

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej PETRIC

**VARIABILNOST DIMENZIJ IN DELEŽEV TRAHEJ V DATIRANIH
BRANIKAH BUKVE Z DVEH RASTIŠČ**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**VARIABILITY OF DIMENSIONS AND PROPORTIONS OF VESSELS
IN DATED TREE-RINGS OF BEECH FROM TWO SITES**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2011

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega študija lesarstva. Delo je bilo opravljeno na Katedri za tehnologijo lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Analize so bile opravljene na vzorcih iz arhiva katedre.

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

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Vs
DK UDK 630*811.4
KG les/bukev/*Fagus sylvatica* L./traheje/analiza slike/histometrija
AV PETRIC, Matej
SA ČUFAR, Katarina (mentorica)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2011
IN VARIABILNOST DIMENZIJ IN DELEŽA TRAHEJ V DATIRANIH BRANIKAH
BUKVE Z DVEH RASTIŠČ
TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP VII, 41 str., 6 pregl., 18 sl., 10 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI V lesu odraslih bukev (*Fagus sylvatica* L.) z 2 rastišč, Panške reke (PR) pri Ljubljani in Menine planine (MP), smo v branikah, nastalih v letih 2006, 2008 in 2009 raziskali variabilnost dimenzij trahej. Na slikah mikroskopskih preparatov prečnih prereзов smo branike od ranega proti kasnem lesu razdelili na pasove po metodi premikajočih se oken, braniko 2006 PR pa tudi po metodi tedenskih prirastkov, ki smo jih določili s pomočjo Gompertzove funkcije iz predhodne študije nastajanja lesa. S pomočjo programa za analizo slike smo v vsakem oknu izmerili minimalni premer, maksimalni premer, obseg in površino vseh trahej ter število trahej na enoto površine. Površina in minimalni premer trahej sta bila najbolj relevantna za izdelavo trahejogramov za ovrednotenje variabilnosti dimenzij trahej po braniki. V branikah 2006 in 2009 PR so površine trahej v prvih 70 % branike le počasi upadale, nato pa se je trend upadanja naglo povečal, v braniki 2008 PR pa je bilo zmanjševanje trahej vidno že na približno polovici branike. Braniki 2008 in 2009 MP sta imeli podobno širino in primerljivo zgradbo s postopnim zmanjševanjem površin trahej. Kasni les je večinoma predstavljal zadnjih 20 % branike. Število trahej na enoto površine je bilo po branikah razmeroma konstantno, le v zaključnem delu večine branik smo opazili rahlo zmanjšanje števila trahej. Z metodo premikajočih se oken smo prikazali variiranje dimenzij trahej z oddaljenostjo od letnice. Z metodo tedenskih prirastkov smo ugotovili kakšne dimenzije so imele traheje, ki so nastale v določenem času. To metodo lahko uporabimo le v branikah, za katere poznamo dinamiko nastanka, ki jo pridobimo v zamudnih študijah nastajanja lesa.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN VS
DC UDC 630*811,4
CX wood/beech/*Fagus sylvatica* L./vessels/image analysis/histometry
AU PETRIC, Matej
AA ČUFAR, Katarina (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 2011
TI VARIABILITY OF DIMENSIONS AND RATIO OF VESSELS
IN DATED TREE-RINGS OF BEECH FROM TWO SITES
DT Graduation thesis/Higher professional studies
NO VII, 41 p., 6 tab., 18 fig., 10 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Vessel dimensions were analysed in tree-rings formed in 2006, 2008 and 2009 in the wood of adult beech (*Fagus sylvatica* L.) trees from 2 sites, Panška reka (PR) near Ljubljana, and Menina planina (MP). Images of cross-sections of each tree-ring were divided into sections from early-wood to late-wood according to the moving window method. Weekly increment method was also used with the tree-ring 2006 PR, where weekly increment was determined by the Gompertz function from the previous study on wood formation. Maximum diameter, minimum diameter, circumference, and area of the vessels as well as their quantity per square unit were determined in every window with image analysis software. Area and minimum diameter were the most relevant features to produce graphs of vessel sizes from early- to late-wood. The area of vessels decreased slowly in the first 70 % of tree-rings 2006 and 2009 PR, after that it dropped rapidly. In 2008 PR we observed a fast decrease of vessel dimensions already in the first half of the tree-ring. Tree-rings 2008 and 2009 MP had similar widths and comparable structures where the area of vessels was decreasing gradually. Late-wood constituted the last 20 % of tree-rings. The number of vessels per square unit was rather stable from early- to late-wood. It was only slightly reduced in the final part of the tree-rings. By using the moving windows method a variation of vessel dimensions has been established in connection to its distance from the growth ring boundary. By using the weekly increment method, we established the dimensions of vessels that were created at a certain period of time. This method is only applicable with tree-rings with a known formation dynamics, which can only be acquired from time consuming studies on wood formation.

KAZALO VSEBINE

str.

Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic.....	VI
Kazalo slik.....	VII

1	UVOD	1
2	PREGLED OBJAV	3
2.1	BIOLOGIJA BUKVE	3
2.2	MIKROSKOPSKA ZGRADBA LESA BUKVE	4
2.3	ANALIZA SLIKE	5
3	MATERIAL IN METODE.....	6
3.1	OPIS RASTIŠČ	6
3.2	ODVZEM VZORCEV	6
3.3	PRIPRAVA VZORCEV	7
3.4	ANALIZA SLIKE	8
3.4.1	Zajem slike	8
3.4.2	Merjenje dimenzij trahej s pomočjo programa	9
3.4.3	Izdelava trahejograma	14
4	REZULTATI	16
4.1	ANALIZA BRANIK PO METODI PREMIKAJOČIH SE OKEN	16
4.1.1	Analiza branike 2006 na rastišču Panška reka	16
4.1.2	Traheje v branikah 2008 in 2009 pri drevesih s Panške reke	19
4.1.3	Traheje v branikah 2008 in 2009 pri drevesih z Menine planine	21
4.1.4	Odstotek, pri katerem se začne površina trahej zmanjševati	22
4.1.5	Primerjava branik med rastišči in med leti	23
4.2	ANALIZE BRANIKE 2006 Z METODO TEDENSKIH PRIRASTKOV	28
5	RAZPRAVA	31
6	SKLEPI	35
7	POVZETEK.....	37
8	VIRI.....	40

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Šifre raziskanih branik	7
Preglednica 2: Število dreves in branik, izmerjenih s pomočjo metode premikajočih oken	9
Preglednica 3: Število dreves in branik, izmerjenih s pomočjo Gompertzove funkcije	10
Preglednica 4: Gompertzove funkcije 6 bukovih dreves s Panške reke v rastni sezoni 2006, kjer je Y širina nastajajoče branike, t pa dan v letu (Prislan, 2007).....	12
Preglednica 5: Primer izračuna deleža za branike, nastale v posameznem tednu v letu 2006 pri drevesu 1.	13
Preglednica 6: Deli branike (%) pri katerih pride do očitnega zmanjšanja premerov trahej pri branikah, nastalih v različnih letih za vzorčna drevesa z dveh rastišč	23

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Razširjenost bukve (<i>Fagus sylvatica</i> L.) v Evropi (Brus, 2004).	4
Slika 2: Braniki z virtualno mrežo z razmaki 100 μm in okno širine 200 μm (rdeči okvir), ki smo ga premikali za 200 μm in v njem vedno izmerili povprečno površino lumnov trahej od začetka do konca branike.	11
Slika 3: Gompertzova funkcija in širine tedenskih prirastkov na izoblikovani braniki 2006..	14
Slika 4: Površina trahej od začetka do zaključka branike 2006 pri šestih drevesih s Panške reke	16
Slika 5: Variiranje (a) minimalnih in (b) maksimalnih premerov trahej od začetka do konca branike 2006 pri šestih drevesih s Panške reke.	17
Slika 6: Povprečni obseg trahej po širini branike 2006 pri šestih drevesih s Panške reke.....	17
Slika 7: Površinska gostota (število trahej na površino 1000 μm) po braniki 2006 pri šestih drevesih s Panške reke	18
Slika 8: Trahejogram, ki prikazuje površino trahej vzdolž branike v letu 2008.	20
Slika 9: Trahejogram prikazuje spreminjanje površine trahej vzdolž branike v sezoni 2009 na Panški reki pri 8 drevesih.	20
Slika 10: Trahejogram prikazuje delež trahej skozi branike v rastni sezoni 2008 z rastišča Menina planina.	21
Slika 11: Trahejogram prikazuje delež trahej vzdolž branike v rastni sezoni 2009 z rastišča Menina planina.	21
Slika 12: Tipična branika 2009 pri drevesu (a) s Panške reke in (b) z Menine planine.....	24
Slika 13: Tri branike tipičnega drevesa s Panške reke. Mikroskopske slike prečnih prereзов branik, nastalih v letih (a) 2006, (b) 2008, (c) 2009 in (d) površine trahej glede na delež branike.	25
Slika 14: Branika drevesa 4 z rastišča Menina planina, nastala v sezoni (a) 2008 in (b) 2009. (c) Variiranje površine trahej v braniki 2008 in 2009 od začetka do konca branike.	27
Slika 15: Površine trahej za del branike, nastale v določenem tednu oz. dnevu v letu 2006..	28
Slika 16: Minimalni (a) in maksimalni (b) premeri trahej v braniki sezone 2006 v odvisnosti od dneva v letu	29
Slika 17: Variiranje obsega trahej po braniki v odvisnosti od dneva v letu.....	29
Slika 18: Variiranje površinske gostote trahej po braniki v odvisnosti od dneva v letu.....	30

1 UVOD

Bukev (*Fagus sylvatica* L.) je naša najpomembnejša lesna in drevesna vrsta. Kljub njenemu pomenu in razširjenosti je še vedno v več ozirih malo raziskana. Les bukve vsebuje trahejne člene, vlakna (traheide), aksialni parenhim in trakove dveh različnih velikostnih redov. Trahejni členi, ki sestavljajo traheje, nastanejo v kambiju. So dokaj dolgi, ker je bukev evolucijsko primitivna. Premeri trahej so odvisni od oskrbljenosti kambija z rastnimi hormoni (predvsem avksinom) in s količino hrane, ki nastane pri fotosintezi. Ker se količina hormonov in hrane tekom vegetacijske dobe spreminja, nastanejo traheje različnih premerov (Čufar, 2006).

Bukev prištevamo med difuzno porozne listavce. Difuzno porozni listavci naj bi imeli znotraj branike enakomerno razporejene traheje enakomernih velikosti. V braniki naj ne bi bilo bistvenih razlik med ranim in kasnim lesom. Natančen pregled velikosti in razporeda trahej znotraj branik in razlike med branikami pri bukvi nakazujejo, da velikost (tangencialni premer, obseg, površina) in površinski deleži (število trahej na enoto površine) trahej lahko precej variirajo znotraj branike, med branikami, med drevesi in med rastišči. Ta variabilnost je posledica različnih dejavnikov, ki vplivajo na nastajanje lesa in se odražajo v njegovih različnih lastnostih.

V diplomski nalogi želimo opraviti natančne raziskave dimenzij in površinskih deležev trahej v branikah, ki so nastale v znanih letih in na znanih rastiščih. Rezultati diplome bi predstavljali osnovo za kasnejše proučevanje vpliva klime na zgradbo bukovega lesa in za boljše razumevanje variabilnih lastnosti lesa. Delo se deloma navezuje na diplomske naloge, opravljene na Katedri za tehnologijo lesa (Prislan, 2007, Sitar, 2009, Povše, 2009) in na tekoče raziskave v katedri (Čufar in sod., 2008, Prislan in sod., 2010).

Cilji naloge so:

- na mikroskopskih slikah prečnih prereзов branik s pomočjo analize slike izmeriti dimenzije (minimalni premer, maksimalni premer, obseg, površina) trahej in njihovo površinsko gostoto (število trahej na enoto površine) ter primerjati njihovo variabilnost

znotraj branike (od ranega proti kasnemu lesu), med branikami (različna leta nastanka), med drevesi (drevesa z istega rastišča) in med rastišči (dve rastišči z različnih nadmorskih višin).

Ker meja med ranim in kasnim lesom pri bukvi ni definirana, želimo meritve opraviti na branikah, razdeljenih na enakomerno široke segmente. Na izbranih drevesih, kjer so spremljali nastajanje branik in ga opisali z Gompertzovo funkcijo (Prislan, 2007), pa želim meritve opraviti na delih branike, ki so nastali v točno določenem času (tednu) med vegetacijsko dobo.

2 PREGLED OBJAV

2.1 BIOLOGIJA BUKVE

Navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.) spada v družino bukovk (Fagaceae). Je listopadna drevesna vrsta, ki v naših krajih zraste v višino 25 do 40 m ter doseže premer debla do 80 cm (Brus in Kotar, 1999).

