

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Jerončič, Š., 2013. Požarna analiza osnovne šole Vič. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Kristl, Ž.): 41 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Jerončič, Š., 2013. Požarna analiza osnovne šole Vič. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Kristl, Ž.): 41 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVA

MODUL PROMET

Kandidatka:

**ŠPELA JERONČIČ**

**POŽARNA ANALIZA OSNOVNE ŠOLE VIČ**

Diplomska naloga št.: 23/B-GR

**FIRE ANALYSIS OF PRIMARY SCHOOL VIČ**

Graduation thesis No.: 23/B-GR

**Mentor:**

doc. dr. Mitja Košir

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentorica:**

doc. dr. Živa Kristl

Ljubljana, 01. 07. 2013

## **IZJAVE**

Podpisana Špela Jerončič izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »Požarna analiza Osnove šole Vič«.

Izjavljam, da je elektronska različica povsem enaka tiskani.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 5.6.2013

Špela Jerončič

**BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	614.841:624:727.1(497.4)(043.2)
<b>Avtor:</b>	Špela Jerončič
<b>Mentor:</b>	doc. dr. Mitja Košir
<b>Somentor:</b>	doc. dr. Živa Kristl
<b>Naslov:</b>	Požarna analiza Osnovne šole Vič
<b>Tip dokumenta:</b>	Diplomska naloga – univerzitetni študij
<b>Obseg in oprema:</b>	41 str., 30 sl., 9 pregl.
<b>Ključne besede:</b>	gorenje, požar, evakuacija, požarna analiza, požarna varnost, evakuacijska pot

**Izvleček:**

V diplomski nalogi sem analizirala evakuacijsko pot določenega dela objekta Osnovne šole Vič. Analizo sem izvedla s pomočjo simulacijskih programov Pathfinder 2012 in Pyro Sim 2012. Oba programa sta grafična vmesnika za program Fire dynamic simulator in sta dosegljiva na spletu. V prvem delu diplomske naloge je teoretičen opis produktov gorenja, požara in evakuacije. Opisana je tudi zakonodaja, ki velja v Republiki Sloveniji. V nadaljevanju sledi analiza evakuacijske poti. Analiziran je samo en del objekta. Za analizo smo izbrali različne poteke evakuacije v primeru požara: potek evakuacije po evakuacijskem načrtu in potek evakuacije pri obstoječem stanju. V obeh primerih smo analizirali pritličje objekta, nato smo pritličju priključili še prvo nadstropje. Pri tem smo želeli ugotoviti ali je predpisana evakuacijska pot ustrezna in če je možno evakuacijski čas, pri sedanjem stanju objekta, skrajšati. Nato sledi primerjava sedanje situacije in izboljšane situacije. Rezultati raziskave so prikazani tudi grafično. Pri analizi smo ugotovili, da bi predpisano evakuacijsko pot lahko izboljšali s preusmeritvijo uporabnikov objekta na druge zasilne izhode, čas evakuacije pa bi lahko skrajšali z odstranitvijo določenih ovir, ki so na evakuacijski poti.

## BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

**UDC:** 614.841:624:727.1(497.4)(043.2)  
**Author:** Špela Jerončič  
**Supervisor:** Assist. Prof. Mitja Košir, Ph. D.  
**Cosupervisor:** Assist. Prof. Živa Kristl, Ph. D.  
**Title:** Fire analysis of Primary school Vič  
**Document tipe:** Graduation Thesis – University studies  
**Notes:** 41 p., 30 fig, 9 tab.  
**Key words:** burning, fire, evacuation, fire analysis, fire safety, escape route

### Abstract:

In my graduation thesis I have analysed the evacuation route of a certain part of the building belonging to Primary school Vič. The analysis has been realized with the help of programmes Pathfinder 2012 and Pyro Sim 2012. Both programmes are graphical interfaces for the programme called Fire dynamic simulator and are available on web. In the first part of my graduation thesis there are theoretical descriptions of the combustion products, the fire and the evacuation. The legislation, prescribed in the Republic of Slovenia, is described, too. Then the analysis of the evacuation route follows. Only one part of the building has been analysed. I have chosen various routes of evacuation to be analysed in the case of fire: the course of evacuation by the prepared plan and the course of evacuation with the existent situation. With both cases we have analysed the ground floor and then the first floor has been added. We wanted to estimate if the prescribed evacuation course is convenient and if there is a possibility to shorten the time of evacuation – with the present state of the building. Then a comparison of the present situation and improved situation follows. The received results are shown graphically. With the analysis we found out that the prescribed evacuation course could be improved by the deviation of the users of the building to other emergency exits; the time of evacuation could be shortened by removing of certain obstacles being on the evacuation course.

## ZAHVALA

Za pomoč in strokovno usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitja Koširju. Prav tako se za uporabne nasvete zahvaljujem somentorici doc. dr. Živi Kristl.

Zahvala gre tudi Mateju Brinarju za pomoč pri reševanju računalniških težav in potrpljenju z menoj.

Zahvaljujem se vsem, ki so mi v času študija stali ob strani in me podpirali, še posebej moji mami Mojci.

## KAZALO VSEBINE

Izjave.....	I
Bibliografsko – dokumentacijska stran in izvleček.....	II
Bibliographic – documentalistic information and abstract .....	III
Zahvala .....	IV
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 GORENJE .....</b>	<b>2</b>
2.1 Definicija gorenja .....	2
2.2 Trikotnik gorenja .....	2
2.2.1 Gorljive snovi.....	2
2.2.2 Kisik .....	3
2.2.3 Energija vžiga/toplota.....	3
2.3 Produkti gorenja.....	4
<b>3 POŽAR .....</b>	<b>5</b>
3.1 Definicija požara .....	5
3.2 Vrste požarov.....	5
3.3 Požari v objektih.....	5
3.3.1 Razvoj požara v objektu.....	5
3.3.2 Intenziteta požara v objektu .....	6
3.4 Vpliv požarnih lastnosti gradbenih materialov na požar .....	7
<b>4 EVAKUACIJA .....</b>	<b>8</b>
4.1 Definicija evakuacije .....	8
4.1.1 Načrt evakuacije.....	8
4.1.2 Evakuacijska pot .....	8
4.1.3 Zbirno mesto .....	9
4.2 Potek evakuacije.....	9
4.2.1 Opredelitev osnovnih evakuacijskih časov .....	10
4.2.2 Evakuacijski čas.....	10
<b>5 POŽARNA VARNOST IN EVAKUACIJA V STAVBAH – PRAVILNIK O POŽARNI VARNOSTI V STAVBAH .....</b>	<b>12</b>
<b>6 OPIS OBJEKTA IN SCENARIJ POŽARA.....</b>	<b>13</b>
6.1 Opis objekta .....	13
6.2 Scenarij požara.....	14
<b>7 ANALIZA EVAKUACIJSKE POTI OBRAVNAVANEGA DELA OBJEKTA.....</b>	<b>15</b>
7.1. Uporabljena simulacijska orodja.....	15
7.2 VARIANTA 1 .....	16
7.2.1 Možne izboljšave za hitrejši potek predpisane evakuacije.....	19
7.3 VARIANTA 2.....	21
7.3.1 Možne izboljšave za hitrejši potek realne evakuacije.....	26
7.4 VARIANTA 3 .....	27
7.4.1 Možne izboljšave za hitrejši potek predpisane evakuacije s pridružitvijo prvega nadstropja.....	32
7.5 VARIANTA 4 .....	33
7.5.1 Možne izboljšave za hitrejši potek realne evakuacije s pridružitvijo prvega nadstropja.....	37

---

<b>8</b>	<b>GRAFIČNI PRIKAZ REZULTATOV .....</b>	<b>38</b>
<b>9</b>	<b>ZAKLJUČEK.....</b>	<b>40</b>
	<b>VIRI.....</b>	<b>41</b>



## KAZALO SLIK

Slika 1: Trikotnik gorenja .....	2
Slika 2: Označevanje gorljivih snovi.....	3
Slika 3: Princip gašenja .....	4
Slika 4: Časovni potek tipičnega požara v objektu (Jug, 2013).....	6
Slika 5: Načrt evakuacije .....	8
Slika 6: Zasilni izhod.....	8
Slika 7: Zbirno mesto.....	9
Slika 8: Razpoložljiv čas za varen umik (Jug, 2013) .....	11
Slika 9: Tloris pritličja z evakuacijskimi potmi in označenim obarvanim delom stavbe ter začetkom požara .....	13
Slika 10: Zbirno mesto, površine za intervencijska vozila in možen dostop intervencijskih vozil do stavbe (rdeče puščice).....	14
Slika 11: Označeni evakuacijski izhodi .....	15
Slika 12: Požarna vrata (izhod D) .....	19
Slika 13: Požarna vrata (izhod E).....	19
Slika 14: Težka lesena vrata .....	20
Slika 15: Težka lesena vrata .....	20
Slika 16: Spremenjena pot evakuacije .....	21
Slika 17: Glavni vhod v šolo (izhod A) .....	21
Slika 18: Zastoj pri zaklenjenih vratih (izhod F) .....	22
Slika 19: Prikaz kritične situacije na načrtu pritličja .....	22
Slika 20: Vrata knjižnice .....	26
Slika 21: Varnostna omarica za ključ .....	27
Slika 22: Načrt prvega nadstropja z označenim obravnavanim delom .....	27
Slika 23: Zastoj pri zavutih stopnicah .....	28
Slika 24: Streha po kateri bi lahko potekala evakuacija .....	32
Slika 25: Pogled na streho iz notranjosti stavbe .....	32
Slika 26: Kritični deli evakuacijske poti .....	33
Slika 27: Grafičen prikaz VARIANTE 1 .....	38
Slika 28: Grafičen prikaz VARIANTE 2 .....	38
Slika 29: Grafičen prikaz VARIANTE 3 .....	39
Slika 30: Grafičen prikaz VARIANTE 4 .....	39

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Hitrost oseb (Jazbec, 2013) .....	11
Preglednica 2: Potek evakuacije .....	16
Preglednica 3: Razvoj požara v 80 s trajanja evakuacije .....	18
Preglednica 4: Potek evakuacije .....	23
Preglednica 5: Razvoj požara v 270 s trajanja evakuacije .....	25
Preglednica 6: Potek evakuacije .....	28
Preglednica 7: Razvoj požara v 150 s trajanja evakuacije .....	31
Preglednica 8: Potek evakuacije .....	34
Preglednica 9: Razvoj požara v 300 s trajanja evakuacije .....	36

## 1 UVOD

V mnogih verstvih ogenj še vedno velja za simbol skrivnosti, upanja in življenja. Šele v zadnjih nekaj stoletjih ga je človek začel bolj obvladovati. Izdelal je najrazličnejše tehnične pripomočke, ki so mu pomagali, da ga je začel izkoriščati za prijetnejše življenje.

Danes o ognju vemo veliko. Znani so nam postopki za njegovo pravilno in varno uporabo, a si človek kljub temu ognja še ni popolnoma pokoril. Ogenj še vedno povzroča veliko škode v naseljih in naravnem okolju. Je človekov prijatelj in pogosto tudi sovražnik (Krušec, 2001).

Diplomska naloga je razdeljena na devet poglavij. V prvem poglavju sta opisana namen in vsebina diplomske naloge. Diplomska naloga vsebuje analizo evakuacijske poti, izboljšave in ugotovljene rezultate ter možne rešitve za hitrejši potek evakuacije.

V drugem poglavju je predstavljen pojem gorenja. Pri gorenju nastaja veliko stranskih produktov, prav tako je potrebnih tudi nekaj dodatnih elementov, ki povzročijo nastanek te kemične reakcije. Gorenje in njegovi produkti so najpomembnejši dejavniki za nastanek in razvoj požara.

Razvoj požara poteka v štirih fazah, ki so opisane v tretjem poglavju. Poznamo več vrst požara, ki se delijo glede na lokacijo in obseg požara. V našem primeru smo se osredotočili na požar znotraj objekta. Pri pojavu požara v stavbi so pomembni tudi materiali konstrukcijskih elementov, kajti od njih je v veliki meri odvisno, kako in kam se bo požar širil.

Četrto poglavje vsebuje podatke o evakuaciji, poteku evakuacije in evakuacijskih časih. Poznavanje evakuacijskih poti in njenih znakov je ključnega pomena v primeru, ko je potrebno evakuacijo dejansko izvesti.

V petem poglavju so kratki povzetki iz Pravilnika o požarni varnosti v stavbah, Tehnične smernice o požarni varnosti in Direktive o gradbenih proizvodih. Upoštevanje le teh pripomore k hitrejšemu in boljšemu ukrepanju v primeru nesreče.

Sledi drugi del diplomske naloge, kjer je v šestem poglavju opisan sam objekt Osnovne šole Vič in scenarij požara, ki se začne v eni izmed učilnic v pritličju.

V sedmem poglavju je opisana analiza evakuacijske poti v primeru požara v pritličju, v zahodnem delu objekta Osnovne šole Vič. Izbrani del ima predvidenih največ zasilnih izhodov. Je geometrijsko zelo razgiban, ima veliko ozkih prehodov in nepotrebnih dodatnih ovir. Zaradi naštetih razlogov je zanimiv za analizo poteka požara in evakuacije.

Analizirala sem štiri poteke evakuacije. Dva primera sta analizirana na podlagi obstoječe evakuacijske poti, prvi v pritličju objekta, drugi v pritličju objekta in s pridružitvijo oseb iz prvega nadstropja. Primerjala sem časovni potek evakuacije v primeru izboljšav in dejanskega stanja.

V nadaljnjih dveh primerih sem analizirala evakuacijsko pot, kakršna bi potekala ob obstoječem dejanskem stanju, z nekaterimi zaklenjenimi zasilnimi izhodi. Prav tako sem tudi tukaj obravnavala primer evakuacije, ki poteka samo v pritličju in kasneje s pridružitvijo oseb iz prvega nadstropja.

Osmo poglavje prikazuje ugotovitve analize v obliki grafov. Prikazani dejanski časi evakuacije in izboljšani časi, ki so doseženi s pomočjo določenih izboljšav.

Zadnje poglavje vsebuje zaključke in ugotovitve, ki so bili pridobljeni v času pisanja diplomske naloge.

## 2 GORENJE

### 2.1 Definicija gorenja

Gorenje je eksotermna reakcija med gorljivo snovjo in kisikom (Grm, 2002). Ta pojav imenujemo tudi oksidacija. Do začetka gorenja lahko pride zaradi samodejnega vžiga gorljivega materiala ali pa zaradi zunanjega vira vžiga. Pri gorenju se sprošča toplota, nastajajo svetloba in negorljivi ostanki. Hitrost gorenja je odvisna od hitrosti spajanja elementov.

### 2.2 Trikotnik gorenja

Za gorenje morajo biti v zadostnih količinah hkrati prisotni:

- gorljiva snov,
- kisik,
- energija vžiga/toplota.



Slika 1: Trikotnik gorenja.

#### 2.2.1 Gorljive snovi

Gorljive snovi so tiste snovi, ki pri normalnih pogojih gorenja lažje ali težje zagorijo. To so snovi, ki oksidirajo. Take snovi so predvsem:

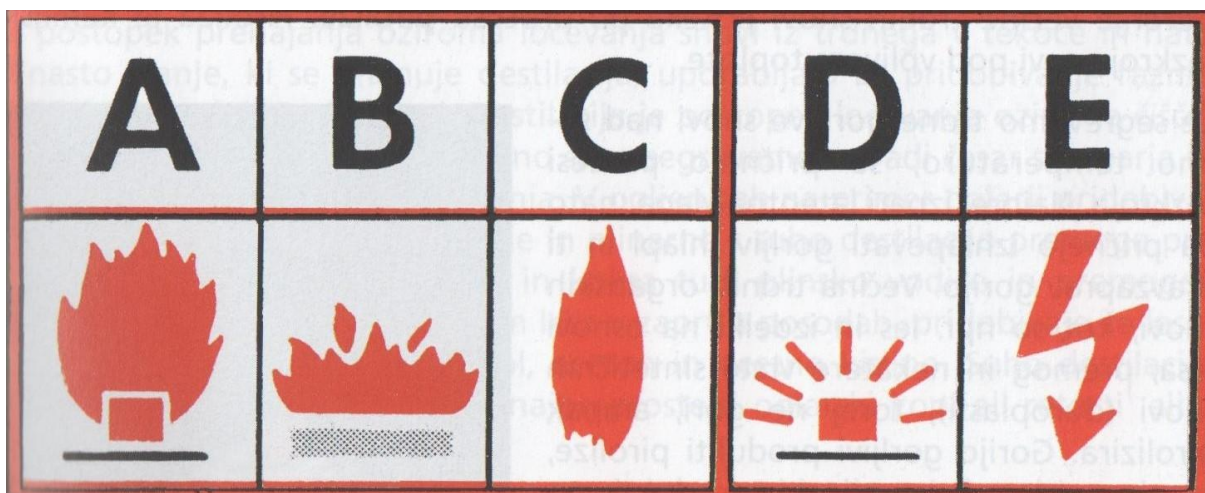
- materiali z vsebnostjo ogljika in vodika,
- razne organske tekočine in
- trdne snovi, kot so različne vrste lesa, papir, suha trava, tekstil, lahke kovine itd.

