

UDK: 630*812.214:582.475

Оригинални научни рад

DOI: <https://doi.org/10.2298/GSF1817119P>

АНИЗОТРОПИЈА ТРАНСВЕРЗАЛНОГ БУБРЕЊА ДРВЕТА ПАНЧИЋЕВЕ ОМОРИКЕ (*Picea omorika* (Pančić) Purkyně)

мр Данијела Петровић, виши асистент, Универзитет у Бањој Луци, Шумарски факултет (danijela.petrovic@sf.unibl.org)

др Здравко Поповић, ред. проф., Универзитет у Београду, Шумарски факултет

др Небојша Тодоровић, доцент, Универзитет у Београду, Шумарски факултет

др Војислав Дукић, ван. проф., Универзитет у Бањој Луци, Шумарски факултет

Извод: У раду су приказани резултати анализе анизотропије трансверзалног бубрења дрвета Панчићеве оморице. Анализом је обухваћено шест стабала која потичу из култура и девет стабала из природних састојина оморице, а укупно је испитано 3098 епрувета. Резултати приказују промену трансверзалне анизотропије по висини стабла, као и њену промену по радијусу. Зависност овог својства од ширине прстенова прираста, учешћа касног дрвета и густине дрвета утврђена је регресионом анализом.

Кључне речи: *Picea omorika*, анизотропија трансверзалног бубрења, културе, природне састојине

УВОД

Промена садржаја везане (хигроскопне) воде доводи до промена димензија дрвета. Те промене су највеће у тангенцијалном правцу, нешто мање у радијалном, а најмање у аксијалном правцу. Према Šoškić и Poroviću (2002) просечна вредност укупног утезања нормалног дрвета у тангенцијалном правцу износи 8,5%, у радијалном 4% и у аксијалном 0,3%.

Који све фактори утичу на различито мењање димензија у различитим правцима истраживали су бројни аутори. Неки аутори наводе да је варијација ћелијске структуре у самом прстену прираста, где се смењују рано и касно дрво, одговорна за анизотропију бубрења (Boutelje, 1962; Watanabe *et al.*, 2000). Према другима је то угао и структура микрофибрила (Freu-Wyssling, 1940; Skaar, 1988; Rafsanjani *et al.*, 2014), док неки аутори наводе да велики

утицај на анизотропију бубрења имају траке дрвета односно радијални паренхим (McIntosh, 1954; Usta i Guray, 2000).

Однос тангенцијалног и радијалног утезања или бубрења је фактор површинске анизотропије и он служи за процену димензионе стабилности и употребљивости неког дрвета (Šoškić *et al.*, 2007). Он показује склоност одређене врсте ка већој или мањој деформацији. Према Christoforo *et al.* (2016) фактор анизотропије је важан параметар који указује на квалитет сушења дрвета, а самим тим и на најбољу могућност његове примене.

У овом раду су приказани резултати испитивања трансверзалне анизотропије дрвета Панчићеве оморице које потиче из култура и природних састојина. С обзиром да у данашње време имамо све више дрвета које долази из

вештачки подигнутих састојина, где стабла расту у потпуно другачијим састојинским условима, димензионална стабилност и деформације су главна брига приликом сушења и употребе дрвета из ових састојина (Wang *et al.*, 2008).

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Материјал за истраживање је узет са пет локалитета. На локалитету Дубрава (ДУ) и на локалитету Сребреница (СР) налазе се културе оморике, док се на локалитетима Столац 1 (С1), Столац 2 (С2) и Гостиља (ГО) налазе природне састојине. Локалитет Дубрава се налази у близини Бањалуке и њом газдује ЗДП „Индустријске плантаже“ а.д. Бања Лука. Налази се на 310 м надморске висине, а укупна површина износи 0,33 ха. Локалитет Сребреница налази у близини Сребренице и припада ШГ „Дрина“ – Сребреница. Налази се на 880 м надморске висине, а укупна површина културе износи 0,6 ха. Сва три локалитета природних састојина налазе се у близини Вишеграда и њима управља ШГ „Панос“ – Вишеград. Локалитет Столац 1 се налази на 1200 м надморске висине, а Столац 2 на 960 м надморске висине, док је укупна површина састојине на којој се налазе ови локалитети 29,5 ха. Локалитет Гостиља налази се на 1130 м надморске висине, а укупна површина ове састојине је 25,8 ха.

Са сваког локалитета одабрано је и оборено по три стабла (укупно петнаест), исте дебљинске класе од 20 до 30 см. Просечна старост анализираних стабала из култура (КУ) на висини 0,3 м износи 36 година, док је просечни пречник на прсној висини 25,8 см, а просечна висина 17,8 м. Анализирана стабла из природних састојина (ПС) имају просечни пречник на прсној висини 30,0 см и просечну висину од 25,4 м, док просечна старост на висини 0,3 м износи 124 године. После обарања, из сваког стабла изрезан је котур дебљине 5 см на различитим висинама почевши од 0,3 м, 1,3 м, а затим на свака два метра висине (Слика 1). Након просушивања у трајању од два месеца и брушења из просушених котурова дебљине 5 см, изрезане су епрувете димензија 20x20x30 mm, које су искоришћене за анализу физичких својстава др-

вета. Све епрувете су обележене тако да се тачно зна њихов положај у котуру, односно самом деблу. Укупно је изрезано и премерено 3098 епрувета. Епруветама су прво дигиталним помичним мерилом тачности 0,01 mm одређене димензије у аксијалном, радијалном и тангенцијалном правцу у просушеном стању влажности. Маса епрувета је мерена на ваги тачности 0,01 g. Епрувете (Слика 2) су затим скениране на попречном пресеку у циљу одређивања просечне ширине прстена прираста и просечног учешћа касног дрвета помоћу програма CDendro 7,6 и CooRecorder 7,6. После скенирања, епрувете су сушене у сушионику на температури од 103±2°C до постизања константне масе, односно до апсолутно сувог стања. После хлађења у ексикатору, одређене су димензије на истом месту на којем су мерене пре сушења, у сва три правца. Након сушења епрувете су потопљене у воду где су биле до постизања константе масе, односно док нису постигле сирово стање влажности. Опет су извршена мерења димензија на истим местима у сва три правца.

На основу добијених података израчунато је бубрење у радијалном и тангенцијалном правцу, односно израчунат је фактор трансверзалне анизотропије по обрасцу:

$$f = \frac{\beta t}{\beta r}$$

где је:

βt - бубрење дрвета у тангенцијалном правцу у %
 βr - бубрење дрвета у радијалном правцу у %



Слика 1. Котурови за испитивање



Слика 2. Припремљене епрувете за скенирање

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Резултати статистичке анализе фактора површинске анизотропије по локалитетима приказане су у Табели 1. Такође су приказане и просечне вредности овог фактора за стабла из култура и из природних састојина. Најмањи про-

сечан фактор површинске анизотропије имају стабла са локалитета Столац 1 и он износи 2,05 са коефицијентом варијације 16,06%, док највећу стабла са локалитета Дубрава – 2,84 са коефицијентом варијације 17,57%. Друга два локалитета природних станишта оморике Столац 2 и Гостиља имају просечни фактор површинске анизотропије 2,08, односно 2,09, респективно, док је за локалитет Сребреница тај просек 2,37.

Просечна вредност фактора површинске анизотропије за стабла из култура износи 2,67, са минималном вредношћу од 0,83 и максималном 4,64. Коефицијент варијације износи 19,32%. За стабла из природних састојина утврђени фактор површинске анизотропије износи 2,07, док је варирање 15,56%. Минимална измерена вредност износи 1,06, а максимална 5,19.

