

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

**VARIABILNOST PRIRASTKA NA RAZLIČNIH VIŠINAH V DEBLU  
PINIJE IN ALEPSKEGA BORA**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**TREE-RING VARIABILITY ON DIFFERENT HEIGHTS IN THE  
STEMS OF STONE PINE AND ALEPO PINE**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2007

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za tehnologijo lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in na Oddelku za ekologijo Fakultete za znanost Univerze v Alicanteju v Španiji (Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante, España), kjer sta bila delovna mentorja prof. dr. Josep Raventós in dr. Martín De Luis.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Katarino Čufar in za recenzenta prof. dr. Primoža Ovna.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Klemen Novak

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn  
DK UDK 630\*561.24:630\*174.7 *Pinus pinea* L.+*Pinus halepensis* Mill.  
KG pinija/*Pinus pinea* L./alepski bor/*Pinus halepensis* Mill./  
dendrokronologija/Guardamar del Segura/JV Španija  
AV NOVAK, Klemen  
SA ČUFAR, Katarina (mentorica)/OVEN, Primož (recenzent)  
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo  
LI 2007  
IN VARIABILNOST PRIRASTKA NA RAZLIČNIH VIŠINAH V DEBLU PINIJE  
IN ALEPSKEGA BORA  
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)  
OP XIV, 89 str., 4 pregl., 41 sl., 12 pril., 35 vir.  
IJ sl  
JI sl/en/es  
AI Raziskali smo anomalije v rasti branik pinije (*Pinus pinea* L.) in alepskega bora (*Pinus halepensis* Mill.) iz kraja Guardamar del Segura v JV Španiji. Iz 6 dreves (po 3 za vsako vrsto bora) smo odvzeli kolute na različnih višinah v deblu, jih gladko obdelali, ter na vsakem analizirali ter datirali branike vzdolž 8-ih različnih radijev. Za analizo smo uporabili programa TSAP in ARSTAN. Neskljenjenih branik je bilo več kot popolnoma izpadlih. Izpad je bil večji pri alepskem boru kot pri piniji. Kazalnik moč signala podpopulacije SSS (subsample signal strength) je pokazal, da za zanesljivost rezultatov analize zadostuje merjenje širin branik vzdolž enega ali dveh radijev na prsni višini v drevesu, če je branike mogoče pravilno datirati. Primerjava kronologije statističnih ostankov (ARSTAN residual) raziskanih dreves z referenčnima kronologijama alepskega bora in pinije iz istega območja kaže, da je bilo naše datiranje nastanka popolnih, neskljenjenih in manjkajočih branik pravilno. Zaporedja širin branik s pravilno določenimi, neskljenjenimi ali izpadlimi branikami so enako uporabna za študij odziva rasti na klimatske dejavnike kot zaporedja brez izpadlih branik. Pri drevesih, kjer predvidevamo veliko izpadlih branik, priporočamo odvzem večjega števila vzorcev pri več drevesih, ali več vzorcev po višini v deblu pri istem drevesu. Glede na specifične lastnosti dreves na posameznih rastiščih, ne moremo podati splošnega napotka za potrebno število vzorcev za dendrokronološke raziskave.



## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn  
DC UDC 630\*561.24:630\*174.7 *Pinus pinea* L.+*Pinus halepensis* Mill.  
CX stone pine/*Pinus pinea* L./Aleppo pine/*Pinus halepensis* Mill./  
dendrochronology/Guardamar del Segura/SE Spain  
AU NOVAK, Klemen  
AA ČUFAR, Katarina (supervisor)/OVEN, Primož (reviewer)  
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science  
and Technology  
PY 2007  
TI TREE-RING VARIABILITY ON DIFFERENT HEIGHTS IN THE STEMS OF  
STONE PINE AND ALEPPO PINE  
DT Graduation Thesis (University studies)  
NO XIV, 89 p., 4 tab., 41 fig., 12 ann., 35 ref.  
LA sl  
AL sl/en/es  
AB Anomalies in tree-rings of stone pine (*Pinus pinea* L.) and Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) from Guardamar del Segura in SE Spain were researched. We took discs of wood from different heights in the stems of 6 trees (3 trees of each species), smoothed them, and on each section along 8 radii analysed and dated tree-rings. TSAP and ARSTAN programme were used for analyses. The number of discontinuous tree-rings was higher than the number of missing rings. The number of missing rings was higher in Aleppo pine than in stone pine. Calculated SSS (sub sample signal strength) showed that it is enough to measure tree-ring widths along one or two radii at breast height of a tree if we can date the tree-rings correctly. Comparison between ARSTAN residual chronologies of researched trees with reference chronologies of stone pine and Aleppo pine from the same site confirmed that we correctly dated normal, missing and discontinuous rings. The tree-ring width series with located discontinuous or missing rings proved to be equally useful to study the response of trees to climate as the tree-ring series without such anomalies. In the trees where we expect high level of missing rings we recommend to increase number of sampled trees or to take samples of wood at several heights in the stem of the same tree. Due to particular characteristics of trees from different sites, we can not suggest any common guidelines for necessary number of cores (samples) of wood for dendrochronological analyses.

## KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija.....	III
Key words documentation .....	V
Kazalo vsebine .....	VI
Kazalo slik.....	IX
Kazalo preglednic .....	XI
Kazalo prilog.....	XII
Okrajšave in simboli .....	XIII
Slovarček.....	XIV
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 SPLOŠNI DEL .....</b>	<b>3</b>
2.1 PROVINCA ALICANTE .....	3
<b>2.1.1 Geografski opis .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2 Podnebje.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.3 Rastje.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.4 Človeško poseganje v naravo .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.5 Požari.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.6 Sipine Guardamar del Segura .....</b>	<b>7</b>
2.2 ZNAČILNOSTI RODU BORA .....	10
<b>2.2.1 Splošno .....</b>	<b>10</b>
2.3 PINIJA ( <i>Pinus pinea</i> L.) .....	12
<b>2.3.1 Značilnosti pinje.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.2 Pinija v svetu.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.3 Pinija v Španiji .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.4 Anatomske značilnosti lesa pinije.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.5 Uporabnost pinije.....</b>	<b>15</b>
2.4 ALEPSKI BOR ( <i>Pinus Halepensis</i> Mill.).....	15
<b>2.4.1 Značilnosti alepskega bora .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.2 Alepski bor v svetu .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.3 Alepski bor v Španiji.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.4 Anatomske značilnosti lesa alepskega bora .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.5 Uporabnost alepskega bora.....</b>	<b>18</b>

2.5	DENDROKRONOLOGIJA .....	19
2.5.1	Splošno .....	19
2.5.2	Dendrokronologija - možnost uporabe in omejitve .....	21
2.5.3	Postopek dendrokronološke analize .....	22
2.5.4	Sinhroniziranje kronologij .....	22
2.5.5	Matematično statistične metode za obdelavo kronologij.....	24
2.5.5.1	Vrednost $t$ po Baillie-Pilcherju ( $t_{BP}$ ) .....	24
2.5.5.2	Koeficient časovne skladnosti (GLK).....	24
2.5.5.3	Indeks navzkrižnega datiranja (CDI) .....	25
2.5.5.4	Prekrivanje kronologij (Olp.) .....	25
2.5.6	Dendroklimatologija in dendroekologija.....	25
3	MATERIAL IN METODE.....	27
3.1	SESTOJI V ŠPANIJI .....	27
3.2	IZBOR TESTNIH DREVES IN ODVZEM KOLUTOV.....	28
3.3	PRIPRAVA KOLUTOV.....	32
3.4	ANALIZA IN MERJENJE ŠIRIN BRANIK .....	34
3.4.1	Analiza branik .....	34
3.4.2	Merjenje širin branik.....	36
3.4.3	Obdelava meritev .....	37
3.4.4	Standardizacija kronologij s programom ARSTAN .....	37
4	REZULTATI .....	38
4.1	OSNOVNI PODATKI .....	38
4.1.1	Anatomske posebnosti branik .....	39
4.2	PINIJA ( <i>Pinus pinea</i> L.) .....	42
4.2.1	Analiza branik .....	42
4.2.2	Zaporedja širin branik pinije.....	46
4.2.3	Kronologije širin branik pinije .....	50
4.3	ALEPSKI BOR ( <i>Pinus halepensis</i> Mill.) .....	54
4.3.1	Analiza branik .....	54
4.3.2	Zaporedja širin branik alepskega bora.....	61
4.3.3	Kronologije širin branik alepskega bora .....	65
4.4	PRIMERJAVA MED DREVESNIMA VRSTAMA .....	66
4.4.1	Izpadle branike pri piniji in alepskem boru.....	66
4.4.2	Primerjava kronologij pinije in alepskega bora.....	67

<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI .....</b>	<b>70</b>
5.1	RAZPRAVA .....	70
5.2	SKLEPI .....	73
<b>6</b>	<b>POVZETEK.....</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>VIRI.....</b>	<b>78</b>
	<b>ZAHVALA.....</b>	<b>81</b>
	<b>RESUMEN DEL PROYECTO FIN DE CARRERA .....</b>	<b>82</b>
	<b>PRILOGE</b>	

## KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Zemljevid Španije, z rdečo je označena provinca Alicante (Španija iz Wikipedije, proste enciklopedije, 2007) .....	3
Slika 2: Zemljevid province Alicante. Z zvezdico je označen kraj, kjer smo posekali drevesa (Španija iz Wikipedije, proste enciklopedije, 2007) .....	4
Slika 3: Klimogram za Guardamar (De Luis in sod., 2005) .....	5
Slika 4: Peščene sipine v Guardamar del Seguri. Desno je neporaščen obalni del, levo greben s palmo in v ozadju bori.....	9
Slika 5: Rastje na sipinah. Zadaj alepski bori, spredaj levo agava .....	9
Slika 6: Pinija (Italia, Corpo Forestale dello Stato) .....	13
Slika 7: Areal pinije (Bioversityinternational) .....	14
Slika 8: Alepski bor.....	16
Slika 9: Areal alepskega bora (Bioversityinternational) .....	17
Slika 10: Satelitski posnetek kraja Guardamar del Segura in sipin (Google Earth, 2007) .....	27
Slika 11: Posek drevesa.....	29
Slika 12: Skica drevesa z odvzetimi koluti .....	30
Slika 13: Material za brušenje .....	32
Slika 14: Strojno brušenje .....	33
Slika 15: Ročno brušenje .....	33
Slika 16: Fotografija koluta z označenimi smermi merjenja. (foto: Josep Raventós) .....	34
Slika 17: Fotografija koluta z analiziranimi in preštetimi branikami (foto: Josep Raventós) .	35
Slika 18: Merilna oprema.....	36
Slika 19: Nesklenjena branika.....	39
Slika 20: Dvojna branika.....	40
Slika 21: Nejasna cona .....	41
Slika 22: Odstotni deleži normalnih (belo) in izpadlih branik (rdeče) pri prvem drevesu pinije na 5-ih različnih nivojih v deblu v odvisnosti od časa .....	42
Slika 23: Odstotni deleži normalnih (belo) in izpadlih branik (rdeče) pri drugem drevesu pinije na 4-ih različnih nivojih v deblu v odvisnosti od časa .....	43
Slika 24: Odstotni deleži normalnih (belo) in izpadlih branik (rdeče) pri tretjem drevesu pinije na 5-ih različnih nivojih v deblu v odvisnosti od časa .....	44
Slika 25: Deleži normalnih (zeleno), nesklenjenih (rumeno) in izpadlih (rdeče) branik pri vse treh drevesih pinije .....	45

Slika 26: Zaporedja širin branik na posameznih radijih na 5-ih različnih nivojih v deblu pri prvem drevesu pinije .....	47
Slika 27: Zaporedja širin branik na posameznih radijih na 4-ih različnih nivojih v deblu pri drugem drevesu pinije .....	48
Slika 28: Zaporedja širin branik na posameznih radijih na 5-ih različnih nivojih v deblu pritretjem drevesu pinije .....	49
Slika 29: Zaporedje povprečnih širin branik na različnih nivojih v deblu pri vseh treh drevesih pinije.....	50
Slika 30: Odstotni deleži normalnih (belo) in izpadlih branik (rdeče) pri prvem drevesu alepskega bora, na 6-ih različnih nivojih v deblu v odvisnosti od časa .....	55
Slika 31: Odstotni deleži normalnih (belo) in izpadlih branik (rdeče) pri drugem drevesu alepskega bora na 6-ih različnih nivojih v deblu v odvisnosti od časa .....	56
Slika 32: Odstotni deleži normalnih (belo) in izpadlih branik (rdeče) pri tretjem drevesu alepskega bora na 9-ih različnih nivojih v deblu v odvisnosti od časa .....	58
Slika 33: Deleži normalnih (zeleno), nesklenjenih (rumeno) in izpadlih (rdeče) branik pri vseh treh drevesih alepskega bora .....	60
Slika 34: Zaporedje širin branik vzdolž 8-ih radijev na 6-ih različnih nivojih v deblu pri prvem drevesu alepskega bora .....	62
Slika 35: Zaporedje širin branik vzdolž 8-ih radijev na 6-ih različnih nivojih v deblu pri drugem drevesu alepskega bora .....	63
Slika 36: Zaporedje širin branik vzdolž 8-ih radijev na 9-ih različnih nivojih v deblu pri tretjem drevesu alepskega bora .....	64
Slika 37: Zaporedje širin branik na različnih višinah v deblu pri vseh treh drevesih alepskega bora.....	65
Slika 38: Odstotni delež manjkajočih branik pri piniji ( <i>Pinus pinea</i> ) in alepskem boru ( <i>Pinus halepensis</i> ) .....	66
Slika 39: Primerjava kronologij statističnih ostankov pinije (PP, modro) in alepskega bora (PH, rdeče) .....	67
Slika 40: Primerjava kronologije statističnih ostankov pinije (PP - tanka modra črta) z referenčno kronologijo statističnih ostankov pinije (PP_master - debela modra črta) za isto rastišče .....	68
Slika 41: Primerjava kronologije statističnih ostankov alepskega bora (PH - tanka rdeča črta) z referenčno kronologijo ostankov alepskega bora (PH_master - debela rdeča črta) za isto rastišče .....	68

## KAZALO PREGLEDNIC

str.

Preglednica 1: Pregled posekanih dreves in kode odvzetih kolutov pri posameznih drevesih	31
Preglednica 2: Razlaga oznake odvzetih kolutov.....	31
Preglednica 3: Osnovni podatki o kolutih in opravljenih meritvah .....	38
Preglednica 4: Statistični izračuni .....	51

## KAZALO PRILOG

- Priloga A: Skica prvega drevesa pinije (PP10)
- Priloga B: Skica drugega drevesa pinije (PP20).
- Priloga C: Skica tretjega drevesa pinije (PP30)
- Priloga D: Skica prvega drevesa alepskega bora (PH10)
- Priloga E: Skica drugega drevesa alepskega bora (PH20)
- Priloga F: Skica tretjega drevesa alepskega bora (PH30)
- Priloga G: Statistični izračuni za prvo drevo pinije (PP10)
- Priloga H: Statistični izračuni za drugo drevo pinije (PP20)
- Priloga I: Statistični izračuni za tretje drevo pinije (PP30)
- Priloga J: Statistični izračuni za prvo drevo alepskega bora (PH10)
- Priloga K: Statistični izračuni za drugo drevo alepskega bora (PH20)
- Priloga L: Statistični izračuni za tretje drevo alepskega bora (PH30)

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ang. - angleško

CDI – ang. Crossdate Index – indeks navzkrižnega datiranja

cit. – citirano

ej. – špan. ejemplo - primer

GLK - nem. Gleichläufigkeit – časovna skladnost

ha – hektar

ipd. – in podobno

itd. – in tako dalje

km – kilometer

m – meter

max. – maksimalno

min. – minimalno

n. m. v. – nad morska višina

nem. - nemško

npr. – na primer

Olp. - ang. Overlap - prekrivanje

oz. – oziroma

pr. n. š. – pred našim štetjem

sod. – sodelavci

stol. – stoletje

špan. - špansko

t. i. – tako imenovano

t. j. – to je

$t_{BP}$  – t vrednost po Baillie Pilcheju

## SLOVARČEK

1. anomalija - nepravilnost
2. antropogeno – iz antropologije – veda o človeku, kot del narave
3. arboretum – parkovni nasad dreves
4. aridno - puščavsko
5. asimilat – organska hranilna snov
6. avksin – rastlinski rastni hormon
7. branika – prirastna plast lesa ali skorje nastala v eni sezoni
8. datiranje – določanje datuma, v našem primeru določanje koledarskih let v katerem so nastale branike
9. dekret – odlok
10. dendrokronologija – veda, ki se ukvarja s proučevanje branik v lesu in z njihovim datiranjem
11. destruktivno – uničevalno, razkrojevalno
12. devastacija – opustošenje, razdejanje
13. dezertifikacija – izsuševanje zemlje in napredovanje puščave
14. dvojna branika - branika, pri kateri sta v eni sezoni nastali dve plasti, ki ju ne razmejuje prava letnica (tudi neprava branika, lažna branika)
15. eksistenca – obstoj
16. erozija – razjedanje zemeljske površine
17. fotoperioda – obdobje trajanja svetlobe
18. fotoperioda – obdobje trajanja svetlobe
19. fotosinteza – asimilacija ogljikovega dioksida in vode v rastlinah s klorofilom pod vplivom svetlobe
20. granulacija – sestav sipkega materiala glede na razmerje med velikostjo zrn, zrnavost
21. indikator - kazalnik
22. interpretacija – razлага, predstavitev
23. izpadla branika – branika, ki manjka po celem obodu drevesa
24. izvrtek – s prirastoslovnim svedrom odvzet, izvrtan vzorec drevesa, ki je dolg, vitek in premera 5 mm
25. kontinuirano – nepretragano, neprekinjeno
26. konzervacija – ohranitev

27. kronologija – časovno zaporedje, v našem primeru zaporedje širin branik, ki temelji na povprečju zaporedij širin branik več dreves
28. levante – vzhodnik, veter, ki piha z vzhoda
29. locirati – postaviti, namestiti kaj na določen kraj
30. longitudinalna smer – vzdolžna, osna smer debla
31. nesklenjena branika – branika, ki manjka na določenem mestu po obodu debla
32. pinjola – užitno seme pinije
33. referenčna kronologija – zaporedje širin branik, ki temelji na povprečju zaporedij širin branik več dreves in jo uporabljamo za sinhroniziranje in datiranje
34. restavracija – obnova
35. semiaridno – polpuščavsko
36. sinhroniziranje – primerjava zaporedij širin branik in njihova postavitev v sinhron položaj glede na leto nastanka posamezne branike
37. variabilnost – spremenljivost
38. variiranje - spremiščanje
39. vegetacija – rastje

## 1 UVOD

Alepsi bor (*Pinus halepensis* Mill.) in pinija (*Pinus pinea* L.) sta drevesni vrsti, ki rasteta v Sredozemlju in poseljujeta različne ekosisteme. Na mejah svojega areala sta izpostavljeni ekstremnim klimatskim razmeram, ki pogosto omejujejo njun obstoj. Razširjeni sta po celotnem Sredozemlju, dobro uspevata na revnih in peščenih tleh ter prenašata pomanjkanje vode in visoke temperature.

Zgradba lesa oz. stabilni anatomske znaki ob teh lesnih vrst so opisani v viru Schweingruber (1990). Zgradba in kvaliteta lesa sta odvisni od širine branik, deleža kasnega lesa, prehoda iz ranega v kasni les in tudi lažnih, nesklenjenih in izpadlih branik. Vsi ti znaki so odvisni tudi od ekoloških (predvsem klimatskih) dejavnikov. Poznavanje zgradbenih lastnosti je pogosto omejeno na nivo prsne višine, manj pa je znanega o variabilnosti po obodu in višini debla. Les ob teh borov, ki raste v polpuščavskih razmerah v Španiji ima predvsem z vidika širin branik, izpada branik ter deležev ranega in kasnega lesa drugačno zgradbo, kot les ob teh borov iz slovenskega Primorja (prim. Zajec, 2005).

V Španiji je glavni omejevalni dejavnik priraščanja dreves pomanjkanje padavin. Podnebje v obmorskih krajih v pokrajini Valenciji, kjer je nastala pričajoča naloga, je polpuščavsko oz. semiaridno, s skupno količino padavin okoli 300-400 mm na leto. S klimatskimi spremembami se nevarnost pojavljanja suše povečuje, preživeteje bora pa zaostruje.

Diplomska naloga je del projekta Klimatska variabilnost in gozdna dinamika v ekotonskih (mejnih) ekosistemih (Variabilidad climática y dinámica forestal en ecosistemas de ecotono, Ref.: REM 2003 – 07453) Oddelka za ekologijo Univerze v Alicanteju v Španiji, kjer sem študiral v študijskem letu 2005/2006 v okviru projekta študentskih izmenjav SOCRATES / ERASMUS.

V diplomski nalogi smo raziskali zgradbo lesa alepskega bora (*Pinus halepensis*) in pinije (*Pinus pinea*) iz kraja Guardamar del Segura v JV Španiji, na različnih nivojih v deblu. Glavni cilji so bili:

- v izbranih drevesih na različnih nivojih v deblu na več radijih analizirati in datirati branike,
- isto braniko zasledovati na kolutih iz različnih nivojev v deblu in po obodu istega koluta,
- opazovati izpad branik in strukturne posebnosti branik na različnih nivojih v deblu,
- primerjati variabilnosti znotraj drevesa, med drevesi iste vrste in med obema drevesnima vrstama,
- izdelati grafe zaporedij širin branik za posamezne nivoje v drevesu ter povprečja za posamezno drevo in drevesno vrsto,
- izdelati kronologiji posekanih dreves alepskega bora in pinije ter jih primerjati z referenčno kronologijo alepskega bora in pinije za to rastišče.

## 2 SPLOŠNI DEL

### 2.1 PROVINCA ALICANTE

#### 2.1.1 Geografski opis

Španska provinca po imenom Alicante z istoimenskim glavnim mestom se nahaja na jugovzhodni obali Iberijskega polotoka, ima 1.783.555 prebivalcev (leto 2006) in je peta najbolj poseljena provinca v Španiji. Spada med najbolj gorate province v Španiji. Gorske verige, ki potekajo od JV proti SV in so del Betijskih Kordiljer, dosežejo najvišjo točko z vrhom Aitana (1558 m) v istoimenski gorski verigi Sierra Aitana.

Na J in JV delu province prevladujejo ravnine, v spodnjem toku rek Segura in Vinalopó, ki sta pomemben vir vode (Španija iz Wikipedije, proste enciklopedije, 2007).

Na naslednjih dveh slikah (Slika 1 in Slika 2) sta prikazana zemljevida Španija in province Alicante, z zvezdico je označen kraj Guardamar del Segura, kjer smo posekali drevesa.



Slika 1: Zemljevid Španije, z rdečo je označena provinca Alicante (Španija iz Wikipedije, proste enciklopedije, 2007)



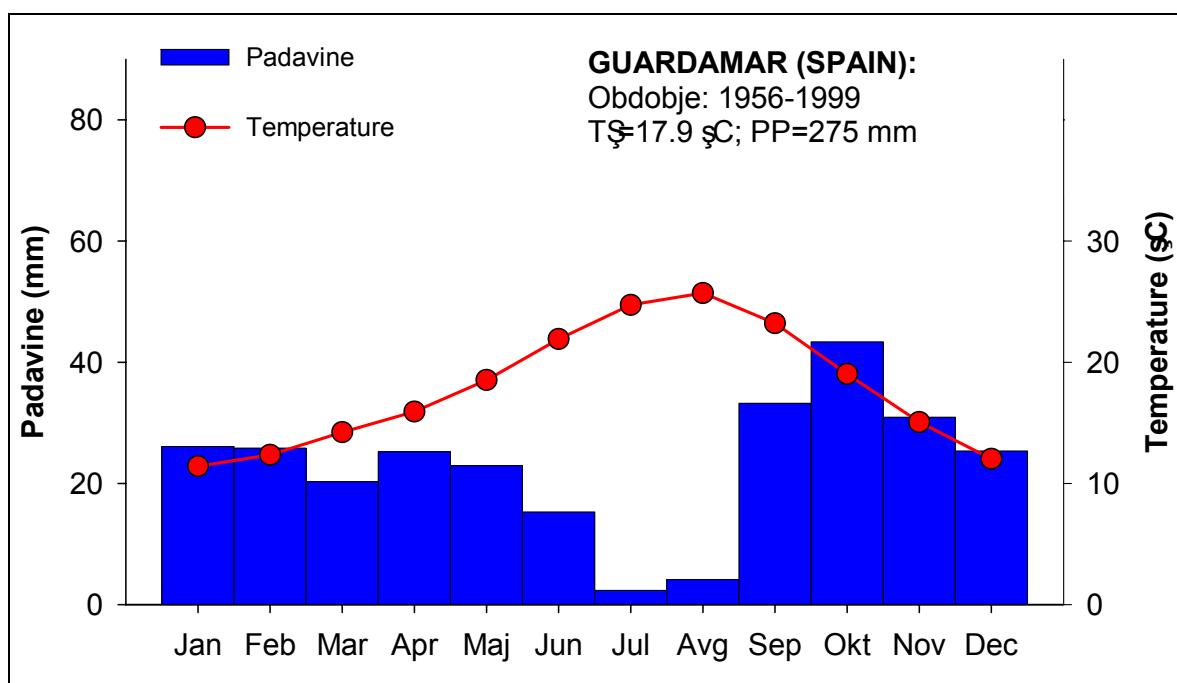
Slika 2: Zemljevid province Alicante. Z zvezdico je označen kraj, kjer smo posekali drevesa (Španija iz Wikipedije, proste enciklopedije, 2007)

### 2.1.2 Podnebje

Sredozemsko polpuščavsko podnebje, ki vlada v obalnem pasu province Alicante, z visokimi temperaturami in obdobji brez padavin v poletnem delu (značilno sušo), ter s padavinskim maksimumom v zimskem delu leta, predstavlja ekstremne rastiščne pogoje celotni vegetaciji. Povprečne letne padavine se gibljejo od 300 - 600 mm/leto. Poleti, ko povprečne dnevne temperature dosegajo med 30 in 35 °C, je sončno sevanje najmočnejše. Zaradi visokih temperatur in vetrovnih tokov nosijo vlažne zračne mase z morja na kopno morske pene, ki vsebuje veliko soli, ki se odlaga na kopno in povzroča zviševanje vodnega potenciala, s čimer postane voda v tleh še bolj nedostopna rastlinam (Zajec, 2005).

V kraju Guardamar del Segura, kjer smo opravili raziskave, je količina padavin še manjša. Klima je tam vroča in suha. Temperatura se zelo redko spusti pod 0 °C in poleti pogosto vzdigne do 40 °C. Količina padavin je 250 – 300 mm na leto, ki padejo v 30 dneh od jeseni do pomlad, kot hudourniške padavine. Povprečna letna temperatura je 17-18 °C, max. 40 °C v avgustu in min. 0 °C v decembru. Najbolj vroči dnevi so v prvi polovici avgusta.

Možnost zmrzovanja, to je temperatur pod 0 °C je do 5 dni na leto (García-Apaza, 2005).  
Na Sliki 3 je predstavljen klimogram za Guardamar.



Slika 3: Klimogram za Guardamar (De Luis in sod., 2005)

### 2.1.3 Rastje

Tipično drevesno rastje v mediteranskem okolju je na splošno opredeljeno s prevlado pritlikavega zimzelenega grmičevja in nizkimi drevesi z majhnimi, mesnatimi in žilavimi listi. V Španiji ga imenujejo *monte bajo* (nizka gozdna pokrajina). Najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na rastje je tipična poletna suša, ki traja 5-6 mesecev. (Cherubini in sod., 2003).

V tipičnem mediteranskem okolju v Španiji in v provinci Alicante uspevajo bodlikavi hrast (*Quercus coccifera*), pinija (*Pinus pinea*), alepski bor (*Pinus halepensis*), palmito (*Chamaerops humilis*), podrast (grmičevje, različne dišavnice, ....), rastline, ki uspevajo na slanih tleh in rečna vegetacija ob strugah potokov in rek (Gil-Olcina in Olcina-Cantos, 2000).

## 2.1.4 Človeško poseganje v naravo

Človeški vpliv na naravne gozdne ekosisteme v mediteranskem območju v Španiji je bil v zgodovini vedno zelo velik. Prekomerno izkoriščanje gozdov je povzročilo popolno devstacijo področja že pred več tisoč leti. Prvotni hrastovi gozdovi črni (Quercus ilex L.), plutca (Quercus suber L.), posamezno navadnega koprivovca (Celtis australis L.), malega in poljskega jesena (Fraxinus ornus L. in F. angustifolia L.) ter posameznih borovih sestojev rdečega (Pinus sylvestris L.), črnega (Pinus nigra Arn.) in alepskega bora (Pinus halepensis Mill.) ter pinije (Pinus pinea L.), so bili izsekani za potrebe ladnjedelništva v času močne španske mornarice (od 14. do 18. stol.). S hudourniškimi zimskimi padavinami so bila neporaščena tla podvržena močnim erozijskim procesom. Z umetno obnovo porušenih in načetih gozdnih ekosistemov se je pričela širša uporaba tujerodnih drevesnih vrst, katerih uporaba je bila najprej omejena le na parke, arboretume (parkovni nasad dreves) in bližino naselij.

V Španiji je bilo v zadnjih sto letih umetno osnovanih 5,7 milijona hektarjev gozdov (Puhek, 1980, cit. po Zajec, 2005). Glavni drevesni vrsti, ki sta bili uporabljeni pri zasajanju novih gozdov v semiaridnih področjih Sredozemlja, sta pinija in alepski bor. Na tem območju nista avtohtoni vrsti (Raventós in sod., 2001), vendar sta prilagojeni na omejene vodne vire in izpostavljenost močnemu sončnemu obsevanju. Vrsti dobro prenašata sol, ki jo po rastiščih blizu morja nosi veter.

V Španiji je zaradi semiaridnih in mestoma celo aridnih področij zelo pomembna varstvena vloga gozdnega rastja. Velika ekološka vloga gozdnih rastišč je pripeljala do zakonske zaščite vseh gozdnih ostankov, s čimer je z zakonom prepovedana sečnja vseh gozdnih dreves v Španiji, z izjemo v severnih pokrajinh, Baskiji in Navarri (De Luis, 2004, cit. po Zajec, 2005). Zaradi velike razširjenosti alepskega bora je le-ta deležen velike pozornosti. Raziskovanje njegovih značilnosti in ekoloških odzivov poteka na številnih raziskovalnih inštitucijah. Raziskovanje ekologije alepskega bora se razširja na varstvo gozdov, kot so varstvo pred požari, plazovi in poplavami. Zaradi ekstremnih razmer v okolju je gozdna vegetacija glede na število rastlinskih vrst relativno skromna, sestavlja jo le najbolj prilagodljive vrste, ki uspevajo na svoji eksistenčni meji (Zajec, 2005).

