

UDK: 630\*232.11:582.475  
Оригинални научни рад  
<https://doi.org/10.2298/GSF1920079L>

## УТИЦАЈ ЛОКАЛИТЕТА И ПРОВЕНИЈЕНЦИЈЕ НА ДУЖИНУ ТРАНСФУЗИОНОГ ПАРЕНХИМА ЧЕТИНА ДУГЛАЗИЈЕ

Др Вера Лавадиновић, виши научни сарадник, Институт за шумарство Београд (veralava@eunet.rs)  
Др Драгица Обрадов-Петковић, редовни професор, Универзитет у Београду, Шумарски факултет  
Др Љубинко Ракоњац, научни саветник, Институт за шумарство Београд  
Др Зоран Милетић, виши научни сарадник, Институт за шумарство Београд  
Др Филип Јовановић, истраживач сарадник, Институт за шумарство Београд  
Маст. инж. Милан Кабиљо, истраживач приправник, Институт за шумарство Београд

**Извод:** Интродукована врста четинара која је најзаступљенија у плантажама Европе још од 1825. године је свакако дуглазија. Процена карактеристика интродукованих врста дрвећа генетским тестом у огледима, може предвидети успех трансфера семена дуглазије различитих провенијенција. Пројекција модела провенијенцијног теста има за циљ да обезбеди информације везане за адаптацију на станишне и климатске услове у нове екосистеме Србије. Оригинално семе дуглазије из Северне Америке је послужило као материјал за постављање огледа различитих провенијенција на два локалитета у Србији. Оглед на подручју Јухора (централна Србија) је на станишту планинске шуме букве (*Fagetum moesiacaе montanum* Jov. 1976) на дистричном камбисолу, а други у Танди код Бора (источна Србија), на станишту шума сладуна и цера (*Quercetum frainetto-cerris* Rud. 1949) на еутричном камбисолу. Циљ рада је да се анализом анатомске структуре четина дуглазије утврди да ли постоје статистички значајне разлике у дужини трансфузионог паренхима провенијенција на различитим стаништима. Значајна функција паренхима у четинама је физиолошки процес протока воде, органских и минералних материја. Статистичким анализама дужине трансфузионог паренхима четина утврђени су ефекти интеракције локалитета на постављеним огледима.

**Кључне речи:** *Pseudotsuga menziesii*, провенијенције, анатомске карактеристике, трансфузиони паренхим, станиште

## УВОД

Род *Pseudotsuga* Carrière (Pinaceae Lindley) обухвата осам до 12 врста, распрострањених у западном делу Северне Америке, Мексику и источној Азији (Lavender, Hermann, 2014). Врста *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (дуглазија) је једнодомо четинарско дрво висине 60–80 m и пречника стабла до 2 m. На свом

природном станишту и у оптималним условима, може достићи висину и до 100 m, пречник стабла до 4 m и старост до 1300 година. Јавља се на широком распону надморских висина (од 0 до 3200 m), у различитим климатским условима и на различитим геолошким подлогама и земљиштима (Da Ronch et al., 2016). Од природе

је заступљена само у Северној Америци, али је то једна од три дрвенасте врсте са најширим распрострањењем ван свог природног ареала. Као егзота се гаји у Европи, Новом Зеланду, Јужној Америци и присутна је на другим местима широм света (Lavender, Hermann, 2014). У Европу је унета у XIX веку, најпре као декоративна врста, а касније као економски значајна врста у шумарству. Одликује се брзим растом и повољним особинама дрвета, те је данас најчешће гајена алохтона врста у шумама централне Европе. Брзина раста, висока способност репродукције, адаптивна моћ, отпорност на ветрове, као и мала подложност штеточинама и болестима су својства која су највише допринела успеху и широкој распрострањености култура дуглазије у Европи. Како је мање осетљива на сушу од јеле, у последње време се све више примењује као њена алтернатива у културама на нижим надморским висинама, или као одговор на климатске промене (Da Ronch *et al.*, 2016).

Семе врсте *Pseudotsuga menziesii* оригиналног порекла се користи за подизање шумских култура ван природног распрострањења врсте још од XIX века. Интересовање за ову врсту се од недавно значајно повећало због тога што се њена примена у шумарству сматра потенцијалном адаптивном мером на климатске промене (Hintsteiner *et al.*, 2018). Културе дуглазије основане су у готово свим европским земљама (Bastien *et al.*, 2013).

Због економског значаја и претпоставке да је као врста способна да се одупре климатским променама, у многим земљама се сматра неизоставним делом газдовања шумама (Lavender, Hermann, 2014). Убраја се у економски најзначајније врсте за производњу дрвних шумских производа (Hermann, Lavender, 1990). Дрво дуглазије има одличне механичке особине, што га чини веома погодним за производњу дрвних сортимената (Da Ronch *et al.*, 2016). Због економског и еколошког значаја, дуглазија је током последњих 50 година интензивно проучавана на природном станишту, а била је предмет и многих студија у земљама у којима је интродукована (Howe *et al.*, 2006).

Истраживања о пореклу трансфузионог ткива врше се још од краја XIX и почетка XX века (Worsdell, 1897; Griffin, 1906). Утврђено је

да је универзално присуство трансфузионог паренхима у листовима четинарских врста у вези са нерватуром, која је код четинара редукована или има рудиментални карактер (није мрежаста или дихотома као код већине папрати и скривеносеменица). Сматра се да су спољашњи делови трансфузионог паренхима формиран од модификованих паренхимских ћелија.

Четина је саграђена од заштитног и проводног ткива. Проводно ткиво је окружено ендодермисом, који га одваја од мезофила, паренхимом и ћелијама трансфузионог паренхима. Мембране ћелија трансфузионог паренхима имају веома активну  $H^+ATP$ -азу која има функцију у прикупљању одабраних раствора (поједине аминокиселине) за повратак у флоем и даље провођење (Atwell, 1999).

Четина је стари тип лишћа чија је ксероморфност прилагођена на тешкоће које у снабдевању водом пружа примитивна грађа стабла и грана, споропроходна за узлазни ток воде (Stevanović, Janković, 1998).

У процесу транспорта воде у четини, трансфузионо ткиво има веома важну функцију. Наиме, провођење воде проводним снопићима до мезофила четине одвија се путем трансфузионог паренхима. Крисокенингом електронским микроскопом је утврђено да код врста *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. и *Cryptomeria*



Слика 1. Географско распрострањење дуглазије у Северној Америци (САД и Канада)

*japonica* (L.f.) D.Don трансфузионо ткиво има функцију магационирања и снабдевања водом (Azuma *et al.*, 2016). Према истим ауторима сматра се да се трансфузионо ткиво повећава са висином биљке, а да димензије ксилема остају исте.

Танка мрежа трансфузионог паренхима је једина симплазмичка веза између омотача проводног снопића и флоема за унутрашњи транспорт асимилата. Ђелије трансфузионог паренхима имају велику површину у односу на мртве ћелије трансфузионог трахеида које су испуњене водом и минералним материјама (Canny, 1993).

Димензије трансфузионог ткива су стога важан параметар у процесу провођења.

## МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

За потребе тестирања интродукованих врста дрвећа, као што је дуглазија, у Србији су постављена два огледа (Lavadinović, 1995, 2009; Lavadinović, Koprivica, 1996; Lavadinović *et al.*, 2018, 2018a). Као садни материјал послужило је оригинално семе сакупљено из Северне Америке. Колекција семена покрива део природног ареала дуглазије од Новог Мексика, поред обале Пацифика, Стеновитих планина до Канаде (слика 1). У табели 1 дат је преглед провенијенција које потичу са различитих географских дужина, географских ширина и надморских висина. Надморске висине имају распон од 150 m (уз обалу Пацифика) до 2682 m у Новом Мексику (Lavadinović, 2018). Локалитети огледа се разликују у станишним условима. Оглед на планини Јухор (централна Србија) је постављен на станишту планинске шуме букве (*Fagetum toesiaca montanum* Jov. 1976) на дистричном камбисолу, а други у Танди код Бора (источна Србија), на станишту шума сладуна и цара (*Quercetum frainetto-cerris* Rud. 1949) на еутричном камбисолу.

За потребе анализе анатомије четина, сакупљене су свеже четине дуглазије са оба локалитета где су постављени провенијенцијни огледи. Свеже четине су фиксиране у 50% етил-алкохолу и направљени су стални анатомски пресеци

са по 30 четина, одабраних методом случајног узорка. Стални анатомски препарати дебљине 17  $\mu\text{m}$  направљени су микротомом на средини четине, бојени Шафранин црвеном и Толуидин плавом бојом и испрани водом, после чега је вршена дехидратација етил-алкохолем повећавањем концентрације алкохола од 50% до 96%. Потпуно фиксирање пресека је вршено ксилолом у трајању од неколико часова, после чега су четине лепљене на предметно стакло Канада балсамом, прекривене покровним стаклом и сушене у сушници на температури од 60°C. Након три недеље, мерена су морфометријска својства (Lavadinović *et al.*, 2018).

Лабораторијска испитивања земљишта обухватила су одређивање:

- Садржаја укупне органске супстанце (хумуса) мокрим сагоревањем у смеси калијум-дихромата и сумпорне киселине, према методи Тјуринга – у модификацији Симакова (Džamić *et al.*, 1996);
- Садржаја укупног азота дигестацијом узорка земљишта у концентрованој сумпорној киселини, уз присуство катализатора, као и дестилацијом амонијака, методом према Кјелдаху (Džamić *et al.*, 1996);
- Садржаја адсорбованих базних катјона екстракцијом у хлороводоничној киселини концентрације 0,1 mol/l методом по Капену и титрацијом помоћу раствора натријум-хидроксида концентрације 0,1 mol/l (Živković, 1966);
- Хидролитичке киселости екстракцијом у натријум-ацетату концентрације 1 mol/l и титрацијом раствором натријум-хидроксида концентрације 0,1 mol/l (Živković, 1966a);
- Тоталног капацитета адсорпције и степена zasiћености адсорптивног комплекса рачунским путем из суме адсорбованих базних катјона и хидролитичке киселости;
- Активне и супституционе киселости кондукциометријском методом на рН-метру (Cencelj, 1966);
- Садржаја слободних (земноалкалних карбоната) волуметријском методом, дејством раствора хлороводоничне киселине на земљиште и мерењем запремине ослобођеног угљен-диоксида (Džamić *et al.*, 1996);

- Текстурног састава земљишта, методом седиментације, уз примену натријум-пирофосфата као пептизационог средства (Racz, 1971), као и текстурне класе помоћу Ferre-овог троугла.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У претходним истраживањима (Lavadinović, 2009) на огледном пољу „Танда“ у храстовом појасу на станишту шуме сладуна и цера

**Табела 1.** Географске карактеристике оригиналних провенијенција дуглазије

Шифра	Ознака	Географска ширина (N)	Географска дужина (E)	Надморска висина (m)
Орегон 205–15	1	43,7	123,0	750
Орегон 205–14	2	43,8	122,5	1200
Орегон 202–27	3	45,0	122,4	450
Орегон 205–38	4	45,0	121,0	600
Орегон 204–16	6	45,0	121,0	1050
Орегон 205–16	7	44,0	123,0	150
Вашингтон 205–31	8	48,8	121,5	450
Вашингтон 204–07	9	49,0	119,0	1200
Орегон 205–13	10	43,8	122,5	1050
Орегон 205–18	11	44,2	122,2	600
Орегон 202–22	12	42,5	122,5	1200
Орегон 202–21	14	42,4	123,7	300
Вашингтон 202–17	15	47,6	121,7	600
Орегон 201–10	16	44,5	119,0	1350
Вашингтон 201–06	17	49,0	120,0	750
Орегон 202–19	18	45,3	123,8	300
Вашингтон 204–09	19	49,0	119,3	900
Орегон 205–11	20	45,0	123,0	150
Орегон 205–45	21	44,0	122,0	900
Нови Мексико 202–04	22	32,9	105,7	2682
Нови Мексико 202–10	23	36,0	106,0	2667
Орегон 202–31	24	44,3	118,8	1500
Орегон 205–29	26	42,6	122,8	900
Орегон 205–08	27	42,7	122,5	1050
Орегон 205–22	28	45,0	121,0	750
Орегон 204–18	29	44,5	119,0	1500
Орегон 204–04	30	45,0	121,5	900
Вашингтон 205–17	31	47,7	123,0	300
Орегон 205–17	32	44,0	124,0	450

(Lavadinović, 1995).

Табела 2. Упоредни преглед физичких особина земљишта на локалитетима Танда и Јухор

Локалитет	Број профила	Дубина (cm)	Хигроскопска влага (%)	Гранулометријски састав (%)							Укупан	
				2,0-0,2 (mm)	0,2-0,06 (mm)	0,06-0,02 (mm)	0,02-0,006 (mm)	0,006-0,002 (mm)	<0,002 (mm)	песак	глина + прах	
Танда	1	0-21/25	2,01	34,13	16,27	10,10	16,50	10,80	12,20	60,50	39,50	
		21/25-60	2,03	34,62	14,08	10,20	17,50	7,90	15,70	58,90	41,10	
	2	0-30	1,72	34,28	16,02	11,20	17,30	9,00	12,20	61,50	38,50	
		30-60	1,61	39,65	13,65	11,70	15,30	9,00	10,70	65,00	35,00	
	3	0-18	2,19	36,05	19,25	8,60	14,50	7,70	13,90	63,90	36,10	
		18-60	3,22	32,07	15,33	9,50	13,60	7,50	22,00	56,90	43,10	
Јухор	4	0-24	2,74	18,90	30,10	11,80	19,20	9,50	10,50	60,80	39,20	
		24-70	1,81	23,18	32,02	10,00	13,30	8,30	13,20	65,20	34,80	
	5	0-20	2,75	16,75	14,55	17,30	27,10	12,90	11,40	48,60	51,40	
		20-50	1,66	17,49	17,01	13,90	25,70	12,80	13,10	48,40	51,60	
	5	50-80	1,76	16,85	19,70	11,90	20,90	11,10	19,60	48,40	51,60	

(Lavadinović, 2009)

(*Quercetum frainetto-cerris* Rud. 1949) констатовано је земљиште еутрични камбисол. На површини земљишта образује се органогени хоризонт моћности 2–3 cm, у којем највеће учешће имају неразложене четине дуглазије. Хумусно-акумулативни хоризонт је мрке боје, крупно мрвичасте структуре, растресит, повољних физичких особина. Коренов систем је углавном концентрисан у овом хоризонту. Земљиште по текстурној класи припада песковитим иловачама, у којима у текстурном саставу доминира фракција песка. Добра структурираност земљишта и висок садржај песка обезбеђује добру водопропустљивост и аерисаност целог солума (табела 2).

