

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ

Јован Добић

**МОГУЋНОСТ ПОБОЉШАЊА АДХЕЗИЈЕ УВ
АКРИЛНОГ ПРЕМАЗА НА ПОДЛОЗИ ОД
ТЕРМОТРЕТИРАНОГ ДРВЕТА БУКВЕ**

докторска дисертација

Београд, 2016

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF FORESTRY

Jovan Dobić

**THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE ADHESION
OF UV ACRYLIC COATING ON THE SURFACE OF
HEAT TREATED BEECH WOOD**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2016

МЕНТОР:

Др Милан Јаић, редовни професор
Универзитет у Београду, Шумарски факултет

Чланови комисије:

Др Миланка Ђипоровић-Момчиловић, редовни професор
Универзитет у Београду, Шумарски факултет

Др Симонида Томић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Датум одбране:

КЉУЧНЕ ДОКУМЕНТАЦИОНЕ ИНФОРМАЦИЈЕ

Редни број:	
Идентификациони број (ИБР):	
Тип документа (ТД):	Монографска публикација
Тип записа (ТЗ):	Текстуални штампани материјал
Врста рада (ВР):	Докторска дисертација
Аутор (АУ):	Јован Добић, дипл. инж. прераде дрвета
Ментор/Ко-ментор (МН):	др Милан Јајић, редовни професор, Универзитет у Београду, Шумарски факултет
Наслов рада (НР):	Могућност побољшања адхезије УВ акрилног премаза на подлози од термотретираног дрвета букве
Језик публикације (ЈЗ):	Српски/Кирилица
Земља публикавања:	Република Србија
Географско подручје (УПП):	Србија
Година (ГО):	2016
Издавач (ИЗ):	Ауторски репринт
Место и адреса (МА):	11030 Београд, Кнеза Вишеслава 1
Физички опис рада (бр.пгл/страница/лит. навода/табела/слика):	9 поглавља/XVIII/156 стр./96 литературна навода/18 табела/59 слика
Научна област (НО):	Биотехничке науке
Научна дисциплина (ДИС):	Финална прерада дрвета
Предметна одредница/кључне речи (ПО)	Буква, термички третман, адхезија, ув акрилни премаз, систем брушења, контактни угао, храпавост
УДК:	
Чува се (ЧУ):	Библиотека Шумарског факултета, 11030 Београд, Кнеза Вишеслава 1
Важна напомена (ВН)	Нема
Извод (ИЗ)/регулатив:	Предмет истраживања докторске дисертације био је да се утврди могућност побољшања адхезије УВ акрилног премаза на подлози од термотретираног дрвета букве, односно да се установе оптимални процесни параметри приликом површинске обраде овог материјала са изабраном технологијом и премазом. Буква је у форми фризе термички третирана на различитим температурама током централне фазе термичког третмана, на температурама од 140 °С, 160 °С и 194 °С.
Датум прихватања теме (ДП) од стране НН већа:	15.03.2012.
Датум одбране (ДО):	
Чланови комисије (КО):	Др Милан Јајић, редовни професор Универзитет у Београду, Шумарски факултет Др Миланка Ђипоровић-Момчиловић, редовни професор Универзитет у Београду, Шумарски факултет Др Симонида Томић, ванредни професор Универзитет у Београду, Технолошко-Металуршки факултет

МОГУЋНОСТ ПОБОЉШАЊА АДХЕЗИЈЕ УВ АКРИЛНОГ ПРЕМАЗА НА ПОДЛОЗИ ОД ТЕРМОТРЕТИРАНОГ ДРВЕТА БУКВЕ

Резиме: У раду је испитана могућност побољшања адхезије УВ акрилног премаза на подлози од термотретираног дрвета букве, у циљу одређивања оптималних процесних параметара приликом површинске обраде овог материјала са изабраном технологијом и премазом.

Узорци су израђени од дрвета букве (*Fagus moesiaca* C.), која је у форми фризе термички третирана на температурама 140 °C, 160 °C и 194 °C. Брушење је урађено на широкотрачној брусилици са четири агрегата, тако што су на четвртном агрегату мењане гранулације брусног папира, и то P100, P120 и P150. На обрушене узорке нанет је основни УВ акрилни премаз у који су додати различити удели очвршћивача (4,5%, 7,5% и 10,5%) системом машина за ваљање на линији за лакирање трослојног паркета.

Део обрушених узорака искоришћен је за анализу површине дрвета, тј. за мерење боје, храпавости, угла квашења и хемијску анализу. Непосредним методама одређивања адхезије, методом решетке и методом печатника, одређена је интеракција између основног УВ акрилног премаза и термички третираног дрвета букве.

Применом брусног папира са ситнијим брусним зрнима у завршној фази брушења дошло је до смањивања храпавости код контролног узорка, као и код узорака термички третираних на свим температурама, као што је и било очекивано. Формулација основног премаза са повећаним уделом очвршћивача од 10,5% додатно утиче на повећање угла квашења, растући са повећањем температуре термичког третирања. Најслабија јачина адхезије методом решетке добијена је за највишу примењену температуру термичког третмана од 194°C, док је најбоља јачина адхезије постигнута на термички нетретираним узорцима, чиме је потврђен негативан утицај термичког третмана на јачину адхезије акрилног премаза. Најслабија јачина адхезије је постигнута са уделима очвршћивача од 4,5 и 7,5 %, док је са повећаним уделом очвршћивача од 10,5 % дошло до побољшања адхезије. Код узорака брушених завршном гранулацијом п P120 се примећује јасна зависност између примењеног удела очвршћивача у основном премазу и оцене решетке. Одређивањем адхезије методом печатника показано је да је јачина адхезије на термички третираним узорцима у односу на кохезивне везе самог дрвета али њоме се нису могле одредити прецизне вредности, услед повећања удела кохезивног лома повећањем термотретмана температуре.

Кључне речи: Буква, термички третман, адхезија, УВ акрилни премаз, систем брушења, контактни угао, храпавост

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession Number (AN):	
Identificatio number (INO):	
Document Type (DT):	Monographic publication
Type of Record (TR):	Textual printed article
Contains Code (CC):	Doctoral dissertation
Author (AU):	Jovan Dobić, graduate engineer
Menthor (MN):	PhD Milan Jaić, full professor University of Belgrade Faculty of Forestry
Title (TI):	The possibility of improving the adhesion of UV acrylic coating on the surface of heat treated beech wood
Language of Text (LT):	Serbian/Cyrillic alphabet
Country of publication (CP):	Serbia
Locality of publication (LP):	Novi Sad
Publication Year (PY):	2016
Publisher (PU):	Author's reprint
Publication Place (PP):	Faculty of Forestry, 11030 Belgrade, Kneza Višeslava 1
Physical Description (PD):	9 chapters/XVIII/156 pages/96 references/18 tables/59 pictures
Scientific field (SF):	Biotechnological sciences
Scientific discipline (SD):	Final wood processing
Subject/Key words (CX):	beach wood, UV acrylic coating, adhesion, surface roughness
UC:	
Holding data (HD):	Library of Faculty of Forestry, Kneza Višeslava 1, 11030 Belgrade
Note (N):	None
Abstract (AB):	The aim of doctoral dissertation was to determine possiblility of improving the adhesion of UV acrylic coating on the surface of heat treated beech wood, and to find optimal process parameters for surface processing of this modified material with chosen technology and coating. Beech wood in form of strips was heat treated at different temperatures during the central stage of heat treatment process, at temperatures 140 °C, 160 °C and 194 °C.
Acc. by Sc. Board on (ASB):	15.03.2012.
Defended on (DE):	
Thesis defend board(DB):	Dr Milan Jaić, full professor University of Belgrade, Faculty of Forestry Dr Milanka Điporović-Momčilović, full professor University of Belgrade, Faculty of Forestry Dr Simonida Tomić, associate professor University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy

THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE ADHESION OF UV ACRYLIC COATING ON THE SURFACE OF HEAT TREATED BEECH WOOD

Summary: The aim of doctoral dissertation was to determine possibility of improving the adhesion of UV acrylic coating on the surface of heat treated beech wood, and to find optimal process parameters for surface processing of this modified material with chosen technology and coating.

Beech wood in form of strips was heat treated at different temperatures during the central stage of heat treatment process, at temperatures 140 °C, 160 °C and 194 °C. Sanding was done on wide belt machine with four aggregates, and on fourth aggregate the grit of sanding belts was changing from P 100, P 120 to P 150. Then on sanded samples was applied base UV acrylic coat with different share of hardener (4,5%, 7,5% and 10,5%) using lacquering line in three-layer parquet production by system of rollers applicator.

The other part of sanded samples was used for surface analysis of wood, for color determination, for determining roughness, contact angle and chemical analysis. Using direct methods for the determination adhesion, cross cut and pull-off method, interaction between basic UV acrylic coating and heat treated beech wood was determined.

As expected the roughness of the control sample and of all heat treated samples was reduced with using finer grit of sandpaper at final stage of sanding, with. Formulation of base coat with an increased share of hardener of 10,5% had additional impact on increasing contact angle increasing with higher temperature of heat treatment. The lower values of adhesion measured by cross-cut method was achieved with the highest applied temperature during heat treatment of 194 °C, while the best adhesion was achieved on heat untreated samples proving the negative impact of heat treatment on the adhesion of acrylic coatings. The weakest adhesion was achieved with shares of hardener of 4.5 and 7.5%, while adhesion was improved using share of hardener of 10.5%. For samples with the applied final sanding grit of P120 can be observed a clear correlation between the share of hardener added in base coat and the mark of adhesion measured by cruss-cut method. Determinating adhesion by pull-off method showed that the adhesion on heat treated samples was higher than the cohesive strength in the wood but it wasn't possible to determine its precise value, due to increasing share of cohesive failure by increasing applied tempearture in heat treatment.

Key words: Beech, heat treatment, adhesion, uv acrylic coating, system of sanding, contact angle, roughness

Садржај

1. УВОД	1
2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА	3
2.1 Предмет истраживања	3
2.2 Циљ истраживања	4
3. ДОСАДАШЊА ИСТРАЖИВАЊА	6
3.1 Термотретирано дрво	6
3.1.1 Промене које настају код термотретираног дрвета	10
3.1.1.1 Промена микро структуре термотретираног дрвета	10
3.1.1.2 Промена хемијског састава термотретираног дрвета	12
3.1.2 Својства термотретираног дрвета	15
3.1.2.1 Физичка својства термотретираног дрвета	15
3.1.2.2 Механичка својства термотретираног дрвета	18
3.1.3 Подручја примене термотретираног дрвета	19
3.2 УВ акрилни премази	21
3.2.3 Формирање филма код УВ акрилних премаза	26
3.2.3 Адхезија премаза на термотретираном дрвету	32
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО	37
4.1. План истраживања и методе експерименталног рада	37
4.1.1 Избор утицајних параметара	37
4.1.2 Избор константних параметара	40
4.1.3 План експерименталног рада	41
4.2 Избор материјала	44
4.2.1 Дрвна врста	44
4.2.2 УВ премаз	45
4.2.3 Очвршћивач УВ премаза	47
4.2.4 Помоћни материјали	47
4.3 Припрема материјала	48
4.3.1 Припрема термотретираних узорака букве	48
4.3.2 Израда експерименталних узорака (подлоге)	56

4.3.4 Припрема основног УВ акрилног премаза.....	61
4.4 Површинска обрада узорака	62
4.4.1 Наношење основног премаза	62
4.5 Методе испитивања.....	67
4.5.1 Одређивање својства подлоге.....	67
4.5.1.1 Одређивање храпавости	67
4.5.1.2 Одређивање боје обрушених узорака	68
4.5.1.3 Одређивање контактнoг угла течности.....	69
4.5.1.4 Хемијски састав дрвета	70
4.5.2 Одређивање својстава течнoг премаза	71
4.5.2.1 Одређивање садржаја суве материје	71
4.5.2.2 Одређивање густине премаза.....	73
4.5.2.3 Одређивање вискозитета премаза методом истицања	74
4.5.2.4 Одређивање динамичког вискозитета	74
4.5.2.5 Одређивање рН вредности	75
4.5.3 Одређивање карактеристика очврснулог премаза.....	75
4.5.3.1 Одређивање дебљине сувог филма премаза.....	75
4.5.3.2 Одређивање адхезије очврснулог премаза	76
4.5.3.2.1 Одређивање адхезије методом решетке.....	76
4.5.3.2.2 Одређивање адхезије методом печатника.....	78
4.6 Статистичка обрада резултата	79
5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И АНАЛИЗА.....	80
5.1 Карактеристике УВ акрилног премаза.....	80
5.1.1 Садржај суве материје	80
5.1.2 Густина премаза	80
5.1.3 Вискозитет премаза методом истицања	81
5.1.4 Динамички вискозитет	81
5.1.5 рН вредност	82
5.2 Карактеристике дрвета	83
5.2.1 Храпавост површине дрвета.....	83
5.2.2 Боја обрушених узорака	90

5.2.3 Хемијске промене дрвета.....	92
5.2.4 Угао квашења	95
5.3 Карактеристике система дрво – премаз	109
5.3.1 Дебљина сувог филма премаза.....	109
5.3.2 Адхезија методом решетке.....	110
5.3.3 Адхезија методом печатника.....	116
6. ЗАКЉУЧЦИ.....	121
7. ПРЕДЛОЗИ ЗА БУДУЋА ИСТРАЖИВАЊА	125
8 ЛИТЕРАТУРА.....	126
9. ПРИЛОЗИ.....	133
9.1 Табеларни приказ резултата	132
9.2 Статистичка обрада резултата	137
9.3 Сlike	152

Садржај слика

Слика 1.	Промена температуре за поједине фазе термичког процеса (Финска асоцијација за термодрво, 2003)	7
Слика 2.	Спољашњи изглед коморе за термичку обраду дрвета („Таркет д.о.о“ Бачка Паланка)	8
Слика 3.	Микроскопски снимак значајног колапса на трахејама букве и таложења екстрактива, (Бунстра и др., 2006)	11
Слика 4.	Екстракт буковог дрвета у ацетону: а) референтни и термотретирани узорак; б) GC-MS спектар (Виндајзен и Вегенер, 2008)	14
Слика 5.	Примена термотретираниог дрвета у екстеријеру (Платовуд) и ентеријеру (Термовуд)	20
Слика 6.	Акрилатне смоле које очвршћавају зрачењем (Брот и др., 2000)	21
Слика 7.	Уопштена структурна формула акрилата	23
Слика 8.	Контактни угао и распоред напона између чврсте и течне фазе (http://biomateriales.org/blog/2011/09/angulo-de-contacto-en-nanoparticulas)	26
Слика 9.	Различите врсте зрачења у зависности од таласних дужина (Бајер Material Science, 2010)	28
Слика 10.	Промена вискозитета од мономера до UV умреженог премаза (Швалм, 2006)	29
Слика 11.	Опис три основна ступња при полимеризацији акрилата преко слободних радикала (Колеске, 2002)	31
Слика 12.	План истраживања	43
Слика 13.	Слојеви узорка паркетне даске	48
Слика 14.	Фронтална страна коморе (Дамјанац, 2010)	49
Слика 15.	Графички приказ коморе	51
Слика 16.	Поступак слагања фриза за термотретман	52

Слика 17.	Изглед екрана на контролном рачунару за време циклуса термотретирања	53
Слика 18.	Промена температуре дрвета током циклуса термотретирања	54
Слика 19.	Схема израде експерименталних узорака (подлоге)	57
Слика 20.	Схема комбинација узорака за брушење	58
Слика 21.	Широкотрачна брусилица (Хеземан, ЛСМ 8-С)	60
Слика 22.	Изглед узорака након брушења	61
Слика 23.	Линија за лакирање вишеслојног паркета	64
Слика 24.	Основна конструкција машине за наносење премаза ваљањем (Биркле, упутство за употребу)	65
Слика 25.	Основни технолошки параметри машине за наносење ваљањем	65
Слика 26.	Изглед лакиране линије и машине за наносење УВ акрилног премаза ваљањем	66
Слика 27.	Изглед узорака након лакирања	67
Слика 28.	Мерење параметра храпавости R_a на обрушеним узорцима	68
Слика 29.	Тродимензионални график L , a и b координата боје (Голдшмит и Страјтбергер, 2003)	69
Слика 30.	Изглед апаратуре за снимање контактнoг угла, Биотехнички факултет, Словенија	70
Слика 31.	Изглед ФТИР спектрометра, Бомем Мишелфан, лабораторија Технолошко - металуршког факултета у Београду	71
Слика 32.	Мерење густине премаза помоћу пикнометра и аналитичке ваге, лабораторија Таркет, Бачка Паланка	74
Слика 33.	Мерење динамичког вискозитета на ротационом вискозиметру	75
Слика 34.	Инструмент за одређивање рН вредности основног премаза	75

Слика 35.	Инструмент за одређивање адхезије методом печатника (Диефди Инструментс)	79
Слика 36.	Храпавост R_a обрушених узорака дрвета букве управно на правац дрвних влаканаца у зависности од температуре термотретмана	84
Слика 37.	Храпавост R_a обрушених узорака дрвета букве управно на правац дрвних влаканаца у зависности од завршног брушења	85
Слика 38.	Храпавост R_a обрушених узорака дрвета букве управно и паралелно на правац дрвних влаканаца у зависности од температуре термотретмана	86
Слика 39.	Храпавост R_a у правцу дрвних влаканаца у зависности од температуре термотретмана	87
Слика 40.	Вредност L , a и b координата боје након завршног брушења брусним папиром P120, за све температуре термотретмана	90
Слика 41.	Укупна промена боје изражена коефицијентом ΔE термотретираних узорака у односу на нетретиране узорке	91
Слика 42.	ФТИР спектри дрвета букве у области спектра $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$..	92
Слика 43.	ФТИР спектри дрвета букве у области спектра $400 - 2000 \text{ cm}^{-1}$...	93
Слика 44.	Контактни угао капљице воде у зависности од нумерације брусног папира завршног брушења у интервалу од 1 до 25 s	96
Слика 45.	Контактни угао капљице воде у зависности од температуре термотретмана у интервалу од 1 до 25 s	99
Слика 46.	Контактни угао УВ акрилног премаза различитих формулација на дрвету букве завршно обрушене папиром P100 у интервалу од 1 до 25 s	100
Слика 47.	Контактни угао УВ акрилног премаза различитих формулација на дрвету букве завршно обрушене папиром P120 за изабране температуре термотретмана у интервалу од 1 до 25 s	101
Слика 48.	Контактни угао УВ акрилног премаза различитих формулација на дрвету букве завршно обрушене папиром P150 у интервалу од 1 до 25 s	102

Слика 49.	Контактни угао квашења основног УВ премаза различитих формулација у 5-ој секунди посматрања.....	103
Слика 50.	Контактни угао основног премаза са уделом очвршћивача 10,5% и завршним брушењем P120, након 5 секунди	105
Слика 51.	Дебљина сувог филма основног УВ акрилног премаза за све групе узорака	106
Слика 52.	Оцена адхезије методом решетке термотретираних узорака дрвета букве	107
Слика 53.	Адхезија оцењена методом решетке у зависности од температуре термотретмана	108
Слика 54.	Зависност оцене адхезије (метод решетке) и L координате боје обрушених узорака	109
Слика 55.	Оцена адхезије (метод решетке).....	110
Слика 56.	Оцена адхезије (метод решетке) у зависности од удела очвршћивача у основном премазу и завршног брушења за термотретиране узорке на различитим температурама и контролни нетретирани узорак	111
Слика 57.	Јачина адхезије (метод печатника) и удео кохезивног лома	113
Слика 58.	Јачина адхезије (метод печатника)	114
Слика 59.	Јачина адхезије (метод печатника)	115

Садржај табела

Табела 1.	Хемијске карактеристике нетретираних и термотретираних узорака букве (Нимц и др., 2010)	15
Табела 2.	Физичка својства узорака букве (Нимц и др., 2010)	16
Табела 3.	Двофункционални акрилати и њихова карактеристична својства (Колеске, 2002)	24
Табела 4.	Карактеристике течних материјала у зависности од величине контактнoг угла (https://en.wikipedia.org/wiki/Wetting)	27
Табела 5.	Константни параметри брушења подлоге	40
Табела 6.	Константни параметри режима лакирања	41
Табела 7.	Састав и карактеристике УВ акрилног премаза за основни и завршни слој	46
Табела 8.	Карактеристике очвршћивача за први слој темељног УВ акрилног премаза	47
Табела 9.	Основни технички подаци коморе за термички третман дрвета	50
Табела 10.	Начин обележавања узорака	59
Табела 11.	Системи брушења	59
Табела 12.	Критеријум за оцењивање адхезије методом решетке (СРПС ЕН 2409:2010)	77
Табела 13.	Садржај суве материје основног премаза за различите уделе очвршћивача	80
Табела 14.	Густина основног премаза за различите уделе очвршћивача	81
Табела 15.	Време истицања основног УВ акрилног премаза за различите уделе очвршћивача	81
Табела 16.	Динамички вискозитет основног УВ акрилног премаза за различите уделе очвршћивача	82
Табела 17.	рН вредност основног УВ акрилног премаза за различите уделе очвршћивача	83

Табела 18. Однос храпавости R_a управно ($R_{a\perp}$) и паралелно ($R_{a\parallel}$) са правцем дрвних влаканаца	89
--	----

Списак скраћеница и симбола

a	Координата боје (CIEL*a*b* систем),
ANOVA	Анализа варијансе,
AM	Акрилатни мономер (<i>Acrylic Monomer</i>),
attro/attro	Суво на суво,
b	Координата боје (CIEL*a*b* систем),
CIElab	Координатни систем за просторни приказ боје,
DB	Температура сувог термометра [°C],
d	Ширина капљице [mm],
EB	Зрачење електронима (<i>Electron Beam Curing</i>),
FCBA	Француски технички центар за дрво и намештај,
FIR	Далека област инфрацрвеног зрачења (<i>Far Infrared</i>),
FR	Слободни радикал (<i>Free Radical</i>),
FTIR	Инфрацрвена спектроскопија са Фуријеровом трансформацијом (<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>),
FT-NIR	NIR спектроскоп са Фуријеровом трансформацијом,
GC-MS	Гасна хроматографија – масена спектрометрија (<i>Gas Chromatography–Mass Spectrometry</i>),
h	Висина капљице [mm],
HDI	Хексаметилен диакрилат,
HT	Термотретман (<i>Heat Treatment</i>),
IR	Инфрацрвени зраци (<i>Infrared</i>),
LED	Светлосне диоде (<i>Light-Emitting Diode</i>),
L	Координата боје (CIEL*a*b* систем),
m_0	Маса празне Петријеве посуде [g],
m_1	Маса Петријеве посуде са основним премазом пре сушења [g] маса празног пикнометра [g],
m_2	Маса Петријеве посуде са основним премазаом након сушења [g] маса напуњеног пикнометра [g],
MSDS	Безбедоносни лист материјала (<i>Material Safety Data Sheets</i>),
MW	Микроталасно зрачење (<i>Microwave</i>),
НП	Незасићени полиестри,
NV	Садржај суве материје [%],

p_D	Притисак дозирног ваљка на наносећи ваљак,
p_A	Притисак наносећег ваљка на предмет обраде,
PEGDA	Полиетилен гликол диакрилат,
PLC	Програмабилни логички контролер (<i>Programmable Logic Controller</i>),
pH	Мера активности водоникових јона (H ⁺) у раствору,
R_a	Средње одступање профила [μm],
T_g	Температура прелаза у стакласто стање [$^{\circ}\text{C}$],
TPGDA	Трипропиленгликол диакрилат,
УФ	Уреа-формалдехидно везиво,
УВ	Ултравиолетно зрачење (<i>Ultraviolet Radiation</i>),
v	Брзина кретања материјала [m/s],
v_D	Брзина дозирног ваљка [m/s],
v_A	Брзина наносећег ваљка [m/s],
V_z	Запремина пикнометра [$\text{m}\ell$],
ВОЦ	Испарљива органска једињења (<i>Volatile Organic Compound</i>),
ВТТ	Технички истраживачки центар Финске (<i>Technical Research Center of Finland</i>),
WB	Температура влажног термометра, [$^{\circ}\text{C}$]
θ	Контактни угао капљице на подлози [$^{\circ}$],
R^2	Коефицијент детерминације,
σ_s	Површински напон подлоге,
σ_l	Површински напон течности,
$\gamma_{s/l}$	Међуповршински напон између течности и подлоге,
φ	Релативна влажност ваздуха [%],
ρ	Густина премаза [$\text{g/m}\ell$],
S	Нетретирани узорак,

1. УВОД

Јачина адхезије представља једну од најзначајнијих механичких карактеристика очврснулог премаза на површини дрвета од које директно зависи квалитет и трајност готовог производа. Као мера интеракције између молекула различитих материјала на јачину адхезије велики утицај имају фактори међусобног деловања премаза и подлоге. То значи да ће остварена адхезија у систему премаз-подлога, пре свега, зависити од механичких и хемијских карактеристика како подлоге тако и премаза. Осим карактеристика овог система одлучујућу улогу у постизању добре јачине адхезије имају начин и параметри наношења премаза као и различити фактори деловања околине. Основни предуслов за остваривање заштитне и декоративне функције површинске обраде дрвета је формирање добре везе између премаза и подлоге. Уколико није остварена добра адхезија премаза на подлогу, високе вредности осталих механичких својстава очврслог филма премаза немају значаја (Рицо и Бруно, 2009).

Буква представља најзначајнију индустријску дрвну врсту код нас којој се приписују добра механичка својства. Међутим поред добрих механички својства, дрво букве карактеришу значајне димензионалне промене услед дејства параметара микроклиме, осетљивост на епоксилне гљиве, гљиве трулежнице као и присуство грешке дисколорације у виду лажне срчевине. Применом термотретмана букви је могуће побољшати ова лоша својства без значајнијег нарушавања механичких својстава дрвета. Под дејством високих температура током централне фазе термотретмана дрвета долази до хемијских промена основних конституената грађе дрвета - целулозе, хемицелулоза и лигнина. Ланци целулозе који су међусобно повезани хидроксилним групама се на повишеним температурама цепају, опада им степен полимеризације, вода се одстрањује а стварају се слободни радикали, карбоксилне, карбонилне и хидропероксидне групе заједно са угљен-моноксидом и угљен-диоксидам (Стевановић-Јанежић, 1993). Такође, долази и до хидролизе и настанка сирћетне киселине из ацетилних група хемицелулоза. Након термотретмана дрво

садржи знатно мању количину хемицелулоза и као такво постаје отпорније на дејство гљива трулежница. Разлагањем хемицелулоза опада и способност апсорпције хидроксилних група воде што доприноси повећаној димензионалној стабилности термотретираног дрвета. Од свих конституената дрвета лигнин је најспособнији да се одупре високој температури, његова маса почиње да опада тек на температурама изнад 200 °C, када долази до кидања β-арил етарских веза. Из свега наведеног може се закључити да ће термотретирано дрво букве у погледу физичко-хемијских карактеристика показати различита својства у односу на нетретирано дрво, када се користи као подлога која се површински обрађује. Промене настале у дрвету дејством термотретмана могу утицати и на адхезију премаза код финалног производа израђеног од термотретираног дрвета. На својства термотретираног дрвета највећи утицај има температура током централне фазе термопроцеса. Осим карактеристика подлоге на јачину адхезије премаза утичу и технолошке карактеристике изабраног система лакирања. УВ акрилни премази припадају групи акрилних премаза који очвршћавају дејством УВ зрачења. Садрже фотоиницијаторе који апсорбују УВ светло градећи активне старт радикале или јоне који имају за циљ покретање реакције полимеризације. УВ акрилне премазе карактерише добра еластичност, прионљивост и отпорност на деловање хемикалија. По садржају суве материје спадају у групу премаза са високим садржајем суве материје (high solids премази).

Механизам адхезије је условљен и својствима површинског слоја дрвног материјала. Досадашња истраживања су показала да промене у површинском слоју дрвета-подлоге, настају у фази припреме површине у операцији брушења (Гиндл и др., 2006). Примењени систем брушења у фази припреме површине подлоге од дрвета има велики утицај на храпавост у површинском слоју подлоге, а самим тим и на јачину адхезије (Јаић и др., 2010).

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

2.1 Предмет истраживања

Употреба термотретираног дрвета је константно у порасту. Продаја производа од термотретираног дрвета је од 2003. године до 2013. године порасла за скоро шест пута (Међународна асоцијација за термодрво, 2014). Поред добрих карактеристика термотретираног дрвета, постоје и одређени проблеми, како у процесу производње тако и током употребе готових производа који су последица специфичности овог материјала. Током производње вишеслојног паркета, у фазама резрезивања, глодања и лепљења дрвета, производи израђени од термотретираног дрвета су склонији пуцању, оштећивању ивица због повећане кртости овог материјала. Након површинске обраде ови производи такође често показују лошији квалитет површине производа у односу на производе од нетретираног дрвета, нарочито у погледу јачине адхезије. Дешава се да лошија адхезија, доведе и до одвајања премаза од подлоге код крајњег потрошача и тако буде разлог рекламације испорученог паркета.

Досадашњим истраживањима (Павлич, 2009; Подгорски *и др.*, 2011) је такође потврђено да подлога израђена од термотретираног дрвета у одређеним случајевима има негативан утицај на адхезију одређеног типа премаза. Термотретирано дрво постаје тамније, способност квашења је смањена тако да приликом процеса површинске обраде и лепљења треба извршити одговарајући избор технолошких параметара (Естевес и Переира, 2009). Како више фактора утиче на остварење јачине адхезије премаза на овај тип подлоге, а то су пре свега начин припреме подлоге и врста и начин наношења премаза, неопходно је овај проблем разјаснити и за поједине специфичне технологије површинске обраде и врсту премаза.

Предмет овог истраживања је интеракција између подлоге од термотретираног дрвета букве и акрилног премаза који очвршћава УВ зрачењем. Проблем обухвата технологију површинске обраде којом се акрилни

премаз методом ваљања наноси у више слојева, али како је за адхезију најбитнији основи премаз предмет истраживања се бави пре свега адхезијом основног премаза, тј. подручје испитивања је зона интеракције површинског слоја термотретираниог дрвета и основног премаза. Истраживање разматра утицај термотретмана, који се све чешће примењује, на крајњи квалитет очврслог филма УВ акрилног премаза. Испитивање може дати податке о оптималним процесним параметрима, који би смањили ризик од настанка недовољно отпорне површине финалног производа на дејство механичких и микроклиматских фактора. Буква као изабрана дрвна врста представља нашу најзначајнију дрвну врсту којој је могуће побољшати димензионалну стабилност и визуална својства коришћењем термотретмана. УВ акрилни премази припадају групи еколошко прихватљивих премаза. Такође, међусобни утицај подлоге од термотретираниог дрвета и УВ акрилних премаза није довољно испитан, а и употреба подлоге овог типа као и премаза су у константном порасту.

У испитивању су коришћени термотретирани узорци букве (*Fagus toesiaca* С.), који су лакирани УВ акрилним премазом. Површина узорака је пре лакирања припремљена различитим системима брушења а основном акрилном премазу је мењана формулација додавањем различитих удела очвршћивача.

2.2 Циљ истраживања

Циљ истраживања је да се установе оптимални параметри припреме и лакирања основним УВ акрилним премазом као и какав је утицај подлоге од термотретираниог дрвета букве, при различитим температурама централне фазе термотретмана, на јачину адхезије основног УВ акрилног премаза нанетог методом ваљања. Испитани су и утицаји различитих система брушења у фази припреме површине подлоге на угао квашења и јачину адхезије, а уједно је одређена и храпавост површине. Такође је испитана и могућност побољшања адхезије изменом формулације основног премаза, додавањем различитих удела очвршћивача.

Ако се узме у обзир да су одређена истраживања (Павлич М., 2009; Подгорски и др., 2011) већ потврдила негативан утицај термотретмана на адхезију премаза, потребно је детаљније одредити и објаснити механизам утицаја термотретираниог дрвета на јачину адхезије премаза, упоредити га са нетретираним дрветом, као и сагледати различите утицаје на адхезију и могућност побољшања исте. Могућност измене формулације основног УВ акрилног премаза може представљати основу за даља побољшања механичких својстава лакиране површине производа израђених од термотретираниог дрвета.

Испитивањем адхезије УВ акрилног премаза на подлози од термотретираниог дрвета букве доћи ће се до следећих сазнања:

- Какав је утицај температуре у централној фази термотретмана на јачину адхезије УВ акрилног премаза;
- Какав је утицај изабраног система брушења на храпавост и на јачину адхезије УВ акрилног премаза на термички модификованом дрвету букве и на нетретираним узорцима;
- Да ли је могуће побољшати адхезију изменом формулације основног УВ акрилног премаза;
- О промени хемијског састава површине дрвета букве након термотретмана.

У складу са циљевима испитивања и на основу података из литературе постављене су следеће хипотезе:

- Термичком модификацијом дрвета доћи ће до одређених хемијских и механичких промена у дрвету букве које ће имати утицај на храпавост и способност квашења површине термотретираниог дрвета водом и УВ премазом
- Повећањем температуре у централној фази термичког третмана очекује се повећање угла квашења водом
- Повећањем удела очвршћивача у основном премазу очекује се повећање адхезије
- Боја дрвета обрушеног након термотретмана на одређеној температури може да укаже на јачину адхезије.

3. ДОСАДАШЊА ИСТРАЖИВАЊА

3.1 Термотретирано дрво

Термичком обрадом се добија тамније дрво нешто измењене структуре, стабилније на димензионалне промене, отпорније на дејство епоксилних гљива али и смањене отпорности на савијање. Метод термичке обраде дрвета је познат од давнина. Људи су сагоревали површину дрвета отвореним пламеном како би га учинили што отпорнијим приликом спољашње употребе. Још су и Викинзи користили овај метод како би заштитили дрвену грађу коју су користили као ограду. Прве радове и истраживања о термотретираном дрвету су објавили Стам и Хансен 1930. год. у Немачкој и Вајт 1940. год. у САД-у. 1950. год. Германс, Беведам, Рункел и Бруно су наставили истраживања о термотретираном дрвету а затим и Колман и Шнајдер у 1960. год.

Један од циљева који је заједнички за све технологије термичког третмана је да се код мање вредних и мање отпорних дрвених врста повећа њихова употребна вредност и у оквиру примене у екстеријеру. Запаљивост дрвета и неуједначен ефекат по целој запремини третираног дрвета су биле две основне тешкоће у покушајима да ова технологија прерасте у индустријску употребу. Временом је проблем запаљивости решен увођењем неког од заштитних гасова.

Данас постоји низ технологија за термички третман дрвета ради добијања модификованог дрвета са што бољим својствима (еколошки подобно, са смањеном хигроскопношћу, повећаном димензионалном стабилношћу, повећаном отпорношћу на гљиве трулежнице и ксилофагне инсекте). Технологије термичког третмана дрвета које се данас најчешће користе у комерцијалној употреби су Термо-Вуд, Платовуд, НАУ – Њу Опшн Вуд, Л Бо Перду и Оил Хит Тритмент.

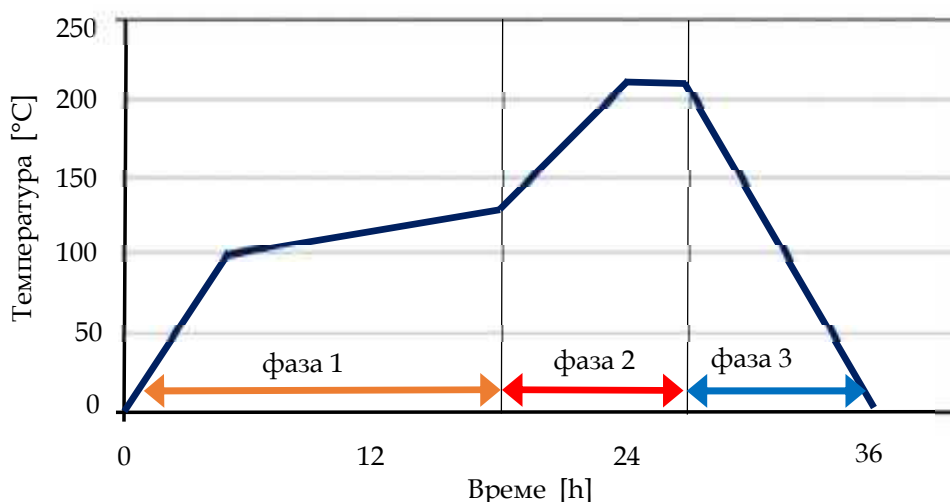
Термо-Вуд је финска технологија производње термотретираног дрвета развијена од стране ВТТ-а (Фински техничко развојни центар) у кооперацији са финском индустријом прераде дрвета још у раним 90-им годинама 20. века

када је и изграђено прво постројење у Манти (Mänttä). Технолошки процес термичке обраде дрвета се може поделити у три фазе, слика 1:

Фаза I: Високо-температурно сушење; температура коморе се повећава, растући убрзано до 100 °С. По достизању ове вредности температура се постепено повећава до 130 °С и током овог процеса долази до високо температурног сушења дрвета којим се добија скоро апсолутно суво дрво. Трајање ове фазе зависи од почетне влаге дрвета, врсте дрвета и дебљине грабе.

Фаза II: Централна фаза термо третмана; температура се даље повећава до 185 °С, односно до 215 °С. Када се ова циљана вредност температуре достигне, температура се одржава константном у трајању од 2 - 3 h у зависности од намене термотретираног дрвета. Прегрејана водена пара се примењује у овој фази како би се онемогућило паљење дрвета.

Фаза III: Процес хлађења и кондиционирања; у завршној фази се температура снижава константно помоћу водених распршивача до температуре од 80 - 90 °С. Хлађење траје све док садржај воде у дрвету не достигне ниво од 4 - 7 % и мора се контролисати како услед великих разлика у температури не би дошло до појаве пукотина у дрвету.



Слика 1. Промена температуре за поједине фазе термичког процеса (Финска асоцијација за термодрво, 2003)

Почетна влажност дрвне грабе која се употребљава у процесу термичког третмана нема одлучујући значај на квалитет термотретираног дрвета, осим

што време третмана траје дуже када почетна влажност грађе одговара сировом стању влажности (Финска асоцијација за термодрво, 2003).

Током термичког процеса владају веома корозивни услови, због присуства воде и водене паре као и због испарљивих компоненти дрвета. Због ове чињенице комора за термичку обраду дрвета (слика 2) и сва опрема за термички процес је израђена од нерђајућег челика. Највећи део енергије користи се за високо-температурно сушење, и то око 80 %. Укупна употребљена енергија за термотретман дрвета је за око 25 % већа од енергије која би била потребна за конвенционално сушење истог типа грађе. У Финској се за производњу енергије употребљава пиљевина, дрвна кора и остали дрвни отпад. Водена пара је потребна како не би дошло до паљења дрвета (садржај кисеоника током термичког третмана мора бити испод 3 – 5 %). Компјутерском контролом се константно прати релативна влажност ваздуха, влага грађе и температура коморе. Врсте дрвета које се најчешће термички третирају су бор, смрча, храст, јасен и буква.



Слика 2. Спољашњи изглед коморе за термичку обраду дрвета „Таркет д.о.о“ Бачка Паланка

Платовуд технологија термотретмана дрвета је производ истоимене холандске компаније која је у употреби од 2001. године, пре свега за производњу дрвета погодног за спољашњу употребу. Након сушења дрвета

слиди фаза термичке хидролизе дрвета (хидро-термолиза) током које се дрво загрева у воденој средини на температури од 150 °C до 180 °C под атмосферским притиском. Затим поново слиди фаза сушења у циљу спуштања садржаја влаге у дрвету од 8 до 9 % који је потребан за фазу печења. Током фазе печења грађа се још једном греје до температуре од 150 °C – 190 °C, али сада је дрво суво и у атмосферским условима. У последњој фази (кондиционирање) влажност дрвета се подиже на ниво од 3 до 5 %, која је неопходна за процесе механичке обраде. Кондиционирање се обавља у конвенционалним сушарама и траје од 2 до 3 дана (Милиц и Тјердсма, 2000).

У Француској се углавном користе технологије термотретмана дрвета „НАУ“ – Њу Опшн Вуд и „Л Бо Перду“. Први поступак се још зове и Ретифајд -вуд и започиње дрвном грађом која је претходно осушена на око 12 % влажности и која се затим постепено загрева у комори на температуру од 210 °C до 240 °C уз присуство азота а са учешћем кисеоника које је мање од 2 %. Процес „Л Бо Перду“ омогућава да се користи сирово дрво. Први корак процеса представља вештачко сушење у комори, а затим се грађа загрева до 230 °C под утицајем паре која је генерисана из воде из дрвета. У оба случаја постоји компромис између постигнуте дуготрајности и механичких својстава, на вишим температурама постиже се боља отпорност на утицаје спољашњих и биолошких фактора али одређена механичка својства слабе, пре свега отпорност на савијање (Вернуа, 2000).

Оил Хит Тритмент процес термотретирања дрвета је развијен у Немачкој. Чињеница да тачке кључања многих природних уља и смола су више од температуре потребне за термичку обраду дрвета отвара могућност термотретмана дрвета потапањем дрвета у врела уља. Овај процес се изводи у затвореној комори у коју се упумпава врело уље из резервоара. Да би се постигла максимална трајност дрвета и минимална потрошња уља главна фаза термотретмана траје од 2 до 4 часа на температури од 220 °C. Уље брзо и уједначено врши пренос топлоте до дрвета, обезбеђујући уједначене топлотне услове у целој комори и штитећи дрво од утицаја кисеоника. Предуслов за овај

тип термичке обраде дрвета је да уље има тачку кључања изнад 230 °C (Рап и Сајлер, 2000)

3.1.1 Промене које настају код термотретираног дрвета

3.1.1.1 Промена микро структуре термотретираног дрвета

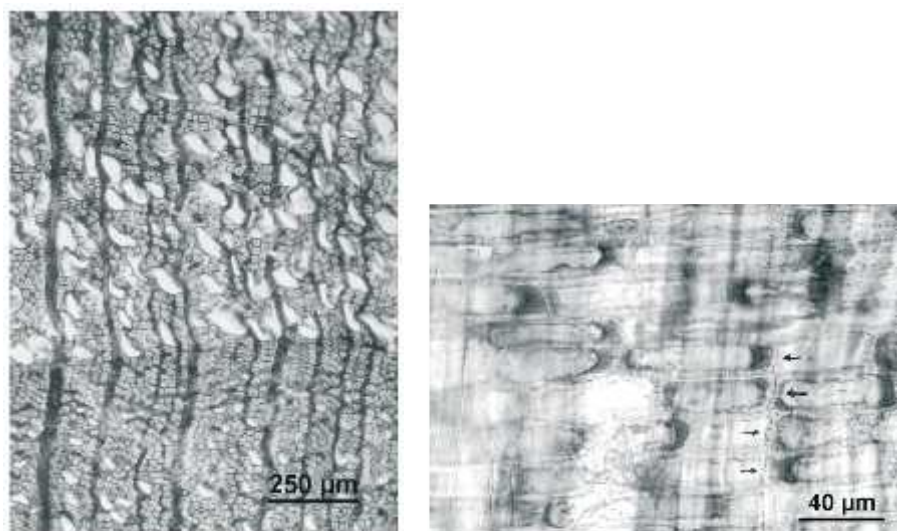
Резултати истраживања која су спроведена ради праћења промена у анатомској структури дрвета на микро нивоу су показали да термички процес изазива настанак одређених промена у дрвету, које могу изазвати настанак пукотина, колапса, деформација итд. (Бунстра и др., 2006б). Плато Интернационал испитао је дејство двофазног термо процеса на анатомску структуру дрвета четинара (*Pseudotsuga menziessii*, *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* K. и *Pinus radiata* D.) и лишћара (*Fagus sylvatica* L., *Populus sp.*, *Betula pendula/pubescens*, *Alnus glutinosa/incana* и *Fraxinus excelsior* L.).

Код четинарских врста истраживања су показала да прва фаза процеса-хидро термоллиза има велики ефекат на промене анатомске структуре које се дешавају током термичког процеса. Дефекти који се примећују на крају целог процеса су видљиви углавном и после прве фазе термичког процеса. Такође је утврђено да почетна влажност дрвета има значајан утицај на завршни квалитет термотретираног дрвета, најбољи квалитет је постигнут са почетним садржајем влаге од 18-22 % (бродско суво дрво).

Као и код четинарских врста и код лишћарских врста прва фаза термотретмана има највећи утицај на крајњи квалитет термотретираног дрвета. Током потпуне водене хидро-термоллизе апсорбована вода и садржај влаге достиже вредност која је изнад тачке засићености влаканаца. Како слободна вода тече кроз дрвне ћелије повећава се могућност настајања колапса, нарочито у трахејама. Код букве и тополе колапс је примећен одмах после фазе сушења и пробама је утврђено да ни веома благ и контролисан режим не може спречити настајање колапса на трахејама.

Радијалне пукотине се појављују у близини великих и широких трака лигнума. У радијалним паранхиматичним ћелијама, које су пре третмана биле

чисте и отворене, дошло је до таложења браон-црвених екстрактива, слика 3. Ови екстрактиви се нагомилају на зидове ћелија тако да блокирају отворе јамица спречавајући проток ваздуха и воде кроз јамице у радијалном правцу. Резултат тога је стварање вакуума током фазе кондиционирања који је проузроковао колапс.



Слика 3. Микроскопски снимак значајног колапса на трахејама букве и таложења екстрактива (попречни и тангенцијални пресек), (Бунстра и др., 2006б)

У поређењу са потпуном воденом хидро-термолизом, хидро-термолиза са прегрејаном паром даје боље резултате у погледу квалитета термотретираног дрвета. Оптимизацијом овог процеса могуће је добити термотретирано дрво без губитка на квалитету. Код брезе, тополе и јове оптимизацијом процеса је добијено термотретирано дрво високог квалитета без колапса. Процесом оптимизације код букве се није много постигло, јер су и након ње још увек били уочљиви колапс, деформације и пукотине. Ово указује на чињеницу да је буква веома остљива врста током или након прве фазе термо процеса (Бунстра и др., 2006б).

Резултати истраживања која су спроводили Авојеми и Јонес (2010) на црвеном кедрју (*Thuja plicata*) су показали да је термичко третирање у трајању од 1 и 2 часа на температури 220 °С проузроковало деструкцију зидова трахеида као и сржних зрака. Такође је примећено и повећање пречника јамица црвеног кедрја. Повећањем пречника јамица очекивало се да проузрокује и повећање

пермеабилности термички третираног материјала, међутим дошло је до супротног ефекта. Аутори су овакву појаву приписали већем утицају хемијских промена од оних насталих на анатомском нивоу.

