

Gavrilović-Grmuša I., Miljković J., Điporović-Momčilović M., Popović M. 2008. *Forecasting the degree of fire retardancy of plywood with thermogravimetry, Part II: poplar plywood*. Bulletin of the Faculty of Forestry 98: 49-64.

Ивана Гавриловић-Грмуша
Јован Миљковић
Миланка Ђипоровић-Момчиловић
Млађан Поповић

UDK: 674.028.9:630*824.831
Оригинални научни рад

ОДРЕЂИВАЊЕ СТЕПЕНА ВАТРООТПОРНОСТИ ФУРНИРСКЕ ПЛОЧЕ ТЕРМОГРАВИМЕТРИЈОМ ДЕО II: ТОПОЛОВА ФУРНИРСКА ПЛОЧА

Извод: У циљу добијања ватроотпорних фурнирских плоча од различитих дрвних сировина, у овом истраживању топови фурнири су импрегнисани растворима изабраних ватроотпорних средстава, а то су: диамонијум фосфат (ДФ), моноамонијум фосфат (МФ), натријум ацетат (НА), водено стакло (ВС), натријум тетраборат (НТ) и борна киселина (БК). Да би се прелиминарно одредио достигнути ниво ватроотпорности још код фурнира, пре израде готових плоча, примењене су термогравиметријска (ТГ) и деривативна термогравиметријска (DTG) метода. ТГ и DTG анализе за третирано и нетретирано дрво као и за сама ватроотпорна средства су изведене на Perkin-Elmer TGS-2 термогравиметријском уређају. Ватроотпорност плоча је тестирана према стандардном тесту отпорности према дејству ватре и као најефикаснија средства су се показала исто НТ и БК као и код ТГ/DTG анализа, што указује на валидност термогравиметријске методе у предвиђању успешности ватроотпорног средства у будућем производу.

Кључне речи: фурнирска плоча, ватроотпорна средства, термогравиметрија, ватроотпорност

мр Ивана Гавриловић-Грмуша, асистент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд

др Јован Миљковић, редовни професор, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд

др Миланка Ђипоровић-Момчиловић, ванредни професор, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд

мр Млађан Поповић, асистент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд

DETERMINING THE DEGREE OF FIRERETARDANCY OF PLYWOOD WITH THERMOGRAVIMETRY

PART II: POPLAR PLYWOOD

Abstract: In the aim to achieve fire-resistant plywood of different wood species, in this study, veneers have been impregnated with solutions of chosen fire retardants, which are diammonium phosphate, monoammonium phosphate, sodium acetate, water glass, sodium tetraborate and boric acid. To determine the preliminary level of fire retardancy achieved in veneers before manufacturing of finished plywood, thermogravimetric (TG) and derivative thermogravimetric (DTG) methods are used. TG and DTG analyses of treated and untreated wood, as well as of fire retardants alone, were performed on a Perkin-Elmer TGS-2 thermogravimetric equipment. Fire resistance of plywood was tested in accordance with standard test for resistance to the effects of fire and the most efficient fire retardants, sodium tetraborate and boric acid had the same results as TG/DTG analyses, which points out the validity of TG methods in predicting success of fire retardants in future products.

Key words: plywood, fire retardants, thermogravimetry, fire resistance

1. УВОД

Дрво је ресурс који се обнавља и његове предности су јасне са становишта животне средине и потрошње енергије. Због вишеструких предности у односу на друге материјале, много се примењује како у ентеријерима тако и у екстеријерима, а у неким земљама, које имају доста разноврсног и квалитетног дрвета, је и најчешће коришћен грађевински материјал. Због особине да топлоту тешко прима и преноси, а у исто време да ослобађа велику количину топлоте при сагоревању, човек је од давнина употребљавао дрво, с једне стране, за заштиту од топлоте, а са друге стране за производњу топлоте.

Тешке грађевинске конструкције израђене од дрвета које се примењују при изградњи индустријских објеката и када се запале, брзо изграде љуску од угљенисаног дрвета која знатно успорава даље сагоревање јер има улогу изолатора за унутрашње слојеве. Зато, иако дрво спада у запаљиве материјале према подели грађевинског материјала, с обзиром на понашање за време пожара, морамо разликовати његову запаљивост, у односу на његову изражену пожарну отпорност (Грмуша, 2002).

Конструкције од дрвета, као што су врата, прозори, дрвени подови, ламперије и плоче за облагање зидова, могу бити заштићени различитим ватроотпорним средствима тако да обезбеђују висок степен отпорности у случају пожара, који испуњава захтеве грађевинских норматива. То значи да се спречи ширење пламена и обезбеди отпорност према ватри у временском интервалу потребном за евакуацију (30-60 мин.).

Данас је у употреби веома велики број различитих најсавременијих производа на бази дрвета, као што су фурнирске плоче, оплемене иверице, ОСБ плоче,

вафер плоче и други композитни материјали. Примена ватроотпорних средстава на дрво и производе од дрвета се најчешће спроводи на два начина: први подразумева површинско премазивање средствима, што продужава време до запаљења као и ширење пламена, али у условима разбукталог пожара ефикасност оваквих материјала је мала, па је друга и много значајнија примена путем напајања, што подразумева апсорпцију различитих ватроотпорних једињења.

