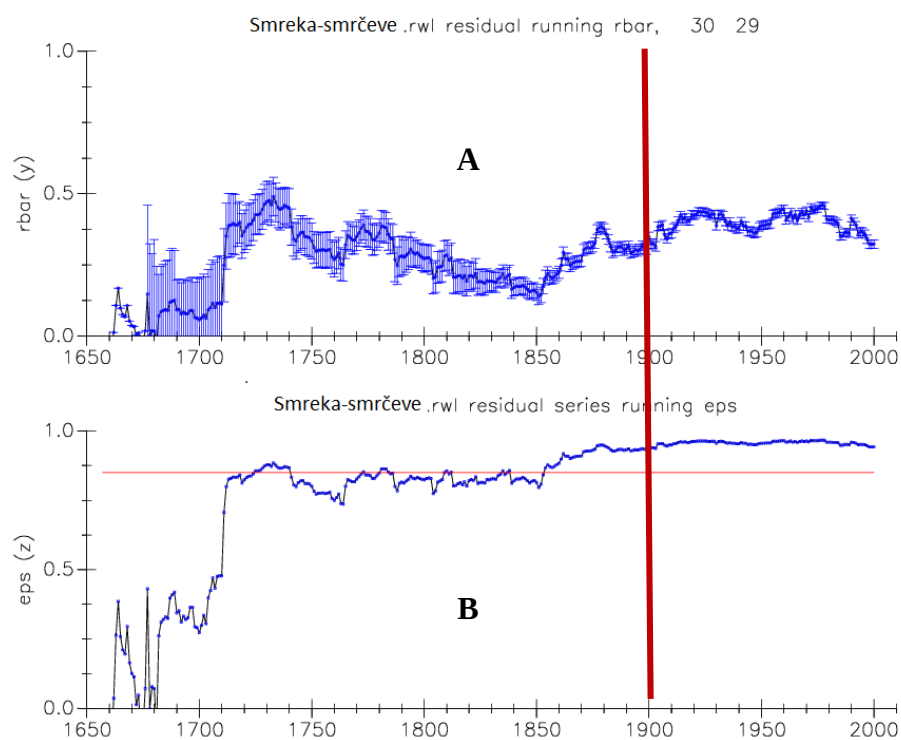
Slika 28. Grafički prikaz osnovne (A) i rezidualne (B) kronologije te veličine uzorka (C) obične smreke (ARSTAN)



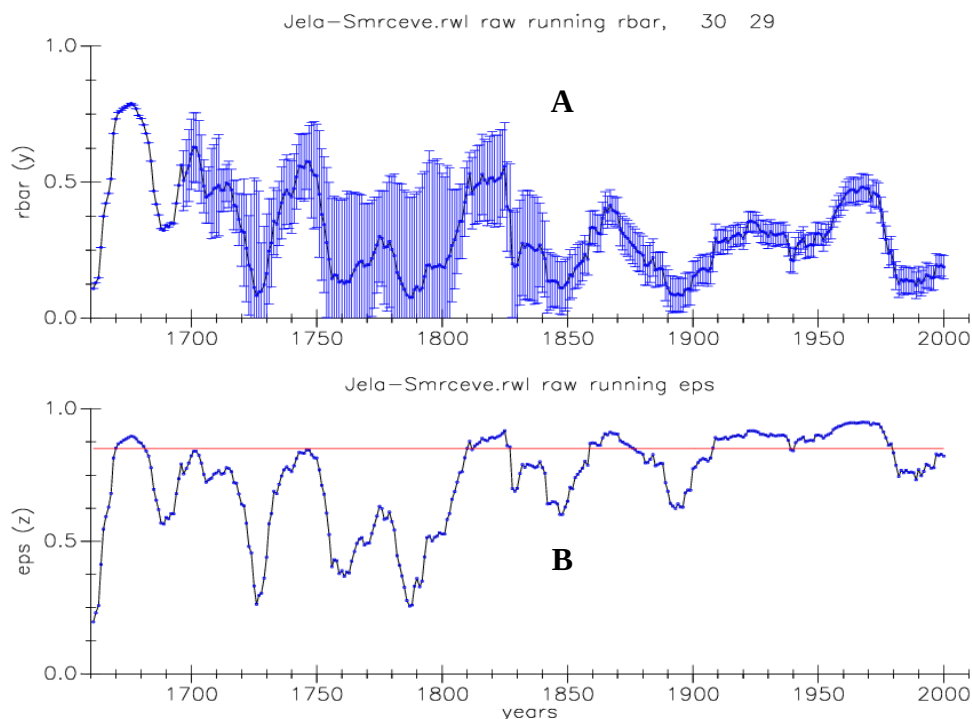
Slika 29. Grafički prikaz osnovne (A) i rezidualne (B) kronologije te veličine uzorka (C) obične jele (*ARSTAN*)



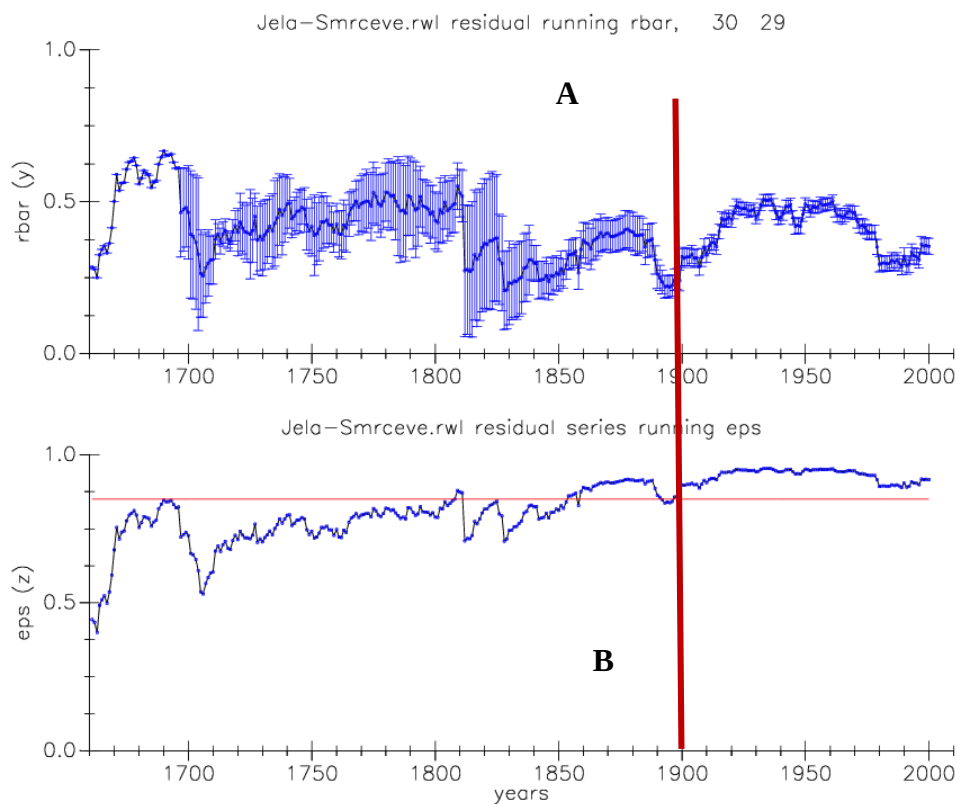
Slika 30. Grafički prikaz  $rbar-a$  (A) i  $EPS$  (B) pokazatelja statističke analize u osnovnoj kronologiji obične smreke (ARSTAN)



