

UDK: 630*811:582.476(497.11)
Оригинални научни рад
<https://doi.org/10.2298/GSF1919061J>

АНАТОМСКА СВОЈСТВА ТАКСОДИЈУМА – ЕГЗОТЕ ЗА МЕЛИОРАТИВНА ПОШУМЉАВАЊА

Др Душан Јокановић, доцент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет
Др Весна Николић Јокановић, доцент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет
Дипл. инж. Александар Анђелковић, асистент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет
Маст. инж. Катарина Лазаревић, асистент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет
Маст. инж. шум., Радослав Лозјанин, ЈП „Војводинашуме”, Нови Сад

Извод: У раду је истраживана висина и број трака лигнума по m^2 површине код стабала таксодијума на два алувијална станишта у Србији (Велико ратно острво и Бачка Паланка). Укупно 6 стабала (по 3 на оба локалитета) је оборено, а потом су узети попречни пресеци (котурови), из којих су начињени трајни анатомски препарати. На овим препаратима су обављена сва неопходна мерења. Број трака лигнума по m^2 површине је одређен тако што је у оквиру сваког прстена прираста одабрано по 6 видних поља одређене површине (по 3 у оквиру сваке зоне), а потом је на основу једноставне пропорције израчуната бројност трака лигнума по m^2 . Висина трака дрвета је израчуната бројањем паренхимских ћелија које их сачињавају. Истраживана својства трака лигнума мерена су у зависности од 3 елемента: камбијалне старости, висине дебла и зоне унутар прстена прираста. Што се тиче међусобног односа броја и висине трака дрвета, утврђено је да су у односу инверзије – већа бројност трака дрвета значи њихову мању висину и обратно. Циљ истраживања је да се установи како се висина и број трака лигнума по m^2 мењају у зависности од три посматрана фактора – старости, висине дебла и зоне унутар прстена прираста.

Кључне речи: таксодијум, Велико ратно острво, Бачка Паланка, висина трака лигнума, број трака лигнума

УВОД

Таксодијум је листопадни четинар који припада фамилији *Taxodiaceae* F. W. Neger (Vukićević, 1987). У Европу је интродукован средином 17. века и најпре се користио као орнаментална врста, а доста је коришћен и при оснивању шумских плантажа (Vidaковић, 1982). На подручју средње и западне Европе, таксодијум се није најбоље показао као шумска врста из два разлога – неповољни климатски услови и избор неадекватних станишта за садњу.

У условима Србије, ову интродуковану врсту одликује релативно брз висински и дебљински прираст (Јокановић, 2016). Већа бројност стабала забележена је у популацијама на Великом ратном острву и Бачкој Паланци, где је присутна једина семенска састојина таксодијума у нашој земљи. Појединачна стабла таксодијума налазе се на подручју Новог Сада, Вршца, Краљева, Врњачке бање и парка Топчидер у Београду.

На основу окуларне процене на нивоу 83 стабла таксодијума на подручју Великог ратног острва, у јесен 2010. године, констатован је

урод на само 3 стабла, а просечна старост састојине је између 25 и 35 година (Šijačić-Nikolić *et al.*, 2011).

Једна од специфичности везаних за таксодијум је појава ваздушних коренова (пнеуматофора) које обављају и механичку и физиолошку функцију. Због лепог хабитуса и добрих техничко-технолошких својстава, таксодијум има широку примену у пејзажној архитектури и хортикултури, као и у дрвно-прерађивачкој индустрији. Међутим, не треба потценити његов значај у шумарству, пре свега због брзог висинског и дебљинског раста, могућности гајења у равничарским, приобалним подручјима, отпорности на бројне патогене, као и због способности генеративног и вегетативног размножавања (Dražić, Batos, 2002; Јокановић, 2016). Оптимални станишни услов за његов раст и развој обухватају стагнирање површинске воде у краћем временском периоду, као и капиларно пењање подземне воде, нарочито у јувенилној фази развоја (Јокановић, 2016).

Таксодијум се сматра високо толерантном врстом према плављењу и забаривању земљишта (McKnight *et al.*, 1981; Hook, 1984; Brown, Montz, 1986; Keeland, 1994). Треба ипак нагласити да повећање дубине и трајања плављења којима су мочварни екосистеми често изложени угрожава дугорочно опстанак таксодијума у таквим станишним условима (DeLaune *et al.*, 1987; Conner, Brody, 1989). Један од разлога је да семе таксодијума генерално нема способност клијања под водом (Demaree, 1932) и због тога је природна регенерација врсте скоро немогућа у условима сталног плављења. Такође је утврђено (Conner, Day, 1976) да је раст таксодијума значајно спорији у условима дубљег плављења (преко 1 m дубине) сталног интензитета у поређењу са мочварним екосистемима где је плављење повремено, а вода не стагнира током дужег временског периода.

Треба нагласити да, у одређеним условима средине, приликом интензивних падавина које узрокују драстичан пораст водостаја, може доћи до угрожавања присутне вегетације, међутим, не и код таксодијума услед присуства пнеуматофора (ваздушних коренова), које врше и механичку и спроводну функцију. Ово морфолошко својство истраживане врсте

говори у прилог чињеници да га треба користити у сврху мелиоративних пошумљавања (Јокановић, 2016).

Анатомска својства таксодијума била су предмет различитих истраживања (Јокановић *et al.*, 2017; Јокановић *et al.*, 2018 а; Јокановић, Nikolić, 2017; Јокановић *et al.*, 2018 b). Што се тиче трака лигнума, њихова функција је вишеструка: спроводе воду и минералне материје из ксилема до камбијалних ћелија и секундарног флоема; спроводе хранљиве материје из флоема преко камбијума у живи део ксилема; акумулирају хранљиве материје; врше размену гасова између ксилема и спољашње средине (Vilotić, 2000). Код лишћара и листопадних четинара, током зиме када мирује вегетација, сва количина резервне хране које биљка користи за обављање најосновнијих потреба налази се управо у тракама лигнума (Vilotić, 2000; Vasiljević, 1967).

Циљ овог рада је да се утврди како се својства трака лигнума мењају у зависности од 3 фактора (висина стабла, зона унутар прстена прираста и старост), као и установљавање међусобног односа висине и броја трака дрвета зависно од динамике дебљинског раста.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД ИСТРАЖИВАЊА

Објект истраживања

Материјал за истраживање потиче са два локалитета: Великог ратног острва и Бачке Паланке.

Велико ратно острво је заштићено природно добро смештено између 1169. и 1172. km тока реке Дунав код Београда. Одликује се равничарском орографијом са просечном котом терена око 72 m надморске висине. У оквиру овог локалитета, издвајају се три зоне различитих режима заштите: зона заштите природе, зона рекреације и зона туризма.

Бачка Паланка је локалитет на коме се налази једина семенска састојина у Србији. Припада шумском газдинству Нови Сад, а укупна површина састојине износи 0,22 ha на надморској висини 82 m. Састојина тренутно броји 111 стабала. Са педолошког аспекта, земљиште под културом таксодијума припада забареном

алувијуму нехомогеног механичког састава и налази се дуго под водом, а после тога му влажност обезбеђује висок ниво подземних вода (Tucović, Stilinović, 1970).

Клима

На основу података за период 1949-2011, добијених са метеоролошких станица Београд и Бачки Петровац, анализирана су два климатска параметра – просечна месечна температура ваздуха и месечна сума падавина.

На подручју Бачке Паланке, просечна месечна температура ваздуха током године је 11,2 °C, док средња месечна температура током вегетационог периода износи 18,0 °C. Укупна годишња количина падавина на овом локалитету износи 618 mm, док је током вегетационог периода 350 mm, што значи да 57% од укупне количине атмосферских талога падне током вегетационог периода.

Са друге стране, на подручју Великог ратног острва, поменути климатски параметри имају следеће вредности – просечна месечна температура ваздуха током године је 12,2 °C, а током вегетационог периода 18,9 °C. Укупна количина падавина на овом локалитету на годишњем нивоу је 693 mm, док је током вегетационог периода 395 mm, што значи да 57% од укупне количине падавина доспе на тло у време вегетационог периода. На основу добијених вредности анализираних климатских показатеља за период 1949-2011, може се закључити да су климатске прилике на оба подручја повољне за раст и развој таксодијума.

