

**ПРОРАЧУН И МОДЕЛОВАЊЕ ЕВАКУАЦИЈЕ ИЗ СТАМБЕНЕ ЗГРАДЕ У НОВОМ САДУ****EVACUATION CALCULATION AND MODELLING FROM A RESIDENTIAL BUILDING IN NOVI SAD**Немања Стојановски, Слободан Шупић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ ОД КАТАСТРОФАЛНИХ ДОГАЂАЈА И ПОЖАРА –**

**Кратак садржај:** У раду су представљени резултати добијени рачунским прорачуном и рачунарским моделом одређивања времена евакуације корисника једног стамбеног објекта у Новом Саду и извршена је евалуација добијених резултата у складу са важећом законском регулативом. У складу са резултатима предложене су мере за смањење ризика на прихватљив ниво. У уводном, истраживачком делу, дат је осврт на два приступа прорачуна и моделовања евакуације у случају пожара.

**Кључне речи:** Евакуација, пожар, прорачун евакуације, “performance-based” приступ, Pathfinder

**Abstract:** The paper presents the results obtained by calculations and a software simulation for determining the evacuation time of the users of a residential building in Novi Sad, whereas an evaluation of the obtained results was carried out in accordance with the current legal regulations. In accordance with the obtained results, measures were proposed to reduce the risk to an acceptable level. In the introduction section, which relates to the research part, an overview of two approaches to calculation and modeling of evacuation in case of fire is given.

**Keywords:** Evacuation, fire, evacuation calculation, “performance-based” approach, Pathfinder

**1. УВОД**

Централна тема овог рада је стамбени објекат у Новом Саду на коме је извршена провера испуњености минималних услова за евакуационе путеве према Правилнику о техничким нормативима за заштиту од пожара стамбених и пословних објеката и објеката јавне намене, Закону о заштити од пожара и другим прописима и стандардима којима су прописани захтеви заштите од пожара за објекте. Поред провере испуњености минималних услова за евакуационе путеве, извршен је рачунски прорачун времена евакуације и урађена је симулација евакуације из стамбеног објекта у софтверу Pathfinder.

**НАПОМЕНА:**

Овај рад је проистекао из мастер рада чији ментор је био др Слободан Шупић, доцент.

У циљу израде основе за рачунски прорачун и израду модела за софтвер Pathfinder прикупљени су подаци из пројекта конструкције и сопственим истраживањем.

Евакуација је значајна заштитна мера за савладавање последица природних и других несрећа. То посебно важи ако је могуће евакуацију извести правовремено, пре саме несреће, јер се тиме штите животи, смањује број и тежина повреда и барем до неке мере штити имовина.

Предмет овог рада је прорачун евакуације у складу са Правилником о техничким нормативима за заштиту од пожара стамбених и пословних објеката и објеката јавне намене („Сл. гласник РС“, број 22/2019) и моделовање, односно симулација путем програма Pathfinder за предметни објекат.

**2. МЕТОДЕ ПРОРАЧУНА И СИМУЛАЦИЈЕ ЕВАКУАЦИЈЕ**

За зграду коју треба изградити и уселити, инжењер заштите од пожара мора прво да утврди да зграда пружа довољан ниво сигурности у случају пожара. Евакуација је планско, организовано и привремено премештање људи са угрожене територије на безбедно место. Прорачун евакуације се ради да би се утврдило време потребно за евакуацију и пролазност коридора. Безбедна евакуација корисника зграде у случају пожара један је од кључних елемената заштите од пожара.

За прорачун евакуације користи се рачунски поступак. Рачуна се време потребно за евакуацију свих особа присутних у објекту по етапама евакуације и пореди се са препорукама датим у Правилнику о техничким нормативима за заштиту од пожара стамбених и пословних објеката и објеката јавне намене („Сл. гласник РС“, бр. 22/2019). Симулације евакуације у виртуелном окружењу раде се помоћу софтверских модела. Постоје разни софтверски модели за симулацију евакуације. У овом раду коришћен је софтвер PathFinder.