Тежња за добијањем фурнирске плоче повећане отпорности на дејство ватре је један од основних истраживачких праваца последњих година, па и тема овог рада припада том правцу.

На тржишту су се појавиле многобројне патентиране ватроотпорне формулације под различитим трговачким именима. Међутим, улога ватроотпорних соли и других хемијских једињења која се користе најчешће у облику водених раствора, је веома сложена. Постоји недостатак литературних података везаних за брзину апсорпције, масени процентуални принос ватроотпорних средстава, равнотежну влагу и рН вредност третираног дрвета, као и термогравиметријске особине третираног дрвета, а све то с обзиром на врсте дрвета и врсте ватроотпорних средстава.

Утицај третирања фурнира ватроотпорним средствима на својства фурнирских плоча које су од њих настале, представља недовољно испитану проблематику, па је било од интереса сагледати степен постигнуте ватроотпорности, комбинацијом софистицираних микрометода, као што су термогравиметријска (ТГ) и деривативна термогравиметријска (ДТГ), прелиминарно, још код фурнира и стандардне макрометоду за одређивање отпорности према дејству ватре (SRPS D.T4.039).

2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ РАДА

2.1. Материјали

Предмет истраживања у овом раду је једна од најчешћих домаћих врста дрвета која се љушти у фурнире, а то је:

- топола (*Populus euramericana*, Dode cv. *robusta*) са подручја Војводине.

Фурнири ове дрвне врсте одабрани су на стоваришту фабрике фурнирских плоча ШИК „Кучево” у Кучеву.

На основу расположиве литературе (Rowell, 1984, Woo, 1987) може се закључити да се за постизање ватроотпорности код дрвета највише користе средства на бази неорганских соли. Изабрана ватроотпорна средства за испитивања у овом раду су:

- диамонијум фосфат (ДФ), $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, произвођача МП „Хемија”, Београд, *pro analysis*;
- моноамонијум фосфат (МФ), $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, произвођача „Zorka Pharma”, Шабац, *pro analysis*;

- натријум ацетат (НА), CH_3COONa , произвођача Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина (ИТНМС), Београд, *pro analysi*;
- натријум силикат - водено стакло (ВС), Na_2SiO_3 , произвођача „Галеника-Магмасил”, Београд, *pro analysi*;
- натријум тетраборат (НТ), $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, произвођача „Еуро-Хемија”, Београд, *pro analysi*;
- борна киселина (БК), H_3BO_3 , произвођача „Zorka Pharma”, Шабац, *pro analysi*.

Најважније карактеристике наведених ватроотпорних средстава су дате у табели 1 (Мерск, 1999/2000).

Табела 1. Карактеристике ватроотпорних средстава
Table 1. The characteristics of fire retardants

Ватроотпорно средство Fire retardants	Молекулска маса Molecular mass	Тачка топљења Melting point	Раствор. у H_2O на 100 g Solub. in H_2O per 100 g		pH
		°C	20°C	100°C	50 g·L ⁻¹ , 20°C
ДФ	132,05	155 (p)*	68,6	115,5	7,8-8,5
МФ	115,00	190	36,8	174,0	3,8-4,4
НА	82,03	324	124,0	170,15	7,5-9,0
ВС	122,06	1088	растворљив (insoluble)		11-11,5
НТ	201,20	741	2,7	52,5	9-10 (25 g·L ⁻¹ H ₂ O)
БК	61,80	185 (p)*	5,04	39,7	3,8-4,8 (33 g·L ⁻¹ H ₂ O)

* (p) - распада се

2.2. Методе

Поступак шреширања ватроотпорним средствима

Фурнири домаће тополе су импрегнисани потапањем у растворе ватроотпорних соли током једног сата, на исти начин као што је описано у претходном раду, који представља први део истраживања (Гавриловић-Грмуша *et al.*, 2007).

Приноси ових средстава (ватроотпорних соли) које су фурнири апсорбовали из раствора претходно наведеним третманом су били: ДФ - 12,40 масена %, МФ - 15,30 масена %, НА - 17,27 масена %, ВС - 9,51 масена %, НТ - 7,23 масена % и БК - 5,12 масена %. Контролна група фурнира није импрегнисана.

Израда ватроотпорних фурнирских плоча

За производњу трослојне ватроотпорне фурнирске плоче коришћени су импрегнисани и неимпрегнисани фурнири тополе (Николић, 1988). На унутрашње стране спољних фурнира наносено је припремљено UF-везиво (садржај суве

супстанце: 56,2%, вискозитет по Форду (F4/20°C): 232 s, рН: 6,2, време желирања 105 s, густина на 20°C: 1,187 g·cm⁻³), у количини од 180 g·m⁻².

Режим врелог пресовања, између полираних плоча, је био: температура пресовања 120°C, притисак пресовања 0,6 МПа и време пресовања 6,5 min. Након пресовања, плоче су кондиционисане на 65 ±5% г.в. и 20°C.

