

ЧВРСТОЋА НА ПРИТИСАК И ТВРДОЋА ДРВЕТА СМРЧЕ (*Picea abies* Karst.) ИЗ КУЛТУРА

БОРИСЛАВ ШОШКИЋ
ЗОРАН ГОВЕДАР
НЕБОЈША ТОДОРОВИЋ
ДАНИЈЕЛА ПЕТРОВИЋ

Извод: У раду су приказани резултати испитивања чврстоће на притисак и тврдоће јувенилног дрвета смрче из култура у околини Бања Луке. Испитивани су: чврстоћа на притисак паралелно са влаканцима, попречна и бочна тврдоћа дрвета. Анализирана су три стабла, просечне старости око 16 година. Статистички су обрађени подаци за прсну висину и укупно за све епрувете, од прсне висине до 9,3 m. Испитивањем и анализом чврстоће на притисак и тврдоће јувенилног дрвета смрче из култура добијено је да је просечна вредност чврстоће на притисак паралелно са влаканцима на прсној висини, од 1,3 m, $39,6 \text{ N/mm}^2$, а за сва анализирана стабла $38,01 (29,4 - 49,3) \text{ N/mm}^2$, са коефицијентом варијације од 12,2 %. Посматрано по висини стабла чврстоћа на притисак опада, тј. највећа је на 1,3 m, а најмања код 9,3 m висине стабла. Резултати истраживања показују да је зависност између густине и чврстоће на притисак паралелно са влаканцима квадратног облика, а да ширина прстена прираста утиче негативно на чврстоћу на притисак и да је та зависност логаритамског облика. За ова истраживања коефицијент квалитета просечно износи 8,6 (3,5 – 10,2) са коефицијентом варијације од 15,6 %. На основу добијене средње вредности, просечно јувенилно дрво смрче би се сврстало у дрво средњег квалитета. Попречна тврдоћа на прсној висини (1,3 m) износи $22,1 (13,5 - 34,6) \text{ N/mm}^2$, а бочна (радијална) износи $11,5 (6,5 - 21,4) \text{ N/mm}^2$. Просечно, за сва анализирана стабла, попречна тврдоћа износи $21,3 (12,5 - 35,9)$ са коефицијентом варијације од 28 %, а бочна $12 (6,5 - 21,4) \text{ N/mm}^2$, са коефицијентом варијације од 27,5 %. Посматрано по висини стабла није утврђена суштинска разлика у вредностима тврдоће дрвета на појединим висинама. Код појединих стабала је утврђен позитиван утицај густине дрвета на попречну, односно радијалну тврдоћу дрвета и та зависност је линеарног облика, а код стабла са ознаком II успостављен је негативан утицај ширине прстена прираста на попречну тврдоћу дрвета која је такође линеарног облика. Извршено је и поређење резултата испитивања са резултатима других аутора.

Кључне речи: смрча, чврстоћа на притисак, тврдоћа, густина.

COMPRESSIVE STRENGTH AND HARDNESS OF SPRUCE (*Picea abies* Karst.) WOOD FROM PLANTATIONS

Abstract: Compressive strength and hardness of juvenile spruce wood from plantations in the surroundings of Banja Luka were researched: compressive strength parallel to the grain, end and side hardness. The analysis included three trees of average age about 16 years. The data for breast height, and altogether for all specimens from breast height to 9.3 m, was statistically

др Борислав Шошкић, ред. проф., Шумарски факултет у Београду; др Зоран Говедар, доцент, Шумарски факултет у Бања Луци; др Небојша Тодоровић, асистент, Шумарски факултет у Београду; дипл. инж. Данијела Петровић, асистент, Шумарски факултет у Бања Луци.

Рад је финансиран средствима Министарства науке Републике Србије, у оквиру Пројекта 7АЕ/2008.

processed. The research and analysis of compressive strength and hardness of juvenile spruce wood from plantations show that the average value of compressive strength parallel to the grain at breast height (1.3 m) was 39.6 N/mm². For all analysed trees it was 38.01 (29.4 – 49.3) N/mm², with the coefficient of variation 12.2 %. Compressive strength decreases with tree height, i.e. it is the greatest at 1.3 m, and the lowest at 9.3 m. The results of our research show that the dependence between density and compressive strength parallel to the grain had square form; growth ring width had a negative effect on compressive strength and that the dependence had a logarithmic form. In our research of spruce trees, the quality coefficient is on average 8.6 (3.5 – 10.2) with the coefficient of variation 15.6 %. Based on the obtained mean value, the average juvenile spruce wood is classified as medium quality wood. End hardness at breast height (1.3 m) is 22.1 (13.5 – 34.6) N/mm², and side (radial) hardness is 11.5 (6.5 – 21.4) N/mm². Averagely, for all analysed trees, end hardness is 21.3 (12.5 – 35.9) with the coefficient of variation 28 %, and side hardness is 12 (6.5 – 21.4) N/mm², with the coefficient of variation 27.5 %. From the aspect of tree height, there was no essential difference in wood hardness at individual heights. There was a positive effect of wood density on end, i.e. radial hardness in individual trees and the dependence had a linear form. The tree marked II had a negative effect of growth ring width on end hardness of wood, and it also had a linear form. The study results were compared with the results reported by other authors.

Key words: spruce, compressive strength, hardness, density.

1. УВОД

Основна својства која неки материјал мора да поседује да би нашао своју примену у грађевинарству и индустрији намештаја јесте да има добра механичка својства и малу густину. Дрво у поређењу са осталим материјалима у том смислу има предност. Смрча (*Picea excelsa* L.) је једна од основних четинарских врста дрвета коју таква својства чине квалитетним материјалом. Међутим, смрча је веома мало распрострањена у шумама Србије. У том циљу се организује производња смрчевог дрвета у културама која ће допринети повећању производње овог веома важног дрвета. Производња у културама доприноси већој продуктивности, а квалитет таквог дрвета зависи од режима гајења.

Са каквим се проблемима све сусрећемо приликом употребе смрчевог дрвета говоре *Paulinyova J. Mi Sunderlik I. (2006)* који наводе да свако стабло смрче има јувенилног дрвета, а највише стабла која расту у културама. Разлог томе је велика потражња, односно рана сеча ових стабала. Јувенилно дрво показује мању густину и чврстоћу, а неопходан услов за његову примену нпр. у грађевинарству јесу добра физичка и механичка својства. Код производње дрвених грађевинских конструкција веома је важно познавати еластичност, чврстоћу на савијање, чврстоћу на притисак и др., а у циљу примене дрвета у производњи подова или зидних облога веома је важно познавати његову бочну тврдоћу и димензионалну стабилност. Код здравог дрвета или дрвета које нема поремећаје, чврстоћа на притисак паралелно са влаканцима често није лимитирајући фактор за примену дрвета у грађевинарству. На основу досадашњих резултата истраживања вредности чврстоће на притисак, до границе пропорционалности, у потпуности задовољавају носивост у дрвеним конструкцијама. Међутим, проблем може настати код примене дрвета мање густине односно чврстоће, а такво је управо јувенилно дрво.

