

# Određivanje intenziteta oslobođanja topline iz drvnih proizvoda i konstrukcija u uvjetima požara

## DETERMINATION OF A RATE OF HEAT RELEASE FROM WOOD PRODUCTS AND STRUCTURAL MATERIAL UNDER EXPOSURE TO FIRE

Prof. dr. **Vladimir Bruči**, dipl. ing.  
ŠUMARSKI FAKULTET, ZAGREB

UDK 630\*812.143:  
630\*862.2/3

Prispjelo: 12. listopada 1984.  
Prihvaćeno: 3. studenog 1984.

Pregledni rad

### Sažetak

Najveći broj ispitivanja radi klasifikacije materijala s obzirom na ponašanje u vatri i opasnosti od požara vrši se ispitivanjem reakcije materijala na vatru. Pod reakcijom na vatru podrazumijeva se upaljivost materijala i njegova sposobnost da gori. Kada se ta pojava pomnije ispituje, treba uzeti u razmatranje: (1) upaljivost (2) širenje plamena, (3) oslobođanje topline.

U ovom radu dani su, tabelarno i grafički, rezultati ispitivanja intenziteta oslobođanja topline kod gorenja u kalorimetru uz kontrolirane uvjete slijedećih materijala i konstrukcija: drvene ploče izrađene od piljenica duglazijeve, srednje guste vlaknatice, furnirske ploče (vodo- i vatro-otporne), zidne konstrukcije s pločom od gipsa, tvrde vlaknatice i iverice.

Ključne riječi: intenzitet oslobođanja topline — reakcija na vatru — upaljivost — širenje plamena — oslobođanje topline.

### Summary

Major number of tests for classification of materials with regard to behavior on fire and flame spread risks have been carried out by testing reaction of materials to fire. When speaking about the reaction of material to fire, it is understood the ignitability of material and its ability to burn. When examining such an event closely, the following should be taken into consideration: (1) ignitability, (2) flame spread, (3) heat release.

This report presents results in tables and graphs on the tests of a rate of heat release at burning in a calorimeter by watching the conditions of the following materials and structures: panels made from sawn Douglas-fir boards, medium density fiberboards, waterproof and fireproof plywood, wall structures with gypsum board, high density fiberboard and particle boards.

Key words: rate of heat release — reaction to fire — ignitability — flame spread — release of heat. (A. M.)

### Uvod

Sve do nedavno zakonodavci su pomoću građevinskih normi nastojali spriječiti širenje vatre u zgradama ugrađujući »negorive« materijale, koji se često zahtijevaju u raznim konstrukcijama zgrada. Međutim, ta praksa imala je za posljednicu dvije poteškoće: prvo, teško je dati odgovarajuću definiciju »negoriv« i drugo, mnogi materijali sa smanjenim rizikom u pogledu nastajanja požara bili su diskvalificirani. Zakonodavac sada počinje priznati »slabu gorivost« nekih građevinskih materijala s obzirom na oslobođanje topline po jedinici mase ili površine u jedinici vremena (intenzitet oslobođanja topline). Smatra se da je oslobođena toplina po jedinici površine u jedinici vremena najprikladnija osnova za uočavanje razlika između »gorivih« i »slabo gorivih« materijala.

Nažalost, nema općenito priznate metode za ispitivanje intenziteta oslobođanja topline, iako po-

stoji više prikladnih metoda. Zbog činjenice da ne postoji propisana opće priznata metoda, za definiranje »slabe gorivosti«, predložena je upotreba metode »potencijalne topline«. To je metoda, kojom se određuje gorenjem ukupno oslobođena toplina iz materijala u jedinici vremena. Zbog toga se papir, tvrde vrste drva i drvo s dodatkom vatrozaštitnog sredstva gotovo jednako rangiraju, jer oslobođaju skoro jednaku količinu topline po jedinici mase.

U stvarnom požaru, ukoliko je intenzitet oslobođanja topline mali, postoji daleko manja opasnost za širenje požara nego ako je intenzitet oslobođanja topline velik. Za prihvaćanje i sigurnu upotrebu drvnih proizvoda u građevinarstvu važno je imati odgovarajuće metode za određivanje intenziteta oslobođanja topline.