Термогравиметријске анализе

Термогравиметријска (TG) анализа и деривативна термогравиметријска (DTG) анализа, извршене су на уређају Perkin-Elmer TGS-2, у атмосфери азота, при брзини загревања од 10°C по минути, почевши од 30°C па до 450°C. Анализа је вршена на узорцима фурнира и соли у отвореним пановима. Узорци фурнира и соли за ове анализе су припремљени на начин како је то описано у предходном раду који представља први део истраживања (Гавриловић-Грмуша *et al.*, 2007).

Одређивање отпорности према дејству ватре

Одређивање отпорности према дејству ватре је испитивано према стандарду SRPS D.Т4.039. Испитивање је вршено по методи А поменутог стандарда, чији је поступак и уређај детаљно описан у предходном раду (Гавриловић-Грмуша *et al.*, 2007). Испитивање траје 30 минута.

Узорци су пре испитивања били 24^h климатизовани на собној температури (20°C) и релативној влази ваздуха од 65-75%, према захтевима стандарда.

3. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА И ЊИХОВА АНАЛИЗА

3.1. TG/DTG анализе

Метода TG прати губитак масе узорка са порастом температуре, а DTG представља тренутну брзину губитка масе са порастом температуре. Ове методе спадају у групу инструменталних метода за термијску анализу које се заснивају на континуалним мерењима промене физичких особина узорка у зависности од унапред дефинисане промене температуре са временом (Фотић *et al.*, 1990).

Због лакшег поређења постигнуте термостабилности различитим ватроотпорним средствима, за анализу су одабрани фурнири чија су времена потапања била различита, водећи рачуна о томе да им масени процентуални приноси (МПП) буду што уједначенији. За ДФ, МФ и НА приноси су били уједначени и износили око 15 масена %, док су за ВС, НТ и БК такође били слични и износили су око 9,5 масена %. Времена третирања фурнира и МПП за примењена ватроотпорна средства су дати у табели 2.

Карактеристичне ТГ/ДТГ криве за нетретирано дрво тополе приказане су на слици 1, а за третирано дрво на сликама од 2-7. Са слике 1 се може видети да ТГ крива дрвета тополе на почетку има благи пад који се односи на испаравање

конституционе воде и отклањање лако испарљивих материја из дрвета, а затим нагли пад који указује на почетак пиролизе на температури око 250°C.

Третирањем дрвета ватроотпорним средствима побољшава се термална отпорност тополе, што се може уочити на сликама од 2-7. Поређењем TG крива третираних узорка са нетретираним (слика 1), запажа се да је почетна температура термалне деградације третираног дрвета нижа него нетретираног, губитак масе

спорији, а остатак на $t=450^{\circ}\text{C}$ већи. Сем тога, брзина губитка масе (DTG) код третираних узорка је мања. Такође су код третираних узорка температуре при којима се одвија максимална деградација ниже него код нетретираних, што се слаже и са резултатима других истраживача (Wang, Rao, 1999). Разлог ранијег почетка термалне деградације третираних узорка је разлагање самих ватроотпорних средстава (слике 8-13), што, са друге стране, успорава термално разлагање дрвета.

Расветљавање утицаја структуре антипирена на побољшање термалне стабилности дрвених узорка, може се употпунити са резултатима TG и DTG анализе самих средстава приказаних на сликама од 8-13. На сликама се види да су ДФ и БК, као антипирени, показали најмању стабилност, јер су у температурном опсегу од 30-450°C имали губитак масе од 41% и 44%, док су НТ и ВС имали двоструко мањи губитак, а НА само 13%. С обзиром на облик DTG крива, може се приметити да је температура при максималној деградацији најнижа код НТ (око 150°C, а губитак при тој температури му је 5%), када он као кристалохидрат губи већи део везане воде. Сматра се да је преостала вода у структури НТ објашњење његове врло добре ефикасности, јер се она уклања на значајно вишим температурама.

У односу на НТ, ВС је нешто стабилније, међутим оно је са дрветом показало лош ефекат, из разлога што при третирању мање заостаје у структури дрвета.

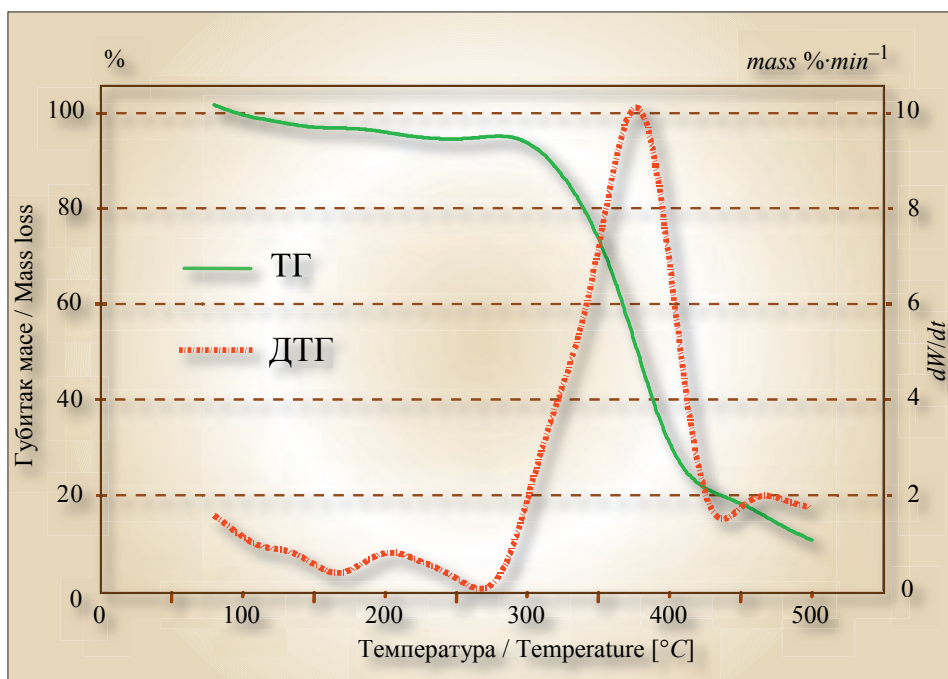
Остатке ватроотпорних средстава на 450°C било је веома важно утврдити да би се добио реалан увид у то колико је од увећаног остатка третираног дрвета у