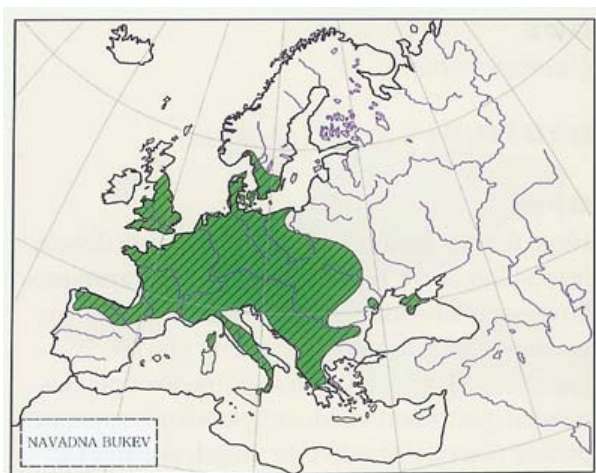
Bukev je naravno razširjena v srednjih in zahodnih delih Evrope. Njen areal na severu sega do Skandinavije in na zahodu do južne Anglije. Uspeva tudi po južnoevropskih gorovjih, na Apeninih, v Pirenejih in v Dinarskem gorovju. V Alpah uspeva do 1700 m, v Apeninih pa do 1950 m nadmorske višine (Brus, 2004).

V Sloveniji je razširjena od nižin do gozdne meje, oziroma do pasu ruševja na Snežniku. V nižinah je primešana v sestojih navadnega gabra in gradna, v predgorskem pasu oblikuje čiste sestoje, v gorskem pasu sta ji primešani smreka in jelka. Bukev v Sloveniji manjka po nižinah, kjer je nevarnost pozeb in poplav. V Primorju ni prisotna v toploljubnih gozdovih (Kotar in Brus, 1999).

Bukev je sencovzdržna drevesna vrsta, še posebej v mladosti, ko lahko oblikuje nežne senčne liste. Glede toplote je zahtevnejša drevesna vrsta, ter za dobro uspevanje potrebuje vsaj 5 mesecev dolgo vegetacijsko dobo. Najbolje uspeva na globokih, zračnih, svežih, s kalcijem obogatenih tleh, kjer je zračna vlaga velika in so padavine obilne. Manjka tam, kjer je padavin manj kot 600-700 mm (Kotar in Brus, 1999).

Sama rast bukve je razmeroma hitra, v mladosti pa je pogosto upočasnjena, če je mlado drevo zasenčeno. Bukev ima lastnost, da lahko dolgo preživi v senci in kasneje ob večji svetlobi normalno nadaljuje z rastjo. Priraščanje lesa je odvisno od rodovitnosti rastišča, tako priraščajo bukovi gozdovi pod samo gozdno mejo le 2m³/ha/leto, v gozdovih gričevja,

kjer so pa talne razmere ugodne, pa lahko več kot $10\text{m}^3/\text{ha}/\text{leto}$. Pri nas od klimatskih dejavnikov bukvi najbolj škoduje spomladanska pozeba, ki ogroža bukova mladja.



Slika 1: Razširjenost bukve (*Fagus sylvatica* L.) v Evropi (Brus, 2004).

2.2 MIKROSKOPSKA ZGRADBA LESA BUKVE

Bukev spada med evolucijsko primitivnejše listavce. Les, oziroma sekundarni ksilem, sestavljajo: traheje, vlakna, aksialni parenhim in trakovi (Čufar, 2006).

Bukev spada med difuzno porozne listavce. Branike so razločne in lepo vidne zaradi temnejšega kasnega in svetlejšega ranega lesa. Strženovi trakovi so dveh velikosti: prvi so zelo široki in dobro vidni tudi s prostim očesom, drugi pa so ozki in vidni samo z lupo (Čufar, 2006).

Traheje so po prečnem prerezu razporejene difuzno. Trahejni členi imajo lestvičaste in enostavne perforacije. Intervaskularne piknje so nasprotne ali lestvičaste. Tangencialni premer trahej je okoli $100\ \mu\text{m}$. Osnovno tkivo pri bukvi predstavljajo traheide z obokanimi piknjami, ki so vidne v radialnem prerezu. Traheide sodelujejo pri prevajanju vode. Povezava prevodnega sistema preko letnic poteka po traheidah. Manjši trakovi so 2-4-redni

in nizki, večji trakovi pa so nad 10-redni in nad 1 mm visoki. Trakovi na letnici so v prečnem prerezu razširjeni (Čufar, 2006). Trakovno tkivo je heterogeno, tip III, osrednji del je iz ležečih celic, na robovih pa je po ena vrsta kvadratastih celic. Piknje med trahejami in trakovi so velike in ovalne (režaste). Aksialni perenheim je apotrahealen, difuzen, lahko tudi difuzen v agregatih.

Les bukve je evolucijsko primitiven. Anatomske znake za to kažejo tako, da so trahejni členi relativno dolgi in zašiljeni, pogosto z lestvičastimi perforacijami. Osnovno tkivo je sestavljeno iz traheid z razločnimi obokanimi piknjami, ki skupaj s trahejami prevajajo vodo (Čufar, 2006).

2.3 ANALIZA SLIKE

Z uvajanjem novih tehnik v znanost je dobila slika in v njej informacije nov pomen, ker te informacije lahko izluščimo s pomočjo računalniške analize slike. Analiza slike je tehnika, ki se je najprej uveljavila v medicini in biologiji, kmalu nato pa tudi v anatomiji lesa. V gozdarstvu in lesarstvu je zanimiva za proučevanje mikroskopskih in makroskopskih objektov, pregled možnih uporab pa je podal Levanič (1999). Med mikroskopske objekte spadajo mikroskopski preparati lesa, hif gliv, mikorize, ipd. Med makroskopske pa spadajo na primer slike osutosti krošenj, slike branik, listi in iglice (Levanič, 1999).

Z analizo slike spreminjamo slikovne informacije v numerične in izluščimo le podatke, ki so nosilci informacij in predstavljajo bistvo naše raziskave. Postopek se začne z izborom objekta, pripravo slike, zajemom slike in se nato nadaljuje z različnimi obdelavami slike. Končni rezultat je običajno tabela z numeričnimi informacijami (Levanič, 1999).

Sodobne analize so se razvile šele v zadnjem desetletju, skupaj z razvojem sodobnih računalnikov. Analiza slike praviloma omogoča hiter zajem in analizo velikega števila podatkov.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 OPIS RASTIŠČ

Analizo trahej smo izvedli na šestih bukovih drevesih z rastišča Panška reka ($46^{\circ} 00'S$ in $14^{\circ} 60'V$; okoli 400 m n.m.v.) iz bližine Ljubljane in šestih dreves z rastišča Menina planina ($46^{\circ} 16'S$ in $14^{\circ} 48'V$; okoli 1200 m n.m.v.). Na obeh rastiščih smo izbrali dominantna ali kodominantna bukova drevesa stara nad 100 let, premera okoli 50 cm.

3.2 ODVZEM VZORCEV

Na Panški reki smo analizo trahej opravili v branikah nastalih v rastni sezoni 2006, 2008 in 2009. V drevesih z Menine planine pa smo traheje analizirali v prirastnih plasteh 2008 in 2009. Mikroskopske preparate prečnih prereзов smo dobili v arhivu Katedre za tehnologijo lesa. Odvzem vzorcev je potekal v letih 2006, 2008 in 2009 v okviru študij nastajanja lesa mladega raziskovalca Petra Prislan (Prislan, 2007, Prislan in sod., 2010). Vzorčenja v omenjenih letih so potekala skozi celotno vegetacijsko obdobje, od sredine aprila pa do konca septembra (Prislan, 2007, Sitar, 2008, Povše 2009, Prislan in sod., 2010), mi pa smo uporabili samo preparate lesa, odvzetega ob koncu vegetacijske dobe, ko je bila lesna branika popolnoma formirana.

Eksperimentalni del diplomske naloge smo opravili na:

- 6 bukvah s Panške reke 2006,
- 6 bukvah s Panške reke 2008,
- 6 bukvah z Menine planine 2008,
- 8 bukvah s Panške reke 2009,
- 6 bukvah z Menine planine 2009.

Skupaj 32 dreves bukve v sezonah 2006, 2008 in 2009.

Preglednica 1: Šifre raziskanih branik

leto	Menina planina	Panška reka
2006		16.8.2006 - drevo 1
		16.8.2006 - drevo 2
		12.9.2006 - drevo 3
		9.8.2006 - drevo 4
		16.8.2006 - drevo 5
		22.8.2006 - drevo 6
2008	12.9.2008 - drevo 1	18.8.2008 - drevo 1
	12.9.2008 - drevo 2	25.8.2008 - drevo 2
	22.8.2008 - drevo 3	22.9.2008 - drevo 3
	22.8.2008 - drevo 4	18.8.2008 - drevo 4
	12.9.2008 - drevo 5	1.9. 2008 - drevo 5
	12.9.2008 - drevo 6	18.8.2008 - drevo 6
2009	28.8.2009 - drevo 1	7. 9.2009 - drevo 1
	18.9.2009 - drevo 2	7. 9.2009 - drevo 2
	21.8.2009 - drevo 3	14.9.2009 - drevo 3
	25.9.2009 - drevo 4	31.8.2009 - drevo 4
	11.9.2009 - drevo 5	31.8.2009 - drevo 5
	18.9.2009 - drevo 6	17.8.2009 - drevo 6
		7. 9.2009 - drevo 7
		7. 9.2009 - drevo 8

Iz preglednice (Preglednica 1) je razvidno, katere preparate smo uporabil za raziskavo po letih in po rastišču, datum poleg drevesa pa predstavlja odvzem vzorca iz drevesa.

3.3 PRIPRAVA VZORCEV

Pripravo preparatov so izvedli v laboratoriju na Katedri za tehnologijo lesa. Po odvzemu na terenu in fiksaciji so vzorce dehidrirali v etanolu naraščajoče koncentracije (30%, 50% in 70%). Nato so vzorce obrezali, tako da so odstranili odvečno ksilemsko in floemsko tkivo in jih vklopili v parafin (Prislan, 2007, Prislan in sod., 2010). Pripravo prečnih rezin so opravili s pomočjo rotacijskega mikrotoma, ki omogoča kakovostno in relativno hitro rezanje. Uporabili so jeklene nože za rezanje trših tkiv, ki so za enkratno uporabo. Debelina rezin je bila 12 μ m.

Rezine so bile obarvane s safraninom (0,5% safranin v 95% etanolu in z barvilom astra modro (0,5% astra modro v 95% etanolu.) Safranin obarva lignin v celični steni rdeče, astra modro pa modro obarva celulozo. Rezine so bile vklopljene v Euparal (Prislan, 2007).

3.4 ANALIZA SLIKE

Za opazovanje in meritve smo uporabili svetlobni mikroskop Nikon Eclipse E800 in digitalno kamero DS-Fi1, za analizo slike pa računalniški programa NIS Elements BR3.

3.4.1 Zajem slike

Preparate smo izbrali s pomočjo v naprej določenih kriterijev. Preparat je moral biti brez napak. Branika je morala biti v celoti vidna in ni smela biti raztrgana, prepognjena, stisnjena in lumni trahej so morali biti čim bolj čisti brez vsebin. Preparati so bili pred opazovanjem očiščeni s pomočjo ostrega noža in čistega papirja.

Na mikroskopu smo uporabili 4-kratno povečavo objektiva in za analizo izbrali najboljši preparat. Sliko smo orientirali s pomočjo vrtljive mizice mikroskopa, ki omogoča premik preparata v poljubne smeri. Če je bila branika ozka, smo jo poravnali po širini ekrana, v primeru širše branike pa smo jo poravnali po dolžini ekrana.

Ko smo sliko zajeli s pomočjo programa NIS elements BR 3.0, smo sliko uredili, tako da smo spreminjali barvo (zelena, rdeča, modra). Na koncu pa uporabili funkcijo »Auto White«, ki izravna modro in zeleno komponento svetlobe, ki prehajata skozi kamero, z namenom pridobiti čim bolj naravno belo barvo lumnov. Želeli smo doseči čim večji kontrast med lumni (bela barva) in celično steno (rdeča barva).

Tako pripravljene slike smo zajeli z resolucijo 2560x1920, kar je omogočilo zadovoljivo kakovost slike.

Problem je nastal pri nekaterih branikah, ki so bile preširoke, da bi jih zajeli v vidno polje, zato smo jih morali slikati po delih (dva ali trije deli) in jih na koncu spojiti. Za to smo

uporabili funkcijo »Stitch Large Images from Files« za združevanje slik. Zaporedne slike so se morale nekoliko prekrivati (Overlap), tako da jih je program lahko sestavil v celotno sliko.

Slike smo shranili v JP2 in JPG formatu. Vsako datoteko smo poimenovali s šifro, ki je vsebovala datuma odvzema vzorca, številko drevesa in mesta odvzema vzorca. Primer šifre je: 11_09_08_5V_ME in pomeni, da je bil vzorec odvzet 11.9.2008, na drevesu številka pet na lokaciji Menina planina.

3.4.2 Merjenje dimenzij trahej s pomočjo programa

Pred zajemom smo povečavo slike kalibrirali, tako da smo merjene dimenzije lahko izrazili v mikrometrih. V naši raziskavi smo program za analizo slike NIS Elements BR2.3 potrebovali za meritve površin, premerov in obsegov lumnov trahej v izbrani braniki in to po segmentih, ki smo jih določili z mrežo. Poleg tega pa smo pridobili informacije o številu izmerjenih trahej na površinsko enoto ($\text{št.}/\mu\text{m}^2$). Uporabili smo polavtomatsko merjenje, kar pomeni, da smo določene parametre (barvo lumna, okroglost in velikost) morali prilagoditi sami, nato pa je program omenjene meritve opravil avtomatsko.

Histometrične meritve trahej smo opravili po dveh metodah, metodi premikajočih se oken in metodo Gompertzove funkcije ali metoda tedenskih prirastkov.

V naslednjih preglednicah sta navedeni dve metodi, po katerih smo opravili histometrične meritve trahej.