Slika 31. Grafički prikaz  $rbar-a$  (A) i  $EPS$  (B) pokazatelja statističke analize u rezidualnoj kronologiji obične smreke (ARSTAN)



Slika 32. Grafički prikaz  $\bar{r}$ -a (A) i  $\bar{z}$  (B) pokazatelja statističke analize u osnovnoj kronologiji obične jele (ARSTAN)

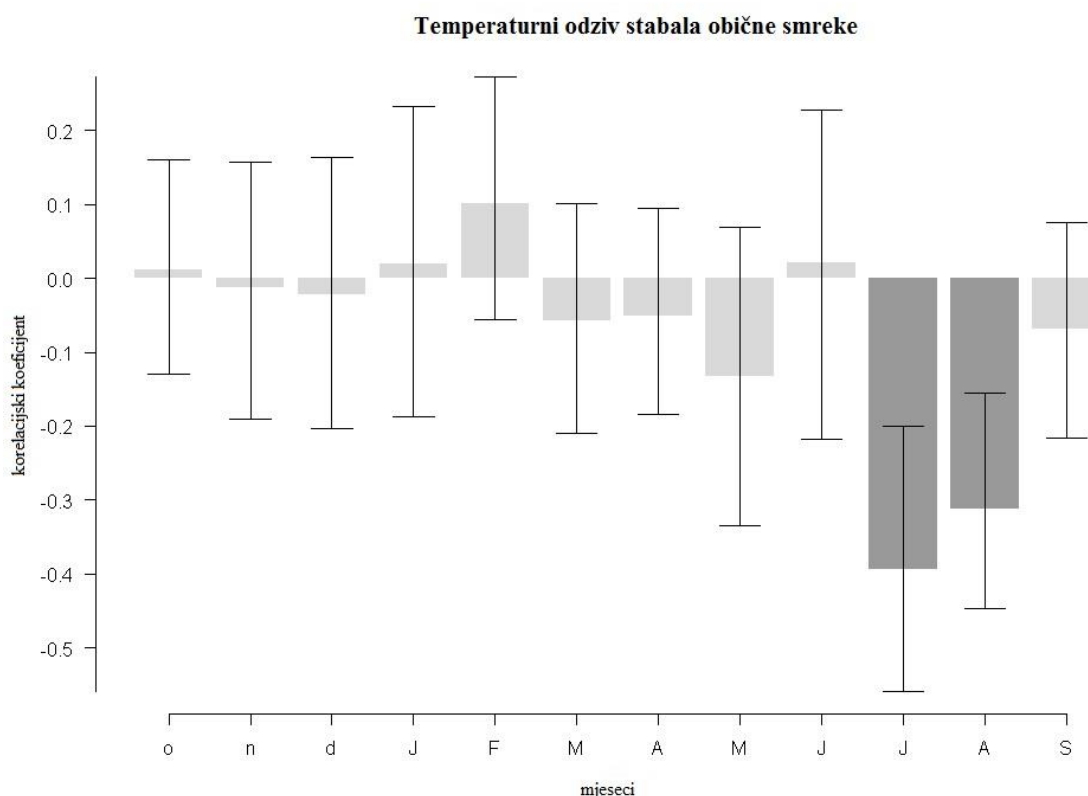


Slika 33. Grafički prikaz  $\bar{r}$ -a (A) i  $\bar{z}$  (B) pokazatelja statističke analize u rezidualnoj kronologiji obične jele (ARSTAN)



