

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:

Peca, G., 2014. Analiza požarne evakuacijske poti v OŠ Prade. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Kristl, Ž.): 73 str.

Datum arhiviranja: 02-07-2014

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:

Peca, G., 2014. Analiza požarne evakuacijske poti v OŠ Prade. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Kristl, Ž.): 73 pp.

Archiving Date: 02-07-2014

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 ŠTUDIJSKI  
PROGRAM GRADBENIŠTVO  
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

**GREGOR PECA**

**ANALIZA POŽARNE EVAKUACIJSKE POTI V OŠ  
PRADE**

Diplomska naloga št.: 3395/KS

**ANALYSIS OF FIRE ESCAPE ROUTE AT  
ELEMENTARY SCHOOL PRADE**

Graduation thesis No.: 3395/KS

**Mentor:**

doc. dr. Mitja Košir

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentorica:**

dr. Živa Kristl

**Član komisije:**

prof. dr. Goran Turk

izr. prof. dr. Matjaž Dolšek

Ljubljana, 18. 06. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

**»Ta stran je namenoma prazna.«**

## **IZJAVE**

Podpisani **Gregor Peca** izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »**Analiza požarne evakuacijske poti v OŠ Prade**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, junij 2014

Podpis:  
Gregor Peca

**»Ta stran je namenoma prazna.«**

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

- UDK:** 614.841.45:699.81(043.2)
- Avtor:** Gregor Peca
- Mentor:** doc. dr. Mitja Košir
- Somentor:** doc. dr. Živa Kristl
- Naslov:** Analiza požarne evakuacijske poti v OŠ Prade
- Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – univerzitetni študij
- Obseg in oprema:** 73 str., 63 sl.
- Ključne besede:** Gorenje, požar, evakuacija, evakuacijska pot, evakuacijski čas

### **IZVLEČEK**

Večina starejših stavb je bilo projektiranih brez potrebne požarne analize. Da bi preprečili nastanek smrtno nevarnih situacij v primeru požara, bi bilo potrebo podrobno analizirati njihov evakuacijski načrt. Današnji programi nam omogočajo relativno enostavni pregled dogajanja v primeru evakuacije zaradi nastanka požara.

V diplomski nalogi sem obravnaval predmetno stopnjo OŠ Prade. Preveril sem ustreznost projektiranega evakuacijskega načrta na podlagi priporočil iz tehnične smernice (TSG1), nato pa sem s pomočjo programske opreme Pyrosim in Pathfinder simuliral potek evakuacije za različne scenarije nastanka požara. V nadaljevanju naloge sem predstavil 3 osnovne scenarije, pri katerih sem opazoval končni evakuacijski čas, potek evakuacije in širitev stranskih produktov gorenja znotraj objekta. Na podlagi rezultatov sem predstavil možne rešitve za zmanjšanje evakuacijskega časa in stranskih produktov gorenja vzdolž evakuacijske poti. Najbolj učinkovite rešitve sem združil v optimalno varianto.

Ugotovil sem, da bi lahko z določenimi organizacijskimi ukrepi prispevali k veliko varnejšem in učinkovitem poteku evakuacije znotraj predmetne stopnje OŠ Prade, kljub starosti objekta in določenim pomanjkljivostim projektiranega evakuacijskega načrta.

**»Ta stran je namenoma prazna.«**



## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

- UDK:** 614.841.45:699.81(043.2)
- Avtor:** Gregor Peca
- Mentor:** doc. dr. Mitja Košir
- Somentor:** doc. dr. Živa Kristl
- Naslov:** Analysis of fire escape route at Elementary school Prade
- Tip dokumenta:** Graduation Thesis – University studies
- Obseg in oprema:** 73 str., 63 sl.
- Ključne besede:** Burning, fire, evacuation, escape route, evacuation time

### **ABSTRACT**

Most of the old buildings have been designed without the necessary fire analysis. In order to prevent the occurrence of life-threatening situations in the case of a fire it would be required to carefully analyze their evacuation plan. Today's programs allow us to overview relatively easy the developments for an evacuation in the case of fire.

In this thesis, I analyzed a part of the building of elementary school in Prade. I checked the adequacy of designed evacuation plan on the basis of the provisions in the technical guidelines (TSG1), and then I simulated the course of evacuation for different scenarios of fire with the help of software Pyrosim and Pathfinder. I presented three basic scenarios where I watched the final evacuation time, evacuation progress and expansion of the by-products of fire inside the building. Based on the results I presented possible solutions to reduce the evacuation time and the by-products of burning along the evacuation routes. The most effective solutions were joined in the optimal version.

