

UDK: 630*812.72

Оригинални научни рад

<https://doi.org/10.2298/GSF1716171P>

НАПОН НА ПРИТИСАК УПРАВНО НА ВЛАКАНЦА ДРВЕТА ПАНЧИЋЕВЕ ОМОРИКЕ (*Picea omorika* (Pančić) Purkyně) ИЗ КУЛТУРА И ПРИРОДНИХ САСТОЈИНА

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

Извод: У овом раду приказани су резултати испитивања напона на притисак дрвета Панчићеве оморице из култура и природних састојина. Испитан је напон на притисак управно на влаканца при дејству силе у радијалном и тангенцијалном правцу. За условну граничну дилатацију узета је дилатација од 1%, а одговарајући напон за условни гранични састојина. Укупно је испитано 309 епрувета. Регресионом анализом је испитана зависност ових механичких својстава од ширине прстенова прираста, учешћа касног дрвета и густине дрвета.

Кључне речи: *Picea omorika*, напон на притисак управно на влаканца, културе, природне састојине

УВОД

Панчићева оморица, као терцијерни реликт и ендемит Балканског полуострва, је предмет бројних истраживања код нас и у свету. Isajev (1987) наводи да је то врста са израженом еколошком пластичношћу, као и морфолошком и физиолошком варијабилношћу и да се одговарајућим методама оплемењивања оморице може реконструисати у смислу шире и адекватније примене. Укупна површина природних састојина оморице у Босни и Херцеговини и Србији износи 3090,2 ha, док површина вештачки подигнутих састојина износи свега 35,36 ha (Ivetić i Aleksić, 2016).

Како се раст дрвета у вештачки подигнутим састојинама не може изједначити са растом у природним састојинама, то се сигурно одражава и на његова механичка својства. У овом

раду приказани су резултати испитивања напона на притисак дрвета оморице из култура и природних састојина. Бројни истраживачи су испитивали напон на притисак при различитим угловима деловања силе у односу на правац пружања влаканаца и у односу на прстенове прираста (Reiterer i Stanzl-Tschegg, 2001; Blass i Gorlacher, 2004; Franke i Quenneville, 2010; Basta *et al.*, 2011). У овом раду је испитан напон на притисак управно на влаканца при дејству силе у радијалном и тангенцијалном правцу с обзиром да су дијаграми напон-дилатација при дејству силе у ова два правца различити. Tabarsa i Chui (2001) наводе да код четинара у еластичном подручју при дејству силе у радијалном правцу, измерена деформација је изазвана савијањем радијал-

них зидова, са малим учешћем тангенцијалних зидова. Међутим, при дејству силе у тангенцијалном правцу измерена деформација садржи и савијање слојева касног дрвета и деформацију ћелијског зида.

С обзиром да напон на притисак управно на влаканца може бити лимитирајуће својство за многе производе од дрвета, испитивање овог својства је веома значајно. Међутим, неопходно је напоменути да не постоји максимални напон који се региструје у тренутку непосредно пре лома зато што при испитивању овог напона не долази до лома, већ до збијања анатомских компоненти дрвета. Према Магђанови и Роровићу (1992) када је у питању притисак управно на влаканца, недефинисана зависност напона и дилатације у области "пластичног течња" намеће потребу за увођењем појма условне чврстоће која одговара некој, унапред утврђеној, дилатацији. Kollmann i Côté (1968) наводе да се за дефинисање напона на притисак управно на влаканца узима напон на граници пропорционалности или напон при дилатацији од 1%. Serrano i Enquist (2010) наводе да се према европским стандардима узима напон при дилатацији од 1%, тако да је у овом раду та величина узета за условну граничну дилатацију, а одговарајући напон за условну гранични напон.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Материјал за истраживање је узет са пет локалитета. Локалитет Дубрава (ДУ) је култура

оморике која се налази у близини Бањалуке и припада ЗДП „Индустријске плантаже“ а.д. Бања Лука. Заузима укупну површину од 0,33 ха. Локалитет Сребреница (СР) је култура оморике која се налази у близини Сребренице и припада ШГ „Дрина“ – Сребреница. Укупна површина културе износи 0,6 ха. Локалитет Гостиља (ГО) где се налази природна састојина оморике, у близини је Вишеграда. Њом управља ШГ „Панос“ – Вишеград, а укупна површина је 25,8 ха. ШГ „Панос“ Вишеград газдује и површином на којој се налази локалитет Столац 1 (С1) и Столац 2 (С2). Укупна површина је 29,5 ха. У Табели 1. дате су координате, експозиција, нагиб и надморска висина одабраних локалитета.

Са сваког локалитета одабрано је и оборено по три стабла. Из сваког стабла је изрезано по три трупца дужине 1,2 м. Један трупац је узет са висине од 1,3 м, један из дела дебла непосредно испод прве зелене гране, а један трупац је узет са висине која је на средини између поменути две висине. Из њих су изрезане радијалне даске дебљине 60 mm, из којих су се после природног сушења и обраде на дебљачи свеле на дебљину 50 mm. Од њих су израђене епрувете за испитивање напона на притисак управно на влаканца димензија 50×50×150 mm (Слика 1). Испитивање напона на притисак управно на влаканца урађено је у радијалном и тангенцијалном правцу на 309 епрувета. Епрувете су 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 (Слика 2). Пре испитивања су још измерене

Табела 1. Координате, експозиција, нагиб и надморска висина одабраних локалитета

Локалитет	Порекло састојине	Координате		Експозиц.	Нагиб	Надм. висина (m)
Дубрава (ДУ)	Култура	064-61-754E	049-56-083N	-	-	310
Сребреница (СР)	Култура	066-15-221E	048-75-163N	W/N	3°	880
Столац 1 (С1)	Природна састојина	066-03-458E	048-65-199N	N	34°	1200
Столац 2 (С2)	Природна састојина	066-02-805E	048-65-509N	N/E	45°	960
Гостиља (ГО)	Природна састојина	066-07-453E	048-57-964N	N	36°	1130

димензије у сва три анатомска правца и маса. Испитивање напона на притисак је рађено на машини Messphysik „Beta 200“ на Машинском факултету Универзитета у Бањој Луци (Слика 3). Брзина помака притискивача је износила 1 mm у минути. Испитивање је рађено тако да напон сигурно пређе границу пропорционалности и да дође до одређене деформације. Епрувете су после испитивања сушене до апсолутно сувог стања ради одређивања влажности у тренутку испитивања. Добијене вредности напона у тренутку испитивања су сведене на вредности напона при стандардној влажности (12%) применом следећег обрасца:

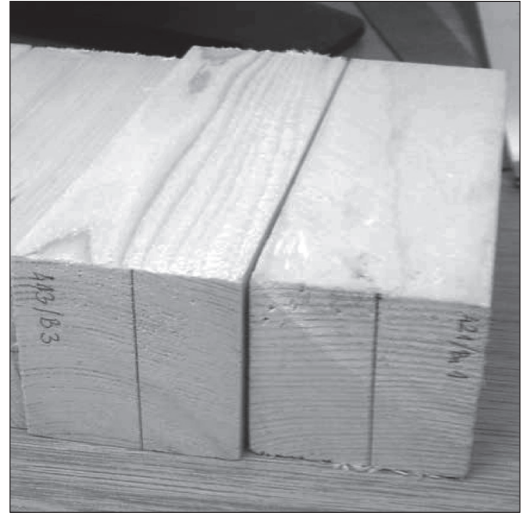
$$\sigma_{p12} = \sigma_{pv} \times [1 + 0,04 \times (v_o - 12)] \text{ (MPa)}$$

