

Ивана Гавриловић-Грмуша
Јован Миљковић
Миланка Ђипоровић-Момчиловић
Зорица Качаревић-Поповић

UDK: 630*832.281+843.4
Оригинални научни рад

ОДРЕЂИВАЊЕ СТЕПЕНА ВАТРООТПОРНОСТИ ФУРНИРСКЕ ПЛОЧЕ ТЕРМОГРАВИМЕТРИЈОМ ДЕО I - БУКОВА ФУРНИРСКА ПЛОЧА

Извод: Основни мотив овог рада је све наглашенија потреба за фурнирским плочама отпорним на ватру. У овом раду, букови фурнири су импрегнисани растворима изабраних ватроотпорних средстава, а то су: диамонијум фосфат (DF), моноамонијум фосфат (MF), натријум ацетат (NA), водено стакло (VS), натријум тетраборат (NT) и борна киселина (BK). Да би се прелиминарно одредио достигнути ниво ватроотпорности још код фурнира, пре израде готових плоча, примењене су термогравиметријска (TG) и деривативна термогравиметријска (DTG) метода. TG 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 MF и NT, као и код TG/DTG анализа, што указује на валидност термогравиметријске методе у предвиђању успешности ватроотпорног средства у будућем производу.

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

DETERMINING THE DEGREE OF FIRERETARDANCY OF PLYWOOD WITH THERMOGRAVIMETRY - PART I: BEECH PLYWOOD

Abstract: The basic motive of this work is the ever more pronounced need for fire-resistant plywood. In this work, beech veneers have been impregnated with solutions

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

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

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

др Зорица Качаревић-Поповић, виши научни сарадник, ИИИ „Винча“, Београд

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, monoammonium phosphate and sodium tetraborate, 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 природни композит и, после камена, најстарији грађевински материјал. Веома леп изглед и разноликост текстуре и боја чине га незаменљивим контрастом у односу на хладне грађевинске материјале као што су челик, алуминијум, бетон, стакло. Међутим, у грађевинарству постоји све већа потреба за ватроотпорним дрвеним конструкцијама које су способне да задовоље нове стандарде. Захтеви у погледу температуре стабилности и ватроотпорности су све оштрији.

Према подели грађевинског материјала према понашању за време пожара (DIN 4102), дрво спада у запаљиве материјале (класа Б), потребно је разликовати његову запаљивост, у односу на његову знатну пожарну отпорност. Дрво се, због специфичности своје грађе, убраја у оне материјале који, и поред неповољности које са собом носи пожар, задржавају своја еластомеханичка својства и могу да носе одређено оптерећење, за разлику од металних конструкција које се савијају на високој температури.

Два најважнија начина ширења пожара у објекту, из просторије у којој је настао, су кроз врата и преко фасаде ка просторији на следећој етажи. Лаке конструкције од дрвета могу бити заштићене различитим ватроотпорним средствима тако да обезбеђују висок степен отпорности у случају пожара. Третирање дрвета ватроотпорним хемикалијама и ватроотпорним премазима је одличан начин да се спречи ширење пламена и обезбеди отпорност према ватри у интервалу од 30-60 минута, што обезбеђује могућност евакуације људи и материјалних добара.

Примена ватроотпорних средстава на дрво и производе од дрвета се најчешће спроводи на два начина. Први подразумева површинско премазивање средствима при чему се штити дрво испод превлаке. Овај третман продужава време до запаљења као и ширење пламена када до њега дође. Међутим, у условима разбукталог пожара ефикасност оваквих материјала је мала. Друга и много значајнија примена је путем напајања, што подразумева апсорпцију различитих ватроотпорних једињења међу којима највише неорганских соли. На тај начин се добијају производи који у потпуности задовољавају грађевинске прописе, јер обезбеђују пожарну отпорност.

С обзиром на већ споменути значај врата у спречавању ширења пожара, као и то да су фурнирске плоче најважнији конструктивни елемент врата, предмет истраживања у овом раду су управо фурнири и фурнирске плоче, могућности примене антипирена код њих и постигнути степен ефикасности.