I found that despite the age of the building and the shortcomings of designed evacuation plan we could contribute to safer and more effective course of evacuation within the primary school of Prade just with certain organizational measures.

**»Ta stran je namenoma prazna.«**

## **ZAHVALA**

Za strokovno pomoč in nasvete se zahvaljujem mentorju doc.dr. Mitji Koširju in somentorici doc.dr. Živi Kristl.

Zahvala gre tudi poklicnemu gasilcu Tilenu Sili in Carmelu Lenziju za pomoč pri zbiranju uporabljene dokumentacije.

Zahvaljujem se tudi moji družini za podporo pri celotnem študiju.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OSNOVE GORENJA</b> .....	<b>3</b>
2.1	Osnovni pojmi .....	3
2.2	Produkti gorenja .....	4
<b>3</b>	<b>POŽAR</b> .....	<b>6</b>
3.1	Razvoj požara v objektih.....	6
3.2	Prostor nastanka požara.....	6
3.3	Pogosti vzroki za nastanek požara.....	6
3.4	Faze požara.....	6
3.4.1	Začetni požar - vžig.....	7
3.4.2	Rastoči požar.....	7
3.4.3	Požarni preskok .....	7
3.4.4	Polno razviti požar .....	8
3.4.5	Pojemajoči požar .....	8
3.5	Dejavniki ki vplivajo na intenziteto požara.....	8
3.5.1	Požarna obremenitev .....	8
3.5.2	Velikost površine gorljivih materialov .....	9
3.5.3	Dovajanje zraka.....	9
3.5.4	Odvajanje toplote .....	9
3.6	Mehanizmi širjenja požara po objektu .....	9
3.7	Vplivi lastnosti gradbenih materialov in elementov na širjenje požara.....	11
<b>4</b>	<b>EVAKUACIJA</b> .....	<b>12</b>
4.1	Načrt evakuacije.....	12
4.2	Zagotavljanje varnosti poteka evakuacije .....	13
4.3	Evakuacijska pot .....	14
4.4	Označevanje evakuacijske poti .....	14
<b>5</b>	<b>ZAKONODAJA</b> .....	<b>15</b>
5.1	Zakon o varstvu pred požarom.....	15
5.2	Pravilnik o požarni varnosti v stavbah .....	15
5.3	Pravilnik o požarnem redu .....	16
<b>6</b>	<b>TEHNIČNA SMERNICA TSG-1-001:2010</b> .....	<b>17</b>
6.1	Evakuacijske poti in sistemi za javljanje ter alarmiranje .....	17
6.1.1	Evakuacijska pot .....	17
6.1.2	Dolžina evakuacijskih poti .....	17
6.1.3	Širina evakuacijskih poti .....	18

6.1.4	Zaščitena stopnišča.....	18
6.1.5	Stopnice in klančine .....	18
6.1.6	Zaščiteni hodniki .....	18
6.1.7	Varnostna razsvetljava .....	18
<b>7</b>	<b>PREDSTAVITEV OBJEKTA .....</b>	<b>19</b>
7.1	Opis in lokacija.....	19
7.2	Evakuacijski načrt .....	19
<b>8</b>	<b>ANALIZA EVAKUACIJSKE POTI.....</b>	<b>21</b>
8.1	Račun dolžine in širine evakuacijske poti .....	21
8.1.1	Dolžina evakuacijske poti .....	21
8.1.2	Širina evakuacijskih poti .....	22
8.2	Simulacija poteka evakuacije .....	23
8.2.1	Programska oprema.....	23
8.2.2	Opis različnih scenarijev .....	25
<b>9</b>	<b>RAČUNSKI MODEL .....</b>	<b>26</b>
9.1	Varianta 1 – požar v kuhinji.....	26
9.2	Varianta 2- požar v učilnici za tehnični pouk.....	34
9.3	Varianta 3 – požar v knjižnici .....	43
<b>10</b>	<b>UGOTOVITVE IN IZBOLJŠAVE.....</b>	<b>50</b>
10.1	Uporaba sekundarnega stopnišča – varianta A.....	52
10.2	Nedostopnost glavnega stopnišča zaradi stranskih produktov gorenja A3(2).....	57
10.3	Gradbeni ukrepi.....	61
10.4	Optimalna varianta .....	66
<b>11</b>	<b>ZAKLJUČEK.....</b>	<b>71</b>
<b>VIRI.....</b>		<b>72</b>

