

Jačić M., Dobić J., Palija T. 2010. *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.

Милан Јајић
Јован Добић
Тања Палија

UDK: 630*892.17
UDK: 674.07
Оригинални научни рад
DOI: 10.2298/GSF1002007J

УТИЦАЈ СИСТЕМА ПОВРШИНСКЕ ОБРАДЕ *PAULOWNIA* SIEBOLD ET ZUCC. НА МЕХАНИЧКА СВОЈСТВА ЛАКИРАНЕ ПОВРШИНЕ

Извод: У овом раду испитан је утицај брушења, операције бајцовања и примене полиуретанског и акрилног премаза на адхезију, отпорност на гребање и отпорност на абразију премаза. Циљ рада је био одређивање најзначајних механичких својстава лакиране површине, са становишта употребе *Paulownia elongata* и *Paulownia fortunei*, уз примену различитих система површинске обраде дрвета. За испитивање адхезије премаза коришћен је метод решетке. Обухватнији приказ адхезије премаза добијен је мерењем отпорности на гребање. Отпорност на абразију је испитана методом слободног пада абразивних честица. Примењени систем брушења није имао утицаја на испитивана механичка својства. Бајцовани узорци лакирани ПУ премазом показали су бољу адхезију у односу на небајцоване узорке. Утицај бајцовања на отпорност на гребање није утврђен. Бајцовани узорци показали су већу отпорност на абразију код обе дрвне врсте. Више вредности механичких својстава показали су узорци лакирани ПУ премазом у поређењу са узорцима лакираним УВ акрилним премазом. Примена ПУ премаза за површинску обраду *Paulownia elongata* и *Paulownia fortunei* је адекватнија од примене УВ акрилног премаза, са становишта отпорности на гребање и абразију.

Кључне речи: пауловнија, брушење, бајцовање, лакирање, механичка својства

THE INFLUENCE OF SURFACE FINISHING OF *PAULOWNIA* SIEBOLD ET ZUCC. ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF LACQUERED SURFACE

Abstract: This paper presents the research of influence of sanding, staining and the use of polyurethane and acrylic coating on the adhesion, scratch resistance and abrasion resistance of the coating. Objective was to determine the most important

др Милан Јајић, редовни професор, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд
(e-mail: milan.jaic@sfb.rs)

Јован Добић, дипл. инж., R&D Wood - Таркетт д.о.о., Бачка Паланка

Тања Палија, асистент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд

mechanical properties of lacquered surfaces, considering the application of *Paulownia elongata* and *Paulownia fortunei*, by using different systems of surface finishing. Cross cut method was used for measurement of adhesion. More accurate view of coating adhesion was obtained by measuring the scratch resistance. Abrasion resistance was tested by the method of free falling of abrasive particles. The applied system of sanding had no effect on the examined mechanical properties. Stained samples lacquered with PU coating showed better adhesion to the non-stained samples. Impact of staining on scratch resistance is not established. Stained samples showed greater resistance to abrasion for both wood species. Samples lacquered with PU coating showed the higher values of mechanical properties compared with samples lacquered with UV acrylic coating. Application of PU coating for surface finishing of *Paulownia elongata* and *Paulownia fortunei* is more adequate than the application of UV acrylic coatings, from the point of scratch resistance and abrasion resistance.

Key words: *Paulownia*, sanding, staining, lacquering, mechanical properties

1. УВОД

Испитивања лакиране површине врше се са циљем утврђивања отпорности очврснутог премаза на дејство различитих спољашњих утицаја којима предмет обраде може бити изложен у току експлоатације. Ипак, високе вредности својстава лакиране површине не гарантују да је подлога заштићена од штетног дејства фактора околине. Предуслов остваривања заштитне и декоративне функције површинске обраде дрвета је добра веза премаза и подлоге. Уколико није постигнута квалитетна веза премаза и подлоге, односно уколико није остварена добра адхезија премаза, високе вредности механичких својстава лакиране површине немају значаја (Rizzo, Bruno, 2009).

Адхезија представља сложен феномен који настаје као последица физичких и хемијских реакција на граничној површини премаза и подлоге. Постоји неколико теорија које објашњавају механизам адхезије. У зависности од физичких и хемијских својстава подлоге и премаза, адхезија се може објаснити једном или комбинацијом више теорија (Rizzo, Bruno, 2009).

За испитивање јачине адхезије премаза на подлогу развијено је неколико метода испитивања. Две методе, које се уобичајено користе за одређивање јачине адхезије су: метод решетке и метод печатника. Поред наведених непосредних метода, у примени су и посредне методе одређивања адхезије, у којима се адхезија изражава у функцији других својстава. Такав је случај са отпорношћу на гребање (парање). Неки аутори сврставају отпорност на гребање у директну методу мерења адхезије, будући да се овом методом одређује сила која изазива разарање везе између премаза и подлоге, на граничној површини (Awaја *et al.*, 2009). Оптимални начин за утврђивање адхезије премаза је комбинација директних метода мерења адхезије и карактеризација површине подлоге (Awaја *et al.*, 2009).