Табела 2. Време потапања и масени процентуални принос (МПП) за TG анализе

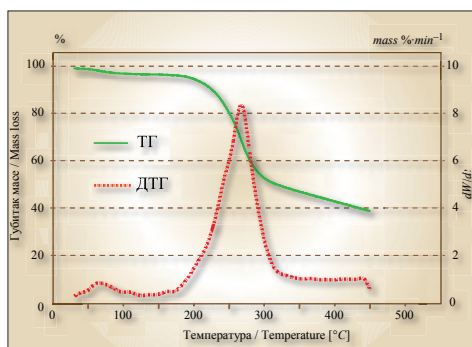
Table 2. Immersion time and weight percent gain (WPG) for TG analyses

Ватроотпорно средство Fire retardants		Време потапања Immersion time	МПП WPG
		<i>h</i>	%
диамонијум фосфат diammonium phosphate	ДФ	2	15,1
моноамонијум фосфат monoammonium phosphate	МФ	1	14,8
натријум ацетат sodium acetate	НА	4	14,7
водено стакло water glass	ВС	4	9,5
натријум тетраборат sodium tetraborate	НТ	2	9,5
борна киселина boric acid	БК	1	9,6

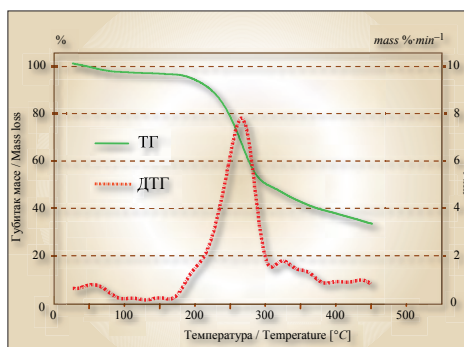
односу на нетретирано потекло од увећаног остатка самог дрвета због његове веће отпорности на дејство повишене температуре.



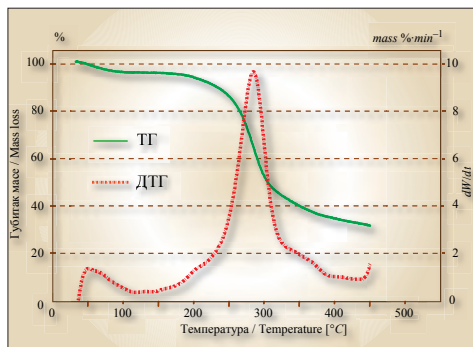
Слика 1. TG/DTG криве за нетретиране тополове фурнире
Figure 1. TG/DTG curves for the untreated poplar veneers



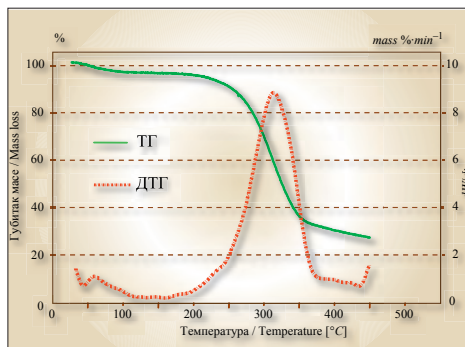
Слика 2. TG/DTG криве за тополове фурнире третиране у раствору диамонијум фосфата
Figure 2. TG/DTG curves for poplar veneers treated in diammonium phosphate



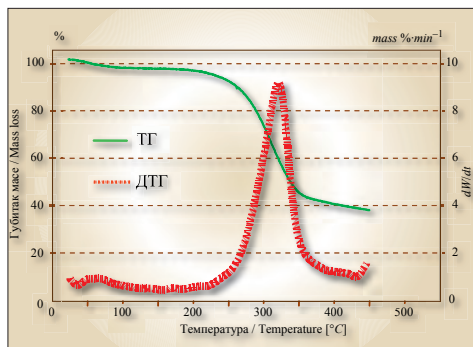
Слика 3. TG/DTG криве за тополове фурнире третиране у раствору моноамонијум фосфата
Figure 3. TG/DTG curves for poplar veneers treated in monoammonium phosphate



