*XIV Международна научна конференция*
„Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 10-12 септември 2026 г, Варна
*XIV International Scientific Conference*
„Civil Engineering Design and Construction“, Sept. 10 - 12, 2026, Varna, Bulgaria
*ISSN 2683-071X (online) ISSN 2738-7879 (CD)*

# РОЛЯТА НА СТРОИТЕЛНО-ТЕХНИЧЕСКИТЕ ФАСАДНИ РЕШЕНИЯ ЗА ПОЖАРНАТА БЕЗОПАСНОСТ НА СГРАДИТЕ

**Александър Душанов**[1]

# THE ROLE OF CONSTRUCTION AND TECHNICAL FAÇADE SOLUTIONS IN THE FIRE SAFETY OF BUILDINGS

**Aleksandar Dushanov**[1]

**Abstract:**
*The paper examines construction and technical solutions for the design and execution of external non-load-bearing walls, namely façades, as part of passive fire protection measures. It analyses the role of façades in fire spread between buildings through radiative heat transfer. The conditions for flame spread over the façade surface are considered, as well as fire development within cavities, particularly in ventilated façade systems. The mechanisms of vertical fire spread between storeys through openings and through the linear joint between the floor structure and the façade are presented. Engineering methods for preliminary assessment are discussed, including a radiation model for determining safe separation distances, criteria for critical heat flux, and data from large-scale façade fire tests. The conclusion is that a reliable assessment requires the simultaneous consideration of material classification, analysis of construction details, testing of the system in its end-use application, and engineering verification of the fire scenario.*

**Keywords:**
*façades, fire safety, vertical fire spread, reaction to fire, façade cavities, radiative heat transfer*

## 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Фасадата е неразделна част от пожарната защита на сградата. В редица случаи тя е от решаващо значение за това дали пожарът ще остане ограничен в помещението или етажа на възникване. С нарастващата сложност на архитектурните и енергийните изисквания фасадните системи придобиват все по-сложна конструктивна и функционална структура. Енергийното обновяване, леките облицовки, вентилируемите кухини, алуминиевите композитни панели, полимерните топлоизолации и системните окачени

[1] Александър Душанов, инж., асистент в катедра Управление на безопасността и превенция на факултет Пожарна безопасност и защита на населението при Академия на МВР, гр. София, бул. Александър Малинов №1, aleksadar.dushanov@gmail.com
Aleksandar Dushanov, eng., Assistant Professor at the Department of Safety Management and Prevention, Faculty of Fire Safety and Civil Protection, Academy of the Ministry of Interior, Sofia, 1 Aleksandar Malinov Blvd., aleksadar.dushanov@gmail.com

фасади решават архитектурни и енергийни задачи, но създават и допълнителни пътища за разпространение на пожара.

Пожарът в Шанхай през 2010 г. и пожарът в Grenfell Tower през 2017 г. са сред най-често цитираните примери за катастрофално фасадно разпространение. McLaggan и съавт. посочват 58 жертви при пожара в Шанхай и 72 жертви при Grenfell Tower, като в значителна част от документираните случаи бързината и мащабът на пожара са свързани с начина на проектиране и изпълнение на фасадната система [1].

Пожарът в 28-етажна жилищна сграда в Шанхай, възникнал през ноември 2010 г., е причинен от искри от заваръчни дейности по време на ремонт на фасадата. Използваните горими изолационни материали (най-вероятно полиуретанова пяна) и скелето, покрито с найлоново покритие, са допринесли за изключително бързото вертикално разпространение на огъня по цялата височина на сградата. Пламъците са обхванали фасадата за много кратко време, като са се разпространили едновременно нагоре и встрани [1].

Grenfell Tower е особено показателен пример за взаимодействие между горима сърцевина на облицовката, полимерна топлоизолация и вентилирана кухина. В реконструираната фасада са били използвани PIR топлоизолация, въздушна кухина с широчина около 50 mm и алуминиеви композитни панели с полиетиленова сърцевина [2]. Пожарът започва в жилище на четвъртия етаж, излиза през фасадата и се развива вертикално, като впоследствие се наблюдава и вторично навлизане на огън и дим в сградата [2].

