

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Marko PEČOVNIK

**DIMENZIJE CELIC V BRANIKAH ALEPSKEGA BORA
IN NJIHOVA ODVISNOST OD KLIMATSKIH DEJAVNIKOV**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**DIMENSIONS OF CELLS IN ANNUAL RINGS OF ALEPOO PINE
AND THEIR DEPENDENCE ON CLIMATIC FACTORS**

GRADUATION THESIS
Higher Professional Studies

Ljubljana, 2012

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija Lesarstvo. Opravljeno je bilo na Katedri za tehnologijo lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorico diplomskega dela imenoval prof. dr. Katarino Čufar, za somentorja dr. Petra Prislana in za recenzenta prof. dr. Željka Goriška.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Marko Pečovnik

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Vs
DK UDK 630*811.1
KG les/alepski bor/*Pinus halepensis* Mill./branike/analiza slike/dimenzije celic
AV PEČOVNIK, Marko
SA ČUFAR, Katarina (mentorica)/PRISLAN, Peter (somentor)/GORIŠEK, Željko
(recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2012
IN DIMENZIJE CELIC V BRANIKAH ALEPSKEGA BORA
IN NJIHOVA ODVISNOST OD KLIMATSKIH DEJAVNIKOV
TD Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij)
OP IX, 45 str., 3 pregl., 32 sl., 13 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Na prečnih prerezih lesa alepskega bora (*Pinus halepensis*) z rastišč Jarafuel, Maigmo in Guardamar v Španiji smo v različnih datiranih branikah s pomočjo sistema za analizo slike raziskali dimenzije celic: dvojno debelino tangencialnih celičnih sten (merjenih v radialni smeri) in nato še radialno širino celotne celice (od srednje lamele do srednje lamele). Za vse omenjene branike smo izdelali traheidograme (grafe radialnih dimenzij traheid in dvojnih debelin celičnih sten v 3 radialnih nizih od začetka do konca posamezne branike). Tipične traheidograme smo predstavili skupaj z mikroskopskimi slikami merjenih nizov. Za branike rastišča Maigmo (MAI2003) in Jarafuel (JAL003), ki so nastale leta 2003, lahko rečemo, da so normalne z bolj ali manj normalnim ranim in kasnim lesom ter postopnim prehodom med obema. Na rastišču Guardamar so v letu 2005 vsa proučena drevesa vsebovala gostotno variacijo tipa L (ranemu lesu podoben pas celic v kasnem lesu). Pri oceni vpliva klimatskih dejavnikov na nastanek gostotne variacije tipa L se je izkazalo, da so na njen nastanek vplivale jesenske padavine, ki so sledile poletni suši.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*811.1
CX wood/aleppo pine/*Pinus halepensis* Mill./tree-rings/image analysis/cell dimensions
AU PEČOVNIK, Marko
AA ČUFAR, Katarina (supervisor)/PRISLAN, Peter (co-supervisor)/GORIŠEK, Željko (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2012
TI DIMENSIONS OF CELLS IN ANNUAL RINGS OF ALEPPO PINE AND THEIR DEPENDENCE ON CLIMATIC FACTORS
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO IX, 45 p., 3 tab., 32 fig., 13 ref.
LA sl
AL sl/en
AB On transverse sections of wood of Aleppo pine (*Pinus halepensis*) from the Jarafuel, Maigmo and Guardamar sites in Spain, we analyzed 109 dated tree rings in the wood. We used image analysis system to measure the cell dimensions, i.e. double tangential cell wall thickness (measured in the radial direction) and radial width of the cell (from the middle lamella to the middle lamella). For all investigated tree rings we made traheidograms showing radial dimensions of tracheids and double cell wall thicknesses of all cells from the beginning to the end of the tree ring. Typical traheidograms were presented together with microscopic images of the measured tree rings. On the Maigmo (MAI2003) and Jarafuel (JAL003) sites nearly all 3 rings formed in 2003 could be considered normal, with more or less normal early and late wood, and gradual transition from the early to late-wood. In all the trees from Guardamar the tree rings formed in 2005 contained density variation of L-type with earlywood like cells in the latewood. We discussed the impact of climatic factors on formation of L-type density variation and suggested that it occurred due to rainfall in autumn following a very dry summer.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Words Documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VI
Kazalo slik	VII
Slovarček	IX
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 ZNAČILNOSTI ALEPSKEGA BORA	2
2.1.1 Opis drevesa	2
2.1.2 Areal alepskega bora	3
2.2 ZGRADBA LESA ALEPSKEGA BORA	4
2.2.1 Makroskopske lastnosti	4
2.2.2 Mikroskopska zgradba	4
2.2.3 Primerjava lesa alepskega bora in rdečega bora	6
2.3 KAMBIJEVA AKTIVNOST IN GOSTOTNE VARIACIJE ZNOTRAJ BRANIKE	7
2.3.1 Kambijva aktivnost in nastajanje lesa pri alepskem boru v semi-aridnih ekosistemih	7
2.3.2 Fiziologija nastanka ranega in kasnega lesa pri iglavcih	8
2.3.3 Gostotna nihanja znotraj branike	8
2.4 HISTOMETRIJA	9
2.5 TRAHEIDOGRAMI	10
3 MATERIAL IN METODE	11
3.1 PREPARATI LESA	11
3.2 HISTOMETRIČNE ANALIZE	11
3.2.1 Pregled preparatov	11
3.2.2 Priprava slike	12
3.2.3 Izvajanje meritev	13
3.2.4 Opis baze podatkov	15
4 REZULTATI.....	17
4.1 PREGLED ANALIZIRANIH BRANIK	17
4.2 ZNAČILNOST BRANIKE 2003 NA RASTIŠČU JARAFUEL	21
4.3 ZNAČILNOSTI BRANIKE 2003 NA RASTIŠČU MAIGMO	27
4.4 BRANIKA 2005 PRI DREVESIH Z RASTIŠČA GUARDAMAR	32
5 RAZPRAVA.....	39
5.1 VPLIV KLIMATSKIH DEJAVNIKOV NA ZNAČILNOST BRANIK	39
6 SKLEPI.....	41
7 POVZETEK.....	42
8 VIRI	44

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

str.

Preglednica 1: Seznam analiziranih vzorcev z rastišča Maigmo	18
Preglednica 2: Seznam analiziranih vzorcev z rastišča Jarafuel	19
Preglednica 3: Seznam analiziranih vzorcev z rastišča Guardamar	20

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Areal alepskega bora (Fady in sod., 2003)	3
Slika 2: Mikroskopska slika prečnega prereza alepskega bora (<i>Pinus halepensis</i>) A-SM – aksialni smolni kanal, EP – epitelne celice; RL – rani les; KL – kasni les, TR – trakovni parenhim	5
Slika 3: Mikroskopska slika tangencialnega prereza alepskega bora (<i>Pinus halepensis</i>) R-SM – radialni smolni kanal; TP – enoredni trak; OB-P – obokane piknje	5
Slika 4: Mikroskopska slika radialnega prereza alepskega bora (<i>Pinus halepensis</i>)	6
Slika 5: Opazovanje preparata z mikroskopom Nikon ELIPSE E8000 (Foto: Jernej Sivec)	12
Slika 6: Izvajanje meritev na računalniku. (Foto: Jernej Sivec)	13
Slika 7: Shematski prikaz dveh celic (aksialnih traheid) v istem radialnem nizu in merjenih parametrov	14
Slika 8: Prikaz merjenja dvojne debeline celičnih sten s programom NIS Elements BR3	14
Slika 9: Prikaz merjenja širin celic s programom NIS Elements BR3	15
Slika 10: Dimenzije celic v enem radialnem nizu v Excelovi datoteki	16
Slika 11: Urejeni podatki meritev dimenzijs celic in debelin celičnih sten, zbrani v Excelovi datoteki	16
Slika 12: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 2JAL001-2003 z rastišča Jarafuel. Črna vertikalna črta prikazuje ocenjeno mejo med ranim in kasnim lesom	21
Slika 13: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 2JAL015-2003 z rastišča Jarafuel. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim lesom	22
Slika 14: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 2JAL015 z rastišča Jarafuel z linearno trendno črto in enačbo	23
Slika 15: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu široke branike 5JAL001-2003 z rastišča Jarafuel. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim lesom	24
Slika 16: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu široke branike 8JAL005-2003 z rastišča Jarafuel. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim lesom	25
Slika 17: Spreminjanje širin celic treh radialnih nizih znotraj branike 2JAL001-2003 z rastišča Jarafuel	26
Slika 18: Spreminjanje dvojne debeline celičnih sten treh radialnih nizov znotraj branike 2JAL001-2003 z rastišča Jarafuel	27
Slika 19: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 1MAI003A-2003 z rastišča Maigmo. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike	28
Slika 20: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 4MAI001-2003 z rastišča Maigmo. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike	29
Slika 21: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 7MAI003-2003 z rastišča Maigmo. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike	29

Druga tanka črna vertikalna črta predstavlja drugo mejo med ranim in kasnim lesom.....	29
Slika 22: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 8MAI001-2003 z rastišča Maigmo. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike.	30
Slika 23: Spreminjanje širine celic treh radialnih nizov znotraj branike 1MAI003A-2003 z rastišča Maigmo	31
Slika 24: Spreminjanje dvojne debeline celične stene treh radialnih nizov znotraj branike 1MAI003A-2003 z rastišča Maigmo.	32
Slika 25: Prečni prerezi branik alepskega bora z rastišča Guardamar. Branika 2005 je označena s črno črto.....	33
Slika 26: Prečni prerezi branik alepskega bora z rastišča Guardamar. Branika 2005 je označena s črno črto.....	33
Slika 27: Prečni prerezi branik alepskega bora z rastišča Guardamar. Branika 2005 je označena s črno črto.....	34
Slika 28: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 2_GUA6111-2005 z rastišča Guardamar. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike.	35
Slika 29: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 18_GUA6126-2005 z rastišča Guardamar. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike.	36
Slika 30: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 21_GUA6125-2005 z rastišča Guardamar. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike.	37
Slika 31: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 21_GUA6116-2005 z rastišča Guardamar. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike.	38
Slika 32: Klimogrami rastišč Maigmo, Jarafuel in Guardamar v Španiji za obdobje od 1937 do 2002 in specifične razmere v letih nastanka proučenih branik.....	39

SLOVARČEK

1. anomalija – nepravilnost
2. aridno – puščavsko
3. areal – zemljepisno območje
4. avksin – rastlinski rastni hormon
5. branika – prirastna plast lesa ali skorje, nastala v eni sezoni
6. datiranje – določanje datuma, v našem primeru določanje koledarskih let, v katerih so nastale branike
7. dendrokronologija – veda, ki se ukvarja s preučevanjem branik v lesu in z njihovim časovnim določanjem
8. denzitometrija – določanje gostote snovi
9. dvojna branika – branika, pri kateri sta v eni sezoni nastali dve plasti, ki ju ne razmejuje prava letnica (tudi neprava branika, lažna branika)
10. fotosinteza – asimilacija ogljikovega dioksida in vode v rastlinah s klorofilom pod vplivom svetlobe
11. histometrija – veda o ocenjevanju (merjenju) tkiv
12. morfološke značilnosti – zgradbene in oblikovne značilnosti organizmov ali celic
13. semiaridno – polpuščavsko
14. smolni kanal – medcelični prostor, obdan z epitelnimi celicami
15. variabilnost – spremenljivost

1 UVOD

Pri iglavcih, rastочih v naših klimatskih razmerah, je običajno mogoče jasno določiti letno prirastno plast (braniko) v lesu ter rani in kasni les, ki se razlikujeta po dimenzijah celic – lumnov in celičnih sten (Čufar, 2006). Velikost lumnov se od ranega proti kasnem lesu praviloma zmanjšuje, debelina celičnih sten pa povečuje. Pri »normalnih« branikah je prehod iz ranega v kasni les lahko postopen do oster. Drugače velja za iglavce, ki rastejo v sredozemski klimi, za katero so značilne mile in deževne zime ter vroča in suha poletja. Zaradi sušnih pogojev se v poletnem času celične delitve v kambiju lahko ustavijo ter zopet nadaljujejo, ko so pogoji ugodni. V enem letu lahko torej kot posledica zimskega mirovanja aktivacije in poletnega mirovanja vaskularnega kambija nastaneta ena ali pa dve prirastni plasti. Slednje je odvisno od klimatskih razmer v poletnih mesecih (De Luis in sod., 2007). Za pojav, ko se rani in kasni tip lesa menjata znotraj ene branike, so uvedli poimenovanje gostotne variacije znotraj branike (ang. intra-annual density fluctuations) (Čufar, osebna komunikacija). V lesu borov, rastochih v mediteranski klimi, na primer pogosto opazimo pas ranemu lesu podobnih celic v kasnem lesu ali redkeje kasnemu lesu podobne celice v ranem lesu (Jokič, 2009). Pogosto je težko določiti, v katerem letu sta nastali ena ali dve prirastni plasti, zato so potrebne natančne dendrokronološke raziskave, s katerimi ugotovimo leto nastanka lesa. Kadar so na razpolago kakovostni anatomske preparati lesa, jih je mogoče ovrednotiti s histometričnimi analizami, ki temeljijo na merjenju dimenzijs celic, lumnov in celičnih sten (Čufar, 2006).

Cilji naloge:

- a) Iz arhiva Oddelka za lesarstvo izbrati kakovostne preparate prečnih prezrov alepskega bora (*Pinus halepensis* Mill.), odvzete na rastiščih Jarafuel, Maigmo in Guradamar v Španiji.
- b) V branikah različnih tipov, za katere poznamo leto nastanka v radialnih nizih, izmeriti dimenzijs traheid in dvojne debeline celičnih sten ter izdelati traheidograme.
- c) Primerjati morfološke značilnosti traheid znotraj branik in med posameznimi tipi branik ter opisati variacije dimenzijs celic znotraj branik.
- d) Oceniti vpliv klimatskih dejavnikov na variabilnost dimenzijs celic v braniki.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ZNAČILNOSTI ALEPSKEGA BORA

2.1.1 Opis drevesa

Alepski bor (*Pinus halepensis* Mill.) je do 20 m visoko drevo s premerom do 1 m. Je vedno zelen iglavec s krošnjo, ki je v mladosti vejasta, pri starejših drevesih pa široko zaobljena, redka, svetlejša kot pri drugih sredozemskih borih in pogosto nepravilna. Večkrat ima neravno deblo. Skorja je sprva gladka in svetlo siva, pozneje rdečerjava in močno razpokana. Tanki poganjki v premeru merijo 2–3 mm, so svetlo rjavi in goli, brsti so podolgovati jajčasti, do 10 mm dolgi in brez smole. Iglice, ki rastejo po dve v šopku, so dolge od 7 do 15 cm in ostanejo na drevesu navadno le dve leti. Seme alepskega bora je dolgo 5–7 cm, na spodnji strani zašiljeno, običajno na eni strani črno brez leska, na drugi pa rjavo sivo z leskom, a pegasto na obeh straneh. Alepski bor je enodomna, vetrocvetna vrsta, ki cveti od marca do maja. Zreli storži so jajčasti, dolgi 5–10 cm, debeli od 2,5 do 4 cm ter bleščeče rjavi. Apofiza na plodni luski je ploščata ali izobčena in ima dobro vidno svetlo sivo grbico, ki pa je brez ostre konice (Novak, 2007).

Alepski bor je značilna sredozemska drevesna vrsta, ki zelo dobro prenaša revna tla. Najraje raste na apnenčastih tleh, uspeva pa tudi na flišu. Odporen je proti visokim temperaturam in dolgotrajni suši (1–5 mesecev). Redko preseže starost 250 let (Brus 2004).