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

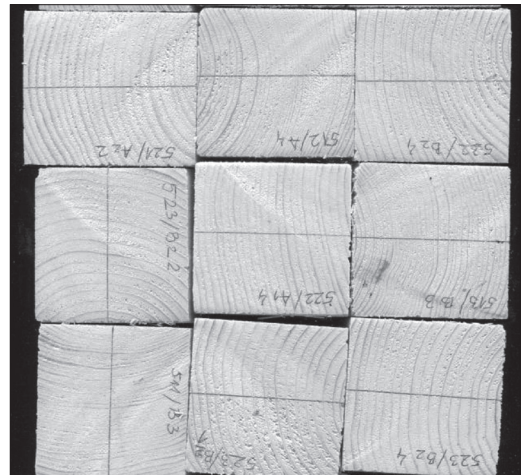
У Табели 2. су приказане просечне вредности влажности и густине дрвета епрувета у тренутку испитивања, као и просечна ширина прстена прираста и просечно учешће касног дрвета на испитаним епруветама. Можемо да приметимо да стабла оморице са локалитета на којима се налазе културе (Дубрава и Сребреница) имају мању просечну густину у осушеном стању у односу на стабла из природних састојина (локалитети Столац 1, Столац 2 и Гостиља). Примена t-теста је показала да између култура и природних састојина постоји статистички значајна разлика ($t=-17,46$; $p=0,00$). Разлика у густини не чуди с обзиром да густина код четинара у великој мери зависи од ширине прстенова прираста, односно учешћа касног дрвета које је доста мање код стабала оморице која потичу из култура.

Lukić-Simonović (1955) је у својим истраживањима природних састојина оморице дошла до резултата да просечна густина дрвета оморице при 15% влажности износи $0,482 \text{ g/cm}^3$, што је нешто мање у односу на густину оморице из природних састојина испитане у овом истраживању. Komert (1993) је испитујући густину дрвета оморице из култура при 12% влажности утврдио да је просечна густина $0,467 \text{ g/cm}^3$.

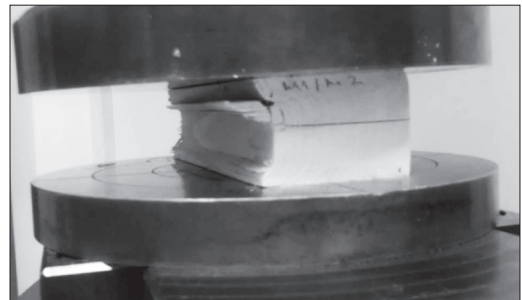
Просечне вредности напона на притисак управно на влаканца при дилатацији од 1% и при дејству силе у радијалном правцу, као и



Слика 1. Епрувете за испитивање



Слика 2. Скениране епрувете



Слика 3. Испитивање напона на притисак у тангенијалном правцу

Табела 2. Просечне вредности ширине прстенова прираста, учешћа касног дрвета, густине и влажности дрвета у тренутку испитивања

Локалитет	Правац испитивања	N	u_a	žpp	ukd	ρ_p		
			As	As	As	As	SD	CV
			%	mm	%	g/cm ³	%	
ДУ	Радијални	25	10,07	4,78	9,63	0,453	0,032	6,98
	Тангенцијални	27	10,06	4,82	8,97	0,457	0,031	6,83
СР	Радијални	23	10,24	4,90	9,41	0,436	0,020	4,53
	Тангенцијални	25	9,97	4,93	9,10	0,436	0,027	6,21
С1	Радијални	35	10,43	1,82	16,86	0,518	0,033	6,35
	Тангенцијални	35	9,71	1,84	16,25	0,513	0,035	6,77
С2	Радијални	35	9,74	1,57	17,52	0,508	0,027	5,22
	Тангенцијални	34	8,69	1,64	17,02	0,509	0,030	5,87
ГО	Радијални	36	10,80	1,85	16,45	0,512	0,033	6,44
	Тангенцијални	34	10,68	1,89	16,52	0,509	0,032	6,35

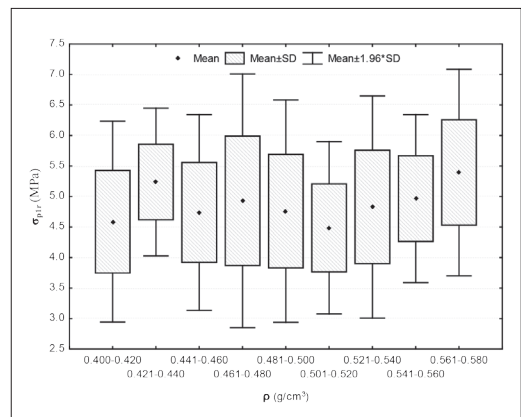
Легенда: N - број испитаних епрувета; u_a - апсолутна влажност у тренутку испитивања; žpp - ширина прстенова прираста; ukd - учешће касног дрвета; pp – густина дрвета у просушеном стању влажности; As - аритметичка средина; SD - стандардна девијација; CV - коефицијент варијације

остали статистички параметри приказани су у Табели 3. Средње вредности се крећу од 3,96 МПа (локалитет Столац 2) до 5,31 МПа (локалитет Дубрава). Највеће варирање овог напона је на локалитету Столац 2 (22,71%), а најмање на локалитету Сребреница (11,64%). Када посматрамо промену напона по висини стабла по локалитетима, можемо да приметимо да се на локалитетима Столац 1 и Гостиља са порастом висине напон повећава, док се на локалитетима Дубрава и Сребреница са порастом висине напон прво смањује, а затим опет повећава. На локалитету Столац 2 напон се са порастом висине прво повећава а затим смањује. На основу тога можемо констатовати да не постоји јасно правило како се овај напон мења са висином стабла по локалитетима. Просечна вредност напона на притисак управно на влакнца при дилатацији од 1% и при дејству силе у радијалном правцу за стабла из култура (КУ) износи 4,96 МПа, док је коефицијент варијације 17,58%. Просечна вредност овог напона за стабла из природних састојина (ПС) је 4,35 МПа, а коефицијент варијације износи 18,24%.

Када посматрамо средње вредности напона на притисак управно на влакнца у радијал-

ном правцу за различите интервале густине, можемо да приметимо да нема никакве зависности овог својства од густине дрвета. Постоји велика варијабилност у оквиру сваког интервала (Слика 4).

У Табели 4. приказане су просечне вредности напона на притисак при дилатацији од 1% и при дејству силе у тангенцијалном правцу по



Слика 4. Напон на притисак управно на влакнца при дејству силе у радијалном правцу за различите интервале густине

Табела 3. Напон на притисак управно на влаканца при дејству силе у радијалном правцу