### 2.1.5 Požari

Velik problem aridnih in semiaridnih območij v Španiji so pogosti gozdni požari. Med letoma 1969 in 1983 so letno uničili 10-20 % sestojev alepskega bora. Med leti 1974 in 1999 je v Španiji zgorelo več kot 4,6 milijonov hektarjev gozdov, med katerimi znaša delež alepskega bora 26 % (Maestre in Cortina, 2004).

### 2.1.6 Sipine Guardamar del Segura

Kraj Guardamar del Segura, kjer smo posekali borova drevesa, je znan po sipinah, ki se nahajajo ob izlivu reke Segura v morjem in so nastale s peščenimi nanosi reke Segura, morskimi naplavinami in preoblikovanjem vetra. Dolge so okoli 16 km, široke od 200 do 1300 metrov in obsegajo 846 ha površine.

Vodni viri so reka Segura, ki je najpomembnejši in edini zunanji vir vode in podzemni izviri sladke vode v nekaterih najnižjih delih sipin. Sipine so najprej preoblikovali morski valovi, nato pa še veter. Prevladujoči veter je levante (vzhodnik), ki je najbolj preoblikoval sipine. Njihovo napredovanje, spremjanje in gibanje je bilo od 3 do 8 m na leto.

Prst je zelo revna, v bistvu je to mivka pomešana s peskom in kamenjem ter organskimi ostanki dreves in drugega rastja. Druge kamnine so še apnenec, kremenjak, glina, sadra in primesi železa (Mira i Botella, 2000).

Ne ve se točno, kaj je bilo prvotno rastje na območju sipin, prevladuje pa domneva, da je bil gozd, ki so ga izsekali v 10. in 9. stol. pr. n. š. za potrebe železarstva oz. predelavo različnih rud. Gola pokrajina je bila tako podvržena delovanju reke Segura, morja in vetra. Razširili so se peščeni nanosi reke, morja in vetra in nastale sipine.

Sipine so bile po zgodovinskih virih poseljene že v daljni preteklosti. Arheološki ostanki pričajo o naselbini iz leta 944 pr. n. št. to je iz časa Feničanov, ko sta cvetela trgovanje in menjava po Sredozemlju. Starodavno naselbino so odkrili med utrjevanje in

pogozdovanjem sipin. Ko so najvišje dele sipin znižali, so odkrili stavbe, zasute z mivko in peskom. Tudi sedanje naselje ima dolgo zgodovino. Preživet je moralno različne naseljence in osvajalce (Arabce, pirate) in potres, ki je 21. 3. 1829 uničil celo naselje.

Ponovno zgrajeno naselje je konec 19. in začetek 20. stol. začelo ogrožati nekontrolirano premikanje, gibanje in napredovanje sipin, zato so leta 1987 sprejeli dekret (odlok) o njihovi konzervaciji. Leta 1900 je inženir Mira i Botella začel z deli za utrditev sipin in potreboval 30 let, da mu je uspelo. Pogozdovanje je težko delo, saj dolgo traja da dobimo gozdno maso.

Osnovni cilji pogozditve so bili, obdržati na plaži ves material, ki ga naplavljata reka in morje, utrditi vso površino sipin in s tem preprečiti njihovo premikanje, napredovanje in ogrožanje naselja in plantažnih nasadov ter jo spremeniti v plodna tla.

Pogozditev je potekala v več fazah. Najprej so znižali najvišje dele sipin in jih utrdili z zabijanjem dolgih lesenih kolov, da so preprečili njihovo premikanje. Sledilo je prekrivanje tal s sajenjem različnih rastlin kot so *Psamofilia arenaria* in *Mesembryanthemum crassifolium* na pobočjih sipin in *Agave americana* v obalnem območju.

V zalednjem pasu so začeli z zasajanjem dreves alepskega bora, pinije, različnih vrst evkaliptov (*Eucaliptus rostata*, *Eucaliptus gonphocephala* in *Eucaliptus resinifera*), datljevih palm (*Phoenix dactylifera*) ter agave (*Agave americana*). Pod drevesnim rastjem so zagotovili pokritje tal z rastlinami, ki se naravno razraščajo (*Stipa tenacissima*, *Asparagus acutifolius*, *Asparagus Stipularis*) (García-Apaza, 2005).

Danes, 100 in več let kasneje so sipine utrijene in ne ogrožajo več naselja. Razdeljene so na obalni pas oz. aktivne sipine, ki se še vedno premikajo, zaledno cono in območje utrjenih sipin, ki jih porašča gozdno rastje.

Površina sipin, ki jo poraščajo borova drevesa obsega približno 134 ha površine (García-Apaza, 2005). Avtohtono rastje na sipinah je zelo skromno (Mira i Botella, 2000).

Slika 4 in slika 5 predstavlja aktualno situacijo na sipinah.



Slika 4: Peščene sipine v Guardamar del Seguri. Desno je neporaščen obalni del, levo greben s palmo in v ozadju bori



Slika 5: Rastje na sipinah. Zadaj alepski bori, spredaj levo agava

## 2.2 ZNAČILNOSTI RODU BORA

### 2.2.1 Splošno

V svetu je znanih 111 vrst borov (Stevens in Enquist, 1998), ki pripadajo bogatemu rodu borovcev (*Pinus*) in družini borovk (*Pinaceae*). Rastejo v skoraj vseh svetovnih klimatskih področjih od subtropskih krajev do zgornje gozdne in polarne meje, večinoma na severni polobli od polarnega kroga do Guatemale, Indije, severne Afrike in Indonezije. V velikem obsegu vrste iz družine borovk uporabljajo za pogozdovanje v Evropi, Južni Ameriki (Čile, Brazilija), v južni Afriki, Avstraliji in v Novi Zelandiji. Razširjenost areala borovk kaže na visoko stopnjo prilagodljivosti vrst klimatskim in rastiščnim razmeram širom po svetu.

Drevesa in grmi iz rodu bora (*Pinus*) so zimzeleni in dosegajo različne višine in oblike krošenj. Večinoma so drevesa, nekatere vrste pa se pojavljajo v obliki grmov. Debla dreves so praviloma vitka, a ne vedno ravna, z bolj ali manj razpokanim luskastim lubjem. Za večino borov je značilno vretenasto razraščanje in oblikovanje krošenj nepravilnih oblik. Iglice so v šopkih, po 2 skupaj ali po 3-5 v skupnem ovoju, kar omogoča ločevanje nekaterih vrst.

Za svojo rast potrebujejo veliko svetlobe, čeprav v mladosti nekaj časa lahko preživijo v senci drugih dreves. Na boljših rastiščih ponavadi dosežejo večjo višino. Višinski prirastek je praviloma bolj odvisen od klimatskih pogojev prejšnjega leta, debelinski prirastek pa od pogojev tekočega leta (Mirov, 1967).

Zaradi močne glavne korenine uspevajo tudi v peščenih tleh in so zelo odporni proti vetru. Fiziološko so odporni proti suši, kar prispeva k njihovi prilagodljivosti na različne rastne pogoje in omogoča preživetje na področjih, kjer je vode sicer dovolj, vendar ni dosegljiva zaradi različnih dejavnikov, kot so kamninska sestava tal, zmrznjena zemlja ipd.

V zmernih podnebjih rastejo bori periodično (Mirov, 1967). Obdobja nenađne rasti so posledica temperature, fotoperiode (obdobja svetlobe), vode in razpoložljive količine

hranilnih snovi. Od slednjih sta odvisni tvorba in širina prirastne plasti lesa, ter delež kasnega in ranega lesa. Prehod iz ranega v kasni les naj bi povzročala sprememba nivoja avksina (rastnega hormona) in razpoložljivih asimilatov (organских hranilnih snovi) (Čufar, 2006).

Pri različnih vrstah borov nastopa različen vzorec rasti. Notranji ritem, ki je dedno pogojen, okvirno določa kdaj se začne in kdaj preneha kambijeva aktivnost. Ekološki dejavniki, predvsem klima, imajo poleg genetskih dejavnikov glavni vpliv na kambijkevo aktivnost.

V Sredozemlju raste vsaj 10 različnih vrst bora. Med njimi so rdeči bor (*Pinus sylvestris*), kanarski bor (*Pinus canariensis*), brucijski bor (*Pinus brucia*), alepski bor (*Pinus halepensis*), pinija (*Pinus pinea*), obmorski bor (*Pinus pinaster*), gorski bor oz. ruševje (*Pinus mugo*), črni bor (*Pinus nigra*), švicarski gorski bor (*Pinus uncinata*) in bosanski bor (*Pinus heldreichii*) (Barbéro in sod., 1998). Borovi gozdovi pokrivajo 5% celotne površine Sredozemlja, delež bora v gozdnih površinah pa znaša 25%. V SZ delu Sredozemlja so borova drevesa manj dominantna, kljub temu pa imajo pomembno vlogo v oblikovanju pokrajin, posebno v Provansi (del Francije), vzhodni Španiji, Korziki in južni Grčiji.

Bori so se v prejšnjem stoletju široko uporabljali za pogozdovanja v Italiji, Franciji, Španiji z namenom nadzora erozije (razjedanje zemeljske površine) prsti in tal. Pogozdovanje ima pomembno vlogo pri razširjanju različnih vrst borov, saj so večinoma skoraj povsod pogozdeni in je težko določiti njihov izvor naravne rast. (Barbéro in sod., 1998).

V naši raziskavi smo se ukvarjali s pinijo in alepskim borom, zato ju bomo v naslednjih poglavjih natančneje opisali.

## 2.3 PINIJA (*Pinus pinea* L.)

### 2.3.1 Značilnosti pinje

Pinija je do 30 m visoko drevo, s premerom debla do 1,9 m. Krošnja je v mladosti okroglasta, okrog 50 let stara drevesa, pa že oblikujejo gosto in značilno dežnikasto krošnjo. Debla so v spodnjih dveh tretjinah brez vej. Skorja je do starosti 5 let siva, kasneje pa do 10 cm debela, ter ima vzdolžno globoko razpokano in rdečkastosivo luskasto lubje. Mladi poganjki so tanki, rumenozeleni in goli, brsti pa so 6-12 cm dolgi in brez smole. Iglice, ki rastejo po dve v šopku, so 10-20 cm dolge in ostanejo na drevesu 3-4 leta. Moški cvetovi na dnu poganjkov zadnjega leta so rumeni in številni, ženska socvetja so pecljata in največkrat posamično rastejo na koncu najnovejših poganjkov. Storži so popolnoma zreli šele jeseni v tretjem letu po cvetenju. So okroglasti, simetrični, 8-15 cm dolgi, premera 7-10 cm in so rjave do rdečkastorjave barve.

Najraje raste na peščenih in kislih tleh, dobro pa prenaša tudi rahlo bazična na apnenčasti osnovi. Prenaša skromna tla, ne pa slane podlage. Je značilna sredozemska vrsta, ki potrebuje veliko svetlobe in toplove in je odporna proti suši in vročini. Slabo prenaša mraz, sneg, veter in je občutljiva na onesnažen zrak. Doseže starost 200-250 let (Brus, 2004).

Uspeva v območjih s količino padavin od 400 do 800 mm in temperaturami od -15 °C do 40 °C. Odporna je na delovanje vetra, tudi kadar piha z morja in s seboj nosi obilo soli. V tem primeru zmanjša svojo rastno aktivnost in odvrže iglice na vetrinu in soli izpostavljenih vejah, ki odmrejo in s tem zaščitijo preostali del drevesa. Je požarno ogrožena, vendar je nanje dobro prilagojena z debelo skorjo in visoko od tal dvignjeno krošnjo, kar omogoča njen preživetje v primeru prehoda ognja pod njom (García-Apaza, 2005). Slika 4 predstavlja pinijo z značilno dežnikasto krošnjo brez vej v spodnjih dveh tretjinah debla.



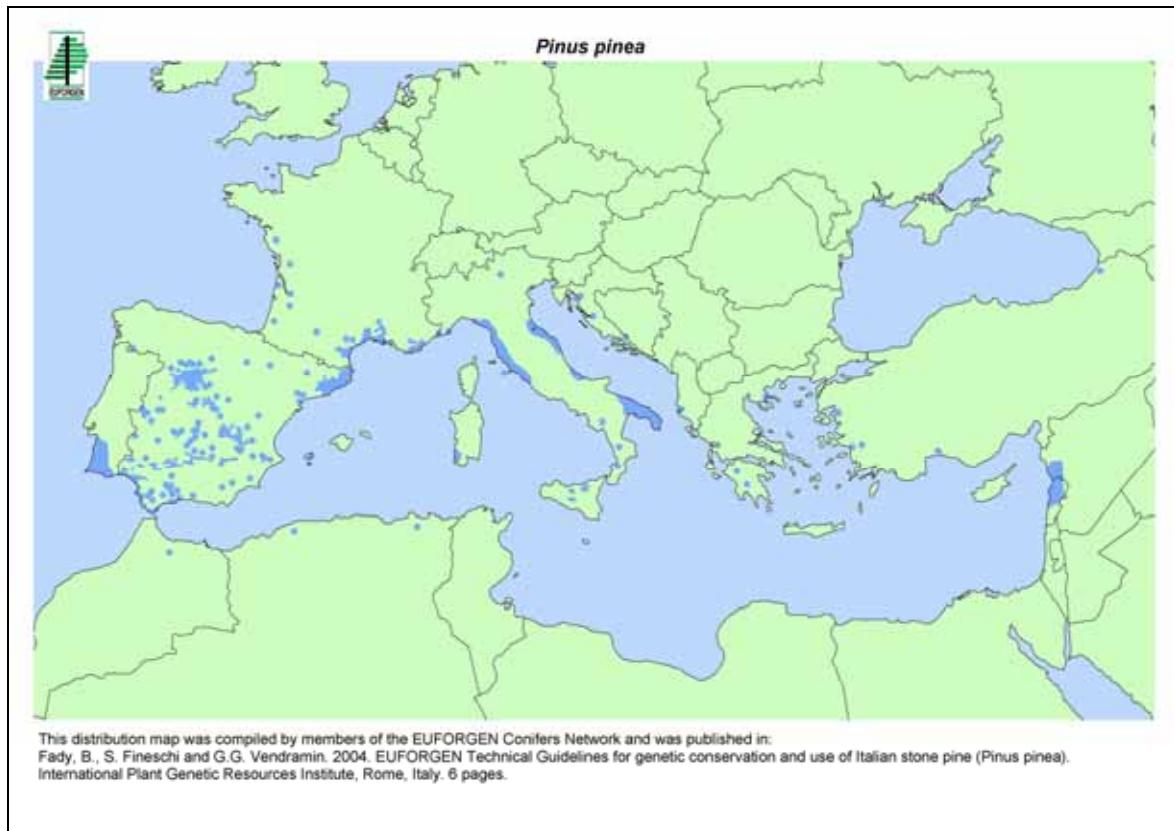
Slika 6: Pinija (Italia, Corpo Forestale dello Stato)

### 2.3.2 Pinija v svetu

Razširjena je na obalnih območjih severnega Sredozemlja. Najpogostejša je na Pirenejskem in Apeninskem polotoku, v Grčiji in na obalah Male Azije (Sirija). Raste tudi v Kavkazu. Njena današnja razširjenost je v veliki meri posledica intenzivnega umetnega razširjanja v zadnjih tisočletjih. V severnem delu areala uspeva od morja do 600 n. m. v., v južnem delu pa od morja do 1000 n. m. v. (Brus, 2004).

### 2.3.3 Pinija v Španiji

V Španiji je razširjena v osrednji mazeti (Castilla La Mancha, Castilla y León), JV delu polotoka, centralnem hribovju, v Kataloniji (katalonsko obalno hribovje), J del pokrajine Kastilje (Castilla La Mancha) v provincah Albacete in Cuenca (García-Apaza, 2005, cit. po Aranzazu).



Slika 7: Areal pinije (Bioversityinternational)

#### 2.3.4 Anatomske značilnosti lesa pinije

V prečnem prerezu je jedrovina zelo razločna in rjavorodeče barve. Beljava je svetla, bele do rumenkasto bele barve. Meja med branikami variira od jasne do nerazločne in pogosto zabrisane. Pri drevesih iz toplih rastišč, pri katerih imajo korenine stik s podtalno vodo, je prehod med branikami nerazločen in nakazan samo s spremembo gostote.

Vsebuje radialne in aksialne smolne kanale, ki so dolgi in obdani s tankostenimi epitelnimi celicami. Trakovno tkivo je heterocelularno, v tangencialnem prerezu je visoko 8-15 celic, sestavlja ga parenhimske celice in trakovne traheide s tankimi in gladkimi stenami, ki so zelo redko nazobčane. V križnem polju so 2-4 pinoidne do taksodioidne piknje, ki so v

kasnem lesu bolj piceoidne. V radialnem prerezu so obokane piknje aksialnih traheid skoraj izključno posamične (Schweingruber, 1990).

### 2.3.5 Uporabnost pinije

Pridobivanje užitnih semen, t. i. pinjol je v Sredozemlju danes gospodarsko pomembnejša dejavnost, kot proizvodnja lesa. Storži so pomembni za okras in kurivo. Les je kakovosten, močno smolnat in zato manj priljubljen, uporabljam ga v gradbeništvu in mizarstvu. Nekoč je bila pinija pomembna za pridobivanje smole, danes pa je po vsem Sredozemlju priljubljeno okrasno drevo in jo pogosto jo sadijo zaradi sence (Brus, 2004).

## 2.4 ALEPSKI BOR (*Pinus Halepensis* Mill.)

### 2.4.1 Značilnosti alepskega bora

Alepski bor (Slika 6) je do 20 m visoko in do 1 m debelo vednozeleno iglasto drevo, s krošnjo, ki je v mladosti valjasta, pri starejših drevesih pa široko zaobljena, redka, svetlejša kot pri drugih sredozemskih borih in pogosto nepravilno oblikovana. Večkrat ima neravno deblo. Skorja je sprva svetlo siva in gladka, pozneje rdečerjava in močno razpokana. Tanki poganjki so v premeru merijo 2-3 mm, so svetlo rjavi in goli, brsti so podolgovato jajčasti, do 10 mm dolgi in brez smole. Iglice, ki rastejo po dve v šopku, so 7 - 15 cm dolge in ostanejo na drevesu le dve leti. Moški cvetovi so sprva zeleni, med cvetenjem pa rumeni. Živo rdeča ženska socvetja so pokončna in rastejo na 1 cm dolgih pecljih, ki se po oprasitvi ukrivijo navzdol. Zreli storži so jajčasti, 5-10 cm dolgi, 2,5-4 cm debeli in bleščeče rjave barve (Brus, 2004).

Je značilna sredozemska drevesna vrsta, ki zelo dobro prenaša revna tla. Najraje raste na apnenčastih tleh, uspeva pa tudi na flišu. Zelo dobra visoke temperature in dolgotrajno

sušo (1-5 mesecev). Spodnja meja uspevanja je 250 mm padavin na leto, pod njo pa je rast anomalna in se ustavi (García-Apaza, 2005).

Nizke zimske temperature (pod -3 °C), ključno omejujejo preživetje alepskega bora. Mraz, slana in sneg ga hitro prizadenejo, zato raste samo v toplih obmorskih krajih. Slanih tal ne mara, dobro pa prenaša sol, ki jo po rastiščih blizu morja nosi veter. Je svetloboljubna in hitro rastoča vrsta. Redko preseže starost 250 let (Brus, 2004).



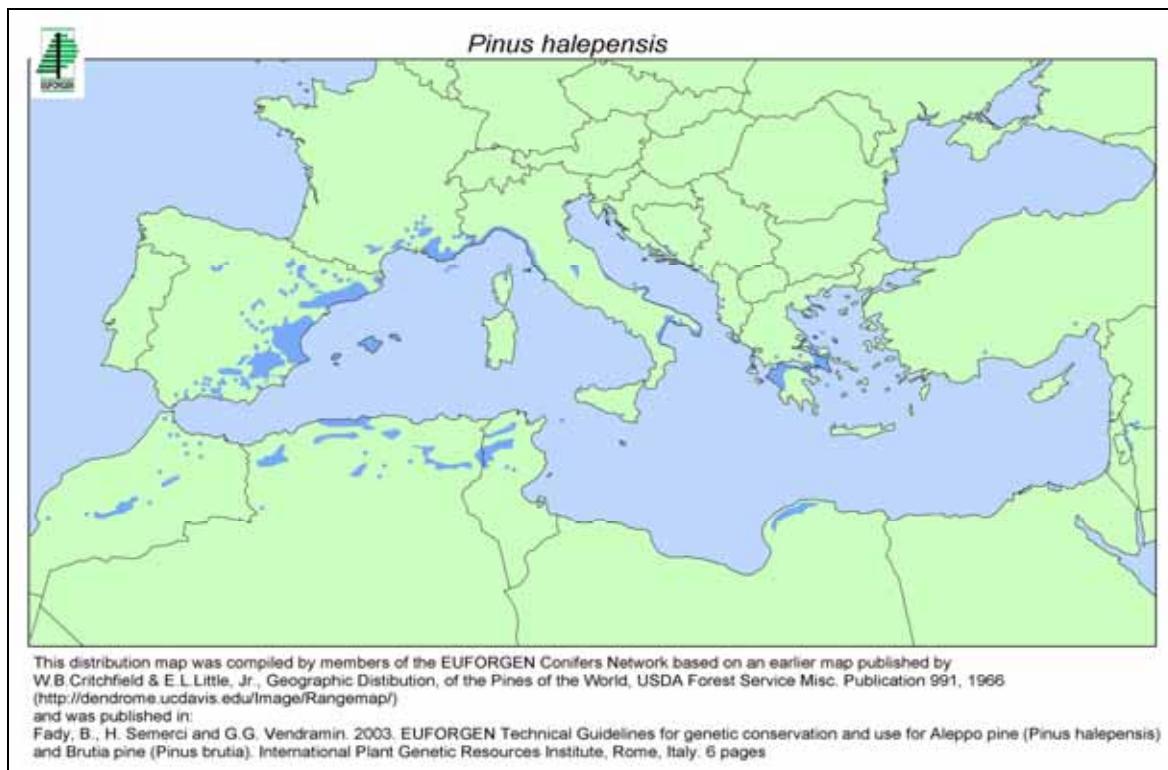
Slika 8: Alepski bor

#### 2.4.2 Alepski bor v svetu

Naravno raste v Sredozemlju. Največje površine porašča v severni Afriki med Marokom in Libijo, ter v južni Španiji in Franciji. Najdemo ga ponekod na Apeninskem polotoku, v Grčiji in zelo malo na Bližnjem vzhodu. Naravno raste tudi na Hrvaškem na otokih južno od Šibenika, na celini pa južno od Splita. Uspeva od morja do 1000 m. n. v. v Grčiji in do 1500 m. n. v. v S Afriki (Brus, 2004).

### 2.4.3 Alepski bor v Španiji

V Španiji je alepski bor zelo razširjena (nasajena) drevesna vrsta, predvsem v sredozemskem delu države. Največ površine porašča v pokrajinhah Katalonija (Cataluña), Valencija (Comunidad Valenciana), Murcija (Murcia), Andaluzija (Andalucía) ter JV del Aragonije (Aragón) in V del pokrajine Kastilije (Castilla la Mancha). Vzroki za tako obsežno razširjenost so zgodovinski in klimatski. V primeru požara se vede kot pionirska, hitro rastoča drevesna vrsta, ki hitro zaščiti razgaljena gozdna tla. Gozdnogojitveno je nezahtevna vrsta, uspeva na revni podlagi. Odporna je na visoke temperature, zato so jo že zgodaj začeli umetno vnašati v aridna (puščavska) in semiaridna (polpuščavska) področja Iberskega polotoka. Ima negativen vpliv na rast drugih rastlin. Ocenjujejo, da je dominantna vrsta na 25.000 km<sup>2</sup> gozdne površine. V provinci Alicante je 2600 od 3000 ha oz. 87 % gozdov alepskega bora. Povprečna gostota alepskih borov je 200 dreves/ha. Uspešnost sajenja je 20 %. Letni prirastek 19- letnega nasada alepskega bora je manj kot 1 m<sup>3</sup>/ha (Maestre in Cortina, 2004).



Slika 9: Areal alepskega bora (Bioversityinternational)

#### **2.4.4 Anatomske značilnosti lesa alepskega bora**

V prečnem prerezu je jedrovina zelo razločna, rdečerjave do svetlo rdeče barve, beljava pa je skoraj popolnoma bela. Meje med branikami so razločne. Gostota kasnega lesa močno variira. Prehod med ranim in kasnim lesom je postopen do zelo oster.

V tangencialnem prerezu so trakovi visoki do 10 celic. V radialnem prerezu piknje v aksialnih traheidah niso pravilno razporejene. Trakovno tkivo je heterocelularno, sestavlja ga parenhimske celice in trakovne traheide, ki imajo na splošno nazobčane stene, le včasih so skoraj popolnoma gladke. V križnem polju med trakovnimi parenhimskimi celicami in aksialnimi traheidami, se nahajajo 1 do 4 pinoidne piknje. Les vsebuje radialne in aksialne smolne kanale. Navadno se nahajajo v kasnem lesu in so obdani s podolgovatimi, tankostenimi epitelnimi celicami (Schweingruber, 1990).

#### **2.4.5 Uporabnost alepskega bora**

Zaradi skromnih potreb in odpornosti je primeren za pogozdovanje suhih kraških goličav na obmorskih področjih. Čeprav ima le srednje kakovosten les, je v večjem delu Sredozemlja pomemben kot lesna vrsta. Les uporablja v gradbeništvu, mizarstvu, sodarstvu, kot kurivo in za gradnjo ladij. Je pomembna vrsta za smolarjenje, ki ga v zadnjem času povsod opuščajo. Zaradi visoke vsebnosti smole in ker raste na najbolj naseljenih obalnih območjih, je požarno močno ogrožen, vendar si po njih hitro opomore. K razširjanju pripomorejo storži, ki ostanejo dolgo zaprti (Brus, 2004).

## 2.5 DENDROKRONOLOGIJA

### 2.5.1 Splošno

Dendrokronologija je veda, ki omogoča datiranje in razlago preteklih dogodkov z analizo branik. Najpogosteje preučuje njihovo širino, ki se iz leta v leto spreminja zaradi vpliva številnih dejavnikov, med katerimi je najpomembnejša klima. Pravi razmah je metoda doživelja šele v zadnjih desetletjih. Arheologi, umetnostni zgodovinarji in restavratorji jo uporabljajo za določevanje starosti zgodovinskih objektov in umetniških predmetov. Posebej jo cenijo tam, kjer zanesljivo datiranje sicer ne bi bilo mogoče.

Preden metodo lahko uporabimo za datiranje, potrebujemo referenčne kronologije letnih prirastkov za drevesno vrsto, regijo in obdobje, ki ga preučujemo. S primernimi kronologijami razpolagajo samo tisti laboratoriji, ki so v metodo vložili več deset let sistematičnega timskega dela (Čufar in sod., 1995).

V zadnjih desetletjih sta se zaradi naraščajočega propadanja gozdov in raziskav globalnih sprememb klime oblikovali posebni veji, dendroekologija in dendroklimatologija.

Drevesni kambij vsako leto proizvede prirastni plašč oz. braniko, ki je sestavljena iz ranega in kasnega lesa. Letni debelinski prirastek je odvisen od vremenskih razmer (predvsem količine padavin in temperature) tekočega leta, nanj pa vplivajo tudi vremenske razmere preteklega leta, gozdarski posegi, onesnaženje okolja, lesni škodljivci in drugi dejavniki.

Širine branik iz leta v leto variirajo zaradi številnih dejavnikov, med katerimi je najpomembnejša klima. Spreminjanje širine branik iste drevesne vrste na istem rastišču navadno niha v istem ritmu, pri čemer pa potek krivulj ni nikoli enak, ampak samo podoben, kar velja tudi za različne lokacije znotraj istega drevesa. Nihanje širin branik za zaporedje nekaj let je neponovljivo (Čufar, 2006).

Dendrokronologija temelji na opazovanju karakterističnega zaporedja različnih širin, ki nam pove, kdaj je drevo zraslo. Iglavci so z dendrokronološkega stališča manj zanesljivi,

saj v izjemnih vremenskih razmerah tvorijo nepopolne branike, pri čemer lahko prirastek enega leta tudi v celoti izostane, možen pa je tudi pojav lažnih branik, kjer nastane v enem letu več prirastnih con, kar otežuje primerjalno delo.

Mesečna količina in razpored padavin sta pomembna za nastanek branik in za njihovo zgradbo. Variabilnost klime, se neposredno odraža v kambijevi aktivnosti drevesa in tudi tvorbi branik. Kambijeva aktivnost se jeseni prekine zaradi prirojenih (genetskih) dejavnikov in nizkih temperatur, lahko pa tudi zaradi poletne suše oz. visokih poletnih temperatur. Če kambij preneha z delovanjem in se po koncu poletne suše zopet aktivira pride do tvorbe dvojnih oz. lažnih branik. V mediteranskem podnebju je ta pojav pogost, vendar je naključen v prostoru in času, kot je naključen razpored padavin.

Sinhroniziranje oz. navzkrižno datiranje zaporedij širin branik sredozemskih drevesnih vrst je možno, vendar težko in zamudno. Zaradi izpadlih in lažnih branik je samo z izvrtki skoraj nemogoče natančno datirati branike, zato si pomagamo s celotnimi prerezi debla (Cherubini in sod., 2003).

Izpad branik je praviloma posledica pomanjkanja asimilatov. Pojav izpadlih ali nesklenjenih branik pri alepskem boru iz Španije lahko delno pojasnimo z dolgimi sušnimi obdobji (Raventós in sod., 2001).

Pojav lažnih branik je praviloma posledica upočasnitve ali prenehanja delovanja kambija med rastno sezono in njegovo ponovno aktivacijo. Rezultat sta lahko dve ali več branik, ki so nastale v isti rastni sezoni. Mehanizem tvorbe lažne branike še ni v celoti pojasnjen, je pa predmet raziskav (Zajec, 2005 po Čufar, De Luis, osebna komunikacija).

Anomalije branik so lahko tudi posledica gozdnih požarov (npr. Srebotnjak, 1997).

Wimmer in sod. (2000) so pri analizi rasti črnega bor (*Pinus nigra* Arn.), iz okolice Dunaja v Avstriji, ugotovili, da je pojav lažnih branik povezan z obilnimi padavinami aprilu, malo ali nič padavinami v maju in obilnimi padavinami v juniju. Drevo je na pomanjkanje odgovorilo z lažno braniko. Zaradi veliko padavin v aprilu je kambij začel proizvajati rani

les, zaradi suše v maju se je rast skoraj ustavila oz. kambij je že začel proizvajati kasni les, kasneje pa zopet rani les.

Kambijkeva aktivnost ni omejena na prostor in čas, zato je zelo občutljiva na okoljske in klimatske dejavnike (količina padavin, temperatura).

Z vzorci, ki imajo veliko manjkajočih in lažnih branik ter vsebujejo druge anomalije, je zelo težko delati, ker ne moremo natančno ugotoviti v katerem letu je posamezna branika nastala oz. izpadla. Problem rešimo najprej z odvzemom vzorcev vzdolž več različnih radijev na isti višini v drevesu in nato na različnih višinah v deblu, saj je možno, da ista branika ne izпадa na vseh nivojih v deblu.

