

# ФАКТОР САГОРЕВАЊА И ЊЕГОВА ПРИМЕНА У ПРОЦЕНИ ОТПОРНОСТИ НА ПОЖАР

## COMBUSTION FACTOR AND ITS APPLICATIONS TO FIRE RESISTANCE ESTIMATION

Иван АРАНЂЕЛОВИЋ\*, Бранислав ГАЈИЋ, Филип ЈЕКИЋ  
Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд

*Група немачких техничких стандарда DIN 18230 даје једну од најважнијих методологија за одређивање класе ватроотпорности грађевинских конструкција. У овом раду биће објашњено одређивање фактора сагоревања горивих материјала, који је значајан параметар у прорачуну ватроотпорности дефинисаном стандардом DIN 18230.*

**Кључне речи:** *фактор сагоревања; специфично пожарно оптерећење; степен отпорности конструкције грађевинског објекта према пожару; DIN 18230*

*Group of German technical standards DIN 18230 give one of the most important methodology for determining the class of fire resistance of structures. In this paper will be presented methodology for determining combustion factor of combustible materials, which is significant parameter in calculation defined by group of standards DIN 18230.*

**Key words:** *combustion factor; fire load density; fire resistance time of structures; DIN 18230*

### 1 Увод

Полазећи од претходних истраживања Гелингера рађених за металне конструкције и Боеа, у периоду од 1959. до 1964. године В. Халпап развија методологију за процену неопходне отпорности грађевинске конструкције према пожару индустријских објеката. Историјски преглед и даље референце се могу наћи у [1,2,3]. Та методологија је стандардизована у групи немачких техничких стандарда DIN 18 230 [4-7] која је у периоду од 1964. до 2010. године модификован више пута. У Србији су први пут стандарди DIN 18 230 – 1. део (верзија из 1987. године) и DIN 18 230 – 3. део имплементирани 1997. године у облику техничке препоруке [8] а DIN 18 230 – 2. део у облику стандарда [9]. Данас су верзија DIN 18 230:2010 – 1. део и DIN 18 230:2002 – 3. део нормирана у облику Правилника [10]. Поред предметне методологије за процену отпорности конструкције према пожару могу се користити и поступци Гретенера и Пурта, који су превасходно намењени за анализу пожарних ризика, што је детаљније разматрано у [11-15].

### 2 Опис прорачунске процедуре

У наставку рада ће бити изложени најважнији делови прорачунске процедуре стандарда [4] који се примењују у одређивању прорачунске отпорности конструкције индустријског објекта према пожару.

#### 2.1. Прорачунска отпорност према пожару

Параметри неопходни за прорачун су дефинисани у Табели 1.

Прорачунска отпорност грађевинске конструкције се израчунава применом формуле:

$$\text{erf } t_F = t_a \cdot \gamma \cdot \alpha_L \quad (1)$$

У зависности од добијене вредности одређује се минималано време отпорности конструкције према пожару (Табела 2).

\* Corresponding author, e-mail: iarandjelovic@mas.bg.ac.rs

Табела 1 – Параметри неопходни за прорачун

| рбр. | Параметар                          | Ознака            | Јединица мере                                      |
|------|------------------------------------|-------------------|--|
| 1.   | Прорачунско пожарно оптерећење     | $q_R$             | $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$                |
| 2.   | Фактор сагоревања                  | $m_i$             | -  |
| 3.   | Комбинована допунска вредност      | $\psi_i$          | -  |
| 4.   | Еквивалентно време трајања пожара  | $t_a$             | min  |
| 5.   | Фактор прерачунавања               | $c$               | $\text{min}\cdot\text{m}^2/\text{kW}\cdot\text{h}$ |
| 6.   | Фактор одвођења топлоте            | $\omega$          | -  |
| 7.   | Сигурносна допунска вредност       | $\gamma$          | -  |
| 8.   | Додатна вредност                   | $\alpha_L$        | -  |
| 9.   | Отпорност грађевинске конструкције | $\text{erf } t_F$ | min  |

Табела 2 – Минималано време отпорности конструкције према пожару

| рбр | $\text{erf } t_F [\text{min}]$ | Време отпорности конструкције према пожару | Класа |
|-----|--------------------------------|--|-------|
| 1.  | 15                             | без захтева                                | -     |
| 2.  | 15 - 30                        | 30 min                                     | F30   |
| 3.  | 30 - 60                        | 60 min                                     | F60   |
| 4.  | 60 - 90                        | 90 min                                     | F90   |
| 5.  | 90 - 120                       | 120 min                                    | F120  |

### 2.2. Еквивалентно време трајања пожара

Еквивалентно време трајања пожара ( $t_a$ ) се израчунава према формули:

$$t_a = q_r \cdot c \cdot \omega. \quad (2)$$

Запажамо да је ово време директно пропорционално прорачунском пожарном оптерећењу.