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Trikotnik gorenja [6].....	3
Slika 2: Proces pirolize [7].....	4
Slika 3: Delež kisika v ozračju.....	5
Slika 4: Delež ogljikovega dioksida v ozračju.....	5
Slika 5: Delež ogljikovega monoksida v ozračju.....	5
Slika 6: Faze požara [9].....	7
Slika 7: Količina oddane toplote [10].....	9
Slika 8: Jakost toplotnega sevanja.....	10
Slika 9: Vpliv sevanja na človeka.....	10
Slika 10: Primer načrta evakuacije [13].....	13
Slika 11: Znak za zbirno mesto in znak za izhod [14].....	14
Slika 12: Tloris OŠ Prade [19].....	19
Slika 13: Načrt evakuacijske poti.....	20
Slika 14: Dolžina evakuacijske poti, pritličje.....	21
Slika 15: Dolžina evakuacijske poti, 1. nadstropje.....	22
Slika 16: Lokacija kuhinje.....	26
Slika 17: Kuhinja – rdeči krog označuje mesto nastanka požara.....	27
Slika 18: Varianta 1 - evakuacija pri 30 sekundah.....	28
Slika 19: Varianta 1 - evakuacija pri 50 sekundah.....	29
Slika 20: Varianta 1 - evakuacija pri 65 sekundah.....	30
Slika 21: Varianta 1 - evakuacija pri 100 sekundah.....	31
Slika 22: Časovni potek evakuacije – varianta 1.....	32
Slika 23: Časovni potek temperature.....	33
Slika 24: Časovni potek vidljivosti.....	33
Slika 25: Lokacija tehnične učilnice in merilnih naprav.....	34
Slika 26: Tehnična učilnica – rdeča elipsa označuje mesto nastanka požara.....	35
Slika 27: Varianta 2 - evakuacija pri 30 sekundah.....	36
Slika 28: Varianta 2 – evakuacija pri 55 sekundah.....	37
Slika 29: Varianta 2 – evakuacija pri 100 sekundah.....	38
Slika 30: Varianta 2 – evakuacija pri 120 sekundah.....	39
Slika 31: Varianta 2 – časovni potek evakuacije.....	40
Slika 32: Časovni potek temperature – varianta 2.....	41
Slika 33: Časovni potek vidljivosti – varianta 2.....	42
Slika 34: Lokacija knjižnice in točkovnih merilnikov.....	43
Slika 35: Knjižnica – rdeči krog prikazuje mesto nastanka požara.....	44

Slika 36: Varianta 3 - Evakuacija pri 30 sekundah .....	45
Slika 37: Varianta 3 - Evakuacija pri 50 sekundah .....	46
Slika 38: Varianta 3 - Evakuacija pri 100 sekundah .....	47
Slika 39: Časovni potek evakuacije – varianta 3.....	48
Slika 40: Časovni prikaz temperature – varianta 3.....	49
Slika 41: Časovni potek vidljivosti – varianta 3.....	49
Slika 42: Evakuacijska pot – uporaba sekundarnega stopnišča.....	52
Slika 43: Varianta A1 – evakuacija pri 30 sekundah .....	53
Slika 44: Varianta A1 – evakuacija pri 50 sekundah .....	54
Slika 45: Varianta A1 – evakuacija pri 76 sekundah .....	55
Slika 46: Varianta A1 – evakuacija pri 100 sekundah .....	55
Slika 47: Evakuacijski časi za posamezne variante.....	56
Slika 48: Varianta A3(2) – Evakuacija pri 50 sekundah.....	57
Slika 49: Varianta A3(2) – Evakuacija pri 75 sekundah.....	58
Slika 50: Varianta A3(2) – Evakuacija pri 100 sekundah.....	59
Slika 51: Varianta A3(2) – Evakuacija pri 120 sekundah.....	59
Slika 52: Temperatura na sekundarnem stopnišču.....	60
Slika 53: Vidljivost na sekundarnem stopnišču .....	60
Slika 54: Povečanje skupne širine izhodov .....	61
Slika 55: Varianta B1,C1 - Evakuacija pri 30 sekundah.....	62
Slika 56: Varianta B1,C1 - Evakuacija pri 50 sekundah.....	63
Slika 57: Varianta B1,C1 - Evakuacija pri 100 sekundah.....	64
Slika 58: Evakuacijski časi za prvo nadstropje oziroma za celotni objekt – gradbeni ukrepi.....	65
Slika 59: Optimalna varianta - Evakuacija pri 30 sekundah .....	67
Slika 60: Optimalna varianta - Evakuacija pri 50 sekundah .....	68
Slika 61: Optimalna varianta - Evakuacija pri 76 sekundah .....	68
Slika 62: Optimalna varianta - Evakuacija pri 30 sekundah .....	69
Slika 63:Končna primerjava evakuacijskih časov.....	70

**»Ta stran je namenoma prazna.«**



## 1 UVOD

V primeru nastanka požara v stavbah je potrebno zmanjšati nastanek potencialno smrtno nevarnih situacij, zato je pomembno zagotoviti hitro in učinkovito evakuacijo. Uspešnost evakuacije objekta je zagotovo najbolj odvisna od dobre predhodne analize in posledično od projektirane požarne evakuacijske poti.

