

ОДРЕЂИВАЊЕ ОПТИМАЛНИХ ПОВРШИНА ОТВОРА У СПОЉНИМ ЗИДОВИМА ИНДУСТРИЈСКИХ ОБЈЕКТА ПРИЛИКОМ ПРОЈЕКТОВАЊА МЕРА ЗАШТИТЕ ОД ПОЖАРА

Иван Аранђеловић¹ Раденко Рајић² Никола Танасић³

Резиме: Цена изградње индустријских објеката битно зависи од захтеване отпорности конструкције према пожару. За одређивање прорачунске отпорности према пожару конструкције индустријских објеката најчешће се користи немачки стандард DIN 18 230. У нашој држави су његове прорачунске процедуре обавезне за примену према Правилнику о техничким нормативима за заштиту индустријских објеката од пожара. Један од најједноставнијих начина за смањење неопходне отпорности конструкције према пожару, одређење према DIN 18 230, је смањење коефицијента одвођења топлоте који битно зависи од површине отвора у спољним зидовима објекта. У раду ће бити приказане прорачунске процедуре за одређивање коефицијента одвођења топлоте изведене према DIN 18 230, као и могућности за његову минимизацију повећањем површине отвора у спољним зидовима објекта. Због лакшег прорачуна у раду су дате одговарајуће таблице, које су једноставније за читавање података од дијаграма датих у DIN 18 230.

Кључне речи: понашање у пожару, прорачунска отпорност према пожару, DIN18230, коефицијент одвођења топлоте, пожарни сектор

THE DETERMINATION OF OPTIMAL AREAS OF FAÇADE OPENINGS OF INDUSTRIAL BUILDINGS FOR FIRE SAFETY PLANNING

Abstract: The cost of construction of industrial buildings significantly depends on the required fire resistance time of the building structure. The German standard DIN 18 230 is most often used to determine the fire resistance of industrial buildings in building design phase. In Serbia, calculation procedures given in this standard are mandatory for application according to the current Policy on technical normatives for fire protection of industrial buildings. One of the simplest ways to reduce the calculated fire resistance time of the structure, by applying standard DIN 18 230, is to reduce the heat dissipation coefficient. This coefficient significantly depends on the available surface of the facade openings. In this paper the calculation procedures for determining the heat dissipation coefficient by applying standard DIN 18 230 will be presented, as well as the possibilities for its minimization by increasing the surface area of facade openings. In order to simplify the calculation procedure and reading of input data given in form of diagrams in standard DIN 18 230, the appropriate alternative tables are proposed in the paper.

Key words: fire behaviour, analytically required fire resistance time, DIN 18 230, coefficient of heat exhausting, fire compartment

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]. Та методологија је стандардизована у немачком техничком стандарду DIN 18 230 [2] који је у периоду од 1964. до 2010. године модификован више пута. У Србији је DIN 18 230:1987 имплементиран 1997. године у облику техничке препоруке [3], а данас је верзија DIN 18 230:2010 нормирана у облику правилника [4].

¹ редовни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет, Краљице Марије 16, 11000 Београд, e-mail: iarandjelovic@mas.bg.ac.rs

² професор струковних студија, Академија техничких струковних студија, Одсек за саобраћај, машинство и инжењерство заштите, Наде Димић 4, 11080 Земун, e-mail: trajic@tehnikum.edu.rs

³ професор струковних студија, Академија техничких струковних студија, Одсек за саобраћај, машинство и инжењерство заштите, Наде Димић 4, 11080 Земун, e-mail: ntanasic@tehnikum.edu.rs

Методологија дефинисана стандардом [2] односно правилником [4] се не примењује на:

- индустријске објекте који служе само за монтажу техничких постројења, а које лица обилазе само повремено ради одржавања и контроле;
- индустријске објекте који су отворени (као нпр. наткривена спољна постројења и сл.);
- индустријске објекте, односно постројења за производњу и/или дистрибуцију енергије;
- регална складишта (висина складиштења већа од 9 m);
- силосе;
- делове индустријских објеката намењене за администрацију ако су одвојени у посебан пожарни сектор.

Поред тога, одредбе правилника [4] се не односе на индустријске објекте и постројења уређене посебним прописима.