TG/DTG методе су софистициране микрометоде, које користе губитак масе као основни параметар, па у истраживањима могу да замене макрометоде или да се примењују у комбинацији са њима, јер пружају вредне информације. Посебно због тога што се аутоматски региструју параметри који се прате и компјутерски се обрађују у условима строго контролисаног пораста температуре узорка у изабраној инертној гасној фази, да би се на крају добили прецизни графици на писачу повезаним са компјутером и штампачем. Зато су овде комбиноване TG/DTG методе са стандардном макрометодом за одређивање отпорности према дејству ватре (JUS D.T4.039).

2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

2.1. Материјали

Предмет истраживања у овом раду је била једна од најчешћих домаћих врста дрвета која се љушти у фурнире, а то је буква (*Fagus Moesiaca* из фитоценозе *Fagetum montanum*), са подручја Источне Србије, старости око 30-50 година. Фурнири ове дрвне врсте одабрани су на стоваришту фабрике фурнирских плоча ШИК „Кучево” у Кучеву.

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

Ватроотпорно средство Fire retardants	Молек. маса Molec. mass	Тачка топ. Melt. point	Раствор. у H ₂ O/100 g Solub. in H ₂ O/100 g		pH
		°C	20°C	100°C	50 g·l ⁻¹ , 20°C
DF	132,05	155 (r)*	68,6	115,5	7,8-8,5
MF	115,00	190	36,8	174,0	3,8-4,4
NA	82,03	324	124,0	170,15	7,5-9,0
VS	122,06	1.088	растворљив - insoluble		11-11,5
NT	201,20	741	2,7	52,5	9-10 (25 g·L ⁻¹ H ₂ O)
BK	61,80	185 (p)*	5,04	39,7	3,8-4,8 (33 g·L ⁻¹ H ₂ O)

* r - распада се

На основу расположиве литературе (Rowell, 1984, Woo, 1987) се може 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 (DF) - $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, произвођач МП „Хемија”, Београд, pro analysi;
- моноамонијум фосфат (MF) - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, произвођач „Zorka Pharma”- Шабац, pro analysi;
- натријум ацетат (НА), CH_3COONa , произвођач ИТНМС (Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина), Београд, pro analysi;
- натријум силикат - водено стакло (VS) - Na_2SiO_3 , произвођач „Галеника-Магмасил”, Београд, pro analysi;
- натријум тетраборат (NT) - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, произвођач „Еуро Хемија”, Београд, pro analysi;
- борна киселина (БК) - H_3BO_3 , произвођач „Zorka Pharma”, Шабац, pro analysi.

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

2.2. Методе

а) Посијуајак ирејирања вајроојјорним средсјивима

Фурнири домаће букве, претходно осушени до константне масе, импрегнисани су потапањем у растворе ватроотпорних соли током једног сата на собној температури и под атмосферским притиском, после чега су поново сушени до константне масе да би се израчунао принос импрегнационих средстава у фурнирима. Приноси ових средстава (ватроотпорних соли) које су фурнири апсорбовали из раствора претходно наведеним третманом су били: DF 3,57 масена %, MF 5,16 мас.%, NA 5,12 мас.%, VS 2,68 мас.%, NT 5,09 мас.% и BK 2,17 масена %. Контролна група фурнира није импрегнисана.

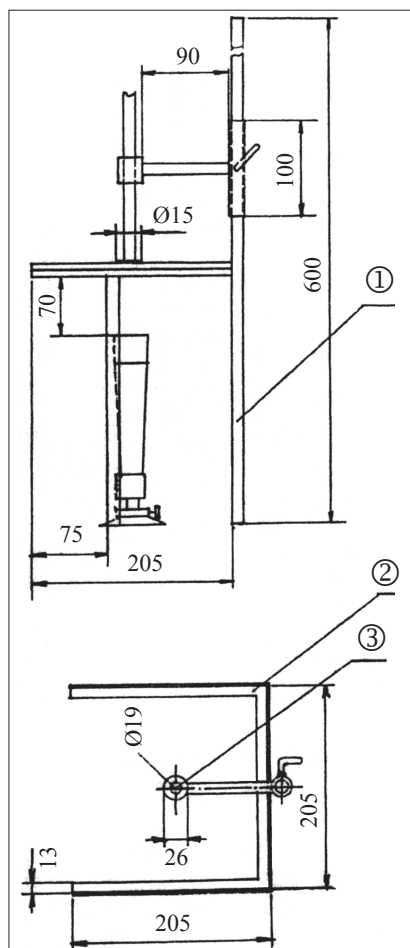
б) Израда вајроојјорних фурнирских плоча

За производњу трослојне ватроотпорне фурнирске плоче коришћени су импрегнисани и неимпрегнисани фурнири букве (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, специфични притисак 9,8 bara и време пресовања 9,5 min. Након пресовања, плоче су кондиционисане на 65±5% r.v. и 20°C.