Gorljive snovi delimo na lahko vnetljive in težje vnetljive. Lahko vnetljive snovi so tiste, ki se ob normalnih pogojih in pri določeni temperaturi pod vplivom zunanjega začetnega plamena vžgejo in zagorijo. Težje vnetljive pa so tiste, ki gorijo le, če nanje deluje zunanji vir gorenja. Vsaka gorljiva snov, ki ima na razpolago dovolj kisika in zraka, se pri temperaturi vnetišča vžge (Krušec, 2001).

Glede na način gorenja in vrsto gorljivih snovi razvrščamo gorljive snovi v pet skupin (Krušec, 2001) (Slika 2):

- Skupina A  
Trdne snovi, za katere je značilno, da gorijo s plamenom ali tlijo z žerjavico.
- Skupina B  
Vnetljive tekočine, ki gorijo brez žerjavice.
- Skupina C  
Vnetljivi plini, kot so acetilen, propan, butan.

- Skupina D  
Vnetljive kovine, kot so aluminij, magnezij, titan.
- Skupina E  
Udari strele.



Slika 2: Označevanje gorljivih snovi.

### 2.2.2 Kisik

Kisik je kemični element v plinski obliki brez barve vonja in okusa. V naravi je kot plin sestavni del zraka, sicer pa ga najdemo tudi v mnogih spojinah.

V procesu gorenja je nenadomestljiv dejavnik in pospešuje gorenje, zato ga imenujemo tudi katalizator. Kisik sam ne gori, brez njega pa gorenje ni mogoče.

V primeru povečane prisotnosti kisika v ozračju je gorenje intenzivnejše. V takem ozračju gorijo tudi snovi, ki običajno ne gorijo (Krušec, 2001).

### 2.2.3 Energija vžiga/toplota

Toplota je potrebna za zagotovitev poteka reakcij oksidacije:

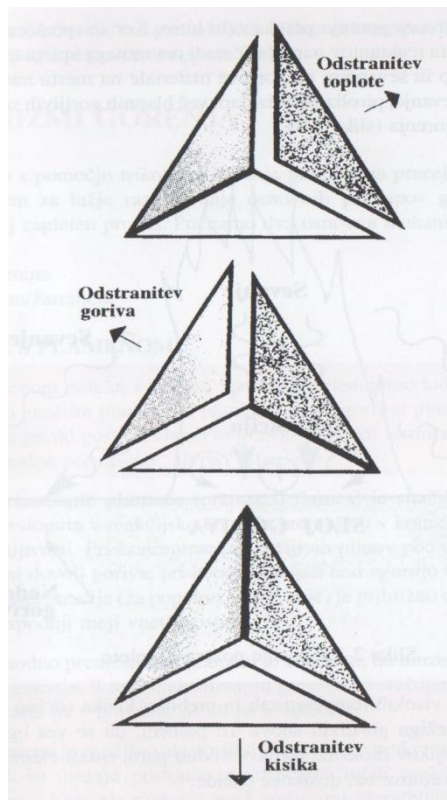
- za dvig temperature do temperature vžiga,
- za nastanek hlapov pri trdnih in tekočih snoveh,
- za cepljenje vezi pri molekulah gorljivih snovi in kisika.

Gorenje se nadaljuje dokler:

- ne pogori ves gorljiv material,
- se ne porabi oksidacijsko sredstvo,
- ne ohladimo gorljivega materiala pod temperaturo vžiga.

Za gašenje požarov s hlajenjem se najpogosteje uporablja voda.

Poznamo več načinov zadužitve gorenja (Slika 3). Eden izmed njih je izpodrivanje zraka, ki vsebuje kisik, iz neposreden okolice gorljivega materiala s pomočjo ogljikovega dioksida. Gorenje pa lahko zadušimo tudi z uporabo razpršenega kemijskega prahu za gašenje. Te snovi pogasijo ogenj tako, da direktno vplivajo na potek kemijskih reakcij gorenja (Grm, 2002).



Slika 3: Princip gašenja.

### 2.3 Produkti gorenja

Pri gorenju poleg svetlobe in toplote nastajajo tudi snovi, ki bi jih lahko imenovali stranski produkti. Zanje je značilno, da so težje gorljivi in zaradi kemične sestave ob prisotnosti toplote prehajajo v neko novo snov.

Stranski produkti so:

- dim,
- ogljikov monoksid (CO),
- ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>),
- ostali nevarni plini.

Dim je zmes preostanka zgorelih plinov, vodnih in katranovih par, nezgorelih saj in drobnih, lahkih delcev pepela (Krušec, 2001). Če so v dimu prisotni strupeni plini, deluje toksično. Pri popolnem gorenju nastaja ogljikov dioksid, če je dovod kisika omejen, pa nastaja ogljikov monoksid (Grm, 2002).

Ogljikov monoksid je plin brez barve in vonja. Pri vdihavanju se veže z molekulami hemoglobina, ki potuje po telesu in prenaša kisik. Pri tem pride do pomanjkanja kisika v telesu in če se ta proces nadaljuje, pride do zadušitve. Človek zastrupitve ne zazna takoj, ampak potem, ko se že skoraj onesvesti. Nadaljnje vdihavanje povzroči nezavest in tudi smrt. 1,3 vol % CO v zraku je dovolj, da povzroči nezavest po dveh do treh vdihih. Koncentracija 0,32 vol % v zraku povzroči smrt v 30 minutah (Grm, 2002).

Ogljikov dioksid je prav tako plin brez vonja in barve. Je toksičen in je nevaren kot dušilivec, ki znižuje delež kisika v zraku. Koncentracija okoli 3 vol % v zraku povzroči globoko in pospešeno dihanje. Pri 5 vol % postane dihanje zelo oteženo, pri 9 vol % pa v nekaj minutah pride do nezavesti. Pri koncentraciji okoli 20 vol % lahko pride do smrti v času 20 do 30 minut (Grm, 2002).

### 3 POŽAR

#### 3.1 Definicija požara

Požar je nekontrolirano gorenje, ki poteka zunaj varovanih kurišč in ogroža ljudi, živali in rastline ter povzroča materialno škodo na dobrinah narave, v bivalnem okolju in industriji (Krušec, 2001).

#### 3.2 Vrste požarov

Požare lahko razdelimo glede na

- lokacijo:
  - požari v bivalnem okolju,
  - požari v industrijskih in obrtnih objektih,
  - požari v naravi.
- velikost/obseg požarišča:
  - majhni požari,
  - srednji požari,
  - veliki požari,
  - katastrofalni požari.
- vrsto gorljivega materiala (Poglavje 2.2.1).

#### 3.3 Požari v objektih

##### 3.3.1 Razvoj požara v objektu

Požar poteka skozi več faz (Slika 4):

##### 1. FAZA VŽIGA – FAZA ZAČETNEGA POŽARA

V tej fazi pride do vžiga in pričetka gorenja.

Viri vžiga, ki v prisotnosti kisika in gorljivega materiala povzročijo vžig, so lahko

- direktni plameni ali stik z drugimi gorečimi materiali,
- daljša izpostavljenost zunanemu viru toplote,
- samodejno segrevanje ali samovžig,
- električne iskre,
- toplota.

##### 2. FAZA RASTOČEGA POŽARA

Po vžigu je gorenje lahko:

- zelo hitro,
- hitro ali enakomerno,
- počasno.

Hitrost požara je odvisna od lastnosti gorljivih materialov, dovajanja kisika, geometrije prostora, lastnosti gradbenih elementov.

Goreči materiali postanejo novi izvori za segrevanje do temperature vžiga. Z razvojem in širjenjem požara, temperatura požara raste.

V tej fazi v zaprtih prostorih, pogosto pride do temperaturnega preskoka ali »flashover« efekta, ko se požar zaradi zvišanja temperature zelo hitro razširi po celotnem prostoru in preide v polno razvitega.

### 3. FAZA RAZVITEGA POŽARA

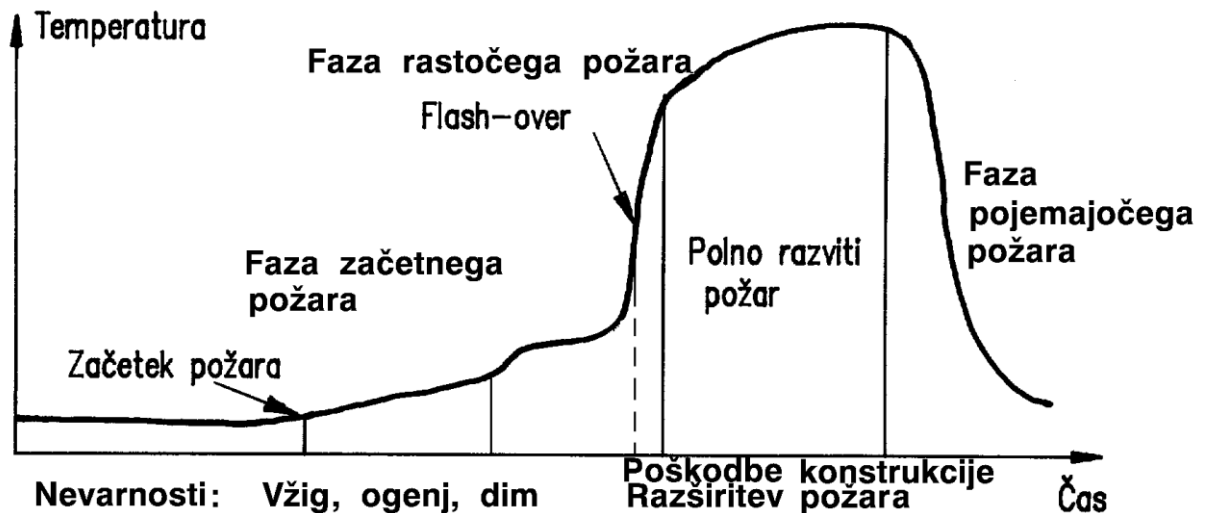
Za to fazo je značilno:

- v požar so zajeti vsi goreči materiali v prostoru,
- temperatura ne narašča več, kasneje začne padati,
- hitrost sproščanja toplote je največja.

V fazi razvitega požara imajo odločujoč vpliv na hitrost gorenja zunanji faktorji, ki so: ventilacija, geometrija prostora, lastnosti obodne strukture. V tej fazi pride do širjenja požara na sosednje prostore in objekte.

### 4. FAZA POJEMAJOČEGA POŽARA

V fazi pojemajočega požara pride do pojemanja požara, ker zmanjkuje gorljivega materiala ali kisika (Grm, 2002).



Slika 4: Časovni potek tipičnega požara v objektu (Jug, 2013).

#### 3.3.2 Intenziteta požara v objektu

Intenziteto požara, ki se sprosti v določenem času, določa vpliv požara na konstrukcijo, vsebino in atmosfero.

Na intenziteto vplivajo naslednji faktorji:

- *Požarna obremenitev*, ki predstavlja skupno količino toplote, ki bi se sprostil pri popolnem sežigu vseh gorljivih materialov v prostoru.



- *Velikost površine gorljivih materialov:* v primeru trdnih in tekočih snovi se začne požar samo na ali ob površini snovi, če pa imajo materiali veliko specifično površino se hitreje vžgejo in lažje gorijo.
- *Potreba po kisiku in dovod zraka:* gorljivi materiali gorijo pri vsebnosti 21 % kisika, če pade vsebnost kisika pod 16 % to ne zadošča za nadaljnje gorenje. Pri gorenju se porablja kisik. Na hitrost gorenja vpliva tudi dovod zraka, ki določa potek požara.
- *Odvod dima in toplote:* toplotne lastnosti obodnih gradbenih elementov vplivajo na to, koliko toplote bodo absorbirali obodni elementi in koliko toplote bo potrebno odvesti iz prostora v okolico. Na potek požara vplivajo tudi odprtine, ki omogočajo odvajanje vročih dimnih plinov v okolico. Zaradi tega se znižuje temperatura v prostoru (Grm, 2001).

### **3.4 Vpliv požarnih lastnosti gradbenih materialov na požar**

Na širjenje požara vplivajo sledeče lastnosti materialov:

- toplotna kapaciteta [J/K],
- toplotna prevodnost [W/mK],
- toplotna emisivnost,
- gostota [ $\text{kg/m}^3$ ],
- gorljivost,
- vnetljivost,
- oblika in površina [m, cm,  $\text{m}^2$ ,  $\text{cm}^2$ , ...],
- hitrost sproščanja toplote [kW].

Na širjenje požara vplivajo tudi lastnosti materialov finalnih oblog, fasadnih elementov in strešne kritine.

Konstruktivski in zaporni gradbeni elementi predstavljajo zaporo za širjenje požara le v primeru, da so dovolj požarno odporni (Grm, 2002). Požarno odpornost zagotavlja konstrukcijski sklop kot celota.

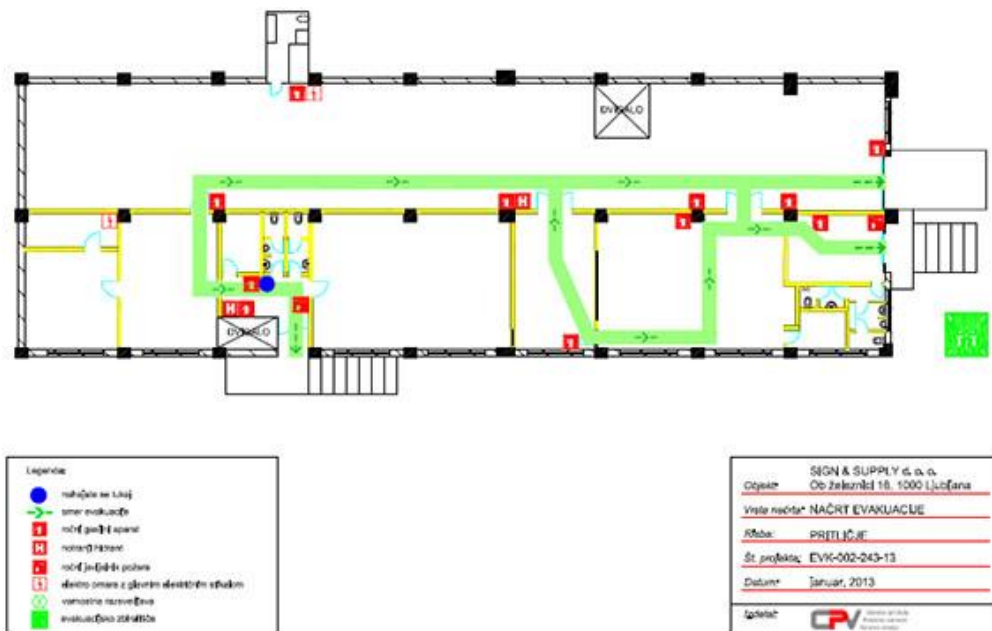
## 4 EVAKUACIJA

### 4.1 Definicija evakuacije

Evakuacija je odmik na varno in poteka po evakuacijski poti, ki je narisana v načrtu evakuacije. Po najhitrejši varni poti vodi iz stavbe na varno zbirno mesto.

#### 4.1.1 Načrt evakuacije

Pri pripravi načrta je potrebno upoštevanje zmožnosti vseh uporabnikov objekta, posebej pa otrok, starejših in funkcionalno oviranih ljudi. V načrtu evakuacije je vrisan tloris zgradbe, predvidena pot evakuacije, mesta kjer so postavljeni ročni gasilni aparati in druga oprema za varstvo pred požarom in pa zbirno mesto (Slika 5), na katerem se zberejo uporabniki objekta po umiku iz stavbe. Načrt evakuacije mora biti na vidnem mestu.



Slika 5: Načrt evakuacije.

#### 4.1.2 Evakuacijska pot

Najboljša evakuacijska pot je pot, ki se ob normalnih pogojih uporablja za vstop in izstop v objekt. Evakuacijska pot mora biti vedno prosta in prehodna. Redno mora bit pregledovana in na njej ne sme biti odvečnih predmetov, ki bi ovirali premikanje oseb. Označena je z opozorilnimi znaki zelene barve, ki nakazujejo smer zasilnega izhoda (Slika 6).



Slika 6: Zasilni izhod.

### 4.1.3 Zbirno mesto

Zbirno mesto je prostor, ki je na primerni in varni oddaljenosti od objekta. Na zbirnem mestu posredujemo čim več informacij gasilcem in reševalcem ter počakamo na konec nevarnosti. Zbirno mesto mora biti označeno s simbolom, prikazanim na sliki 7.



Slika 7: Zbirno mesto.

### 4.2 Potek evakuacije

Osnovo za izvajanje evakuacije iz objekta ob požaru predstavlja požarni red. Požarni red in potek evakuacije je potrebno sproti dopolnjevati in spreminjati.

Popolna evakuacija pomeni umik vseh oseb iz objekta na varna mesta zunaj zgradbe. Za delno evakuacijo velja, da iz objekta umaknemo samo del ljudi, ki so v ogroženem območju. Kjer zaradi narave gorenja in geometrijskih značilnosti objekta ni mogoča hkratna evakuacija vseh oseb, govorimo o postopni evakuaciji.

Evakuacijo izvajamo tako, da umikamo ljudi na dele objekta v isti etaži, ki ga požar še ni zajel. Taki evakuaciji pravimo horizontalna evakuacija. Vertikalno evakuacijo pa izvajamo, ko požar hitro zajame celoten objekt.

Oblika in število evakuacijskih poti je odvisno od števila uporabnikov objekta in njihovih zmoglosti (Jug, 2013).