Анализа варијансе фактора површинске анизотропије, по локалитетима, показала је да постоји статистички значајна разлика између локалитета. Применом Duncan теста, формиране су три хомогене групе (Табела 2). У једној хомогеној групи су локалитети који се налазе у природним састојинама (Столац 1, Столац 2 и Гостиља), док су локалитети на којима се налазе културе одвојени у две хомогене групе.

Табела 1. Фактор површинске анизотропије

Локалитет	N	As	-95	+95	Min	Max	SD	CV (%)
ДУ	545	2,84	2,80	2,88	0,83	4,64	0,50	17,57
СР	295	2,37	2,32	2,41	1,31	3,44	0,39	16,58
КУ	840	2,67	2,64	2,71	0,83	4,64	0,52	19,32
С1	859	2,05	2,02	2,07	1,16	3,49	0,33	16,06
С2	737	2,08	2,06	2,10	1,06	4,57	0,31	14,82
ГО	662	2,09	2,06	2,11	1,19	5,19	0,33	15,64
ПС	2258	2,07	2,05	2,08	1,06	5,19	0,32	15,56

Легенда: N - број испитаних епрувета; As - аритметичка средина; -95 – доња граница интервала процене уз вероватноћу од 95%; +95 - горња граница интервала процене уз вероватноћу од 95%; Min - минимална вредност; Max - максимална вредност; SD - стандардна девијација; CV - коефицијент варијације

Табела 2. Анализа варијансе фактора површинске анизотропије по локалитетима

	Локалитет					ANOVA		
	ДУ	СР	С1	С2	ГО	F	p	Post-hoc ¹
f	2,84 ^c	2,37 ^b	2,05 ^a	2,08 ^a	2,09 ^a	502,2	0,00	3

¹ Број хомогених група одређен Duncan тестом; а, b, c – ознаке хомогених група

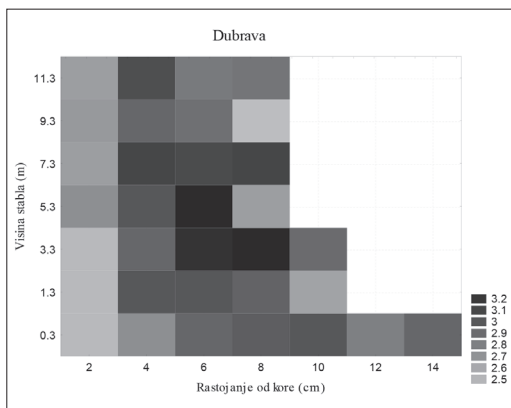
Примена t-теста при анализи фактора површинске анизотропије је показала да између култура и природних састојина постоји статистички значајна разлика ($t=39,00$; $p=0,00$).

Испитујући фактор површинске анизотропије дрвета оморике из природних састојина, Lukić-Simović (1970) је дошла до закључака да се он налази у интервалу од 1,27 до 4,11, док његова просечна вредност износи 2,14, што је приближно резултатима за природне састојине добијеним у овом раду.

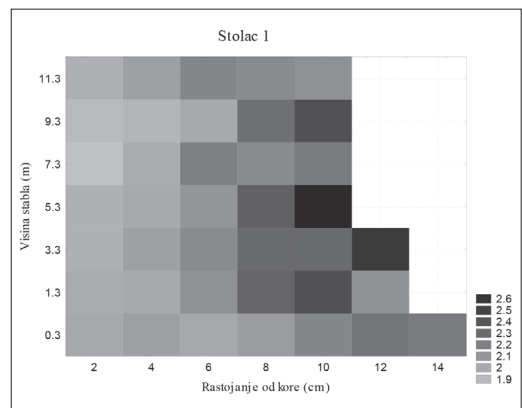
Како се фактор површинске анизотропије мења по висини и радијусу стабла по локалитетима приказано је на сликама 3 - 7. Са слике 3.

можемо уочити да на локалитету Дубрава фактор површинске анизотропије расте од коре према унутрашњости, а затим поново опада према сржи. Са слике 4. може се видети да је и на локалитету Сребреница тренд промене овог фактора по радијусу исти, осим малог одступања на висини од 5,3 m.

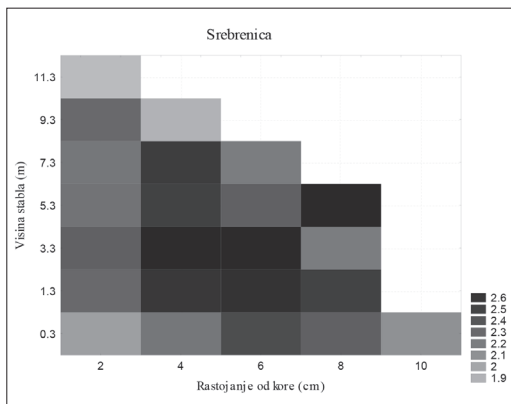
Са слика 5, 6. и 7. које приказују промену фактора површинске анизотропије по радијусу и висини стабала која потичу из природних састојина оморике (локалитети Столац 1, Столац 2 и Гостиља), резултати су нешто другачији. На локалитету Столац 1 се уочава константно смањивање овог фактора од сржи према кори, док



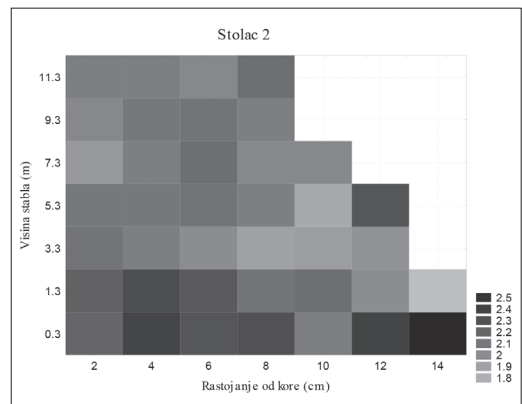
Слика 3. Промена фактора површинске анизотропије по висини и радијусу стабла за локалитет Дубрава



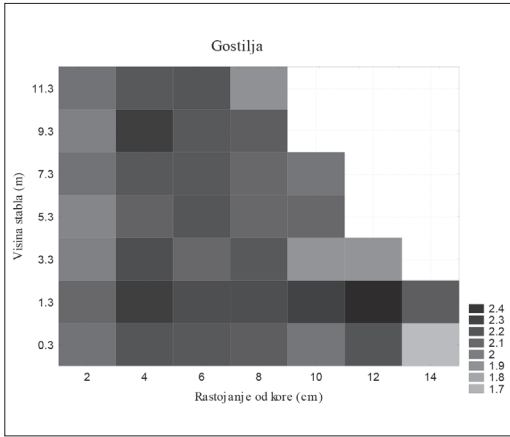
Слика 5. Промена фактора површинске анизотропије по висини и радијусу стабла за локалитет Столац 1



Слика 4. Промена фактора површинске анизотропије по висини и радијусу стабла за локалитет Сребреница



Слика 6. Промена фактора површинске анизотропије по висини и радијусу стабла за локалитет Столац 2



Слика 7. Промена фактора површинске анизотропије по висини и радијусу стабла за локалитет Гостиља

на локалитетима Гостиља и Столац 2 промене фактора површинске анизотропије по радијусу нису исте на свим висинама. Ова разлика у промени фактора површинске анизотропије по радијусу у зависности од локалитета се може објаснити пре свега састојинским условима у којима су стабла расла.