Земљиште

На основу обављених педолошких анализа (Jokanović, 2016), утврђена су физичка (механичка) и хемијска својства земљишта на истраживаним локалитетима. На подручју Великог ратног острва је утврђено присуство текстурних класа земљишта иловаче до песковите иловаче, за разлику од Бачке Паланке где доминирају песак и иловасти песак. Ivanišević (1993) и Рекећ (2010) закључују да су значајне разлике између појединих текстурних класа земљишта повезане са оптималним хидролошким условима за раст и развој биљака. С обзиром да

иловача и песковита иловача садрже знатно већу количину биљци доступне воде, може се закључити да су повољнији станишни услови за развој таксодијума на Великом ратном острву. Што се тиче хемијског састава земљишта, знатно већа количина хранљивих материја забележена је такође на подручју Великог ратног острва (Jokanović, 2016).

Теренски и лабораторијски део истраживања

Теренска истраживања су обухватила обарање репрезентативних стабала које су морала задовољити неколико критеријума: генеративно порекло, задовољавајуће здравствено и физиолошко стање, изостанак значајнијих техничких деформација. По завршетку ове радне операције, одређена је окуларна старост стабала бројањем година на пању и утврђено да просечна старост стабала на Великом ратном острву износи нешто преко 30, а у Бачкој Паланци око 70 година. Пре обарања стабала, означена је на деблу одговарајућа страна света, а потом су узети попречни пресеци дебла – котурови, како би се обавио увид у макроструктуру дрвета. Котурови, дебљине око 2 cm, узимани су на пању (0,3 m) и на прсној висини (1,3 m), а потом су пресечени по радијусу како би се сва неопходна анатомска мерења обавила на сегменту који обухвата n-прстенова прираста, почев од сржи па све до коре.

Лабораторијски део истраживања обављен је у Лабораторији за Анатомију дрвета Шумарског факултета у Београду, где су спроведене припреме за израду трајних анатомских препарата. У оквиру ових припрема, узимани су сегменти дрвета дужине пречника котура и ширине око 8 mm, при чему је узимање сегмената обављено у правцу север-југ, тј. исток-запад. Препарати су прављени у сва три анатомска правца – попречном, радијалном и тангенцијалном. Имајући у виду да је реч о меканом дрвету, није било потребе за додатним поступцима термичке обраде попут омекшавања. Од поменутих сегмената направљени су тзв. блокови дужине око 2 cm, при чему сваки блок носи ознаку од 1 до n, што значи да су сви прстенови прираста од сржи до коре узети у разматрање.

Слојеви дрвета су резани у сва три анатомска правца (попречном, радијалном и тангенцијалном) помоћу клизећег микротоме марке „Reichert“ и ови слојеви, из којих су направљени трајни анатомски препарати, имају дебљину 15-20 μm . Препарати су бојени комбинацијом сафранина и анилина у трајању од 5 минута, а потом провођени кроз серије алкохола различитих концентрација - 50%, 70%, 96%- и 100%-тни алкохолни раствор (Vilotić, 1992; Јокановић *et al.*, 2015; Јокановић, 2016). Препарати третирани различитим концентрацијама алкохолних серија конзервирани су потом у Канада балсаму. Последњи корак је обухватао сушење узорака на температури од 60 °С.

Број трака лигнума по mm^2 површине је одређен тако што је у оквиру сваког прстена прирасте је одабрано укупно 6 видних поља (по 3 у свакој зони) површине 0.25 mm^2 . Потом је бројањем трака дрвета у оквиру сваког поља утврђена њихова густина, а након тога је једноставном пропорцијом та бројност изражена по 1 mm^2 површине.

Висина трака лигнума одређена је бројањем паренхимских ћелија које учествују у њиховој грађи. Приликом утврђивања висине, узимане су у обзир само траке које су потпуно формиране, а не и оне које још нису достигле пуну зрелост, а чије димензије могу бити веома варијабилне. У оквиру сваког прстена прираста одабрано је укупно 120 трака дрвета (по 60 у свакој зони) чија је висина мерена.

Сва мерења обављена су у програмском језику „Digitizer“, док је идентификовање и фотографисање истраживаних анатомских

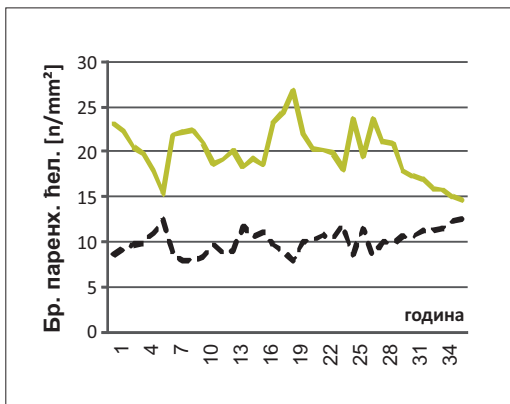
елемената обављено на микроскопу марке „Воесо“ снабденим савременим софтвером.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

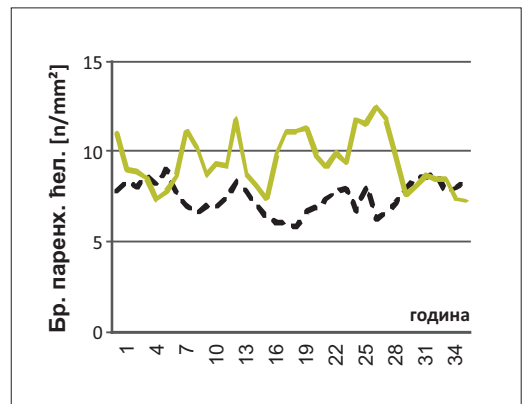
На подручју Великог ратног острва, просечне вредности висине трака лигнума у раној зони крећу се од 10,01 до 15,23 паренхимских ћелија, док су у касној зони екстремне вредности 6,51, односно 9,02 паренхимских ћелија (табела 1). Број трака лигнума по mm^2 у раној зони на истом локалитету варира од 14,32 до 19,90, а у касној од 7,51 до 14,12 (табела 2).

У Бачкој Паланци, у оквиру ране зоне, просечна висина трака дрвета варира од 6,61 до 9,10, а у касној од 4,28 до 6,01 паренхимских ћелија (табела 1). Што се тиче густине трака дрвета на истом локалитету, просечне вредности се крећу од 19,97 до 23,80 у раној, односно од 13,00 до 19,40 трака по mm^2 у касној зони (табела 2).

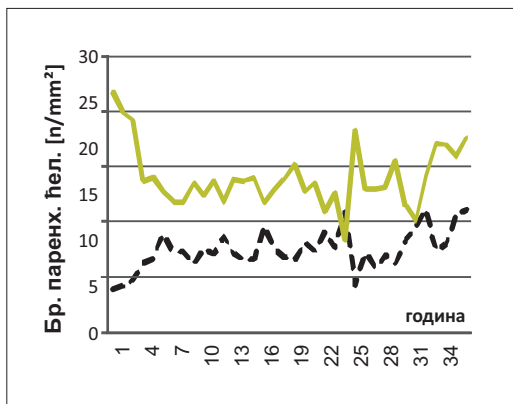
На основу обављених истраживања (табела 1), може се констатовати да, идући од пања ка прсној висини, висина трака постепено расте независно од зоне унутар прстена прираста и истраживаног локалитета. Што се тиче односа броја трака лигнума и висине стабла, у раној зони долази до опадања, а у касној до пораста њихове густине идући од основе ка прсној висини, независно од истраживаног локалитета (табела 2). Из обе табеле се јасно види да су на оба локалитета веће вредности и висина и броја трака лигнума у раној зони независно од висине на којој се обавља узорковање.