Potrebno je poskrbeti tudi za prostor, namenjen gasilcem in reševalcem.

V primeru požara zagotavljamo varnost na naslednje načine:

- evakuacijske poti so zaščitene s protipožarnimi in proti - dimnimi elementi,
- nadziramo širjenje dima,
- evakuacijske poti morajo biti narejene iz materialov, ki ne gorijo in ki ne tlijo,
- na evakuacijskih poteh morajo biti nameščene naprave za usmerjanje in varen umik, kot so: razsvetljava, znaki za zasilne izhode, varnostne kljuge na vratih, varnostna obvestila.

Vsi uporabniki objekta morajo biti:

- Seznanjeni z objektom: poznati morajo evakuacijske poti in zbirna mesta.
- Seznanjeni z načini alarmiranja po objektu ob požaru: poznati morajo zvok alarma oz. načine, kako teče alarmiranje.
- Seznanjeni s postopki ob evakuaciji: poznati je potrebno način odpiranja požarnih vrat, delovanje tehnološkega postopka v času evakuacije, delovanje sistemov pasivne in aktivne požarne zaščite.

- Seznanjeni z nalogami, ki jih imajo v času evakuacije: uporabnike je potrebno seznaniti z izklopom elektrike, plina, itd.
- Seznanjeni s postopki in načini obveščanja gasilcev in reševalcev ob požaru.
- Ob koncu evakuacije zbrani na zbirnem mestu: ko so zbrani vsi uporabniki objekta, je potrebno opraviti evidenco prisotnosti ter zbrati podatke o pogrešanih, ki jih je potem potrebno predati gasilcem in reševalcem (Jug, 2013).

#### 4.2.1 Opredelitev osnovnih evakuacijskih časov

Na odziv uporabnikov objekta na požarne razmere, ko je potrebna evakuacija, vpliva cela vrsta spremenljivk, ki so odvisne od števila uporabnikov, razporeditve uporabnikov po objektu, njihovega poznavanja objekta, njihovih sposobnosti in obnašanja, lastnosti stavbe, itd.

Potrebni čas umika je odvisen od zaporedja procesov:

- od časa vžiga do odkrivanja požara,
- od časa od odkrivanja požara do splošnega opozorila uporabnikom, da je potrebna evakuacija,
- evakuacijskega časa, ki ima dve fazi: čas pred začetkom umika in pa čas, potreben za pot do varnega mesta (Jug, 2013).

#### 4.2.2 Evakuacijski čas

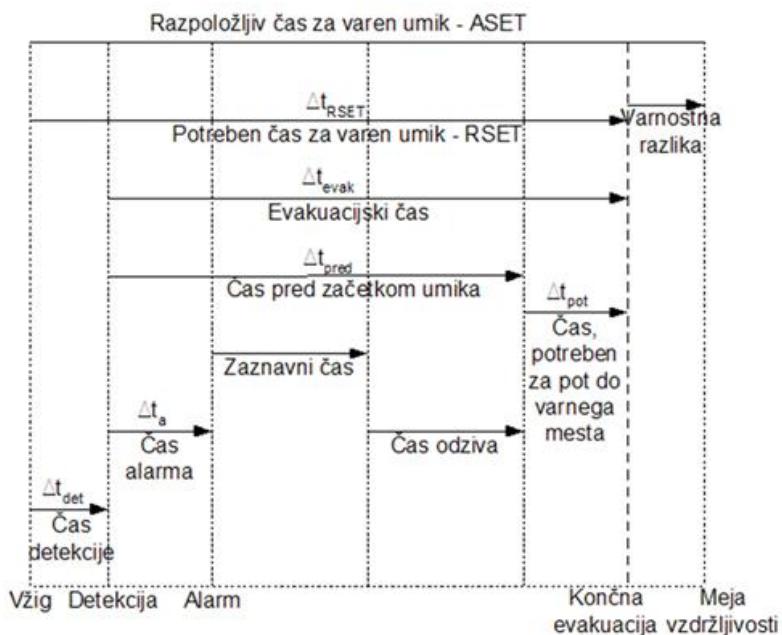
Pri obravnavi evakuacije sta pomembna dva časovna intervala:

- ASET – »available safe escape time« oziroma razpoložljivi čas za varen umik ter
- RSET – »required safe escape time« oziroma potrebni čas za varen umik.

Napovedovanje razpoložljivega časa za varen umik zahteva inženirsko oceno, ki upošteva dejavnike, kot so konfiguracija objekta, požarni scenarij z napovedanim razvojem požara, količino dima in temperaturo požara.

Čas umika je odvisen od odkrivanja, javljanja in alarmiranja, opozoril in vrste parametrov, ki se nanašajo na obnašanje in gibanje uporabnikov pri evakuaciji. Opis in določanje obnašanja pri evakuaciji lahko poenostavimo z uporabo dveh širših kategorij obnašanja (Slika 8):

- *Obnašanje pred začetkom umika* se nanaša na odzive uporabnikov, preden se začno gibati po poteh umika. Pomembna ugotovitev raziskav obnašanja je, da faza pred začetkom umika pogosto pomeni najdaljši del celotnega časa umika.
- *Obnašanje pri umiku* se nanaša na fizično gibanje uporabnikov do evakuacijskih poti in po njih (Jug, 2013).



Slika 8: Razpoložljiv čas za varen umik (Jug, 2013).

Čas potovanja po objektu lahko opredelimo tudi na splošno, če poznamo hitrost oseb in dolžino evakuacijskih poti (Preglednica 1).

Preglednica 1: Hitrost oseb (Jazbec, 2013).

HITROST	SKUPINA
1,6 m/s	osebe v psihično in fizično dobrem stanju
1 m/s	fizično mobilne osebe
0,85 m/s	omejeno mobilne osebe (otroci in starejši)
0,5 m/s	osebe, ki potrebujejo pomoč pri gibanju

## 5 POŽARNA VARNOST IN EVAKUACIJA V STAVBAH – PRAVILNIK O POŽARNI VARNOSTI V STAVBAH

Na podlagi Zakona o graditvi objektov (Uradni list RS, št. 110/02 in 97/03 – odl. US) in Zakona o varstvu pred požarom (Uradni list RS, št. 71/93, 22/01, 87/01 in 110/02 – ZGO-1) je minister za okolje, prostor in energijo v soglasju z ministrstvom za obrambo izdal Pravilnik o požarni varnosti v stavbah (Uradni list RS št. 31, 31. 3. 2004).

Ta pravilnik določa ukrepe, ki jih je treba izvesti, da bi stavbe izpolnjevale gradbene zahteve za zagotovitev požarne varnosti, in katerih cilj je omejiti ogrožanje ljudi, živali in premoženja v stavbah ter uporabnikov sosednjih objektov in posameznikov, ki se v času požara nahajajo v neposredni bližini stavb, omejiti ogrožanje okolja ter omogočati učinkovito ukrepanje gasilskih ekip, ki sodelujejo pri omejitvi posledic požara, ne da bi bili po nepotrebnem ogroženi življenje in zdravje njihovih članov (Uradni list št. 31, 2004).

Druga točka Pravilnika o požarni varnosti v stavbah vsebuje zahteve za varnost pred požarom:

- 3. člen: širjenje požara na sosednje objekte,
- 4. člen: nosilnost konstrukcije in širjenje požara po stavbah,
- 5. člen: evakuacijske poti in sistemi za javljanje ter alarmiranje.

(1) Stavbe morajo biti projektirane in grajene tako, da je ob požaru na voljo zadostno število ustreznih izvedenih evakuacijskih poti in izhodov na ustreznih lokacijah, ki omogočajo uporabnikom hitro in varno zapustitev stavbe.

(2) Če je glede na zasnovo, lokacijo, namembnost in velikost stavbe to nujno, morajo biti za zagotovitev hitre in varne evakuacije uporabnikov stavbe ter hitrega posredovanja gasilcev v stavbi vgrajeni sistemi za požarno javljanje in alarmiranje (Uradni list št. 31, 2004).

- 6. člen: naprave za gašenje in dostop gasilcev.

Poleg Zakona o požarni varnosti v stavbah ima slovenska zakonodaja tudi Tehnično smernico TSG – 1 – 001:2010 Požarna varnost v stavbah. Tehnična smernica ni zakonsko obvezujoča, v njej so zapisani gradbeni ukrepi oziroma rešitve zgolj za priporočen način izpolnitve v pravilniku predpisanih zahtev o požarni varnosti v stavbah (Tehnična smernica, 2010).

V krovnem dokumentu EU, REG št. 305/2011 Uredba o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov, druga zahteva govori o varnosti pred požarom.

Gradbeni objekt mora biti projektiran in zgrajen tako, da je v primeru izbruha požara:

- a) nosilna sposobnost konstrukcije ohranjena še določen čas;
- b) nastajanje in širjenje požara in dima v objektu omejeno;
- c) širjenje požara na sosednje objekte omejeno;
- d) stanovalcem omogoča zapustitev objekta ali reševanje na druge načine;
- e) upošteva varnost reševalnih ekip (REG št. 305/2011 Uredba o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov, 2011).

## 6 OPIS OBJEKTA IN SCENARIJ POŽARA

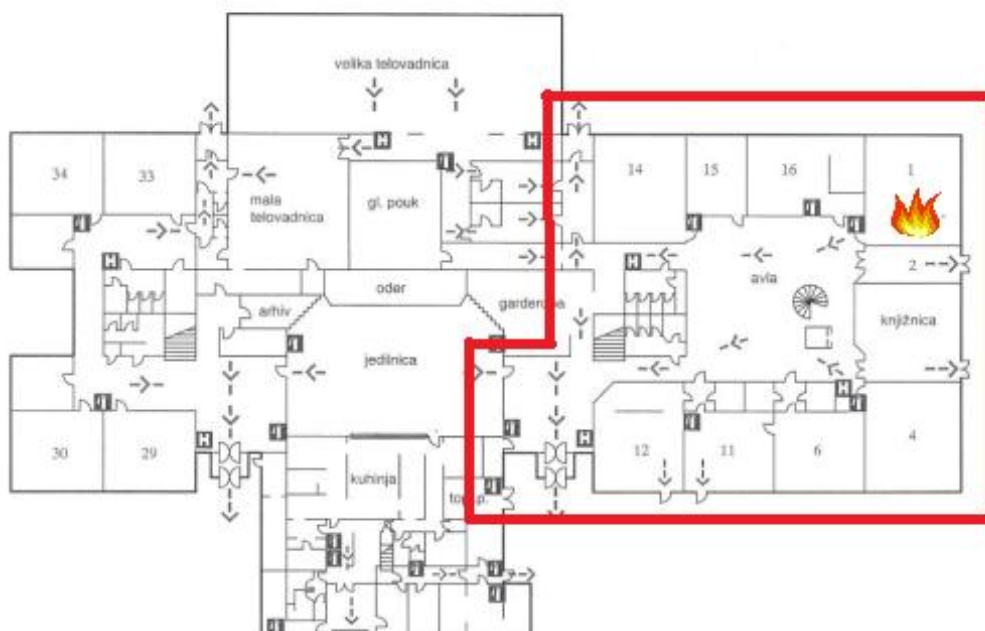
### 6.1 Opis objekta

Stavba Osnovne šole Vič je dvoetažna s pritličjem in prvim nadstropjem. Zgrajena je bila leta 1975. Geometrijsko je objekt močno razgiban, z veliko ozkimi prehodi in manjšimi garderobnimi prostori, kot je prikazano na sliki 9. Na sliki 9 je tudi označen analizirani del objekta in začetek požara.

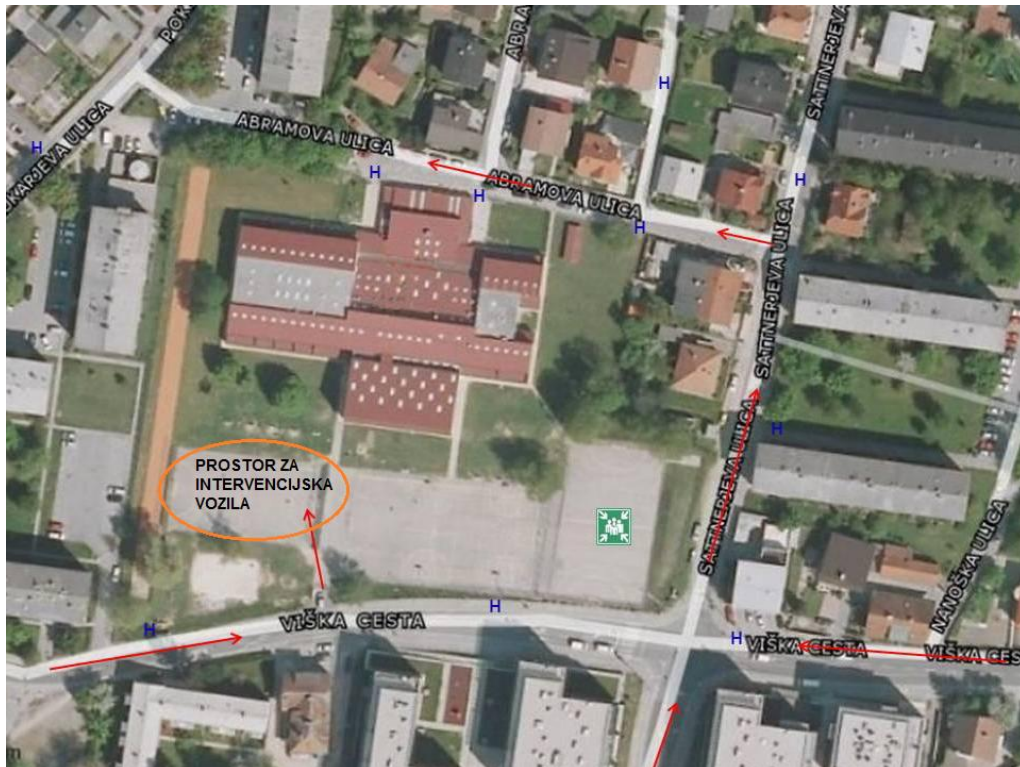
Konstrukcija zgradbe je kombinacija armiranega betona in opeke. V notranjosti so leseni, stekleni in kovinski pregradni elementi, ki so velikokrat polepljeni z lahko vnetljivimi materiali, kot so razni plakati, pluta, tekstil itd.

Notranja finalna obloga konstrukcijskih sklopov je klasičen apneno cementni omet, tla so ponekod lesena – parket, po večini objekta pa je uporabljen linolej.

Evakuacijski načrt predvideva 10 zasilnih izhodov za celoten objekt, od katerih sta dva izhoda opremljena s požarnimi vrati s panično kljuko (Slika 11). Zbirno mesto je igrišče za šolo, ki se razdeli na mesti, potrebni za evakuacijo oseb, in na površine, potrebne za gasilska in reševalna vozila (Slika 10).



Slika 9: Tloris pritličja z evakuacijskimi potmi in označenim obarvanim delom stavbe ter začetkom požara.



Slika 10: Zbirno mesto, površine za intervencijska vozila in možen dostop intervencijskih vozil do stavbe (rdeče puščice)

Obraavnani objekt je osnovna šola, kjer se redno nahaja okoli 40 zaposlenih in 400 otrok. Vseh učencev je nekaj čez 800. V objektu se odvijajo vsakodnevne dejavnosti med 6.30 in 20.00.

Šola ima glavno stikalo za elektriko in požarno plinsko pipo, sistema za gašenje ni, nameščeni so ročni javljalniki požara. Objekt je opremljen z ročnimi gasilniki na prah in CO<sub>2</sub>.

## 6.2 Scenarij požara

Začetek požara je v predavalnici za fiziko, na sliki 9 je označena s številko 1 in rdečim plamenom. Predavatelj izvaja poskus s pomočjo plinskega gorilnika moči 500kW. Gorilnik nepričakovano eksplodira, vname se leseni delovni pult, prenosni računalnik, izdelan iz PVC –ja, in stol, ki je oblazinjen in plastičen. Slednja dva dejavnika povzročita gost in temen dim, zaradi česar ročno aktivirajo sistem alarmiranja.

Širjenje požara je počasno in požar ne preide v fazo razvitega požara, ker je vir vžiga majhen in v okolici ni veliko gorljivih snovi. Za gašenje požara na OŠ Vič so pristojni Gasilska Brigada Ljubljana, ki je razmeroma blizu (okviren odzivni čas 8 min) in prostovoljna gasilska društva iz gasilskega sektorja Vič.

V vsaki učilnici je v povprečju 25 oseb, kar pomeni, da je v celotnem delu obravnavane stavbe približno 200 oseb.