На основу свега наведеног, основни циљ овог рада је изучавање тврдоће (попречне и бочне) и чврстоће на притисак паралелно са влаканцима

дрвета смрче, које је произведено у културама у околини Бања Луке. Поред тога, испитан је и утицај ширине прстена прираста и густине на истраживана својства дрвета у циљу развоја модела за брзо предвиђање механичких и технолошких својстава јувенилног дрвета. Стандардне методе испитивања механичких својстава дрвета, данас, имају своје недостатке. Ти недостаци се не односе на тачност или сигурност у резултате испитивања већ на време трајања испитивања и на време које се утроши на припрему узорака, изрезивање узорака и на само испитивање. Због тога се данас све више користе и изучавају недеструктивне методе испитивања чија је предност у краћем времену трајања испитивања и у томе што се узорци не ломе, односно, не уништавају. Ове методе се заснивају на успостављеној корелацији између истраживаних својстава. Због тога, познавање вредности ширине прстена прираста и њен утицај на нека механичка и технолошка својства дрвета може послужити као један вид недеструктивне анализе, а поготову ако се зна да се вредност ширине прстена прираста може одредити, како на свеже посеченом дрвету, тако и на малом узорку, што даје велику предност у времену одређивања својстава дрвета. Такође, у овом раду је и испитан утицај густине дрвета, као најважнијег физичког својства дрвета, на чврстоћу на притисак и тврдоћу дрвета. Густина може практично да послужи као индикатор појединих механичких својстава. Већа густина се може сматрати позитивном особином дрвета као материјала, јер побољшава његова поједина својства, док се, с друге стране, она негативно одражава на обрадивост дрвета, транспортне трошкове и, као што смо већ рекли, на конструкције којима је потребна већа лакоћа уз већу носивост.

1.1 Јувенилно дрво смрче

Јувенилно дрво смрче је обично много лошијих својстава од нормалног дрвета и може узроковати озбиљан проблем у употреби тог производа у грађевинским конструкцијама. Лошија својства јувенилног дрвета се врло брзо мењају са већом удаљеношћу од анатомског центра. Старији прстенови прираста удаљенији од јувенилног дрвета или средишта означавају се као зрело дрво у коме су структура и својства стабилнија, тако да их треба посматрати као два различита материјала. Јувенилно раздобље је доста варијабилно и највише у зависности од активности камбијума. *Paulinyova J.M i Cunderlik I. (2006)* наводе да према *Bendtsenu B. A. и Senftu J. (1986)* јувенилно дрво смрче пружа се од трећег до петнаестог прстена прираста од центра, а идући ка кори учешће се нагло смањује. Према *Gorišek Ž. i Stražeu A., (2005)* обухвата од 10 до 20 година, а код неких других врста дрвета чак и до 60 година. Са растом стабла једнако се и у горњим деловима формира дрво са својствима која су једнака јувенилном дрвету. Код смрче јувенилно дрво је често цилиндричног облика, тако да се њен удео у већим и старијим стаблима смањује.

Основне карактеристике јувенилног дрвета смрче су шири прстенови прираста, самим тим веће учешће раног дрвета и мања густина дрвета (*Larson et al., 2001*). Јувенилно дрво има краће трахеиде са великим углом микрофибрила, што је исто тако типично и за компресионо дрво, што резултира већем аксијалном утезању, а мањем тангенцијалном, и слабијом чврстоћом на притисак дуж влаканаца (*De re sse et al., 2002*). Дужина тра-

хеида се у младим стаблима знатно повећава од прстенова уз срчику према спољашњим прстеновима јувенилног дрвета, да би у зрелом дрвету мањевише остала константна. *Gorišek Ž. i Torelli N. (1999)* наводе да скоро сва физичка и механичка својства дрвета расту са старошћу. Исти аутори наводе да је прелаз из јувенилног у зрело дрво јасно видљив у ширини прстена прираста и у савојној чврстоћи, а остала својства се мењају врло брзо у раном јувенилном периоду, док су касније разлике много спорије, у неким случајевима и мање значајне. Оно што је нарочито битно за примену дрвета смрче у млађем добу, јесте велика усуканост влаканаца која за последицу има настанак витопрења и дисторзије, односно веће деформације дрвета у односу на зрело дрво.

2. ПОРЕКЛО МАТЕРИЈАЛА И МЕТОД РАДА

Материјал за испитивање потиче из одељења ГЈ “Кодрача“. Надморска висина терена је 750 m, нагиб је благ (од 5 до 10°), а експозиција северо-западна. Састојина припада газдинској класи култура смрче у појасу шума букве и јеле, са смрчом на дубоким еутричним смеђим земљиштима на стенама флиша. Доминантну геолошку подлогу, међутим, чине кречњаци, при чему преовладава смеђе кречњачко земљиште. Горњи слој мртве простирке и четина није разложен, а дебљина му износи око 5 cm.

Укупна површина култура је 85,31 ha, а подигнуте су 1981. године. У досадашњем газдовању овим културама нису вршене никакве мере неге. Пошумљавање је вршено у циљу санирања стања у деградираним шумама букве, па се и данас, у оквиру културе, сусрећемо са појединачним стаблима букве.

Састојина је једнодобна, старости стабала 25 година. Средњи пречник стабла, огледних површина износи 13,25 cm. Распоред броја стабала по дебљинским разредима је слична Гаусовој кривој, са највећим бројем стабала у дебљинском подразреду 12,5 cm. Прсни пречник и дебљински прираст по стаблима је дат у табели 1. Према приказаним подацима највећи прираст имало је стабло II, затим стабло I, а најмањи потиштено стабло са ознаком III.

Табела 1 - Прсни пречник и дебљински прираст анализираних стабала
Table 1 - Diameter at breast height and diameter increment of the analysed trees

| Ред. бр. | Старост (год) | Стабло I - преодминатно | | Стабло II - потиштено | | Стабло III - доминантно | |
|----------|---------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| | | Прсни пречник (cm) | Текући годишњи прираст (cm/god) | Прсни пречник (cm) | Текући годишњи прираст (cm/god) | Прсни пречник (cm) | Текући годишњи прираст (cm/god) |
| | 10 – 15 | 2.20 | 0.92 | 1.00 | 0.56 | 1.60 | 0.88 |
| | 15 – 20 | 6.80 | 0.92 | 3.80 | 0.32 | 6.00 | 0.60 |
| | 20 – 25 | 11.40 | 0.80 | 5.40 | 0.40 | 9.00 | 0.44 |
| | 25 - 29 | 15.40 | 0.20 | 7.40 | 0.45 | 11.20 | 0.25 |

Епрувете за испитивање, чврстоће на притисак и тврдоће, израђене су из три стабла, просечне старости на прсној висини (1,3 m) 16 год. Из стабала су изрезани котурови дебљине око 2 cm и епрувете димензија 2 x 2 x 4 cm. Котурови и епрувете су изрезани на свака 2 m, дуж дебла, почевши од прсне висине (1,3 m) па до 9,3 m.

