

НУМЕРИЧКА СТУДИЈА КРЕТАЊА ДИМА У СТЕПЕНИШНОМ ПРОСТОРУ ВИСОКОГ СТАМБЕНОГ ОБЈЕКТА

Душица Ј. Пешић¹ Дарко Н. Зигар² Милан Ђ. Благојевић³

Резиме: Евакуација угрожених особа услед пожара у високим објектима је веома често изузетно отежана. Због тога је циљ овог рада да се на основу предвиђања динамике параметара пожара у степенишном простору процени опасност по здравље станара током евакуације из вишеспратне зграде. За предвиђање динамике пожара у дванаестоспратној стамбеној згради коришћена је техника рачунарске динамике флуида. Софтверски пакет *Fire Dynamics Simulator* је коришћен за моделирање брзине кретања и видљивости дима, као и температуре у степенишном простору при различитим сценаријима пожара. Симулације су вршене за различите локације жаришта пожара, као и различите количине ослобођене топлоте током пожара. Резултати су показали да место жаришта пожара и ослобођена топлота утичу на брзину кретања и испуњеност степенишног простора димом. Добијени резултати могу послужити за доношење планова ране евакуације из пожаром захваћених високих објеката у циљу спашавања људских живота.

Кључне речи: нумеричка симулација, високи објекат, пожар, дим, температура, евакуација

NUMERICAL STUDY OF SMOKE FLOW INSIDE STAIRWELL SPACE OF HIGH RESIDENTIAL BUILDING

Abstract: Endangered persons evacuation due to fires in high buildings very often is extremely difficult. Therefore, the aim of this paper is to assess the danger to the residents health during the evacuation from a multi-storey building by means of predicting the dynamics of fire parameters in the stairwell. The computational fluid dynamics technique was used to predict the fire dynamics in a twelve-storey residential building. The *Fire Dynamics Simulator* software package was used to modeling the velocity and visibility of smoke, as well as the temperatures in the stairwell in different fire scenarios. Simulations were performed for different locations of fire hotspots, as well as different quantities of heat released during the fire. The results obtained by simulation indicate that the location of the fire and the heat released affect the speed of movement and the filling of the stairwell with smoke. Also, on the basis of simulation results, plans for early avacuation from fire-affected high-rise buildings can be improved in order to save human lives.

Key words: numerical simulation, high building, fire, smoke, temperature, evacuation

1. УВОД

Због развоја савременог живота и густине становања, у градовима се изграђују високи објекти. Међутим, упоредо са њиховом изградњом и потенцијална опасност од пожара се значајно увећава. Наиме, у поређењу са пожарима у нижим зградама, пожари у високим зградама имају своје специфичности [1]:

- високе зграде имају већи ризик од настанка пожара због велике количине запаљивих материјала ентеријера великог броја станова, као и услед запаљивих изолационих материјала њихових фасада,
- пожар настао у једном стану брзо се шири на околне станове,
- евакуација станара, посебно са виших спратова је изузетно отежана,
- гашење пожара је дуготрајно, што омогућава ширење пожара и током локализације пожара,
- материјална штета је огромна.

¹ Редовни професор, Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду у Нишу, Чарнојевића 10а, Ниш, e-mail: dusicapetic@znrfak.ni.ac.rs

² Доцент, Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду у Нишу, Чарнојевића 10а, Ниш, e-mail: darko.zigar@znrfak.ni.ac.rs

³ Редовни професор, Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду у Нишу, Чарнојевића 10а, Ниш, e-mail: milan.blagojevic@znrfak.ni.ac.rs

Пожари у високим објектима су веома често праћени и људским жртвама, најчешће услед удисања токсичних продуката пожара. На основу статистичких података, губици изазвани димом чине око 40–70% пожара жртва у високим зградама. Недостатак искуства и паника појединих станара покушавајући да се евакуишу из зграде користећи степениште најчешће резултира повећаним ризиком од настанка повреда и повећаном стопом морталитета. Због тога је неопходно проценити кретање дима у вертикалним окнима, као што су степеништа високих зграда.

За предвиђање највероватнијег правца ширења дима кроз степенишни простор високог објекта у раду је извршено нумеричко моделовање пожара уз више различитих сценарија који подразумевају различите количине ослобођене топлоте, као и различиту локацију жаришта пожара.