Požar je nenadzorovano širjenje ognja, ki povzroči veliko škodo. Najbolj pogosti vzroki za nastanek požara v stavbah so napake na električnem omrežju ali na grelnih napravah in človeška malomarnost. Požar se lahko širi iz mesta vžiga v ostale dele objekta neposredno s plameni ali s prenosom toplote. Velika količina oddane toplote in ostalih stranskih produktov gorenja lahko ogrozi človeška življenja, zato je potrebno stavbe učinkovito in v najkrajšem času evakuirati. Razvoj požara v stavbah je podrobno opisal Repše v diplomski nalogi Razvoj požara v knjižnici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo [1].

Evakuacija je organiziran umik ljudi iz objekta na prosto zaradi nevarnosti širjenja požara in njegovih stranskih produktov znotraj stavbe. Pri večjih objektih oziroma pri objektih z velikim številom uporabnikov je zaradi požarne ogroženosti, potrebno ustrezno načrtovati evakuacijsko pot. Evakuacijska pot mora zagotoviti umik oseb iz katerekoli točke v objektu do predvidenega zbirnega mesta in omogočiti gasilcem ter reševalnim ekipam hitro in učinkovito delovanje. Teoretične osnove in zakonodajo sta predhodno v diplomskih nalogah preučili Jerončič [2] in Zorko [3].

Zaradi starosti objekta OŠ Prade sem se odločil za analizo projektiranega evakuacijskega načrta. Preveril sem predvsem dolžino evakuacijske poti in skupno širino evakuacijskih izhodov ter opazoval nastanek morebitnih zastojev vzdolž evakuacijske poti na delu objekta z največjim številom uporabnikov: predmetna stopnja.

V uvodnem delu naloge sem na kratko opisal teorijo gorenja, predstavil potek nastanka požara v stavbah in prikazal vpliv stranskih produktov gorenja na človeška življenja. V nadaljevanju sem predstavil osnovne pojme evakuacije in omenil del zakonodaje, ki neposredno obravnava evakuacijo objektov in značilnosti požarnih evakuacijskih poti.

Glavni del diplomske naloge zajema kontrolo predvidene evakuacijske poti in analizo različnih scenarijev v primeru nastanka požara. Začetne meritve so opravljene na dimenzijah predvidene evakuacijske poti. Mejne vrednosti za dolžino in širino evakuacijske poti ter za skupno širino izhodov so preverjene z enačbami oziroma mejnimi vrednostmi, ki so predpisane v tehnični smernici TSG-1-001:2010 (TSG1). Potek evakuacije objekta za različne požarne scenarije je izveden s pomočjo programske opreme. Osnovni scenariji predstavljajo evakuacijo objekta pri nastanku požara v šolski kuhinji, knjižnici in učilnici za tehnični pouk. Simulacija omogoča predvsem opazovanje poteka evakuacije skozi zožitve evakuacijske poti in širitev stranskih produktov gorenja znotraj objekta. Z

analizo simulacije različnih scenarijev sem določil možne izboljšave za učinkovitejše evakuiranje objekta in za zmanjšanje vplivov stranskih produktov gorenja vzdolž evakuacijske poti. Primerjave evakuacijskih časov in vpliva stranskih produktov gorenja so prikazane s pomočjo grafikonov. Možne izboljšave so predstavljene po skupinah glede na potrebne posege v konstrukcijo objekta. Na podlagi analize različnih ukrepov je predlagana optimizirana rešitev, ki predstavlja najmanjši evakuacijski čas in najmanjše tveganje v primeru nastanka požara.

## 2 OSNOVE GORENJA

### 2.1 Osnovni pojmi

Ločiti moramo 3 osnovne pojme:

- **Ogenj** je pojav, pri katerem se sproščajo svetloba, toplota in dim ob spajanju snovi z oksidacijskim sredstvom.
- **Gorenje** je eksotermna kemijska reakcija med gorljivo snovjo in oksidacijskim sredstvom.
- **Požar** je nenadzorovan ogenj, ki povzroča škodo. [4]

Teorija gorenja temelji na določenem ravnotežju med sestavnimi elementi oziroma na trikotniku gorenja. Trikotnik gorenja (Slika 1) tvorijo trije osnovni elementi: gorljiv material, oksidacijsko sredstvo in vir toplote ali vžiga. Za nastanek gorenja so potrebni vsi trije elementi v zadostnih količinah.