в) 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·min⁻¹, почевши од 30°C па све до 450°C. Анализа је вршена на узорцима фурнира и соли у отвореним пановима. Узорци фурнира су припремани тако што су апсолутно суви третитани и нетретирани фурнири ситњени у иверје, а



Слика 1. Уређај за испитивање ватро-отпорних особина шперплоче
 Figure 1. Aparature for testing of fire retardant properties of plywood

затим млевени на микро млину до величине честице које пролази кроз отвор $0,5 \text{ mm}$. Узорци соли су, такође, сушени до константне масе, а затим испитивани. Количина узорака за анализу углавном је била $4-9 \text{ mg}$.

и) *Одређивање отпорности према дејству ватре*

Одређивање отпорности према дејству ватре је испитивано према стандарду JUS D.T4.039. Испитивање је вршено по методи А поменутог стандарда, помоћу уређаја приказаног на слици 1.

Уређај се састоји од:

- сталка (1) са држачем узорка (2);
- пламеника (3).

Епрувета се поставља у држач, учвршћен на сталку, на висини 70 mm од врха пламеника до доње површине епрувете. Пламен пламеника се подеси тако да је температура пламена $700-900^\circ\text{C}$. Испитивање траје 30 min .

Узорци су пре испитивања били климатизовани 24^{h} 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

Термијске анализе спадају у групу инструменталних метода које се заснивају на континуалним мерењима промене физичких особина узорка у зависности од унапред дефинисане промене температуре са временом (Фотић, Јаушевић, Скала, Бастић, 1990). Метода TG која прати губитак масе узорка са порастом температуре, уобичајено је праћена израчунавањем тренутне брзине губитка масе са порастом температуре - DTG.

За анализу су одабрани фурнири чија су времена третирања била различита, водећи рачуна о томе да им одговарајући масени процентуални приноси (МРР) буду у што већој мери уједначени, због лакшег поређења постигнуте термостабилности

Табела 2. Време потапања (t_i) и масени процен-туални принос (МПП) за TG анализе
Table 2. Immersion time (t_i) and weight percent gain (WPG) for TG analyses

Ватроотпорно средство Fire retardants	t_i	МПП WPG
	h	%
диамонијум фосфат (DF) diammonium phosphate	4	4,5
моноамонијум фосфат (MF) monoammonium phosphate	1	4,3
натријум ацетат (NA) sodium acetate	2	4,5
водено стакло (VS) water glass	3	4,5
натријум тетраборат (NT) sodium tetraborate	1	4,3
борна киселина (BK) boric acid	2	4,4

њем TG крива третираних узорака са нетретираним (слика 2) запажа се да је почетна температура термалне деградације третираног дрвета нижа него нетретираног, губитак масе спорији, а остатак на $t=50^\circ\text{C}$ већи. Сем тога, брзина губитка масе (DTG) код третираних узорака је мања. Такође су код третираних узорака температуре при којима се одвија максимална деградација ниже него код нетретираних, што се слаже и са резултатима неких других истраживача (Wang, Rao, 1999). Разлог ранијег почетка термалне деградације третираних узорака је разлагање самих ватроотпорних средстава (слике 9-14), што, са друге стране, у извесној мери успорава термално разлагање дрвета.

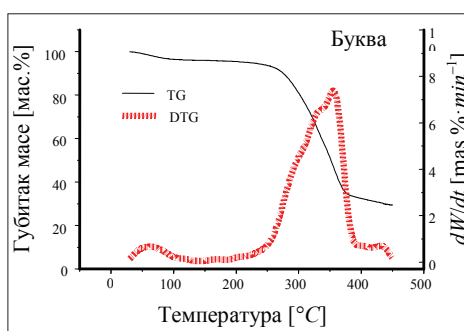
Расветљавање утицаја структуре антипирена на побољшање термалне стабилности дрвених узорака, може се употпунити са резултатима TG и DTG анализе самих средстава приказаних на сликама од 9-14. Са слика се види да су DF и BK, као антипирени, показали најмању стабилност, јер су у температурном опсегу од $30-450^\circ\text{C}$ имали губитак масе од 41% и 44%, док су NT и VS имали двоструко мањи губитак, а NA само 13%.