2. НУМЕРИЧКИ МЕТОД

Развој рачунарске технологије је довео до развоја великог броја рачунских метода које се примењују у инжењерству заштите од пожара. Пошто су технике рачунарске динамике флуида (*Computational Fluid Dynamics - CFD*) брзе и поуздане, оне се последњих деценија често користе за моделирање динамике и параметара пожара.

За симулацију параметара пожара и анализу угрожености станара приликом евакуације из високог објекта, у раду је коришћен *CFD* софтверски пакет *Fire Dynamics Simulator (FDS)* [2]. Хидродинамички модел *FDS*-а нумерички решава *Navier-Stokes* једначине које су применљиве за термички вођена струјања флуида, као што су једначина о одржању масе, једначина о одржању момената, једначина транспорта сензибилне енталпије и једначина стања гасне смеше. С обзиром да је фокус овог рада на термичком струјању дима који је условљен својим „узгоном“, за нумеричке симулације је коришћен *FDS* метод великих вртложних струјања (*Large Eddy Method – LES*).

2.1. Поставка нумеричког модела

FDS је рачунски алат за предвиђање динамике пожара и ширење дима који се очекују у скоро свим врстама објеката. Резултати *FDS*-а зависе од архитектонских карактеристика објеката и присутних запаљивих материјала [3]. Због тога је најпре у рачунарском домену димензија 33,0x 16,0 x42,0 m креиран 3D модел дванаестоспратне стамбене зграде димензија 26,0x10,0 x 36,0 m која је изграђена од бетона. Зграда поседује степенишни простор димензија 3,6 x6,0 x 35,7 m који је застакљен стаклом дебљине 0,006 m. Степениште је ширине 1,5 m са подестима димензија 3,6x1,5x 0,2 m.

С обзиром на то да при избору места пожара треба изабрати најнеповољнији сценарио, претпостављено је да се жариште пожара налази у просторији непосредно поред степенишног простора зграде. Наиме, пожаром је захваћена кухиња са дрвеним кухињским елементима. Претпостављено је да је пожар достигао своју потпуно развијену фазу услед чега је прозор просторије захваћене пожаром пукао и њена врата су изгорела.

Да би се проценила угроженост станара услед температуре дима, у простору степеништа непосредно поред просторије захваћене пожаром постављени су сензори за мерење температуре на међусобном вертикалном растојању од 3 m.

При извођењу *LES* симулација у циљу добијања поузданих резултата неопходно је одредити оптималну резолуцију нумеричке мреже. Због тога је, у складу са усвојеним интензитетима пожара, усвојена униформна мрежа од 0,2 m са укупним бројем ћелија мреже од 3118500 (165 x 90 x 210).

С обзиром на то да у реалним условима није могуће предвидети локацију и снагу пожара, у циљу процене услова за евакуацију станара из објекта симулирана су шест сценарија за различите локације жаришта и количине ослобођене топлоте током пожара, односно претпостављено је да:

- пожар је настао у приземљу, на трећем и седмом спрату,

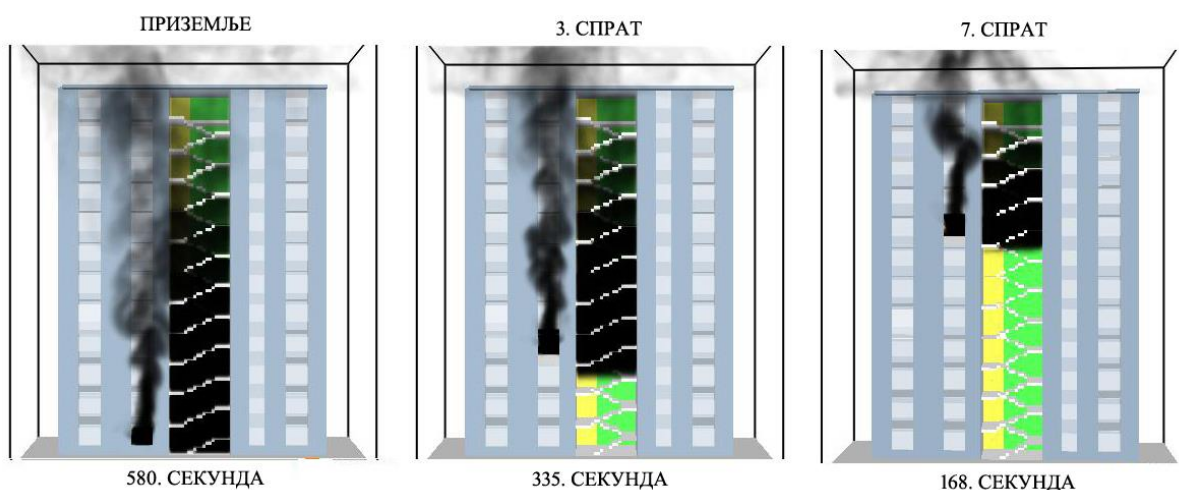
- количина топлоте пожара износи 1,5 MW односно 3,5 MW.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