Детерминација јувенилног дрвета је одређена, према сугестијама *Tassisa G. Burkharda H.E. (1997)*, на основу старости и густине дрвета.

За анализу ширине прстена прираста коришћена је AMSLER лупа са помичним мерилом. Измерена је просечна вредност ширине прстена прираста на свакој епрувети. За потребе мерења влажности и механичких својстава дрвета, епрувете су прво осушене до апсолутно сувог стања влажности, после чега им је измерена маса, а затим су природно сушене око 60 дана, у лабораторијским условима, чије су просечне вредности параметара $t = 25^{\circ} \text{C}$ и $\phi = 55 \%$. После кондиционирања епруветама је на машини типа AMSLER одређена чврстоћа на притисак паралелно са влаканцима по SRPS D.A1.045 и тврдоћа дрвета по методи Brinella. Чврстоћа на притисак паралелно са влаканцима је одређена по формули:

$$\sigma_p = \frac{F_{\max}}{A} (N/mm^2).$$

Приликом одређивања тврдоће дрвета коришћена је метална куглица пречника 10 mm и сила од 500 N, а вредност тврдоће је одређена по формули:

$$H_B = \frac{2 \times F}{\pi \times D \times (D - \sqrt{D^2 - d^2})} (N/mm^2),$$

где је:

- F – сила од 500 N;
- D – пречник куглице од 10 mm;
- d – пречник отиска куглице.

Тврдоћа је мерена на попречном и бочном (тангенцијалном) пресеку. Маса епрувета је мерена на електронској дигиталној ваги Tehtnica ET-1111, тачности 1/100 g. Димензије у сва три анатомска правца одређене су помоћу помичног кљунастог мерила са нонијусом тачности 0,01 mm. Просечна влажност за све испитиване епрувете износила је 9,5 (8,2 – 11,4) %. Извршена је корекција вредности свих испитиваних својстава на стандарду влажност од 12 %. Код одређивања чврстоће на притисак израчунат је и коефицијент квалитета помоћу следеће формуле:

$$K_k = \frac{\sigma_p}{100 \times \rho_{12}},$$

где је:

- σ_p – чврстоћа на притисак у N/mm^2 ;
- ρ_{12} – густина дрвета при 12 % влажности.

Сви добијени подаци су обрађени статистички коришћењем познатих компјутерских програма и приказани су табеларно или графички.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

3.1 Чврстоћа на притисак паралелно са влаканицима

Просечна вредност чврстоће на притисак паралелно са влаканицима на прсној висини од 1,3 m износи $39,6 \text{ N/mm}^2$, а за сва анализирана стабла $38,01 (29,4 - 49,3) \text{ N/mm}^2$, са коефицијентом варијације од 12,2 %. Посматрано по стаблима, према подацима приказаним у табели 2, највећу вредност чврстоће на притисак има стабло са ознаком II, а најмању стабло са ознаком I. Такође, коефицијент варијације највећи је код измерене чврстоће на притисак у стаблу II, а најмањи у стаблу са ознаком III.

Табела 2 - Чврстоћа на притисак паралелно са влаканицима по стаблима
Table 2 - Compressive strength parallel to the grain

| ред.бр. | Статистички параметри | Стабло I | Стабло II | Стабло III |
|---------|--------------------------------|----------|-----------|------------|
| 1 | n | 30,0 | 30,0 | 26,0 |
| 2 | \bar{x} (N/mm^2) | 35,4 | 41,1 | 35,6 |
| 3 | σ (N/mm^2) | 3,3 | 6,2 | 3,2 |
| 4 | v (%) | 9,4 | 15,2 | 9,1 |
| 5 | f_x (N/mm^2) | 0,6 | 1,1 | 0,6 |
| 6 | x_{\min} (N/mm^2) | 29,4 | 24,2 | 28,1 |
| 7 | x_{\max} (N/mm^2) | 40,4 | 49,3 | 40,1 |

Где је:

n – број узорака;

\bar{x} - средња вредност;

σ - стандардна девијација;

v - коефицијент варијације;

f_x - стандардна грешка аритметичке средине;

x_{\min} – минимална вредност;

x_{\max} – максимална вредност.

Добијена вредност чврстоће на притисак паралелно са влаканицима је мања од вредности коју је добила Лукић – Симоновић Н. (1960) од $41,7 \text{ N/mm}^2$ при густини од $0,448 \text{ g/cm}^3$, док просечна густина при нашим истраживањима износи $0,441 \text{ g/cm}^3$, при влажности од 12 %. Добијена вредност се подудара са вредношћу коју су добили Pazdrowski W. и Splawa-Neuman S. (2003) за прелазно дрво смрче (између јувенилног и здравог), а која износи $38,2 \text{ N/mm}^2$. Исти аутори наводе да јувенилно дрво има чврстоћу на притисак $29,7 \text{ N/mm}^2$, а здраво $44,2 \text{ N/mm}^2$. Према подацима у табели 2, минималне вредности чврстоће на притисак по појединим стаблима износе мање од 30 N/mm^2 . Једино стабло II има нешто веће средње вредности и већу вредност коефицијента варијације. Да постоји значајна разлика у чвр-

стоћи на притисак код зрелог и јувенилног дрвета смрче показују подаци Шош ки ћа Б. и По по ви ћа З. (2002) који наводе да је чврстоћа на притисак, код здравог дрвета, $50 (35 - 79) \text{ N/mm}^2$, што је за око 31 % веће од просечне вредности за јувенилно дрво.

Чврстоћа на притисак се између стабала суштински разликује, односно, стабло I и III имају приближно исте вредности док се стабло II суштински разликује од њих. Разлог можемо тражити у различитом станишту и условима раста. Посматрано по висини стабла, чврстоћа на притисак се сигнификатно смањује – табела 3 и графикон 1. Вредности добијене на 1,3; 3,3; 5,3; 7,3 и 9,3 m се суштински разликују, што показују резултати статистичке анализе помоћу ANOVA теста са тачношћу од 95 %, где је $F = 7,26$, а $p = 0,000052 < 0,05$. Према LSD – тесту (95 %) суштинска разлика није утврђена између 1,3 и 3,3 m и између 7,3, и 9,3 m, што потврђује да између доњих и горњих делова стабла постоји суштинска разлика у вредности чврстоће на притисак паралелно са влаканцима.