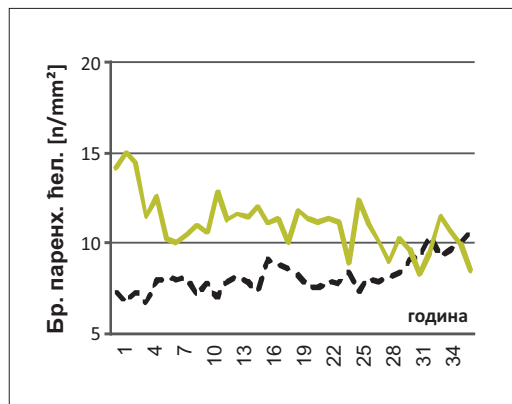
Графикон 1. ВРО, 0.3 м, рана зона



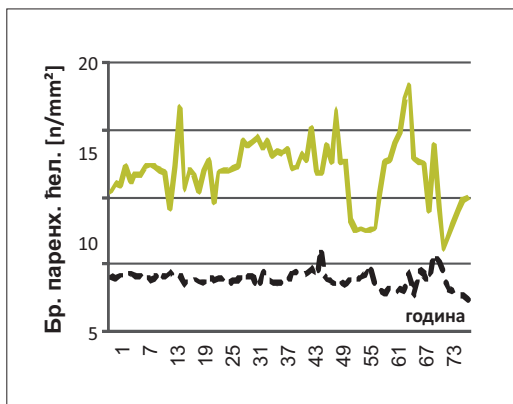
Графикон 2. ВРО, 0.3 м, касна зона



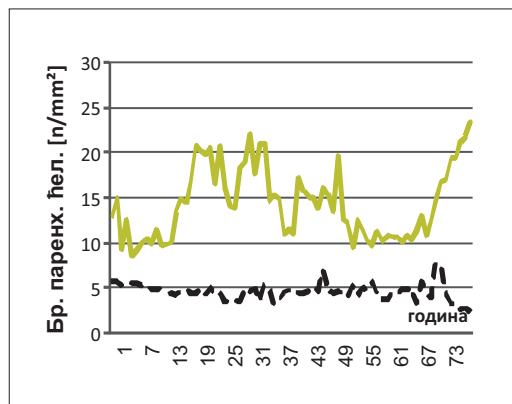
Графикон 3. ВРО, 1.3 м, рана зона



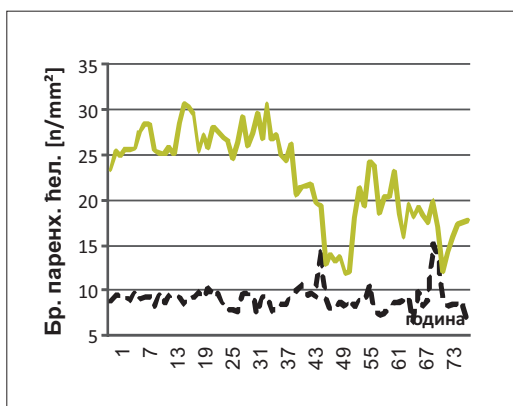
Графикон 4. ВРО, 1.3 м, касна зона



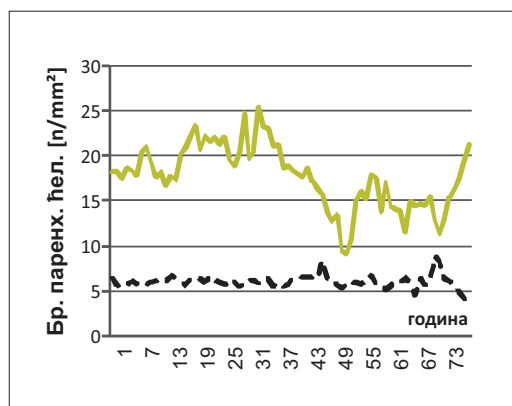
Графикон 5. БП, 0.3 м, рана зона



Графикон 6. БП, 0.3 м, касна зона



Графикон 7. БП, 1.3 м, рана зона



Графикон 8. БП, 1.3 м, касна зона

Висина траке лигнума
 Број трака лигнума

Зависност броја и висине трака лигнума од старости може се сагледати на одговарајућим графиконима (графикони 1-8). На подручју Великог ратног острва, може се констатовати постепен пораст висине и смањење броја трака лигнума по m^2 идући од сржи ка кори (графикони 1-4). Са друге стране, на локалитету Бачка Паланка је утврђена потпуно супротна релација – са старошћу долази до постепеног опадања висине и постепеног пораста броја трака дрвета, при чему висина трака дрвета показује тенденцију одређене равномерности (графикони 5-8).

Поједина истраживања (Јокановић, 2016) утврђују однос директне пропорционалности између висине трака лигнума и ширине прстенова прираста, поготово на подручју Великог ратног острва, што коинцидира са резултатима неких других истраживања (Bannan, 1937, 1954, 1965; Gregory, Romberger, 1975). Са друге стране, поједини радови нису утврдили значајнију везу између динамике дебљинског прираста и висине трака лигнума (Lev-Yadun, 1998), као ни између дебљинског прираста и броја трака лигнума (Bannan, 1965).

Резултати истраживања спроведеног код дуглазије (Gartner *et al.*, 2000) показују да се запремина трака лигнума повећава идући од сржи ка кори због њихове веће процентуалне заступљености. Lev-Yadun (1998) је код две врсте борова (*Pinus pinea* L. и *Pinus halepensis* L.) истраживао однос старости са једне и броја и висине трака лигнума по јединици површине са друге стране. Код обе врсте добијено је да висина трака лигнума расте идући ка кори, за разлику од њихове густине која постепено опада, што потпуно коинцидира са резултатима Јокановића (2016) да се број и висина трака лигнума налазе у односу обрнуте пропорционалности.

Bannan (1937) је истраживао однос динамике дебљинског раста и својстава трака лигнума и закључио да врсте бржег раста, које формирају шире прстенове прираста, имају траке лигнума грађене из знатно већег броја паренхимских ћелија у односу на врсте које имају уже прстенове прираста. Ово потпуно коинцидира

са резултатима добијеним у нашем истраживању, будући да су траке лигнума на Великом ратном острву више у односу на оне са подручја Бачке Паланке. У истом раду (Bannan, 1937) констатована је већа бројност трака лигнума у гранама него у стаблу, јер гране садрже уже прстенове прираста у којима се формирају краће траке дрвета. Исти аутор доводи у везу одређене физиолошке процесе са бројем трака дрвета у појединим регионима и закључује да већи број трака утиче на повећан проток фитохормона (ауксина) у младим гранама у односу на старија стабла.

Поједини аутори (White, 1962; White, Robards, 1966) утврђују однос директне пропорционалности између броја трака дрвета и стопе камбијалног раста код појединих врста, што не коинцидира са резултатима добијеним у нашем истраживању, поготово на станишту бољих производних карактеристика. Међутим, бројни радови (Gregory, Romberger, 1975; Gregory, 1977; Rao, 1988) нису нашли ову врсту зависности између поменутих величина. Радови који су се бавили димензијама трахеја код лишћара (Vilotić *et al.*, 2011; Јокановић *et al.*, 2015) су утврдили да су у касној зони прстена прираста трахеје ситније, али и бројније у односу на рану зону, што потпуно коинцидира са резултатима нашег истраживања.

Carmi *et al.* (1972) су констатовали да шири прстенови прираста не значе безусловно и бржи раст, јер образовање ширих прстенова прираста може бити последица дужег трајања камбијалне активности.

Vilotić (1994) код Панчићеве оморике налази да просечне вредности висина трака лигнума износе 15 паренхимских ћелија, што у потпуности коинцидира са резултатима нашег истраживања, док су код јеле (Vilotić, 1992) траке доста више и крећу се у интервалу 3-51, а просечне вредности су 27-31 паренхимска ћелија. Што се тиче висине трака лигнума код брзорастућих четинара (Vilotić, 2000), њихове просечне вредности су следеће: код ариша 15-20, код дуглазије 10-20, док код вајмутовог бора вишередне траке достижу висину и до 30 паренхимских ћелија.