Analiza poteka najprej s primerjavo branik iz iste višine, nato s primerjavo branik iz različnih višin in na koncu s primerjavo branik med različnimi drevesi.

### **2.5.2 Dendrokronologija - možnost uporabe in omejitve**

Dendrokronologija je med drugim uporabna v naslednjih primerih:  
napoved poseka drevesa (kadar je prisotna skorja),  
določitev števila manjkajočih branik (kadar je znano leto poseka),  
določevanje starosti zgodovinskih objektov z vgrajenim lesom, pri čemer predvidevajo, da je bil les vgrajen takoj po poseku,  
določevanje starosti umetniških slik na lesenih ploščah,  
določevanje starosti glasbenih instrumentov.

Uporablja se za datiranje, ekološke raziskave, pomembna je za konzervatorstvo in restavratorstvo. Dendrokronološko datiranje je edina absolutna metoda določevanja starosti lesenih objektov na svetu (Čufar, 2006).

### **2.5.3 Postopek dendrokronološke analize**

Dendrokronološka analiza se začne z odvzemom, pripravo in analizo vzorcev. Pri datiranju se srečujemo s številnimi problemi, kot so problematične drevesne vrste, premajhno število branik in nezmožnost razločevanja branik (Čufar in Levanič, 2000, Levanič in Čufar, 2000).

Ne glede na to za kaj dendrokronološko metodo uporabljamo, je prvi korak vedno datiranje oz. določitev leta v kateri je posamezna branika nastala. Za analizo in datiranje branik je v veljavi več različnih metod. V ameriških laboratorijih uporabljajo metode, kjer najprej preštejemo in pregledamo branike, nato pa les različnih vzorcev primerjamo. Če poznamo leto odvzema vzorca lesa, ker se na njem nahaja skorja, lahko za neproblematične branike določimo, kdaj so nastale in evidentiramo v katerem časovnem obdobju so nastale branike s posebnostmi. Pri datiranju si pomagamo s skeletnimi grafi (skeleton plot) (prim. Kaenel in Schweingruber, 1995). Ko določimo datume nastanka branik, izmerimo še njihove širine (Čufar in De Luis, osebna komunikacija). V evropskih laboratorijih večinoma najprej izmerimo širine branik, nato pa grafe zaporedij širin branik sinhroniziramo (primerjamo) in datiramo s primerjanjem izmerjenega zaporedja širin branik z drugimi zaporedji ali z referenčno kronologijo (Čufar, 2006).

V našem primeru smo si pomagali s kombinacijo obeh metod. Z ameriško smo rešili veliko problemov z delno izpadlimi in lažnimi branikami, z merjenjem, sinhroniziranjem in datiranjem pa smo rešili večino problemov s popolnoma izpadlimi branikami.

### **2.5.4 Sinhroniziranje kronologij**

S sinhronizacijo zaporedij širin branik le-te postavimo v sinhron položaj v času. Če jih sinhroniziramo z datirano referenčno krivuljo jih datiramo, t. j., določimo leto nastanka vsake branike (Čufar, 2006). S tem postopkom ugotovimo tudi izpadle in nesklenjene branike.

Kadar ne uporabljamo referenčne kronologije, postopek začnemo tako, da iz baze podatkov izberemo zaporedje širin branik, ki nima večjih nepojasnjениh odstopanj. Izbrano zaporedje nam služi za osnovo, s katero primerjamo ostala izbrana zaporedja. Nato izberemo pet drugih zaporedij in jih poskušamo sinhronizirati s prvim osnovnim zaporedjem. Ko najdemo sinhrono lego vsem petim zaporedjem, jih shranimo na računalniški medij. Potem vzamemo naslednjih pet zaporedij in postopek ponavljamo, dokler ne sinhroniziramo vseh zaporedij v izbrani bazi. V naslednji fazi medsebojno primerjamo pozicije sinhronih leg. Če se pozicije ujemajo, jih shranimo, v nasprotnem primeru problematična zaporedja izključimo (Levanič, 1996).

Sinhroniziranje poteka tako, da primerjamo podobnost poteka širine branik v določenem obdobju. S prekrivanjem narisane krivulje premikamo, dokler se ne ujamejo značilna leta (minimumi in maksimumi). Uporabljamo tudi statistično podprte metode za določevanje podobnosti posameznih odsekov različnih krivulj, zadnjo oceno pa vedno poda izkušen dendrokronolog.

Ko analiziramo vpliv klime na širino branik, je iz zaporedij širin branik potrebno odstraniti vpliv neklimatskih dejavnikov v opazovanem letu. To je predvsem starostni trend drevesa, oz. njegov rastni ritem, ki je genetsko pogojen.

S pomočjo matematično-statističnih modelov lahko zaporedje širin branik razstavimo na posamezne komponente in s tem izločimo nezaželene dejavnike, ter ohranimo tiste, ki nas zanimajo.

Za sinhroniziranje izmerjenega zaporedja širine branik potrebujemo t.i. standardno oz. referenčno kronologijo. To je krivulja širin branik datiranega materiala iste drevesne vrste iz primerljivega rastišča, za obdobje, ki nas zanima. Navadno lahko izvedemo primerjave samo znotraj iste drevesne vrste, saj različne drevesne vrste na različne klimatske vplive reagirajo (se odzivajo) različno.

*Referenčna kronologija* navadno začne nastajati z analizo živih dreves, pri čemer je tem bolje, čim starejša so drevesa. Nanjo se »prilepijo« kronologije, dobljene z analizo zgodovinskega lesa, lesa iz različnih konstrukcij itd.

*Datiranje* izvedemo po uspešni sinhronizaciji z ovrednotenjem časovne osi na preučevani krivulji s pomočjo pravega odseka na standardni kronološki krivulji. Tem daljši je vzorec, bolj zanesljivo je datiranje. Lahko se zgodi, da lesa ni mogoče datirati, kar lahko temelji na povsem individualnih rastnih posebnostih.

### **2.5.5 Matematično statistične metode za obdelavo kronologij**

#### **2.5.5.1 Vrednost t po Baillie-Pilcherju ( $t_{BP}$ )**

Izračun koeficienta  $t_{BP}$  ali t vrednosti po Baillie-Pilcherju, je parametričen statistični test (Baillie in Pilcher, 1973 cit. po Levanič, 1996). Namen njegovega izračunavanja je pridobiti objektivno mero za ugotavljanje podobnosti med dvema zaporednjima širin branik oz. kronologijama. S primerjanjem krivulj na osnovi t vrednosti, preverimo optično datiranje velikega števila kronologij. Primerjava poteka vedno med dvema krivuljama in temelji na izračunu korelačijskega koeficienta, korigiranega s kvadratnim korenom iz števila stopinj prostosti. Koeficient  $t_{BP}$  lahko zavzame vrednosti med 0 in 100. Mejna vrednost za statistično značilno podobnost dveh zaporedij širin branik je  $\geq 4$ .

Nivo značilnosti za  $t_{BP}$  - vrednost je vnaprej določen: za  $t_{BP}$  - vrednost od 3–5 je nivo označen z \* ; za  $t_{BP}$  – vrednost med 5–10 je nivo označen z \*\* in za  $t_{BP}$  – vrednost nad 10 je nivo označen z \*\*\*.

#### **2.5.5.2 Koeficient časovne skladnosti (GLK)**

Koeficient časovne skladnosti (nem. Gleichläufigkeit), je po definiciji mera ujemanja dveh kronologij na opazovanem intervalu (Eckstein in Bauch, 1969, cit. po Levanič, 1996). Pri

tem primerjamo dva vzorca rasti med seboj. Koeficient časovne skladnosti izražamo v odstotkih in zavzame vrednosti med 0 in 100%. Večja je vrednost, bolj sta si dve kronologiji podobni. Mejna vrednost za značilno podobnost dveh zaporedij širin branik je 65 % ali več.

#### 2.5.5.3 Indeks navzkrižnega datiranja (CDI)

Statistični kazalnik indeks navzkrižnega datiranja (ang. Cross Date Index), podaja informacijo o ujemaju dveh kronologij (Schmidt, 1987 cit. po Zajec, 2005). Združuje kombinacijo koeficiente časovne skladnosti (GLK) in koeficiente  $t_{BP}$  ter tako omogoča lažje in hitrejše sinhroniziranje kronologij. Uporabljamo ga kot pomoč pri sinhroniziranju, predvsem takrat, ko pride med koeficientoma  $t_{BP}$  in GLK do večjih razhajanj.

#### 2.5.5.4 Prekrivanje kronologij (Olp.)

Prekrivanje kronologij (ang. Overlap) pomeni dolžino prekrivanja kronologij v letih.

### 2.5.6 Dendroklimatologija in dendroekologija

Analiza širin branik pri drevesih iz sredozemskih regij je pomembna za razumevanje in predvidevanje vplivov globalnih sprememb na pomembne ekološke procese, kot je med drugim dezertifikacija (izsuševanje zemlje in napredovanje puščave)(Cherubini in sod., 2003).

Zaporedje širin branik je posredni pokazatelj klimatskih razmer, zato v dendroklimatologiji primerjajo nihanje širin branik v povezavi z vremenskimi dejavniki, količino padavin in temperaturo med vegetacijsko (rastno) dobo.

V splošnem velja, da je v klimatsko ugodnem letu širina branike večja kot v klimatsko neugodnem letu. Temu pa ni vedno tako, saj lahko npr. ranitev, mehanska obremenitev, veter in prerazporeditev avksina (rastlinski rastni hormon) povzročijo pospešeno radialno rast drevesa. Širina branike torej nujno ne pomeni, da je bilo leto v katerem je prirasla klimatsko ugodno.

Pri iglavcih na splošno velja, da z naraščajočo širino branike delež kasnega lesa in s tem povezana gostota pada.

Pri iglavcih iz popluščavskih rastišč širine branik vsebujejo najboljšo klimatsko informacijo. Z merilnimi instrumenti se jih da relativno lahko izmeriti. Iz meritev so razvidne ekstremne vrednosti širine branik in nesklenjena časovna zaporedja širin branik. Drevesa iz območij z zmerno klimo vsebujejo zelo veliko informacij povezanih s klimatskimi dejavniki (Schweingruber, 1996).

Težko je ločiti klimatske in antropogene vplive okolja na rast dreves, zato so razvili statistične metode s pomočjo katerih izločijo vse znane vplive, ki jih je mogoče določiti. Raziskave so uporabne, ko želimo ovrednotiti vpliv določenega dejavnika (npr. onesnaženost okolja) na spremenjeno rast dreves. Pri tem je potrebna zelo natančna izbira dreves in rastišča.

### 3 MATERIAL IN METODE

#### 3.1 SESTOJI V ŠPANIJI

Dendrokronološke raziskave alepskega bora (*Pinus halepensis* Mill) in pinije (*Pinus pinea* L.) smo opravili v JV Španiji v kraju Guardamar del Segura, ki leži 45 km SZ od Alicanteja v pokrajini Valencija (España – Comunidad Valenciana – Provincia de Alicante – Comarca Vega Baja – Municipio de Guardamar del Segura – Dunas de Guardamar del Segura).

Na Sliki 10 je prikazano območje sipin v kraju Guardamar del Segura, kjer smo posekali drevesa alepskega bora (rumena puščica) in drevesa pinije (rdeča puščica).



Slika 10: Satelitski posnetek kraja Guardamar del Segura in sipin (Google Earth, 2007)

Lokacija rastišča alepskega bora:

38° 05' 36.91" S

0° 38' 58.78" Z

6 m nadmorske višine

Lokacija pinije:

38° 08' 45.65" S

0° 39' 05.05" Z

50 m nadmorske višine

Na območju sipin smo sredi meseca oktobra (14. 10. 2005), bolj ali manj na koncu rastne sezone, posekali tri pinije, štirinajst dni kasneje (27. 10. 2005) pa še tri alepske bore.

Pinijeva drevesa smo našli bolj v notranjosti, nekaj km od morja, izven naselja, v redkem sestoju posameznih dreves. Drevesa alepskega bora smo našli 200–300 m od morske obale, izven naselja, v mešanem sestoju evkaliptusov, alepskega bora, pinije, datljevih palm, agav, kaktusov . . .

V Španiji je sekanje dreves prepovedano, zato smo v okviru projekta dobili posebno dovoljenje lokalne vlade španske regije Valencija (Generalitat Valenciana in Vivero Forestal Guardamar) za posek dreves za namen raziskave. Za proučevanje zgradbe in lastnosti lesa je najbolj učinkovita destruktivna metoda, zanjo pa smo se odločili zato, da bi preverili ali so rezultati raziskav, ki so jih španski kolegi opravili na izvrtkih iz prsne višine živih dreves reprezentativni.

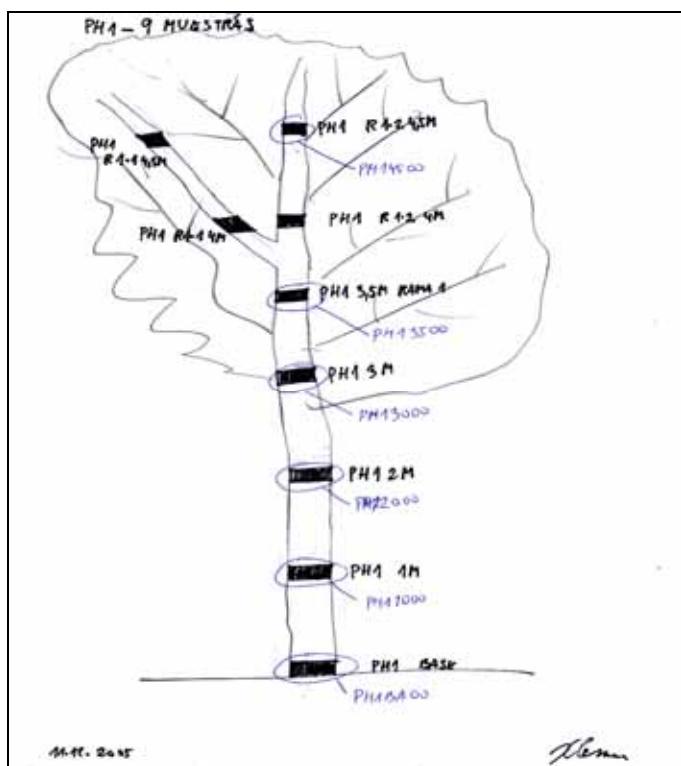
### 3.2 IZBOR TESTNIH DREVES IN ODVZEM KOLUTOV

Za posek smo izbrali tipična, odrasla drevesa brez vidnih mehanskih poškodb in anomalij v rasti, z bolj ali manj nepoškodovano krošnjo. Posekali smo tri pinije in tri alepske bore. Posek so pod našim nadzorom izvedli delavci iz podjetja Oasis Plantas S. L., Viveros la Torre. Pred posekom smo določili S in J stran debla, po poseku pa premer, višino drevesa in začetek krošnje. Nato smo deblo razrezali in odvzeli kolute za nadalje raziskave. Prvi

kolut na panju (0,33 m), naslednji kolut na prsnih višinah (1,2 m), potem pa na vsak tekoči meter do vrha debla oz. do krošnje. Takoj po poseku smo kolute označili s kodami in jih pripravili za transport.



Slika 11: Posek drevesa



Slika 12: Skica drevesa z odvzetimi koluti

Na Sliki 12 je s skico prikazano prvo drevo alepskega bora z vsemi odvzetimi koluti. Obkroženi so koluti, ki smo jih uporabili v raziskavah. Skice za vsa tri drevesa pinije in vsa tri drevesa alepskega bora so podane v prilogi.

V Preglednici 1 so predstavljeni osnovni podatki o posekanih drevesih in odvzetih kolutih, v Preglednici 2 pa je razložena oznaka oz. kodni zapis odvzetih kolutov.

Preglednica 1: Pregled posekanih dreves in kode odvzetih kolutov pri posameznih drevesih

Višina v drevesu	<i>Pinus pinea</i> L. (PP)			<i>Pinus halepensis</i> Mill. (PH)		
	PP1	PP2	PP3	PH1	PH2	PH3
0,33 m	PP10BA00	PP20BA00	PP30BA00	PH10BA00	PH20BA00	PH30BA00
1,33 m	PP101000	PP201000	PP301000	PH101000	PH201000	PH301000
2,33 m	PP102000	PP202000	PP302000	PH102000	PH202000	PH302000
3,33 m	PP103000	PP203000	PP303000	PH103000	PH203000	PH303000
3,83 m	-	-	-	PH103500	-	-
4,33 m	PP104000	-	PP304000	PH104500	PH204000	PH304000
4,83 m	-	-	-	PH104500	-	-
5,33 m	-	-	-	-	PH205000	PH305000
5,93 m	-	-	-	-	-	PH305600
7,33 m	-	-	-	-	-	PH307000
8,33 m	-	-	-	-	-	PH308000
Premer debla na panju	18 cm	17 cm	20 cm	17 cm	16 cm	16 cm

Preglednica 2: Razlaga oznake odvzetih kolutov

Drevesna vrsta	Drevo	Višina odvzema koluta	Smer merjenja branik
PP – pinija	10-drevo št. 1	BA (na panju - 0,33m)	00-osnovni kolut
PH - alepski bor	20-drevo št. 2 30- drevo št. 3	10 (višina 1,33m) 20 (višina 2,33m) itd.	NN, NE, EE, SE, SS, SW, WW, NW – smeri merjenja branik

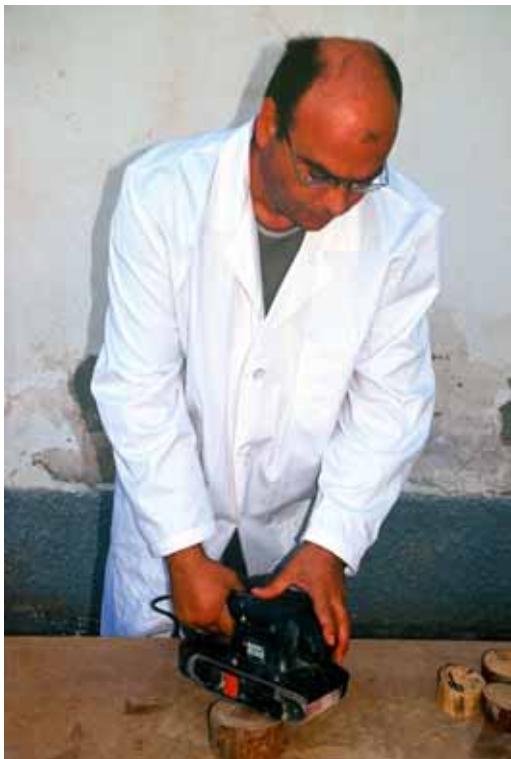
### 3.3 PRIPRAVA KOLUTOV

Kolute, ki smo jih dobili iz dreves na rastišču Guardamar del Segura smo za meritev pripravili v laboratoriju Oddelka za ekologijo, Fakultete za znanost, Univerze v Alicanteju pod mentorstvom prof. dr. Josepa Raventósa, dr. Martína De Luisa in tehnika José-ja Huesce.

Najprej smo jih poškropili z blago raztopino alkohola, da smo onemogočili morebitno delovanje insektov in gliv, nato smo jih previdno sušili v laboratoriju, pri temperaturi 23° C in relativni zračni vlagi 50 %, na koncu pa še štiri dni v sušilniku pri temperaturi 60° C. Ko smo jih vzeli iz sušilnika, smo jih še pol dneva kondicionirali pri sobnih razmerah. Potem smo, najprej strojno, nato pa še ročno, zbrusili prečno površino. Z ročnim tračnim brusilnim strojem smo brusili z brusilnimi papirji granulacij (zrnavosti) 40, 80 in 120, ročno pa še z brusilnimi papirji granulacij 280, 360 in 500. Vsi postopki brušenja so bili naporni in zamudni, na koncu pa smo dobili izredno gladko površino, ki omogoča, da pod stereo mikroskopom vidimo posamezne celice, kar je nujno za dendrokronološko analizo branik. Material za brušenje (brusilni stroj, različne granulacije papirja) in postopki brušenja so prestavljeni na Slikah od 13 do 15.



Slika 13: Material za brušenje



Slika 14: Strojno brušenje



Slika 15: Ročno brušenje

Po brušenju smo na zglajeno površino kolutov zarisali osem radijev, po katerih je kasneje potekalo merjenje. Označili smo glavno smer (črna črta) in vse smeri označili (kodificirali), da kasneje ni prihajalo do zmešnjave. Po tem smo vse kolute fotografirali z digitalnim fotoaparatom SONY, z resolucijo 8 milijonov točk. Slike smo natisnili na papir velikosti A3, ki nam je olajšala vizualno določanje branik, predvsem pri piniji, kjer jih pogosto ne moremo razločiti s prostim očesom.



Slika 16: Fotografija koluta z označenimi smermi merjenja. (foto: Josep Raventós)

### 3.4 ANALIZA IN MERJENJE ŠIRIN BRANIK

#### 3.4.1 Analiza branik

Z analizo branik smo začeli pri piniji, ki ima manj izpadlih branik in anomalij kot so lažne branike. Vedno smo začeli z meritvami na kolatu, ki je bil vzet na najvišjem mestu v drevesu, saj je na njem najmanj branik, predvsem zadnje pa so praviloma širše in bolj razločne, kot na kolutih s spodnjih nivojev. Nadaljevali smo z analizami kolutov z nižjih nivojev, do tistega z baze drevesa. Analiza branik je potekala v osmih smereh, ki smo jih razdelili na odseke med jasno vidnimi in razločnimi branikami. Le-te smo označili, nato pa v vseh osmih smereh po odsekih preverili in prešteli število branik (Slika 17). Število branik se na različnih radijih istega koluta praviloma ni ujemalo. Analiza vzdolž vseh

radijev po celotnem obsegu koluta je pokazala nesklenjene in dvojne branike. Ker smo poznali leto nastanka zadnje branike v drevesu (leto poseka), smo po določitvi manjkajočih branik, že pred merjenjem širin za vse branike določili, v katerem letu so nastale. Ugotovili smo tudi, v katerem letu je branika izpadla in kdaj je nastala dvojna branika. Določitev branik je potekala na osnovi značilnih let in vzorcev, ki so se pojavljali na vseh kolutih. To je omogočilo dokaj natančno določitev izpadlih in dvojnih branik. Po končanih meritvah širin branik, smo datiranje še enkrat preverili.

Natančneje smo analizirali samo izpadle in normalne branike, dvojnih branik nismo zasledovali in opazovali, pač pa smo jih upoštevali pri dendrokronološki analizi.

Rezultati analize in merjenja branik pri piniji so kasneje pomagali pri analizi branik alepskega bora, ki je s stališča dendrokronologije zelo težavna lesna vrsta, še posebej, če raste na polpuščavskih rastiščih, kot je Guardamar v Španiji. Analiza branik pri alepskem boru je potekala po enakem postopku kot pri piniji.



Slika 17: Fotografija koluta z analiziranimi in preštetimi branikami (foto: Josep Raventós)

### 3.4.2 Merjenje širin branik

Meritve smo opravili v Laboratoriju za ekologijo na Univerzi v Alicanteju. Uporabljali smo naslednjo opremo:

- merilno mizo znamke SCIEM,
- stereo mikroskop Nikon z digitalno video kamero Kappa,
- osebni računalnik PC s programskim okoljem Windows in programom Past32-700 Lite v 2.1 za merjenje širin branik.

Podjetje SCIEM (Scientific Engineering and Manufacture) merilno opremo in programe (hardware in software) razvija v sodelovanju z VIAS-om (Vienna Institute for Archaeological Science).



Slika 18: Merilna oprema

Merjenje je bilo relativno enostavno, zato pa toliko bolj zamudno, saj je bilo potrebno izmeriti širine branik vzdolž 8-ih radijev na 35-ih kolutih. Pri merjenju in sinhroniziranju sta nam bili v pomoč lokalni kronologiji obeh borov za Guardamar, tako da smo lahko sproti preverjali točnost meritev. Vzorce smo s pomočjo merilne mize premikali v smeri od oboda drevesa proti strženu in s pritiskom na merilni gumb zabeležili meritev oz. širino branike na 1/100 mm natančno. Iz merjenja so bili izvzeti koluti oz. radiji kjer so bili prisotni reakcijski les, grče in druge anomalije.

### 3.4.3 Obdelava meritev

Meritve smo sinhronizirali in s tem potrdili ali zavrgli nesklenjene in izpadle branike.

Dobljene krivulje (zaporedja širin branik) smo datirali in shranili kot izhodiščne podatke za nadalje delo.

Podatke dobljene z merjenjem širin branik smo vnesli v program ARSTAN, ki nam je izračunal statistične kazalnike.

Iz koluta na katerem smo izmerili širine branik vzdolž 8-ih radijev, smo dobili podatke za krivulje povprečne vrednosti širin branik za posamezne kolute, nato povprečne vrednosti za drevo in na koncu za drevesno vrsto.

Izdelali smo tudi lokalne kronologije za posekana drevesa in jih primerjali z lokalnima kronologijama alepskega bora in pinije, ki veljata za območje, kjer smo drevesa posekali.

### 3.4.4 Standardizacija kronologij s programom ARSTAN

Standardizacijo zaporedij širin branik smo izvedli s programom ARSTAN, ki smo ga uporabili tudi za izračun kronologij za posekana drevesa alepskega bora in pinije. ARSTAN omogoča izračun treh tipov kronologij, kronologijo širin branik (ARSTAN raw), standardno kronologijo(ARSTAN standard) in kronologijo statističnih ostankov (ARSTAN residual) (Holmes 1994).

Izdelali smo kronologijo statističnih ostankov (ARSTAN residual) in sicer zato, da smo lahko kronologiji posekanih dreves alepskega bora in pinije primerjali s kronologijami alepskega bora in pinije, ki so jih že prej sestavili za območje, kjer smo posekali preučevana drevesa.

Izračunali smo koeficient časovne skladnosti (GLK), t vrednost po Baillie Pilcherju ( $t_{BP}$ ), indeks navzkrižnega datiranja, (CDI) in ugotovili prekrivanje kronologij (Olp.) v letih.

## 4 REZULTATI

### 4.1 OSNOVNI PODATKI

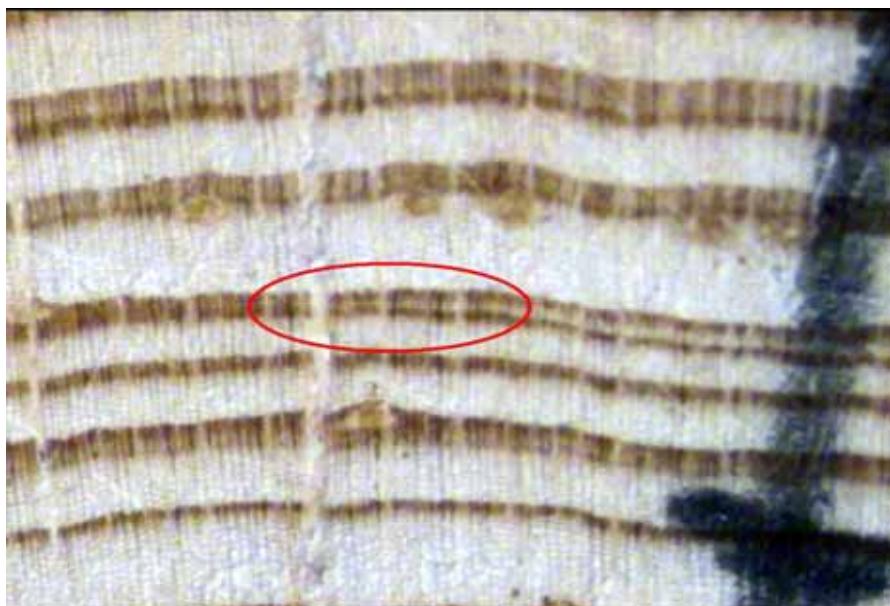
Preglednica 3: Osnovni podatki o kolutih in opravljenih meritvah

ZAP. ŠT.	DREVO	OZNAKA KOLUTA	VIŠINA V DREVESU (m)	ŠT. SMERI MERJENJA	SKUPNO ŠT. BRANIK	SKUPNO ŠT. IZPADLIH BRANIK	PRVO LETO	ZADNJE LETO
1	1.pinija	PP10BA	0,33	8	651	48	1924	2005
2	1.pinija	PP1010	1,33	8	608	53	1930	2005
3	1.pinija	PP1020	2,33	8	550	76	1937	2005
4	1.pinija	PP1030	3,33	8	448	75	1950	2005
5	1.pinija	PP1040	4,33	8	282	62	1970	2005
6	2.pinija	PP20BA	0,33	8	648	65	1925	2005
7	2.pinija	PP2010	1,33	8	592	88	1932	2005
8	2.pinija	PP2020	2,33	8	536	73	1939	2005
9	2.pinija	PP2030	3,33	8	384	56	1958	2005
10	3.pinija	PP30BA	0,33	8	632	3	1927	2005
11	3.pinija	PP3010	1,33	8	536	17	1939	2005
12	3.pinija	PP3020	2,33	5	260	13	1954	2005
13	3.pinija	PP3030	3,33	8	256	21	1974	2005
14	3.pinija	PP3040	4,33	8	119	10	1989	2005
15	1.al.bor	PH10BA	0,33	7	681	167	1908	2005
16	1.al.bor	PH1010	1,33	8	776	179	1909	2005
17	1.al.bor	PH1020	2,33	8	720	153	1916	2005
18	1.al.bor	PH1030	3,33	8	688	116	1920	2005
19	1.al.bor	PH1035	3,83	8	672	122	1922	2005
20	1.al.bor	PH1045	4,83	8	640	80	1926	2005
21	2.al.bor	PH20BA	0,33	7	651	91	1913	2005
22	2.al.bor	PH2010	1,33	8	717	113	1915	2005
23	2.al.bor	PH2018	2,13	8	656	85	1924	2005
24	2.al.bor	PH2030	3,33	8	616	50	1929	2005
25	2.al.bor	PH2040	4,33	8	463	27	1949	2005
26	2.al.bor	PH2050	5,33	8	313	41	1966	2005
27	3.al.bor	PH30BA	0,33	8	768	230	1910	2005
28	3.al.bor	PH3010	1,33	8	736	243	1914	2005
29	3.al.bor	PH3020	2,33	8	688	176	1920	2005
30	3.al.bor	PH3030	3,33	8	616	129	1927	2005
31	3.al.bor	PH3040	4,33	8	456	96	1948	2005
32	3.al.bor	PH3050	5,33	8	392	75	1957	2005
33	3.al.bor	PH3056	5,93	8	360	75	1961	2005
34	3.al.bor	PH3070	7,33	8	304	40	1968	2005
35	3.al.bor	PH3080	8,33	8	280	5	1971	2005

#### 4.1.1 Anatomske posebnosti branik

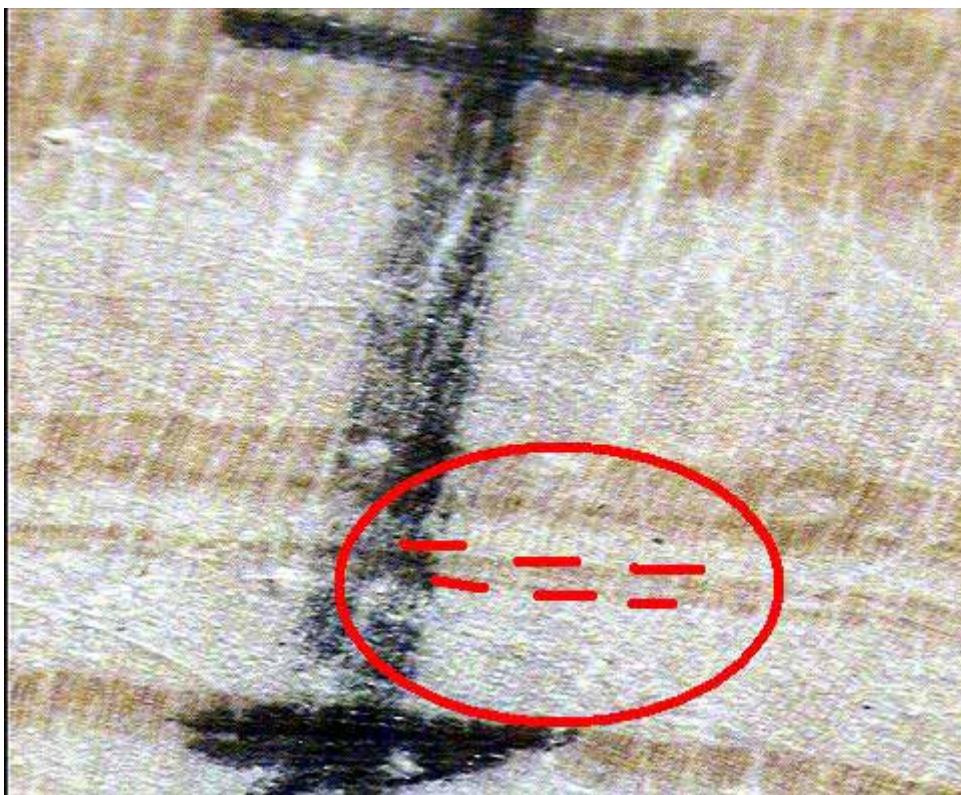
Ker so definicije anomalij v zgradbi branik v literaturi različne, v nadaljevanju podajamo, kako smo definirali normalne, izpadle, delno izpadle in dvojne oz. lažne branike, ki smo jih z dendrokronološko metodo lahko datirali (določili v katerem letu so nastale). Po obodu koluta smo zasledili številne popolne ali delne izpade branik, kar smo deloma ugotovili s sledenjem iste branike na različnih radijih istega koluta in s primerjanjem različnih kolutov med seboj. Večji problem so predstavljala območja z deset ali več branikami, kjer ni bilo jasnega prehoda med ranim in kasnim lesom znotraj branike in jasne razmejitve med različnimi branikami.