3.1.1.2 Промена хемијског састава термотретираног дрвета

Под дејством високе температуре током термичког процеса долази и до промене основних хемијских конституената грађе дрвета. Три основне компоненте грађе дрвета су целулоза, хемицелулозе и лигнин. Екстрактиви у дрвету представљају секундарне или пратеће компоненте грађе дрвета и у просеку су заступљени од 2 до 4 %, са изузетком код одређених дрвних врста код којих садржај може бити и до 15 %. Екстрактивни састојци су веома различити у зависности од дрвне врсте и већина једињења лако испарава током термичког третмана. Дрво букве садржи малу количину екстрактива, на нивоу од 1 % (Фенгел и Вегенер, 2003).

Целулоза као основни конституент ћелијског зида учествује 40 - 50 % у хемијској грађи дрвета и одговорна је за механичка својства и хигроскопност. Целулоза представља хомополисахарид пошто је изграђена од истоврсних моносахарида, остатака D-глукозе који су међусобно повезани β -(1-4) гликозидним везама. Ланци целулозе су међусобно повезани хидроксилним групама образујући тако надмолекулску структуру целулозе којом долази до стабилизације дугих ланаца целулозе у уређене системе (Стевановић-Јанежић, 1993). На температурама испод 300 °C долази до опадања степена полимеризације, вода се елиминише, а настају слободни радикали, карбоксилне, карбонилне и хидропероксидне групе као и угљен-моноксид и угљен-диоксид.

Основне компоненте које граде хемицелулозе су D-глукоза, D-маноза, D-галактоза, D-ксилоза, L-арабиноза, као и мала количина L-рамнозе и 4-о-метил-D-глюкоронске киселине. Оне су повезане 1,4 и 1,6 везама. Загревањем дрвета на вишим температурама долази до хидролизе и стварања сирћетне киселине из ацетилних група хемицелулоза. Ослобођена киселина има улогу катализатора у процесу хидролизе хемицелулозе до растворљивих шећера. Након термичке

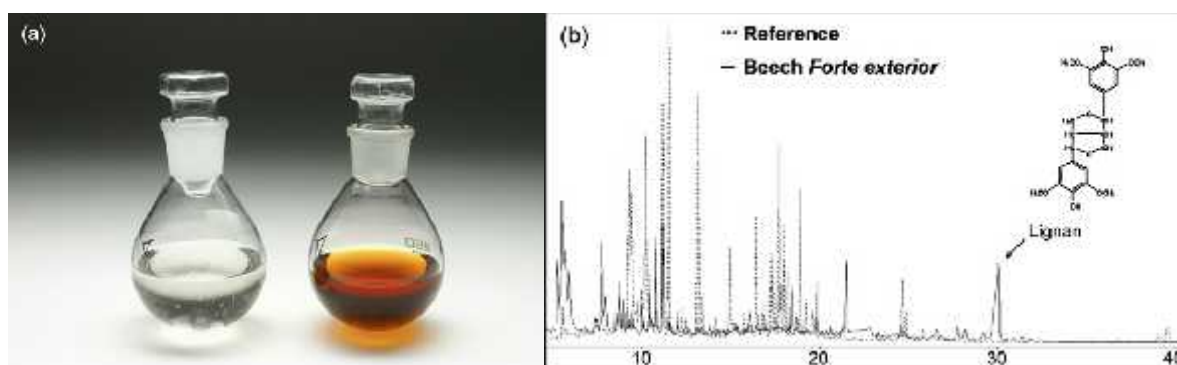
обrade дрво садржи знатно мању количину хемицелулоза. Ово је и основни разлог зашто је термотретирано дрво знатно отпорније на дејство гљива трулежница у односу на дрво које је прошло класичну хидротермичку обраду. Разлагањем хемицелулоза опада и способност апсорпције хидроксилних група воде тако да је димензионална стабилност термодрвета знатно побољшана у односу на термички нетретирано дрво. Температура разлагања хемицелулоза настаје у опсегу од 200 °C до 260 °C. Пошто лишћарске врсте садрже већи проценат хемицелулоза у односу на четинаре то је и већи степен деградације код лишћара него код четинара.

Истраживања утицаја термичког третмана на реактивности боровог и буковог дрвета реагенсима као што су анхидрид карбоксилне киселине и изоцијанати су показала да термички третман смањује реактивност дрвета. Деградацијом хемицелулоза током термичког третмана долази до значајног смањења реактивних хидроксилних група, а самим тим и реактивност дрвета опада (Инари и др., 2007).

Лигнин као тродимензионална материја обавља функцију повезивања дрвних ћелија. То је везивни материјал који се у највећем проценту налази у средњој ламели а има га и у примарном и секундарном зиду. Четинари садрже 25 - 30 % лигнина, док лишћари садрже нешто мање лигнина (20 - 25 %). Лигнин се састоји од фенилпропанских јединица које су углавном спојене етарским и угљеник-угљеник везама. Његова структура се разликује код лишћара и четинара. Док четинари садрже углавном гвајацил јединице фенилпропана лишћари садрже приближно исту количину и гвајацил и сиригил јединица фенилпропана. И четинари и лишћари садрже мање количине *p*-хидрокси-фенилпропана. Током термичке обраде везе између фенилпропанских јединица се нарушавају али тако да лакше долази до деструкције арил етарских веза између сиригил јединица него код гвајацил јединица. Термо-хемијске реакције су уобичајеније за алилну страну ланца него за арил-алкилне етарске везе. Што је дуже време аутохидролизе биће више кондензационих реакција а као продукти ће настати β - кетонске групе као и коњуговане групе карбоксилне киселине. Од свих конституената дрвета

лигнин је најспособнији да се одупре високој температури. Маса лигнина почиње да опада тек када температура премаши 200 °С, када долази до кидања β -арил етарских веза. Потврђено је да цепање ових веза представља основну реакцију деполимеризације лигнина (Бросе и др., 2010). На високим температурама метокси садржај лигнина се смањује и неке не-кондензоване јединице лигнина се трансформишу у дифенилметан јединице. Ова реакција је типична за температурни опсег од 120 °С до 220 °С и има значајан утицај на боју, реактивност и растварање лигнина.

Код букве је утврђена деградација лигнина дејством високих температура термичког третмана екстракцијом у органским растварачима. Боја екстракта у ацетону је постала тамно браон и помоћу GC-MS¹ анализе је потврђена деградација лигнина детерминацијом лигнана (сирингаресинола) у раствору, слика 4. (Виндајзен и Вегенер, 2008).



Слика 4. Екстракт буковог дрвета у ацетону: а) референтни и термотретирани узорак; б) GC-MS спектар (Виндајзен и Вегенер, 2008)

Истраживање хемијских промена на термотретираном дрвету граба (*Carpinus betulus* L.) и турске јеле (*Abies bornmulleriana* Mattf.) су потврдила да концентрација хидроксиlnих група опада након термичког третмана на високим температурама. Инфрацрвеном спектроскопијом са фуријеовом трансформацијом (ФТИР) је утврђено да реакције естерификације настају у другој фази термичког процеса на шта је указивало повећање угљеничног пика за температуре веће од 150 °С (Аидемир и др., 2011)

¹ гасна хроматографија – масена спектрометрија

Према истраживању хемијских промена забележених на дрвету букве (Нимц и др., 2010) нађено је да рН вредност опада повећањем температуре, садржај укупних фенола се такође повећава док се садржај хемицелулоза знатно смањује повећањем температуре, за око 2,4 пута (табела 1).

Табела 1. Хемијске карактеристике нетретираних и термотретираних узорака букве (Нимц и др., 2010)

Својство	Bu0	Bu2	Bu3	BuP0	BuP2	BuP3
pH	4,16	3,57	3,62	4,46	3,80	3,65
Садржај екстрактивних материја у смеши - (attro/attro) [%]	3,6	8,5	11,9	2,4	9,6	13,7
Садржај укупних фенола [mmol/100g апс. сувог дрвета]	2,59	6,95	9,78	1,85	6,27	10,67
Садржај растворљивих угљених хидрата [mg/g апс. сувог дрвета]	23,2	199,2	65,1	16,2	81,2	61,2
Садржај хемицелулоза [%]	13,6	10,4	5,6	13,9	13,9	5,9

Bu и BuP – дрво букве са различитог станишта; 0 –нетретирано, 2 и 3 термички третирано

Истраживања хемијских промена буковог дрвета након термичког третмана која су спроводили Виндајзен и сарадници (2007) су потврдила да порастом температуре опада рН вредност дрвета, она је износила 4 без обзира на температуру термотретмана. Такође је потврђено смањење садржаја полисахарида са повећањем температуре термотретмана, пре свега из нестабилних и осетљивих аморфних подручја. Узорци третирани на највишој температури од 220 °C су садржали једну трећину ксилана у односу на укупну количину ксилана референтног узорка. Резултати су потврдили да је ФТИР спектроскопија погодна метода за карактеризацију главних хемијских промена изазваних термичким третманом, посебно код дрвета лишћарских врста.

3.1.2 Својства термотретираног дрвета

3.1.2.1 Физичка својства термотретираног дрвета

Густина термотретираног дрвета је мања у односу на густину нетретираниог дрвета као резултат губитка масе дрвета дејством високих температура током термичког процеса. Величина смањења густине је у директој зависности од температуре која се употребљава током термичког процеса. Значајно смањење масе и густине дрвета букве је потврђено за

температуре од 190 °C и 210 °C. Густина дрвета букве је мања након термичког третмана за око 5 % за температуру од 190 °C и за око 10 % за температуру од 210 °C (Тодоровић и др., 2012). Нимц и сарадници (2010) су потврдили да се повећањем температуре термичког третмана знатно смањује густина, садржај влаге као и вредност L – компоненте (координата боје CIE L*a*b* система) дрвета букве, табела 2.

Табела 2. Физичка својства узорака букве (Нимц и др., 2010)

Својство	Bu0	Bu2	Bu3	BuP0	BuP2	BuP3
Густина [kg/m ³]	738	692	656	685	629	676
Садржај влаге [%]	10,9	8,7	8,3	10,5	7,1	5,5
L – компонента	72,0	47,9	35,9	40,3	18,5	11,2

Bu и BuP – дрво букве са различитог станишта; 0 –нетретирано, 2 и 3 термички третирано

На нижим температурама (2 часа на 130 °C) је забележено и незнатно повећање густине дрвета букве од 2,25 %, док је у истом истраживању на знатно вишој температури (200 °C) и за време трајања термотретмана од 10 h забележен губитак густине дрвета од чак 18,37 %, док је димензионална стабилност повећана за 50 % (Јилдиз, 2002).

Термички процес смањује равнотежну влажност дрвета тако да на температури од 220 °C равнотежна влажност опада за око половину у односу на нетретирано дрво.

Утезање и бубрење у тангенцијалном и радијалном правцу код термотретираног дрвета је значајно смањено. Ова чињеница значајно олакшава његову финалну употребу, јер је термотретирано дрво димензионално стабилније од нетретираног дрвета.

Пропустљивост (пермеабилност) омекшане воде кроз попречни пресек термотретираног дрвета смрче је за 20 - 30 % смањена у односу на нетретирано дрво. Испитивања пропустљивости водене паре показала су да је садржај влаге термотретираног дрвета за око 2 пута мањи у односу на нетретирано. Такође је испитана и пропустљивост термотретираног и нетретираног дрвета смрче са заштићеним попречним пресеком, потапањем у воду током 72 часа.

Нетретирана смрча је достигла влажност од 22 %, док је влажност термотретираног дрвета модификованог на температури од 195 °C и 210 °C била 12 % и 10 %, респективно (Финска асоцијација за термодрво, 2003).

Смањена адсорпција воде код термодрвета четинара може се објаснити и ефектом појачаног унакрсног повезивања јединица лигнина, поготово у случају када је удео слободних хидроксилних група након термотретмана остао непромењен (Бунстра и Тјердсма, 2006а).

Тестови су показали да је топлотна проводност термодрвета смањена за 20 - 25 % у односу на нетретирано дрво. Вредност коефицијента проводности топлоте за термотретирано дрво Д-класе износила је 0,099 W/mK, док је коефицијент проводности за нетретирано дрво износио 0,12 W/mK.

Боја термотретираног дрвета пре свега зависи од температуре и времена трајања термичког процеса. Што је температура термичког процеса виша то ће боја дрвета након третмана бити тамнија. Боја такође зависи и од варијације густине у једном истом дрвету и од тога да ли се посматра на раној или касној зони прстена прираста. Параметри боје, пре свега укупна промена боје се може користити као поуздан параметар за предвиђање чврстоће термодрвета (Бекта и Нимц, 2003).

Истраживања која су спроведена од стране Техничког истраживачког центра Финске показују да је термотретирано дрво знатно отпорније према епиксилним гљивама (трулежницама) и ксилофагним инсектима. Испитано је деловање две веома проблематичне врсте трулежница *Coniophora puteana* и *Poria placenta*; и овде је губитак дрвне масе био у директној зависности од температуре термотретмана. На температури од 230 °C није долазило до губитка масе, мада је и температура од 210 °C дала одличне резултате. Термотретирано дрво је такође отпорно и на дејство ксилофагних инсеката, истраживањем су обухваћене три значајне врсте *Anobium punctatum*, *Lyctus Bruneus* и *Hylotrupes bajulus*. Све три врсте су избегавале да полажу јаја на термотретирано дрво и као подлогу су бирале нетретирано дрво.

3.1.2.2 Механичка својства термотретираног дрвета

Чврстоћа дрвета највише зависи од густине саме дрвне врсте, пошто термотретирано дрво има нешто нижу вредност густине у односу на нормално сушено дрво очекује се да ће имати и нижу вредност чврстоће. Чврстоћа такође зависи и од влажности дрвета тако да термотретирано дрво има благу предност у односу на нормално сушено дрво због нижег садржаја влаге.

Испитивања савојне чврстоће која су вршена на бору (*Pinus* sp.) показују да савојна чврстоћа знатно опада на температури већој од 220 °C. Савојна чврстоћа дрвета букве опада и до 2,5 пута у односу на нетретирано дрво (Нимц и др., 2010). Резултати истраживања које су спровели Бекта и Нимц (2003) су потврдили да термотретман има већи утицај на савојну чврстоћу у односу на модул еластичности дрвета смрче.

Дрво термички третирано на 195 °C током 3 часа је показало за 30 % већу отпорност на притисак паралелно влаканцима од нетретираног дрвета. Тест узорци су пре испитивања потапани у воду. Узорци који су достигли максималну притисну силу су се распали на ситне комаде а нису се извили као код нормално сушеног дрвета. Ова чињеница указује да термотретирано дрво није еластично као нормално сушено дрво. Смањење модула еластичности на термо третираном дрвету букве износило је око 10 % у зависности са ког станишта је порекло сировине (Нимц и др., 2010).

Отпорност на смицање дрвета термички третираног на температури 230 °C током 4 часа има смањену смицајну чврстоћу до 25 % у радијалном смеру и до 40 % у тангенцијалном смеру. Отпорност на цепање код термотретираног дрвета генерално је смањена за 30 - 40% у односу на нормално сушено дрво. Испитивањем тврдоће термотретираног дрвета према Бринелу установљено је да се тврдоћа повећава сразмерно повећању температуре термотретмана. Релативне промене тврдоће су веома мале тако да ова промена нема већег значаја у пракси (Финска асоцијација за термодрво, 2003).

3.1.3 Подручја примене термотретираног дрвета

Услед побољшаних својстава термотретирано дрво је данас нашло широко подручје примене, тако да се примењује за израду облога у екстеријеру, прозора, врата, баштенског намештаја, сауна, подова, кухињског намештаја итд, (Витаниеми, 2000). Примери примене термотретираног дрвета у екстеријеру и ентеријеру приказани су на слици 5. Због повећане отпорности на деловање климатских фактора веома је погодно за спољну употребу (Јамса и Витаниеми, 2001). Његова примена зависи од тога да ли се ради о лишћарским врстама или о четинарским, а исто тако зависи и од величине примењене температуре током термичког процеса. У зависности од примењене температуре термотретирано дрво се дели на две основне класе: термо-С и термо-Д. Термо-С лишћари се употребљавају за намештај у ентеријеру, за баштенски намештај, за сауне, конструкције и подне облоге. Термо-Д четинари се најчешће употребљавају за спољна врата, баштенски намештај, сауне и купатила, спољашње конструкције, подне облоге, фасадне облоге и прозорске капке. Термо-Д лишћари за исту употребу као и код Термо-Д четинара, само је могуће добити још тамније нијансе (Финска асоцијација за термодрво, 2003).

Производња и продаја термотретираног дрвета је у константном порасту, поготову у земљама европске уније и овај тренд се очекује и у наредном периоду (Међународна асоцијација за термодрво, 2014). Термотретирано дрво је својом стабилношћу и естетским изгледом нашло широку примену у екстеријеру и ентеријеру. Употреба термотретираног дрвета на нашим просторима је још увек мала и крајњи корисници су врло мало информисани. Истраживања која су спроведена на нашој најзаступљенијој врсти дрвета показују да термички третман у великој мери или чак потпуно изједначава боју лажне срчевине и боју белике а уједно су им и својства веома слична, што отвара нове могућности у циљу већег искоришћења дрвета букве (Поповић и др., 2009; Тодоровић и др., 2012).



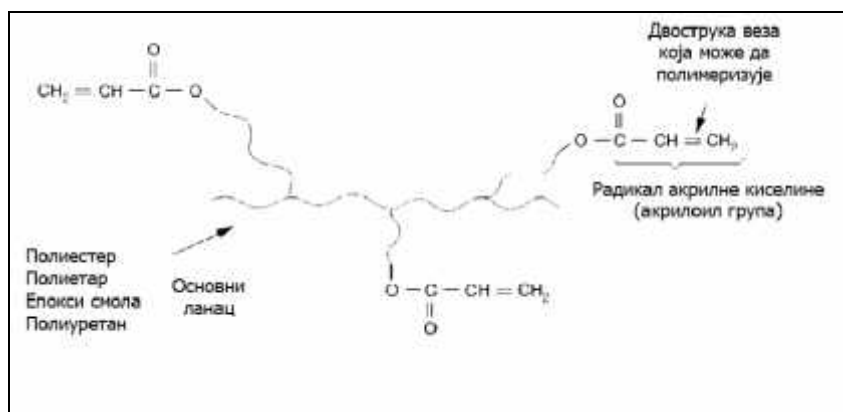
Слика 5. Примена термотретираног дрвета: а) у екстеријеру (Платовуд)
б) у ентеријеру (Термовуд)

3.2 УВ акрилни премази

Употреба акрилних премаза у преради дрвета је веома распрострањена пре свега због одличних својстава која пружају ови премази. Премази се користе за површинску обраду различитих врста плочатих материјала од дрвета који се уграђују у намештај, кухиње и остале производе од дрвета (Трактон, 2007). Веома је заступљена и примена акрилних премаза у површинској обради вишеслојних дрвених подних облога.

Основно везивно средство у акрилним премазима су акрилатне смоле. Најважније предности ових смола су фотостабилност и отпорност на хидролизу (Викс и др., 2007). Акрилатне смоле су обично раствори полимера или чврсте смоле добијене радикалном полимеризацијом акрилатних мономера у раствору, у маси или суспензији. Акрилатни мономери су једноставни естри акрилне или метакрилне киселине, који не садрже функционалне групе, као и деривати мета (акрилне) киселине специфичне реактивности (Брок и др., 2000).

Двоструке везе акрилне киселине полимеризују много брже у НП (незасићеним полиестрима) него што је то случај са двоструким везама које потичу из малеинске и фумарне киселине. Акрилати који очвршћавају зрачењем или незасићени акрилати могу се добити различитим релативно једноставним реакцијама слободне акрилне киселине или из одговарајућих деривата акрилне киселине, као што је хидроксиетил акрилат, са сличним реактивним полазним супстанцама како би се добили полиестар-, полиетар-, епокси- и уретан- акрилати, слика 6.



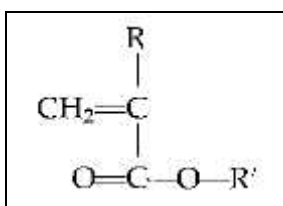
Слика 6. Акрилатне смоле које очвршћавају зрачењем, (Брок и др., 2000)

Акрилате не треба мешати са полиакрилатима, нпр. растворене акрилатне смоле и акрилатне дисперзије. Први тип садржи акрилне двоструке везе, а код другог типа акрилне двоструке везе су замењене нереактивним једноструким везама током процеса синтезе акрилатне смоле. Акрилатне смоле које очвршћавају зрачењем, као што су незасићени полиестри, су сувише вискозне да би се употребљавале без додатног третмана. Оне се стога подешавају на радну конзистенцију смолом или произвођачи премаза користе течне акрилате као мономере који имају улогу реактивног разређивача (хексанедиол диакрилат, етилен гликол диакрилат, триметилол пропан триакрилат итд.), и евентуално употребом инертног растварача као што је метилизобутил кетон. Како акрилати ниске молекуларне масе делују иритирајуће на кожу и могу испарити из премаза ако нису комплетно уграђени у смолу процесом полимеризације, произвођачи траже начине како да смање садржај ових супстанци или да их потпуно изоставе из премаза. Ово је могуће остварити употребом водених емулзија, мада оне захтевају сложенију технологију обраде (испаривање воде и отежано брушење услед присуства подигнутих дрвених влаканаца). У принципу УВ очвршћавање акрилата одиграва се на исти начин као и очвршћавање незасићених полиестарских смола, мада знатно брже, што омогућава да брзина кретања предмета обраде кроз УВ зону буде и до 20 m/min.

Као и код премаза од незасићених полиестара основно подручје примене за акрилате који очвршћавају зрачењем су премази за дрво, намештај и производе од дрвета. УВ премази за папир су такође популарни као и УВ сушива мастила за штампу. Одређене минералне подлоге као што је стакло (оптичка влакна) и подлоге од пластике могу бити површински обрађене УВ премазима, док наношење премаза на металне подлоге може бити проблематично услед сувише слабих веза које се формирају.

Акрилати који умрежавају полимеризацијом преко слободних радикала садрже незасићену везу и имају структуру која је нарочито осетљива на слободне радикале, који настају озрачивањем фотоиницијатора. За велики број

различитих фотоиницијатора је испитана ефикасност при умрежавању. Уопштена структурна формула акрилата се може приказати као на слици 7.



Слика 7. Уопштена структурна формула акрилата

где је R водоник када се ради о акрилатима, а CH₃ група када су у питању метакрилати. Акрилати полимеризују брже од метакрилата. Када се акрилати користе у формулацијама за умрежавање радијацијом, користе се различите структуре, као што су монофункционални акрилати, ди- и вишефункционални акрилати и олигомерни акрилати различитих молских маса.

Монофункционални акрилати спадају међу три најважније компоненте у системима на бази акрилата који могу да се умрежавају преко слободних радикала. То су једињења мале вискозности који имају улогу реактивних разређивача. Они се користе да би се смањила вискозност формулације што омогућава да се обезбеде добра својства премаза при примени. Акрилати имају добру отпорност према спољним утицајима, а поједини могу да обезбеде специфична својства финалним премазима. Акрилати и метакрилати садрже инхибиторе полимеризације, најчешће хидрохинон, хидрохинон монометилетар, п-терц-бутил-катехол и друга слична једињења која спречавају полимеризацију у току лагерована а тиме утичу на трајање у присуству ваздуха, што је назначено на производу. Мономер 2-хидроксиетил акрилат има добра својства, као што је мала вискозност и стога се снижава вискозност формулације, а како садржи ОН групе у бочном низу, доприноси бољој адхезији.

Двофункционални и вишефункционални акрилати се користе да би се обезбедило брзо образовање полимера као и умрежавање, којим се побољшавају механичка својства, отпорност на раствараче и слична својства на која може да се утиче применом радијационог умрежавања. У примени су

познати ди-, три-, тетра- и хексафункционални акрилати. Вишефункционални акрилати који се највише користе су триметилпропан и његови алкокси адукти у форми триакрилата. Неки од двофункционалних акрилата који су комерцијални производи су приказани у табели 3.

Табела 3. Двофункционални акрилати и њихова карактеристична својства (Колеске, 2002)

Назив једињења	Молска маса	Вискозитет, [mPa.s] на 25 °C	Својства
1,3-бутиленгликол диакрилат	198	9	Велика отпорност на мрље
1,4-бутилендиол диакрилат	198	8	Врло добра растворљивост
1,6-хександиол диакрилат	226	9	Брзо умрежавање и мала испарљивост
Алкоксилувани циклохексан диметанол диакрилат		70	Побољшава жилавост
Алкоксилувани хександиол диакрилат		46	Брзо умрежава
Диетиленгликол диакрилат	214	12	Мала испарљивост и вискозност
Етоксилувани бисфенол А диакрилат	468	1600	Врло мала испарљивост, термијски отпоран филм
Неопентилгликол диакрилат	212	10	Мала испарљивост и вискозност
Полиетиленгликол (200) диакрилат	770	25	Мала испарљивост и вискозност
Полиетиленгликол (400) диакрилат	508	57	Раствара се у води
Триетиленгликол диакрилат	258	15	Мала испарљивост и вискозност
Трипропиленгликол диакрилат	300	15	Мала испарљивост и вискозност

Од олигомерних акрилата најпознатија су два основна типа која су позната као акриловани епоксиди (који се често називају „епокси акрилати“, што је неправилно јер не садрже епокси функционалну групу) и уретан акрилати. Обично су акриловани епоксиди и уретан акрилати двофункционални. Ова олигомерна једињења имају велику вискозност и

долазе у продају разблажени са моно- или двофункционалним акрилатима ради лакшег руковања. Уретан акрилати постоје као два основна типа у зависности од тога да ли су добијени из алифатског или ароматског изоцијаната. Ови типови се могу поделити на подврсте у зависности од природе полиола који се користи за њихово добијање.

Полифункционални акрилати се користе у формулацијама за умрежавање радијацијом да би се обезбедило умрежавање, а тиме и брзи пораст молске масе. У случају када нема умрежавања и велике молске масе, не постижу се добра механичка и хемијска својства, због тога што се ствара велики број активних центара када је систем озрачен. Многи двофункционални мономер се користе да би се добила добра равнотежа између густине умрежавања, брзог реаговања и мале вискозности.

Фотоиницијатори и фотосензитајзери (фотосензибилизатори) су два основна типа једињења која се користе за процес УВ очвршћавања да апсорбују светлост и граде реактивне врсте, тј. једињења која садрже слободне радикале или јоне.

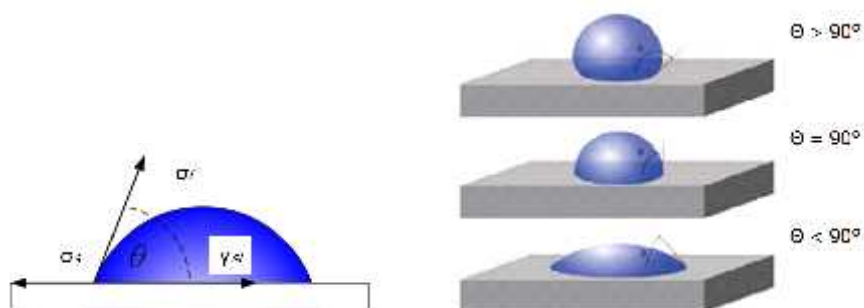
Фотоиницијатори су једињења која граде реактивне форме и иницирају полимеризацију или унакрсно умрежавање. *Фотосензитајзери* су једињења која ће предати енергију одређеној врсти а која ће онда довести до настајања реактивних форми. То је молекул који обично апсорбује светлост веће таласне дужине који преноси енергију на фотоиницијатор стварајући тако слободне радикале или јоне. Основна функција фотоиницијатора је да апсорбује УВ зрачење, генерише реактивне врсте и иницира фотополимеризацију. Део фотоиницијатора који током УВ зрачења апсорбује фотоне назива се хромофор. Да би се светлост апсорбовала од стране фотоиницијатора потребно је да се светлост која је емитована од извора зрачења поклапа са апсорбционим групама фотоиницијатора. У зависности од реактивних врста које настају дејством УВ зрачења разликујемо слободно радикалне, катјонске и анјонске фотоиницијаторе (Дробни, 2010).

Од идеалног фотоиницијатора се очекује да поседује високу реактивност, односно способност да ефикасно али контролисано доведе реакцију полимеризације до краја, добру стабилност лагеревања, добру растворљивост, да није токсичан, да не поседује мирис, да штити филм од жућења и да има прихватљиву цену за индустријску примену (Јаић и Живановић-Трбојевић, 2000).

3.2.3 Формирање филма код УВ акрилних премаза

Као и код осталих премаза и код УВ акрилних премаза формирање филма представља сложен процес, који се састоји из фазе наношења материјала, фазе разливања (фиксирања) премаза и фазе сушења и очвршћавања материјала.

Фаза наношења материјала представља распоређивање полимерног материјала одговарајућом техником (прскање, наливање, потапање, ваљање итд.) преко површине која се обрађује. Посебно важан параметар у овој фази представља контактни угао или угао квашења, слика 8.



Слика 8. Контактни угао и распоред напона између чврсте и течне фазе (<http://biomateriales.org/blog/2011/09/angulo-de-contacto-en-nanoparticulas>)

Филм премаза је могуће формирати ако је контактни угао θ мањи од 90° . Следећа релација је важећа за контактни угао θ :

$$\cos \theta = \frac{(\sigma_s - \gamma_{s,l})}{\sigma} \quad (1)$$

где је:

σ_s - површински напон подлоге

σ_l - површински напон течности

$\gamma_{s/l}$ - међуповршински напон између течности и подлоге;

Течност се шири по површини подлоге ако је коефицијент простирања позитиван, а приказује се следећом релацијом:

$$S = \sigma_s - (\sigma_l + \gamma_{s/l}) = (\sigma_s - \gamma_{s/l}) - \sigma_l \quad (2)$$

Коефицијент S ће бити позитиван уколико је $(\sigma_s - \gamma_{s/l}) > \sigma_l$. Пошто су међуповршинске силе обично мале у поређењу са површинским напоном, оне често могу бити игнорисане. Искуствена правила која су добијена на основу једначина 1 и 2 показују да се подлога са високим површинским напоном σ_s лако кваси док течност са ниским површинским напоном лако кваси подлогу. Што је већа разлика између површинског напона подлоге и течности, то је квашење боље. Основне карактеристике течних материјала у зависности од величине угла квашења приказане су у табели 4.

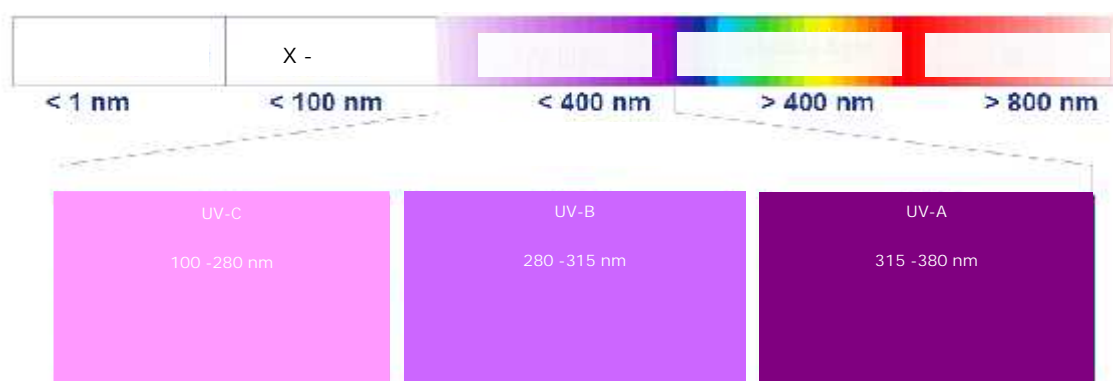
Табела 4. Карактеристике течних материјала у зависности од величине контактнoг угла (<https://en.wikipedia.org/wiki/Wetting>)

Карактеристика течности	Распоред површинског напона	Контактни угао	Квашење
Супер-хидрофобно	$\sigma_l \gg \sigma_s$	$\theta > 150$	Веома слабо
Хидрофобно	$\sigma_l > \sigma_s$	$\theta > 90$	Слабо
Хидрофилно	$\sigma_l < \sigma_s$	$\theta < 90$	Добро
Неутрално	$\sigma_l = \sigma_s$	$\theta = 90$	Неутрално

Фаза разливања (фиксирања) премаза представља један од најважнијих корака ка стабилизовању нанетог полимерног филма на површину, односно супротстављање било каквој тенденцији да премаз склизне са површине или формира неравномерни филм. Све методе наношења полимерних материјала дају мокри филм чију површину карактерише одређени степен површинских неравнина. Трагови четке, линије, таласи изазвани прскањем, пример су тога. Генерално, мокри филм би требало да буде саморавнајући и да омогући да површина буде равна након сушења.

Фаза сушења и очвршћавања премаза - У односу на системе премаза који очвршћавају физички, на собној температури и вишим температурама, зрачењем очвршћавајући системи премаза морају поседовати радикале, односно јоне који се могу ослободити деловањем енергетског зрачења како би се покренула реакција кополимеризације. Високо убрзани електрони дају тако велики принос радикала, да се очвршћавање филма премаза завршава у секунди. За стварање радикала дејством УВ зрачења неопходан је додаток фотоиницијатора. Зрачењем очвршћавајући системи (материјали) су једнокомпонентни системи. Највећи број премаза који очвршћавају зрачењем су засновани на акрилатима и умрежавању полимеризацијом. За специјалне намене користе се епокси смоле и ту се очвршћавање одвија путем катјона. Најважније за системе који очвршћавају зрачењем јесте да садржај суве материје буде скоро 100 %, али постоји могућност да садрже само малу количину растварача.

Ултравиолетно зрачење је већ деценијама у употреби у медицини, аналитичкој хемији, али и у различитим индустријским апликацијама. И ултравиолетни (УВ) зраци и зрачење електронима (ЕВ) су класификовани као електромагнетно зрачење, заједно са инфрацрвеним (IR) и микроталасним (MW). Различите врсте зрачења у зависности од таласних дужина приказане су на слици 9.



Слика 9. Различите врсте зрачења у зависности од таласних дужина (Бајер, 2010)

Премаз од течног ка чврстом стању пролази кроз различите међуфазе, које се могу описати праћењем промене вискозитета:

$$\lg \eta = k\sqrt{M_n} NV \quad (3)$$

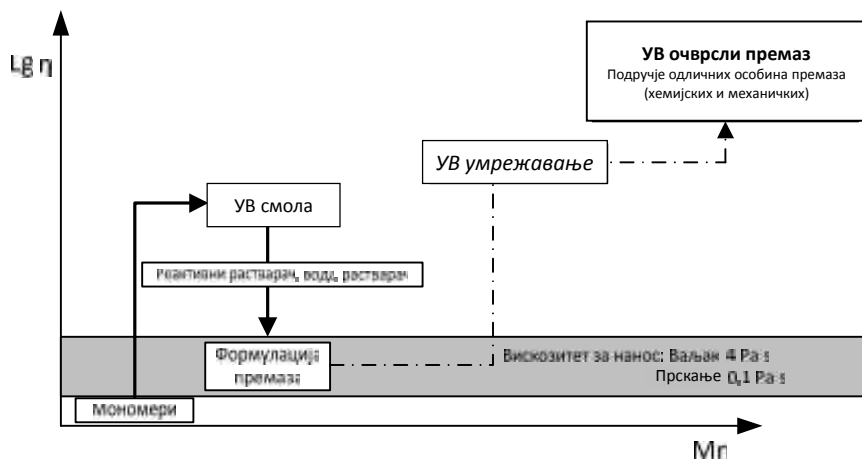
где је:

NV - садржај чврсте материје [%]

k - коефицијент

M_n - молска маса

тако да вискозитет зависи од молске масе и садржаја чврсте материје. Ова зависност је линеарна само за довољно ниске концентрације где су појединачни молекули полимера и молекули одговарајућег растварача изоловани једни од других. За концентроване растворе полимера и смоле које се користе у премазима ова зависност може бити сложена, међутим, генерално се може рећи да вискозитет расте са повећањем молске масе. Кључни фактори који утичу на вискозитет су молска маса, дистрибуција молске масе, структура и концентрација смоле, која одређује Тг растворене смоле. Потребан вискозитет зависи од начина наношења премаза (нпр. 100 mPa s за метод прскања или 4000 mPa s за нанос ваљком), слика 10. У системима на бази растварача већа молска маса смола се може смањити додатком одговарајућег растварача. У 100% течним УВ премазима молске масе смола морају бити мање.



Слика 10. Промена вискозитета од мономера до УВ умреженог премаза (Швалм, 2006)

Смола се онда разблажује реактивним разређивачем до вискозитета погодног за нанос. Током процеса наношења УВ очвршћављујућег система,

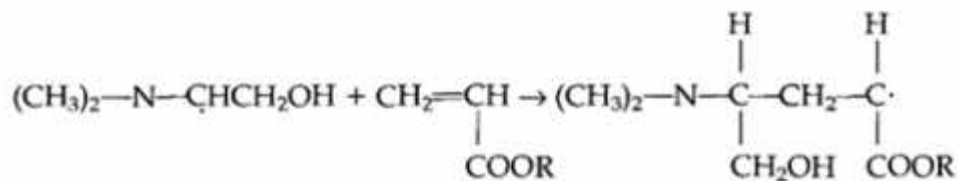
физичко стање премаза се нагло мења од течног до чврстог стања, кроз два кључна процеса, формирања мокрог филма премаза и умрежавања премаза.

Полимеризација зрачењем се састоји од истих ступњева као и свака друга полимеризација. Прво долази до реакције иницирања, затим следи пропација ланца, и на крају се одвија терминација односно крај раста ланца. Када се систем који садржи акрилатни мономер и фотоиницијатор изложи зрачењу, скоро тренутно настаје велики број слободних радикала. Услед брзог настајања великог броја активних центара пропација ланца се одвија врло брзо. Иако се у току полимеризације врло брзо издваја топлота, ова појава се може контролисати помоћу саме природе система који полимеризује. Умрежени филм је врло танак, реда хиљадитог дела инча (0,0254 mm), па подлога може врло брзо да апсорбује топлоту која се развија у току полимеризације. Било да се ради о полимеризацији иницираној преко слободних радикала или катјонској, реакција се одвија врло брзо. Слободни радикали имају кратак век и време полимеризације је врло кратко, у основи полимеризација се дешава само док је систем у зони зрачења. Ако мономери или олигомери нису прореаговали у току овог кратког периода, они ће заостати непромењени у финалном производу. Сви ступњеви који су укључени у механизам реакције су приказани на слици 11, за случај полимеризације монофункционалног акрилата. Реакције које су сличне са приказаним се дешавају и при полимеризацији мултифункционалних и/или олигомерних акрилата. Основна разлика је да се уместо линеарних ланаца полимера образује врло умрежен производ.

Основне предности УВ технологије сушења су велика брзина очвршћавања, уређаји заузимају мало простора, могућа је примена премаза без растварача код равних елемената, еколошки погодан процес као и висок квалитет обраде. Главни недостатак ове технологије представља ограниченост употребе метода наношења УВ премаза високог вискозитета, који се могу наносити на равне површине само методом ваљања. Код прскања је потребно разређивање и обавезно сушење пре УВ очвршћавања. Проблеми могу настати и током употребе бајцева у комбинацији са УВ премазима као и немогућност

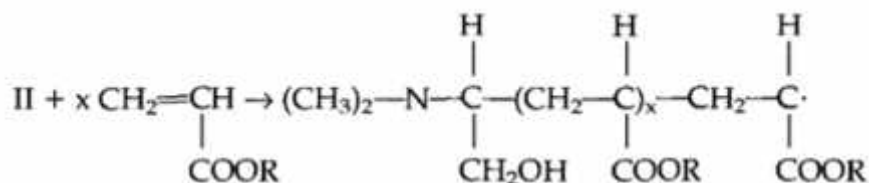
потпуног очвршћавања УВ премаза нанетог на предмет обраде који није раван (Јаић и Живановић-Трбојевић, 2000).

Иницирање



Слободни радикали из иницијатора (FR·) + Акрилатни мономер (AM) → Врста са активним центром (II·)

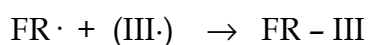
Пропагација



Врста са активним центром (II·) + x Мономера → Врста са активним центром (III·)

Терминација

Комбинацијом врсте са активним центром (III·) и слободног радикала из иницијатора (FR·)



Комбинацијом врсте са активним центром (III·) и врсте са активним центром (II·)



Комбинацијом врсте са активним центром (III·) и још једне врсте са активним центром (III·)



Слика 11. Опис три основна ступња полимеризације акрилата преко слободних радикала (Колеске, 2002).

3.2.3 Адхезија премаза на термотретираном дрвету

Механизам адхезије је до сада пуно проучаван и у покушају да се овај феномен објасни постављане су разне теорије, од којих ни једна теорија засебно не даје потпуно објашњење. Повезивање неког премаза или адхезива са површином подлоге на коју је нанет је резултат међусобног деловања већег броја физичких, механичких и хемијских сила које су међусобно у интеракцији. У зависности од физичких и хемијских својстава подлоге и премаза, адхезија се може објаснити једном или комбинацијом више теорија (Рицо и Бруно, 2009).

До сада је развијен велики број теорија адхезије:

- механичка,
- електростатичка,
- дифузиона,
- капиларна,
- хемијска.

Од свих наведених теорија адхезије две су најзначајније, а то су механичка и хемијска. Хемијска теорија више наглашава утицај хемијских структура на адхезију, односно хемијских веза које се успостављају између адхезива/премаза и адхерента/подлоге. Према механичкој теорији добра адхезија се може постићи само уколико адхезив продре у поре, шупљине и друге физичке неравнине на површини материјала на који се наноси. Адхезив или премаз осим што мора добро да кваси површину материјала мора да поседује и одговарајућа реолошка својства како би могао да продре у неравнине и тако оствари „забрављивање“.

Важно је разумети да, иако једна теорија адхезије наглашава механичке аспекте и друга већи акценат ставља на хемијске аспекте, хемијске структуре и њихова интеракција одређује механичка својства а механичка својства, одређују силу која је концентрисана на индивидуалне хемијске везе. То потврђује да су хемијски и механички аспекти везани и не могу се третирати као два различита утицајна фактора (Ровел, 2005).

Велики утицај на везивање адхезива или премаза за дрво имају својства саме површине дрвета. Формирање веза зависи од развоја међумолекуларних привлачења. Одређени типови хемијских реакција настају између адхезива или премаза и компоненти дрвета. Хидроксилне групе дрвних компоненти играју важну улогу у квашењу, хемијској активности и везивању премаза за дрво (Јаић и др., 1996)

Припрема површине дрвета пре наношења премаза може имати велики утицај на својства очврслог премаза, пре свега адхезију. Проучавани су различити начини припреме површине дрвета: брушење, рендисање и груба површина добијена расецањем. Брушење деформише ћелије дрвета и запуњава капиларе дрвном прашином што умањује пенетрацију премаза (де Меијер, 2004).

Многе раније студије су показале да се својства очврслог премаза могу довести у везу са карактеристикама површине дрвета на који се тај премаз наноси. Кул и Ернандез (2011) су проучавали утицај изабраног режима брушења на квалитет површине и адхезију премаза на воденој бази на подлози од црне смрче (*Picea mariana* (Mill.)). Резултати њиховог истраживања су показали да повећањем брзине кретања предмета обраде и употребом брусних папира грубље гранулације долази до повећања храпавости површине и побољшања квашења премаза на воденој бази. Ипак нису нашли јасну корелацију између параметара квалитета површине и силе кидања измерене методом печатника.

Испитивања које је спроводио Арнолд (2010) су показала да брушење површине дрвета европске смрче (*Picea abies*) гранулацијом брусног папира Р80 повећава храпавост површине, способност квашења као и јачину адхезије у односу на површину истог дрвета која је обрађена ножевима глодала. Аутор наводи да покидана дрвна влакна услед иступљених ножева глодала и истрошених брусних папира имају негативан утицај на континуитет формираног филма премаза и његова својства.

До сада је обављен јако мали број научних радова који се баве адхезијом неког од типова акрилних премаза на подлози од термотретираног дрвета. Подлогу од термотретираног дрвета карактеришу хемијске промене основних конституената грађе дрвета, целулозе, хемицелулоза и лигнина (Котилаинен, 2000). На основу наведених промена може се очекивати и да ће механизам адхезије између подлоге термотретираног дрвета и УВ акрилног премаза бити измењен у односу на нетретирано дрво и у зависности од примењене температуре термотретмана.

Термички третман европског граба (*Ostrya carpinifolia* Scop.) на температури 180 °C током 10 часова је утицао на смањење храпавости површине за око 22 % у односу на контролне-нетретиране узорке, што је оцењено као предност приликом површинске обраде масивног дрвета (Коркут и др., 2009).

Коркут и Гилер (2008) су потврдили смањење храпавости површине термички третираног дрвета црвеног јавора (*Acer trautvetteri* Medw.) изражене преко параметра храпавости Ra са повећањем температуре термичког третмана. Најмање смањење храпавости је забележено код најниже примењене температуре од 120 °C. Иста појава је потврђена и на термички третираним узорцима дивље трешње (*Prunus Avium*) (Коркут и др., 2013). Унсал и Аирилмис (2005) су потврдили да повећањем температуре и времена трајања термичког третмана долази до смањења храпавости површине дрвета *Eucalyptus camaldulensis*. Применом термичког третмана током 10 h на температури од 180 °C, храпавост је опала за скоро 30 % у поређењу са контролним узорком, што је веома значајно са аспекта индустријске прераде масивног дрвета.

Термички третман северно америчког белог јасена (*Fraxinus americana*) и меког јавора (*Acer rubrum*), допринео је повећању хигрофобности. У свим случајевима угао квашења је био већи код термотретираних узорака у односу на нетретиране. Температуре термотретмана дрвета су износиле 205 °C, 210 °C, и 215 °C, док је завршно брушење обављено брусном траком гранулације P120 (Кокафе и др., 2008).

Истраживања спроведена на банковом бору (*Pinus banksiana*) који је термички третиран на 210 °C су показала да је квашење површине (мерење диманичког квашења) смањено у односу на нетретирано дрво услед деградације основних хемијских једињења (хемицелулоза, целулозе и лигнина). Такође је испитан и утицај режима завршног брушења на способност квашења и потврђено је да примењена брусна трака гранулације P180 повећава хидрофобност термотретираног дрвета ове врсте бора (Хуанг и др., 2012).

Хакоу и сарадници (2005) су такође потврдили негативан утицај термичког третмана дрвета на способност квашења дрвета букве.

Код полиакрилатних нанопремаза нанетих на термотретирано дрво букве нађено је да се угао квашења повећава повећањем температуре (190 °C и 212 °C) термотретмана. Истим истраживањем потврђено је и да се угао квашења воде повећава повећањем температуре термотретмана (Миклечић, 2013).

Испитивање контактеног угла на белом бору (*Pinus sylvestris* L.) термотретираног у уљу на температури од 220 °C је показало да површина дрвета белог бора постаје хидрофобна. Сви типови акрилних премаза су показали боље квашење, тј. формиран је мањи контактни угао на термотретираном дрвету белог бора у односу на нетретиране узорке исте дрвне врсте (Петрич и др., 2007).