Локалитет	Висина Дебла	σ_{pr}							
		N	As	-95	+95	Min	Max	SD	CV
		(MPa)						(%)	
ДУ	I	8	5,73	4,88	6,58	4,15	7,51	1,02	17,75
	II	8	4,93	4,13	5,73	3,65	6,36	0,96	19,47
	III	9	5,29	4,59	5,98	4,31	7,25	0,91	17,21
		25	5,31	4,91	5,72	3,65	7,51	0,98	18,38
СР	I	9	4,60	4,17	5,04	3,55	5,47	0,56	12,23
	II	7	4,48	4,02	4,94	3,90	5,21	0,49	11,01
	III	7	4,62	4,06	5,17	3,61	5,48	0,60	12,95
		23	4,57	4,34	4,80	3,55	5,48	0,53	11,64
КУ		48	4,96	4,70	5,21	3,55	7,51	0,87	17,58
С1	I	11	4,36	3,92	4,79	3,57	5,27	0,65	14,83
	II	12	4,66	4,33	4,99	3,86	5,54	0,53	11,27
	III	12	4,95	4,59	5,30	3,78	5,90	0,56	11,30
		35	4,66	4,45	4,87	3,57	5,90	0,61	13,08
С2	I	11	3,80	2,88	4,71	2,88	7,73	1,37	36,03
	II	12	4,21	3,74	4,67	3,34	5,65	0,73	17,37
	III	12	3,85	3,60	4,10	3,26	4,48	0,39	10,20
		35	3,96	3,65	4,26	2,88	7,73	0,90	22,71
ГО	I	12	4,10	3,76	4,45	3,43	5,21	0,54	13,19
	II	12	4,30	3,80	4,80	3,10	5,38	0,79	18,36
	III	12	4,89	4,57	5,21	4,26	6,20	0,51	10,38
		36	4,43	4,20	4,67	3,10	6,20	0,70	15,69
ПС		106	4,35	4,20	4,50	2,88	7,73	0,79	18,24

Легенда: σ_{pr} - напон на притисак управно на влаканца при дилатацији од 1% и дејству силе у радијалном правцу, 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

локалитетима при стандардној влажности, као и остали статистички параметри. Најмању просечну вредност овог напона имају стабла са локалитета Сребреница (4,39 МПа), а највећу стабла са локалитета Столац 1 (5,28 МПа). Коефицијент варијације се креће од 14,13% (локалитет Дубрава) до 21,54% (локалитет Столац 2). Промена овог напона по висини није иста за

све локалитете. На локалитетима Дубрава и Гостиља напон се са висином прво смањује затим повећава, на локалитету Сребреница се повећава, на локалитету Столац 1 се повећава па смањује, док се на локалитету Столац 2 смањује са висином. Просечна вредност напона на притисак управно на влаканца при дилатацији од 1% и при дејству силе у тангенцијалном

Табела 4. Напон на притисак управно на влаканца при дејству силе у тангенцијалном правцу

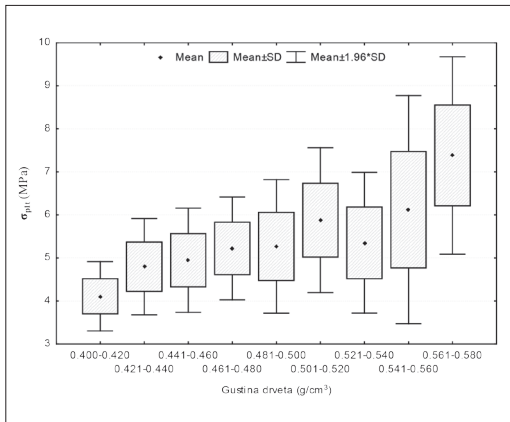
Локалитет	Висина дебела	σ_{pit}							
		N	As	-95	+95	Min	Max	SD	CV
		(MPa)							(%)
ДУ	I	9	4,99	4,56	5,42	4,13	5,61	0,56	11,25
	II	9	4,63	4,08	5,19	3,41	5,45	0,72	15,55
	III	9	4,77	4,18	5,36	3,67	5,92	0,77	16,06
		27	4,80	4,53	5,06	3,41	5,92	0,68	14,13
СР	I	9	4,23	3,77	4,70	3,29	5,32	0,61	14,34
	II	9	4,45	3,61	5,28	3,17	7,04	1,08	24,34
	III	7	4,53	4,09	4,97	3,79	4,92	0,48	10,53
		25	4,39	4,08	4,71	3,17	7,04	0,77	17,43
КУ		52	4,60	4,39	4,81	3,17	7,04	0,74	16,14
С1	I	11	4,92	4,19	5,64	3,75	7,01	1,08	21,98
	II	12	5,62	4,90	6,34	4,18	7,36	1,13	20,10
	III	12	5,27	4,64	5,91	4,36	7,42	1,00	18,93
		35	5,28	4,91	5,65	3,75	7,42	1,08	20,42
С2	I	12	5,23	4,23	6,22	3,20	8,11	1,56	29,85
	II	12	4,97	4,62	5,31	4,28	5,77	0,54	10,91
	III	10	4,57	4,03	5,10	3,32	5,55	0,75	16,35
		34	4,94	4,57	5,31	3,20	8,11	1,06	21,54
ГО	I	12	5,04	4,55	5,52	3,50	6,05	0,77	15,24
	II	11	4,61	4,15	5,07	3,46	5,55	0,68	14,83
	III	11	4,81	4,22	5,41	2,70	5,85	0,89	18,42
		34	4,83	4,56	5,10	2,70	6,05	0,78	16,15
ПС		103	5,02	4,82	5,21	2,70	8,11	0,99	19,80

Легенда: σ_{pit} - напон на притисак управно на влаканца при дилатацији од 1% и дејству силе у тангенцијалном правцу; 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

правцу за стабла из култура износи 4,60 МПа, док је коефицијент варијације 16,14%. За стабла из природних састојина просечна вредност овог напона је 5,02 МПа, а коефицијент варијације је 19,80%.

Када посматрамо средње вредности напона на притисак управно на влаканца у танген-

цијалном правцу за различите интервале густине (Слика 5), имамо потпуно другачију слику од оне са Сликe 4. Овде постоји очигледна зависност напона од густине дрвета, а његове вредности се крећу од 4,11 МПа за интервал густине 0,400-0,420 g/cm³, до 7,38 МПа за интервал густине 0,561-0,580 g/cm³.



Слика 5. Напон на притисак управно на влаканца при дејству силе у тангенцијалном правцу за различите интервале густине

Анализа варијансе напона на притисак управно на влаканца по локалитетима показала је да постоји статистички значајна разлика између локалитета. Примењени Duncan тест је показао да се могу формирати три хомогене групе када је у питању напон на притисак управно на влаканца у радијалном правцу и две групе када је у питању напон на притисак управно на влаканца у тангенцијалном правцу (Табела 5).

Када упоредимо добијене вредности напона на притисак управно на влаканца при дилатацији од 1% при дејству силе у тангенцијалном (σ_{pt}) и при дејству силе у радијалном правцу (σ_{pr}), видимо да стабла из култура имају мањи напон на притисак у тангенцијалном правцу, а већи у радијалном правцу од стабала из природних састојина. Према неким ауторима (Kollmann, 1951, Mönck i Rug, 2000, Šoškić i Popović, 2002) напон на притисак