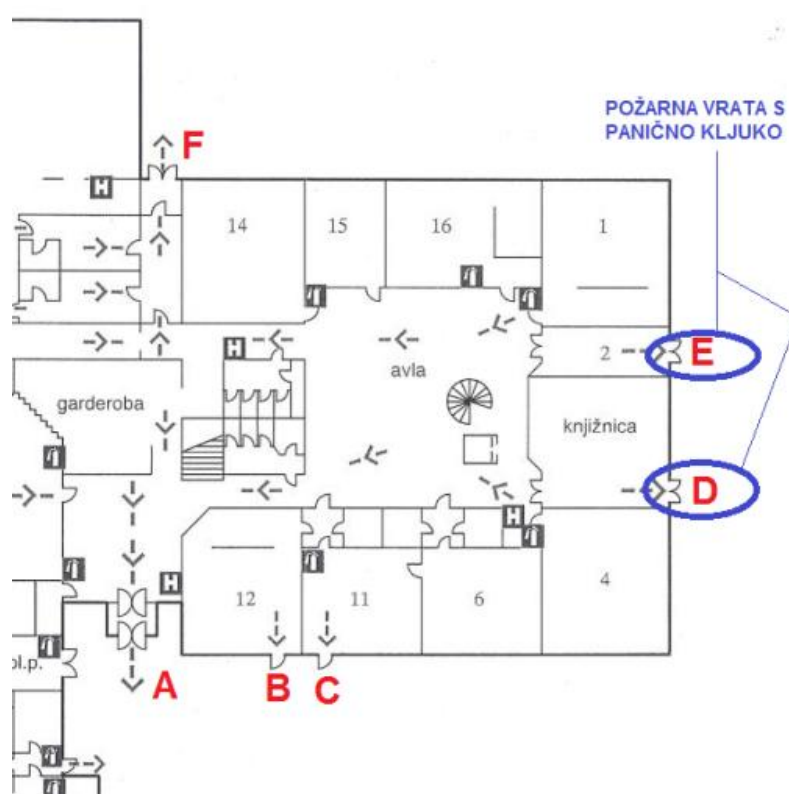
Evakuacijo pričnejo zaposleni, ki si medsebojno pomagajo in vodijo učence, pri tem pa upoštevajo navodila evakuacijskega načrta.



## 7 ANALIZA EVAKUACIJSKE POTI OBRAVNAVANEGA DELA OBJEKTA

Analizirala bom štiri scenarije evakuacije:

- VARIANTA 1: Predpisana evakuacija: vsi evakuacijski izhodi so odprti.
- VARIANTA 2: Realna evakuacija: evakuacijska izhoda F in E sta zaprta (Slika 11).
- VARIANTA 3: Predpisana evakuacija obravnavanega dela objekta in pridružitvev oseb iz prvega nadstropja.
- VARIANTA 4: Realna evakuacija obravnavanega dela objekta in pridružitvev oseb iz prvega nadstropja.



Slika 11: Označeni evakuacijski izhodi.

### 7.1. Uporabljena simulacijska orodja

Za izračun širjenja požara smo uporabili program PyroSim 2012, verzija 2012.1.1221.

PyroSim je grafični vmesnik za program Fire dynamics simulator FDS 5.5.3, SMV 5.6. Uporablja se za ustvarjanje simulacije gorenja, natančno napovedovanje širjenja dima, temperature in koncentracije toksinov v primeru požara (Thunderhead Engineering, 2013).

Potek evakuacije smo izračunali s pomočjo programa Pathfinder 2012, verzija 2012.1.1029.

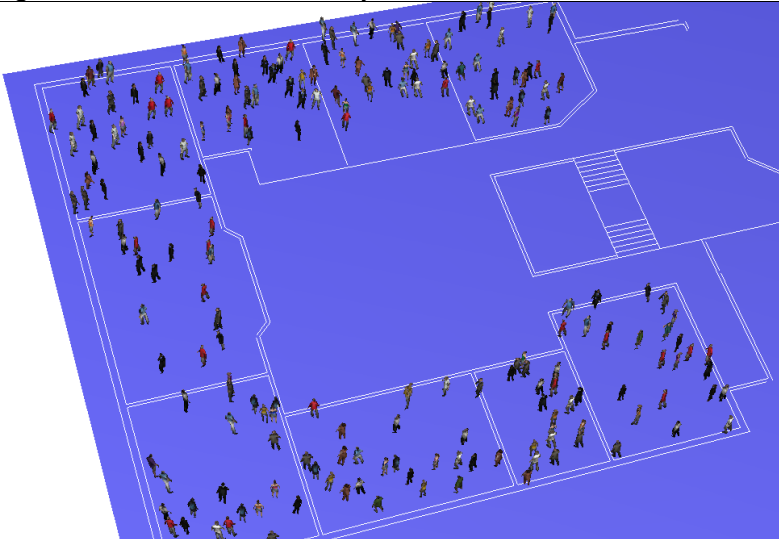
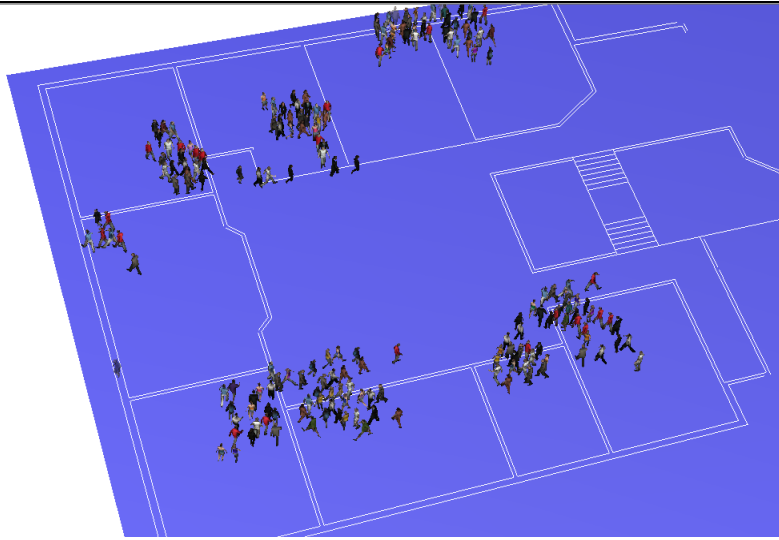
Pathfinder je simulator, ki prikazuje potek evakuacije. Vključuje celovit uporabniški vmesnik in 3D vizualizacijo rezultatov. Program omogoča hitrejšo ocenitev evakuacijskih modelov in ustvari realistično grafiko (Thunderhead Engineering, 2013).

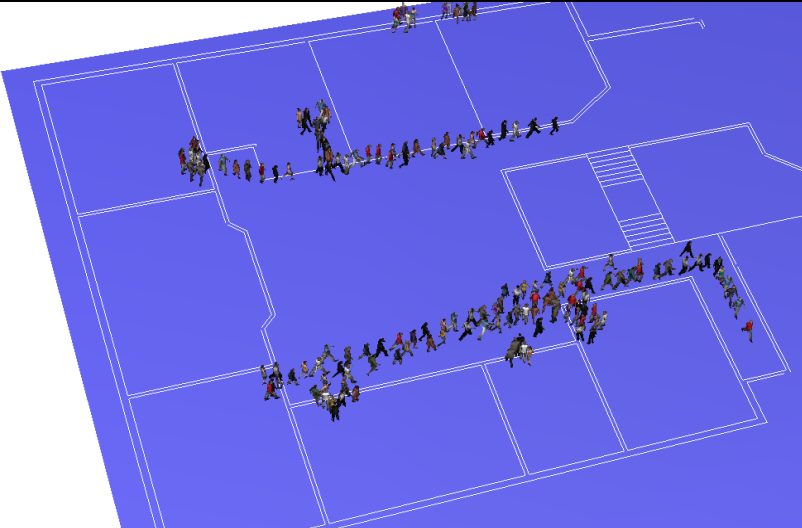
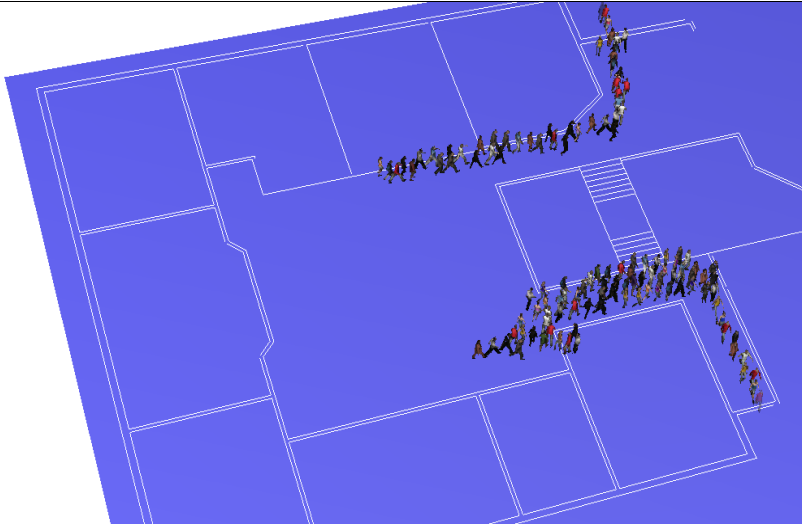
## 7.2 VARIANTA 1

V prvem scenariju evakuacije predpostavim, da so vsi evakuacijski izhodi uporabni. Vsa dvokrilna vrata se v celoti odprejo in s tem se omogoči hitrejši izhod. Evakuacija poteka po predvideni evakuacijski poti. Učenci se iz učilnice za fiziko evakuirajo v 20 s. Dim se v tem času razširi čez celotno učilnico.

V primeru, da na poti ni nepotrebnih ovir, se uporabniki objekta evakuirajo v približno 80 s (Preglednica 2).

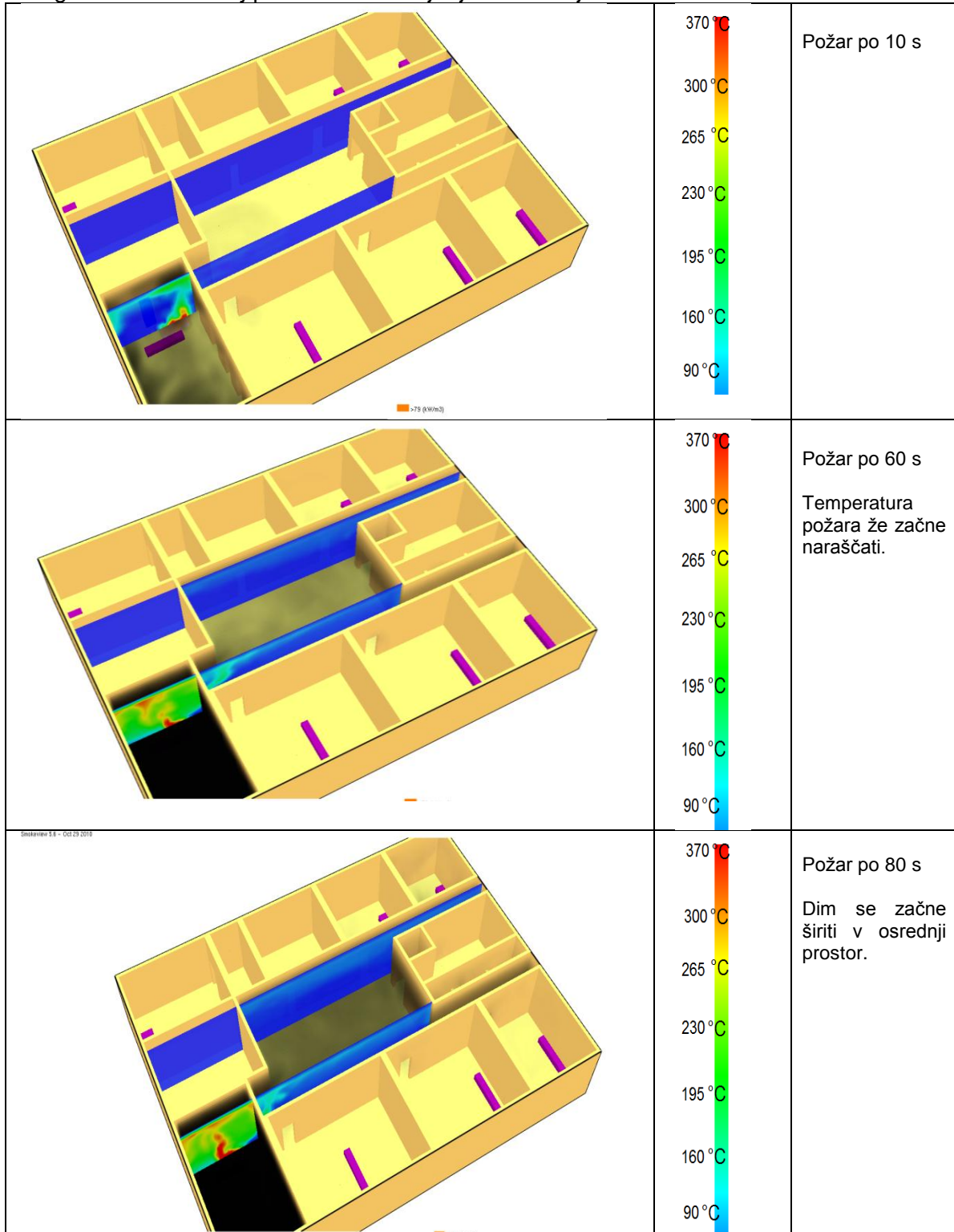
Preglednica 2: Potek evakuacije.

	<p>Začetek evakuacije</p>
	<p>Evakuacija po 5 s</p> <p>Evakuacija poteka po predpisani evakuacijski poti skozi vse izhode.</p>

	<p>Evakuacija po 30 s</p> <p>Začenja se pojavljati zastoj v prehodu, ki vodi do zasilnega izhoda F.</p>
	<p>Evakuacija po 45 s</p>

V tem času se požar ne razširi tako, da bi ogrožal ljudi. Razširijo se njegovi stranski produkti, kot so dim in morebitne nevarne snovi. Dim je v tem času razširjen po celotni fizikalni učilnici in že prehaja na osrednji hodnik, v primeru odprtih vrat učilnice (Preglednica 3). Temperatura na mestu požara se je zvišala na približno 300 °C, na hodniku pri vhodu v učilnico se je temperatura na stropu približala 125°C.

Preglednica 3: Razvoj požara v 80 s trajanja evakuacije.



### 7.2.1 Možne izboljšave za hitrejši potek predpisane evakuacije

Evakuacijski čas bi lahko izboljšali z dodatno razširitvijo vrat samih učilnic in zasilnih izhodov iz objekta. Izhoda E in D sta požarna izhoda s panično kljuko (Slika 13 in 14). Za hitrejše evakuiranje bi lahko tudi obstoječa vrata na izhodih A in F zamenjali s požarnimi vrati s panično kljuko, ker so obstoječa vrata pretežka.



Slika 12: Požarna vrata (izhod D).



Slika 13: Požarna vrata (izhod E).

Pred izhodom F so postavljena še dvojna vrata, ki so lesena in težka (Slika 15 in 16). V primeru, da teh vrat ne bi bilo, bi se celotna evakuacija, na podlagi izračunov, narejenih s simulatorjem, skrajšala za 25 s. Z odstranitvijo teh vrat bi se hodnik razširil, kar bi omogočalo hkratno premikanje več oseb. Pri obstoječem stanju se lahko po celotnem hodniku pomika ena oseba oz. največ dva otroka vzporedno. V primeru, da se vrat ne bi dalo odstraniti, se jih lahko nadomesti z nihajnimi vrati ali vrati, ki so lažja in širša.

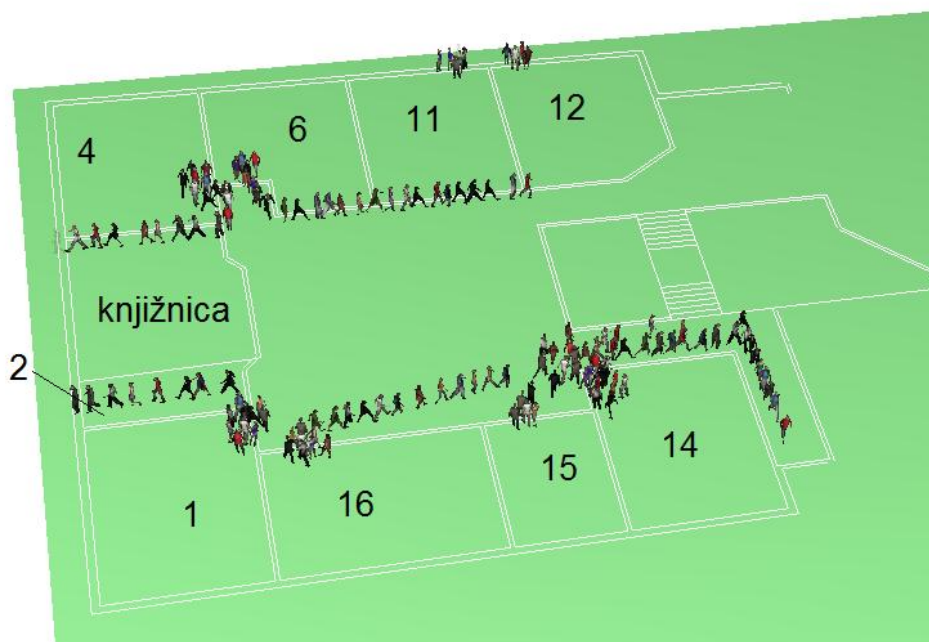


Slika 14: Težka lesena vrata.



Slika 15: Težka lesena vrata.

Evakuacijski čas bi dodatno skrajšali s spremembo poti evakuacije oseb iz razreda 1, in sicer skozi razred/kabinet 2 ter evakuacijo razreda 4 skozi knjižnico (Slika 16).