Истраживање које су радили Меијер и Милиц (2000) је показало да је измерена влажна адхезија методом повлачења лепљиве траке (АСТМ Д3359:2002) знатно већа код делова дрвета код којих је дошло до дубље пенетрације премаза у структуру дрвета у односу на делове код којих је пенетрација била знатно мања. Од укупно шест испитиваних типова премаза, акрилни премаз је показао најниже вредности адхезије измерене овом методом.

Према истраживању (Подгорски и др., 2011) подлога од термотретираног дрвета утиче тако да је јачина адхезије премаза мања у односу на нетретирано дрво. Такође се наводи да је метода печатника за одређивање адхезије осетљивија од методе решетке и да као таква даје више информација о утицају подлоге на измерену јачину адхезије.

Методом решетке је утврђено да је термичка модификација дрвета букве проузроковала смањење адхезије полиакрилатног воденог премаза (Павлич, 2009).

У пракси, током мерења јачине адхезије методом печатника, често се лом догоди у самом дрвету, тако да измерена вредност представља јачину кохезије у дрвету. Како механичка својства дрвета опадају повећањем температуре термотретмана може се очекивати да ће кохезивни лом настати при температурама већим од 180 °С . Испитивање утицаја термотретмана на дрво букве које су спровели Попадић и Тодоровић (2008) показало је да су највећи губици густине и масе добијени на температури од 210 °С током централне фазе термотретмана. Температуре од 150 °С и 170 °С немају утицаја на губитак масе и густине дрвета, док на температури од 190 °С долази до значајног губитка масе уз мали губитак густине.

Такође, потребно је применити одговарајућу методу за мерење јачине адхезије, како би се искључио негативан утицај слабљења кохезивних веза у термотретираном дрвету. Приликом испитивања адхезије више различитих врста премаза на подлози од термотретираног дрвета установљено је да мањи проценат кохезивног лома настане применом методе печатника у влажним условима (подразумева квашење површине око печатника) у односу на исти метод при сувим условима. Одређивањем јачине адхезије методом печатника у мокрим условима термотретирано дрво модификовано на вишим температурама даје веће вредности јачине адхезије од нетретираног дрвета (Павлич, 2009), пре свега услед смањене хигроскопности дрвета.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

Експериментални део састоји се од следећих подпоглавља:

- 4.1 План истраживања и методе експерименталног рада
- 4.2 Избор материјала
- 4.3 Припрема материјала
- 4.4 Површинска обрада узорака
- 4.5 Методе испитивања (за одређивање својства подлоге, течног премаза и адхезије очврслог премаз)
- 4.6 Статистичка обрада резултата

4.1. План истраживања и методе експерименталног рада

Могућност побољшања адхезије УВ акрилног премаза на подлози од термотретираног дрвета букве био је основни циљ истраживања. Ради постизања задатог циља, испитивања су обављена на узорцима припремљеним у индустријским условима уз поштовање захтева контролисаног експеримента, који омогућава компаративну анализу добијених резултата. За карактеризацију предвиђених својстава изабраних материјала, подлоге и јачине адхезије УВ акрилног премаза коришћене су стандардом прописане методе.

4.1.1 Избор утицајних параметара

С обзиром да је у сваком истраживању важно издвојити параметре са одлучујућим утицајем, у овом раду су у складу са теоријским поставкама, као најутицајнији параметри на јачину адхезије УВ акрилног премаза на подлози од дрвета букве (*Fagus moesiaca*) издвојени следећи:

- а) температура термичког третмана дрвета
- б) систем брушења
- в) удео очвршћивача у основном премазу

а) Температура термичког третмана дрвета

У складу са анализираним утицајем температуре термичког третмана на физичка, механичка и хемијска својства дрвета изнетих у тачки 3.1.1, изабране су следеће температуре:

▶ 140 °С ▶ 160 °С и ▶ 194 °С

С једне стране, естетски трендови за паркетом незнатно тамнијих нијанси тонова од боје природног дрвета који прожимају целу његову структуру, а са друге стране, најмањи губитак механичких карактеристика и занемарљиве хемијске промене дрвета услед термичког третмана, послужили су као критеријуми за избор температуре од 140 °С.

Предложена температура од 160 °С је у подручју граничних температура током којих долази до минималне деградације дрвета, а уз појаву уочених ефеката побољшања квалитета дрвета. Сем тога, претпоставка да настале хемијске промене дрвета при овој температури неће значајно ометати јачину адхезије УВ премаза и овако модификоване подлоге, били су одлучујући фактори у избору ове температуре у овом истраживању.

Температура од 194 °С централне фазе термичког третмана је изабрана у складу са чињеницом да се најчешће примењује у индустријским условима производње вешеслојног паркета. Потреба да резултати овог истраживања имају поред научног доприноса и практичну примену у оптимизацији процесних параметара површинске обраде, такође је узета у обзир при избору ове температуре.

б) Систем брушења

На основу прегледа доступне литературе (тачка 3.2.3), и у складу са цињевима овог рада, за припрему површине узорака дрвета букве изабран је четворостепени поступак брушења са различитим завршним гранулацијама брусног папира и то:

а) прва три степена: P60, P80 и P100

б) четврти степен брушења (завршно брушење)

► P100 ► P120 ► P150

Гранулација брусног папира P100 за завршно брушење је предложена за испитивање утицаја карактеристика подлоге на јачину адхезије премаза, превасходно зато што према литературним подацима, храпавост овако обрађене површине обезбеђује добро квашење. Са друге стране, ова гранулација брусног папира је најнижи степен завршног брушења који је технолошки прихватљив с обзиром на захтевани изглед финално обрађене површине, те је оправдано испитати њен утицај.

Гранулација брусног папира P120 за завршно брушење је изабарана као стандардна која се препоручује за завршно брушење код ситнопорозних дрвних врста као што је буква. У циљу постизања што уједначенијег филма премаза, погоднији су брусни папири финије гранулације, поготово када се ради о припреми подлоге за премазе са кратким временом разливања као што су УВ премази који се испитују у овом раду. У складу са наведеним чињеницама, а и узимајући у обзир да је радни век брусних трака на континуалним линијама великог капацитета од одлучујућег значаја за продуктивност и екомичност лакирне линије, изабрана је гранулација брусног папира P150 за завршно брушење експерименталних узорака.

в) Удео очвршћивача у основном премазу

Да би се установило да ли је удео очвршћивача од 7,5 % *attro/attro* препоручен од стране произвођача УВ премаза оптималан са аспекта јачине адхезије првог слоја основног премаза на подлози од термотретираног дрвета, предложени су следећи удели очвршћивача од:

► 4,5 % и ► 10,5 % *attro/attro*

С обзиром на чињеницу да се очвршћивачи на бази ди-изоцијаната, троше не само за успостављање хемијских веза премаза са подлогом, већ су веома осетљиви на присуство влаге у атмосфери и у подлози, њихова прорачуната количина често може бити недовољна, те је пожељно да се додају

у вишку. Удео очвршћивача од 10 % је препоручен за масивно дрво егзота које имају иразито висок садржај екстрактивних материја и уља. Осим тога, узимајући у обзир резултате претходних истраживања да термотретирано дрво има смањена адхезивна својства, као и претпоставку, да већи удео очвршћивача може да побољша јачину адхезије УВ премаза предложено је да се испита удео очвршћивача од 10,5 % *attro/attro*.

Мањи удео очвршћивача је повољнији из економских разлога уколико може да задовољи потребну јачину адхезије са аспекта квалитета очврслог премаза. Ова економска повољност заснована је не само на уштедама услед смањене потрошње, већ и на смањењу изузетно високих трошкова збрињавања отпадног премаза који настаје у случајевима технолошког застоја као последица превременог умрежавања основног премаза у машини за ваљање која се мора уклонити. Из ових разлога у овом раду предложен је удео очвршћивача од 4,5 % *attro/attro*.

4.1.2 Избор константних параметара

Параметри који су држани константним током припреме узорака за испитивање у овом раду били су:

- дрвна врста (*Fagus moesiaca* С.),
- правац брушења (паралелно са правцем пружања дрвних влаканца),
- смер брушења (супротно од смера кретања предмета обраде).

Параметри брушења подлоге (табела 5).

Табела 5. Константни параметри брушења подлоге

Параметри	Степен брушења			
	I	II	III	IV
Гранулација брусног папира	P60	P80	P100	променљива
Брзина брушења [m/s]	24	20	20	20
Дубина брушења [mm]	0,25	0,15	0,10	-

- процесни параметри лакирне линије са међуслојним брушењем премаза (табела 6).

Табела 6. Константни параметри режима лакирања

Параметри	Редни број слоја премаза					
	I	II	III	IV	V	VI
Количина наноса [g/m ²]	27	20	16	15	11	10
Брзина ваљка за дозирање [m/min]	3	5	3	4	8*	3
Брзина ваљка за наношење [m/min]	16	16	16	16	16	15,5
Брзина ваљка за шпахтловање [m/min]	-	4	-	-	-	-
Позиција ваљка за наношење у односу на површину подлоге [mm]	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,5	-0,5
Снага галијумске УВ лампе по дужини лампе [W/cm]	-	80	-	100	-	100
Снага живина УВ лампе по дужини лампе [W/cm]	60	100	60	100	80	110
Снага живина УВ лампе по дужини лампе [W/cm]		100		110		110
Гранулација брусног папира за међуслојно брушење		P180		P240		
Брзина међуслојног брушења премаза [m/s]	-	20	-	20	-	-
Брзина кретања предмета обраде [m/min]	16					

* реверзно кретање дозирног ваљка

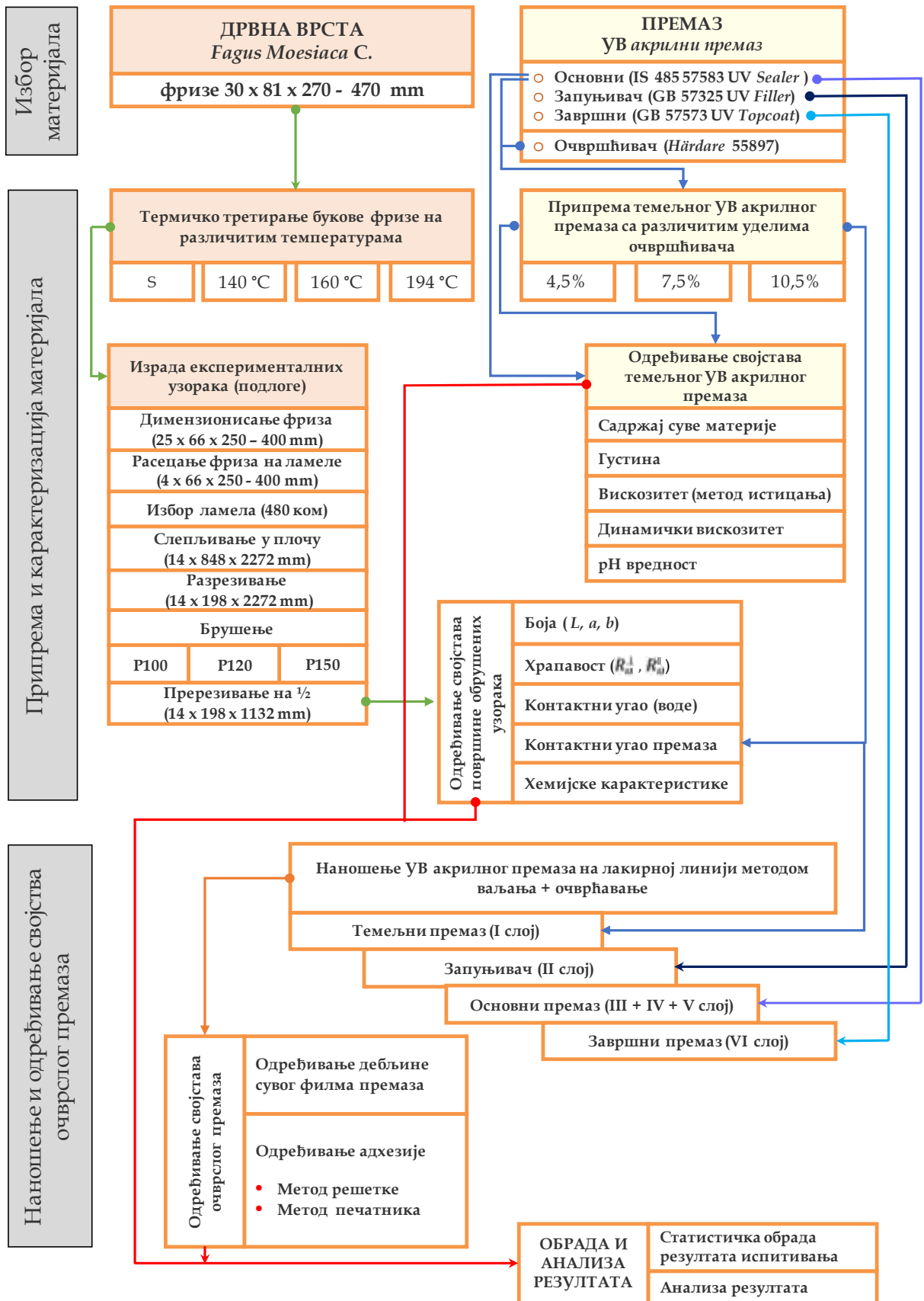
4.1.3 План експерименталног рада

У складу са основним задацима, истраживања у овом раду обухватају пет фаза које се међусобно надовезују, али се истовремено могу посматрати као независне и самосталне целине.

- **Прва фаза** се односи на избор материјала која подразумева, одабир дрвне врсте, врсте премаза и помоћних материјала.
- **Друга фаза** састоји се из припреме и карактеризације изабраног материјала која обухвата:
 - термичко тетирање букових фриза при изабраним параметрима,

- израду потребне количине плоча вишеслојног паркета и њихово разрезивање на узорак задатих димензија у потребном броју за даља испитивања,
 - припрему површине узорака брушењем и њену карактеризацију,
 - припрему и одређивања битних карактеристика основног УВ премаза.
- **Трећа фаза** обухвата наношење свих изабраних формулација УВ премаза помоћу система машина за ваљање подешених у складу са усвојеним процесним параметрима, укључујући и процес очвшћавања премаза
 - **Четврта фаза** подразумева мерење дебљине сувог филма премаза, испитивање јачине адхезије очврслог УВ акриног премаза, као и обраду и анализу добијених резултата мерења.

Детаљан план истраживања приказан је на слици 12.



Слика 12. План истраживања

4.2 Избор материјала

4.2.1 Дрвна врста

Буква је у Србији је најраспрострањенија и најзначајнија дрвна врста која је распрострањена на површини од 660.400 ha (Банковић и др., 2009). У Србији заузима врло широко хоризонтално и вертикално распрострањење, данас се не налази једино у равничарским пределима Војводине. На свим брдским и планинским масивима буква гради широк појас чистих и мешовитих шума. Такво распрострањење нема ни једна друга наша врста, што указује на изванредно велики значај ове врсте за шумарску привреду наше земље.

По Јовановићу (2000), најзначајније врсте дрвета букве на овим просторима су: Мезијска буква (*Fagus moesiaca* /Domin, Maly/ Czeczott.) која је најзаступљенија, затим европска буква (*Fagus sylvatica* L.) и источна буква (*Fagus orientalis* L i p s k y).

Буково дрво има малу трајност и вредност па је све до друге половине XX века сматрано скоро као коровска врста, па је мање и коришћено. Тек са развојем технологије заштите (импрегнирање, површинске обраде) и нових технологија прераде као што је парење и термотретман, буково дрво постаје знатно вреднија сировина.

Дрво букве је бакуљаво, без и са лажном срчевином. Бељика је црвенкасто беле или беле боје, док је дрво лажне срчевине црвенкасто смеђе до браон боје. Прстени прираста су маркантни и дрво је на радијалном пресеку сјајно (Шошкић и Поповић, 2002). Дрво које се формира у јесен је нешто тамније боје у односу на дрво које се формира у пролеће, разлог је у томе што су трахеје које се формирају ближе граници прстена прираста мање по величини. Трахеје зрелог дрвета букве су најчешће испуњене тилама (Вилотић, 2000). Запреминско учешће анатомских елемената грађе дрвета букве различито је и зависи, како од спољашњих, тако и од унутрашњих фактора. У просеку, за нископланински, средњепланински и високопланински тип букве, према истраживању (Николов и др., 1967), запреминско учешће анатомских елемената

износи: трахеје 32,62%, дрвни паренхим 22,61% и дрвна влакна 44,85%. Трахеје су дифузно распоређене у прстену прираста, кружног попречног или елиптичног попречног пресека, тангенцијалних димензија 12 до 120 μm . Механички елементи чине основну масу буковог дрвета и имају дужину 1,41 mm, дебљину зидова око 0,005 и пречник око 0,016 mm. Аксијални паренхим је дифузно метатрахеално распоређен, димензије ћелија крећу се у границама: тангенцијално 0,015 до 0,019 mm, радијално 0,014 до 0,020 mm. Средња дебљина зидова је од 0,0018 до 0,0036 mm. Траке дрвета су уске и широке. Широке траке израђене су из 2 до 25 ћелија, а преовлађујуће је учешће трака са 2 до 5 ћелија.

Дрво букве, зависно од методе одређивања, има око 76,5% холоцелулозе, око 42,2% целулозе без пентозана и око 29,3% пентозана укупно. Густина буковог дрвета у апсолутно сувом стању влажности, за локалитете у Србији износи од 660 до 700 kg/m^3 , док је у литератури најчешће коришћена вредност за густину дрвета букве 690 kg/m^3 . Укупно запреминско утезање дрвета букве износи око 17%, тангенцијално око 12% и радијално око 5,5%. Напони дрвета зависно од врсте, при влажности од 12%, износе: на притисак 62 МПа, на савијање око 120 МПа, на затезање 150 МПа, напон на удар од 8 до 10 J/cm^2 и напон на цепање око 0,62 МПа. Тврдоћа буковог дрвета, по Јанки, износи: паралено са влаканцима 80 МПа и управно на влаканца 60 МПа.

За потребе овог истраживања коришћено је дрво домаће букве (*Fagus moesiaca* С.) са подручја Јастребца.

4.2.2 УВ премаз

УВ премази акрилног типа за ово истраживање изабрани су из више разлога. Добра еластичност, прионљивост, отпорност на УВ зрачење (не жуте) и деловање хемикалија као и висок садржај суве материје, ове премазе чине веома погодним за површинску обраду дрвета. Велика брзина очвршћавања опредељује употребу ових премаза за лакирне линије великог капацитета, као што је то случај у производњи вишеслојног паркета. Из ових разлога, УВ акрилни премаз изабран је као основни који садржи фотоиницијаторе за покретање реакције полимеризације у свих пет предвиђених слојева, уз

употребу одговарајућег очвршћивача само у првом контактном слоју (темељном) са подлогом.

У циљу потпуне симулације површинске обраде у производњи вишеслојног паркета за завршни премаз изабран је такође УВ акрилни премаз формулације прилагођене визуелним и механичким захтевима завршног (покривног) слоја.

У испитивању су коришћени УВ акрилни премази произвођача Акзо Нобел (Akzo Nobel), као основни употребљен је премаз производног назива IS 485 UV Sealer 57583, затим УВ акрилни запуњивач типа GB 57325 UV Filler и завршни УВ акрилни премаз типа GB 57573 UV Topcoat, који су испоручени већ припремљени. Карактеристике коришћеног основног и завршног УВ акрилног премаза, као и запуњивача дате су у табели 7.

Табела 7. Састав и карактеристике УВ акрилног премаза за основни и завршни слој

Основни УВ акрилни премаз (<i>Sealer</i>)	Састав*	Трипропиленгликол диакрилат (TPGDA) [%]	10 - 20
		УВ акрилат [%]	70 - 80
		Полиетиленгликол диакрилат (PEGDA) [%]	10 - 20
		Фотоиницијатори [%]	0,1 - 1
	Густина [kg/m ³]		1120
	ВОЦ (Boilp.<250 °C) [g/l]		0,4
УВ акрилни запуњивач (<i>Filler</i>)	Састав*	Уретан акрилат , алифатски	40 - 50
		УВ акрилат	30 - 40
		Три-пропиленгликол диакрилат (TPGDA)	10 - 20
		Триетиленгликол диакрилат	1 - 5
		Акрилна киселина	0,1 - 1
	Густина [kg/m ³]		1140
Завршни УВ акрилни премаз (<i>Topcoat</i>)	Састав*	Три-пропиленгликол диакрилат (TPGDA)	40 - 50
		Уретан акрилат	20 - 30
		Полимер полиестар акрилата	5 - 10
		Бензофенон (PI)	1
		Бутадиол диакрилат	1
	Густина [kg/m ³]		1180
	ВОЦ (Boilp.<250 °C), g/l		0,2

* у односу на укупну масу премаза

4.2.3 Очвршћивач УВ премаза

Очвршћивач је изабран према препоруци роизвођача Акзо Нобел, производног назива Härdare 55897 који је касније додат основном премазу у различитим уделима (4,5 %, 7,5 % и 10,5 %) у циљу убрзавања реакције очвршћавања и успостављања адхезивних веза са дрвеном подлогом. Очвршћивач је испоручен већ припремљен, а његове карактеристике приказане су у табели 8.

Табела 8. Карактеристике очвршћивача за први слој темељног УВ акрилног премаза

Састав*	Хексаметилен диизоцијанат преполимер [%]	90-100
	Мономер хексаметилен ди изоцијаната [%]	1-5
Густина [kg/m ³]		1140
Тачка паљења [°C]		181
Опис: није растворљив у води		

* у односу на укупну масу очвршћивача

4.2.4 Помоћни материјали

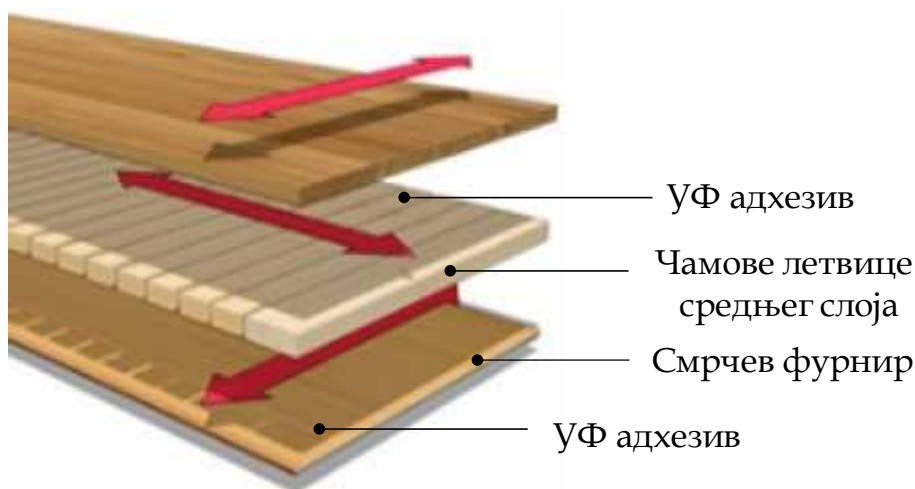
Помоћни материјали који су коришћени за израду узорака су:

- чамове летвице
- фурнир смрчевог дрвета
- УФ адхезив

Од чамових летвица је формиран средњи слој паркетне даске (слика 13). Летвице су исечене из дасака димензија 4000 x 144 x 32 mm, тако што су даске прво попречним резovima скраћене на краће комаде из којих су затим на вишелисном парачу изрезане летвице дебљине 8,7 mm, док је дебљина даске представљала ширину летвица. Влажност летвица средњег слоја је износила 7,5 %.

За доњи слој је коришћен љуштени смрчев фурнир дебљине 2 mm и садржаја влаге 4 %.

Сва три слоја (горњи, средњи и доњи) су међусобно залепљени УФ адхезивом 1210 произвођача Акзо Нобел – Каско Адхезивс (*Casco Adhesives*) (Шведска).



Слика 13. Слојеви узорка паркетне даске

4.3 Припрема материјала

Израда и припрема узорака, као и њихова даља обрада, урађена је у производним погонима компаније “Таркет д.о.о.” у Бачкој Паланци. Потребна мерења ради одређивања површинских карактеристика узорака, карактеристика премаза и адхезије урађена су у лабораторија центра за Истраживање и развој компаније „Таркет д.о.о.“ и у лабораторији за површинску обраду дрвета Шумарског факултета Универзитета у Београду.

ФТИР анализа је урађена у лабораторији Технолошко - металуршког факултета у Београду. Мерење контактеног угла обављено је у Лабораторији за површинску обраду Биотехничког факултета Универзитета у Љубљани.

4.3.1 Припрема термотретираних узорака букве

За потребе овог истраживања коришћено је дрво домаће букве (*Fagus toesiaca* С.) са подручја Јастребца, у форми фриза димензија попречног пресека 30 x 81 mm, дужине од 270 до 470 mm које је произвела компанија „МОЦА д.о.о.“ из Јабланице. Букове фризе сировог стања влажности (50 – 60 %) су прво сушене у конвенционалним коморама произвођача *Инкомак* (Италија) до

садржаја влаге од 6 %, а затим су методом случајног избора одабране за потребе овог истраживања.

При избору фриза водило се рачуна да буду без усуканости влакана, чистог реза и са заштићеним челима против пукотина на спољним странама палете. Такође, изабране фризе нису садржале црвено срце, ураслу кору, трулеж, дисколорације и оштећења од инсеката. Тако изабране фризе су потом термички третиране на различитим температурама, у складу са усвојеним експерименталним планом.

Термичко третирање је обављено у компанији „Таркет д.о.о.“ у комори модел АТК, произвођача *Басхилд (Baschild)* (Италија), која је израђена од челичне конструкције на коју су монтирани панели који чине зидове и таваницу коморе (слика 14). Ови панели су састављени од унутрашњег челичног лима, стаклене вуне и спољашњег алуминијумског лима. Сви челични елементи, као и комплетна унутрашњост коморе израђена је од нерђајућег челика, тј. прохрома.

Комора је постављена на бетонски темељ, при чему не постоји чврста веза између коморе и темеља у циљу избегавања оштећења и деформација делова коморе услед великих топлотних дилатација, обзиром да максимална температура која се у комори користи током централне фазе термичког третмана може прећи и 200 °С.



Слика 14 . Фронтална страна коморе (1-врата, 2-систем за отварање врата, 3-шине за транспорт материјала, 4-електромотори за покретање вентилатора) (Дамјанац, 2010)

На десној бочној страни коморе налазе се 4 електромотора (слика 14, (4)) за покретање вентилатора који су за разлику од вештачких сушара смештени са спољне стране коморе због великих топлотних оптерећења. На задњој страни коморе се налази гасна подстанција и соба са управљачким центром. Вентилациони отвори налазе се на крову коморе и служе за измену ваздуха између коморе и спољашње средине као и отвори за регулацију притиска у комори (слика 15, (1)). Техничке карактеристике коморе приказане су у табели 9.

Табела 9. Основни технички подаци коморе за термички третман дрвета

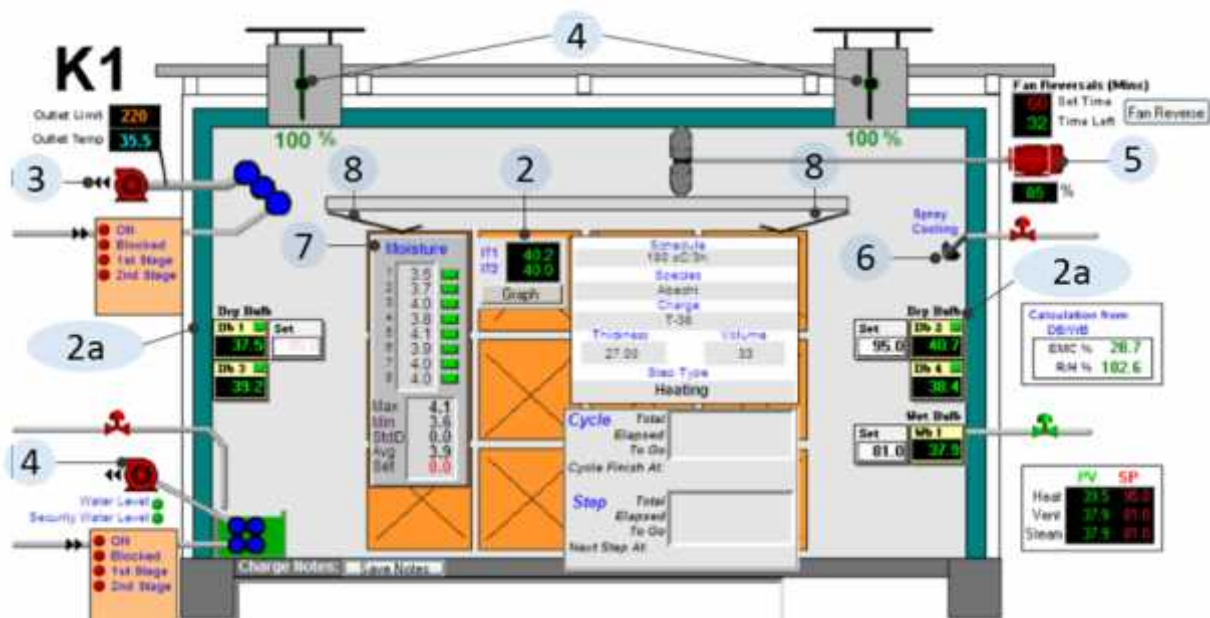
Технички подаци о комори	
Ширина	5 000 mm
Дубина	10 600 mm
Висина	6 000 mm
Капацитет коморе	33 m ³
Топлотна моћ	1 799 120 kJ/h
Број вентилатора	4
Снага електро мотора	11 kW
Број отвора (Ø) за вентилацију	4 (350 mm)
Електрично напајање	
Напон	400 V
Фреквенција	50 Hz
Максимално оптерећење	151 A
Инсталирана електрична снага	52 kW
Снага вентилатора	44 kW
Инсталације за воду	
Притисак воде на улазу (мин.)	3 bar
Потрошња коморе по циклусу	
Гас	800-1200 m ³ *
Електрична енергија	3800 kWh
Вода	4-6 m ³

* зависно од спољне температуре

Управљање комплетним процесом врши се помоћу ПЛЦ-а (PLC - Programm Logistic Controller), којим се сваки задати параметар аутоматски обрађује а затим шаље команду за извршење истог.

Термичко третирање дрвета у комори заснива се на струјању топлог ваздуха преко слојаја дрвета са циљем да се изазове испаравање влаге из дрвета. Мерење температуре и влажности ваздуха обавља се помоћу четири

сува и једног влажног термометра који раде на принципу психрометарске разлике (слика 15, (2, 2a)). Користе се две сонде за мерење температуре дрвета као и осам сонди за мерење влажности дрвета (слика 15, (7)). За загревање коморе користи се гас, који се цевима доводи до гасног горионика (слика 15, (3)) где се врши његово сагоревање а продукти сагоревања се даље спроводе кроз грејаче који се налазе у комори и загревају ваздух у комори. Вентилатори (слика 15, (5)), који се налазе у комори, тако загрејан ваздух погоне и стварају струјање топлог ваздуха кроз сложај. На исти начин се загрева и вода у базену. Вентилатор је задужен и за извлачење сагорелих гасова из система гасног горионика за загревање воде у базену (слика 15, (4)), а специјалан уређај мери и обезбеђује сталан ниво воде у базену.



Слика 15. Графички приказ коморе: 1- клапне, 2 - приказ средњих температура ваздуха, 2a - суви термометри, 3 - горионик за загревање грејних тела, 4 - горионик за загревање воде у базену и формирање паре, 5 - електро-мотор који покреће вентилатор, 6 - прскалице, 7-влажност дрвета, 8 - завеса

Овим процесом настаје водена пара која излази кроз отворе на поклопцу базена, која има више функција: дрвету даје интензивнију боју, штити сложај од samozапалења и служи за хлађење ваздуха током фазе кондиционирања дрвета. Вода се употребљава и за систем за навлаживање где се проток воде регулише помоћу електроventила. Вода мора бити омекшана да би се спречило стварање каменца који се таложи и тако блокира рад дизни на прскалицама (слика 15,

(6)). Поред поменутих функција вода је битна и за правилно функционисање влажног термометра, који показује тачку росе за тренутно стање влажног ваздуха. Јабучица влажног термометра обмотана је памучном тканином која се константно влажи водом. Тиме се постиже да током струјања влажног ваздуха преко јабучице мокрог термометра, он буде у микроклими у којој је релативна влажност 100%. Просечна потрошња воде по третману је од 4 до 6 m³ (табела 9).

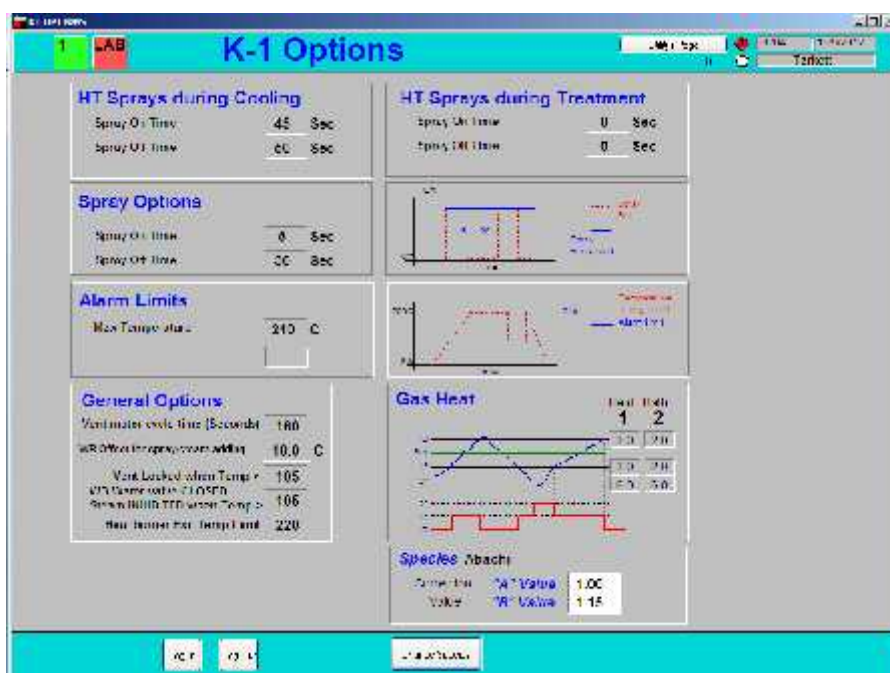
Пре пуњења коморе помоћу вагонета фризу је потребно одговарајуће сложити на палете. Преслагивање палета са фризом која је осушена на 6 % влаге обавља се на посебним палатама за термичко третирање. У односу на сушење користи се друга врста летвица и другачији начин слагања. За термичко третирање се користе профилисане, суве грабове летвице димензија 25 x 35 x 1150 mm, а између две летвице слажу се два реда фриза по висини, слика 16. Профилисане летвице се користе како би се смањила додирна површина између фризе и летвица и омогућило несметано струјање ваздуха кроз слојаје, а тиме спречила појава дисколорације која настаје од летвица.



Слика 16. Поступак слагања фриза за термотретман

Постигнута температура у дрвету се мери сондама које се постављају у две фризе, тако да једна буде из предњег дела сушаре (ближе вратима), а друга на супротној страни, са леве стране гледајући од улаза. Сонде се постављају у бочне стране фризе у које је предходно избушена рупа пречника 5 mm и дубине до 50 mm. Након пуњења коморе вагонетом, спуштају се гумиране завесе преко материјала који се третира како би се циркулација ваздуха усмерила да струји кроз материјал, а не линијом мањег отпора. Пре пуштања

коморе у рад, потребно је у рачунар у подстаници унети информације о материјалу (број шарже, дебљина, ширина и количина материјала који се третира), а у падајућем менију се бира изабрани режим третирања. По одабиру режима активира се тастер за стартовање, а пример вредности задатих параметара током једог од спроведених циклуса термотретирања приказан је на слици 17 .



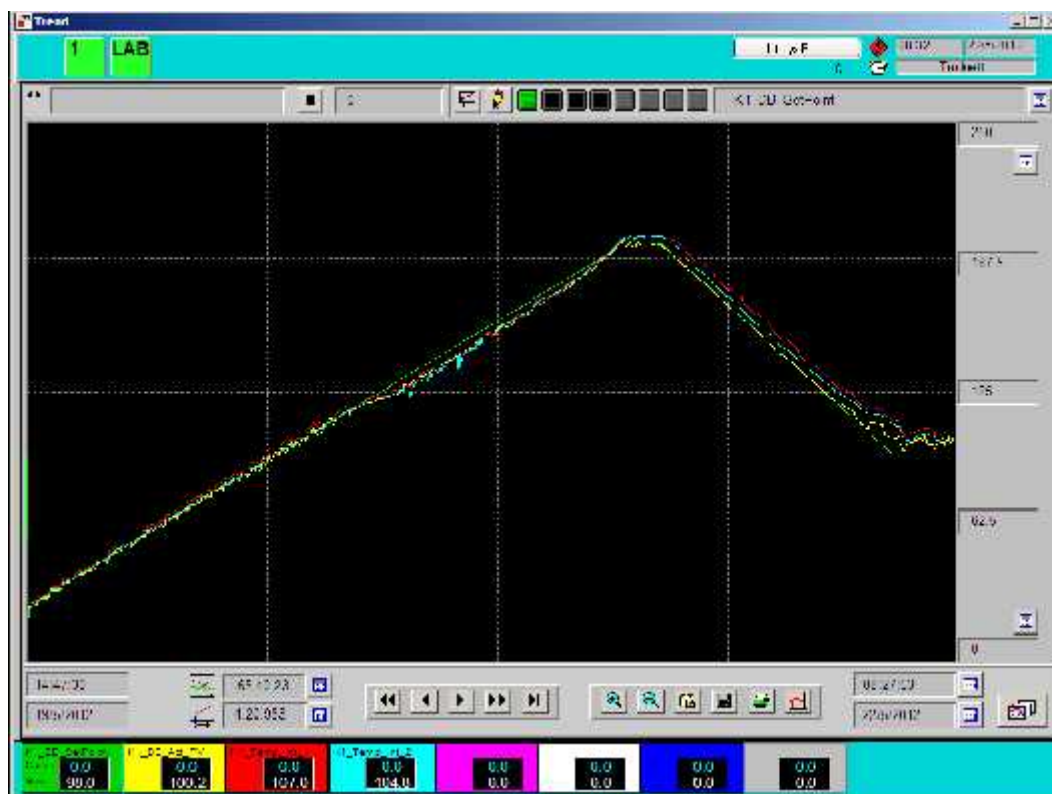
Слика 17. Изглед екрана на контролном рачунару за време циклуса термотретирања

Сваки режим термичког третирања се састоје из 6 фаза:

- предзагревање (до температуре од 95 °С)
- загревање (до температуре централне фазе)
- централна фаза
- предхлађење
- кондиционирање
- хлађење

У испитивању су коришћени режими термотретмана дрвета на температурама 140 °С, 160 °С и 194°С. Време излагања фриза изабраној температури у централној фази било је задато и износило је 3 h, док су фаза загревања и фаза хлађења трајале у зависности од достизања жељених

параметара. Промена температуре у дрвету током целог циклуса термотретирања илустрована је на слици 18.



Слика 18. Промена температуре дрвета током циклуса термотретирања (зелена - задата вредност температуре дрвета, жута - стварна вредност температуре дрвета, црвена и плава - вредности температуре дрвета коју показује сонда 1 и 2)

Прва фаза није временски задата и она траје док се не постигне температура од $95\text{ }^{\circ}\text{C}$. Брзина загревање је $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$, а брзина циркулације ваздуха је подешена бројем окретања вентилатора од 75 % од максималног броја обртаја. Смер струјања ваздуха се мења на сваких сат времена. За загревање коморе у овој фази највише се користи водена пара која се ствара загревањем воде у базену. Трајање прве фазе зависи од почетне температуре у комори. У летњим месецима, када је спољашња температура и преко $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, ова фаза траје око 16 h. Регулација температуре и релативне влажности ваздуха засноване су на мерењу температуре сувог и мокрог термометра, односно психрометарске разлике. У овој фази температура сувог термометра (DB) је $95\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура мокрог термометра (WB) је $81\text{ }^{\circ}\text{C}$, што одговара равнотежној влажности дрвета од 6,2 %.

Друга фаза или ХТ - (НТ - Heat treatment) - је фаза загревања до жељене температуре термичког третмана. Брзина загревања је такође око 4 °C/h и цела фаза траје око 25 h. Брзина циркулације ваздуха је подешена бројем окретања вентилатора од 80 % од максималног броја обртаја, а смер струјања ваздуха се мења на сваких сат времена. Када температура пређе 105 °C, клапне се затварају као и вентил влажног термометра, а загревање се врши само помоћу грејних тела изнад међутаванице. У овој фази није укључена опција парења, али то не значи да у комори водене паре нема. Пара се сама формира јер је температура изнад 100 °C. У овој фази влажни термометар губи своју функцију, његова вредност је 1 и он се понаша као суви термометар.

Трећа фаза је уједно и најбитнија фаза режима, траје 3 сата. У зависности од попуњености коморе, брзина циркулације ваздуха је подешена регулацијом броја окретања вентилатора (у опсегу од 80 до 85 % од максималног броја обртаја). У овом случају смер струјања ваздуха се мења на сваких пола сата због непарног броја сати трајања фазе. И даље је укључена само опција за загревање, а као и у претходној фази, пара се формира на исти начин. Ово је главна фаза у којој се врши термичко модификовање дрвета. Боја дрвета највише зависи од температуре као и од дужине трајања фазе, али у мањој мери.

Четврта фаза је хлађење или термо-хлађење. Фаза траје од температуре термичког третирања па све док се она не спусти испод 105 °C. Ваздух се хлади само водом из прскалица, јер никако не сме ући ваздух споља због могућности запаљења дрвета. Ова фаза траје око 16 сати, а температура се смањује брзином од 6 °C/h. Брзина циркулације ваздуха је подешена регулацијом броја окретања вентилатора од 75 % од максималног броја обртаја а смер струјања ваздуха се такође мења на сваких сат времена.

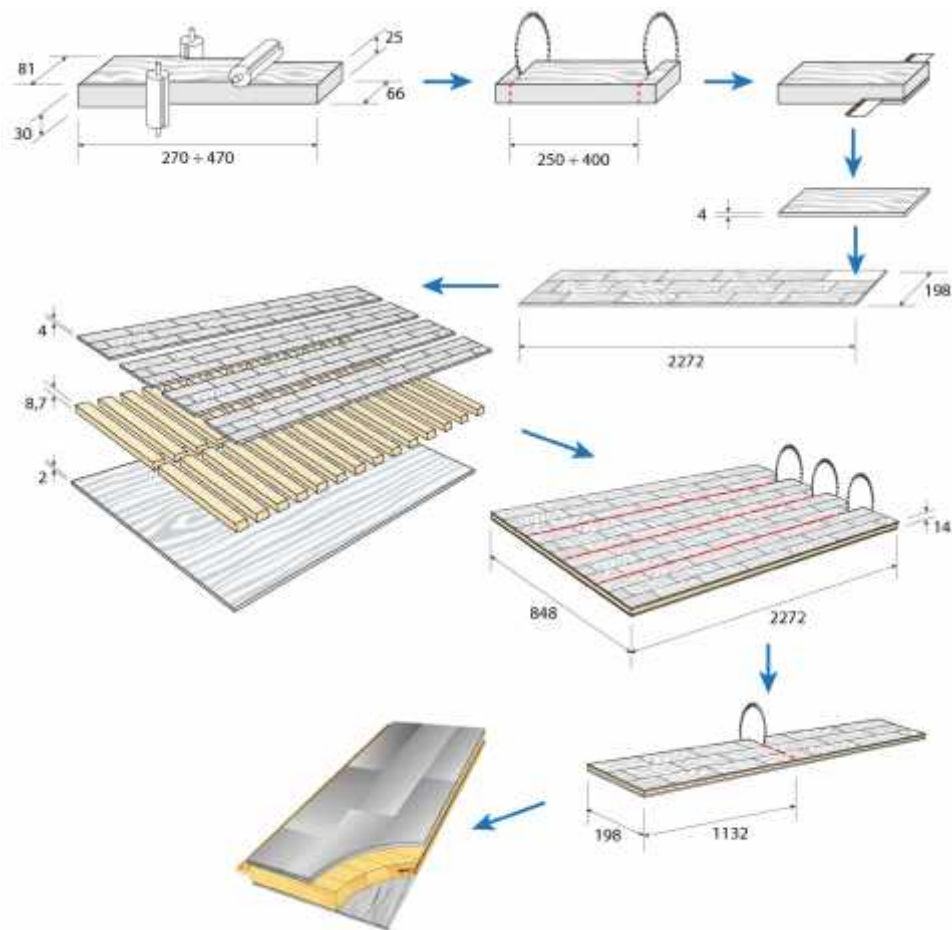
Пета фаза наступа након 96 °C када се врши кондиционирање дрвета које траје око 9 сати. Ова фаза је веома значајна јер током ње се влажност дрвета повећава на око 5 %, смањују се унутрашња напрезања и уједначава се садржај влаге у свим деловима дрвета. Помоћу паре и воде из прскалица достиже се жељена равнотежна влажност и одржавају се задати параметри.

Шеста фаза се наставља након кондиционирања када се одвија класично хлађење коморе (Cooling), које траје један сат, док се температура не спусти до 88 °C и тада се третман зауставља. Следи аутоматско отварање клапни и пуштање ваздуха унутар коморе. Врата се отварају након 8 до 10 часова, а након пола часа комора се празни.

Процес термотретмана одабраних букових фриза трајао је око 4 дана за сваку изабрану температуру (140, 160 и 194 °C). После завршеног третмана фризе су скинуте са палете, развитлане и сложене на слепо на нову палету, која је затим обмотана црном стреч фолијом и адекватно обележена (врста дрвета, температура третирања, број шарже и димензија фризе) а затим транспортована у магацин са контролисаном климом (релативна влажност 30 %, температура 25 °C).

4.3.2 Израда експерименталних узорака (подлоге)

Израда експерименталних узорака обављена је према схеми, као што је приказано на слици 19. Фризе букве нетретиране и термотретиране на температурама 140 °C, 160 °C и 194 °C, су димензионисане на димензије попречног пресека 25 x 66 mm на четвоространој рендисаљки произвођача *Шредер* (Немачка). Димензионисане фризе затим су разрезане гатером за прецизно резање произвођача *Винтерштајгер* (Аустрија) на дебљину од 4 mm. Потом је изабрано по 120 ламела димензија попречног пресека 4 x 66 и дужине 250 - 400 mm, за сваку изабрану температуру као и за нетретирано дрво, што је укупно износило 480 ламела.