различитим ватроотпорним средствима. Времена третирања фурнира и МПП за примењена ватроотпорна средства су дати у табели 2.

Карактеристичне TG и DTG криве за нетретирано дрво букве приказане су на слици 2, а за третирано дрво на сликама од 3 до 8.

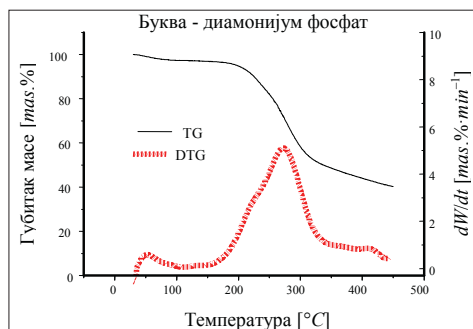
Са слике 2 се може видети да TG крива дрвета букве на почетку има благи пад који се односи на испаравање конституционе воде и отклањање лако испарљивих материја из дрвета, а затим нагли пад који указује на почетак пиролизе на температури око 250°C .

Третирањем дрвета ватроотпорним средствима побољшава се термална отпорност букве, што се може уочити са слика 3-8. Поређе-

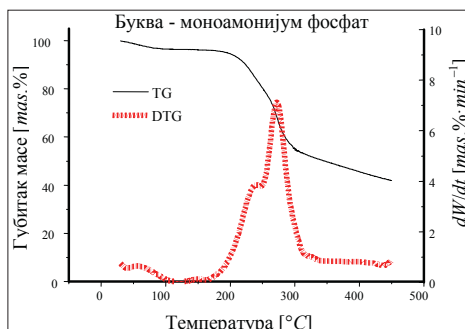


Слика 2. TG/DTG криве за нетретиране букве фурнире

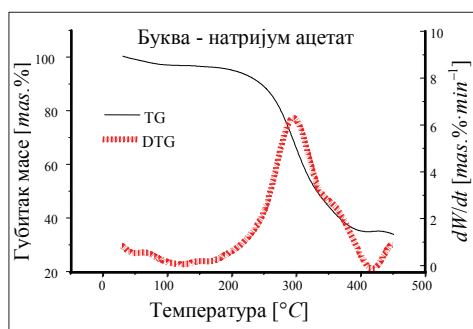
Figure 2. TG/DTG curves for the untreated beech veneers



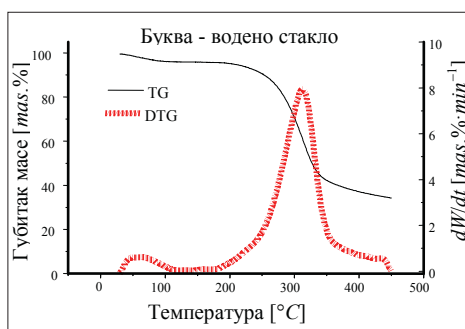
Слика 3. TG/DTG криве за букове фурнире третиране диамонијум фосфатом
Figure 3. TG/DTG curves for beech veneers treated in diammonium phosphate



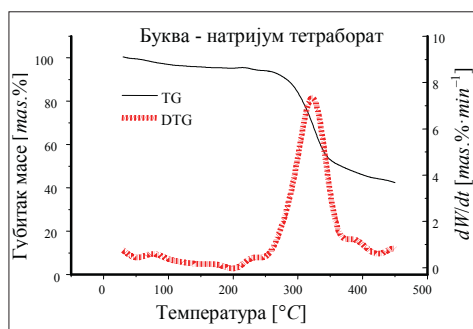
Слика 4. TG/DTG криве за букове фурнире третиране моноамонијум фосфатом
Figure 4. TG/DTG curves for beech veneers treated in monoammonium phosphate