## 2. ОСНОВНИ МЕХАНИЗМИ НА ФАСАДНО РАЗПРОСТРАНЕНИЕ

За целите на инженерния анализ могат да бъдат идентифицирани четири механизма за разпространение на пожар, при които фасадите имат основна роля. Първият е разпространението между отделни сгради чрез лъчист топлинен поток. Вторият е разпространението по външната повърхност на фасадата, както и скритото разпространение в кухини. Третият механизъм е вертикалното външно разпространение между етажи чрез пламъци между отвори на фасадата. Четвъртият е разпространението през фуга, образуваща се в пространството между фасадата и междуетажната конструкция.

## 3. РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА ПОЖАР МЕЖДУ СГРАДИТЕ

Още през 1963 г. в класическите трудове на Law са поставени теоретичните основи на пространственото разделяне на сгради като функция от плътността на топлинния поток. Приема се, че при стойности под критичната за запалване вероятността за разпространение на пожара на разстояние се намалява съществено [3].

За оценка се използва т.нар. модел на плътен пламък, при който отворът, пламъкът пред фасадата или незащитената площ се заменят с излъчваща геометрична повърхност [4-6].

При пожар горящият отвор, пламъците или нагрятата фасадна повърхност излъчват топлинна енергия. Само част от тази енергия достига до съседната сграда. Достигналият топлинен поток зависи от температурата на източника, неговата излъчвателна способност, размера му, разстоянието до съседната фасада и взаимното геометрично разположение на повърхностите [4-6].

Първата основна формула е законът на Стефан–Болцман:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad \frac{W}{m^2} \qquad (1)$$

Тази формула определя топлинната мощност, излъчвана от единица площ на нагрята повърхност.

Тук E е излъчвателната мощност на единица площ, т.е. топлинната мощност, излъчвана от 1 m² нагрята повърхност.

Температурата T участва на четвърта степен, което е съществено за пожарния анализ. Това означава, че при повишаване на температурата излъчването нараства силно нелинейно.

Коефициентът ε отчита, че реалните тела не излъчват като идеално черно тяло. Той е безразмерен и обикновено е между 0 и 1. При пожар често се използват стойности около 0.8-1.0 за пламъци и нагрети повърхности, но конкретната стойност зависи от модела и приетите изходни данни [4-6].

Втората формула отчита, че не цялата излъчена енергия достига до съседната фасада:

$$Q = E \cdot F_{12} \quad \frac{W}{m^2} \, (2)$$

или след заместване:

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot F_{12} \quad \frac{W}{m^2} \, (3)$$

Тук q е падащият лъчист топлинен поток върху съседната фасада. Коефициентът $F_{12}$ се нарича ъглов коефициент, коефициент на видимост. Той показва каква част от излъчването на повърхност 1 достига до повърхност 2. Ако съседната фасада е много близо и „вижда“ голяма част от горящия отвор, $F_{12}$ е по-голям. Ако разстоянието е голямо или фасадите са разположени неблагоприятно една спрямо друга, $F_{12}$ намалява.

За опростен инженерен модел горящият фасаден отвор може да се приеме като правоъгълна излъчваща повърхност с широчина W и височина H. Ако разглежданата точка от съседната фасада е срещу центъра на този правоъгълник, може да се използва следната зависимост за ъгловия коефициент:

$$F_{12} = \frac{2}{\pi}\left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}}\arctan\frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}}\arctan\frac{X}{\sqrt{1+Y^2}}\right) \quad (4)$$

Където: $X = \frac{W}{2D}; Y = \frac{H}{2D};$

Посочената зависимост има геометричен характер. Тя не описва развитието на самия пожар, а определя каква част от излъчването достига до разглеждана точка в зависимост от размерите на източника и разстоянието. Колкото по-големи са W и H, толкова по-голям е видимият излъчващ отвор. Колкото по-голямо е разстоянието D, толкова по-малък става ъгловият коефициент и съответно падащият топлинен поток намалява.

Освен разстоянията, като мярка за ограничаване на разпространението на пожар между сгради следва да се разглежда и видът на изложената фасада, или по-точно нейните пожарни характеристики. Използваната класификация за строителните продукти не дава директна връзка между конкретен клас и устойчивостта на материала или продукта при излагане на лъчист топлообмен, тъй като праговете за запалване са материално зависими [7].