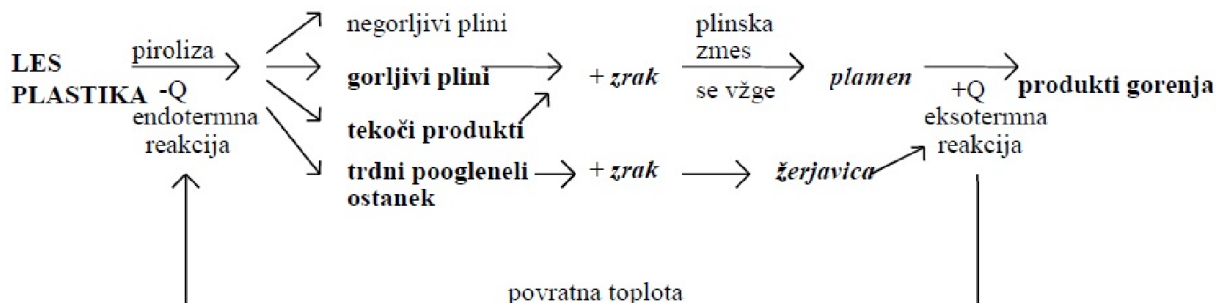
Slika 1: Trikotnik gorenja [6]

Materiali, ki zaradi svoje kemijske sestave lahko oksidirajo, smatramo kot gorljive materiale. To so predvsem materiali z visoko vsebnostjo ogljika in vodika.

Oksidacijsko sredstvo, v večini primerov gorenja, je kisik iz zraka. Volumski delež kisika v zraku znaša približno 21%. Nekateri materiali imajo v svoji kemijski strukturi že vgrajen kisik, zato pri določenih pogojih za oksidacijo ne potrebujejo zunanjega kisika (npr. etilenoksid, piroksilin, idr.).

Toplota je nujno potrebna pri procesu oksidacije, saj mora zagotoviti začetno temperaturo vžiga in omogočiti cepljenje vezi pri molekulah gorljivih snovi in kisika. Pri trdnih in tekočih snoveh omogoča kemijski razkroj snovi – piroliza.

Gorenje s pirolizo (Slika 2) je značilno za večino trdnih snovi. Pri pirolizi se trdna snov razkroji pod vplivom toplote. Trdni gorljivi produkti pirolize goriijo po mehanizmu tlenja/žarenja, hlapni in plinski produkti pa po mehanizmu gorenja s plamenom. [5]



Slika 2: Proces pirolize [7]

## 2.2 Produkti gorenja

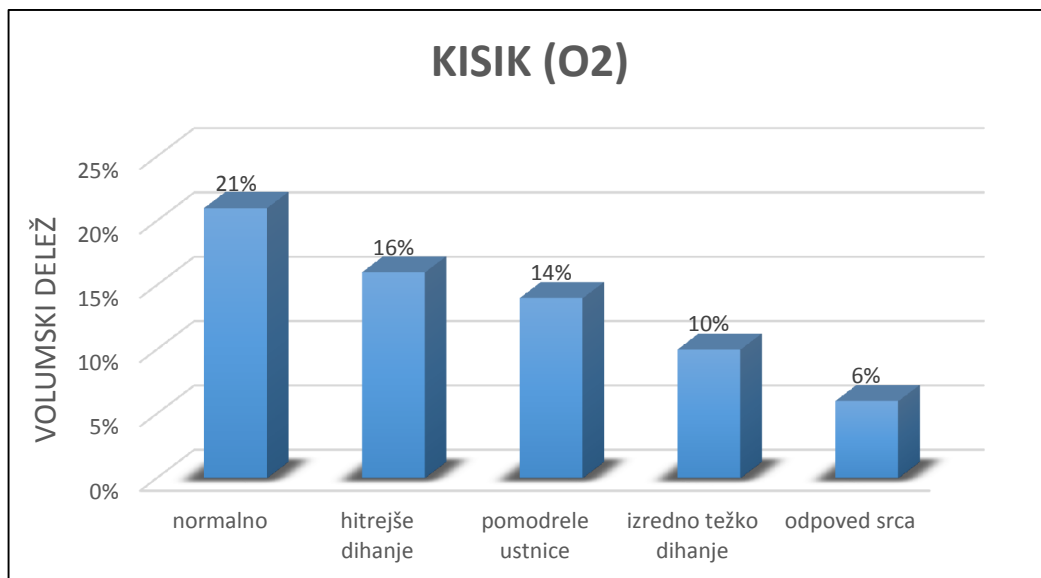
Gorenje je eksotermna reakcija, saj se več toplote sprosti kot pa porabi. Pri zelo visokih temperaturah in pri stalnem dotoku kisika (dobro prezračevanje) pride do popolnega sežiga gorljivih materialov: ogljik postane ogljikov dioksid, vodik postane vodna para, ostali elementi kot so žveplo ali dušik pa preidejo v okside. Pri nepopolnem sežigu nastanejo vmesni produkti predvsem zaradi pomanjkanja kisika ali prenizke temperature (npr. ogljik, ogljikov dioksid, očetna kislina, idr.).