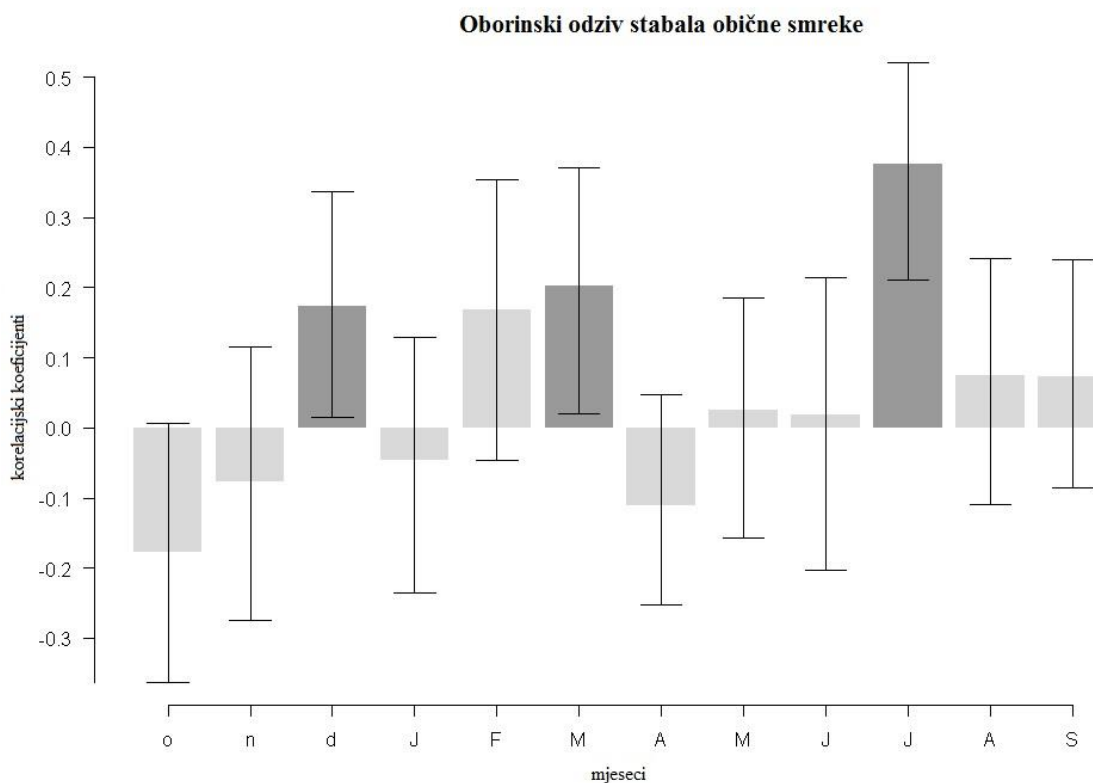
#### 4.4. ODZIV OBIČNE SMREKE (*Picea abies* (L.) H.Karst.) I OBIČNE JELE (*Abies alba* Mill.) PREMA TEMPERATURI I OBORINAMA

Klimatski odzivi obične smreke i obične jele analizirani prema rezidualnoj referentnoj kronologiji u razdoblju od 115 godina u ovisnosti koeficijenta odziva (*response coefficient*) prema mjesecima (*months*), prikazani su u grafovima za temperaturu i oborine (slika 34-37). Statistički značajna ovisnost prikazana je tamnim pravokutnicima.



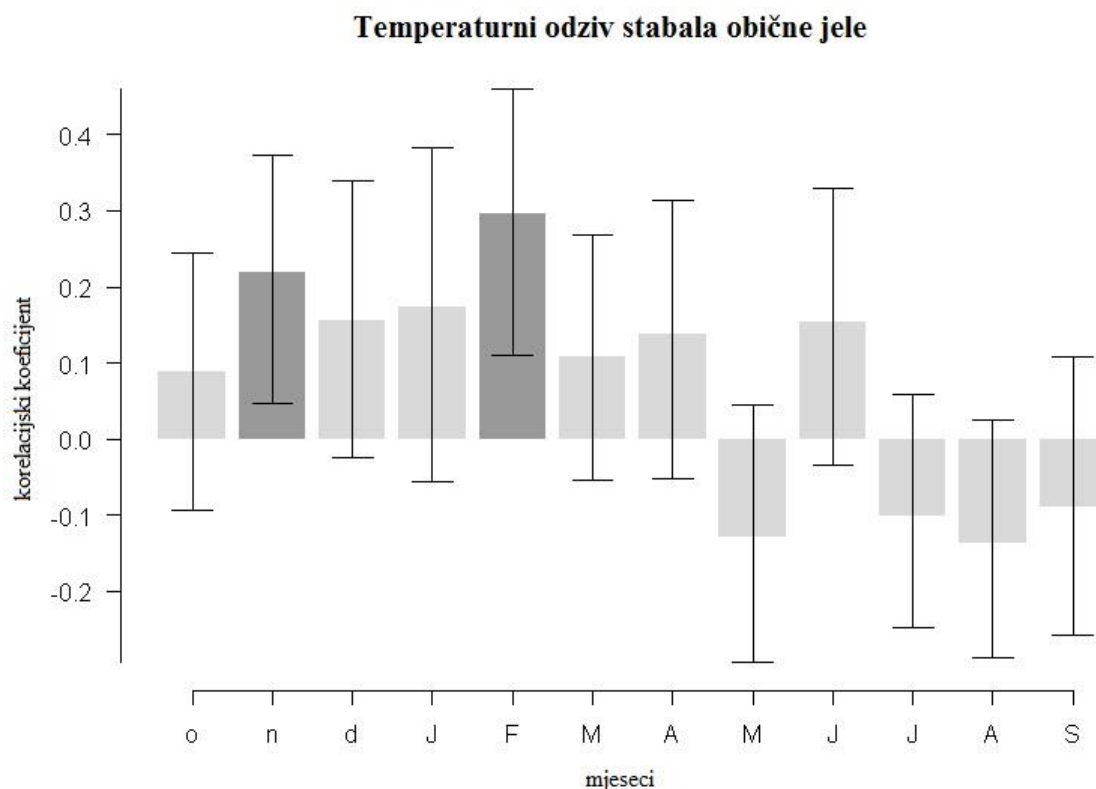
Slika 34. Grafički prikaz koeficijenta korelacije prirasta i temperature po mjesecima za običnu smreku (*Rstudio*)

Statistički značajan negativan utjecaj temperature vidljiv je u srpnju i kolovozu. Drugim riječima, visoke temperature tijekom tih mjeseci negativno djeluju na debljinski prirast smrekovih stabala u *Smrčevim dolinama*.