Прескриптивни приступи се ослањају на примену унапред одређеног скупа правила који, ако се користе, обично омогућавају да се дизајн сматра безбедним. Већина техничких прописа и стандарда за зграде су прескриптивни тј. садрже експлицитна правила. Слабост оваквих прописа је што су дати без провере адекватности и ограничења примене. Прескриптивни прописи су засновани на емпиризму, а не на научним сазнањима.

Насупрот томе, дизајн заснован на перформансама се ослања на квантитативну процену постигнутих нивоа учинка током пожара и евакуације. Овај приступ захтева квантификацију оба, и расположивог времена за евакуацију – времена пре него што услови постану неодрживи (енгл. *available safe egress time* – ASET) и времена потребног за безбедну евакуацију – времена потребног популацији да стигне до безбедног места (енгл. *required safe egress time* – RSET). Ова времена се затим упоређују да се утврди да ли постоји довољно времена, с обзиром на маргину сигурности, да популација стигне на безбедно место пре него што услови постану неодрживи. Овај приступ се може користити за комплексне објекте где прескриптивни приступ није адекватан или може да послужи за валидацију прескриптивног модела.

Време евакуације добијено инжењерским приступом треба узети са задршком, будући да велики број фактора утиче на људско понашање у ванредним ситуацијама. Предности коришћења компјутерских алата укључују могућност представљања природе простора, индивидуалних атрибута и фактора који утичу на понашање актера. Са друге стране, недостаци се огледају у генерално поједностављеном понашању и мишљењу да је људско понашање непредвидљиво.

### 3. СТУДИЈА СЛУЧАЈА – СТАМБЕНИ ОБЈЕКАТ

Предметни објекат је стамбеног карактера, спратности Су + П + 4 + Пк. Колски и пешачки прилаз објекту је са улице кроз пасаж, а улаз у објекат је постављен из пасажа објекта. Предметни објекат не спада у високе објекте с обзиром да му је кота пода највишег спрата удаљена мање од 30 m од коте терена на коју могу приступити ватрогасна возила ради гашења и спасавања и са које је могућа интервенција, применом аутоматских лестава или других специјалних возила за гашење и спасавање са висина.

На приземљу се налазе 2 стана, на типским етажама и у поткровљу по 4 стана. Узета је претпоставка, на основу квадратуре и типа станова, да на приземљу живи 8 особа, на типским етажама укупно 44 особа и у поткровљу још 8 особа, па је укупни број станара 60.

#### Поступак извођења евакуације из објекта

Евакуација присутних лица из предметног објекта одвија се преко главног излаза у приземљу, а према Плану евакуације стамбене зграде. Евакуација присутних лица са поткровља одвија се истовремено из свих станова. Најудаљеније полазно место евакуације је просторија у стану на југозападној страни на поткровљу. Евакуација се врши од полазног места до првог излаза, тј. излаза из стана, а затим ходником до ступеништа, ступеништем до ниже етаж и све до приземља. Затим се евакуација врши кроз ходник приземља, низ ступениште, до крајњег излаза из објекта, кроз пасаж, до безбедног места. Особе са осталих етажа се евакуишу на исти начин, а евакуација особа са приземља се одвија, након изласка из станова, кроз ходник, преко ступеништа до крајњег излаза и безбедног места.

### Прорачунско време евакуације

Обзиром да предметни објекат не поседује етажни излаз, II етапа евакуације подразумева кретање лица од почетног излаза до крајњег излаза и тада кретање лица у II етапи мора да се заврши за мање од 5 минута. Све особе се евакуишу преко главног ступеништа који се налази у ходнику. С обзиром да у нашем случају не постоје пожарне баријере, не постоји ни III етапа евакуације.

Уколико није могуће извршити евакуацију у захтеваном временском периоду, сматра се да се корисник приликом евакуације креће кроз простор који није безбедан, те је неопходно извршити одређене измене како би се унапредила ефикасност евакуације.