Spodnja meja letnih padavin za uspevanje je 250 mm (Novak, 2007). Nizke zimske temperature (pod -3°C) omejujejo preživetje drevesa. 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 svetloljubna in hitro rastoča vrsta (Brus, 2004).

2.1.2 Areal alepskega bora

Alepski bor je naravna sredozemska vrsta. 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. Veliko ga je tudi po vsej obali Hrvaške. Uspeva tudi do 1000 m n. v. v Grčiji in do 1500 m n. v. v Severni Afriki (Brus, 2004).

V Španiji je alepski bor zelo razširjena (predvsem umetno nasajena) drevesna vrsta, večinoma v sredozemskem delu države (Slika 1). Največje površine porašča v pokrajinalah Katalonija, Valencija, Murcija, Andaluzija ter JV del Aragonije in V del Kastilje. Ocenjujejo, da je alepski bor v Španiji dominantna vrsta na 25.000 km² gozdne površine. V provinci Alicante je od 2600 do 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 1m³/ha (Novak, 2007).



Slika 1: Areal alepskega bora (Fady in sod., 2003).

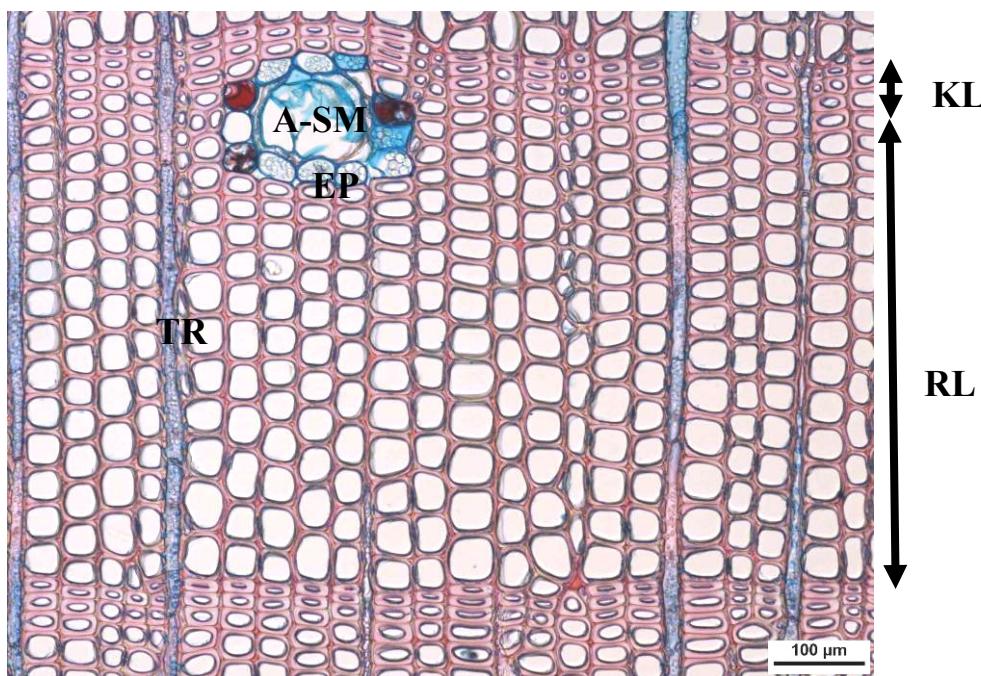
2.2 ZGRADBA LESA ALEPSKEGA BORA

2.2.1 Makroskopske lastnosti

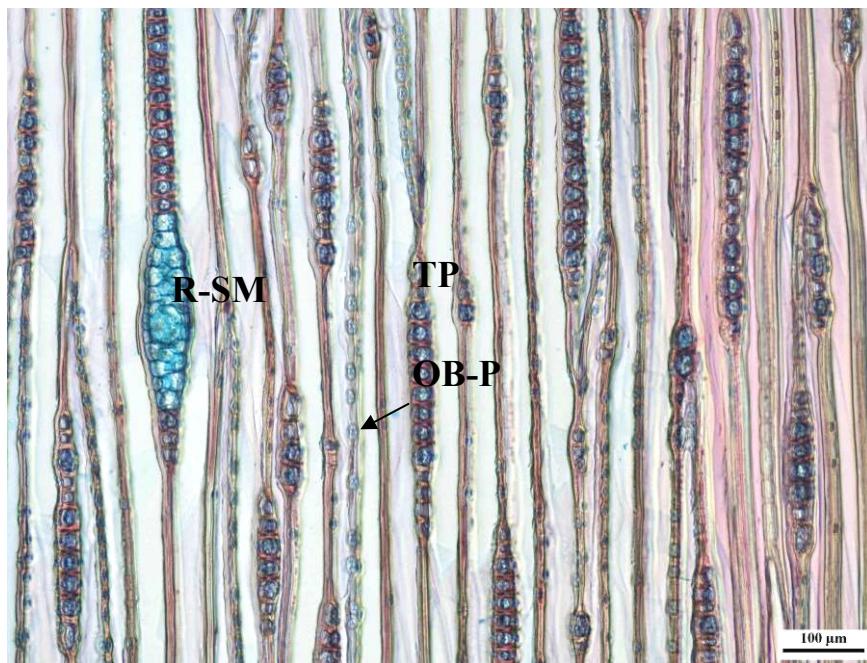
V prečnem prerezu je jedrovina zelo razločna, rdečerjave do svetlo rdeče barve, beljava pa je skoraj popolnoma bela. Meje med branikami so razločne. Gostota kasnega lesa močno variira. Prehod med ranim in kasnim lesom je postopen do zelo oster. Pogosto se v branikah pojavljajo gostotne variacije (Jokič, 2009). Branike v posameznih letih lahko tudi manjkajo (Novak, 2007).

2.2.2 Mikroskopska zgradba

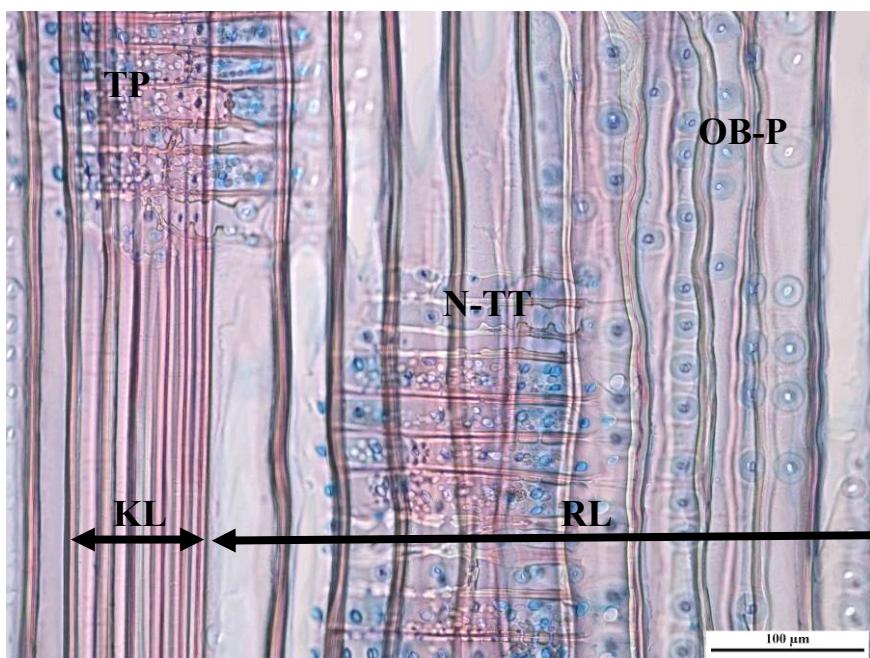
Ksilemska branika je sestavljena iz traheid, lesnih trakov, aksialnega parenhima, smolnih kanalov in epitelnih celic. Osnovno tkivo so traheide. V tangencialnem prerezu so trakovi visoki od 10 do 22 celic (Slika 2, 3). V večini so trakovi enoredni, razen kadar vsebujejo radialni smolni kanal, so lahko dvo ali celo triredni. Trakovno tkivo je heterocelularno, sestavlja ga parenhimske celice in trakovne traheide, ki imajo na splošno nazobčane stene, le včasih so skoraj popolnoma gladke (Slika 4). V križnem polju med trakovnimi parenhimskimi celicami in aksialnimi traheidami se nahajajo 1 do 4 pinoidne piknje. Les vsebuje radialne in aksialne smolne kanale. Aksialni smolni kanali so največkrat v kasnem lesu in so obdani s podolgovatimi, tankostenimi epitelnimi celicami (Schweingruber, 1990).



Slika 2: Mikroskopska slika prečnega prereza alepskega bora (*Pinus halepensis*)
 A-SM – aksialni smolni kanal, EP – epitelne celice; RL – rani les; KL – kasni les, TR – trakovni parenhim.



Slika 3: Mikroskopska slika tangencialnega prereza alepskega bora (*Pinus halepensis*) R-SM – radialni smolni kanal; TP – enoredni trak; OB-P – obokane piknje.



Slika 4: Mikroskopska slika radialnega prereza alepskega bora (*Pinus halepensis*). N-TT – nazobljene trakovne traheide; TP – trakovni parenhim; OB-P – obokane piknje; RL – rani les; KL – kasni les.

2.2.3 Primerjava lesa alepskega bora in rdečega bora

Rdeči bor (*Pinus silvestris* L.) je najpogosteji bor v Sloveniji in predstavlja 4,9% skupne lesne zaloge (Brus, 2004). Ima široko, rumenkasto do rdečkasto belo beljavno in rdečkastorumen oz. rdeče-rjavkasto jedrovino (Čufar, 2006). Branike so razločne s traheidami ranega (veliki lumni, tanke celične stene) in kasnega (lumni z majhnih premerov in debelo celično steni) lesa. Znotraj branike je prehod iz ranega v kasni les nenaden. Traheide predstavljajo osnovno tkivo. Les vsebuje aksialne (premer 80–130 µm) in radialne smolne kanale s tankostenimi epitelnimi celicami. Trakovno tkivo je heterogeno. Med trakovnimi in aksialnimi traheidami so obokane piknje. Trakovne traheide so nazobljene. V križnih poljih med traheidami in trakovnim parenhimom se nahajajo 1–3 velike oknaste piknje. Trakovi so enoredni, visoki od 5 do 15 celic. Nekateri imajo v sredini radialni smolni kanal, tik ob njem pa po dve trakovni parenhimski celici, na tej lokaciji je lahko trak dvo- ali troreden (Schweingruber, 1990).

Rdeči in alepski bor spadata v rod borovcev (*Pinus*) iz družine borovk (*Pinaceae*) (Brus, 2005).

Večjih razlik v anatomske zgradbi omenjenih vrst ni mogoče opaziti. Pri obeh vrstah je prehod med ranim in kasnim delom branike postopen do oster, osnovno tkivo je iz traheid in vsebuje smolne kanale. Vrsti se razlikujeta po piknjah v križnem polju. Pri rdečem boru najdemo v križnih poljih 1–3 velike oknaste piknje, pri alepskem boru pa 1–4 pinoidne piknje. Stene trakovnih traheid so pri obeh vrstah nazobljene, izjemoma so pri alepskem boru lahko tudi gladke.

2.3 KAMBIJEVA AKTIVNOST IN GOSTOTNE VARIACIJE ZNOTRAJ BRANIKE

2.3.1 Kambijeva aktivnost in nastajanje lesa pri alepskem boru v semi-aridnih ekosistemih

V sredozemskem podnebju, za katerega so značilne blage in deževne zime ter vroča sušna poletja, rast in razvoj dreves nista vedno povezana z rednim mirovanjem kambija v hladni sezoni, kot je to značilno za zmerna ali borealna klimatska območja (De Luis in sod., 2007).

Tako se lahko kambijeva aktivnost sredozemskih dreves razlikuje od leta do leta. Kambij lahko deluje brez prekinitve ali pa ima eno ali dve prekinitvi rasti v enem letu v skladu s spremenljivimi vremenskimi razmerami tekočega leta. Kambij se lahko kot v zmerinem podnebnem območju aktivira spomladi, ostane aktiven poleti in doseže mirovanje pozimi. V ugodnih podnebnih razmerah (relativno tople zime in razmeroma hladna deževna poletja) se lahko radialna rast dreves ohrani skozi vse leto, medtem ko se v neugodnih razmerah (povezanih predvsem s sušo) reaktivacija kambija in proizvodnja lesa v tekočem letu morda sploh ne zgodi (Raventós in sod., 2001). V drugačnih okoliščinah so lahko drevesa podvržena "dvojnemu stresu", ki predstavlja dve prekinitvi kambijeve aktivnosti v enem letu. Ena se zgodi pozimi zaradi nizkih temperatur, ena pa v poletnem času zaradi poletne suše, ki jo spremljajo visoke temperature.

2.3.2 Fiziologija nastanka ranega in kasnega lesa pri iglavcih

Pri večini domačih vrst iglavcev ločimo rani, prehodni in kasni les. Traheide ranega lesa imajo tanke celične stene, velike lumne in velike radialne dimenzije. Traheide kasnega lesa imajo debele celične stene, ozke lumne in manjše radialne dimenzije (Čufar, 2006).

Na nastanek ranega in kasnega lesa vpliva razpoložljiva količina rastnih hormonov in hrane, ki nastane pri fotosintezi. Rastni hormoni vplivajo na radialno dimenzijo celic (rast celice med diferenciacijo), razpoložljivost hrane pa na debelino celične stene. V obdobju intenzivne rasti poganjkov in listov je nivo avksina visok, kar vpliva na nastanek celic z velikim premerom, značilnih za rani les. V obdobju, ko je razvoj poganjkov in listov končan, količina avksina upada, kar ima za posledico nastanek celic majhnih radialnih dimenzij v kasnem lesu (Čufar, 2006).

2.3.3 Gostotna nihanja znotraj branike

Velikost lumnov se od ranega proti kasnemu lesu zmanjšuje, debelina celičnih sten pa povečuje, posledično se gostota lesa iz ranega proti kasnemu lesu povečuje. Pri »normalnih« branikah je prehod iz ranega v kasni les lahko postopen do oster. Drugače velja za drevesa, ki uspevajo v Sredozemlju, kjer so zime mile in deževne, poletja pa vroča in suha. Zaradi sušnih pogojev se v poletnem času celične delitve v kambiju lahko ustavijo ter zopet nadaljujejo, ko so pogoji ugodni. V enem letu lahko torej nastaneta ena ali pa dve prirastni plasti, kar je odvisno od klimatskih pogojev v poletnih mesecih in predvsem padavin v zgodnji jeseni (npr. De Luis, 2007).

Kadar ne pride do običajnega prehoda iz ranega v kasni les, lahko v braniki opazimo menjavanje celic tipa ranega in kasnega lesa. Takšen pojav so v literaturi poimenovali gostotne variacije znotraj branike (ang. intra-annual density fluctuations) (Jokič, 2009). V borih, rastočih v mediteranski klimi, npr. pogosto opazimo pas ranemu lesu podobnih celic v kasnem lesu (branika tipa L) ali redkeje kasnemu lesu podobne celice v ranem lesu (branika tipa E) (Jokič, 2009).

Najbolj raziskane so bile gostotne variacije pri iglavcih. V starejših raziskavah so jih imenovali lažne branike in se omejili na opis le-teh in proučevanje njihovega nastanka. Malo raziskav pa je bilo opravljenih o nastanku takih lažnih branik v odvisnosti od vremenskih vplivov. Nastanek lažnih branik je lahko povezan s spremembami v količini hormonov in stresa zaradi pomanjkanja vode (Zorec, 2004). Ugotovili so tudi, da vlažno-hladne razmere v sredini rastnega obdobja lahko sprožijo nastanek gostotne variacije znotraj prirastne plasti (Zorec, 2004). Gostotne variacije so lahko uporabne v ekoloških študijah (Jokič, 2009).