Anatomske posebnosti oz. nepravilnosti v rasti so predstavljene na Slikah 19, 20 in 21.



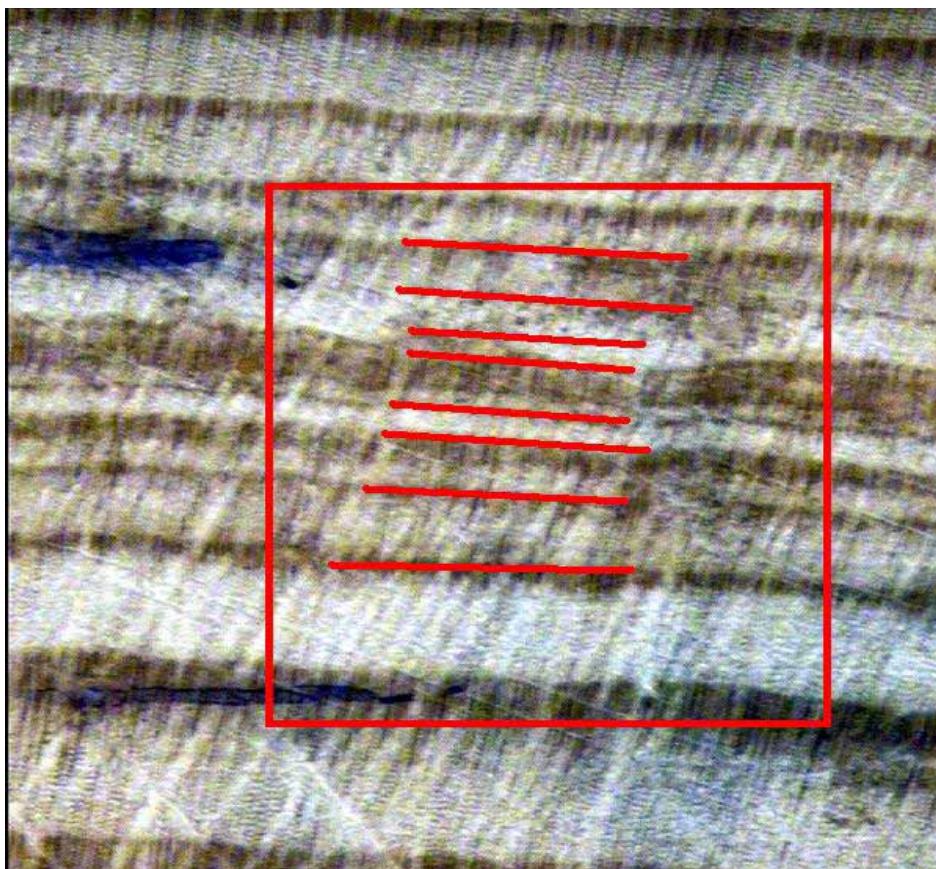
Slika 19: Neskljenjena branika

Slika 19 prikazuje nesklenjeno braniko, ki je na enem delu izpadla in ni kontinuirana. Z redečo je obkrožen prehod iz dveh v eno braniko, torej mesto, kjer je ena branika izpadla.



Slika 20: Dvojna branika

Na Sliki 20 je prikazana dvojna branika (območje v rdečem krogu), ki pomeni prirastek drevesa v enem letu, vendar imamo vtis, da opazujemo dve braniki (prekinjene črte) prirasli v dveh letih. Z natančno analizo in merjenjem smo ugotovili, da sta »ti dve braniki« prirasli v enem letu in da sta torej samo ena branika.



Slika 21: Nejasna cona

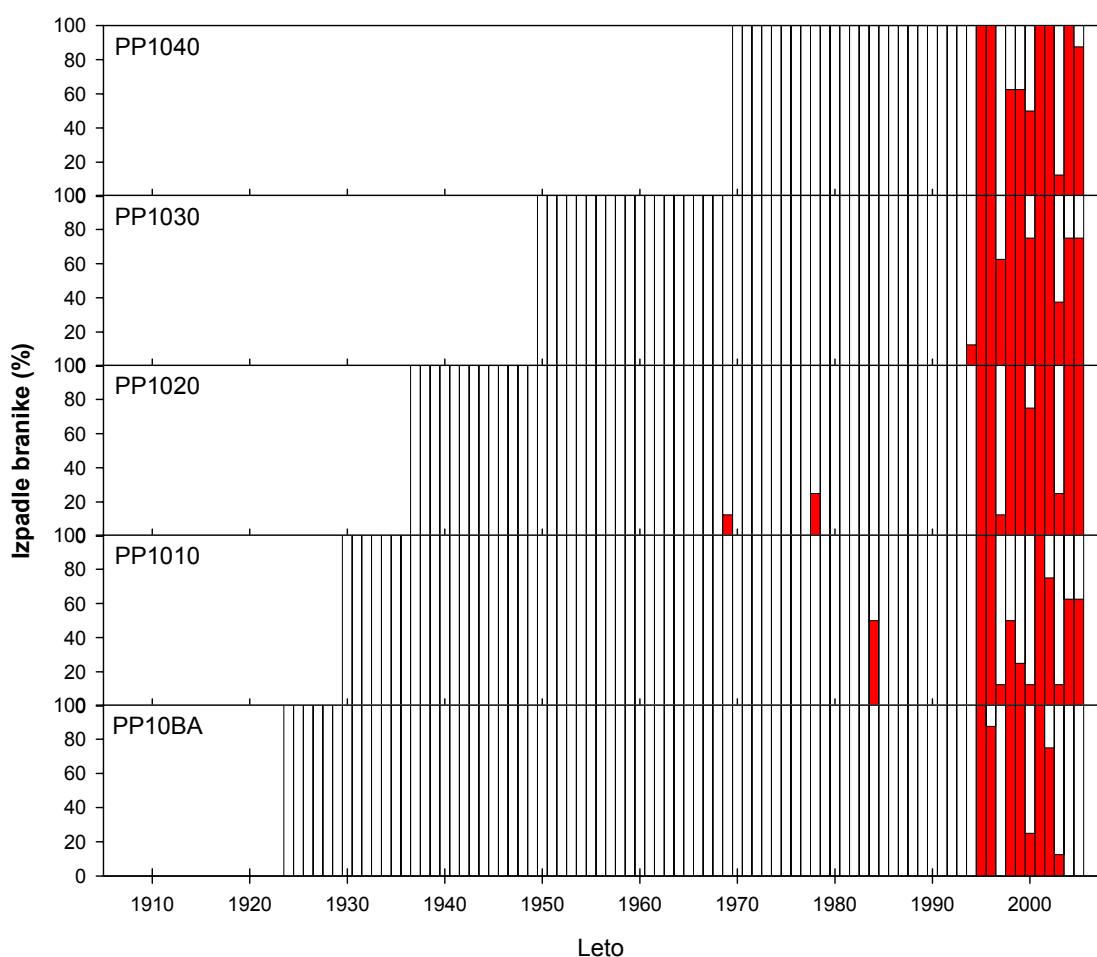
Slika 21 prikazuje nejasno cono (rdeč kvadrat) več različnih branik (rdeče črte), med katerimi ni jasno razločne meje med dvema sosednjima branikama. Prav tako ni jasne razmejitve med ranim in kasnim lesom v isti braniki.

## 4.2 PINIJA (*Pinus pinea* L.)

### 4.2.1 Analiza branik

Začeli smo s pinijo, ki je z vidika dendrokronološkega obravnavanja manj zahtevna in nima toliko nepravilnosti v rasti, tiste, ki so prisotne, pa so sorazmerno lahko določljive.

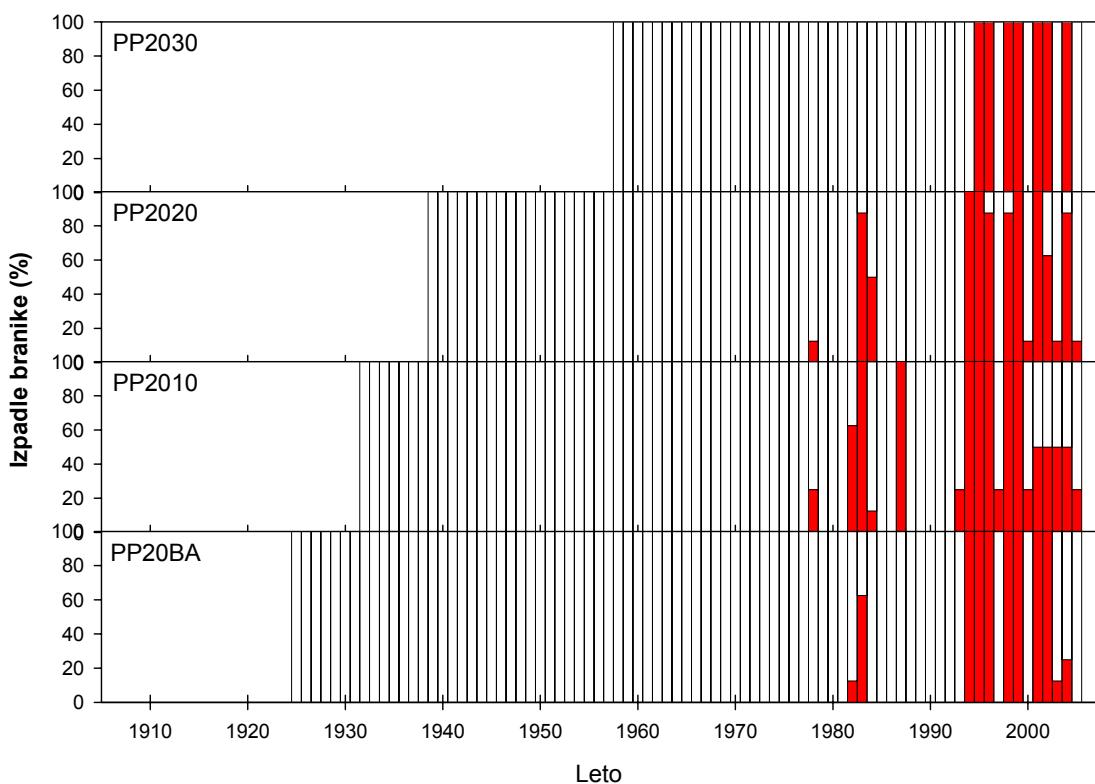
Izdelali smo grafe o deležu normalnih, nesklenjenih in izpadlih branik na različnih nivojih v deblu za vsako pinijevje drevo posebej. Grafi so prikazani na Slikah od 22 do 24.



Slika 22: Odstotni deleži normalnih (belo) in izpadlih branik (rdeče) pri prvem drevesu pinije na 5-ih različnih nivojih v deblu v odvisnosti od časa

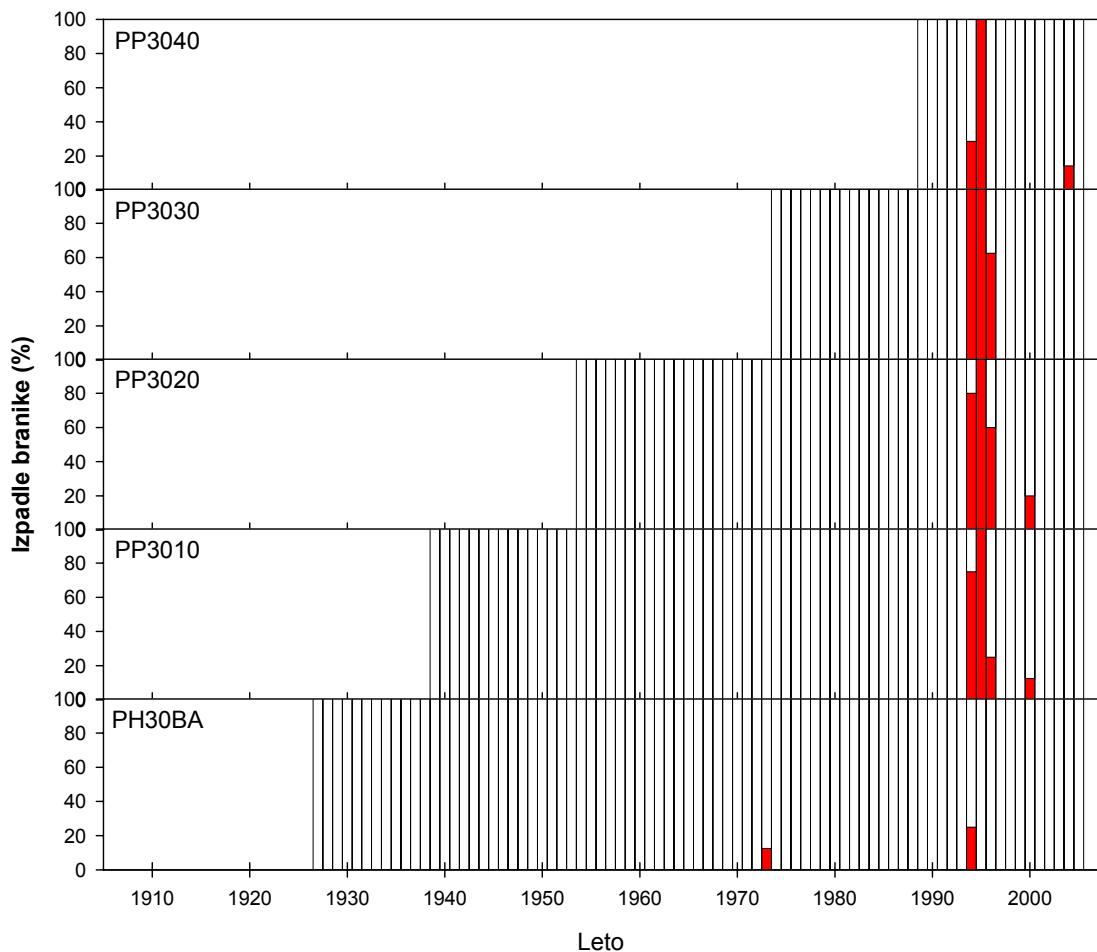
Grafi (Slika 22) prikazujejo delež normalnih in manjkajočih branik pri prvem drevesu pinije, na 5-ih različnih nivojih v deblu. Iz grafov je razvidno, da so samo nekatere branike

manjkale na vseh 8 radijih (100 % delež izpadlih branik) in da je nekoliko več manjkajočih branik (popoln izpad, delen izpad) v zgornjih delih debla. Večino izpadov branik smo zabeležili po letu 1995, največ pa v letih od 1995 do 2002. Pred letom 1995 so se izpadi branik pojavili samo v 3 letih in samo na dveh nivojih v deblu.



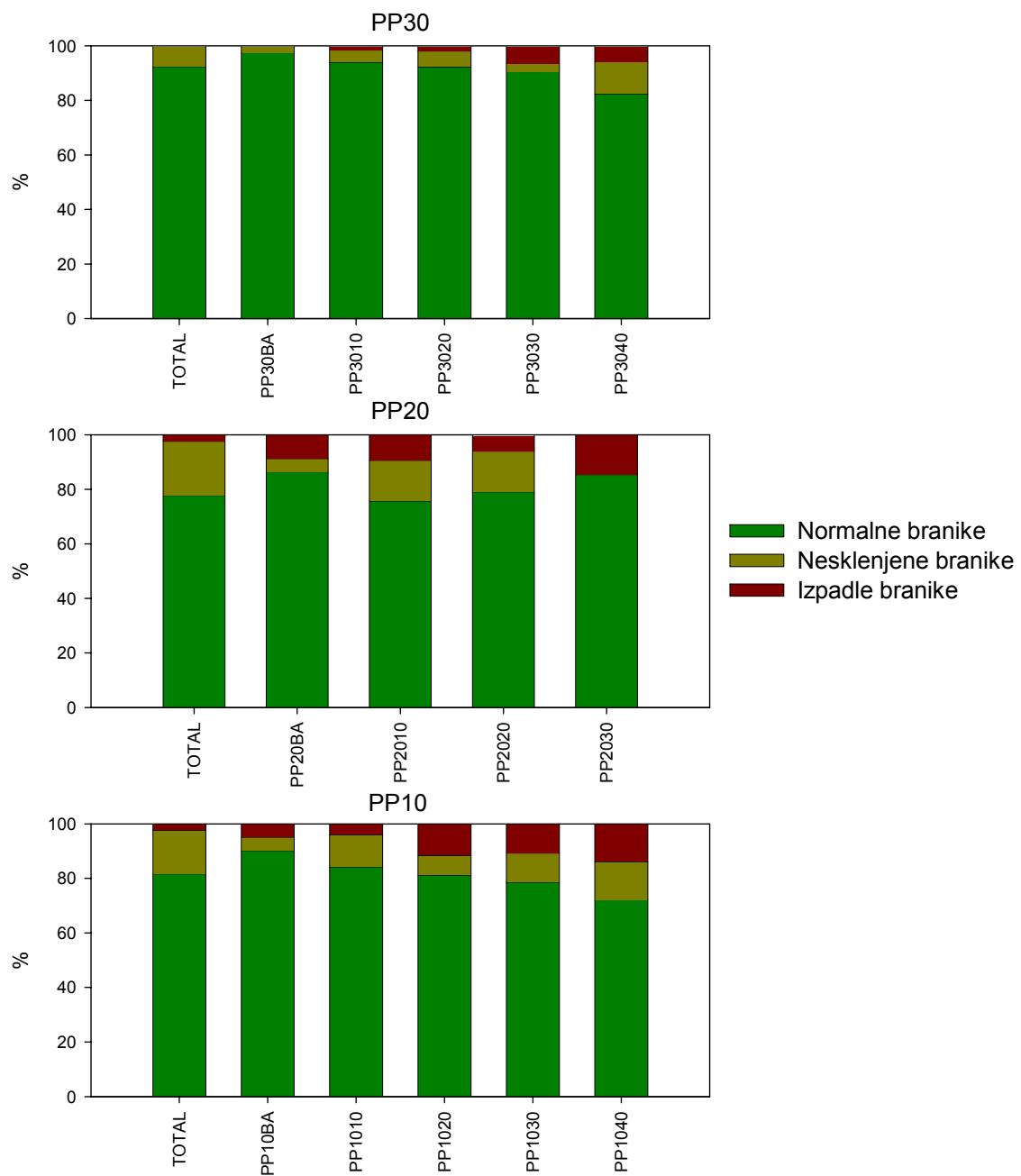
Slika 23: Odstotni deleži normalnih (belo) in izpadlih branik (rdeče) pri drugem drevesu pinije na 4-ih različnih nivojih v deblu v odvisnosti od časa

Grafi (Slika 23) prikazujejo delež normalnih in manjkajočih branik pri drugem drevesu pinije, na 4-ih različnih nivojih v deblu. Iz grafov je razvidno, da so samo nekatere branike manjkale na vseh 8 radijih (100 % delež izpadlih branik) in da je nekoliko več manjkajočih branik (popoln izpad, delen izpad) v srednjih višinah v deblu. Večino izpadov branik smo zabeležili po letu 1994, največ pa v letih od 1994 do 2005. Pred letom 1994 so se izpadi branik pojavili samo v 6-ih letih in samo na treh nivojih v deblu.



Slika 24: Odstotni deleži normalnih (belo) in izpadlih branik (rdeče) pri tretjem drevesu pinije na 5-ih različnih nivojih v deblu v odvisnosti od časa

Grafi (Slika 24) prikazujejo delež normalnih in manjkajočih branik pri tretjem drevesu pinije, na 5-ih različnih nivojih v deblu. Iz grafov je razvidno, da so samo nekatere branike manjkale na vseh 8 radijih (100 % delež izpadlih branik) in da je več manjkajočih branik (popoln izpad, delen izpad) v zgornjih delih debla. Večino izpadov branik smo zabeležili v letih 1994–1996. Pred letom 1994 so se izpadi branik pojavili samo v enem letu in samo na panju, po letu 1997 pa so se izpadi branik pojavili samo v dveh letih, enkrat v srednji višini v deblu in enkrat v zgornjem delu debla.



Slika 25: Deleži normalnih (zeleno), nesklenjenih (rumeno) in izpadlih (rdeče) branik pri vse treh drevesih pinije

Stolpičasti grafikoni (Slika 25) prikazujejo deleže normalnih (zelena barva), nesklenjenih (rumena barva) in izpadlih (rdeča barva) branik pri vseh treh drevesih pinije. Stolpec TOTAL prikazuje povprečno vrednost za posamezno drevo. Razvidno je, da je največ izpadlih in nesklenjenih branik v vršnih delih debla, t. j. v območju krošnje. Na nekaterih

nivojih v deblu je delež nesklenjenih branik večji od deleža izpadlih branik, na nekaterih pa velja obratna zakonitost. V povprečju je za vsako posamezno drevo, delež nesklenjenih branik (stopelec TOTAL) večji od deleža popolnoma izpadlih branik.

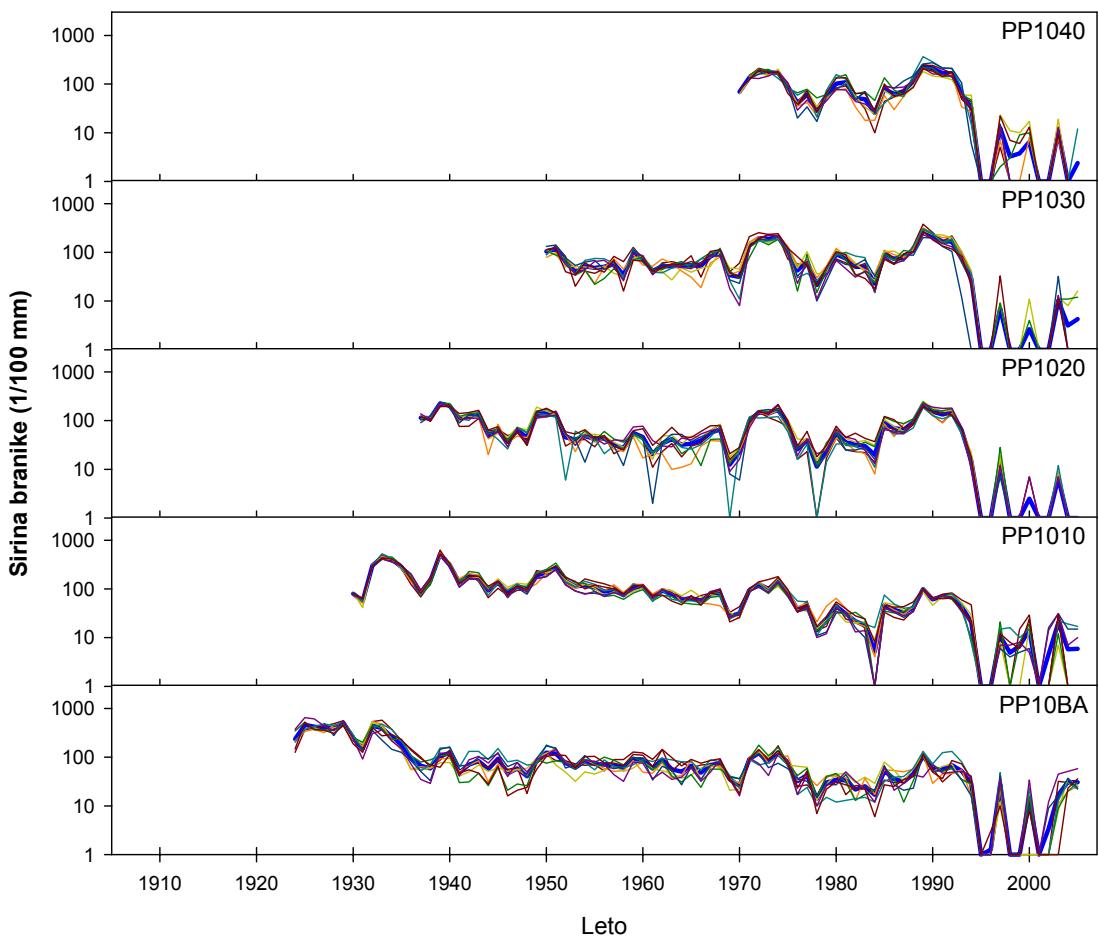
#### 4.2.2 Zaporedja širin branik pinije

Izmerjene širine branik vzdolž 8-ih radijev smo združili v zaporedja širin branik, ki so grafično predstavljena na Slikah od 26 do 29.

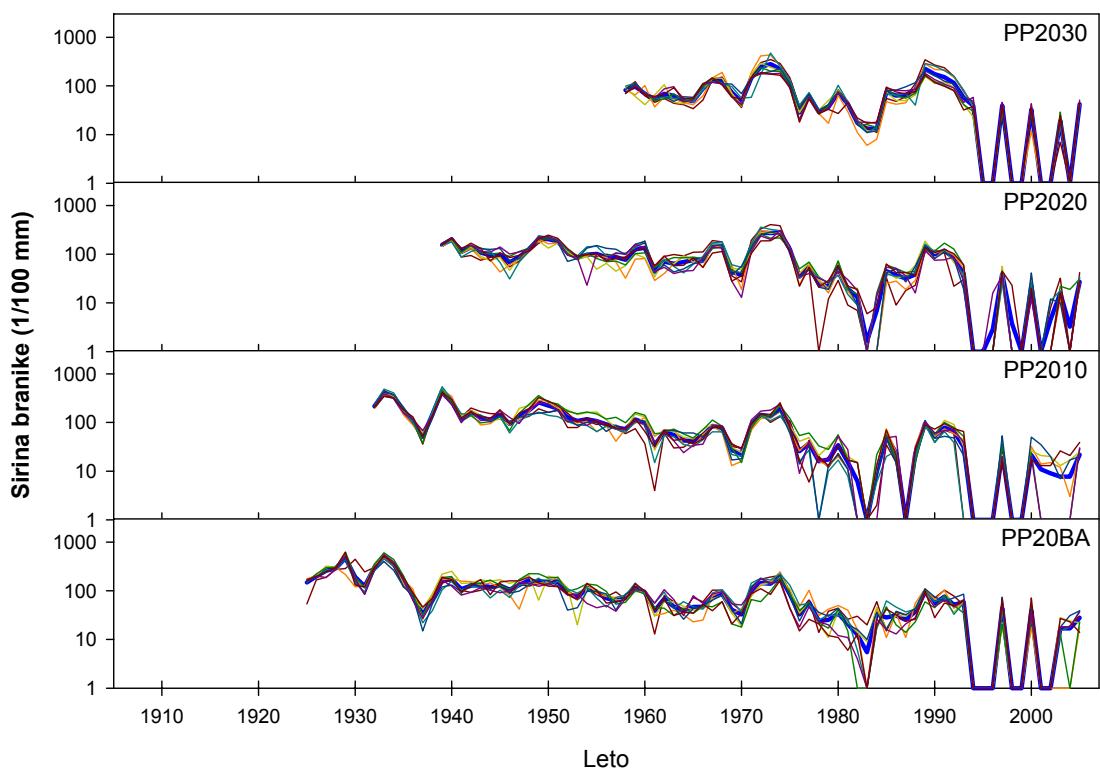
Linijski diagrami (Slike od 26 do 28) prikazujejo zaporedja širin branik vzdolž 8-ih različnih radijev na različnih nivojih v deblu pri drevesih pinije. Za vsak radij imamo krivuljo drugačne barve. Z debelejšo črto je predstavljena povprečna širina branike na posamezni višini v drevesu.

Slika 29 predstavlja zaporedja širin branik na različnih nivojih pri vseh treh drevesih pinije. Na vodoravni osi so predstavljena koledarska leta, na navpični pa širine branik z natančnostjo 1/100 mm. Vrednosti enake nič, predstavljajo izpadle (manjkajoče) branike.