Preglednica 2: Število dreves in branik, izmerjenih s pomočjo metode premikajočih se oken

Metoda premikajočih se oken		
Branika	Panška reka	Menina planina
2006	6 dreves	
2008	6 dreves	6 dreves
2009	8 dreves	6 dreves

Preglednica 3: Število dreves in branik, izmerjenih s pomočjo Gompertzove funkcije

Gompertzova funkcija	
Branika	Panška reka
2006	6 dreves

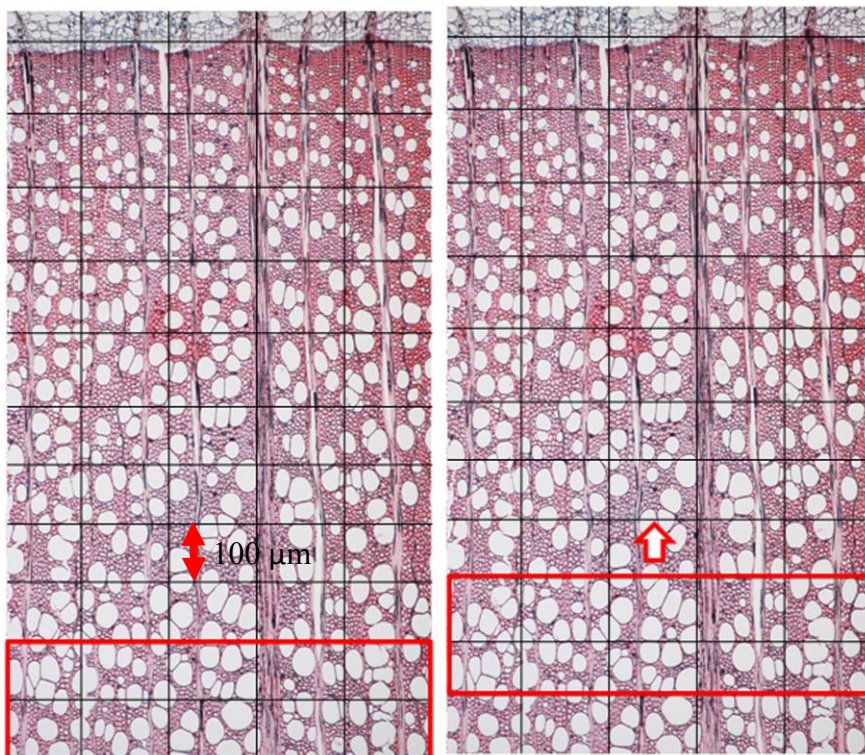
3.4.2.1 Metoda premikajočih se oken (Moving windows method)

Za prvi način merjenja trahej smo naredili virtualno mrežo na ustrezno pripravljenih slikah trahej. Uporabili smo funkcijo »Pokaži mrežo (Show Graticule)« izbrali pa smo možnost »Pravokotna mreža (Rectangular Grid)«. Pri nastavitvah mreže »Latsnosti mreže (Garticule Properties)« pa smo si za gostoto »Gostota (Density)« nastavili razmak 100 μm (razmak med črtami je bil 100 μm).

Nato smo uporabili funkcijo vklop okvira oziroma okna »Prižgi okvir (Turn ROI On/Off)«, izbrali možnost »Nariši pravokotni okvir (Draw Rectangular ROI)«, ter nato na sliko narisali okvir višine 200 μm , širino pa prilagodil širini preparata (celoten okvir je moral biti na braniki zaradi merjenja lumnov).

Z merjenjem smo pričeli tako, da smo s spodnjo stranico okvira oz. okna poravnali z letnico med zadnjo in predzadnjo nastalo braniko. Avtomatsko merjenje trahej smo pričeli s funkcijo »Štej Objekte (Object Count)«. Odprlo se je okno »Threshold RGB«, kjer smo najprej izbrali možnost »Izberi prag na sliki (Pick threshold from actual picture – within 3 point circle)«. Nato smo z nekaj kliki v lumne trahej, ki so se nahajale v prej izbranem okviru, določili povprečen odtenek barve, značilne za lumne. Posledično so se lumni vseh tipov celic obarvali rdeče, tudi lumni aksialnih parenhimskih celic, radialnih parenhimskih celic in vlaken. V oknu »Omejitve (Restrictions)« smo nato določili še »Okroglost (Circularity)« in »Velikost (EqDiameter)« elementov, ki smo jih želeli izmeriti. V polju »Rezultati (Results)« se je sproti izpisovalo število izmerjenih elementov ter njihove dimenzije (Površina, obseg, maksimalni premer, minimalni premer ...). Med meritvami so se običajno nahajali elementi (razne razpoke), ki jih z zgornjimi omejitvami ni bilo mogoče eliminirati, zato smo jih ročno pobrisali s seznama.

Okvir smo nato pomikali za 100 μm po mreži od inicialnega do terminalnega dela branike in postopek ponavljali.



Slika 2: Braniki z virtualno mrežo z razmaki 100 μm in okno širine 200 μm (rdeči okvir), ki smo ga premikali za 200 μm in v njem vedno izmerili povprečno površino lumnov trahej od začetka do konca branike.

3.4.2.2 Metoda tedenskih prirastkov

Pri metodi tedenskih prirastkov smo uporabili Gompertzove prirastne krivulje, pridobljene v okviru študij nastajanja lesa v vegetacijski dobi 2006 na rastišču Panška reka (Prislan, 2007). Prirastne krivulje opisujejo dinamiko nastajanja ksilemske branike. Gompertzova funkcija ima sigmoidno obliko, kar pomeni, da je priraščanje na začetku počasno, nato sledi pozitivna eksponentna faza, proti koncu rastne sezone pa se rast zopet upočasni (Prislan 2007). Širina tedenskih prirastkov se torej tekom vegetacijske dobe razlikuje.

Obstoječe Gompertzove funkcije za branike, nastale v letu 2006, smo pri tej metodi uporabili za izračun širin tedenskih prirastkov na že izoblikovani braniki, pri čemer smo za vsako drevo oz. braniko uporabili pripadajočo Gompertzovo funkcijo (Preglednica 4).

Preglednica 4: Gompertzove funkcije 6 bukovih dreves s Panške reke v rastni sezoni 2006, kjer je Y širina nastajajoče branike, t pa dan v letu (Prislan, 2007).

Drevesa	Gomperzove funkcije
1	$Y=3515,316 \exp(-\exp(6,089-0,0389t))$
2	$Y=1943,624 \exp(-\exp(4,613-0,0304t))$
3	$Y=3332,996 \exp(-\exp(5,662-0,0383t))$
4	$Y=2193,285 \exp(-\exp(6,651-0,046t))$
5	$Y=2193,285 \exp(-\exp(6,654-0,046t))$
6	$Y=2327,048 \exp(-\exp(7,874-0,0521t))$

Najprej smo s pomočjo Gompertzove funkcije izračunali delež nastale branike za vsak teden tekom rastne sezone, za vsako braniko posebej:

$$y\% = y * 100 / A \quad \dots(1)$$

kjer je y% odstotek nastale branike na določen dan, y širina tekoče branike na določen dan in A maksimalna širina branike.

Za tem smo izračunali delež tedenskih prirastkov r, dinamika priraščanja, ki jo opisuje Gompertzova funkcija pa pri tem ostane enaka:

$$r = y\%_i - y\%_{(i-1)} \quad \dots(2)$$

kjer je y%_i odstotek nastale branike na določen dan in y%_(i-1) odstotek nastale branike iz preteklega tedna.

Širine tedenskih prirastkov B lahko nato izračunamo za braniko poljubne širine X po naslednji formuli:

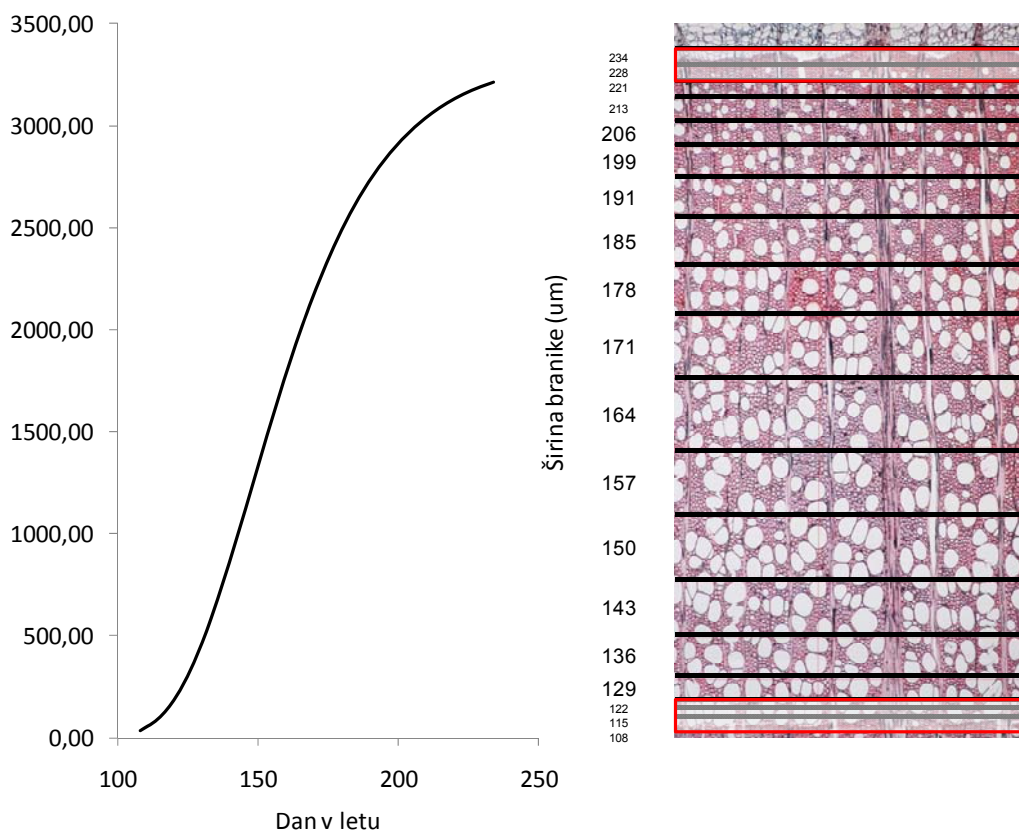
$$B = (X \cdot r) / 100 \quad \dots(3)$$

Preglednica 5. Primer izračuna deleža za branike, nastale v posameznem tednu v letu 2006, pri drevesu 1.

Podatki pridobljeni s pomočjo Gompertzove funkcije:		Delež nastale branike		Delež tedenskih prirastkov		Širina prirastkov za braniko širine 2912,76 µm	
Dan v letu	Drevo 1(Y)	Y%		r		B	
108	4,80	0,1		0,1		4,18	
115	23,16	0,7		0,5		15,97	
122	76,73	2,3		1,6		46,61	
129	191,02	5,7		3,4		99,45	
136	382,60	11,4		5,7		166,69	
143	649,32	19,4		8,0		232,08	
150	971,38	29,0		9,6		280,24	
157	1320,09	39,4		10,4		303,42	
164	1667,42	49,8		10,4		302,23	
171	1992,03	59,5		9,7		282,45	
178	2280,99	68,1		8,6		251,43	
185	2528,84	75,5		7,4		215,66	
191	2708,39	80,9		5,4		156,24	
199	2904,11	86,8		5,8		170,30	
206	3039,46	90,8		4,0		117,77	
213	3146,74	94,0		3,2		93,35	
221	3241,39	96,8		2,8		82,36	
228	3304,71	98,7		1,9		55,10	
234	3347,51	100,0		1,3		37,24	

Ko smo braniko razdelili skladno z Gompertzovo funkcijo na tedenske prirastke, smo uporabili funkcijo »črta (Line)«, s katero smo si označil širino tedenskih prirastkov.

Za tem smo uporabili funkcijo »ROI« za izdelavo okvirja ter nato v vsakem okvirju izmerili delež trahej ter vrednosti (delež trahej, gostoto, premere trahej, povprečni obseg) s pomočjo računalnika vnašali v tabelo. Okvir smo morali prilagajati vsaki črti, kajti prirastki na začetku in na koncu vegetacije so bili zelo majhni (40-60 µm), zato smo širine prirastkov prvih in zadnjih nekaj tednov nastajanja branike sešteli tako, da je bila njihova širina vsaj 100 µm. Namen tega je bil, da smo skozi celotno leto dobili enakomerno rast in padanje premera trahej v braniki, kot je razvidno iz slike (Slika 3: Gompertzova funkcija in širine tedenskih prirastkov na izoblikovani braniki 2006.).



Slika 3: Gompertzova funkcija in širine tedenskih prirastkov na izoblikovani braniki 2006.

3.4.3 Izdelava trahejograma

Rezultate meritev iz vsakega okna, oziroma okvirja, smo izvozili v preglednico Excel. V Excelu smo nato izračunali povprečne vrednosti in osnovno statistiko za naslednje meritve oziroma parametre:

- prečno površino trahej,
- obseg,
- minimalni premer,
- maksimalni premer,
- število trahej na površinsko enoto (št./ μm^2).

Trahejograme smo nato izdelali tako, da smo na abscisni osi navedli povprečne vrednosti zaporednih meritev, opravljenih s pomočjo okvirja. Na ordinalno osi pa smo dali vrednosti, ki jih iščemo. Nato smo za lažjo predstavo na abscisni osi razdelili braniko na odstotke, da bi zagotovili primerljivost branik.