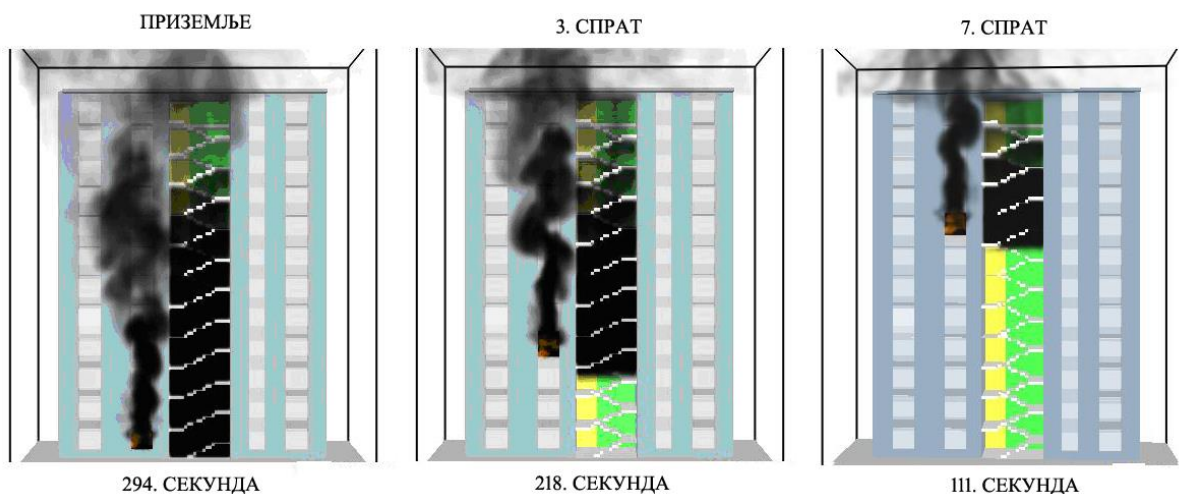
3.1. Кретање дима кроз степенишни простор

Резултати симулација кретања дима у степенишном простору за разматране сценарије пожара приказани су на слици 1 и 2.

Слика 1 – Испуњеност степенишног простора димом при топлоти пожара 1,5 MW



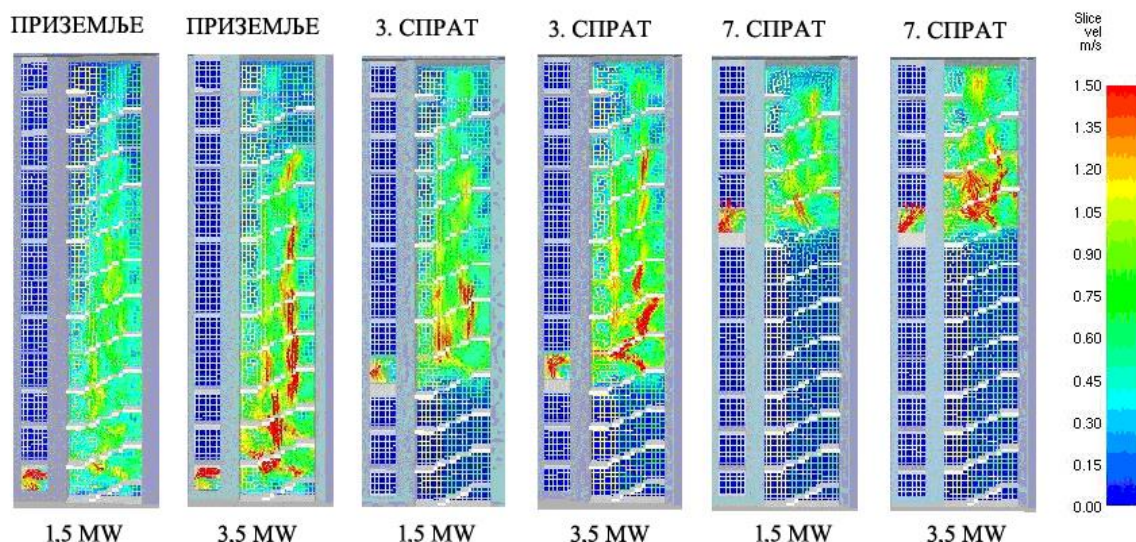
Слика 2 – Испуњеност степенишног простора димом при топлоти пожара 3,5 MW