Може да се приеме, че материалите с класове по реакция на огън A1 или A2 съгласно БДС EN 13501-1:2019 „Класификация на строителни продукти и елементи по отношение на реакцията им на огън. Част 1: Класификация въз основа на резултати от изпитвания на реакция на огън“ по принцип не се очаква да се запалят и да разпространят горене, но могат да се деформират или разрушат под въздействие на висок топлинен поток [8]. За продуктите с класове B, C, D и по-ниски не може да бъде направен еднозначен извод за тяхната податливост на лъчист топлообмен. Причините са, от една страна, липсата на пряк метод за оценка на фасадния продукт при конкретен лъчист поток, а от друга - фактът, че дори продуктите от клас B, за които се приема ограничен принос към горенето, могат да бъдат част от система, включваща елементи със значителен принос към пожара. Аналогичен е проблемът и с класификацията по огнеустойчивост EI. Ако стената е масивна, негорима и добре топлоизолираща, тя може да понесе значителен лъчист поток без запалване и без бързо повишаване на температурата от другата страна. Ако обаче фасадният слой е горим, тънък, вентилируем или съдържа горима изолация, критичният поток може да бъде много по-нисък, дори при еднакъв клас, например EI 60. Разгледаните характеристики се отнасят както до разпространение на пожара по самата фасада, така и до възникване на пожар във вътрешността на сградата вследствие на разрушаване на фасадата. Критерият съгласно БДС EN 13501-2:2023 „Класификация на строителни продукти и елементи по отношение на реакцията им на огън. Част 2: Класификация въз основа на резултати от изпитвания за устойчивост на огън и/или контрол на дима, с изключение на вентилационни инсталации“, който има пряко отношение към лъчистия топлообмен, е W [9]. При елементи с класификация EW елементът трябва да ограничи радиационния поток от неизложената страна, като обичайно се използва праг 15 kW/m², измерен на 1 m от елемента. Тази характеристика има пряко отношение към способността на фасадната стена при нагряване да ограничава разпространението на пожара във вътрешността на сградата.

## 4. РАЗПРОСТРАНЕНИЕ ПО ПОВЪРХНОСТТА НА ФАСАДАТА

Под въздействие на съвременните изисквания за енергийна ефективност при изолацията на сгради се използват все повече системни решения с множество слоеве. Фасадата трябва да се разглежда като система, а не като сбор от отделни продукти. Ако системата съдържа горима топлоизолация, горимо покритие или вентилирана кухина, възходящото разпространение може да заобиколи проектираните вътрешни пожарни прегради.

Най-разпространената група топлоизолационни системи са системите с конфигурация, включваща стена, свързващ слой, топлоизолация, армираща мрежа и декоративна мазилка. При изолация от експандиран или екструдиран полистирен (EPS/XPS) системата разчита на тънък защитен слой. McLaggan, Wilkens Flecknoe-Brown, Dragsted и Van Hees отбелязват, че при EPS-ETICS горимият материал често е защитен само от мазилка с дебелина приблизително 3-8 mm, което прави целостта на слоя решаваща при пожарно въздействие [11]. При тези системи водещият механизъм е

термопластичното поведение. При локално нагряване материалът омеква, свива се и може да се отдръпне от външното покритие, като образува кухини. Тези кухини улесняват натрупването на пиролизни газове и последващото им запалване при наличие на пламък. Ако мазилката се напука или отпадне, външният пламък нагрява директно изолацията; горящият EPS може да капе или да създаде вторични огнища.

На второ място могат да бъдат поставени системите с фасадни панели с полиуретанова (PUR), полиизоциануратна (PIR) или фенолна пяна. Тези материали показват по-различно поведение от термопластичния EPS, но при пробив на покритието отделят летливи пиролизни продукти, могат да се свиват, да се напукват и да освобождават интензивна топлина за кратко време. При сандвич панелите металните листове могат да забавят нагряването на ядрото, но фугите, краищата, отворите за инсталации, механичните крепежи и деламинацията са критични пътища за навлизане на пламък към горимото ядро [10,12].

Трета група са системите с топлоизолация от минерална вата, които често се прилагат при вентилируеми фасади. Те комбинират вътрешна стена, топлоизолация, въздушна кухина, подконструкция и външна облицовка. Облицовката може да бъде негорима (керамика, фиброцимент, метал без горимо ядро), ограничено горима или горима (ACM/ACP с полиетиленово или огнезабавено ядро, HPL, дървесни панели) [10].