Postopek izračunov je bil enak,, ne glede na kateri način smo razdelili braniko.

4 REZULTATI

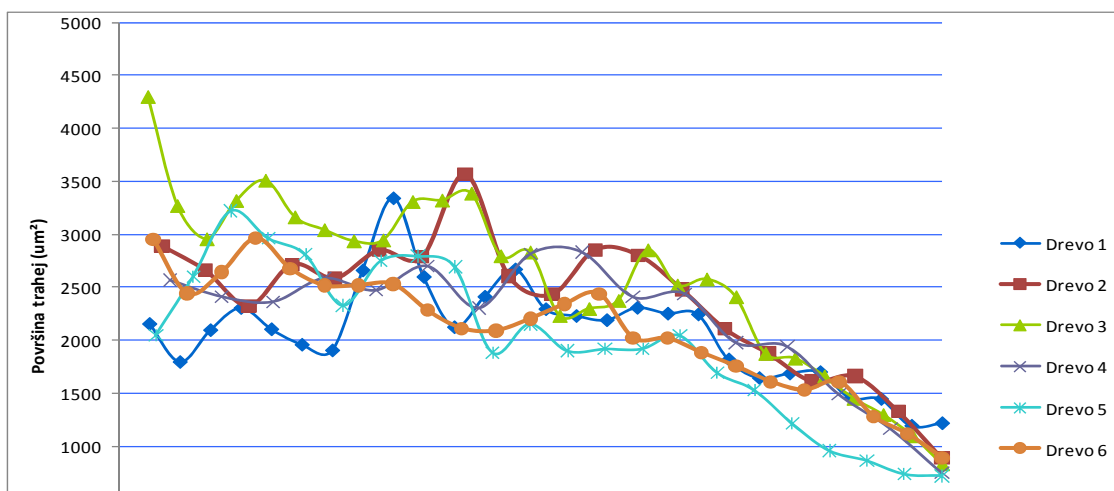
4.1 ANALIZA BRANIK PO METODI PREMIKAJOČIH SE OKEN

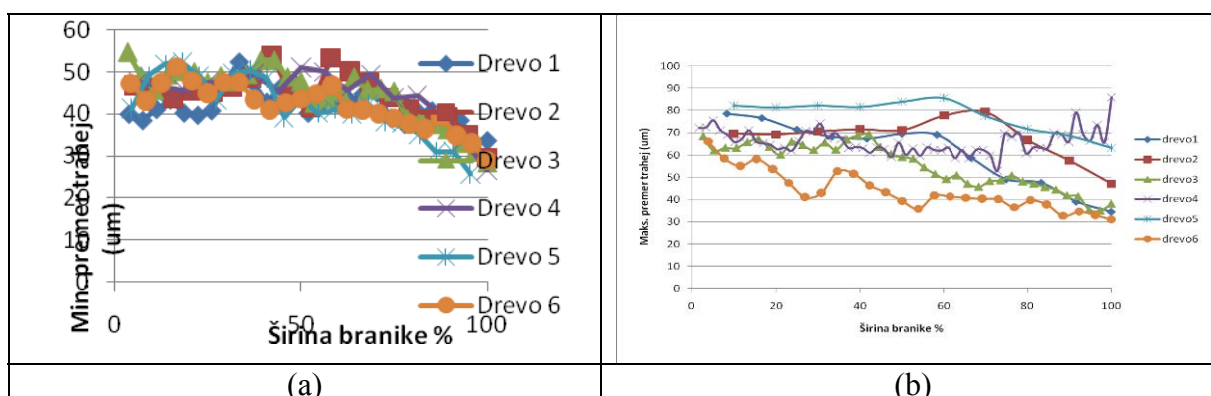
4.1.1 Analiza branike 2006 na rastišču Panška reka

Iz slike (

Slika 4) je razvidno, da je površina trahej večja in razmeroma konstantna od začetka do približno 60 oz. 70% branike pri vseh proučevanih drevesih. V zadnjih 40 do 30% branike se je pri vseh drevesih površina trahej začela zmanjševati. Razvidno je tudi, da je razlika med površinami trahej med posameznimi drevesi največja v začetnem delu branik (prvih 25% branike); npr. pri drevesu 3 je povprečna površina znašala $4250 \mu\text{m}^2$, pri drevesu 5 pa samo $2050 \mu\text{m}^2$. Ta razlika je v osrednjem delu branik (med 25 % in 60 %) manjša. V zaključnem (terminalnem) delu branike so površine trahej med drevesi podobne, odstopa le drevo 5 z nekoliko manjšimi površinami trahej.

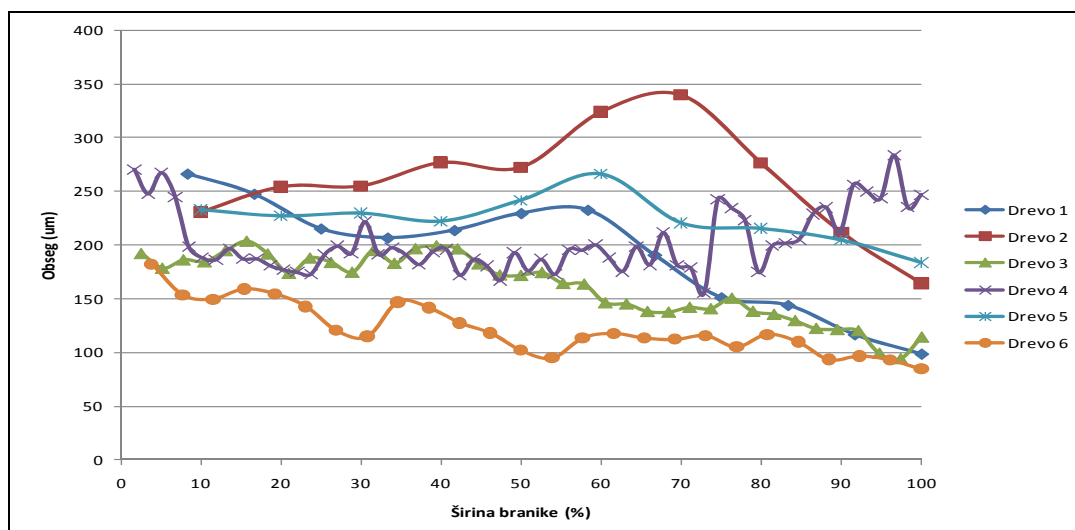
Slike 6, 7, 8 in 9 prikazujejo različne merjene parametre od začetka do zaključka branike 2006 pri šestih drevesih s Panške reke. Braniko 2006 smo pri vseh drevesih razdelili na odstotke zaradi primerljivosti rezultatov.



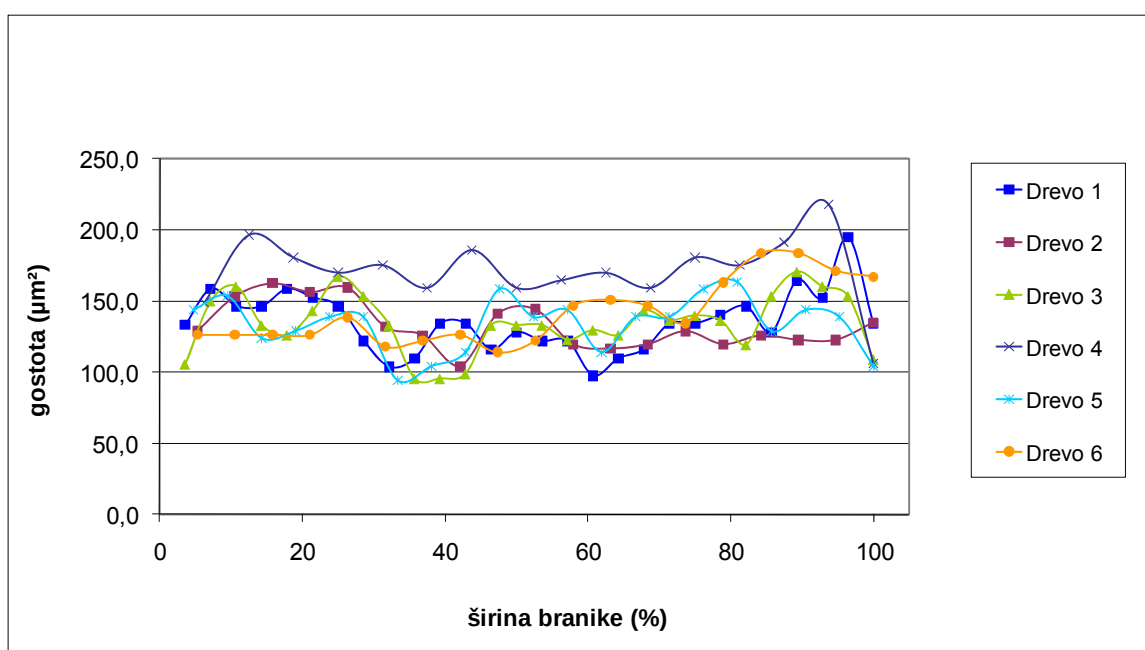


Slika 5: Variiranje (a) minimalnih in (b) maksimalnih premerov trahej od začetka do konca branike 2006 pri šestih drevesih s Panške reke.

Slika 4: Površina trahej od začetka do zaključka branike 2006 pri šestih drevesih s Panške reke



Slika 6: Povprečni obseg trahej po širini branike 2006 pri šestih drevesih s Panške reke



Slika 7: Površinska gostota (število trahej na površino 1000 µm) po braniki 2006 pri šestih drevesih s Panške reke

Slika 4 prikazuje delež trahej pri 6 drevesih bukve v letu 2006. Kot je lepo razvidno iz grafa, se po 60% branike začne upadanje premera trahej pri vseh branikah in drevesih. Med 40 in 60% se delež trahej ustali oz. umiri.

Drevo 3 je imelo enakomerne vrednosti do 50% branike, nato pa so vrednosti začele padati pod $100 \mu\text{m}^2$. Drevo 2 je imelo največjo vrednost na 42% branike. Najnižjo vrednost pa je imelo drevo 5 po 45% branike.

Slika 5a prikazuje minimalen premer trahej in maksimalen premer trahej vzdolž branike 2006. Kot je razvidno iz grafa, se zdi minimalen premer trahej boljši pokazatelj prehoda iz ranega v kasni les. Trend upadanja minimalnega premera je pri vseh drevesih podoben in se začne zmanjševati v zadnjih 40% branike. Med drevesi smo opazili odstopanja. Pri drevesu 3 je bil minimalni premer na začetku branike največji ($55 \mu\text{m}^2$), najmanjše premere pa je imelo drevo 1 ($40 \mu\text{m}^2$). V drugi polovici branike (zadnjih 40%) pa so se minimalni premeri trahej začeli zmanjševati postopoma pri vseh drevesih.

Iz slike (Slika 6b) pa je razvidno, kako so se spreminjali maksimalni premeri trahej od začetka do konca branike v rasni sezoni. Iz grafa je razvidno, da so razlike med drevesi večje, trend upadanja maksimalnega premera pa zabeležimo v zadnjih 50% do 30% branike.

Drevo 5 je imelo največje premere skozi celotno braniko, največji premer pa je bil izmerjen pri 60% širine in je znašal $86 \mu\text{m}^2$. Najmanjše maksimalne premere trahej je imelo drevo 6 z $68 \mu\text{m}^2$ v začetnem delu branike in na $32 \mu\text{m}^2$ na koncu. Pri 60% širine branike se maksimalnimi premeri trahej pri skoraj vseh drevesih pričnejo manjšati. Izjema je drevo 4, kjer maksimalni premeri trahej pričnejo proti koncu branike naraščati.

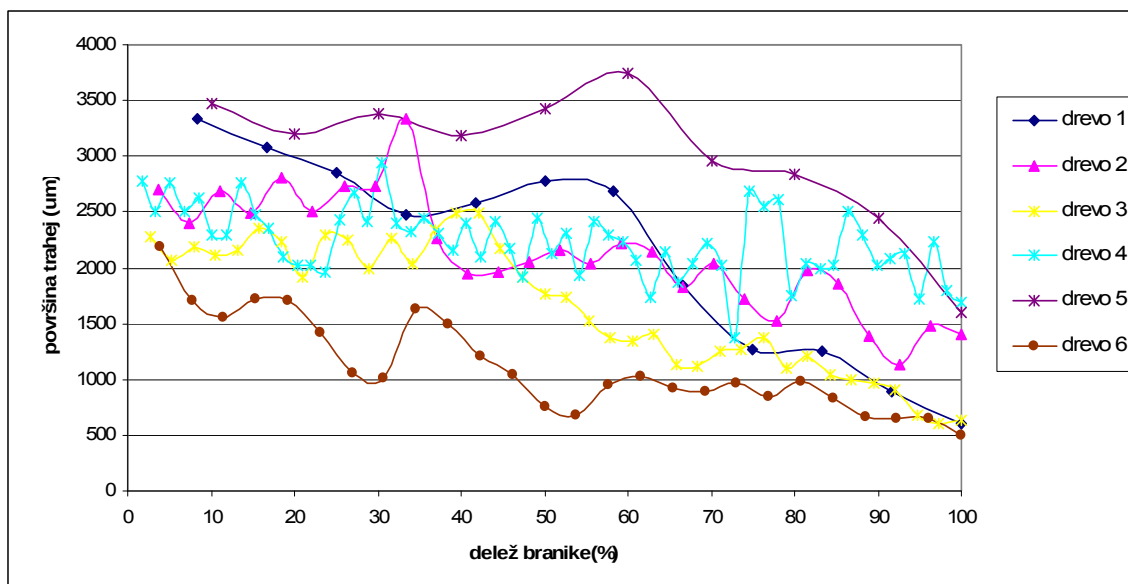
Slika 6 prikazuje variiranje obsega trahej po braniki. Vidimo lahko, da v drugi polovici branike pride do padca obsega trahej pri 4 drevesih (drevesa št. 1, 2, 3 in 5). Drevo 2 je imelo pri 70% širine največji povprečni obseg ($340 \mu\text{m}^2$), medtem ko je bil pri drugih drevesnih vrstah obseg manjši. Najmanjši obsegi trahej so bili izmerjeni pri drevesu 6, za

katerega je bilo značilno, da so obsegi trahej vzdolž branike skoraj premosorazmerno upadali. Pri drevesu 4 je v drugi polovici branike obseg trahej celo naraščal.