Резултати нумеричке студије су показали да се, након продора у степенишни простор врућ дим брзо кретао навише услед разлике у температури, а тиме и у густини у односу на хладнији ваздух који се налази у простору степеништа. Међутим, кретање дима је, осим „узгоном“ дима условљено и конфигурацијом степеништа, јер његова грађевинска конструкција спречава брже ширење дима, тако да се постепено степенишни простор испуњавао димом све до последњег спрата стамбене зграде. Најизраженији „ефекат димњака“ се јавља у вертикалном међупростору између степеништа [4]. Као што се са слика 1 и 2 може закључити, резултати симулација показују да су, у зависности од локације жаришта пожара и топлоте пожара, прорачунате различите вредности времена за које дим испуњава унутрашњост степенишног простора и достиже до последњег спрата зграде.

Време за које се степенишни простор испуни димом зависи од брзине кретања дима. Због тога су на слици 3 приказане добијене вредности брзине ширења дима у 300-тој секунди за разматране сценарије пожара.

Слика 3 – Брзина кретања дима



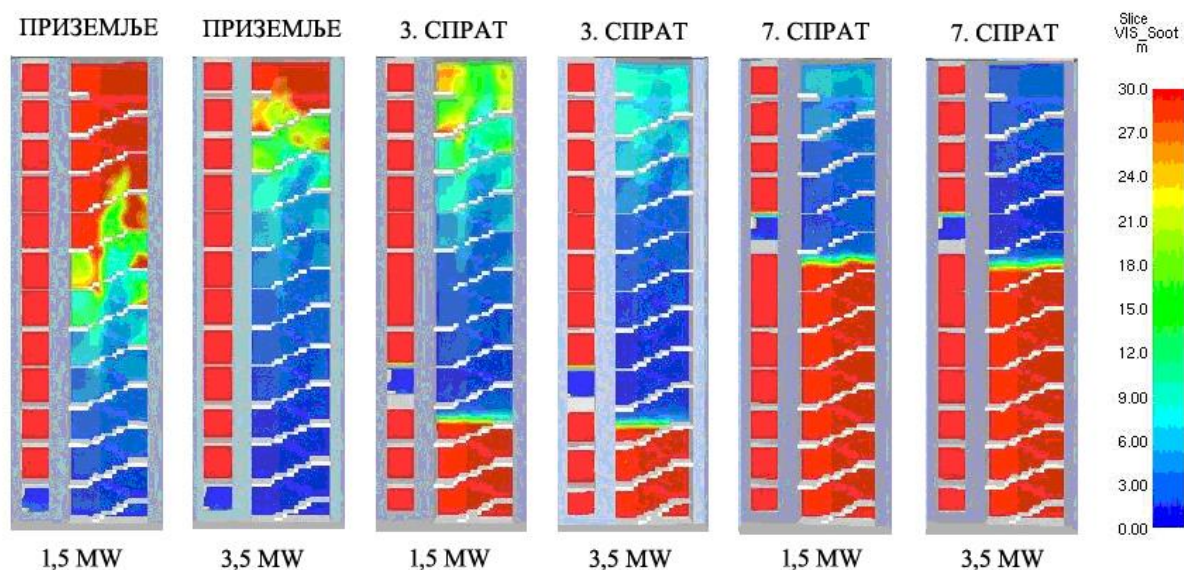
Упоређујући приказане резултате, може се закључити да са повећањем топлоте пожара долази до повећања брзине протока дима. То је резултат јачег „узгона“ дима условљеног већим разликама између температуре дима и температуре ваздуха у степенишном простору.