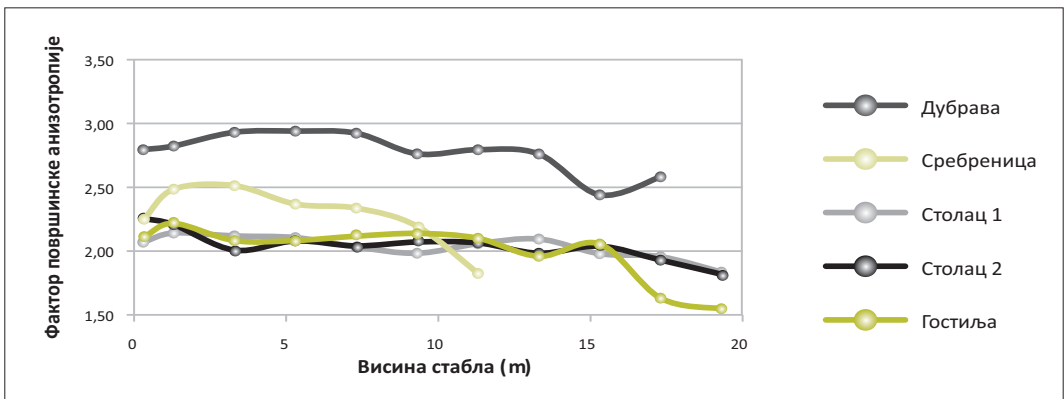
Када посматрамо промену фактора површинске анизотропије по висини стабла по локалитетима (Слика 8), можемо да приметимо да је слична за све локалитете. Фактор површинске анизотропије расте са порастом висине од 0,3 до 1,3 м, даљим порастом висине у доњем делу стабла је углавном константан, а затим опада у горњем делу стабла.

У Табели 3. су приказане просечне вредности ширина прстена прираста и просечно учешће касног дрвета за одређен број испитаних

Табела 3. Ширина прстенова прираста, учешћа касног дрвета и густина у апсолутно сувом стању влажности

Локалитет	žpp			ukd			ρ_o		
	N	As	SD	N	As	SD	N	As	SD
		mm			%			g/cm ³	
ДУ	81	3,79	1,32	81	11,25	3,85	545	0,430	0,036
СР	80	3,69	1,26	80	11,69	4,18	295	0,406	0,037
КУ	161	3,74	1,29	161	11,47	4,01	840	0,422	0,038
С1	80	1,68	0,55	80	17,53	3,71	859	0,502	0,040
С2	85	1,65	0,38	85	16,78	2,58	737	0,476	0,031
ГО	80	1,74	0,64	80	17,82	3,57	662	0,477	0,029
ПС	245	1,69	0,53	245	17,36	3,33	2258	0,487	0,036

Легенда: N - број испитаних епрувета; žpp - ширина прстенова прираста; ukd - учешће касног дрвета; ρ_o - густина дрвета у апсолутно сувом стању влажности; As - аритметичка средина; SD - стандардна девијација



Слика 8. Промена фактора површинске анизотропије по висини стабла по локалитетима

епрувета, као и просечне вредности густине дрвета у апсолутно сувом стању за све испитане епрувете по локалитетима.

Стабла оморике са локалитета на којима се налазе културе (Дубрава и Сребреница) имају већу просечу ширину прстена прираста, мање учешће касног дрвета и мању просечну густину у апсолутно сувом стању у односу на стабла из природних састојина (локалитети Столац 1, Столац 2 и Гостиља). Према Stajiću (2010) састојински услови су поред генетских карактеристика и станишних фактора, група фактора која утиче на дебљински прираст стабала, односно на ширину прстенова прираста. Културе као једнодобне састојине у почетној фази раста имају веће ширине прстенова прираста (Maunaga, 2012), за разлику од разнодобних, односно преборних састојина које имају другачији ток дебљинског прираста. Промена ширине прстенова прираста код четинара доводи до промене одређених физичких и механичких својства дрвета (Šoškić и Popović, 2002).

Примена t-теста је показала да између култура и природних састојина постоји статистички значајна разлика за сва три испитана параметра (Табела 4).

Табела 4. Тестирање разлика у ширини прстенова прираста, учешћу касног дрвета и густини у апсолутно сувом стању влажности између култура и природних састојина (t-тест)

	t	p
špp	22,24	0,00
ukd	-16,18	0,00
ρ _o	-43,74	0,00

Веће ширине прстенова прираста, односно мање учешће касног дрвета на узорцима који потичу из култура се одразило и на њихову густину која је мања у односу на густину узорака који потичу из природних састојина. Lukić-Simonović (1970) је у својим истраживањима природних састојина оморике дошла до резултата да се са повећањем ширине прстенова прираста смањује густина. Као разлог томе наводи се мање учешће касног дрвета у прстену прираста које директно утиче на саму густину. То потврђују и ова истраживања где стабла из кул-

тура са већом просечном ширином прстенова прираста имају мање просечно учешће касног дрвета, а самим тим и мању густину од стабала из природних састојина.

Rafsanjani et al. (2015) су испитујући анизотропију бубрења на нивоу прстена прираста смрче дошли до закључка да се рано дрво са својим широким луменима и танким зидовима понаша као јако анизотропан материјал, док је касно дрво са дебелим зидовима и уским луменима скоро изотропно. Према Šoškiću и Popoviću (2002) утицај хигроскопне влажности на промену димензија дрвета је већи код касног дрвета, с тим што је разлика у радијалном и тангенцијалном утезању касног дрвета јако мала, док је код раног дрвета радијално утезање далеко мање од тангенцијалног. Самим тим фактор површинске анизотропије раног дрвета је већи од оног за касно дрво.

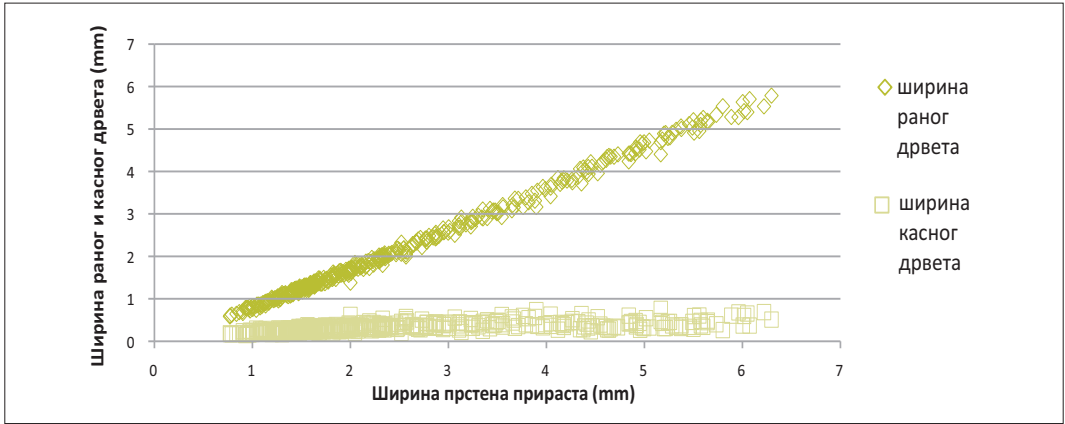
Како се ширина раног и касног дрвета мења са повећањем ширине прстена прираста можемо видети са слике 9. С обзиром да је ширина касног дрвета релативно константа, повећање ширине прстена прираста је уско повезано са повећањем ширине раног дрвета. Позивајући се на предходно поменута истраживања (Rafsanjani et al., 2015; Šoškić и Popović, 2002) очекује се да ће са повећањем ширине прстена прираста доћи до повећања фактора површинске анизотропије. Да је тако и у овом истраживању видимо са Слике 10. Између ширине прстена прираста и фактора површинске анизотропије постоји позитивна линеарна корелација. Коефицијент корелације износи 0,44, а једначина регресије је облика:

$$f = 0,1321 \times špp + 1,9556$$

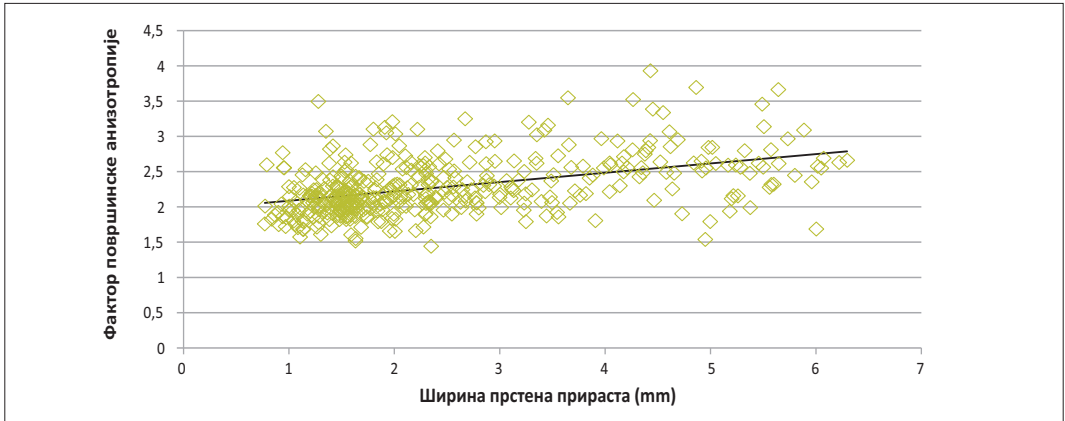
Утицај учешћа касног дрвета на фактор површинске анизотропије приказан је на слици 11. Између ова два параметра постоји негативна корелација, коефицијент корелације износи 0,40, а једначина регресије је облика:

$$f = -0,0351 \times ukd + 2,813$$

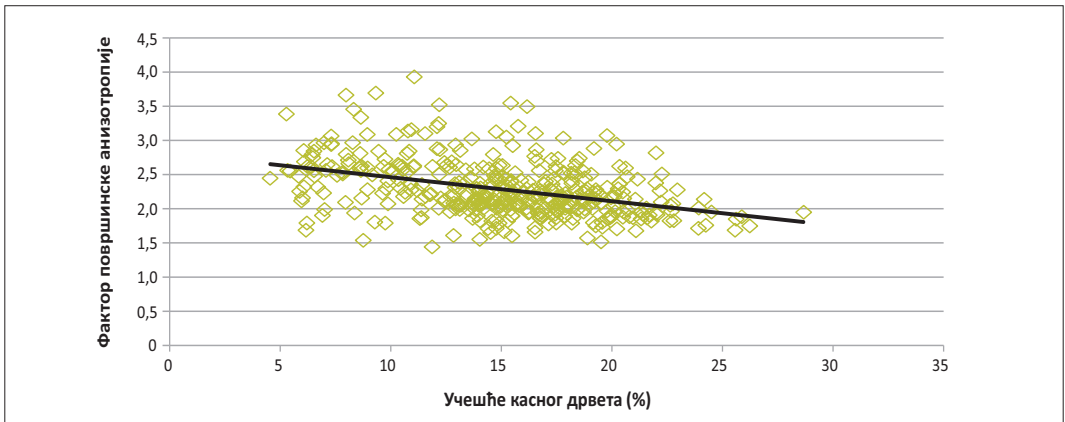
Да анизотропија трансферзалног утезања опада са повећањем густине дрвета показују разна истраживања (Mörath, 1932; Kollmann и Côté, 1968; Šoškić et al., 2007). Lukić-Simonović (1970) је испитујући утицај густине



Слика 9. Промена ширине раног и касног дрвета са повећањем ширине прстена прираста



Слика 10. Зависност фактора површинске анизотропије од ширине прстена прираста



Слика 11. Зависност фактора површинске анизотропије од учешћа касног дрвета

на фактор површинске анизотропије дрвета оморике дошла до закључка да се са порастом густине овај фактор смањује и да је то смањење знатно јаче при већој густини дрвета. Ту чињеницу потврђују и ова истраживања где регресиона анализа показује да се са порастом густине дрвета фактор површинске анизотропије смањује. Коефицијент корелације износи 0,52, а једначина регресије је облика:

$$f = -5,2456 \times \rho_0 + 4,6921$$

ЗАКЉУЧАК

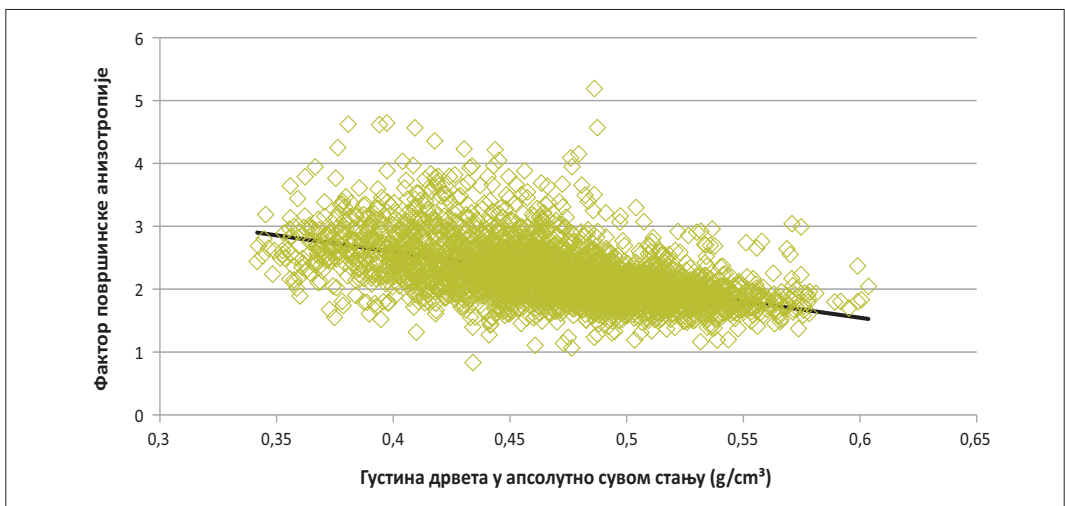
Анализом фактора површинске анизотропије дрвета Панчићеве оморике из култура и природних састојина у Републици Српској добијени су следећи резултати:

За стабла која су расла у културама просечна вредност фактора површинске анизотропије износи 2,67, док је његово варирање 19,32%. За стабла расла у природним састојинама просечни фактор површинске анизотропије износи 2,07, док је варирање 15,56%. Статистичка анализа (t-тест) фактора површинске анизотропије је показала да између култура и природних састојина постоји статистички значајна разлика.

Фактор површинске анизотропије расте са порастом висине од 0,3 до 1,3 m, даљим порастом висине у доњем делу стабла је углавном константан, а затим опада у горњем делу стабла.

Веће ширине прстенова прираста, односно мање учешће касног дрвета на узорцима који потичу из култура се одразило и на њихову густину која је мања у односу на густину узорака који потичу из природних састојина. Са порастом ширине прстенова прираста расте и фактор површинске анизотропије ($R=0,44$), док између учешћа касног дрвета и фактора површинске анизотропије постоји негативна линеарна корелација ($R=0,40$). Регресиона анализа је такође показала да се фактор површинске анизотропије смањује са порастом густине дрвета у апсолутно сувом стању влажности ($R=0,52$).

С обзиром да дрво из култура има већи фактор површинске анизотропије од дрвета из природних састојина, можемо очекивати да ће дрво из култура показати већу склоност ка деформацијама при сушењу, што даље води ка ограниченој употреби тог дрвета.