Табела 3 - Преглед сигнификајности код чврстоће на притисак паралелно са влаканцима

Table 3 - Survey of significance in compressive strength parallel to the grain

| ред.бр. | Сигнификатност | Rezultat |
|---------|------------------|----------|
| 1. | између стабала | + |
| 2. | по висини стабла | + |
| | 1,3 – 3,3 m | - |
| | 1,3 – 5,3 m | + |
| | 1,3 – 7,3 m | + |
| | 1,3 – 9,3 m | + |
| | 3,3 – 5,3 m | + |
| | 3,3 – 7,3 m | + |
| | 3,3 – 9,3 m | + |
| | 5,3 – 7,3 m | + |
| | 5,3 – 9,3 m | + |
| | 7,3 – 9,3 m | - |

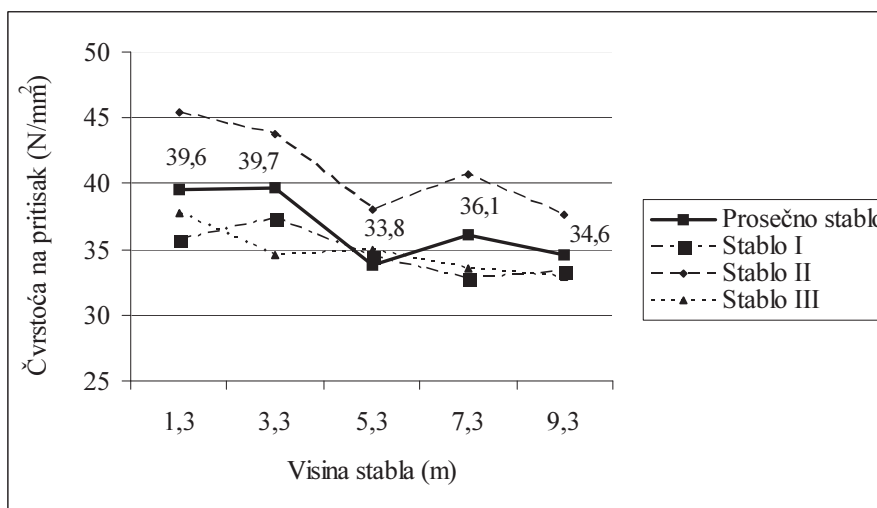
"+" - постоји сигнификатност

"-" – не постоји сигнификатност

Овакву промену чврстоће на притисак по висини стабла су потврдила и истраживања Cirule D. et all (2006). Они су, такође, показали да на промену чврстоће на притисак утиче и величина епрувете на којој је рађено испитивање. Аутори наводе да са променом величине епрувете од $20 \times 20 \times 30 \text{ mm}$ до $10 \times 10 \times 15 \text{ mm}$, чврстоћа на притисак паралелно са влаканцима расте за 17 %. Исти аутори наводе да је основни фактор чврстоће на притисак густина дрвета.

Густина дрвета је варијабилно својство и она утиче на сва битна физичка и механичка својства дрвета, о чему су дискутовали, према Gru su V. и Hora че ku P. и други аутори (Gin dl, Te i shin ger 2003; Niemz, Son de reg ger, 2003; Gra mel 1990; и др.). Gruс V. и Ho ra че k P. (2007) наводе да густина смрче, при стандардној влажности од 12 %, константно расте од 6

m до 22 m висине стабла, док је код компресионог дрвета густина највећа код 6 и 8 m, а најмања између 10 – тог и 15 – тог m. Према истим ауторима густина смрче у апсолутно сувом стању влажности је између 0,370 и 0,571 g/cm³. У овим истраживањима измерена је густина при стандардној влажности од 12 % и износи 0,434 (0,358 – 0,560) g/cm³, са коефицијентом варијације од 11,2 %, што се подудара са вредностима које наводе Grycu V. и Horačeku P., такође за јувенилно дрво, а мања од вредности коју према Grycu V. и Horačeku P., наводе Kučera (1973) од 0,460 g/cm³ и Seeling (1999) и Lundrger N. et al. (2007) од 0,452 g/cm³, за зрело дрво, исто тако при стандардној влажности од 12 %. Gorišek Ž. и Straže A. (2005) наводе да густина јувенилног дрвета смрче, при 12 % влажности, старости 10 година, износи 0,397 g/cm³, а старости од 20 година, 0,420 g/cm³, што је нешто мање од наших просечних добијених вредности. Резултати које су приказали Molteberg D. и Hoibo O. (2006) показују да просечна густина смрче старости 21 год. износи 0,332 g/cm³, са коефицијентом варијације од 11,7 %.



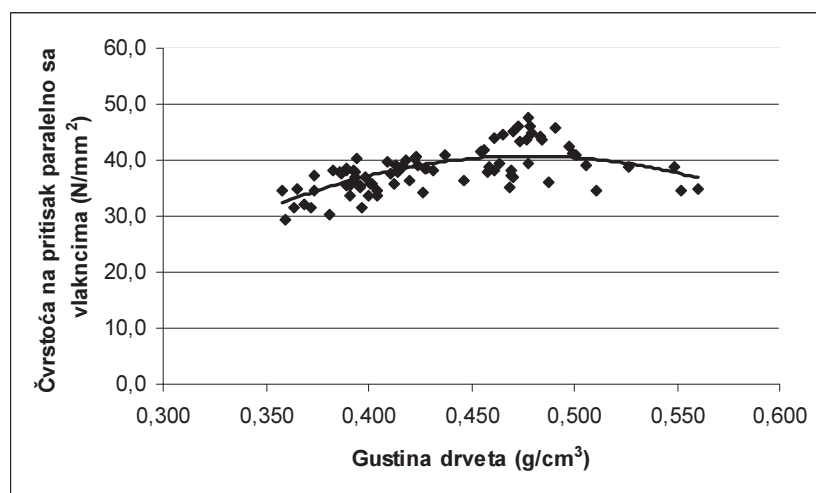
Графикон 1 - Промена чврстоће на притисак паралелно са влаканицима са висином стабла
 Diagram 1: Change of compressive strength parallel to the grain with tree height

Према досадашњим резултатима истраживања, промена чврстоће на притисак је повезана са променом густине дрвета. Резултати показују да густина има, углавном, позитиван утицај на чврстоћу на притисак. Kolmann F. и Cote W. (1984) су показали да је код дрвета јасена зависност између густине и чврстоће на притисак паралелно са влаканицима линеаран и може се дефинисати једначином $y = ax + b$. Према истим ауторима, вредности коефицијената a и b зависе од влажности дрвета. Најновија истраживања Zink-Sharp-a A. и Price C. (2006) о утицају густине на чврстоћу на притисак код дрвета тополе и јавора потврђују претходна истраживања и приказују да постоји јака корелациона зависност линеарног облика.