Slika 7 prikazuje površinsko gostoto trahej po braniki, ki smo jo izrazili s številom trahej na površini 1000 μm . Zanimivo je, da površinska gostota trahej variira, opazno zmanjšanje površinske gostote pa je vidno šele v zadnjih 10% širine branike.

4.1.2 Traheje v branikah 2008 in 2009 pri drevesih s Panške reke

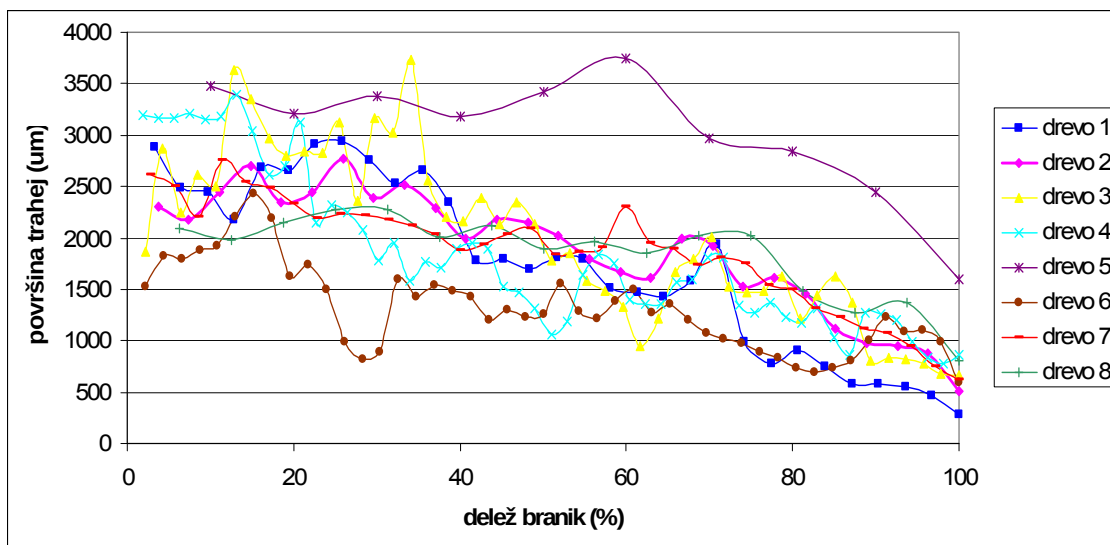
Slika 8 prikazuje površino trahej od začetka do konca branike 2008 pri šestih drevesih z rastišča Panška reka. Potek grafov je precej različen, padec površin pa opazimo pri 40 do 60% širine branike. Najnižje vrednosti je imelo drevo 6 po celotni braniki. Najvišjo površino trahej pa je imelo drevo številka 5. Največji padec površine trahej ima drevo 1 in to od 3400 μm^2 na 600 μm^2 . Drevo 4 pa ima najmanjši padec od 2800 μm^2 na 1600 μm^2 .



Slika 8: Trahejogram, ki prikazuje površino trahej vzdolž branike v letu 2008.

Naslednja slika (

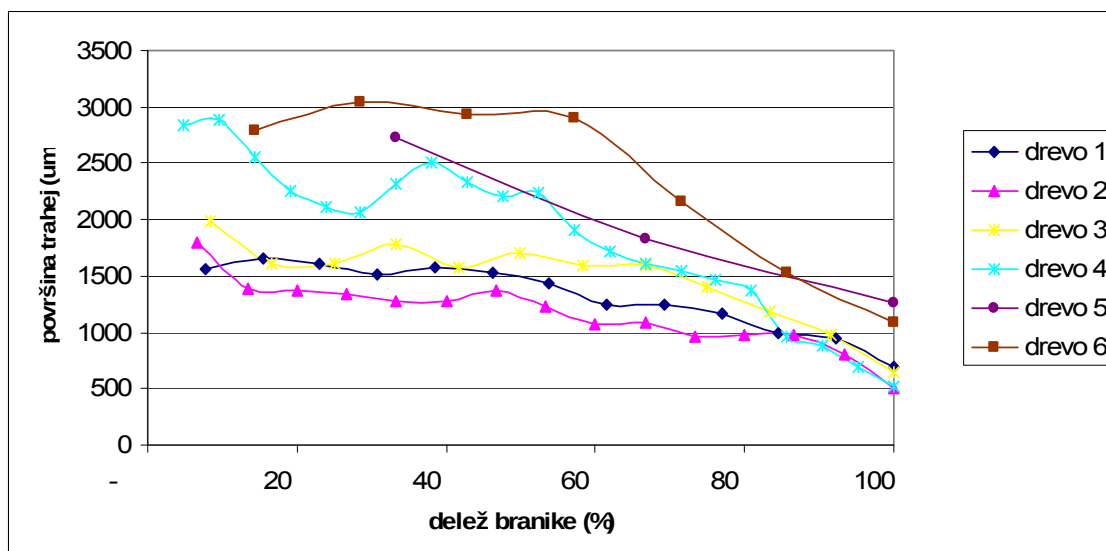
Slika 9) pa prikazuje površine trahej od začetka do konca branike 2009. Med drevesi smo opazili večja odstopanja med drevesi. Največje premere je imelo drevo 5 pri 60% nad 3700 μm^2 . Najnižjo vrednost pa je imelo drevo 6 skozi celotno braniko. Najvišje premere trahej ima drevo 5, najnižje pa spet drevo 6, kjer proti koncu branike pride do povečanja površin trahej, ki pa v povprečju še vedno zaostajajo za ostalimi drevesi. Padec površine trahej pa se začne pri 70% v vseh 8 drevesih.



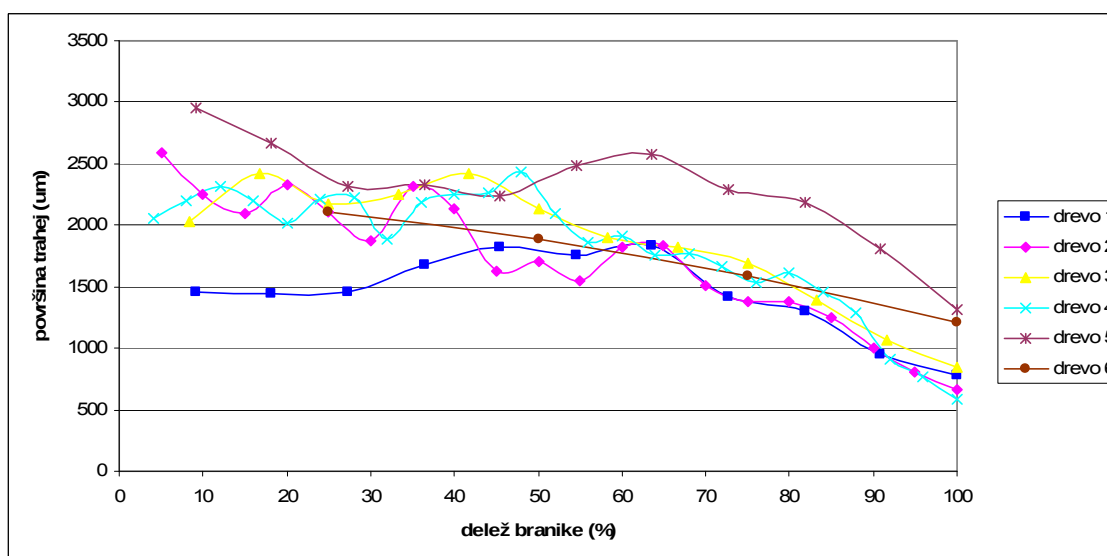
Slika 9: Trahejogram prikazuje spreminjanje površine trahej vzdolž branike v sezoni 2009 na Panški reki pri 8 drevesih.

4.1.3 Traheje v branikah 2008 in 2009 pri drevesih z Menine planine

Iz dimenzij trahej pri drevesih z rastišča Menina planina je viden trend upadanja deleža trahej. Ta je pri drevesih podoben in se začne zmanjševati v zadnjih 40% branike. Med drevesi smo opazili odstopanja. V drugi polovici branike (zadnjih 35%) pa se minimalni premeri trahej začnejo zmanjševati postopoma pri vseh drevesih.



Slika 10: Trahejogram prikazuje delež trahej skozi branike v rastni sezoni 2008 z rastišča Menina planina.



Slika 11: Trahejogram prikazuje delež trahej vzdolž branike v rastni sezoni 2009 z rastišča Menina planina.

Slika 10 prikazuje, da ima drevo 6, ki ima najvišje vrednosti pri 30% branike, kar 3050 μm^2 in drevo 2, ki ima pri enakih odstotkih 1300 μm^2 . Pri drevesu 5 pa imamo zelo majhno vrednost zaradi zelo ozke branike.

Iz slike (

Slika 11) pa je razvidno, kako so se spreminjali deleži trahej skozi celotno braniko. Iz grafa je razvidno, da so razlike med drevesi večje, trend upadanja deleža trahej pa zabeležimo v zadnjih 40% branike.

Drevo 5 je imelo največje premere skozi celotno braniko, največji premer pa je bil izmerjen pri 65% širine in je znašal $2600 \mu\text{m}^2$. Najmanjše maksimalne premere trahej je imelo drevo 1 z $1450 \mu\text{m}^2$ v začetnem delu branike in z $700 \mu\text{m}^2$ na koncu. Pri 60% širine branike se maksimalnimi premeri trahej pri skoraj vseh drevesih pričnejo manjšati.

4.1.4 Odstotek, pri katerem se začne površina trahej zmanjševati

V literaturi ni natančno definiran rani in kasni les pri bukvi, nekateri viri navajajo, da šele v zadnjih 25% pride do zmanjševanja premera trahej (Prislan, osebna komunikacija).

Skozi našo raziskavo smo zbrali podatke po braniki, jih primerjali med seboj, jih združili in dali v tabelo ter izračunali povprečje, pri katerih odstotkih pride do zmanjšanja števila trahej oz. površinske gostote. Raziskava je pokazala, da se na proučenih branikah dimenzije začno zmanjševati premeri že pri 61% vse do 71%. To pomeni, da bi zadnjih 35% v braniki lahko šteli za kasni les.

Preglednica 6: Deli branike (%), pri katerih pride do očitnega zmanjšanja premerov trahej pri branikah, nastalih v različnih letih za vzorčna drevesa z dveh rastišč

	Panška reka		
	2006	2008	2009
Drevo 1	71	58	78

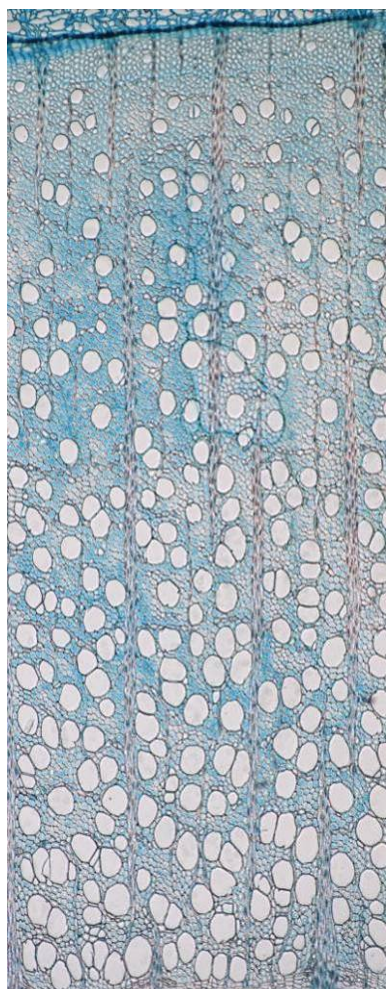
	Menina planina	
	2008	2009
Drevo 1	55	72

Drevo 2	63	68	70
Drevo 3	71	45	80
Drevo 4	69	78	76
Drevo 5	68	62	60
Drevo 6	63	81	63
Drevo 7			62
Drevo 8			75
Povprečje	68	65	71
St. odklon	4	13	7,89

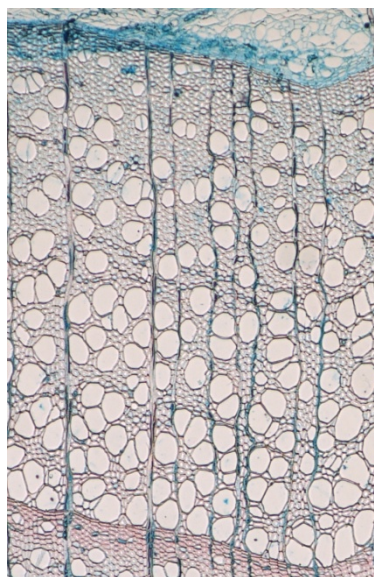
Drevo 2	58	62
Drevo 3	72	55
Drevo 4	57	58
Drevo 5	65	63
Drevo 6	58	75
Povprečje	61	64
St. odklon	6	8

4.1.5 Primerjava branik med rastišči in med leti

Slika 12 prikazuje primerjavo branik med rastiščema Panška reka in Menina planina. Izbrali smo dve tipični braniki, pri katerih se najbolj razlikuje širina. Za raziskane bukve z Menine planine so značilne ozke branike (1850 μ m), na Panški reki (400 m n. m.), pa so branike širše (2900 μ m).