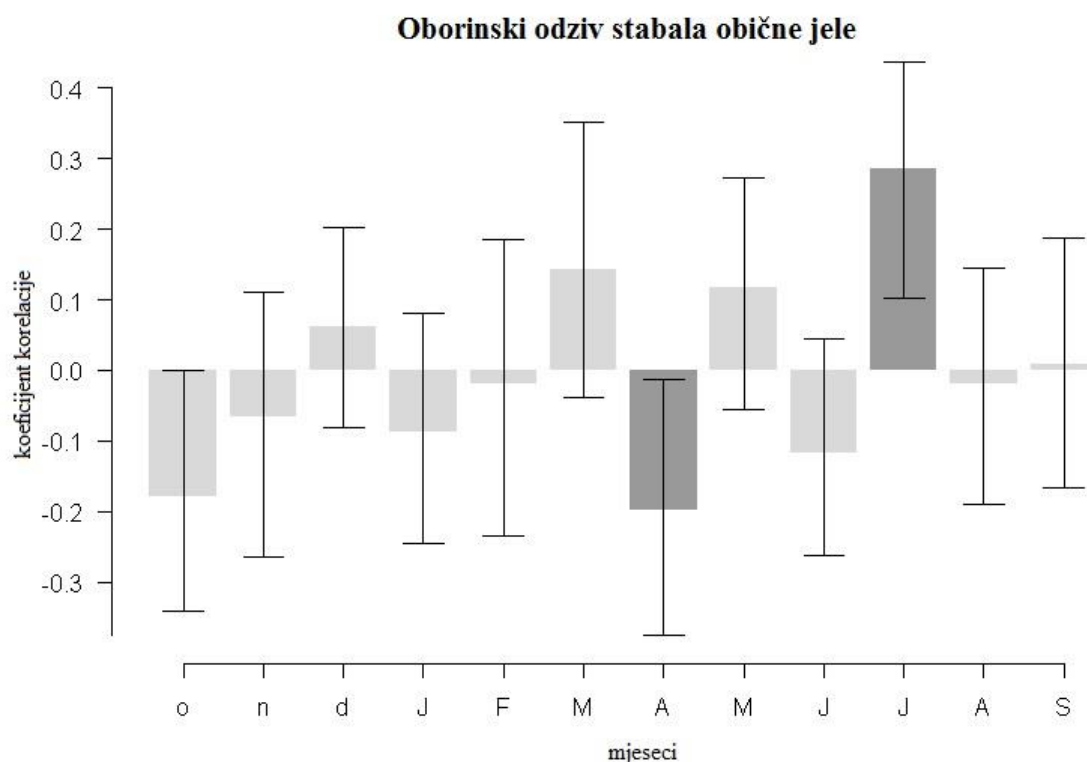
Slika 35. Grafički prikaz koeficijenata korelacije prirasta i oborina po mjesecima za običnu smreku (*Rstudio*)

Statistički značajan pozitivan utjecaj oborina na prirast vidljiv je tijekom ožujka i srpnja te prosinca prethodne godine. U tim mjesecima oborine pozitivno djeluju na debljinski prirast stabala u *Smrčevim dolinama*.



Slika 36. Grafički prikaz koeficijenata korelacije prirasta i temperature po mjesecima za običnu jelu (*Rstudio*)

Kod jele se uočava obrnuta situacija: utjecaj temperature statistički je značajan u studenom prošle godine i veljači promatrane godine uzoraka, dok tokom ljeta ne postoji statistički značajan utjecaj temperature na prirast stabala obične jele.



Slika 37. Grafički prikaz koeficijenata korelacije prirasta i oborina po mjesecima za običnu jelu (*Rstudio*)

Kao i kod obične smreke, statistički značajan pozitivan utjecaj oborina na prirast vidljiv je tijekom srpnja, no uočava se i negativna korelacija s oborinama u travnju, pred početak vegetacije stabala obične jele.

#### 4.4.1. Konstrukcija rezidualne kronologije i analiza klimatskog odziva

Razvijanjem rezidualne kronologije sve stvarne vrijednosti širine godova matematičkim modelom su formulirane kao indeksne vrijednosti (*indices*). S obzirom na postepeno opadanje snage replikacije u razdoblju prije 1900. godine (slika 28, 29) kao rezultat smanjenja broja uzoraka, a samim time i pad statističkih pokazatelja snage kronologije (*EPS*-a i *r-bar*-a) te raspona dostupnih klimatskih podataka (*CRU data* 1901.-2014.), rezidualna kronologija za usporedbu s klimatskim podacima nije korištena u punoj duljini već samo u razdoblju od 115 godina.

Analizom dobivenih grafova (slika 34, 35) korelacijskog odnosa temperature i oborina sa prirastom stabala obične smreke, mogu se jasno razlučiti:

- negativni utjecaj temperature u ljetnim mjesecima (srpanj - *J* i kolovoz - *A*) na prirast stabala obične smreke,
- pozitivni utjecaj oborina na početku vegetacijskog perioda (ožujak - *M*), sredinom ljeta (srpanj - *J*) te prosinac prethodne godine (*d*).

Dobiveni rezultati za odnos debljinskog prirasta i temperature su očekivani s obzirom na rezultate prijašnjih istraživanja za smreku u planinskim područjima (Büntgen i sur., 2005.; Pichler i Oberhuber, 2007). Radi osjetljivosti širine godova na visoke ljetne temperature, stablima visokih planinskih krajeva temperatura dijeluje inhibicijski na debljinsko priraštanje (Levanič i sur., 2008), dok za ostale mjesece nije zabilježena statistički značanja korelacija.

Utjecaj oborina najznačajniji je u srpnju u razdoblju visokih temperatura i sušnih mjeseci kada pozitivno stimuliraju debljinski prirast, kao što je i očekivano u razdoblju stresa uzrokovanog sušom na lokacijama plitkog tla i pretplaninskih šuma, što u kombinaciji sa visokim temperaturama i manjkom oborina uzrokuje pad prirasta (Anfodillo i sur., 1998). Za vrijeme zimskog mirovanja (ožujak) kada se biljka priprema za novu vegetacijsku godinu, vidi se statistička značajnost oborina, međutim niskog koeficijenta, kao i za prosinac prethodne godine, što je vjerojatno rezultat akumulacije vlage u tlu uslijed jesenskih oborina i zadržavanja snijega.

Takvi rezultati za oborine i temperaturu, iako nisu u skladu sa nedavnim istraživanjima na smreci altimontanskih lokacija (Barber i sur., 2000.; Davi i sur., 2003.) koja su pokazala trend povećanja utjecaja suše kao rezultat ovogodišnjih i prošlogodišnjih negativnih utjecaja temperature, nisu neočekivane s obzirom na trend porasta srednje godišnje temperature zraka u posljednjih 150 godina.

Analizom dobivenih grafova (slika 36, 37) korelacijskog odnosa temperature i oborina sa prirastom stabala obične jele, mogu se jasno razlučiti:

- pozitivan utjecaj temperature krajem zime (veljača – *F*) i u jesen prethodne godine (studeni – *n*),
- negativan utjecaj oborina na početku vegetacijskog perioda (travanj – *A*) te pozitivan utjecaj sredinom ljeta (srpanj – *J*) na prirast stabala obične jele.