### 2.3. Прорачунско пожарно оптерећење

Прорачунско пожарно оптерећење се одређује применом формуле:

$$q_r = \sum_i \frac{M_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i}{S} \quad (3)$$

где је:

$q_r$  – прорачунско пожарно оптерећење у  $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ ,  $H_i$  – доња топлотна моћ материје у  $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ,

$M_i$  – маса материјала у kg,  $S$  – површина основе у  $\text{m}^2$ ,  $m_i$  – фактор сагоревања,

$\psi_i$  – комбинована допунска вредност,  $i$  – индекс елементарне јединице.

### 2.4 Прорачунски пример

Пример у овом поглављу је написан према раду [1] одакле је преузете и Табела 3. Разматрани пожарни сектор је једноетажни, површине  $A = 1.000,00 \text{ m}^2$ , висине  $h = 4 \text{ m}$ , на њему нису изведени хоризонтални отвори ( $a_h = 0$ ). Усвојено је да је  $c = 0,25 \text{ min}\cdot\text{m}^2/\text{kW}\cdot\text{h}$  као и да је  $\gamma =$

$\alpha_L = 1$ . Одатле се добија да је  $t_a = erf t_F$ . У Табели 3 приказана веза између прорачунског пожарног оптерећења и минималне захтеване отпорности конструкције према пожару.

Табела 3 – Параметри разматраног објекта

| q <sub>R</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ] | q <sub>R</sub> [kW·h/m <sup>2</sup> ] | erf t <sub>F</sub> [min] | класа        | q <sub>R</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ] | q <sub>R</sub> [kW·h/m <sup>2</sup> ] | erf t <sub>F</sub> [min] | класа          |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------|
| 54                                  | 15                                    | 10,26                    | нема захтева | 317                                 | 88                                    | 60,19                    | F90            |
| 72                                  | 20                                    | 13,68                    | нема захтева | 324                                 | 90                                    | 61,56                    | F90            |
| 76                                  | 21                                    | 14,36                    | нема захтева | 472                                 | 131                                   | 89,60                    | F90            |
| 79                                  | 22                                    | 15,05                    | F30          | 475                                 | 132                                   | 90,29                    | F120           |
| 90                                  | 25                                    | 17,10                    | F30          | 479                                 | 133                                   | 90,97                    | F120           |
| 144                                 | 40                                    | 27,36                    | F30          | 630                                 | 175                                   | 119,70                   | F120           |
| 151                                 | 42                                    | 28,73                    | F30          | 634                                 | 176                                   | 120,38                   | није допустиво |
| 158                                 | 44                                    | 30,01                    | F60          | 637                                 | 177                                   | 121,07                   | није допустиво |
| 313                                 | 87                                    | 59,51                    | F60          | 641                                 | 178                                   | 121,75                   | није допустиво |

### 3. Фактор сагоревања

Фактор сагоревања се усваја из Табеле 1 Правилника [10], која је преузета из стандарда [3]. Уколико он за неку врсту материјала не може директно преузети из наведених докумената, требало би га непосредно одредити применом стандарда [11]. Он битно зависи од начина смештаја, густине, висине складиштења и влажности горивог материјала. Обрнуто је пропорционалан времену достизања максималне температуре остварене приликом сагоревања узорка у условима дефинисаним у [11]. За јединичну вредност се узима време остварено приликом сагоревања референтног узорка формираног од дашчица смреке, према правилима датим у [11]. Времена достизања максималне температуре референтног узорка ( $t_v$ ), у зависности од доње топлотне моћи узорка ( $Z$ ) дајемо у Табели 4.