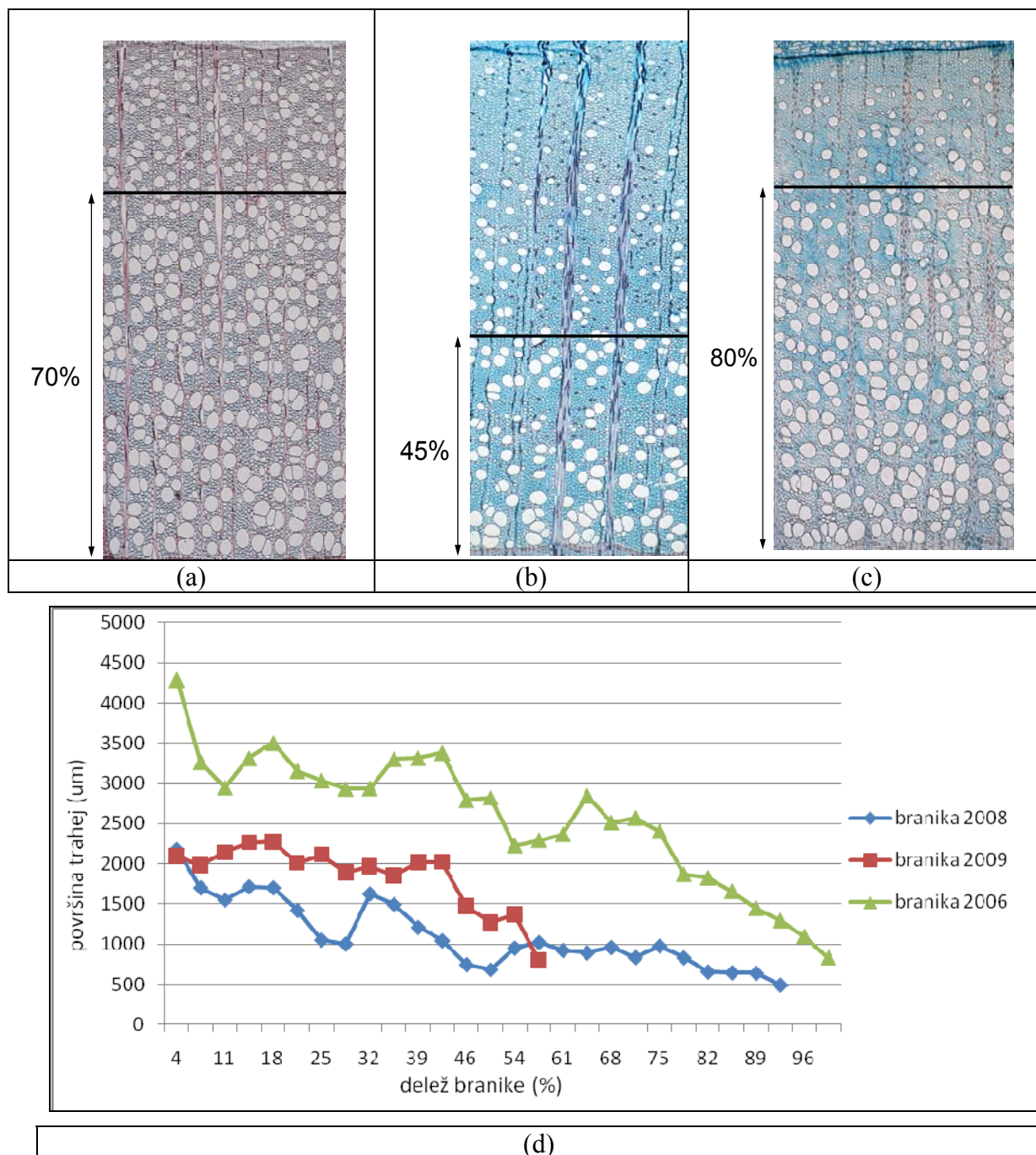
(a)



(b)

Slika 12: Tipična branika 2009 pri drevesu (a) s Panške reke in (b) z Menine planine

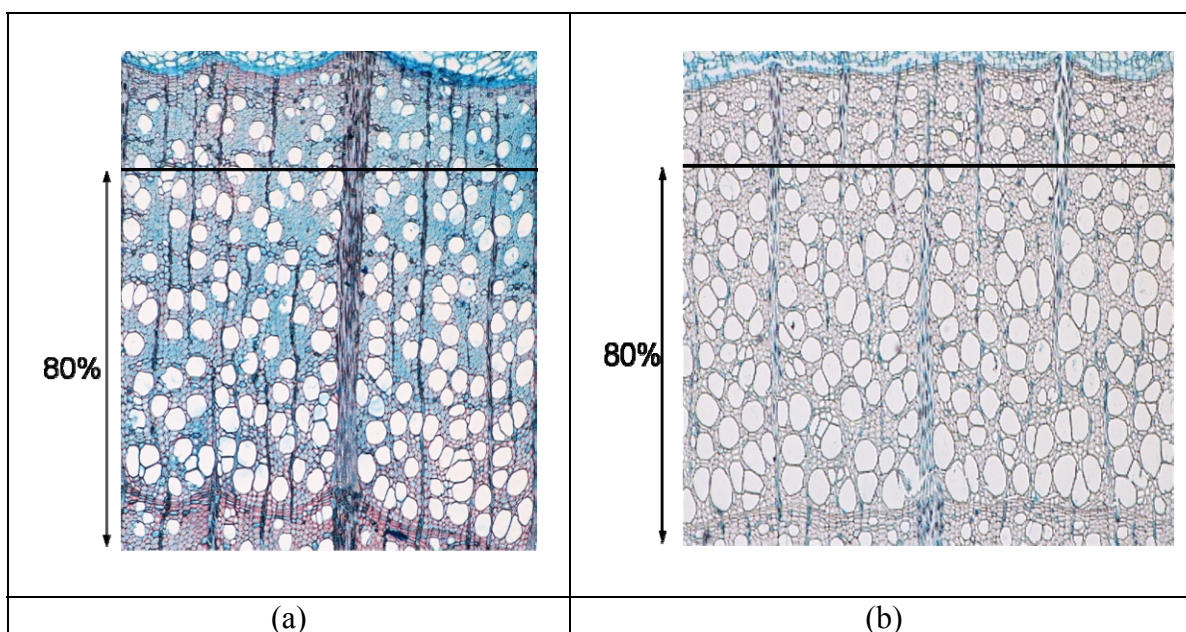
V sliki (Slika 12) je vidna razlika med branikama, ki je med rastišči, zato imamo pri drevesu (a) veliko bolj natančne rezultate zaradi večjega števila informacij. Kot je razvidno iz slike, ima drevo (b) večje premere trahej, zato pa naj bi bil vzrok rastišče, kajti v višjih legah pride do hitrejšega razvijanja zaradi hitrih vremenskih sprememb.

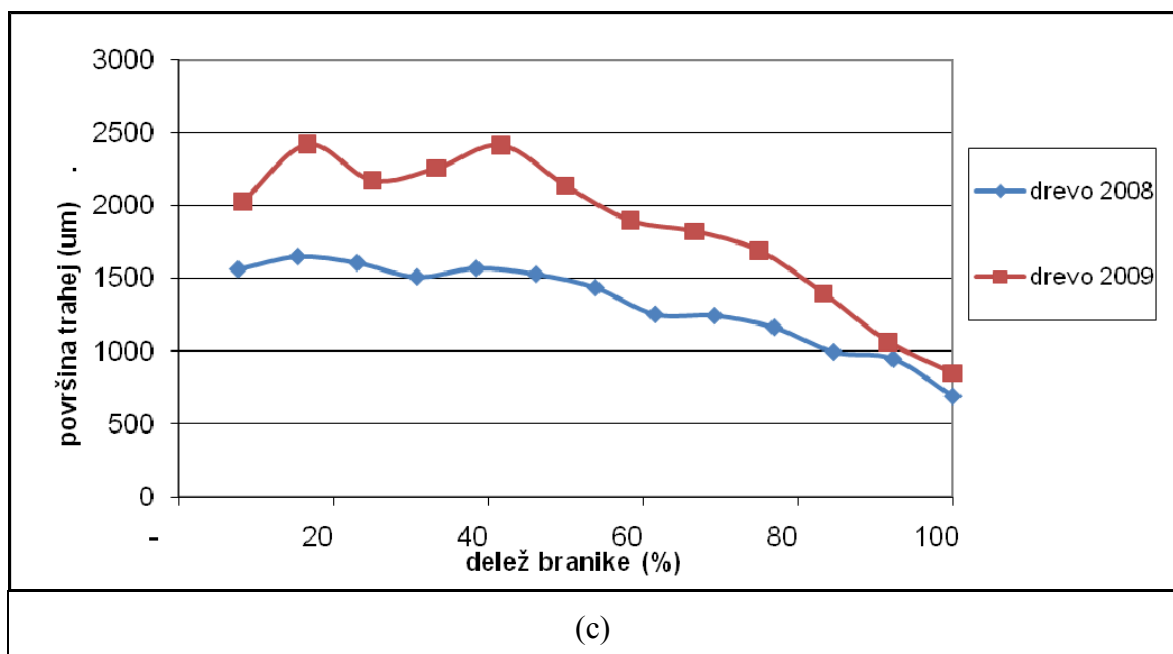


Slika 13: Tri branike tipičnega drevesa s Panške reke. Mikroskopske slike prečnih prereзов branik, nastalih v letih (a) 2006, (b) 2008, (c) 2009 in (d) površine trahej glede na delež branike.

Za primerjavo med leti smo izbrali drevo 3 s Panške reke, pri katerem so bile razlike med branikami, nastalimi v letih 2006, 2008 in 2009, najbolj očitne. Kot je razvidno iz slike (Slika 13), se branike razlikujejo po širini, razporedu trahej in po variabilnosti površine trahej vzdolž branike. V braniki 2006 se pojavijo traheje manjših premerov v zadnjih 30 % branike, v braniki 2008 traheje z manjšo površino zajemajo kar 55% branike, v braniki 2009 pa le 20 %.

Branika 2006 ustreza temu, kar si predstavljamo pod tipično braniko pri bukvi, pri kateri se začne šele pri 70% širine branike zmanjševati premer trahej, kar predstavlja prehod iz ranega v kasni les. Podobno velja za braniko 2009. Pri braniki 2008 je zmanjševanje trahej vidno že na približno polovici branike.





Slika 14: Branika drevesa 4 z rastišča Menina planina, nastala v sezoni (a) 2008 in (b) 2009. (c) Variiranje površine trahej v braniki 2008 in 2009 od začetka do konca branike.

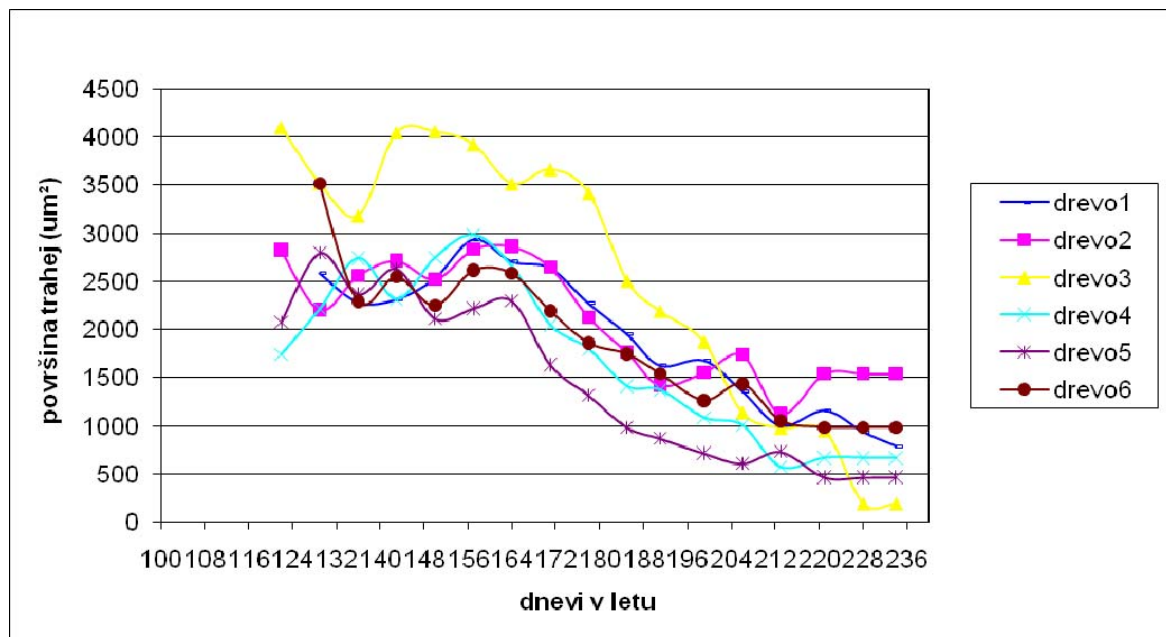
Braniki 2008 in 2009 drevesa 4 z Menine planine imata podobno širino in na prvi pogled primerljivo zgradbo s postopnim zmanjševanjem trahej. Kasni les predstavlja zadnjih 20% branike. Meritve površin trahej pa so pokazale, da so površine trahej v braniki 2009 sistematično večje kot v braniki 2008.