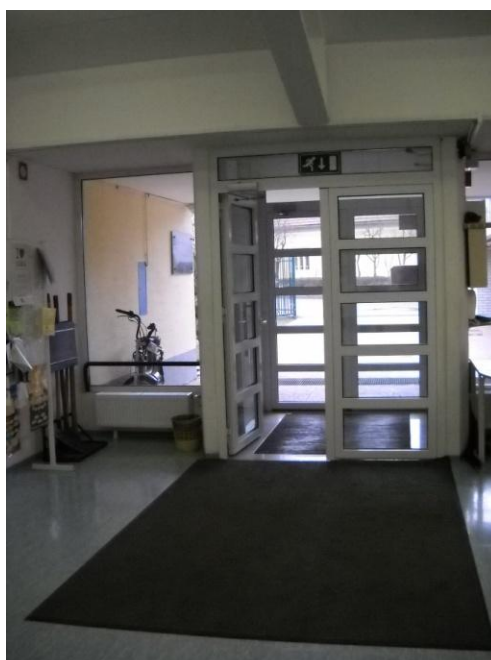


Slika 16: Spremenjena pot evakuacije.

S kombinacijo teh izboljšav bi pri evakuiranju porabili od 30 do 40 s manj, kot jih porabimo pri obstoječem stanju, kar znaša za 40 do 50 % krajši čas kot pri obstoječem stanju.

### 7.3 VARIANTA 2

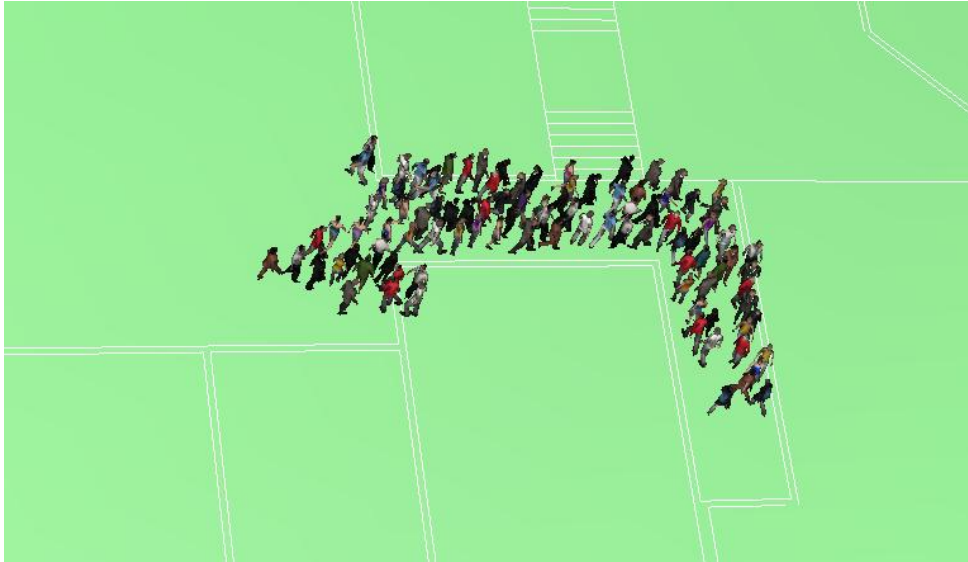
Pri simuliranju evakuacije ob realnih pogojih sta zasilna izhoda F in E zaklenjena (Slika 11). Dodatno predpostavim, da izhodov B in C ob evakuaciji ne uporabijo, saj gre za okna z nizkim parapetom. Zasilni izhod A ima dvokrilna vrata, vendar je, v realnem scenariju, odprto samo eno krilo (Slika 17).



Slika 17: Glavni vhod v šolo (izhod A).

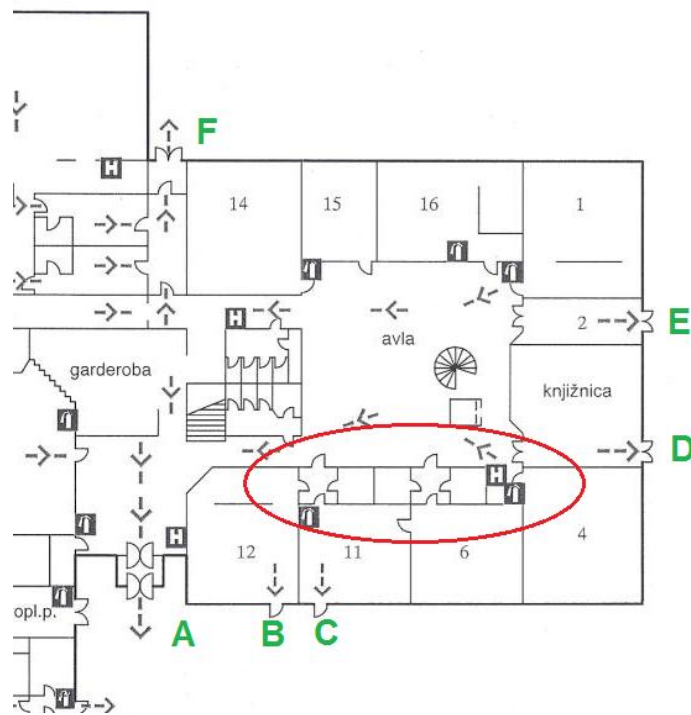
Ob zgoraj navedenih omejitvah se evakuacija podaljša za več kot tri minute. Celotna evakuacija tako traja štiri minute in pol.

Uporabniki objekta se poizkušajo evakuirati po predvideni poti (Preglednica 4), vendar pri izhodu F ugotovijo, da je zasilni izhod zaklenjen. Poizkušajo se preusmeriti proti izhodu A in pri tem ustvarijo zastoj, prikazan na sliki 18, ki mu sledi panika, ki bistveno podaljša evakuacijski čas določenih oddelkov. V normalnih pogojih evakuacije (vaja) bi evakuacija potekala približno štiri minute in pol, ko pa bi nastala panika, bi se ta čas, na podlagi ocene, pridobljene s strani intervencijskih oseb, v najslabšem primeru potrojil.



Slika 18: Zastoj pri zaklenjenih vratih (izhod F).

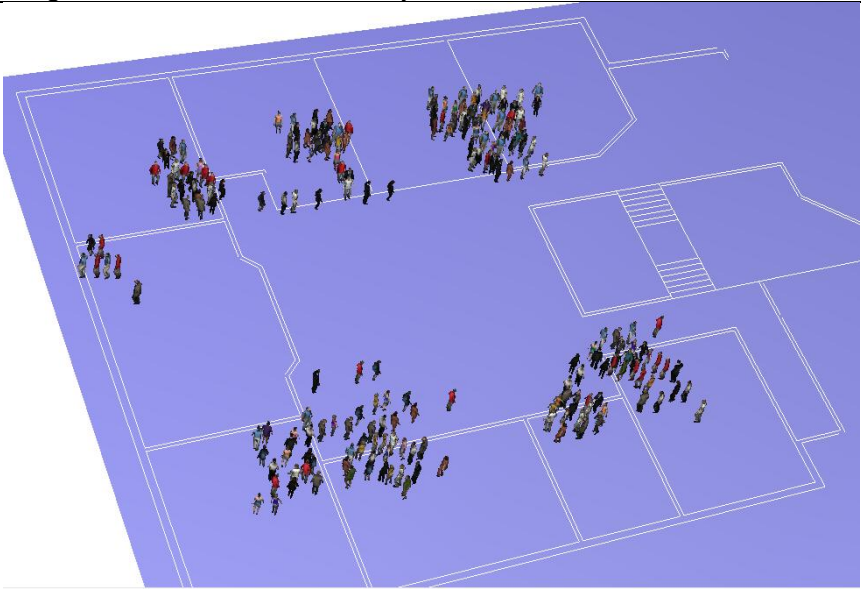
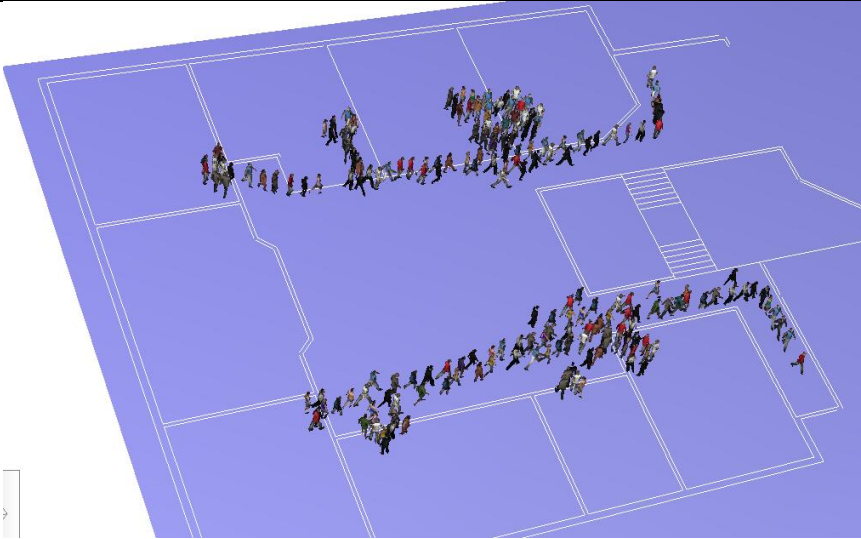
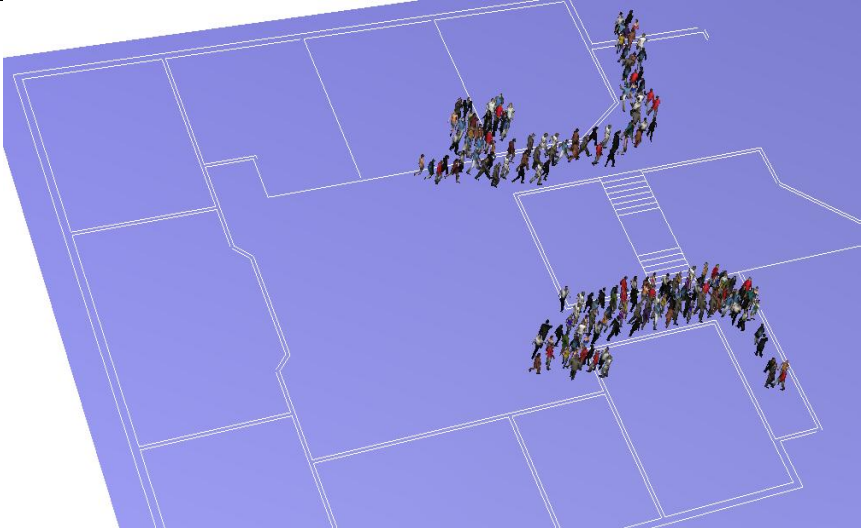
Zastoj se pojavi tudi pri prehodu iz učilnic 11 in 12 (Slika 19). Težava je v tem, da je prehod, ki vodi v obe učilnici, premajhen za hkratno evakuacijo tolikšnega števila oseb.

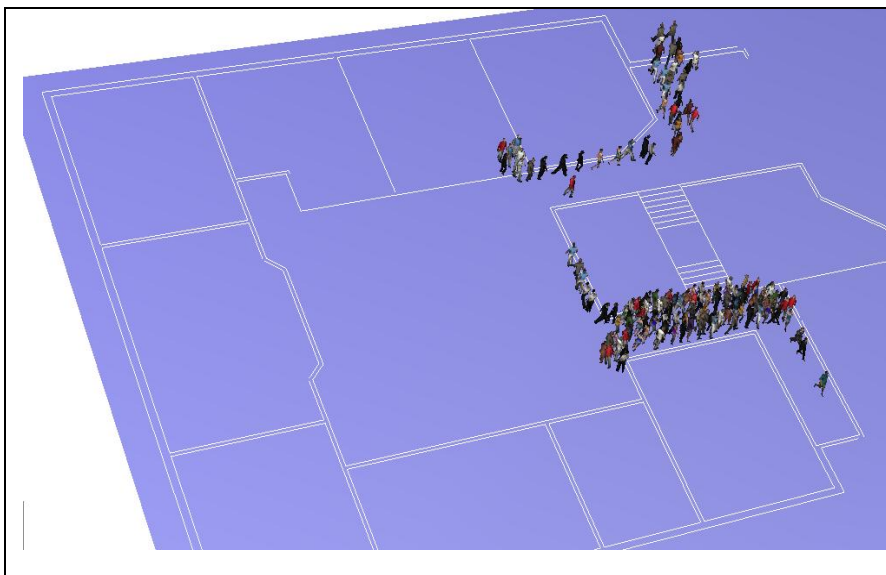


Slika 19: Prikaz kritične situacije na načrtu pritličja.



Preglednica 4: Potek evakuacije.

	<p>Evakuacija po 5 s</p>
	<p>Evakuacija po 15 s</p> <p>Zastoji se pojavljajo pri prehodu do izhoda F in pa pri prehodu do izhodov iz učilnic 11 in 12.</p>
	<p>Evakuacija po 30 s</p> <p>Osebe ugotovijo, da je izhod F zaklenjen.</p>



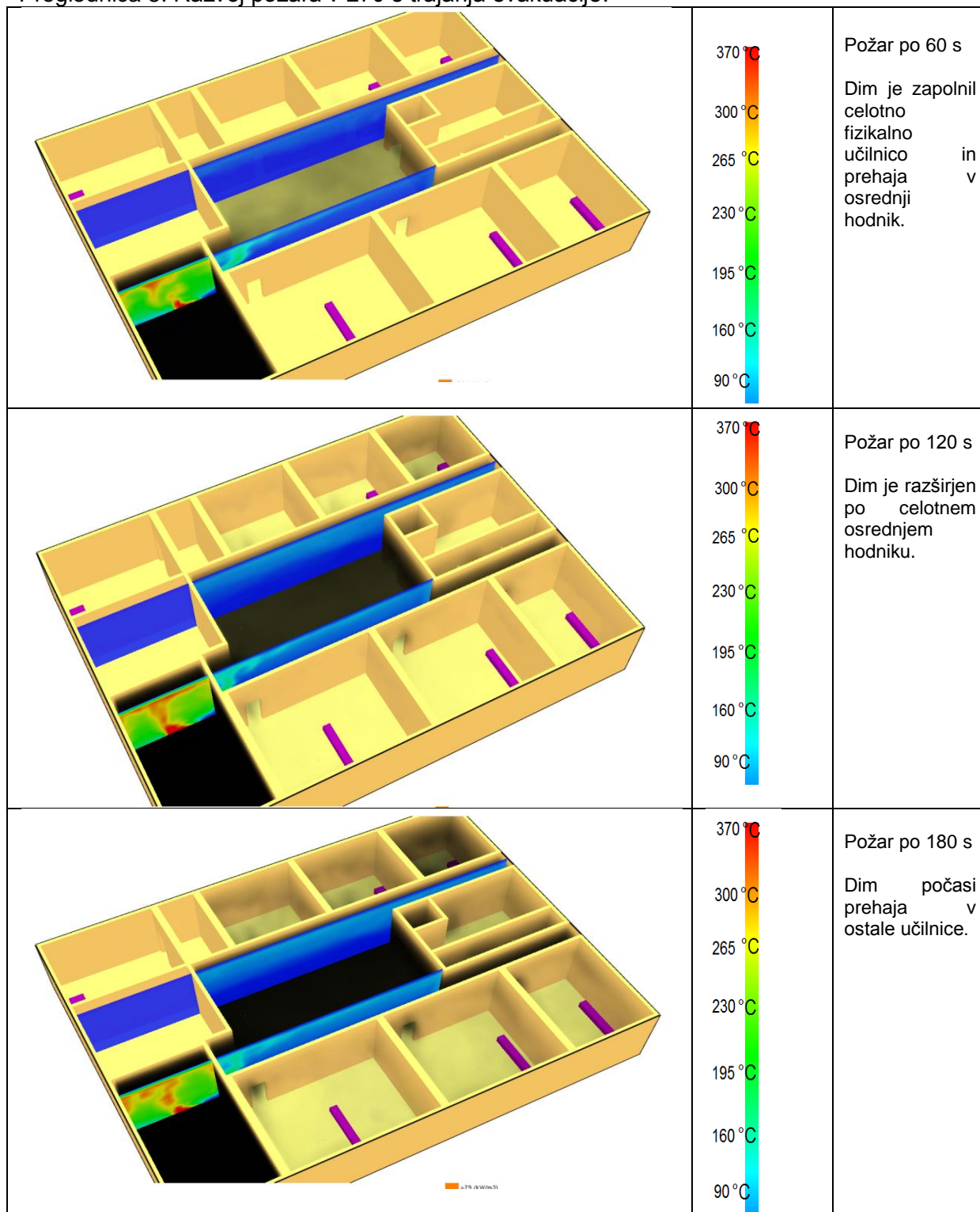
Evakuacija po 45 s.