Табела 1. Висина трака лигнума на локалитетима Бачка Паланка и Велико ратно острво

| Локалитет | | Бачка Паланка | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| број стабла | | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| зона | | рана | касна | рана | касна | рана | касна | рана | касна | рана | касна | рана | касна |
| висина (m) | | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 1,3 | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 1,3 | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 1,3 |
| Ср. Вред. | | 6,61 | 4,28 | 9,01 | 5,72 | 7,87 | 4,57 | 9,10 | 6,01 | 7,13 | 4,60 | 8,74 | 5,33 |
| Мин. | | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| Макс. | | 15 | 9 | 16 | 13 | 16 | 9 | 18 | 12 | 15 | 12 | 18 | 12 |
| Стан. Дев. | | 2,22 | 1,65 | 2,28 | 1,93 | 2,10 | 1,51 | 2,37 | 1,60 | 1,55 | 1,45 | 2,20 | 1,31 |
| Вар. ширина | | 13 | 8 | 14 | 12 | 13 | 8 | 14 | 10 | 12 | 11 | 15 | 10 |
| Локалитет | | Велико ратно острво | | | | | | | | | | | |
| број стабла | | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| зона, | | рана | касна | рана | касна | рана | касна | рана | касна | рана | касна | рана | касна |
| висина (m) | | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 1,3 | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 1,3 | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 1,3 |
| Ср. Вред. | | 10,01 | 7,49 | 12,44 | 8,21 | 10,17 | 6,51 | 15,23 | 8,79 | 10,58 | 6,81 | 13,26 | 9,02 |
| Мин. | | 4 | 4 | 6 | 4 | 4 | 3 | 6 | 4 | 4 | 3 | 6 | 4 |
| Макс. | | 15 | 14 | 19 | 15 | 19 | 13 | 26 | 15 | 16 | 9 | 24 | 14 |
| Стан. Дев. | | 2,29 | 1,95 | 3,04 | 1,91 | 2,70 | 1,84 | 4,06 | 1,91 | 2,75 | 1,59 | 3,78 | 1,77 |
| Вар. ширина | | 11 | 10 | 13 | 11 | 15 | 10 | 20 | 11 | 12 | 6 | 18 | 10 |

Табела 2. Број трака лигнума по mm^2 на локалитетима Бачка Паланка и Велико ратно острво

| Локалитет | | Бачка Паланка | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| број стабла | | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| зона | | рана | касна | рана | касна | рана | касна | рана | касна | рана | касна | рана | касна |
| висина (m) | | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 1,3 | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 1,3 | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 1,3 |
| Ср. Вред. | | 22,90 | 17,44 | 19,97 | 19,40 | 23,80 | 14,40 | 22,53 | 17,69 | 22,07 | 13,00 | 21,62 | 17,75 |
| Мин. | | 10 | 5 | 5 | 3 | 10 | 4 | 4 | 1 | 10 | 2 | 6 | 7 |
| Макс. | | 63 | 32 | 39 | 36 | 44 | 32 | 39 | 33 | 39 | 28 | 39 | 32 |
| Стан. Дев. | | 6,55 | 4,98 | 8,51 | 5,84 | 5,75 | 5,27 | 6,10 | 4,87 | 5,32 | 4,70 | 6,07 | 4,59 |
| Вар. ширина | | 53 | 27 | 34 | 33 | 34 | 28 | 35 | 32 | 29 | 26 | 33 | 25 |
| Локалитет | | Велико ратно острво | | | | | | | | | | | |
| број стабла | | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| зона, | | рана | касна | рана | касна | рана | касна | рана | касна | рана | касна | рана | касна |
| висина (m) | | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 1,3 | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 1,3 | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 1,3 |
| Ср. Вред. | | 19,90 | 9,46 | 19,04 | 11,07 | 16,96 | 7,51 | 14,32 | 10,49 | 18,34 | 9,83 | 15,84 | 14,12 |
| Мин. | | 10 | 4 | 8 | 5 | 7 | 4 | 5 | 5 | 7 | 4 | 6 | 10 |
| Макс. | | 29 | 18 | 32 | 18 | 29 | 15 | 28 | 18 | 34 | 16 | 26 | 19 |
| Стан. Дев. | | 3,90 | 2,78 | 3,67 | 2,96 | 4,71 | 2,20 | 4,39 | 2,46 | 4,87 | 2,67 | 4,28 | 2,27 |
| Вар. ширина | | 19 | 14 | 24 | 13 | 22 | 11 | 23 | 13 | 27 | 12 | 20 | 9 |

ЗАКЉУЧЦИ

На основу добијених резултата, могу се извести следећи закључци:

- независно од узорковане висине стабла и зоне унутар прстена прираста, висина трака дрвета се на Великом ратном острву повећава, а у Бачкој Паланци смањује са старошћу;
- број трака лигнума опада са повећањем њихове висине – поменута корелација је утврђена на оба локалитета;
- висина трака лигнума, независно од зоне и локалитета, постепено се повећава идући од основе ка прсној висини;
- просечна висина трака дрвета већа је у раној него у касној зони на оба локалитета;
- у ширим прстеновима прираста се образују траке дрвета грађене из већег броја паренхимских ћелија и мање бројности (Велико ратно острво) за разлику од ужих прстенова прираста које одликује присуство краћих трака дрвета веће бројности (Бачка Паланка);
- у условима интензивних падавина, може доћи до угрожавања вегетације услед наглог пораста водостаја, што није случај са таксодијумом због присуства ваздушних коренова (пнеуматофора), који врше механичку и физиолошку функцију;
- таксодијум као брзорастућу хигрофилну врсту треба масовније плантажно гајити и употребљавати је за мелиоративна пошумљавања, пре свега у инундационом подручју;
- препорука је да се засади са таксодијумом подижу у приобалним подручјима где су плавлјења повремена, а вода не стагнира током дужег временског периода, што су оптимални станишни услови за раст и развој врсте, нарочито у јувенилном стадијуму развића.

Напомена: Овај рад је реализован у оквиру пројекта "Шумски засади у функцији повећања пошумљености Србије (31041)" и "Одрживо гадовање укупним потенцијалима шума у Републици Србији (377008)" Министарства просвете и науке Републике Србије.

ANATOMICAL FEATURES OF BALD CYPRESS – EXOTIC FOR MELIORATIVE AFFORESTATION

Dušan Jokanović, PhD, Assistant Professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry
Vesna Nikolić Jokanović, PhD, Assistant Professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry
Aleksandar Anđelković, BSc, Assistant, University of Belgrade – Faculty of Forestry
Katarina Lazarević, MSc, Assistant, University of Belgrade – Faculty of Forestry
Radoslav Lozjanin, MSc, FE „Vojvodinašume“, Novi Sad

Abstract: The paper deals with height and density of woody rays per mm² by bald cypress stems at two alluvial sites in Serbia (Veliko ratno ostrvo and Bačka Palanka). Overall 6 stems (3 at one and 3 at another locality) were harvested. After that discs were made and they served for permanent anatomical preparations making. All necessary measurements were performed on these preparations. Inside each growth ring was selected 6 visible fields (3 at early- and 3 at latewood zone) and within all fields density of woody rays per mm² was calculated. According to simple equation number of woody rays per mm² was determined. As for height of woody rays, it was calculated by parenchyma cells counting. Researched bald cypress features were measured depending on 3 factors: cambial age, stem height and zone inside growth ring. As for relation between number and height of woody rays, there is obvious inverse – greater density of woody rays means they are shorter. The scope of the paper was to establish how height and number of woody rays per mm² change depending on 3 observed factors – age, stem height and zone inside growth rings.

Key words: bald cypress, Veliko ratno ostrvo, Bačka Palanka, height of woody rays, number of woody rays

INTRODUCTION

Bald cypress is a deciduous conifer that belongs to *Taxodiaceae* F. W. Neger family (Vukićević, 1987). It was introduced in Europe in the middle of 17th century and was used at first like ornamental species and for forest plantations establishing, as well (Vidaković, 1982). At the area of central and western Europe bald cypress was not desirable forest species for two reasons – unsuitable climate conditions and selection of not good enough sites for planting.