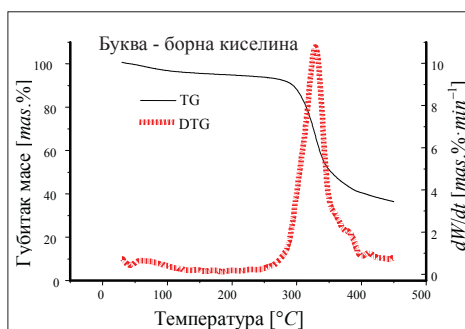
Слика 5. TG/DTG криве за букове фурнире третиране натријум ацетатом
Figure 5. TG/DTG curves for beech veneers treated in sodium acetate



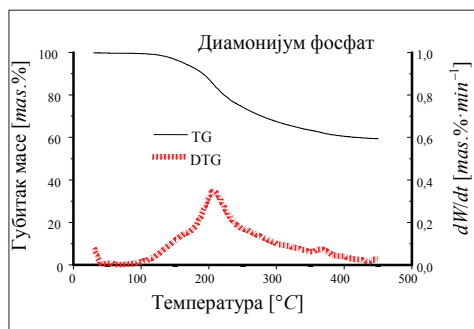
Слика 6. TG/DTG криве за букове фурнире третиране у раст. воденог стакла
Figure 6. TG/DTG curves for beech veneers treated in water glass



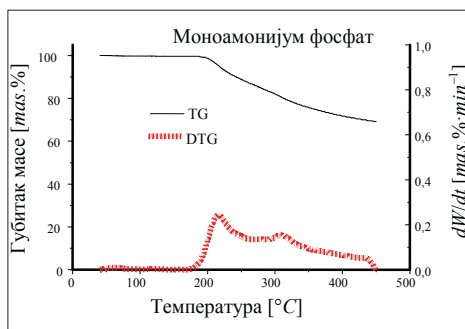
Слика 7. TG/DTG криве за букове фурнире третиране натријум тетраборатом
Figure 7. TG/DTG curves for beech veneers treated in sodium tetraborate



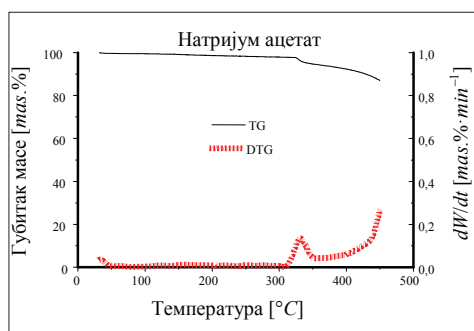
Слика 8. TG/DTG криве за букове фурнире третиране борном киселином
Figure 8. TG/DTG curves for beech veneers treated in boric acid



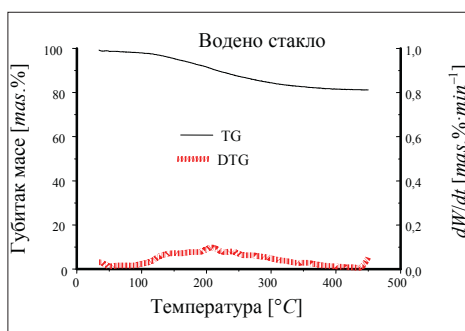
Слика 9. TG/DTG криве за чист диамонијум фосфат
Figure 9. TG/DTG curves for pure diammonium phosphate



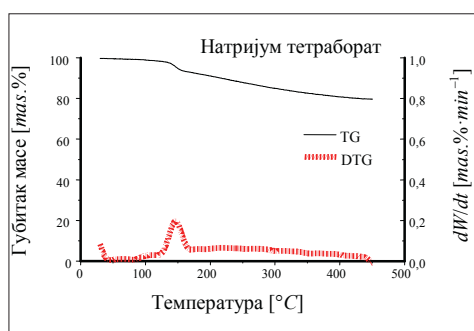
Слика 10. TG/DTG криве за чист моноамонијум фосфат
Figure 10. TG/DTG curves for pure monoammonium phosphate