Kod razvijanja standardnih metoda za određivanje intenziteta oslobođanja topline ispitivanja su vršena s različitim materijalima i nekoliko različ-

tih aparatura. U ovom su radu prikazani rezultati ispitivanja dobiveni u FPL Madison. Ispitivanja izvršena u FPL u Madison-u dio su gore spomenutih ispitivanja.

## OPREMA

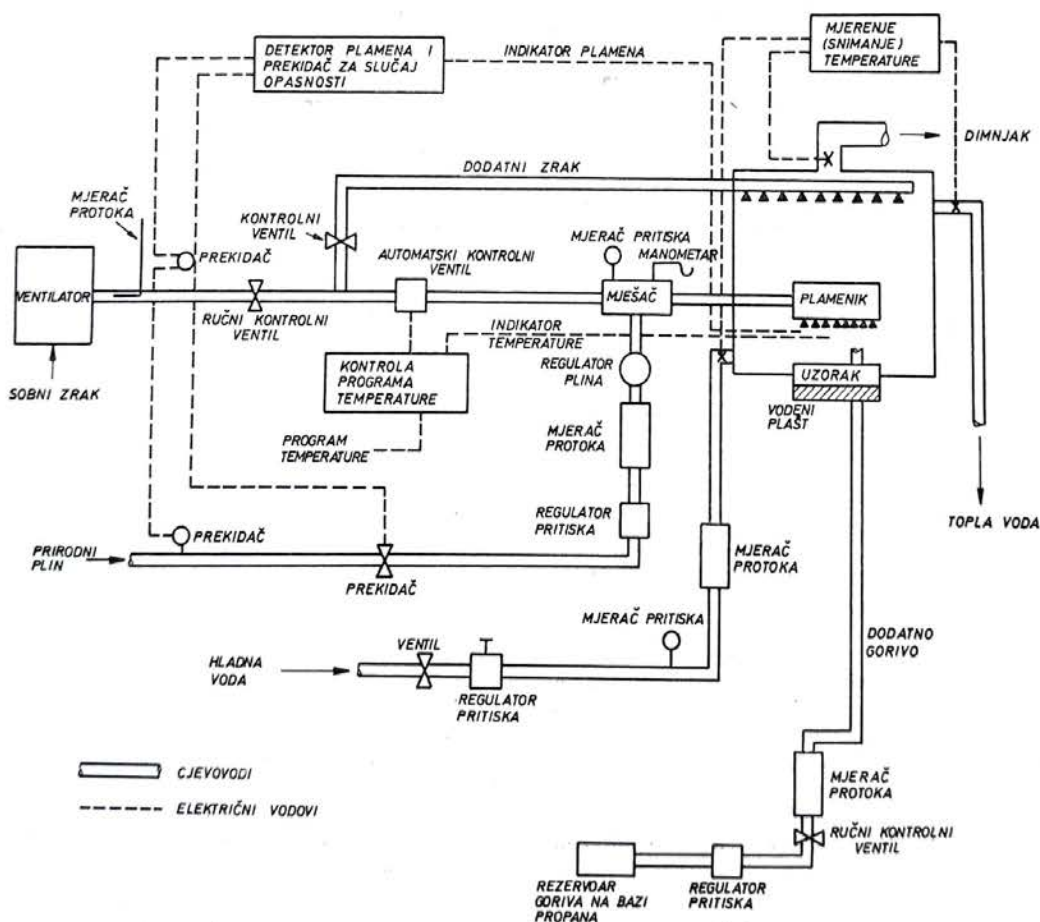
Aparatura, koja je upotrijebljena za određivanje brzine oslobađanja topline u FPL, Madison, sastoji se od peći, u kojoj je ispitani materijal (uzorak) jednom stranom izložen vatri, i instrumenata koji kontroliraju i snimaju različite pojave za vrijeme ispitivanja (sl. 1.). Unutrašnjost izolirane peći bila je oko 76 cm široka, 110 cm visoka i 43 cm duboka. Prednja strana peći ima otvor oko 45 x 45 cm<sup>2</sup> za postavljanje uzorka za ispitivanje. Odušak (dimnjak) na gornjem dijelu peći ima rešetku od žičane mreže da se postigne ravnomjerniji prolaz plinova i bolje mjerenje temperature plinova. Temperatura u dimnjaku mjeri se s tri 20-žilna termopara. Peć je izolirana slojem vode (vodeni plašt) koja struji u prostoru oko peći i apsorbira toplinu. Unutar peći nalazi se plamenik, koji koristi mješavinu prirodnog plina i zraka. Omjer