Механизам адхезије је условљен својствима материјала у површинском слоју (Awaја *et al.*, 2009). Промене у површинском слоју дрвета настају у фази припреме површине у операцији брушења (Gindl *et al.*, 2006). Утврђено је да систем брушења утиче на вредности параметара храпавости у површинском слоју (Јајић *et al.*, 2010). Генерално, површине различитих дрвних врста обрађене истим поступцима обраде, под истим условима радне средине, испољиће различите физичке и хемијске промене, које ће проузроковати разлике у адхезији премаза или својствима лакиране површине (Gindl *et al.*, 2006). Утврђено је да са порастом храпавости у површинском слоју долази до пораста адхезије (Rizzo, Bruno, 2009, Gindl *et al.*, 2006). У овом раду извршено је испитивање утицаја система брушења, преко параметара храпавости, на јачину адхезије. Са друге стране, на адхезију утичу и својства самог система лакирања. У овом раду је испитан и утицај бајцовања и лакирања различитим типовима премаза на вредност адхезије.

Када је остварена квалитетна веза премаза и подлоге, потребна својства обрађене површине готовог предмета обраде зависе од услова коришћења, односно намене самог производа. Када се не очекује изложеност оплемењених површина статичким и динамичким оптерећењима, битно је одредити трајност лакиране површине у условима експлоатације. Трајност се може испитати мерењем отпорности премаза на хабање, односно абразију. С обзиром на намену готових производа, у овом раду испитан је утицај различитих технологија лакирања на отпорност на абразију лакиране површине.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

2.1. Избор подлоге

За испитивања су коришћене две дрвне врсте из рода *Paulownia* Siebold et Zucc: *Paulownia elongata* и *Paulownia fortunei*. Дрвне врсте из рода пауловнија карактерише изузетно мала густина (Јајић *et al.*, 2010) и брзорастући раст (Šijačić-Nikolić, 2009). Истраживања могућности примене дрвних врста из овог рода усмерена су на финалне производе од дрвета чија примена не захтева високе вредности чврстоће.

Узорци на којима су вршена испитивања добијени су из трупаца који су посечени са огледног поља код Беле Цркве, у јуну 2009. године. Након сече, добијени сортименти су природно сушени. Разрезивањем трупаца по дебљини утврђено је да постоји значајан градијент влажности по дужини сортимента. У циљу изједначавања влажности извршено је вештачко сушење резане грађе у лабораторијској сушари фирме „Nigos”. Након сушења извршено је мерење влажности пробних узорака гравиметријском методом. Коначана влажност узорака износила је 5,85% за *Paulownia elongata* и 6,06% за *Paulownia fortunei*.

2.2. Припрема подлоге

Припрема узорака је извршена рендисањем (глодањем) и брушењем. Обрада рендисањем је обављена на машини произвођача „Mini Max”, тип CU-410K, са ручним улагањем узорака. Најпре је формирана базна површина обрадом са алатом у доњем положају, након чега је формирана дебљина узорака глодањем, са алатом у горњем положају. Пречник ножевске главе је износио 90 mm, број обртаја $5.200 \text{ o} \cdot \text{min}^{-1}$, а брзина помоћног кретања $7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Број ножева је био 4, а брзина глодања (брзина резања) је износила $24,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Након рендисања вршено је брушење узорака на ускотрачној брусници са ручним управљањем произвођача „Mini Max”, тип L55. Системи брушења су формирану уз поштовање основних правила брушења: о прескакању максимално једне нумерације брусне траке у редоследу смењивања брусних трака и паралелности правца брушења са правцем дрвних влакана у последњем степену обраде. Брзина брушења (брзина кретања брусне траке) је износила $19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Број степени брушења, нумерација брусне траке и правац брушења у односу на правац дрвних влакана за сваки систем, дати су у табели 1.

Табела 1. Системи брушења по степенима
Table 1. Systems of sanding by stages

Систем брушења System of sanding	Степен брушења Stage of sanding		
	Први степен First stage	Други степен Second stage	Трећи степен Third stage
I	100 ⊥	150	/
II	120 ⊥	180	/
III	100	120 ⊥	150
IV	100	150 ⊥	180

Припрема узорака рендисањем и брушењем извршена је у Лабораторији за машине и алате на Шумарском факултету у Београду.

2.3. Геометријско стање површине изражено преко параметра храпавости R_a

Храпавост површине се најчешће изражава преко параметра храпавости R_a . За мерење параметара храпавости обрађених узорака, по различитим системима брушења, коришћен је контактни мерач храпавости Surtronic Duo, произвођача „Taylor Hobson”. У табели 2 дате су вредности параметра храпавости R_a у подужном и попречном смеру у односу на правац дрвних влакана, као и просечна вредност R_a . Мерање је вршено на 16 узорака, при чему је по 2 узорка од обе дрвне врсте обрађено по једном од 4 система брушења.

Табела 2. Вредности параметра R_a [μm]

Table 2. The values of parameter R_a [μm]

Правац влакана Fiber direction	<i>Paulownia elongata</i>				<i>Paulownia fortunei</i>			
	Систем брушења / System of sanding							
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
	2,39	2,38	2,19	1,91	2,56	2,27	2,46	2,04
⊥	5,56	5,98	6,13	5,55	6,78	5,87	6,34	5,69
Σ	3,97	4,18	4,16	3,73	4,67	4,07	4,40	3,86

2.4. Површинска обрада узорака

Укупан број група узорака на којима су вршена испитивања је био 32. У табели 3 дат је схематски приказ примењених операција обраде - система брушења и технологије лакирања, за сваку групу узорака *Paulownia elongata* и *Paulownia fortunei*.