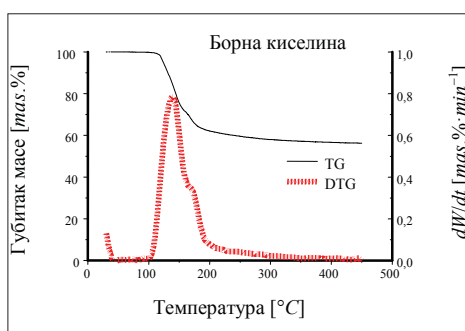
Слика 11. TG/DTG криве за чист натријум ацетат
Figure 11. TG/DTG curves for pure sodium acetate



Слика 12. TG/DTG криве за чисто водено стакло
Figure 12. TG/DTG curves for pure water glass



Слика 13. TG/DTG криве за чист натријум тетраборат
Figure 13. TG/DTG curves for pure sodium tetraborate



Слика 14. TG/DTG криве за чисту борну киселину
Figure 14. TG/DTG curves for pure boric acid

С обзиром на облик DTG крива, може се приметити да је температура при максималној деградацији најнижа код NT (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 NT објашњење његове врло добре ефикасности, јер се она уклања на значајно вишим температурама.

У односу на NT, VS 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 је било веома важно утврдити да би се добио реалан увид у то колико је од увећаног остатка третираног дрвета у односу на нетретирано потекло од увећаног остатка самог дрвета због његове веће отпорности на дејство повишене температуре.

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

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	$V_{d_{max}}$	t°	L_t	L_r	F_e
	mas.%·min ⁻¹	°C	%	%	
нетретирана	7,3	356,9	70,7/29,3	0	1
диамонијум-фосфат (DF)	5,1	273,7	60,6/39,4	14.3	1.3
моноамонијум-фосфат (MF)	7,1	273,3	59,3/40,7	16.1	1.4
натријум ацетат (NA)	7,9	296,4	68,7/31,3	2.8	1.1
водено стакло (VS)	6,3	313,2	68,1/31,9	3.8	1.1
натријум тетраборат (NT)	7,2	322,5	59,2/40,8	16.2	1.4
борна киселина (BK)	10,7	330,0	64,5/35,5	8.8	1.2

Легенда/Legend: $V_{d_{max}}$ - макс. брзина деградације (max. degrad. rate), t° - температура при макс. брзини деградације (temperature at max. degrad. rate), L_t - губитак/остатак на $t=450^{\circ}C$ (loss/residue at $t=450^{\circ}C$), L_r - смањење губитка (reduce of loss), F_e - фактор ефикасности (factor of efficiency)

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 NT и MF, са фактором ефикасности од 1.4, су се као ватроотпорна средства показала најбоља јер су за око 16% побољшала термалну отпорност букве.

Најмање побољшање термалне стабилности су постигли VS и NA чији је фактор ефикасности био само 1.1.

3.2. Анализа отпорности према дејству ватре

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

На основу посматрања узорака нетретиране и третиране плоче могло се закључити да су ватроотпорна средства углавном показала своје заштитно дејство код третиране плоче. Три третиране плоче (са DF, NA и VS) нису издржале тест до краја него максимално до седмог минута, од чега су плоче са NA и VS гашене песком, јер нису показале самогасивост, чак ни без присуства извора горења, тако да се може рећи да им се отпорност на ватру није побољшала у односу на нетретиране.

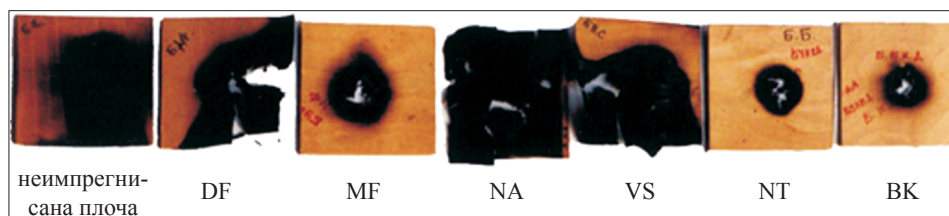
Може се закључити да су VS и NA који су се у TG/DTG анализи показали лоше, то потврдили и у испитивању отпорности на дејство ватре. Овај закључак важи и за најуспешнија средства, а то су MF и NT. Плоче третиране са NT, су после завршеног испитивања и уклањања пламеника, показале ефекат продуженог жарења још око 10-ак минута по ободу отвора кроз који је пролазио пламен. Због тога је дошло до промене редоследа у ефикасности када се ради о ова два ватроотпорна средства, па је NT иза MF, а у TG/DTG анализи се показао најефикаснији. Највеће побољшање термалне стабилности је показала плоча третирана са MF, јер је код ње обод отвора кроз који је пролазио пламен гасио тај пламен тако да га није било са друге стране плоче. Ово је од изузетног значаја због спречавања ширења ватре на друге предмете у току пожара.