Če primerjamo prikazane branike s Panške reke in Menine planine, opazimo že omenjeno razliko v širini branik, razlikujejo pa se tudi po variiranju velikosti trahej znotraj branike, ta variabilnost pa je velika med različnimi branikami istega drevesa.

Pri meritvah povprečne površine trahej, obsega trahej in premera trahej so imela drevesa z Menine planine višje vrednosti. To verjetno predvsem zaradi hitrega razvoja branik, zaradi rastne sezone, ki je v višjih predelih krajša.

4.2 ANALIZA BRANIKE 2006 Z METODO TEDENSKIH PRIRASTKOV

Slika 15 prikazuje variiranje površin trahej v odvisnosti od časa, to je tedna v letu, ko so nastale. Pasove lesa, ki je nastal v določenem tednu, smo določili po predhodno izračunani Gompertzovi funkciji (Prislan, 2007).

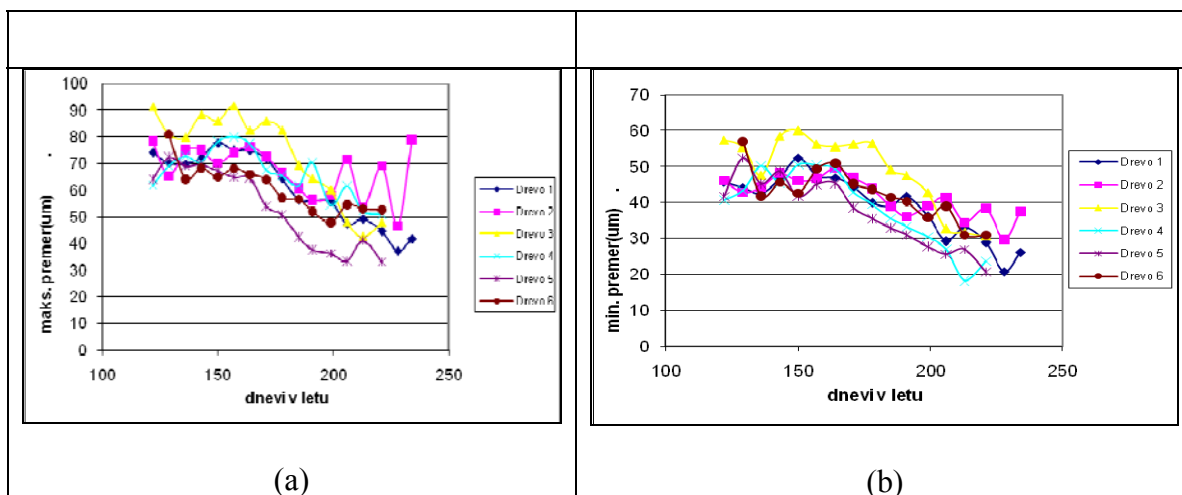


Slika 15: Površine trahej za del branike, nastale v določenem tednu oz. dnevu v letu 2006

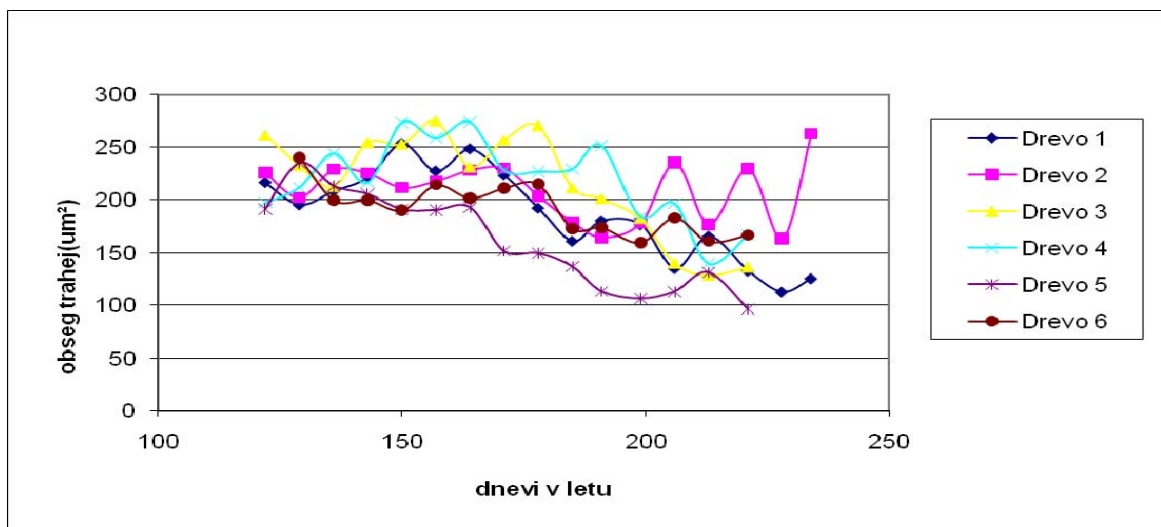
Iz grafa (Slika 15) vidimo, da so traheje imele največjo vrednost okoli dneva 170 v letu, to je 19. junija 2006. Po tem se dimenzije trahej začnejo zmanjševati. Izstopa drevo 3 z največjimi povprečnimi površinami trahej v začetnem delu branike in z najmanjšimi povprečnimi površinami trahej v končnem delu branike (razlike znašajo tudi do 700 μm^2). Drevo 5 je v začetnem delu branike sicer imelo primerljive povprečne površine trahej kot ostala drevesa, vendar so se nato kmalu pričele manjšati. To drevo je imelo v nadaljevanju najmanjše povprečne površine trahej.

Slika 16 predstavlja minimalne in maksimalne premere trahej. Padec minimalnih premerov se začne po 160. dnevu (po 9. juniju). Čas pričetka manjšanja maksimalnih premerov je

manj jasen, saj so razlike med drevesi večje. Na rastišču Panške reke pride povprečno do zmanjševanja trahej pri 70%, medtem ko na rastišču Menina planina pride nekje od 80% naprej kasni les.



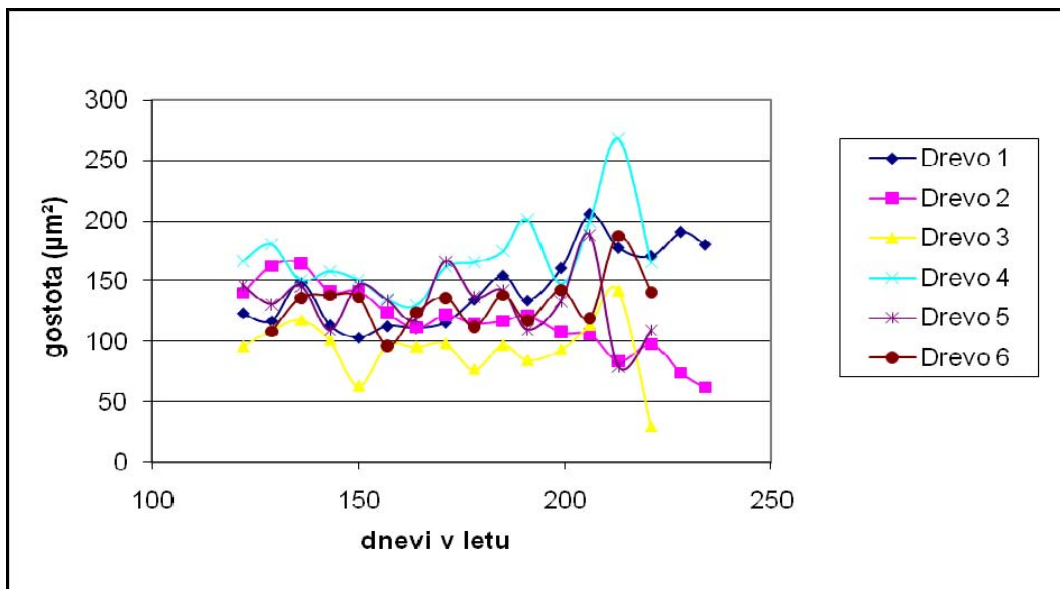
Slika 16: Minimalni (a) in maksimalni (b) premeri trahej v braniki sezone 2006 v odvisnosti od dneva v letu



Slika 17: Variiranje obsega trahej po braniki v odvisnosti od dneva v letu

Slika 17 predstavlja obsege trahej v braniki v odvisnosti od časa njihovega nastanka. Trendi so tudi tukaj manj izraziti. V začetku so obsegi trahej večji, kot je tudi vidno, proti

koncu rastne sezone pa obseg trahej pada. Kot je razvidno iz njega, po 175 dnevu v letu pride do padca obsega trahej povprečno z $225\mu\text{m}^2$ nekje na $140\mu\text{m}^2$. Najnižje vrednosti je imelo drevo 5, najvišje pa drevo 3.



Slika 18: Variiranje površinske gostote trahej po braniki v odvisnosti od dneva v letu

Slika 18 predstavlja površinsko gostoto trahej po braniki, v odvisnosti od časa nastanka. Vidimo tudi, da je površinska gostota trahej relativno konstantna, nato pa v zadnjem delu rastne sezone pri večini dreves naraste, kar je logično, saj so traheje v začetnem delu rastne sezone velike in jih naštejemo manj na površinsko enoto. Pri koncu branike pa so manjše in številčnejše, zato jih je na površinski enoti več.

5 RAZPRAVA

V diplomski nalogi smo opravili histometrične meritve trahej v lesu bukve. Na mikroskopskih slikah prečnih prereзов branik smo s pomočjo sistema za analizo slike izmerili dimenzije (minimalni premer, maksimalni premer, obseg in površino) trahej in njihovo površinsko gostoto (število trahej na enoto površine) ter primerjali njihovo variabilnost vzdolž širine branike (od ranega proti kasnemu lesu), med branikami (različna leta nastanka), med drevesi (drevesa z istega rastišča) in med rastišči (dve rastišči z različnih nadmorskih višin). Ugotovili smo, da so si grafi (trahejogrami), ki prikazujejo spreminjanje površine in minimalnega premera trahej vzdolž širine branike, zelo podobni. Jasne so večje vrednosti v začetnem delu branike ter postopno zmanjševanje vrednosti proti koncu (zaključku) branike. Poleg tega je za ta dva parametra značilna manjša variabilnost med drevesi (slika 4 in 5a).

Drugo skupino trahejogramov predstavljajo grafi, ki prikazujejo spreminjanje obsega trahej in maksimalnega premera trahej vzdolž branike. Najočitnejša pomanjkljivost teh dveh parametrov je precejšnja variabilnost med drevesi.

Variabilnost v površinski gostoti trahej med drevesi je majhna (80 do 180 trahej na $1000 \mu\text{m}^2$). Površinska gostota trahej je razmeroma enakomerna vzdolž širine branike, le v zaključnem delu branike lahko pri večini dreves opazimo rahlo zmanjšanje števila trahej.

Menimo, da je zaradi jasnosti in enostavnejše interpretacije rezultatov površina trahej najbolj primeren parameter, za oceno razlik in meje med ranim in kasnim lesom pri bukvi.

Tudi v drugih histometričnih študijah se je izkazalo, da so površine trahej pokazatelj ekoloških razmer in klime pred in v času nastanka trahej.

Pri meritvah smo uporabili dve metodi za merjenje dimenzij trahej vzdolž širine branike:

- metoda premikajočih se oken,
- metoda tedenskih prirastkov.

Pri metodi premikajočih se oken, smo braniko razdelili na polja enake širine s pomočjo virtualne mreže. Dimenzije trahej smo nato v programu za analizo slike avtomatsko izmerili s pomočjo virtualnega okna konstantne širine, ki smo ga po mreži premikali od začetnega (ranega) do zaključnega (kasnega) dela branike. Pri metodi tedenskih prirastkov pa smo braniko razdelili na neenake dele oz. širine tedenskih prirastkov, ki jih opisuje Gompertzova prirastna krivulja. Na takšen način smo lahko ocenili, v katerem delu rastne sezone so nastale traheje določene velikosti.

Prednost metode premikajočih se oken je enostavnost, saj lahko relativno hitro pridobimo želene histometrične podatke. Rezultat meritev z metodo premikajočih se oken so trahejogrami, ki opisujejo spreminjanje dimenzij trahej vzdolž širine ksilemske branike. S trahejogramov dobimo podatke o dimenzijah trahej v branikah ter o variiranju oz. distribuciji dimenzij prevodnih elementov (trahej) v braniki. Primerjamo lahko trahejograme branik iz istega drevesa, sosednjih dreves ali različnih dreves in so zato primerni za študije vpliva okoljskih dejavnikov na anatomsko zgradbo lesa.