2.4 HISTOMETRIJA

Histologija je veda o tkivih. Merjenje tkiv in preiskave na mikroskopskem nivoju pa imenujemo histometrija. Histometrijo uporabljamo za določevanje oblik, dimenzijs, števila itd. preučevanih predmetov (celic) na mikroskopskem nivoju (Zorec, 2004). V tej diplomski nalogi je to pomenilo merjenje širin traheid in dvojne debeline celične stene ter štetje celic v radialnem nizu. Vse to je bilo opravljeno na prečnem prerezu. Na ta način smo dobili numerične vrednosti preučevanih celic, ki so nam v nadaljevanju služile za določitev meje med ranim in kasnim lesom.

Z razvojem novih možnosti za merjenje lesnih branik s pomočjo analize slike so v preteklosti razvili module, v katerih se vidi dinamika rasti in spremembe, ki so tesno povezane z lastnostmi branik in klimatskimi dejavniki nekakega obdobja (Zorec, 2004). Rezultati so prispevali k razvoju dendroklimatologije, ki ima za glavni cilj kvalificirati informacije v braniki in jih povezati s podatki o klimatskih dejavnostih, ki so delovali na drevo v času nastajanja branike (Čufar, 2006). Medtem ko za merjenje širin branik obstaja določena sistematična metodologija, pa na področju merjenja gostotnih variacij znotraj branik ali drugih celičnih parametrov še vedno ni univerzalne metodologije (Čufar, osebna komunikacija).

Omeniti moramo tudi, da so v lesni anatomiji na celičnem nivoju desetletja uporabljali klasično histometrijo. Sprva so histometrične podatke pridobivali s pomočjo meril,

nameščenih na mikroskopske okularje. Kasneje so razvili manj zamudne polavtomatske načine merjenja, kjer so meritve potekale na mikroskopski sliki, ki so jo projicirali na grafično ploščo s senzorji, povezano z računalnikom (Zorec, 2004). Ena prvih študij z uporabo polavtomatske histometrije je vključevala merjenje radialnih in tangencialnih dimenzij celic (traheid) ter dvojnih debelin celičnih sten pri iglavcih (Zorec, 2004).

2.5 TRAHEIDOGRAMI

Na osnovi ideje merjenja radialnih dimenzij in tangencialnih debelin dvojnih celičnih sten traheid je Vaganov (1990) razvil metodo traheidograma. Rezultat uporabe te metode je krivulja, ki ponazarja variiranje radialnih dimenzij traheid in tangencialnih celičnih sten v enem radialnem nizu. Nastane z meritvijo dimenzij celic in celičnih sten v prečnem prerezu v radialni smeri. Metoda se je izkazala kot primerna za spremljanje rastnih mehanizmov, kakor tudi sezonske diferenciacije lesnih celic (Zorec, 2004).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 PREPARATI LEŠA

Preparate prečnih prerezov lesa alepskega bora (*Pinus halepensis*) za raziskave smo dobili iz arhiva Katedre za tehnologijo lesa. Vzorci lesa s kambijevim conom in skorjo so bili odvzeti za študije nastajanja lesa na rastiščih Jarafuel, Maigmo in Guardamar v Španiji (De Luis in sod., 2007, 2011; Novak, 2007). Vzorce so odvzeli z metodo intaktnih tkiv in jih takoj po odvzemenu fiksirali v FAA (mešanica acetne kisline, formalina in alkohola) in jih nato konzervirali v 70% alkoholu. Vzorci so bili nato preneseni v laboratorij Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer je sledil standardni postopek izdelave preparatov, kot ga je opisal Prislan (2007).

Rezine prečnih prerezov lesa debelin 20 µm so bile izdelane s pomočjo drsnega mikrotoma LEICA SM2000R. Selektivno so bile obarvane z barvili astra modro in safranin (0,5% safranina v 96% alkoholu in 0,5% astra modrega v 100% alkoholni raztopini) ter vklopljene v euparal.

3.2 HISTOMETRIČNE ANALIZE

3.2.1 Pregled preparatov

Preparate iz arhiva smo pregledali in ocenili njihovo primernost za meritve dimenzijskih celic. Zanimalo nas je tudi, koliko branik se nahaja na posameznem preparatu in v katerem letu so nastale. Slednje smo določili na podlagi datuma odvzema.

Vsek preparat je bil opremljen s šifro, npr. 8JAL002-2003, kjer je:

8 – šifra datuma odvzema;

JAL – mesto rastišča (Jarafuel);

002 – številka drevesa;

2003 – leto odvzema vzorca iz drevesa.

3.2.2 Priprava slike

Pripravo slike, vrednotenje in analizo smo izvedli z mikroskopom Nikon ECLIPSE E800, digitalno kamero Nikon Digital sight DS-f1, osebnim računalnikom in programom NIS-Elements BR3. Preparat smo postavili na mizico mikroskopa in si najprej z objektivom nastavili primerno povečavo glede na število celic v braniki oz. širino posamezne branike (Slika 5). Uporabili smo 4-, 10- in 20-kratne povečave objektivov.



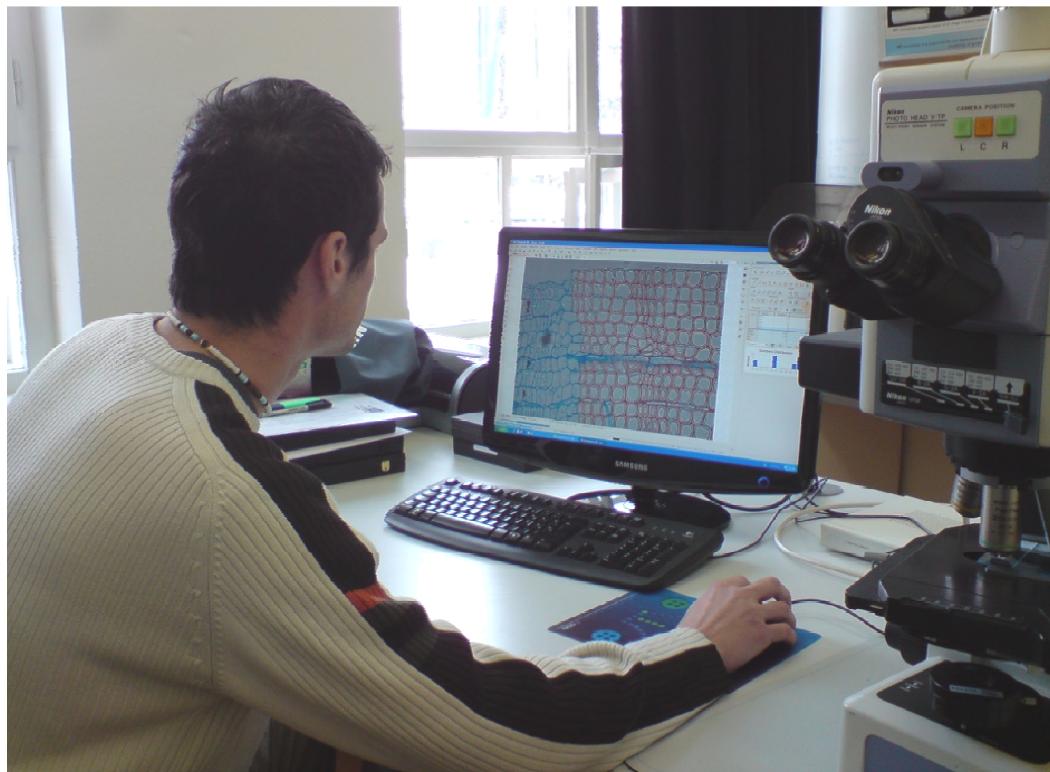
Slika 5: Opazovanje preparata z mikroskopom Nikon ELIPSE E8000. (Foto: Jernej Sivec)

Sledil je zajem slike in računalniška obdelava slike. Namen je bilo dobiti sliko čim boljše kakovosti, kjer je mogoče opraviti natančne meritve. Za doseganje večjega kontrasta med lumni in celično steno je bilo potrebno najprej popraviti barvo ozadja, ki je bila hkrati tudi barva lumnov. V ta namen smo v programu NIS-Elements BR3 uporabili možnost avtomatskega izenačevanja barve z ukazom »Auto white«. Nato smo na preparatu izbrali mesto za merjenje. Vedno smo kalibrirali povečavo in na sliko dodali črtico, ki označuje dolžino 100 μm . Slike smo zajeli in shranili v dveh formatih: v *.jpg formatu, ki je

primeren za ogled v vseh programih za obdelavo slik, ter v *.jp2 formatu, ki vsebuje informacije o kalibraciji in vrsti uporabljenega objektiva za morebitne naknadne meritve in ga prepozna le uporabljeni sistem za analizo slike.

3.2.3 Izvajanje meritev

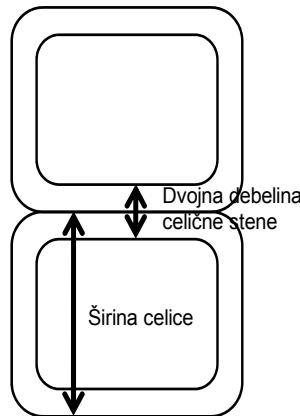
Merjenje smo s programom NIS-Elements BR3 opravili na slikah, zajetih in shranjenih v formatu *.jp2 (Slika 6). Program omogoča natančno merjenje in izvoz podatkov v program Microsoft Excel. Na izbrani braniki smo vedno izbrali po 3 reprezentativne radialne nize, kjer celice niso bile poškodovane oz. kjer radialnega niza niso prekinili smolni kanal ali druge anomalije.



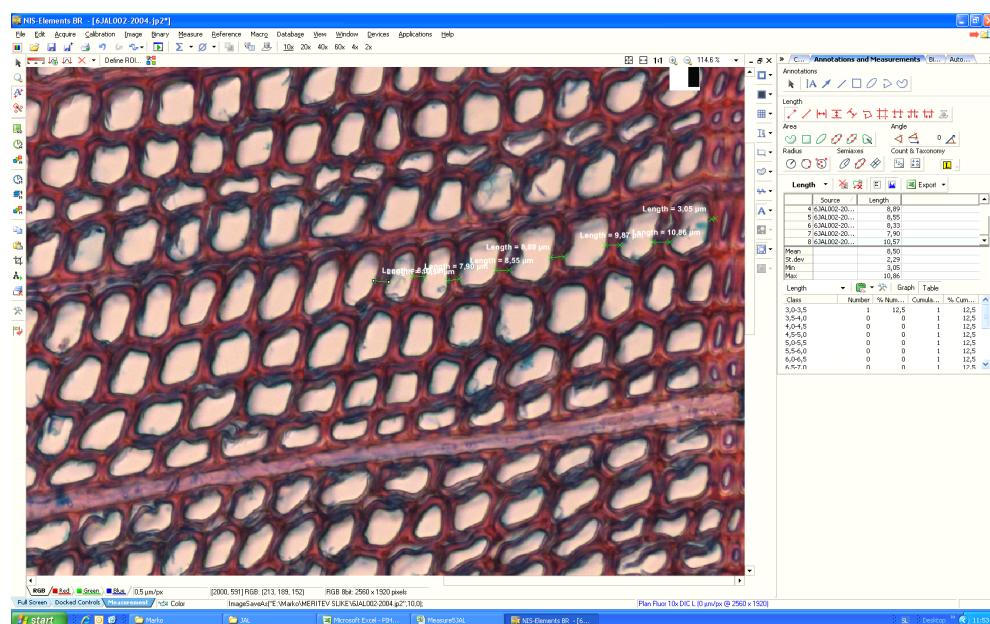
Slika 6: Izvajanje meritev na računalniku. (Foto: Jernej Sivec)

Merjenje smo začeli v ranem in nadaljevali proti kasnemu lesu. Najprej smo izmerili dvojno debelino tangencialnih celičnih sten (merjenih v radialni smeri) in nato še radialno širino celotne celice (od srednje lamele do srednje lamele) (Slika 7, Slika 8 in Slika 9). To

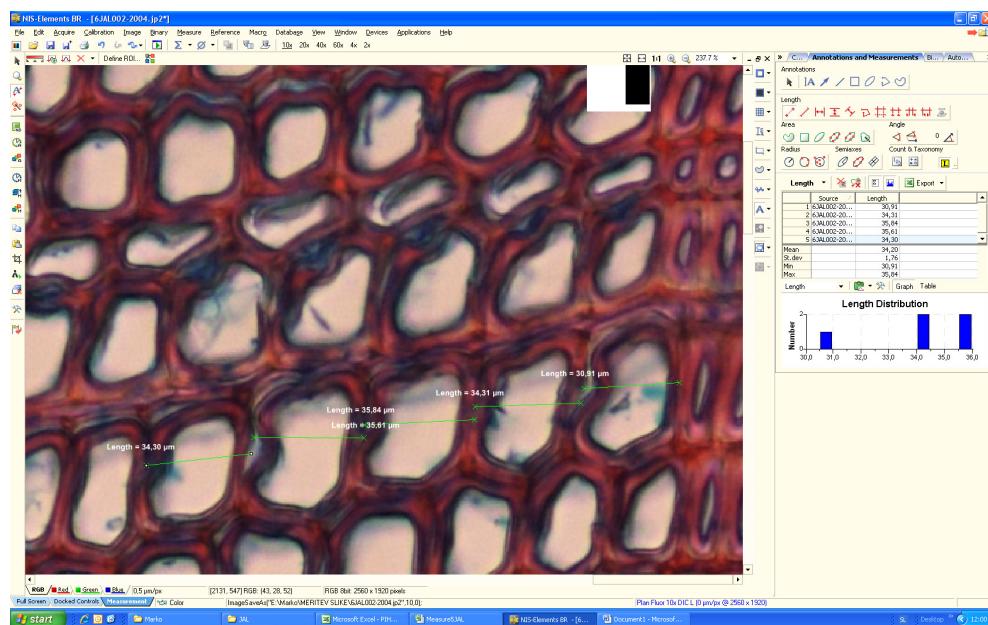
pomeni, da je en podatek za debelino celične stene sestavljen iz dveh debelin sosednjih celičnih sten. Izjema sta bili prva in zadnja traheida v ksilemski braniki, kjer je bila za podatek izmerjena samo enojna debelina celične stene.



Slika 7: Shematski prikaz dveh celic (aksialnih traheid) v istem radialnem nizu in merjenih parametrov.



Slika 8: Prikaz merjenja dvojne debeline celičnih sten s programom NIS Elements BR3.