Резултати ових истраживања показују да је зависност између густине и чврстоће на притисак (графикон 2) квадратног облика која се може изра-

зити формулом $y = -579,11x^2 + 553,89x - 91,70$, са коефицијентом детерминације од $r^2 = 0,43$. Добијена зависност одговара оној коју су добили Razdrowski W. и Splawa-Neuman S. (2003) код јуvenilног дрвета смрче, а која је такође изражена формулом: $y = -0,000635x^2 + 0,573x - 97,77$, са коефицијентом детерминације од $r^2 = 0,985$. Исти аутори наводе да је иста зависност добијена и код зрелог дрвета, док је код тзв. прелазног дрвета, између јуvenilног и зрелог, зависност линеарног облика.

Графикон 2 показује да је чврстоћа на притисак паралелно са влаканицама највећа ако је густина дрвета између $0,480$ и $0,500 \text{ g/cm}^3$, а најмања ако је густина испод $0,380 \text{ g/cm}^3$. Исто тако неке епрувете које имају густину од $0,550 \text{ g/cm}^3$ имају исту вредност чврстоће на притисак као и епрувете са густином од $0,370 \text{ g/cm}^3$. Оваква варијација је, вероватно последица различите микроскопске грађе, присуства кврга, компресионог и јуvenilног дрвета, нарочито у горњим деловима стабла, а такође и различите густине дрвета појединих делова стабала посматраних од срца ка кори.



Графикон 2 - Утицај густине дрвета смрче на чврстоћу на притисак паралелно са влаканицама

Diagram 2: Effect of spruce wood density on compressive strength parallel to the grain

Познавањем вредности ширине прстена прираста могу се претпоставити нека физичка, механичка и технолшка својства дрвета. Нарочито је интересантна веза између ширине прстена прираста и густине дрвета, као најважнијег индикатора својстава дрвета код четинара (Zobel, Buיתепен, 1989). Да ширина прстена прираста утиче и на чврстоћу на притисак паралелно са влаканицама, код дрвета смрче, показала је Lukić Simović N. (1960). Аутор је дошао до закључка да је чврстоћа на притисак код ужих година за око 27 % већа од чврстоће на притисак код ширих година. Ови резултати су очекивани с обзиром на то да пресудну улогу у овоме игра густина прстена прираста. Резултати истраживања других аутора, према Lindstromu H. (1996): Nylander, Hagglund 1954, Hildebrant 1954, Trendelen-

burg, Mayer-Wegelin 1955, Kollman – Cote., 1968, Hakila 1968, 1979, Persson 1975 показали су, такође, да са повећањем ширине прстена прираста, код четинара, расте учешће раног дрвета, које за 2 до 3 пута има мању густину од касног дрвета, а самим тим и мању вредност чврстоће на притисак. Новија истраживања Cheng-Jun ga L. et al. (2007), који су истраживали ефекат својстава прстена прираста на чврстоћу на притисак код седам четинарских врста дрвета, наводе да је густина прстена прираста у вези са чврстоћом на притисак, али да није једини фактор који на то утиче. Чврстоћа на притисак се повећава ако се смањује ширина прстена прираста и повећава густина прстена прираста. Исти аутори такође приказују и да је утицај прстена прираста различит на чврстоћу на притисак паралелно са влаканцима и управно на влаканца, односно, да су мањи коефицијенти корелације добијени при утицају прстена прираста на чврстоћу на притисак управно на влаканца.

Према претходним истраживањима Шошкића Б. и др. (2008) за иста испитивана стабла смрче, просечна вредност ширине прстена прираста на прсној висини (1,3 m) износи 2,99 mm, а просечне вредности по стаблима су: стабло I – 4,26 (2,56 – 7,22) mm, стабло II – 3,68 (2,06 – 7,56) mm и стабло III – 4,20 (2,62 – 5,81) mm. Укупно за сва три анализирана стабла просечна вредност ширине прстена прираста износи 4,05 (2,06 – 7,56) mm са коефицијентом варијације од 29,8 %. Ова вредност ширине прстена прираста је већа од оне коју је добила Лукић – Симоновић Н. (1960) која износи 1,65 mm, а приближно је иста вредности до које је дошао Тодоровић Н. (2006) испитујући јувенилно дрво смрче са планине Гоч, од 4,78 mm са коефицијентом варијације од 11,9 %. Да шири прстенови прираста садрже јувенилно дрво потврдила су и истраживања Go ri še ka Ž. и Stra že a A. (2005) који су приказали да је ширина прстена прираста јувенилног дрвета између 3,5 и 4,3 mm, а здравог дрвета око 2,3 mm.

Резултати ових истраживања показују да је утицај ширине прстена прираста на чврстоћу на притисак паралелно са влаканцима негативан и да је та зависност (графикон 3) логаритамског облика:

$$y = -10,499 \ln(x) + 52,243,$$

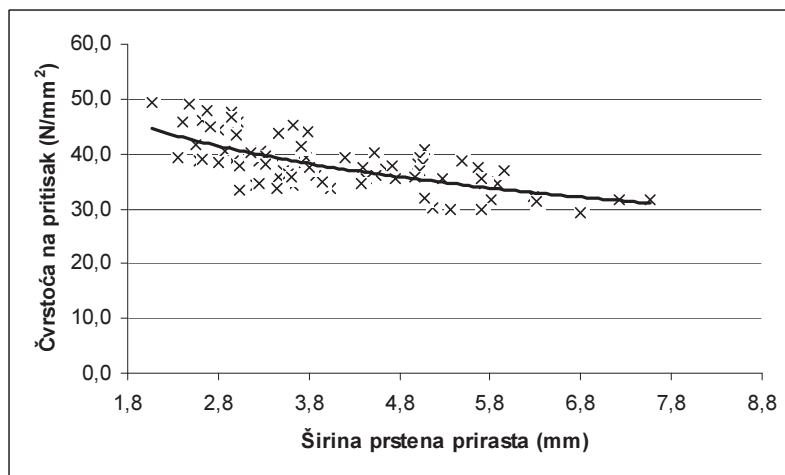
где је:

y – ширина прстена прираста (mm);

x – чврстоћа на притисак паралелно са влаканцима (N/mm²)

са коефицијентом детерминације $r^2 = 0,46$.

У доњим деловима стабла ширина прстена прираста износи, просечно 2,96 mm, а чврстоћа на притисак 39,6 N/mm². У горњим деловима, на висини од 9,3 m, ширина прстена прираста износи 5,86 mm, а чврстоћа на притисак 34,6 N/mm². Варијација вредности ширине прстена прираста је највећа у горњим деловима стабла, а најмања у доњим, што за последицу има варијацију механичких својстава дрвета.