Слика 12. Зависност фактора површинске анизотропије од густине дрвета у апсолутно сувом стању влажности

ANISOTROPY OF TRANSVERSAL SWELLING OF SERBIAN SPRUCE WOOD (*Picea omorika* (Pančić) Purkyně)

Msc Danijela Petrović, senior research assistant, University of Banja Luka, Faculty of Forestry
(danijela.petrovic@sf.unibl.org)

Dr Zdravko Popović, full professor, University of Belgrade, Faculty of Forestry

Dr Nebojša Todorović, assistant professor, University of Belgrade, Faculty of Forestry

Dr Vojislav Dukić, associate professor, University of Banja Luka, Faculty of Forestry

Abstract: The paper presents the results of analysis of anisotropy of transverse swelling of the Serbian spruce wood. The analysis included six trees that come from plantations and nine trees from natural stands of Serbian spruce, and a total of 3098 samples were tested. The results show a change in transversal anisotropy at the height of the tree, as well as its change in radius. The dependence of this property on the growth rings width, the participation of late wood and the density of wood was determined by regression analysis.

Key words: *Picea omorika*, anisotropy of transversal swelling, plantations, natural stands

INTRODUCTION

Changing the content of hygroscopic water leads to a change in the dimensions of wood. These changes are the most pronounced in the tangential direction, somewhat less in the radial, and the least in the axial direction. According to Šoškić and Popović (2002), the average value of the total weight of a normal tree in the tangential direction is 8.5%, in radial 4% and in the axial 0.3%.

Many authors have explored what factors influence the different dimension changes in different directions. Some authors state that the variation of the cellular structure in the growth ring with early and late wood is responsible for the anisotropy of swelling (Boutelje, 1962; Watanabe *et al.*, 2000). According to others, it is also the angle of the microfibril structure (Frey-Wyssling, 1940; Skaar, 1988; Rafsanjani *et al.*, 2014), while some authors state that wood rays have a major impact on swelling anisotropy (McIntosh, 1954; Usta and Guray, 2000).

The ratio of tangential shrinkage or swelling to radial shrinkage or swelling is the anisotropy coefficient and it is used for the evaluation of the dimensional stability and usability of wood (Šoškić *et al.*, 2007). It shows the tendency of a particular species to a greater or lesser deformation. According to Christoforo *et al.* (2016), anisotropy coef-

ficient is an important parameter that indicates the quality of wood drying, and therefore the best option for its application.

This paper presents the results of an examination of the transversal anisotropy of Serbian spruce wood that comes from plantations and natural stands. Since today we have more and more trees coming from planted forests, where trees grow in completely different conditions, dimensional stability and deformation are the main concern when drying and using wood from these stands (Wang *et al.*, 2008).

MATERIAL AND METHODS

The research material was taken from five sites. In the locality of Dubrava (DU) and the locality of Srebrenica (SR), there are plantations of Serbian spruce, while in the sites Stolac 1 (S1), Stolac 2 (S2) and Gostilja (GO) there are natural stands. The location of Dubrava is near Banja Luka, and it is managed by SJC "Industrial Plantations", Banja Luka. Its altitude is 310 m, and the total area is 0.33 ha. The location of Srebrenica is located near Srebrenica and it belongs to FE "Drina" - Srebrenica. Its altitude is 880 m, and the total area of the

plantation is 0.6 ha. All three natural stands are located near Višegrad and are managed by FE “Panos” - Višegrad. The location of Stolac 1 is located at 1200 m above sea level, and Stolac 2 at 960 m above sea level, while the total area of the stands is 29.5 ha. The location Gostilja is at 1130 m above sea level, and the total area of this stand is 25.8 ha.

From each site, three trees (total of fifteen), with the same diameter class from 20 to 30 cm, were selected. The average age of the analyzed trees from plantations (PL) at a height of 0.3 m is 36 years, while the average diameter at breast height is 25.8 cm and the average height is 17.8 m. The analyzed trees from natural stands (NS) have

an average diameter at breast height of 30.0 cm and an average height of 25.4 m, while the average age at the height of 0.3 m is 124 years. Discs with a thickness of 5 cm were cut from each tree at different heights starting from 0.3 m, 1.3 m, and then at every two meters of height (Figure 1). After two months drying and sanding from the dried discs, samples measuring 20x20x30 mm were cut out, which were used for the analysis of the physical properties of wood. All the samples were marked so that their position in the disc or the trunk itself was known. A total of 3098 samples were cut and measured. The samples were first measured for dimensions in the axial, radial and tangential directions in the air dry state. The mass of the tube was measured on a scale of accuracy to 0.01 g. The samples (Figure 2) were scanned at a cross-section in order to determine the average growth ring width and the average percentage of late wood, using CDendro 7.6 and Coorecorder 7.6. After the scanning, the samples were dried to the oven dry state. After cooling in a desiccator, the dimensions were determined at the same place where they were measured before drying, in all three directions. After drying, the samples were immersed in the water where they reached a raw state of humidity. Again, dimensional measurements were made in the same places in all three directions.



Figure 1. Test discs

On the basis of the obtained data, the swelling in the radial and tangential direction was calculated, and then the anisotropy coefficient was calculated according to the equation:

$$f = \frac{\beta_t}{\beta_r}$$

β_t - swelling in the tangential direction (%)

β_r - swelling in the radial direction (%)



Figure 2. Prepared samples for scanning

RESULTS AND DISCUSSION

The results of the statistical analysis of the anisotropy coefficient by locations are shown in Table 1. The average values of this coefficient for trees from plantations and natural stands are also shown. The smallest average anisotropy coefficient has trees from the location Stolac 1 and it is 2.05 with a coefficient of variation of 16.06%,

while the largest has tree from the location Dubrava - 2.84 with a coefficient of variation of 17.57%. The other two locations of natural stands of Serbian spruce, Stolac 2 and Gostilja have an average anisotropy coefficient of 2.08, or 2.09, respectively, while for the location of Srebrenica it is 2.37.

The average value of the anisotropy coefficient for trees from plantations is 2.67, with a minimum value of 0.83 and a maximum of 4.64. The coefficient of variation is 19.32%. For trees from natural stands the determined anisotropy coefficient is 2.07, while the variation is 15.56%. The minimum measured value is 1.06, and the maximum is 5.19.

The analysis of variance of the anisotropy coefficient by locations showed that there is a statistically significant difference between the locations. The applied Duncan test showed that three homogeneous groups were formed (Table 2). In one homogeneous group are the locations of natural stands (Stolac 1, Stolac 2 and Gostilja), while the locations of plantations are separated into two homogeneous groups.

The application of the t-test in the analysis of the anisotropy coefficient showed that there was a statistically significant difference between the plantations and natural stands ($t = 39.00$, $p = 0.00$).

Examining the anisotropy coefficient of Serbian spruce wood from natural stands, Lukić-Simonović (1970) concluded that it is in the interval from 1.27 to 4.11, while its average value is 2.14, which is approximately the results for natural stands obtained in this paper.

How the anisotropy coefficient changes in height and the radius of the tree according to the locality, it is shown in Figures 3 - 7. From Figure 3 we can notice that in location Dubrava, the anisotropy coefficient increases from the bark to the interior and then again decreases towards the core. From Figure 4, it can be seen that at the location Srebrenica the trend of changing this coefficient along the radius is the same, except for a slight deviation at the height of 5.3 m.