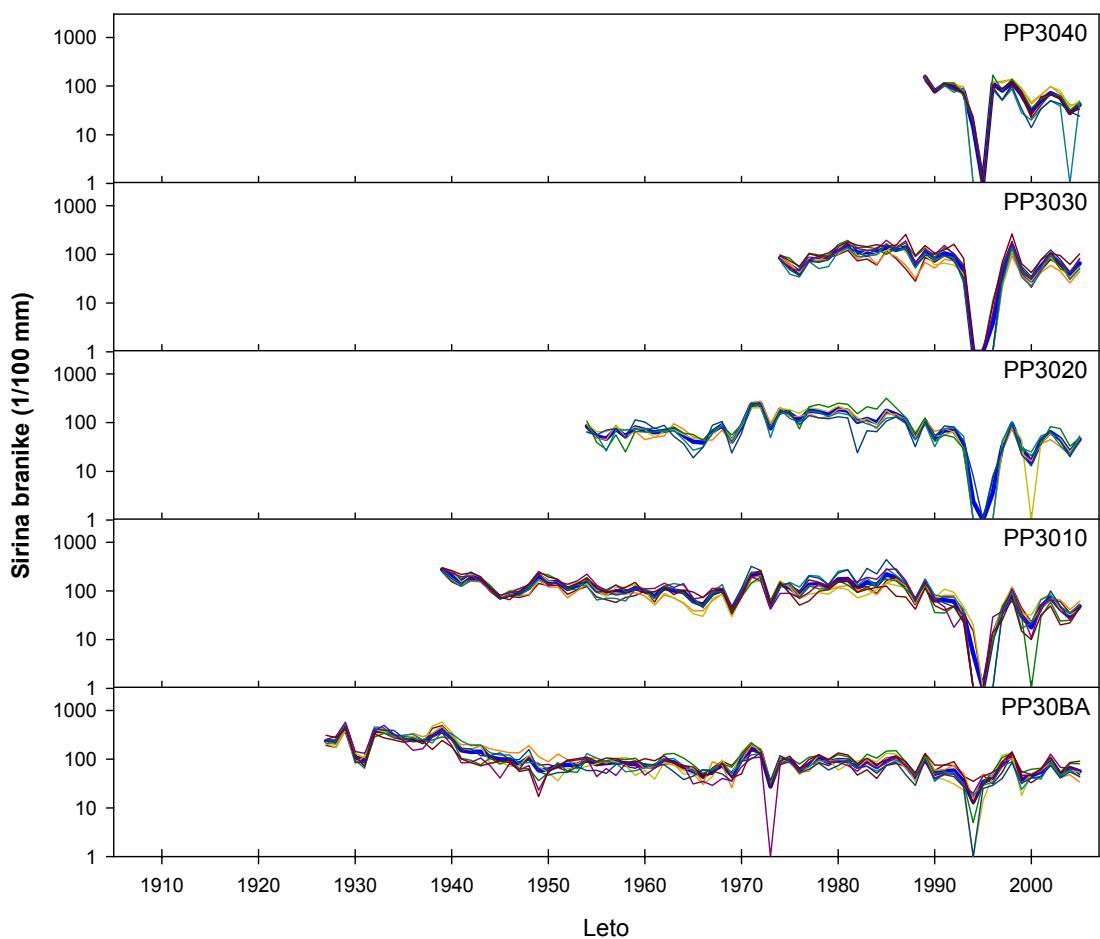
Medsebojno ujemanje zaporedij širin branik na isti višini je dobro, prav tako se ujemajo zaporedja na različnih višinah. Medsebojno ujemanje med drevesi je prav tako dobro, kar potrjuje, da smo merjenje širin branik in postopke sinhroniziranja in navzkrižnega datiranja dobro opravili.



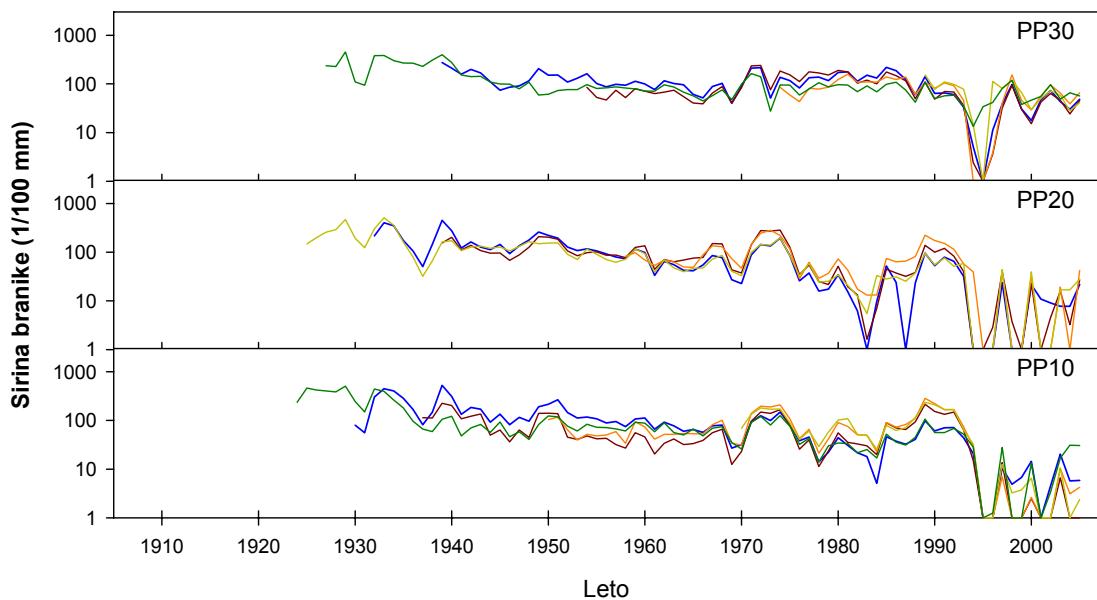
Slika 26: Zaporedja širin branik na posameznih radijih na 5-ih različnih nivojih v deblu pri prvem drevesu pinije



Slika 27: Zaporedja širin branik na posameznih radijih na 4-ih različnih nivojih v deblu pri drugem drevesu pinije



Slika 28: Zaporedba širin branik na posameznih radijih na 5-ih različnih nivojih v deblu pri tretjem drevesu pinije



Slika 29: Zaporede povprečnih širin branik na različnih nivojih v deblu pri vseh treh drevesih pinije

#### 4.2.3 Kronologije širin branik pinije

Izmerjene širine branik smo po opravljenem sinhroniziranju in navzkrižnem datiranju vnesli v program ARSTAN in v njem izračunali statistične kazalnike, ki nam na matematični način prikazujejo in vrednotijo opravljene meritve.

V preglednici 1 so prikazani in razloženi statistični izračuni samo za kolut s panja, pri prvem drevesu pinije. Izračuni za ostale kolute pri vseh treh drevesih pinije so podani v preglednicah v prilogah (Priloge G, H, I).

Preglednica 4: Statistični izračuni

	Oznaka koluta.	PH10BA
Nº radii	Št. radijev merjenja.	7
Begin	Začetek.	1908
End	Konec.	2005
Lenght	Časovni razpon v letih.	98
Rings	Skupno število branik.	681
Absent rings	Število manjkajočih branik.	167
Mean_ring_width	Povprečna širina branike (mm) na posamezni višini.	0.772
Mean_Sensitivity	Občutljivost rasti (odziv rasti drevesa na klimatske in druge dejavnike).	0.674
Std_dev (Standard deviation)	Standardni odklon (stopnja homogenosti podatkov).	1.274
Part. Aut Order_1 Partial autocorrelation order_1	Soodvisnost širine posamezne branike s širino branik predhodnega leta.	0.73
Part. Aut Order_2	Soodvisnost širine branik dve leti nazaj.	-0.11
Part. Aut Order_3	Soodvisnost širine branik tri leta nazaj.	0.16
Mean correlation among all radii	Soodvisnost med vsemi radiji.	0.912
Radii vs mean	Zveza med številom smeri merjenja in povprečno širino branike.	0.962
SSS_1 (Subsample signal strength)	SSS_1	0.912
SSS_2	SSS_2	0.954
SSS_3	SSS_3	0.969
SSS_4	SSS_4	0.977
SSS_5	SSS_5	0.981
Signal to noise ratio SNR	Razmerje med pojasnjeno in nepojasnjeno varianco.	72.792
Agreement with population chronology	Ujemanje s kronologijo populacije.	0.986

V nadaljevanju podajam interpretacijo (razlago) količin prikazanih v preglednici 4. Ker so programi za izračun angleški vedno podajam angleške izraze, prevodi izrazov v slovenščino pa niso standardizirani.

**Srednja občutljivost** (angl. Mean sensitivity), v dendrokronologiji pomeni stopnjo odziva rasti drevesa na okoljske in druge dejavnike. Ovisna je od drevesne vrste in je vidna v zaporedju širine branik (zelo ozke ali zelo široke branike, variabilnost gostote). Zavzema vrednost med 0 (min.) in 2 (max.). Vrednost 0 pomeni, da ni razlike med širinama dveh zaporednih branik, vrednost 2 pa pomeni veliko variabilnost med širinama dveh sosednjih branik.

**Standardni odklon** (angl. Standard deviation) pomeni stopnjo homogenosti podatkov oz. meritev. Ugotavlja pozitivne in negativne odklone od srednje vrednosti.

**Soodvisnost (avtokorelacija) širine branike glede na širino branike predhodnega, enega, dveh ali treh let** (angl. Autocorrelation Order 1, 2, 3). Kazalnik podaja v kolikšni meri na širino branike v tekočem letu, vpliva širina branike v enem, dveh ali treh predhodnih letih.

**Soodvisnost med radiji** (angl. Mean correlation among radii). Če sledimo isto braniku po obodu, se njena širina spreminja, variira. Korelacija širine branike med posameznimi radiji je številska mera, ki predstavlja moč linearne povezanosti dveh spremenljivk (širina iste branike izmerjena na dveh mestih, dveh radijih). Statistika s korelacijo v splošnem označuje odvisnost dveh spremenljivk v statistični populaciji.

**Zveza med številom smeri merjenja in povprečno širino branike** (angl. Radii versus mean). S povečanjem števila radijev (smeri) merjenja širine branik, je razlika med širinami branik v različnih radijih manjša.

**Moč signala podpopulacije - SSS** (angl. Subsample signal strength) nam pove, kako se drevesa odzivajo na dejavnike rasti (npr. količina padavin, temperatura). Če imajo vsa drevesa zelo podobno obnašanje (razlike med drevesi so majhne), zadostuje majhno število vzorcev (dreves, odvzetih vzorcev oz. zaporedij širin branik) za predvidevanje, kako se obnaša celotna populacija. Če je obnašanje zelo različno rabimo več vzorcev, da dobimo rezultate, ki predstavljajo celotno populacijo. Če je vrednost  $SSS > 0.85$ , pomeni, da s številom vzorcev ki smo jih uporabili za izračun, lahko razložimo 85% obnašanja celotne populacije. Ta vrednost je mejna, kazalnik pomeni, da je število ponovitev dovolj veliko za razlago celotne populacije.

Če je vrednost SSS (vrednosti od SSS1 do SSS5)  $> 0.85$ , je dovolj izmeriti širine branik vzdolž enega ali dveh radijev na isti višini v drevesu, da dobimo dobro krivuljo povprečne vrednosti širine branik, ob predpogoju, da smo najprej dobro opravili analizo in datiranje branik vzdolž osmih radijev na isti višini v deblu.

**Razmerje med pojasnjeno in nepojasnjeno varianco** (angl. SNR - signal to noise ratio). Če je vrednost SNR majhna, je povprečna vrednost glede na individualne podatke slaba. Če je vrednost SNR velika, je povprečna vrednost glede na individualne podatke dobra. Analiza variance je tehnika, ki omogoča določiti delež, s katerim določeni dejavniki vplivajo na rast drevesa.

**Ujemanje s statistično populacijo** (angl. Agreement with population chronology) nam pove, v kakšni meri so kronologije posameznih dreves podobne kronologiji vseh dreves skupaj.

Vrednosti **SSS** v našem primeru kažejo, da zadostuje pri vseh drevesih pinije na različnih višinah izmeriti širine branik v eni, včasih v dveh smereh, da dobimo dobro krivuljo povprečne vrednosti širin branik za celotno drevo.

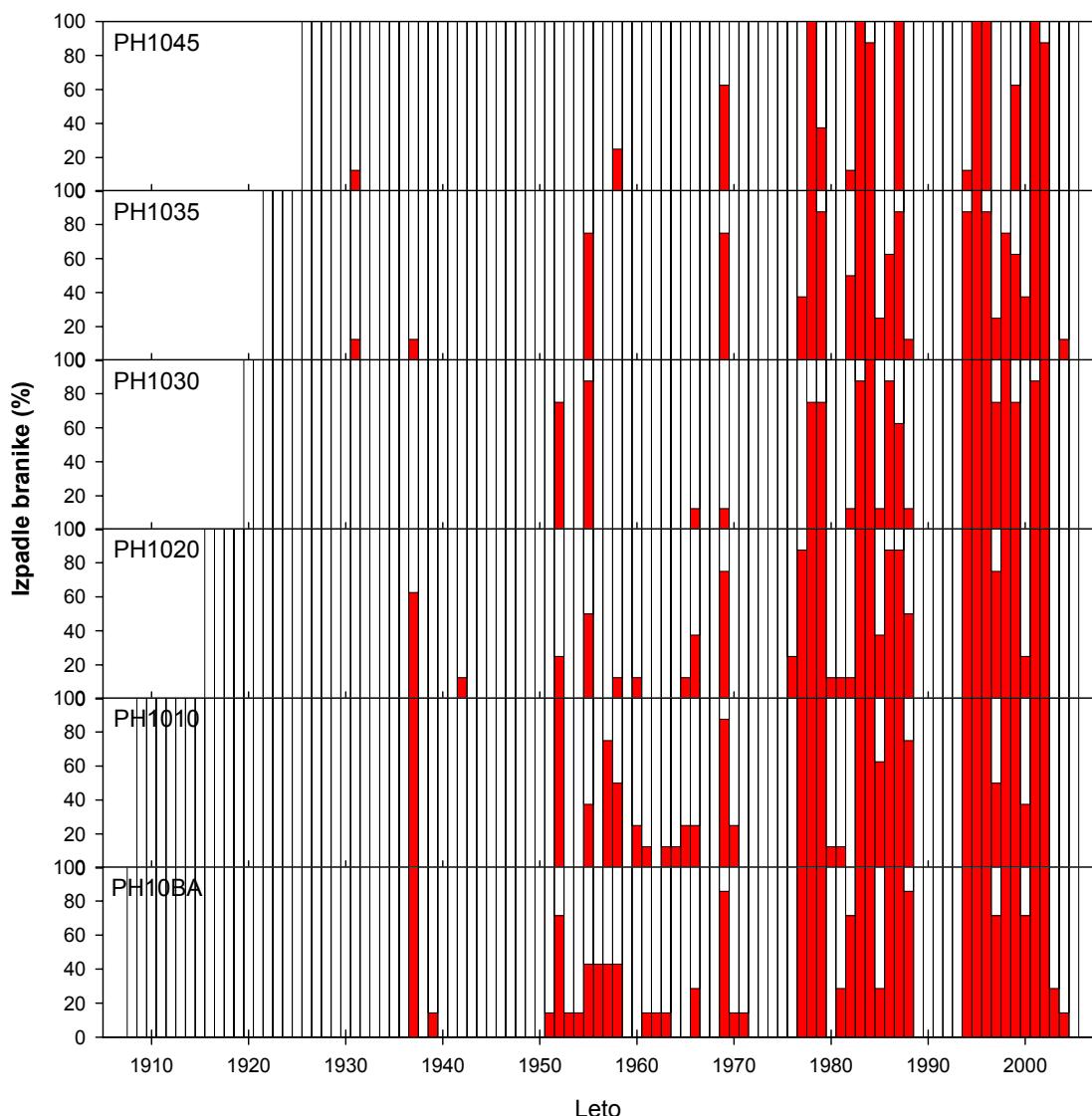
Za ta rezultat, je pomembno dobro opraviti postopek navzkrižnega datiranja, za kar v prvi vrsti potrebujemo veliko vzorcev. Zelo pomembna sta analiza branik in njihovo navzkrižno datiranje v 8-ih različnih smereh na istem nivoju v drevesu, kar pomaga rešiti okoli 50% problemov, t. j., z nesklenjenimi in dvojnimi branikami. Za natančno določitev števila popolnoma izpadlih branik, si pomagamo s sledenjem branik po višini v drevesu, za natančno določitev leta, v katerem je branika izpadla, pa je potrebna primerjava med več drevesi.

#### 4.3 ALEPSKI BOR (*Pinus halepensis* Mill.)

##### 4.3.1 Analiza branik

Alepski bor je z vidika dendrokronologije bolj zahtevna vrsta kot pinija in ima več nepravilnosti v rasti (nesklenjene, izpadle branike), ki jih je težko določiti. Pri analizi in datiranju vzorcev dreves alepskega bora, smo se opirali na rezultate dobljene pri analizi dreves pinije. Ker smo drevesa posekali istočasno in na istem rastišču, je podobnost zaporedij širin branik pinije in alepskega bora velika, predvsem pa se značilna leta izjemno ozkih ali izjemno širokih branik ujemajo pri obeh drevesnih vrstah.

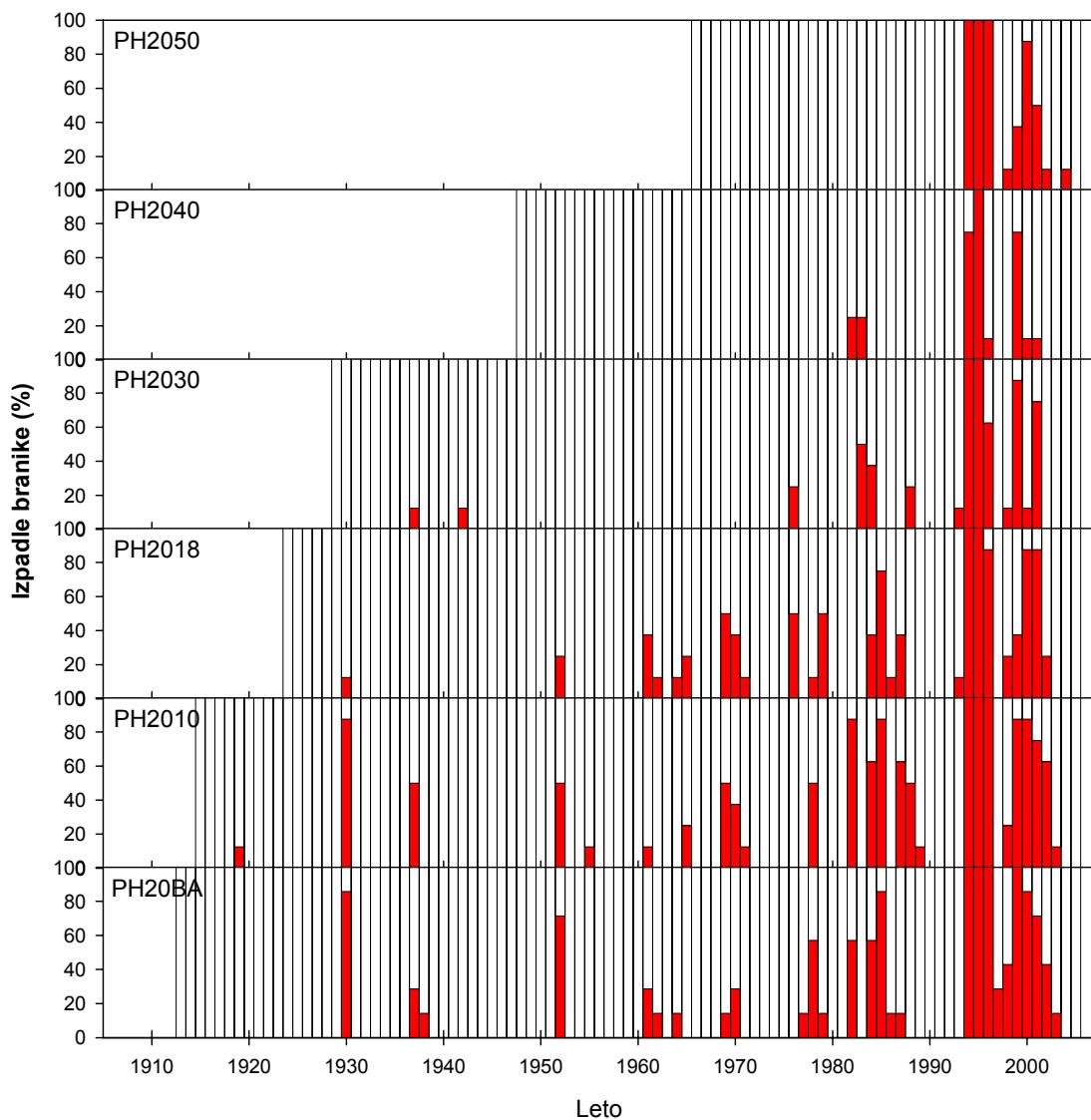
Na podlagi izmerjenih širin branik smo izdelali grafe o deležu normalnih, nesklenjenih in izpadlih branika na različnih višinah v deblu za vsako drevo alepskega bora posebej. Grafi so prikazani na Slikah od 30 do 32.



Slika 30: Odstotni deleži normalnih (belo) in izpadlih branik (rdeče) pri prvem drevesu alepskega bora, na 6-ih različnih nivojih v deblu v odvisnosti od časa

Grafi (Slika 30) prikazujejo delež normalnih in manjkajočih branik pri prvem drevesu alepskega bora, na 6-ih različnih nivojih v deblu. Iz grafov je razvidno, da je veliko nesklenjenih in izpadlih branik po letu 1931. Do leta 1971 smo zabeležili samo tri primere popolnoma izpadle branike, primerov nesklenjenih branik je bilo več. Delež manjkajočih branik je večji v spodnjih delih debla. Po letu 1977 se je izpad branik močno povečal. Delež izpadlih branik je večji kot delež nesklenjenih branik. Izpad branik se je nadaljeval do leta 1988. V letih 1989 do 1993 nismo zabeležili nobenega primera manjkajočih oz. izpadlih branik, po letu 1994 pa številne, pri čemer je delež izpadlih branik večji od deleža

nesklenjenih branik, pogostost izpada pa je večja v spodnjih delih debla. Največ branik je izpadlih na panju, po višini pa se delež rahlo zmanjšuje.

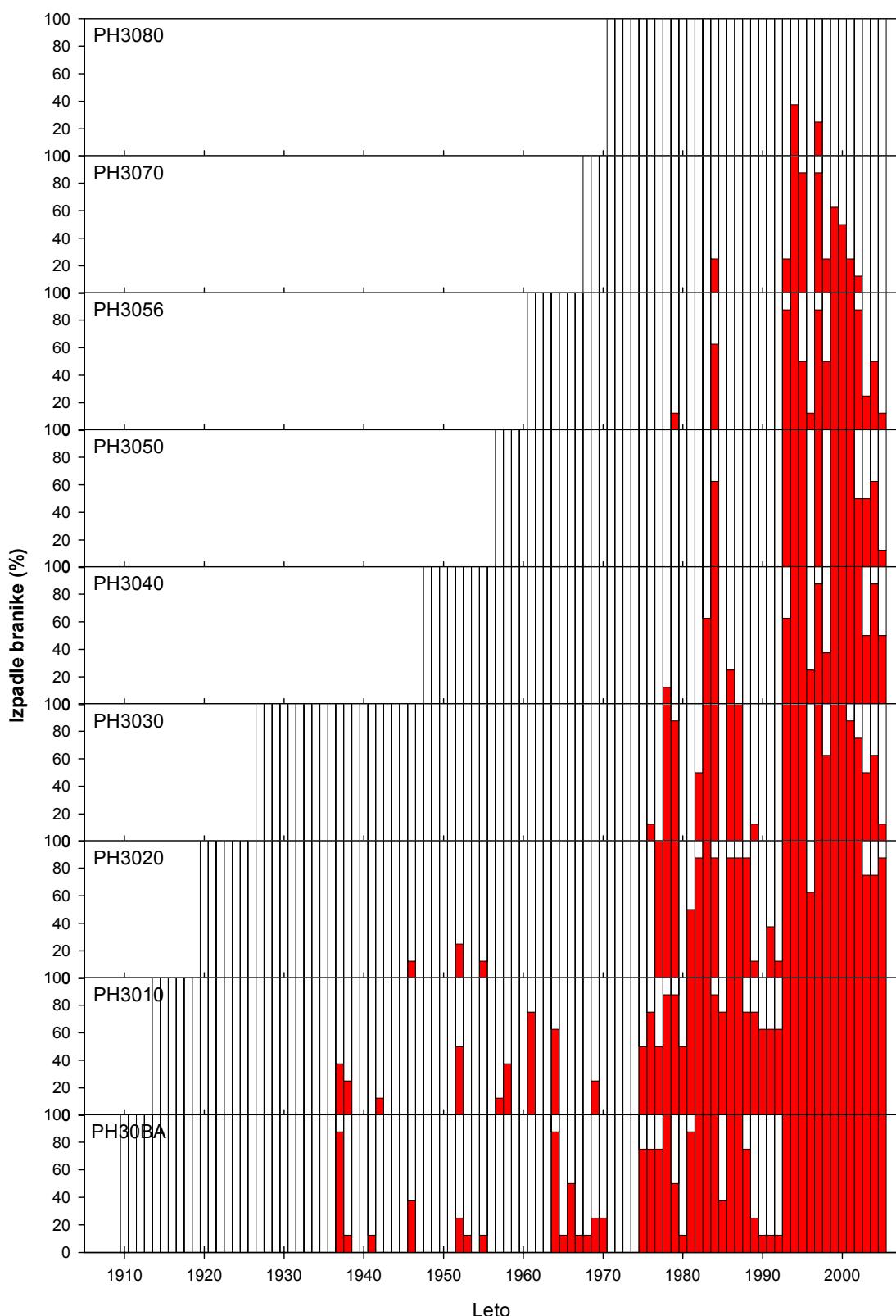


Slika 31: Odstotni deleži normalnih (belo) in izpadlih branik (rdeče) pri drugem drevesu alepskega bora na 6-ih različnih nivojih v deblu v odvisnosti od časa

Grafi (Slika 31) prikazujejo delež normalnih in manjkajočih branik pri drugem drevesu alepskega bora, na 6-ih različnih nivojih v deblu.

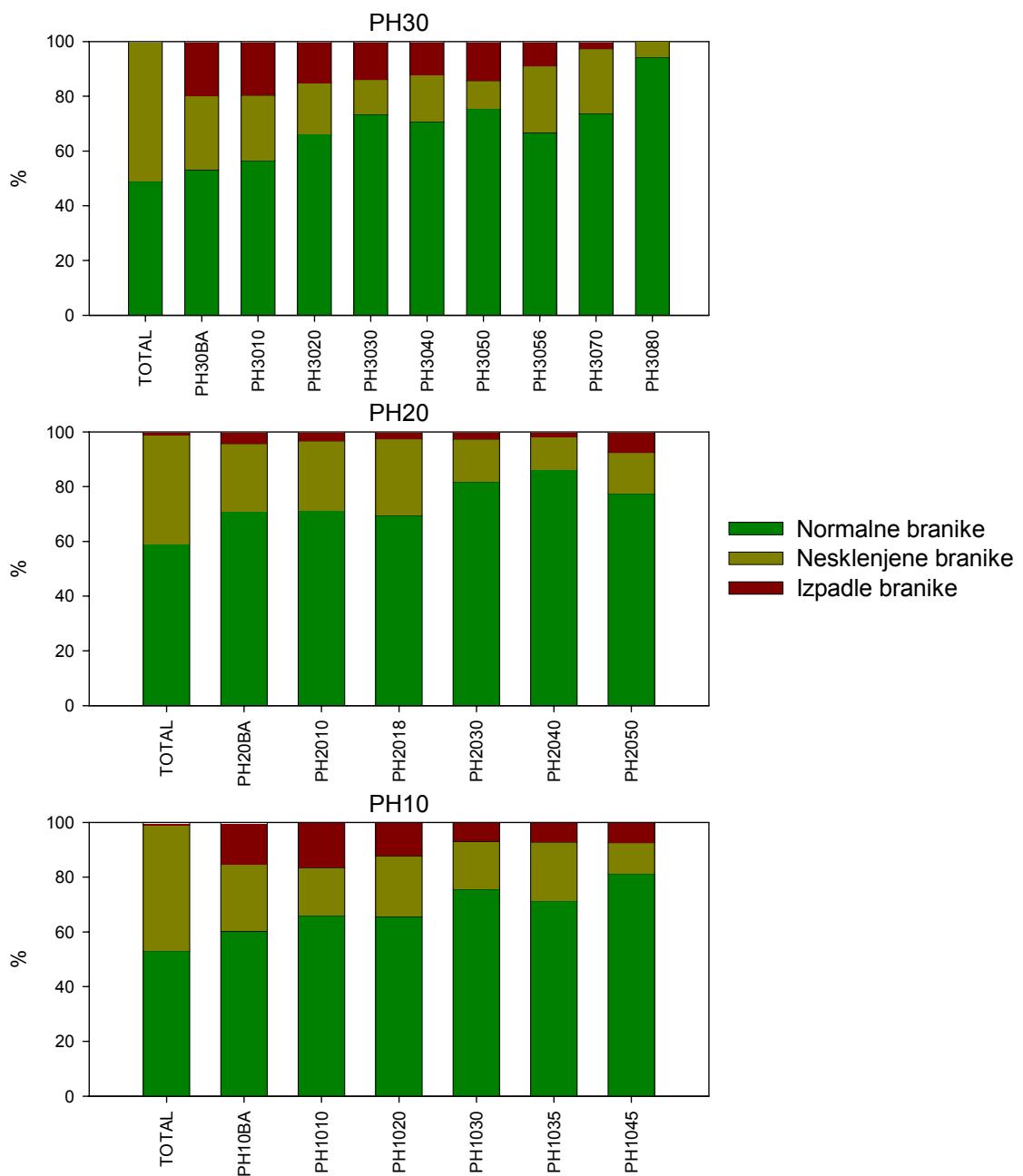
Iz grafov je razvidno, da je veliko nesklenjenih in izpadlih branik po letu 1930. Do leta 1930 smo zabeležili samo en primer nesklenjene branike. Od leta 1930 do leta 1987, se je število primerov nesklenjenih branik povečevalo, z vmesnimi prekinitvami. Od 1940 do 1950 nismo zabeležili nobene manjkajoče branike, prav tako ne med leti 1943 in 1950 in med leti 1972 in 1976.

Po letu 1977 se je izpad branik povečal, do naslednje prekinitve med leti 1989 in 1993. Po letu 1994 smo zopet zabeležili številne primere nesklenjenih in izpadlih branik, pri čemer je delež nesklenjenih branik večji od deleža izpadlih branik, pogostost izpada pa je večja v spodnjih delih debla.



Slika 32: Odstotni deleži normalnih (belo) in izpadlih branik (rdeče) pri tretjem drevesu alepskega bora na 9-ih različnih nivojih v deblu v odvisnosti od časa

Grafi (Slika 32) prikazujejo delež normalnih in manjkajočih branik pri tretjem drevesu alepskega bora, na 9-ih različnih nivojih v deblu. Iz grafov je razvidno, da do leta 1936 ni bilo izpadlih branik. Med leti 1973 in 1971 smo zabeležili kar nekaj primerov nesklenjenih branik, na panju, prsni višini in tri primere na višini dveh metrov. Višje manjkajočih branik ni bilo. Po letu 1976 se je delež manjkajočih branik močno povečal. Izpadlih branik je več kot nesklenjenih in več v spodnjih delih debla. Njihov delež se proti vrhu zmanjšuje.