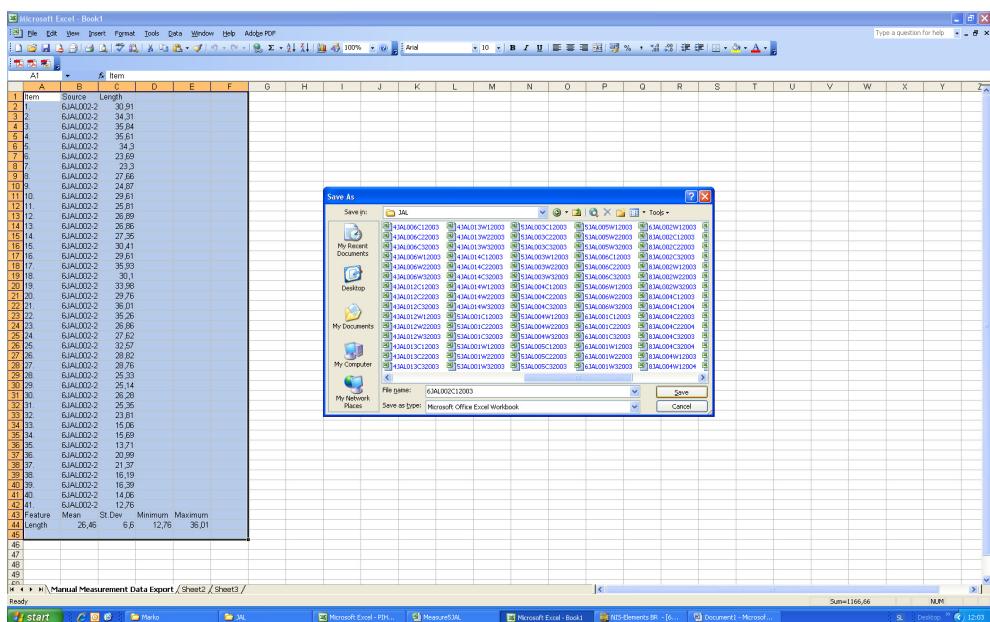


Slika 9: Prikaz merjenja širin celic s programom NIS Elements BR3.

Samo meritve smo potem ponovili še v dveh radialnih nizih. Težave so nastopile predvsem pri preparatih, kjer je en radialni niz vseboval veliko celic (npr. več kot 65). V tem primeru je bila potrebna meritev na »živi« sliki, kar pomeni, da smo pomikanje preparata na mizici lahko »v živo« opazovali na zaslonu računalnika, saj se celotnega niza ni dalo zajeti v eno sliko pri povečavi, ki bi še omogočala dovolj natančno merjenje. Problem pri meritvah na »živi« slik je predvsem v tem, da se ne da v enem koraku izmeriti celotnega niza. Meritve smo se lotili tako, da smo najprej izmerili celice niza na prvem delu zajete slike, nato pa smo zajeli še neizmerjeni del niza in dokončali meritve.

3.2.4 Opis baze podatkov

Vse izvedene meritve smo izvozili v program Microsoft Excel, kjer smo jih uredili glede na številko preparata, datum oz. leto nastanka branike, radialni niz in zaporedno številko meritve v radialnem nizu (Slika 10 in Slika 11). Podatke smo shranili v *.xls formatu. Najprej smo shranili meritve za vsak niz posebej, nato pa smo jih združili v skupno preglednico za nadaljnjo obdelavo podatkov.



Slika 10: Dimenzijske celic v enem radialnem nizu v excelovi datoteki.

Microsoft Excel - Measure7-JAL										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	N	7JAL001C1-2003	7MAJ001C2-2003	7JAL001C3-2003	7JAL001W1-2003	7JAL001W2-2003	7JAL001W3-2003	7JAL004C1-2003	7JAL004C2-2003	7JAL004C3-2003
2	2	24,49	26,3	26,15	7,55	6,21	7,55	26,17	37,27	41,11
3	4	47,28	45,95	26,97	7,03	10,4	7,04	29,18	36,67	47,11
5	4	43,89	33,83	31,6	7,55	9,56	9,23	29,19	41,83	45,98
6	5	40,76	38,69	31,94	8,95	8,09	8,4	32,37	46,53	48,95
7	6	42,77	44,87	36,67	8,38	9,03	9,37	32,2	40,1	65,26
8	7	45,53	36,77	37,04	7,5	9,16	10,4	31,72	38,31	46,74
9	8	44,3	27,27	31,4	8,65	7,95	10,67	31,13	32,76	46,15
10	9	43,5	42,5	39,53	6,34	8,64	9,08	39,64	30	39,66
11	10	40,93	48,98	32,09	8,25	9,45	8,31	36,9	32,61	44,46
12	11	41,32	45,11	37,66	9,06	9,46	9,08	42,76	34,69	38,46
13	12	40,79	42,59	43,99	8,65	10,47	10,2	34,79	33,44	37,24
14	13	37,84	40,03	36,35	8,95	9,07	9,88	39,63	31,4	46,85
15	14	30,22	41,8	40,93	8,75	9,46	8,7	35,47	36,84	44,94
16	15	30,07	33,94	37,44	7,97	10,5	10,47	34,82	36,61	49,66
17	16	33,43	22,03	32,44	9,23	7,7	8,45	28,99	37,11	38,84
18	17	27,54	27,22	31,05	9,18	7,83	10,45	39,37	38,13	37,16
19	18	26,76	26,15	29,51	8,54	8,8	7,7	40,66	33,62	28,26
20	19	21,71	28,03	32,35	8,3	8,53	10,3	36,06	27,63	24,95
21	20	22,82	24,44	26,15	8,12	8,14	11,89	32,63	31,01	20,15
22	21	30,06	26,09	24,64	9,53	8,69	10,5	32,87	35,44	28,95
23	22	26,01	28,26	29,79	8,96	10	11,35	33,88	27,27	26,96
24	23	21,61	22,25	26,85	9,22	8,05	10,87	25,32	26,83	19,47
25	24	18,72	19,81	27,39	8,57	7,97	9,02	27,17	21,5	21,8
26	25	16,99	20,55	23,21	8,43	7,7	9,57	23,95	20,59	25,46
27	26	14,7	18,13	24,45	8,8	8,5	11,04	19,73	18,84	22,61
28	27	13,49	20,13	22,77	8,69	9,57	12,4	21,13	19,09	21,04
29	28	12,08	14,64	18,12	7,02	8,97	10,09	18,92	21,93	16,13
30	29	10,06	11,41	17,31	7,43	8,5	8,67	18,52	23,34	
31	30	12,48	12,7	16,09	7,99	7,93	9,69	22,65		
32				13,08	3,49	4,28	4,31	21,59	20,59	
33								19,99	17,88	
34								14,29	16,2	
35									13,7	
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										
Meritve širin celic v treh radialnih nizih (C1, C2 in C3) na vzorcu 7JAL001-2003										
Meritve dvojnih debelin celičnih sten v treh radialnih nizih (W1, W2 in W3) na vzorcu 7JAL001-2003										
								34,00	35,00	28,00

Slika 11: Urejeni podatki meritve dimenzijskih celic in debelin celičnih sten, zbrani v excelovi datoteki.

4 REZULTATI

4.1 PREGLED ANALIZIRANIH BRANIK

Raziskali smo 78 preparatov z rastišč Jarafuel in Maigmo in 29 preparatov z rastišča Guardamar. Na preparatih z rastišča Jarfuel in Maigmo smo izmerili celice v branikah 2003, na preparatih iz Guardamarja pa celice, ki so nastale v branikah 2004 in 2006. Preglednice (Preglednica 1, Preglednica 2, Preglednica 3) prikazujejo podatke o šifri preparata, letu nastanka izmerjene branike in tipu le-te. Z N smo označili normalno braniko, z L braniko, ki vsebuje pas ranemu lesu podobnih celic v kasnem lesu, z E pa braniko, ki vsebuje pas kasnemu lesu podobnih celic v ranem lesu.

Preglednica 1: Seznam analiziranih vzorcev z rastišča Maigmo. Tipi branik: N normalna branika, L branika, ki vsebuje pas ranemu lesu podobnih celic v kasnem lesu, E branika, ki vsebuje pas kasnemu lesu podobnih celic v ranem lesu.

Šifra preparata	Leto nastanka branike	Tip branike
1MAI001A-2003	2003	N
1MAI001B-2003	2003	L
1MAI002A-2003	2003	N
1MAI003A-2003	2003	N
1MAI005B-2003	2003	N
2MAI001-2003	2003	N
2MAI002-2003	2003	N
2MAI006-2003	2003	N
3MAI001-2003	2003	L
3MAI004-2003	2003	N
3MAI005-2003	2003	N
3MAI006-2003	2003	N
4MAI001-2003	2003	N
4MAI006-2003	2003	N
5MAI001-2003	2003	N
5MAI002-2003	2003	L
5MAI003-2003	2003	N
5MAI004-2003	2003	N
5MAI005-2003	2003	N
5MAI006-2003	2003	N
6MAI001-2003	2003	N
6MAI003-2003	2003	N
6MAI004-2003	2003	N
6MAI005-2003	2003	N
6MAI006-2003	2003	L
7MAI001-2003	2003	N
7MAI002-2003	2003	N
7MAI003-2003	2003	L
7MAI005-2004	2003	N
7MAI006-2004	2003	N
8MAI001-2003	2003	N
8MAI002-2003	2003	N
8MAI003-2003	2003	N
8MAI005-2003	2003	N
9MAI001-2003	2003	N
9MAI002-2003	2003	N
9MAI003-2003	2003	N
9MAI005-2003	2003	N

Preglednica 2: Seznam analiziranih vzorcev z rastišča Jarafuel

Šifra preparata	Leto nastanka branike	Tip branike
2JAL001	2003	N
2JAL003	2003	N
2JAL004	2003	N
2JAL011	2003	N
2JAL012	2003	N
2JAL013	2003	N
2JAL015	2003	N
3JAL001	2003	N
3JAL003	2003	L
3JAL005	2003	N
3JAL013	2003	N
3JAL014	2003	N
3JAL015	2003	N
3JAL016	2003	N
4JAL005	2003	N
4JAL006	2003	N
4JAL012	2003	N
4JAL013	2003	N
4JAL014	2003	N
5JAL001	2003	N
5JAL003	2003	N
5JAL004	2003	N
5JAL005	2003	N
5JAL006	2003	N
6JAL001	2003	N
6JAL002	2003	N
6JAL003	2003	N
6JAL006	2003	N
6JAL011	2003	N
6JAL013	2003	N
7JAL001	2003	N
7JAL004	2003	N
7JAL005	2003	N
7JAL012	2003	N
7JAL014	2003	N
7JAL015	2003	N
8JAL002	2003	N
8JAL004	2003	N
8JAL005	2003	N
8JAL006	2003	N
8JAL011	2003	N
8JAL013	2003	N

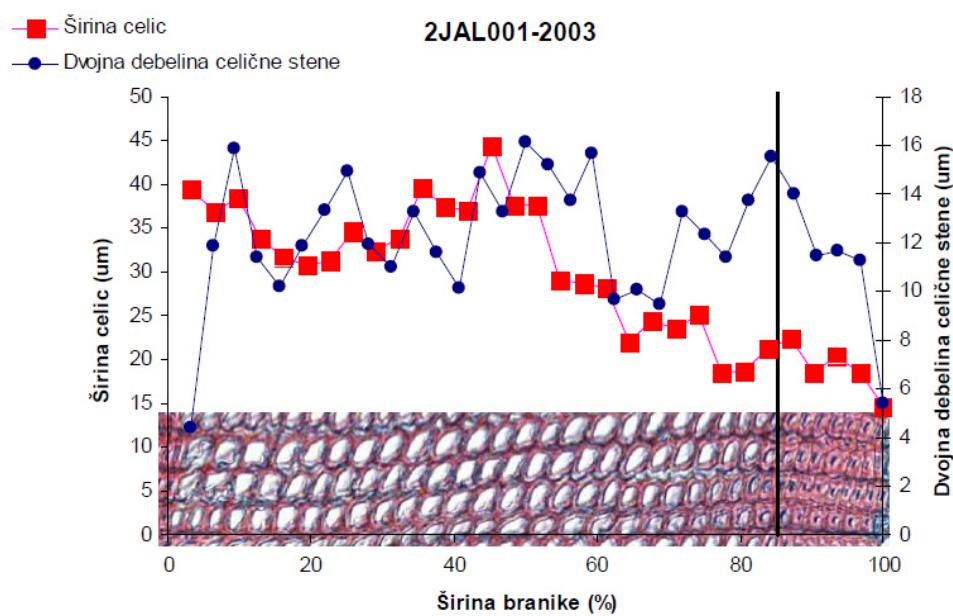
Preglednica 3: Seznam analiziranih vzorcev z rastišča Guardamar

Šifra preparata	Leto nastanka branike	Tip branike
1_6112GUA	2004	L
1_6113GUA	2004	N
1_6114GUA	2004	N
1_6115GUA	2004	N
1_6116GUA	2004	N
1_6121GUA	2004	N
1_6123GUA	2004	L
1_6124GUA	2004	N
1_6125GUA	2004	N
2_6111GUA	2004	N
2_6122GUA	2004	N
2_6126GUA	2004	N
18_6126GUA	2004	L
21_6111GUA	2005	L
21_6112GUA	2005	L
21_6113GUA	2005	L
21_6114GUA	2005	L
21_6115GUA	2005	L
21_6116GUA	2005	L
21_6121GUA	2005	L
21_6122GUA	2005	L
21_6123GUA	2005	L
21_6124GUA	2005	L
21_6125GUA	2005	L
X_3391GUA	2006	N-e
X_3392GUA	2006	N-e
X_3393GUA	2006	N-e
X_3394GUA	2006	N-e
X_3396GUA	2006	N-e

4.2 ZNAČILNOST BRANIKE 2JAL001-2003 NA RASTIŠČU JARAFUEL

Slika 12 prikazuje tipično braniko z rastišča Jarafuel v letu 2003, ki je v povprečju široka 972 µm. Branika ima rani les, ki postopno prehaja v kasni les in ima relativno majhen delež kasnega lesa (približno 13%). Širina celic je v ranem delu branike relativno konstantna (približno 40 µm), vendar se prične pri 45% širine branike postopno manjšati, kar je najverjetnejša posledica postopnega prehoda iz ranega v kasni del. V zadnjih 15% branike je širina celic zopet relativno konstantna in variira med 14 µm in 22 µm.

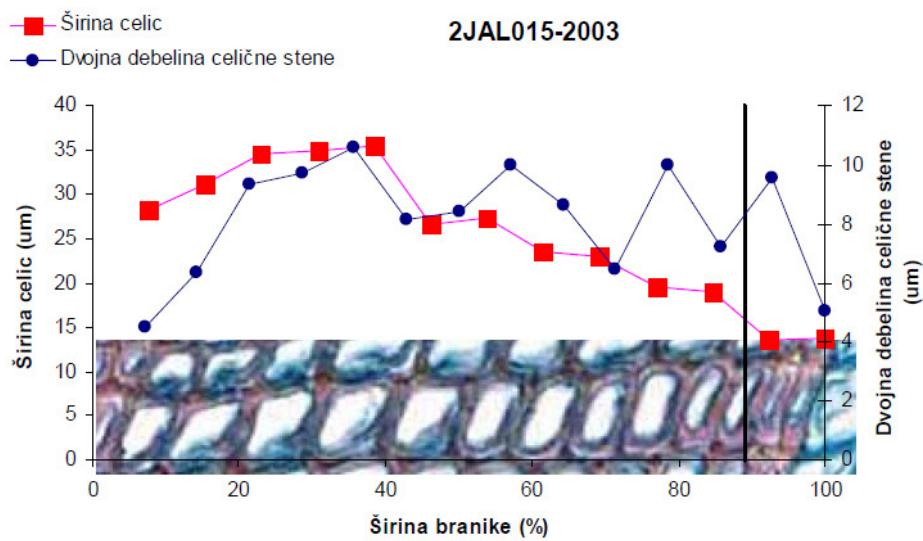
Pri merjenju dvojne debeline celične stene so značilne relativno velike razlike med sosednjimi meritvami. Nizki prva in zadnja vrednost sta posledici meritev enojne debeline celične stene. V ranem delu branike (prvih 60% širine branike) dvojne debeline celičnih sten variirajo med 11 in 16 µm. V prehodnem delu iz ranega v kasni del se dvojne debeline celične stene zmanjšajo na 9 do 10 µm, v kasnem delu branike pa se zopet povečajo (tudi do 15 µm).



Slika 12: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 2JAL001-2003 z rastišča Jarafuel. Črna vertikalna črta prikazuje vizualno ocenjeno mejo med ranim in kasnim lesom.