Табела 4 Времена достизања максималне температуре референтног узорка

| m [kg] | Z [MJ/kg] | Z [kW/kg] | t <sub>v</sub> [min] | m [kg] | Z [MJ/kg] | Z [kW/kg] | t <sub>v</sub> [min] |
|--------|-----------|-----------|----------------------|--------|-----------|-----------|----------------------|
| 10     | 172,8     | 48        | 15                   | 160    | 2764,8    | 768       | 155                  |
| 20     | 345,6     | 96        | 29                   | 180    | 3110,4    | 864       | 165                  |
| 30     | 518,4     | 144       | 42                   | 200    | 3456      | 960       | 174                  |
| 40     | 691,2     | 192       | 54                   | 250    | 4320      | 1200      | 192                  |
| 50     | 864       | 240       | 66                   | 300    | 5184      | 1440      | 205                  |
| 60     | 1036,8    | 288       | 77                   | 400    | 6912      | 1920      | 218                  |
| 70     | 1209,6    | 336       | 87                   | 500    | 8640      | 2400      | 225                  |
| 80     | 1382,4    | 384       | 97                   | 600    | 10368     | 2880      | 231                  |
| 90     | 1555,2    | 432       | 106                  | 700    | 12096     | 3360      | 236                  |
| 100    | 1728      | 480       | 115                  | 800    | 13824     | 3840      | 241                  |
| 120    | 2073,6    | 576       | 130                  | 900    | 15552     | 4320      | 246                  |
| 140    | 2419,2    | 672       | 142                  | 1000   | 17280     | 4800      | 250                  |

Фактор сагоревања се израчунава применом формуле:

$$m_i = k \cdot \frac{Z}{Z_r} \quad (4)$$

где је  $Z$  доња топлотна моћ узорка,  $Z_r$  доња топлотна моћ референтног узорка а коефицијент  $k$  одређује применом формуле:

$$e^{0,4 \cdot \left(\frac{t}{t_r} - 1\right)} \quad (5)$$

где је  $t$  време достизања максималне температуре узорка  $t_r$  време достизања максималне температуре референтног узорка.

#### 4 Литература

- [1] **Arandelović, I., R. Rajić, N. Tanasić**, The determination of optimal areas of facade openings of industrial buildings for fire safety planning, 17. међународна конференција заштита од пожара и експлозија, pp. 49 – 54, Висока техничка школа струковних студија Нови Сад, Кладово 2021.
- [2] **Halpaap, W.**, Der Weg der DIN 18 230 - Rückblick und Ausblick, Schaden prisma 4 (1979) pp. 57-66.
- [3] **Savanović M., I. Arandelović, N. Tanasić, R. Rajić, V. Đokić, D. Đokić**, Fire resistance of boiler room building structure for liquid and gaseous fuels, Structural integrity and life, 21:3 (2021), 3, pp. 290-294.
- [4] \*\*\*. (2010). DIN 18 230:2010-09, Baulicher Brandschutz im Industriebau — Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer, Berlin. Deutsches Institut für Normung, 2010.
- [5] \*\*\*. (1999). DIN 18 230:1999-01, Baulicher Brandschutz im Industriebau — Teil 2: Ermittlung des Abbrandverhaltens von Materialien in Lageranordnung - Werte für den Abbrandfaktor m, Berlin. Deutsches Institut für Normung, 1999.
- [6] \*\*\*. (2002). DIN 18 230:2002-08, Baulicher Brandschutz im Industriebau — Teil 3: Rechenwerte, Berlin. Deutsches Institut für Normung, 2002.
- [7] \*\*\*. (2015). DIN 18 230:2015-09, Baulicher Brandschutz im Industriebau — Teil 4: Brandsimulation, Berlin. Deutsches Institut für Normung, 2015.
- [8] \*\*\*. (1997). SRPS TP19:1997 - Техничка препорука за грађевинске техничке мере заштите од пожара индустријских објеката. Београд. Савезни завод за стандардизацију 1997.
- [9] \*\*\*. (1997). SRPS U.J1.054:1997 –Заштита од пожара у грађевинарству – Одређивање фактора сагоревања  $m$  горивих грађевинских материјала. Београд. Савезни завод за стандардизацију 1997.
- [10] \*\*\*. (2018). Правилник о техничким нормативима за заштиту индустријских објеката од пожара. Београд. Службени гласник Републике Србије бр. 1/2018.
- [11] **Arandelović, I., R. Rajić**, On methods for fire risk analysis, *Procesing '16*, SMEITS, Belgrade, 2016.
- [12] **Arandelović, I., R. Rajić, M. Savanović**, Procedures for fire risk analysis, *Procesna tehnika* 29 (2017), 2, pp. 24–29.
- [13] **Аранђеловић, И., Р. Рајић, М Савановић, И. Ђиновић**, Класе опасности од пожара индустријских објеката, *Зборник Међународног конгреса о процесној индустрији – Процесинг*, СМЕИТС, Београд 2019.
- [14] **Kaiser, J.**, Experiences of the Gretener Method, *Fire Safety Journal* 2 (1979/80), pp. 213-222, 1979.
- [15] **Purt, G.**, The Evaluation of the Fire Risk as a Basis for Planning Automatic Fire Protection Systems, *Fire Technology* 8 (1972), 4, pp. 291-300.