Slika 33: Deleži normalnih (zeleno), nesklenjenih (rumeno) in izpadlih (rdeče) branik pri vse treh drevesih alepskega bora

Stolpičasti grafikoni (Slika 33) prikazujejo deleže normalnih (zelena barva), nesklenjenih (rumena barva) in izpadlih (rdeča barva) branik, pri vseh treh drevesih alepskega bora. Stolpec TOTAL prikazuje povprečno vrednost za posamezno drevo. Razvidno je, da je največ izpadlih in nesklenjenih branik na panju, proti vrhu pa se delež normalnih povečuje

in doseže svojo največjo vrednost v območju krošnje. Enak trend je prisoten pri vseh drevesih, izjema je le drugo drevo, ki ima nekoliko več izpadlih branik v območju krošnje. Delež nesklenjenih branik je enak oz. večji od deleža izpadlih branik. V povprečju izpadlih branik pri drevesih (stolpec TOTAL) skoraj ni, so samo nesklenjene branike.

#### 4.3.2 Zaporedja širin branik alepskega bora

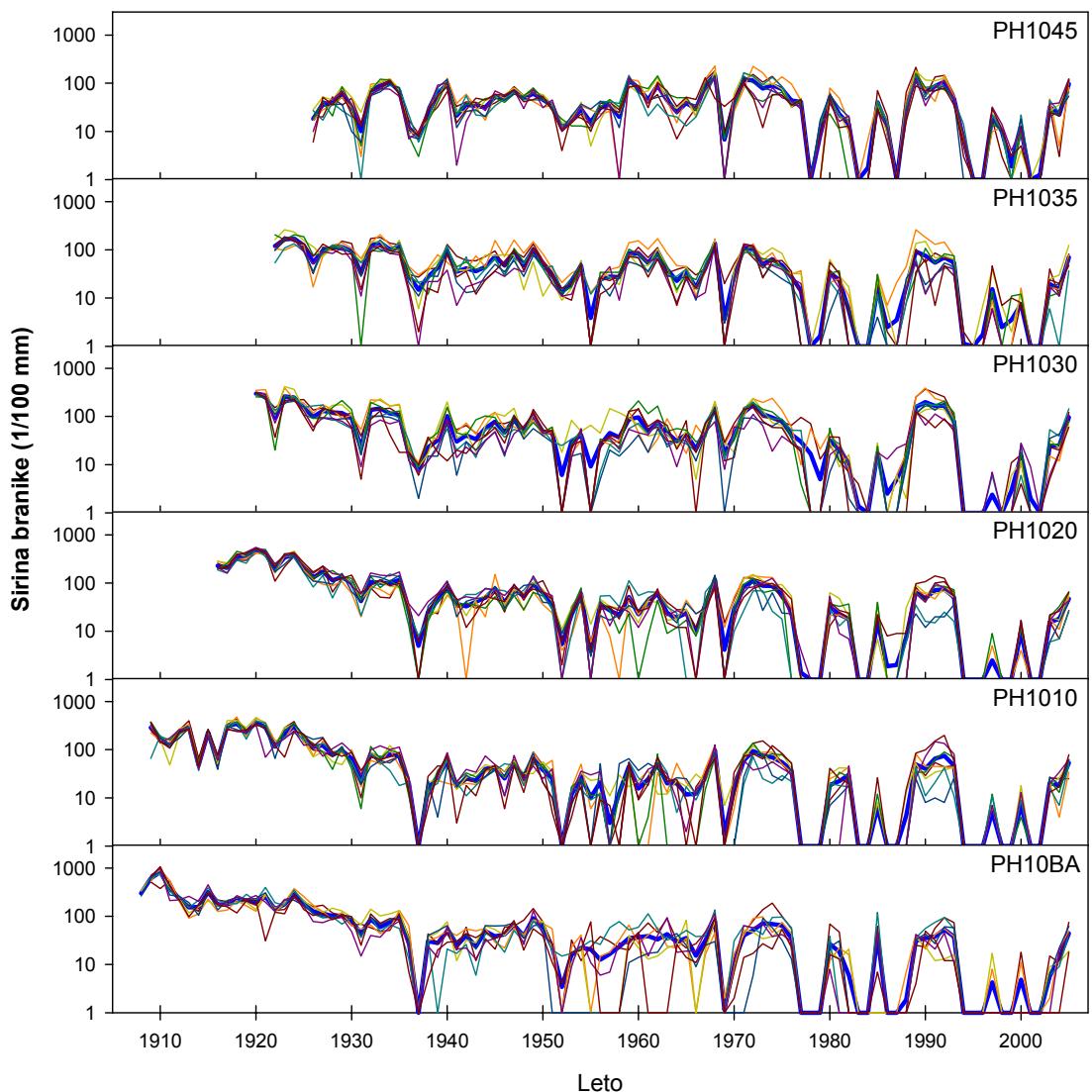
Izmerjene širine branik vzdolž 8-ih radijev smo združili v zaporedja širin branik, ki so grafično predstavljena na Slikah od 34 do 37.

Linijski diagrami (Slike od 34 do 36) prikazujejo zaporedja širin branik vzdolž 8-ih različnih radijev na različnih nivojih v deblu pri drevesih alepskega bora. Za vsak radij imamo krivuljo drugačne barve. Z debelejšo črto je predstavljena povprečna širina branike na posamezni višini v drevesu.

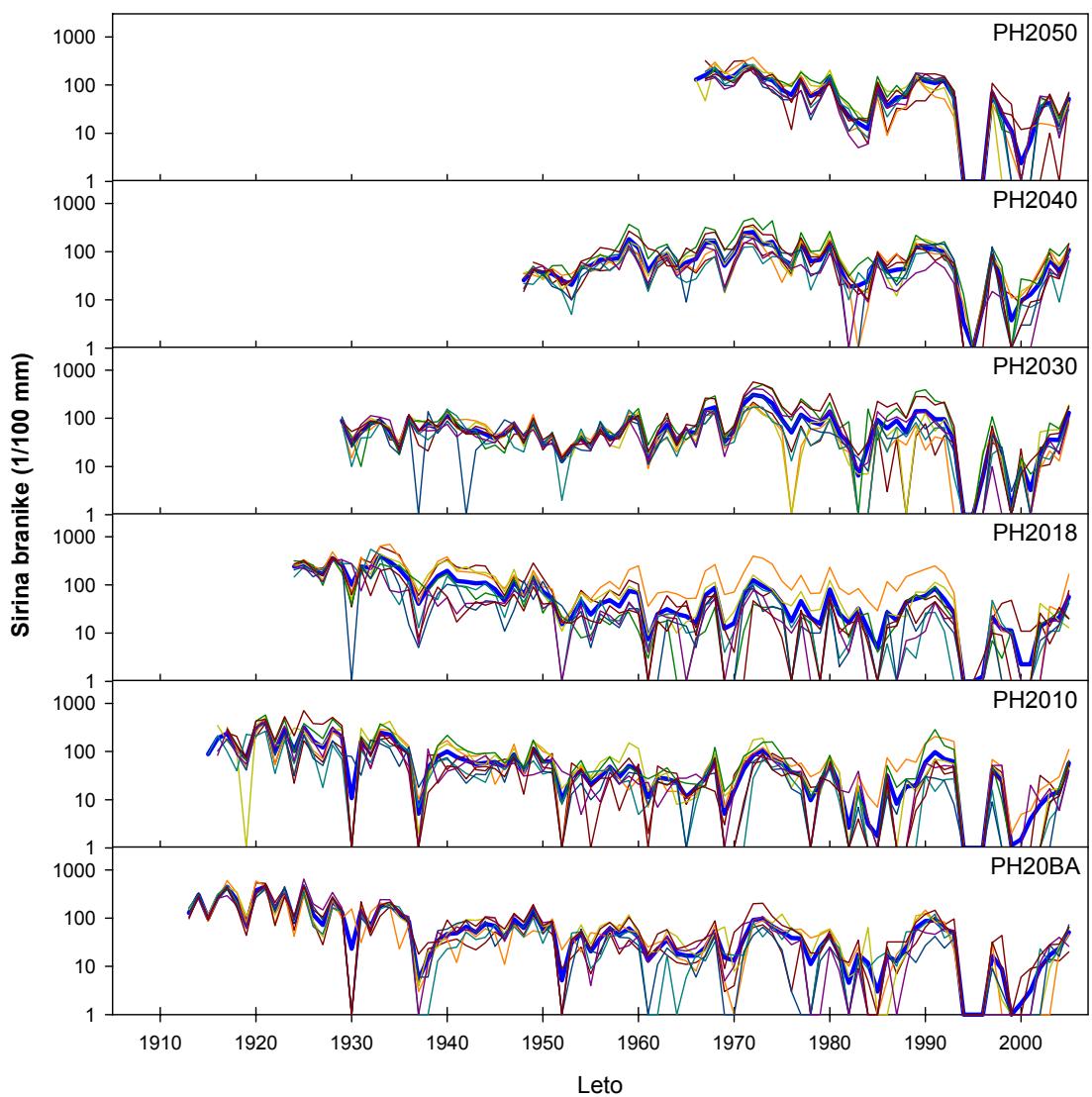
Slika 37 predstavlja zaporedja širin branik na različnih nivojih pri vseh treh drevesih alepskega bora. Na vodoravni osi so predstavljena koledarska leta, na navpični pa širine branik z natančnostjo 1/100 mm. Vrednosti enake nič, predstavljajo izpadle (manjkajoče) branike.

Medsebojno ujemanje zaporedij širin branik na isti višini je dobro, prav tako se ujemajo zaporedja na različnih višinah.

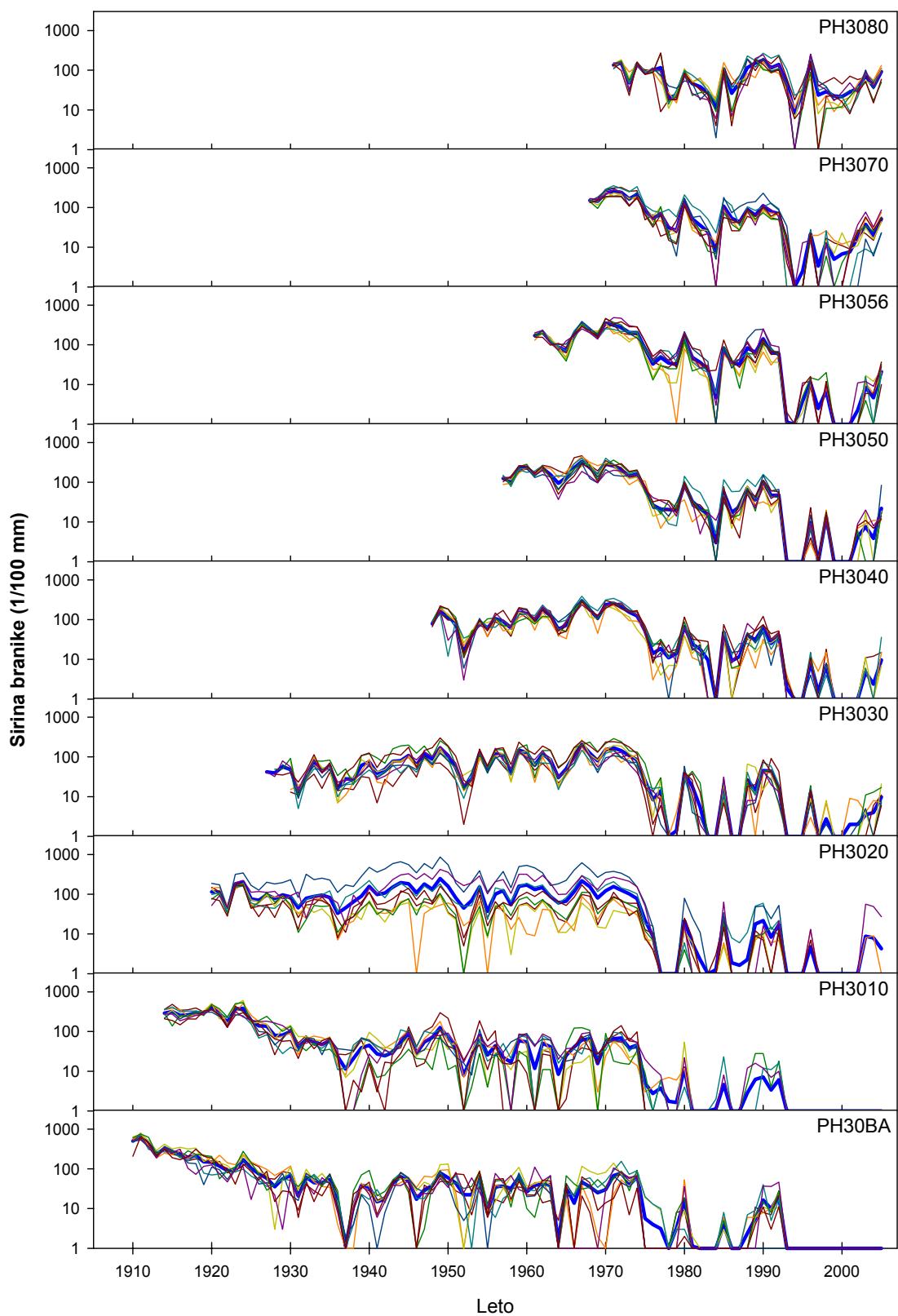
Medsebojno ujemanje med drevesi je prav tako dobro, iz česar lahko sklepamo, da smo merjenje širin branik in postopke sinhroniziranja in navzkrižnega datiranja dobro opravili.



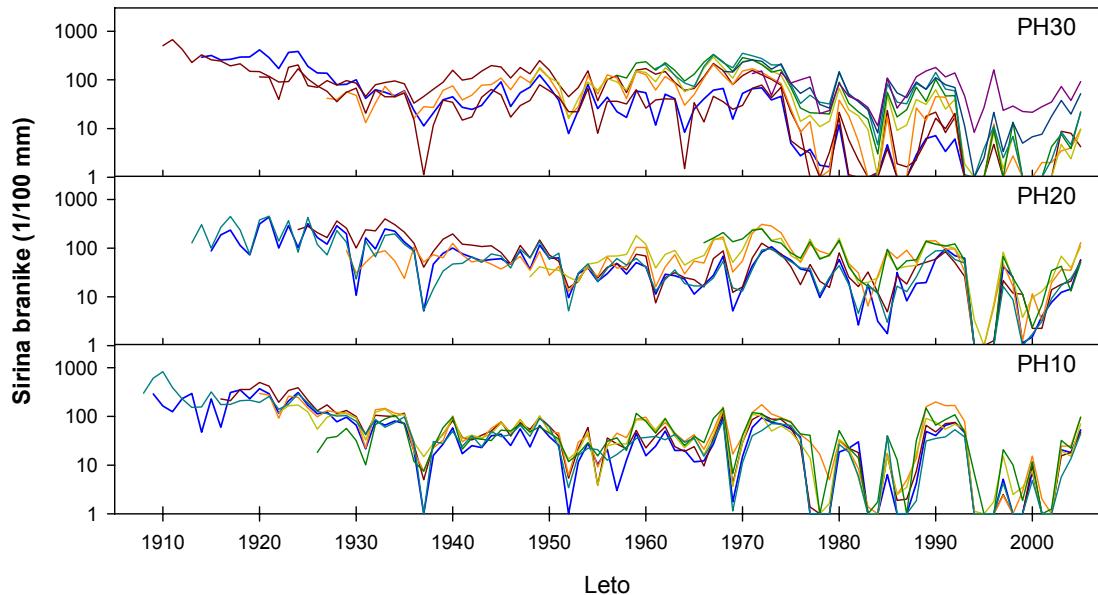
Slika 34: Zaporede širin branik vzdolž 8-ih radijev na 6-ih različnih nivojih v deblu pri prvem drevesu alepskega bora



Slika 35: Zaporede širin branik vzdolž 8-ih radijev na 6-ih različnih nivojih v deblu pri drugem drevesu alepskega bora



Slika 36: Zaporedje širin branik vzdolž 8-ih radijev na 9-ih različnih nivojih v deblu pri tretjem drevesu alepskega bora



Slika 37: Zaporedje širin branik na različnih višinah v deblu pri vseh treh drevesih alepskega bora

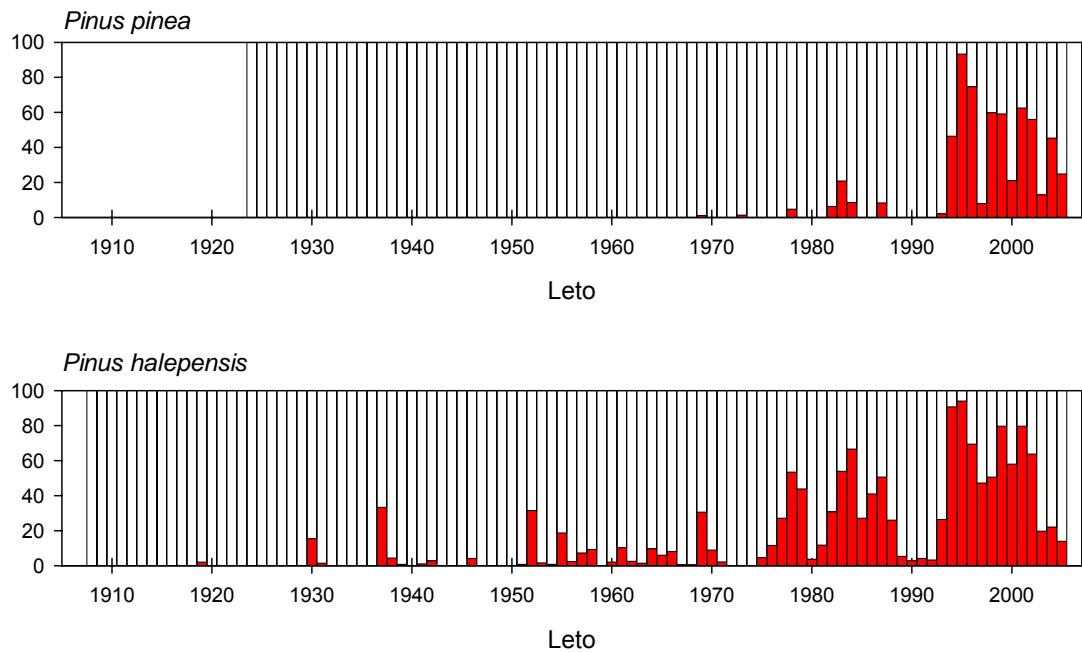
#### 4.3.3 Kronologije širin branik alepskega bora

Preglednice s statističnimi izračuni za vsa tri drevesa alepskega bora so podane v prilogah (Priloge J, K, L). Razlaga koeficientov je podana pri statističnih izračunih za pinijo (poglavlje 4.2.3).

Vrednosti SSS kažejo, da zadostuje pri vseh drevesih alepskega bora na različnih višinah izmeriti širine branik v eni, včasih v dveh smereh, da dobimo dobro krivuljo povprečne vrednosti širin branik za celotno drevo.

## 4.4 PRIMERJAVA MED DREVESNIMA VRSTAMA

### 4.4.1 Izpadle branike pri piniji in alepskem boru



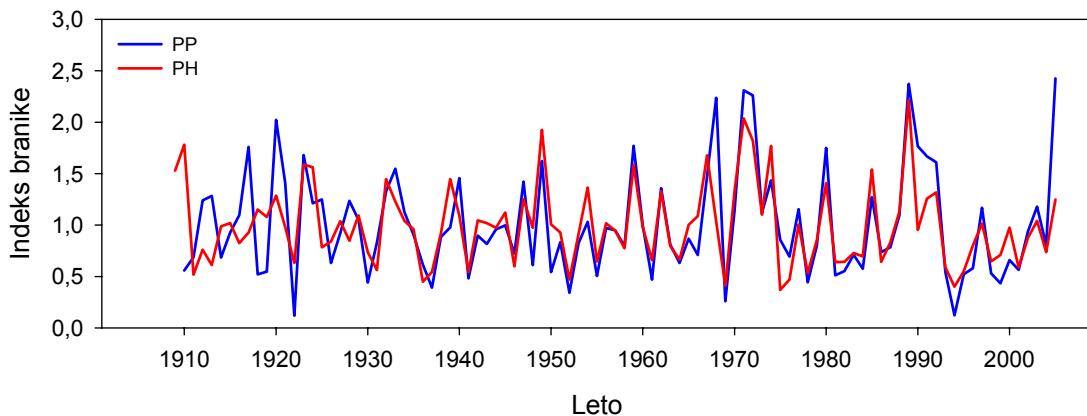
Slika 38: Odstotni delež manjkajočih branik pri piniji (*Pinus pinea*) in alepskem boru (*Pinus halepensis*)

Stolpičasta grafikona (Slika 38) prikazujeta povprečno vrednost deleža manjkajočih branik pri vseh treh drevesih pinije (zgornji grafikon) in pri vseh treh drevesih alepskega bora (spodnji grafikon). Stolpci brez barve prikazujejo normalne branike, stolci rdeče barve pa manjkajoče oz. izpadle branike.

Delež izpadlih branik je pri alepskem boru večji kot pri piniji. Pri obeh vrstah prevladujejo nesklenjene branike, popolnoma izpadlih branik v povprečju ni. Posamezne nesklenjene branike se pri alepskem boru v splošnem pojavljajo od leta 1919, pri piniji pa šele od leta 1969.

#### 4.4.2 Primerjava kronologij pinije in alepskega bora

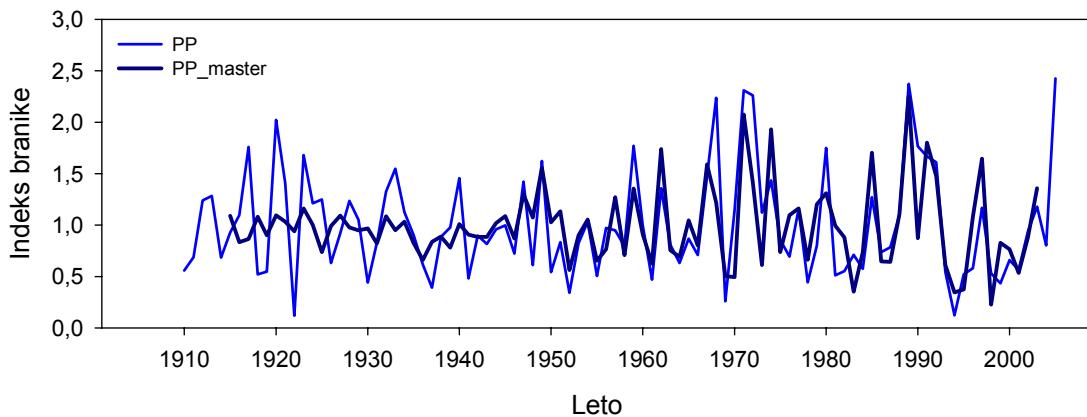
S programom ARSTAN smo iz »surovih« podatkov o širinah branik pripravili kronologije (pri. Zajec 2005). Posebej sta nas zanimali kronologiji statističnih ostankov (ARSTAN residual) za pinijo in alepski bor. V kronologiji smo vključili vse radije na vseh nivojih v vseh drevesih iste vrste. Kronologiji smo primerjali med seboj (Slika 39). Prav tako smo primerjali kronologijo statističnih ostankov pinije z referenčno kronologijo statističnih ostankov pinije za isto rastišče (Slika 40) in primerjali kronologijo statističnih ostankov alepskega bora z referenčno kronologijo statističnih ostankov alepskega bora za isto rastišče (Slika 41).



Slika 39: Primerjava kronologij statističnih ostankov pinije (PP, modro) in alepskega bora (PH, rdeče)

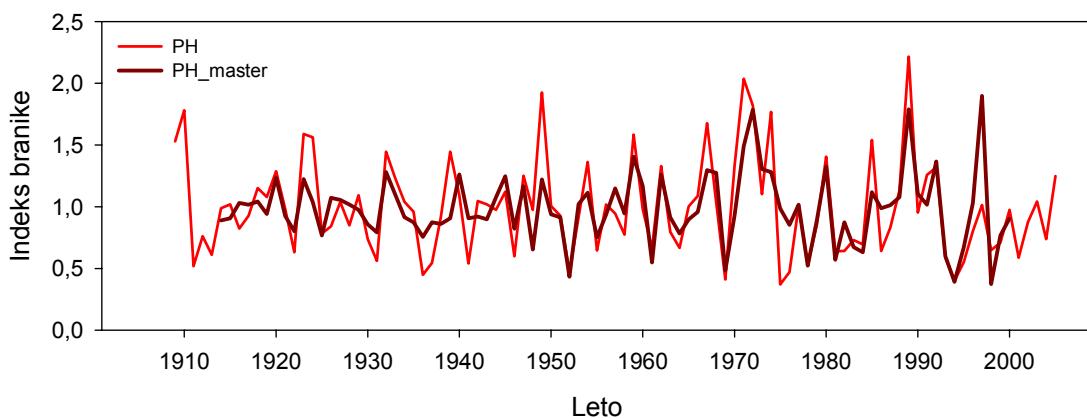
Linijski graf (Slika 39) prikazuje kronologije statističnih ostankov pinije in alepskega bora. Primerjava kronologij je izvedena za obdobje od leta 1909 do leta 2005, s prekrivanjem (Olp.) 96 let. Statistični kazalniki ujemanja so  $t_{BP} = 9,3$ , GLK = 77% in CDI = 246. Kronologiji se zelo dobro ujemata.

Razlaga statističnih kazalnikov ujemanja je podana v poglavju 2.5.5 Matematično statistične metode za obdelavo kronologij.



Slika 40: Primerjava kronologije statističnih ostankov pinije (PP - tanka modra črta) z referenčno kronologijo statističnih ostankov pinije (PP\_master - debela modra črta) za isto rastišče

Linijski graf (Slika 40) prikazuje kronologijo statističnih ostankov pinije in referenčno kronologijo statističnih ostankov pinije za isto rastišče. Primerjava kronologij je izvedena za obdobje od leta 1909 do leta 2005, s prekrivanjem (Olp.) 96 let. Statistični kazalniki ujemanja so  $t_{BP} = 5,5$ , GLK = 73 % in CDI = 120. Kronologiji se zelo dobro ujemata.



Slika 41: Primerjava kronologije statističnih ostankov alepskega bora (PH - tanka rdeča črta) z referenčno kronologijo ostankov alepskega bora (PH\_master - debela rdeča črta) za isto rastišče

Linijski graf (Slika 41) prikazuje kronologijo statističnih ostankov alepskega bora in referenčno kronologijo statističnih ostankov alepskega bora za isto rastišče. Primerjava

kronologij je izvedena za obdobje od leta 1909 do leta 2005, s prekrivanjem (Olp.) 88 let. Statistični kazalniki ujemnja so  $t_{BP} = 9.3$ , GLK = 85 % in CDI = 328. Kronologiji se zelo dobro ujemata.

Kronologiji statističnih ostankov pinije in alepskega bora med seboj, kronologija statističnih ostankov pinije z referenčno kronologijo ostankov pinije in kronologija statističnih ostankov alepskega bora z referenčno kronologijo statističnih ostankov alepskega bora, se med seboj zelo dobro ujemajo, kar pomeni, da je bil odziv rasti tako pinije, kot tudi alepskega bora na dejavnike (predvsem vremenske), ki vplivajo na rast, zelo podoben.

Ujemanje kronologij statističnih ostankov pinije in alepskega bora z referenčnima kronologijama ostankov pomeni tudi, da je bil postopek navzkrižnega datiranja pravilno izведен in to kljub velikem deležu izpadlih branik.

Končni rezultati raziskave prikazujejo enak odziv rasti izbranih dreves na klimatske in ostale dejavnike, kot če bi analizirali rast dreves, ki imajo manj ali nič izpadlih branik (De Luis, 2007, osebna komunikacija).

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

Alepsi bor in pinija sta pomembni sredozemski drevesni vrsti, ki sta dobro prilagojeni na ekstremne rastiščne razmere. V Španiji sta večinoma umetno nasajeni in je težko natančno določiti območje njune avtohtone rasti.

Analizirali smo anomalije rasti obeh borov iz kraja Guardamar del Segura v JV Španiji, kjer so pogoji za rast mejni, saj v tem območju vlada polpuščavsko podnebje.

Na splošno ugotavljamo, da sta pinija in alepsi bor dokaj primerna za dendrokronološko analizo. Branike so večinoma razločne in je lahko meriti njihovo širino, kljub temu pa postopek dendrokronološke analize ni enostaven. To gre na račun anomalij v rasti obeh vrst borov, kot so številne izpadle in lažne branike.

Do izpadov in pojava nesklenjenih branik pride zaradi ritma delovanju kambija. Izpad branik je praviloma posledica pomanjkanja asimilatov. Pojav izpadlih in nesklenjenih branik pri alepskem boru iz Španije lahko delno pojasnimo z dolgimi sušnimi obdobji, ko sta zaradi pomanjkanja vode in visokih temperatur motena proizvodnja in prerazporeditev produktov fotosinteze (Raventós in sod., 2001).

Pojav lažnih branik je praviloma posledica upočasnitve ali prenehanja delovanja kambija med rastno sezono in njegovo ponovno aktivacijo. Rezultat sta lahko dve ali več prirastnih plasti, ki so nastale v isti vegetacijski sezoni. Mehanizmi tvorbe lažne branike še niso v celoti pojasnjeni, so pa predmet raziskav (Čufar, De Luis, osebna komunikacija). Lažne branike lahko nastanejo tudi, če delovanje kambija pozimi ni prekinjeno. Takrat ne moremo jasno razmejiti plasti lesa, ki so nastale v različnih sezonah. Videz lažnih branik nastalih iz različnih razlogov je lahko zelo podoben, zato je tako pomemben študij dejavnikov, ki vplivajo na njihov nastanek.

Analizo branik (normalnih, lažnih, nesklenjenih in izpadlih) smo opravili na makroskopskem nivoju lesa. Strukturo branik smo opazovali s stereo mikroskopom pri povečavah od 10x do 100x.

Predhodno smo postavili naslednje hipoteze:

- struktura iste branike ni enaka na vseh nivojih v deblu in ni enaka na vseh radijih na istem nivoju,
- ista branika se na različnih nivojih in radijih razlikuje z vidika širine, deleža kasnega lesa in prehoda iz ranega v kasni les,
- branika, ki na nekaterih nivojih v deblu manjka, je lahko na drugih nivojih prisotna,
- branika, ki ima na nekaterih nivojih v deblu zgradbo lažne branike, ima lahko na drugih nivojih normalno zgradbo.

Kronologiji pinije in alepskega bora se dobro ujemata. Prav tako se dobro ujemata z referenčnima kronologijama pinije in alepskega bora za isto rastišče, kar pomeni, da je bil odziv tako pinije, kot tudi alepskega bora na dejavnike (predvsem vremenske), ki vplivajo na rast, zelo podoben.