Цена изградње индустријских објеката битно зависи од захтеване отпорности конструкције према пожару. За одређивање прорачунске отпорности према пожару конструкције индустријских објеката најчешће се користи немачки стандард DIN 18 230. У нашој држави су његове прорачунске процедуре обавезне за примену према Правилнику о техничким нормативима за заштиту индустријских објеката од пожара. Један од најједноставнијих начина за смањење неопходне отпорности конструкције према пожару, одређене према DIN 18 230 је смањење коефицијента одвођења топлоте који битно зависи од површине отвора у спољним зидовима објекта. У раду ће бити приказане прорачунске процедуре за одређивање коефицијента одвођења топлоте изведене према DIN 18 230, као и могућности за његову минимизацију повећањем површине отвора у спољним зидовима објекта. Због лакшег прорачуна у раду су дате одговарајуће таблице, које су једноставније за читавање података од дијаграма датих у DIN 18 230.

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.

Табела 1 – Параметри неопходни за прорачун

Р.бр.	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	ψ_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	ω	-
7.	Сигурносна допунска вредност	γ	-
8.	Додатна вредност	α_L	-
9.	Отпорност грађевинске конструкције	$\text{erf } t_F$	min

Прорачунска отпорност грађевинске конструкције се израчунава применом формуле:

$$\text{erf } t_F = t_a \cdot \gamma \cdot \alpha_L.$$

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

Табела 2 – Минималано време отпорности конструкције према пожару

Р. бр.	erf t_F [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:

$$t_a = q_r \cdot c \cdot \omega.$$

Запажамо да је ово време директно пропорционално фактору одвођења топлоте (ω).

2.3. Фактор одвођења топлоте

За одвођење топлоте могу се узети у обзир следеће површине:

- површине отвора у крову или зидовима које стално постоје и воде у слободан простор;
- отвори у таваницама етажа површине слободног отвора веће од 1 m²;
- површине отвора опремљене уређајима за одвођење дима и топлоте, који се аутоматски отварају у случају дејства дима или топлоте према SRPS EN 12101-2 [5];
- површине врата и вентилационих отвора који воде у слободан простор и са спољне стране могу да се отворе без примене силе, уколико је обезбеђено отварање;
- површине отвора са стаклом, које се у потпуности или делимично разара у пожару;
- површине отвора, који су покривени материјалима или затворени, и који се у случају пожара разарају у периоду од највише 15 min.

Стаклене површине, чије уништавање се не очекује у случају пожара или није предвиђено да се отворе у случају пожара (нпр. стакло отпорно према пожару, блиндирано стакло, армирано стакло, сигурносно стакло и сл.), не смеју се урачунавати као површине за одвођење топлоте.

Фактор одвођења топлоте је реална функција која зависи од три независне реалне променљиве:

$$\omega = \omega (a_v, a_h, h),$$

где су:

$$a_v = \min\{0,25; \max\{A_v/A, 0,025\}\}$$

$$a_h = A_h/A$$

A – површина разматраног пожарног сектора,

A_h – укупна површина разматраних хоризонталних отвора,

A_v – укупна површина разматраних вертикалних отвора.

Уколико нема хоризонталних површина за одвођење топлоте или су мале ($a_h \leq 0,005$) а вертикалне површине за одвођење топлоте претежно се налазе у доњој половини зидова просторије, за A_v се узима двостука вредност укупне површине вертикалних отвора који се налазе у горњој половини зидова просторије.

Због тешкоћа у тродимензионом табелирању у стандарду [2] (страница 23) се разматрају 2 функције две променљиве и две функције једне променљиве:

$$\alpha_w = (6,0/h)^{0,3}, \text{ где је } h \text{ просечна висина пожарног сектора,}$$

$$\beta_w = \max\{16; 20 \cdot (1,0 + 10,0 \cdot a_v - 64 \cdot a_v^2)\},$$

7. МЕЂУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЈА БЕЗБЕДНОСНИ ИНЖЕЊЕРИНГ
 ПОЖАР, ЖИВОТНА СРЕДИНА, РАДНА ОКОЛИНА, ИНТЕГРИСАНИ РИЗИЦИ И
 17. МЕЂУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЈА ЗАШТИТА ОДПОЖАРА И ЕКСПЛОЗИЈА

$$w_0 = \max\{0,5; (1,0+145,0 \cdot (0,40 - a_v)^4 / (1,6 + \beta_w \cdot a_h))\} \text{ и } w = \max\{\alpha_w \cdot w_0; 0,5\}.$$

Напомињемо да су у [2] и [4] дати графици са којих се читавају вредности за α_w и ω_0 (при чему треба водити рачуна да су у [4] (страна 9, слика 1) замењене ознаке a_v и a_h у односу на [2] (страна 24, слика 1). Због лакшег коришћења података вредности за параметре α_w и ω_0 дате су у табелама 3. и 4.