#### Први сценарио

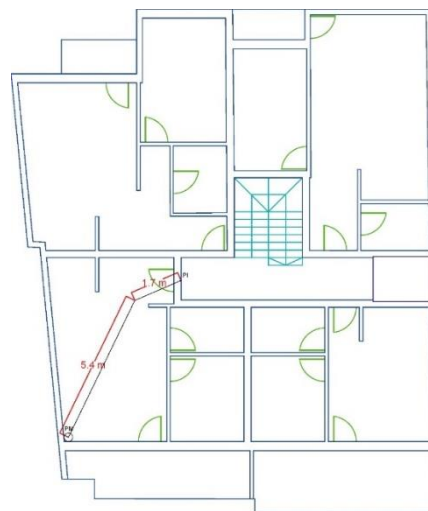
Први сценарио представља најнеповољнији могући случај где је предвиђен ток евакуације тако да се особе са нижих етажа сустичу са особама са виших етажа на ступеништу. За овако креиран сценарио важи претпоставка да ће време евакуације бити најдуже. Евакуација присутних особа са поткровља одвија се истовремено из свих станова.

$$t_e = t_{pr} + t_k$$

$$t_{pr} = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$$

$$t_k = t_I + t_{II} + t_{III}$$

У I етапи особе из стана крећу се по равном поду дужином пута од 7,1 метара, од полазног места до првог излаза, тј. од најудаљеније тачке у стану до излаза из тог стана (слика 1).

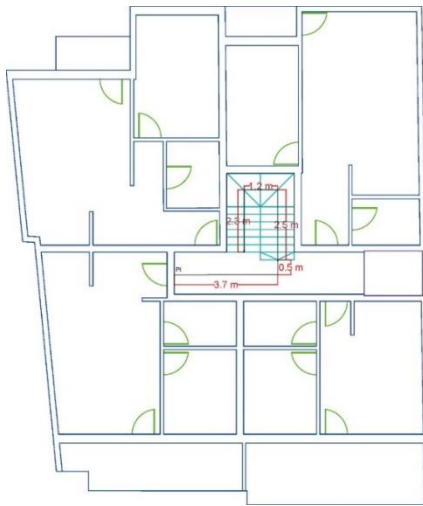


Слика 1 Кретање особа у I етапи

За прву етапу добијено је време евакуације:

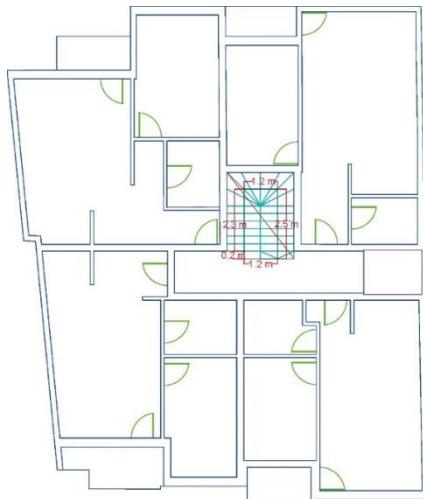
$$t_I = 4,73 \text{ s}$$

Друга етапа евакуације је подељена на више сегмената. У првом сегменту друге етапе, кретање особа се врши од излазних врата стана до ступеништа у поткровљу (слика 2), а затим преко ступеништа на поткровљу до четвртог спрата.



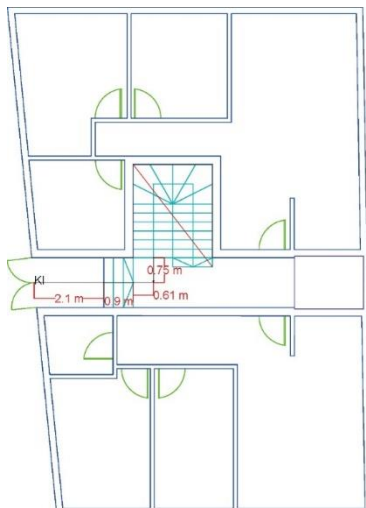
Слика 2 Кретање особа у I сегменту II етапе

Кретање особа у сегментима II – V друге етапе, врши се од степеништа на четвртом спрату, преко двокраког степеништа до нижих етажа, па све до приземља објекта (слика 3).