Земљиште је умерено киселе реакције, високог степена засићености базама. Степен засићености базама је већи од 50% код сва три анализирана профила, што ово земљиште сврстава у еутрична. Обезбеђеност биљкама приступачним фосфором је слаба целом дубином земљишта, док је количина биљкама приступачног калијума средња. Количина укупног азота у земљишту се креће од 0,15% до 0,20%, а однос C/N је узак. Узак C/N однос индицира

брзо разлагање органске материје до крајњих продуката разлагања и појављивање азота у приступачном облику биљкама (табела 3).

Земљиште у провенијеничним огледима дуглазије на Јухору припада киселом смеђем земљишту (дистрични камбисол) на гнајсу. За разлику од еутричног камбисола у Танди, земљиште у провенијеничном огледу на Јухору карактерише доста изражена просторна варијабилност текстурног састава. Текстурна класа земљишта варира од песковите иловаче до иловаче. Земљиште је добро структурирано, што се, без обзира на текстурни састав, одражава на добру водопропустљивост и аерисаност земљишног солума.

Реакција земљишног раствора је, у односу на земљиште у провенијеничном огледу у Танди, знатно киселија, а степен засићености адсорптивног комплекса базним катјонима знатно нижи. Садржај укупног азота у земљишту у провенијеничном огледу на Јухору је већи него у Танди, али је однос угљеника и азота шири. Шири C/N однос у земљишту индицира да су на огледном пољу на Јухору процеси минерализације органске материје успоренији

**Табела 3.** Упоредни преглед хемијских особина земљишта на локалитетима Танда и Јухор

Локалитет	Број профила	Дубина (cm)	pH H <sub>2</sub> O KCl	Y <sub>1</sub> (ccm)	Адсорптивни комплекс				Хумус (%)	C (%)	N (%)	C/N	Лако приступачни		
					(T-S)	S	T	V					P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
					(ekv. cmola/100 g)										(mg/100)
Танда	1	0-21/25	5,60	3,94	15,62	10,15	18,00	28,15	63,94	2,62	1,52	0,20	7,6	1,40	11,00
		21/25-60	5,80	3,63	10,21	6,64	22,00	28,64	76,82	0,72	0,42	–	–	2,00	6,60
	2	0-30	5,73	4,04	13,81	8,98	16,20	24,18	62,86	2,69	1,56	0,18	8,7	1,60	15,40
		30-60	6,06	3,86	10,21	6,64	18,00	24,64	73,05	1,14	0,66	–	–	1,40	5,60
	3	0-18	5,80	3,87	13,21	8,59	24,60	33,19	74,12	2,03	1,18	0,15	7,8	0,90	9,60
		18-60	6,36	3,77	9,61	6,25	30,80	37,05	83,13	0,78	0,45	–	–	3,00	7,90
Јухор	4	0-24	5,18	3,80	25,82	16,79	15,60	32,39	48,16	4,76	2,76	0,28	9,8	1,16	17,70
		24-r0	5,82	3,80	12,01	7,81	10,80	18,61	58,03	0,83	0,46	–	–	0,00	8,50
	5	0-20	5,40	4,06	22,22	14,44	14,20	28,64	49,58	4,82	2,80	0,29	9,6	1,20	23,00
		20-50	5,23	3,54	18,02	11,71	6,20	17,91	34,62	1,21	0,70	–	–	0,30	8,10
	5	50-80	5,35	3,59	14,41	9,37	5,60	14,97	37,41	0,57	0,33	–	–	0,00	8,10

(Lavadinović, 2009)

**Табела 4.** Двофакторијална анализа варијансе (локалитет x провенијенција) за својство дужина трансфузионог паренхима четина

Извор варијације	Сума квадрата	Степен слободе	Варијанса	F-количник	p-вредност
A: Локалитет	6063,91	1	6063,91	25,39	0,000
B: Провенијенција	336185,0	5	67236,9	281,50	0,000
Интеракција AB	142231,0	5	28446,2	119,10	0,000
Погрешке	83120,6	348	238,852		
<b>Укупно</b>	<b>567600,0</b>	<b>359</b>			

у односу на Танду. Садржај биљкама лако приступачних облика фосфора је јако низак. Мале количине фосфора констатоване су само у површинским слојевима земљишта, док је у дубљим слојевима количина овог елемента испод границе детекције.

Резултати двофакторијалне анализе варијансе за својство дужина трансфузионог паренхима четина приказани су у табели 4.

Из резултата анализе варијансе (табела 4), види се да:

- а) постоје статистички значајне разлике у средњим вредностима дужине трансфузионог паренхима на локалитету Танда и Јухор;
- б) постоје статистички значајне разлике у средњим вредностима дужине трансфузионог паренхима код појединих провенијенција;
- в) постоји интеракција између фактора „локалитет“ и „провенијенција“, односно на средњу вредност дужине трансфузионог паренхима код појединих провенијенција утиче промена локалитета, као и обрнуто.

**Табела 5.** Тест НЗР утицаја локалитета на дужину трансфузионог паренхима

Локалитет	Величина узорка	Средња вредност	Грешка разлике средина	Хомогене групе
Јухор	180	257,125	1,15194	X
Танда	180	265,333	1,15194	X
Поређење			Разлике	+/- Границе
Јухор–Танда			*-8,20833	3,2041

\*статистички значајна разлика

### Утицај локалитета на дужину трансфузионог паренхима

Резултати анализе утицаја локалитета на дужину трансфузионог паренхима приказани су у табели 5.

Као што се види из табеле 5, локалитети Јухор и Танда нису хомогени – постоји статистички значајна разлика у средњим вредности-ма дужине трансфузионог паренхима.

### Утицај провенијенције на дужину трансфузионог паренхима

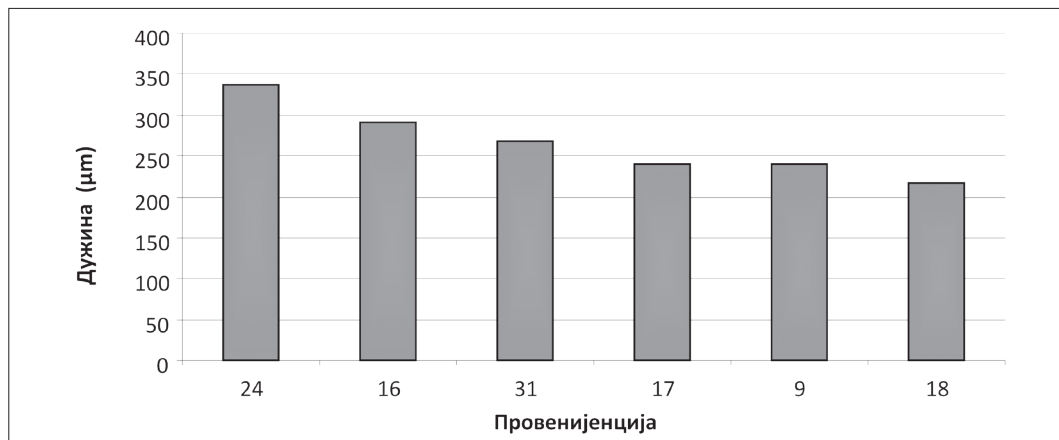
Да би се испитао утицај провенијенције на дужину трансфузионог паренхима урађен је НЗР тест. Резултати теста приказани су табели 6.