zraka i prirodnog plina može se podešavati. Podešavanjem omjera zrak: prirodni plin, moguće je postići razne oblike i boje plamena, te temperature kojoj je uzorak izložen. Po potrebi u peć se uvodi dodatni zrak (sekundarni zrak).

Sekundarni zrak služi da: (1) osigura kisik za sagorjevanje uzorka za ispitivanje i (2) stvara vrtloženje u peći, što poboljšava razdiobu temperature. Vodeni plašt uzorka za ispitivanje dio je sistema u kojem cirkulira voda i tako je konstruiran da čvrsto i sigurno pristaje na zadnji dio uzorka za ispitivanje. Voda prolazi iz vodenog plašta peći u vodeni plašt uzorka za ispitivanje, pa opet u vodeni plašt peći.

Slijepi uzorak za ispitivanje 46x46 cm upotrebljava se za podešavanje uvjeta u peći. Uzorak je izrađen od dvije ploče azbestne ljepenke, svaka debljine 13 mm, a između njih se nalazi 6 mm deo sloj izolacije od mineralne vune.

Mjerenje razdiobe temperature, kojoj je uzorak za ispitivanje izložen, vrši se termoparovima, koji su postavljeni oko 6 cm ispred strane uzorka koja je izložena plameniku, i to na uglovima i u sredini uzorka.



Slika 1. Shematski prikaz rada kalorimetra za određivanje brzine oslobađanja topline iz raznih materijala



## PRIPREMA UZORAKA ZA ISPITIVANJE

Uzorci za ispitivanje kondicioniraju se kod temperature 27°C i 30% relativne vlage najmanje 6 tjedana prije ispitivanja. Površina uzorka za ispitivanje koja se izlaže plameniku uvijek je 46x46 cm.

U ovom prikazu dati su rezultati ispitivanja sljedećih materijala i konstrukcija:

- Ploča izrađena od piljenica duglazijevine — Piljenice su bile bez kvrga ili drugih grešaka, debljine 38 mm, 18,5 cm širine i 46 cm dužine. Gotov uzorak imao je dimenzije 460x460x38 mm.
- Srednje gusta vlaknatica, debljine 9,5 mm.
- Furnirska ploča (vodootporna), debljine 19 mm, izrađena iz duglazije s termoaktivnim ljepilima.
- Zidna konstrukcija s pločom iz gipsa — izrađena je od ploče iz gipsa, debljine 9,5 mm, i 3 vertikalne mosnice 5x10 cm iz duglazije. Na zadnjoj strani te konstrukcije bila je pričvršćena ploča iz gipsa debljine 12 mm, da bi se postigla izolacija i spriječio gubitak topline.
- Vatrootporna furnirska ploča — od dva proizvođača — nominalne debljine 13 mm. Oba tipa ploča sadržavala su po 56 kg/m<sup>3</sup> anorganske soli.
- Tvrda vlaknatica — obrađena toplinom, debljine 6,3 mm.
- Iverica — troslojna ploča za građevinarstvo, debljine 13 mm, izrađena s dodatkom oko 7% karbamid-formaldehidnog ljepila.

## POSTUPAK ISPITIVANJA

Ovaj postupak za određivanje oslobađanja topline može se smatrati »postupkom zamjene«. U tom postupku za svaki ispitivani materijal izvode se dva ispitivanja. Prvo ispitivanje se vrši s uzorkom za ispitivanje i mjeri se efekt koji ima gorenje uzorka na temperaturu u dimnjaku. Drugo ispitivanje vrši se negorivim uzorkom i dodatnim »zamjenskim plamenikom«, u kojem sagorjeva količina goriva kojom se postiže isti odnos vrijeme-temperatura kao kod prvog ispitivanja. Intenzitet oslobađanja topline računa se zatim na osnovi potrošnje goriva na zamjenskom plameniku kod drugog ispitivanja.