Графикон 3 - Утицај ширине прстена прораста дрвета смрче на чврстоћу на притисак паралелно са влаканицима

Diagram 3: Effect of spruce growth ring width on compressive strength parallel to the grain

Констатација да је техничка вредност неког дрвета као материјала висока, ако је његова чврстоћа велика, а густина мала, основа је у избору конструктивног материјала. Као мера техничког квалитета дрвета и његове употребе у грађевинарству служи коефицијент квалитета. За ова истраживана стабла смрче коефицијент квалитета просечно износи 8,6 (3,5 – 10,2), са коефицијентом варијације од 15,6 %. На основу добијене средње вредности, а према Монпин-овој табели о квалитету дрвета коју наводе Kollmann F. и Cote W. (1984), анализирано просечно јувенилно дрво смрче би се сврстало у дрво средњег квалитета. Вредности коефицијената квалитета по појединим стаблима су приказане у табели 4.

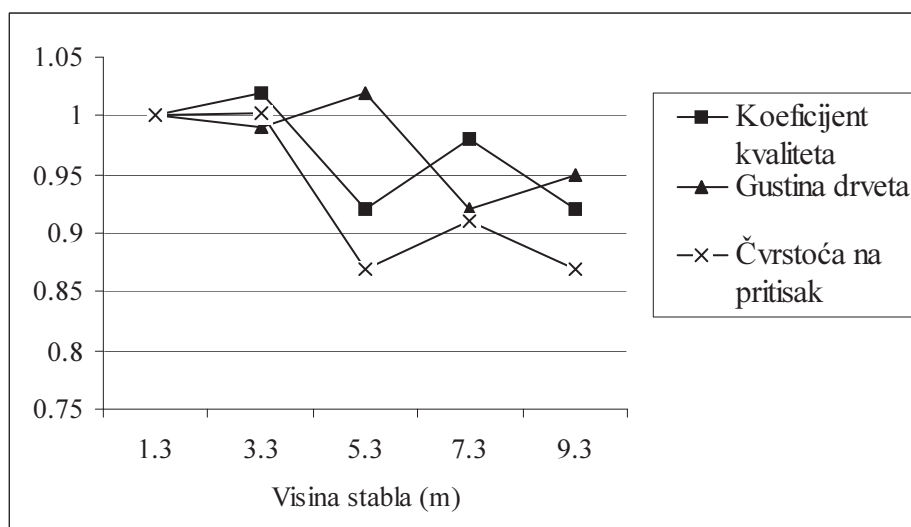
Табела 4 - Вредности коефицијената квалитета по стаблима

Table 4 - Coefficient of quality per trees

| ред.бр. | Статистички параметри | Стабло I | Стабло II | Стабло III |
|---------|--------------------------------|----------|-----------|------------|
| 1 | n | 30 | 30 | 26 |
| 2 | \bar{x} (N/mm ²) | 8.7 | 8.4 | 8.7 |
| 3 | σ (N/mm ²) | 1.1 | 1.7 | 1.1 |
| 4 | v (%) | 12.4 | 20.2 | 13.2 |
| 5 | f_x (N/mm ²) | 0.2 | 0.3 | 0.2 |
| 6 | xmin (N/mm ²) | 6.3 | 3.5 | 4.5 |
| 7 | xmax (N/mm ²) | 10.2 | 10.2 | 10.0 |

Ова вредност коефицијента квалитета је већа од вредности коју приказују Pazdrowski W. i Splawa-Neyman S. (2003) за јувенилно дрво смрче од 6,9, а мања од вредности за зрело дрво од 9,4. Промена коефицијента

квалитета, густине и чврстоће на притисак паралелно са влаканцима, по висини стабла, приказана је на графикону 4. Нађена је сигнификатна разлика између ових вредности, што показује да висина стабла утиче на технички квалитет јувенилног дрвета смрче. Промена је приказана у односу на вредности посматраних својстава на прсној висини од 1,3 m. Са графика се види да вредности опадају са порастом висине дебла. Интересантан је распоред густине и квалитета дрвета, где се види да је на 5,3 m густина највећа, а коефицијент квалитета најмањи, што показује да густина није једино мерило за његов квалитет и његову примену у грађевинарству.



Графикон 4 - Промена коефицијента квалитета, густине и чврстоће на притисак јувенилног дрвета смрче по висини стабла
 Diagram 4: Change of the coefficient of quality, density, and compressive strength of juvenile spruce wood with tree height

3.2 Тврдоћа дрвета по Brinell-у

Према добијеним резултатима попречна тврдоћа јувенилног дрвета смрче на прсној висини (1,3 m) износи 22,1 (13,5 – 34,6) N/mm², а бочна (радијална) износи 11,5 (6,5 – 21,4) N/mm². Просечно, за сва анализирана стабла, попречна тврдоћа износи 21,3 (12,5 – 35,9) са коефицијентом варијације од 28%, а бочна 12 (6,5 – 21,4) N/mm², са коефицијентом варијације од 27,5%. Вредности тврдоће са основним статистичким параметрима, по појединим стаблима приказани су у табели 5.

Из табеле 5 видимо да је највећа вредност попречне и бочне тврдоће забележена код стабла са ознаком I, а најмања код стабла са ознаком II. Према добијеним просечним подацима, попречна тврдоћа је за око 43 % већа од вредности бочне тврдоће дрвета. Добијене вредности попречне и бочне тврдоће смрче мање су од вредности тврдоће добијене по методи Јанка од 25,5 N/mm² за попречну и 17,7 N/mm² за бочну тврдоћу, које наводе Шош кић Б. и По по вић З. (2002).

Табела 5 - Вредности тврдоће јуvenilног дрвета смрче при влажности од 12%

Table 5 - Hardness of juvenile spruce wood at MC 12 %

| ред.бр. | Статистички параметри | Стабло I | | Стабло II | | Стабло III | |
|---------|--------------------------------|----------|-------|-----------|-------|------------|-------|
| | | Попречна | Бочна | Попречна | Бочна | Попречна | Бочна |
| 1 | n | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 26 | 26 |
| 2 | \bar{x} (N/mm ²) | 27.4 | 13.4 | 17.1 | 10.9 | 19.1 | 11.7 |
| 3 | σ (N/mm ²) | 4.5 | 3.6 | 2.7 | 3.2 | 4.4 | 2.5 |
| 4 | V (%) | 16.3 | 26.7 | 15.8 | 29.2 | 23.0 | 21.7 |
| 5 | f_x (N/mm ²) | 0.8 | 0.7 | 0.5 | 0.6 | 0.9 | 0.5 |
| 6 | xmin (N/mm ²) | 20.0 | 9.5 | 12.5 | 6.5 | 14.1 | 8.2 |
| 7 | xmax (N/mm ²) | 35.9 | 21.4 | 24.3 | 17.1 | 34.0 | 16.8 |

Добијене вредности коефицијената варијације су веће од вредности које приказује Шош кић Б (1994) од 17 %. Велика варијабилност може бити последица мана Бринеловог метода за одређивање тврдоће дрвета. Куглица приликом утискивања у дрво делом своје запремине може бити у раном, а делом у касном дрвету. Међутим, код јуvenilног дрвета смрче прстенови прираста су шири, у односу на здраво дрво, што доприноси да отисак куглице целом својом запремином, једним делом буде у зони раног дрвета, а једним у зони касног дрвета. На тај начин су вредности таквог отисака на тангенцијалној површини дрвета мање варијабилни него на попречној површини. Ову тврдњу нам потврђује табела 6, где се види да су величине отиска куглице на тангенцијалној страни (радијална тврдоћа) уједначеније. Исто тако се запажа да су све вредности отиска куглице веће од ширине прстена прираста. Ова анализа потврђује недостатке примене методе по Бринелу, поготову код дрвета чије су просечне вредности и коефицијенти варијације ширине прстена прираста велики. За испитиване епрувете просечна вредност ширине прстенова прираста износи 4,07 мм, са коефицијентом варијације од 30 %.