Figures 5, 6, and 7 show the change in the anisotropy coefficient by the height and radius of the trees from the natural stands of Serbian spruce (locations Stolac 1, Stolac 2 and Gostilja). At the location Stolac 1, there is a constant decrease of this coefficient from the core to the bark, while at the locations Gostilja and Stolac 2 changes of the anisotropy coefficient along the radius are not the same at all heights. This difference in the change of the anisotropy coefficient along the radius, de-

Table 1. Anisotropy coefficient

Location	N	As	-95	+95	Min	Max	SD	CV (%)
DU	545	2.84	2.80	2.88	0.83	4.64	0.50	17.57
SR	295	2.37	2.32	2.41	1.31	3.44	0.39	16.58
PL	840	2.67	2.64	2.71	0.83	4.64	0.52	19.32
S1	859	2.05	2.02	2.07	1.16	3.49	0.33	16.06
S2	737	2.08	2.06	2.10	1.06	4.57	0.31	14.82
GO	662	2.09	2.06	2.11	1.19	5.19	0.33	15.64
NS	2258	2.07	2.05	2.08	1.06	5.19	0.32	15.56

Legend: N - number of tested samples; As - arithmetic mean; -95 - the lower boundary of the estimation interval with a probability of 95%; +95 - upper boundary of the estimated interval with a probability of 95%; Min - minimum value; Max - maximum value; SD - standard deviation; CV - coefficient of variation

Table 2. Analysis of variance of the anisotropy coefficient by locations

	Location					ANOVA		
	DU	SR	S1	S2	GO	F	p	Post-hoc ¹
f	2.84 ^c	2.37 ^b	2.05 ^a	2.08 ^a	2.09 ^a	502.2	0.00	3

¹ Number of homogeneous groups by Duncan's test; a, b, c – homogeneous groups

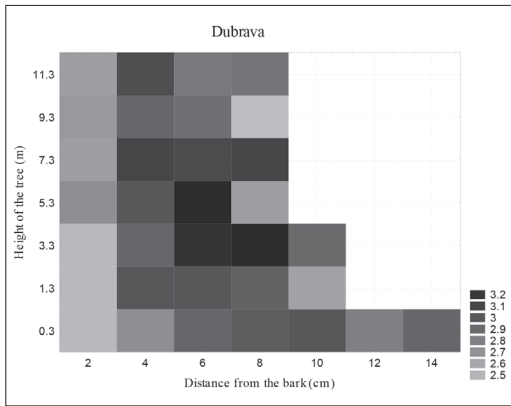


Figure 3. Change of the anisotropy coefficient by the height and radius of the tree for the location Dubrava

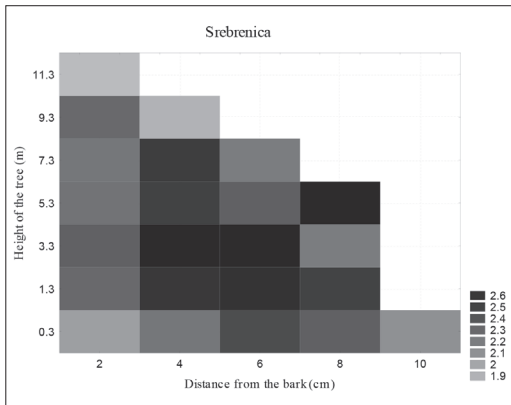


Figure 4. Change of the anisotropy coefficient by the height and radius of the tree for the location Srebrenica

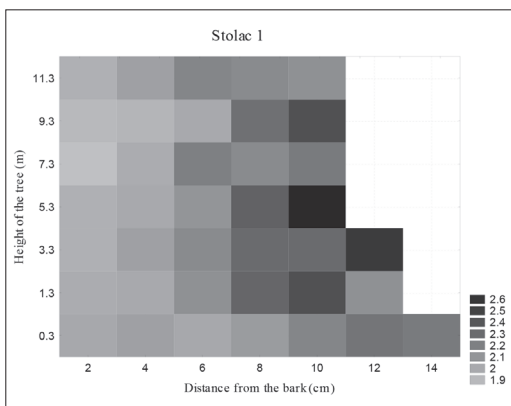


Figure 5. Change of the anisotropy coefficient by the height and radius of the tree for the location Stolac 1

pending on the site, can be explained above all by the stand conditions in which the trees grew.

When we observe a change of the anisotropy coefficient by the height of the tree (Figure 8), we can notice that it is similar to all locations. The anisotropy coefficient increases with an increase of 0.3 to 1.3 m in height, with further rise in the height of the lower part of the tree is mostly constant, and then decreases in the upper part of the tree.

Table 3 shows the average values of the growth ring width and the average percentage of the late wood for a certain number of tested samples, as well as the average values of oven dry wood density for all tested samples by locations.

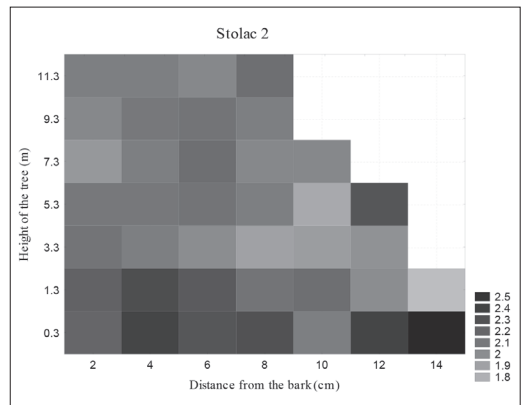


Figure 6. Change of the anisotropy coefficient by the height and radius of the tree for the location Stolac 2

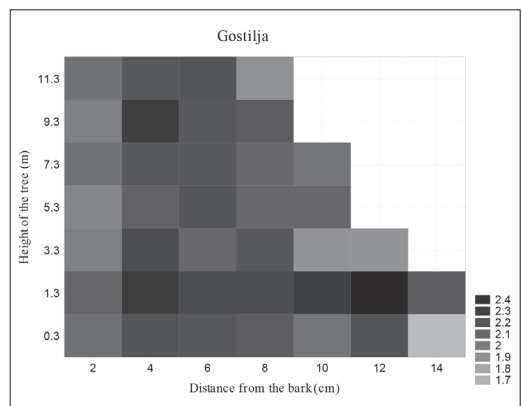


Figure 7. Change of the anisotropy coefficient by the height and radius of the tree for the location Gostilja

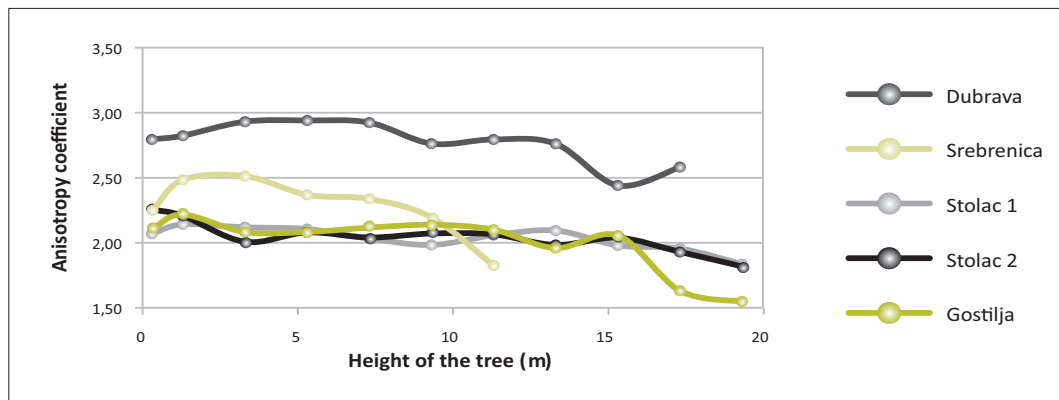


Figure 8. Change in the anisotropy coefficient by the height of the tree by location

Serbian spruce trees from the locations of Dubrava and Srebrenica (plantations) have higher average values of growth ring width, a lower percentage of late wood and lower average values of oven dry density compared to trees from natural stands (localities Stolac 1, Stolac 2 and Gostilja). According to Stajić (2010), the stand conditions are in addition to the genetic characteristics and habitat factors, the group of factors that influence diameter increment, that is, the growth ring width. Plantations as even-aged stands at the initial stage of growth have higher growth ring widths (Maunaga, 2012), unlike uneven-aged stands with a different flow of diameter increment. The change of growth ring width in conifers leads to a change in certain physical and mechanical properties of the wood (Šoškić and Popović, 2002).