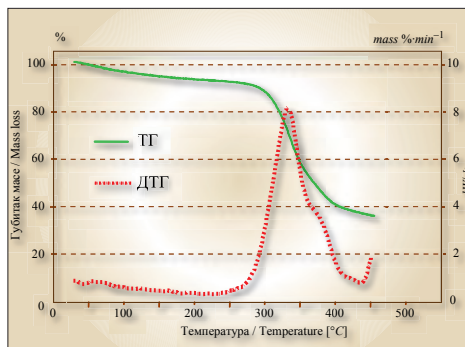
Слика 4. TG/DTG криве за топове фурнире третиране у раствору натријум ацетата
Figure 4. TG/DTG curves for poplar veneers treated in sodium acetate



Слика 5. TG/DTG криве за топове фурнире третиране у раствору воденог стакла
Figure 5. TG/DTG curves for poplar veneers treated in water glass



Слика 6. TG/DTG криве за топове фурнире третиране у раствору натријум тетрабората
Figure 6. TG/DTG curves for poplar veneers treated in sodium tetraborate

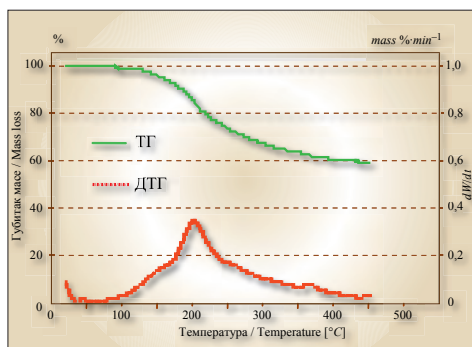


Слика 7. TG/DTG криве за топове фурнире третиране у раствору борне киселине
Figure 7. TG/DTG curves for poplar veneers treated in boric acid

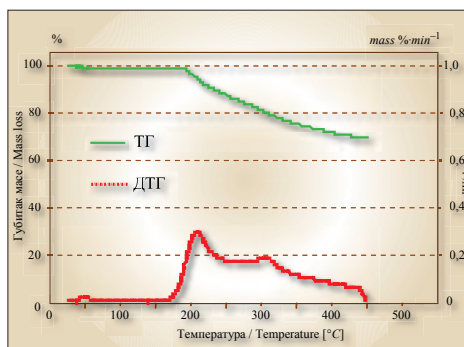
Карактеристичне вредности TG и DTG анализе третираних и нетретираних узорака тополе приказане су у табели 3.

Остаци наведени у табели 3 се односе на чисто дрво (без остатака ватроотпорних средстава), тако да је стављањем у однос ових вредности са остацима нетретираног дрвета добијен фактор ефикасности, који говори колико је пута више остало дрвета на 450°C захваљујући заштити.

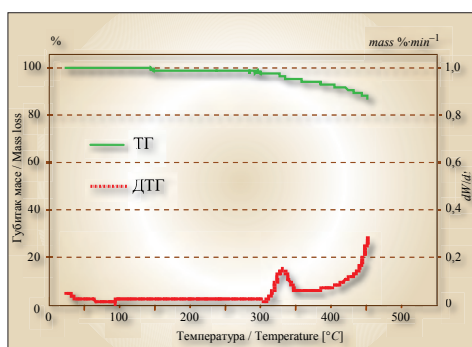
У погледу ефикасности НТ и БК, са фактором ефикасности од 3,7, су се као ватроотпорна средства показала најбоља јер су за око 32% побољшала термалну



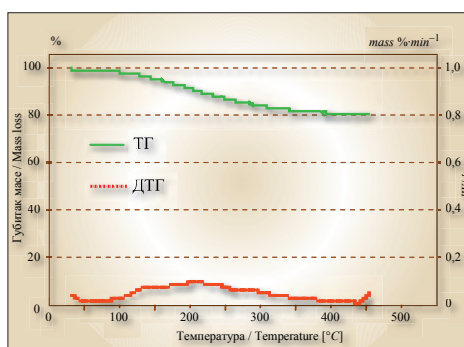
Слика 8. TG/DTG криве за чист диамонијум фосфат
Figure 8. TG/DTG curves for pure diammonium phosphate



Слика 9. TG/DTG криве за чист моноамонијум фосфат
Figure 9. TG/DTG curves for pure monoammonium phosphate



Слика 10. TG/DTG криве за чист натријум ацетат
Figure 10. TG/DTG curves for pure sodium acetate

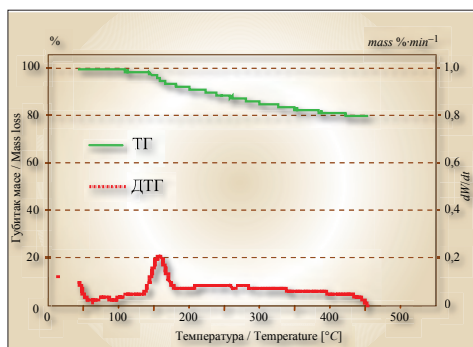


Слика 11. TG/DTG криве за чисто водено стакло
Figure 11. TG/DTG curves for pure water glass

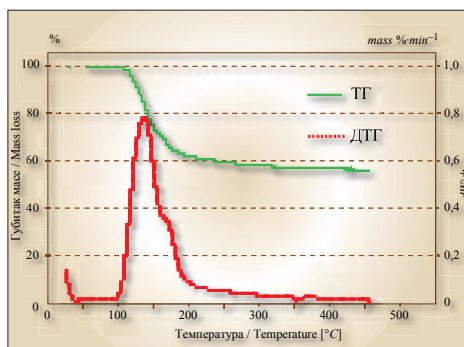
отпорност тополе. Најмање побољшање термалне стабилности су постигли ВС и НА чији је фактор ефикасности био само 2,5.