Dobiveni rezultat utjecaja temperature na debljinski prirast stabala obične jele nije neočekivan. Prema istraživanjima provedenim u šumi jele niske nadmorske visine u Sjevernoj Poljskoj (Bijak, 2010) i na trajnim plohama *RENECOFOR* projekta planinskih predjela Francuske (Lebourgeois, 2007), također je uočen i analiziran veći prirast stabala tokom vegetacijskog razdoblja ako su krajem zime i početkom vegetacije zabilježene više temperature zraka, što se može objasniti vremenski dužom kambijalnom aktivnošću dominantnih stabala tokom vegetacijskog razdoblja (Rathgeber i sur., 2011), ili međudjelovanjem neklimatskog faktora koji pozitivno djeluje na prirast (Rolland i sur., 2000). Prema istraživanju provedenom u centralnom dijelu Pirineja (Tardif i sur., 2003) također je uočen pozitivan utjecaj temperature u studenom prethodne godine na debljinski prirast stabala jele, što se objašnjava kroz akumulaciju prirasta krajem vegetacije.

Kao i kod obične smreke, pozitivan korelacijski odnos između oborina i debljinskog prirasta u ljetnim mjesecima (srpanj – *J*) proizlazi iz zahtjeva vrste prema dostupnosti vode u sušnim periodima ljetnog dijela vegetacijskog razdoblja (Pinto i sur., 2007; Carrer i sur., 2010), dok negativnu korelaciju u travnju pred početak vegetacijskog razdoblja možemo objasniti produženim periodom zadržavanja sniježnog pokrivača što dovodi do odgađanja početka vegetacije te pojavom kasnih proljetnih mrazeva, koje obična smreka biološki bolje podnosi.



## 5. ZAKLJUČAK

Prašuma *Smrčevih dolina* ističe se raznolikim geomorfološkim, reljefnim i stanišnim osobinama koje uz nisku prosječnu godišnju temperaturu zraka i veliku godišnju količinu oborina, uvjetuju specifičan rast i razvoj stabala obične smreke i obične jele. Referentne kronologije za jelu i smreku bile su sastavljene od iako malog, svejedno dovoljno velikog broja uzoraka za zadovoljenje uvjeta replikacije i dobivanje dovoljno jakog signala za provođenje dendroklimatološke analize u periodu od 1900. do 2015. godine. Zbog ograničene dostupnosti klimatskih podataka i pojave gubitka segmentalne korelacije unutar uzoraka u razdoblju prije 1900. godine, uvjetovano gubitkom pouzdanosti u točnost dulje kronologije, one su skraćene na 115-o godišnje razdoblje i analizirane za klimatski odziv upravo u tom periodu.

Dendrokronološkim i dendroklimatološkim metodama te korištenjem analitičkih računalnih programa, možemo zaključiti da pronađeni i analizirani temperaturni i oborinski signali iz prašume *Smrčeve doline* u Nacionalnom parku Sjeverni Velebit, ukazuju na inhibirajući utjecaj visokih ljetnih temperatura (u srpnju i kolovozu) na debljinski prirast stabala obične smreke (dok kod prirasta obične jele one nisu statistički značajne), pozitivan oborinski utjecaj u ljetnim mjesecima u doba visokih temperatura i suše, te istovremeno negativno djelujući početkom vegetacije kroz zadržavanje snijega i pojavu mraza, naročito za rast i prirast obične jele.

S obzirom na globalni trend postepenog porasta srednje godišnje temperature zraka u posljednjih 100 godina, može se očekivati sve veća varijabilnost u debljinskom prirastu stabala obične smreke i obične jele u području planinskih šuma Velebita, s većim brojem uskih godina kao rezultat fiziološkog slabljenja stabala koje može dovesti do sve učestalijih napada sekundarnih štetnika.

Indikatorske godine zabilježene u kronologiji u obliku uskih godina omogućuju nam neku vrstu pouzdanja u pravilno provedeno datiranje kronologije (na temelju uzoraka iz *Smrčevih dolina*). Kompletnijom analizom svih uzročnika ekstremnih godina, moći će se dublje ući u istraživanje biologije i datiranja populacija smreke i jele iz drugih dijelova zaštićenog područja Sjevernog Velebita. Povećanjem broja uzoraka dužih od 100 godina osigurat će se visoka snaga replikacije i produljiti lokalne kronologije, nakon čega se može pokušati razviti regionalne kronologije za smreku i jelu u svrhu dendroklimatoloških istraživanja.

## LITERATURA

- **Ammann, C. M., G. A. Meehl, W. M. Washington, i C. S. Zender (2003)** A monthly and latitudinally varying volcanic forcing dataset in simulations of 20th century climate. *Geophys. Res. Lett.*, 30(12), 1657
- **Anfodillo, T., Rento, S., Carraro, V., Furlanetto, L., Urbinati, C., i Carrer, M. (1998)** Tree-water relations and climatic variations at the alpine timberline. *Annals of Forest Sciences* 55: 159-172
- **Bakšić, D., Perković, I., Pernar, N., Vukelić, J., Vrbek, B. (2011)** Pedofiziografske značajke i sadržaj teških metala *Pb*, *Zn*, *Cd* i *Cu* u smrekovim šumama Sjevernog Velebita i Štirovače. *Croatian Journal for Forest Engineering*, 32(2011), str. 111-120
- **Barber, V.A., Juday, G.P., i Finney, B.P. (2000)** Reduced growth of Alaskan white spruce in the 20th century from temperature-induced drought stress. *Nature*, 405:668-672
- **Bijak, Sz. (2008)** Various factors influencing the pointer year analysis. U: **Elferts D., Brumelis G., Gärtner H., Helle G., Schleser G. (2008.) TRACE - Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology**, Vol. 6: Proceedings of the DENDROSYMPOSIUM 2007, May 3rd – 6th 2007, Riga, Latvia. GFZ Potsdam, Scientific Technical Report STR 08/05, Potsdam, str. 77 - 82
- **Bijak, Sz. (2010)** Tree-ring chronology of silver fir and its dependence on climate of the Kaszubskie Lakeland (Northern Poland). *Geochronometria* Volume 35, Issue 1, Pages 91-94
- **Biondi, F. (2000)** Are climate-tree growth relationships changing in North-Central Idaho, USA? *Arctic, Antarctic and alpine research* 32, 111-116
- **Biondi, F., i Qedan, F. (2008)** A Theory-driven approach to Tree-ring Standardization: Defining the Biological Trend from Expected Basial Area Increment. *Tree-Ring Research*, Vol. 64(2), str. 81–96
- **Bošela, M., Petraš, R., Sitkova, Z., Priwitzer, T., Pajtik, J., Hlavata, H., Sedmak, R., i Tobin, B. (2014)** Possible causes of the recent rapid increase in the radial increment of silver fir in the Western Carpathians. *Environmental Pollution*, Volume 184, str 211–221