Без обзира на количину топлоте ослобођене током пожара, са порастом висине, односно на вишим спратовима зграде дошло је до смањења брзине струјања дима што је условљено његовим хлађењем услед мешања са окружујућим ваздухом. Наиме, „узгонска“ сила дима који струји навише се смањила са повећањем удаљености од жаришта пожара.

3.2. Видљивост дима

Видљивост је један од важнијих фактора који утиче на безбедну евакуацију особа угрожених пожаром. Наиме, уколико је видљивост на 2 m изнад пода мања од 10 m угрожене особе не могу јасно видети пут и правац евакуације [5]. Резултати симулације видљивости дима у 300-тој секунди за разматране сценарије приказани су на слици 4.

Слика 4 – Видљивост дима



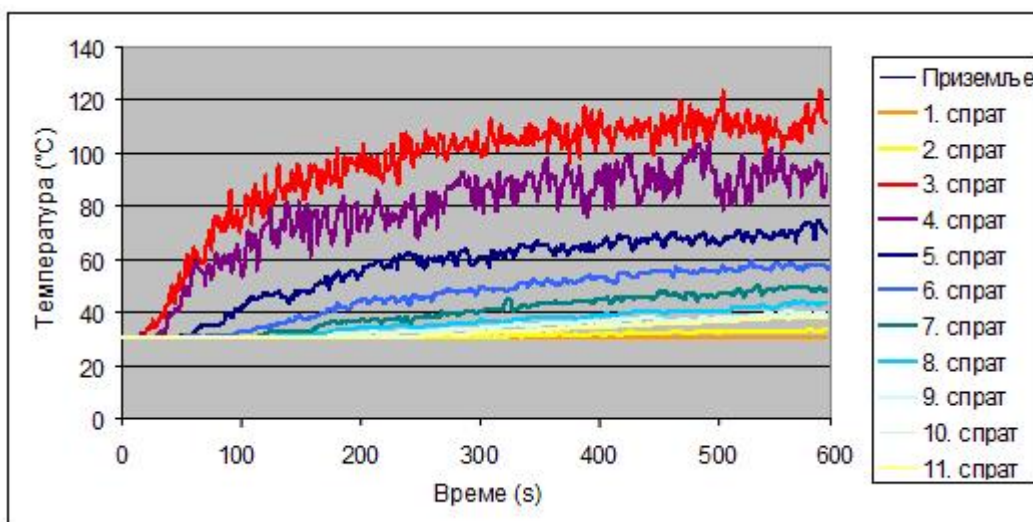
Полазећи од претходно поменутог критеријума, са слике 4 се види да постоји висок степен задимљавања степенишног простора непосредно изнад стана захваћеног пожаром. Са повећањем спратности повећава се видљивост. Међутим, без обзира на ту чињеницу евакуација са спратова који се налазе изнад стана захваћеног пожаром је немогућа. Такође се на основу

приказаних резултата може приметити да у случајевима када се пожар одвија на трећем и осмом спрату долази до смањења видљивости и у степенишном простору спратова који се налазе испод жаришта пожара. Спратови испод нису задимљени тако да се са њих може извршити безбедна евакуација станара зграде.