Za izvedbo metode tedenskih prirastkov so potrebne dolgotrajne predhodne študije o nastajanju lesa pri bukvi, ki jih izvajajo na Katedri za tehnologijo lesa že od leta 2006 na drevesih z različnih rastišč (npr. Prislan 2007, Prislan in sod. 2010). Gompertzove prirastne krivulje iz omenjenih raziskav smo uporabil za izračun širin tedenskih prirastkov (slika 3). Rezultat meritev z metodo tedenskih prirastkov so diagrami, ki prikazujejo dimenzije trahej v odvisnosti od časa njihovega nastanka. Za metodo je torej značilna večja časovna ločljivost in je zato primerna za raziskave vpliva klimatskih dejavnikov tekom vegetacijske dobe na anatomsko zgradbo lesa.

Primerjava trahejogramov šestih branik, nastalih v rastni sezoni 2006 na rastišču Panška reka, je pokazala podobno razporeditev dimenzij trahej vzdolž širine branike (slika 4); z manjšim linearnim trendom manjšanja površin trahej v prvem delu (60 do 70 % širine branike) in s strmim linearnim trendom manjšanja površin trahej v zaključnem delu branike (zadnjih 40 do 30% širine branike). V začetnem delu je bila variabilnost povprečnih površin trahej med drevesi največja (med 4250 μm^2 in 2050 μm^2). V zadnjih 40

do 30 % širine branike je bila variabilnost med drevesi precej manjša, med 800 in 1200 μm^2 .

V letu 2008 je bila razlika v dimenzijah trahej med začetkom in koncem rastne sezone manjša. Povprečna površina trahej je v začetnem delu branik variirala med 3500 in 2250 μm^2 , v zaključnem delu branik pa med 1500 in 500 μm^2 . V letu 2008 si trendi manjšanja povprečne površine trahej vzdolž branike niso bili podobni; v drevesu 1 so se površine trahej pričele manjšati v zadnjih 30 % branike, pri drevesu 3 pa že približno na polovici branike. V letu 2009 in 2006 so bili trahejogrami podobni; večja variabilnost površin trahej na začetku branike (med 3250 in 2000 μm^2) in manjša na koncu (med 300 in 800 μm^2). Kljub temu pa je bil trend manjšanja povprečnih površin trahej vzdolž širin branik 2009 bolj ali manj konstanten.

Tudi na višje ležečem rastišču Menina planina (1200 m n.m.v.) smo v letih 2008 in 2009 opazili večjo variabilnost povprečnih površin trahej na začetnem (med 3000 in 1500 μm^2) in manjšo v zaključnem delu branike (med 1200 in 500 μm^2). Podobno kot na nižjem rastišču Panška reka smo pri nekaterih drevesih opazili linearen trend manjšanja povprečne površine trahej vzdolž širine branike, pri drugih pa se je površina pričela manjšati šele v zadnjih 40 do 30% branike.

Razlog za večjo variabilnost na začetku in manjšo na koncu branik 2006 in 2009 s Panške reke in 2008 in 2009 z Menine planine je najverjetneje fiziološki; sklepamo lahko, da je razvoj trahej na začetku rastne sezone precej občutljiv na spremembe v mikro-okolju; razpoložljivost podtalnice itd. Površina trahej v zaključnem delu branike pa je najverjetneje genetsko pogojena saj razpoložljivost vode proti koncu vegetacijske dobe ni primarnega pomena.

S pomočjo metode tedenskih prirastkov smo rekonstruirali datum nastanka trahej določenih velikosti, vzdolž širine branike. Podobno kot pri metodi premikajočih se oken smo opazili, da je bila variabilnost površin trahej med drevesi največja na začetku rastne sezone (med 4000 in 1500 μm^2). Pri večini dreves (razen pri drevesu 3) se je povprečna

površina trahej pričela manjšati po 170. dnevu v letu, to je po 19. juniju, ko je bilo v povprečju izoblikovane okoli 65% branike.

6 SKLEPI

Pri 12 bukvah z dveh rastišč Panška reka pri Ljubljani (400 m nadmorske višine) in Menina planina (1200 m nadmorske višine) smo merili dimenzije trahej v branikah nastalih v letih 2006, 2008 in 2009.

Za meritve smo vse branike od ranega proti kasnem lesu razdelili na enakomerno široke pasove z metodo premikajočih se oken (Moving Windows). V vsakem oknu smo izmerili dimenzije: minimalni premer, maksimalni premer, obseg in površina trahej ter njihova površinska gostota (število trahej na enoto površine).

Površina in minimalni premer trahej sta se pokazala kot najbolj relevantna za ovrednotenje variabilnosti dimenzij trahej po braniki. Zato smo za analizirane branike prikazali trahejograme, ki prikazujejo spreminjanje površin trahej od ranega proti kasnem lesu.

Na Panški reki so v braniki 2006 površine trahej v prvih 70% branike le počasi upadale, nato pa se je trend upadanja naglo povečal. Glede na to bi prvih 70% branike lahko šteli za rani les, naglo spremembo trenda pa za mejo med ranim in kasnim lesom. Podobne zakonitosti smo opazili v braniki 2009. Pri braniki 2008 pa je zmanjševanje trahej vidno že na približno polovici branike.

Na Menini planini smo merili braniki 2008 in 2009. Braniki sta imeli podobno širino in primerljivo zgradbo s postopnim zmanjševanjem površin trahej. Kasni les predstavlja zadnjih 20% branike.

Zanimivo je, da je bilo število trahej na enoto površine razmeroma konstantno po braniki, le v zaključnem delu branike lahko pri večini dreves opazimo rahlo zmanjšanje števila trahej.

Za braniko 2006 pri drevesih s Panške reke smo iz predhodne študije nastajanja lesa dobili izračune Gompertzovih funkcije, ki opisujejo dinamiko nastanka lesa. Zato smo lahko

branike pri vseh drevesih razdelili na pasove, ki so nastali v posameznem tednu vegetacijske dobe (metoda tedenskih prirastkov). Pripravili smo trahejograme, ki so prikazali spreminjanje površin trahej glede na čas (teden) njihovega nastanka. Od 108. dneva v letu (18. aprila), ko so nastale prve traheje do 170. dneva v letu (19. junija) so traheje imele dokaj enakomerne velike površine, od 19. junija pa se je povprečna površina trahej pričela manjšati. 19. junija je bilo pri drevesih v povprečju izoblikovanih okoli 65% branike.

Prednost metode premikajočih se oken je enostavnost, saj lahko relativno hitro pridobimo podatke o dimenzijah trahej in izdelamo trahejograme.

Za izvedbo metode tedenskih prirastkov so potrebne dolgotrajne predhodne študije o nastajanju lesa. Prednost je, da s to metodo lahko ugotovimo, kakšne dimenzije so imele traheje, ki so nastale v določenem času. Ker na velikost trahej vplivajo tudi zunanji dejavniki (klima), bi bila metoda, ki je po nam znanih podatkih tukaj uporabljena prvič, zanimiva za ekološke študije.

7 POVZETEK

Dimenzije trahej se pri difuzno porozni bukvi spreminjajo od ranega proti kasnem lesu, vendar v literaturi rani in kasni les ter meja med njima niso natančno definirani. Dimenzije trahej so odvisne od zunanjih dejavnikov, ki vplivajo na proces nastajanja lesa, vendar še nimamo ustreznih metod, kako jih meriti in ovrednotiti.

V diplomski nalogi smo opravili histometrične meritve trahej v branikah, nastalih v letih 2006, 2008 in 2009 pri 12 bukvah z dveh rastišč Panška reka pri Ljubljani (400 m nadmorske višine) in Menina planina (1200 m nadmorske višine).

Na mikroskopskih slikah prečnih prereзов branik smo s pomočjo sistema za analizo slike izmerili dimenzije (minimalni premer, maksimalni premer, obseg in površino) trahej in njihovo površinsko gostoto (število trahej na enoto površine) ter primerjali njihovo variabilnost vzdolž širine branike (od ranega proti kasnemu lesu), med branikami (različna leta nastanka), med drevesi (drevesa z istega rastišča) in med rastišči (dve rastišči z različnih nadmorskih višin).

Pri meritvah smo uporabili dve metodi za razdelitev branike na več enot od ranega proti kasnem lesu:

- metoda premikajočih se oken,
- metoda tedenskih prirastkov.

Pri metodi premikajočih se oken smo braniko razdelili na polja enake širine s pomočjo virtualne mreže. Dimenzije trahej smo nato v programu za analizo slike avtomatsko izmerili s pomočjo virtualnega okna konstantne širine, ki smo ga po mreži premikali od začetnega (ranega) do zaključnega (kasnega) dela branike. Pri metodi tedenskih prirastkov pa smo braniko razdelili na neenake dele oz. širine tedenskih prirastkov, ki jih opisuje Gompertzova prirastna krivulja. Na takšen način smo lahko ocenili, v katerem delu rastne sezone so nastale traheje določene velikosti.

V vsakem oknu smo izmerili dimenzije: minimalni premer, maksimalni premer, obseg in površina trahej ter njihova površinska gostota (število trahej na enoto površine).

Površina in minimalni premer trahej sta se pokazala kot najbolj relevantna za ovrednotenje variabilnosti dimenzij trahej po braniki. Zato smo za analizirane branike prikazali trahejograme, ki prikazujejo spreminjanje površin trahej od ranega proti kasnem lesu.

Na Panški reki so v braniki 2006 površine trahej v prvih 70% branike le počasi upadale, nato pa so je trend upadanja naglo povečal. Glede na to bi prvih 70% branike lahko šteli za rani les, naglo spremembo trenda pa za mejo med ranim in kasnim lesom. Podobne zakonitosti smo opazili v braniki 2009. Pri braniki 2008 pa je zmanjševanje trahej vidno že na približno polovici branike.

Na Menini planini smo merili braniki 2008 in 2009. Braniki sta imeli podobno širino in primerljivo zgradbo s postopnim zmanjševanjem površin trahej. Kasni les predstavlja zadnjih 20% branike.

Zanimivo je, da je bilo število trahej na enoto površine razmeroma konstantno po braniki, le v zaključnem delu branike lahko pri večini dreves opazimo rahlo zmanjšanje števila trahej.

Za braniko 2006 pri drevesih s Panške reke smo iz predhodne študije nastajanja lesa dobili izračune Gompertzovih funkcije, ki opisujejo dinamiko nastanka lesa. Zato smo lahko branike pri vseh drevesih razdelili na pasove, ki so nastali v posameznem tednu vegetacijske dobe (metoda tedenskih prirastkov). Pripravili smo trahejograme, ki so prikazali spreminjanje površin trahej glede na čas (teden) njihovega nastanka. Od 108. dneva v letu (18. aprila), ko so nastale prve traheje do 170. dneva v letu (19. junija) so traheje imele konstantno velike površine, od 19. junija pa se je povprečna površina trahej pričela manjšati. 19. junija je bilo pri drevesih v povprečju izoblikovanih okoli 65% branike.

Prednost metode premikajočih se oken je enostavnost, saj lahko relativno hitro pridobimo podatke o dimenzijah trahej in izdelamo trahejograme.

Za izvedbo metode tedenskih prirastkov so potrebne dolgotrajne predhodne študije o nastajanju lesa. Prednost je, da s to metodo lahko ugotovimo, kakšne dimenzije so imele traheje, ki so nastale v določenem času. Ker na velikost trahej vplivajo tudi zunanji dejavniki (klima), bi bila metoda, ki je po nam znanih podatkih tukaj uporabljena prvič, zanimiva za ekološke študije.

8 VIRI

Brus R. 2004. Drevesne vrste na Slovenskem. Ljubljana, Mladinska knjiga: 399 str.

Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.

Čufar K., Prislan P., De Luis M., Gričar J. 2008. Tree-ring variation, wood formation and phenology of beech (*Fagus sylvatica*) from a representative site in Slovenia, SE Central Europe. *Trees*, 22, 6: 749-758

Kotar M., Brus R. 1999. Naše drevesne vrste. Ljubljana, Slovenska matica: 319 str.

Levanič T. 1999. Računalniško podprta analiza slike mikro in makroobjektov. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 59: 141- 167

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.

Povše D. 2009. Zaključek kambijeve aktivnosti v rastni sezoni 2008 pri bukvah z dveh rastišč. Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 56 str.

Prislan P., Gričar J., Koch G., Schmitt U., Čufar K. 2008. Mikroskopske tehnike za študij nastanka lesa pri bukvi. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 87: 113-122

Prislan P., Zupančič M., Krže L., Gričar J., Čufar K. 2010. Nastajanje lesa pri bukvah z dveh rastišč na različnih nadmorskih višinah. *Les*, 5: 164-169

Sass U., Eckstein D. 1995. The variability of vessel size in beech (*Fagus sylvatica* L.) and its ecophysiological interpretation. *Trees*, 9: 247-252

Sitar A. 2009. Začetek kambijeve aktivnosti in nastanek ranega lesa pri bukvi (*Fagus sylvatica* L.) iz dveh rastišč v rastni sezoni 2008. Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 64 str.

ZAHVALA

Prav iskreno se zahvaljujem prof. dr. Katarini Čufar za mentorstvo, pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi mlademu raziskovalcu Petru Prislanu, univ. dipl. ing. les., ki mi je priskrbel preparate in mi skozi celotne meritve preparatov bil v veliko pomoč z razlago in napotki.

Hvala tudi prof. dr. Željku Gorišku za recenzijo diplomske naloge ter vsem zaposlenim na Katedri za tehnologijo lesa za vso pomoč in podporo pri delu.

PRILOGE

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej PETRIC

**VARIABILNOST DIMENZIJ IN DELEŽEV TRAHEJ
V DATIRANIH BRANIKAH BUKVE Z DVEH
RASTIŠČ**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2011