In Serbia, this introduced species is characterized by relatively fast height and radial increment (Jokanović, 2016). A greater number of bald cypress stems was recorded in populations situated on Veliko ratno ostrvo and Bačka Palanka. As for Bačka Palanka, there is the only seed stand of bald cypress in Serbia. Individuals of bald cypress are present in the area of Novi Sad, Vršac, Kraljevo, Vrnjačka banja and Topčider Park in Belgrade.

Based on ocular estimation on 83 stems of bald cypress at the area of Veliko ratno ostrvo, in autumn 2010, crop seeds was recorded just on 3 individuals, while an average age of the stand was between 25 and 35 years (Šijačić-Nikolić *et al.*, 2011).

One of significant features related to bald cypress is air roots occurrence, that both play mechanical and physiological role. According to nice habitus and satisfied technical and technological properties, bald cypress is widely used in landscape architecture and horticulture and in wood processing industry, as well. However, its importance in forestry should not be underestimated, first of all because of its fast height and radial increment, possibility of planting in flat, coastal areas, resistance to numerous pathogens and ability of both generative and vegetative regeneration (Dražić, Batos, 2002; Jokanović, 2016). As for optimal site conditions for its growth and development, they are related to surface water stagnation in a short period of time and to groundwater capillary rising, first of all during juvenile stage of development (Jokanović, 2016).

Bald cypress is considered to be highly tolerant of flooding and soil waterlogging (McKnight *et al.*, 1981; Hook, 1984; Brown, Montz, 1986; Keeland, 1994). Nevertheless, the increasing depth and duration of flooding to which coastal

swamps are being subjected is threatening the long-term existence of bald cypress in some areas (DeLaune *et al.*, 1987; Conner, Brody, 1989). One reason for this is that baldcypress seeds generally do not germinate under water (Demaree, 1932) and therefore, natural regeneration is unlikely or even impossible under conditions of permanent flooding. Also, growth is substantially reduced in deep (> 1 m), permanently flooded swamps compared to swamps with intermittent flooding (Conner, Day, 1976).

It should be emphasized that during intensive rainfalls causing significant increasing of water level, present vegetation can be endangered, but not in case of bald cypress because of air roots presence that both play mechanical and physiological role. This morphological feature of researched species suggests that bald cypress should be used for meliorative afforestation (Jokanović, 2016).

Many different papers examined anatomical features of bald cypress (Jokanović *et al.*, 2017; Jokanović *et al.*, 2018 a; Jokanović, Nikolić, 2017; Jokanović *et al.*, 2018 b). As for woody rays, they have a lot of functions: to conduct water and minerals from xylem to cambial cells and secondary phloem; to conduct nutrients from phloem through the cambium to the living part of xylem; to accumulate nutrients; to exchange gases between xylem and environment (Vilotić, 2000). By hardwoods and deciduous conifers, during the winter when vegetation stops, the whole supply of stored nutrients that serves for basic needs performing is located in woody rays (Vilotić, 2000; Vasiljević, 1967).

The scope of the paper is to find how woody rays properties change depending on 3 factors (stem height, zone inside growth ring and age), and to establish relation between height and number of woody rays per mm² depending on radial increment dynamics.

MATERIAL AND METHOD

Study area

Researched material originates from two localities: Veliko ratno ostrvo and Bačka Palanka.

Veliko ratno ostrvo is a protected natural area situated between 1169 and 1172 km of the Danube river flow near Belgrade. It is characterized by

flat orography with an average height of about 72 m above sea level. There are separated 3 zones related to different protective regimes within this locality: zone of nature conservation, recreational zone and zone of tourisms.

Bačka Palanka is a locality with the only bald cypress seed stand in Serbia. It belongs to Forest Holding Novi Sad and the whole area of the stand is 0.22 ha with an average height of about 82 m above sea level. There are currently 111 individuals. From pedological point of view, soil under bald cypress culture belongs to waterlogged alluvium with heterogenous mechanical texture. The soil is for a long time under water, while its watering is later provided due to high level of groundwater (Tucović, Stilinović, 1970).

Climate

Based on data for period 1949-2011, obtained from meteorological stations Belgrade and Bački Petrovac, two climate parameters were analyzed – medium monthly air temperature and monthly sum of rainfalls.

At the area of Bačka Palanka, an average monthly air temperature during the year was 11.2 °C, while medium monthly air temperature during vegetation season was 18.0 °C. The whole yearly sum of rainfalls at this locality was 618 mm, while during vegetation season it was 350 mm, which means that 57% from the whole quantity of rainfalls occurs during vegetation season.

On the other side, at the area of Veliko ratno ostrvo, mentioned climate factors have following values – an average monthly air temperature during the year was 12.2 °C, and during the vegetation season – 18.9 °C. As for the whole quantity of rainfalls at this locality, it was 693 mm during the year, and 395 mm during the vegetation season, which means that 57% from the whole quantity of rainfalls occurs during vegetation season. Based on obtained results for analyzed climate factors for period 1949-2011, it can be deduced that climate conditions on both locations are suitable for bald cypress growth and development.

Soil

Based on conducted pedological analyzes (Jokanović, 2016), physical and chemical features of

the soil were determined. At the area of Veliko ratno ostrvo, presence of loam and sandy loam was recorded, unlike Bačka Palanka where sand and loamy sand were the most dominant texture classes. Ivanišević (1993) and Pekeč (2010) conducted that significant differences between some texture classes were related to optimal hydrological conditions for plants growth and development. Bearing on mind that loam and sandy loam have much more available water for plants, we can deduce that more suitable conditions for bald cypress development are present at Veliko ratno ostrvo area. As for chemical soil features, much more nutrients were also recorded at the area of Veliko ratno ostrvo (Jokanović, 2016).

Field studies and laboratory work

Field studies included harvesting of representative individuals that had to satisfy a few criteria: generative origin, satisfied health and physiological state, lack of significant technical deformations, etc. After this work operation, the age of the stems was determined by growth rings counting on the base and an average age at Veliko ratno ostrvo area was about 30, unlike Bačka Palanka with about 70 years. Before the stems were harvested, an appropriate world side was marked and after that the discs were taken in order to observe macrostructure of the wood. The discs, about 2 cm thick, were taken on the base (0.3 m) and on the breast height (1.3 m), and then cut in radial direction in order to perform all necessary anatomical measurements on a segment including n growth rings from the pith to the bark.

As for laboratory work, it was performed in the Lab for Wood Anatomy from Faculty of Forestry in Belgrade. The preparations for permanent anatomical samples making were conducted in above mentioned laboratory. Samples of wood parts were prepared with a width of 8 mm and length the same as the length of the disc. These parts were taken in a north-south and east-west direction, respectively. Wood samples were made in all directions – transversal, radial and tangential. Bald cypress has a fairly soft wood, so it was not necessary to apply some additional thermal treatments such as wood softening. From mentioned segments were made so-called blocks long about 2 cm. Each block was numbered from 1 to n, going from pith to bark.

Sections of samples in all directions (transversal, radial and tangential) were made using a Reichert sliding-microtome. Thickness of all sections was about 15-20 μm . Samples were colored with a combination of safranin and aniline for about 5 min, and then transferred through alcohol solutions of different concentrations - 50%-, 70%-, 96%- and 100% (Vilotić, 1992; Jokanović *et al.*, 2015; Jokanović, 2016). The samples treated with different concentrations of alcohol solutions were conserved with Canada balsam. The last step was drying of the samples at a temperature of 60 °C.

As for woody rays number per mm^2 , inside each growth ring was selected overall 6 visible fields (3 in early- and 3 in latewood zone) with an area of 0.25 mm^2 . Counting of woody rays inside each field enabled to determine their density, and according to simple equation the number of woody rays was calculated per 1 mm^2 .

Woody rays height was determined by counting of parenchyma cells that participate in woody rays structure. During their height calculating, only completely formed woody rays were taken into account, while not fully mature rays were eliminated because of their variable dimensions. Inside each growth ring was selected overall 120 woody rays (60 in early- and 60 in latewood zone) whose height was determined.