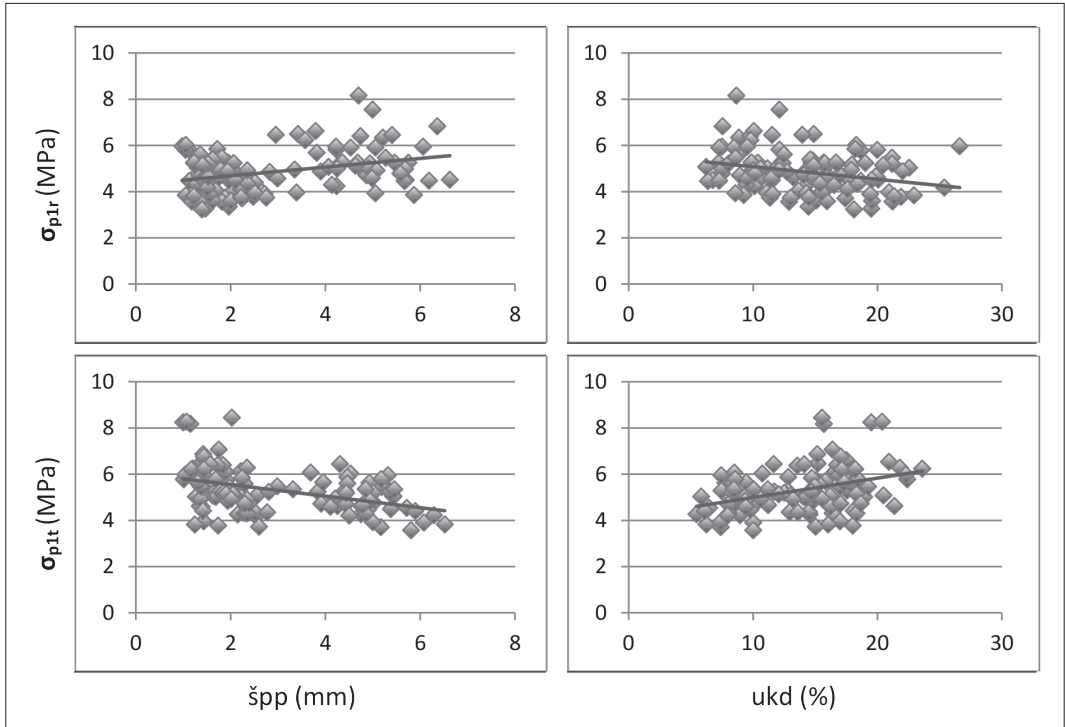
управно на влаканца у тангенцијалном правцу четинара је већи од напона у радијалном правцу. Међутим за четинаре мањих густина ова констатације не важи увек, што потврђује истраживање Rothmund-a (1949). Он је испитујући напон на притисак управно на влаканца смрче дошао до резултата да смрча која има мању густину има већи напон на притисак у радијалном правцу, а смрча веће густине има већи напон на притисак у тангенцијалном правцу. У овом истраживању су добијени исти резултати с обзиром да стабла из култура оморике имају мању густину дрвета од стабала из природних састојина. Као разлог оваквих резултата Schneeweiß i Felber (2013) налазе у чињеници да је при дејству силе у радијалном правцу напон одређен само раним дрветом, а његово учешће је веће код дрвета мање густине. При дејству притисне силе у радијалном правцу слојеви касног дрвета понашају као дистрибутери оптерећења, док је напон одређен најслабијим слојем раног дрвета. Касно дрво има далеко већи утицај на напон на притисак при дејству силе у тангенцијалном правцу од раног дрвета.

Ове наводе потврђују и испитани утицаји ширине прстена прираста и учешћа касног дрвета на напон на притисак управно на влаканца у радијалном и тангенцијалном правцу (Слика 6 и Табела 6). Регресиона анализа која је обухватила све испитане епрувете је показала да ширина прстена прираста утиче позитивно на напон у радијалном правцу ($R=0,34$), а негативно на напон у тангенцијалном правцу ($R=0,42$). Утицај учешћа касног дрвета на напон у радијалном правцу је мали ($R=0,28$) и негативан, док на напон у тангенцијалном правцу има већи ($R=0,38$) и позитиван утицај.

Табела 5. Анализа варијансе напона на притисак управно на влаканца при дејству силе у радијалном и тангенцијалном правцу по локалитетима

	Локалитет					ANOVA		
	ДУ	СП	С1	С2	ГО	F	p	Post-hoc ¹
σ_{pr} (MPa)	5,31 ^c	4,57 ^a	4,66 ^a	3,96 ^b	4,43 ^a	12,05	0,000	3
σ_{pt} (MPa)	4,80 ^{a,b}	4,39 ^b	5,28 ^a	4,94 ^a	4,83 ^{a,b}	3,64	0,007	2

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



Слика 6. Зависност напона на притисак управно на влаканца при дејству силе у радијалном и тангенцијалном правцу од ширине прстена прираста и учешћа касног дрвета

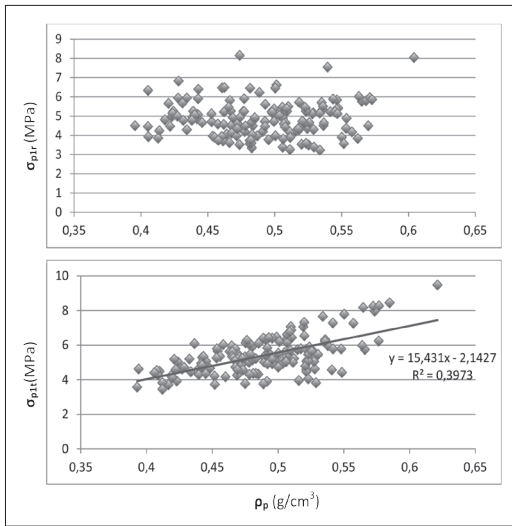
Испитивањем корелационе зависности између напона на притисак управно на влаканца при дејству силе у радијалном правцу и густине дошло се до закључка да она не постоји. Међутим испитивањем корелационе зависности између напона на притисак управно на вла-

канца при дејству силе у тангенцијалном правцу и густине дошло се до закључка да постоји позитивна линеарна зависност. Утврђени коефицијент корелације ($R=0,63$) показује да постоји јака корелација између ова два параметра (Слика 7).

Табела 6. Зависност напона на притисак управно на влаканца при дејству силе у радијалном и тангенцијалном правцу од ширине прстена прираста и учешћа касног дрвета

Посматрана зависност	Параметри линеарне регресије		R^2	R
	a	b		
σ_{p1r} - špp	4,3086	0,1884	0,1173	0,3425
σ_{p1r} - ukd	5,6196	-0,0543	0,0774	0,2782
σ_{p1t} - špp	6,0448	-0,2497	0,1727	0,4156
σ_{p1t} - ukd	4,1462	0,0841	0,1455	0,3814

Легенда: σ_{p1r} - напон на притисак управно на влаканца при дилатацији од 1% и дејству силе у радијалном правцу; σ_{p1t} - напон на притисак управно на влаканца при дилатацији од 1% и дејству силе у тангенцијалном правцу; špp - ширина прстенова прираста; ukd - учешће касног дрвета; R^2 - коефицијент детерминације; R - коефицијент корелације



Слика 7. Зависност напона на притисак управно на влаканца при дејству силе у радијалном и тангенцијалном правцу од густине дрвета

ЗАКЉУЧАК

На основу анализе узорака Панчићеве оморике из култура и природних састојина у Републици Српској добијени су следећи резултати:

Просечна вредност напона на притисак управно на влаканца при дилатацији од 1% и

при дејству силе у радијалном правцу за стабла из култура износи 4,96 МПа, а коефицијент варијације је 17,58%, док је просечна вредност овог напона за стабла из природних састојина 4,35 МПа, а коефицијент варијације 18,24%. Резултати потврђују чињеницу да је при дејству силе у радијалном правцу напон одређен само раним дрветом чије је учешће веће код дрвета из култура.

Просечна вредност напона на притисак управно на влаканца при дилатацији од 1% и при дејству силе у тангенцијалном правцу за стабла из култура износи 4,60 МПа, а коефицијент варијације је 16,14%, док је за стабла из природних састојина просечна вредност овог напона 5,02 МПа, а коефицијент варијације 19,80%.