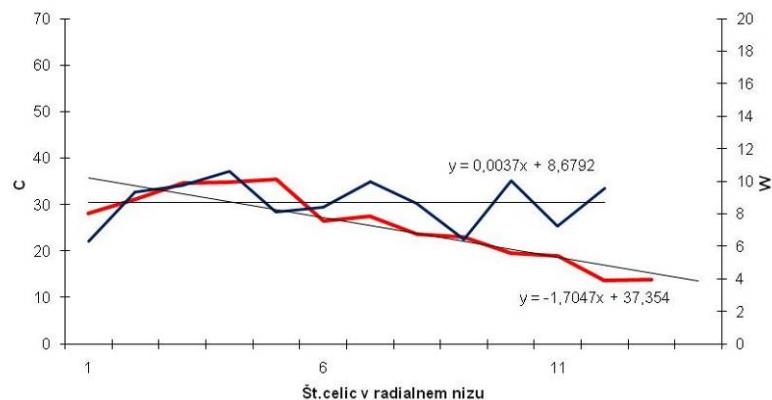
Slika 13 prikazuje ozko braniko z rastišča Jarafuel, ki je v povprečju široka 331 µm (12 celic), z majhnim deležem kasnega lesa (približno 11%) in nenadnim prehodom iz ranega v kasni les. Širina celic v ranem lesu dokaj konstantno narašča (od 28 do 36 µm), nato pa se prične že pri 40% širine branike postopno manjšati. Kasni les sestavlja 2 do 3 celice, široke od 14 do 19 µm.

Nizke vrednosti na začetku in koncu modre krivulje (Slika 13) so posledica meritve enojne debeline celične stene prve in zadnje traheide v radialnem nizu. V ranem lesu (prvih 35% širine branike) vrednosti dvojne debeline celične stene konstantno naraščajo od 9 do 11 µm. V nadaljevanju opazimo variabilnosti med sosednjimi meritvami (tudi do 4 µm). Kakor prikazuje slika (Slika 14), se širina dvojne debeline celične stene vzdolž branike ne spreminja. To dokazuje tudi koeficient linearne trende črte z zelo nizko vrednostjo (0,017) (Slika 14) in ker je smerni koeficient pozitiven, je funkcija naraščajoča. Dvojna debelina celičnih sten vzdolž branike minimalno narašča.



Slika 13: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 2JAL015-2003 z rastišča Jarafuel. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim lesom.

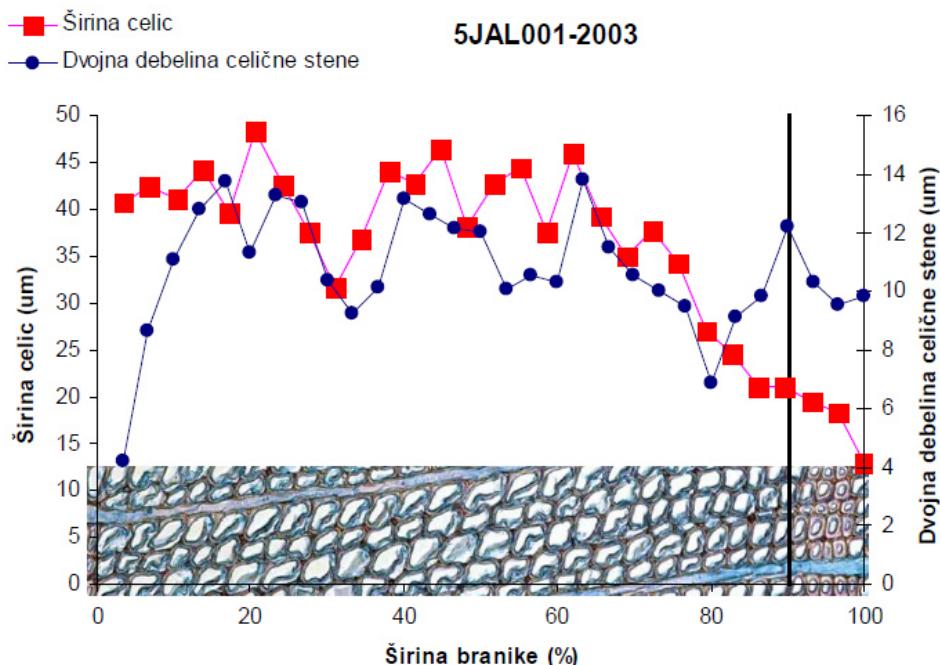
2JAL015-2004



Slika 14: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 2JAL015 z rastišča Jarafuel z linearno trendno črto. C pomeni širino celice, W pa dvojno debelino celične stene (μm).

Slika 15 prikazuje široko braniko z rastišča Jarafuel, ki je v povprečju široka 1100 μm (29 do 33 celic), z relativno majhnim deležem kasnega lesa (približno 10% oz. s 3 do 4 celicami). Širina celic je v ranem delu branike sprva konstantna (med 30 μm in 50 μm), vendar se prične pri 60% širine branike postopno manjšati. Na sliki (Slika 15) krivulja sicer nekoliko odstopa (manjše vrednosti) v osrednjem delu branike, vendar pa meritve v sosednjih radialnih nizih ne kažejo podobnega trenda. V zadnjih 35% širine branike širina celic strmo pada in pri zadnji celici znaša le 4 μm .

Pri merjenju dvojne debeline celične stene so značilne relativno majhne razlike (do 3 μm) v vrednosti med sosednjimi meritvami. V ranem delu branike (prvih 15% širine branike) vrednosti naraščajo, nato pa so dokaj konstantne in variirajo med 9 in 13 μm . V prehodnem delu iz ranega v kasni del se dvojne debeline celične stene zmanjšajo na 8 do 10 μm in ostajajo v kasnem delu branike zelo podobne. Opazimo lahko le nenadno povečanje vrednosti dvojne debeline celične stene celice, ki je ravno na meji ranega in kasnega lesa.

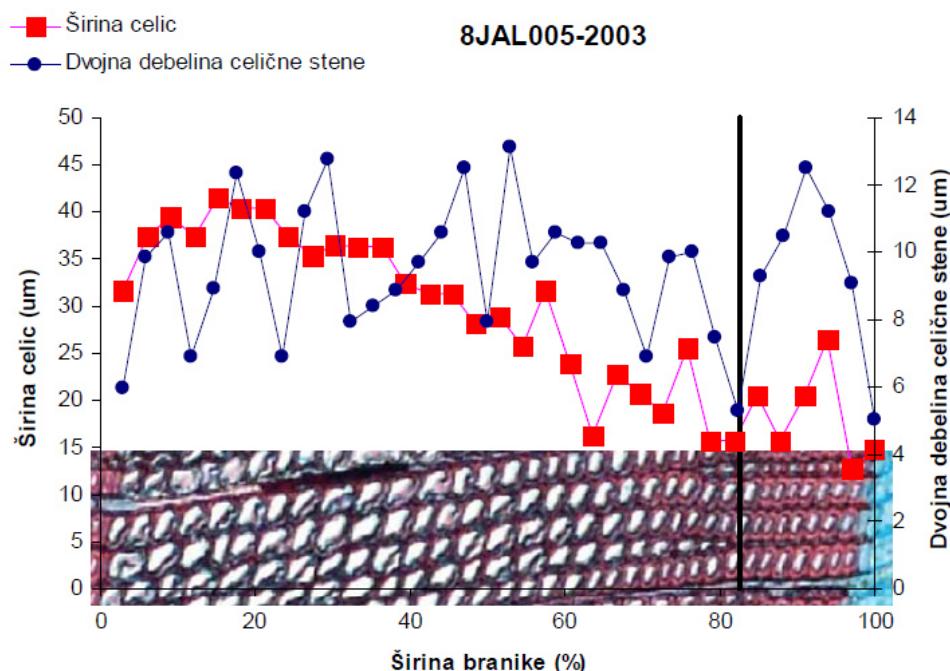


Slika 15: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu široke branike 5JAL001-2003 z rastišča Jarafuel. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim lesom.

Slika 16 prikazuje široko braniko (953 µm) z rastišča Jarafuel z relativno velikim deležem kasnega lesa (približno 22% ali 7–9 celic) in na videz postopnim prehodom iz ranega v kasni les. Širina celic v ranem delu (do 20%) branike konstantno narašča (do 42 µm), vendar prične takoj zatem konstantno padati do približno 80% širine branike, kar je najverjetneje posledica postopnega in tudi na sliki očitnega počasnega prehoda iz ranega v kasni del. V zadnjih 22% branike širina celic precej variira med 12 µm in 20 µm. Maksimalno vrednost smo zabeležili v osrednjem delu kasnega lesa in znaša 26 µm.

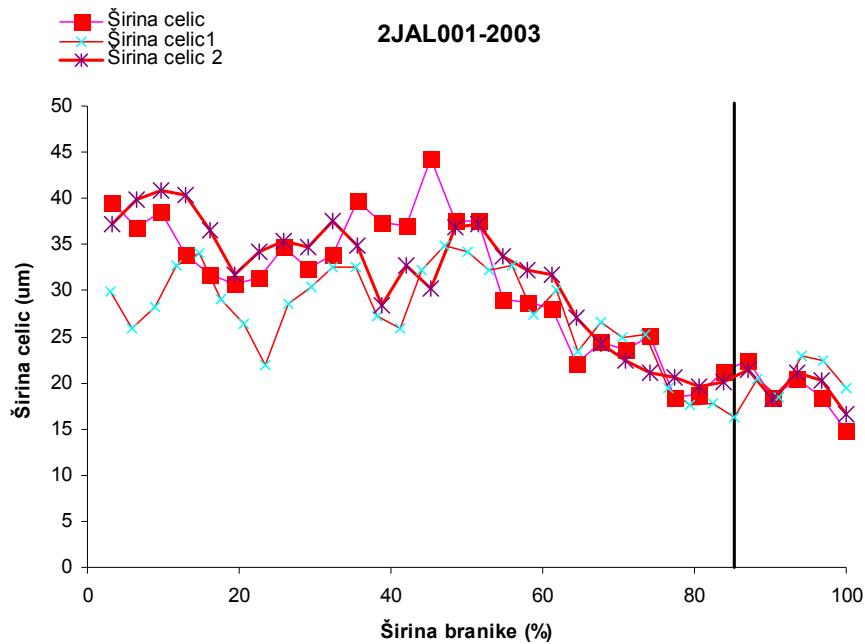
Opaziti je bilo mogoče, da se prehod iz ranega v kasni les razlikuje tudi med posameznimi radialnimi nizi (prikazano na sliki). To pomeni, da je lahko v enem radialnem nizu prehod bolj postopen kot v drugem. Pri merjenju dvojne debeline celične stene so značilne relativno velike razlike med sosednjimi meritvami. Nizke vrednosti na začetku in na koncu krivulje so posledica meritve enojne debeline celične stene. V ranem delu branike (prvih 60% širine branike) vrednosti variirajo med 7 in 13 µm. V prehodnem delu iz ranega v

kasni del se dvojne debeline celične stene zmanjšajo na 6 do 10 μm , v kasnem delu branike pa se zopet povečajo (tudi do 13 μm).



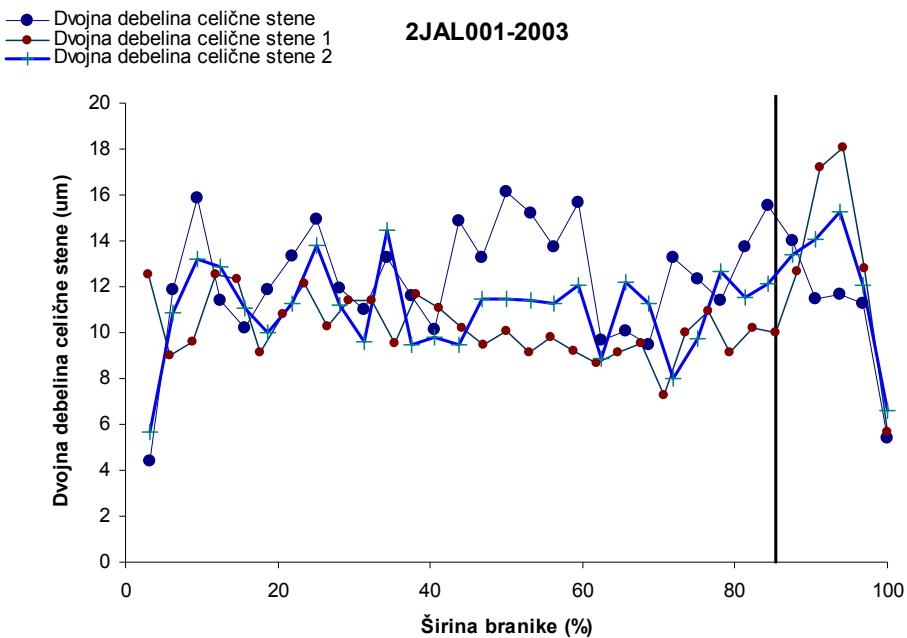
Slika 16: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu široke branike 8JAL005-2003 z rastišča Jarafuel. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim lesom.

Na sliki 17 so prikazane meritve širin celic v treh radialnih nizih, ki smo jih izmerili na vzorcu 2JAL001-2003. Ta preparat smo izbrali, ker je najbolj reprezentativen in je tipičen za branike alepskega bora iz Jarafuela. Tudi trend naraščanja in padanja krivulj je zelo podoben pri vseh treh meritvah, kar pomeni, da so si izmerjeni nizi zelo podobni med sabo in da so meritve dovolj natančne. V prvih 50% branike lahko vidimo, da prihaja do sorazmerno velikih razlik med meritvami (tudi do 15 μm), vendar pa je trend naraščanja in padanja vseh treh krivulj podoben. V ranem delu branike se najbolj razlikujeta krivulji 1 in 2, pri okoli 40% pa krivulji 0 in 1. Širina celic od 50 do 80% širine branike konstantno pada pri vseh treh meritvah z zelo majhnimi razlikami med njimi. V prehodnem in kasnem delu branike so vrednosti bolj konstantne in z relativno majhnimi medsebojnimi razlikami (do maksimalno 5 μm).



Slika 17: Spreminjanje širin celic treh radialnih nizov znotraj branike 2JAL001-2003 z rastišča Jarafuel.

Na sliki (Slika 18) so prikazane meritve dvojnih debelin celičnih sten v treh radialnih nizih, ki smo jih izmerili na vzorcu 2JAL001-2003. V prvih 40% branike lahko vidimo, da prihaja do majhnih razlik med meritvami (okoli 3 µm), razen pri tretji celici, kjer je razlika 7 µm. Trend naraščanja in padanja vseh treh krivulj je podoben. Na območju širine branike od 44 do 64% prihaja do večjih razlik med vrednostmi (do 6 µm). V prehodnem in kasnem delu branike so vrednosti prav tako zelo različne med radialnimi nizi (do približno 7 µm).