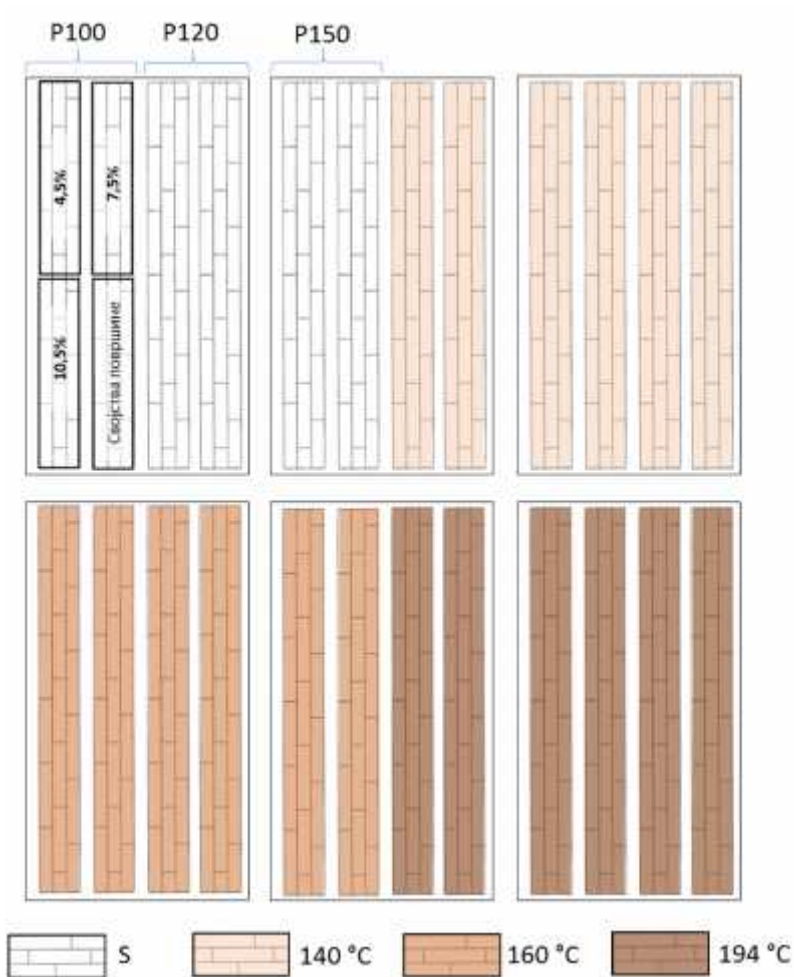


Слика 19. Схема израде експерименталних узорака (подлоге)

У следећој фази ламеле су случајним избором груписане у групе од по 20 комада. На аутоматизованом делу линије произвођача Биркле(Немачка) облепљене су наношењем одговарајућег УФ адхезива у виду траке на равну слубницу. Након наношења адхезива на транспортној фолији формиран је слој од три реда паралелних ламена (дужине 2272 mm), водећи рачуна да чеони спојеви ламела буду смакнути. Овај слој представља горњи слој будуће паркетне даске. Овако формиран слој је испресован у једноетажној преси применом притиска у три правца (чеоно, бочно и управно). При пресовању коришћена је температура од 100 °С и притисака од 15 МПа током 25 s. У даљем технолошком поступку, формира се група од 4 овако испресована слоја на задатом растојању, на које се наноси УФ адхезив, и поставља се (целом површином и преко размака) „тепих“ од чамових летвица чија су влаканца оријентисана управно на њега. Преко овако формираног средњег слоја коначно се поставља облепљен љуштен чамови фурнир и све се пресује у једну

целину на вишетажној симултаној преси пеоизвођача *Биркле* (Немачка). По излазу из пресе, кружним тестерама по линији успостављених размака изведено је подужно разрезавање испресоване плоче на 4 *паркетне даске* димензија 14 x 198 x 2272 mm.

За потребе овог експеримента, на овај начин направљено је по 6 паркетних дасака (слика 20), како за сваку примењену температуру тако и за нетретирано дрво, што је укупно износило 24 даске. Паркетне даске су пре наношење премаза обрुшене изабраним системима (тачка 433), а затим су разрезавањем кружном тестером подељене на два дела једнаке дужине 14 x 198 x 1132 mm. По разрезавању добијени делови су обележени симболима како је показано у табели 10. Такође је са две паралелне црте обележен улазни чеони крај узорка у циљу праћења технолошког процеса.



Слика 20. Схема комбинација узорака за брушење

Табела 10. Начин обележавања узорака

Температура термотретмана [°C]	Удео очвршћивача [%]	Гранулација брусног папира завршног брушења		
		P100	P120	P150
		Ознаке на узорцима		
S*	4,5	S-P100 min	S-P120 min	S-P150 min
	7,5	S-P100 mid	S-P120 mid	S-150 mid
	10,5	S-P100 max	S- P120 max	S-P150 max
140	4,5	140-P100 min	140-P120 min	140-P150 min
	7,5	140-P100 mid	140-P120 mid	140-P150 mid
	10,5	140 -100 max	140-P120 max	140-P150 max
160	4,5	160-P100 min	160-P120 min	160-P150 min
	7,5	160-P100 mid	160-P120 mid	160-P150 mid
	10,5	160-P100 max	160-P120 max	160-P150 max
194	4,5	194-P100 min	194-P120 min	194-P150 min
	7,5	194-P100 mid	194-P120 mid	194-P150 mid
	10,5	194-P100 max	194-P120 max	194-P150 max

*S – нетретирани узорак

Три половине биле су издвојене за нанос УВ акрилног премаза са различитим уделима очвршћивача (4,5 %, 7,5 % и 10,5 %), док је четврта половина од паркетне даске остављена за анализу површине обрушеног дрвета (мерење храпавости, угла квашења и ФТИР анализу).

4.3.3 Припрема површине узорака брушењем

У складу са усвојеним планом експерименталног рада од по 6 паркетних дасака за сваку комбинацију примењене температуре у термотретману обрушене су по 2 паркетне даске сваком од гранулација завршног брушења у комбинацијама приказаним у табели 11.

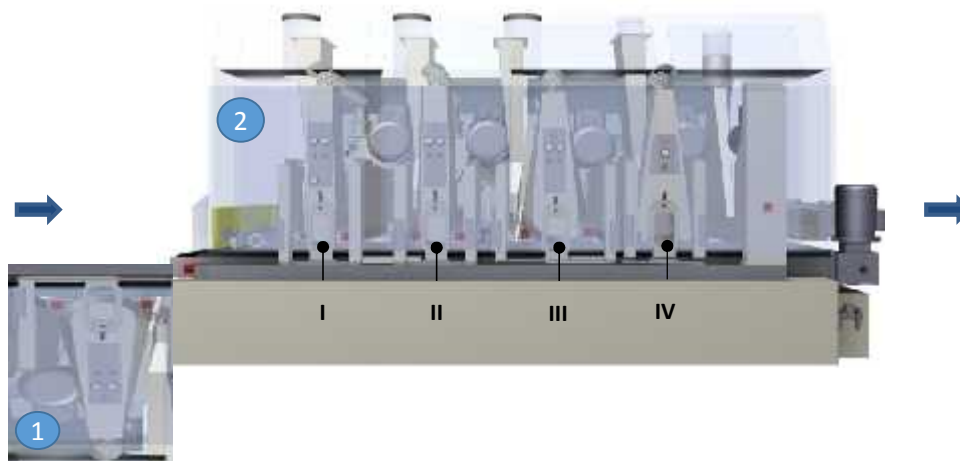
Брушење паркетне даске димензија 14 x 198 x 2272 mm је обављено на две ширкотрачне брусилице модел ЛСМ 8-С (LSM 8-S) произвођача *Хеземан* (Немачка), које су транспортерима спојене у засебну целину. Паркетне даске су прво обрушене са доње стране ширкотрачном брусилицом са притисним

цилиндром правећи базу. За ово брушење је коришћена гранулација брусног папира Р60.

Табела 11. Системи брушења

Систем брушења	Степен брушења			
	Први степен	Други степен	Трећи степен	Четврти степен
I	60	80	100	100
II	60	80	100	120
III	60	80	100	150

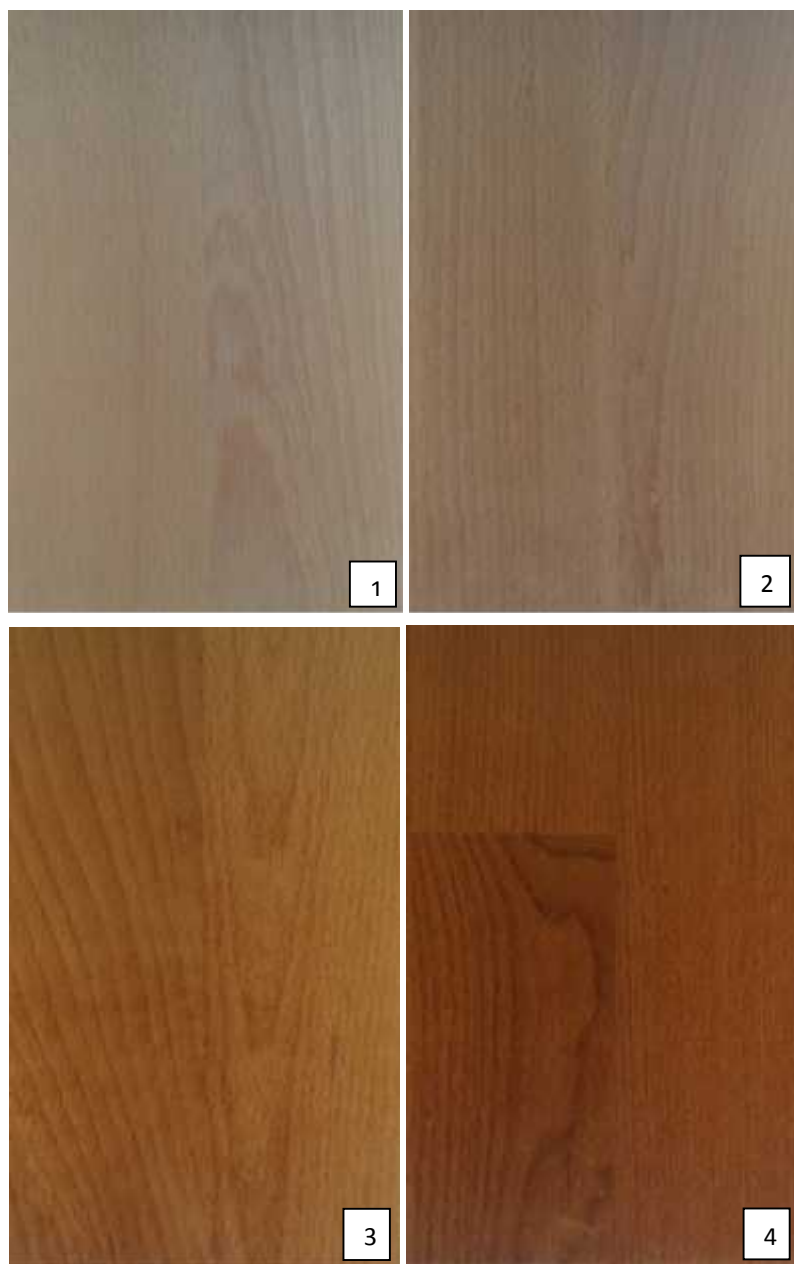
Затим су паркетне даске обрушене са горње стране помоћу друге брусилице (слика 21), која је опремљена са четири агрегата, од којих су прва три агрегата са притисним ваљцима, док је четврти агрегат са притисном гредом. Распоред нумерација брусних трака на прва три агрегата је био следећи: Р60 - Р80 - Р100. Како завршно брушење са притисном гредом има највећи утицај на квалитет обрушене површине, током припреме узорака вршена је промена брусних трака на овом агрегату нумерацијама брусног папира од Р100, Р120 и Р150, према изабраним системима брушења у табели 11.



Слика 21. Широкотрачна брусилица (Хеземан, ЛСМ 8-С): 1 - са доњим положајем контактеног елемента 2 - са горњим положајем контактних елемената

Брзина кретања узорка износила је 16 m/min за све системе брушења. Брзина брушења на првом агрегату износила је 24 m/s, док су остала три агрегата радила са брзином брушења од 20 m/s. Коришћене су брусне траке

спојене на преклоп ЕКА 1000D, произвођача *Екамонт* (Шведска) и 1919 siawood, произвођача *Сиа* (Швајцарска). Након брушења је вршена контрола дебљине узорака. Изглед површине обрушених узорака приказан је на слици 22.



Слика 22. Изглед узорака након брушења: 1-нетретирана буква, 2-термички третирана на 140 °С, 2-термички третирана на 160 °С, 3- термички третирана на 194 °С

4.3.4 Припрема основног УВ акрилног премаза

За испитивања у овом раду, коришћен је основни УВ акрилни премаз типа *Sealer 57583* и очвршћивач произвођача „Акзо Нобел“ који су испоручени као стандардни потрошни материјали у производњи трослојног паркета који користи компанија “Таркет д.о.о.” у Бачкој Паланци за темељни слој.

Непосредно пре наношења овог темељног УВ акрилног премаза, обављено је његово мешање са очвршћивачем у складу са препорученом процедуром произвођача помоћу пнеуматског миксера у канти запремине 20 литара у масеном односу (*attro/attro*) 100 : 4,5. Темељни премази су припремљени од исте полазне масе основног премаза и очвршћивача како би се утицај квалитета различитих шаржи на резултате мерења свео на минимум.

Темељни премаз са 7,5 % очвршћивача је припремљен тако што је у смешу основног премаза са 4,5 % очвршћивача, накнадно додата она количина очвршћивача која одговара учешћу од 7,5 % *attro/attro*. Основни темељни УВ акрилни премаз са 10,5 % *attro/attro* очвршћивача је припремљен тако што је у смешу основног премаза са већ додатим 7,5 % очвршћивача, накнадно додата количина очвршћивача која одговара масеном односу премаза и очвршћивача од 100 : 10,5.

Основни УВ акрилни премаз типа *Filler* који се наноси на темељни слој, и остала три основна премаза типа *Sealer*, као и завршни премаз типа *Topcoat* нису припремани накнадно већ су коришћени у испорученом стању. Сви коришћени УВ акрилни премази припремани су на температури од 25 °С.

4.4 Површинска обрада узорака

4.4.1 Наношење основног премаза

Имајући у виду да је емисија органских једињења (ВОЦ) УВ акрилних премаза веома мала и веома висок ниво ефикасности преноса материјала поступком ваљања који у комбинацији дају веома низак ниво укупне емисије органских растварача из премаза (Булиан и Грејстон, 2009), био је један од разлога што је поступак ваљања изабран за наношење слојева премаза у овом раду.

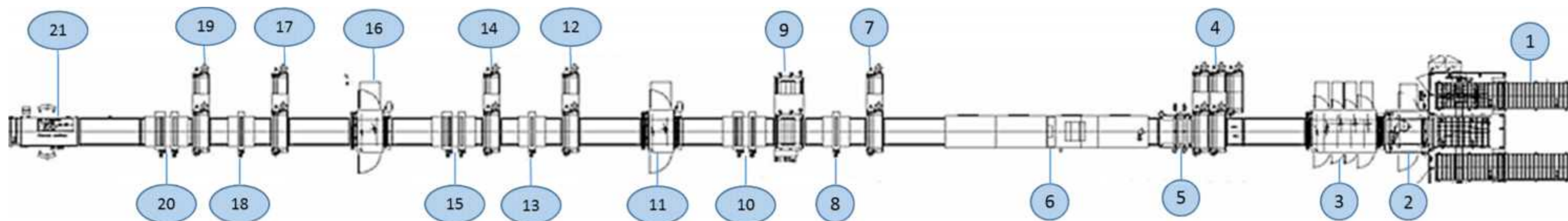
Наношење УВ акрилног премаза методом ваљања на обрешене узорке је урађено на индустријској линији произвођача *Биркле* (Немачка) намењеној за лакирање вишеслојног паркета (слика 23). Линија се састоји од укупно 9 машина за ваљање, од којих су прве 3 (у правцу производње) намењене

бајцовању (слика 23, (4)), док осталих шест служе за наношење премаза УВ акрилног премаза (слика 23, (7), (9), (12), (14), (17) и (19)). Основна конструкција групе за наноше премаза ваљцима и транспортног уређаја машине за ваљање приказана је на слици 24, док је схема поступка наношења ваљањем илустрована на слици 25, а параметри режима наношења премаза су приказани у табели 6.

У тренутку површинске обраде узорака, део линије за бајцовање је био ван функције. Након другог и четвртог слоја премаза, обављено је међуслојно брушење надве широкотрачне бруслице (слика 23, (11), (16)) са притисним гредима, тако да у састав линије улазе још и ове бруслице. Након сваке машине за наношење премаза налазе се одговарајуће УВ лампе за очвршћавање премаза зрачењем.

Непосредно пре наношења премаза, свака пипремљена смеша основног-темељног премаза је мембранском пумпом и цревом доведена до дозирног и наносећег ваљка машине за ваљање, а вишак премаза који се јављао током наношења се враћао цревом у канту са премазом. Помоћу овог система обезбеђена је циркулација премаза током наношења (слика 26).

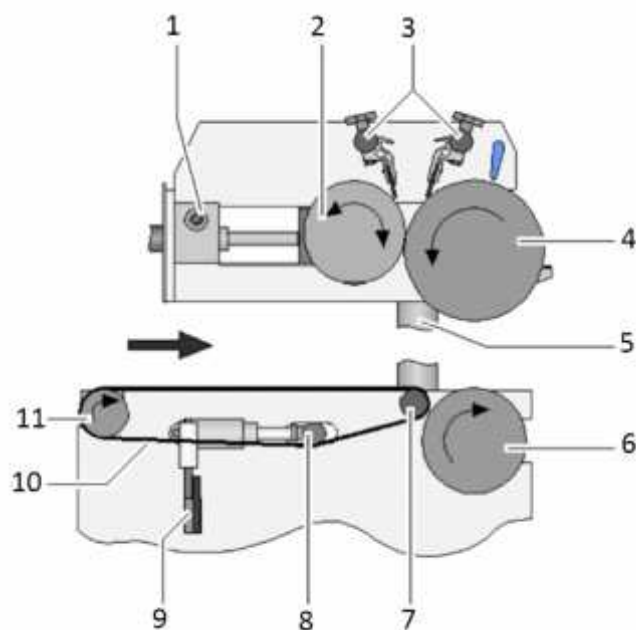
На обрुшене узорке (36 паркетних дасака) као први слој је нанет темељни премаз (*Sealer*) са додатим очвршћивачем у количини од 27 g/m² гуменим ваљком (слика 23, (7)) тврдоће 25 шора (табела 6), који је затим очврснут УВ живином лампом (слика 23, (8)). На овај начин су нанете све комбинације темљног премаза које су предвиђене експерименталним планом. Затим је на темељни слој премаза нанет запуњивач (*Filler*), као други слој, у количини од 20 g/m² поступком за добијање површине са затвореним порима. Након наноса запуњивача, узорци су транспортовани трачним транспортером према УВ јединицама (слика 23, (10)) са 3 лампе, од којих су две живине и једна галијумова у циљу очвршћавања. Потом је површина премаза обрušена брусним папиром гранулације P180 на широкотрачној бруслици са притисном гредом (слика 23, (11)).



ЛЕГЕНДА:

- | | |
|--|--|
| 1. Транспортери за улагање паркетних дасака | 12. Машина за наношење основног премаза ваљањем, SLC 1300 |
| 2. Широкотрачна брусилица за доњи слој - фурнир | 13. UV јединица за очвршћавање, 1x60-120 W/cm |
| 3. Широкотрачна брусилица за горњи слој паркета | 14. Машина за наношење основног премаза ваљањем, SLC 1300 |
| 4. Машине за наношење бајца ваљањем | 15. UV јединица за очвршћавање, 3x60-120 W/cm |
| 5. Четке за растеривање бајца, VBM 1300 | 16. Широкотрачна брусилица за завршно међуслојно брушење премаза |
| 6. Канална конвенционална сушара | 17. Машина за наношење основног премаза ваљањем, SLC 1300 |
| 7. Машина за наношење темељног премаза ваљањем, SLC 1300 | 18. UV јединица за очвршћавање, 1x60-120 W/cm |
| 8. UV јединица за очвршћавање, 1x60-120 W/cm | 19. Машина за наношење завршног премаза ваљањем, SLC 1300 |
| 9. Машина за наношење запуњивача ваљањем, CASC 1300 | 20. UV јединица за очвршћавање, 3x60-120 W/cm |
| 10. UV јединица за очвршћавање, 3x60-120 W/cm | 21. Транспортна трака (за контролу квалитета) |
| 11. Широкотрачна брусилица за међуслојно брушење премаза | |

Слика 23. Линија за лакирање вишеслојног паркета фирме Биркле (Немачка)

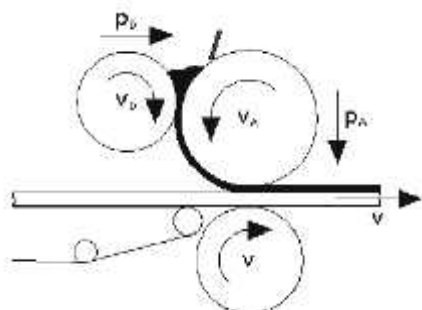


1. Уређај за подешавање дозирног ваљка,
2. Дозирни ваљак,
3. Ножеви чистачи,
4. Наносећи ваљак,
5. Подешавање висине,
6. Транспортни ваљак,
7. Водећи ваљак,
8. Контролни ваљак са цилиндром,
9. Контрола трачног транспортера,
10. Трачни транспортер,
11. Погођен ваљак

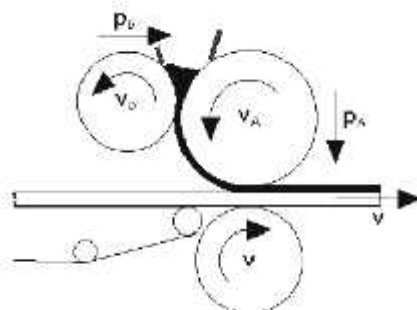
Слика 24. Основна конструкција машине за наносење премаза ваљањем (Биркле, упутство за употребу)

Међуслојно брушење премаза имало је задатак да се постигне боље пријањање следећег слоја премаза, као и да се смањи храпавост, која је настала подизањем дрвних влаканаца након наносења основног премаза и запуњивача.

Истосмерно кретање ваљака



Реверзно кретање ваљака



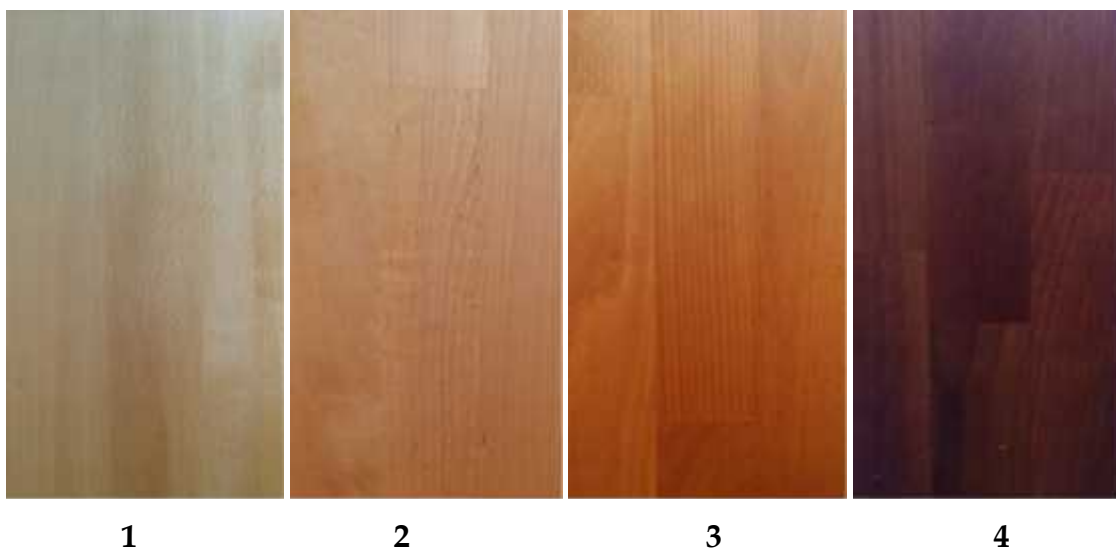
Слика 25. Основни технолошки параметри машине за наносење ваљањем (p_D - притисак дозирног ваљка на наносећи ваљак, p_A - притисак наносећег ваљка на предмет обраде, v - брзина кретања материјала, v_D - брзина дозирног ваљка, v_A - брзина наносећег ваљка)



Слика 26. Изглед лакирне линије и машине за наношење УВ акрилног премаза ваљањем

После првог међуслојног брушења нанети су трећи и четврти слој основног УВ акрилног премаза (*Sealer*) поступком ваљања у количини од 16 и 15 g/m^2 , респективно. Трећи слој премаза је очврснут помоћу једне УВ живине лампе (слика 23, (13)), а четврти слој премаза је очврснут дејством две УВ живине лампе и једне УВ галијумове лампе (слика 23, (15)). Након тога је извршено завршно међуслојно брушење премаза брусним папиром гранулације Р240 на широкотрачној брусилици са притисном гредом (слика 23, (16)), ради отклањања микро неравнина и што бољег налегање последња два слоја премаза.

Потом је, такође поступком ваљања, нанет пети слој (слика 23, (17)) УВ акрилног премаза (*Sealer*) истих карактеристика као и предходна два слоја, и на крају је нанет завршни (*Topcoat*) шести слој премаза (слика 23, (19)), који у себи садржи средство за регулацију сјаја тако да се помоћу њега обезбеђује коначан сјај и изглед површине готовог производа. Сјај је подешен на 30 јединица помоћу средством за регулацију сјаја, као и вертикалним позиционирањем последње УВ лампе на растојање које обезбеђује ову величину сјаја (слика 23, (20)). Изглед узорка након лакирања приказан је на слици 27.



Слика 27. Изглед узорака након лакирања: 1-нетретирана буква, 2-термички третирана на 140 °C, 3-термички третирана на 160 °C, 4- термички третирана на 194 °C

4.5 Методе испитивања

4.5.1 Одређивање својства подлоге

У оквиру карактеризације својстава подлоге узорака пре лакирања обављена су мерења:

- параметра храпавости Ra обрушених узорака, у подужном и у попречном смеру, у односу на правац пружања дрвних влакана за различите системе брушења,
- боје обрушених узорака спектрофотометријски,
- способности квашења методом одређивања контактеног угла,
- хемијског састава површине дрвета инфрацрвеном спектроскопијом са фуријеовом трансформацијом (ФТИР).

4.5.1.1 Одређивање храпавости

Геометријско стање површине обрушених узорака различитим завршним гранулацијама брусног папира, одређено је мерењем параметра храпавости Ra у систему „М“, а у складу са стандардом СРПС ЕН 4288:2009. За мерење је коришћен контактни мерач храпавости TR200, произвођача *Бејжин*

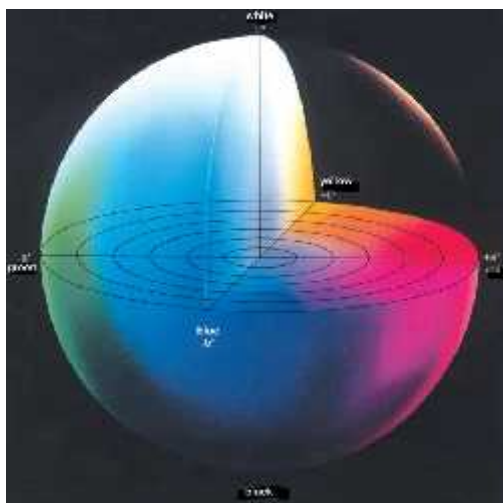
Тајм Хај технологи (Кина). Принцип рада овог контактено механичког мерача је заснован на кретању дијамантске игле пречника $2\ \mu\text{m}$ брзином од $2\ \text{mm/s}$ по испитиваној површини. Механички контакт игле и подлоге остварен је притиском игле од $4\ \text{mN}$. Сва мерења су рађена са референтном дужином од $2,5\ \text{mm}$, док је укупна дужина посматрања износила $12,5\ \text{mm}$. Укупно је урађено по 8 мерења за сваку од укупно 12 комбинација узорака, тако да су по 3 мерења урађена на периферној површини ближе подужној ивици и по 2 мерења у средишњем делу површине узорака. Мерење параметра храпавости Ra вршена су у Лабораторији за површинску обраду Шумарског факултета у Београду (слика 28).



Слика 28. Мерење параметра храпавости Ra на обрušеним узорцима

4.5.1.2 Одређивање боје обрušених узорака

Боја обрušених узорака пре лакирања одређена је помоћу спектрофотометра Spectro-guide произвођача БИК Гарднер (Немачка). Овај уређај ради у CIE Lab систему у коме је боја математички представљена помоћу 3 просторне координате: L , a и b . L представља степен осветљености (од 100 за бело до 0 за црно), a представља положај на скали зелено-црвено, а b положај на скали жуто-плаво (слика 29). Приликом мерења боје коришћена је мерна геометрија $45/0^\circ$, што подразумева да светлост пада на површину узорака под углом од 45° , док се мерење врши под правим углом у односу на површину. Мерење је извршено у складу са стандардом СРПС ИСО 7724 - 2:2012.



Слика 29. Трострумензионални график L , a и b координата боје (Голдшмит и Страјтбергер, 2003)

4.5.1.3 Одређивање контактнoг угла течности

Од квашења подлоге зависе многа својства очврснулог филма премаза, пре свега адхезија. С обзиром да је контактни угао индиректна мера квашења, развијене су различите методе и инструменти за мерење контактнoг угла. Метод мерења контактнoг угла заснива се на спуштању капљице течности са мале удаљености на површину подлоге, а у тренутку када течност додирне површину подлоге (нулти положај) формира се контактни угао између капљице течности и површине подлоге.

За одређивање контактнoг угла коришћен је директан метод спуштања мале капи течности на површину подлоге уз снимање промене облика капи током времена. Капљица запремине $2 \mu\ell$ пуштана је да падне са висине од приближно 5 mm на површину подлоге. Накапавање течности вршено је помоћу шприца Тројстор - 3, произвођача Троге (Немачка), са постављеном иглом за ињекције (димензија $0,45 \times 13 \text{ mm}$) произвођача ТИК д.о.о (Словенија) на доњем крају. Снимање је вршено оптичким микроскопом SZH сочива DF PLAN произвођача Олимпус (Јапан) са увећањем од $1.5\times$ (слика 30).



Слика 30. Изглед апаратуре за снимање контактнoг угла, Биотехнички факултет, Словенија

Контактни угао је одређен за све три формулације основног УВ акрилног премаза (*Siller*) (са 4,5 %, 7,5 % и 10,5 % додатог очвршћивача), као и за дестиловану воду. Мерења су вршена на три места по дужини узорка за сваку температуру термичког третмана (140, 160, 194 °С) и за све системе обраде брушењем (P100, P120, P150). Промене контактнoг угла током времена забележене су видеокамером. Укупно време посматрања износило је 25 s, а контактни угао је мерен на сваких 5 s почев од нултог положаја, тренутка спуштања капљице на површину подлоге. Вредност контактнoг угла је одређена на основу измерених димензија капљица, тј. на основу ширине и висине капљице према једначини:

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{2 \cdot h}{d} [^{\circ}] \quad (5)$$

где је :

θ – контактни угао [$^{\circ}$]

h – висина капљице [mm]

d – ширина капљице [mm].

4.5.1.4 Хемијски састав дрвета

За анализу хемијских промена насталих у дрвету букве након термотретмана коришћен је спектрометар са инфрацрвеном Фуријеовом

трансформацијом, тзв. ФТИР, као веома погодна метода за испитивање промена насталих у дрвету дејством високих температура (Тјердсмаи Милиц, 2005).

Мерења су урађена на ФТИР спектрометру Мишелфан МВ-102 произвођача *Бомем* (Канада), у лабораторији Технолошко - металуршког факултета у Београду, слика 31.



Слика 31. Изглед ФТИР спектрометра, Бомем Мишелфан, лабораторија Технолошко - металуршког факултета у Београду

Термички третирано и нетретирано дрво букве узето је са горњег површинског слоја паркетне плоче и уситњено је у фино дрвно брашно које је помешано са калијум бромидом (*Merck IR spectroscopy grade*) у односу 1:100, а затим је збијено под притиском у полупровидни диск (*Pressure gauge, Shimadzu*) пречника 12 mm. Спектри су снимљени у опсегу таласних дужина од 400 - 4000 cm^{-1} , са резолуцијом 2 cm^{-1} на собној температури.

4.5.2 Одређивање својстава течног премаза

4.5.2.1 Одређивање садржаја суве материје

Садржај суве материје је одређен према стандарду ASTM 5403:1993. Метод коју прописује овај стандард се користи за одређивања удела испарљивих органских једињења премаза који очвршћавају УВ зрачењем. Овом методом се могу одредити две врсте испарења: *процесна* испарења (*processing volatiles*) и *потенцијална* испарења (*potential volatiles*). Процесна испарења представљају губитак масе премаза током процеса очвршћавања, док

потенцијална испарења представљају могући губитак масе током старења премаза или током складиштења у екстремним условима.

Узорци течног УВ акрилног основног премаза су промешани ручно и нанети на алуминијумску фолију димензија 102 x 305 mm којој је предходно измерена маса. Узорак течног премаза је нанет тако да његова дебљина одговара дебљини једног слоја основног премаза током лакирања у индустријским условима. Алуминијуској фолији заједно са течним премазом је поново одређена маса а потом је пропуштена испод УВ лампи за очвршћавање (две живине и једна галијумова), тако да се симулира начин рада лакирне линије. Након очвршћавања узорци су остављени да се охладе на собној температури у трајању од 15 минута, након чега им је поново измерена маса. У циљу одређивања потенцијалних испарења узорци су држани у сушници на температури од 110 ± 5 °C током 60 минута, након чега им је поново измерена маса. Сва мерења масе су обављена са тачношћу од 0,1 mg, како је прописано овим стандардом.

Учешће процесних и потенцијалних испарења као и маса суве материје су израчунате по следећим формулама:

$$\text{Processing Volatiles} = \frac{B-C}{B-A} \times 100 \text{ [\%]} \quad (6)$$

$$\text{Potential Volatiles} = \frac{C-D}{B-A} \times 100 \text{ [\%]} \quad (7)$$

$$m_{sc} = \frac{D-A}{B-A} \times 100 \text{ [\%]} \quad (8)$$

где је :

A – маса алуминијумске фолије [g]

B – маса алуминијумске фолије са течним премазом [g]

C – маса алуминијумске фолије са очврслим премазом [g]

D – маса алуминијумске фолије са очврлим испеченим премазом [g]

m_{sc} – маса суве материје [%]

Укупна испарења представљају збир процесних и потенцијалних испарења, а сува материја представља масу очврслог премаза која остане након излагања премаза УВ зрачењу и температури у сушници.

4.5.2.2 Одређивање густине премаза

За одређивање густине премаза коришћен је пикнометар по Геј-Лисаку запремине 50 ml према стандарду СРПС ЕН ИСО 2811-1:2007 у лабораторијским условима на температури од (23 ± 2) °C и релативној влази ваздуха 50 ± 5 %. Пре сипања основног премаза у пикнометар измерена је маса празног пикнометра са тачношћу од 0,0001 g, на аналитичкој ваги АВ-104 S/PH произвођача *Метлер Толедо* (Швајцарска), слика 32. Пикнометар је затим затворен поклопцем кроз који је изашао вишак премаза који је обрисан крпом а затим је поново измерена маса пуног пикнометра. За сваку формулацију основног премаза урађено је по једно мерење а густина основног премаза је израчуната по формули:

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1)}{V_t} \text{ [g/ml]} \quad (9)$$

где је:

ρ – густина премаза [g/ml]

m_1 – маса празног пикнометра [g]

m_2 – маса напуњеног пикнометра [g]

V_t – запремина пикнометра [ml]



Слика 32. Мерење густине премаза помоћу пикнометра и аналитичке ваге, лабораторија „Таркет, д.о.о „ Бачка Паланка

4.5.2.3 Одређивање вискозитета премаза методом истицања

Одређивање времена истицања основног премаза урађено је по стандарду СРПС ЕН 2431:2007 у посуду за истицање са излазним отвором од 6mm у контролисаним микроклиматским условима на температури (23 ± 2) °C и релативној влажности ваздуха (50 ± 5 %). За сваку формулацију основног премаза извршена су по 3 мерења.

4.5.2.4 Одређивање динамичког вискозитета

Динамички вискозитет измерен је ротационим вискозиметром DV - III Ultra произвођача *Брукфилд* (САД) слика 33, у лабораторији Таркетове ПВЦ фабрике у Бачкој Паланци. За мерење је коришћено вретено типа 4. Како би се постигла највећа прецизност мерења, потребно је да вредност динамичког вискозитета буде у границама 30 - 70 % од максималне вредности динамичког вискозитета за изабрано вретено, па је изабрана брзина ротације осовине од 50 o/min. Све формулације основног премаза су кондициониране на собној температури непосредно пре мерења.



Слика 33. Мерење динамичког вискозитета на ротационом вискозиметру

4.5.2.5 Одређивање рН вредности

рН вредност основног премаза је измерена рН-метром TESTO 206, произвођача *Тесто* (Немачка), слика 34. Пре мерења све комбинације основног премаза са различитим уделима очвршћивача су кондициониране на собној температури. Урађена су по два мерења за сваку комбинацију основног премаза.



Слика 34. Инструмент за одређивање рН вредности основног премаза

4.5.3 Одређивање карактеристика очврснулог премаза

4.5.3.1 Одређивање дебљине сувог филма премаза

Мерење дебљине сувог филма премаза урађено је ултразвучном методом, у складу са стандардом СРПС ЕН ИСО 2808:2011. Ова метода омогућава мерење дебљине сувог филма без деструкције. Коришћен је ултразвучни мерач PosiTector 200 Series произвођача *Дефелско* (САД) који ради на принципу

емисије ултразвучних таласа на лакирану површину, тј. мерењу времена које је потребно да се ултразвучни талас одговарајућом брзином врати до сонде.

Основни делови уређаја су преносно кућиште и каблом повезана сонда која се поставља на површину сувог филма премаза. Инструмент се активира притискањем омотача сонде ка површини премаза што изазива емисију ултразвучних таласа који пролазе кроз филм премаза, одбијају се од подлоге на коју је премаз нанет и враћају у сонду.

Пре сваког мерења извршено је наношење помоћног средства, капљице гела на бази воде и глицерина, како би се попуниле неравнине између површине главе сонде и површине сувог филма премаза. За сваку комбинацију лакираних узорака дебљина сувог филма премаза измерена је на 10 позиција, тако да је укупно урађено 360 мерења.

4.5.3.2 Одређивање адхезије очврснулог премаза

За одређивање јачине адхезије филма премаза на површину подлоге коришћене су две непосредне методе: метод решетке и метод печатника. Метод решетке представља основну квалитативну методу за оцену адхезије, док метод печатника представља квантитативну методу. Ове две методе су комплементарне и треба их користити паралелно у циљу добијања више информација и сазнања о адхезији премаза и самој интеракцији дрвета и премаза (Подгорски и др., 2004).

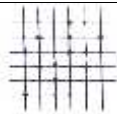


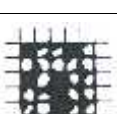
4.5.3.2.1 Одређивање адхезије методом решетке

Адхезија премаза одређена је методом решетке према стандарду СРПС ЕН 2409:2010. Формирање решетке вршено је ручним уређајем који се састоји од дршке и главе са шест сечива, произвођача *БИК - Гарднер* (Немачка). Према стандарду за дебљину филма од 0 до 120 μm сечива се постављају на растојању од 2 mm, док се за дебљине филма изнад 120 μm сечива постављају на растојању од 3 mm. У складу са познатом дебљинама сувог филма УВ акрилног премаза (85 μm) коришћен је уређај са шест сечива дебљине 1 mm, са међусобним растојањем од 2 mm. Након чишћења површине, уређај је постављен са

сечивима управно на површину, под углом од 45° у односу на правац дрвних влакана. Уједначеним притиском, брзином од 20 – 50 mm/s извршено је прво засецање и формирана серија паралелних резова на дужини од око 30 mm. Након првог засецања, извршено је поновно засецање под правим углом у односу на прве резове и на тај начин је формирана решетка. Примењени притисак током засецања је био довољан да резови продру до подлоге, што је утврђено посматрањем под лупом.

Након формирања решетке, меком четком у правцу резова извршено је уклањање нечистоћа са оштећеног филма. Након тога, лепљива трака ширине 25 mm, постављена је преко формиране решетке, уз утрљавање помоћу прста. Прва два намотаја траке су пре мерења одбачена. Након 5 минута трака је уклоњена са површине повлачењем уједначеним покретом у правцу супротном од правца лепљења под углом од 60° у односу на површину. Посматрање резова решетке вршено је лупом са увећањем 3 пута. Оцена адхезије дата је бројевима од 0 (потпуно глатке ивице резова, без оштећења површине) до 5 (оштећење површине је веће од 65 %), према критеријумима из табеле 12. Укупно је урађено по 10 решетки за сваку од укупно 36 комбинације узорака, тј. 360 решетки.

Табела 12. Критеријум за оцењивање адхезије методом решетке (СРПС ЕН 2409:2010)

Оцена	Опис изгледа решетке	
0	Ивице резова су потпуно глатке, ниједан квадрат решетке није одвојен	-
1	Одвојен мали део премаза на местима укрштања резова. Оштећена површина није од већа од 5%	
2	Одвајање је настало уздуж резова и/или на местима укрштања. Оштећена површина је већа од 5% а мања од 15%	
3	Премаз се одваја дуж резова делимично или потпуно у облику трака и/или се одваја на различитим квадратима. Оштећена површина је већа од 15% мања од 35%	
4	Премаз се одваја дуж резова у облику трака и/или неки квадрати су одлепљени делимично или потпуно. Оштећена површина је већа од 35% а мања од 65%	
5	Оштећење је веће од 65%	

4.5.3.2.2 Одређивање адхезије методом печатника

За одређивање адхезије премаза методом печатника коришћен је инструмент РАThandy™ произвођача *Диелди Инструментс* (Велика Британија) са ручном хидрауличном пумпом, у складу са стандардом СРПС ЕН 4624:2005 (слика 35). Коришћени су печатници равне површине пречника 20 mm. Пре мерења извршено је чишћење печатника брусним папиром гранулације Р120 од заосталих нечистоћа, како би се обезбедило одговарајуће пријањање. На очишћене печатнике нанет је акрилни лепак трговачког назива „Loctite 406“ произвођача *Хенкел* (Немачка). Претходним испитивањима је утврђено да изабрани лепак не изазива видљиве промене на површини премаза и да је јачина кохезионих сила у лепку и адхезионих веза између лепка и премаза знатно већа од адхезије између премаза и подлоге као и кохезионих веза у самом дрвету. Печатници са слојем лепка су постављени на површину узорака уз благи притисак управно на површину како би се вишак лепка истиснуо. Печатници су остављени у условима собне климе током 2 часа, у циљу очвршћавања лепка. Након очвршћавања, извршено је засецање око печатника помоћу алата за ручно засецање премаза до подлоге и уклањање одвојених делова премаза. Затим је печатник постављен у главу уређаја уз стезање, навлачењем притисног прстена надолу. Када су све 4 стопице прстена налегле на лакирану површину, мерења су започета. Након отварања вентила пумпе, извршено је континуирано повећање силе до момента кидања, равномерним окретањем ручице хидрауличне пумпе. Брзина повећања напона на истезање је била испод 1 МПа/s. Након кидања вршено је посматрање површине лома, уз оцењивање процентуалног учешћа кохезивног лома. Приликом одређивања адхезије методом печатника урађено је укупно 360 мерења, по 10 мерења за сваку од 36 комбинација.



Слика 35. Инструмент за одређивање адхезије методом печатника (*Диефди инструментс*)

4.6 Статистичка обрада резултата

Сви добијени резултати испитивања карактеристика током овог истраживања су статистички обрађени. Статистичка обрада резултата заснована је на употреби основних показатеља описне статистике и то: средње вредности, минималних и максималних вредности, стандардне девијације и коефицијента варијације и детерминације. Креирање графика и одређивање основних статистичких показатеља урађено је у компјутерском програму Мајкрософт Ексел 2013. Како би се утврдило да ли између добијених резултата постоји статистички значајна разлика коришћена је анализа варијансе применом једносмерне АНОВЕ. Анализа варијансе вршена је у програму Даниелс иксел тулбокс 6.60.

Спровођења АНОВЕ подразумева једнакост варијанси чија процена је урађена на основу вредности Лавинс теста. Уколико је наведени тест показао статистичку значајност ($p > 0,05$) усвајана је претпоставка о једнакости варијанси посматраних скупова. За пост-хок анализу коришћен је Бонферони-Холм тест.

5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И АНАЛИЗА

5.1 Карактеристике УВ акрилног премаза

5.1.1 Садржај суве материје

Акрилни премази који очвршћавају УВ зрачењем важе за премазе са веома високим уделом суве материје. У табели 13 су приказани удели суве материје за основни УВ акрилни премаз и за различите формулације основног УВ акрилног премаза у зависности од удела очвршћивача, добијене на основу 3 мерења за сваку формулацију премаза. Добијене вредности потврђују висок садржај сувих материја у овом типу премаза и може се закључити да се садржај суве материје незнатно повећава са повећањем удела очвршћивача.

Како су удели очвршћивача ипак знатно мањи од удела основног премаза ово повећање није значајно и не може се очекивати да има утицај на промену својства основног премаза.

Табела 13. Садржај суве материје основног премаза за различите уделе очвршћивача

Удео очвршћивача у основном премазу [%]	Садржај суве материје [%]
0	98,22
4,5	98,75
7,5	98,78
10,5	98,89

5.1.2 Густина премаза

У табели 14 је приказана вредност густине основног УВ акрилног премаза без додатог очвршћивача и са различитим уделима очвршћивача. Како је очвршћивач незнатно веће густине од основног премаза, са повећањем удела очвршћивача дошло је и до минималног повећања густине основног премаза.

Табела 14. Густина основног премаза за различите уделе очвршћивача

Удео очвршћивача у основном премазу [%]	Густина [g/cm ³]
0	1,1297
4,5	1,1301
7,5	1,1304
10,5	1,1307

5.1.3 Вискозитет премаза методом истицања

У табели 15 је приказано време истицања основног УВ акрилног премаза без и са различитим уделима додатог очвршћивача из посуде са пречником дизне 6 mm. Вредности времена истицања за основни премаз без очвршћивача и за исти премаз у кога је умешан удео од 4,5 % очвршћивача су на сличном нивоу и износе око 124 секунде. Значајније повећање времена истицања забележено је при додатку удела очвршћивача од 7,5 %, и то за око 9 % у односу на предходно измерена времена. У случају основног премаза са уделом очвршћивача од 10,5 % такође је забележено повећање времена истицања али знатно мање, од свега 2 % у односу на добијено време истицања основног премаза са уделом очвршћивача од 7,5 %.