Табела 3 – Вредности параметра α_w

h [m]	α_w	h [m]	α_w	h [m]	α_w	h [m]	α_w	h [m]	α_w	h [m]	α_w
2,50	1,300	6,00	1,000	9,50	0,871	13,00	0,793	16,50	0,738	20,00	0,697
2,75	1,264	6,25	0,988	9,75	0,864	13,25	0,788	16,75	0,735	20,25	0,694
3,00	1,231	6,50	0,976	10,00	0,858	13,50	0,784	17,00	0,732	20,50	0,692
3,25	1,202	6,75	0,965	10,25	0,852	13,75	0,780	17,25	0,728	20,75	0,689
3,50	1,176	7,00	0,955	10,50	0,845	14,00	0,776	17,50	0,725	21,00	0,687
3,75	1,151	7,25	0,945	10,75	0,840	14,25	0,771	17,75	0,722	21,25	0,684
4,00	1,129	7,50	0,935	11,00	0,834	14,50	0,767	18,00	0,719	21,50	0,682
4,25	1,109	7,75	0,926	11,25	0,828	14,75	0,763	18,25	0,716	21,75	0,680
4,50	1,090	8,00	0,917	11,50	0,823	15,00	0,760	18,50	0,713	22,00	0,677
4,75	1,073	8,25	0,909	11,75	0,817	15,25	0,756	18,75	0,710	22,25	0,675
5,00	1,056	8,50	0,901	12,00	0,812	15,50	0,752	19,00	0,708	22,50	0,673
5,25	1,041	8,75	0,893	12,25	0,807	15,75	0,749	19,25	0,705	22,75	0,670
5,50	1,026	9,00	0,885	12,50	0,802	16,00	0,745	19,50	0,702	23,00	0,668
5,75	1,013	9,25	0,878	12,75	0,798	16,25	0,742	19,75	0,699	23,25	0,666

Табела 4 – Вредности параметра ω_0

a_h/a_v	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,000	2,42	1,98	1,64	1,36	1,14	0,98	0,86	0,77	0,71	0,67
0,005	2,25	1,83	1,51	1,26	1,06	0,92	0,82	0,73	0,68	0,64
0,010	2,10	1,70	1,40	1,16	0,99	0,86	0,78	0,70	0,65	0,61
0,015	1,97	1,59	1,30	1,08	0,93	0,82	0,5	0,67	0,62	0,58
0,020	1,86	1,47	1,21	1,01	0,87	0,77	0,71	0,64	0,60	0,56
0,025	1,75	1,40	1,14	0,96	0,82	0,74	0,69	0,62	0,57	0,54
0,030	1,66	1,32	1,08	0,90	0,78	0,70	0,66	0,59	0,55	0,52
0,035	1,58	1,26	1,02	0,85	0,74	0,67	0,64	0,57	0,53	0,50
0,040	1,51	1,19	0,97	0,81	0,70	0,64	0,61	0,55	0,51	0,5
0,045	1,44	1,13	0,92	0,77	0,67	0,61	0,59	0,53	0,5	0,5
0,050	1,38	1,08	0,88	0,73	0,64	0,59	0,57	0,51	0,5	0,5
0,055	1,32	1,03	0,84	0,70	0,61	0,57	0,55	0,5	0,5	0,5
0,060	1,27	0,99	0,80	0,67	0,59	0,55	0,54	0,5	0,5	0,5
0,065	1,22	0,95	0,77	0,65	0,57	0,53	0,52	0,5	0,5	0,5
0,070	1,17	0,91	0,74	0,62	0,55	0,51	0,51	0,5	0,5	0,5
0,075	1,13	0,88	0,71	0,60	0,53	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,080	1,09	0,85	0,68	0,58	0,51	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,085	1,06	0,82	0,66	0,56	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,090	1,02	0,79	0,64	0,54	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,095	0,99	0,77	0,62	0,52	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,100	0,96	0,74	0,60	0,50	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,125	0,84	0,64	0,52	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,150	0,74	0,57	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,175	0,66	0,50	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,200	0,60	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,225	0,55	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,250	0,51	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

2.4. Остали параметри битни за прорачун

Вредности сигурносне допунске вредности (γ) за објекте са једном и више етажа су дате у Табелама 5 и 6.