Слика 3 Кретања особа у II - V сегменту II етапе

У последњем, VI сегменту, II етапе евакуација се врши кретањем особа кроз ходник приземља, преко степеништа, до крајњег излаза (слика 4).



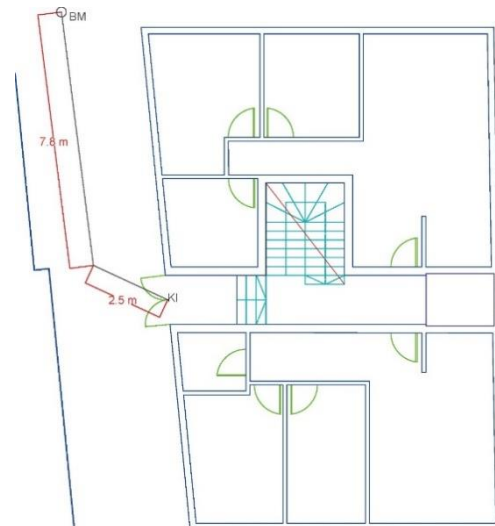
Слика 4 Кретање особа у VI сегменту II етапе

Време потребно за евакуацију особа у другој етапи добијамо сабирањем времена добијених у претходно наведеним сегментима, и износи:

$$t_{II} = 448,58 \text{ s}$$

Кретање особа у III етапи (слика 5) обухвата кретање 60 особа по равном од крајњег излаза, кроз пасаж, до безбедног места које је удаљено од објекта 10,3 метара.

$$t_{III} = 18,87 \text{ s}$$



Слика 5 Кретање особа у III етапи

Укупно време евакуације:

$$t_k = 4,73 + 448,58 + 18,87 = 472,18 \text{ s}$$

$$t_e = 600 + 472,18 = 1072,18 \text{ s}$$

Други сценарио

Други сценарио представља најповољнији могући случај где је предвиђена евакуације у којој се особе (укупно 8) са последње етаже (поткровља) не сустичу са актерима нижих етажа, тј. несметано се крећу ка крајњем излазу. За овај сценарио важи претпоставка да је време евакуације најкраће.

$$t_e = t_{pr} + t_k$$

$$t_{pr} = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$$

$$t_k = t_I + t_{II} + t_{III}$$

I етапа евакуације (ПМ – ПИ):

$$t_I = 4,73 \text{ s}$$

II етапа евакуације (ПИ – КИ):

$$t_{II} = 158,58 \text{ s}$$

III етапа евакуације (КИ – БМ):

$$t_{III} = 8,87 \text{ s}$$

Време евакуације:

$$t_k = 4,73 + 158,58 + 8,87 = 172,18 \text{ s}$$

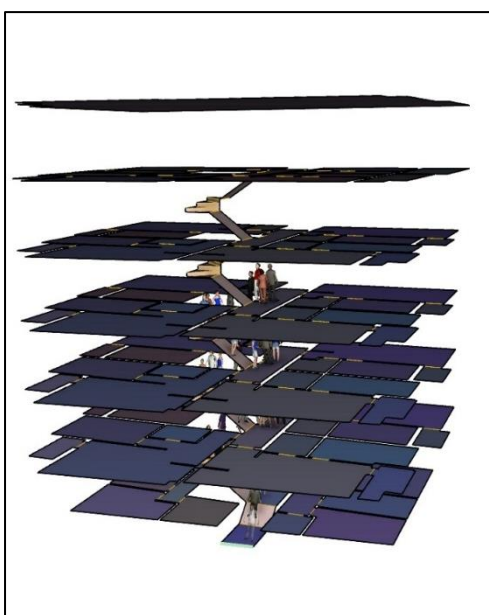
$$t_e = 600 + 172,18 = 772,18 \text{ s}$$

## Време евакуације добијено употребом рачунарског модела у софтверу Pathfinder

Моделовање симулације пружа могућност добијања визуелних и графичких информација о кретању људи и местима успоравања и груписања у складу са перформансама коридора евакуације.