Табела 15. Време истицања основног УВ акрилног премаза за различите уделе очвршћивача

Удео очвршћивача у основном премазу [%]	Време истицања [s]
0	123,66
4,5	124,00
7,5	135,00
10,5	138,00

5.1.4 Динамички вискозитет

Вредност динамичког вискозитета основног УВ акрилног премаза без додатог очвршћивача и са различитим уделима очвршћивача је приказана у табели 16. Додавањем очвршћивача у основни премаз вискозитет се повећава

повећањем његовог удела, осим што је за удео очвршћивача од 10,5 % примећено незнатно смањење вискозитета од 10 cP у односу на удео очвршћивача од 7,5 %. Додатком очвршћивача од 4,5 % вискозитет се повећава за око 230 центипоаза у односу на вискозитет основног премаза. У случају основног премаза са уделом очвршћивача од 7,5 % забележено је повећање вискозитета за око 60 cP у односу на основни премаз са додатком очвршћивача од 4,5%.

Разлог за нешто нижу вредност динамичког вискозитета за основни премаз са уделом додатог очвршћивача од 10,5 % у односу на удео очвршћивача од 7,5 % може се приписати већем присуству малих мехурића ваздуха који су настајали додатком већег удела очвршћивача.

Табела 16. Динамички вискозитет основног УВ акрилног премаза за различите уделе очвршћивача

Удео очвршћивача у основном премазу [%]	Тип вретена	Брзина окретања [°/min]	Вискозитет [cP*]
0	4	50	1268
4,5	4	50	1436
7,5	4	50	1492
10,5	4	50	1482

*један центипоаз (cP) представља један милипаскал секунд (mPa ·s) у SI систему

5.1.5 рН вредност

У табели 17 су приказане рН вредности основног УВ акрилног премаза без очвршћивача и са различитим уделима додатог очвршћивача. Повећањем удела очвршћивача рН вредност равномерно опада, за око 0,24 јединице.

Табела 17. рН вредност основног УВ акрилног премаза за различите уделе очвршћивача

Удео очвршћивача у основном премазу [%]	рН вредност
0	7,9 – 8,15
4,5	7,82 – 7,85
7,5	7,56 – 7,59
10,5	7,34 – 7,36

рН вредност може имати велики утицај на вискозитет премаза као и на његову стабилност (Ван де Марк, 2003).

5.2 Карактеристике дрвета

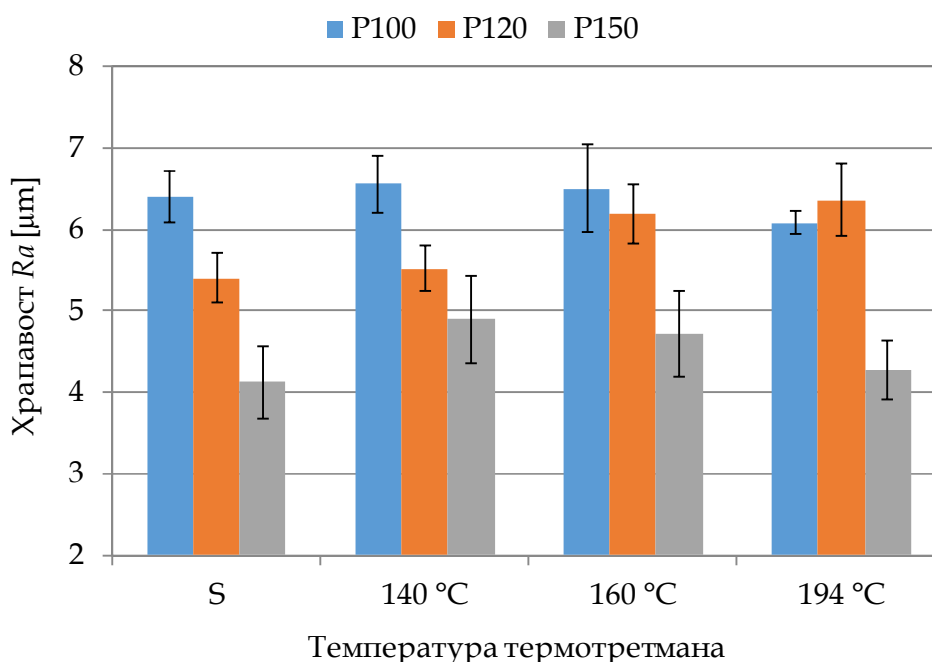
5.2.1 Храпавост површине дрвета

На сликама 36 - 39 су приказане просечне вредности храпавости Ra измерене у подужном и попречном правцу у односу на правац дрвних влаканаца површине подлоге од дрвета букве нетретирание и термотретирание на температурама 140 °С, 160 °С и 194 °С након брушња системима (P60 - P80 - P100 - n) са различитим завршним нумерацијама брусног папира (P100, P120 и P150). Сва појединачна мерења храпавости Ra у оба правца укључујући и статистичку обраду за све комбинације приказана су у прилогу (тачка 9.1, табела 1), а примери графика храпавости управно и паралелно на дрвна влаканца приказани су у прилогу (тачка 9.3, слика 1).

- Храпавост Ra управно на дрвна влаканца (Ra_{\perp})

Поређењем храпавости Ra управно на дрвна влаканца приказаних на слици 36 може се уочити да храпавост опада при порасту нумерације брусног папира током завршног брушења, и код контролног узорка и код свих термотретираних узорака, што је и очекивано. Једини изузетак се појављује код термотретираних узорака на температури од 194 °С, обрушених завршном нумерацијом P120 где је храпавост Ra незнатно већа у односу на завршно брушење брусним папиром гранулације P100. Ова разлика храпавости није

статистички значајна као и код термотретираних узорака на температури од 160 °C завршно обрušених брусним папиром нумерације P100 и P120. Међутим, анализа варијансе са једним фактором у осталим случајевима показала је да постоји значајна разлика (за ниво значајности $\alpha=0,05$) између храпавости Ra подлоге када се припрема подлоге обавља различитим нумерацијама брусног папира. Вишеструком компарацијом применом Tukey и Bonferroni-Holm Posthoc теста утврђено је да постоји значајна разлика храпавости Ra између сва три система брушења за све температуре термотретмана и за нетретираних узорак. Добијени резултати се поклапају са резултатима других аутора (Џинчић, 2005; де Моура и Ернандез, 2006; Кул и Ернандез, 2011; Јајић и др., 2014) који су такође у својим истраживањима потврдили да се храпавост измерена управно на дрвна влаканца смањује са повећањем нумерације брусног папира завршног брушења.

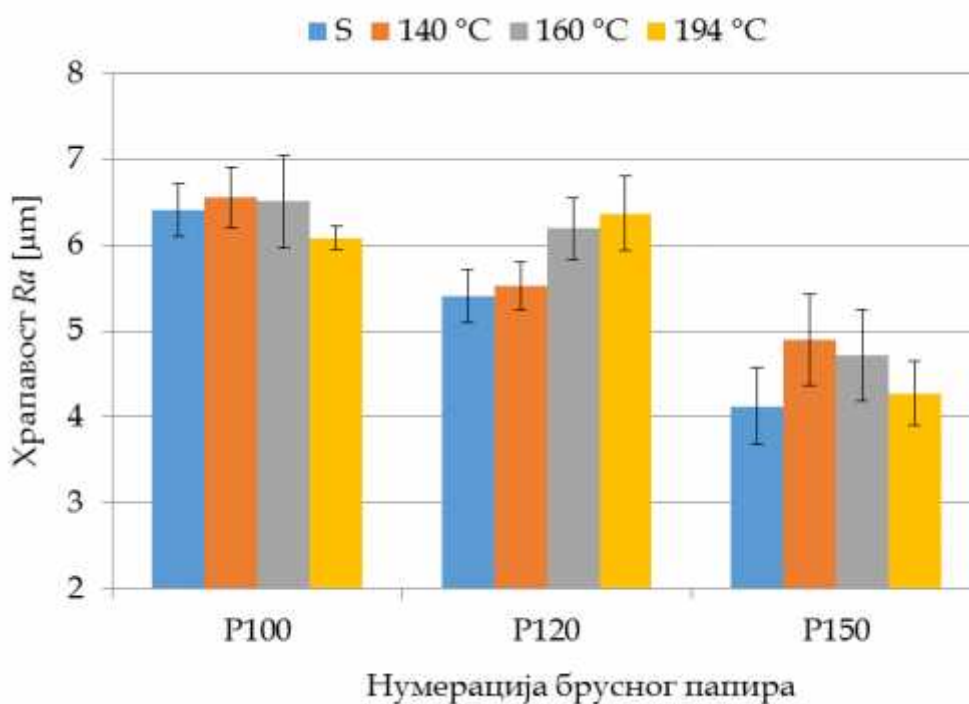


Слика 36. Храпавост Ra обрušених узорак дрвета букве управно на правац дрвних влаканаца у зависности од температуре термотретмана

Након завршног брушења брусним папиром нумерације P100, контролни узорак и термотретирани узорци на температури 140 °C и 160 °C показују сличне вредности храпавости Ra управно на правац дрвних влакана на нивоу од око 6,500 µm, док термотретман узорак на температури 194 °C даје

храпавост у просеку од 6,083 μm (слика 37), која је статистичка значајно мања од вредности храпавости R_a за термотретирание узорке на температури 140 °C.

На слици 37 и слици 38 код узорака завршно обрушених папиром нумерације P120 уочава се да храпавост R_a управно на дрвна влаканца расте са порастом температуре термотретмана, без изузетка. Најмања храпавост од просечно 5,401 μm запажена је код нетретираних узорака, док су узорци термотретирани на температури од 194 °C показали највећу храпавост која је износила 6,366 μm . Повећање храпавости за приближно 14,7 - 17,8 % након термотретмана на температури од 160 °C и 194 °C у односу на нетретирание узорке је статистички значајно, као и услучају узорака који су третирани на температури од 140 °C и 194 °C. У свим осталим случајевима разлика у храпавости узорака подлоге након завршног брушења нумерацијом папира P120 није статистички значајна.



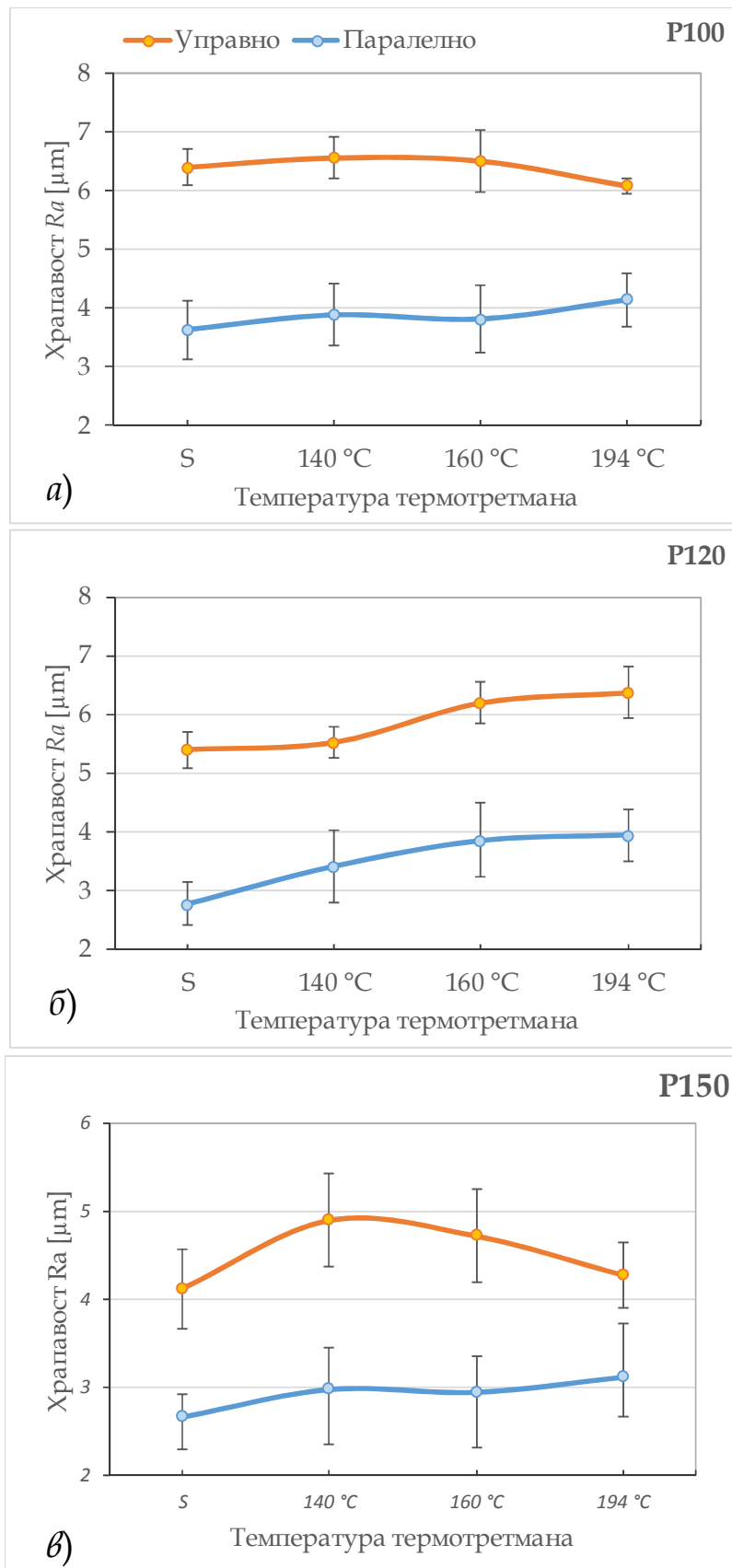
Слика 37. Храпавост R_a обрушених узорака дрвета букве управно на правац дрвних влаканаца у зависности од завршног брушења

Уочени тренд пораста вредности храпавости за ово завршно брушење може бити последица дејства термотретмана на дрвно ткиво, које деградира у условима високе температуре услед чега постаје кртије. Услед тога долази до

веће појаве ломљења и кидања ћелијских зидова дрвених влаканаца на површини подлоге, што доприноси повећању храпавости која је израженија при вишим температурама термотретмана. До истих закључака се дошло и у истраживању утицаја термотретмана на храпавост дрвета еукалиптуса (*Eucalyptus grandis*) након брушења (де Моура и др., 2011; де Моура и др., 2014)

Применом система брушења са завршном нумерацијом брусног папира P150 добијене су најмање вредности храпавости R_a управно на дрвна влаканца за све температуре термотретмана, као и за нетретирани узорак на коме је храпавост била најнижа и износила је 4,124 μm . Просечна храпавост R_a термотретираниог узорка на температури 194 °C износила је 4,275 μm , док су нешто више вредности храпавости добијене на температурама 160 °C и 140 °C и то 4,717 μm и 4,895 μm респективно, слика 38.

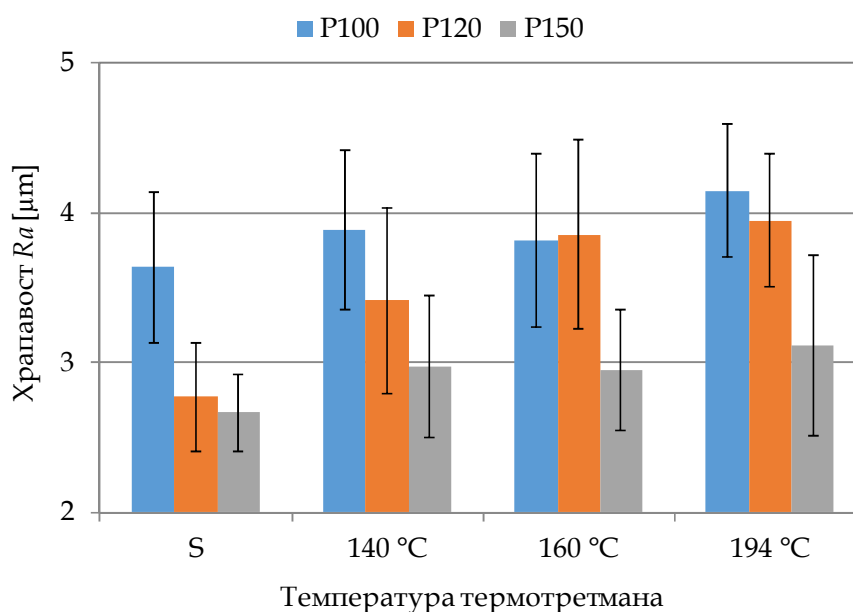
Статистичка анализа је потврдила да између резултата храпавости R_a управно на дрвна влаканца узорака нетретираних и термотретираних на температури 140 °C постоји статистички значајна разлика, док у свим осталим поређењима то није случај. Ове занемарљиве разлике у храпавости R_a између узорака термотретираних на свим температурама вероватно могу бити последица односа величине брусног зрна и структурне порозности површине дрвета. Наиме, величина брусног зрана у папиру нумерације P150 није довољно велика како би у контакт са дрвном површином изазвала значајнију појаву кидања и ломљења већ ослабљених дрвених влаканаца под утицајем термотретмана.



Слика 38. Храпавост Ra обрушених узорака дрвета букве управно и паралелно на правац дрвних влаканаца у зависности од нумерације завршног брушења: а) завршно брушење папиром P100; б) завршно брушење папиром P120; в) завршно брушење папиром P150

- Храпавост Ra у правцу дрвних влаканаца ($Ra_{||}$)

Анализом храпавости Ra у правцу дрвних влаканаца може се закључити да просечна храпавост Ra код свих узорака опада применом финије нумерације брусног папира у операцији завршног степена брушења. Једини изузетак представља просечна вредност за узорке термотретирание на температури 160 °C, код којих се храпавост незнатно повећава употребом завршне нумерације P120 у односу на постигнуту храпавост са завршном нумерацијом P100 (слика 39).



Слика 39. Храпавост Ra у правцу дрвних влаканаца у зависности од температуре термотретмана

Као и у случају храпавости Ra управно на дрвна влаканца, и храпавост Ra у правцу дрвних влаканаца при завршном брушењу брусним папиром нумерације P120 се повећава повећањем температуре термотретмана. За температуру од 194 °C постигнута је храпавост од 3,949 µm док је за контролни, термички нетретирани узорак просечна храпавост Ra у правцу дрвних влаканаца била 2,773 µm. Статистичка анализа помоћу једносмерне ANOVA и Bonferroni-Holm Posthoc теста, потврдила је да постоји статистички значајна разлика између храпавости Ra контролног узорка и узорака термотретираних

на температурама од 160 °C и 194 °C за завршну гранулацију P120. Просечне вредности храпавости Ra за температуре термотретмана 140 °C и 160 °C износиле су 3,415 μm и 3,853 μm , респективно.

Највећа разлика у просечној вредности храпавости Ra паралелно са дрвним влаканцима код завршног брушења брусним папиром нумерације P100 добијена је између нетретираног узорка и термотретираног на највишој температури. За контролни узорак просечна храпавост Ra је износила 3,637 μm , док је за узорке термотретмана на температури од 194 °C била 4,145 μm . При овој завршној гранулацији брушења за температуре термотретмана од 140 °C и 160 °C храпавост Ra је износила 3,850 μm . Уочене раазлике у храповости Ra након завршног брушења брусним папиром нумерације P100 за узорке термотретиране на различитим температурама нису статистички значајне.

Применом завршног брушења брусним папиром нумерације P150 добијене су најмање просечне вредности храпавости Ra у правцу дрвних влаканаца, што је и очекивано. Просечна вредност за контролни узорак износила је 2,665 μm , код узорака термотретираних на температурама 140 °C и 160 °C била је око 2,950 μm док је храпавост Ra за термотретиране узорке на температури од 194 °C била највећа и износила је 3,116 μm . И у овом случају, разлика у храповости Ra није статистички значајна.

Поређењем просечне храпавости Ra , може се закључити да је храпавост управно на дрвна влаканца за 1,55 до 1,95 пута већа у односу на храпавост у правцу дрвних влаканаца за термички нетретиране узорке (табела 18). Највећа разлика између поменутих храпавости код нетретираних узорака уочена је при завршном брушењу брусним папиром нумерације P120. При завршном брушењу нумерацијом P120, дошло је до изједначавања овог односа за све примењене температуре термотретмана, и то на вредност од око 1,6. Најниже вредности односа храпавости Ra управно у односу на правац дрвних влаканаца добијена је за термотретиране узорке на температури 194 °C, за сва три система брушења. За узорке који су термотретирани на температури 140 °C и 160 °C добијене су вредности на сличном нивоу, тако да је храпавост управно на дрвна

влаканца за 1,60 до 1,70 пута већа у односу на храпавост у правцу дрвних валаканаца за све системе брушења.

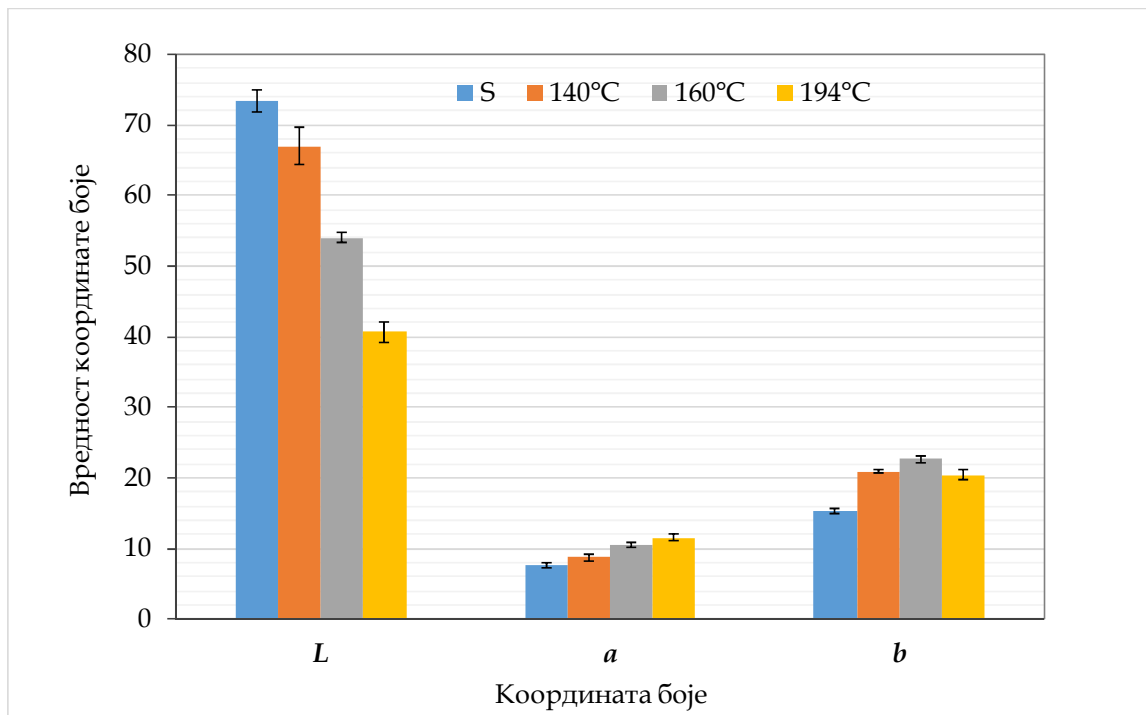
Табела 18. Однос храпавости Ra управно (Ra^\perp) и паралелно (Ra^\parallel) са правцем дрвних влаканаца

Нумерација завршног брушења	$Ra^\perp : Ra^\parallel$			
	Температура термотретмана [°C]			
	S	140	160	194
P100	1,76	1,69	1,70	1,47
P120	1,95	1,62	1,61	1,61
P150	1,55	1,64	1,60	1,37

На основу изнете анализе резултата храпавости у овом раду може се закључити да утицај температуре термотретмана на храпавост управно на дрвна влаканца није равномеран јер зависи од изабраног завршног брушења. Само у случају завршног брушења нумерацијом брусног папира P120 уочен је пораст храпавости са порастом температуре термотретмана од 140 °C до 194 °C. Међутим, храпавост паралелно са дрвним влаканцима има тренд благог пораста са повећањем температуре термотретмана, али ова храпавост је од мањег значаја за индустријску примену.

5.2.2 Боја обрушених узорака

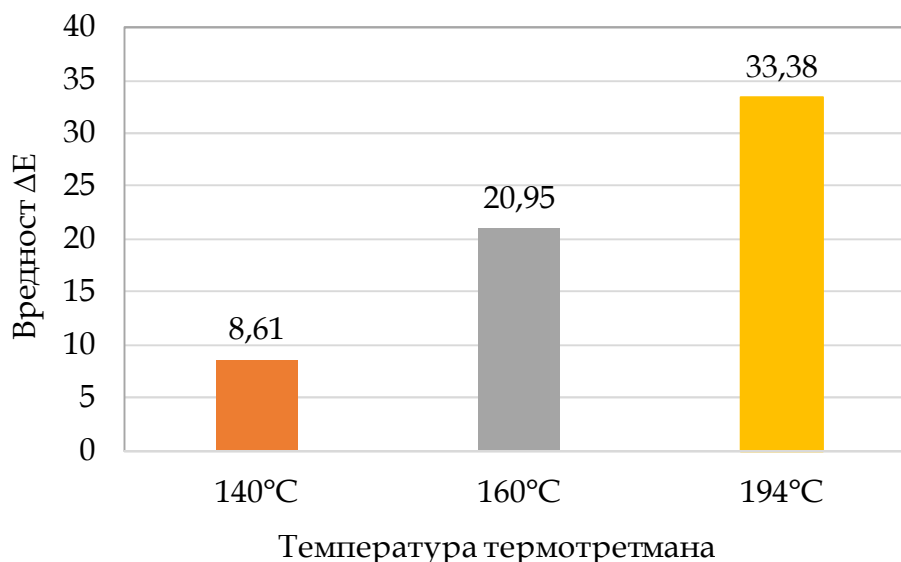
На слици 40 приказана је просечна вредност измерених координата боје L , a и b на узорцима након брушења завршном нумерацијом P120 за различите температуре централне фазе термотретмана, а сва појединачна мерења укључујући и статистичку анализу дата су у прилогу (тачка 9.2, табела2). На слици 40, може се јасно видети да просечна вредност L координате боје опада, док просечна вредност a координате расте са повећањем температуре термотретмана од 140 °C до 195 °C. Статистичком анализом применом једносмерне АНОВЕ и Бонферони-холм пост хок теста, потврђено је да постоји статистички значајна разлика вредности L и a координате боје између свих температура термотретмана и нетретираних узорака.



Слика 40. Вредност L , a и b координата боје након завршног брушења брусним папиром P120, за све температуре термотретмана

По истој анализи вредности b координате боје показују статистички значајну разлику између појединих температура термотретмана, осим између температура 140 °C и 194 °C. Просечна вредност b координате боје бележи повећање почев од термички нетретаног узорка до температуре од 160 °C а затим њена вредност опада (слика 40).

Резултати укупне промене боје изражене преко коефицијента ΔE термотретраних узорака у односу на нетретане је приказана на слици 41. Може се јасно уочити да промена боје дрвета букве расте са порастом температуре термотретмана, као што је и очекивано, будући да током термотретмана дрво услед деградације добија тамнију нијансу. Добијене промене боје за термотретмане узорке букве су у складу са резултатима које је Тодоровић (2012) са својим сарадницима добио у истраживањима за исту дрвну врсту.

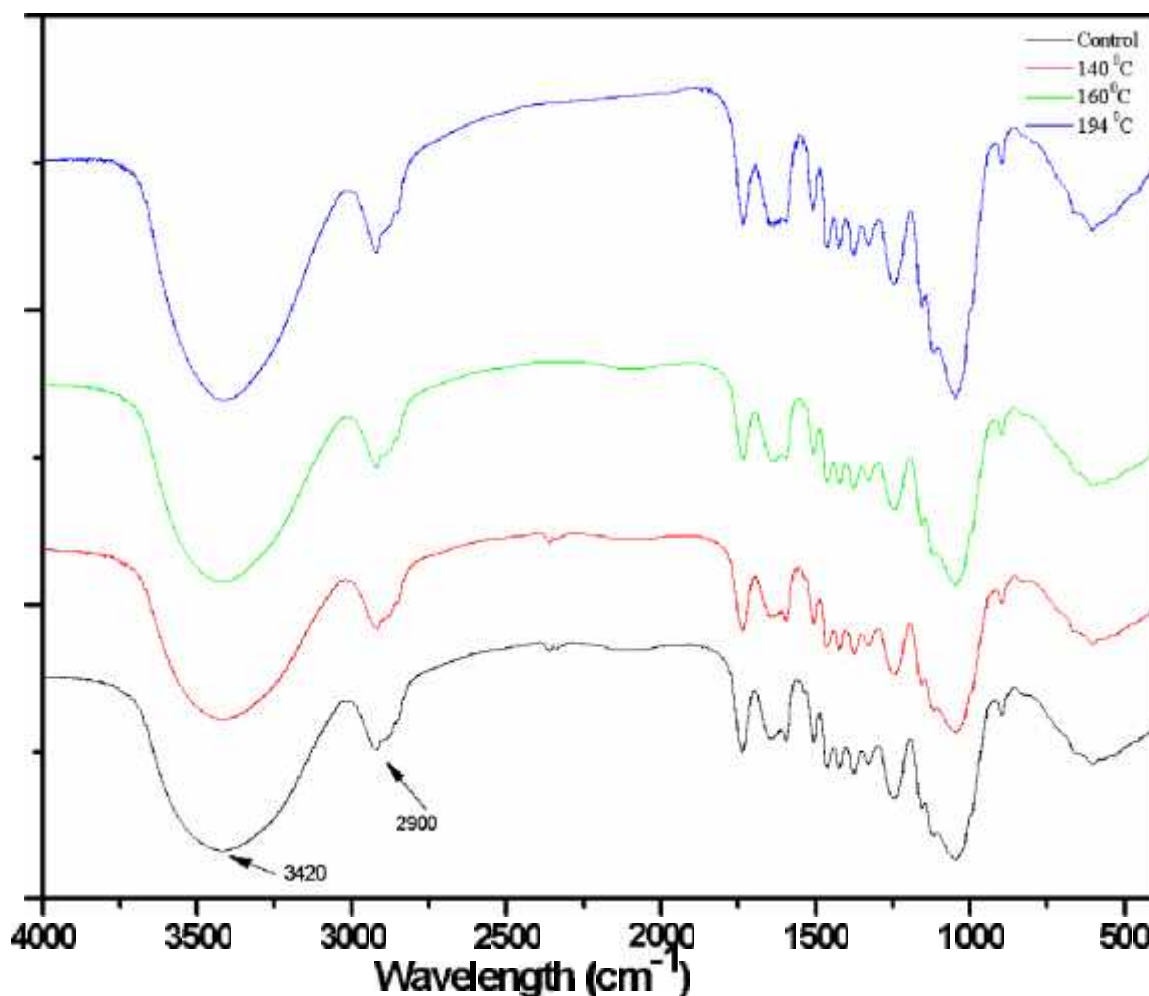


Слика 41. Укупна промена боје изражена коефицијентом ΔE термотретираних узорака у односу на нетретирание узорке

5.2.3 Хемијске промене дрвета

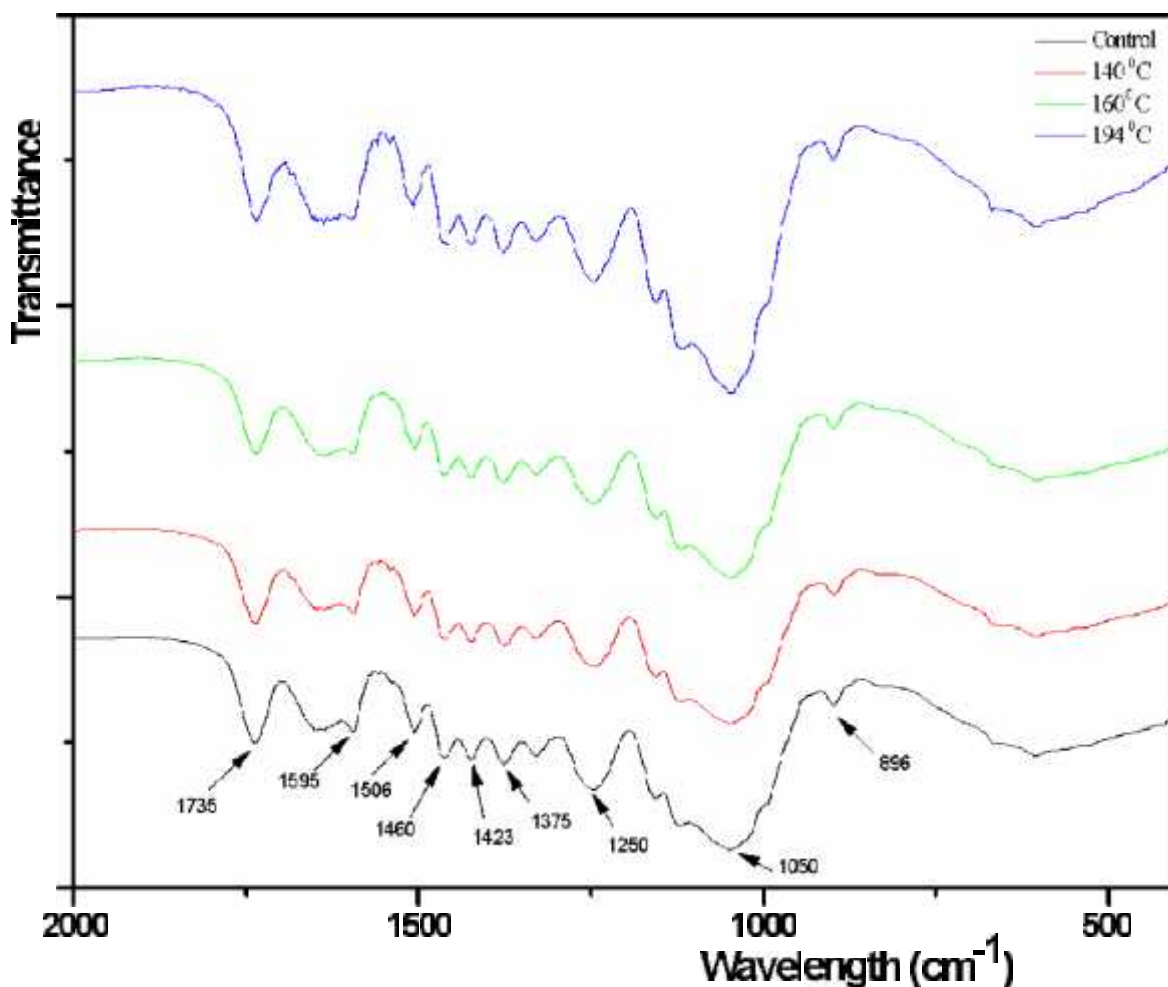
На слици 42 приказани су ФТИР спектри контролног и термотретираних узорака дрвета букве у области спектра $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$, а на слици 43 у области спектра $400 - 2000 \text{ cm}^{-1}$. На ФТИР спектрима сва четири узорка могу се уочити апсорпционе траке карактеристичне за дрво. Апсорпција на таласној дужини од 3420 cm^{-1} потиче од вибрација истезања ОН група. На 2900 cm^{-1} забележена је апсорпција С-Н вибрација истезања метил (CH_3) и метилен (CH_2) група (Јахан и др., 2011; Роза и др., 2012; Сатиамурти и др., 2011; Естевес и др., 2013).

У области $1800 - 800 \text{ cm}^{-1}$ апсорбују функционалне групе лигно-целулозних материјала. Апсорпциона трака на 1735 cm^{-1} потиче од некоњугованих вибрација истезања карбонилне групе ($\text{C}=\text{O}$). На овој таласној дужини апсорбују се карбоксилне киселине, естри, алдехиди и кетони, а карактеристична је за ксилане дрвета (Кумар и др., 2014; Естевес и др., 2013). На 1595 cm^{-1} апсорбују се метокси групе ($\text{C}-\text{O}-\text{CH}_3$) из сирињил јединица лигнина (Пандеј и Питман, 2003; Колом и др., 2003). За лигнине је карактеристична и апсорпција на 1506 cm^{-1} која потиче од $\text{C}=\text{C}$ вибрације ароматичног прстена лигнина (Пандеј и Питман, 2003; Колом и др., 2003; Естевес и др., 2013).



Слика 42. ФТИР спектри дрвета букве у области спектра 400 – 4000 cm^{-1}

Апсорпциона трака на 1460 cm^{-1} потиче од С-Н деформационих вибрација из CH_2 група целулоза и хемицелулоза, а на 1423 cm^{-1} од вибрација ароматичног скелета куплованих са деформацијама у равни С-Н ваза у лигнину (Естевес и др., 2013). С-Н деформационе вибрације савијања целулозе и хемицелулоза проузрокују апсорпцију на 1375 cm^{-1} (Пандеј и Питман, 2003; Колом и др., 2003). Апсорпциона трака на 1250 cm^{-1} потиче од С-О вибрација истезања ксилана и лигнина и ОН фенолних група лигнина (Кумар и др., 2014; Бјернстад и Далман, 2002; Бодирлау и др., 2009; Естевес и др., 2013). Апсорпција на 1050 cm^{-1} и на 896 cm^{-1} карактеристичне су за пиранозни прстен целулоза и хемицелулоза (Кумар и др., 2014; Естевес и др., 2013).



Слика 43. ФТИР спектри дрвета букве у области спектра 400 - 2000 cm^{-1}

Са слике 42 и 43 може се уочити да су на ФТИР спектрима узорка дрвета букве после термотретмана на температурама 140 °C, 160 °C и 194 °C присутне исте апсорпционе траке као на спектру термички нетретираниог дрвета, што указује на присуство истих једињења у термотретираним и нетретираним узорцима. Интензитет апсорпције на карактеристичним таласним дужинама узорка дрвета букве термотретираних на температури 140 °C и 160 °C углавном није измењен (слика 42 и 43), што указује да хемијски састав узорка током термотретмана није значајније промењен. Благо смањење интензитета апсорпције ових узорка на таласној дужини од 1735 cm^{-1} , која је карактеристична за C=O групу ксилана, може указати да је током термотретмана дошло до отцепљивања ацетил група ксилана. Поред тога, нешто мањи интензитет апсорпције на 1460 cm^{-1} , 1375 cm^{-1} , 1250 cm^{-1} и 1050 cm^{-1} у овим узорцима указује на смањење садржаја хемицелулоза. Нешто мања

апсорпција на 1595 cm^{-1} а непромењена на 1506 cm^{-1} указује да је дошло до смањења броја метокси група лигнина, али да садржај лигнина није промењен.

На температури термотретмана од $194\text{ }^{\circ}\text{C}$ промене у интензитету карактеристичних апсорпционих трака су израженије. Повећан је интензитет апсорпције на таласној дужини од 3420 cm^{-1} , што указује на повећање броја ОН група. На 2900 cm^{-1} такође је повећан интензитет апсорпције који потиче од С-Н вибрација истезања метил (CH_3) и метилен (CH_2) група. Повећање интензитета апсорпције на 1506 cm^{-1} , 1460 cm^{-1} и 1423 cm^{-1} указује на повећање садржаја лигнина. Истовремено је повећан и интензитет апсорпције на 1050 cm^{-1} , што је карактеристично за пиранозни прстен, па се може претпоставити да је повећање интензитета наведених апсорпционих трака последица релативног повећања лигнина и целулозе услед интензивније деградације хемицелулоза на овој температури термотретмана. Међутим, на температури термотретмана од $194\text{ }^{\circ}\text{C}$ повећан је и интензитет апсорпције на 1735 cm^{-1} . Такође је повећана и апсорпција на 1250 cm^{-1} , која може потицати од естарских група хемицелулоза и лигнина. Тјирдсма и Милиц (2005) су повећање интензитета естарског карбонилног пика на 1740 cm^{-1} код хидротермички третираних узорака букве и бора приписали процесима естерификације лигнина присутним киселинама. На овај начин се може објаснити повећање интензитета карбонилног пика уз истовремени губитак хемицелулоза, као и релативно повећање лигнина и целулозе у узорцима термотретираним на температури $194\text{ }^{\circ}\text{C}$.

У случају акрилних премаза за остварење добре адхезије између премаза и дрвета значајну улогу имају хемијске везе које се формирају између дрвета и премаза (Јаић и др., 2014) па се може очекивати да ће хемијске промене настале у дрвету букве на вишим температурама термотретмана лоше утицати на јачину адхезије основног УВ акрилног премаза.

5.2.4 Угао квашења

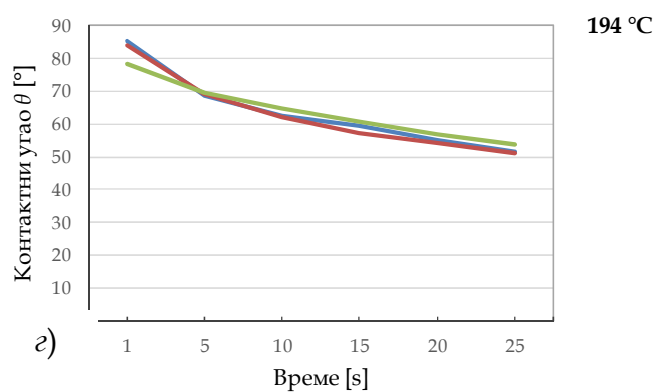
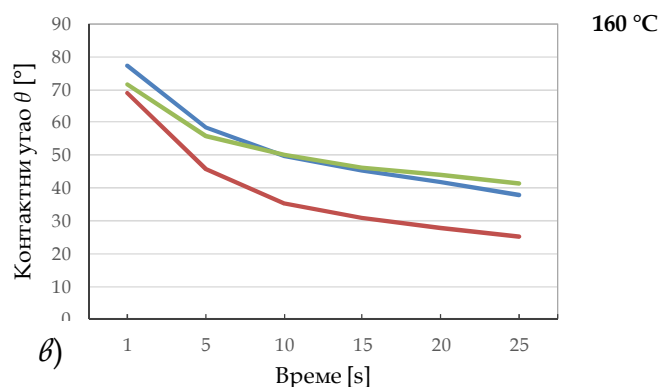
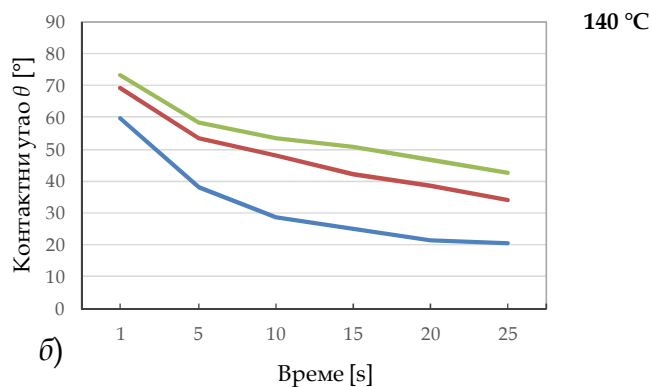
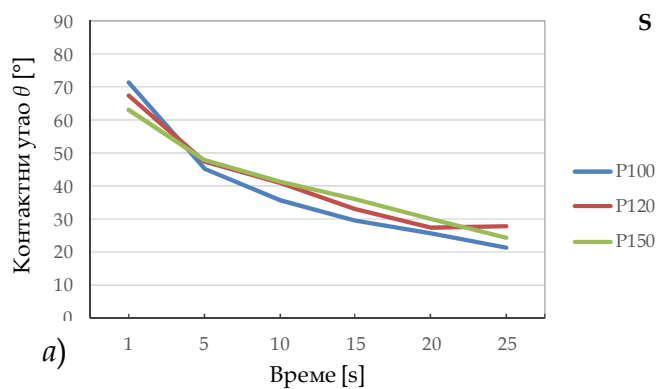
На сликама 44 - 49 су приказане вредности контактног угла квашења воде и основног (темељног) УВ акрилног премаза са различитим уделима очвршћивача на подлози од дрвета букве, нетретиране и термотретиране на

температурама 140 °C, 160 °C и 194 °C, након брушења системима (P60 – P80 - P100 - n) са различитим завршним нумерацијама брусног папира (P100, P120 и P150), измерене у временским интервалима од 5 секунди у оквиру укупног времена посматрања од 25 секунди. Контактни угао је приказан као средња вредност добијена на основу мерења контактног угла 6 појединачно постављених капљица воде на 3 места по дужини узорка сваке групе. Сва појединачна мерења контактног угла капљице течности, за воду и УВ акрилни темељни премаз за све комбинације приказана су у прилогу (тачка 9.1, табела 3).

- **Квашење површине дрвета водом:**

Резултати одређивања контактног угла квашења дестиловане воде на подлогама од буковог дрвета у зависности од нумерације брусног папира завршног брушења (P100, P120 и P150) и за изабране температуре термотретмана (140 °C, 160 °C и 190 °C) су приказани на слици 44. Генерално, код свих група узорка може се запазити да током времена долази до опадања вредности контактног угла, услед разливања капљица воде и упијања воде у дрво. До истог закључка су дошли у својим истраживањима и Ши и Гарднер (2001).

Осим тога, запажа се да је утицај система брушења на контактни угао квашења водом површине нетретираниог узорка (слика 44, S) у посматраном периоду од 25 s благо изражен, при чему је уочљиво да се површина подлоге која је завршно обрušена папиром нумерације P100 најбоље кваси после 5 s, јер има најниже вредности контактног угла, вероватно из разлога јер је и најхрапавија. Ови закључци су у складу са резултатима испитивања које је спроводио Арнолд (2010) која су показала да брушење површине дрвета европске смрче (*Picea abies*) брусним папиром нумерације P80 повећава храпавост површине и способност квашења.



Слика 44. Контактни угао капљице воде у зависности од нумерације брусног папира завршног брушења у интервалу од 1 до 25 s, *a*) контролни узорак; *б*) термотретирани узорак на 160 °C; *в*) термотретирани узорак на 140 °C; *г*) термотретирани узорак на 194 °C

Утицај система брушења на величину контактнoг угла квашења водом у случају подлоге која је термотретирана на температури од 140 °C, не само да је знатно израженији у односу на подлогу која није третирана, већ и показује правилност да се са порастом храпавости побољшава својство кашења подлоге. То потврђују ниже вредности контактнoг угла капљице воде за исте интервале мерења при опадању нумерације брусног папира од P150 - P100 (слика 44, 140°C) тј. при порасту храпавости која је уочена за исту подлогу (слика 39).