Табела 3. Операције обраде узорака *Paulownia elongata* и *Paulownia fortunei*
Table 3. Operations of processing samples of *Paulownia elongata* and *Paulownia fortunei*

Врста дрвета Wood species	Редни број групе узорака Serial number of the group of samples															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Paulownia elongata</i>	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Систем брушења System of sanding	I	*				*				*				*		
	II		*				*			*				*		
	III			*				*			*				*	
	IV				*				*			*				*
Водени бајц Water based stain	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
PU премаз PU coating	*	*	*	*					*	*	*	*				
УВ акрилни премаз UV acrylic coating				*	*	*	*					*	*	*	*	

2.4.1. Бајцовање

Половина узорака обе дрвне врсте бајцована је пре лакирања водорастворним бајцом произвођача „Akzo Nobel“. Према подацима произвођача, густина воденог бајца је износила $1,011 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Бајцовање је извршено на машини за ваљање (walz машини) са три групе ваљака. Активирањем ваљака на првој позицији, са облогом

од сунђера мање тврдоће, бајц је нанет на површину узорака. Брзина кретања нано-сећег ваљка је износила $15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, док је брзина кретања дозирног ваљка износила $3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Дозирни ваљак се кретао у истом смеру као и наносећи ваљак. Утрљавање и растеривање сувишног бајца вршено је помоћу четки са пластичним влакнима са ротирајућим кретањем. Укупна количина нанетог материјала износила је $14 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, а брзина кретања узорака $15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Сушење узорака након бајцовања вршено је проласком кроз каналну сушару брзином од $15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ на температури од 60°C .

2.4.2. Лакирање

Половина бајцованих и половина небайцованих узорака обе дрвне врсте је лакирана двокомпонентним полиуретанским (ПУ) премазом, док је друга половина свих узорака лакирана акрилним премазом који очвршћава под дејством УВ зрачења.

Лакирање ПУ премазом

За испитивање је коришћен 2К ПУ премаз произвођача „Vernici Egidio Milesi“. Премаз је припремљен у систему 2:1, уз додаток 10% разређивача на припремљену смешу, према упутству произвођача. Садржај суве супстанце, према техничком упутству произвођача, износи 55%, а вискозитет 32 s (Форд 6, 20°C).

ПУ премаз је наносен ваздушним прскањем. Прскање је вршено у просторији без прашине (у кабини са надпритиском), због изузетне осетљивости ПУ премаза на честице прашине у радном окружењу. Пре прскања ПУ премаз је доведен на радну температуру, а приликом прскања температура у кабини за прскање је износила 22°C , а релативна влажност 60%. Распршивање премаза у честице је вршено потискивањем премаза помоћу ваздуха под притиском од 3 бара, кроз млазницу пиштоља пречника $1,8 \text{ mm}$. Приликом прскања, растојање пиштоља за прскање од узорака износило је 25 cm . Премаз је нанет у 2 слоја. Просечна количина наноса по слоју износила је $100\text{--}120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Након наношења првог слоја вршено је међуфазно брушење ручним брушењем уз коришћење брусне траке нумерације № 320.

Након лакирања узорци су остављени да се суше у амбијенталним условима у кабини са надпритиском, у циљу очувања равнотеже површинског слоја филма премаза. Температура сушења је износила 22°C , а релативна влажност ваздуха 60%.

Лакирање УВ акрилним премазом

У испитивању коришћен је УВ акрилни премаз произвођача „Akzo Nobel“, који је нанет на површину узорака ваљањем у 6 слојева. Темељни премаз је нанет у првих 5 слојева, док је покривни премаз нанет у једном слоју. Формулација коришћеног темељног и покривног акрилног премаза дата је у табели 4.

УВ акрилни премаз испоручен је већ припремљен. За покретање реакције очвршћавања основном премазу додато је 7,5% катализатора. Наношење темељних слојева и завршног слоја акрилног премаза обављено је у протоку на лакирној линији за наношење премаза ваљањем. Брзина кретања узорака је износила $15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Параметри примењеног режима лакирања дати су у табели 5.

Табела 4. Формулације УВ акрилног премаза за темељни и покривни слој
Table 4. Composition of UV acrylic coating for basic and top coats

Премаз Coating	Састав Composition	Учешће* Addition
		%
Темељни УВ акрилни премаз Base UV acrylic coating	Трипропиленгликол диакрилат (TPGDA) Tripropylene glycol diacrylate (TPGDA)	10-20
	УВ акрилат Acrylate, UV	70-80
	Полиетиленгликол диакрилат (PEGDA) Polyethyleneglycol diacrylate (PEGDA)	10-20
	Фотоиницијатори Photoinitiators	0,1-1
Покривни УВ акрилни премаз Top UV acrylic coating	Трипропиленгликол диакрилат (TPGDA) Tripropylene glycol diacrylate (TPGDA)	40-50
	Уретан акрилат Uretane acrylate	20-30
	Полимер полиестар акрилата Polyester acrylate polymer	5-10
	Бензофенон (PI) Benzophenon mixture	1
	Бутадиол диакрилат Butandiol diacrylate	1