Ширина прстена прираста има позитиван утицај на напон у радијалном правцу, а негативан на напон у тангенцијалном правцу. Утицај учешћа касног дрвета на напон у радијалном правцу је мали и негативан, док на напон у тангенцијалном правцу има већи и позитиван утицај. Између напона на притисак управно на влаканца при дејству силе у радијалном правцу и густине не постоји зависност, док између напона на притисак управно на влаканца при дејству силе у тангенцијалном правцу и густине постоји јака позитивна линеарна зависност.

COMPRESSION STRENGTH PERPENDICULAR TO GRAIN OF SERBIAN SPRUCE (*Picea omorika* (Pančić) Purkyně) WOOD FROM PLANTATIONS AND NATURAL STANDS

MSc Danijela Petrović, senior research assistant, Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet (danijela.petrovic@sf.unibl.org)

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

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

Abstract: This paper presents the results of testing the compression of Serbian spruce wood from plantations and natural stands. Compression perpendicular to grain in radial and tangential direction was tested. A dilatation of 1% was taken for a conditional boundary dilatation, and the appropriate strength for the conditional limit strength was taken. Six trees from plantations and nine trees from natural stands were analyzed. In total, 309 samples were tested. The regression analysis examined the dependence of these mechanical properties on the width of the annual rings, the percentage of late wood and wood density.

Key words: *Picea omorika*, compression strength perpendicular to grain, plantations, natural stands

INTRODUCTION

Serbian spruce, as a tertiary relict and the endemic of the Balkan peninsula is the subject of numerous studies in Bosnia and Herzegovina and abroad. Isajev (1987) states that it is a species with expressed ecological plasticity, as well as morphological and physiological variability, and it can be reconstructed in terms of wider and more adequate use by appropriate methods of breeding. The total area of natural stands in Bosnia and Herzegovina and Serbia is 3,090.2 ha while the area of artificial stands is only 35.36 ha (Ivetic and Aleksić, 2016).

As the growth of wood in artificial stands cannot be equated with growth in natural stands, this is certainly reflected on its mechanical properties. In this paper, the results of testing of the compression of Serbian spruce wood from plantations and natural stands are presented. Numerous researchers examined compression strength including different load-to-grain angles and annual ring directions (Reiterer and Stanzl-Tscheegg, 2001; Blass and Gortlacher, 2004; Franke and Quenneville, 2010; Basta *et al.*, 2011). In this paper, compression strength perpendicular to grain in radial and tangential direction was tested, since stress-dilatation diagrams are different when load is in these two directions. Tabars and Chui (2001) state that, for softwood in the elastic region, in the case of loading force in the radial direction, the measured deformation was caused by the bending of radial walls, with a small proportion of tangential walls. However, in the case of loading force in the tangential direction, the measured deformation includes bending of late wood layers and deformation of the cell wall.

Considering that the compression strength perpendicular to grain can be a limiting feature

for many wood products, the testing of this property is very important. However, it is necessary to note that there is no maximum stress which is registered at the moment immediately before the fracture, because in the testing of this strength there is no breakdown, but rather the compaction of the anatomical components of wood. According to Marjanov and Popović (1992) when it comes to compression perpendicular to grain, the undefined dependence of stress and dilatation in the field of "plastic creep" imposes the need for the introduction of a notion of conditional strength corresponding to a predetermined dilatation. Kollmann and Côté (1968) show that for the definition of compressive strength perpendicular to grain take only the fiber stress at a proportional limit or the stress which causes 1% deformation. Serrano and Enquist (2010) state that, according to European standards, the strength at dilation of 1% is taken, so in this paper 1% is taken for conditional boundary dilatation and the corresponding strength for conditional limit strength.

MATERIAL AND METHODS

The research material was taken from five locations. The location Dubrava (DU) is a plantation of Serbian spruce located near Banja Luka and belongs to SJC "Industrijske plantaže", Banja Luka. It occupies a total area of 0.33 ha. The Srebrenica location (SR) is a plantation located near Srebrenica which belongs to FE "Drina" - Srebrenica. The total area of the plantation is 0.6 ha. The Gostilja (GO) location, where there is a natural stand of Serbian spruce, is near Višegrad. It is managed by FE "Panos" - Višegrad, and the total area is 25.8 ha. FE "Panos" Višegrad manage the surface of

Table 1. Coordinates, exposure, inclination and altitude of the selected locations

Location	Origin of stand	Coordinates		Exposure	Inclination	Altitude (m)
Dubrava (DU)	Plantation	064-61-754E	049-56-083N	-	-	310
Srebrenica (SR)	Plantation	066-15-221E	048-75-163N	W/N	3°	880
Stolac 1 (S1)	Natural stand	066-03-458E	048-65-199N	N	34°	1200
Stolac 2 (S2)	Natural stand	066-02-805E	048-65-509N	N/E	45°	960
Gostilja (GO)	Natural stand	066-07-453E	048-57-964N	N	36°	1130

the location Stolac 1 (S1) and Stolac 2 (S2). The total area is 29.5 ha. Table 1 gives the coordinates, exposure, inclination and altitude of the selected locations.

Three trees were selected from each location. Three logs, 1.2 m long, were cut from each tree. One log was taken from a height of 1.3 m, one from the part of the bole just below the first green branch, and one log was taken from the height that is in the middle between the two heights mentioned. From them, 60 mm thick radial planks were cut out of which, after natural drying and processing on the thickener, they were reduced to a thickness of 50 mm. From them, samples (50×50×150 mm) for compression testing were made (Figure 1). The compression test perpendicular to grain was carried out in radial and tangential direction on 309 samples. Samples were scanned at a cross-section in order to determine the average width of the annual ring and the average share of the late wood, using CDendro 7.6 and Coorecorder 7.6 (Figure 2). Before the tests, dimensions in all three anatomical directions and mass were measured. Compression testing was performed on the Messphysik machine "Beta 200" at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Banja Luka (Figure 3). The rate of descent of the machine head was 1 mm per minute. The test was done so that the stress surely crosses the limit of proportionality and a certain deformation occurs. After the test, the samples were dried to an oven-dry state to determine moisture content (MC) at the time of the test. The obtained strength values at the test time are reduced to the values of the strength at standard moisture content (12%) using the following formula:

$$\sigma_{p12} = \sigma_{pv} \times [1 + 0,04 \times (v_a - 12)] \text{ (MPa)}$$

RESULTS AND DISCUSSION

Table 2 shows the average values of moisture content and density of wood samples at the time of examination, as well as the average width of the annual ring and the average percentage of late wood in the tested samples. We can notice that the trees of Serbian spruce from the sites where the plantations are located (Dubrava and Srebrenica) have a lower average air-dry density



Figure 1. Test samples

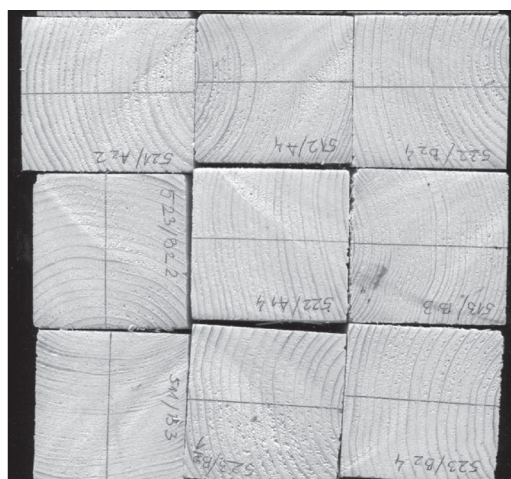


Figure 2. Scan samples

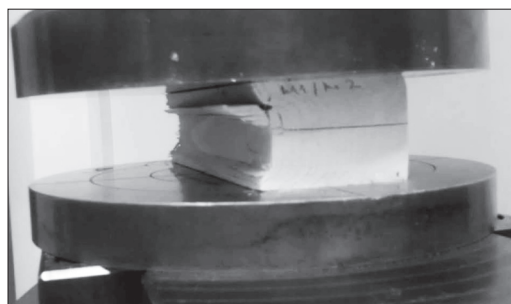


Figure 3. Compression testing in the tangential direction

compared to trees from natural stands (locations Stolac 1, Stolac 2 and Gostilja). The application of t-test showed that there was a statistically significant difference between the plantations and natural stands ($t = -17.46$; $p = 0.00$). The difference in density is not surprising given that the density of the conifers to a large extent depends on the width of the annual rings, that is, the percentage of late wood, which is much smaller in the Serbian spruce wood that come from the plantations.