Међутим, узорци који су термотретирани на температури од 160 °C (слика 44) и који су завршно обрušени брусним папиром нумерације P100, у почетних 5 s се најлошије квасе, иако имају најхрапавију површину (слика 39). Након 5 s вредности контактнoг угла капљице воде на површини узорака завршно обрušених брусним папиром нумерације P100 и P150 се скоро изједначавају при истим временским интервалима и у 10-ој секунди контактни угао је био око 50°. Овакав ефекат брусног система на квашење није очекиван, с обзиром да се брушењем термотретиране подлоге на температури од 160 °C папиром нумерације P150 добија најмања храпавост (слика 39). Ово указује да је уочени ефекат квашења водом вероватно последица хемијских промена које настају у дрвном ткиву током термотретмана. Вероватно из истих разлога се површина узорака завршно обрušених папиром нумерације P120 најбоље кваси (контактни угао 35,17° након 10 секунди) у односу на остале системе брушења (слика 44) испитане на овој подлози и поред тога што су показали сличну храпавост са узорцима обрušеним брусним папиром нумерације P100 (слика 39).

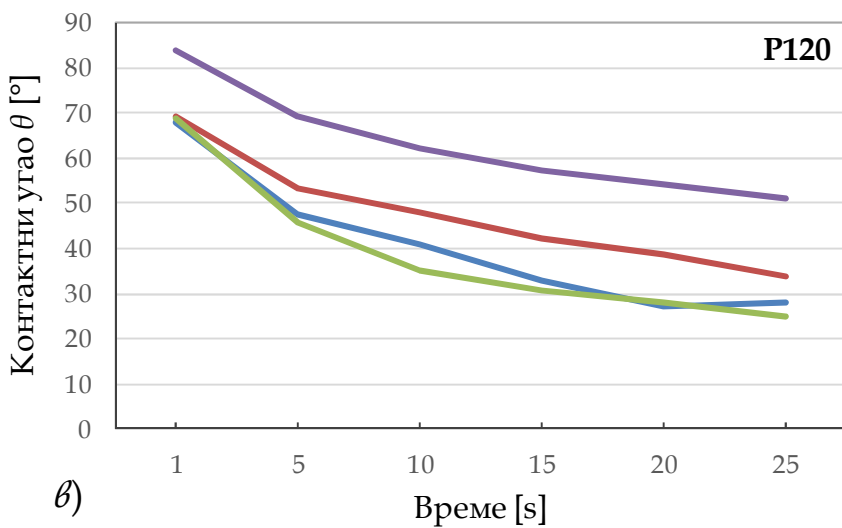
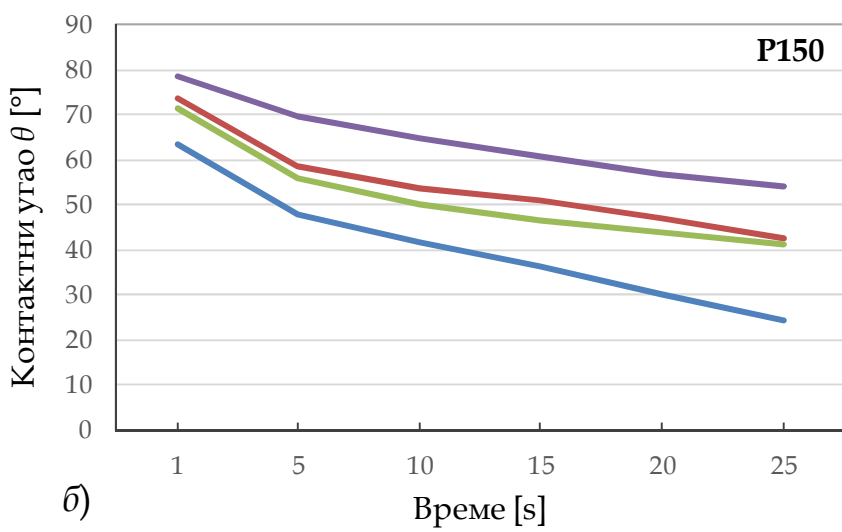
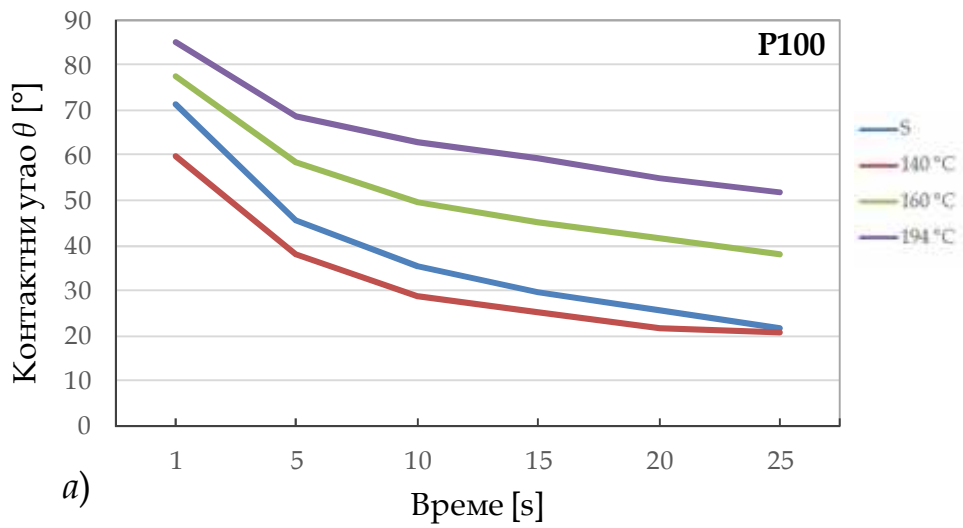
Код термотретираних узорака на температури 194 °C вредност контактнoг угла капљице воде у тренутку пада је најнижа за систем завршног брушења нумерацијом P150 и износи 78,37°. Ова појава је вероватно последица најмање храпавости која у самом тренутку контакта обезбеђује боље разливање, док се већа храпавост дате површине у истом тренутку понаша као баријера ширењу капљице воде. Сличан тренд је уочен и код термички нетретиране површине. Слична појава утицаја храпавости на контактни угао у тренутку контакта капљице са подлогом може се запазити и у резултатима које је Палија

(2015) добила у својим истраживањима. Након 5 s за исте временске интервале, вредности контактнoг угла су скоро изједначене за све примењене системе завршног брушења (слика 44), тако да контактни угао опада од око 69° до 52°. На основу овога може се констатовати да испитивани системи завршног брушења немају утицаја на својство квашења водом подлоге дрвета букве термотретирание на температури од 194 °С.

Резултати одређивања контактнoг угла квашења дестиловане воде на подлогама од буковог дрвета у зависности од температуре термотретмана (140 °С, 160 °С и 190 °С) за изабране нумерације брусног папира завршног брушења (P100, P120 и P150) приказани су на слици 45.

Током посматраног периода од 25 s вредност контактнoг угле капљице дестиловане воде на површини дрвета букве, била је највећа на узорцима термотретираним на температури 194 °С, за све примењене системе завршног брушења, што јасно потврђује да термотретман повећава контактни угао капљице воде, тј. смањује квашење (слика 45). Ово је и разумљиво будући да је највиша температура термотретмана изазвала деградацију хемицелулоза, што је потврдила ФТИР анализа термотретираних узорака. Наиме, код ових узорака уочено је повећање интензитета апсорпције на таласној дужини 1506 cm^{-1} , 1460 cm^{-1} и 1423 cm^{-1} , који је приписан повећаном релативном учешћу лигнина, који је по својој хемијској природи хидрофобан (тачка 5.2.3), што може умањити способност квашења ове групе термотретираних узорака.

Да се контактни угао квашења водом површине дрвета букве повећава при вишим температурама термотретмана у својим истраживањима такође су потврдили Хуанг (2012) са сарадницима и Миклечић (2013). До сличног закључка је дошао и Кокафе са сарадницима (2008) у испитивањима које је спроводио за дрво америчког белог јасена и меког јавора.



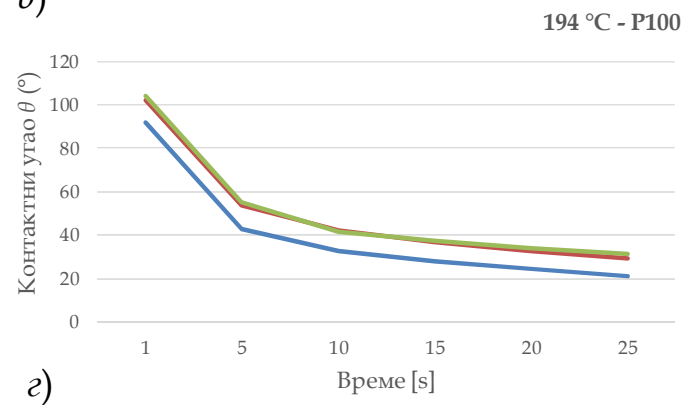
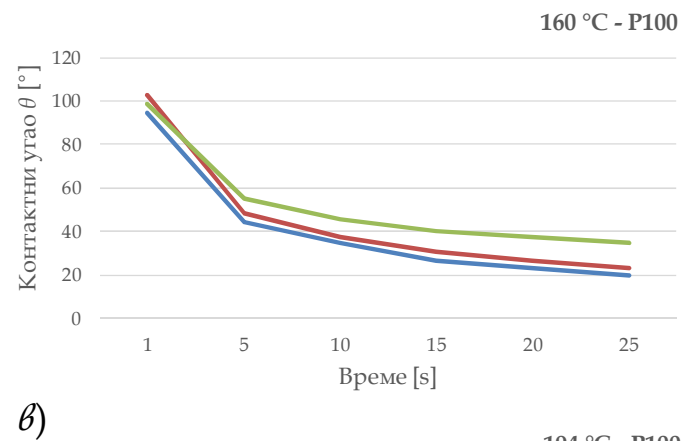
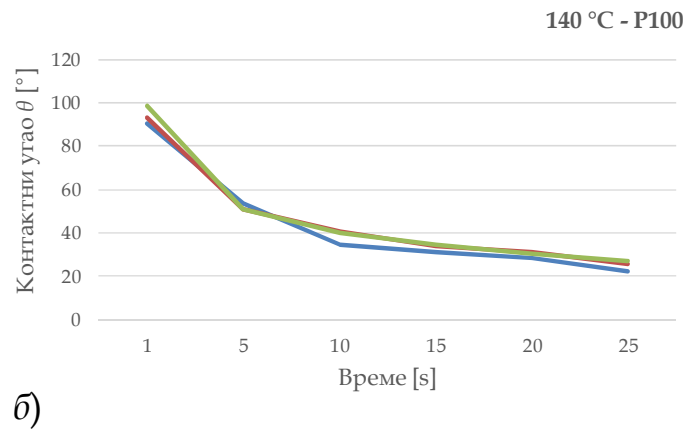
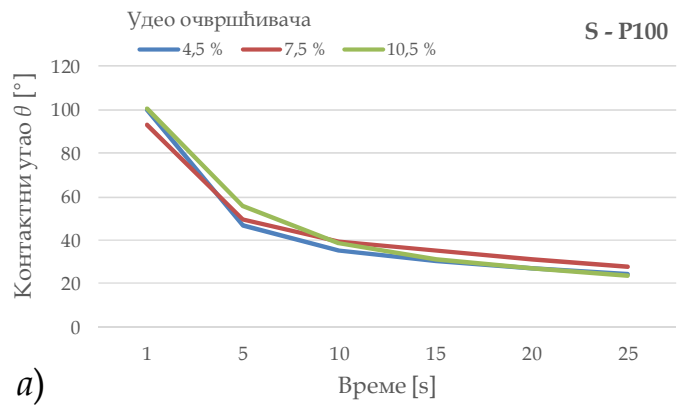
Слика 45. Контактни угао капљице воде у зависности од температуре термотретмана у интервалу од 1 до 25 s, а) завршно брушење папиром P100; б) завршно брушење папиром P120; в) завршно брушење папиром P150

У случају подлога које су завршно обрушене брусним папиром нумерације P100 најбоље се кваси подлога термотретираног узорка на температури 140 °C (59,84° - 20,74°), а у случају подлоге која је завршно обрушена брусним папиром нумерације P120 најбоље се квасе подлоге од термотретираног узорка на температури 160 °C и термички нетретираног узорка. За завршно брушење нумерацијом брусног папира P150 најбоље квашење водом (63,38° - 24,48°) имала је површина термички нетретираног узорка, а одмах иза ње површина узорка термички третираног на 160 °C (71,37° - 41,28°).

Ови резултати би могли послужити за избор оптималног система завршног брушења за различите температуре термотретмана. У складу са чињеницом да изабрани УВ акрилни премаз очвршћава након 5 s и да боље квашење уобичајено даје и бољу адхезију, може се констатовати да су са аспекта адхезије најповољније подлоге од термотретираног дрвета на температури 140°C, завршно обрушене брусним папиром нумерације P100, а затим подлоге термотретиране на истој температури само завршно обрушене папиром нумерације P120. Треће место деле нетретирана и термотретирана подлога на температури 160 °C, обе завршно обрушене брусним папиром нумерације P100.

- **Квашење површине дрвета УВ акрилним премазом:**

Способност квашења УВ акрилним основним (темељним) премазом површине нетретираних узорака и узорака термотретираних на температурама 140 °C, 160 °C и 190 °C, који су завршно обрушени брусним папирима различите нумерације (P100, P120 и P150), оцењена је на основу вредности контактеног угла капљице УВ акрилног премаза. Контактни угао је приказан као средња вредност добијена на основу мерења контактеног угла 6 појединачно постављених капљица воде на 3 места по дужини узорка сваке групе. Резултати одређивања контактеног угла квашења премаза са уделом очвршћивача од 4,5 %, 7,5 % и 10,5 %, а у зависности од система брушења за нетретиране и термотретиране узорке од дрвета букве приказани су на слици 46.

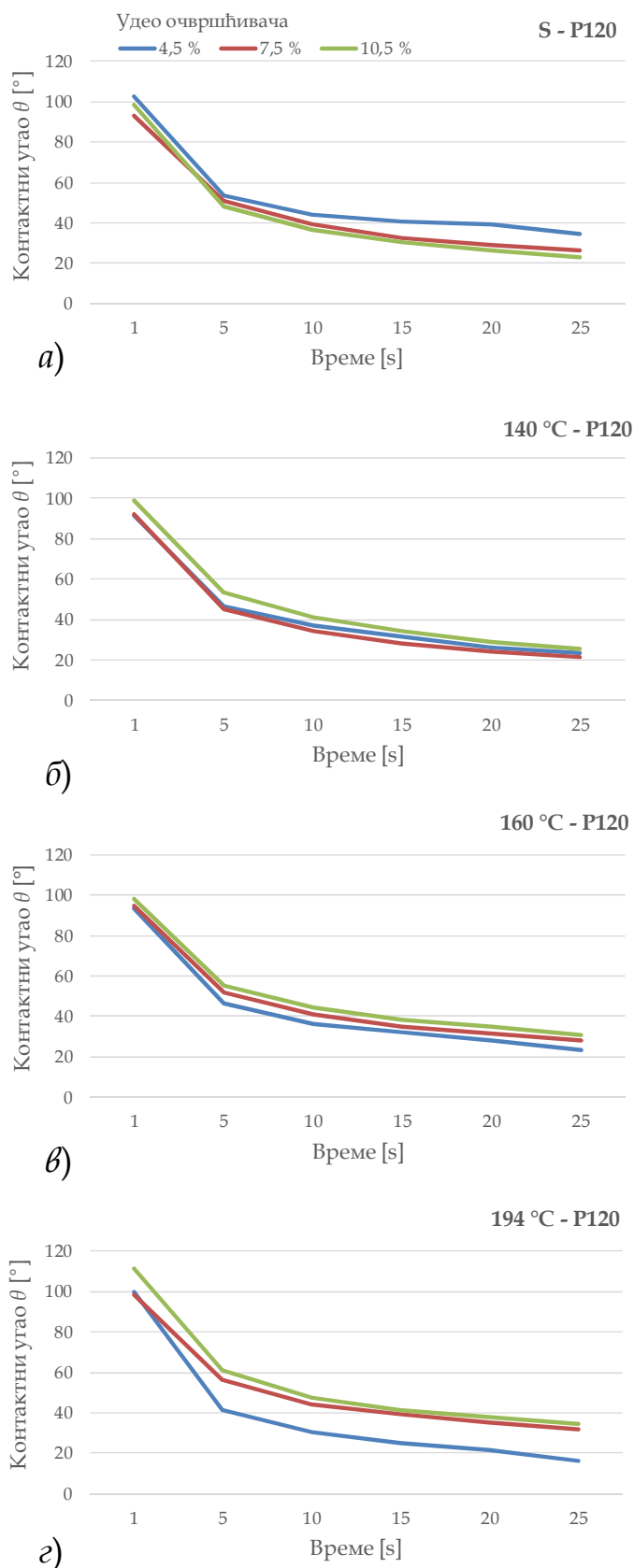


Слика 46. Контактни угао УВ акрилног премаза различитих формулација на дрвету букве завршно обрешене папиром P100 у интервалу од 1 до 25 s, a) контролни узорак; б) термотретирани узорак на 160 °C; в) термотретирани узорак на 140 °C; г) термотретирани узорак на 194 °C

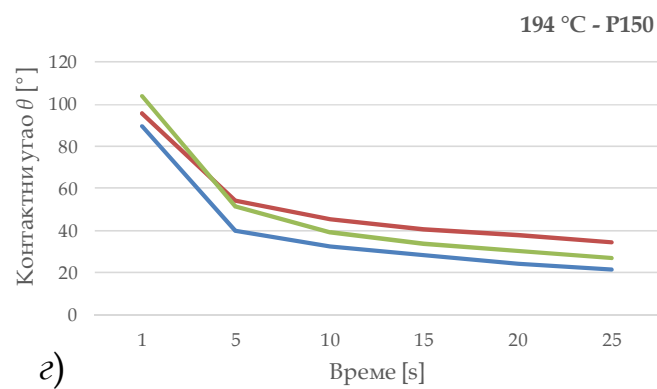
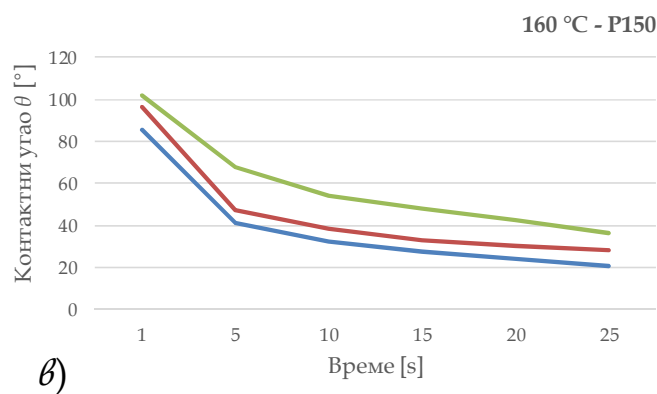
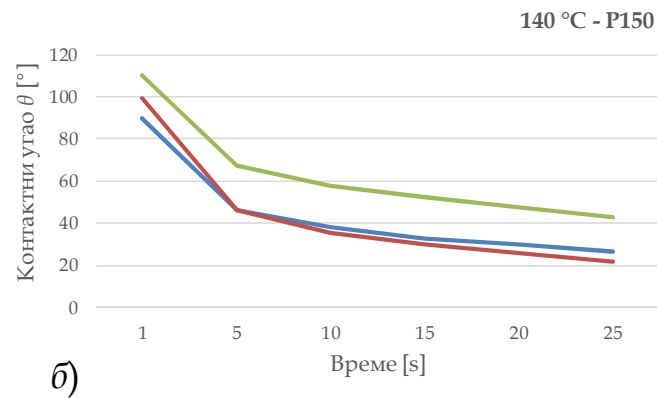
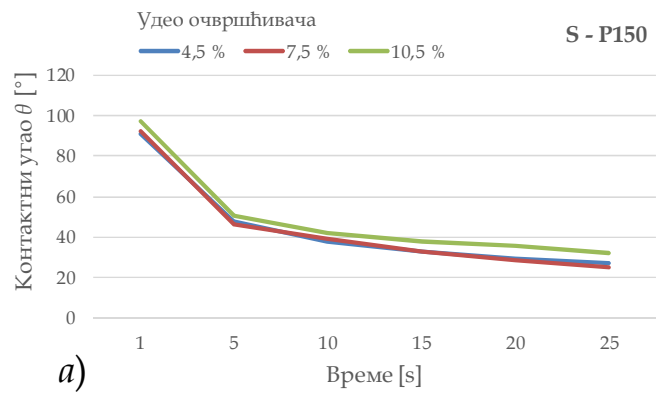
На слици 46 може се запазити да контактни угао квашења основног премаза занемарљиво зависи од удела очвршћивача, у случају нетретиране подлоге и термотретиране на температури од 140 °C, које су завршно обрушене брусним папиром нумерације P100. На слици 46 такође се може запазити да подлоге термотретиране на температурама 160 °C и 194 °C показују најбоље квашење основним премазом са уделом очвршћивача од 4,5% (94,74° - 20,09° и 91,86° - 21,27°, респективно).

На слици 47 може се уочити да и у случају када су узорци завршно обрушени нумерацијом брусног папира P120 контактни угао квашења основног премаза такође занемарљиво зависи од удела очвршћивача у случају подлога термотретираних на температурама 140 °C и 160 °C. Подлога термотретирана на 194 °C се најбоље квасила основним премазом са уделом очвршћивача од 4,5% (99,71° - 16,24°), као што је то случај и код узорака завршно обрушених са брусним папиром нумерације P100. Основни премаз са овим уделом очвршћивача је у случају подлоге од нетретираног дрвета показао најлошије квашење (102° - 34,68°).

У случају нетретиране подлоге која је завршно обрушена нумерацијом брусног папира P150, контактни угао квашења основног премаза занемарљиво зависи од удела очвршћивача, што је илустровано на слици 48 (S - P150). Међутим, код овог система брушења најлошије се квасе површине подлоге термотретиране на температури 140 °C и 160 °C премазом са уделом очвршћивача од 10,5%, док је удео очвршћивача у акрилном УВ премазу од 7,5% показао најлошије квашење када је тестиран на подлози термотретираној на температури 194 °C (слика 48). И код узорака завршно брушених папиром P150 премаз са уделом очвршћивача од 4,5 % је најбоље квасио подлоге термотретиране на температури 160 °C и 194 °C (85,20° - 20,65° и 89,83° - 21,31°), као и у случају завршног брушења подлоге са брусним папиром нумерације P120.



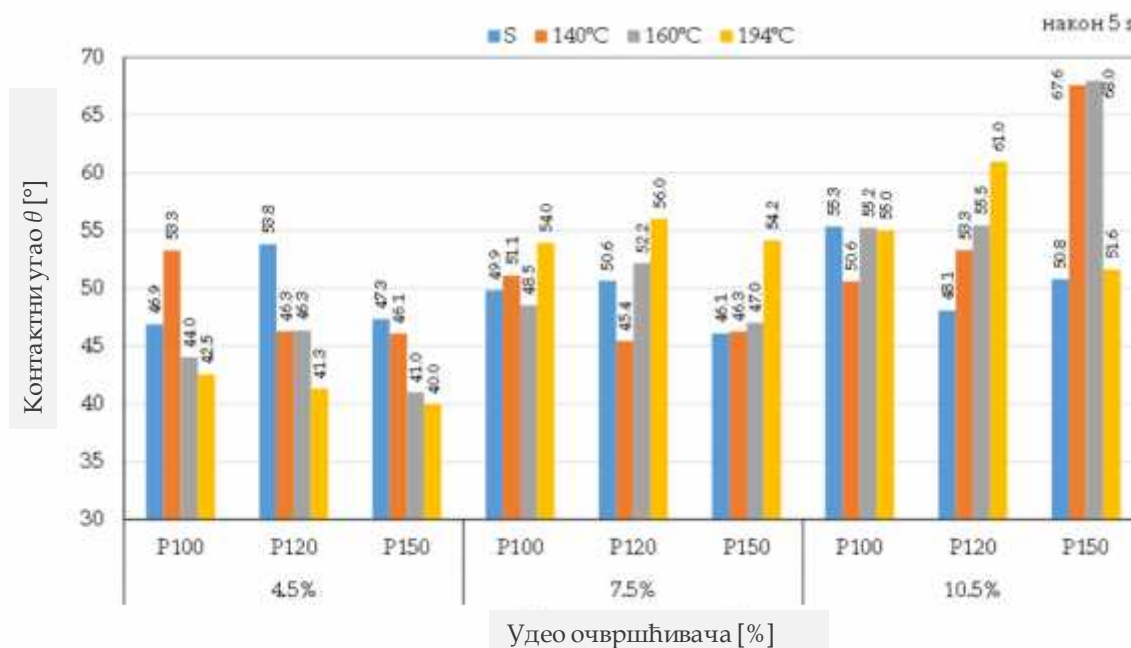
Слика 47. Контактни угао UV акрилног премаза различитих формулација на дрвету букве завршно обрешене папиром P120 у интервалу од 1 до 25 s, , а) контролни узорак; б) термотретирани узорак на 160 °C; в) термотретирани узорак на 140 °C ; з) термотретирани узорак на 194 °C



Слика 48. Контактни угао УВ акрилног премаза различитих формулација на дрвету букве завршно обрешене папиром P150 у интервалу од 1 до 25 s, а) контролни узорак; б) термотретирани узорак на 160 °C; в) термотретирани узорак на 140 °C; г) термотретирани узорак на 194 °C

Надаље, на слици 48 може се запазити да су измерене вредности контактнoг угла након 1 с капљице основног УВ акрилног премаза и површине узоракa термотретираних на температури 194 °С биле највеће. Формулација основног премаза са уделом очвршћивача од 10,5 % је у просеку имала највећи контактни угао, док су најмање вредности добијене за удео очвршћивача од 4,5 %. У зависности од нумерације брусног папира завршног брушења најмање вредности контактнoг угла су добијене за најфиније завршно брушење, нумерацијом Р150. Ипак ова запажања немају већи значај, будући да према ранијим истраживањима (Михуља, 2008) мерење контактнoг угла капљице течности и површине подлоге у току прве и почетка друге секунде није меродавно за одређивање афинитета течности и подлоге.

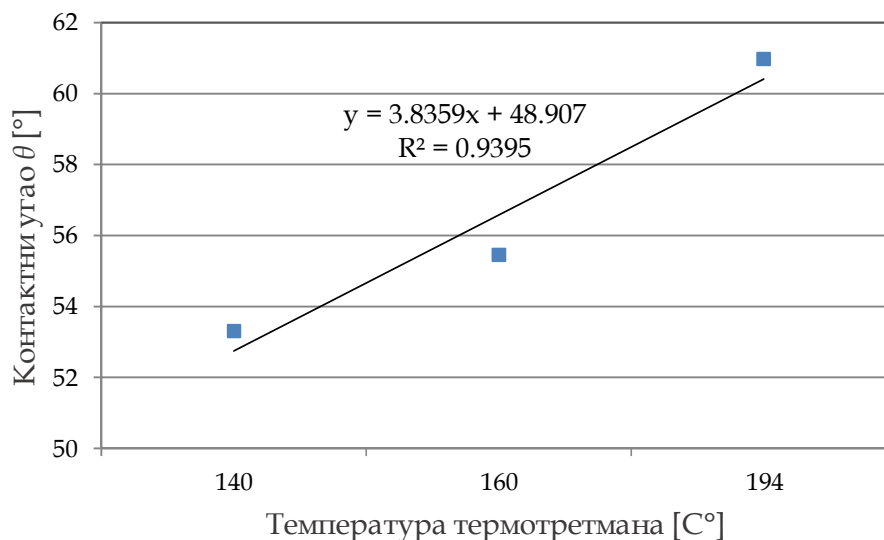
За посматрање контактнoг угла основног УВ акрилног премаза са различитим уделима очвршћивача најзначајнији је интервал од 1 до 5 секунде, пошто дејство УВ лампе, а самим тим и очвршћавање премаза настаје непосредно по завршетку пете секунде након наношења основног премаза. Из тог разлога резултати контактнoг угла квашења различитих формулација УВ акрилног премаза приказани су на слици 49 за пету секунду квашења за све комбинације припреме подлоге од дрвета букве.



Слика 49. Контактни угао квашења основног УВ премаза различитих формулација у 5-ој секунди посматрања

За фабричку препоручену формулацију основног премаза са уделом очвршћивача од 7,5 % контактни угао УВ акрилног премаза показује тренд раста, односно смањену способност квашења са повећањем температуре термотретмана са 140 °C на 194 °C, за све изабране системе завршног брушења. Међутим, са повећањем температуре термотретмана са 140 °C на 194 °C контактни угао УВ акрилног премаза са уделом очвршћивача од 4,5 % опада код свих изабраних система брушења, односно способност квашења расте. Ова зависност може бити последица интеракције хемијски измењене површине дрвета настале под утицајем термотретмана и УВ акрилног премаза са овим уделом очвршћивача.

Такође са слике 49 се може запазити да УВ акрилни премаз са уделом очвршћивача од 10,5 % показује пораст контактног угла квашења повећањем температуре термотретмана подлоге са 140 °C на 194 °C, код свих система брушења осим у случају узорака завршно обршених брусним папиром нумерације P150, код којих подлога термотретмана на највишој температури има и најбоље квашење, што такође може бити последица хемијски измењене површине дрвета настале под утицајем термотретмана. Управо овај систем брушења је критичан за ову формулацију премаза и термотретману подлогу на 194°C. Група узорака са уделом очвршћивача од 10,5 % и са завршним брушењем брусним папиром нумерације P120, показала је јасну зависност повећања контактног угла квашења (48,09° – 60,98°) са повећањем температуре термотретмана, што је илустровано на слици 50. До закључка да се контактни угао квашења полиакрилатних нанопремаза повећава са повећањем температуре термотретмана дрвета букве у свом истраживању потврдио је и Миклечић (2013). Насупрот њему, Петрич (2007) је у својим истраживањима запазио боље квашење различитим типовима акрилних премаза, али у случају површине од термотретманог дрвета белог бора.



Слика 50. Контактни угао основног премаза са уделом очвршћивача 10,5% и завршним брушењем P120, након 5 секунди

На основу изнетих резултата контактног угла основног УВ акрилни премаз и термотретирание подлоге за 5 s, са аспекта квашења може се констатовати да уколико се користи премаз са 4,5 % и 10,5 % удела очвршћивача и подлога од термотретитаног дрвета букве на 194 °С, треба припремити површину брусним папиром нумерације P150. У варијанти са уделом очвршћивача од 7,5% завршно брушење површине може се обавити папиром нумерације P100 или P150.

Иако мерење контактног угла методом накапавања не представља високо поуздан метод за одређивање афинитета течности и подлоге, ипак је утврђена веза између вредности контактног угла капљице воде и вредности контактног угла капљице УВ акрилног основног (темељног) премаза код узорака који су припремљени различитим системима брушења. Из тог разлога наведена метода може се користити у компаративне сврхе када је потребно дати оцену компатибилности различитих термотретмана исте подлоге и датог премаза.

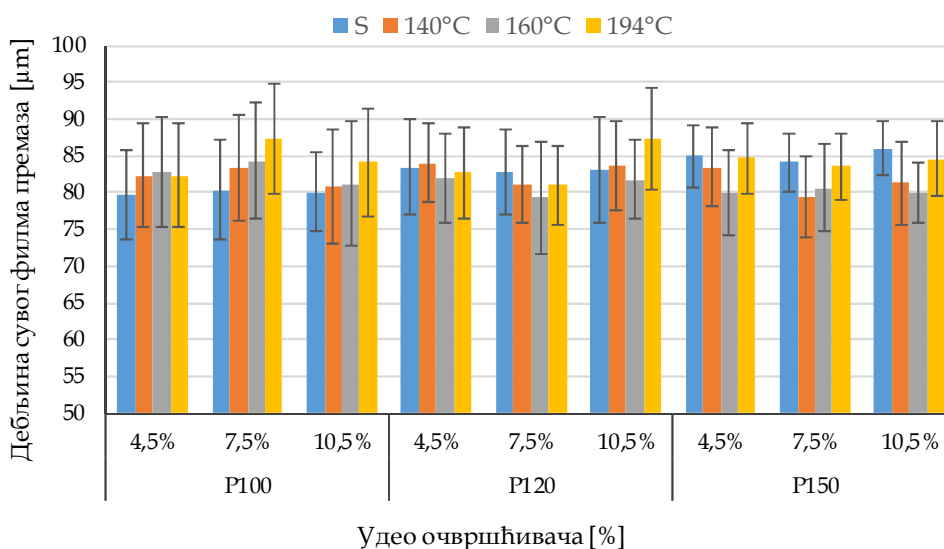
5.3 Карактеристике система дрво – премаз

5.3.1 Дебљина сувог филма премаза

На слици 51 приказана је дебљина сувог филма УВ акрилног премаза различитих формулација темељног премаза за све температуре термотретмана и све системе брушења, као средња вредност добијена на основу 10 мерења за сваку групу узорака.

Најнижа средња вредност μm дебљине сувог филма УВ акрилног премаза од 79,30 добијена је за термотретираних узорке на температури од 160 °C, завршно обрешене брусним папиром нумерације P120 и са уделом очвршћивача у темељном премазу од 7,5%. У случају узорака термотретираних на 194 °C, а завршно обрешених нумерацијама P120 и P100, и са уделом очвршћивача од 10,5% и 7,5%, респективно, добијена је највећа средња вредност дебљине сувог филма УВ акрилног премаза (87,30 μm).

Статистичка обрада резултата показала је да не постоји значајна разлика у дебљини сувог филма премаза између група узорака, што се и очекивало с обзиром на коришћени метод наношења УВ акрилног премаза (метод ваљања) и високи удео суве супстанце који ови премази имају.

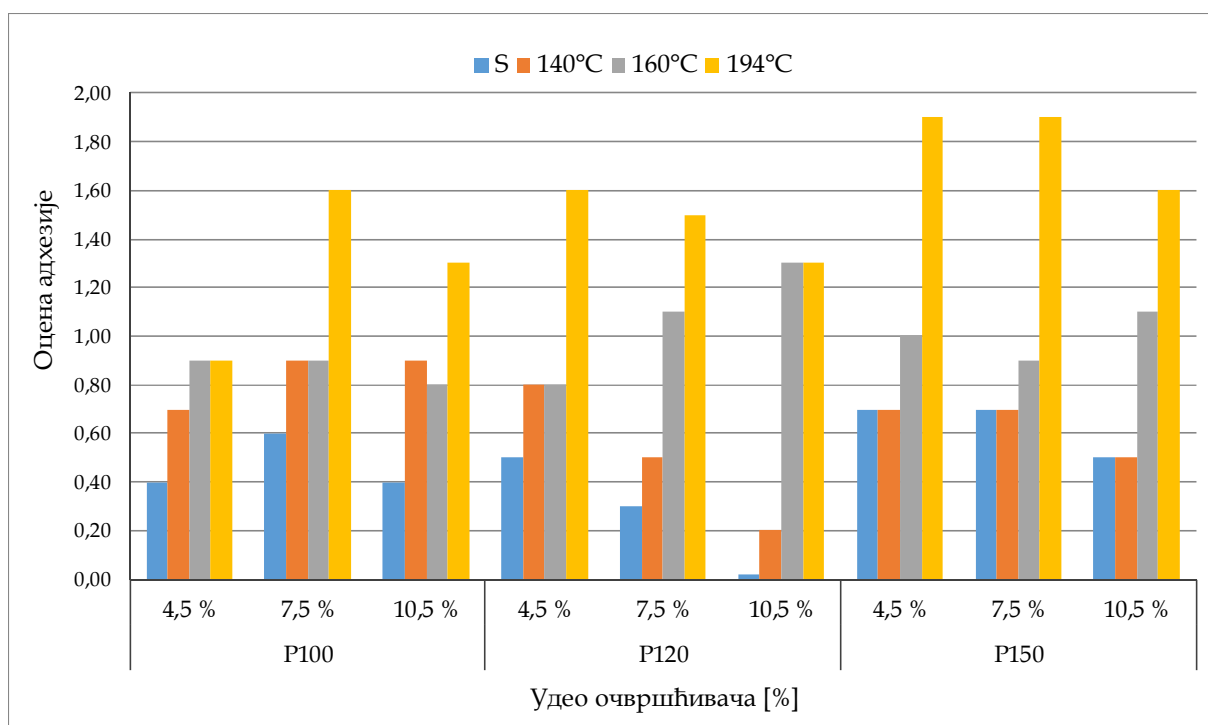


Слика 51. Дебљина сувог филма основног УВ акрилног премаза за све групе узорака

5.3.2 Адхезија методом решетке

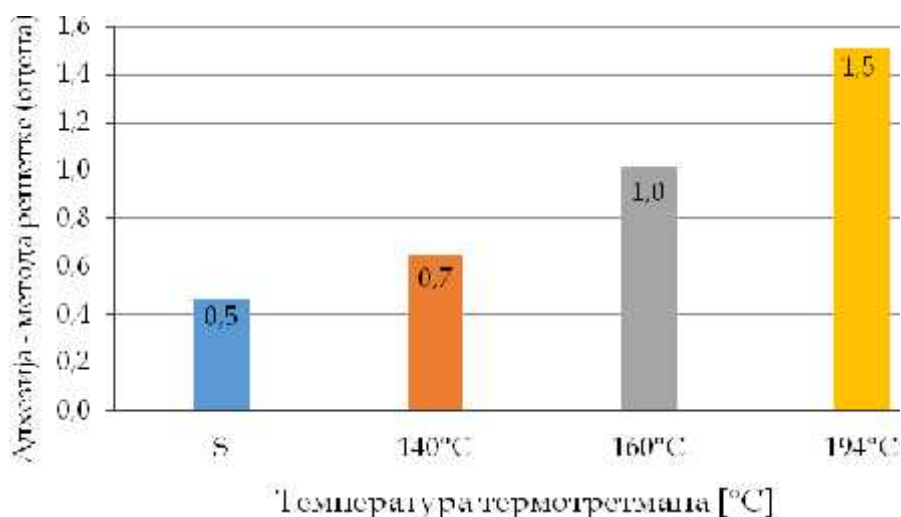
На слици 52 су приказане просечне вредности оцене адхезије (метод решетке) УВ акрилног премаза са различитим уделитема очвршћивача на узорцима дрвета букве термички нетретираним и термотретираним на различитим температурама 140 °С, 160 °С и 194 °С, након брушења системима (P60 - P80 - P100), са различитим завршним нумерацијама брусног папира (P100, P120 и P150), добијене на основу 10 мерења за сваку групу узорака. Појединачна мерења адхезије (метод решетке) приказана су у прилогу (тачка 9.1, табела 4) за све комбинације узорака. Критеријум оцењивања је урађен по стандарду СРПС ЕН 2409:2010, према табели 12.

Анализом оцене адхезије добијене методом решетке може се закључити да је адхезија најслабија за највишу температуру термотретмана од 194 °С. Најбоља адхезија је постигнута на термички нетретираним узорцима, тј. контролним узорцима. Једина оцена 0, као најбоља оцена адхезије (метод решетке), у просеку је добијена на контролним узорцима који су припремљени завршним брушењем брусним папиром нумерације P120 и са највећим уделом



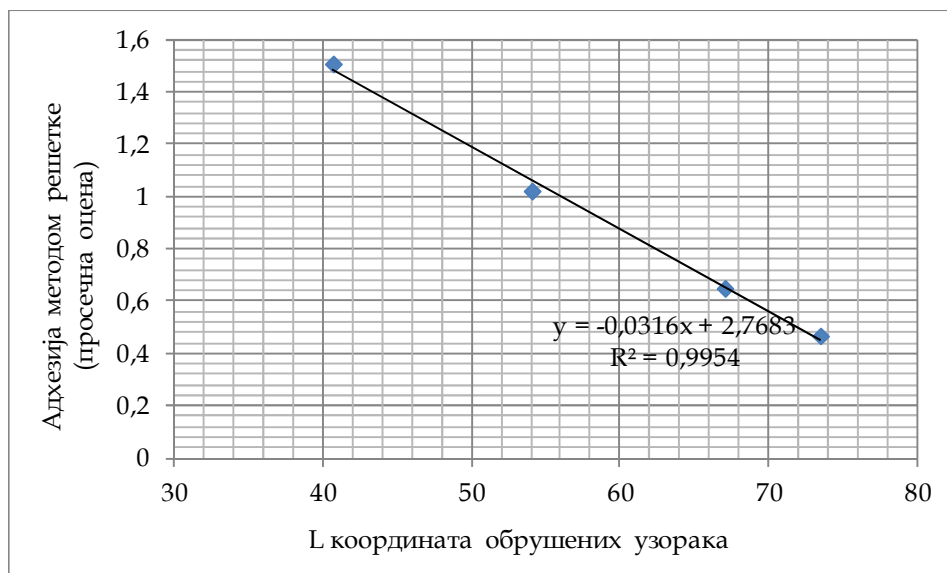
Слика 52. Оцена адхезије методом решетке термотретираних узорака дрвета букве

очвршћивача од 10,5 % у основном премазу, слика 47. За све уделе очвршћивача у основном УВ акрилном премазу и за све изабране системе завршног брушења, просечна оцена адхезије генерално расте са порастом температуре термотретмана. Једини изузетак је у случају узорака завршно обрušених нумерацијом брусног папира Р 100 и са уделом очвршћивача у основном премазу од 10,5 %, где је оцена адхезије незнатно већа за термотретирани узорке на температури 140 °С, у односу на узорке термотретирани на температури 160 °С. На слици 53 је приказана зависност просечне оцене адхезије измерене методом решетке за све температуре термотретмана.



Слика 53. Адхезија оцењена методом решетке у зависности од температуре термотретмана

Упоредном анализом оцене адхезије методом решетке и измереним вредностима L координате боје може се закључити да постоји јасна веза између измерене L компоненте обрušених узорака са постигнутом адхезијом, слика 54. Коефицијент детерминације је био на јако високом нивоу, и износио је 0,99. Оваква веза потврђује претпоставку да се мерењем боје трмотретираниог дрвета може предвидети адхезија УВ акрилног премаза на овом типу подлоге.

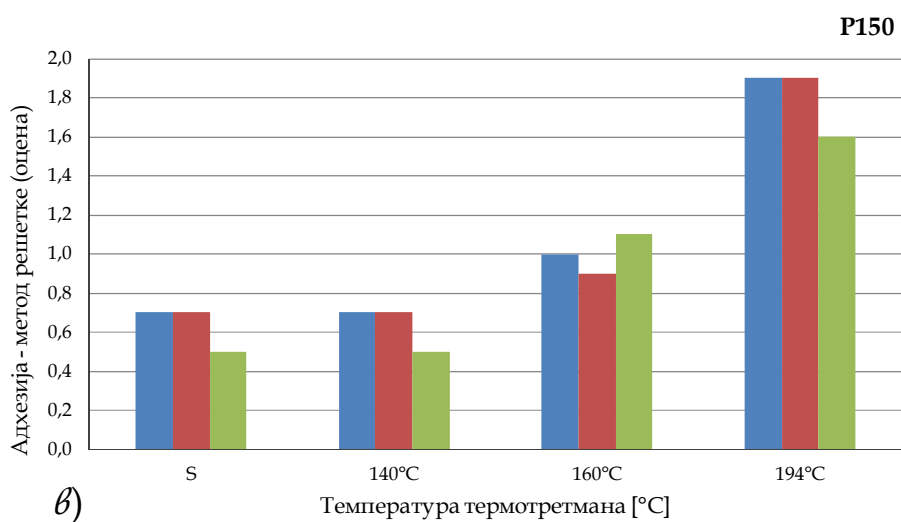
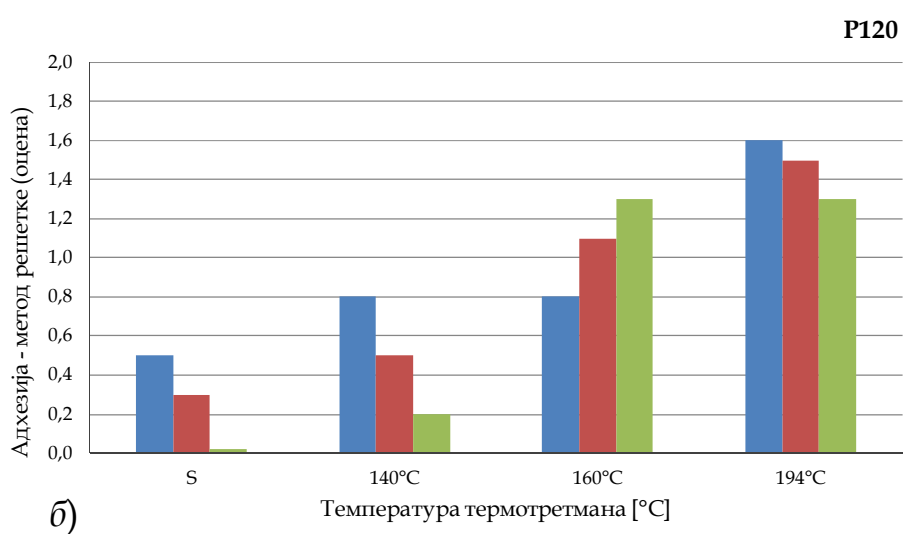
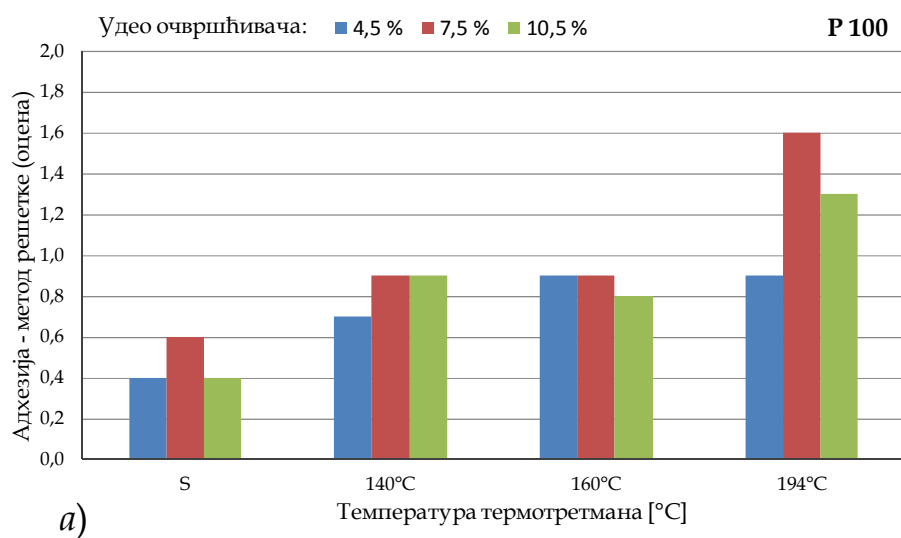


Слика 54. Зависност оцене адхезије (метод решетке) и L координате боје обрушених узорака

У случају узорака завршно обрушених нумерацијом брусног папира P100 (слика 55) вредности оцене адхезије добијене за термотретиране узорке на температури од 140 °C показују у просеку за 0,3 јединице слабију адхезију у односу на нетретирани узорак. Сличне вредности оцене адхезије су остварили и узорци који су термотретирани на температури 160 °C. Најмања оцена адхезије за узорке термотретиране на температури 194 °C постигнута је за удео очвршћивача у основном премазу од 4,5 % и између ових узорака и узорака са уделом очвршћивача од 10,5 % термотретираних на истој температури постоји статистички значајна разлика у оцени решетке.