Prvi korak kod oba ispitivanja je zagrijavanje peći. Time se osigurava da se peć dovede u određene stabilne uvjete ispitivanja. Peć je ugrijana kad je: (1) porast temperature vode za hlađenje konstantan (oko 12°C), (2) temperatura u dimnjaku peći konstantna (482±8°C) i (3) temperatura na krajevima negorivog uzorka konstantna (426±10°C).

Cilj prvog ispitivanja je da se vidi kako se ponaša peć kad uzorak za ispitivanje sagorjeva.

Kod tog ispitivanja, poslije perioda zagrijavanja peći, negorivi uzorak zamjenjuje se uzorkom iz materijala ili konstrukcije koji se ispituju.

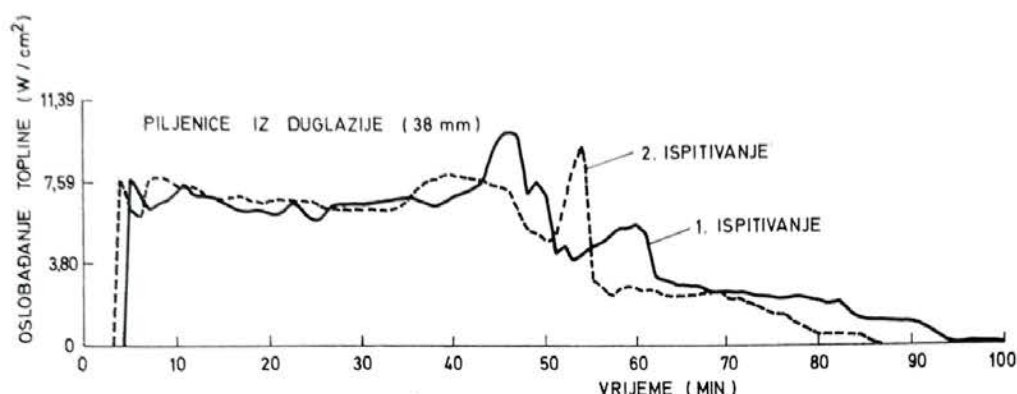
Za vrijeme gorenja snimaju se veličine, na osnovi kojih se računa količina oslobođene topline. Te veličine su: porast temperature plinova u dimnjaku i porast temperature vodenog plašta. Cilj drugog ispitivanja je da reproducira, što je moguće bolje, uvjete u peći koji su postojali za vrijeme prvog ispitivanja. Nakon zagrijavanja peći do stabilnih uvjeta potrebnih za ispitivanje, koji trebaju biti što je moguće bliži uvjetima kod prvog ispitivanja, u peć se uvodi gorivo na bazi propana. Količina goriva regulira se tako da se postigne jednaki odnos temperatura: vrijeme kao što je bilo za vrijeme prvog ispitivanja.

Za vrijeme drugog ispitivanja mjeri se potrošnja goriva u m<sup>3</sup>/min. Također se prati promjena temperature vodenog plašta, koji služi za hlađenje. Intenzitet oslobađanja topline dobije se množenjem količine utrošenog goriva, na bazi propana, u minuti s toplinom koja se oslobađa gorenjem tog goriva. U obzir se uzima površina uzorka (0,21 m<sup>2</sup>) pa se intenzitet oslobađanja topline izražava u W/cm<sup>2</sup> površine uzorka. Budući da se u proračunima uzima u obzir količina protoka i promjena temperature, nakon svake minute rezultati se prikazuju krivuljom koja daje intenzitet oslobađanja topline u odnosu na vrijeme.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati ispitivanja dati su tabelarno (tab. 1) i grafički. Krivulje općenito imaju slična područja, koja se mogu tumačiti na temelju materijala iz kojeg je izrađen uzorak i načina ispitivanja. Nakon što je uzorak montiran u peć, postoji period vremena u kojem toplina teče od vruće peći prema relativno hladnom uzorku, a ne očituje se u oslobađanju topline. Dužina tog perioda ovisi o početnoj masi i temperaturi uzorka, brzini prijelaza topline i temperature koja se mora postići prije nego će početi aktivna egzotermička reakcija.