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 букових третиране и нетретиране плоче након испитивања отпорности на дејство ватре је дат на слици 15.

4. ЗАКЉУЧЦИ

На основу извршених анализа, утврђено је да се третирањем дрвета ватроотпорним средствима повећава термална отпорност букве. Почетна температура



Слика 15. Изглед узорака букових третиране и нетретиране фурнирске плоче после испитивања отпорности на дејство ватре

Figure 15. The appearance of beech treated and nontreated plywood after burning test

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

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

Ватроопорно средство Fire retardant	Време опажања/Observation time [min]				
	1	2	3	4	5
нетретирана	Појавио се црни круг са доње стране и пламен у облику цвета.	Доња страна плоче гори у пламену у облику цвета.	Пламен је обухватио целу плочу. У 2'30" је уклоњен пламеник а плоча је угашена песком.	/	/
диамонијум фосфат DF	Појавио се црни круг са доње стране и пламен у облику цвета.	Са доње стране плоча је попуцала и пукотина се шири али плоча није пробијена. Издваја се дим оштрог мириса.	Са горње стране се појавио таман круг пречника од око 2 см. Распуклана са доње стране плоче се повећала.	Плоча је пробијена и пламен се појавио са горње стране кроз рупу.	Пламен се шири са горње стране тако да је захватио и ивице плоче. Плоча гори али не бурно. Отпади дају делови плоче.
моноамонијум фосфат MF	Са доње стране се појавио црни круг који достиже пречник од око 7 см. Нема горења јер пламен нестаје у додиру са плочом.	Плоча је напукла са доње стране. Са горње стране се појавила сенка. Издваја се дим оштрог мириса.	Са горње стране је црни круг достигао пречник од 3 см. Шири се интензиван дим. Плоча је пробијена.	Пламен пробија кроз плочу, али се са горње стране скоро не види. Плоча не гори и не подржава горење.	Ужарен је центар црног круга кроз који пробија пламен, али рубови рупе гасе (пригушују) пламен.
натријум ацетат NA	Појавио се црни круг са доње стране који се шири веома брзо. Појавио се и пламен у цвету са доње стране.	Интензивно је издвајање оштрог дима. Плоча је пробијена и пламен је захватио ивице плоче.	Ватра је веома интензивна. Гори цела плоча и нема самога-шења. Пламеник је уклоњен, плоча је угашена песком.	/	/

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

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

Ватроопорно средство Fire retardant	Време опажања/Observation time [min]				
	1	2	3	4	5
водено стакло VS	Појавио се црни круг са доње стране који се шири веома брзо. Пламен се јавио на доњој страни у облику прстена.	Цела доња страна плоче је црна и у пламену. Са горње стране се појавио црни круг пречника од око 2 cm.	Плоча гори и са стране. Проблијена је у 2'40". Измакнут је пламеник. Плоча гори бурно и угашена је песком.	/	/
натријум тетраборат NT	Са доње стране се појавио црни круг и проширио до око 7 cm пречника. Плоча је мало напукла са доње стране.	Издаја се дим оштрог мириса. Са горње стране се појавио црни круг пречника око 3 cm. Плоча је проблијена у 2'15".	Дим је све интензивнији. Пламен проблија кроз плочу и види се са горње стране.	Пламен пролази само кроз средину плоче. Ивице рупе које додирује пламен су ужарене. Плоча не гори и не подржава горење.	Рупа на средини се веома мало шири и ивице су и даље ужарене, али плоча не гори.
борна киселина BK	Са доње стране се појавио црни круг и проширио до око 10 cm пречника. Издаја се оштар дим са горње стране плоче.	Издајање дима постаје веома интензивно. Са горње стране се појавила тамна сенка пречника од око 5 cm.	Плоча је проблијена али пламен не пробија са горње стране. Отвор на плочи где удара пламен је релативно мали.	Ивице отвора су веома ужарене али уједно и гасе пламен који се не појављује са горње стране.	Плоча не гори и не подржава горење. Показује особине самогасивости, а отвор се веома мало повећава.