### Сценарио

Сценарио предвиђа да сви актери евакуацију започињу истовремено. За несметану брзину кретања актера по равной подлози усвојена је брзина од 1.5 m/s, а за спуштање низ степенице усвојена је брзина од 1.2 m/s. Након извршене симулације у софтверском пакету Pathfinder добијено је максимално време евакуације од 63.2 s. На слици 7 приказан је карактеристичан момент у софтверу Pathfinder у току симулације евакуације.



Слика 6 Ток евакуације након  $t = 30$  s

На основу тока евакуације може се закључити да не постоје критичне тачке где долази до успоравања, застоја и гомилања људи тј. појаве „уских грла“.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Предмет рада био је процена времена потребног за евакуацију услед пожара корисника стамбеног објекта у Новом Саду употребом рачунарског поступка (прескриптивни модел) и рачунарског (софтверског) модела – “performance based” модел. Одређивање времена потребног за евакуацију корисника објекта извршена је применом рачунарског модела, према Правилнику о техничким нормативима за заштиту од пожара стамбених и пословних објеката и објеката јавне намене, за два различита сценарија.

Рачунарским моделом је извршен прорачун времена евакуације за два сценарија и један сценарио рачунарског модела као што је наведено у раду. Можемо закључити на основу прорачуна да је време у првом сценарију веће од времена евакуације у другом сценарију рачунарског модела јер се актери са нижих етажа активирају тек по пристизању особа са виших

етажа, па при скретању под угловима и наиласку на сужења коридора има више група.

На основу извршених прорачуна може се установити да објекат у оба сценарија испуњава захтеве дефинисане правилником за I етапу евакуације, док за II етапу не испуњава критеријуме у првом сценарију. Будући да је коридор евакуације небезбедан у случају евентуалног пожара, предлаже се формирање пожарно-изолованог коридора евакуације који се може изградити на један од два начина: 1) инсталација пожарних врата на улазу у степенишни простор, на сваком спрату; 2) конструкција спољашњег безбедносног степеништа. Избор оптималне варијанте ће се утврдити техно-економском анализом.

Време добијено рачунарским моделом (креираном у “Pathfinder” софтверу) задовољава захтеве дефинисане правилником. Време добијено у софтверском моделу је делимично мање у односу на рачунарски поступак, што је последица занемаривања утицаја скретних углова и већих задржавања на сужењима коридора.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Закон о заштити од пожара (“Сл. гласник РС”, бр. 111/2009, 20/2015, 87/2018 и 87/2018 - др. закони)
- [2] Правилник о техничким нормативима за заштиту од пожара стамбених и пословних објеката и објеката јавне намене („Сл. гласник РС“, број 22/2019)
- [3] Мастер рад „Прорачун и моделовање евакуације из стамбене зграде у Новом Саду“, Немања Стојановски 2023.

### Кратка биографија:



**Немања Стојановски** рођен је 1995. године, у Панчеву. Уписује Рударско-геолошки факултет у Београду 2014. године, смер Инжењерство заштите животне средине. Након завршетка ОАС уписује МАС и стиче звање мастер инжењера заштите животне средине. Са циљем стицања нових знања, уписује Факултет техничких наука и смер Управљање ризиком од катастрофалних догађаја и пожара.



**Слободан Шудић** рођен је 1989. године у Требињу у БиХ. Од 2013. године запослен је на Факултету техничких наука, а од 2020. ради као доцент на Департману за грађевинарство и геодезију, ужа научна област: Грађевински материјали, процена стања и санација конструкција.