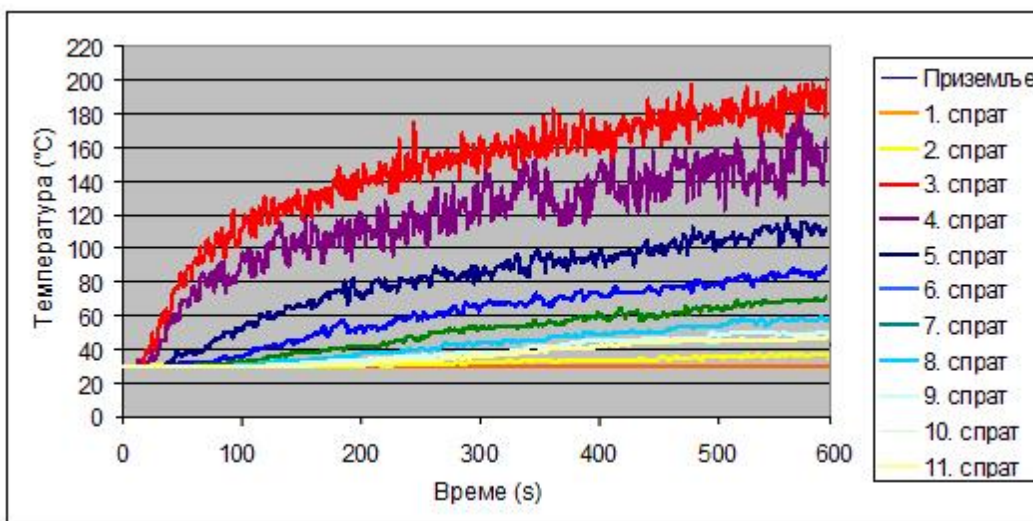
3.3. Температуре у степенишном простору

Дим који струји у степенишном простору има значајан утицај на расподелу температуре. Због тога су помоћу виртуелних термопарова праћене вредности температура на висини од 2 m на сваком спрату у близини просторије захваћене пожаром. За сценарио пожара на трећем спрату за топлоту пожара од 1,5 MW и 3,5 MW, на сликама 5 и 6 су приказане промене температуре у функцији времена трајања пожара.

Слика 5 – Температуре на спратовима објекта при топлоти пожара 1,5 MW



Слика 6 – Температуре на спратовима објекта при топлоти пожара 3,5 MW



На основу резултата симулација може се приметити да температура у простору степеништа расте са временом трајања пожара. Такође се може закључити да је пораст топлоте ослобођене током пожара резултирао порастом температуре у простору степеништа. При пожару снаге 1,5 MW, максимална вредност температуре на нивоу трећег спрата износи 110 °C, док при пожару од 3,5 MW максимална температура износи 195 °C. Са повећањем висине, утицај топлоте пожара на температуру се смањује услед мешања загрејаног дима са хладним ваздухом, тако да

се и температуре на вишим спратовима смањују. Са друге стране, утицај пожара на промену температуре на нижим спратовима је занемарљив.

4. ЗАКЉУЧАК

У раду је спроведен низ симулација пожара помоћу *FDS* софтверског пакета. Применом *LES* методе анализирано је кретање дима пожара у степенишном простору високог стамбеног објекта. Анализом резултата нумеричких симулација дошло се до следећих закључака:

- локација пожара има велики утицај на кретање дима кроз степенишни простор објекта. Промене у висини локације пожара доводе до промена у брзини кретања дима кроз степенишни простор,
- већа количина ослобођене топлоте током пожара резултира већим температурним разликама загрејаних продуката пожара и окружујућег ваздуха што доводи до веће „узгонске“ силе и њиховог већег турбулентног мешања,
- кретање дима утиче на видљивост у степенишном простору тако да је у неким случајевима отежана, а најчешће онемогућена евакуација станара са горњих спратова објекта,
- температура у степенишном простору изнад станова захваћених пожаром прелази 60 °C што може изазвати опекотине и угрозити живот станара приликом евакуације.

На основу свега изнетог, може се закључити да је најефикаснија превентивна мера заштите високих објеката од пожара уградња система за заштиту од дима у степенишном простору објеката.

Захвалност

Рад је резултат истраживања за чију је реализацију средства обезбедило Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (уговор бр. 451-03-9/2021-14/200148).

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hu, L., Milke, J.A., & Merci, B. (2017). *Special issue on fire safety of high-rise buildings*. Fire Technology, vol. 53, no. 1, pp. 1–3.
- [2] McGrattan, K., McDermott, R., Weinschenk, C., Overholt, K., Hostikka, S., & Floyd, J. (2013). *Fire dynamics simulator* (version 6) technical reference guide, volume 1: mathematical model NIST Special Publication, Gaithersburg, MD.
- [3] Pesic, D.J., Zigar D.N., Anghel I., Glisovic S.M. (2016). *Large eddy simulation of wind flow impact on fire-induced indoor and outdoor air pollution in an idealized street canyon*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 155, pp. 89-99.
- [4] Sun J. Hu L. & Zhang Y. (2013). *A review on research of fire dynamics in high-rise buildings*. Theoretical & Applied Mechanics Letters vol. 3, 042001.
- [5] Hu, G. (2020). Research on the fire of high-rise residential building based on Pyrosim numerical simulation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 455 (012059)