Produkti, ki se sproščajo pri gorenju:

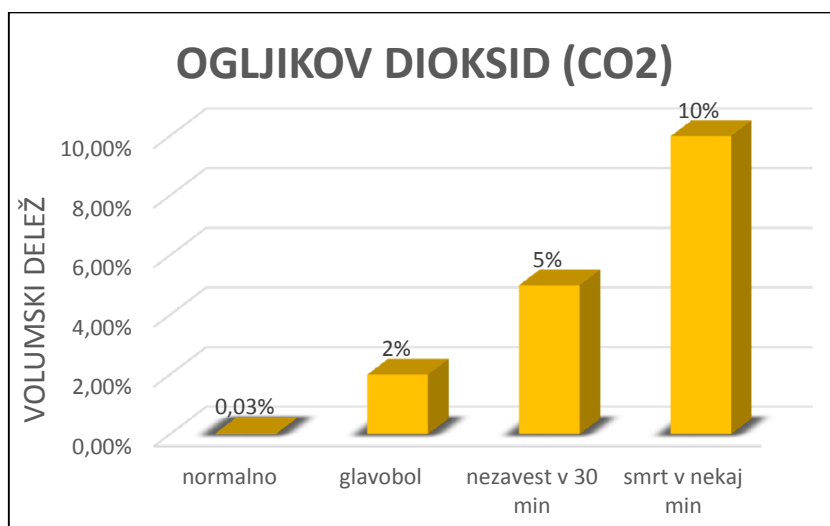
- toplota,
- svetloba,
- razni plini,
- vodna para,
- trdne snovi kot so pepel in saje. [5]

»Dim predstavlja disperzijo trdnih in tekočih delcev v nosilnem plinu, ki ga sestavljajo plinski produkti gorenja in zrak. Tekoči delci so katranu podobne kapljice ali meglica, ki jo sestavljajo tekoči produkti pirolize ali delno oksidirani produkti in voda. Trdne delce pa predstavljajo predvsem različne oblike elementarnega ogljika.« [8]

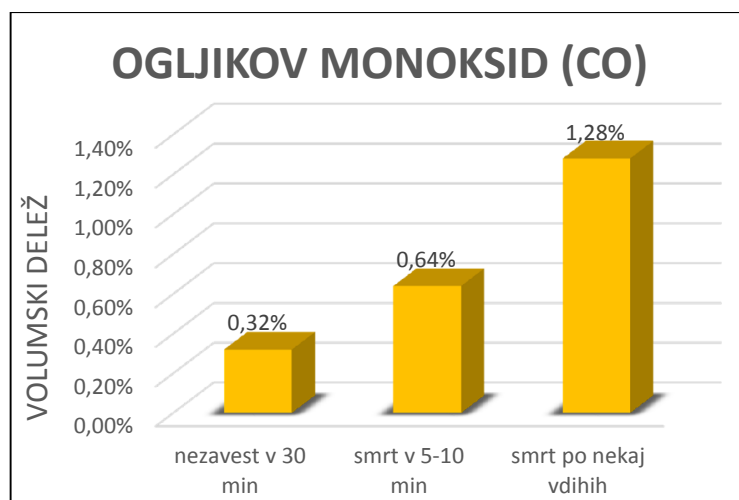
Pri gorenju se spremeni delež plinov v ozračju, kar lahko privede do smrtno nevarnega okolja. Količina kisika se zmanjša, drastično pa se poveča količina ogljikovega dioksida in ogljikovega monoksida. Posledice večjih sprememb v ozračju omenjenih plinov (Slika 3, Slika 4, Slika 5) je prikazal Tomazin [4].