Kod većine ispitanih materijala, poslije faze zagrijavanja uzorka pojavljuje se period aktivnog sagorjevanja plamenom. Za to vrijeme produkti pirolyze kreću se iz zagrijanog uzorka prema njegovoj površini, miješaju se s određenom količinom zraka i gore plamenom. Tim redoslijedom može se objasniti zašto se maksimum intenziteta oslobađanja topline često pojavljuje ubrzo nakon faze zagrijavanja. Za vrijeme tog perioda često se na površini formira sloj uglja. Taj sloj smanjuje intenzitet oslobađanja topline, jer se smanjuje termički tok prema hladnijoj, termički nerazgrađenoj unutrašnjosti uzorka i zbog sporijeg kretanja proizvoda termičke razgradnje iz unutrašnjosti uzorka prema njegovoj površini.



Slika 2. Brzina (intenzitet) oslobađanja topline iz drvne ploče sastavljene od 38 mm debelih dasaka duglazije

U toku daljeg ispitivanja uzorak za ispitivanje počinje pucati i drobiti se. Na mjestima loma pojavljuju se nepirolizirani dijelovi uzorka, što uzrokuje povećano oslobađanje topline (maksimum sredinom ili pred kraj ispitivanja. Kod ponovljenih ispitivanja dobivene vrijednosti kretale su se u granicama  $\pm 10\%$  od srednje vrijednosti.

Ploče iz duglazije. Krivulje prikazane na slici 2 mogu se smatrati tipičnim za ispitivanje masivnog drva ovim načinom ispitivanja. Nakon početnog perioda zagrijavanja postiže se maksimum od oko  $7,6 \text{ W/cm}^2$ .

Srednje gusta vlaknatica (MDF). Krivulje na slici 3 pokazuju da poslije perioda zagrijavanja uzorka prvi period sagorjevanja plame-

nom pokazuje vrlo veliki intenzitet oslobađanja topline. Tabela I pokazuje da se oko dvije trećine površine ispod krivulje pojavljuje unutar prvih deset minuta od početka ispitivanja. Poslije 12—14 minuta uzorak se pretvara u gomilu užarenog materijala na podu peći u kojoj se vrši ispitivanje.

Furnirske ploče (vodootporne). Krivulje na slici 4 pokazuju da nakon prvog perioda zagrijavanja uzorka slijedi kratka faza (oko 2 min) gorenja plamenom, a zatim period s relativno sporim oslobađanjem topline. Od dvadesete minute stvaraju se pukotine u uzorku, i uzorak se razgrađuje. U tom momentu naglo se povećava intenzitet oslobađanja topline. Nakon trideset minuta uzorak sagorjeva žarom i gotovo sav izgori.