Ujemanje kronologij ostankov pinije in alepskega bora z referenčnima kronologijama pomeni tudi, da je bil postopek navzkrižnega datiranja dobro opravljen in to kljub velikem deležu izpadlih branik.

Moč signalov podpopulacije SSS (SSS - subsample signal strength) nam pove, kako se drevesa odzivajo na dejavnike rasti (npr. količina padavin, temperatura). Če imajo vsa drevesa zelo podobno obnašanje (razlike med drevesi so majhne), zadostuje majhno število vzorcev (dreves, izvrtnkov oz. zaporedij širin branik) za predvidevanje, kako se obnaša celotna populacija. Če je obnašanje zelo različno rabimo več vzorcev, da dobimo rezultate, ki predstavljajo celotno populacijo. Če je vrednost  $SSS > 0.85$ , pomeni, da s številom vzorcev, ki smo jih uporabili za izračun, lahko razložimo 85% obnašanja celotne populacije. Ta vrednost je mejna, kazalnik pomeni, da je število ponovitev dovolj veliko za razlago celotne populacije.

Če je vrednost SSS > 0.85, (vrednosti od SSS1 do SSS5) je dovolj izmeriti širine branik vzdolž enega ali dveh radijev na isti višini v drevesu, da dobimo dobro krivuljo povprečne vrednosti širine branik, ob pogoju, da smo postopek navzkrižnega datiranja dobro opravili, za kar v prvi vrsti potrebujemo veliko vzorcev. Zelo pomembna sta analiza branik in njihovo navzkrižno datiranje v 8-ih različnih smereh na istem nivoju v drevesu, kar pomaga rešiti okoli 50% problemov, t. j., z nesklenjenimi in dvojnimi branikami. Za natančno določitev števila popolnoma izpadlih branik, si pomagamo s sledenjem branik po višini v drevesu, za natančno določitev leta, v katerem je branika izpadla, pa je potrebna primerjava med več drevesi.

Končni rezultati raziskave prikazujejo enak odziv rasti izbranih dreves na klimatske in ostale dejavnike, kot če bi analizirali rast dreves, ki imajo manj ali nič izpadlih branik (De Luis, 2007, osebni vir).

Za prihodnje podobne projekte je potrebno je zbrati čim več materiala (izvrtkov ali kolutov debla) večih dreves, pri vsakem drevesu na več različnih višinah in na vsaki višini vzdolž več različnih radijev. Pri pravilno preštetih in navzkrižno datiranih branikah je dovolj izmeriti širine branik v dveh različnih smereh, da dobim dobro krivuljo zaporedja širin branik.

Na tem mestu se nam samo ponuja naslednje vprašanje: »Zakaj vzorčiti tako na veliko, če zadostujeta 2 radija iz prsne višine?«.

Analiza vzdolž 8-ih radijev na isti višini merjenja pomaga določiti probleme z nesklenjenimi branikami. Za natančno določitev v katerem letu branika manjka oz. je popolnoma izpadla je potrebno povečati število nivojev preučevanja v deblu, pomagamo pa si tudi s primerjavo med več drevesi.

Grabner in Wimmer (2006) razlagata, da je variabilnost lesenih komponent v drevesu velika in precej nejasna, kljub temu, da so vidne razlike med komponentami posameznih celic (rani, kasni les, celična stena). Debelno analizo naredimo pomočjo parametra širine branike iz omejenega število vzorcev oz. izvrtkov v longitudinalni (vzdolžni) smeri debla.

Pojasnjujeta tudi, da ni optimalnega mesta v deblu za odvzem vzorca (koluta ali izvrcka) Priporočata prsno višino, saj le-ta vsebuje skoraj vse razpoložljive branike in večino variacij širine branike v zaporednih letih.

Za raziskavo kvalitete lesa prav tako ni splošno priporočljivega mesta za odvzem vzorca, saj je le-to odvisno od parametrov lesa, ki jih nameravamo raziskati.

## 5.2 SKLEPI

Analiza izpadlih in nesklenjennih branik je pokazala, da je na splošno delež nesklenjenih branik večji od deleža popolnoma izpadlih branik. Izpadlih branik je več pri alepskem boru kot pri piniji. Posamezne nesklenjene branike se pri alepskem boru v splošnem pojavljajo od leta 1919, pri piniji pa šele od leta 1969. Pri alepskem boru smo ugotovili več izpadlih branik na panju oz. v spodnjih delih debla, pri piniji pa v vršnih delih debla.

Analiza širin branik vzdolž več radijev in na različnih višinah v deblu, je pomagala pojasniti prostorsko razporeditev izpada branike v posameznem deblu. Sledenje iste branike na različnih radijih in nivojih v deblu je pokazalo, da nobena branika ni popolnoma izpadla in da jo je bilo mogoče izslediti vsaj na kakšnem nivoju.

Zaporedja širin branik vzdolž 8-ih radijev na različnih višinah v deblu so pokazala, da je bilo medsebojno ujemanje zaporedij širin branik na isti višini dobro, prav tako so se ujemala zaporedja na različnih višinah in med različnimi drevesi.

Kazalnik moč signala podpopulacije SSS (SSS - subsample signal strength) je pokazal, da za zanesljivost rezultatov analize zadostuje merjenje širin branik vzdolž enega ali dveh radijev na isti višini v drevesu, ob pogoju, da smo branike pravilno datirali. Pravilno datiranje je možno samo, če pravilno določimo mesto izpadlih branik, za kar pa potrebujemo dobro referenčno kronologijo širin branik ali več meritev v istem drevesu.

Za raziskavo smo pri treh drevesih pinije pridobili 112 zaporedij širin branik in pri treh drevesih alepskega bora skupaj 168 zaporedij širin branik. Omejeno število vzorcev nam je pomagalo pridobiti podatke o prostorskem razporedu izpada prirastka v drevesu.

Primerjava kronologije statističnih ostankov (ARSTAN residual) raziskanih dreves z referenčnima kronologijama alepskega bora in pinije, ki so jih že prej sestavili za območje, kjer smo posekali preučevana drevesa kaže, da je bilo datiranje nastanka popolnih, nesklenjenih in manjkajočih branik pravilno.

Ujemanje kaže tudi, da je so bili klimatski dejavniki ključni za variiranje širin branik posameznih dreves. Rezultati kažejo, da so zaporedja širin branik s pravilno lociranimi, nesklenjenimi ali izpadlimi branikami enako uporabna za študij odziva rasti na klimatske dejavnike kot če bi analizirali rast dreves, ki nimajo izpadlih branik.

Raziskave so pokazale, da za drevesa, kjer predvidevamo veliko izpadlih branik, potrebujemo več kot 2 izvrtna iz prsne višine. Več kot dva vzorca sta nujno potrebna za pravilno datiranje branik. Če vzorčimo samo na prsni višini, lahko vzorčenje razširimo na več dreves (horizontalno vzorčenje) ali pa jih odvzamemo na več višinah (vertikalno vzorčenje), posebno kadar je izpad branik v zgornjem delu debla manjši kot v spodnjem debla.

Glede na rezultate raziskav priporočamo v primeru velikega števila izpadlih branik odvzem 4-ih vzorcev na prsni višini pri posameznem drevesu in povečanje števila izbranih dreves. V skrajnem primeru priporočamo posek reprezentativnih dreves in odvzem kolotov iz različnih nivojev v deblu, prvega na prsni višini, in še 2-3 iz zgornjih delov debla. Glede na specifične lastnosti dreves na posameznih rastiščih, ne moremo podati natančnega števila vzorcev, ki jih potrebujemo za analizo in datiranje branik, saj lahko podamo samo zgoraj navedena navodila, kako naj poteka vzorčenje.

## 6 POVZETEK

Alepski bor (*Pinus halepensis* Mill.) in pinija (*Pinus pinea* L.) sta drevesni vrsti, ki rasteta v Sredozemlju in poseljujeta različne ekosisteme. Obe vrsti sta pomembni za dendrokronološke raziskave, ki jih ovira pogost delen ali popoln izpad prirastka oz. branik. Izpad prirastka znotraj drevesa pri obeh vrstah doslej še ni bil raziskan, dosedanje raziskave pa so bile omejene na na nivo prsne višine v deblu.

Cilji naloge so bili:

- v izbranih drevesih na različnih nivojih v deblu na več radijih datirati in analizirati branike,
- isto braniko zasledovati na kolutih iz različnih nivojev v deblu in po obodu istega koluta,
- opazovati izpad branik in strukturne posebnosti branik na različnih nivojih v deblu,
- primerjati variabilnosti znotraj drevesa, med drevesi iste vrste in med obema drevesnima vrstama,
- izdelati grafe zaporedij širin branik za posamezne nivoje v drevesu, ter povprečja za posamezno drevo in drevesno vrsto,
- izdelati kronologiji posekanih dreves alepskega bora in pinije, ter jih primerjati z referenčno kronologijo alepskega bora in pinije za to rastišče.

Raziskave so bile opravljene v skladu z veljavno dendrokronološko metodologijo. Izbrana drevesa smo posekali in odvzeli kolute za raziskave. Prečno površino kolutov smo gladko obdelali, analizirali, prešteli in izmerili širine branik, ter jih datirali s koledarskimi leti. Izdelali smo grafični prikaz deleža manjkajočih in izpadlih branik na posameznih višinah v deblu in vzdolž 8-ih radijev na posamezni višini ter izdelali krivulje zaporedja širine branik in ugotovili njihovo medsebojno ujemanje.

Izmerjene širine branik smo po sinhroniziranju in navzkrižnem datiranju vnesli v program ARSTAN in v njem izračunali statistične izračune, ki nam na matematični način prikazujejo in vrednotijo opravljene meritve.

Izdelali smo kronologiji statističnih ostankov (ARSTAN residual) za pinijo in alepski bor in jih primerjali med seboj. Prav tako smo primerjali kronologijo statističnih ostankov pinije z referenčno kronologijo statističnih ostankov pinije za isto rastišče in primerjali kronologijo statističnih ostankov alepskega bora z referenčno kronologijo statističnih ostankov alepskega bora za isto rastišče.

Izračunali smo koeficient skladnosti (GLK), t vrednost po Baillie Pilcherju ( $t_{BP}$ ), indeks navzkrižnega datiranja (CDI) in ugotovili prekrivanje kronologij (Olp.) v letih.

Analiza izpadlih in nesklenjennih branik je pokazala, da je na splošno delež nesklenjenih branik večji od deleža popolnoma izpadlih branik. Izpadlih branik je več pri alepskem boru kot pri piniji. Posamezne nesklenjene branike se pri alepskem boru v splošnem pojavljajo od leta 1919, pri piniji pa šele od leta 1969. Pri alepskem boru smo ugotovili več izpadlih branik na panju oz. v spodnjih delih debla, pri piniji pa v vršnih delih debla.

Analiza širin branik vzdolž radijev in na različnih višinah v deblu je pomagala pojasniti prostorsko razporeditev izpada branike v posameznem deblu. Sledenje iste branike na različnih radijih in nivojih v deblu je pokazalo, da nobena branika ni popolnoma izpadla in da jo je bilo mogoče izslediti vsaj na kakšnem nivoju.

Zaporedja širin branik vzdolž 8-ih radijev na različnih višinah v deblu so pokazala, da je bilo medsebojno ujemanje zaporedij širin branik na isti višini dobro, prav tako so se ujemala zaporedja na različnih višinah in med različnimi drevesi.

Kazalnik moč signala podpopulacije SSS (SSS - subsample signal strength) je pokazal, da za zanesljivost rezultatov analize zadostuje merjenje širin branik vzdolž enega ali dveh radijev na isti višini v drevesu, ob pogoju, da smo branike pravilno datirali. Pravilno datiranje je možno samo, če pravilno določimo mesto izpadlih branik, za kar pa potrebujemo dobro referenčno kronologijo širin branik ali več meritev v istem drevesu.

Za raziskavo smo pri treh drevesih pinije pridobili 112 zaporedij širin branik in pri treh drevesih alepskega bora 168 zaporedij širin branik. Omejeno število vzorcev nam je pomagalo pridobiti podatke o prostorskem razporedu izpada prirastka v drevesu.

Primerjava kronologije statističnih ostankov (ARSTAN residual) raziskanih dreves z referenčnima kronologijama alepskega bora in pinije, ki so jih že prej sestavili za območje, kjer smo posekali preučevana drevesa kaže, da je bilo datiranje nastanka popolnih, nesklenjenih in manjkajočih branik pravilno.

Ujemanje kaže tudi, da je so bili klimatski dejavniki ključni za variiranje širin branik posameznih dreves. Rezultati kažejo, da so zaporedja širin branik s pravilno lociranimi (umeščenimi), nesklenjenimi ali izpadlimi branikami enako uporabna za študij odziva rasti na klimatske dejavnike, kot če bi analizirali rast dreves, ki nimajo izpadlih branik.

Raziskave so pokazale, da za drevesa, kjer predvidevamo veliko izpadlih branik, potrebujemo več kot 2 izvrtna iz prsne višine. Več kot dva vzorca sta nujno potrebna za pravilno datiranje branik. Če vzorčimo samo na prsni višini, lahko vzorčenje razširimo na več dreves (horizontalno vzorčenje) ali jih odvzamemo na več višinah (vertikalno vzorčenje), posebno kadar je izpad branik v zgornjem delu debla manjši kot v spodnjem debla.

Glede na rezultate raziskav priporočamo v primeru velikega števila izpadlih branik odvzem 4-ih vzorcev na prsni višini pri posameznem drevesu in povečanje števila izbranih dreves. V skrajnem primeru priporočamo posek reprezentativnih dreves in odvzem kolotov iz različnih nivojev v deblu, prvega na prsni višini, in še 2-3 iz zgornjih delov debla. Glede na specifične lastnosti dreves na posameznih rastiščih, ne moremo podati natančnega števila vzorcev, ki jih potrebujemo za analizo in datiranje branik, saj lahko podamo samo zgoraj navedena navodila, kako naj poteka vzorčenje.

## 7 VIRI

1. Barbéro M., Loisel R., Quezel P., Richardson M.D., Romane F. 1998. Pines of the Mediterranean Basin. *Ecology and Biogeography of Pines*: 153 -170
2. Brus R. 2004. Drevesne vrste na Slovenskem. Ljubljana, Mladinska knjiga založba, d.d.: 399 str.
3. Cherubini P., Gartner B., Tognetti R., Braker O., Schoch W., Innes J. 2003. Identification, measurements and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climates. *Biological Reviews*, 78: 119-148
4. Čufar K. 2006. Anatomija lesa (univerzitetni učbenik). Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
5. Čufar K. 2007. Les pinije in alepskega bora. Katedra za tehnologijo lesa, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. (osebni vir, 2007).
6. Čufar K., Levanič T. 2000. Dendrokronologija kot metoda za datiranje lesa = Dendrochronology as a method for dating wood. *RES., Dela, Papers* 4/1999: 31-37
7. Čufar K., Levanič T., Zupančič M. 1995. Slovenija, regija za dendrokronološke raziskave. *Les*, 47: 133-136
8. De Luis M. 2007. Alepiski bor in pinija v Španiji. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Facultad de filosofía y letras, Universidad de Zaragoza. (osebni vir, junij 2007)
9. De Luis, M., Čufar K., Di Filippo A., González-Hidalgo J. C., Jurc M., Piovesan G. L., Raventós J. 2005. Climate-growth relationship of Aleppo Pine (*Pinus Halepensis*) from three different Mediterranean localities. V: International Scientific Conference of Dendrochronology. Book of Abstracts. EUROCENDRO Viterbo (Italy): 13 – 14
10. García-Apaza E. 2006. Balance de agua y carbono en un ecosistema mediterráneo de costa. Tesis doctoral. Universidad de Alicante, Facultad de Ciencias, Departamento de Ecología: 259 str.

11. Gil-Olcina A., Olcina-Cantos J. 2000. Cartografía Temática de las Tierras Alicantinas – Clima. Alicante. Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante: 120 str.
12. Google Earth. 2007. <http://earth.google.com>
13. Grabner M., Wimmer R. 2006. Variation of tree-ring parameters in samples from each terminal shoot of a Norway spruce tree. Dendrochronologia, 23: 111-120
14. Holmes R. L. 1994. Dendrochronology program library user's manual. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona, Tucson, USA.
15. Španija iz Wikipedije, proste enciklopedije. 2007. <http://es.wikipedia.org>
16. Bioversityinternational.[http://www.bioversityinternational.org/networks/euforgen/  
Euf Distribution Maps.asp](http://www.bioversityinternational.org/networks/euforgen/Euf_Distribution_Maps.asp)
17. Italia. Corpo Forestale dello Stato. <http://www.corpoforestale.it>
18. Humphries C. J. 1982. Guía de los árboles de España y de Europa. Barcelona, Ediciones Omega, S.A.: 321 str.
19. KAPPA - video digitalne kamere. <http://www.kappa.de>
20. Merilna oprema podjetja Scientific Engineering and Manufacture. <http://www.sciem.com>
21. Kaenel M., Schweingruber F.H. 1995. Multilingual Glossary of Dendrochronology. WSL, FNP, Haupt.: 467 str.
22. Levanič T. 1996. Dendrokronološka in dendroekološka analiza propadajočih vladajočih in sovladajočih jelk (*Abies alba* Mill.) v dinarski fitogeografski regiji: doktorska disertacija. Ljubljana, samozaložba: 165 str.
23. Levanič T., Čufar K 2000. Dendrokronološko datiranje objektov v Sloveniji = Dendrochronological dating of wooden objects in Slovenia. RES., Dela, Papers 4/1999: 38-47
24. Maestre T. F., Cortina J. 2004. Are *Pinus Halepensis* plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas? Forest Ecology and Management, 198: 303-317
25. Mira i Botella F. 2000. Repoblación de las Dunas de Guardamar del Segura – Memoria y fotografías. M. I. Ayuntamiento de Guardamar del Segura: 90 str.
26. Mirov N.T. 1967. The Genus Pinus. Berkeley, University of California: 602 str.

27. Raventós J., De Luis M., Gras M. J., Čufar K., González-Hidalgo J. C., Bonet A., Sánchez J. R. 2001. Growth of *Pinus pinea* and *Pinus halepensis* as effected by dryness, marine spray and land use changes in a mediterranean semiarid ecosystem. *Dendrochronologia*, 19, 2: 211-220
28. Raventós J., Dorado I., Gras M. J., De Luis M., González-Hidalgo J.C. 2004. Tree rings anomalies on *Pinus halepensis* in an inland/coast gradient: a dendroecological preliminary approach. V: Proceedings of 10th MEDECOS Conference. Rhodes. Greece.
29. Schweingruber F. H. 1996. Tree Rings and Environment Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienn, Haupt.: 609 str.
30. Schweingruber F.H. 1990. Anatomie europäischer Hölzer – Anatomy of European woods. WSL, FNP Haupt.: 800 str.
31. Slovar slovenskega knjižnega jezika. 1998. Elektronska izdaja na CD-ROM-u, Ljubljana, SAZU in ZRC SAZU.
32. Srebotnjak K. 1997. Dendroekološka analiza črnega bora (*Pinus nigra* Arn.) na Divaško Komenskem krasu. Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij). Ljubljana, samozaložba: 80 str.
33. Stevens C.G., Enquist B. 1998. Macroecological limits to the abundance and distribution of *Pinus*. Ecology and Biogeography of Pine: 183-190
34. Wimmer R., Strumi G., Holawe F. 2000. Use of false rings in Austrian pine to reconstruct early growing season precipitation. Canadian Journal of Forest Research, 30: 1691-1697
35. Zajec L. 2005. Ekološke in dendrokronološke analize rasti alepskega bor (*Pinus halepensis* Mill.) iz izbranih rastišč v Sloveniji in Španiji. Diplomsko delo (Univerzitetni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 94 str.

## ZAHVALA

Preden se zahvalim vsem, ki so mi pomagali pri študiju in izdelavi diplomske naloge, moram na kratko omeniti vsa naključja, ki so me pripeljala do zaključka študija in diplome v taki obliki kot je. Prvo naključje je bilo ukvarjanje s plezanjem in alpinizmom, zaradi česar sem se po spletu okoliščin odločil za študij lesarstva, drugo naključje potovanja in odhod na študentsko izmenjavo v Alicante v Španijo in tretje naključje, odločitev živeti v Španiji. Po zaključku študentske izmenjave bi prav lahko ostal v Sloveniji in napisal diplomo do konca, vendar nisem imel miru, zato sem se vrnil v Španijo in jo dokončal v letu 2007, v najprimernejšem delovnem okolju, na Oddelku za ekologijo Univerze v Alicanteju, kjer se je vse skupaj začelo pred dvema letoma.

V prvi vrsti se zahvaljujem mentorici prof. dr. Katarini Čufar, ki me je vodila, usmerjala in svetovala pri pisanju diplome in predvsem verjela vame, kadar se mi ni dalo. Zahvala gre tudi prof. dr. Primožu Ovnu za strokovni pregled diplome, gospe Mileni Bizjan za pomoč pri pri urejanju uradnih stvari in prigovaranju naj že enkrat dokončam diplomo, ter gospe Darji Vranjek, knjižničarki, s katero bi se dalo urediti vse po internetu, a sem se na koncu raje kar osebno oglasil pri njej.

Zahvaliti se moram tudi prof. dr. Josepu Raventósu iz Univerze v Alicanteju in dr. Martínu De Luisu iz Univerze v Zaragozi, ki sta od vsega začetka sodelovala in mi pomagala pri diplomi, predvsem pa, ker sta mi dala priložnost za delo in življenje v Španiji. Zahvala gre tudi laboratorijskemu tehniku José-ju Huesci za pomoč pri praktičnem delu in Sergiu Luján Mora za pomoč pri računalniškem prelomu diplome.

Na koncu bi se rad zahvalil svojim domačim, staršema, bratu in sestri, ki so me podpirali v času študija in se vedno znova čudili novim idejam ob podaljševanju študija in nestrnjem pričakovanju, kdaj bom diplomiral.

Zahvala gre tudi vsem prijateljem in znancem v Španiji (v Alicanteju in Zaragozi), ki so mi v tem obdobju pomagali in omogočili spoznati Španijo tako kot v resnici je in ne samo kot jo vidimo od daleč.

## **RESUMEN DEL PROYECTO FIN DE CARRERA (POVZETEK DIPLOME V ŠPANSKEM JEZIKU)**

### **PREFACIO**

El pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) y el pino piñonero (*Pinus pinea* L.) son dos especies de árboles distintos que crecen en los ecosistemas del Mediterráneo. En sus límites del distribución están expuestos a las condiciones extremas del tiempo (clima) las cuales a menudo limitan su presencia. Su distribución se extiende por toda la cuenca mediterránea, siendo especies capaces de vivir en suelos pobres en nutrientes, o en condiciones de altas temperaturas y estrés hídrico.

La anatomía de su madera está bien descrita en Schweingruber (1990). La estructura y calidad de su madera dependen del tamaño de los anillos, proporción de madera tardía, transición entre madera temprana y madera tardía y también de los anillos ausentes, dobles y localmente ausentes. Todas estas características dependen de factores ecológicos y sobretodo climáticos. El conocimiento de las características de la madera de estas especies está limitado a muestras obtenidas a la altura del pecho, siendo la información sobre la variabilidad de los anillos a distintas distancias del tronco es muy escasa.

La madera de las dos especies que crecen en condiciones semiáridas en España tiene la estructura diferente que las dos especies que crecen en el Mediterráneo en Eslovenia, sobretodo desde la vista del tamaño de los anillos, anillos ausentes y proporciones de la madera temprana y tardía. (ej. Zajec, 2005).

La falta de las precipitaciones es el factor más importante, que limita crecimiento de los pinos en el Mediterráneo español. El clima en los pueblos costeros de la Comunidad Valenciana, donde ha sido elaborado dicho proyecto, es semiárido, con una precipitación anual entre 300 y 400 mm. En el contexto del cambio climático, la frecuencia e intensidad de fuertes sequías se vería incrementada reduciendo la posibilidad de la supervivencia de estas especies.

El proyecto fin de carrera es parte de proyecto Variabilidad climática y dinámica forestal en ecosistemas de ecotono, Ref.: REM 2003 – 07453 del Departamento de Ecología de la

Universidad de Alicante, donde estuve estudiando en el curso académico 2005 / 2006 como estudiante SOCRATES / ERASMUS.

En el proyecto hemos hecho la investigación de la estructura de la madera en distintos niveles en el tronco de pino carrasco y pino piñonero de las dunas de Guardamar del Segura que están ubicadas en sureste de España. Nuestros objetivos eran:

- en los árboles seleccionados analizar y fechar los anillos en distintos niveles en el tronco y en cada nivel, en distintos radios,
- caracterizar el mismo anillo en los discos de tronco de distintos niveles y radios en el tronco,
- observar la pérdida de los anillos y las características estructurales particulares de esos anillos en distintos niveles en el tronco,
- comparar la variabilidad en la estructura de los anillos dentro del árbol, entre los árboles de la misma especie y entre las dos especies,
- elaborar los gráficos de los grosores de los anillos en distintos niveles en los árboles, gráficos del promedio para cada árbol y gráficos del promedio para especie,
- elaborar las cronologías de los árboles de pino carrasco y pino piñonero que hayan sido cortados e investigados y compararlas con cronologías maestras para el sitio del crecimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Hemos hecho la investigación dendrocronológica de pino carrasco y pino piñonero en el sureste de España, en el término municipal de Guardamar del Segura, que está ubicado aproximadamente 45 kilómetros al suroeste de Alicante en la Comunidad Valenciana.

Para la tala hemos seleccionado árboles típicos, sin anomalías ni lesiones visibles en su crecimiento y con copas no dañadas. Hemos cortado tres árboles de pino carrasco y tres de pino piñonero. De cada árbol, hemos extraído secciones circulares en diferentes alturas del tronco para realizar la investigación. El primer disco del tronco se tomó en la base del

árbol (0,33 cm), el siguiente en la altura del pecho (1,2 m) y los siguientes, en cada metro hasta la copa.

Cada sección circular fue lijada en el laboratorio y posteriormente cada anillo fue fechado y medido su grosor. Hemos sincronizado los gorsores de los anillos medidos y así identificado anillos localmente ausentes y anillos ausentes en toda la sección. Las curvas conseguidas (del crecimiento de los anillos) las hemos fechado y guardado como datos para su análisis posterior.

El análisis estadístico y la construcción de cronologías a partir de estas series dendrocronológicas se ha realizado con el programa ARSTAN (Holmes, 1994). Así, hemos elaborado cronologías locales para los árboles cortados y las hemos comparado con cronologías locales ya existentes de pino carrasco y pino piñonero. ARSTAN permite la elaboración de las tres cronologías distintas, cronología de las sucesiones de los gorsores de los anillos (ARSTAN raw), cronología estandard (ARSTAN standard) y cronología residual (ARSTAN residual) (Holmes, 1994).

En este trabajo, tanto para la comparación entre las cronologías creadas como para la comparación con las cronologías preexistentes hemos usado la cronología residual. También, como elemento de comparación entre las cronologías, hemos calculado los estadísticos GLK, t valor según Baillie-Pilcher ( $t_{BP}$ ), índice de datación cruzada (CDI) y solapamiento (Olp.) de las cronologías.

## RESULTADOS

En el análisis de los anillos hemos empezado con pino piñonero, porque esta especie es mas fácil de analizar desde un punto de vista dendrocronológico, porque tiene menos anomalías en el crecimiento y las que están presentes son más fáciles de determinar.

En ésta especie, la mayoría de los anillos ausentes esta en las partes superiores del tronco.

En promedio, el porcentaje de anillos localmente ausentes (anillos ausentes en unos radios de la sección pero no en otros) es mayor, que el porcentaje de anillos ausentes en todos los radios de la sección.

Las series de medidas de los gorsores de los anillos las hemos promediado por cada sección y comparado con las obtenidas en otros niveles. La coincidencia es en todos los

casos muy buena, tanto en mismo nivel como en los distintos niveles y entre los árboles, lo cual confirma que el proceso de sincronización de las muestras ha sido realizado correctamente.

Posteriormente, las mediciones individuales fueron analizadas con el programa ARSTAN. El estadístico SSS (ingles - subsample signal strength) nos da una medida del grado de replicación necesaria para tener una medida representativa de cada año. Así, si el comportamiento de todos los árboles es muy parecido, es suficiente una cantidad pequeña de las muestras (testigos de la madera) para tener una muestra representativa del conjunto de toda la población. Si el comportamiento es muy distinto, necesitamos más muestras para obtener resultados representativos. Algunos autores establecen un valor umbral  $SSS > 0.85$  para poder aceptar el grado de replicación (significa, que con la cantidad de las muestras seleccionadas para los cálculos, podemos explicar 85 % del comportamiento de la población total).

En nuestro caso este valor  $SSS > 0.85$  se alcanza con solamente uno o dos radios de cada sección. Este resultado sugiere, que si bien es necesario trabajar con al menos ocho radios en cada sección para realizar un proceso de sincronización correcta, una vez sincronizadas las muestras, la medición de dos radios sería suficiente para tener una serie representativa de cada sección. Este resultado es además consistente en los diferentes árboles y alturas estudiadas.

El pino carrasco es, desde un punto de vista dendroconológico, más complicado que el pino piñonero ya que tiene más anomalías en el crecimiento y estas son más difíciles de identificar. En caso de pino carrasco nos han ayudado los resultados obtenidos previamente en el pino piñonero. Como hemos cortado árboles de las dos especies en el mismo sitio y en el mismo tiempo, las dos especies tienen sucesión de los anillos bastante parecidos y sobretodo los años característicos con anillos muy pequeños o muy grandes son coincidentes en ambas especies.

El pino carrasco tiene más anillos ausentes en la base de tronco, pero en altura, este porcentaje desciende contrariamente al pino piñonero donde la mayoría de los anillos ausentes está en la parte superior del tronco. La misma tendencia está presente en los tres árboles, excepto en el segundo, cual tiene algo más de anillos ausentes en las partes más

altas. El porcentaje de anillos localmente ausentes es igual o mayor que el porcentaje de anillos ausentes en toda la sección.

De la misma manera que lo observado para el pino piñonero, las series de medidas coinciden muy bien tanto en mismo nivel, en distintos niveles y entre los árboles, lo cual confirma que el proceso de la mediación y sincronización de los anillos ha sido realizado correctamente.

También de igual manera que lo observado para el pino piñonero, el estadístico SSS indica que en caso de pinos carrasco es suficiente medir 1-2 anillos en distintos niveles para conseguir una curva correcta del valor promedio de los anillos para cada sección.

La comparación de las cronologías de las series del crecimiento entre pino piñonero y pino carrasco raw, entre pino piñonero raw y pino piñonero maestra, entre pino carrasco raw y pino carrasco maestra indica una coincidencia muy buena, lo cual significa, que la respuesta de pino piñonero y pino carrasco a los factores del crecimiento (sobretodo climáticos) ha sido muy parecida.

Coincidencia de las cronologías raw de pino piñonero y pino carrasco con cronologías maestras de pino piñonero y pino carrasco significa también, que el proceso de datación cruzada ha sido bien hecho a pensar del gran porcentaje de los anillos ausentes y anomalías del crecimiento observadas.