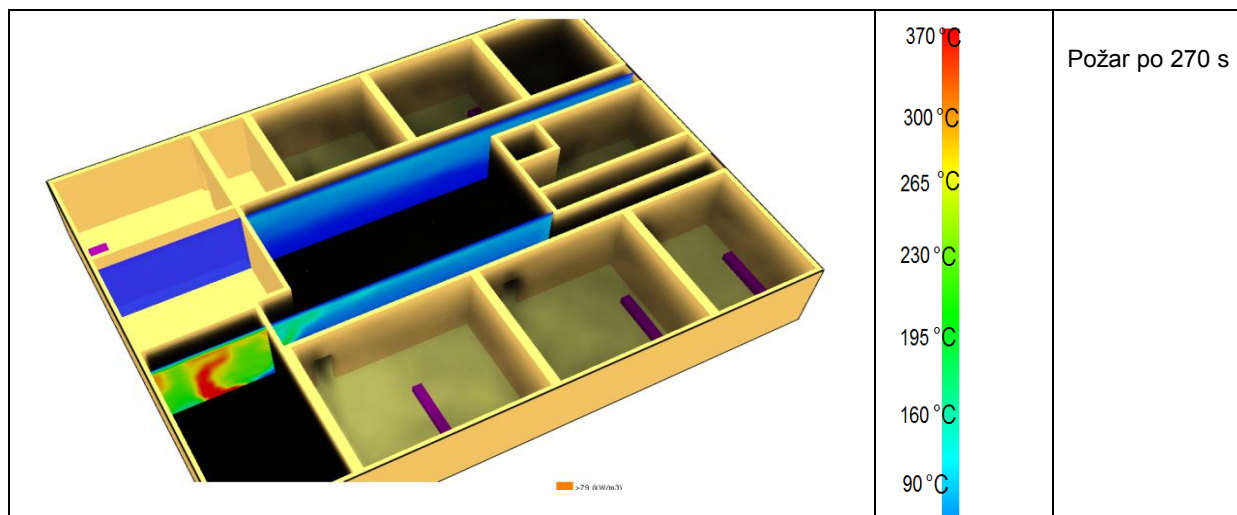
Osebe se pri izhodu F začnejo obračati nazaj proti izhodu A. Ta postopek poteka nadaljnje tri minute in pol.

Prehod med učilnicama 11 in 12 se sprosti.

Dim se v štirih minutah in pol razširi čez celotno fizikalno učilnico, osrednji hodnik in prehaja v ostale učilnice. Nekatere učilnice so v tem času že popolnoma zadimljene (Preglednica 5). Temperatura v učilnici, kjer je prišlo do začetka požara, se dvigne na 300°C, na hodniku se začne dvigati temperatura pod stropom, ki doseže 125°C. Dim se razširi tudi že do delov objekta, kjer se pojavljajo zastoji.

Preglednica 5: Razvoj požara v 270 s trajanja evakuacije.





### 7.3.1 Možne izboljšave za hitrejši potek realne evakuacije

Vrata pri izhodu A bi lahko zamenjali z lažje odpirajočimi se dvokrilnimi vrati. Tako bi dosegli, da bi bil izhod v vseh primerih širši. Evakuacija bi se skrajšala za 5 do 10s, če bi bila ta vrata primernejša.

Tudi vrata knjižnice so dvokrilna in večino časa se uporablja samo eno vratno krilo (Slika 20). Če bi uporabili celotno širino vrat, bi evakuacija potekala hitreje.



Slika 20: Vrata knjižnice.

Požarna vrata iz učilnice/kabineta 2 prestavimo v učilnico 1. S tem omejimo širjenje dima na osrednji hodnik, ker vrat učilnice ne odpremo in omogočimo daljši evakuacijski čas za ostale uporabnike stavbe. Sama učilnica, kjer je začetek požara, se lahko evakuira v prvih desetih sekundah. Ni smiselno imeti zasilnega izhoda v manjšem prostoru, zasilni izhod je smiseln v prostoru z večjim številom oseb zaradi hitrejše evakuacije.

Pri izhodu F bi bila najprimernejša rešitev postavitve zaplombirane varnostne omarice s ključem od vrat, omarica mora vsebovati kladivce za razbitje varnostnega stekla (Slika 21). Na ta način bi bila vrata lahko ves čas zaklenjena, vendar bi se v primeru evakuacije osebe normalno evakuirale tudi skozi ta izhod. Nedvomno je potrebna odstranitev dvojnih lesenih vrat pri izhodu F.



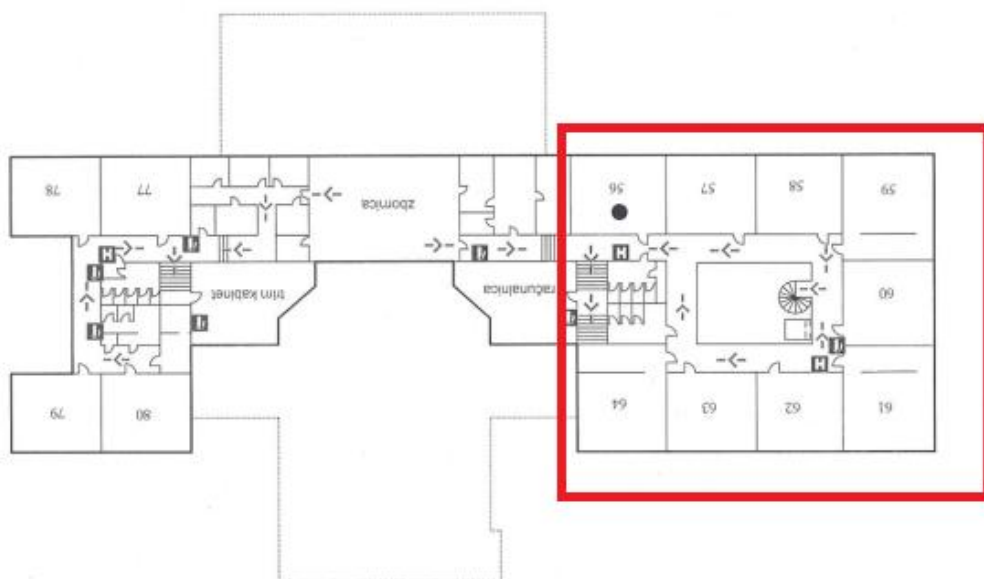
Slika 21: Varnostna omarica za ključ.

Zastoj pri razredu 11 in 12 bi lahko rešili tako, da bi naredili nov vhod v učilnico številka 11, ki je ločen od obstoječega prehoda. S tem bi se čas evakuacije skrajšal za slabih 10s. V tem primeru bi bilo najbolje, da bi se uporabniki učilnic 11 in 12 evakuirali skozi zasilna izhoda B in C oz. skozi okna. S tem bi se tudi sprostil zasilni izhod A.

S kombinacijo vseh teh ukrepov bi se evakuacijski časovni interval v normalnih pogojih skrajšal za dve minuti in pol oziroma za 55 %.

#### 7.4 VARIANTA 3

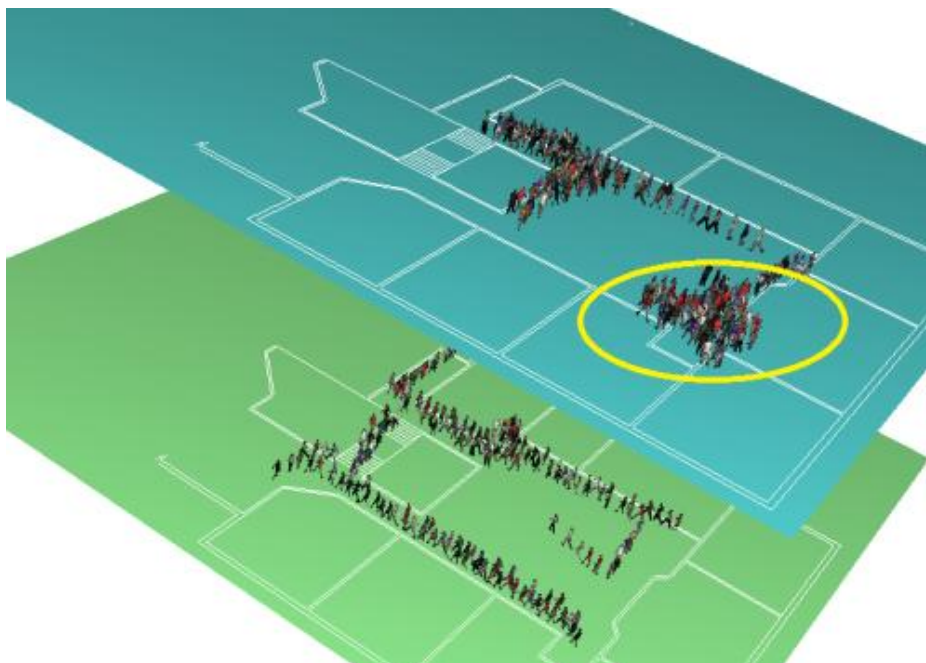
V tem primeru imamo v pritličju enake pogoje kot so pri primeru idealne evakuacije – odprti vsi izhodi in vsa dvokrilna vrata. V prvem nadstropju imamo dvoje stopnic, od tega so ene krožne oz. spiralne, druge klasične enoramne stopnice. Po stopnicah tudi poteka evakuacijska pot (Slika 22). Vsi uporabniki objekta se evakuirajo skozi pritličje.



Slika 22: Načrt prvega nadstropja z označenim obravnavanim delom.

V evakuaciji je udeleženo približno 430 oseb. Polne so vse učilnice v pritličju in prvem nadstropju.

Evakuacija traja dve minuti in pol. Uporabniki prvega nadstropja uporabijo pot, ki vodi po stopnicah do izhodov A in F – sledijo poteku evakuacijske poti, ki je predvidena za pritličje. V prvem nadstropju se pojavi zastoj pri zavitem stopnišču, ki je prikazan na sliki 23. Težavi pri teh stopnicah sta: širina stopnic, ki je takšna, da se lahko po njih premika samo ena oseba ter da so zavite. Zaradi zavitosti stopnic bi lahko pri nepravilni uporabi prišlo tudi do poškodb.



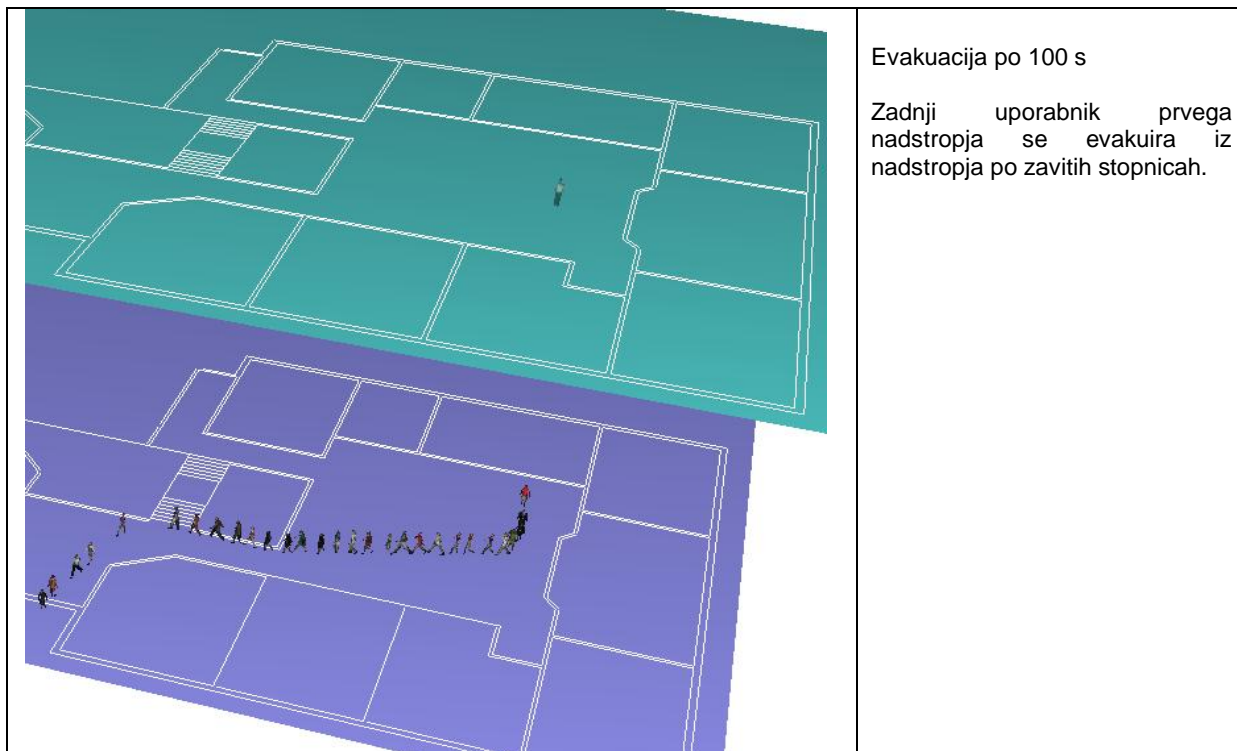
Slika 23: Zastoj pri zavitih stopnicah.

Pojavi se zastoj pri izhodih A in F. Osebe iz pritličja se na izhodu A evakuirajo brez težav. Oseb iz prvega nadstropja, ki uporabijo ta izhod, je približno 130, kar povzroči, da se tam pojavi velika množica ljudi. Izhod F je kritičen že za uporabnike pritličja, ko pa se jim priključi še dodatnih 100 oseb, je evakuacijski čas daljši in sama evakuacija toliko bolj otežena (Preglednica 6).

Preglednica 6: Potek evakuacije.

A 3D perspective view of the same building floor plan, now colored light blue and light purple. The human figures are more dispersed across the corridors, showing the progress of the evacuation. Some groups are still visible, but they are less dense than in the previous image.	<p>Evakuacija po 15 s</p> <p>Uporabniki prvega nadstropja se začnejo, v pritličju, pomikati proti izhodu A</p>
---	--

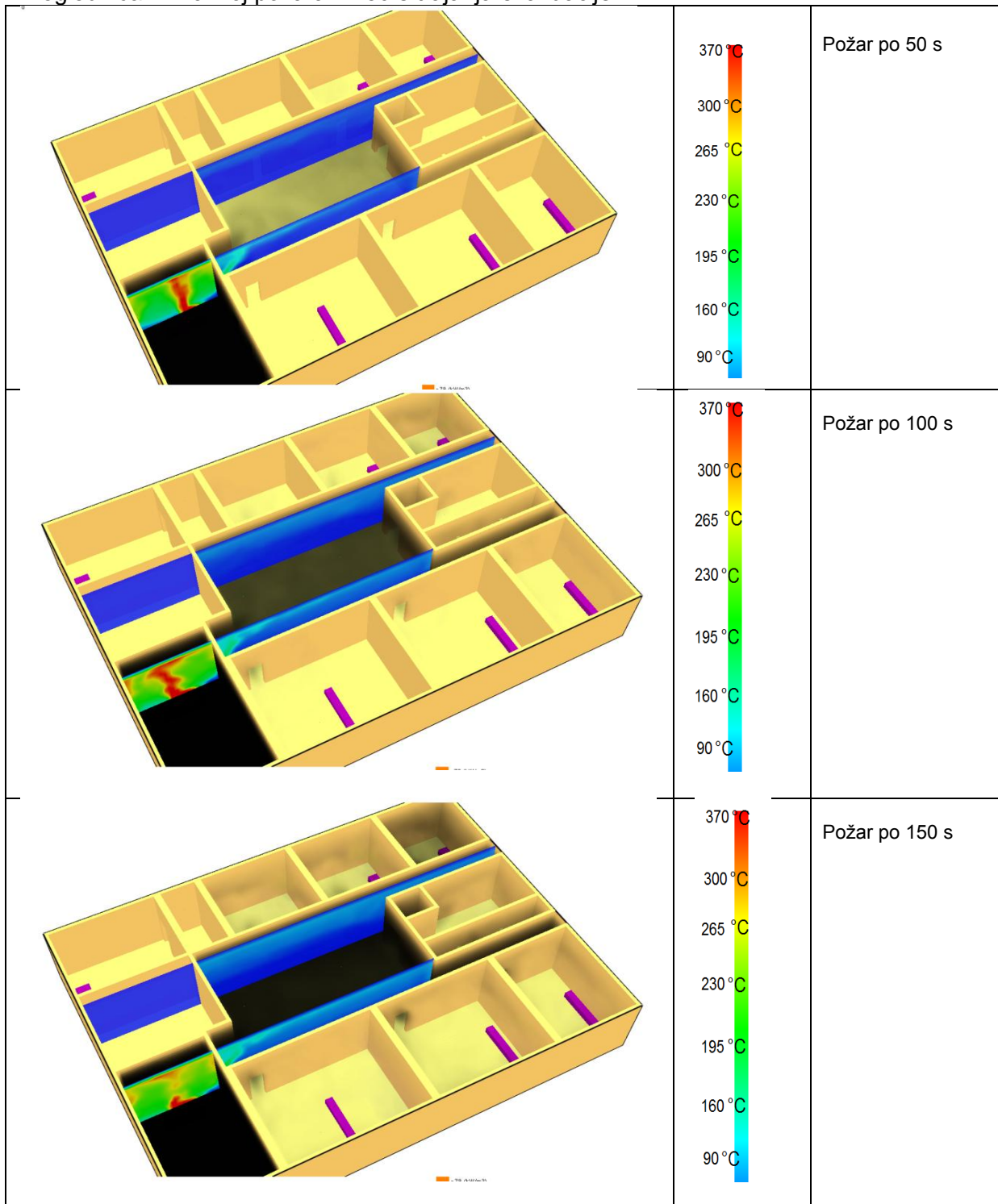
	<p>Evakuacija po 25 s</p> <p>Pojav zastojev pri izhodih A in F ter na vseh stopniščih v prvem nadstropju</p>
	<p>Evakuacija po 50 s</p> <p>Izhod F se sprosti, izhod A je še vedno preobremenjen.</p> <p>Zastoj na zavitem stopnišču je še vedno aktualen.</p>





V času trajanja evakuacije se dim razširi po celotnem osrednjem prostoru in že počasi prehaja v ostale učilnice ter prvo nadstropje (Preglednica 7). V fizikalni učilnici doseže temperatura pod stropom 330°C, v osrednjem prostoru pa temperatura dima presega 125°C.