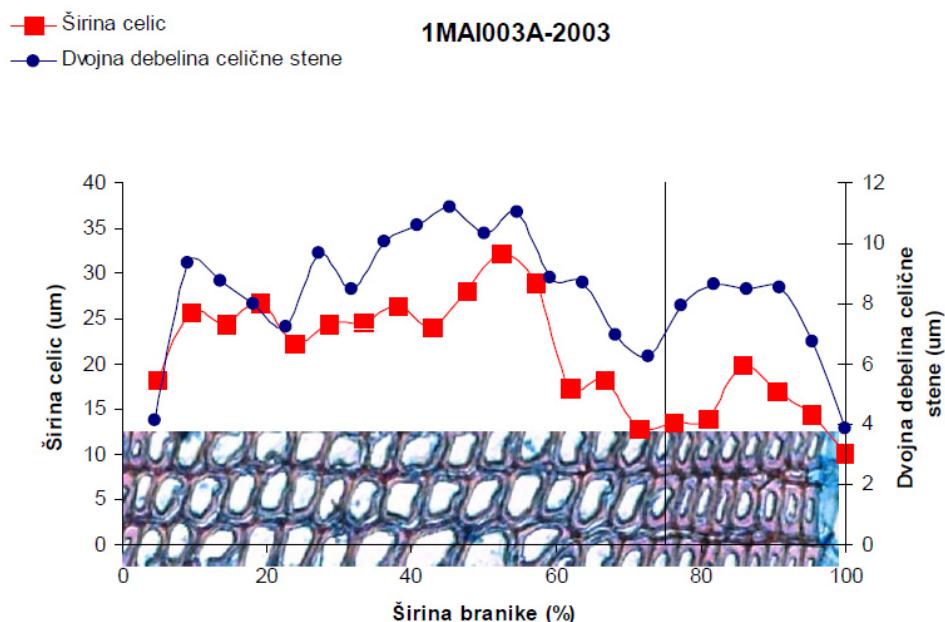


Slika 18: Spreminjanje dvojne debeline celičnih sten treh radialnih nizov znotraj branike 2JAL001-2003 z rastišča Jarafuel.

4.3 ZNAČILNOSTI BRANIKE 2003 NA RASTIŠČU MAIGMO

Slika 19 prikazuje tipično braniko z rastišča Maigmo, ki je v povprečju široka $478 \mu\text{m}$, z relativno velikim deležem kasnega lesa (približno 24%) in na videz postopnim prehodom iz ranega v kasni les. Širina celice je v ranem lesu dokaj konstantna (približno $25 \mu\text{m}$), vendar se nekje na sredini širine branike postopno poveča in nato sorazmerno strmo pada do mejne točke med ranim in kasnim lesom, kar je najverjetneje posledica postopnega prehoda iz ranega v kasni del. V kasnem lesu širina celic najprej narašča od $13 \mu\text{m}$ do $17 \mu\text{m}$, nato pa konstantno pada do konca branike, kjer je širina celic $10 \mu\text{m}$.

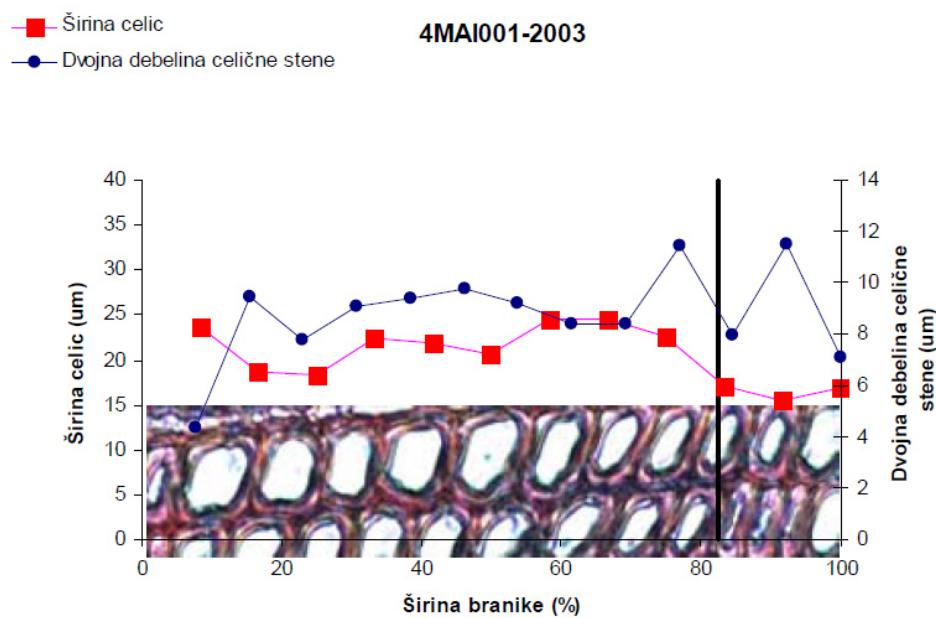
Pri merjenju dvojne debeline celične stene opazimo rahlo upadanje prvih petih vrednosti, nato pa do približno sredine branike vrednosti konstantno naraščajo. V ranem delu branike (prvih 60% širine branike) vrednosti variirajo med $7 \mu\text{m}$ in $11 \mu\text{m}$. Na prehodu iz ranega v kasni les se dvojne debeline celične stene zmanjšajo na $6 \mu\text{m}$ do $7 \mu\text{m}$, v kasnem delu lesu pa se zopet povečajo (tudi do $9 \mu\text{m}$).



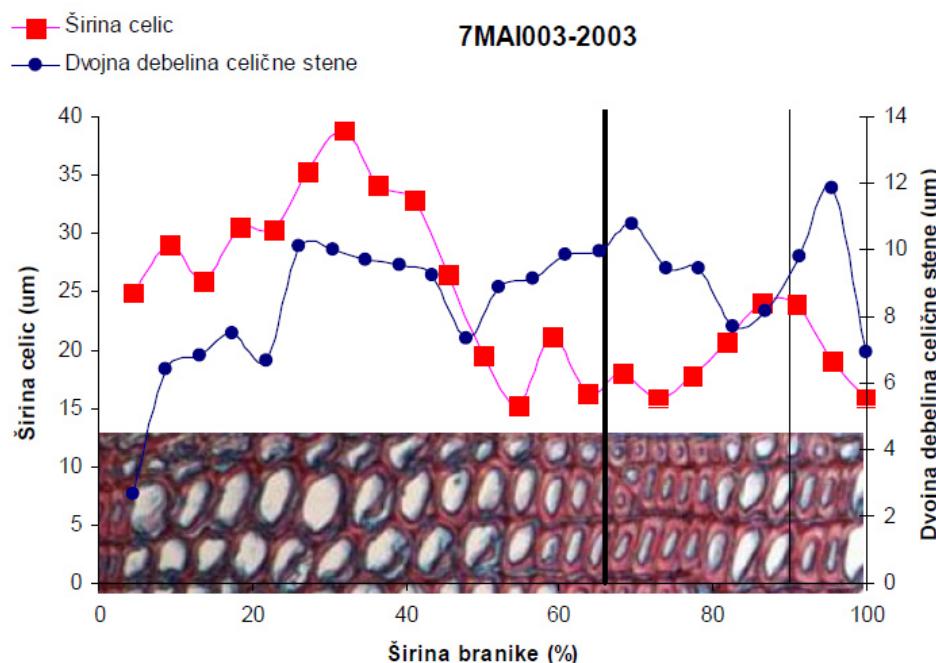
Slika 19: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 1MAI003A-2003 z rastišča Maigmo. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike.

Slika 20 prikazuje ozko braniko z rastišča Maigmo, ki je v povprečju široka 268 µm (12–13 celic), s sorazmerno majhnim deležem neizrazitega kasnega lesa (približno 18%). Širina celic v ranem lesu je bolj ali manj konstantna, nato pa se prične pri 65% širine branike postopno manjšati. Kasni les sestavlajo od 2 do 3 celice s širino od 16 do 17 µm, ki predstavljajo 18% širine branike.

V ranem lesu (prvih 75% širine branike) so vrednosti dvojne debeline celične stene relativno konstantne in se gibljejo od 8 do 10 µm. V kasnem lesu so značilne relativno velike razlike med sosednjimi meritvami (tudi do 4 µm).

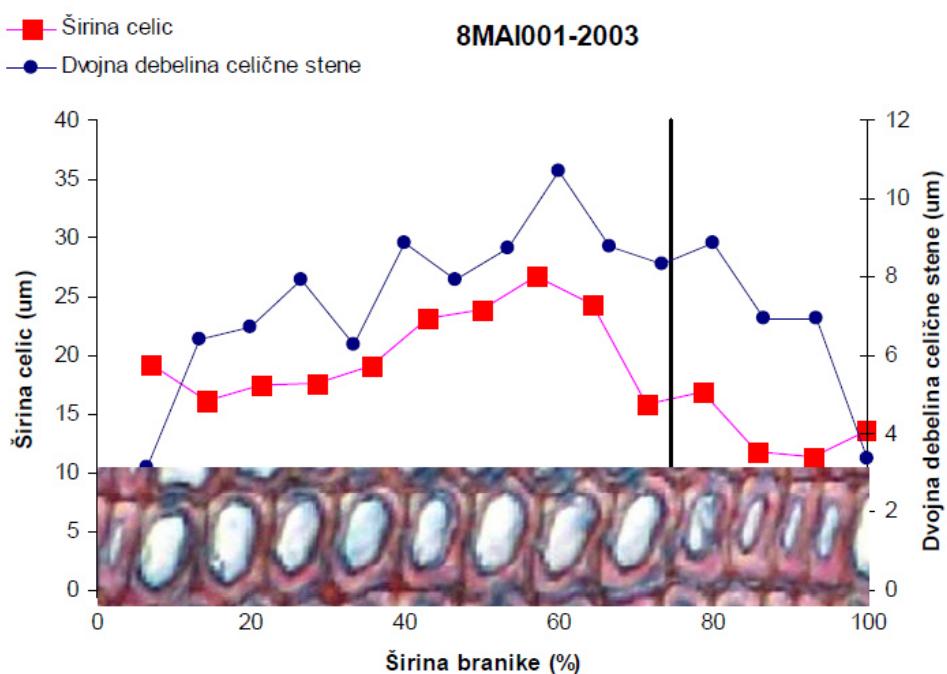


Slika 20: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 4MAI001-2003 z rastišča Maigmo. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike.



Slika 21: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 7MAI003-2003 z rastišča Maigmo. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike. Druga tanka črna vertikalna črta predstavlja drugo mejo med ranim in kasnim lesom.

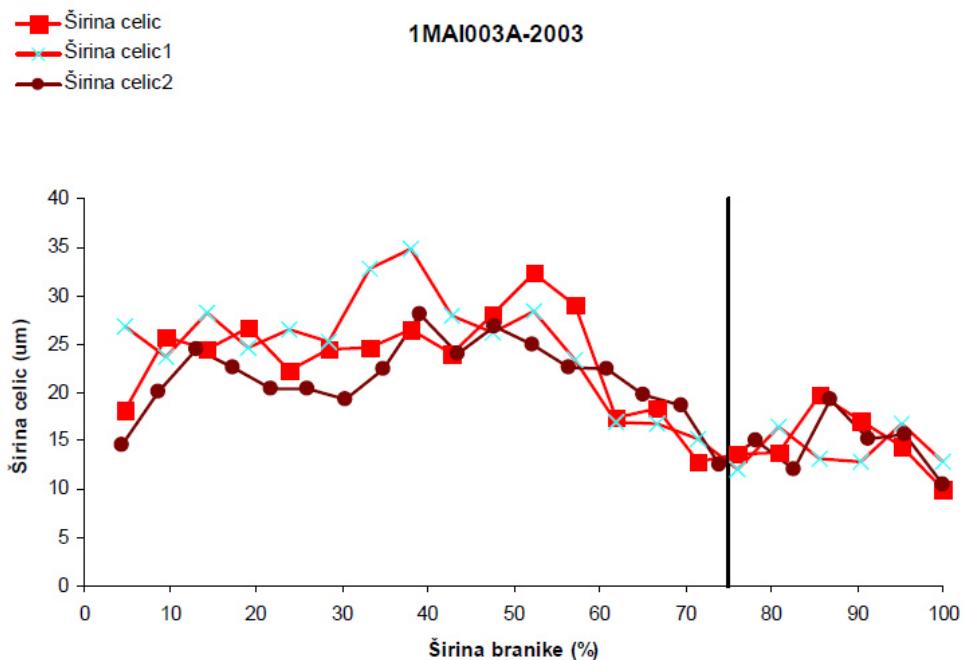
Slika 21 prikazuje braniko z rastišča Maigmo, ki je v povprečju široka 554 µm. Ta branika nima običajnega ranega in kasnega lesa in letnice, pač pa vsebuje gostotno variacijo, letnica pa ni jasna. Slika 22 prikazuje ozko braniko z rastišča Maigmo, ki je v povprečju široka 249 µm. Celice domnevnega kasnega lesa imajo manjše radialne dimenzije in manjšo širino branike kot celice prehodnega lesa.



Slika 22: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 8MAI001-2003 z rastišča Maigmo. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike.

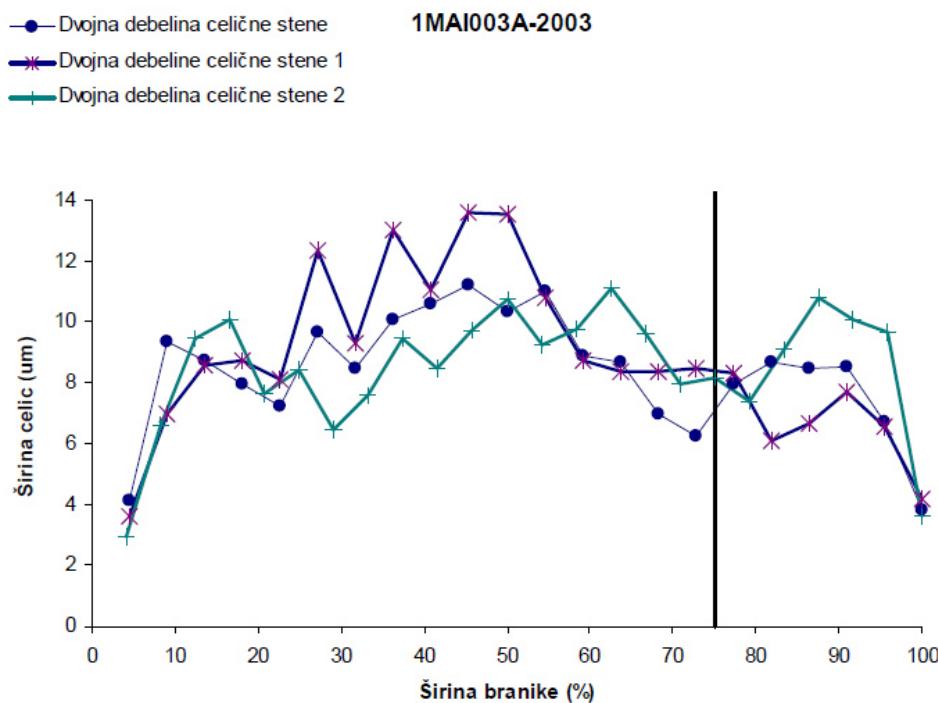
Na sliki (Slika 23) so prikazane vse tri meritve širin celic, ki smo jih izmerili na preparatu z oznako 1MAI003-2003. V prvih 50% branike lahko vidimo, da prihaja do sorazmerno velikih variacij med meritvami (tudi do 12 µm) in krivulje tukaj rahlo naraščajo. Trend naraščanja in padanja vseh treh krivulj ima na začetku nekaj manjših odstopanj, nato pa je zadnjih 40% zelo podoben. Širina celic od 50% do 75% širine branike konstantno pada pri

vseh treh meritvah z zelo majhnimi razlikami med njimi. V prehodnem in kasnem delu branike so vrednosti bolj konstantne in z relativno majhnimi razlikami (do $5\mu\text{m}$).