Slika 3: Delež kisika v ozračju



Slika 4: Delež ogljikovega dioksida v ozračju



Slika 5: Delež ogljikovega monoksida v ozračju

### 3 POŽAR

#### 3.1 Razvoj požara v objektih

Požar predstavlja proces nekontroliranega gorenja, pri katerem v večini primerov prevladujejo procesi nepopolnega zgorevanja. Za nastanek požara so potrebni trije osnovni elementi: gorljiv material, oksidacijsko sredstvo in toplota. [5]

#### 3.2 Prostor nastanka požara

Prostor nastanka požara je definiran kot mesto nastanka požara. Lahko ima določeno požarno odpornost ali je brez požarne odpornosti in je fizično ločen od ostalega dela objekta s stropom ter predelnimi stenami. Preučevanje prostora nastanka požara je pomembno za ugotovitev možnosti širitve požara na preostale dele objekta. Analiza prostora zajema oceno:

- toplote, ki se sprošča ob gorenju,
- količine dima,
- količine ostalih strupenih plinov,
- temperature v prostoru in
- časa do požarnega preskoka. [5]

#### 3.3 Pogosti vzroki za nastanek požara

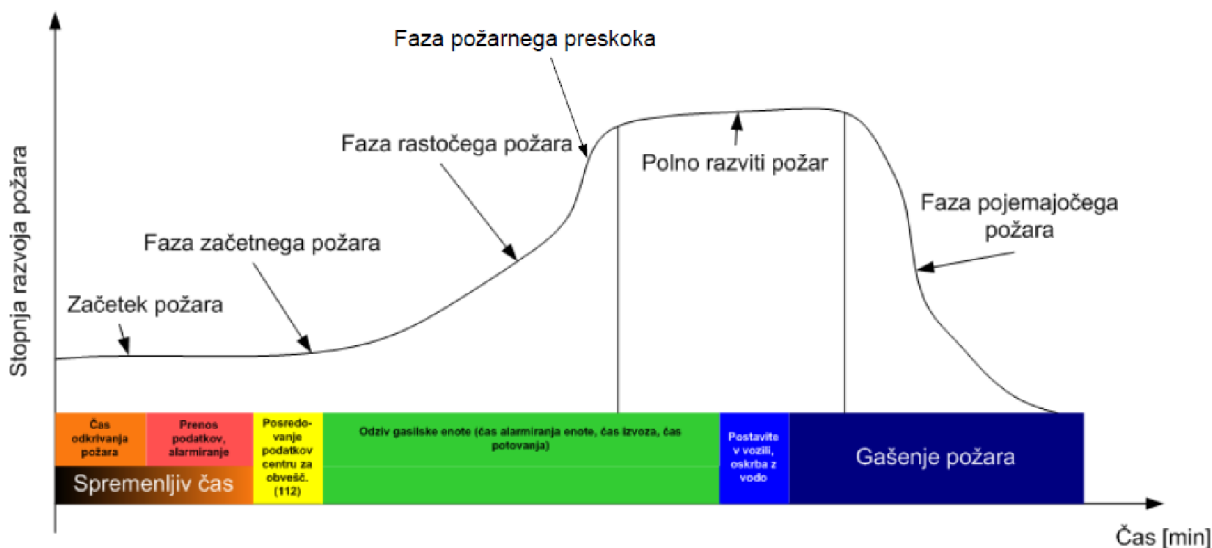
Vzroki za nastanek požara so lahko naravni ali posledice človeškega ravnanja (nepazljivost, malomarnost ali namerni požigi). Najbolj pogosti naravni vzroki so:

- naravni pojavi - strele, potresi, veter,
- električna energija - napake na napravah, dotrajanost naprav,
- gradbene pomanjkljivosti - dotrajanost posameznih delov zgradbe, slabo vzdrževanje,
- samovžigi - biološki, kemijski procesi,
- eksplozije - fizikalne, kemijske. [5]

#### 3.4 Faze požara

Običajno poteka razvoj požara v petih razvojnih stopnjah (Slika 6):

- začetni požar-vžig,
- rastoči požar,
- požarni preskok,
- polno razviti požar in
- pojemajoči požar.