Lukić-Simonović (1955), in her research on the natural stands of Serbian spruce, came to the conclusion that the average density of Serbian spruce wood at 15% humidity was 0.482 g/cm^3 , which is somewhat lower than the density of Serbian spruce wood from the natural stands examined in this study. Kommert (1993) examined the density of Serbian spruce wood from plantations at 12% MC and determined that the average density was 0.467 g/cm^3 .

The average values of the compression strength perpendicular to grain at a dilatation of 1% in the radial direction, as well as other statistical parameters are shown in Table 3. The mean values range from 3.96 MPa (location Stolac 2) to 5.31 MPa (location Dubrava). The highest varia-

tion of this strength is in the location Stolac 2 (22.71%), and the lowest one in the location Srebrenica (11.64%). When we observe the change in strength over height of the tree in the localities, we can notice that at the locations Stolac 1 and Gostilja the strength increases with height, while at the locations Dubrava and Srebrenica with the increase in height the strength first decreases, and then increases. At the location Stolac 2 the strength increases with increasing height and then decreases. We can conclude that there is no clear rule how this strength changes with the height of the stem in the localities. The average value of the compression strength perpendicular to grain at a dilatation of 1% in radial direction for the trees from plantations (PL) is 4.96 MPa, while the coefficient of variation is 17.58%. The average value of this strength for trees from natural stands (NS) is 4.35 MPa, and the coefficient of variation is 18.24%.

When we observe the mean values of compression strength perpendicular to grain in radial direction for different density intervals, we can notice that there is no dependence of this property on the density of the wood. There is a high variability within each interval (Figure 4).

Table 2. Average values of width of annual rings, percentage of late wood, density and humidity of wood at the moment of examination

Location	Test direction	N	u_a	war	plw	ρ		
			As	As	As	As	SD	CV
			%	mm	%	g/cm^3		
DU	Radial	25	10.07	4.78	9.63	0.453	0.032	6.98
	Tangential	27	10.06	4.82	8.97	0.457	0.031	6.83
SR	Radial	23	10.24	4.90	9.41	0.436	0.020	4.53
	Tangential	25	9.97	4.93	9.10	0.436	0.027	6.21
S1	Radial	35	10.43	1.82	16.86	0.518	0.033	6.35
	Tangential	35	9.71	1.84	16.25	0.513	0.035	6.77
S2	Radial	35	9.74	1.57	17.52	0.508	0.027	5.22
	Tangential	34	8.69	1.64	17.02	0.509	0.030	5.87
GO	Radial	36	10.80	1.85	16.45	0.512	0.033	6.44
	Tangential	34	10.68	1.89	16.52	0.509	0.032	6.35

Legend: N - number of tested samples; u_a – moisture content at the moment of testing; war - width of annual rings; plw - percentage of late wood; pp – air-dry density of wood; As - arithmetic mean; SD - standard deviation; CV - coefficient of variation

Table 3. Compression strength perpendicular to grain at a dilatation of 1% in the radial direction

Location	Height of stem	σ_{p1r}							
		N	As	-95	+95	Min	Max	SD	CV
		(MPa)						(%)	
DU	I	8	5.73	4.88	6.58	4.15	7.51	1.02	17.75
	II	8	4.93	4.13	5.73	3.65	6.36	0.96	19.47
	III	9	5.29	4.59	5.98	4.31	7.25	0.91	17.21
		25	5.31	4.91	5.72	3.65	7.51	0.98	18.38
SR	I	9	4.60	4.17	5.04	3.55	5.47	0.56	12.23
	II	7	4.48	4.02	4.94	3.90	5.21	0.49	11.01
	III	7	4.62	4.06	5.17	3.61	5.48	0.60	12.95
		23	4.57	4.34	4.80	3.55	5.48	0.53	11.64
PL		48	4.96	4.70	5.21	3.55	7.51	0.87	17.58
S1	I	11	4.36	3.92	4.79	3.57	5.27	0.65	14.83
	II	12	4.66	4.33	4.99	3.86	5.54	0.53	11.27
	III	12	4.95	4.59	5.30	3.78	5.90	0.56	11.30
		35	4.66	4.45	4.87	3.57	5.90	0.61	13.08
S2	I	11	3.80	2.88	4.71	2.88	7.73	1.37	36.03
	II	12	4.21	3.74	4.67	3.34	5.65	0.73	17.37
	III	12	3.85	3.60	4.10	3.26	4.48	0.39	10.20
		35	3.96	3.65	4.26	2.88	7.73	0.90	22.71
GO	I	12	4.10	3.76	4.45	3.43	5.21	0.54	13.19
	II	12	4.30	3.80	4.80	3.10	5.38	0.79	18.36
	III	12	4.89	4.57	5.21	4.26	6.20	0.51	10.38
		36	4.43	4.20	4.67	3.10	6.20	0.70	15.69
NS		106	4.35	4.20	4.50	2.88	7.73	0.79	18.24

Legend: σ_{p1r} - compression strength perpendicular to grain at a dilatation of 1% in the radial direction, 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 4 shows the average values of the compression strength perpendicular to grain at a dilatation of 1% in the tangential direction at the standard MC, as well as other statistical parameters. The lowest average value of this strength have the trees from Srebrenica (4.39 MPa), and the largest trees from Stolac 1 (5.28 MPa). The coefficient of variation ranges from 14.13% (Dubrave) to 21.54% (Stolac 2). The change of this strength over height of the stem is not the same for all sites. At the locations Dubrava and Gostilja,

the strength first decreases with height, then increases, at location Srebrenica it increases, at the location Stolac 1 it increases and then decreases, while at the location Stolac 2 it decreases with height. The average value of the compression strength perpendicular to grain at a dilatation of 1% in the tangential direction for the trees from plantations is 4.60 MPa, while the coefficient of variation is 16.14%. For trees from natural stands, the average value of this strength is 5.02 MPa, and the coefficient of variation is 19.80%.

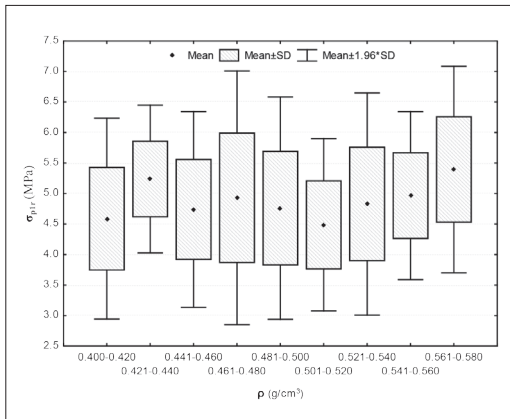


Figure 4. Compression strength perpendicular to grain at a dilatation of 1% in the radial direction for different density intervals

When we observe the mean values of the compression strength perpendicular to grain in the tangential direction for different density intervals (Figure 5), we have a completely different picture from the one in Figure 4. There is an obvious dependence of the strength on wood density, and its values range from 4.11 MPa for a density interval of 0.400-0.420 g/cm³, up to 7.38 MPa for a density interval of 0.561-0.580 g/cm³.