При вентилируемите фасади пожарът може да се развива скрито зад облицовката. Вертикалната кухина създава коминен ефект: горещите газове се ускоряват нагоре, конвективният топлообмен нараства и пламъкът може да прескочи етажи, преди да бъде видим отвън.

Sharma и Mishra установяват, че коминният ефект може да увеличи масовата скорост на горене, височината на пламъка и температурите 3-6 пъти, като кухини с широчина около 13-50 mm са особено неблагоприятни [13]. Méndez Alvarez и съавт. уточняват, че много широката кухина отслабва радиационното взаимодействие между стените, а прекалено тясната кухина може да ограничи кислорода; следователно решаващи са широчината, долното засмукване на въздух, видът на облицовката и наличието на прегради [14]. Обзорът на Godakandage и съавт. определя кухинните бариери и негоримите материали като основни мерки срещу вертикално и хоризонтално разпространение [15].

От инженерна гледна точка безопасната фасадна система трябва да прекъсва поне един от елементите на триадата: гориво, топлина и кислород. При ETICS това означава надежден повърхностен слой, контрол на механичните увреждания, негорими ивици около отвори и през определени височини. При вентилируемите фасади съществена е непрекъснатостта на кухинните прегради на нивата на етажите, около отвори и по границите на пожарните сектори. Решението не следва да се свежда до твърдението „изолацията е клас X“. Покритието може да защити, но и да се отлепи; негорима облицовка може да прикрие горима мембрана; минерална вата може да се обезсмисли от непрекъсната горима подконструкция; огнезабавен композитен панел може да се държи различно след механично разслояване [1,10,15].

## 5. РАЗПРОСТРАНЕНИЕ МЕЖДУ ОТВОРИ ОТ ВЪНШНАТА СТРАНА НА ФАСАДАТА

След настъпване на пълно развитие на пожара в помещение остъклението се разрушава и през отвора се формира двупосочен поток: в горната част напускат горещи газове, а в долната част постъпва въздух. Неутралната равнина обикновено се разполага приблизително в средната до горната част на отвора [19]. Външните пламъци въздействат

върху горния отвор чрез два основни механизма. Първият е конвективният топлообмен между горещата пламъчна/димна струя и повърхността на фасадата или стъклото. Вторият е лъчистият топлообмен от пламъка.

В инженерните подходи тези два механизма често се обединяват в сумарен топлинен поток $q_t$, тъй като за целите на безопасното разстояние е важно не произходът на енергията, а нейната плътност върху критичната повърхност [19]. Колкото по-малко е разстоянието между пламъка и отвора, толкова по-интензивен е топлинният поток към отвора. Следователно за ограничаване на количеството топлина, достигащо до отвора на горния етаж, ключови фактори са разстоянието между отворите и височината на пламъка.

Височината на пламъка зависи от количеството въздух, което постъпва в помещението на пожара. Когато количеството въздух е достатъчно, пожарът е добре вентилиран и значителна част от горивото изгаря в помещението на възникване; през прозореца се генерират относително къси пламъци. Различна е ситуацията при недовентилирано помещение. В този случай не цялото гориво изгаря в помещението; част от него, заедно с горещите газове, излиза извън помещението и изгаря извън сградата, като създава висок пламък над отвора [20].

При недовентилиран пожар част от горимите газове не изгарят напълно в помещението, а излизат през фасадния отвор и догарят във външната среда. Това външно догаряне формира фасадния пламък. Поради това неговата височина зависи главно от количеството неизгорели горими газове, което напуска помещението.

## 6. РАЗПРОСТРАНЕНИЕ ПРЕЗ ФУГИ МЕЖДУ ФАСАДАТА И МЕЖДУЕТАЖНАТА КОНСТРУКЦИЯ

При традиционни масивни фасадни стени, изградени върху плочата или свързани непосредствено с нея, линията на огнеустойчивата конструкция обикновено е геометрично ясна. При съвременните фасадни системи тази яснота се губи. Окачените фасади от алуминиеви профили и стъклопакети се закрепват към ръба на плочата чрез конзоли и анкери, но самата фасадна равнина е изнесена пред конструкцията.

Тази фуга представлява линейна празнина между огнеустойчивата хоризонтална конструкция и неносещата външна стена. Когато тя не е уплътнена с изпитана пожарозащитна система, междуетажната плоча престава да действа като непрекъсната преграда и пожарът може да заобиколи пожарната секторизация по най-краткия път - през периферията на сградата.