All measurements were performed in a programme package „Digimizer“, while identification and making photos of examined anatomical elements was conducted on a microscope type „Boeco“ provided with a modern software.

RESULTS AND DISCUSSION

At the area of Veliko ratno ostrvo, an average values of woody rays height in earlywood are between 10.01 and 15.23 parenchyma cells, while in latewood are between 6.51 and 9.02 parenchyma cells (table 1). Number of woody rays per mm^2 in earlywood is between 14.32 and 19.90, unlike in latewood with extreme values 7.51, and 14.12, respectively (table 2).

As for Bačka Palanka, an average woody rays height in earlywood is between 6.61 and 9.10, while in latewood is between 4.28 and 6.01 parenchyma cells (table 1). Number of woody rays per

mm^2 at the same locality was between 19.97 and 23.80 in earlywood, while on the other side it was between 13.00 and 19.40 woody rays per mm^2 in latewood (table 2).

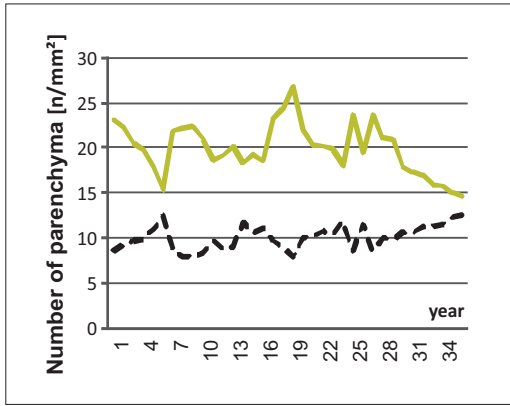
Based on conducted research (table 1), it can be deduced going from the base to the breast height that woody rays height gradually rises independently on zone inside growth rings and locality. As for relation between number of woody rays and stem height, we can observe decreasing tendency in earlywood, unlike in latewood where occurs increasing of woody rays density going from the base to the breast height independently on researched locality (table 2). There are greater values of height and number of woody rays in earlywood independently on sampled stem height.

Relation between number and height of woody rays to age can be observed on the graphs (graphs 1-8). At the area of Veliko ratno ostrvo, there is a gradual increasing of height and decreasing of number of woody rays per mm^2 going from the pith to the bark (graphs 1-4). On the other side, in Bačka Palanka, there is completely reverse relation – with age comes to gradual decreasing of height and increasing of woody rays number, while woody rays height shows tendency of uniformity (graphs 5-8).

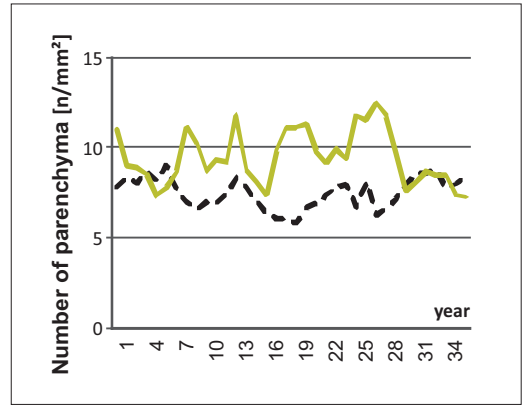
Some papers (Jokanović, 2016) established direct proportionality between woody rays height and growth rings width, particularly at the area of Veliko ratno ostrvo, that coincides with some other results (Bannan, 1937, 1954, 1965; Gregory, Romberger, 1975). On the other side, some papers did not find significant relation between radial increment dynamics and woody rays height (Lev-Yadun, 1998), and between radial increment and number of woody rays (Bannan, 1965).

Results obtained by Douglas-fir (Gartner *et al.*, 2000) show that woody rays volume increases from the pith to the bark because of their big participation. Lev-Yadun (1998) examined relation between age from one and number and height of woody rays from the other side by two species from *Pinus* genus (*Pinus pinea* L. и *Pinus halepensis* L.). Based on obtained results for both species, it was established that woody rays height rises going to the bark, unlike their density that gradually falls. This completely coincides with results of Jokanović (2016) who found inverse relation between number and height of woody rays.

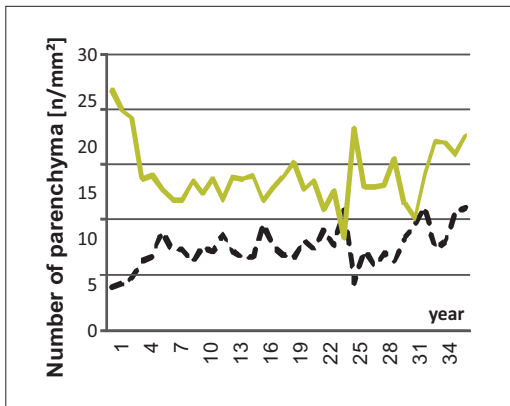
--- Wood rays height
 — Wood rays number



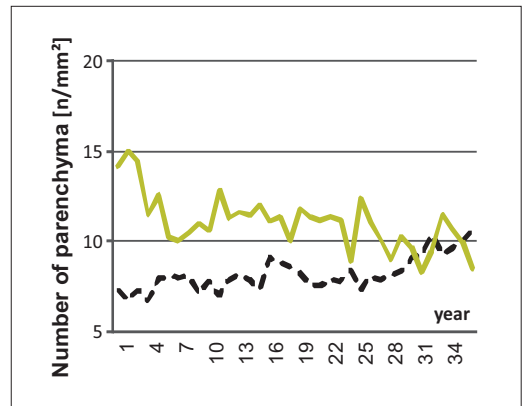
Graph 1. VRO, 0.3 m, earlywood



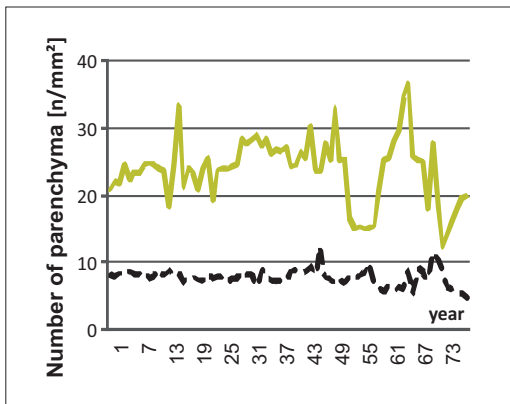
Graph 2. VRO, 0.3 m, latewood



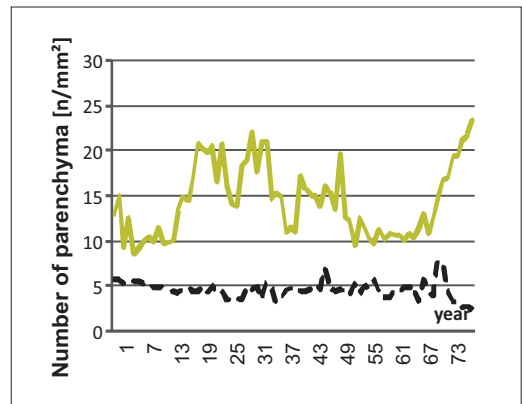
Graph 3. VRO, 1.3 m, earlywood



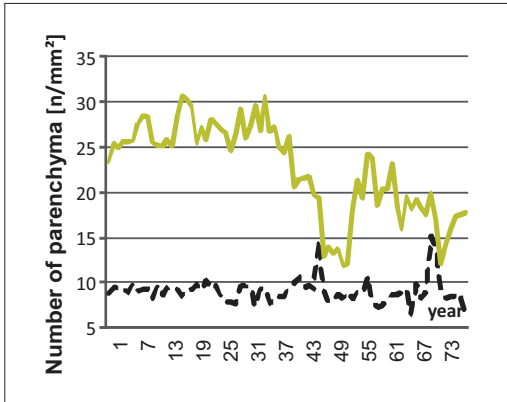
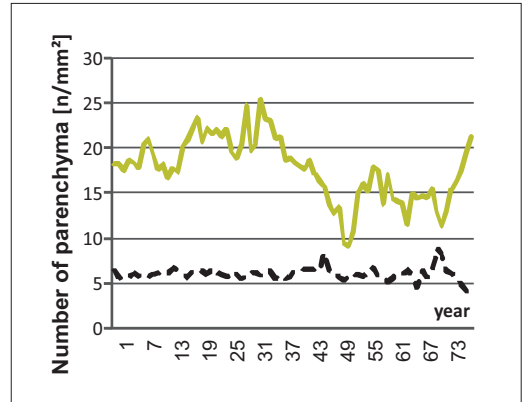
Graph 4. VRO, 1.3 m, latewood