Табела 6 - Просечне вредности ширине прстена прираста и величине отиска куглице

Table 6 - Average values of growth ring width and the area of the ball indentation in Brinell's method

| ред.бр. | Стабло | Ширина прстена прираста (mm) | Величина отиска куглице (mm) | |
|---------|------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| | | | на попречној површини | на тангенцијалној површини |
| 1 | Стабло I | 4,3 | 4,5 | 6,3 |
| 2 | Стабло II | 3,7 | 5,5 | 6,9 |
| 3 | Стабло III | 4,2 | 5,3 | 6,6 |

Анализирана је, такође, сигнификатност попречне и бочне тврдоће и утврђено је да постоји суштинска разлика између ова два својства, а исто тако и између појединих стабала. За попречну тврдоћу вредност F – теста износи 57,28 ($p < 0,05$), а за бочну $F = 5,02$ ($p < 0,05$). Посматрано по висини стабла није утврђена суштинска разлика у вредностима тврдоће дрвета на појединим висинама. На основу ових резултата извршена је анализа по појединим стаблима о утицају ширине прстена прираста и густине на попречну, односно радијалну тврдоћу дрвета. Утврђене корелационе зависности су приказане у табели 7.

Из табеле се види да је код стабла I утврђен негативан утицај ширине прстена прираста на тврдоћу дрвета и то линеарног облика, а иста функционална зависност, али позитивног облика, утврђена је код утицаја густине на попречну тврдоћу дрвета. Код стабла са ознаком III је, такође, успостављена позитивна линеарна корелациона зависност између густине и радијалне тврдоће дрвета.

Табела 7 - Корелациона зависности између испитиваних својстава дрвета

Table 7 - Correlation of the analysed wood properties

| ред.бр. | Зависност између | Стабло | Једначина | Коефицијент детерминације r^2 |
|---------|--|--------|------------------------|---------------------------------|
| 1. | ширине прстена прираста и попречне тврдоће | I | $y = - 2,05 x + 35,47$ | 0,463 |
| 2. | густине и радијалне тврдоће | III | $y = 32,08 x - 1,84$ | 0,55 |
| 3. | густине и попречне тврдоће | I | $y = 70,56 x - 1,86$ | 0,60 |

4. ЗАКЉУЧЦИ

На основу анализе чврстоће на притисак и тврдоће јувенилног дрвета смрче пореклом из култура у околини Бања Луке, добијени су следећи подаци:

- просечна вредност ширине прстена прираста на прсној висини (1,3 m) износи 2,99 mm, а укупно за сва три анализирана стабла 4,05 (2,2 – 7,2) mm са коефицијентом варијације од 29,8 %;
- просечна густина дрвета на прсној висини износи 0,422 g/cm³, а за сва три стабла 0,406 (0,339 – 0,520) g/cm³, са просечним коефицијентом варијације од 10,8 %;
- просечна вредност чврстоће на притисак паралелно са влаканицама на прсној висини, од 1,3 m, износи 39,6 N/mm², а за сва анализирана стабла 38,01 (29,4 – 49,3) N/mm², са коефицијентом варијације од 12,2 %;
- посматрано по висини и између стабала, чврстоћа на притисак се сигнификатно разликује. По висини стабла, чврстоћа на притисак опада, тј. највећа је на 1,3 m, а најмања код 9,3 m висине стабла;
- резултати истраживања показују да је зависност између густине и чврстоће на притисак паралелно са влаканицама квадратног облика и може се изразити формулом $y = -579,11 x^2 + 553,89 x - 91,70$, са коефицијентом детерминације од $r^2 = 0,43$;

- ширина прстена прираста утиче негативно на чврстоћу на притисак паралелно са влаканицима и та зависност је логаритамског облика: $y = -10,499 \ln(x) + 52,243$, са коефицијентом детерминације $r^2 = 0,46$;
- за истраживана стабла смрче, коефицијент квалитета просечно износи 8,6 (3,5 – 10,2) са коефицијентом варијације од 15,6 %. На основу добијене средње вредности, а према Monnin-овој табели о квалитету дрвета, коју наводе *Kollmann F. u Cote W. (1984)*, анализирано просечно јувенилно дрво смрче сврстало би се у дрво средњег квалитета. Посматрано по висини стабла коефицијент квалитета значајно опада, што утиче на избор дела дрвета у циљу његове примене у грађевинарству;
- попречна тврдоћа јувенилног дрвета смрче на прсној висини (1,3 m) износи 22,1 (13,5 – 34,6) N/mm², а бочна (радијална) износи 11,5 (6,5 – 21,4) N/mm². Просечно, за сва анализирана стабла, попречна тврдоћа износи 21,3 (12,5 – 35,9) са коефицијентом варијације од 28 %, а бочна 12 (6,5 – 21,4) N/mm², са коефицијентом варијације од 27,5 %;
- према сигнификатности између попречне и бочне тврдоће утврђено је да постоји суштинска разлика између вредности ових тврдоћа, а исто тако и између појединих стабала. Исто тако посматрано и по висини стабла није утврђена суштинска разлика у вредностима тврдоће дрвета на појединим висинама;
- код појединих стабала утврђен је позитиван утицај густине дрвета на попречну, односно радијалну тврдоћу дрвета и та зависност је линеарног облика, а код стабла са ознаком II успостављен је негативан утицај ширине прстена прираста на попречну тврдоћу дрвета, која је такође линеарног облика.