- **Božić, M., Čavlović, J., Lukić, N. (2001)** Analiza utjecaja gospodarenja jelovim šumama na radijalni prirast jelovih stabala. *Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama*, znanstvena knjiga, Šumarski fakultet u Zagrebu, str. 407-412
- **Božić, M., (2003)**: Utjecaj stanišnih i sastojinskih elemenata na prirast obične jele (*Abies alba* Mill.) u jelovim sastojinama na kršu u Hrvatskoj. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet 190 str., Zagreb
- **Božić, M., Čavlović, J., Teslak, K., (2006)** Modeliranje prirasta jelovih stabala na temelju sastojinskih čimbenika. Glasnik za šumske pokuse, (Posebno izdanje 5): 443-454
- **Brazdil, R., Raška, P., Trnka, M., Zahradniček, P., Valašek, H., Dobrovolny, P., Řezníčková, L., Treml, P. i, Stachon, Z. (2016)** The central European drought of 1947: causes and consequences, with particular reference to the Czech Lands. *Climate Research*, 2016. ISSN 0936-577X
- **Briffa, K.R., i Jones, P.D. (1990)** Basic chronology statistics and assesment. U: **Cook, E.R., i Kairiukstis, L.A., eds**, *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*, Kluwer Academic Publications, Dordrecht, Nizozemska. str.137-162
- **Büntgen, U., Frank, D.C., Schmidhalter, M., Burkhard, N., Seifert, M., i Esper, J. (2005)** Growth/climate response shift in a long subalpine spruce chronology. Swiss Federal Resarch Institute WSL, Switzeland, *Trees* (2006), 20:99-110
- **Butler, P.G. i sur. (2013)**: EPS, rbar and associated statistics. U: **Butler, Paul G.; Wanamaker, Alan D.; Scourse, James D.; Richardson, Christopher A.; Reynolds David J. (2013)**: *Variability of marine climate on the North Icelandic Shelf in a 1357-year proxy archive based on growth increments in the bivalve *Arctica islandica**. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373, 141-151
- **Carrer, M., Nola, P., Motta, R., Urbinati, C. (2010)** Contrasting tree-ring growth to climate responses of *Abies alba* toward the southern limit of its distribution area. *OIKOS*, Volume 119, Issue 9, str 1515–1525
- **Caudullo, G., Tinner, W., de Rigo, D., (2016)** *Picea abies* in Europe: distribution, habitat, usage and threats U: **San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.)**, *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e012300+ After: EUFORGEN, 2003

- **Christiansen, B. (2011)** Reconstructing the NH mean temperature can underestimation of trends and variability be avoided? *Journal of Climate* 24, 674-69211
- **Clark, P., i Speer, J. unpublished data. U: Speer, J.H. (2010)** *Fundamentals of Tree Ring Research*. The University of Arizona Press, Tucson
- **Cook, E.R. (1985)** A time series analysis approach to tree ring standardization. Dissertation, University of Arizona, Tucson. 171 str
- **Cook, E.R., i Holmes, R.L. (1986)** Users manual for program ARSTAN. U: **Holmes, R.L., Adams, R.K., i Fritts, H.C.**, eds, *Tree-Ring Chronologies of Western North America, Chronology Series Vol. 6*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson. str. 50-56
- **Cook, E.R., i Kairiukstis, L.A. (1990)** *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Nizozemska. 414 str
- **Cook, E.R., i Peters, (1997)** Calculating unbiased tree-ring indices for the study of climatic and environmental change. *Holocene* 7: 361-370
- **Cook, E.R., i Krusic, P.J. (2005)** Program ARSTAN: A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling, with Interactive Graphics. Tree-Ring Laboratory Lamont Doherty Earth Observatory of Columbia University, Palisades, NY.
- **Čavlović, J., Bončina, A., Božić, M., Goršić, E., Simončić, T., i Teslak, K. (2015)** Depression and growth recovery of Silver fir in uneven-aged Dinaric forests in Croatia from 1901 to 2001. *Forestry*; 0, 1–13, doi:10.1093/forestry/cpv026
- **Davi, N., Jacoby, G., Wiles, G. (2003)** Boreal temperature variability inferred from maximum latewood density and tree-ring width data. Wrangell Mt. Region, Alaska *Quat Res* 60:252-262
- **Evans MN, Reichert BK, Kaplan A, Anchukaitis KJ, Vaganov EA, Hughes MK, Cane MA (2006)** A forward modeling approach to paleoclimatic interpretation of tree-ring data. *Geophys Res* 111:G03008. doi:10.1029/2006JG000166
- **Fischer, E.M., Luterbacher, J., Zorita, E., Tett, S.F.B., Casty, C. (2007)** European climate response to tropical volcanic eruptions over the last half millennium
- **Fraver, S., i White, A. S. (2005)** Identifying growth releases in dendrochronological studies of forest disturbance. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(7): 1648-1656