В литературата този детайл се разглежда като perimeter joint или perimeter fire barrier system. Според White и Delichatsios периметралната бариера е системата в сечението между външната стена и подовата конструкция, чиято функция е да ограничи преминаването на пламък и дим от етаж към етаж [10].

Фугата не е случайна неточност, а следствие от конструктивната логика на фасадата. Тя поема монтажни толеранси, температурни разширения на алуминиевите профили, междуетажни деформации и ветрово преместване. Рискът от разпространение през фугата зависи от четири групи фактори. Първо, от геометрията: широчина на фугата, отстояние на фасадата от плочата, непрекъснатост на кухината и наличие на хоризонтални прекъсвания. Второ, от материалите: негоримост и термична устойчивост на пълнежа, поведение на уплътнителите, стабилност на спандрелната изолация, огнеустойчивост на облицовката и температурна устойчивост на рамките. Трето, от механиката на съединението: компресия на минералната вата, закрепване, способност за възстановяване след движение, съвместимост с прогиби и деформации. Четвърто, от качеството на изпълнение: непрекъснатост на уплътнителния слой, липса на пропуски около анкери,

конзоли и инсталации, както и инспекция преди закриване на детайла. Инженерният принцип е непрекъснатост на огнеустойчивата граница. Периметралната фуга трябва да свързва огнеустойчивата плоча с фасадната система така, че да се предотврати преминаването на пламък, горещи газове и дим. Типичните решения включват плътно монтирана негорима минерална вата, огнеустойчиви покрития или уплътнители, защитени спандрелни панели, огнезащита на метални профили и кухинни бариери. Важно е обаче тези материали да бъдат част от изпитана конфигурация. Промяната в широчината на фугата, вида на фасадата, закрепването, облицовката или спандрелната зона може да обезсили приложимостта на изпитването, защото системата работи чрез взаимодействие между всички елементи [10,21].

## 7. ИЗВОДИ

Анализът показва, че фасадите имат съществена роля в пасивната пожарна защита на сградите. Те могат да ограничат развитието на пожара, но при неблагоприятна комбинация от материали, кухини, отвори и конструктивни детайли могат да се превърнат и в път за неговото разпространение.

Разпространението на пожар между сгради може да се оценява чрез радиационен модел, който отчита излъчвателните характеристики на източника, размерите на излъчващата повърхност, разстоянието между фасадите и геометричния коефициент на видимост. Този модел е подходящ за предварителна инженерна оценка, но резултатите му следва да се разглеждат във връзка с характеристиките на изложената фасадна система и приетия критичен топлинен поток.

Пожарното поведение на фасадата не може да се оцени еднозначно само чрез класа на отделен строителен продукт. По-съществена е работата на фасадната система като цяло, включително защитните слоеве, въздушните кухини, фугите, закрепването, кухинните бариери и детайлите около отворите и междуетажните конструкции.

За ограничаване на вертикалното и скритото разпространение на пожара е необходимо проектните решения да осигуряват непрекъснатост на пожарните прегради, прекъсване на кухините и надеждно пожарозащитно оформяне на линейните фуги. Особено внимание следва да се обръща на зоните около отвори, спандрелни участъци, окачени фасади и вентилируеми облицовки.

В заключение, пожарната безопасност на фасадите изисква системен подход, който обединява избор на подходящи материали, проверка на конструктивните детайли, оценка на фасадната система в крайно приложение и инженерна преценка на конкретния пожарен сценарий.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] McLaggan, M.S.; Hidalgo, J.P.; Osorio, A.F.; Heitzmann, M.T.; Carrascal, J.; Lange, D.; Maluk, C.; Torero, J.L. Towards a better understanding of fire performance assessment of façade systems: Current situation and a proposed new assessment framework. Construction and Building Materials, 300, 124301, 2021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124301.

[2] Guillaume, E.; Dréan, V.; Girardin, B.; Benameur, F.; Koohkan, M.; Fateh, T. Reconstruction of Grenfell Tower fire. Part 3 - Numerical simulation of the Grenfell Tower disaster: Contribution to the understanding of the fire propagation and behaviour during the vertical fire spread. Fire and Materials, 44, 2020. DOI: 10.1002/fam.2763.

[3] Law, M. Heat Radiation from Fires and Building Separation. Fire Research Technical Paper No. 5. HMSO, London, 1963.