The analysis of variation of the compression strength perpendicular to grain by locations showed that there was a statistically significant difference between the locations. The applied Duncan test showed that three homogeneous

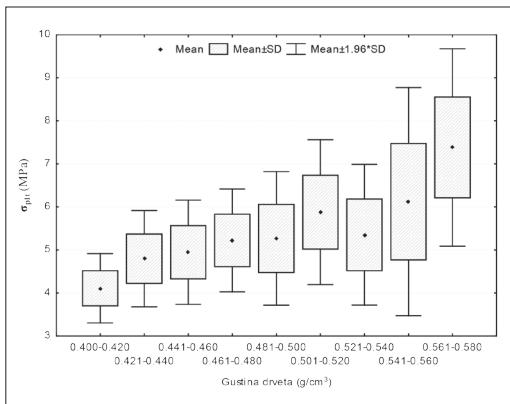


Figure 5. Compression strength perpendicular to grain at a dilatation of 1% in the tangential direction for different density intervals

groups can be formed when it comes to the compression strength perpendicular to grain in the radial direction and two groups when it comes to compression strength perpendicular to grain in the tangential direction (Table 5).

When we compare the obtained compression strength perpendicular to grain at a dilatation of 1% in the tangential (σ_{p1t}) and in the radial direction (σ_{p1r}), we see that the trees from the plantations have a lower compression strength in the tangential direction, but larger in the radial direction from trees from natural stands. According to some authors (Kollmann, 1951, Mönck and Rug, 2000, Šoškić and Popović, 2002), compression strength of conifers in the tangential direction is higher than in the radial direction. However, for low density conifers, this statement does not always apply, as confirmed by Rothmund's research (1949). He examined the compression strength perpendicular to grain of spruce and came to the result that spruce having a lower density has a higher compression strength in the radial direction, and spruce of higher density has a higher compression strength in the tangential direction. In this study, the same results were obtained given that the trees of Serbian spruce plantations have a smaller wood density than trees from natural stands. Schneeweiß and Felber (2013) state that the reason for these results is in the fact that in the case when load is in the radial direction the strength is determined only by the early wood, and its participation is higher in wood with less density. When load is in the radial direction, the layers of late wood behave as load distributors, while the strength stress is determined by the weakest layer of the early wood. Late wood has a far greater impact than the early wood on compression strength in the tangential direction.

These statements are confirmed by the investigated effects of the annual ring width and the percentage of late wood on the compression strength in the radial and tangential directions (Figure 6 and Table 6). The regression analysis that included all the tested samples showed that the width of the annual ring positively influenced strength in the radial direction ($R = 0.34$) and had a negative impact on the strength in the tangential direction ($R = 0.42$). The influence of late wood percentage on strength in the radial direc-

Table 4. Compression strength perpendicular to grain at a dilatation of 1% in the tangential direction

Location	Height of stem	σ_{pit}							
		N	As	-95	+95	Min	Max	SD	CV
		(MPa)							(%)
DU	I	9	4.99	4.56	5.42	4.13	5.61	0.56	11.25
	II	9	4.63	4.08	5.19	3.41	5.45	0.72	15.55
	III	9	4.77	4.18	5.36	3.67	5.92	0.77	16.06
		27	4.80	4.53	5.06	3.41	5.92	0.68	14.13
SR	I	9	4.23	3.77	4.70	3.29	5.32	0.61	14.34
	II	9	4.45	3.61	5.28	3.17	7.04	1.08	24.34
	III	7	4.53	4.09	4.97	3.79	4.92	0.48	10.53
		25	4.39	4.08	4.71	3.17	7.04	0.77	17.43
PL		52	4.60	4.39	4.81	3.17	7.04	0.74	16.14
S1	I	11	4.92	4.19	5.64	3.75	7.01	1.08	21.98
	II	12	5.62	4.90	6.34	4.18	7.36	1.13	20.10
	III	12	5.27	4.64	5.91	4.36	7.42	1.00	18.93
		35	5.28	4.91	5.65	3.75	7.42	1.08	20.42
S2	I	12	5.23	4.23	6.22	3.20	8.11	1.56	29.85
	II	12	4.97	4.62	5.31	4.28	5.77	0.54	10.91
	III	10	4.57	4.03	5.10	3.32	5.55	0.75	16.35
		34	4.94	4.57	5.31	3.20	8.11	1.06	21.54
GO	I	12	5.04	4.55	5.52	3.50	6.05	0.77	15.24
	II	11	4.61	4.15	5.07	3.46	5.55	0.68	14.83
	III	11	4.81	4.22	5.41	2.70	5.85	0.89	18.42
		34	4.83	4.56	5.10	2.70	6.05	0.78	16.15
NS		103	5.02	4.82	5.21	2.70	8.11	0.99	19.80

Legend: σ_{pit} - Compression strength perpendicular to grain at a dilatation of 1% in the tangential direction, 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 5. Analysis of variation of the compression strength perpendicular to grain in the radial and tangential directions by locations

	Location					ANOVA		
	DU	SR	S1	S2	GO	F	p	Post-hoc ¹
σ_{pir} (MPa)	5.31 ^c	4.57 ^a	4.66 ^a	3.96 ^b	4.43 ^a	12.05	0.000	3
σ_{pit} (MPa)	4.80 ^{a,b}	4.39 ^b	5.28 ^a	4.94 ^a	4.83 ^{a,b}	3.64	0.007	2

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

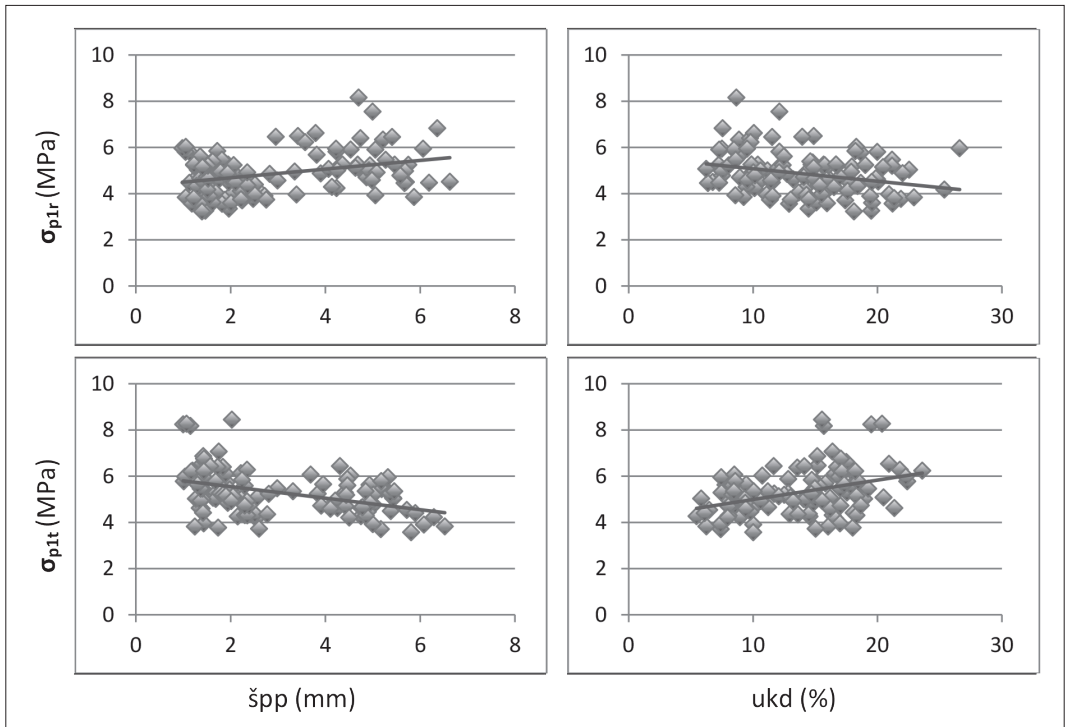


Figure 6. Dependence of compression strength in the radial and tangential directions on the width of the annual ring and percentage of the late wood

tion is small ($R = 0.28$) and negative, while it has a higher ($R = 0.38$) and a positive influence on the strength in the tangential direction.