ЛИТЕРАТУРА

- Cheng – Jung L., Ming – Jer T., Chia-Ju L., Song –Yung W., Lang – Dong L. (2007): "Effects of ring characteristics on the compressive strength and dynamic modulus of elasticity of seven softwood species", *Holzforschung* 61 pp. 414 - 418
- Cirule D., Lagana R., Hrols J., Dolacis J. (2006): "Цханге in some mechanical properties along the stem and effect of scale factor of Norway spruce (*Picea abies* Karst.)" *Proceedings of the 5th IUFRO Symposium "Wood Structure and Properties"*, Slovakia;
- Deresse T., Shepard R.K., Rice R.W. (2002) "Longitudinal shrinkage, kiln drying defects, and lumber grade recovery of red pine (*Pinus resinosa* Ait.) from a 125 – year old natural stand and a 57 – year old plantation", *Fores products journal* 52: 5., pp 88-93
- Gorišek Ž., Straže A., (2005): "Утјечај грађе дрва на савијање смрековине (*Picea abies* Karst.) у процесу сушења", *Sedmo међународно зnanstveno savetovanje Drvo u graditeljstvu, Zbornik radova*, Zagreb;
- Gorišek Ž., Torelli N. (1999): "Microfibril angle in juvenile, adult and compression wood of spruce and silver fir" *Phyton* 39,1, pp: 129 – 132
- Gryc V., Horaček P. (2007): "Variability in density of spruce (*Picea abies* L.) wood with the presence of reaction wood", *Journal of Fores science*, 53, 2007 (3): pp 129 - 137
- Kollman F., Cote W. (1984): "Principles of wood science and technology" Springer Verlag, Berlin 1984.

- Larson P. R., Kretschmann D.E., Clark A.I., Isebrands J.G. (2001): "Formation and properties of juvenile wood in southern pines", Gen. Tech. Report FPL – GTR – 129, Forest products Laboratory, pp.42.
- Lindstrom H. (1996): "Basic density in Norway spruce. Part III. Development from pith outwards" Wood and Fiber science 28(4), pp. 391-405.
- Лукић-Симоновић Н. (1960): "Прилог познавању техничких својстава смрче", Шумарство XIII, 3-4, Београд;
- Lundgren N., Brannstrom M., Hagman O., Oja J. (2007): "Predicting the strength of Norway spruce by microwave scanning: a comparison with other scanning techniques", Wood and Fiber science, 39 (1) pp: 167 - 172
- Pazdrowski W., Splawa – Neyman S. (2003): "Stage growth of trees and effect on selected properties of Norway spruce wood (*Picea abies* (L.) Karst.)", Electronic Journal of Polish agricultural Universities 6, Volume Issue 2, topic Forestry;
- Tassisa G., Burkhardt H.E. (1997): "Јувениле – mature wood demarcation in loblolly pine trees" Wood and fiber Science, 30 (2) pp: 119 - 127
- Тодоровић Н. (2006): "Аксијално утезање дрвета букве (*Fagus moesiaca* C.), храста китњака (*Quercus sessiliflora* S.) и смрче (*Picea excelsa* L.)". Магистарски рад, Шумарски факултет Београд.
- Molteberg D., Hoibo O. (2006): "Development and variation of wood density, kraft pulp yield and fibre dimensions in young Norway spruce (*Picea abies*)", Wood Science and technology 40; 173 – 189;
- Paulinyova J.M., Čunderlik I. (2006): "Chosen physical properties of spruce juvenile wood (*Picea abies* Karst.)", Proceedings of the 5th IUFRO Symposium "Wood Structure and Properties", Slovakia;
- Шошкић Б. (1994): "Практикум из својства дрвета" Шумарски факултет, Београд.
- Шошкић Б., Говедар З., Тодоровић Н., Петровић Д. (2007): "Основна физичка својства дрвета смрче (*Picea abies* Karst.) из култура", Гласник Шумарског факултета 96 pp: 97 – 110,
- Шошкић Б., Поповић З., (2002) "Својства дрвета" Шумарски факултет, Београд.
- Zink – Sharp A., Price C. (2006): "Intra ring compression strength of low density hardwoods" Maderas ciencia y tecnologia 8 (2); pp 117 – 126
- Zobel B.J. Buijtenen van J. (1989): "Wood variation. Its causes and control, Springer Verlag, Berlin New Yourk -Tokyo

COMPRESSIVE STRENGTH AND HARDNESS OF SPRUCE (*Picea abies* Karst.)
WOOD FROM PLANTATIONS

Borislav Šoškić
Zoran Govedar
Nebojša Todorović
Danijela Petrović

Summary

Compressive strength and hardness of juvenile spruce wood from plantations in the surroundings of Banja Luka were researched: compressive strength parallel to the grain, end and side hardness. The analysis included three trees of average age about 16 years. The data for breast height, and altogether for all specimens from breast height to 9.3 m, was statistically processed. The research and analysis of compressive strength and hardness of juvenile spruce wood from plantations show that the average value of growth ring width at breast height (1.3 m) was 2.99 mm, and altogether for all three analysed trees 4.05 (2.2 – 7.2) mm with the coefficient of variation 29.8 %. Average wood density at breast height was 0.422 g/cm³, and for all three trees 0.406 (0.339 – 0.520) g/cm³, with the average coefficient of variation accounting for 10.8 %. Average value of compressive strength parallel to the grain at breast height (1.3 m) was 39.6 N/mm², and for all analysed trees 38.01 (29.4 – 49.3) N/mm², with coefficient of variation 12.2 %. Compressive strength decreases with tree height, i.e. it is the greatest at 1.3 m, and the lowest at 9.3 m. The results of our research show that the dependence between density and compressive strength parallel to the grain had square form, which can be expressed by a formula $y = -579.11 x^2 + 553.89 x - 91.70$, with the coefficient of determination $r^2 = 0.43$. Growth ring width had a negative effect on compressive strength parallel to the grain and the dependence had a logarithmic form $y = -10.499 \ln(x) + 52.243$, with the coefficient of determination $r^2 = 0.46$.

In our research of spruce trees, the quality coefficient is on average 8.6 (3.5 – 10.2) with the coefficient of variation 15.6 %. Based on the obtained mean value, and according to Monnin's table of wood quality, reported by *Kollmann F.* and *Cote W. (1984)* the analysed average juvenile spruce wood is classified as medium quality wood. The coefficient of quality decreases significantly with tree height which affects the selection of wood parts planned for the application in civil engineering.

End hardness of juvenile spruce wood at breast height (1.3 m) was 22.1 (13.5 – 34.6) N/mm², and side (radial) hardness was 11.5 (6.5 – 21.4) N/mm². Averagely, for all analysed trees, end hardness was 21.3 (12.5 – 35.9) with the coefficient of variation 28 %, and side hardness was 12 (6.5 – 21.4) N/mm², with the coefficient of variation 27.5 %. As for the significance, there is an essential difference between the values of end and side hardness, as well as among individual trees. From the aspect of tree height, there was no essential difference in wood hardness at individual heights.

There was a positive effect of wood density on end, i.e. radial hardness in individual trees and the dependence had a linear form. The tree marked II showed a negative effect of growth ring width on end hardness of wood and it also had a linear form.