Slika 23: Spreminjanje širine celic treh radialnih nizov znotraj branike 1MAI003A-2003 z rastišča Maigmo

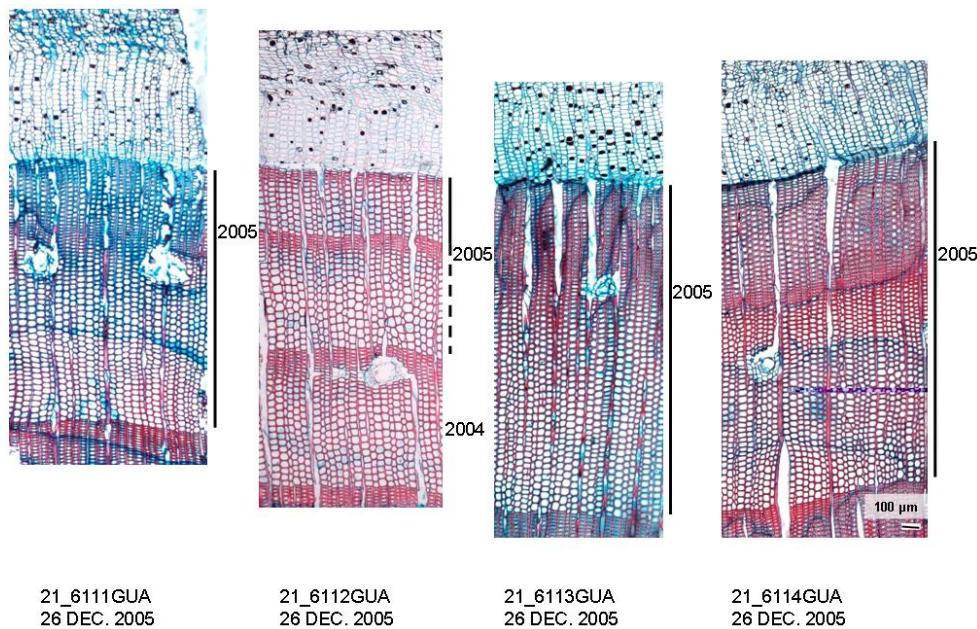
Na sliki (Slika 24) so prikazane vse tri meritve dvojnih debelin celičnih sten, ki smo jih izmerili na preparatu 1MAI003-2003. V prvih 25% branike lahko vidimo, da prihaja do sorazmerno majhnih variacij med meritvami ($3\mu\text{m}$), nato pa so razlike do nekje 55% precej velike, kar kaže na variabilnost med različnimi nizi znotraj iste branike. Trend naraščanja in padanja vseh treh krivulj je sorazmerno podoben. Na območju od 55 do 80% prihaja do manjših razlik med vrednostmi (do $3\mu\text{m}$). Dvojna debelina celičnih sten tukaj rahlo pada vse do meje med ranim in kasnim lesom. V kasnem lesu so vrednosti prav tako zelo variabilne in z relativno velikimi razlikami (do približno $4\mu\text{m}$).



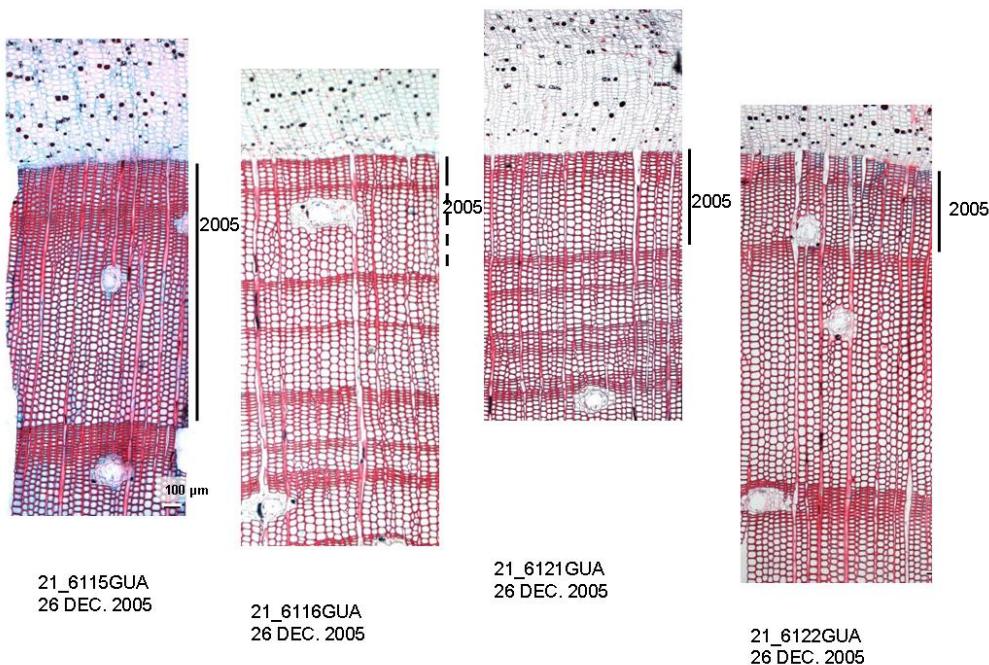
Slika 24: Spreminjanje dvojne debeline celične stene treh radialnih nizov znotraj branike 1MAI003A-2003 z rastišča Maigmo.

4.4 BRANIKA 2005 PRI DREVESIH Z RASTIŠČA GUARDAMAR

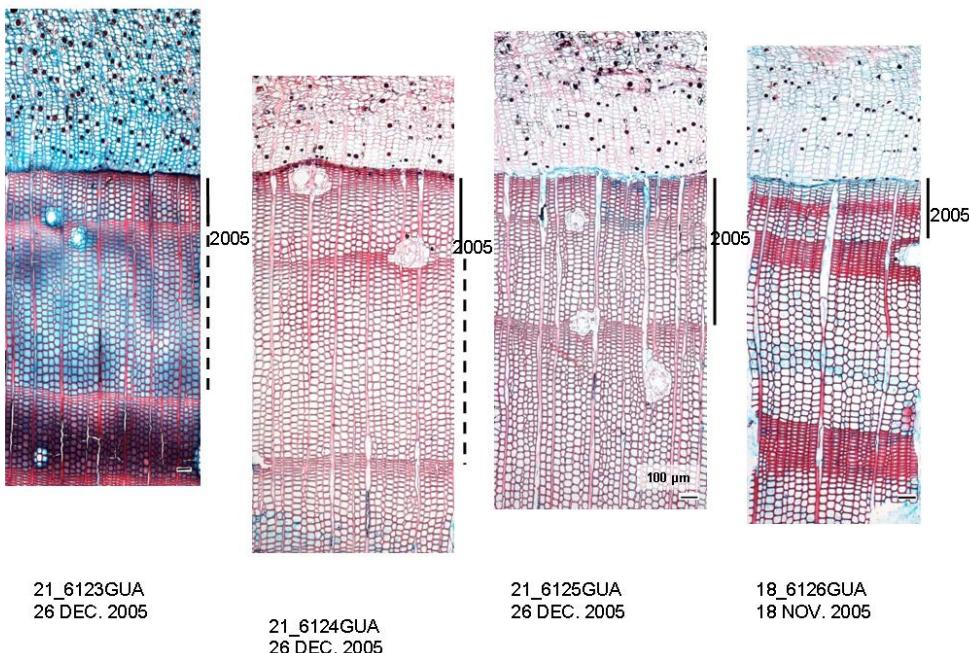
Branika 2005 pri drevesih z rastišča Guardamar si zaslubi posebno pozornost, saj so pri proučevanju kambijevih vzorcev, odvzetih v mesečnih presledkih v letu 2005, ugotovili, da so se delitve v kambiju v juliju in avgustu skoraj ustavile, v septembru in oktobru pa je prišlo do reaktivacije kambija (Čufar, osebna komunikacija). Pri tem so nastale ranemu lesu podobne celice, potem ko so v braniki že nastale celice kasnega lesa. Pregled nekaterih prečnih prerezov branik 2005 pri različnih drevesih je prikazan na slikah (Slika 25, Slika 26, Slika 27), branika 2005 je označena s črto.



Slika 25: Prečni prerezi branik alepskega bora z rastišča Guardamar. Branika 2005 je označena s črno črto.
 (Foto: Katarina Čufar)



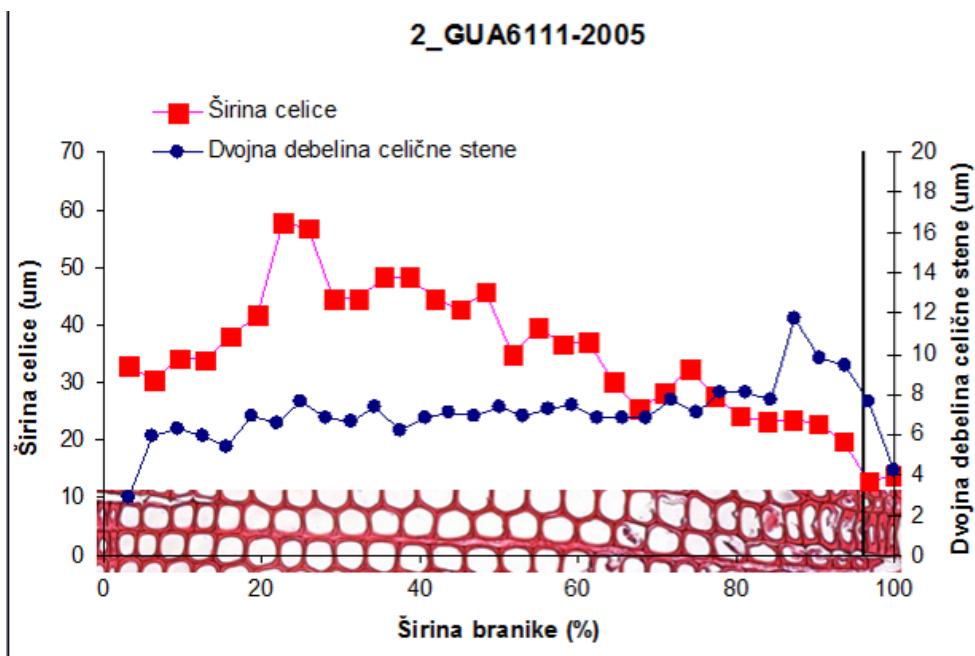
Slika 26: Prečni prerezi branik alepskega bora z rastišča Guardamar. Branika 2005 je označena s črno črto.
 (Foto: Katarina Čufar)



Slika 27: Prečni prerezi branik alepskega bora z rastišča Guardamar. Branika 2005 je označena s črno črto.
 (Foto: Katarina Čufar)

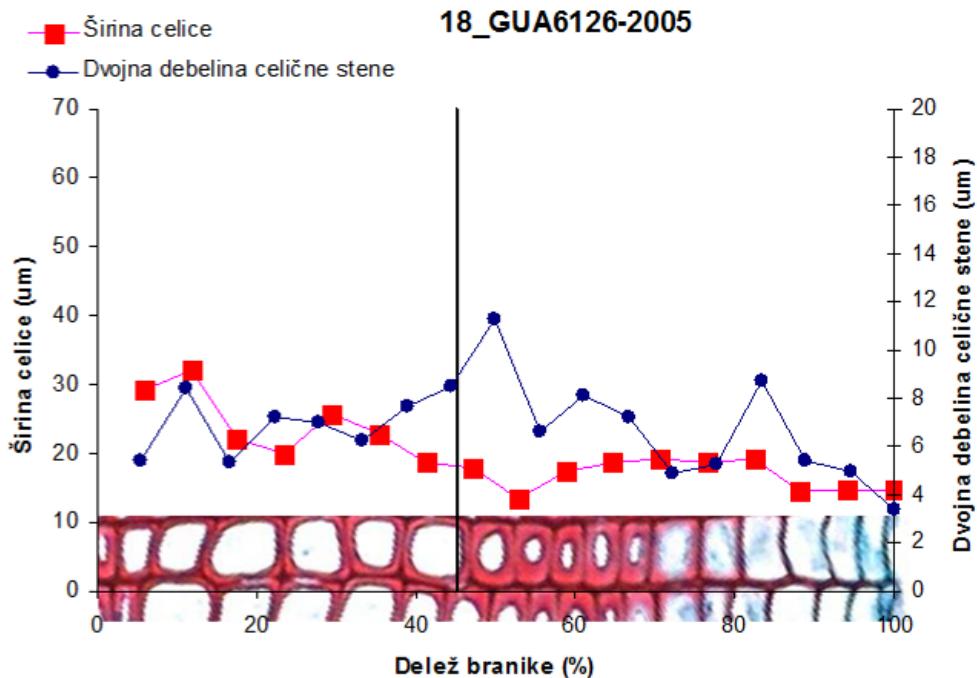
Tako so nastale branike z gostotnimi variacijami tipa L, ki so vidne že brez meritev, ki bi jih lahko prepoznali tudi kot dve ločeni braniki. V nadaljevanju predstavljamo in komentiramo štiri najbolj zanimive branike tipa L (prim. Jokić, 2009).

Slika 28 prikazuje široko braniko ($1077 \mu\text{m}$) z rastišča Guardamar, kjer širina celice naraste do maksimalne vrednosti do 8. meritve, nato pa ves časa upada. Maksimalna debelina celične stene se pojavi v 5. meritvi pred zaključkom branike. V tem primeru gostotna variacija ni bila potrjena.



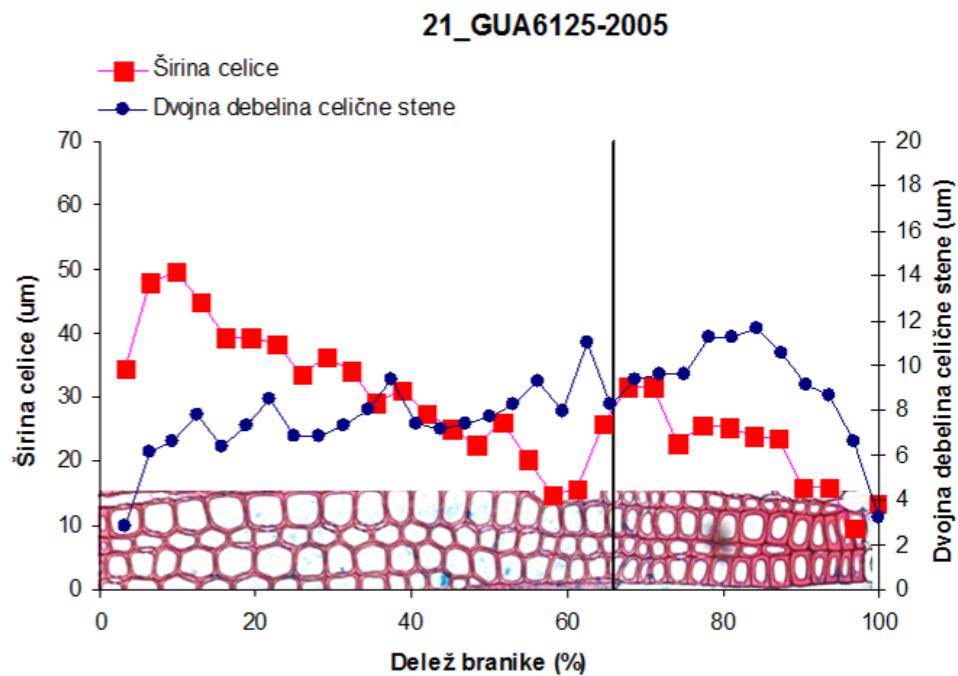
Slika 28: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 2_GUA6111-2005 z rastišča Guardamar. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike.

Slika 29 prikazuje ozko braniko z rastišča Guardamar, ki je v povprečju široka 340 μm (17–18 celic) in gostotnimi variacijami.