* у односу на масу наноса / in relation with mass of coating

Табела 5. Параметри режима лакирања
Table 5. Parameters of lacquering regime

		Редни број слоја премаза The serial number of the layer coating					
		I	II	III	IV	V	VI
Количина наноса The amount of the layer coating	$g \cdot m^{-2}$	27	20	16	15	11	10
Брзина ваљака за дозирање Speed of dosing roller	$m \cdot min^{-1}$	3	5	3	4	8*	3
Галијумска УВ лампа Ga UV lamp (W/cm)	$W \cdot cm^{-1}$		80		100		100
Живина УВ лампа Hg UV lamp	$W \cdot cm^{-1}$	60	100	60	100	80	110
Живина УВ лампа Hg UV lamp	$W \cdot cm^{-1}$		100		110		110

* - ваљак са реверзним кретањем / roller with reverse rotation

Међуслојно брушење филма премаза вршено је после другог и четвртог наноса темељног премаза на широкотрачној брусилици са притисном гредом. Најпре је коришћена брусна трака нумерације № 180, а затим нумерације № 240.

2.5. Одређивање дебљине сувог филма

Дебљина сувог филма премаза измерена је методом без разарања применом ултрасоничног мерача PosiTector200, произвођача „DeFelsko“. Рад инструмента је заснован на емитовању високофреквентних звучних таласа и прерачунавању интензитета регистрованог одбијеног сигнала на димензију дужине, односно дебљине филма премаза. Мерење је вршено постављањем главе ултрасоничног мерача на површину испитиваног узорка и активирањем инструмента. Активирањем високофреквентни таласи се емитују са главе мерача управно на површину подлоге. Наилазећи на препреку талас се одбија и на основу дужине сигнала инструмент прерачунава растојање, тј. дебљину филма до подлоге. Да би се избегле грешке у мерењу, које могу настати због микро неравнина у површинском слоју премаза, пре спуштања главе мерача на површину филма премаза простор између главе за мерење и горње ивице филма премаза испуњен је течномшћу за мерење, тако што је капљица течности сипана на површину премаза пре мерења. Под дејством притиска главе мерача у тренутку контакта површине, капљица течности је испунила све неравнине (зазоре) формиране између главе за мерење и горње ивице филма, чиме је искључено посматрање горње ивице премаза као подлоге.

У табели 6 дате су просечне вредности дебљине сувог филма у зависности од система брушења и примењеног типа премаза. Мерења дебљине сувог филма извршена су у лабораторији Завода за испитивање и контролу квалитета намештаја на Шумарском факултету у Београду.

Табела 6. Вредности дебљине сувог филма [μm]

Table 6. The values of thickness of dry coating [μm]

Систем брушења System of sanding	<i>Paulownia elongata</i>		<i>Paulownia fortunei</i>	
	Тип премаза / Type of coating			
	ПУ Polyurethane	Акрилни Acrylic	ПУ Polyurethane	Акрилни Acrylic
I	125,8	96,3	126,6	124,8
II	151,1	114,7	117,3	102,2
III	105,5	109,8	145,5	93,7
IV	123,2	88,5	124,6	99

2.6. Одређивање адхезије

За одређивање величине адхезије филма премаза на површину подлоге, коришћене су две непосредне методе: метод решетке и метод печатника. Адхезија

премаза одређена је методом решетке према стандарду ISO 2409. Формирање решетке вршено је ручним уређајем који се састоји од дршке и главе са шест сечива, произвођача „BYK Gardner”.

Према ISO 2409 стандарду за дебљине филма од 0-120 *mm* сечива се постављају на растојању од 2 *mm*, док се за дебљине филма изнад 120 *mm* сечива постављају на растојању од 3 *mm*. У складу са измереним дебљинама сувог филма ПУ и акрилног премаза (тачка 2.5) 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 дрвених влакана. Уједначеним притиском, брзином од 20-50 $mm \cdot s^{-1}$ извршено је прво засецање и формирана серија паралелних резова на дужини од око 20 *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. После тога, лепљива трака ширине 25 *mm*, познатих својства лепљења, постављена је преко формиране решетке, уз утрљавање помоћу прста. Прва два намотаја траке су пре мерења одбачена. После 5 минута трака је уклоњена са површине повлачењем уједначеним покретом у правцу супротном од правца лепљења под углом од 60° у односу на површину. Да би се лакше видео степен оштећености решетке резови решетке су третирани метилен индикатором у циљу промене боје. 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%).

За одређивање адхезије премаза методом печатника коришћен је уређај са ручном хидрауличном пумпом произвођача „DFD Instruments“, у складу са стандардом ISO 4624. Пре мерења извршено је чишћење печатника брусним папиром од заосталих нечистоћа. На очишћене печатнике нанет је акрилни лепак трговачког назива „Permatex SE 40“. Претходним испитивањима је утврђено да изабрани лепак не изазива видљиве промене на премазу и да је јачина кохезионих сила у лепку више од очекиване јачине адхезионих веза између лепка и премаза. Печатници са слојем лепка су постављени на површину узорака уз благи притисак управно на површину како би се истиснуо вишак лепка. Вишак лепка је уклоњен помоћу штапића са ватом. 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 стецање, навлачењем притисног прстена надоле. 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. Повећање напона на истезање је било испод 1 $MPa \cdot s^{-1}$. После кидања вршено је посматрање површине лома, уз текстуално описивање лома.