Intenzitet oslobađanja topline

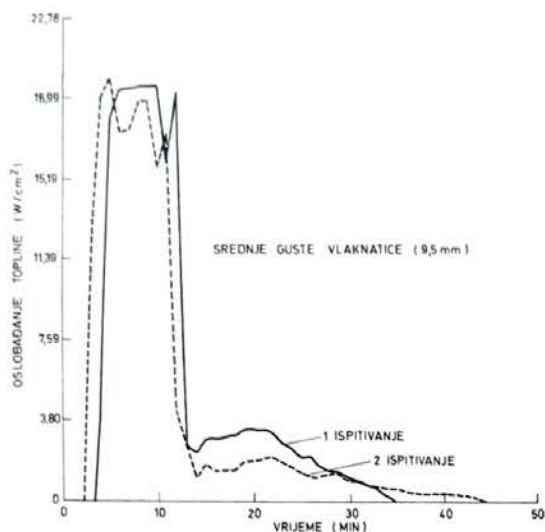
TABLICA I

Uzorak	Gustoća — — debljina uzorka	Intenzitet oslobađanja topline			Površina ispod krivulje (za prvih 10 min)
		Maksimalni	Trajanje u min	Prosječni za prvih 10 min	
	$\text{kg/m}^3$ —mm	$\text{W/cm}^2$		$\text{W/cm}^2$	%
Ploča iz duglazije	480 — 38	9,95	46	4,12	7,9
	529 — 38	9,30	54	5,05	11,6
Srednje gusta vlaknatica	609 — 9,5	19,60	10	11,92	62,7
	625 — 9,5	19,90	5	13,75	66,6
Furnirska ploča (vodootporna)	545 — 19	16,35	24	4,29	15,5
		17,73	21	5,41	18,7
Zidna konstrukcija s pločom od gipsa	— — 124	1,80	83	0	0
Vatrootporna furnirska ploča Proizvođač A	641 — 13	8,88	20	0	0
		6,38	22	0	0
Proizvođač B	609 — 13	6,87	20	0,13	1,1
		22,01*	6	8,07	73,3
Tvrda vlaknatica	945 — 6,3	17,62**	8		
		17,94*	4	8,35	40,0
Iverica	680 — 13	17,11**	4	7,65	37,6

\* prvi maksimum

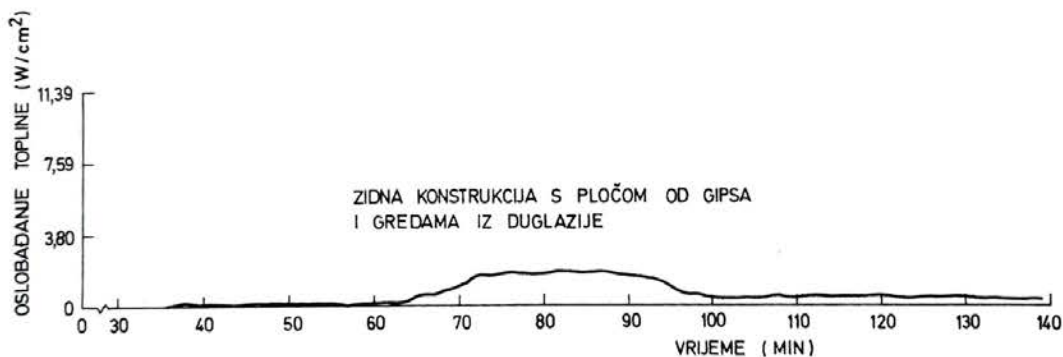
\*\* drugi maksimum



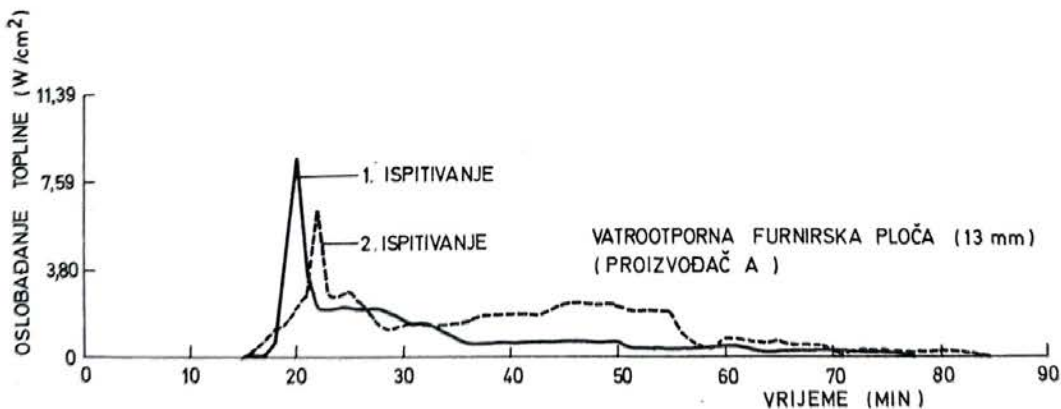


Slika 3. Intenzitet oslobađanja topline za vrijeme ispitivanja srednje guste vlaknate