The application of t-test showed that between the plantations and natural stands there is a statistically significant difference for all three parameters tested (Table 4).

Table 4. Testing differences in the growth ring width, the percentage of late wood and oven dry wood density between plantations and natural stands (t-test)

	t	p
grw	22,24	0,00
plw	-16,18	0,00
ρ_o	-43,74	0,00

Table 3. Growth ring width, percentage of the late wood and oven dry wood density

Location	grw			N	plw		N	ρ_o	
	N	As	SD		As	SD		As	SD
		mm				%			g/cm ³
DU	81	3.79	1.32	81	11.25	3.85	545	0.430	0.036
SR	80	3.69	1.26	80	11.69	4.18	295	0.406	0.037
PL	161	3.74	1.29	161	11.47	4.01	840	0.422	0.038
S1	80	1.68	0.55	80	17.53	3.71	859	0.502	0.040
S2	85	1.65	0.38	85	16.78	2.58	737	0.476	0.031
GO	80	1.74	0.64	80	17.82	3.57	662	0.477	0.029
NS	245	1.69	0.53	245	17.36	3.33	2258	0.487	0.036

Legend: grw - growth ring width; plw - percentage of late wood; ρ_o – oven dry wood density; N - number of tested samples; As - arithmetic mean; SD - standard deviation

The greater growth ring width, that is, the smaller percentage of late wood on the samples from the plantations also has a reflection on their density, which is smaller than the density of the samples from natural stands. Lukić-Simonović (1970), in her research of the natural stands of Serbian spruce, came to the conclusion that with the increase of growth ring width, the density decreases. This is due to the lower share of late wood in the growth ring, which directly affects the density itself. This is confirmed by these studies where trees from plantations with a higher average value of growth ring width, have less average value of percentage of late wood and consequently lower density than trees from natural stands.

Rafsanjani *et al.* (2015) examined the anisotropy of swelling of spruce at the level of the

growth ring, concluded that early wood with its wide lumens and thin walls behaves as strongly anisotropic material, while late wood with thick walls and narrow lumen is almost isotropic. According to Šoškić and Popović (2002), the influence of hygroscopic moisture on the change in wood dimensions is greater in late wood, with the very small difference in radial and tangential shrinkage, while in the early wood radial shrinkage is far less than the tangential. Therefore, the anisotropy coefficient of early wood is greater than the anisotropy coefficient of late wood.

Since the width of the early and late wood changes with the increase of the growth ring width, the change can be seen from Figure 9. Since the width of the late wood is relatively constant, the increase of the growth ring width is closely re-

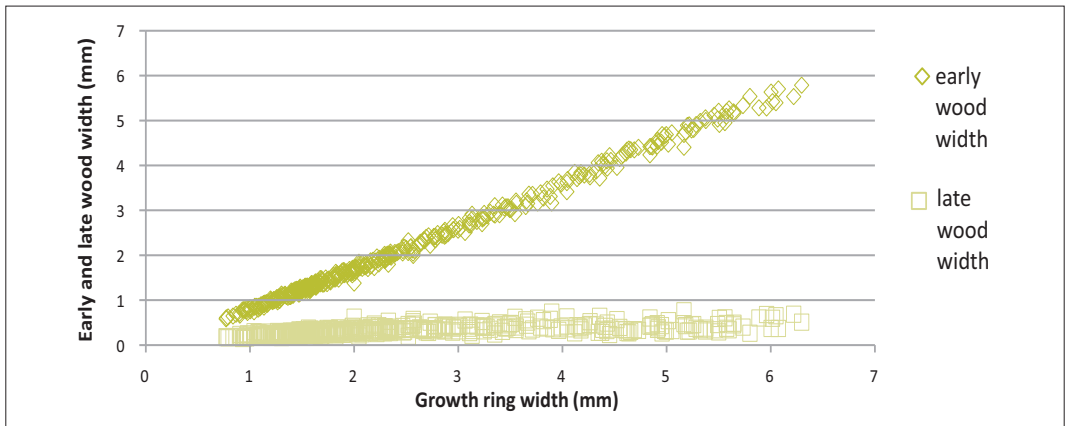


Figure 9. Change of early and late wood width with an increasing growth ring width

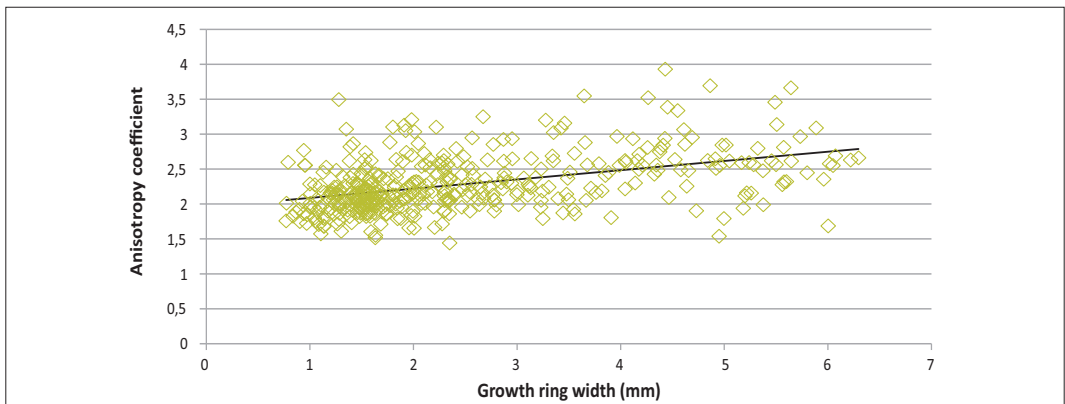


Figure 10. Dependence of the anisotropy coefficient on the growth ring width

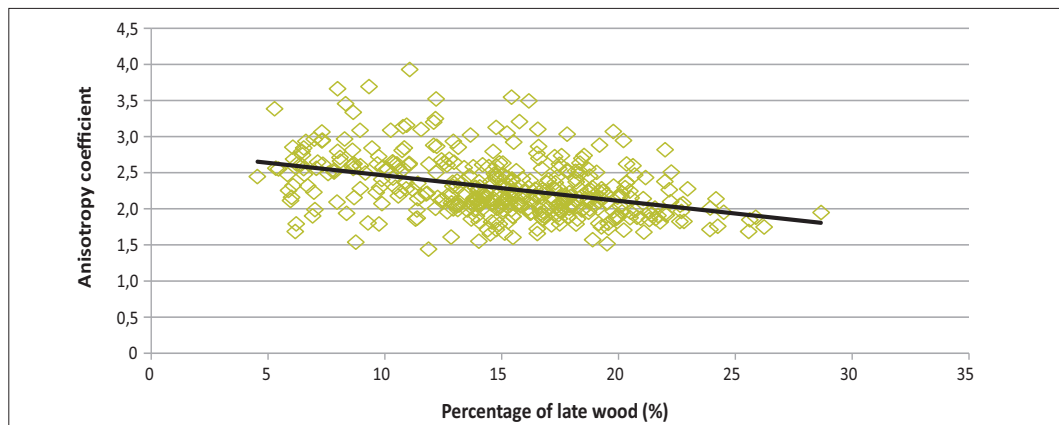


Figure 11. Dependence of the anisotropy coefficient on the percentage of late wood

lated to the increase of early wood width. Referring to the previously mentioned researchs (Rafsanjani *et al.*, 2015; Šoškić and Popović, 2002), it is expected that with an increasing ring width, the anisotropy coefficient will increase. That is so in this study, we see from Figure 10. There is a positive linear correlation between the growth ring width and the anisotropy coefficient. The correlation coefficient is 0.44, and the equation of regression is:

$$f = 0,1321 \times grw + 1,9556$$

The influence of late wood percentage on the anisotropy coefficient is shown in Figure 11. Be-

tween these two parameters there is a negative correlation, the coefficient of correlation is 0.40, and the equation of regression is:

$$f = -0,0351 \times plw + 2,813$$

Various studies show that the anisotropy of transversal shrinkage decreases with an increasing wood density (Mörath, 1932; Kollmann and Côté, 1968; Šoškić *et al.*, 2007). Lukić-Simonović (1970) examining the influence of density on the anisotropy coefficient of Serbian spruce wood has come to the conclusion that with the increase in density, this coefficient decreases, and that the reduction is significantly stronger at the higher den-