Preglednica 7: Razvoj požara v 150 s trajanja evakuacije.



#### 7.4.1 Možne izboljšave za hitrejši potek predpisane evakuacije s pridružitvijo prvega nadstropja

Uporabnike učilnic številka 58 in 62 v prvem nadstropju preusmerimo na glavno stopnišče in tako malenkostno sprostimo obremenjenost spiralnih stopnic. Kljub temu bi se pojavil zastoj, vendar bi bil ta manjši in bi se uporabniki hitreje evakuirali. Prav tako preusmerimo osebe, ki se evakuirajo po zavutih stopnicah s predvidenega načrta evakuacije na zasilna izhoda D in F oz. samo na izhod D. Vsi ostali uporabniki prvega nadstropja se evakuirajo skozi izhod A. S tem ukrepom bi čas evakuacije skrajšali za več kot minuto. S preusmeritvijo uporabnikov bi se sicer pojavil zastoj tudi pri glavnih stopnicah, vendar bi se evakuacijski čas kljub temu skrajšal.

Že samo z upoštevanjem izboljšav, ki so navedene v poglavju 7.1.1, bi se čas evakuacije skrajšal za približno 40 s. Če upoštevamo še zgornjo rešitev, bi bil čas, potreben za evakuacijo krajši, od dveh minut.

Menim, da bi bilo več kot potrebno v prvem nadstropju narediti dodaten zasilni izhod. Lahko bi se dodale zunanje požarne stopnice, ki bi bile nameščene ob eni izmed učilnic in bi vodile na zbirno mesto za šolo.

Poleg tega bi se lahko uporabniki objekta evakuirali na ravno streho, ki je nasproti zbornice in pripadajočih pisarn. V tem primeru bi bile prav tako potrebne požarne stopnice, da bi lahko evakuiranci sestopili s strehe ter preoblikovanje strehe tako, da bi bila pohodna in varna za evakuacijo (Slika 24 in 25).



Slika 24: Streha po kateri bi lahko potekala evakuacija.

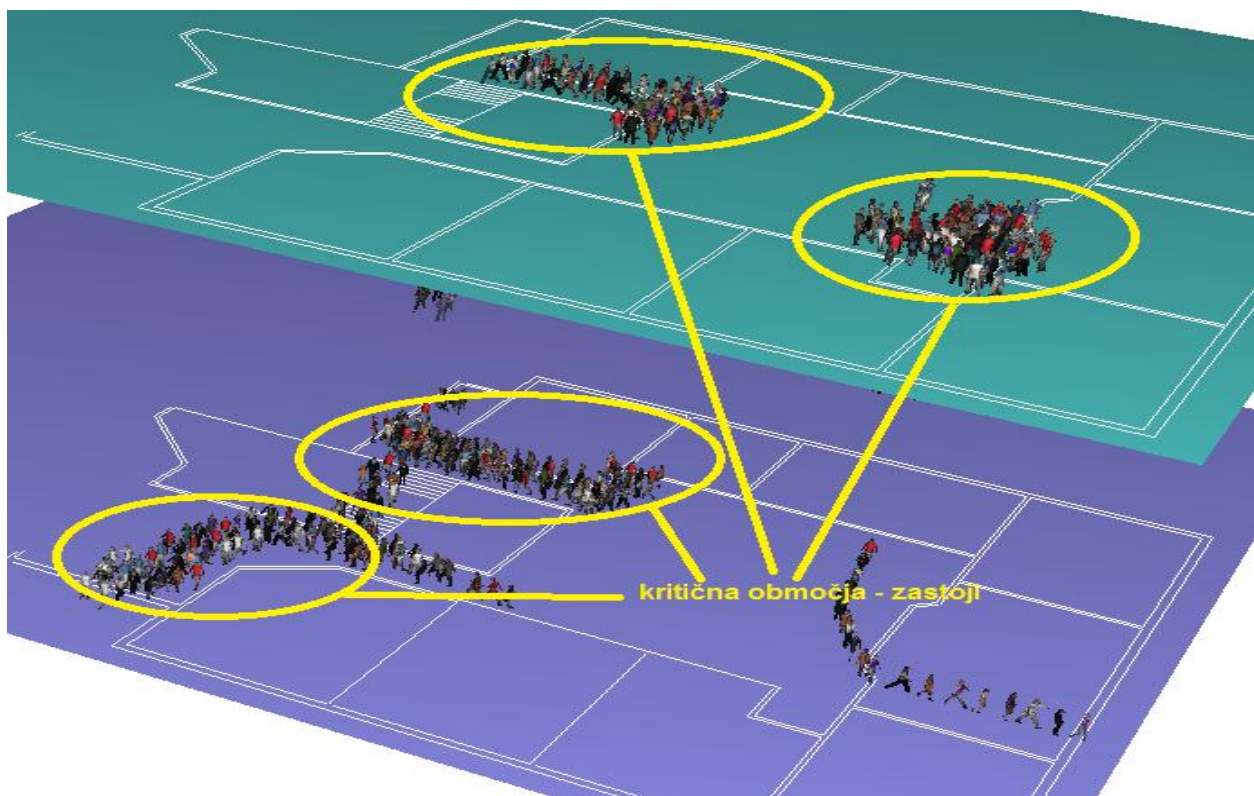


Slika 25: Pogled na streho iz notranjosti stavbe.

## 7.5 VARIANTA 4

Stanje v pritličju je enako kot je pri analizi evakuacije variante 2. V prvem nadstropju imamo še vedno samo dva izhoda: zavite stopnice in stopnice, ki vodijo do zasilnega izhoda A.

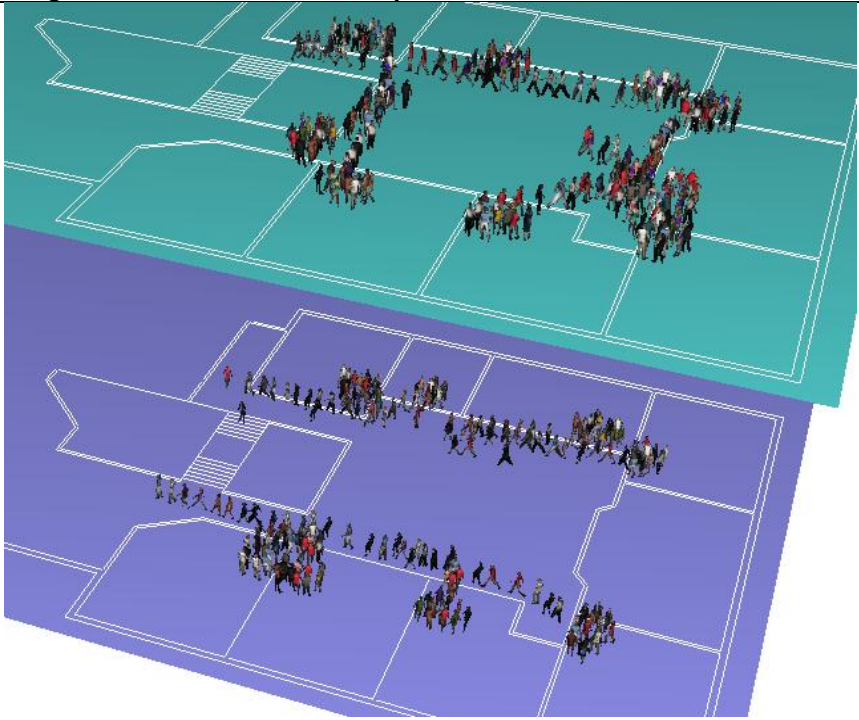
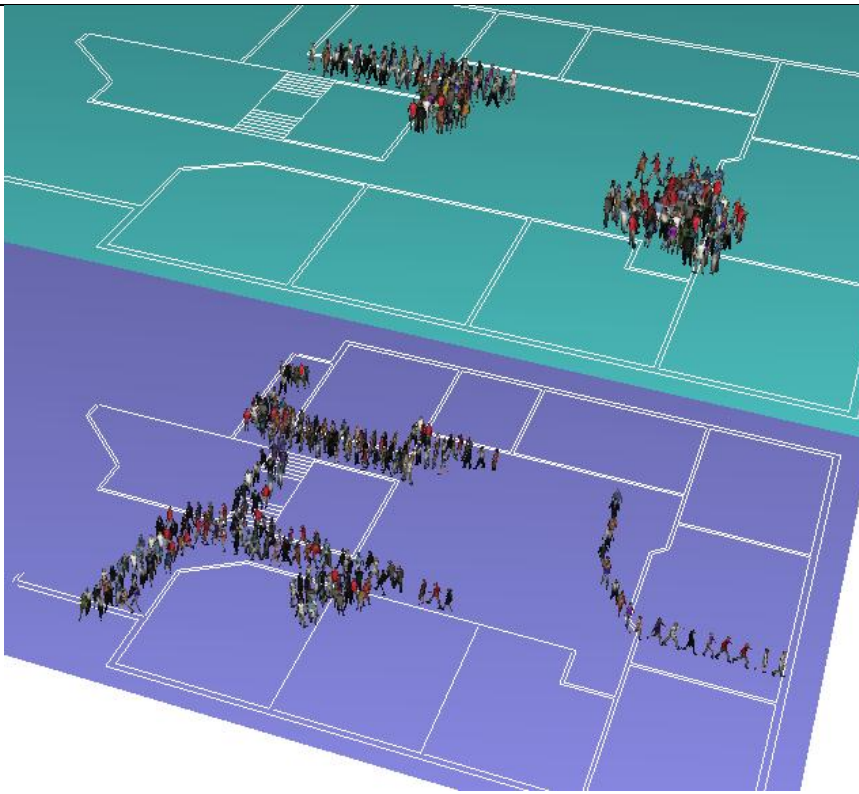
Evakuacija poteka približno 5 minut. V pritličju se zopet pojavijo zastoji pri zasilnem izhodu A in zasilnem izhodu F. V prvem nadstropju se pojavi zastoj pri zavutih stopnicah in pri glavnih stopnicah, vendar ta del v primerjavi z delom pri zavutih stopnicah ni tako kritičen zaradi hitrejšega pretoka ljudi (Slika 26).

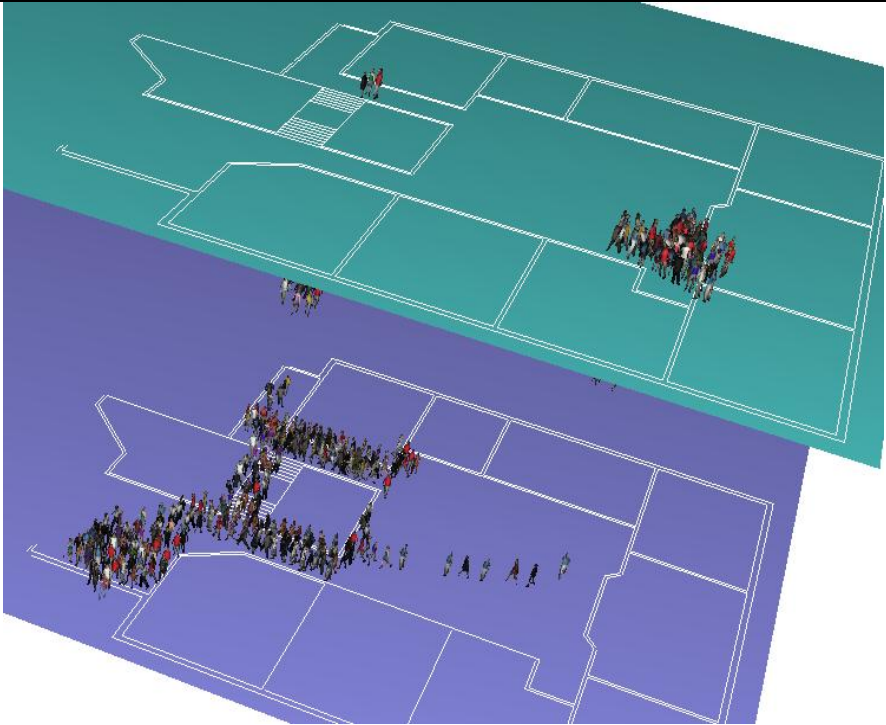
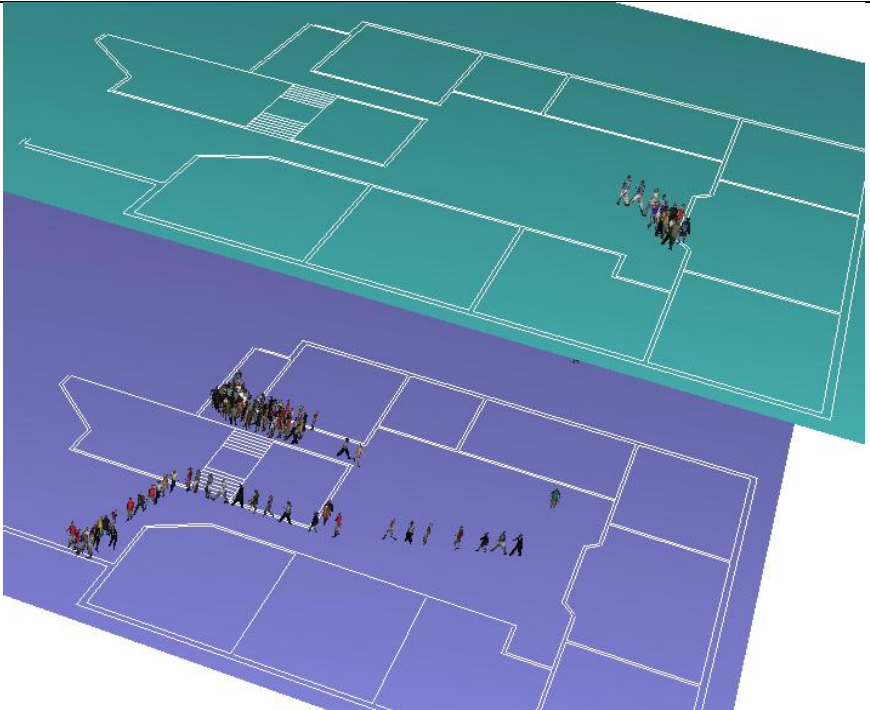


Slika 26: Kritični deli evakuacijske poti.

Največja težava pri scenariju evakuacije variante 4 je, da se skozi zasilni izhod A evakuira prevelika množica ljudi. Poleg petih učilnic iz prvega nadstropja se želijo skozi ta izhod evakuirati tudi osebe, ki so ugotovile, da je izhod F zaklenjen in se sedaj vračajo proti izhodu A. Samo teh oseb je okoli 250. Skupno število oseb na tem izhodu je več kot 300. Potek evakuacije za varianto 4 je prikazan v preglednici 8.

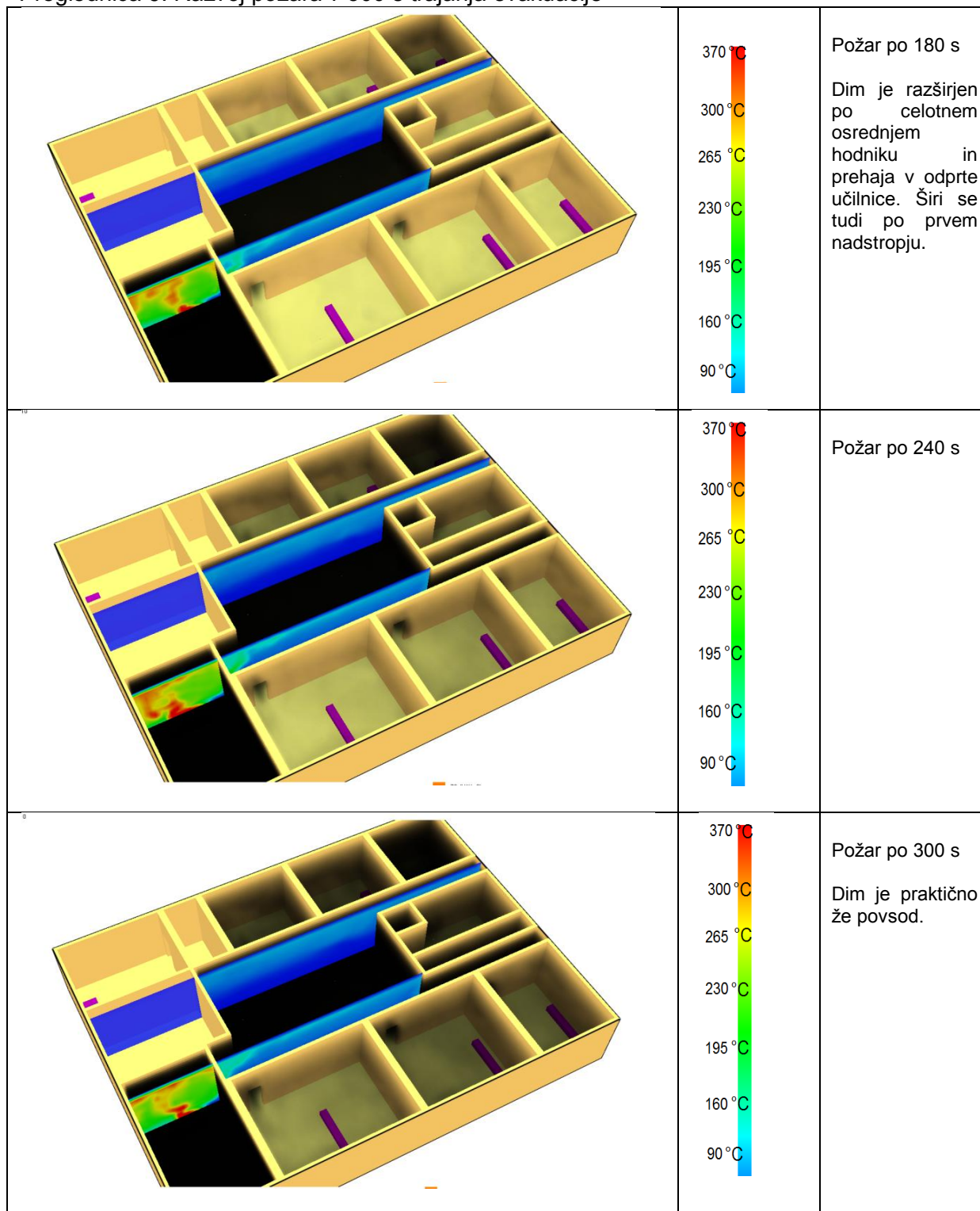
Preglednica 8: Potek evakuacije.