Узорци припремљени завршним брушењем брусним папиром нумерације P120 показују одређену зависност између удела очвршћивача у основном премазу и просечне оцене решетке, тако да за термички нетретиране узорке, узорке термотретиране на температури 140 °C и 194 °C долази до израженог повећања адхезије са повећањем удела очвршћивача у основном премазу, док је овај тренд супротан за термотретиране узорке на 160 °C, слика 55.

Статистички значајна разлика је добијена за термички нетретиране узорке са уделом очвршћивача у основном премазу од 4,5 % и 10,5 % и термотретиране узорке на 140 °C за исте уделе очвршћивача.

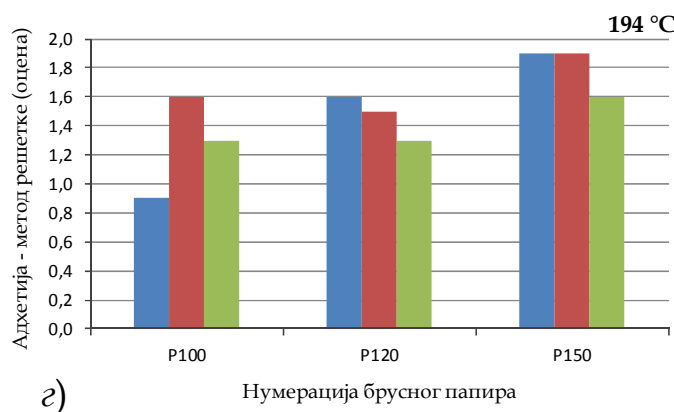
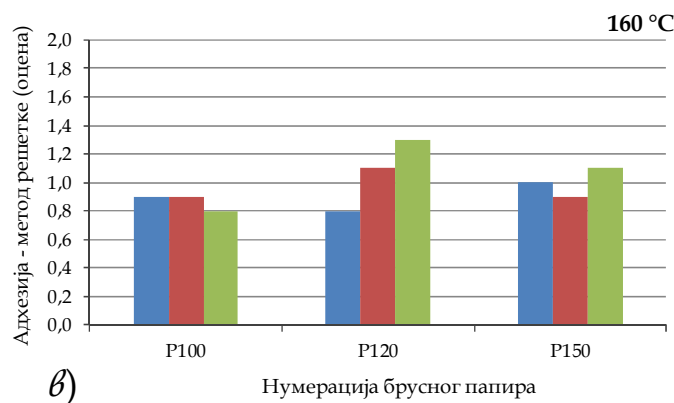
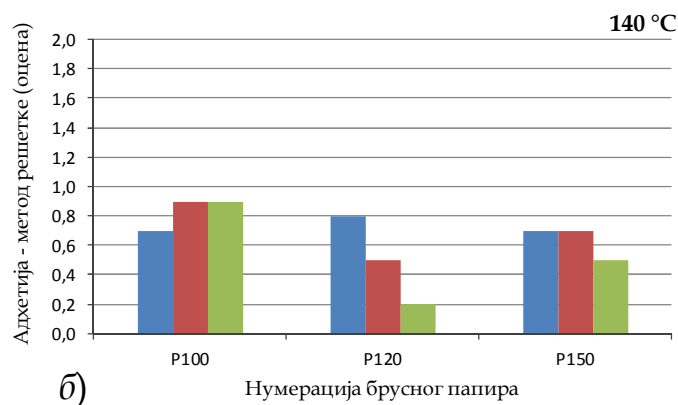
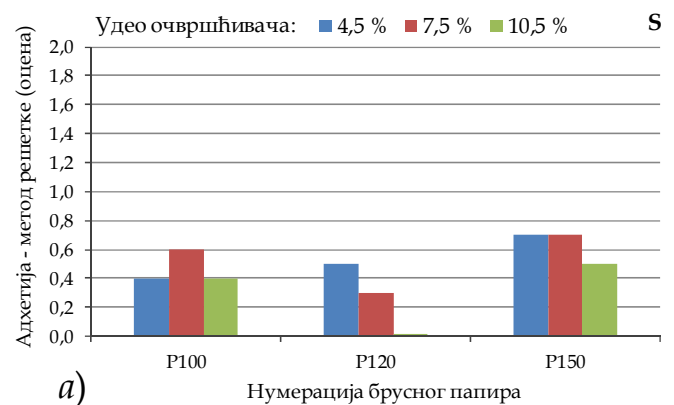


Слика 55. Оцена адхезије (метод решетке), а) завршно брушење папиром P100; б) завршно брушење папиром P120; в) завршно брушење папиром P150

Завршним брушењем брусним папиром нумерације P150 просечне вредности оцене адхезије за контролни узорак за све уделе очвршћивача у основном премазу се у потпуности поклапају са вредностима добијеним за термотретиране узорке на температури 140 °С. У случају узорака термотретираних на температури 194 °С са уделом очвршћивача 10,5 % у основном премазу дошло је до благог побољшања адхезије у односу на узорке са уделом очвршћивача од 4,5 % и 7,5 %, али није нађена статистички значајна разлика.

Термички нетретирани узорци (слика 56а) завршно обрušени нумерацијом брусног папира P120 имају најбољу адхезију методом решетке. Код нетретираних узорака завршно обрušених нумерацијом брусног папира P150 дошло је до повећања оцене решетке за око 0,5 јединица у односу на узорке завршно обрušене брусним папиром нумерације P120, што се може приписати утицају смањене храпавости површине ових узорака.

Применом финије завршне нумерације код термотретираних узорака на температури 194 °С дошло је до смањења адхезије, тако су најслабији резултати постигнути завршним брушењем P150 и износили су у просеку 1,8 јединица, слика 56. Најслабија адхезија је постигнута са уделима очвршћивача од 4,5 % и 7,5 %, 1,9 јединица (за поједина мерења је постигнута и оцена 3 за решетку), док је са повећаним уделом очвршћивача од 10,5 % дошло до побољшања за 0,3 јединице. Вредности оцене адхезије добијене методом решетке за термотретиране узорке на температури 194 °С и завршно обрušених нумрацијом брусног папира P150 се поклапају са вредностма које је Миклечић (2013) добио приликом испитивања адхезије полиакрилатних премаза на дрвету букве термотретираном на темпертурама 190 °С и 212 °С. До сличних резултата у својим истраживањима је дошао и Подгорски са сарадницима (2011).

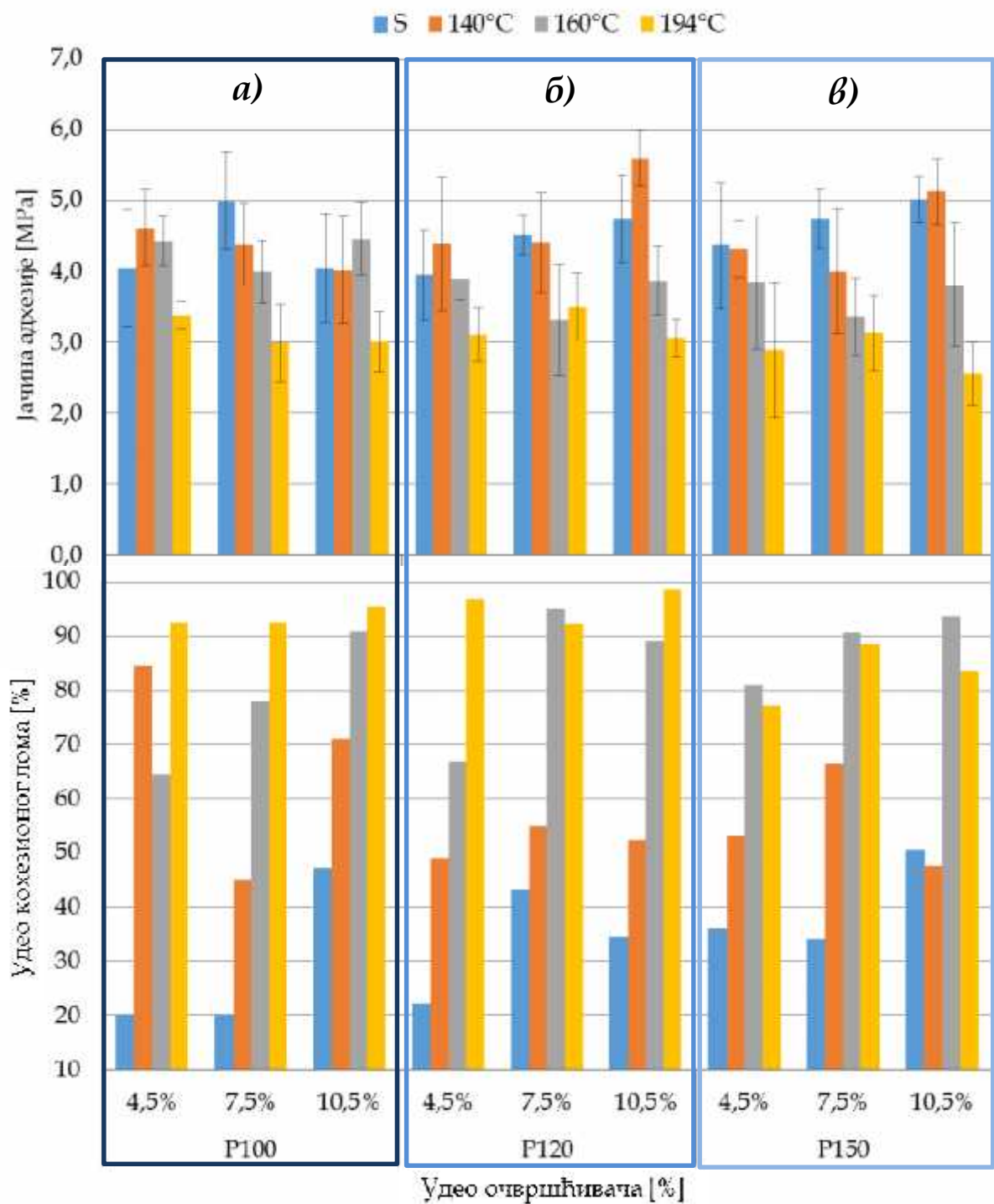


Слика 56. Оцена адхезије (метод решетке), а) контролни узорак; б) термотретирани узорак на 160 °C; в) термотретирани узорак на 140 °C; г) термотретирани узорак на 194 °C

5.3.3 Адхезија методом печатника

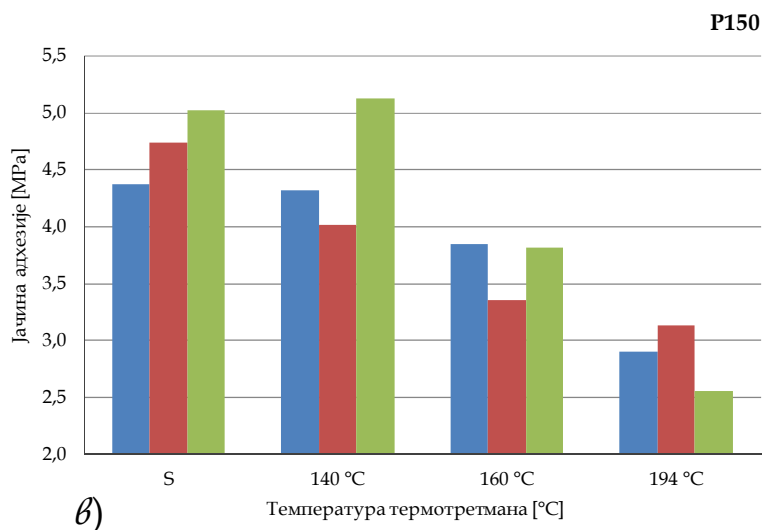
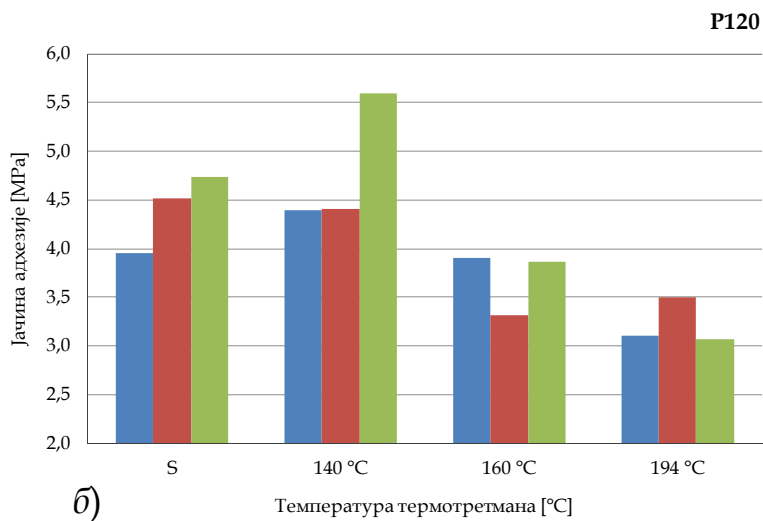
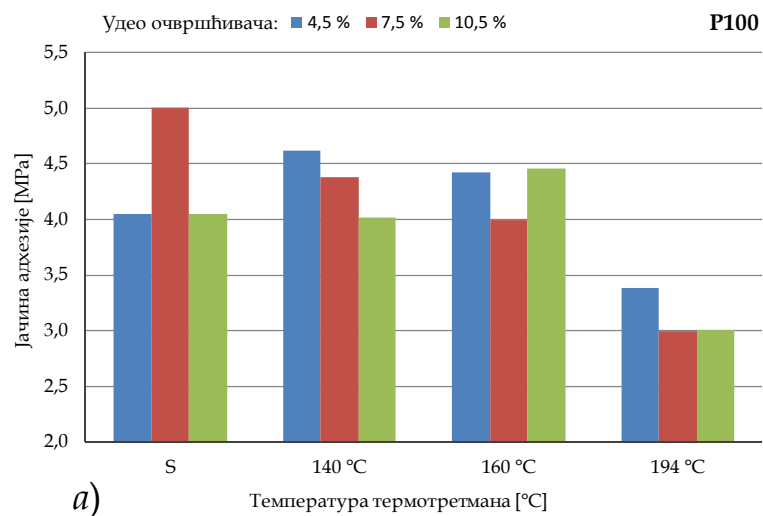
На слици 57 су приказане просечне вредности јачине адхезије (метод печатника) УВ акрилног премаза са различитим уделима очвршћивача за узорке дрвета букве нетретираних и термотретираних на температури 140°C, 160 °C и 194 °C, обрешени системима (P60 – P80 - P100 - n) са различитим завршним нумерацијама брусног папира (P100, P120 и P150), добијене на основу 10 мерења за сваку групу узорака. Појединачна мерења јачине адхезије методом печатника приказана су у прилогу (тачка 9.1, табела 5) за све комбинације узорака. Како лом није увек настајао између темељног премаза и дрвета, у истој табели су дате и вредности учешћа кохезивног лома у дрвету за свако мерење.

Највише вредности отпорности на кидање измерене су на термотретираним узорцима на температури 140 °C, завршно обрешени брусним папиром нумерације P120 и са уделом од 10,5 % очвршћивача у основном премазу. Просечне вредности отпорности на кидање за све групе узорака термички нетретираних и третираних на 140 °C износиле су 4,51 MPa и 4,54 MPa, са учешћем кохезивног лома у дрвету од 34 % и 58 % респективно, што потврђује да на температури термотретмана од 140 °C није дошло до значајнијих промена у дрвету букве. Применом температура термотретмана од 160 °C и 194 °C отпорност на кидање се значајно смањује и износи 3,89 MPa и 3,08 MPa, али се очекивано повећава и удео лома у дрвету на 83 % и 91 %, слика 57. Сличне резултате повећаног удела кохезивног лома на вишим температурама термотретмана у дрвету букве добио је у својим истраживањима и Миклечић (2013), као и Павлич (2009), али за термотретирано дрво белог бора (*Pinus sylvestris* L.).



Слика 57. Јачина адхезије (метод печатника) и удео кохезивног лома, а) завршно брушење папиром P100; б) завршно брушење папиром P120; в) завршно брушење папиром P150

Контролни - термички нетретирани узорци су за завршно брушење брусним папиром нумерације P120 и P150 показали повећање отпорности на кидање са повећањем удела очвршћивача у основном премазу, слика 58.

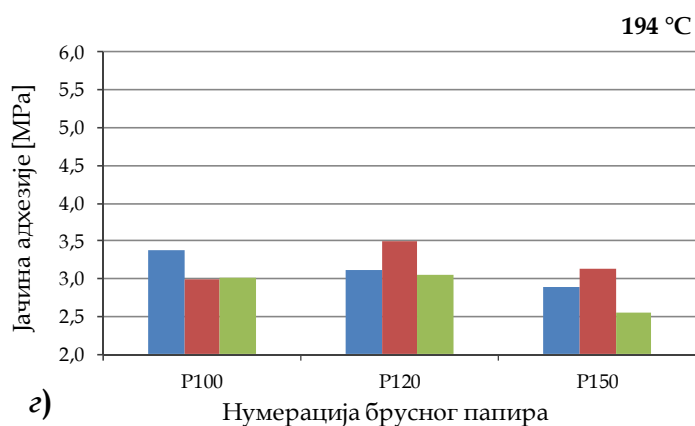
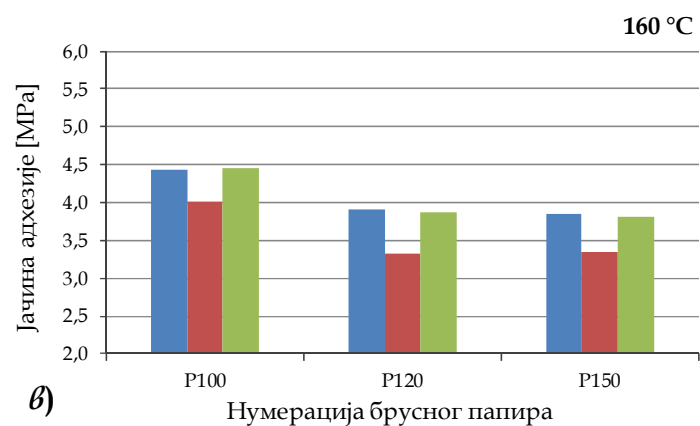
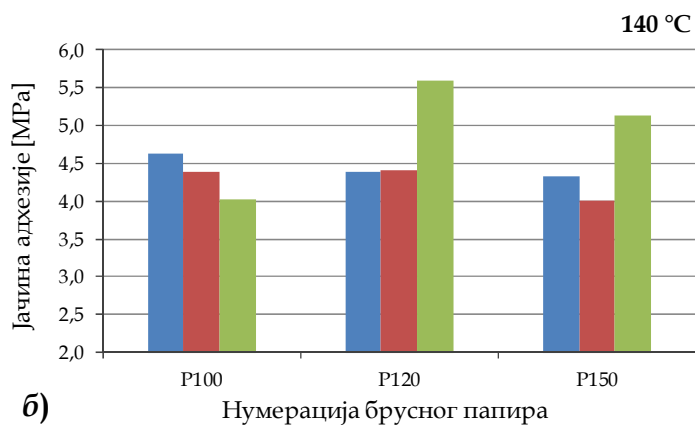
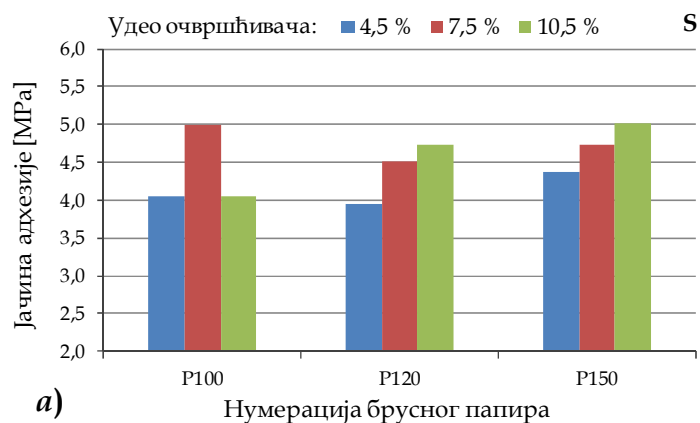


Слика 58. Јачина адхезије (метод печатника), а) завршно брушење папиром P100; б) завршно брушење папиром P120; в) завршно брушење папиром P150

Највиша вредност отпорности на кидање постигнута је завршним брушењем брусним папиром нумерације P100 и са стандардним уделом очвршћивача од 7,5 %, и износила је 5,17 MPa. Код узорака термотретираних на температури 140 °C највише вредности отпорности на кидање постигнуте су са највећим уделима очвршћивача у случају завршног брушења брусним папирима нумерације P120 и P150, и износиле су 5,60 MPa и 5,13 MPa.

Највише вредности отпорности на кидање на узорцима дрвета букве који су термотретирани на температури 160 °C добијене су за завршно брушење брусним папиром нумерације P100, док је за завршним брушењем од P120 и P150 отпорност на кидање била на уједначеном нивоу, слика 59. Карактеристично за ову групу узорака је да је формулација основног премаза са препорученим уделом очвршћивача дала најниже вредности отпорности на кидање, док је отпорност на кидање за мањи и већи удео очвршћивача од стандардног били на приближно истим вредностима за све системе брушења.

За термотретиране узорке на температури 194 °C најниже вредности отпорности на кидање су добијене за узорке завршно обрुшене брусним папиром нумерације P150, али је и учешће кохезивног лома у дрвету за ову групу узорака ниже у односу на остала два система брушења. Како је просечно учешће кохезивног лома у дрвету за ову групу узорака на јако високом нивоу од чак 91 %, овде се више може рећи о измењеним механичким својствима самог термотретираног дрвета букве, него о јачини адхезије самог премаза. Туркулин и сарадници (2002) су у својим истраживањима закључили да механичка својства подлоге дрвета смрче (*Picea abies* K.) на коју је премаз нанет имају битан утицај на јачину адхезије измерене методом печатника. Може се рећи да је овај утицај још израженији у случају термотретираног дрвета услед повећане кртости. Слична појава се дешава и код термички нетретираних дрвених врста са изразито слабим кохезивним везама када овом методом није могуће добити прецизне податке о величини адхезије (Јаић и др., 2010b).



Слика 59. Јачина адхезије (метод печатника), а) контролни узорак; б) термотретирани узорак на 160 °C; в) термотретирани узорак на 140 °C; г) термотретирани узорак на 194 °C

6. ЗАКЉУЧЦИ

Имајући у виду да су ранија истраживања већ потврдила лош утицај термотретмана на адхезију различитих типова премаза а који у индустријским условима није довољно испитан, у овом раду су спроведена испитивања утицаја подлоге од термотретманог дрвета букве (*Fagus moesiaca* C.) на јачину адхезије УВ акрилног премаза, са циљем побољшања исте. Да би се одредили оптимални параметри лакирања у индустријским условима анализирани су утицаји припреме површине термотретманог дрвета букве различитим системима брушења (променом нумерације брусног папира завршног степена брушења: P100, P120 и P150), температуре централне фазе термотретмана (140 °C, 160 °C и 194 °C) и додатка различитог удела очвршћивача (4,5%, 7,5% и 10,5%) темељном УВ акрилном премазу.

На основу добијених резултата могу се донети следећи закључци:

Храпавост Ra измерена управно на правац дрвних влаканаца очекивано опада применом финије гранулације брусног папира током завршне фазе брушења и код нетретманог и код термотретраних узорака на свим температурама, осим код узорака термотретраних на температури 194 °C, где је завршно брушење нумерацијом брусног папира P120 дало већу храпавост у односу на завршно брушење нумерацијом брусног папира P100.

Само у случају завршног брушења нумерацијом брусног папира P120 уочен је пораст храпавости Ra са порастом температуре термотретмана од 140 °C до 194 °C, што може бити последица ломљења и кидања ћелијских зидова дрвних влаканаца на површини подлоге услед деградације дрвног ткива дејством термотретмана. Такође храпавост Ra измерена паралелно са правцем дрвних влаканаца се генерално повећава повећањем температуре термотретмана.

Поређењем храпавости Ra може се закључити да је храпавост управно на влаканца 1,55 до 1,95 пута већа у односу на храпавост у правцу дрвних влаканаца за термички нетретмане узорке. Такође овај однос опада повећањем

температуре термотретмана, тако да је однос најмањи за највишу температуру од 194 °C. У случају завршног брушења брусним папиром P120, долази до изједначавања овог односа за све температуре у термичком третману, и то на вредност од око 1,6. Наведене констатације потврђују да је термичка модификација дрвета букве утицала на храпавост R_a површине чиме је потврђен сегмент прве хипотезе.

У посматраним индустријским условима време које је потребно да протекне од тренутка наношења темељног УВ акрилног премаза до тренутка његовог очвршћавања дејством УВ лампе износило је око 6 секунди, услед чега су вредности контактног угла добијене након 5 -те секунде најзначајније са становишта оцене способности квашења.

Након 5 секунди, генерално контактни угао у односу на почетни се смањује у просеку за 50 % за све формулације темељног премаза код свих термотретираних узорака и за све системе брушења и полако се приближава вредностима за воду.

Повећањем удела очвршћивача у основном премазу повећавао се и контактни угао квашења, тако да је највише вредности имао за удео очвршћивача од 10,5% и углавном додатно растао повећањем температуре термотретмана од 140 °C до 195 °C. Такође, контактни угао квашења водом расте са повећањем температуре централне фазе термотретмана као последица деградације хемицелулоза услед дејства термотретмана коју су потврдили резултати ФТИР анализе, чиме је потврђена друга хипотеза.

Изабрани систем завршног брушења није имао значајан утицај на вредности контактног угла квашења основног премаза измереног након 5 секунди, док се контактни угао квашења водом повећавао применом финије гранулације током завршне фазе брушења.

Измерена боја на узорцима пре лакирања показује јасну зависност L и a координате боје од температуре у централној фази термотретмана. Вредност L координате опада са повећањем примењене температуре, што потврђује

промену боје ка тамнијој нијанси повећањем температуре термотретмана, док вредност координате a расте са повећањем температуре термотретмана.

Најслабија адхезија методом решетке добијена је за температуру термотретмана од 194 °C, док је најбоља адхезија постигнута на термички нетретираним узорцима, чиме је потврђен негативан утицај термотретмана на адхезију УВ акрилног премаза.

Применом финије завршне гранулације код термотретираних узорака на највишој температури дошло је до смањења адхезије, тако да су најслабији резултати постигнути завршним брушењем брусним папиром нумерације P150 и износили су у просеку 1,8 јединица. Најслабија адхезија је постигнута са уделима очвршћивача од 4,5 и 7,5 % (1,9 јединица), док је са повећаним уделом очвршћивача од 10,5 % дошло до побољшања адхезије за 0,3 јединице.

Код узорака припремљених завршним брушењем брусним папиром нумерације P120 нађена је зависност између удела очвршћивача у основном премазу и оцене решетке, тако да за контролне узорке и узорке термотретираних на температури 140 °C и 194 °C долази до израженог повећања адхезије са повећањем удела очвршћивача у основном премазу што је у складу са претпоставком изнетој у трећој хипотези, осим у случају термотретираних узорка на 160 °C код којих је констатован супротан тренд.

Потврђена је претпоставка да се мерењем боје термотретираних дрвета на различитим температурама може предвидети адхезија УВ акрилног премаза на овом типу подлоге применом утврђене корелације између измерене L компоненте боје и оцене адхезије методом решетке ($y = -0,0316x + 2,7683$, y - оцена адхезије, x - L компонента боје након брушења).

Применом методе печатника установљено је да је адхезија на термотретираним узорцима већа од кохезивне везе самог дрвета, али се нису могле одредити њене прецизне вредности. Удео кохезивног лома у дрвету је растао са повећањем температуре термотретмана, и очекивано највиша вредност од 91 % је утврђена на температури 194 °C, као последица опадања механичке чврстоће дрвета услед дејства термотретмана.

Повећање отпорности на кидање повећањем удела очвршћивача у основном премазу било је карактеристично за термички нетретирани узорке завршно брушене брусним папирима нумерације P120 и P150.

Након свега што је изнето може се закључити да јачина адхезије може бити критична за узорке термотретирани на температурама 160 °C и 194 °C, поготово на температури од 194 °C. У циљу постизања што јаче адхезије за дрво букве термотретирани на температури од 194 °C препорука је да се у процесу лакирања обави завршно брушење брусним папиром нумерације P120, а да се у темељни премаз дода 10,5% очвршћивача. Друга опција која би задовољила захтеве за дужим временом рада брусне траке, а уједно допринела и смањивању потрошње очвршћивача, подразумева завршно брушење брусним папиром P100 и коришћење темељног премаза са уделом очвршћивача од 4,5%, уз напомену да ова гранулација брусног папира може бити ризична са аспекта настајања одређених грешака лакирања (груба површина, оштећене ивице...). У случају лакирања дрвета букве термотретирани на температури 160 °C треба користити у фази завршног брушења брусни папир нумерације P120 уз могућност смањења удела очвршћивача са препоручених 7,5% на 4,5% у темељном премазу.

7. ПРЕДЛОЗИ ЗА БУДУЋА ИСТРАЖИВАЊА

Предлог је да се у следећим испитивањима употреби нека нова метода или прилагоди метода печатника како би се прецизније квалитативно одредила јачина адхезије премаза и на подлогама од дрвета термотретираног на вишим температурама. У случају методе печатника треба прилагодити правац дејства силе кидања, тј. да он буде паралелан са правцом пружања дрвних влакана како би се смањило учешће кохезивног лома.

Будућа истраживања се могу наставити и у смислу испитивања адхезије УВ акрилног премаза на термотретираном дрвету након извесног времена употребе финалног производа у ентеријеру, тј. након излагања дејству микроклиматских фактора, пре свега релативне влаге ваздуха и температуре.

Како боја термотретираног дрвета може утицати на различити ниво апсорпције УВ зрака током проласка предмета обраде кроз зону УВ лампи, потребно је испитати како боја термотретираног дрвета односно изабрана температура током централне фазе термичког процеса има утицај на процес очвршћавања премаза а самим тим и на својства очврслог филма премаза.

У овом раду су испитани одређени утицаји на адхезију УВ акрилног премаза на нашој најзначајнијој индустријској врсти дрвета – букви. Али како буква није једина врста која се термотретира, и друге врсте дрвета а пре свега храст и јасен треба детаљно испитати и дати препоруку процесних параметара за изабрани систем лакирања и изабране температуре термотретмана.

У пракси приликом површинске обраде термотретираног дрвета честа је употреба и бајцева у циљу добијања модерних визуалних ефеката обрађене површине. Употреба бајца додатно може повећати ризик настанка деламинације премаза, проузроковане слабијом адхезијом, па би се наредним испитивањима могло детаљније истражити утицај комбинације термотретираног дрвета и бајца на квалитет очврслог филма премаза.

8 ЛИТЕРАТУРА

Авојеми Л. и Јонес И.П. (2010): *Anatomical explanations for the changes in properties of western red cedar (Thuja plicata) wood during heat treatment*, Wood Science and Technology DOI 10.1007/s000226-010-0315-9.

Аидемир Д., Гундуз Г., Алгунтас Е., Ертас М., Сахин Т., Алма М.Х. (2011): *Investigating changes in the chemical constituents and dimensional stability of heat-treated hornbeam and uludag fir wood*, BioResources, 6(2):1308-1321.

Акзо Нобел, Safety data sheets GB 55897 HÄRDARE 55897 2005-10-05.

Акзо Нобел, Safety data sheets GB 57583 IS 485 UV SEALER 2005-10-05.

Арнолд М. (2010): *Planing and Sanding of Wood Surfaces – Effects on Surface Properties and Coating Performance*, PRA's 7th International Woodcoating Congress.

АСТМ Д3359:2002 - *Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test*.

АСТМ Д5403:1993 – *Standard Test Methods for Volatile Content of Radiation Curable Materials*.

Бажер - MaterialScience (2010): *Presentation of Sales Force Training*.

Банковић С., Медаревић М., Панћић Д., и Петровић Н. (2009): *The National Forest Inventory of the Republic of Serbia – the growing stock of the Republic of Serbia*, Ministry of Agriculture, Forestry and Water Management of the Republic of Serbia, Forest Directorate. Belgrade, p 238.

Бекта П. и Нимц П. (2003): *Effect of high temperature on the change of color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood*, Holzforschung. 57, 539-546.

Биркле, Operating manuals and plans of Lackering line.

Бјарнстад С. и Далман О. (2002): *Chemical compositions of hardwood and softwood pulps employing photoacoustic Fourier transform infrared spectroscopy in combination with partial least-squares analysis*. Analytical Chemistry 2002 Nov; 74(22): 5851-5858.

Бодирлау Р., Спиридон И., Теака Ц. А. (2007): *Chemical investigation of wood tree species in temperate forest in east-northern Romania*, BioResources 2(1), 41-45.

Брок Т., Гротеклес М., Мишке П. (2000): *European Coatings Handbook*, Vincentz Verlag, Hannover, Germany.

Бросе Н., Ел Хаге Р., Шоуш М., Петрисанс М., Думарсе С. и Жерардин П. (2010): *Investigations of the chemical modifications of beech wood lignin during heat treatment*, *Polym Degrad Stab*, 95(9), 1721-1726.

Булиан Ф. и Грейстон Ж. А. (2009): *Wood coatings - theory and practice*, Elsevier, Amsterdam.

Бунстра М. Ј., Риздик Ј., Сандер Ц, Кегел Е., Тјердсма Б., Милиц Х., Ван Акер Ј. и Стевенс М. (2006б): *Physical aspects of heat-treated wood. Part II. Hardwoods*, *Maderas. Ciencia y tecnologia*. 8, 209-217.

Бунстра М. Ј., Риздик Ј., Сандер Ц., Кегел Е., Тјердсма Б., Милиц Х., Ван Акер Ј. и Стевенс М. (2006а): *Physical aspects of heat-treated wood. Part I. Softwoods*, *Maderas. Ciencia y tecnologia*. 8, 193-208.

Ван де Марк М. (2003): *The importance of pH in waterbornes*, *Coatings R&D Netebook*, PCI Paint & Coatings Industry.

Вернуа М. (2000): *Heat treatment of wood in France—state of the art*, Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Paris, France.

Викс З., Цонс Ф., Папас П., Викс Д. (2007): *Organic Coatings: Science and Technology, Third Edition*, John Wiley and Sons.

Вилотић М. Д. (2000): Упоредна анатомија дрвета, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд.

Виндајзен Е. и Вегенер Г. (2008): *Behaviour of lignin during thermal treatments of wood*, *Ind Crop Prod* 27, 157-162.

Виндајзен Е., Стробел Ц., Вегенер Г. (2007): *Chemical changes during the production of thermo-treated beech wood*, *Wood Sci. Technol.* 41, 523-536.

Витаниеми П. (2000): *New properties for thermally-treated wood*, *Indust. Horizons*, March: 9.

Гиндл М., Син Г., Станзл - Тчег С. (2006): *The effects of ultraviolet light exposure on the wetting properties of wood*, *Journal of Adhesion Science and Technology* 20/8, 817-828.

Голдшмит А., Страјтбергер Х. Ј. (2003): *Basics of Coating Technology - BASF Handbook*, Hannover, Germany.

Дамјанац М. (2010): *Опрема и технологија за производњу термодрвета у предузећу „Tarkett“ Бачка Паланка*, дипломски рад, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд.

де Меијер М. (2004): *A review of interfacial aspects in wood coatings: wetting, surface energy, substrate penetration and adhesion*, COST E18 Final Seminar, 26-27 April, Paris, France.

де Моура Л. Ф. и Ернандез Р. Е., (2006): *Effects of abrasive mineral, grit size and feed speed on the quality of sanded surfaces of sugar maple wood*, Wood Sci Technol 40(6): 517-530.

де Моура Л. Ф., Брито Ј. О., Ноласко А. М., Улиана Л. Р. (2011): *Effect of thermal rectification on machinability of Eucalyptus grandis and Pinus caribaea var. hondurensis woods*. European Journal of Wood and Wood Products 69(4):641-648.

де Моура Палермо Г. П., де Фигуредо Латорака Ј. В., де Моура Л. Ф., Ноласко А. М., де Карваљо А. М., Гарсија Р. А. (2014): *Surface roughness of heat treated Eucalyptus grandis wood*, Maderas. Ciencia y tecnología 16(1): 3 -12.

Дробни Ј. Г. (2010): *Radiation Technology For Polymers*, New York.

Естевес Б. М., Переира Х. М. (2009): *Wood modification by heat treatment: a review*, BioResources, 4(1):370-404.

Естевес Б., Велез Маркез А., Домингос И., Переира Х. (2013): *Chemical changes of heat treated pine and eucalypt wood monitored by FTIR*, Maderas, Ciencia y tecnología 15(2): 245-258.

Инари Г. Н., Петрисанс М., Жерардин П. (2007): *Chemical reactivity of heat-treated wood*, Wood Science and Technology, 41(2):157-168.

Јаић М., Добић Ј., Палија Т. (2010а): *The influence of surface finishing of Paulownia Siebold et Zucc. on the mechanical properties of lacquered surface*. Bulletin of the Faculty of Forestry 102: 7-24.

Јаић М., Живановић Р., Стефановић-Јанежић Т., Декански А. (1996): *Comparison of surface properties of Beech and Oakwood as determined by ESCA method*, Holz als Rohs - und Werkstoff 54, Springer -Verlag (37-41).

Јаић М., Живановић-Трбојевић Р. (2000): *Површинска обрада дрвета*, Београд.

Јаић М., Палија Т., Добић Ј. (2010б): *Утицај система брушења PAULOWNIA SIEBOLD ET ZUCC. на способност квашења*, Гласник Шумарског факултета 101, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Београд(67-80).

- Јаић М., Палија Т., Ђорђевић М. (2014): *The impact of surface preparation of wood on the adhesion of certain types of coatings*, *Zaštita Materijala* 55, broj 2.
- Јамса С. и Витаниеми П. (2001): *Heat treatment of wood – Better durability without chemicals*, In. Proceedings of special seminar held in Antibes, France.
- Јахан М. С., Саид А., Хе З. Ни И. (2011): *Jute as raw material for the preparation of microcrystalline cellulose*. *Cellulose*, 18, 451–459.
- Јилдиз С. (2002): *Physical, mechanical, technological and chemical properties of beech and spruce wood treated by heating*, PhD dissertation Karadeniz Tech. Univ., Trabzon, Turkey.
- Јовановић Б. (2000): *Дендрологија*, Универзитетска штампа, Београд.
- Кокафе Д., Пончак С., Доре Г., Ионси Р. (2008): *Effect of heat treatment on the wettability of white ash and softmaple by water*, *Holz Roh Werkst* (2008) 66: 355–361.
- Колеске Ј. В. (2002): *Radiation Curing of Coatings*, Printed in Bridgeport.
- Колом Х., Кариљо Ф., Ногес Ф., Гарига П., (2003) *Structural analysis of photodegraded wood by means of FTIR spectroscopy*. *Polymer Degradation and Stability* 80(3): 543-549.
- Коркут С. Д. и Гилер Б. (2008b): *The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of Red-bud maple (Acer trautvetteri Medw.) wood*, *Biores. Technol.* 99, 2846-2851.
- Коркут С. Д., Алма М. Х., Елилдимир И. К. (2009): *The effects of heat treatment on physical and technological properties and surface roughness of European Hophornbeam (Ostrya carpinifolia Scop.) wood*, *African Journal of Biotechnology* Vol.8 (20), pp. 5316-5327.
- Коркут С. Д., Хизироглу С., Аитин А. (2013): *Effect of heat treatment on surface characteristics of wild cherry wood*, *BioResources*, 8(2):1582-1590.
- Котилаинен Р. (2000): *Chemical changes in wood during heating at 150-260 °C*, Ph.D. Thesis, Javaskyla University, Javaskyla.
- Кул Ј. и Ернандез Р. Е. (2011): *Improving the sanding process of black spruce wood for surface quality and water-based coating adhesion*, *Forest Prod. J.* 61(5):372–380.
- Кумар А., Неги И. С., Чаудри В., Бардвич Н. К. (2014): *Characterization of Cellulose Nanocrystals Produced by Acid-Hydrolysis from Sugarcane Bagasse as Agro-Waste*. *Journal of Materials Physics and Chemistry*, 2(1), 1-8.

- Међународна асоцијација за термодрво (2014): *Production statistics*.
- Миклечић Ј. (2013): *Postojanost poliakrilatnih nanopremaza na toplinski modificiranom drvu*, Doktorski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Милиц Х. и Тјердсма Б. (2000): *Heat treatment of wood by the PLATO-Process*, SHR Timber Research, Wageningen, The Netherlands and Institute of Wood Biology and Wood Technology, University Göttingen, Germany.
- Николов С. (1967): *Isledvanio v vrhu strukturata i fizičko-mehaničkite svojstva na buka (Fagus sylvatica L.) ot različni formi v Bulgaria*, Sofia.
- Нимц П., Хофман Т. и Ретфалви Т. (2010): *Investigation of chemical changes in the structure of thermally modified wood*, Maderas y Science Tecnologia. 12 (2), 69-78.
- Павлич М. (2009): *Lastnosti površinskih premazov v odvisnosti od njihovih interakciji s termično modificiranim lesom*, Doktorska disertacija, Biotehniška fakulteta-Univerza v Ljubljani, Oddelek za lesarstvo.
- Палија Т. (2015): *Uticaј polielektrolita na interakciju drveta i vodorazredivih premaza*, Doktorska disertacija, Šumarski fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Пандеј К.К., Питмен А.Ј., (2003): *FTIR studies of the changes in wood following decay by brown-rot and white-rot fungi*. International Biodeterioration and Biodegradation 52, 151–160.
- Петрич М., Кнехл Б., Краус А., Милиц Х., Павлич М, Петрисанс М., Рап А., Томажић М., Велцбахер Ц., Жерардин П. (2007): *Wettability of waterborne coatings on chemically and thermally modified pine wood*, J. Coat. Technol. Res., 4 (2) 203–206.
- Подгорски Л., Грил Г., Трускалер М., Ланвин Ј. Д., Болмус С. (2011): *Wet and dry adhesion of coatings on modified and unmodified wood: influence of 18 months of natural weathering on the pull-off test and cross-cut test results*, In: Proceedings of the 42nd Annual.
- Подгорски Л., Џорџ В., Кондоминс Н., Ланвин Ј. Д. (2004): *Adhesion measurements methods*, Cost E18-Wood and coating systems for wood, Symposium on measurement methods.
- Попадић Р. и Тодоровић Н. (2008): *Uticaј visokotemperaturnog tretmana na neka fizička svojstva bukovog drveta*, Prerada drveta (23), 5–10.

Поповић З., Тодоровић Н., Попадић Р. и Нешовановић Б. (2009): *Uticaj visokotemperaturnog tretmana na neka svojstva bukovog drveta iz predela iz beljike i lažne srčevine*, Prerada drveta 29, 5 – 13.

Рап А. О. и Сајлер М. (2000): *Heat treatment of wood in Germany state of the art*, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, Germany.

Рицо М. и Бруно Г. (2009): *Surface Coatings*, Nova Science Publishers, Inc., New York.

Ровел Р. М. (2005): *Handbook of wood chemistry and wood composites: Part III, Chapter 9*, edited by Roger M. Rowell.

Роза С. М. Л., Рејман Н., Де Миранда М. И. Г., Натигал С. М. Б. и Бица Ц. И. Д. (2012): *Chlorine-free extraction of cellulose from rice husk and whisker isolation*. Carbohydrate Polymers, 87, 1131–1138.

Сатиамурти П., Џаин П., Баласубраманиа Р. Х. и Вињешваран Н. (2011): *Preparation and characterization of cellulose nanowhiskers from cotton fibres by controlled microbial hydrolysis*. Carbohydrate Polymers, 83, 122–129.

СРПС ЕН 2409:2010 Воје и лакони - Испитивање унакрсним просецањем.

СРПС ЕН 2431:2007 Воје и лакони - Одређивање времена истичања помоћу посуда за истичање.

СРПС ЕН 3251:2012 Воје, лакони и пластичне масе - Одређивање садржаја неиспарљивих материја.

СРПС ЕН 4624:2005 Воје и лакони - Испитивање прирањања откидањем.

СРПС ЕН ИСО 2808:2011 Воје и лакони – Одређивање дебелине филма.

СРПС ЕН ИСО 2811-1:2007 Воје и лакони - Одређивање густине - Део 1: Метода помоћу пикнометра.

СРПС ЕН ИСО 4288:2009 Геометријска спецификација производа (GPS) - Површинске текстуре: Метода профила - Правила и поступци за оцењивање површинске текстуре.

СРПС ИСО 7724-2:2012 Воје и лакони - Кolorиметрија - Део 2: Мерење обојења.

Стевановић-Јанежић Т. (1993): *Хемија дрвета са хемијском прерадом*, Југославијапублик, Београд.

Тјердсма Б. и Милиц Х. (2005): *Chemical changes in hydroheat wood: FTIR analysis of combined hydroheat and dry heat-treated wood*, Holz Roh-Werkst 63, 102-111.

Тодоровић Н., Поповић З., Милић Г., Попадић Р. (2012): *Estimation of heat-treated Beechwood properties by color chang*, „Heat treated beechwood“, BioResources 7(1), 799-815.

Трактон А. А. (2007): *Coatings Materials And Surface Coatings, Chapter I - Acrylic Polymers* Taylor & Francis Group, New York.

Туркулин Х., Ричтер К., Сел Ј. (2002): *Adhesion of water-borne acrylic and hybrid paint on wood treated with primers*. Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions, 85(4):273-280.

Унсал О. и Аирлимис Н. (2005): *Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish river red gum (Eucalyptus camaldulensis) wood*, J. of Wood Sci. 51, 405-409.

Фенгел Д. и Вегнер Г. (2003): *Wood chemistry, ultrastructure, reactions*, Kessel Verlag, Remagen.

Финска асоцијација за термодрво (2003): *Therewood Handbook*, Helsinki.

Хакоу М., Петрисанс М., Ел Бакали., Жерардин П., Зоулалиан А. (2005): *Wettability changes and mass loss during heat treatment of wood*, Holzforschung, 59:35-37.

Хуанг К., Кокафе Д., Болук И., Кокафе И., Пишет А. (2012): *Effect of surface preparation on the wettability of heat-treated jack pine wood surface by different liquids*, Eur. J. Wood Prod.