2.7. Одређивање отпорности на парање (гребање)

За одређивање отпорности на парање коришћен је инструмент Scratch Hardness Tester 239 II, произвођача „Erichsen“, у складу са ISO 2409. Мерење отпорности на парање је засновано на утврђивању минималне силе која изазива видљиво оштећење лакиране површине. Испитивања су вршена на узорцима обе дрвне врсте, за сва 4 система брушења и за сва 4 система површинске обраде, тако да је укупно испитивано 32 узорка. Након климатизације у собним условима, узорци су учвршћивани на клизно постоље инструмента. Изнад постоља налазе се две хоризонталне полуге, од којих доња носи тело за парање, а горња оптерећење. Сила парања подешавала се у опсегу од 0,5-20 N, померањем оптерећења на скали. Тело за парање контактира површину премаза под правим углом.

Након постављања тела за парање у почетни положај, уређај је активиран. Носач узорка се кретао паралелно са полугом у супротном смеру од тела за парање. У повратном ходу тело је вршило парање (гребање) површине. У следећем мерењу, узорак је поново учвршћен на клизно постоље, тако да је следећи ход паралелен са претходним, док је тело за парање оптерећено силом за коју се очекује да ће изазвати парање. Ако у следећем ходу није дошло до видљивог оштећења, оптерећење је повећавано, у супротном је смањивано.

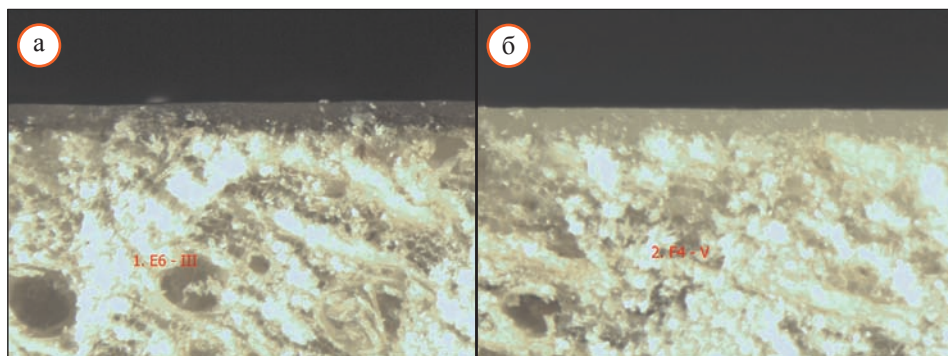
2.8. Одређивање отпорности на абразију

Отпорност на абразију испитиваних узорака одређена је методом ротације уз падање абразивних честица на површину лакиране површине. Испитивања су вршена на уређају Taber Rotary Abraser 5135, произвођача „Taber Industries“, према стандарду ISO 4586-2. Отпорност на абразију изражена је бројем обртаја носача узорка при чијој вредности је више од 50% посматране површине оштећено. Под оштећењем се подразумева пробијање слоја премаза до подлоге.

У функцији абразивних честица коришћен је силикатни песак. Како је закључено из претходних истраживања, утицај система брушења на величину отпорности на абразију се може занемарити, па су испитивања вршена на узорцима обе дрвне врсте и за сва 4 система површинске обраде дрвета. Укупан број узорака на којима је мерена отпорност на абразију је 8. Пре испитивања извршена је калибрација уређаја. Из сваког узорка добијена је по једна епрувета димензија 10×10 cm, изрезавањем на кружној тестери. У центру пресека дијагонала епрувета избушен је отвор пречника 7 mm, који је имао функцију причвршћивања узорака на постоље уређаја. Ротациони точкови обложени кожом постављени су на хоризонталну осовину управно на површину епрувета. Цевчица за довод песка постављена је под косим углом у односу на површину на растојању од 15 mm. Брзина ротације носача узорка износила је $55 \pm 6 \text{ o} \cdot \text{min}^{-1}$, а сила притиска точкова на површину узорка 5,5 N. Пробијање (пребрушавање) премаза је утврђено помоћу метилен индикатора.

3. РЕЗУЛТАТИ

Предуслов за остваривање трајности и уједначености механичких својстава лакиране површине је компактност филма премаза. Да би се проверило стање филма премаза након лакирања у погледу покривености односно интегрисаности филма формиран су пресеци филма на подлози и посматрани под микроскопом OLYMPUS SZX 12, са објективом DF PL 2X-4 под стварним увећањем од 28 пута. На слици 1 су дати микротомски пресеци филма премаза на подлогама обе дрвне врсте. Може се видети да је филм компактан и да не постоје непокривена места на подлози која би могла довести до губитка заштитне функције филма премаза.



Слика 1. Микроскопски снимци попречног пресека лакиране површине (а - *Paulownia elongata*, б - *Paulownia fortunei*)

Figure 1. Microscopic cross-sectional images of lacquered surface (a - *Paulownia elongata*, б - *Paulownia fortunei*)

У табели 7 су приказани резултати мерења адхезије филма премаза методом решетке, као и резултати отпорности на гребање и абразију.