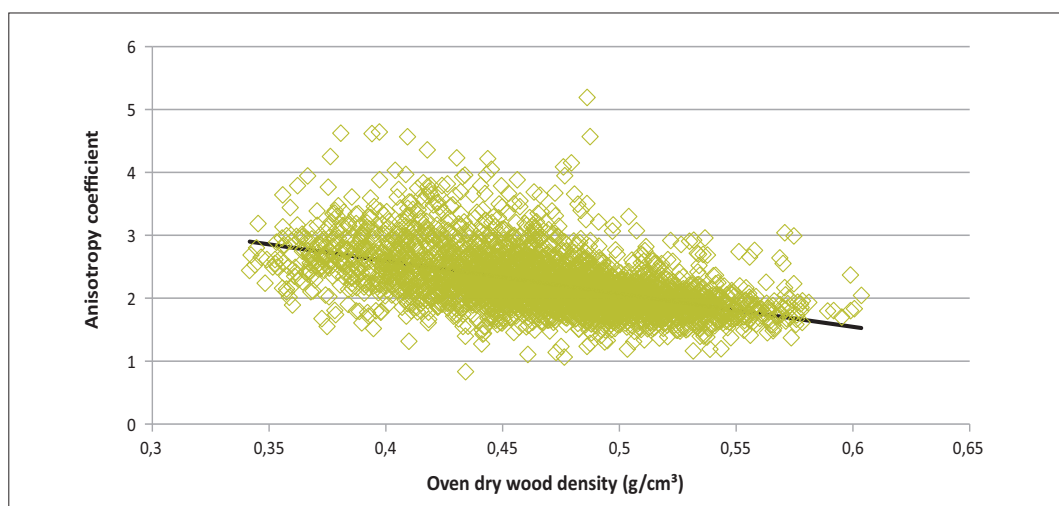


Figure 12. Dependence of the anisotropy coefficient on the oven dry density of wood

sity of wood. This fact is confirmed by this study, where the regression analysis shows that with the increase in wood density the anisotropy coefficient decreases (Figure 12). The correlation coefficient is 0.52, and the equation of regression is:

$$f = -5,2456 \times \rho_0 + 4,6921$$

CONCLUSION

Based on the analysis of the anisotropy coefficient of the Serbian spruce wood from the plantations and natural stands in the Republic of Srpska, the following results were obtained:

For trees that grew in plantations, the average value of the anisotropy coefficient is 2.67, while its variation is 19.32%. For trees grown in natural stands, the average anisotropy coefficient is 2.07, while the variation is 15.56%. The statistical analysis (t-test) of the anisotropy coefficient has shown that there is a statistically significant difference between the plantations and natural stands.

The anisotropy coefficient increases with an increase of 0.3 to 1.3 m in height, with a further rise in the height of the lower part of the tree which is mostly constant, and then decreases in the upper part of the tree.

The greater growth rings width, i.e. the smaller percentage of late wood in the samples that originate from plantations is also reflected in their density, which is smaller than the density of the samples originating from natural stands. With the increase of growth ring width, the anisotropy coefficient is also growing ($R = 0.44$), while there is a negative linear correlation between the percentage of late wood and the anisotropy coefficient ($R = 0.40$). The regression analysis also showed that the anisotropy coefficient decreases with the increase in oven dry wood density ($R = 0.52$).

Since the wood from plantations has a higher anisotropy coefficient than the wood from natural stands, we can expect that the wood from the plantations will show a greater tendency toward deformation during drying, which further leads to a limited use of that wood.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Boutelje JB. (1962): The Relationship of Structure to Transverse Anisotropy in Wood with Reference to Shrinkage and Elasticity. *Holzforchung*. 16(2) (33-46)
- Christoforo A. L., Almeida T. H., Almeida D. H., Santos J. C., Panzera T. H., Lahr F. A. R. (2016): Shrinkage for Some Wood Species Estimated by Density. *International Journal of Materials Engineering* 6(2) (23-27)
- Frey-Wyssling A. (1940): Die Anisotropie des Schwindmaßes auf dem Holzquerschnitt. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 3 (43-45)
- Kollmann F., Côté W. (1968): Principles of Wood Science and Technology I Solid Wood, Springer-Verlag New York, 592
- Lukić-Simonović N. (1970): Uopredna istraživanja tehnoloških svojstava drveta *Picea omorica* Panč. i *Picea excelsa* Lin. u vezi sa uticajem staništa. Doktorska disertacija. Glasnik Šumarskog fakulteta. Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Maunaga Z. (2012): Prirast šuma. Šumarski fakultet. Univerzitet u Banjoj Luci
- McIntosh D.C. (1954): Some aspects of the influence of rays on the shrinkage of wood. *J.For. Prod. Res. Soc. IV* (39-42)
- Mörath E. (1932): Studien über die hygroskopischen Eigenschaften und die Härte der Hölzer. Darmstadt
- Rafsanjani A., Derome D., Wittel F. K., Carmeliet J. (2015): Computational up-scaling of anisotropic swelling and mechanical behavior of hierarchical cellular material. *Composites Science and Technology* 72 (6/2012) (744-751)
- Rafsanjani A., Stiefel M., Jefimovs K., Mokso R., Derome D., Carmeliet J. (2014): Hygroscopic swelling and shrinkage of latewood cell wall micropillars reveal ultrastructural anisotropy. *J. R. Soc. Interface* 11: 20140126.
- Skaar C. (1988): Wood-Water Relations. New York: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Šoškić B., Govedar Z., Todorović N., Petrović D. (2007): Osnovna fizička svojstva drveta smrčje (*Picea abies* Karst.) iz kultura. Glasnik Šumarskog fakulteta. Beograd. (97-110)
- Šoškić B., Popović Z. (2002): Svojstva drveta. Šumarski fakultet Beograd

- Stajić, B. (2010): Karakteristike sastojinske strukture i rasta stabala u mešovitim sastojinama bukve i plemenitih lišćara na području nacionalnog parka „Đerdap“. Doktorska disertacija. Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Usta I., Guray A. (2000): Comparison of the Swelling and Shrinkage Characteristics of Corcisan Pine (*Pinus nigra* var. *maritima*). *Turk J Agric For* 24 (461–464)
- Wang E., Chen T., Pang S., Karalus A. (2008): Variation in anisotropic shrinkage of plantation grown *Pinus radiata* wood. *Maderas. Ciencia y tecnología* 10(3): (243-249)
- Watanabe U., Norimoto M., Morooka T. (2000): Cell wall thickness and tangential Young's modulus in coniferous early wood. *Journal of Wood Science*. 46(2) (109-114)