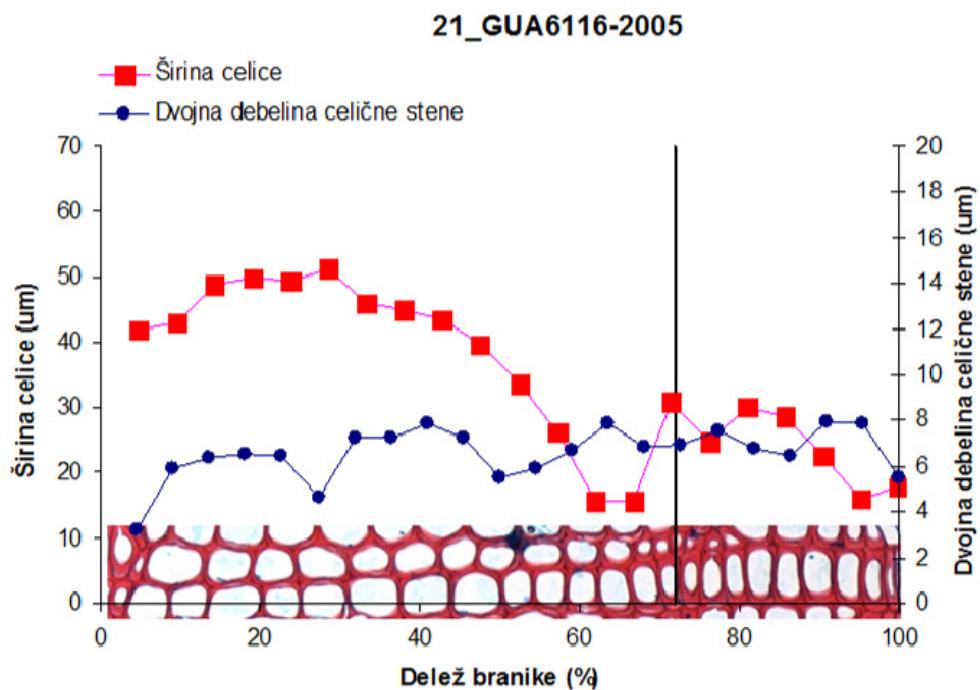
Slika 29: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 18_GUA6126-2005 z rastišča Guardamar. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike.

Slika 30 prikazuje širšo braniko z rastišča Guardamar, ki je v povprečju široka 876 μm oz. ima 31 celic v radialnem nizu in ima gostotno variacijo.



Slika 30: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 21_GUA6125-2005 z rastišča Guardamar. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike.

Slika 31 prikazuje tipično braniko z rastišča Guardamar, široko $720 \mu\text{m}$, in prvim pasom kasnega lesa na približno 70% širini branike, ter drugim pasom ob zaključku branike.



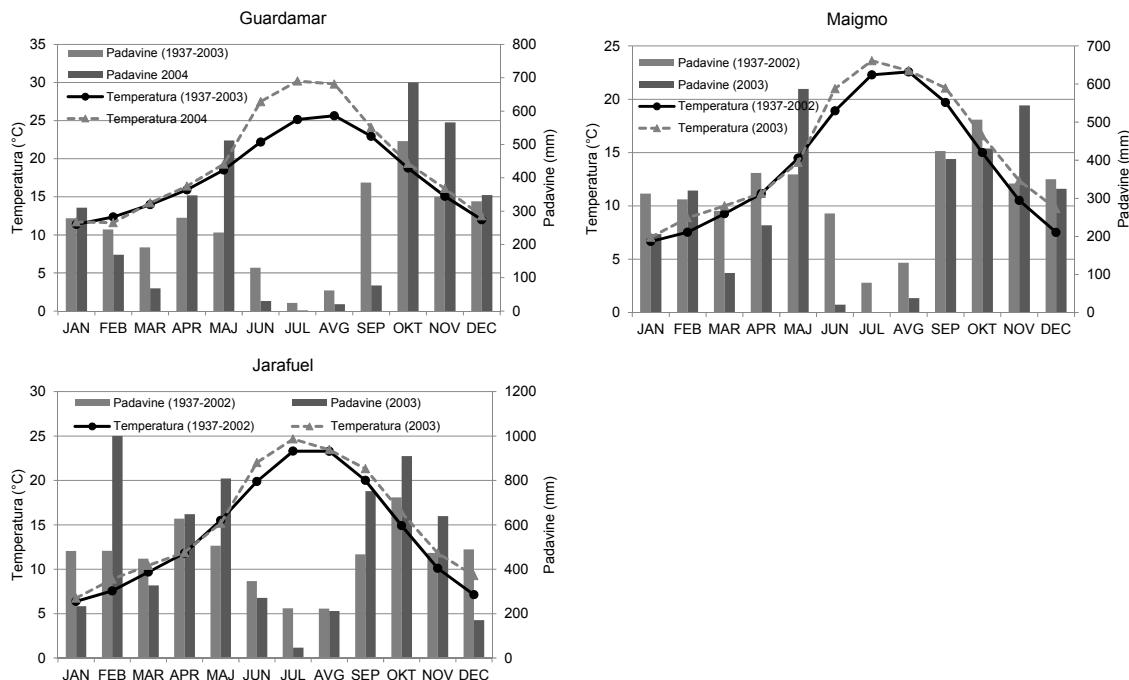
Slika 31: Spreminjanje širine celic (rdeča krivulja) in dvojne debeline celičnih sten (modra krivulja) v enem radialnem nizu branike 21_GUA6116-2005 z rastišča Guardamar. Črna vertikalna črta prikazuje mejo med ranim in kasnim delom branike.

Za vzorce, odvzete v kraju Guardamar, je značilno predvsem to, da imajo v povprečju večje radialne dimenzijske celice na začetku branike kot ostali vzorci (Jarafuel in Maigmo). Pri večini vzorcev iz Guardamarja se pojavljajo celice, ki bi po obliki sodile v rani les v kasnem delu branike.

Na prikazanih slikah ni bilo mogoče razmejiti ranega lesa.

5 RAZPRAVA

5.1 VPLIV KLIMATSKIH DEJAVNIKOV NA ZNAČILNOST BRANIK



Slika 32: Klimogrami rastišč Maigmo, Jarafuel in Guardamar v Španiji za obdobje od 1937 do 2002 in specifične razmere v letih nastanka proučenih branik.

Za branike z rastišča Maigmo (MAI2003) in Jarafuel (JAL003), ki so nastale leta 2003, lahko rečemo, da so normalne z bolj ali manj normalnim ranim in kasnim lesom ter postopnim prehodom med obema (Preglednica 1, Preglednica 2). Na rastišču Guardamar leta 2005 (GUA2005) so nastala tipične L-branike pri večini dreves.

Vzporedne študije so pokazale, da se je pri GUA2005 nastajanje lesa začelo že pred februarjem 2005, do prehoda od ranega h kasnem lesu pa je prišlo pozno spomladi. Poleti se je delovanje kambija skoraj ustavilo, vendar pa se je povečana proizvodnja ksilemskih celic pojavila v septembru, ko je bila količina padavin dvakrat višja od dolgoletnega povprečja. V tem obdobju je nastal pas ranemu lesu podobnih celic, ki mu je sledil nastanek kasnemu lesu podobnih celic še do konca decembra (De Luis in sod., 2011).

Normalna branika MAI2003 je nastala zato, ker v letu 2003 na rastišču Maigmo niso nastale razmere, ki sprožijo nastanek ranemu lesu podobnega lesa (praktično ni bilo padavin od avgusta do oktobra 2003). Na tem rastišču je v septembru 2004 kambij proizvedel samo posamezne celice, ki pa so v procesu diferenciacije pridobile značilnosti celic kasnega lesa.

Glede na to, da je anatomske posebnosti znotraj branik mogoče razložiti s klimatskimi dejavniki, to kaže na velik potencial za uporabo pri študiju vpliva okoljskih dejavnikov na rast dreves.

6 SKLEPI

V arhivu Katedre za tehnologijo lesa Oddelka za lesarstvo BF smo za merjenje izbrali skupno 109 preparatov prečnih prerezov alepskega bora (*Pinus halepensis*) z rastišč Jarafuel, Maigmo in Guradamar v Španiji.

Pregledali smo 109 branik in jih vizualno ocenili kot normalne ali kot branike, ki vsebujejo gostotne variacije.

Izmerili smo skupno 109 branik in približno 327 radialnih nizov, nastalih v letih 2003, 2004, 2005 in 2006. Z rastišča Maigmo smo izmerili 38 branik, ki so vse nastale v letu 2003. Prav tako smo izmerili 42 branik z rastišča Jarafuel, nastalih leta 2003. Pri vzorcih odvzetih na rastišču Guardamar smo izmerili branike, ki so nastale v letih 2004, 2005 in 2006. Teh branik je bilo skupno 29, po letih pa 13 (2004), 11 (2005) in 5 (2006).

Za vse omenjene branike smo izdelali traheidograme (grafe radialnih dimenzij traheid in dvojnih debelin celičnih sten v treh radialnih nizih od začetka do konca posamezne branike). Tipične traheidograme smo predstavili skupaj z mikroskopskimi slikami merjenih nizov.

Za branike rastišča Maigmo (MAI2003) in Jarafuel (JAL003), ki so nastale leta 2003, lahko rečemo, da so normalne z bolj ali manj normalnim ranim in kasnim lesom ter postopnim prehodom med obema.

Na rastišču Guardamar so v letu 2005 vsa proučena drevesa vsebovala gostotno variacijo tipa L (ranemu lesu podoben pas celic v kasnem lesu).

Pri oceni vpliva klimatskih dejavnikov na gostotne variacije se je izkazalo, da je v branikah nastal bolj ali manj tipičen rani in kasni les, kadar je bila jesen suha. Kljub razlikam med drevesi je v letih 2003 na rastiščih Maigmo in Jarafuel pri več kot 92,5% dreves nastal isti normalen tip branike.

7 POVZETEK

Na prečnih prerezih lesa alepskega bora (*Pinus halepensis*) z rastišč v Španiji (rastišča Jarafuel, Maigmo in Guardamar) smo v branikah, nastalih v letih 2003, 2004 in 2005 s pomočjo sistema za analizo slike raziskali dimenzijske celic: dvojno debelino tangencialnih celičnih sten (merjenih v radialni smeri) in nato še radialno širino celotne celice (od srednje lamele do srednje lamele). Primerjali smo morfološke značilnosti trahej znotraj branik in med posameznimi tipi branik ter opisali variacije znotraj branik. Na koncu smo ocenili vpliv klimatskih dejavnikov na variacije dimenzijskih celic v braniki.

Pregledali smo 109 branik in jih vizualno ocenili kot normalne ali kot branike, ki vsebujejo gostotne variacije.

Izmerili smo skupno 109 branik in približno 327 radialnih nizov, nastalih v letih 2003, 2004, 2005 in 2006. Z rastišča Maigmo smo izmerili 38 branik, ki so vse nastale v letu 2003. Prav tako smo izmerili 42 branik z rastišča Jarafuel, nastalih leta 2003. Pri vzorcih, odvzetih na rastišču Guardamar, smo izmerili branike, ki so nastale v letih 2004, 2005 in 2006. Teh branik je bilo skupno 29, po letih pa 13 (2004), 11 (2005) in 5 (2006).

Za vse omenjene branike smo izdelali traheidograme (grafe radialnih dimenzijskih traheid in dvojnih debelin celičnih sten v treh radialnih nizih od začetka do konca posamezne branike). Tipične traheidograme smo predstavili skupaj z mikroskopskimi slikami merjenih nizov.

Za branike rastišča Maigmo (MAI2003) in Jarafuel (JAL003), ki so nastale leta 2003, lahko rečemo, da so normalne z bolj ali manj normalnim ranim in kasnim lesom ter postopnim prehodom med obema.

Na rastišču Guardamar so v letu 2005 vsa proučena drevesa vsebovala gostotno variacijo tipa L (ranemu lesu podoben pas celic v kasnem lesu).

Pri oceni vpliva klimatskih dejavnikov na gostotne variacije se je izkazalo, da je v branikah nastal bolj ali manj tipičen rani in kasni les, kadar je bila jesen suha. Kljub razlikam med drevesi je v letih 2003 na rastišču Maigmo in Jarafuel pri več kot 92,5% dreves nastal isti normalen tip branike.

8 VIRI

1. Brus R. 2004. Drevesne vrste na Slovenskem. Ljubljana, Mladinska knjiga: 399 str.
2. Brus R. 2005. Dendrologija za gozdarje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 408 str.
3. Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
4. De Luis M., Gričar J., Čufar K., Raventós J. 2007. Seasonal dynamics of wood formation in *Pinus halepensis* from dry and semi-arid ecosystems in Spain. IAWA Journal: 28, 4: 389–404
5. De Luis M., Novak K., Raventós J., Gričar J., Prislan P., Čufar K. 2011. Climate factors promoting intra-annual density fluctuations in aleppo pine (*Pinus halepensis*) from semiarid sites. Dendrochronologia, 29: 163–169
6. Fady B., Semerci H., Vendramin G.G. 2003. EUFORGE, Technical Guidelines for genetic conservation and use of Aleppo pine (*Pinus halepensis*) and Brutia pine (*Pinus brutia*). Rome, Italy. International Plant Genetic Resources Institute: 6 str.
7. Jokić M. 2009. Anatomske posebnosti alepskega bora in pinije zaradi klimatskih anomalij. Diplomsko delo (univerzitetni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 80 str.
8. Novak K. 2007. Variabilnost prirastka na različnih višinah na deblu pinije in alepskega bora. Diplomsko delo (univerzitetni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 80 str.
9. Prislan P. 2007. Nastajanje lesa pri bukvi (*Fagus sylvatica* L.) v rastni sezoni 2006. Diplomsko delo (univerzitetni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 68 str.
10. Raventos J., De Luis M., Gras M.J., Čufar K., Gonzalez-Hidalgo J.C., Bonet A., Sanchez J.R. 2001. Growth of *Pinus pinea* and *Pinus halepensis* as affected by dryness, marine spray and land use changes in a Mediterranean semiarid ecosystem. Denrochronologia, 19, 2: 211–220
11. Schweingruber F. H. 1990. Anatomie europäischer Hölzer – Anatomy of European woods. WSL, FNP Haupt.: 800 str.

12. Vaganov E. A. 1990. The tracheidogram method in tree-ring analysis and its application. V: Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciens. Cook E. R., Kairiukstis L.A. Dordrecht, Kluwer Academic publishers: 63–76.
13. Zorec A. 2004. Merjenje dimenziij celic lesa s programom za analizo slike. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 59 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. Katarini Čufar, da mi je omogočila izdelavo diplomske naloge na Katedri za tehnologijo lesa. Hvala tudi za strokovne napotke, izkazano zaupanje in potrpljenje ter vsestransko pomoč tekom izdelave diplomske naloge. Rad bi omenil, da sem na začetku študija doživel delovno nesrečo in si poškodoval roko in že od tedaj mi je prof. dr. Katarina Čufar svetovala, kako naprej, kako dokončati študij, kam se obrniti, me spodbujala in mi vlivala samozavest. Res iskrena hvala za vse.

Zahvala gre tudi somentorju dr. Petru Prislanu, ki mi je kot mladi raziskovalec vsestransko pomagal pri laboratorijskem delu in pisanju naloge. Zahvaljujem se tudi Luki Kržetu in Maksu Mereli s Katedre za tehnologijo lesa in Klemenu Novaku, doktorskemu študentu iz Španije, za pomoč, podatke in napotke.

Hvala recenzentu prof. dr. Željku Gorišku za pregled naloge. Hvala gospe Mileni Bizjan za pomoč pri urejanju formalnosti v zvezi z mojim študijem ter gospe Darji Vranjek za pregled strukture diplomske naloge.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Marko PEČOVNIK

**DIMENZIJE CELIC V BRANIKAH ALEPSKEGA
BORA IN NJIHOVA ODVISNOST OD KLIMATSKIH
DEJAVNIKOV**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2012