4. ДИСКУСИЈА

4.1. Анализа резултата адхезије

Вредности оцене адхезије мерене методом решетке су показале да адхезија филма обе врсте премаза и код *Paulownia elongata* и *Paulownia fortunea* не зависи од примењеног система брушења, односно од параметра храпавости R_a , што није у складу са резултатима других аутора (Rizzo, Bruno, 2009, Gindl *et al.*, 2006, Ozdemir, Hiziroglu, 2007). За утврђивање утицаја храпавости на јачину адхезије премаза, потребно је укључити и друге методе одређивања адхезије.

Мерењем адхезије методом печатника настало је одвајање слоја дрвета у систему печатник-подлога (слика 2), тако да је закључено да су кохезивне везе у

Табела 7. Адхезија (метод решетке), отпорност на гребање и отпорност на абразију за *P. elongata* и *P. fortunei* и различите системе брушења и врсте премаза

Table 7. Adhesion (cross cut method), scratch resistance and abrasion resistance of *P. elongata* and *P. fortunei* and the various systems of sanding and type of coating

Дрвна врста Wood species	Тип премаза Type of coating	Бајцован/ небајцован Stained/not stained	Систем брушења System of sanding	Оцена адхезије Cross cut test	Отпорност на гребање Scratch resistance	Отпорност на абразију Abrasion resistance	
					<i>N</i>	<i>n</i>	
<i>Paulownia elongata</i>	ПУ PU	Небајцован Without stain	I	1	8	1.100	
			II	0	7		
			III	1	7		
			IV	1	8		
		Бајцован Stained	I	0	5		800
			II	1	5		
	III		0	5			
	IV		1	5			
	УВ акрилни UV acrylic	Небајцован Without stain	I	1	5	3.000	
			II	1	4		
			III	1	5		
			IV	1	6		
Бајцован Stained		I	1	5	3.700		
		II	1	7			
	III	1	4				
	IV	1	5				
<i>Paulownia fortunei</i>	ПУ PU	Небајцован Without stain	I	1	7	1.000	
			II	1	7		
			III	1	6		
			IV	1	6		
		Бајцован Stained	I	0	9		1.500
			II	1	7		
	III		0	7			
	IV		1	6			
	УВ акрилни UV acrylic	Небајцован Without stain	I	1	5	3.100	
			II	1	4		
			III	1	4		
			IV	1	5		
Бајцован Stained		I	1	5	3.700		
		II	1	6			
	III	1	5				
	IV	1	4				

дрвету *Paulownia elongata* и *Paulownia fortunei* мање него адхезивне везе између филма премаза и подлоге. Због тога ова метода није могла бити употребљена за одређивање адхезије код ових дрвних врста. Измерене величине отпорности на кидање у дрвету методом печатника износиле су између 1,6-2,0 МПа.

Просечна оцена за адхезију филма код ПУ премаза износила је 0,69, док је код УВ акрилног премаза на свим измереним узорцима оцена решетке износила 1. Сви узорци који су били лакирани УВ акрилним премазом су показали и међусобну деламинацију слојева премаза, највероватније услед неодговарајуће подешености јачине УВ лампи за дату дебљину узорака. Код УВ акрилног премаза није уочен утицај операције бајцовања на оцену адхезије. Бајцовани узорци лакирани ПУ премазом показали су бољу адхезију (оцена 0,50) у односу на небајцоване узорке (оцена 0,88). Ови резултати су у сагласности са истраживањем које показује да бајцовање позитивно утиче на вредност адхезије (Ozdemir, Hiziroglu, 2007). Насупрот томе, према резултатима добијеним у пракси бајцовање негативно утиче на адхезију првог слоја филма премаза.



Слика 2. Лом у дрвету после урађеног теста за одређивање адхезије методом печатника

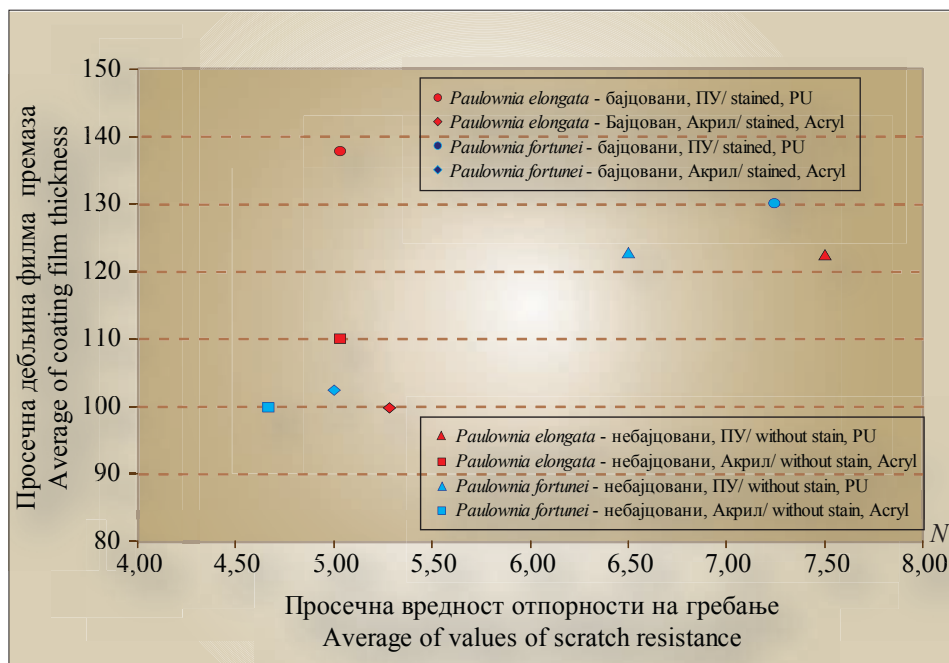
Figure 2. Crash in the wood after pull-off test