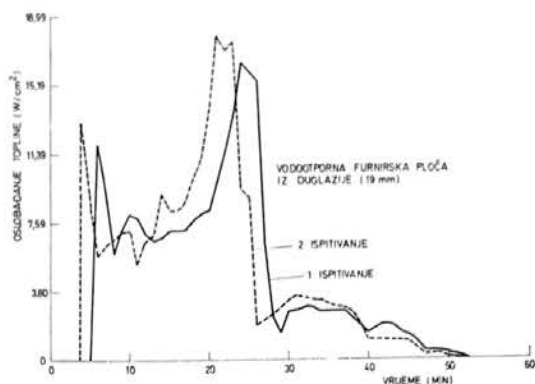
Zidna konstrukcija s pločom iz gipsa — Krivulja koja pokazuje brzinu oslobađanja topline za ovaj materijal (sl. 5.) — bitno se razlikuje od prethodnih krivulja. Nema maksimuma,



Slika 5. Intenzitet oslobađanja topline za vrijeme ispitivanja zidne konstrukcije s pločom od gipsa i gredama iz duglazije



Slika 6a

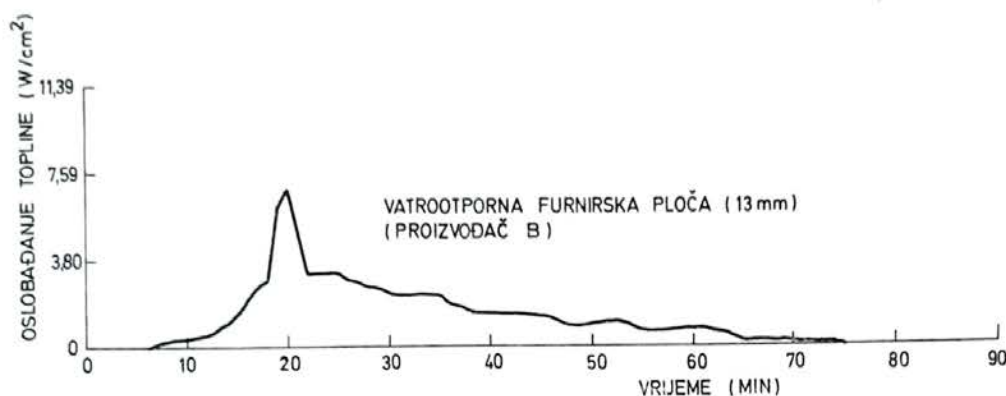


Slika 4. Intenzitet oslobađanja topline za vrijeme ispitivanja vodoopornih furnirskih ploča

jer nema gorenja plamenom. Maksimalni intenzitet oslobađanja topline je 1,71 do 1,9  $W/cm^2$ .

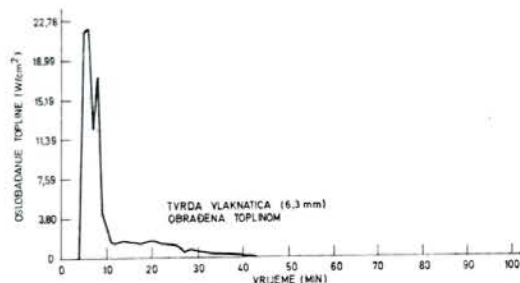
Treba istaći da je teško predvidjeti ponašanje u vatri neke konstrukcije na temelju intenziteta oslobađanja topline iz materijala koji je sastavni dio te konstrukcije.

Vatrootporna furnirska ploča. — Iako krivulje na slici 6. imaju maksimum u periodu od dvadesete do dvadeset druge minute, što općenito predstavlja gorenje plamenom, ipak va-



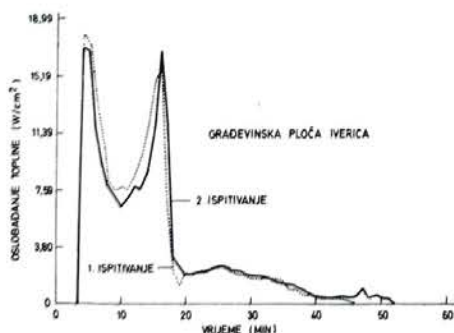
Slika 6b  
Slika 6. Intenzitet oslobađanja topline za vrijeme ispitivanja vatrootpornih furnirskih ploča dvaju proizvođača

trotoporne furnirske ploče sagorjevaju uglavnom žarom. Obrada ploča vatrozaštitnim kemijskim sredstvima znatno smanjuje intenzitet oslobađanja topline, što je uočljivo ako se usporede krivulje na slici 6. s krivuljama na slici 4.