- **Fritts, H.C. (1969)** Elementary Probability for Biologists. *Ecology*, Volume 50, Issue 6
- **Fritts, H.C. (1976)** Tree Rings and Climate. Academic Press, New York. 567 str.
- **Goršić, E., (2013)** Dinamika debljinskog prirasta stabala hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj. Doktorski rad
- **Gračan, J., Krstinić, A., Rauš, Đ., Seletković, Z. (1999)** Šumski sjemenski rajoni (jedinice) u Hrvatskoj. Rad. Šumar. Inst. 34 (1):55-93, Jastrebarsko
- **Grissino-Mayer, H.D., Henri, D. (2001)** Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2): 205-221
- **Grissino-Mayer, H.D., Shepard, P.R., i Cleaveland, M.K. (2003)** Dendrochronological dating of stringed instruments: a re-evaluation. *Journal of the Violin Society of America* 18(2): 127-174
- **Guiot, J. (1991)** The bootstrapped response function. *Tree-Ring Bulletin* 51, 39-41
- **Holmes, R.L. (1983)** Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43:69-785
- **Hrašovec, B., Kasumović, V. i Franjević, M. (2011)** Prezimljavanje smrekovog pisara (*Ips typographus*) u smrekovim šumama Sjevernog Velebita. *Croatian Journal for Forest Engineering*
- **Huber, B., Giertz-Siebenlist, V. (1969)** Unsere tausendjährige Eichenchronologie durchschnittlich 57 (10-159) fach belegt. *Sitzungsberichte Österr. Akad. Wiss., Mathem. Naturwiss. Klasse, Abteilg. 1*, 178: 37-42
- **Hughes, M.K., Swetnam, T.W., i Diaz, H.F. (2011)** Dendroclimatology: Progress and Prospects. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson
- **Idžojtić, M. (2009)** Dendrologija – List. Šumarski fakultet u Zagrebu, ISBN 978-953-292-011-6
- **Levanič, T., Gričar, J., Gagen, M., Jalkanen, R., Loader, N.J., Mccaroll, D., Oven, P., Robertson, I. (2008)** The climate sensitivity of Norway spruce in the southeastern European Alps. Slovenian Forestry Institute, Ljubljana, Slovenija. *Trees* (2009.), 23:169-180
- **Larcher, W. (1995)** Physiological Plant Ecology. 3<sup>rd</sup>. Ed. Berlin: Springer-Verlag, str. 602

- **Lebourgeois, F. (2007)** Climatic signal in annual growth variation of silver fir (*Abies alba* Mill.) and spruce (*Picea abies* Karst.) from the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Annals of Forest Science*, 64 (2007) 333-343
- **Lomolino, M.V., Riddle, B.R., i Brown, J. (2006)** *Biogeography*, 3rd ED. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts. 845 pp
- **Mäkinen, H., Nöjd, P., Kahle, H.P., Neumann, U., Tveite, B., Mielikäinen, K., Röhle, H., Spiecker, H. (2003)** Large-scale climatic variability and radial increment variation of (*Picea abies* L.) Karst. in central and northern Europe. *Trees Struct Funct* 17:173-184
- **Nagel, T. i, Svoboda, M. (2008)** Gap disturbance regime in an old-growth Fagus–Abies forest in the Dinaric Mountains, Bosnia-Herzegovina. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(11): 2728-2737
- **Oršanić, M., Drvodelić, D., Anić, I., Mikac, S., Barčić, D. (2008)** Natural regeneration of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands on northern Velebit. *PERIODICUM BIOLOGORUM* Vol. 110, No 2, str 173–179
- **Pichler P., i Oberhuber W. (2007)** Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003. *For. Ecol. Manag.* 2007;242:688–699
- **Pinto, P. E., Gegout, J.C., Herve, J.C., Dhote, J.F. (2007)** Changes in environmental controls on the growth of *Abies alba* Mill. in the Vosges Mountains, north-eastern France, during the 20th century. *Global Ecology and Biogeography*, Volume 16, Issue 4 Pages 472–484
- **Potočić, N., Seletković, I., Ugarković, D., Jazbec, A., Mikac, S. (2008)** The influence of climate properties on crown condition of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) and Silver fir (*Abies alba* Mill.) on Velebit. *PERIODICUM BIOLOGORUM* Vol. 110, No 2, 145–150
- **Pulkkinen, P. (1993)** Frost hardiness development and lignification of young Norway spruce seedlings of southern and northern Finish origin. *Silva Fennica* 1993., Vol. 27, 1:47-54
- **Rathberger, R. T. C., Rossi, S. i, Bontemps, J.D. (2011)** Cambial activity related to tree size in a mature silver-fir plantation. *Annals of Botany*, 108 (3): 429-438.
- **Robock, A., i J. Mao (1995)** The volcanic signal in surface temperature observations, *J. Clim.*, 8, 1086–1103



- **Rolland, C., Desplanque, C., Michalet, R., Schweingruber, F.H. (2000.)** Extreme Tree Rings in Spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and Fir (*Abies alba* Mill.) Stands in Relation to Climate, Site, and Space in the Southern French and Italian Alps. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 32(1):1
- **Schweingruber, F.H. (1988)** Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology. D Reidel Publishing Co., Dordrecht, Nizozemska. 276 str
- **Schweingruber, F.H., i Müller, M. (1992)** Dendrochronological evidence Fir and Spruce of alternating frosts in Switzerland. *Dendrochronologia*, 10: 23-28
- **Schweingruber, F.H. (1996)** Tree rings and environment: *Dendroecology*, Haupt: Berne
- **Schweingruber, F.H., Eckstein, D., Serre-Bachet, Bräker, O.U. (1990)** Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8, 9-38
- **Seletković, Z. (2001)** Klima i hidrološke prilike u Dinarskim jelovim šumama u Hrvatskoj. Obična jela u Hrvatskoj. Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume p.o. Zagreb, str:133-147, Zagreb
- **Smith, S. J., van Aardenne, J., Klimont, Z., Andres, R. J., Volke, A., i Delgado Arias, S. (2011.)** Anthropogenic sulfur dioxide emissions: 1850–2005. *Atmospheric Chemistry and Physics* 11, str 1101–1116
- **Speer, J.H. (2010)** Fundamentals of Tree Ring Research. The University of Arizona Press. Tucson, ISBN 978-0-8165-2684-0
- **Stott, P.A. Stone, D. A., i Allen, M. R. (2004)** Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature* 432, 610-614
- **Studhalter, R.A. (1956)** Early History of Crossdating Tree-Ring Bulletin 21:31-35
- **Svoboda, M., Janda, P., Nagel, T. A., Fraver, S., Rejzek, J., Brače, R. (2011)** Disturbance history of an old-growth sub-alpine *Picea abies* stand in the Bohemian Forest, Czech Republic. *Journal of Vegetation Science*, Volume 23, Issue 1, Pages 86–97
- **Tardif, J., Camarero, J. J., Ribas, M., Gutiérrez, E. (2003)** Spatiotemporal variability in Tree Growth in the Central Pyrenees: Climatic and Site influences. *Ecological Monographs*, 73(2), 2003, str. 241–257