Иако се из резултата анализе варијансе (табела 4) види да, свеукупно гледано, постоје статистички значајне разлике између дужина трансфузионог паренхима, код појединих

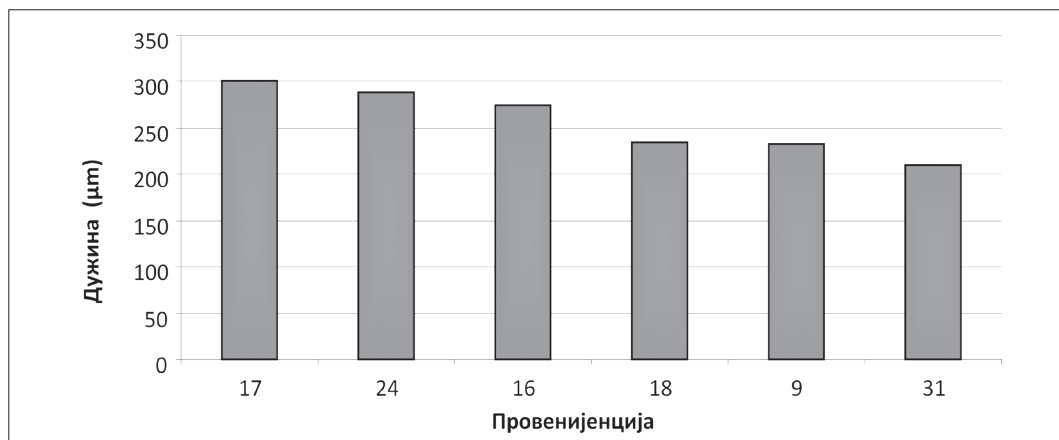
**Табела 6.** Тест НЗР утицаја провенијенције на дужину трансфузионог паренхима

Провенијенција	Величина узорка	Средња вредност	Грешка разлике средина	Хомогене групе
18	60	225,375	1,99521	X
9	60	236,75	1,99521	X
31	60	238,75	1,99521	X
17	60	271,0	1,99521	X
16	60	282,75	1,99521	X
24	60	312,75	1,99521	X
<b>Поређење</b>		<b>Разлике</b>		<b>+/- Граница</b>
9–16		*-46,0		5,54966
9–17		*-34,25		5,54966
9–18		* 11,375		5,54966
9–24		*-76,0		5,54966
9–31		-2,0		5,54966
16–17		* 11,75		5,54966
16–18		* 57,375		5,54966
16–24		*-30,0		5,54966
16–31		* 44,0		5,54966
17–18		* 45,625		5,54966
17–24		*-41,75		5,54966
17–31		* 32,25		5,54966
18–24		*-87,375		5,54966
18–31		*-13,375		5,54966
24–31		* 74,0		5,54966

\*статистички значајна разлика.



**Графикон 1.** Међупровенијенична променљивост дужине трансфузионог паренхима на локалитету Танда



**Графикон 2.** Међупровенијенична променљивост дужине трансфузионог паренхима на локалитету Јухор

провенијенција тест НЗР показује да су неке провенијенције (9 и 31) хомогене у овом погледу, односно, да разлике између средњих вредности дужине трансфузионог паренхима код њих нису статистички значајно различите.

Просечна дужина трансфузионог паренхима у Танди (265,33 µm) је статистички значајно већа него она на Јухору (257,12 µm) (графикони 1 и 2).

До сличних резултата се дошло и у анатомским истраживањима четина дуглазије на истим локалитетима за карактеристику ширине трансфузионог паренхима (Lavadinović *et al.*, 2018).

## ЗАКЉУЧЦИ

Широк природни ареал и велика еколошка амплитуда допринели су томе да је дуглазија веома популарна као интродукована врста у многим земљама.

Да би се одредили адаптивност, продуктивност и карактер интродуковане врсте дрвећа, неопходно је тестирати интродуковану врсту путем провенијеничног теста. У провенијеничним тестовима дуглазије у Србији, анализиран је утицај станишта и провенијенција на дужину трансфузионог паренхима четина. Сходно обављеним анализама анатомске грађе четина,

који су предмет истраживања у овом раду, може се закључити да:

- унутар локалитета на нивоу провенијенција, код свих посматраних својстава јављају се статистички значајне разлике између средњих вредности, што указује на то да оне не потичу од случајних фактора, већ се налазе под утицајем унутрашњих фактора третмана; тест НЗР, међутим, указује на образовање по неколико мањих хомогених група за свако својство, што указује на мањи генетички варијабилитет провенијенција које стварају хомогене групе;
- код свих мерених својстава на нивоу локалитета постоје статистички значајне разлике, при чему су средње вредности свих мерених својстава веће на локалитету Танда у односу на Јухор;
- постоји интеракција између фактора варијабилности (локалитет и провенијенција), односно промена једног фактора варијабилности утиче на промену третмана другог фактора. Будући да у Србији постоји потреба за брзорастућим четинарима, препоручује се да се истраживања на тестирању провенијенција дуглазије са свих аспеката наставе и у будућности.

**Напомена:** Рад је реализован у оквиру пројеката „Развој технолошких процеса у шумарству у циљу реализације оптималне шумовитости” (ТР31070) и „Истраживање климатских промена и њиховог утицаја на животну средину: праћење утицаја, адаптација и ублажавање (43007), које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије у оквиру интегрисаних и интердисциплинарних истраживања за период 2011–2019. год.

## EFFECT OF SITE AND PROVENANCE ON THE LENGTH OF TRANSFUSION PARENCHYMA OF DOUGLAS-FIR NEEDLES

Dr Vera Lavadinović, Senior Research Associate, Institute of Forestry, Belgrade, Serbia (veralava@eunet.rs)

Dr Dragica Obratov-Petković, Full professor, Faculty of Forestry, University of Belgrade, Serbia

Dr Ljubinko Rakonjac, Principal Research Fellow, Institute of Forestry, Belgrade, Serbia

Dr Zoran Miletic, Senior Research Associate, Institute of Forestry, Belgrade, Serbia

Dr Filip Jovanović, Research Assistant, Institute of Forestry, Belgrade, Serbia

MSc Milan Kabiljo, Research Trainee, Institute of Forestry, Belgrade, Serbia

**Abstract:** Douglas-fir has been the most common introduced conifer species in European plantations since 1825. The analysis of the characteristics of the introduced tree species by conducting genetic tests may predict the success of transfer of Douglas-fir seed of different provenances. The projection of the model of provenance test aims at providing information on adaptation to habitat and climate conditions in new ecosystems in Serbia. The original seed of Douglas-fir from North America was used for setting the experiment of different provenances at two sites in Serbia. The first experiment was set in a beech forest (*Fagetum moesiacaе montanum* Jov. 1976) on district cambisol in the area of Juhor mountain in central Serbia, while the second one was set in Tanda near the town of Bor in eastern Serbia on the habitat of Hungarian and Turkey oak (*Quercetum frainetto-cerris* Rud. 1949) on eutric cambisol. Through the analysis of the anatomical structure of Douglas-fir needles this paper tends to determine whether there are statistically significant differences in the length of transfusion parenchyma of provenances located in different habitats. The important function of parenchyma in needles is the physiological process of water, organic and mineral matter flow. The effects of the sites where the experiments were set on the transfusion parenchyma of needles were determined by statistical analysis.