На основу резултата из табеле 3 и резултата из претходног рада (Гавриловић-Грмуша *et al.*, 2007) за постигнуту ефикасност ватроотпорних средстава примењених на букву, може се закључити да су ова средства ефикаснија у комбинацији са тополом него са буквом. Овај позитиван ефекат у случају тополе углавном потиче од већег приноса антипирена као и уједначеније импрегнације, узроковане већом порозности тополе.

Интересантно је приметити да су код обе врсте дрвета најмање побољшање термалне стабилности постигли ВС и НА и то са ефикасношћу од 2,5 у варијанти са тополом, тј. 1,1 у комбинацији са буквом.



Слика 12. TG/DTG криве за чист натријум тетраборат
Figure 12. TG/DTG curves for pure sodium tetraborate



Слика 13. TG/DTG криве за чисту борну киселину
Figure 13. TG/DTG curves for pure boric acid

Табела 3. Карактеристичне вредности TG и DTG анализе третираног и нетретираног дрвета

Table 3. The characteristics values of TG and DTG analysis of treated and nontreated wood

Ватроотпорно средство Fire retardant		Максимална брзина деградације Max. degrad. rate	t_0 при макс. брзини деградације t_0 at max. degrad. rate	Губитак/остатак на $t=450^\circ\text{C}$ Loss/residue at $t=450^\circ\text{C}$	Смањење губитка Loss reduction	Фактор ефикасности Factor of efficiency
		mas %·min ⁻¹	°C	%		
нетретирана		9,6	329,6	89,5 / 10,5	0,0	1,0
диамонијум-фосфат	ДФ	7,6	265,7	63,6 / 36,4	28,9	3,5
моноамонијум-фосфат	МФ	7,1	267,4	66,6 / 33,4	25,6	3,2
натријум ацетат	НА	7,4	282,9	74,8 / 25,2	16,4	2,4
водено стакло	ВС	8,4	315,3	67,4 / 26,3	18,0	2,5
натријум тетраборат	НТ	8,1	323,7	61,2 / 38,8	31,6	3,7
борна киселина	БК	7,2	329,1	60,6 / 39,4	32,3	3,7

3.2. Анализа отпорности према дејству ватре

Отпорност према дејству ватре је испитивана према стандарду SRPS D.T4. 039, а понашање нетретиране и третираних плоча у току 30 минута, колико траје испитивање, описано је у табелама 4 и 5.

Табела 4. Уочене промене на тополовим плочама, нетретираним и третираним ватроотпорним средствима у првих пет минута излагања пламену

Table 4. Noticeable changes on poplar plywood, nontreated and treated by fire retardants in the first five minutes of exposure to flame

Ватро-отпорно средство Fire retardant	Време опажања / Observation time min				
	1	2	3	4	5
нетретирана	Појавио се црн круг са доње стране и пламен се јавља у цвету; горе ивице плоче.	Интензивно гори. У 2'30" измакнут пламеник, нема самогашења.	Сагорела је скоро цела плоча; морала је да буде угашена песком.	/	/
диамонијум фосфат ДФ	Појавио се црн круг са доње стране и пламен се јавља у цвету.	Издваја се дим оштрог мириса; са горње стране се јавља црни круг пречника око 3 см.	Издвајање дима (интензивнијег); црни круг одозго је пречника око 5,5 см.	Са доње стране је достигао пречник од око 12 см, ватре нема.	Плоча не гори и не подржава горење, већ спречава; плоча је напукла одозго.
моноамонијум фосфат МФ	Појава црног круга са доње стране који се шири и достиже пречник од око 10 см.	Са доње стране нема пламена јер га плоча гаси и одбија од себе. Издвајање дима.	Издвајање дима оштрог мириса; плоча се листа са доње стране.	Са горње стране се појавио црни круг од око 5 см, а са доње је око 12 см у пречнику.	Са доње стране је плоча ужарена; интензитет дима се смањује сам од себе.
натријум ацетат НА	Појавио се црн круг са доње стране плоче и пламен у облику цвета.	Доња страна је у пламену у кругу од око 15 см, плоча је напукла са доње стране, јавља се и дим, али није оштрог мириса.	Пламен је захватио и ивице плоче које горе. Дим се појачао. Са горње стране се јавио црн круг од око 5 см.	Плоча је пробијена али пламена нема са горње стране. Са доње стране се плоча листа, али делови не опадају.	Појавио се пламен са горње стране и плоча гори само где је пробио пламен. Дима скоро нема.