- **Tikvić, I., Seletković, Z., Ugarković, D., Posavec, S., Španjol, Ž. (2008)** Dieback of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) on Northern Velebit (Croatia). *PERIODICUM BIOLOGORUM* Vol. 110, No 2, str 137–143
- **Vaganov EA, Hughes MK, Kirdyanov AV, Schweingruber FH, Silkin PP (1999)** Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia. *Nature* 400:149–151
- **Vestreng, V., Myhre, G., Fagerli, H., Reis, S., i Tarrason, L. (2007)** Twenty-five years of continuous sulphur dioxide emission reduction in Europe. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, str 3663–3681
- **Vukelić, J. (2005)** Šume i šumarstvo Sjevernog Velebita. Hrvatske šume d.o.o. Zagreb. ISBN 953-6253-22-4
- **Vukelić, J., Mikac, S., Baričević, D., Šapić, I., Bakšić, D. (2011)** Vegetacijsko-strukturna obilježba sastojina obične smreke (*Picea abies* (L.) H.Karst.) u prašumi *Smrčeve doline* na Sjevernom Velebitu. *Croatian Journal for Forest Engineering*
- **Webb, G.E. (1983)** Tree rings and Telescopes, University of Arizona, Tucson
- **Wiggle, T.M.L., Briffa, K.R., i Jones, P.D. (1984)** On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hyrometeorology. *Bulletin of the America Meteorological Society* 23:201 – 213
- **Zang, C., i Biondi, F. (2012)** Dendroclimatic calibration in R: The *bootRes* package for response and correlation function analysis. *Dendrochronologia* (2012), Elsevier GmbH, Instituto Italiano di Dendrocronologia

#### web izvori:

- **CelloHeaven.com** <http://www.cello.org/heaven/hill/messiah/messiah.html>
- **ClimateDataGuide.com** <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/cru-ts321-gridded-precipitation-and-other-meteorological-variables-1901>
- **Crometeo.hr** <http://crometeo.hr/vremeplov-1929>
- **Cybis Elektronik, (2010)** CDendro and CooRecorder  
<http://www.cybis.se/forfun/dendro/>
- **ESF.edu** <http://www.esf.edu/fnrm/stella/facilities.html>
- **SlideShare.net** [http://www.slideshare.net/LearnMoreAboutClimate/lukas-cbta-treeapril2013final/12-1900\\_1910\\_1920\\_1930Two\\_Douglasfir](http://www.slideshare.net/LearnMoreAboutClimate/lukas-cbta-treeapril2013final/12-1900_1910_1920_1930Two_Douglasfir)

- **Plan upravljanja Nacionalnog parka Sj. Velebit, (2007)** [http://www.np-sjeverni-velebit.hr/upravljanje/propisi/dokumenti/NPSV\\_Plan\\_upravljanja.pdf](http://www.np-sjeverni-velebit.hr/upravljanje/propisi/dokumenti/NPSV_Plan_upravljanja.pdf)
- **Plan upravljanja Nacionalnog parka Plitvička jezera, (2007)** <http://www.np-plitvicka-jezera.hr/files/file/NPplitvice-plan-upravljanja.pdf>
- **TheEcologist.org**  
[http://www.theecologist.org/News/news\\_round\\_up/2739664/wmo\\_2014\\_was\\_hottest\\_year\\_on\\_record.html](http://www.theecologist.org/News/news_round_up/2739664/wmo_2014_was_hottest_year_on_record.html)
- **The R Project for Statistical Computing** [www.r-project.org](http://www.r-project.org)
- **Wikipedia.com**  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Abies\\_alba#/media/File:Abies\\_alba\\_distribution\\_map.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Abies_alba#/media/File:Abies_alba_distribution_map.svg)

## ŽIVOTOPIS AUTORA

**Krešimir Begović** rođen je 13. kolovoza 1991. godine u Zagrebu. Osnovnu i srednju školu (Opća gimnazija) završava u Dugom Selu. Maturirao je u Srednjoj školi Dugo Selo 2010. godine te odmah potom upisao preddiplomski studij na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. U jesen 2014. godine student Krešimir Begović završava preddiplomski studij (s titulom „univ. bacc. ing. silv.“) te upisuje diplomski studij šumarstva na Šumarskom fakultetu u Zagrebu, smjer Uzgajanje i uređivanje šuma s lovnom gospodarenjem. U ljetnom semestru I. godine diplomskog studija, student sudjeluje na studentskoj razmjeni u sklopu Erasmus+ programa u razdoblju od 5 mjeseci na Sveučilištu prirodnih znanosti u Pragu (ČZU) na Fakultetu šumarstva (FLD), te ponovno na istom sveučilištu u zimskom semestru II. godine diplomskog studija, no ovaj put odrađuje praksu u dendro-ekološkom laboratoriju, *Department of Forest Ecology, Faculty of Forestry, Czech University of Life Sciences in Prague*, u sklopu Erasmus+ programa kao razmjenski student u trajanju od 5 mjeseci. U travnju 2016. godine, student sudjeluje na *MASTER 2016* studentskoj konferenciji u Pragu gdje osvaja nagradu za 2. mjesto. U lipnju 2016. godine, student kao autor biva nagrađen „Rektorovom nagradom“ Sveučilišta u Zagrebu za rad u kategoriji „Nagrada za individualni znanstveni i umjetnički rad“. Nastavak svog znanstvenog usavršavanja, student Krešimir Begović, ostvarit će na Sveučilištu prirodnih znanosti u Pragu (ČZU) gdje upisuje doktorski studij na Šumarskom fakultetu u Pragu (FLD) pod mentorstvom prof. dr. sc. Miroslava Svobode.