Graph 5. BP, 0.3 m, earlywood



Graph 6. BP, 0.3 m, latewood


Graph 7. BP, 1.3 m, earlywood

Graph 8. BP, 1.3 m, latewood

Bannan (1937) examined relation between radial increment dynamics and woody rays properties and concluded that fast-growing species, that form wider growth rings, have woody rays consisted of much more parenchyma cells than slow-growing species. This completely coincides with our results, because woody rays at Veliko ratno ostrvo are higher than these from Bačka Palanka. In the same paper (Bannan, 1937) was found greater

density of woody rays in branches compared to stem, because branches have narrower growth rings with shorter woody rays. The same author connected some physiological processes with woody rays number in some regions and deduced that greater woody rays density impacts to increased phytohormones transport (auxine) in young branches compared to older stems.

Table 1. Woody rays height at localities Bačka Palanka and Veliko ratno ostrvo

| Locality | Bačka Palanka | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| Stem number | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Zone | early | late | early | late | early | late | early | late | early | late | early | late |
| Height (m) | 0.3 | 0.3 | 1.3 | 1.3 | 0.3 | 0.3 | 1.3 | 1.3 | 0.3 | 0.3 | 1.3 | 1.3 |
| Mean value | 6.61 | 4.28 | 9.01 | 5.72 | 7.87 | 4.57 | 9.10 | 6.01 | 7.13 | 4.60 | 8.74 | 5.33 |
| Minimum | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| Maximum | 15 | 9 | 16 | 13 | 16 | 9 | 18 | 12 | 15 | 12 | 18 | 12 |
| Standard deviation | 2.22 | 1.65 | 2.28 | 1.93 | 2.10 | 1.51 | 2.37 | 1.60 | 1.55 | 1.45 | 2.20 | 1.31 |
| Variation width | 13 | 8 | 14 | 12 | 13 | 8 | 14 | 10 | 12 | 11 | 15 | 10 |
| Locality | Veliko ratno ostrvo | | | | | | | | | | | |
| Stem number | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Zone | early | late | early | late | early | late | early | late | early | late | early | late |
| Height (m) | 0.3 | 0.3 | 1.3 | 1.3 | 0.3 | 0.3 | 1.3 | 1.3 | 0.3 | 0.3 | 1.3 | 1.3 |
| Mean value | 10.01 | 7.49 | 12.44 | 8.21 | 10.17 | 6.51 | 15.23 | 8.79 | 10.58 | 6.81 | 13.26 | 9.02 |
| Minimum | 4 | 4 | 6 | 4 | 4 | 3 | 6 | 4 | 4 | 3 | 6 | 4 |
| Maximum | 15 | 14 | 19 | 15 | 19 | 13 | 26 | 15 | 16 | 9 | 24 | 14 |
| Standard deviation | 2.29 | 1.95 | 3.04 | 1.91 | 2.70 | 1.84 | 4.06 | 1.91 | 2.75 | 1.59 | 3.78 | 1.77 |
| Variation width | 11 | 10 | 13 | 11 | 15 | 10 | 20 | 11 | 12 | 6 | 18 | 10 |

Some authors (White, 1962; White, Roberts, 1966) established direct proportionality between woody rays number and growth rate by some species, that does not coincide with our results, especially at the site with better productive properties. However, another papers (Gregory, Romberger, 1975; Gregory, 1977; Rao, 1988) did not find this kind of dependence between mentioned parameters. The papers dealt with vessels dimensions by hardwoods (Vilotić *et al.*, 2011; Jakanović *et al.*, 2015) established that vessels were smaller, but also more numerous in latewood compared to earlywood, that completely coincides with our results.

Carmi *et al.* (1972) found that wider growth rings do not unconditionally mean faster growth, because wider growth rings forming can be related to longer duration of cambial activity.

Vilotić (1994) examined Serbian spruce and found an average woody rays height of about 15

parenchyma cells, that completely coincides with our results. On the other side, by fir, Vilotić (1992) established much higher woody rays consisted of 3-51 parenchyma cells with an average values of 27-31 parenchyma cells. As for woody rays height, Vilotić (2000) examined some fast-growing conifers and their average values were: 15-20 by larch, 10-20 by Douglas-fir, and up to 30 parenchyma cells by Weymouth pine.

CONCLUSIONS

- Based on obtained results, it can be deduced:
- depending on sampled stem height and zone inside growth rings, woody rays height increases at Veliko ratno ostrvo, but decreases in Bačka Palanka with age;
 - number of woody rays decreases with increasing of their height – this correlation is valid for both localities;

Table 2. Woody rays number per mm² at localities Bačka Palanka and Veliko ratno ostrvo

| Locality | Bačka Palanka | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Stem number | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Zone | early | late | early | late | early | late | early | late | early | late | early | late |
| Height (m) | 0.3 | 0.3 | 1.3 | 1.3 | 0.3 | 0.3 | 1.3 | 1.3 | 0.3 | 0.3 | 1.3 | 1.3 |
| Mean value | 22.90 | 17.44 | 19.97 | 19.40 | 23.80 | 14.40 | 22.53 | 17.69 | 22.07 | 13.00 | 21.62 | 17.75 |
| Minimum | 10 | 5 | 5 | 3 | 10 | 4 | 4 | 1 | 10 | 2 | 6 | 7 |
| Maximum | 63 | 32 | 39 | 36 | 44 | 32 | 39 | 33 | 39 | 28 | 39 | 32 |
| Standard deviation | 6.55 | 4.98 | 8.51 | 5.84 | 5.75 | 5.27 | 6.10 | 4.87 | 5.32 | 4.70 | 6.07 | 4.59 |
| Variation width | 53 | 27 | 34 | 33 | 34 | 28 | 35 | 32 | 29 | 26 | 33 | 25 |
| Locality | Veliko ratno ostrvo | | | | | | | | | | | |
| Stem number | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Zone | early | late | early | late | early | late | early | late | early | late | early | late |
| Height (m) | 0.3 | 0.3 | 1.3 | 1.3 | 0.3 | 0.3 | 1.3 | 1.3 | 0.3 | 0.3 | 1.3 | 1.3 |
| Mean value | 19.90 | 9.46 | 19.04 | 11.07 | 16.96 | 7.51 | 14.32 | 10.49 | 18.34 | 9.83 | 15.84 | 14.12 |
| Minimum | 10 | 4 | 8 | 5 | 7 | 4 | 5 | 5 | 7 | 4 | 6 | 10 |
| Maximum | 29 | 18 | 32 | 18 | 29 | 15 | 28 | 18 | 34 | 16 | 26 | 19 |
| Standard deviation | 3.90 | 2.78 | 3.67 | 2.96 | 4.71 | 2.20 | 4.39 | 2.46 | 4.87 | 2.67 | 4.28 | 2.27 |
| Variation width | 19 | 14 | 24 | 13 | 22 | 11 | 23 | 13 | 27 | 12 | 20 | 9 |

- woody rays height, depending on zone and locality, gradually rises going from the base to the breast height;
- an average woody rays height is greater in early- than in latewood at both localities;
- woody rays with less density consisted of greater number of parenchyma cells (Veliko ratno ostrvo) are present in wider growth rings, unlike in Bačka Palanka, where narrower growth rings are characterized by shorter woody rays with greater density;
- in case of higher intensity rainfalls, vegetation can be endangered due to huge increasing of water level, but it is not valid for bald cypress because of air roots presence that both play mechanical and physiological role;
- bald cypress as fast-growing higrophilous species should be planted in plantations and should be used for meliorative afforestation, first of all in flooding area;
- it is recommended to plant bald cypress in coastal area with occasional flooding where water does not stagnate for a long time – these are optimal site conditions for its growth and development, especially in juvenile stage.