	<p>Evakuacija po 10 s</p>
	<p>Evakuacija po 30 s</p> <p>Pojav zastojev pri izhodih A in F ter na stopnicah.</p>

	<p>Evakuacija po 55 s</p> <p>Osebe pri izhodu F se vračajo proti izhodu A.</p>
	<p>Evakuacija po 120 s</p> <p>Izhod A se je sprostil.</p>

Dim se v petih minutah razširi po celotnem pritličju. Začne se širiti tudi po prvem nadstropju. Vidljivost v pritličju je otežena, kar dodatno podaljša evakuacijski čas. Temperatura požara naraste na 335°C, temperatura dima na osrednjem hodniku pa se približuje 230°C (Preglednica 9).

Preglednica 9: Razvoj požara v 300 s trajanja evakuacije



### **7.5.1 Možne izboljšave za hitrejši potek realne evakuacije s pridružitvijo prvega nadstropja**

S kombinacijo že predhodno omenjenih rešitev bi zmanjšali evakuacijski čas za več kot polovico.

V pritličju:

- Pri izhodu F dodamo omarico s ključem in odstranimo težka lesena vrata.
- Vrata iz učilnice/kabineta 2 prestavimo v učilnico 1.
- Osebe iz učilnice 4 preusmerimo na zasilni izhod D.

Čas evakuacije bi se še dodatno skrajšal, če bi se osebe iz učilnic 11 in 12 evakuirale skozi zasilna izhoda B in C.

V prvem nadstropju:

- Osebe iz učilnic 58 in 62 preusmerimo na glavno stopnišče.
- Osebe, ki se evakuirajo po zavitih stopnicah, usmerimo na izhod D.

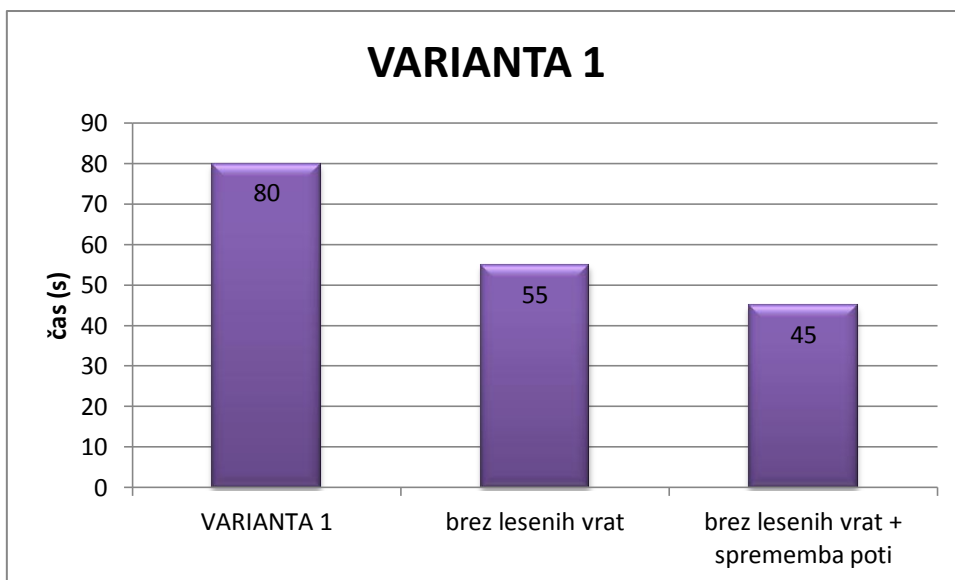
Evakuacija bi bila hitrejša, če bi bile na zunanji strani ene izmed učilnic nameščene požarne stopnice.

Čas, potreben za evakuacijo, bi bil tako 140 s, kar je 54 % manj, kot pri obstoječem stanju.

## 8 GRAFIČNI PRIKAZ REZULTATOV

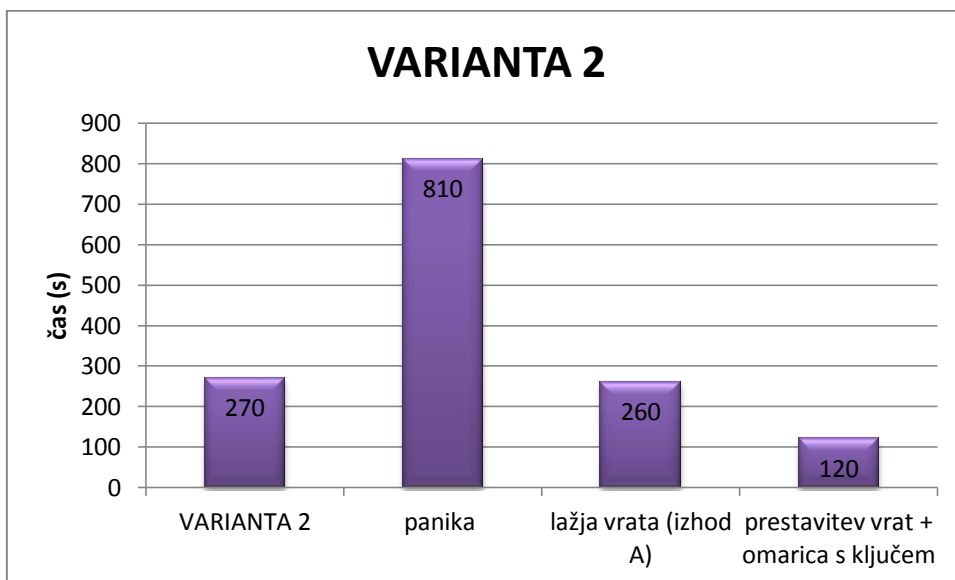
V grafih so prikazani časovni poteki vseh štirih variant evakuacije z dodanimi rešitvami.

Na sliki 27 je grafičen prikaz analizirane variante 1. Na diagramu se lepo vidi, da bi se evakuacijski čas samo z odstranitvijo lesenih vrat bistveno zmanjšal.



Slika 27: Grafičen prikaz VARIANTE 1.

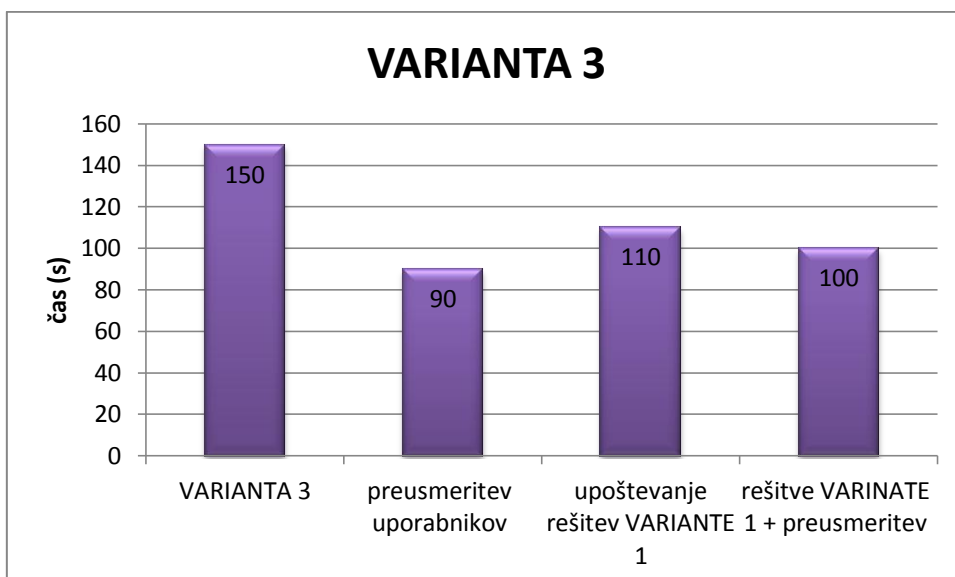
Slika 28 prikazuje grafičen prikaz variante 2. Evakuacijski čas bi se izrazito podaljšal v primeru panike. Z vsemi predlaganimi rešitvami bi bil čas evakuacije bistveno krajši.



Slika 28: Grafičen prikaz VARIANTE 2.

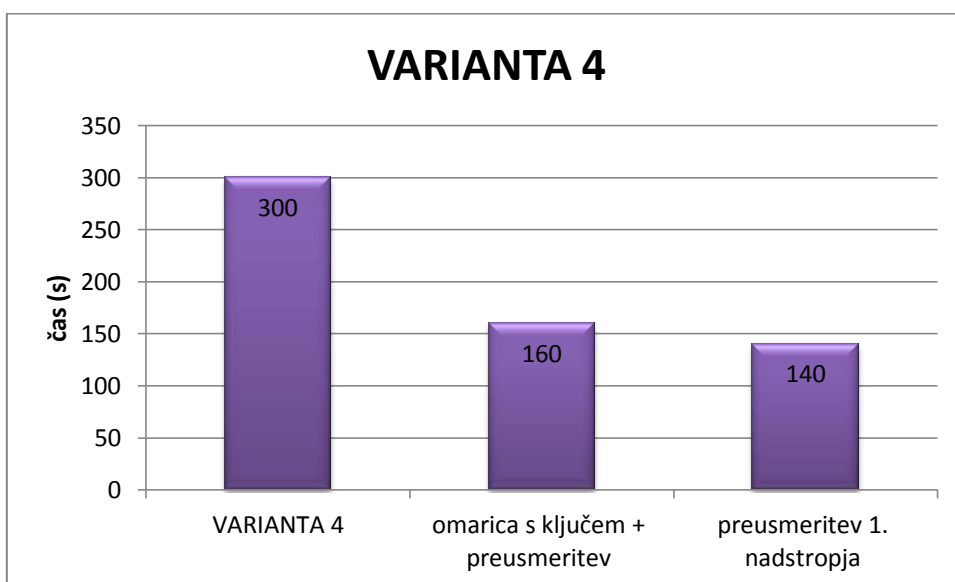
Na sliki 29 je prikazan grafični potek evakuacije za varianto 3. Evakuacijski čas bi bistveno izboljšali s preusmeritvijo uporabnikov objekta na druge zasilne izhode.





Slika 29: Grafičen prikaz VARIANTE 3.

Slika 30 prikazuje grafične rešitve variante 4. Čas evakuacije bi se v primeru vseh naštetih rešitev vidno izboljšal.



Slika 30: Grafičen prikaz VARIANTE 4.

## 9 ZAKLJUČEK

Načrt za evakuacijo so razvili, da bi zagotovili najbolj učinkovit čas evakuacije vseh uporabnikov objekta, mesta, regije.

Kadar je potrebna evakuacija zaradi požara, je najpomembnejše, da ostanemo mirni, poskrbimo za najhitrejši umik na varno mesto ter o požaru obvestimo gasilce.

Pri analizi evakuacije na Osnovni šoli Vič smo ugotovili, da bi lahko z odstranitvijo določenih ovir na evakuacijski poti, z dodatnimi zasilnimi izhodi v prvem nadstropju ter z malenkostno spremembo evakuacijskega načrta evakuacija potekla bistveno hitreje in bolj varno.

Pri izračunu poteka požara smo upoštevali lastnosti materialov, ki so vgrajeni v objekt in dodatnih materialov, ki se pojavljajo po samem objektu.

Narava požara ni taka, da bi se ta lahko razvil v večji požar. Pri uporabi ročnih gorilnikov moramo imeti pri roki tudi ročni gasilni aparat. V primeru eksplozije gorilnika z močjo 500kW bi se evakuirala samo učilnica, v kateri se je nesreča zgodila, požar bi bil pogašen s strani uporabnika gorilnika. Za potrebe analize smo evakuirali celoten obravnavani del objekta in pustili, da se ogenj, predvsem pa dim, razširita.

Samo pritličje obravnavanega dela objekta načeloma ni problematično, razen zasilnega izhoda F, ki je zaklenjen. V primeru zaklenjenega zasilnega izhoda bi pri ljudeh nastala panika. Nastanek panike pomeni daljši evakuacijski čas, daljšo prisotnost oseb v objektu in s tem tudi večjo možnost zastrupitve s strupenimi plini.

Največja težava se pojavi v prvem nadstropju, kjer je predviden izhod na varno samo preko glavnega stopnišča in zavitih stopnic. Stopnišča so v primeru gostega dima zelo nevarna in se jim zato poizkušamo izogniti.

Pri obstoječem stanju predvidenega poteka evakuacije bi uporabniki objekta potrebovali skoraj 5 minut za umik na varno mesto. V tem času bi se dim že razširil po celotnem delu objekta in s tem preprečil uporabnikom varen umik.

V takem primeru bi bilo najvarnejše, da bi učenci v prvem nadstropju počakali v učilnicah z zaprtimi vrati na pomoč gasilcev. Z zaprtimi vrati bi preprečili širjenje dima iz osrednjega prostora v učilnice.

Z vpeljavo sprememb, ki so našteje v nalogi, bi se lahko izognili zgoraj omenjenim nevšečnostim. S tem bi se evakuacijski čas skrajšal za več kot polovico, preprečili bi nastanek panike in zmanjšali možnost zastrupitve.

Menim, da bi lahko z uporabo simulatorjev prikaza požara in evakuacije bistveno izboljšali evakuacijske poti. Predvsem bi bila smiselna uporaba simulatorjev pri starejših objektih, ki so imeli narejen načrt evakuacijske poti naknadno, po sami izgradnji objekta. Tako bi učinkoviteje opazili napake in pomanjkljivosti samega objekta s strani požarne varnosti in poti, ki so namenjene evakuaciji uporabnikom objekta.

## VIRI

Fire dynamic simulator FDS 5.5.3, SMV 5.6. 2013.

[http://code.google.com/p/fds-smv/wiki/Downloads\\_Overview?tm=2](http://code.google.com/p/fds-smv/wiki/Downloads_Overview?tm=2) (Pridobljeno 20. 2. 2013.)

Grm, B., Stevanovič B. 2002. Kemija v gasilstvu požar: eksplozija in nevarne snovi. Ljubljana, Gasilska zveza Slovenije: str. 87 – 88, 148 – 158.

Jazbec, R., Pance, J. 2012. Sektor Vič Elaborat sektorska vaja 2012. Gasilska zveza Ljubljana: str. 4 – 7.

Jazbec, R. 2013. Priprava in izvedba evakuacije.

<http://www.sos112.si/db/priloga/p7939.pdf> (Pridobljeno 10. 3. 2013.)

Jug, A. 2013. Evakuacija – splošno o evakuaciji.

[www.sos112.si/slo/tdocs/9\\_jug.ppt](http://www.sos112.si/slo/tdocs/9_jug.ppt) (Pridobljeno 10. 3. 2013.)

Jug, A. 2013. Usposabljanje za izvajanje evakuacije iz objekta – navodilo za pripravo.

[www.sos112.si/slo/tdocs/8\\_jug.ppt](http://www.sos112.si/slo/tdocs/8_jug.ppt) (Pridobljeno 10. 3. 2013.)

Krovni EU dokument. 2011. REG št. 305/2011 Uredba o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov. Evropski parlament in svet.

Krušec, I. 2001. Osnove varstva pred požarom. Ljubljana, Gasilska zveza Slovenije: str. 105 – 132.

Pathfinder 2012. 2013

<http://www.thunderheadeng.com/pathfinder/> (Pridobljeno 17. 3. 2013.)

Pravilnik o požarni varnosti v stavbah. 2004. Uradni list RS št.31 – 1359/2004:3752.

Pyrosim 2012. 2013.

<http://www.thunderheadeng.com/pyrosim/> (Pridobljeno 17. 3. 2013.)

Tehnična smernica TSG – 1 – 001:2010 Požarna varnost v stavbah. 2010. Ministrstvo za okolje in prostor.

Varnost pri uporabi, požarna zaščita, evakuacija. 2013.

[http://kske.fgg.uni-lj.si/award/html/9/0\\_0.html](http://kske.fgg.uni-lj.si/award/html/9/0_0.html) (Pridobljeno 15. 3. 2013.)