**Key words:** *Pseudotsuga menziesii*, provenances, anatomical characteristics, transfusion parenchyma, habitat

## INTRODUCTION

The genus *Pseudotsuga* Carrière (Pinaceae Lindley) includes 8 to 12 species distributed in the western part of North America, Mexico and eastern Asia (Lavender, Hermann, 2014). The species *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (Douglas-fir) is a monoicous conifer with the height of 60–80 m and a diameter of about 2 m. In its natural habitat and in the optimum conditions, it can reach up to 100 m in height, up to 4 m in diameter and up to 1300 years of age. It occurs at a wide range of altitudes (from 0 to 3200 m), with varying climate conditions as well as geological substrates and soils (Da Ronch *et al.*, 2016). It naturally occurs only in North America, but it is one of three woody species with the widest distribution area outside its natural range. As an exotic species it is grown in Europe, New Zealand, South America and elsewhere in the world (Lavender, Hermann, 2014). It was introduced in Europe in the 19<sup>th</sup> century, at first as a decorative species, and later on as an economically important species in forestry. Douglas-fir is characterized by rapid growth and favorable wood properties, and today it is the most commonly grown allochthonous species in the forests of Central Europe. Growth speed, high reproductive ability, adaptive power, resistance to winds, as well as low sensibility to pests and diseases are the attributes that have contributed the most to the success and occurrence of Douglas-fir plantations in Europe. As it is less sensitive to drought than Silver fir, it has recently been increasingly used as its alternative in plantations at lower altitudes, or as a response to climate change (Da Ronch *et al.*, 2016).

The seed of the species *Pseudotsuga menziesii* of autochthonous origin has been used since the 19<sup>th</sup> century for establishing forest plantations outside its natural distribution area. This species has recently become more interesting because it can be used in forestry as a potential adaptive measure to climate change (Hintsteiner *et al.*, 2018). Douglas-fir plantations have been established in almost all European countries (Bastien *et al.*, 2013).

Due to its economic importance and the assumption that it is capable of resisting climate change impact, it is considered as an indispensable element of forest management in many countries

(Lavender, Hermann, 2014). It is one of the most economically important species for the production of timber (Hermann and Lavender, 1990). Douglas-fir wood has excellent mechanical properties, which makes it very suitable for the production of wood assortments (Da Ronch *et al.*, 2016). Furthermore, due to its economic and ecological importance Douglas-fir has been extensively studied in its natural habitat over the last 50 years and it has been the subject of numerous studies in the countries where it was introduced (Howe *et al.*, 2006).

Researches on the origin of the transfusion tissue have been conducted since the late 19<sup>th</sup> and early 20<sup>th</sup> century (Worsdell, 1897; Griffin, 1906). The universal presence of the transfusion parenchyma in the leaves of conifer species is related to nervation which is reduced or of rudimentary character in conifers (not reticulated or dichotomous as in the most ferns and angiosperms). The external parts of the transfusion parenchyma are thought to be formed from modified parenchyma cells.

The needle is built of protective and conductive tissue. The conductive tissue is surrounded by an endodermis which separates it from mesophyll with the parenchyma and the cells of the transfusion parenchyma. The membranes of transfusion parenchyma cells have a very active H<sup>+</sup>-ATPase that has a role in collecting selected solutions



**Fig. 1.** Geographic distribution of Douglas-fir in North America (USA and Canada)

(some amino acids) for return to the phloem and further conduction (Atwell, 1999).

The needle is an older form of leaves whose xeromorphism is adapted to the difficulties it encounters in water supply due to primitive structure of the tree and the branches (Stevanović and Janković, 1998). The transfusion tissue has a very important role in the process of water transport within the needle. Namely, the water transfer by vascular bundles to the mesophyll of the needle takes place via the transfusion parenchyma. The cryo-scanning electron microscope revealed that in species *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. and *Cryptomeria japonica* (L.f.) D. Don the transfusion tissue has the role of storage and water supplying (Azuma *et al.*, 2016). According to the same authors, the transfusion tissue increases with the height of the plant, while the dimensions of the xylem remain the same.

The thin network of the transfusion parenchyma is the only symplasmic connection between the vascular bundle cover and the phloem for the internal transport of assimilates. The cells of transfusion parenchyma cover a large area in relation to dead cells of transfusion tracheids that are filled with water and minerals (Canny, 1993).

The dimensions of the transfusion tissue are, therefore, an important parameter in the conduction process.

## MATERIALS AND METHODS

Two experiments in Serbia were set for the purpose of testing the introduced tree species, including Douglas-fir (Lavadinović, 1995, 2009; Lavadinović, Koprivica, 1996; Lavadinović *et al.*, 2018, 2018a). The original seed collected in North America, from the part of Douglas-fir natural distribution area from New Mexico, along Pacific coast, and Rocky Mountains to Canada (Fig. 1), was used as the planting material. Table 1 presents the provenances which originated from different geographical latitudes, geographical longitudes and altitudes. The altitudes range from 150 m (along Pacific coast) to 2,682 m in New Mexico (Lavadinović, 2018). The sites where the experiments were set vary in habitat conditions. The

experiment in the area of the mountain Juhor in central Serbia was set in a beech forest (*Fagetum moesiacaе montanum* Jov. 1976) on district cambisol, while the second experiment was set in Tanda near the town of Bor in eastern Serbia on the habitat of Hungarian and Turkey oak (*Quercetum frainetto-cerris* Rud. 1949) on eutric cambisol.

For the purpose of the needle anatomy analysis, the fresh Douglas-fir needles were collected from both sites where the provenance experiments were set. The fresh Douglas-fir needles were fixed in 50% ethyl alcohol and continuous anatomic sections in 30 needles per provenance were made, selected by random sampling. Permanent anatomic preparations, 17 µm thick, were made by microtome in the middle of the needle, stained with saffron red and toluidine blue and washed with water, followed by ethyl alcohol dehydration with an increase in alcohol concentration from 50% to 96%. Complete cross-section fixation was performed with xylene for several hours, after which the needles were glued onto an objective glass with Canada-Balm, covered with a cover glass and dried in an oven at 60°C. After three weeks, the morphometric characteristics were measured (Lavadinović *et al.*, 2018).