## CONCLUSIONES

El análisis de los anillos ausentes demuestra, que en general el porcentaje de los anillos localmente ausentes es mayor que el porcentaje de los anillos ausentes en toda la sección. En caso de pino carrasco hay más anillos ausentes que en caso de pino piñonero. Los anillos ausentes en pino carrasco empiezan aparecer a partir del año 1919 y en pino piñonero a partir del año 1969. En caso del pino carrasco hemos determinado más anillos ausentes en las partes inferiores del tronco y en caso del pino piñonero más en las partes superiores del tronco.

El análisis de los anillos en los distintos niveles en el tronco nos ha ayudado explicar la distribución espacial de los anillos ausentes en secciones o árboles individuales. El seguimiento del mismo anillo en distintos radios y niveles en el tronco ha demostrado que casi ningún anillo está totalmente ausente, sino que existe al menos en una parte en el tronco.

Las series de los grosores de los anillos en los 8 radios en distintas alturas del tronco han demostrado una coincidencia buena entre ellos tanto en la misma altura, como entre alturas distintas y entre árboles distintos.

El factor SSS indica, que es suficiente medir los grosores de los anillos a lo largo de una o dos direcciones en el mismo nivel en el tronco para conseguir resultados fiables, bajo la condición de haber fechado los anillos correctamente. Fechar correctamente es posible sólo, si colocamos correctamente los anillos ausentes a los años correspondientes. Para ello necesitamos una cronología maestra muy buena o una replicación abundante.

En la investigación hemos preparado de los tres árboles de pino piñonero 112 secuencias de los grosores de los anillos y de los tres árboles de pino carrasco 168 secuencias de los grosores de los anillos. Este número de muestras nos ha hecho posible conseguir datos de la distribución vertical y horizontal de los anillos ausentes en el árbol.

La comparación de las cronologías (ARSTAN residual) de los árboles investigados con las cronologías maestras de pino piñonero y pino carrasco, indica, que el proceso del fechado de los anillos normales, localmente ausentes y ausentes ha sido correcto.

La coincidencia demuestra también, el papel clave de los factores climáticos en la variación interanual en el crecimiento de los árboles. Los resultados indican que las sucesiones del crecimiento de los anillos obtenidos a través de una datación correcta de anillos ausentes son igualmente útiles para la investigación de la respuesta del crecimiento a los factores climáticos, como si hubiéramos analizado el crecimiento de los árboles que no tienen anillos ausentes.

Investigaciones han demostrado la falta de un muestreo mayor de 2 muestras en la altura del pecho cuando prevemos mayor cantidad de los anillos ausentes en los árboles. La obtención de más de dos muestras es una medida aconsejable para una datación correcta de los anillos en condiciones mediterráneas semiáridas. Una estratificación vertical del muestreo sería también una estrategia aconsejable. Si esto no fuese posible, una replicación abundante sería recomendable para ayudar a solucionar la ubicación de los anillos ausentes.

A partir de los resultados de la investigación, en caso de previsión de presencia de muchos anillos ausentes nuestra recomendación es la de obtener al menos 4 muestras en la altura del pecho por árbol e incrementar el número de los árboles seleccionados hasta al menos 20. En casos extremos de alta frecuencia de anillos ausentes recomendamos cortar árboles representativos y sacar discos del tronco en distintos niveles. El primero en la altura del pecho y luego de 2 a 3 más en las partes superiores.

## AGRADECIMIENTOS

Antes de darles las gracias a todos los que me han ayudado durante mi carrera y trabajo para proyecto fin de carrera, tengo que mencionar unos factores, que han influido en mis estudios y en este proyecto fin de carrera.

El primer factor ha sido mi profunda afición al mundo del alpinismo, por lo cual razón empecé a estudiar la carrera universitaria de la tecnología de la madera. El segundo elemento que influyó en dirección de mis estudios fue venir a Alicante como estudiante del programa europeo de intercambio. Finalmente, también influyó poderosamente la posibilidad de extender mi periodo de estancia en España para completar mi proyecto fin de carrera. Después del periodo de estancia del intercambio estudiantil, podría haberme quedado fácilmente en Eslovenia y terminar mi proyecto fin de carrera en casa, pero como no encontré tranquilidad y paz, decidí volver a Alicante y he terminado mi proyecto en el año 2007, en un ambiente del trabajo adecuado, en el Departamento de Ecología de la Universidad de Alicante dónde había empezado todo hace ya dos años.

En primer lugar tengo que agradecer a la prof. dr. Katarina Čufar, mi tutora del proyecto, por su ayuda, guía y consejos a lo largo de todo el proyecto y sobretodo por creer en mí, en mis momentos de desánimo. Debo dar las gracias también al prof. dr. Primož Oven para su revisión experta, a Dña. Milena Bizjan por su ayuda en solucionar las cuestiones formales del proyecto y por convencerme para terminar por fin mi proyecto y carrera. Las gracias van también a Dña. Darja Vranjek, bibliotecaria, con quien podría haber arreglado todo por el correo electrónico, pero al final hablé con ella personalmente.

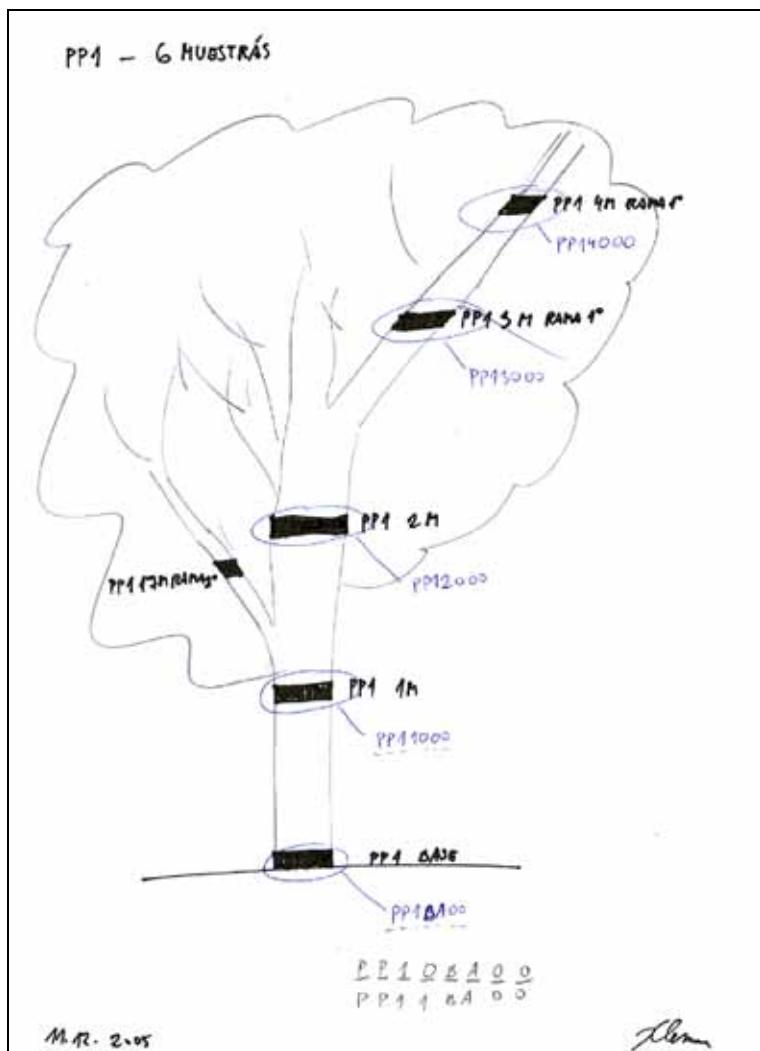
En segundo lugar tengo que dar las gracias al prof. dr. Josep Raventós de la Universidad de Alicante y a dr. Martín De Luis de la Universidad de Zaragoza, quienes han participado desde el principio en este proyecto, me han ayudado siempre y sobretodo, porque han hecho posible que yo viva y trabaje en España. Las gracias también a José Huesca, técnico del Laboratorio de Ecología, quien me ha ayudado en la parte práctica del proyecto y a Sergio Luján Mora por su ayuda en el diseño del proyecto en forma digital.

Al final quiero darles las gracias a mis padres, a mi hermano y a mi hermana, quienes me han apoyado siempre a pesar de mis permanentes cambios de planes y retrasos en la finalización de los estudios.

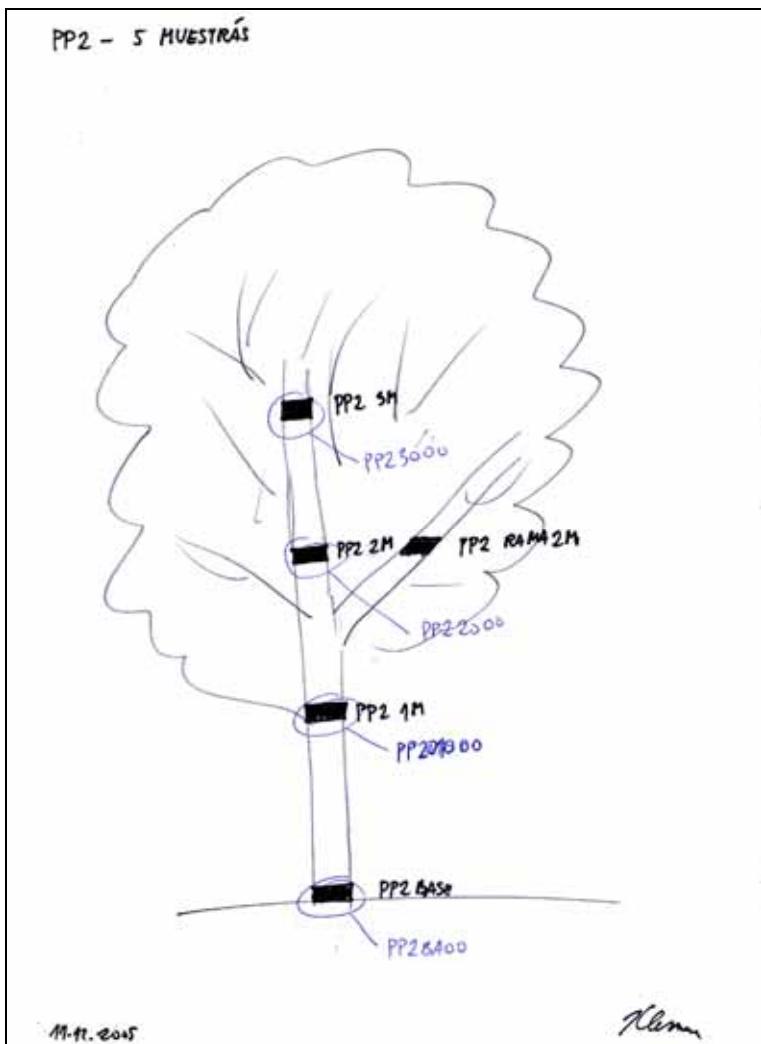
Por último, tengo que agradecerles también a todos mis amigos y conocidos en España (en Alicante y en Zaragoza), que me ha ayudado en estos dos años y hecho posible conocer verdaderamente España y no sólo como se ve desde lejos, desde otros países.

## PRILOGE

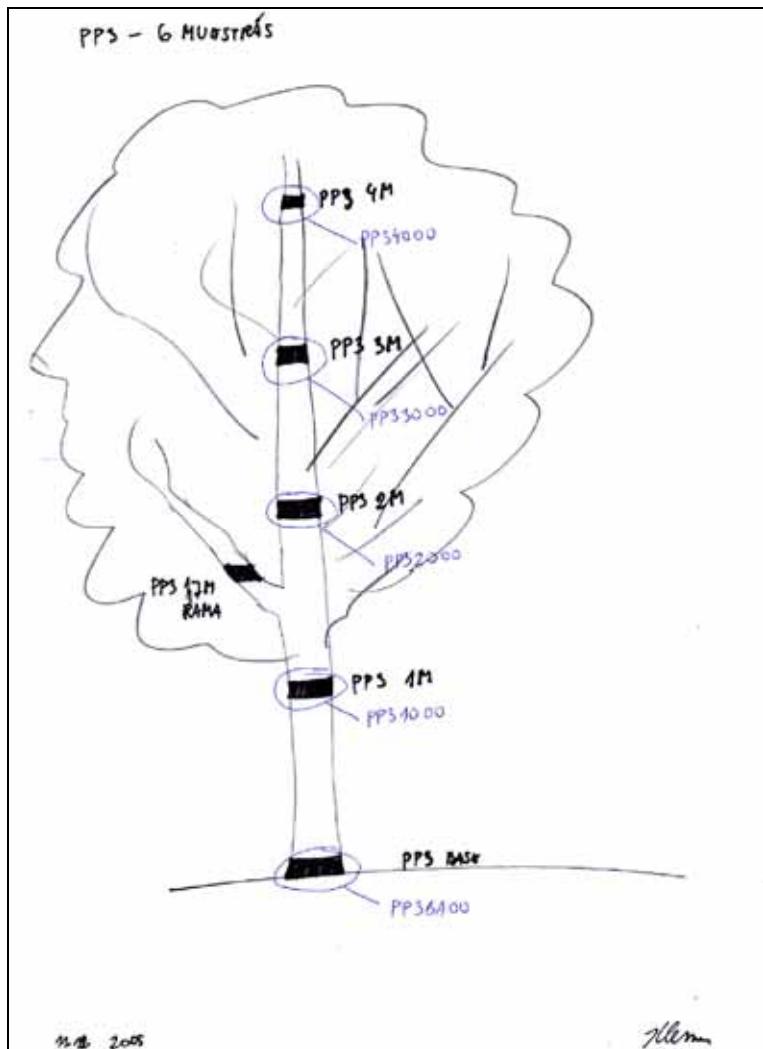
### Priloga A Skica prvega drevesa pinije (PP10)



Priloga B  
Skica drugega drevesa pinije (PP20)

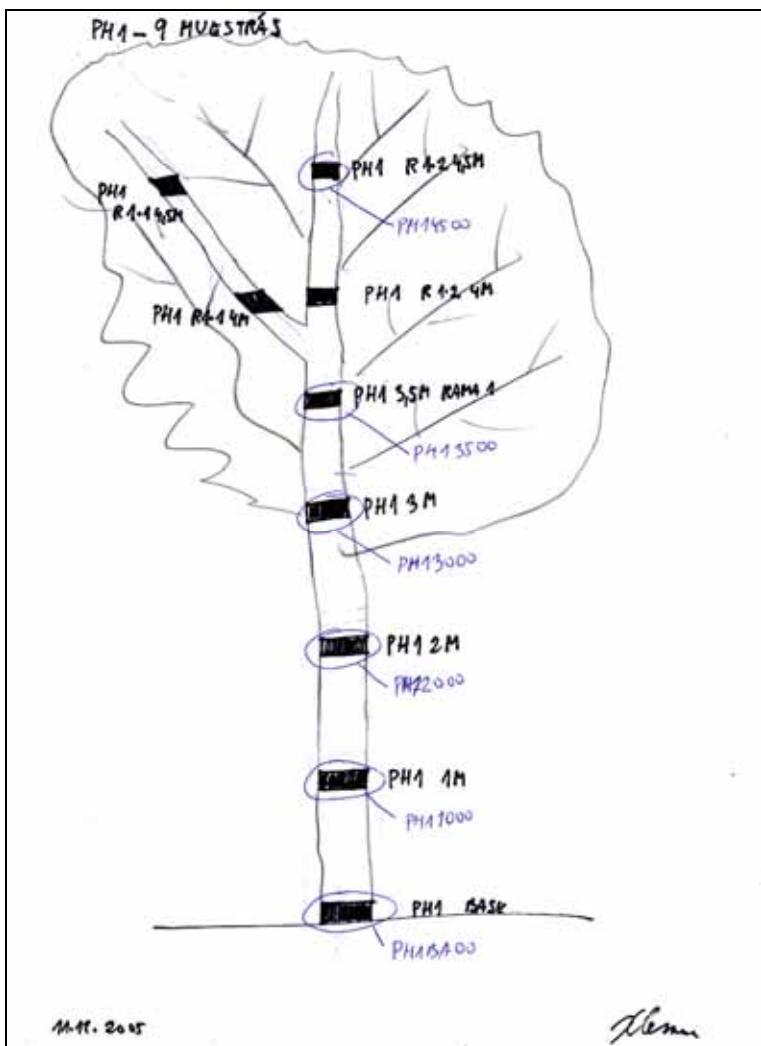


Priloga C  
Skica tretjega drevesa pinije (PP30)



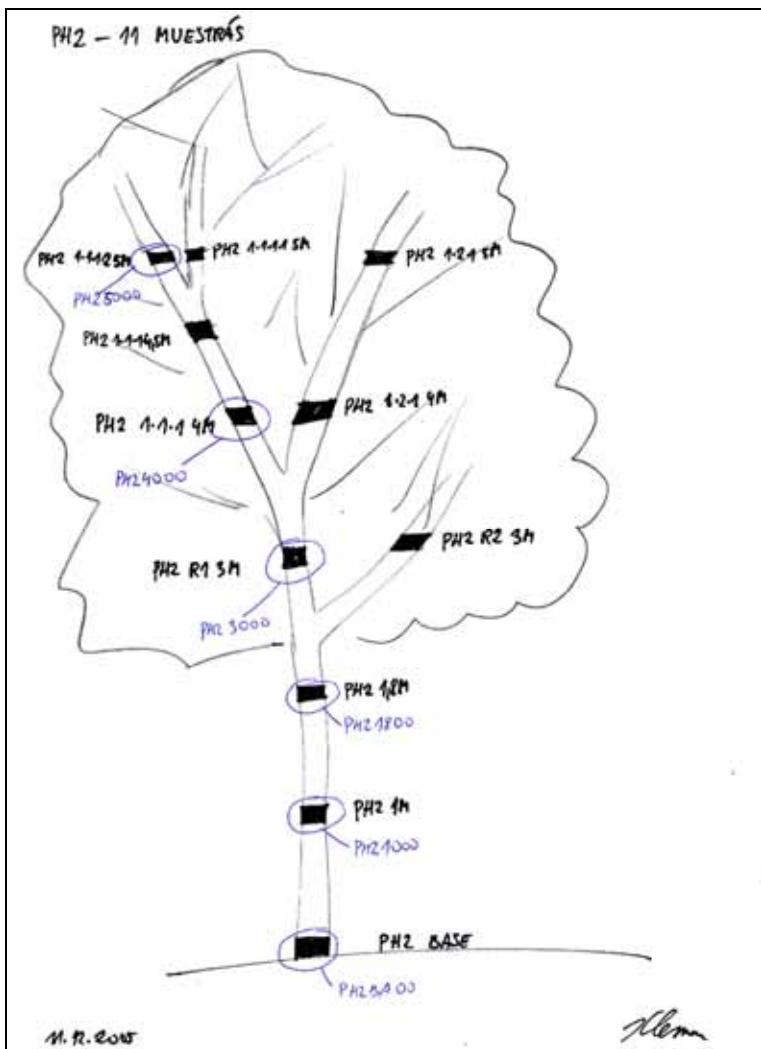
Priloga D

Skica prvega drevesa alepskega bora (PH10)



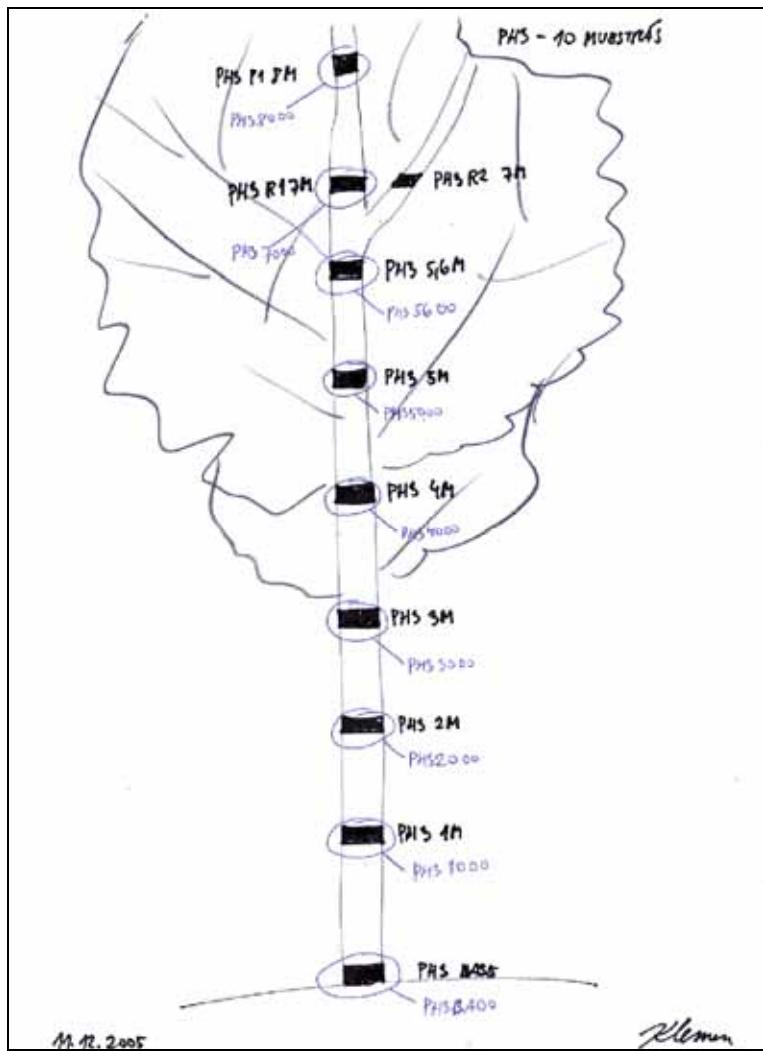
Priloga E

Skica drugega drevesa alepskega bora (PH20)



Priloga F

Skica tretjega drevesa alepskega bora (PH30)



Priloga G  
Statistični izračuni za prvo drevo pinije (PP10)

	PP10BA	PP1010	PP1020	PP1030	PP1040
nº radii	8	8	8	8	8
begin	1924	1930	1937	1950	1970
end	2005	2005	2005	2005	2005
length	82	76	69	56	36
rings	651	608	550	448	282
absent rings	48	53	76	75	62
mean_ring_width	0.955	0.982	0.637	0.699	0.718
mean Sens	0.53	0.53	0.575	0.507	0.635
std_dev	1.158	1.033	0.582	0.625	0.712
Part. Aut Order_1	0.79	0.72	0.71	0.72	0.78
Part. Aut Order_2	0	-0.16	-0.1	-0.16	-0.23
Part. Aut Order_3	0.26	0.22	-0.01	0	-0.12
Mean corr among all radii	0.932	0.977	0.948	0.928	0.94
Radii vs mean	0.97	0.99	0.977	0.968	0.973
SS_1	0.932	0.977	0.948	0.928	0.94
SS_2	0.965	0.988	0.973	0.963	0.969
SS_3	0.976	0.992	0.982	0.975	0.979
SS_4	0.982	0.994	0.986	0.981	0.984
SS_5	0.986	0.995	0.989	0.985	0.987
Signal to noise ratio	109.726	339.549	145.02	103.45	124.34
Agreement with population chronology	0.991	0.997	0.993	0.99	0.992

Priloga H  
Statistični izračuni za drugo drevo pinije (PP20)

	PP20BA	PP2010	PP2020	PP2030
nº radii	8	8	8	8
begin	1925	1932	1939	1958
end	2005	2005	2005	2005
length	81	74	67	48
rings	648	592	536	384
absent rings	65	88	73	56
mean_ring_width	0.964	0.9	0.826	0.713
mean Sens	0.583	0.615	0.63	0.7
std_dev	0.999	0.984	0.722	0.707
Part. Aut Order_1	0.72	0.72	0.74	0.72
Part. Aut Order_2	-0.11	-0.23	-0.22	-0.25
Part. Aut Order_3	0.21	0.23	0	0.5
Mean corr among all radii	0.911	0.946	0.918	0.906
Radii vs mean	0.96	0.976	0.964	0.957
SS_1	0.911	0.946	0.918	0.906
SS_2	0.953	0.972	0.957	0.951
SS_3	0.968	0.981	0.971	0.966
SS_4	0.976	0.986	0.978	0.975
SS_5	0.981	0.984	0.983	0.98
Signal to noise ratio	81.58	139.42	90.019	76.935
Agreement with population chronology	0.988	0.933	0.989	0.987

Priloga I  
Statistični izračuni za tretje drevo pinije (PP30)

	PP30BA	PP3010	PP3020	PP3030	PP3040
nº radii	8	8	5	8	8
begin	1927	1939	1954	1974	1989
end	2005	2005	2005	2005	2005
enght	71	67	52	32	17
rings	632	536	260	256	119
absent rings	3	17	13	21	10
mean_ring_widh	1.148	1.067	0.86	0.79	0.698
mean Sens	0.389	0.452	0.516	0.526	0.679
std_dev	0.962	0.641	0.617	0.453	0.423
Part. Aut Order_1	0.69	0.59	0.63	0.5	0.23
Part. Aut Order_2	0.07	0.03	0.09	-0.01	-0.08
Part. Aut Order_3	0.32	0.21	0.28	0.04	-0.19
Mean corr among all radii	0.898	0.821	0.871	0.87	0.918
Radii vs mean	0.954	0.918	0.946	0.94	0.964
SS_1	0.898	0.821	0.871	0.87	0.918
SS_2	0.946	0.901	0.931	0.93	0.957
SS_3	0.964	0.932	0.953	0.952	0.971
SS_4	0.972	0.948	0.964	0.964	0.978
SS_5	0.978	0.958	0.971	0.971	0.982
Signal to noise ratio	70.662	36.573	33.727	53.46	77.904
Agreement with population chronology	0.986	0.973	0.971	0.982	0.987

Priloga J

Statistični izračuni za prvo drevo alepskega bora (PH10)

	PH10BA	PH1010	PH1020	PH1030	PH1035	PH1045
nº radii	7	8	8	8	8	8
begin	1908	1909	1916	1920	1922	1926
end	2005	2005	2005	2005	2005	2005
length	98	97	90	88	84	80
rings	681	776	720	688	672	640
absent rings	167	179	153	116	122	80
mean_ring_width	0.772	0.656	0.741	0.676	0.494	0.44
mean Sens	0.674	0.891	0.732	0.79	0.778	0.581
std_dev	1.274	0.951	1.032	0.733	0.474	0.398
Part. Aut Order_1	0.73	0.66	0.82	0.6	0.57	0.38
Part. Aut Order_2	- 0.11	0.32	0.12	0	0.07	- 0.05
Part. Aut Order_3	0.16	0.29	0.17	0.17	0.12	0.11
Mean corr among all radii	0.912	0.906	0.948	0.84	0.823	0.816
Radii vs mean	0.962	0.958	0.977	0.927	0.919	0.915
SS_1	0.912	0.906	0.948	0.84	0.823	0.816
SS_2	0.954	0.951	0.973	0.913	0.903	0.898
SS_3	0.969	0.966	0.982	0.94	0.933	0.93
SS_4	0.977	0.975	0.987	0.955	0.949	0.946
SS_5	0.981	0.98	0.989	0.963	0.959	0.957
Signal to noise ratio	72.792	76.81	146.674	42.093	37.075	35.366
Agreement with population chronology	0.986	0.987	0.993	0.977	0.974	0.973

## Priloga K

### Statistični izračuni za drugo drevo alepskega bora (PH20)

	PH20BA	PH2010	PH2018	PH2030	PH2040	PH2050
nº radii	7	8	8	8	8	8
begin	1913	1915	1924	1929	1949	1966
end	2005	2005	2005	2005	2005	2005
length	93	89	82	77	57	40
rings	651	717	656	616	463	313
absent rings	91	113	85	50	27	41
mean_ring_width	0.786	0.716	0.971	0.689	0.724	0.795
mean Sens	0.814	0.844	0.767	0.755	0.705	0.684
std_dev	1.05	0.913	0.97	0.653	0.619	0.725
Part. Aut Order_1	0.5	0.49	0.7	0.53	0.5	0.65
Part. Aut Order_2	0.34	0.28	0.15	-0.4	-0.06	0.3
Part. Aut Order_3	0.33	0.2	0.14	0.4	0.16	0.16
Mean corr among all radii	0.898	0.825	0.762	0.747	0.81	0.831
Radii vs mean	0.955	0.919	0.888	0.872	0.91	0.922
SS_1	0.898	0.825	0.726	0.747	0.81	0.813
SS_2	0.946	0.904	0.865	0.855	0.895	0.908
SS_3	0.964	0.934	0.906	0.899	0.928	0.936
SS_4	0.972	0.95	0.928	0.922	0.945	0.952
SS_5	0.978	0.959	0.941	0.937	0.955	0.961
Signal to noise ratio	61.735	37.745	25.595	23.645	34.135	39.301
Agreement with population chronology	0.984	0.974	0.962	0.959	0.972	0.975

## Priloga L

### Statistični izračuni za tretje drevo alepskega bora (PH30)

	PH30BA	PH3010	PH3020	PH3030	PH3040	PH3050	PH3056	PH3070	PH3080
nº radii	8	8	8	8	8	8	8	8	8
begin	1910	1914	1920	1927	1948	1957	1961	1968	1971
end	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005
length	96	92	86	79	57	49	45	38	35
rings	768	736	688	616	456	392	360	304	280
absent rings	230	243	176	129	96	75	75	40	5
mean_ring_width	0.621	0.658	0.733	0.529	0.689	0.865	0.987	0.722	0.72
mean Sens	0.683	0.534	0.6	0.716	0.732	0.724	0.649	0.741	0.777
std_dev	1.102	1.021	0.727	0.541	0.766	0.97	1.013	0.751	0.59
Part. Aut Order_1	0.78	0.83	0.67	0.63	0.73	0.8	0.77	0.73	0.26
Part. Aut Order_2	0.1	0.1	0.11	0.13	0	0.08	0.3	0.21	0.11
Part. Aut Order_3	-0.2	0.28	0.29	0.21	0.27	0.17	0.14	-0.04	0.04
Mean corr among all radii	0.934	0.901	0.749	0.884	0.926	0.903	0.91	0.93	0.702
Radii vs mean	0.971	0.956	0.858	0.947	0.967	0.956	0.96	0.968	0.859
SS_1	0.943	0.901	0.749	0.884	0.926	0.903	0.91	0.93	0.702
SS_2	0.966	0.948	0.856	0.939	0.961	0.949	0.953	0.964	0.825
SS_3	0.977	0.965	0.899	0.958	0.974	0.965	0.968	0.975	0.876
SS_4	0.983	0.973	0.923	0.968	0.98	0.974	0.976	0.981	0.904
SS_5	0.986	0.979	0.937	0.957	0.984	0.979	0.981	0.985	0.922
Signal to noise ratio	113.51	72.955	23.831	61.165	99.491	74.157	81.2	106.02	18.851
Agreement with population chronology	0.991	0.986	0.96	0.984	0.99	0.987	0.988	0.991	0.95