[4] Siegel, R.; Howell, J.R. Thermal Radiation Heat Transfer. 4th ed. Taylor & Francis, New York, 2002.
[5] Drysdale, D. An Introduction to Fire Dynamics. 3rd ed. Wiley, Chichester, 2011.
[6] Lattimer, B.Y. Heat Fluxes from Fires to Surfaces. In: Hurley, M.J. et al. (eds.) SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th ed. Springer, New York, 2016.
[7] Babrauskas, V. Ignition of Wood: A Review of the State of the Art. Journal of Fire Protection Engineering, 12, 163-189, 2002. DOI: 10.1177/104239150201200302.
[8] Български институт за стандартизация. БДС EN 13501-1:2019, Класификация на строителни продукти и елементи по отношение на реакцията им на огън. Част 1: Класификация въз основа на резултати от изпитвания на реакция на огън. БИС, София, 2019.
[9] Български институт за стандартизация. БДС EN 13501-2:2023, Класификация на строителни продукти и елементи по отношение на реакцията им на огън. Част 2: Класификация въз основа на резултати от изпитвания за устойчивост на огън и/или контрол на дима, с изключение на вентилационни инсталации. БИС, София, 2023.
[10] White, N.; Delichatsios, M. Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components: Final Report. Fire Protection Research Foundation, Quincy, MA, 2014.
[11] McLaggan, M.; Wilkens Flecknoe-Brown, K.; Dragsted, A.; Van Hees, P. Heat release and flame spread assessment of insulation in External Thermal Insulation Composite System (ETICS) façades. Journal of Physics: Conference Series, 1107, 032021, 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/3/032021.
[12] Khan, A.A.; Lin, S.; Huang, X.; Usmani, A. Facade Fire Hazards of Bench-Scale Aluminum Composite Panel with Flame-Retardant Core. Fire Technology, 59, 5-28, 2023. DOI: 10.1007/s10694-020-01089-4.
[13] Sharma, A.; Mishra, K.B. Experimental investigations on the influence of chimney-effect on fire response of rainscreen façades in high-rise buildings. Journal of Building Engineering, 44, 103257, 2021. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103257.
[14] Méndez Alvarez, J.E.; Lange, D.; Hidalgo, J.P.; McLaggan, M.S. Effect of cavity parameters on the fire dynamics of ventilated façades. Fire Safety Journal, 133, 103671, 2022. DOI: 10.1016/j.firesaf.2022.103671.
[15] Godakandage, R.; Weerasinghe, P.; Gamage, K.; Adnan, H.; Nguyen, K. A Systematic Review on Cavity Fires in Buildings: Flame Spread Characteristics, Fire Risks, and Safety Measures. Fire, 7(1), 12, 2024. DOI: 10.3390/fire7010012.
[16] Colwell, S.; Baker, T. BR 135: Fire performance of external thermal insulation for walls of multistorey buildings. 3rd ed. BRE, Watford, 2013.
[17] SP Technical Research Institute of Sweden. SP Fire 105: External wall assemblies and facade claddings - Reaction to fire. SP Method, Borås, 2015.
[18] British Standards Institution. BS 8414-1:2020, Fire performance of external cladding systems - Test method for non-loadbearing external cladding systems fixed to, and supported by, a masonry substrate; BS 8414-2:2020, Fire performance of external cladding systems - Test method for non-loadbearing external cladding systems fixed to, and supported by, a structural steel frame. BSI, London, 2020.
[19] Delichatsios, M.A.; Ryan, J.; Tian, N.; Zhang, J. Vertical safe separation distance between openings in multi-storey buildings having a fire resistant spandrel. MATEC Web of Conferences, 46, 04003, 2016. DOI: 10.1051/matecconf/20164604003.
[20] Delichatsios, M.; Silcock, G.; Liu, X.; Delichatsios, M.A.; Lee, Y.P. Mass pyrolysis rates and excess pyrolysate in fully developed enclosure fires. Fire Safety Journal, 39, 1-21, 2004. DOI: 10.1016/j.firesaf.2003.07.005.

[21] Nakrani, D.; Srivastava, G. Full-Scale Fire Performance of Combustible and Non-combustible Curtain Wall Systems with Firestops. Fire Technology, 59, 153-190, 2023. DOI: 10.1007/s10694-022-01342-y.