The pedological laboratory analysis was conducted to determine the following parameters:

- The content of total organic substance (humus) by wet combustion in a mixture of potassium dichromate and sulfuric acid, according to the Tyurin method – in the modification of Simakov (Džamić *et al.*, 1996);
- The content of total nitrogen by digestion of soil sample in concentrated sulfuric acid, in the presence of catalyst, as well as by distillation of ammonia, by the Kjeldahl method (Džamić *et al.*, 1996);
- The content of adsorbed base cations by extraction in hydrochloric acid of concentration 0.1 mol/l by Kapen method and titration with sodium hydroxide solution of concentration 0.1 mol/l (Živković, 1966);
- Hydrolytic acidification by extraction in sodium acetate of 1 mol/l concentration and titration with 0.1 mol/l sodium hydroxide solution (Živković, 1966a);
- Total adsorption capacity and degree of saturation of the adsorptive complex by calculation

- from the sum of adsorbed base cations and hydrolytic acidity;
- Active and substitution acidity by conductometric method on pH-meter (Cencilj, 1966);
- The content of free alkaline soil carbonates by volumetric method, the effect of hydrochloric acid solution on soil and the measurement of the volume of released carbon dioxide (Džamić *et al.*, 1996);
- Textural composition of soil by sedimentation method using sodium pyrophosphate as a peptizing agent (Racz, 1971), as well as textural class using Ferre's triangle.

**Table 1.** Geographic characteristics of original Douglas-fir provenances

Code	Mark	Geographical latitude (°N)	Geographical longitude (°E)	Altitude (m)
Oregon 205–15	1	43.7	123.0	750
Oregon 205–14	2	43.8	122.5	1200
Oregon 202–27	3	45.0	122.4	450
Oregon 205–38	4	45.0	121.0	600
Oregon 204–16	6	45.0	121.0	1050
Oregon 205–16	7	44.0	123.0	150
Washington 205–31	8	48.8	121.5	450
Washington 204–07	9	49.0	119.0	1200
Oregon 205–13	10	43.8	122.5	1050
Oregon 205–18	11	44.2	122.2	600
Oregon 202–22	12	42.5	122.5	1200
Oregon 202–21	14	42.4	123.7	300
Washington 202–17	15	47.6	121.7	600
Oregon 201–10	16	44.5	119.0	1350
Washington 201–06	17	49.0	120.0	750
Oregon 202–19	18	45.3	123.8	300
Washington 204–09	19	49.0	119.3	900
Oregon 205–11	20	45.0	123.0	150
Oregon 205–45	21	44.0	122.0	900
New Mexico 202–04	22	32.9	105.7	2682
New Mexico 202–10	23	36.0	106.0	2667
Oregon 202–31	24	44.3	118.8	1500
Oregon 205–29	26	42.6	122.8	900
Oregon 205–08	27	42.7	122.5	1050
Oregon 205–22	28	45.0	121.0	750
Oregon 204–18	29	44.5	119.0	1500
Oregon 204–04	30	45.0	121.5	900
Washington 205–17	31	47.7	123.0	300
Oregon 205–17	32	44.0	124.0	450

(Lavadinović, 1995).

## RESULTS AND DISCUSSION

In the previous researches (Lavadinović, 2009) at the experimental plot Tanda on the habitat of Hungarian and Turkey oak (*Quercetum frainetto-cerris* Rud. 1949) the soil was determined as eutric cambisol. An organogenic 2–3 cm thick layer is formed on the surface of the soil in which the share of irresoluble Douglas-fir needles is the largest. The humus-accumulative layer is of a dark color and largely crumbly structure, loose, with favorable physical properties. The root system is mainly concentrated in this layer. The soil by textural class belong to sandy loam, where sand fraction dominates in the textural composition. Good soil structure and high sand content ensure good water permeability and aeration of the entire solum (Table 2).

The soil is moderately acidic, with a high degree of base saturation. The degree of base saturation is higher than 50% for all three analyzed profiles, which classifies this soil as eutric. The amount of plant accessible phosphorus is poor throughout the depth of the soil, while the amount of plant accessible potassium is medium. The amount of total nitrogen in the soil ranges from 0.15 to 0.20% and the C/N ratio is narrow. The narrow C/N ratio

indicates the rapid decomposition of organic matter to the final decomposition products and the appearance of nitrogen in a plant accessible form (Table 3).

The soil in the Douglas-fir provenance experiment at the Juhor Mountain belongs to acid brown soil (distric cambisol) on gneiss. Unlike the eutric cambisol in Tanda, the soil in the provenance experiment at Juhor is characterized by quite pronounced spatial variability in the textural composition. The textural class of the soil varies from sandy loam to loam. The soil is well structured, which, regardless of its texture composition, reflects good water permeability and aeration of the solum.

The reaction of the soil solution is much more acidic compared to the soil in the provenance experiment in Tanda, and the degree of saturation of the adsorptive complex by base cations is much lower. The total nitrogen content in soil in the provenance experiment on Mt. Juhor is higher than in Tanda, but the carbon to nitrogen ratio is broader. The broader C/N ratio in the soil indicates that in the Juhor experimental plot the mineralization processes of organic matter are slower than those in Tanda. The amount of easily accessible phosphorus to plants is very low. Small amounts

**Table 2.** Comparative overview of soil physical properties at Tanda and Juhor sites

Site	Number of profiles	Depth (cm)	Hygroscopic moisture (%)	Granulometric composition (%)						Total	
				2.0–0.2 (mm)	0.2–0.06 (mm)	0.06–0.02 (mm)	0.02–0.006 (mm)	0.006–0.002 (mm)	<0.002 (mm)	sand	clay + powder
Tanda	1	0-21/25	2.01	34.13	16.27	10.10	16.50	10.80	12.20	60.50	39.50
		21/25-60	2.03	34.62	14.08	10.20	17.50	7.90	15.70	58.90	41.10
	2	0-30	1.72	34.28	16.02	11.20	17.30	9.00	12.20	61.50	38.50
		30-60	1.61	39.65	13.65	11.70	15.30	9.00	10.70	65.00	35.00
	3	0-18	2.19	36.05	19.25	8.60	14.50	7.70	13.90	63.90	36.10
		18-60	3.22	32.07	15.33	9.50	13.60	7.50	22.00	56.90	43.10
Juhor	4	0-24	2.74	18.90	30.10	11.80	19.20	9.50	10.50	60.80	39.20
		24-70	1.81	23.18	32.02	10.00	13.30	8.30	13.20	65.20	34.80
	5	0-20	2.75	16.75	14.55	17.30	27.10	12.90	11.40	48.60	51.40
		20-50	1.66	17.49	17.01	13.90	25.70	12.80	13.10	48.40	51.60
		50-80	1.76	16.85	19.70	11.90	20.90	11.10	19.60	48.40	51.60

(Lavadinović, 2009)

of phosphorus are found only in the surface layers of the soil, while in the deeper layers the amount of this element is below the detection limit.

The results of the two-way analysis of variance for the length of transfusion parenchyma of Douglas-fir needles are shown in Table 4.

The results obtained from the analysis of variance (Table 4) show the following:

- a) There are statistically significant differences in the average values of the length of transfusion parenchyma at sites Tanda and Juhor;
- b) There are statistically significant differences in the average values of the length of transfusion parenchyma in particular provenances;
- b) There is an interaction between factors “site” and “provenance”, namely, the change of site

affects the average value of the length of transfusion parenchyma in some provenances, and vice versa.