Џинчић И. (2005): *Утицај режима обраде глодањем и брушењем на квалитет обрађене површине масивног буковог дрвета*, Прерада дрвета 09-10, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд (18-22)

Швалм Р. (2006): *UV coatings, Basics, Recent Developments and New Applications*, Elsevier Science.

Ши С. К. и Гарднер Д. Ј. (2001): *Dynamic adhesive wettability of wood*. Wood and Fiber Science. 33 (1): 58-68

Шошкић Б., Поповић З. (2002): *Својства Дрвета*, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд.

<http://biomateriales.org/blog/2011/09/angulo-de-contacto-en-nanoparticulas/>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Wetting>

9. ПРИЛОЗИ

9.1 Табеларни приказ резултата

Табела 1. Храпавости (R_a) термотретираних узорака букве на различитим температурама за различите гранулације завршног брушења

Температура термотретмана [°C]	Гранулација завршног брушења	Правац мерења	Вредности параметра храпавости R_a [μm]								Просек R_a [μm]
			Редни број мерења								
			1	2	3	4	5	6	7	8	
S *	P100	⊥	6,907	6,694	6,397	6,048	6,071	6,179	6,334	6,581	6,401
			3,485	2,625	3,670	3,583	3,492	3,909	4,368	3,960	3,637
	P120	⊥	5,002	5,514	5,521	4,990	5,609	5,883	5,455	5,233	5,401
			2,402	3,005	2,900	3,215	2,467	2,934	2,213	3,049	2,773
	P150	⊥	3,585	3,802	4,287	4,327	3,567	4,577	4,771	4,075	4,124
			2,861	2,257	2,562	2,764	2,370	2,975	2,860	2,669	2,665
140	P100	⊥	6,597	6,429	6,075	7,115	6,210	6,798	6,859	6,399	6,560
			3,925	3,602	3,718	3,848	3,174	3,531	4,452	4,851	3,888
	P120	⊥	5,507	5,215	5,145	5,349	5,912	5,792	5,588	5,681	5,524
			2,780	2,705	3,117	3,497	4,147	3,792	4,317	2,965	3,415
	P150	⊥	5,506	5,364	5,222	5,298	4,904	4,320	4,371	4,178	4,895
			3,134	3,879	2,364	2,773	2,869	2,823	2,620	3,357	2,977
160	P100	⊥	6,890	7,477	6,989	6,257	6,196	6,102	6,186	5,960	6,507
			4,927	3,709	3,874	3,281	3,153	4,052	3,377	4,177	3,819
	P120	⊥	6,469	6,016	6,370	6,271	5,572	5,840	6,359	6,639	6,192
			4,022	4,055	2,870	4,565	2,865	4,140	4,097	4,208	3,853
	P150	⊥	4,706	4,580	5,770	4,326	4,096	4,371	5,120	4,770	4,717
			3,042	3,282	3,084	2,401	2,721	2,520	2,892	3,630	2,947
194	P100	⊥	5,980	6,070	6,098	6,188	6,100	6,001	5,893	6,331	6,083
			4,563	3,817	3,672	4,616	4,147	3,493	4,617	4,232	4,145
	P120	⊥	6,181	5,905	5,695	6,362	6,391	6,664	7,023	6,703	6,366
			3,878	4,266	3,044	4,080	4,336	4,178	4,245	3,564	3,949
	P150	⊥	3,885	3,725	3,985	4,325	4,350	4,579	4,746	4,607	4,275
			2,481	2,279	3,851	3,332	3,993	2,953	2,896	3,143	3,116

*S – контролни – нетретирани узорак

Табела 2. Вредности координата боје након брушења термотретираних узорака дрвета букве на различитим температурама, за завршно брушење брусним папиром нумерације P120

Температура термотретмана [°C]	Координате боје	Вредности координате боје										Просечна вредност
		Редни број мерења										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
s	<i>L</i>	73,79	72,86	74,44	74,20	71,00	71,45	71,71	75,26	74,92	74,74	73,44
	<i>a</i>	7,61	7,85	7,34	7,43	8,01	7,98	8,06	7,23	7,24	7,25	7,60
	<i>b</i>	14,87	15,16	14,52	14,79	15,71	15,55	15,46	15,69	15,70	15,70	15,32
140	<i>L</i>	63,76	63,04	63,13	69,58	69,78	69,32	67,65	67,38	67,66	68,61	66,99
	<i>a</i>	9,41	9,48	9,45	8,61	8,41	8,58	8,60	8,65	8,60	8,28	8,81
	<i>b</i>	21,31	21,15	21,04	20,63	20,52	20,58	20,89	20,96	21,11	20,80	20,90
160	<i>L</i>	53,33	54,65	54,40	54,10	53,68	53,00	54,13	53,18	54,49	55,30	54,03
	<i>a</i>	10,49	10,36	10,16	10,87	10,83	10,92	9,97	10,38	10,50	9,91	10,44
	<i>b</i>	22,51	22,41	22,33	23,31	23,11	23,12	22,56	21,98	22,77	22,61	22,67
194	<i>L</i>	41,89	41,58	41,82	39,31	39,52	38,72	38,74	41,21	41,06	42,95	40,68
	<i>a</i>	10,96	12,39	12,20	11,25	11,50	10,97	10,99	11,64	11,66	11,60	11,52
	<i>b</i>	20,35	20,72	20,63	19,83	20,20	19,46	19,46	21,08	20,86	21,58	20,42

Табела 3. Контактни угао квашења воде и основног премаза са различитим уделима очвршћивача на узорцима дрвета букве термотретираним на различитим температурама, за различите нумерације завршног брушења

Температура термотретмана [°C]	Гранулација завршног брушења	Удео очвршћивача у основном премазу [%]	Контактни угао [°]					
			Време протекло од испуштања капи [s]					
			1	5	10	15	20	25
S	P100	Вода	71,29	45,55	35,56	29,74	25,55	21,41
		4,5	100,16	46,87	35,59	30,56	27,28	24,21
		7,5	92,91	49,85	39,16	35,01	31,11	27,89
		10,5	100,73	55,35	38,76	31,06	27,02	23,90
	P120	Вода	67,68	47,50	41,00	32,95	27,27	28,07
		4,5	102,43	53,82	44,07	40,78	39,44	34,68
		7,5	92,99	50,65	39,00	32,61	29,30	26,25
		10,5	98,65	48,09	36,84	30,60	26,36	22,95
	P150	Вода	63,38	47,94	41,41	36,19	30,25	24,48
		4,5	91,16	47,33	37,87	32,54	29,22	26,90
		7,5	92,01	46,11	38,95	32,74	28,53	24,99
		10,5	97,42	50,79	41,76	37,54	35,63	32,23
140	P100	Вода	59,84	37,92	28,90	24,99	21,64	20,74
		4,5	90,40	53,28	34,43	31,35	28,05	22,04
		7,5	93,45	51,10	40,48	34,03	30,82	25,59
		10,5	98,42	50,60	40,02	34,68	30,75	27,29
	P120	Вода	69,16	53,32	47,86	42,15	38,50	33,88
		4,5	91,14	46,29	36,91	31,56	26,39	23,59
		7,5	91,88	45,43	34,14	28,41	24,04	21,50
		10,5	99,10	53,30	41,21	34,08	28,67	25,46
	P150	Вода	73,41	58,62	53,63	50,76	46,74	42,68
		4,5	89,98	46,10	37,87	32,79	29,59	26,53
		7,5	99,04	46,27	35,64	29,58	25,94	21,53
		10,5	109,88	67,59	57,69	52,34	47,42	42,99
160	P100	Вода	77,32	58,27	49,59	45,27	41,70	37,99
		4,5	94,74	44,03	34,49	26,82	23,43	20,09
		7,5	102,98	48,54	37,16	30,93	26,77	23,27
		10,5	98,54	55,24	45,31	40,31	37,74	34,42
	P120	Вода	68,89	45,58	35,17	30,91	27,97	25,02
		4,5	93,30	46,35	36,41	32,25	28,27	23,55
		7,5	94,50	52,16	40,98	34,68	31,32	27,89
		10,5	98,08	55,45	44,08	38,55	34,84	30,73
	P150	Вода	71,37	55,74	50,04	46,37	43,93	41,28
		4,5	85,20	40,98	32,49	27,88	23,91	20,65
		7,5	96,18	47,02	38,63	32,78	30,24	28,17
		10,5	101,98	67,99	53,98	48,04	42,82	36,31
194	P100	Вода	85,18	68,78	62,69	59,27	54,91	51,74
		4,5	91,86	42,54	32,89	27,57	24,42	21,27
		7,5	102,29	53,96	42,29	36,81	32,60	29,17
		10,5	103,97	55,01	41,60	37,34	33,96	31,05
	P120	Вода	83,92	69,14	62,07	57,20	54,04	50,94
		4,5	99,71	41,32	30,61	24,96	21,42	16,24
		7,5	98,60	56,03	43,94	39,16	35,35	31,82
		10,5	111,29	60,98	47,39	41,48	37,74	34,26
	P150	Вода	78,37	69,46	64,72	60,63	56,90	53,81
		4,5	89,83	39,96	32,19	28,36	24,04	21,31
		7,5	95,66	54,17	45,58	40,89	37,56	34,14
		10,5	103,69	51,64	38,88	33,98	30,25	26,99

Табела 4. Оцена адхезије методом решетке термотретираних узорака дрвета букве на различитим температурама, за различите гранулације завршног брушења и за различите уделе очвршћивача у основном премазу

Температура термотретмана [°C]	Гранулација завршног брушења	Удео очвршћивача у основном премазу [%]	Оцена адхезије, методом решетке										Просек оцене
			Редни број мерења										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
S	P100	4,5	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0,40
		7,5	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0,60
		10,5	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0,40
	P120	4,5	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0,50
		7,5	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0,30
		10,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	P150	4,5	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0,70
		7,5	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0,70
		10,5	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0,50
140	P100	4,5	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0,70
		7,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0,90
		10,5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,90
	P120	4,5	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0,80
		7,5	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0,50
		10,5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0,20
	P150	4,5	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0,70
		7,5	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0,70
		10,5	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0,50
160	P100	4,5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,90
		7,5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0,90
		10,5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0,80
	P120	4,5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0,80
		7,5	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1,10
		10,5	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1,30
	P150	4,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00
		7,5	1	0	0	2	1	1	2	1	1	0	0,90
		10,5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1,10
194	P100	4,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0,90
		7,5	1	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1,60
		10,5	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1,30
	P120	4,5	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1,60
		7,5	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1,50
		10,5	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1,30
	P150	4,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1,90
		7,5	2	3	2	1	2	2	2	1	2	2	1,90
		10,5	1	1	2	1	2	3	1	1	2	2	1,60

Табела 5. Јачина адхезије (метод печатника) и учешће кохезивног лома термометрираних узорака дрвета букве на различитим температурама, за различите грануларције завршног брушења и за различите уделе очвршћивача у основном премазу

Температура термометмана [°C]	Грануларција завршног брушења	Удео очвршћивача у основном премазу [%]	Јачина адхезије [MPa] и удео кохезивног лома [%]										Просек	
			Редни број мерења											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
S	P100	4,5	3,7	4	4,3	5,4	5,2	3,6	4,2	3	4,2	2,9	4,05	
			10	10	20	20	20	30	10	20	20	40	20	
			4,5	4,6	5,8	6,2	5	5,8	5,6	5	5,2	4	5	
	P120	10,5	60	10	30	5	15	5	35	10	10	20	20	
			5	5	4,3	4,7	4,6	3,6	3,7	3,4	3,4	2,8	4,05	
			30	20	40	30	90	30	85	30	100	15	47	
	P150	4,5	3,8	4,2	4,9	4,2	3,8	4,1	4,3	2,9	4,4	2,9	3,95	
			5	10	25	50	50	35	5	10	25	5	22	
			4,3	4,5	4,2	4,4	5	5	4,6	4,5	4,3	4,4	4,52	
	140	P100	7,5	55	80	60	40	5	65	25	20	45	35	43
				6	4,7	4,6	4,9	4,2	4,2	3,8	5,2	5	4,8	4,74
				20	10	40	70	30	5	80	10	40	40	35
P120		4,5	5,3	5,1	4	4,2	3,2	4,8	5,2	4,6	4,7	2,6	4,37	
			20	20	30	70	40	40	70	15	50	5	36	
			4,2	5,1	4,4	4,9	4,8	4,6	5,4	4,6	5,2	4,2	4,74	
P150		7,5	15	25	20	40	40	30	40	70	50	10	34	
			5,3	5,1	4,9	4,6	4,7	5,2	5,1	5,1	4,6	5,6	5,02	
			25	80	50	35	30	30	90	70	90	5	51	
160		P100	4,5	4,6	4	4,9	4,4	4,4	4	5,8	5	4,3	4,8	4,62
				80	90	80	90	90	60	90	90	90	85	85
				4,1	4,6	4,7	4,2	3,2	4,5	5,2	5	4,4	3,9	4,38
	P120	10,5	15	5	10	40	90	50	50	90	65	35	45	
			4,6	4,4	3,2	4,4	4,4	2,4	4,4	4,1	4,8	3,5	4,02	
			80	90	30	50	20	80	90	95	95	80	71	
	P150	7,5	5,6	4	4,6	4,4	4,7	4,6	4,8	4,4	4,8	2	4,39	
			80	25	100	100	20	60	40	5	20	30	49	
			5,6	4,2	4	4,6	4,2	4,7	4	4,8	5	3	4,41	
	194	P100	4,5	30	25	20	100	65	60	40	60	100	50	55
				5,3	5,8	5,8	5,1	5,7	5,4	5,1	6,4	5,8	5,6	5,6
				85	90	30	10	30	30	60	50	80	60	53
P120		7,5	4,3	4	4,3	3,3	4,4	4,3	4,8	4,6	4,4	4,2	4,32	
			30	50	15	50	30	100	50	40	60	100	53	
			4,6	3	4,4	4,6	4,5	3	4,4	5	4,2	2,4	4,01	
P150		10,5	95	100	40	50	35	80	80	80	90	15	67	
			5,2	4,4	4,4	5	5	5	5,6	5,6	5,4	5,7	5,13	
			30	20	100	25	50	10	30	80	50	80	48	
194		P100	4,5	4,1	5	4,2	4,5	4,6	4,4	4,4	3,8	4,8	4,6	4,43
				80	100	60	60	70	60	70	70	35	15	65
				4,2	4,7	3,2	4,1	3,9	3,7	4	4,4	3,6	4,4	4
	P120	7,5	80	70	90	95	90	95	90	30	60	80	78	
			5	4,6	4,8	4,4	5	3,7	3,6	4,8	4,7	4	4,46	
			90	95	90	85	65	100	100	95	95	95	91	
	P150	10,5	3,8	4	3,9	4,1	4,1	3,8	3,8	4,3	4,1	3,2	3,90	
			70	40	50	25	70	90	50	90	100	50	67	
			3,2	3,6	4,2	3,8	4,1	4,2	3,7	3,5	2,2	2	3,32	
	194	P100	4,5	95	95	95	100	100	90	95	95	90	100	95
				4,2	3,6	4,3	4	4,8	3,5	3,7	3,5	3,8	3,1	3,86
				100	100	100	80	80	70	100	70	100	80	89
P120		7,5	2,8	4	5	4	1,8	4,8	4	3,6	4,3	4,2	3,85	
			80	60	80	60	80	70	90	100	95	95	81	
			3,3	2,4	4,4	3,3	3,1	3	3,7	3,5	3,5		3,36	
P150		10,5	90	95	95	80	80	95	95	95	90		91	
			3,7	2,9	3,8	5,9	3	3,4	3,5	4,6	4,3	3,9	3,82	
			100	100	95	95	65	95	95	90	95	100	94	
194		P100	4,5	3,5	3,2	3,2	3,6	3,6	3,6	3,2	3,5	3,2	3,2	3,38
				90	100	90	95	95	80	95	85	95	100	93
				4	2	2,9	3	3,5	3,2	3,4	3,4	2,7	2,9	3,10
	P120	7,5	100	90	95	90	100	85	90	90	95	90	93	
			3,1	3,7	2,8	3,4	2,5	3,4	2,6	2,7	2,5	3,2	3,01	
			95	95	100	95	100	95	95	90	95	95	95	
	P150	10,5	3,6	2,6	3,2	2,6	3,2	3,4	2,8	2,8	3,6	3,2	3,11	
			95	95	100	100	95	100	95	100	90	100	97	
			3,7	4,5	3,6	3,6	2,8	3	3	3,5	3,5	3,6	3,50	
	194	P100	4,5	80	80	100	95	100	90	90	95	100	90	92
				2,9	2,9	3,1	2,6	3	2,9	2,8	3,2	3,1	3,6	3,06
				100	100	100	100	100	100	100	100	95	95	99
P120		7,5	4,2	3	2,4	3,2	1,8	2,8	3,7	3,4	3,5	1	2,90	
			85	70	70	75	80	60	90	85	80		77	
			4	3,5	3,1	3	3,4	3,6	2,4	3,2	2,8	2,3	3,13	
P150		10,5	95	95	100	100	70	65	80	80	100	100	89	
			2,6	2,7	2,6	2,6	3,1	1,7	2,5	3,3	3,1	2,5	2,55	
			85	85	95	80	85	70	80	90	90	75	84	

9.2 Статистичка обрада резултата

Report: 1-Way ANOVA Report (S Upr)				
Groups				
Name	Count	Avg.	SD	
P100 S U	8	6401,375	307,4275466	
P120 S U	8	5400,875	307,5290637	
P150 S U	8	4123,875	446,9661021	
Test for equal variance				
F	DFn	DFd	P	
1,127425514	2	21	0,342696916	
PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).				
Analysis of variance				
	SS	DF		
Between	20849961	2		
Within	2722052	21		
F	80,42632			
P	1,43E-10	****		
Posthoc test: Bonferroni-Holm				
Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
P100 S U	P150 S U	0,016666667	1,07035E-08	Yes
P120 S U	P150 S U	0,025	1,08307E-05	Yes
P100 S U	P120 S U	0,05	1,38396E-05	Yes

Report: 1-Way ANOVA Report (140 Upr)				
Groups				
Name	Count	Avg.	SD	
P100	8	6560,25	349,7439	
P120	8	5523,625	272,8547	
P150	8	4895,375	532,1103	
Test for equal variance				
F	DFn	DFd	P	
2,563164011	2	21	0,100921	
PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).				
Analysis of variance				
	SS	DF		
Between	11309595	2		
Within	3359383	21		
F	35,34897			
P	1,9E-07	****		
Posthoc test: Bonferroni-Holm				
Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
P100	P150	0,016667	3,38E-06	Yes
P100	P120	0,025	1,17E-05	Yes
P120	P150	0,05	0,010105	Yes

Једносмерна АНОВА - храпавост Ra , управно на дрвна влаканца за контролни и термотретирани узорак на 140 °C

Report: 1-Way ANOVA Report (160 Upr)				
Groups				
Name	Count	Avg.	SD	
P100	8	6507,125	540,5564	
P120	8	6192	354,8907	
P150	8	4717,375	527,9548	
Test for equal variance				
F	DFn	DFd	P	
0,292780781	2	21	0,749182	
PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).				
Analysis of variance				
	SS	DF		
Between	14605407	2		
Within	4878195	21		
F	31,4372			
P	4,84E-07	****		
Posthoc test: Bonferroni-Holm				
Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
P100	P150	0,016667	1,01E-05	Yes
P120	P150	0,025	1,28E-05	Yes
P100	P120	0,05	0,189722	No

Report: 1-Way ANOVA Report (194 Upr)				
Groups				
Name	Count	Avg.	SD	
P100 194 U	8	6082,625	134,5064	
P120 194 U	8	6365,5	436,1599	
P150 194 U	8	4275,25	372,5023	
Test for equal variance				
F	DFn	DFd	P	
3,245009365	2	21	0,059151	
PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).				
Analysis of variance				
	SS	DF		
Between	20575381	2		
Within	2429597	21		
F	88,9207			
P	5,61E-11	****		
Posthoc test: Bonferroni-Holm				
Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
P100 194 U	P150 194 U	0,016667	3,65E-09	Yes
P120 194 U	P150 194 U	0,025	6,41E-08	Yes
P100 194 U	P120 194 U	0,05	0,101472	No

Једносмерна АНОВА - храпавост R_a , управно на дрвна влаканца за термотретирани узорак на 160 °C и 194 °C

Report: 1-Way ANOVA Report (S Par)				
Groups				
Name	Count	Avg.	SD	
P100 S P	8	3636,5	504,9682	
P120 S P	8	2773,125	361,0087	
P150 S P	8	2664,75	252,5458	
Test for equal variance				
F	DFn	DFd	P	
0,562855091	2	21	0,577939	
PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).				
Analysis of variance				
	SS	DF		
Between	4537226	2		
Within	3143696	21		
F	15,15441			
P	8,44E-05	****		
Posthoc test: Bonferroni-Holm				
Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
P100 S P	P150 S P	0,016667	0,000249	Yes
P100 S P	P120 S P	0,025	0,001498	Yes
P120 S P	P150 S P	0,05	0,497972	No

Report: 1-Way ANOVA Report (140 Par)				
Groups				
Name	Count	Avg.	SD	
P100	8	3887,625	534,0377	
P120	8	3415	620,7035	
P150	8	2977,375	472,5109	
Test for equal variance				
F	DFn	DFd	P	
0,70631533	2	21	0,50481	
PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).				
Analysis of variance				
	SS	DF		
Between	3315854	2		
Within	6256150	21		
F	5,565158			
P	0,0115	*		
Posthoc test: Bonferroni-Holm				
Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
P100	P150	0,016667	0,002838	Yes
P100	P120	0,025	0,12484	No
P120	P150	0,05	0,134896	No

Једносмерна АНОВА - храпавост R_a , паралелно са дрвним влаканцима за контролне и термотретиране узорке на 140 °C

Report: 1-Way ANOVA Report (160 Par)				
Groups				
Name	Count	Avg.	SD	
P100	8	3818,75	579,8529	
P120	8	3852,75	630,9484	
P150	8	2946,5	403,7418	
Test for equal variance				
F	DFn	DFd	P	
0,225470177	2	21	0,800048	
PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).				
Analysis of variance				
	SS	DF		
Between	4222040	2		
Within	6281329	21		
F	7,05765			
P	0,004525	**		
Posthoc test: Bonferroni-Holm				
Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
P100	P150	0,016667	0,003594	Yes
P120	P150	0,025	0,004129	Yes
P100	P120	0,05	0,91224	No

Report: 1-Way ANOVA Report (194 Par)				
Groups				
Name	Count	Avg.	SD	
P100 194 P	8	4144,625	444,5444	
P120 194 P	8	3948,875	443,9702	
P150 194 P	8	3116	601,8426	
Test for equal variance				
F	DFn	DFd	P	
0,507168862	2	21	0,609387	
PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).				
Analysis of variance				
	SS	DF		
Between	4773515	2		
Within	5298607	21		
F	9,459451			
P	0,001177	**		
Posthoc test: Bonferroni-Holm				
Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
P100 194 P	P150 194 P	0,016667	0,001639	Yes
P120 194 P	P150 194 P	0,025	0,007093	Yes
P100 194 P	P120 194 P	0,05	0,393063	No

Једносмерна АНОВА - храпавост R_a , паралелно са дрвним влаканцима за термотретиране узорке на 160 °C и 194 °C

Report: 1-Way ANOVA Report (L komponenta)				
Groups				
Name	Count	Avg.	SD	
S	10	73,437	1,56829	
140°C	10	66,991	2,677418	
160°C	10	54,026	0,726975	
194°C	10	40,68	1,489952	
Test for equal variance				
F	DFn	DFd	P	
2,62510521	3	36	0,06526	
PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).				
Analysis of variance				
	SS	DF		
Between	6324,586	3		
Within	111,3889	36		
F	681,3516			
P	9,41E-32	****		
Posthoc test: Bonferroni-Holm				
Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
S	194°C	0,008333	1,96E-20	Yes
S	160°C	0,01	4,04E-18	Yes
140°C	194°C	0,0125	4,65E-16	Yes
160°C	194°C	0,016667	1,44E-15	Yes
140°C	160°C	0,025	1,65E-11	Yes
S	140°C	0,05	3,59E-06	Yes

Report: 1-Way ANOVA Report (a komponenta)				
Groups				
Name	Count	Avg.	SD	
S	10	7,6	0,345157	
140°C	10	8,807	0,45534	
160°C	10	10,439	0,359582	
194°C	10	11,516	0,497755	
Test for equal variance				
F	DFn	DFd	P	
0,251655629	3	36	0,859627	
PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).				
Analysis of variance				
	SS	DF		
Between	90,03465	3		
Within	6,33174	36		
F	170,6349			
P	2,46E-21	****		
Posthoc test: Bonferroni-Holm				
Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
S	194°C	0,008333	6,59E-14	Yes
S	160°C	0,01	5,82E-13	Yes
140°C	194°C	0,0125	2,02E-10	Yes
140°C	160°C	0,016667	5,24E-08	Yes
S	140°C	0,025	2,89E-06	Yes
160°C	194°C	0,05	2,89E-05	Yes

Једносмерна АНОВА за L и a компоненту боје термотретираних узорака на различитим температурама

Report: 1-Way ANOVA Report (b komponenta)				
Groups				
Name	Count	Avg.	SD	
S	10	15,315	0,447096	
140°C	10	20,899	0,26409	
160°C	10	22,671	0,410459	
194°C	10	20,417	0,695494	
Test for equal variance				
F	DFn	DFd	P	
2,493717293	3	36	0,075523	
PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).				
Analysis of variance				
	SS	DF		
Between	299,4376	3		
Within	8,29644	36		
F	433,1075			
P	2,73E-28	****		
Posthoc test: Bonferroni-Holm				
Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
S	160°C	0,008333	1,04E-18	Yes
S	140°C	0,01	8,72E-18	Yes
S	194°C	0,0125	1,47E-13	Yes
140°C	160°C	0,016667	1,03E-09	Yes
160°C	194°C	0,025	5,88E-08	Yes
140°C	194°C	0,05	0,055346	No

Једносмерна АНОВА за b компоненту боје термотретираних узорака на различитим температурама

Report: 1-Way ANOVA Report (S P100)**Groups**

Name	Count	Avg.	SD
4,5	10	0,4	0,516398
7,5	10	0,6	0,516398
10,5	10	0,4	0,516398
F	DFn	DFd	P
2,77199E-32	2	27	1

PASS - equal variance may be assumed ($p > 0.05$).

Analysis of variance

	SS	DF
Between	0,266667	2
Within	7,2	27
F	0,5	
P	0,612037	

Posthoc test: Bonferroni-Holm

Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
4,5	7,5	0,016667	0,397873	No
7,5	10,5	0,025	0,397873	No
4,5	10,5	0,05	1	No

Report: 1-Way ANOVA Report (S P120)**Groups**

Name	Count	Avg.	SD
4,5	10	0,5	0,527046
7,5	10	0,3	0,483046
10,5	10	0	0
F	DFn	DFd	P
8,142857143	2	27	0,001709

FAIL - equal variance CANNOT be assumed ($p \leq 0.05$).

The ANOVA results should be interpreted with extreme caution, as it is very likely that a basic precondition of this analysis is not met.

Analysis of variance

	SS	DF
Between	1,266667	2
Within	4,6	27
F	3,717391	
P	0,037493	*

Posthoc test: Bonferroni-Holm

Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
4,5	10,5	0,016667	0,007685	Yes
7,5	10,5	0,025	0,065169	No
4,5	7,5	0,05	0,388009	No

Једносмерна АНОВА оцене решетке за контролне узорке обрушене завршним брушењем нумерацијама брусног папира P100 и P120

Report: 1-Way ANOVA Report (S P150)**Groups**

Name	Count	Avg.	SD
4,5	10	0,7	0,483046
7,5	10	0,7	0,483046
10,5	10	0,5	0,527046

Test for equal variance

F	DFn	DFd	P
0,857142857	2	27	0,4356

PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).

Analysis of variance

	SS	DF
Between	0,266667	2
Within	6,7	27
F	0,537313	
P	0,590435	

Posthoc test: Bonferroni-Holm

Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
4,5	10,5	0,016667	0,388009	No
7,5	10,5	0,025	0,388009	No
4,5	7,5	0,05	1	No

Једносмерна АНОВА оцене решетке за контролни узорак обрушен завршним брушењем брусним папиром P150

Report: 1-Way ANOVA Report (140 P100)**Groups**

Name	Count	Avg.	SD
4,5	10	0,7	0,483046
7,5	10	0,9	0,316228
10,5	10	0,9	0,316228

Test for equal variance

F	DFn	DFd	P
0,923076923	2	27	0,409472

PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).

Analysis of variance

	SS	DF
Between	0,266667	2
Within	3,9	27
F	0,923077	
P	0,409472	

Posthoc test: Bonferroni-Holm

Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
4,5	7,5	0,016667	0,287763	No
4,5	10,5	0,025	0,287763	No
7,5	10,5	0,05	1	No

Report: 1-Way ANOVA Report (140 P120)**Groups**

Name	Count	Avg.	SD
4,5	10	0,8	0,421637
7,5	10	0,5	0,527046
10,5	10	0,2	0,421637

Test for equal variance

F	DFn	DFd	P
2,53125	2	27	0,098276

PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).

Analysis of variance

	SS	DF
Between	1,8	2
Within	5,7	27
F	4,263158	
P	0,024603	*

Posthoc test: Bonferroni-Holm

Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
4,5	10,5	0,016667	0,005163	Yes
4,5	7,5	0,025	0,17688	No
7,5	10,5	0,05	0,17688	No

Једносмерна АНОВА оцене решетке за термотретиране узорке на 140 °C обрुшене завршним брушењем нумерацијама брусног папира P100 и P120

Report: 1-Way ANOVA Report (140 P150)**Groups**

Name	Count	Avg.	SD
4,5	10	0,7	0,483046
7,5	10	0,7	0,483046
10,5	10	0,5	0,527046

Test for equal variance

F	DFn	DFd	P
0,857142857	2	27	0,4356

PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).

Analysis of variance

	SS	DF
Between	0,266667	2
Within	6,7	27
F	0,537313	
P	0,590435	

Posthoc test: Bonferroni-Holm

Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
4,5	10,5	0,016667	0,388009	No
7,5	10,5	0,025	0,388009	No
4,5	7,5	0,05	1	No

Једносмерна АНОВА оцене решетке за термотретиране узорке на 140 °С обрुшене завршним брушењем брусним папиром Р150

Report: 1-Way ANOVA Report (160 P100)**Groups**

Name	Count	Avg.	SD
4,5	10	0,9	0,316228
7,5	10	0,9	0,316228
10,5	10	0,8	0,421637

Test for equal variance

F	DFn	DFd	P
0,264705882	2	27	0,7694

PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).

Analysis of variance

	SS	DF
Between	0,066667	2
Within	3,4	27
F	0,264706	
P	0,7694	

Posthoc test: Bonferroni-Holm

Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
4,5	10,5	0,016667	0,555985	No
7,5	10,5	0,025	0,555985	No
4,5	7,5	0,05	1	No

Report: 1-Way ANOVA Report 160 P120**Groups**

Name	Count	Avg.	SD
4,5	10	0,8	0,421637
7,5	10	1,1	0,316228
10,5	10	1,3	0,483046

Test for equal variance

F	DFn	DFd	P
0,586956522	2	27	0,562955

PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).

Analysis of variance

	SS	DF
Between	1,266667	2
Within	4,6	27
F	3,717391	
P	0,037493 *	

Posthoc test: Bonferroni-Holm

Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
4,5	10,5	0,016667	0,023939	No
4,5	7,5	0,025	0,088644	No
7,5	10,5	0,05	0,287763	No

Једносмерна АНОВА оцене решетке за термотретиране узорке на 160 °С обрुшене завршним брушењем нумерацијама брусног папира P100 и P120

Report: 1-Way ANOVA Report (160 P150)**Groups**

Name	Count	Avg.	SD
4,5	10	1	0
7,5	10	0,9	0,737865
10,5	10	1,1	0,316228

Test for equal variance

F	DFn	DFd	P
5,558823529	2	27	0,009511

FAIL - equal variance CANNOT be assumed ($p \leq 0,05$).

The ANOVA results should be interpreted with extreme caution, as it is very likely that a basic precondition of this analysis is not met.

Analysis of variance

	SS	DF
Between	0,2	2
Within	5,8	27

F 0,465517

P 0,632756

Posthoc test: Bonferroni-Holm

Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
4,5	10,5	0,016667	0,330565	No
7,5	10,5	0,025	0,441043	No
4,5	7,5	0,05	0,67332	No

Једносмерна АНОВА оцене решетке за термотретиране узорке на 160 °С обрुшене завршним брушењем брусним папиром Р150

Report: 1-Way ANOVA Report (194 P100)**Groups**

Name	Count	Avg.	SD
4,5	10	0,9	0,316228
7,5	10	1,6	0,516398
10,5	10	1,3	0,483046

Test for equal variance

F	DFn	DFd	P
1,166666667	2	27	0,326612

PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).

Analysis of variance

	SS	DF
Between	2,466667	2
Within	5,4	27
F	6,166667	
P	0,006225	**

Posthoc test: Bonferroni-Holm

Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
4,5	7,5	0,016667	0,001809	Yes
4,5	10,5	0,025	0,041861	No
7,5	10,5	0,05	0,196394	No

Report: 1-Way ANOVA Report (194 P120)**Groups**

Name	Count	Avg.	SD
4,5	10	1,6	0,516398
7,5	10	1,5	0,527046
10,5	10	1,3	0,483046

Test for equal variance

F	DFn	DFd	P
0,6	2	27	0,555966

PASS - equal variance may be assumed ($p > 0,05$).

Analysis of variance

	SS	DF
Between	0,466666	2
Within	7	27
F	0,9	
P	0,41842	

Posthoc test: Bonferroni-Holm

Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
		0,016666		
4,5	10,5	7	0,196394	No
7,5	10,5	0,025	0,388009	No
4,5	7,5	0,05	0,67332	No

Једносмерна АНОВА оцене решетке за термотретиране узорке на 194 °С обрешене завршним брушењем брусним папиром Р100 и Р120

Report: 1-Way ANOVA Report (194 P150)**Groups**

Name	Count	Avg.	SD
4,5	10	1,9	0,316228
7,5	10	1,9	0,567646
10,5	10	1,6	0,699206

Test for equal variance

F	DFn	DFd	P
4,384615385	2	27	0,02244

FAIL - equal variance CANNOT be assumed ($p \leq 0,05$).

The ANOVA results should be interpreted with extreme caution, as it is very likely that a basic precondition of this analysis is not met.

Analysis of variance

	SS	DF
Between	0,6	2
Within	8,2	27

F 0,987805

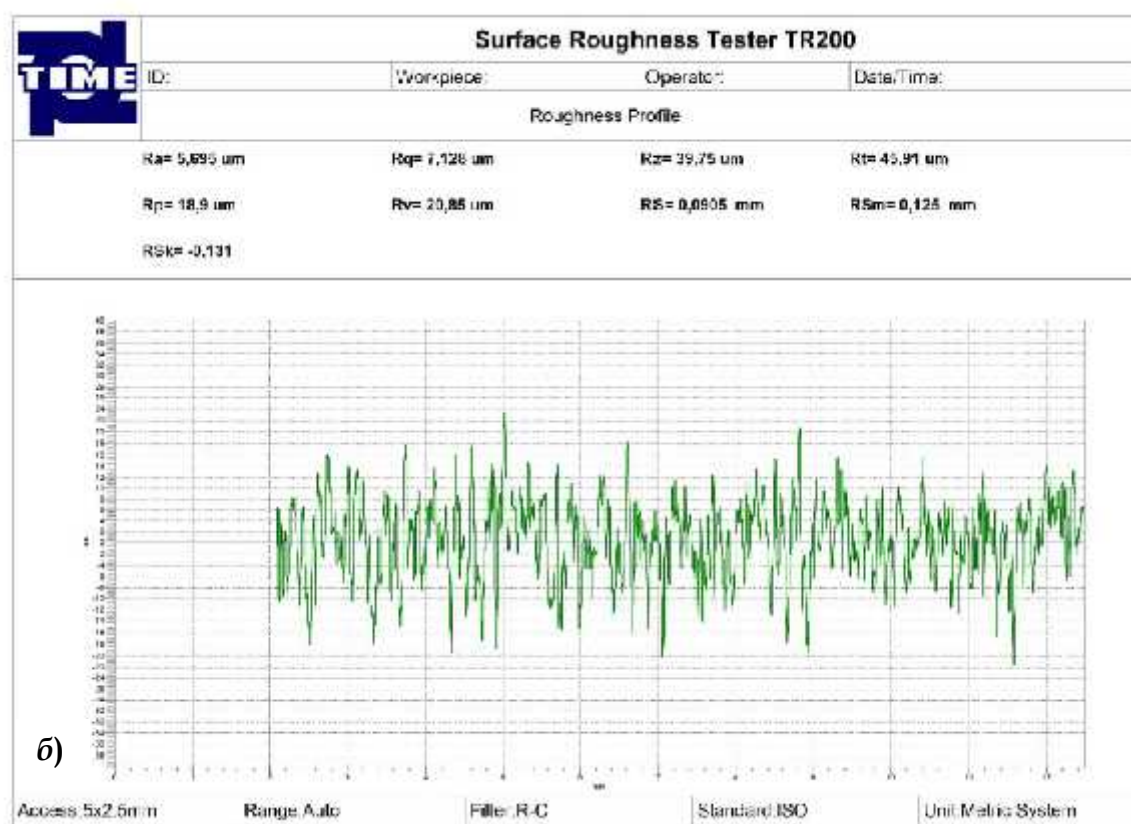
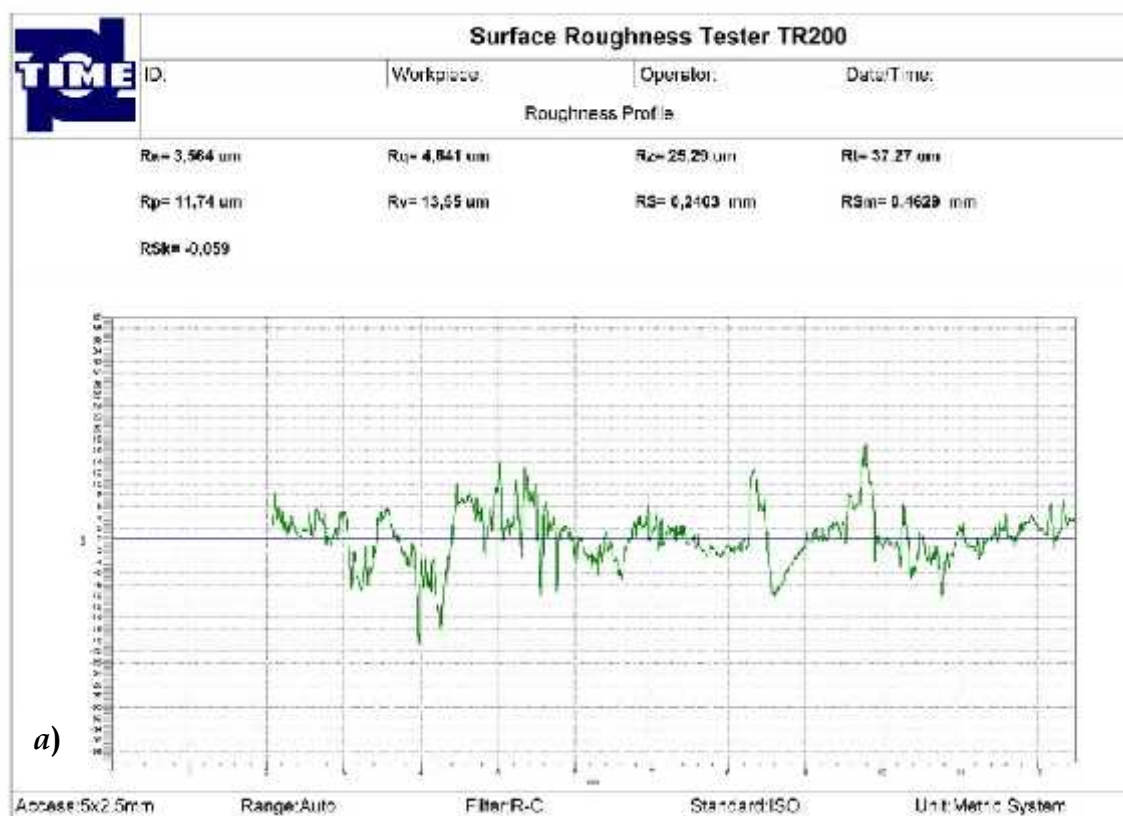
P **0,385453**

Posthoc test: Bonferroni-Holm

Group 1	Group 2	Critical	P	Significant?
4,5	10,5	0,016667	0,232257	No
7,5	10,5	0,025	0,306107	No
4,5	7,5	0,05	1	No

Једносмерна АНОВА оцене решетке за термотретиране узорке на 194 °С обрешене завршним брушењем брусним папиром Р150

9.3 Сlike



Слика 1. График хrapавости на термотретираном узорку на температури 194 °C, завршно брушен папиром P120: а) паралелно; б) управно на дрвна влаканца

Биографија аутора

Јован Добић је рођен 17. јула 1981. године у Краљеву. Након завршене основне школе и гимназије у Врњачкој Бањи, уписао је Шумарски факултет у Београду школске 2000/01 године. Основне студије завршава 2007. године, са просечном оценом 9,35. Исте године уписује докторске студије на Шумарском факултету, област Прерада дрвета на Катедри за финалну прераду дрвета, изборна група Намештај и производи од дрвета.

Радни однос засновао је јануара 2007. године у компанији „Таркетт“ у Бачкој Паланци, у једној од најсавременијих фабрика за производњу вишеслојних подних облога од дрвета. Прве године радио је на пословима руководиоца смене а затим на пословима процесног инжењера. Завршио је обуку у шведској фабрици паркета у Ханаскогу. У јануару 2009. године изабран је на позицију супервизора процесног менаџмента и са процесним инжењерима ради на увођењу нових процеса, производа, технологија и унапређењу квалитета производа. Од 2010. године добија нове пројекте и унапређен је на позицију експерта за истраживање и развој. Исте године приликом увођења WCM (World-class manufacturing) методологије додељено му је да води и „пилар“ за контролу и унапређење квалитета (QC pillar). Учествовао је у реализацији пројекта опремања нове лабораторије контроле квалитета и истраживања и развоја. У Паризу 2012. године заједно са својим тимом добија престижну награду за иновативни пројекат унапређење квалитета производа. Тренутно ради у истој компанији на позицији експерта за процес.

Током осмогодишњег радног искуства у „Таркетт“-у успешно је завршио различите обуке у оквиру струке као и из области организације рада. Такође је присуствовао различитим стручним семинарима и сајмовима у Европи и Азији. До сада је објавио 4 научна рада (од тога 1 научни рад у врхунском међународном часопису категорије M21), и учествовао је на интернационалној конференцији „First Serbian Forestry Congress“. Добитник је једног од 204 нових пасоша додељених одлуком Владе Републике Србије у 2008. год. за доприносе у области индустрије прераде дрвета.

1.

-a _____

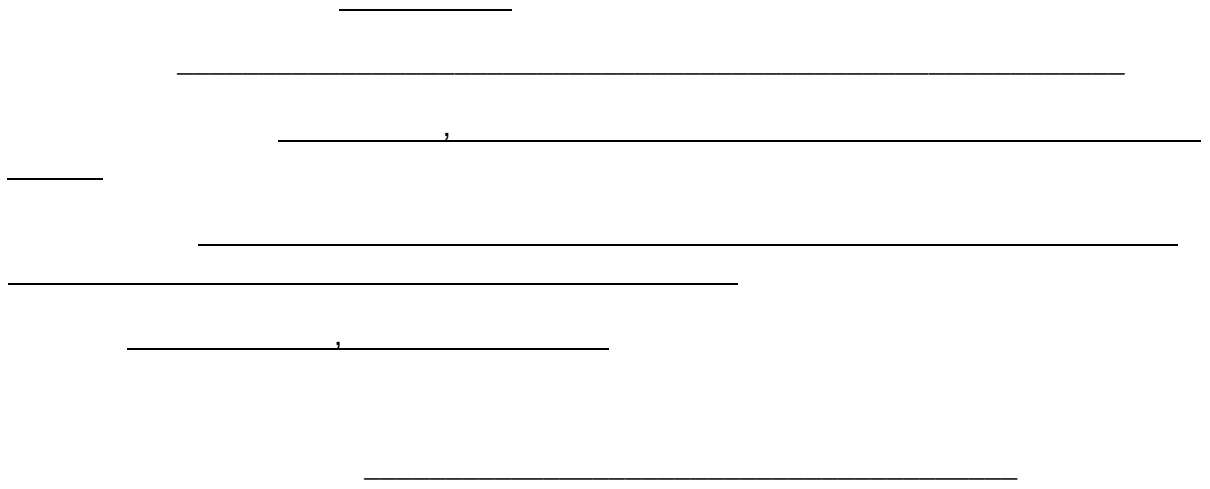
• _____ ,
• _____

• _____ ,
• _____ /
• _____ .

• _____

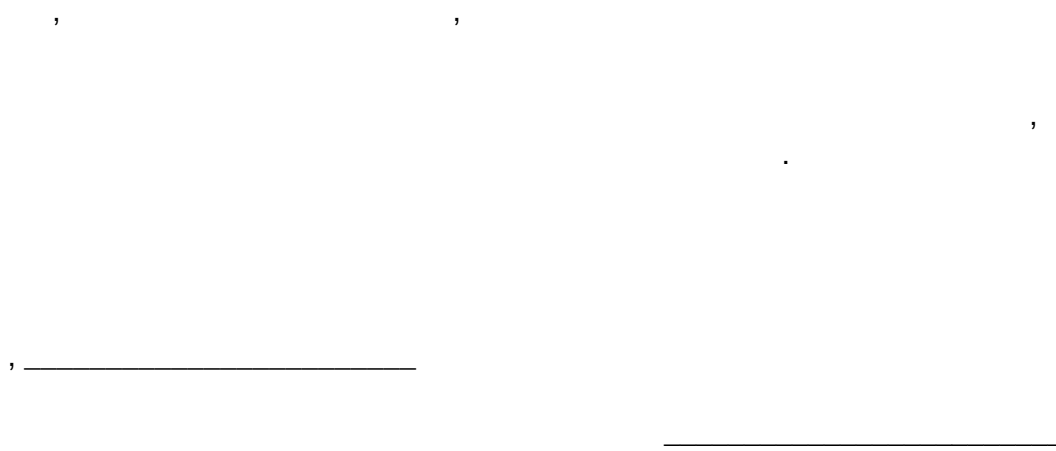
2.

o



/

.



3.

”

“

:

/

(Creative Commons)

/ .

1.

2.

-

3.

-

-

4.

-

-

5.

-

6.

-

(

).

,

, _____