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

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

Ватроотпорно средство Fire retardant	Време опажања/Observation time [min]				
	5 - 7	7 - 9	9 - 11	11 - 15	15 - 30
диамонијум фосфат DF	Пламен пробија кроз отвор лептирастог облика величине 3-4 cm. Плоча гори одозго.	У 7' је измакнут пламеник. Плоча је горела све слабије и, на крају, се сама угасила.	/	/	/
моноамонијум фосфат MF	Дим полако сам од себе нестаје. Плоча не гори и не подржава горење.	Црни круг са доње стране се не шири и не опадају изгорели делови плоче.	Пламен који пробија кроз плочу је све слабијег интензитета са горње стране.	Рука на средини плоче кроз коју пробија пламен је неправилног облика и величине око 3 cm.	Стање је остало исто до краја након чега не показује ефекат продуженог жарења
натријум тетраборат NT	Стање је не промењено. Рука кроз коју пролази пламен се мало шири.	Ивице руке које додирују пламен су на тренутке изразито црвене али нема горења.	Пламен је са горње стране слабог интензитета Рука се знатно шири.	Плоча не подржава горење и не гори. Стање је стабилно.	Након испитивања још око 10 min траје жарење ивица отвора кроз који је пролазио пламен.
борна киселина BK	Црни круг са доње стране је пречника од око 12 cm, али је отвор мали - свега 1 cm.	Пламена са горње стране плоче нема. Отвор је неправилног облика.	Ивице отвора се црвене и као да гасе пламен. Плоча не гори и не подржава горење.	Отвор на средини се знатно повећава, а црни круг се не повећава.	Стање је остало исто до краја након чега не показује ефекат продуженог жарења.

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 методе се може закључити да су најефикаснија средства у постизању ватроотпорности натријум-тетраборат (NT) и моноамонијум-фосфат (MF).

На основу теста отпорности према дејству ватре као најефикаснија средства су се, такође, показала моноамонијум-фосфат (MF) и натријум-тетраборат (NT). 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 финансирало је Министарство за науку и технологију у оквиру пројекта VTN-361005A. Део резултата из магистарске тезе мр Иване Грмуше је укључен у овај рад.

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)
- Грмуша И. (2002): *Утицај ватроотпорних средстава на својства фурнира и фурнирских плоча од букве и шиполе*, 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 and Fiber Science 16(2), (214-223)
- Фотић Љ., Лаушевић М., Скала Д., Бастић М. (1990): *Инструменталне методе хемијске анализе*, практикум за вежбе, Београд
- Chemicals Reagents 1999/2000*, Merck
- Tables for the Laboratory*, Merck
- Метода испитивања заштитног премаза за дрво према дејству ватре*, JUS D.T4.039 - заштита дрвета, ЗСИДМ, Београд

Ivana Gavrilović-Grmuša
Jovan Miljković
Milanka Điporović-Momčilović
Zorica Kačarević-Popović

**DETERMINING THE DEGREE OF FIRERETARDANCY OF PLYWOOD WITH
THERMOGRAVIMETRY - PART I: BEECH PLYWOOD**

Summary

Fire-retardants are applied to wood and wood-based materials in two ways to provide a high degree of fire performance. One method involves surface coating to protect the underlying wood members. Such treatments increase time to ignition and reduce flame spread following ignition. However, such materials are of little benefit in a post-flashover fire. The second and more important application is by soak treatment. This application assumed absorption of fire-retardant compounds, such as different inorganic salts. Such impregnating treatments both reduce flame spread and produce wood-based products which are accepted in the building codes, since they have improved fire endurance. In this study, beech 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. Thermogravimetric (TG) and derivative thermogravimetric (DTG) analyses were performed on a Perkin-Elmer TGS-2 thermogravimetric equipment. 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 raises 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 (JUS D.T4.039) were used for final confirmation of cited analysis. Concerns the efficiency, the sodium tetraborate was the most successful, among tested fire retardants. This is probably due to the fact that it formates the crystalhydrate structure with water molecules that prevent the rise of wood temperature and its pyrolysis.