Табела 5 – Сигурносна допунска вредност (γ) за објекте са једном етажом

Површина пожарног сектора [m ²]	Класа пожарне сигурности		
	SK _b 3	SK _b 2	SK _b 1
≤ 2 500	1,00	0,60	0,50
≤ 5 000	1,05	0,60	0,50
≤ 10 000	1,10	0,70	0,50
≤ 20 000	1,20	0,80	0,50
≤ 30 000	1,25	0,90	0,50
≤ 60 000	1,35	1,00	0,55
≤ 120 000	1,50	1,10	0,60

Табела 6 – Сигурносна допунска вредност (γ) за објекте са више етажа

Површина пожарног сектора [m ²]	Класа пожарне сигурности		
	SK _b 3	SK _b 2	SK _b 1
≤ 1 600	1,30	1,00	0,60
≤ 3 000	1,45	1,15	0,80
≤ 5 000	1,60	1,25	0,95
≤ 7 000	1,70	1,35	1,05
≤ 10 000	1,80	1,45	1,15
≤ 15 000	1,90	1,55	1,25
≤ 20 000	2,00	1,65	1,35
≤ 30 000	2,10	1,75	1,45

Класе пожарне сигурности су дате у табели 7.

Табела 7 – Класе пожарне сигурности

SK _b 3	Високи захтеви	- главни носећи конструкциони делови чије отказивање доводи до рушења читавог објекта
SK _b 2	Средњи захтеви	- конструкциони делови чије отказивање не доводи до рушења читавог објекта - конструкциони делови чије отказивање може да доведе до рушења преостале кровне конструкције - неносиви зидови
SK _b 1	Ниски захтеви	- конструкциони делови кровне конструкције уколико њихово појединачно рушење не води рушењу остале кровне конструкције

3. ПРОРАЧУНСКИ ПРИМЕР

Разматрани пожарни сектор је једноетажни, површине $A = 1.000,00 \text{ m}^2$, висине $h = 4 \text{ m}$, на њему нису изведени хоризонтални отвори ($a_h = 0$). Усвојимо 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 $t_a = \text{erf } t_F$. Да би смо обезбедили минималну вредност за фактор вертикалних отвора α_w , из $w = \max\{\alpha_w \cdot w_0; 0,5\}$ добијамо да површине фасадних отвора треба тако изабрати да буде испуњено $\alpha_w \cdot w_0 \leq 0,5$. Пошто је $\alpha_w = 1,129$ добијамо услов $w_0 \leq 0,44$, што је немогуће. Према томе најмања могућа вредност параметра w се добија за минималну вредност параметра w_0 , која за $a_h = 0$ износи $w_0 = 0,67$. Она се остварује за површину отвора у горњој површини зидова од 125 m^2 . Тада је $w = \alpha_w \cdot w_0 = 0,76$. У Табели 8 приказани су карактеристични параметри разматраног објекта.

Табела 8– Параметри разматраног објекта

q _R [MJ/m ²]	q _R [kW·h/m ²]	erf t _F [min]	класа	q _R [MJ/m ²]	q _R [kW·h/m ²]	erf t _F [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

4. ЗАКЉУЧАК

На основу изложене прорачунске процедуре може се закључити да се повећањем површине отвора у фасадним зидовима индустријских објеката смањују захтеви за неопходном отпорношћу конструкције према пожару, што може да доведе до значајних уштеда, али се не сме заборавити да се повећањем фасадних отвора, смањује енергетска ефикасност објекта. Минимална вредност фактора одвођења топлоте је $\omega = 0,5$, али се она не може увек остварити. Напомињемо да је њу реално могуће остварити само код објеката мале површине основе. Такође овакве уштеде се практично разматрају само код објеката у којима су уграђена постројења мале вредности, и прерађују се јефтине сировине.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Halpaar, W. (1979). *Der Weg der DIN 18 230 - Rückblick und Ausblick.*, Часопис Schaden prisma бр. 4, стр. 57-66.
- [2] ***. (2010). DIN 18 230:2010-09, *Baulicher Brandschutz im Industriebau — Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer*, Berlin. Deutsches Institut für Normung.
- [3] ***. (1997). *SRPS TP19:1997 - Техничка препорука за грађевинске техничке мере заштите од пожара индустријских објеката*. Београд. Савезни завод за стандардизацију.
- [4] ***. (2018). *Правилник о техничким нормативима за заштиту индустријских објеката од пожара*. Београд. Службени гласник Републике Србије бр. 1/2018.
- [5] ***. (2017). *SRPS EN 12101-2:2017 - Системи за контролу дима и топлоте – Део 2: Вентилатори за природно одвођење дима и топлоте*. Институт за стандардизацију Србије