Табела 4. Уочене промене на тополовим плочама, нетретираним и третираним ватроотпорним средствима у првих пет минута излагања пламену

Table 4. Noticeable changes on poplar plywood, nontreated and treated by fire retardants in the first five minutes of exposure to flame

Ватро-отпорно средство Fire retardant	Време опажања / Observation time min				
	1	2	3	4	5
водено стакло ВС	Појавио се црн круг са доње стране плоче и интензиван пламен.	Пламен је обухватио скоро целу доњу страну плоче и ивице. Плоча бурно гори и не показује самогасивост.	Измакнут је пламеник у 3'30" и после тога је плоча показала извесну самогасивост али се гасила споро.	/	/
натријум тетраборат НТ	Појавио се црн круг са доње стране плоче који се повећава и долази до пречника од око 7 см.	Пламен је ухватио плочу са доње стране у облику цветаста, а са горње се појавио црни круг од око 2 см.	Издаја се оштар дим. Плоча је напукла са доње стране али пламен не пробија. У 3'30" је плоча пробијена.	Напуклина на плочи је дужине од око 3 см. Са горње стране плоче јавља се горуња јер нема пламена са доње стране.	Плоча је показала самогасивост и у присуству извора горуња јер нема пламена са доње стране.
борна киселина БК	Појавио се црни круг на месту где пламен удара у доњу страну плоче и нагло се шири до око 10 см.	Пламен удара у плочу али плоча не попуцава. Пламен се издвајање оштрог дима.	Са горње стране се појавила тамна сенка око 2 см. Плоча је пробијена у 2'30" и али са доње стране распуклана је дужине од око 1 см.	Пламен је пробио са горње стране и плоча је интензивно гори, али са доње стране не гори.	Плоча је показала особине самогасивости у присуству извора горуња. Пламен је пре гашења постао зеленкаст.

Табела 5. Уочене промене на тополовим плочама, нетретираним и третираним ватроотпорним средствима у интервалу од 5-30 min излагања пламену

Table 5. The noticeable changes on poplar plywood, nontreated and treated by fire retardants in the interval of 5-30 min of exposure to flame

Ватро-отпорно средство Fire retardant	Време опажања / Observation time				
	5-7	7-9	9-11	11-15	15-30
диамонијум фосфат ДФ	Плоча је са доње стране напукла али није пробијена. Црни круг са горње стране се повећао. Дима више нема.	Место на плочи где удара пламен са доње стране повремено заискри али не гори. Плоча је пробијена у 7'30".	Нема пламена са горње стране полоче. Рука на плочи је у облику сидра дужине 2 ст.	Слаб пламен се јавља са горње стране, а рупа се готово не шири. Црни круг је са горње стране 7, а са доње 14 ст.	Плоча не гори и не подржава горење. Стање је остало исто до краја испитивања.
моноамонијум фосфат МФ	Плоча се на средини доње стране разлистава али без отпадања делова. Са горње стране је напукла.	Напуклина је ширине око 1 мм. У 8' је пробијена плоча, али пламена скоро нема одозго.	Рупа се не повећава, а пламена са горње стране нема. Ивице рупе гасе пламен.	Црни круг са горње стране плоче је 7,5 ст, а са доње 14. Плоча не гори и не помаже горење.	Стање је остало исто до краја. После измицања пламеника не показује ефекат продуженог жарења
натријум ацетат НА	Доња страна је скоро црна. Пламен пролази кроз отвор од 3 ст у пречнику.	Плоча не гори ни доње ни са горње стране. Показала је моћ самогашења	Пламен продире кроз отвор на средини који се не повећава. Ивице отвора се црвене.	Пламена има и са горње стране јер гасице отвора не гасе, али плоча не гори.	Стање је остало исто до краја након чега не показује ефекат продуженог жарења.
натријум тетраборат НТ	Пламен тиња са горње стране кроз отвор али плоча не гори и не подржава горење.	Са горње стране је црни круг пречника око 5 ст.	Стање је непромењено. Отвор се повећао на око 4 ст у пречнику.	Успостављено је стабилно стање. Плоча не гори и не подржава горење.	Након испитивања још око 10 min траје жарење ивица отвора кроз који је пролазио пламен.
борна киселина БК	Пламен је са горње стране плоче постао зеленкаст на врху угасио се.	Плоча је самогасива, не гори и не подржава горење. Пламена нема одозго.	Са горње стране је црни круг пречника око 10 ст, а са доње 12 ст.	Пламена и даље нема са горње стране. Ивице отвора га гасе.	Стање је остало исто до краја након чега не показује ефекат продуженог жарења.



Слика 14. Изглед узорака тополових третираних и нетретиране фурнирске плоче после испитивања отпорности на дејство ватре

Figure 14. The appearance of treated and nontreated poplar plywood after burning test

На основу посматрања узорака нетретиране и третиране плоче могло се закључити да су ватроотпорна средства углавном показала своје заштитно дејство код третиране плоче. Само једна плоча, третирана ВС није издржала тест до краја него до четвртог минута, при чему је гашена песком јер је показала извесну самогасивост, али се гасила споро, тако да се може рећи да јој се отпорност на ватру није побољшала у односу на нетретирану.