### The effect of site on the length of transfusion parenchyma

The results obtained from the analysis of the effect of site on the length of transfusion parenchyma are shown in Table 5.

As can be seen in Table 5 the sites Juhor and Tanda are not homogenous – there is a statistically significant difference in the average values of the length of transfusion parenchyma.

**Table 3.** Comparative overview of soil chemical properties at Tanda and Juhor sites

Site	Number of profiles	Depth (cm)	pH H <sub>2</sub> O KCl	y <sub>1</sub> (ccm)	Adsorptive complex				Humus (%)	C (%)	N (%)	C/N	Easily accessible		
					(T-S)	S	T	V					P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
															(ekv. cmola/100 g)
Tanda	1	0-21/25	5.60	3.94	15.62	10.15	18.00	28.15	63.94	2.62	1.52	0.20	7.6	1.40	11.00
		21/25-60	5.80	3.63	10.21	6.64	22.00	28.64	76.82	0.72	0.42	–	–	2.00	6.60
	2	0-30	5.73	4.04	13.81	8.98	16.20	24.18	62.86	2.69	1.56	0.18	8.7	1.60	15.40
		30-60	6.06	3.86	10.21	6.64	18.00	24.64	73.05	1.14	0.66	–	–	1.40	5.60
	3	0-18	5.80	3.87	13.21	8.59	24.60	33.19	74.12	2.03	1.18	0.15	7.8	0.90	9.60
		18-60	6.36	3.77	9.61	6.25	30.80	37.05	83.13	0.78	0.45	–	–	3.00	7.90
Juhor	4	0-24	5.18	3.80	25.82	16.79	15.60	32.39	48.16	4.76	2.76	0.28	9.8	1.16	17.70
		24-r0	5.82	3.80	12.01	7.81	10.80	18.61	58.03	0.83	0.46	–	–	0.00	8.50
	5	0-20	5.40	4.06	22.22	14.44	14.20	28.64	49.58	4.82	2.80	0.29	9.6	1.20	23.00
		20-50	5.23	3.54	18.02	11.71	6.20	17.91	34.62	1.21	0.70	–	–	0.30	8.10
		50-80	5.35	3.59	14.41	9.37	5.60	14.97	37.41	0.57	0.33	–	–	0.00	8.10

(Lavadinović, 2009)

**Table 4.** Two-way analysis of variance (site x provenance) for the length of transfusion parenchyma of Douglas-fir needles

Source of variation	Sum of squares	The degree of freedom	Variance	F-ratio	P-value
A: Site	6063.91	1	6063.91	25.39	0.000
B: Provenance	336185.0	5	67236.9	281.50	0.000
AB Interaction	142231.0	5	28446.2	119.10	0.000
Errors	83120.6	348	238.852		
<b>Total</b>	<b>567600.0</b>	<b>359</b>			

**Table 5.** LSD test of site effect on the length of transfusion parenchyma

Site	Sample size	Average value	Standard error of the difference between the means	Homogeneous groups
Juhor	180	257.125	1.15194	X
Tanda	180	265.333	1.15194	X
Comparison			Differences	+/- Limit
Juhor-Tanda			*-8.20833	3.2041

\*statistically significant difference

### The effect of provenance on the length of transfusion parenchyma

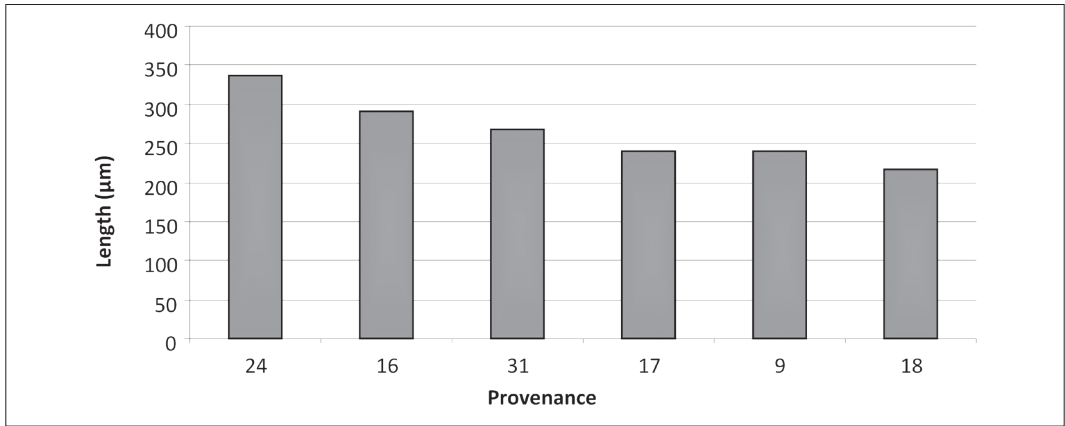
To examine the effect of provenance on the length of transfusion parenchyma, an LSD test was carried out. The results obtained are shown in Table 6.

Although the results obtained from the analysis of variance (Table 4) showed that there are statistically significant differences between the lengths of transfusion parenchyma, in some provenances (9 and 31) the LSD test showed that they are homogeneous in this regard. Namely, the average values of

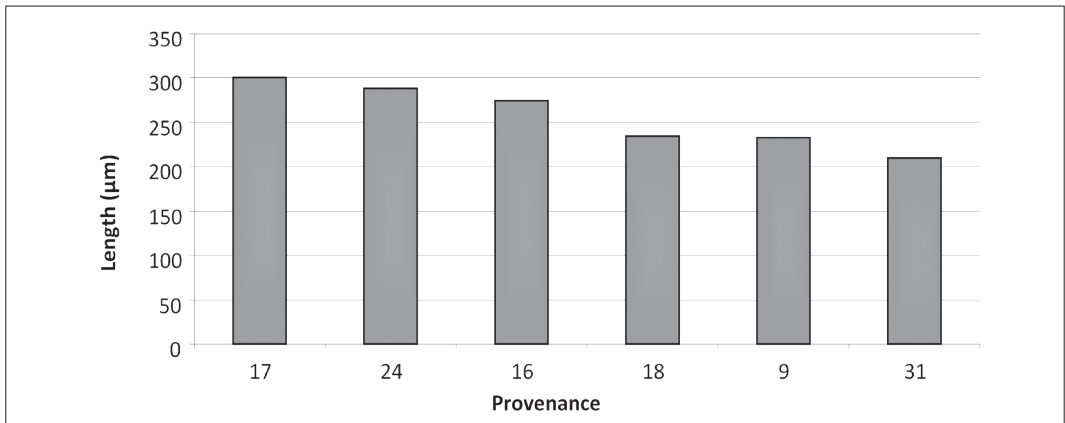
**Table 6.** LSD test of provenance effect on the length of transfusion parenchyma

Site	Sample size	Average value	Standard error of the difference between the means	Homogeneous groups
18	60	225.375	1.99521	X
9	60	236.75	1.99521	X
31	60	238.75	1.99521	X
17	60	271.0	1.99521	X
16	60	282.75	1.99521	X
24	60	312.75	1.99521	X
Comparison		Differences		+/- Limit
9-16		*-46.0		5.54966
9-17		*-34.25		5.54966
9-18		* 11.375		5.54966
9-24		*-76.0		5.54966
9-31		-2.0		5.54966
16-17		* 11.75		5.54966
16-18		* 57.375		5.54966
16-24		*-30.0		5.54966
16-31		* 44.0		5.54966
17-18		* 45.625		5.54966
17-24		*-41.75		5.54966
17-31		* 32.25		5.54966
18-24		*-87.375		5.54966
18-31		*-13.375		5.54966
24-31		* 74.0		5.54966

\*statistically significant difference



**Fig. 2.** Variability among provenances in the length of Douglas-fir transfusion parenchyma at Tanda



**Fig. 3.** Variability among provenances in the length of Douglas-fir transfusion parenchyma on Mt. Juhor

the length of transfusion parenchyma do not show statistically significant differences.