4.2. Анализа резултата мерења отпорности на гребање

На основу добијених резултата, није било могуће утврдити зависност отпорности на гребање од примењеног система брушења. Такође, није било могуће утврдити ни утицај бајцовања на вредност резултата отпорности на гребање. Просечна вредност отпорности на гребање код узорка лакираних УВ акрилним премазом износила је 4,98 N, док је иста величина за узорке лакиране ПУ премазом износила 6,56 N. Ниже вредности отпорности на парање показали су бајцовани узорци *Paulownia elongata* (просечна вредност 5 N), у односу на *Paulownia fortunei* (просечна вредност 7,25 N). Узорци лакирани УВ акрилним премазом су показали мању варијацију у величини отпорности на гребање.

У пракси, отпорност на гребање је за око 1-2 N већа на гушћим и тврђим дрвним врстама у односу на добијене резултате за *Paulownia elongata* и *Paulownia fortunea* за исти тип примењеног премаза, што је у складу са резултатима добијеним досадашњим истраживањима (Keskina et al., 2009).

На графикону 1 је приказана зависност између просечних вредности отпорности на гребање и просечне дебљине филма сувог премаза. У опсегу дебљине филма премаза од 120-130 μm су добијене највише вредности отпорности на гребање



Графикон 1. Зависност просечне отпорности на гребане од просечне дебљине филма лака за *Paulownia elongata* и *Paulownia fortunea* за оба типа премаза

Figure 1. Relation between values of average scratch resistance and average thickness of dry coating for *Paulownia elongata* and *Paulownia fortunei*

(6,5-7,5 N), док су у опсегу дебљине филма од 100-110 µm добијене ниже вредности (4,67-5,25 N). Изузетак представља група бајцованих узорка *Paulownia elongata* обрађена ПУ премазом, која је за просечну дебљину од 137,86 µm имала отпорност на гребане 5 N.

4.3. Анализа резултати мерења отпорности на абразију

Највећи утицај на величину отпорности на абразију има тип премаза. Узорци лакирани УВ акрилним премазом показали су бољу отпорност на абразију у поређењу са узорцима обрађеним ПУ премазом. Код УВ акрилног премаза оштећење је настало након 3.375 обртаја, док је код ПУ премаза оштећење настало након 1.100 обртаја, иако је УВ акрилни премаз имао за скоро 30% мању дебљину филма од ПУ премаза.

Резултати, такође, јасно указују да врста дрвета није имала утицај на величину отпорности на абразију. Утицај бајцовања на величину отпорности на абразију је евидентан, односно бајцовани узорци показују већу отпорност на абразију, осим код узорка *Paulownia elongata* обрађеног ПУ премазом.

5. ЗАКЉУЧЦИ

Резултати мерења адхезије методом решетке су показали да адхезија не зависи од примењеног система брушења, као ни од дрвне врсте која је узета као подлога. Утицај храпавости подлоге на адхезију може се утврдити методом печатника, али овај метод није било могуће употребити због слабијих кохезивних веза у самом дрвету код обе дрвне врсте у односу на адхезивне везе између премаза и подлоге. Резултати из праксе који потврђују негативан утицај операције бајцовања на адхезију филма премаза, нису експериментално потврђени код *Paulownia elongata* и *Paulownia fortunei*, методом решетке. Из тих разлога, требало би одредити утицај порозности и пермеабилности *Paulownia elongata* и *Paulownia fortunei* на јачину адхезивних веза приликом примене операција бајцовања.

Овим истраживањем није потврђен утицај примењеног система брушења, испитиване дрвне врсте и операције бајцовања на отпорност на гребанье. Узорци обрађени ПУ премазом показали су за 32 % већу отпорност на гребанье у односу на узорке обрађене УВ акрилним премазом. Највећу отпорност на гребанье показали су узорци са највећом дебљином филма сувог премаза.

УВ акрилни премаз је показао за око 3 пута већу отпорност на абразију у односу на ПУ премаз. Ови резултати указују да је примењени УВ акрилни премаз еластичнији од ПУ премаза, а истовремено и да је ПУ премаз тврђи од УВ акрилног премаза.

Примена ПУ премаза за површинску обраду *Paulownia elongata* и *Paulownia fortunei* је адекватнија од примене УВ акрилног премаза, када се посматра заштита дрвета од механичких утицаја, пре свега када је реч о отпорности површине на гребанье.

Напомена: Рад је финансиран средствима пројекта Министарства науке и животне околине ТР 20029.