Може се закључити да је ВС које је и у ТГ/ДТГ анализи показало лоше, то потврдило и у испитивању отпорности на дејство ватре, док то није био случај са НА, који је испољио добру заштиту на дејство ватре иако му је фактор ефикасности у ТГ/ДТГ анализи био нижи у односу на друга испитана средства. Овај закључак важи и за средства са највећим фактором ефикасности, а то су НТ и БК. Плоче третиране са НТ, су после завршеног испитивања и уклањања пламеника, показале ефекат продуженог жарења још око 10-ак минута по ободу отвора кроз који је пролазио пламен.

Веома је интересантно запажање да је дим, који се развијао углавном у првим минутима испитивања и имао веома интензиван и оштар мирис, спонтано нестајао у потпуности до краја тестирања. Изглед узорака тополових третиране и нетретиране плоче након испитивања отпорности на дејство ватре је дат на слици 14.

4. ЗАКЉУЧЦИ

Третирањем дрвета ватроотпорним средствима се повећава термална отпорност тополе. Почетна температура термалне деградације третираног дрвета је нижа него нетретираног, губитак масе спорији, а остатак на $t=450^{\circ}\text{C}$ већи.

На основу термогравиметријске и диференцијалне термогравиметријске методесе може закључити да су најефикаснија средства у постизању ватроотпорности натријум-тетраборат (НТ) и борна киселина (БК) са фактором ефикасности од 3,7, јер су за око 32% побољшала термалну отпорност тополе, док су код букве најефикаснија средства била натријум-тетраборат (НТ) и моноамонијум-фосфат (МФ) са фактором ефикасности од 1,4, која су за око 16% побољшала термалну

отпорност букве. Може се закључити да су ватроотпорна средства ефикаснија у комбинацији са тополом него са буквом. Овај позитиван ефекат у случају тополе углавном потиче од већег приноса антипирена као и уједначеније импрегнације, узроковане већом порозности тополе.

На основу теста отпорности према дејству ватре као најефикаснија средства су се такође показала, натријум-тетраборат (НТ) и борна киселина (БК) код тополе и натријум-тетраборат (НТ) и моноамонијум-фосфат (МФ) код букве. Ово указује на валидност термогравиметријске методе у просејавању (screening-у) резултата и предвиђању успешности ватроотпорног средства у будућем производу - плочама.

Напомена: Истраживања изнета у овом раду финансирао је Министарство за науку и технолошки развој у оквиру пројекта „Дрвна биомаса као ресурс одрживог развоја Србије“ 20070-ТП.

ЛИТЕРАТУРА

- Wang S-Y., Rao Y.C. (1999): *Structural Performance of Fire-Retardants Treated Plywood: Effect of Elevated Temperature*, *Holzforschung* 53(5) (547-552)
- Woo J.K., Schniewind A.P. (1987): *Thermal Degradation of Wood Treated with Fire Retardants, I. DSC Analysis*, *Holzforschung* 41(5) (305-313)
- Гавриловић-Грмуша И., Миљковић Ј., Ђипоровић-Момчиловић М., Качаревић-Поповић З. (2007): *Одређивање степена ватроотпорности фурнирске плоче термогравиметријом, Део I - Букова фурнирска плоча*, Гласник Шумарског факултета 95, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд (57-71)
- Грмуша И. (2002): *Утицај ватроотпорних средстава на својства фурнира и фурнирских плоча од букве и тополе*, магистарски рад у рукопису, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд
- Николић С.М. (1988): *Фурнири и слојевите плоче*, Грађевинска књига, Београд
- Rowell M.R., Susott A.R., DeGroot F.W., Shafizadeh F. (1984): *Bonding fire retardants to wood: Part I - Thermal behavior of chemical bonding agents*, *Wood & Fiber Science* 16(2) (214-223)
- (1999): *SRPS D.T4.039 - Заштитна дрвеша*, „Метода испитивања заштитног премаза за дрво према дејству ватре“, Београд
- (2005): *Tables for the Laboratory*, Merck
- Фотић Љ., Лаушевић М., Скала Д., Бастић М. (1990): *Инструменталне методе хемијске анализе*, Универзитет у Београду - Технолошко-металуршки факултет, Београд
- (2000): *Chemicals Reagents 1999/2000*, Merck

Ivana Gavrilović-Grmuša
Jovica Miljković
Milanka Điporović-Momčilović
Mladen Popović

**FORECASTING THE DEGREE OF FIRERETARDANCY OF PLYWOOD WITH
THERMOGRAVIMETRY
PART II: POPLAR PLYWOOD**

Summary

In this study, poplar veneers have been impregnated with solutions of chosen fire retardants, e.g. diammonium phosphate, monoammonium phosphate, sodium acetate, water glass, sodium tetraborate and boric acid. TG/DTG analyses curves showed better fire resistance of treated veneers. Analyses showed that fire retardant chemicals are designed to lower the temperature of thermal degradation and raise charcoal amount of treated wood. Fire retardant properties of plywood produced of treated and nontreated veneers and submitted to fire during 30 minutes according to standard (SRPS D.T4.039) were used for final confirmation of cited analysis. Concerning the efficiency, the sodium tetraborate and boric acid were the most successful, among the tested fire retardants. Sodium tetraborate has the highest factor of efficiency probably due to the fact that it forms the crystalhydrate structure with water molecules that prevent the rise of wood temperature and its pyrolysis.