The average length of transfusion parenchyma in Tanda (265.33 µm) is statistically significantly larger than that on Mt. Juhor (257.12 µm) (Figs 2 and 3).

Similar results have also been obtained in the anatomical studies of Douglas-fir needles in the same sites for the width of transfusion parenchyma (Lavadinović *et al.*, 2018).

## CONCLUSIONS

Wide natural area and high ecological amplitude have contributed to the fact that Douglas-fir

is very popular as an introduced species in many countries.

In order to determine the adaptability, productivity and character of the introduced tree species, it is necessary to conduct a provenance test. In the provenance tests of Douglas-fir in Serbia, the effect of site and provenance on the length of needle transfusion parenchyma was analyzed.

The obtained results of the analysis of anatomical structure of the needles led to the following conclusions:

- Within sites at the provenance level statistically significant differences occur between average values in all observed properties, indicating that they are not derived from random factors, but influenced by internal factors of treatment;

the LSD test, however, shows the formation of several smaller homogeneous groups for each analyzed property, indicating less genetic variability in the provenances which have produced the homogeneous groups;

- There are statistically significant differences for all measured properties at the site level and the average values of all measured properties are higher at Tanda compared to Juhor;
- There is an interaction between the variability factors (site and provenance), namely, the change of one variability factor affects the change of treatment of another one.

Since there is a need for fast-growing conifers in Serbia, the continuation of all aspects of research in Douglas-fir provenances is highly recommended.

**Acknowledgment:** The research was done within the projects “The development of technological processes in forestry in order to realize the optimal forest cover” (No. 31070) and “Studying climate change and its influence on the environment: impacts, adaptation and mitigation” (No. 43007), financed by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia within integrated and interdisciplinary researches for the period 2011–2019.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Atwell B., Kriedemann P., Turnbull C. (1999): Plants in action, adaptation in nature, performance in cultivation, Macmillan education Australia, South Yarra
- Azuma W., Ishii R., Kuroda K., Kuroda K. (2016): Function and structure of leaves contributing to increasing water storage with height in the tallest *Cryptomeria japonica* trees of Japan, *Trees* 30 (141–152)
- Bastien J. C., Sanchez L., Michaud D. (2013): Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), In: Pâques L. E. (ed.): Forest tree breeding in Europe, current state-of-the-art and perspectives, *Managing forest ecosystems* 25 (325–369)
- Canny M. J. (1993): Transfusion tissue of pine needles as a site of retrieval of solutes from the transpiration stream, *New Phytol.* 123(2) (227–232)
- Cencelj J. (1966): Određivanje reakcije zemljišta. Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga I, Hemijske metode ispitivanja zemljišta, Jugoslovensko društvo za ispitivanje zemljišta, Beograd, (78–86)
- Da Ronch F., Caudullo G., De Rigo D. (2016): *Pseudotsuga menziesii* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats, In: San-Miguel-Ayanz J., De Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. (eds.), *European atlas of forest tree species*, Publ. Off. EU, Luxembourg, (e01a4f5+)
- Džamić R., Stevanović D., Jakovljević M. (1996): Praktikum iz agrohemije, Poljoprivredni fakultet, Beograd
- Griffin E. (1906): The development of some New Zealand conifer leaves with regard to transfusion tissue and to adaptation to environment, *Transactions and proceedings of the royal society of London*, London
- Hermann R. K., Lavender D. P. (1990): *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco: Douglas-fir, In: Burns R. M., Honkala B. H. (coord.), *Silvics of North America*, Vol. I, Conifers, *Agricultural handbook* 654, USDA Forest Service Washington, DC, (527–540)
- Hintsteiner W. J., van Loo M., Neophytou C., Schueler S., Hasenauer H. (2018): The geographic origin of old Douglas-fir stands growing in Central Europe, *Eur. J. Forest. Res.* 137 (447–461)
- Howe G. T., Jayawickrama K., Cherry M., Johnson G. R., Wheeler N. C. (2006): Breeding Douglas-fir, In: Janick J. (ed), *Plant breeding reviews* 27, John Wiley & Sons Inc., New York, (245–353)
- Jovanović B. (2000): Dendrologija, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, Naučna knjiga, Beograd
- Lavadinović V. (1995): Promenljivost 29 provenijencija duglazije u test kulturama Srbije u cilju unapređenja introdukcije ove vrste, Magistarski rad, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd
- Lavadinović V. (2009): Genetske i ekološke komponente varijabilnosti duglazije (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco) u provenijeničnim testovima na području Srbije, Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd

- Lavadinović V., Koprivica M. (1996): Tracheid width of different Douglas-fir (*Pseudotsuga taxifolia* Britt.) provenances in test plantations in the region of Serbia, Second International Conference on the Development of Wood Science Technology and Forestry, Sopron, Proceedings (287–296)
- Lavadinović V., Obratov-Petković D., Rakonjac Lj., Miletić Z., Jovanović F. (2018): Uticaj lokaliteta i provenijencije na širinu transfuzionog parenhima četina duglazije, Glasnik Šumarskog fakulteta 118 (63–76)
- Lavadinović V. S., Miletić Z., Rakonjac Lj., Lavadinović V. M. (2018a): Magnesium concentration in the Canadian Douglas-fir needles of different provenances, Sustainable Forestry 77/78 (45–55)
- Lavender D. P., Hermann R. K. (2014): Douglas-fir: The genus *Pseudotsuga*, Oregon Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis
- Racz Z. (1971): Određivanje mehaničkog (teksturnog, granulometrijskog) sastava tla, Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga V, Jugoslovensko Društvo za proučavanje zemljišta, Beograd
- Stevanović B., Janković M. M. (1988): Ekoatomske odlike četina endemoreliktnih visokoplanskih balkanskih borova munike (*Pinus heldreichii* Christ.) i molike (*P. peuce* Gris.), Glasnik Instituta za botaniku i botaničke bašte Univerziteta u Beogradu 12 (51–62)
- Worsdell W. (1897): On “transfusion-tissue”: its origin and function in the leaves of Gymnospermous plants, Transactions of the Linnean Society of London, Series 2 (Botany), 5(8) (301–319)
- Živković M. (1966): Određivanje sume adsorbovanih baznih katjona, Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga I, Hemijske metode ispitivanja zemljišta, Jugoslovensko društvo za ispitivanje zemljišta, Beograd, (155–161)
- Živković M. (1966a): Određivanje hidrolitičke kiselosti zemljišta, Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga I, Hemijske metode ispitivanja zemljišta, Jugoslovensko društvo za ispitivanje zemljišta, Beograd, (86–88)