Note: The paper was performed within scientific projects "Forest plantations in function of increased forest cover of Republic of Serbia (31041)" and "Sustainable management of overall forest potentials in Republic of Serbia (37008)", Ministry of Education and Science, Republic of Serbia.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Bannan, M. W. (1937): Observations on the distribution of xylem-ray tissue in conifers, *Annals of Botany*, 1, 717-726
- Bannan, M. W. (1954) Ring width, tracheid size, and ray volume in stem wood of *Thuja occidentalis* L., *Canadian Journal of Botany*, 32, 466-479
- Bannan, M. W. (1965): Ray contacts and rate of anticlinal division in fusiform cambial cells of some Pinaceae. *Canadian Journal of Botany*, 43, 487-507
- Brown, C. L., Montz, G. N. (1986): Baldcypress: the tree unique, the wood eternal, Claitor's Publishing Division, Baton Rouge, LA, 139
- Carmi, A., Sachs, T., Fahn, A. (1972): The relation of ray spacing to cambial growth, *New Phytologist*, 71, 349-353
- Conner, W. H., Brody, M. (1989): Rising water levels and the future of southeastern Louisiana swamp forests, *Estuaries* 12, 318-323
- Conner, W. H., Day, J. W. (1976): Productivity and composition of a baldcypress-water tupelo site and a bottomland hardwood site in a Louisiana swamp, *American Journal of Botany*, 63, 1354-1364
- Dražić, D., Batos, B. (2002): Močvarni čempres *Taxodium distichum* (L.) Rich. u uslovima Beograda, 7th Symposium on Flora of Southeastern Serbia and Neighbouring Regions, 195-200
- DeLaune, R. D., Patrick, W. H., Pezeshki, S. R. (1987): Foreseeable flooding and the death of coastal wetland forests, *Environ. Conserv.* 14, 129-133
- Demarre, D. (1932): Submerging experiments with *Taxodium*, *Ecology* 13, 258-262
- Gartner, B. L., Baker, D. C., Spicer, R. (2000): Distribution and vitality of xylem rays in relation to tree leaf area in Douglas-fir, *IAWA Journal*, 21 (4), 389-401
- Gregory, R. A. (1977): Cambial activity and ray cell abundance in *Acer sacharum*, *Canadian Journal of Botany*, 55, 2559-2564
- Gregory, R. A., Romberger, J. A. (1975): Cambial activity and height of uniseriate vascular rays in conifers, *Botanical Gazette*, 136, 246-253
- Hook, D. D. (1984): Adaptations to flooding with freshwater in Flooding and Plant Growth , Edition T. T. Kozlowski, Academic Press Inc., Orlando, 265-294
- Ivanišević, P. (1993): Uticaj svojstava zemljišta na rast ožiljenica: *Populus euramericana* Guinier (Dode) cl. I-214 i *Populus deltoides* Bartr. cl. I 69/55, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet
- Jokanović, D., Vilotić, D., Mitrović, S., Miljković, D., Rebić, M., Stanković, D., Nikolić, V. (2015): Correlations between the anatomical traits of *Gymnocladus canadensis* Lam. in heartwood and sapwood of early- and latewood zones of growth rings, *Archives of Biological Sciences*, 67 (4), 1399-1404
- Jokanović, D. (2016): Anatomске osobine stabala *Taxodium distichum* (L.) Rich. na aluvijalnim staništima u Srbiji, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet

- Jakanović, D., Nikolić, V. (2017): Širina traheida stabala taksodijuma na aluvijalnim staništima u Srbiji, *Šumarstvo*, 3-4, UDK 630*811.151:582.476, 189-198
- Jakanović, D., Vilotić, D., Nikolić, V., Nonić, M., Devetaković, J., Stanković, D. (2017): Latewood proportion inside growth rings by bald cypress in Serbia, *Fresenius Environmental Bulletin*, 26 (12A), 7925-7930
- Jakanović, D., Vilotić, D., Nikolić, V., Šijačić-Nikolić, M., Lakušić, B., Jović, Đ. (2018 a): Growth rings width of bald cypress stems from two alluvial sites in Serbia, *Fresenius Environmental Bulletin*, 27 (1), 306-312
- Jakanović, D., Nikolić, V., Petrović, J. (2018 b): Gustina traheida kod stabala taksodijuma na aluvijalnim staništima u Srbiji, *Šumarstvo*, 1-2, UDK 630*811.151:582.476 (497.11), 167-179
- Keeland, B. D. (1994): The effects of variation in hydrologic regime on diameter growth in *Nyssa aquatica*, *Nyssa sylvatica* var. *biflora*, and *Taxodium distichum*, PhD thesis, University of Georgia, Athens, 179
- Lev-Yadun, S. (1998): The relationship between growth-ring width and ray density and ray height in cell number in the earlywood of *Pinus halepensis* and *Pinus pinea*, *IAWA Journal*, 19, 131-139
- McKnight, J. S., Hook, D. D., Langdon, O. G., Johnson, R. L. (1981): Flood tolerance and related characteristics of trees of the bottomland forests of the southern United States In *Wetlands of bottomland hardwood forests*, Eds. J. R. Clark and J. Benforado, Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands, 29-69
- Pekeč, S. (2010): Pedološke i hidrografske karakteristike zaštićenog dela aluvijalne ravni aluvijuma u Srednjem Podunavlju, doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet
- Rao, K. S. (1988): Cambial activity and developmental changes in ray initials of some tropical trees, *Flora*, 181, 425-434
- Šijačić-Nikolić, M., Vilotić, D., Veselinović, M., Mitrović, S., Jakanović, D. (2011): Močvarni taksodijum (*Taxodium distichum* (L.) Rich.) na području zaštićenog prirodnog dobra Veliko ratno ostrvo, *Glasnik Šumarskog fakulteta*, 103, 173-184
- Tucović, A., Stilinović, S. (1970): Semenske baze taksodijuma (*Taxodium distichum* (L.) Rich.) u Srbiji, *Topola*, 77-78, Novi Sad, 42-46
- Vasiljević, S. (1967): Anatomija šumskog drveća, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet
- Vidaković, M. (1982): Četinjače, Familija Taxodiaceae, JAZU, Zagreb, 604-608
- Vilotić, D. (1992): Anatomska građa stabla virgiliskog hrasta (*Quercus virgiliana* /Ten/ Ten.) na različitim staništima Deliblatske peščare, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet
- Vilotić, D. (1992): Anatomska građa debla jele (*Abies alba* Mill.) u Monografiji: Flora severnog dela Velikog Jastrepca, Kruševac, 350-351
- Vilotić, D. (1994): Anatomska građa stabla omorike (Pančić) Purkyne sa područja Nacionalnog parka Tara u Monografiji: Omorika – *Picea omorika* (Pančić) Purkyne na području Nacionalnog parka Tara, Bajina Bašta, 33-39
- Vilotić, D. (2000): Upporedna anatomija drveta, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, 176
- Vilotić, D., Šijačić-Nikolić, M., Miljković, D., Ocololjić, M., Rebić, M. (2011): Comparative analysis of the anatomical structure of heartwood and sapwood selected *Gymnocladus canadensis* Lam. trees in Srpska Crnja, *Archives of Biological Sciences*, 63, 831-836
- Vukićević, E. (1987): Dekorativna dendrologija, Naučna knjiga, 580
- White, D. J. B. (1962): Tension wood in a branch of *Sassafras*, *J.Inst.Wood Sci.*, 2, 74-80
- White, D. J. B., Robards, A. W. (1966): Some effects of radial growth rate upon the rays of certain ring-porous hardwoods, *J.Inst.Wood Sci.*, 17, 45-52