Slika 7. Intenzitet oslobađanja topline tvrde vlaknaticе

Tvrda vlaknatica. — Krivulja na slici 7. ukazuje na relativno dug period apsorbaranja topline poslije kojeg se javlja period vrlo intenzivnog oslobađanja topline (vjerojatno se radi o gorenju plamenom), a zatim slijedi period malog intenziteta oslobađanja topline. Maksimalni intenzitet oslobađanja topline je  $22,01 \text{ W/cm}^2$ .



Slika 8. Intenzitet oslobađanja topline ploča iverice

Iverica — Krivulja na sl. 8. pokazuje dva izrazita maksimuma intenziteta oslobađanja topline. Prvi se javlja nakon 4—5 minuta a drugi 12—16 minuta. Maksimalni intenzitet oslobađanja topline iznosi  $17,94 \text{ W/cm}^2$ .

## ZAKLJUČCI

1. Dobivene karakteristične krivulje prikazuju intenzitet oslobađanja topline za različite vrste drvnih proizvoda, koji su ispitani u kalorimetru Forest Products Laboratory-a u Madison-u. Krivulje se mogu objasniti pomoću oblika i dimenzija uzoraka, vrstom materijala iz kojeg je izrađen uzorak i uvjeta kojima je uzorak izložen za vrijeme ispitivanja.

2. Obrada furnirskih ploča vatrozaštitnim kemijskim sredstvima smanjuje oslobađanje topline (i kod gorenja plamenom i žarom).

3. Teško je predvidjeti intenzitet oslobađanja topline neke konstrukcije na osnovi rezultata dobivenih mjerenjem intenziteta oslobađanja topline materijala koji čine konstrukciju. Međusobno djelovanje pojedinih komponenata za vrijeme ispitivanja vrlo je kompleksno.

4. Što se više topline oslobađa unutar određenog vremena i po jedinici površine, to opasniji je upaljni materijal. Povećano oslobađanje topline pogoduje termičkoj razgradnji (pirolizi) i povećava opasnost da se zapale ostali materijali.

## LITERATURA

- [1] Amaro, A. J., Kanury, A. M., Lipska, A. E., Martin, S. B.: (1974). Thermal indices from heat-release rate calorimetry, Pap. No. 37, Western States Sec. of the Combustion Inst, Fall Meeting American Elsevier Put. Co., New York.
- [2] Brenden, J. J.: (1973). An apparatus developed to measure rate of heat release from building materials. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 217. For. Prod. Lab., Madison, Wis.
- [3] Brenden, J. J.: (1974). Rate of heat release from Woodbase building materials, USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 230 For. Prod. Lab., Madison, Wis.
- [4] Branden, J. J.: Measurements of heat release rates on wood products and an assembly, USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 281.
- [5] Holmes, A., Eickner, W. H., Brenden, J. J., White, H. R.: (1979). Fire performance of structural flakeboard from forest residue, Research paper FPL 315.
- [6] Landochamp, R. de: Reaction to fire of fire-resistant and non-fire-resistant particleboards. 38th meeting of the Technical Commission (of FESYP), Wiesbaden. Reports and discussion, 1980, 165—173.
- [7] \*\* National Bureau of Standards (1960): Potential heat of materials in building fires, Tech. News Bul. 44, p. 184—187.
- [8] Parker, W. J., Long, M. E.: (1972). Development of a heat release calorimeter at NBS. Ignition of materials, ASTM STP 502. Amer. Soc. Test and Mater., p. 119—134.
- [9] Smith, E. E.: (1971). An experimental determination of combustibility. Fire Technol. 1 (2): 109—119.
- [10] Thompson, Norman J., Cousins, E. W.: (1959). The factory mutual construction materials calorimeter. Nat. Fire Prot. Agency Q. 52 (3): 186—196.

Recenzent: mr Stjepan Petrović