ЛИТЕРАТУРА

- Awaja F., Gilbert M., Kelly G., Fox B, Pigram P. (2009): *Adhesion of polymers*, Progress in Polymer Science 34, Elsevier, Amsterdam (948-968)
- Bongiovanni R., Montefusco F., Priola A., Macchioni N., Lazzeri S., Sozzi L., Ameduri B. (2002): *High performance UV-cured coatings for wood protection*, Progress in Organic Coatings 45, Elsevier, Amsterdam (359-363)
- Gindl M., Sinn G., Stanzl-Tschegg S. (2006): *The effects of ultraviolet light exposure on the wetting properties of wood*, Journal of Adhesion Science and Technology 20/8 (817-828)
- Gite V., Mahulikar P., Hundiwale D. (2010): *Preparation and properties of polyurethane coatings based on acrylic polyols and trimer of isophorone diisocyanate*, Progress in Organic Coatings 68 (307-312)

- Jaić M., Palija T., Dobić J. (2010): *Uticaj sistema brušenja Paulownia Siebold et Zucc. na sposobnost kvašenja*, Glasnik Šumarskog fakulteta 101, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, Beograd (67-80)
- Keskina H., Atarb M., Korkut S., Tekina A. (2010): *Scratch resistance of cellulosic, synthetic, polyurethane, waterborne, and acid-hardening varnishes used on woods*, Industrial Crops and Products 31, Elsevier, Amsterdam (219-224)
- Kúdela J., Liptáková E. (2006): *Adhesion of coating materials to wood*, Journal of Adhesion Science and Technology 20/8, VSP International Science Publishers (875-895)
- Ozdemir T., Hiziroglu S. (2007): *Evaluation of surface quality and adhesion strength of treated solid wood*, Journal of Materials Processing Technology 186, Elsevier, Amsterdam (311-314)
- Rizzo M., Bruno G. (2009): *Surface Coatings*, Nova Science Publishers Inc., New York
- Šijačić-Nikolić M., Vilotić D., Knežević R., Milanović J. (2009): *Varijabilnost plodova, semena i klijanaca test stabla Paulownia elongata S.Z. Hu sa područja grada Beograda*, Acta Herbológica 18, Unija bioloških naučnih društava Jugoslavije, Zemun (59-71)

Milan Jaić
Jovan Dobić
Tanja Palija

THE INFLUENCE OF SURFACE FINISHING OF *PAULOWNIA SIEBOLD ET ZUCC.* ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF LACQUERED SURFACE

Summary

The average value of adhesion of samples lacquered with PU coating was 0.69, while the value of adhesion of all samples lacquered with UV acrylic coating was 1. Stained samples lacquered with PU coating showed better adhesion (score 0.50) compared to unstained samples (score 0.88). These results are in accordance with other research which showing that staining positively influence on the value of adhesion. On the other hand, the results obtained in the practice showed that staining negatively affects adhesion of the first layer of the UV acrylic coating. By measuring the adhesion by pull-off method delamination occurred in wood, so it is concluded that the cohesive links in the wood of *Paulownia elongata* and *Paulownia fortunei* were less than the adhesive links between the coating and substrate. For this reason, pull-off method could not be used to determine the adhesion of coating on these wood species. To determine the influence of roughness on the adhesion of coatings, it is necessary to include other appropriate methods for measuring this important property.

The average value of scratch resistance for the samples lacquered with UV acrylic coating was 4.98 N, while the same unit for samples lacquered with PU coating amounted 6.56 N. Stained samples of *Paulownia elongata* showed lower values of scratch resistance (average value of 5 N), compared to the samples of *Paulownia fortunei* (average value 7.25 N). The highest values for scratch resistance (6.5 to 7.5 N) were obtained for the thickness of dry coating in the range from 120 to 130 μm . For thickness of dry coating in the range of 100 to 110 μm the values of scratch resistance were lower (4.67 to 5.25 N). The exception was the group of stained samples of *Paulownia elongata* lacquered with PU coating, which had average film thickness of 137.86 μm and scratch

resistance 5 N. Samples lacquered with UV acrylic coating showed less variation in the values of the scratch resistance and it is in accordance with less variation in the values of film thickness for UV acrylic coating. It was probably affected by automatic application method of rolling which is more precise than manual air spray application method which was used for applying PU coating. In practice, values of scratch resistance are for about 1-2 N higher for denser and harder wood species in comparison with the obtained results of *Paulownia elongata* and *Paulownia fortunei* for the same type of applied coating, which is in accordance with the results of previous research.

The main impact on the values of the abrasion resistance had a type of coating. Samples lacquered with UV acrylic coating showed better abrasion resistance in comparison with samples lacquered with PU coating. With UV acrylic coating damage was created after 3,375 revolution, which is 3 times less in relation with PU coating, where damage occurred after 1,100 revolution. Stained samples showed a higher values of abrasion resistance, except for samples of *Paulownia elongata* lacquered with PU coating.

Values of adhesion, scratch resistance and abrasion resistance showed that none of these properties is depend of the applied system of sanding, as well as of the wood species that were taken as a substrate. The greatest scratch resistance had samples with highest dry film thickness. This research confirmed that the applied UV acrylic coating was more elastic than PU coating, while the PU coating was harder than UV acrylic coatings. As the wood species of the genus *Paulownia* Siebold et Zucc characterized by very low density and hardness, applying PU coating for surface finishing of *Paulownia elongata* and *Paulownia fortunei* is more appropriate than the applying UV acrylic coating, when looking at wood protection against mechanical impact, especially when it comes to scratching resistance.