By examining the correlation dependence between the compression strength perpendicular to grain in the radial direction and density, it was concluded that no correlation exists. However, by

examining the correlation dependence between compression strength perpendicular to grain in the tangential direction and density, it has been concluded that there is a positive linear dependence. The determined coefficient of correlation ($R = 0.63$) shows that there is a strong correlation between these two parameters (Figure 7).

Table 6. Dependence of compression strength in the radial and tangential directions on the width of the annual ring and percentage of the late wood

Observed dependence	Linear regression parameters		R ²	R
	a	b		
σ _{p1r} - war	4,3086	0,1884	0,1173	0,3425
σ _{p1r} - plw	5,6196	-0,0543	0,0774	0,2782
σ _{p1t} - war	6,0448	-0,2497	0,1727	0,4156
σ _{p1t} - plw	4,1462	0,0841	0,1455	0,3814

Legend: σ_{p1r} - compression strength perpendicular to grain at a dilatation of 1% in the radial direction; σ_{p1t} - compression strength perpendicular to grain at a dilatation of 1% in the tangential direction; war - width of annual rings; plw - percentage of late wood; R² - determination coefficient; R - coefficient of correlation

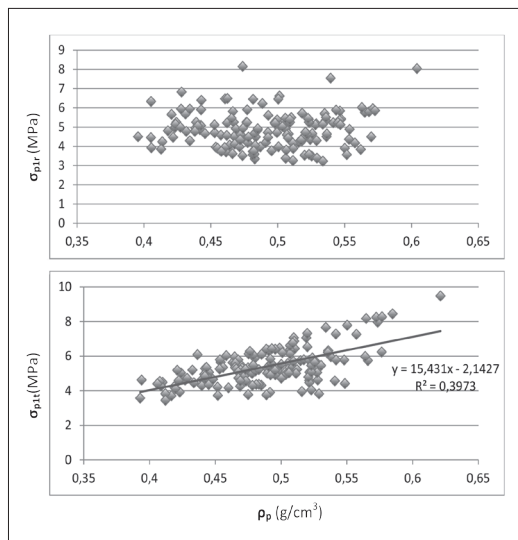


Figure 7. Dependence of compression strength in the radial and tangential directions on the density of wood

CONCLUSION

Based on the analysis of samples of Serbian spruce from plantations and natural stands in the Republika Srpska, the following results were obtained:

The average value of compression strength perpendicular to grain at dilatation of 1% and in the radial direction for the trees from the plantations is 4.96 MPa and the coefficient of variation is 17.58%, while the average value of this strength for trees from natural stands is 4.35 MPa, and the coefficient of variation is 18.24%. The results confirm the earlier conclusions that when load is in the radial direction the strength is determined only by the early wood whose share is greater in the wood from plantations.

The average value of compression strength perpendicular to grain at dilatation of 1% and in the tangential direction for trees from plantations is 4.60 MPa, and the coefficient of variation is 16.14%, while for trees from natural stands the average value of this strength is 5.02 MPa, and the coefficient of variation is 19.80%.

The width of annual rings has a positive impact on the strength in the radial direction, and negative on the strength in the tangential direc-

tion. The influence of the percentage of late wood on strength in the radial direction is small and negative, while on the strength in the tangential direction it has a greater and positive effect. There is no correlation between the compression strength perpendicular to grain in the radial direction and the density, while there is a strong positive linear correlation between compression strength perpendicular to grain in the tangential direction and density.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Basta, C.T., Gupta, R., Leichti, R.J., Sinha, A. (2011) Characterizing perpendicular to grain compression behavior in wood construction. *Holzforschung* 65, (845-853)
- Blass, H.J., Gorklacher, I.R. (2004): Compression perpendicular to the grain, Proceedings of the 8th World Conference of Timber Engineering 2 (435-440)
- Franke, S., Quenneville, P.J. (2010): The Material Behaviour of Radiata Pine under Compression. Presented at WCTE 2010 World Conference on Timber Engineering, Riva del Garda, Italy.
- Isajev, V. (1987): Oplemenjivanje omorike (*Picea omorika* (Panč.) Purkyně) na genetsko selekcionim osnovama, Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu
- Ivetić, V., Aleksić, J.M. (2016): Response of rare and endangered species *Picea omorika* to climate change - The need for speed, *Reforest* 2, Belgrade, (81-99)
- Kollman, F. (1951): Technology of Wood and Wooden Materials, 2. Ed., Vol.1. Springer Verlag: Berlin, Göttingen, Heidelberg
- Kollmann, F., Côté, W. (1968): Principles of Wood Science and Technology I Solid Wood, Springer-Verlag New York, 592
- Kommert, R. (1993): Die Holzeigenschaften der Serbischen Fichte aus Anbauten im Freistaat Sachsen, *Holz als Roh- und Werkstoff* 51. (329-334)
- Lukić-Simonović, N. (1955): O osnovnim fizičkim svojstvima i njihovom međusobnom odnosu kod *Piceae omorice* Pančić, *Glasnik Šumarskog fakulteta* 10, Univerzitet u Beogradu, (237-266)

- Marjanov, M., Popović, Z. (1992): Deformacije i napreznja na pritisak i zatezanje hrastovog, bukovog i borovog drveta u radijalnom anatomskom pravcu, Drvarski glasnik br. 2-3, Beograd, (7-10)
- Mönck, W., Rug, W. (2000): Building in Timber: Design and Construction Considering Eurocode 5.14. Aufl., VerlagBauwesen, Berlin
- Reiterer A., Stanzl-Tschegg S. E.(2001): Compression behaviour of softwood under uniaxial loading at different orientations to the grain. Mechanics and Materials, Vol. 33, (705-715)
- Rothmund, A. (1949): About the Resistance of Wood Against Pressure Perpendicular to Grain. Bauplanung und Bautechnik, 3(12), (393-398)
- Schneeweiß, G., Felber, S. (2013): Review on the Bending Strength of Wood and Influencing Factors. American Journal of Materials Science, 3(3), (41-54)
- Serrano, E., Enquist, B. (2010): COMPRESSION STRENGTH PERPENDICULAR TO GRAIN IN CROSS-LAMINATED TIMBER (CLT), World Conference on timber ingineering (WCTE 2010), 20-24 June 2010, Trentino, Italy
- Šoškić, B., Popović, Z. (2002): Svojstva drveta, Šumarski fakultet Beograd
- Tabarsa, T., Chui, Y. (2001): Characterizing microscopic behaviour of wood under transverse compression. Part II. Effect of species and loading direction, Wood and Fiber Science, 33(2), (223–232)