Slika 6: Faze požara [9]

### 3.4.1 Začetni požar - vžig

V fazi začetnega požara pride do vžiga gorljivega materiala in posledično do začetka gorenja. Viri vžiga predstavljajo prisotnost različnih vrst energije:

- direktna izpostavljenost plamenu ali daljša izpostavljenost zunanjemu viru toplote – toplotna energija,
- nastajanje električnih isker – električna energija,
- iskrenje zaradi obdelave ali trenja – mehanska energija,
- eksotermne kemijske reakcije – kemična energija in
- mikrobiološko delovanje – biološka energija. [4]

### 3.4.2 Rastoči požar

V začetni fazi razvoja požara je hitrost gorenja predvsem odvisna od lastnosti gorljivega materiala, manj pa od dovajanja kisika. Pri plinskih eksplozijah je gorenje zelo hitro, pri kompaktnem lesu je enakomerno, pri tlenju pa je zelo počasno. Za počasno gorenje je značilna velika količina dima in posledično nižja temperatura. Gibanje delcev dima in ostalih ne zgorelih plinov je odvisno od pretoka zraka. Pri hitrem požaru je značilno gorenje s plamenom in visoka količina sproščene toplote. Širjenje požara na ostale gorljive materiale prisotne v okolici povzroči dvig temperature požara. [5]

### 3.4.3 Požarni preskok

Požarni preskok je prehod značilen za zaprte prostore, ko se zaradi vzpona temperature zraka oz. dimnih plinov (na 500-600°C) v kratkem času vžgejo vsi še ne goreči materiali v prostoru. Plameni zajamejo celotni prostor in požar preide v polno razviti požar. [5]

#### **3.4.4 Polno razviti požar**

Faza polno razvitega požara nastopi po požarnemu preskoku. Vsi gorljivi materiali so zajeti v požar, temperatura pa je blizu maksimalne vrednosti in v kratkem prične upadati. Zaradi pomankanja kisika v tej fazi prevladuje gorenje materialov s pirolizo. Hitrost gorenja in količina oddane toplote je odvisna od pretoka svežega zraka oz. od ventilacije ter od vrste razpoložljivega goriva. V primeru omejenega pretoka zraka se lahko zgodi, da požar ne pride v fazo požarnega preskoka in posledično sam ugasne. V fazi polno razvitega požara običajno pride do širjenja požara v sosednje prostore. [5]

#### **3.4.5 Pojemajoči požar**

Zaradi pomanjkanja kisika ali gorljivega materiala začne požar počasi pojemati. Hitrost gorenja v tej fazi je običajno odvisna od gorljivega materiala. V primeru prehoda iz polno razvitega požara v pojemajočo fazo, zaradi pomankanja kisika, je možen ponovni prehod v predhodno fazo ob daljšem dovodu kisika. [5]

### **3.5 Dejavniki ki vplivajo na intenziteto požara**

Vpliv požara na konstrukcijske gradbene elemente in na notranje elemente določa intenziteta požara. Definirana je kot količina toplote, ki se sprosti v časovni enoti in je odvisna od:

- požarne obremenitve,
- lastnosti gorljivih materialov,
- površine gorljivih materialov,
- dovoda zraka in
- odvajanja toplote iz prostora.

Nižja temperatura v prostoru predstavlja manjšo verjetnost poškodb na notranji opremi in predvsem na nosilnih gradbenih elementih. [5]

#### **3.5.1 Požarna obremenitev**

Požarna obremenitev je odvisna od količine in vrste gorljivih snovi. Definirana je kot količina toplote, ki bi se sprostila pri popolnem sežigu vseh gorljivih materialov v prostoru. Slika 7 prikazuje količino toplote, ki se prosti pri popolnem sežigu 1kg materiala. [4]



<b>MATERIAL</b>	<b>kJ/kg</b>
šota	5360
hrastov les	16700
bombaž	16750
papir	16900
borov les	19200
volna	22760
antracit	28175
oglje	28496
koks	30060
živalske maščobe	39800
kurilno olje	44570
kerozin	46050

Slika 7: Količina oddane toplote [10]

### **3.5.2 Velikost površine gorljivih materialov**

Požar se lahko vname samo na ali ob površini snovi (trdne snovi in tekočine), zato so materiali z večjo specifično površino bolj vnetljivi in lažje gorijo. [5]

### **3.5.3 Dovajanje zraka**

Na intenziteto in hitrost gorenja ima največji vpliv dovod svežega zraka oz. ventilacija. V zraku je približno 21% kisika, vendar se pri gorenju porablja. Minimalna koncentracija kisika, ki zadošča za gorenje znaša v večini primerov 16%. Nekatere snovi kot so hlapi kerozina in balirani ostanki bombaža lahko gorijo tudi pri nižjih koncentracijah kisika (tudi do 8%). Snovi, ki omogočajo gorenje tudi v odsotnosti atmosferskega kisika, imenujemo oksidanti. [5]

### **3.5.4 Odvajanje toplote**

Temperatura v prostoru požara je odvisna predvsem od toplotnih lastnosti obodnih gradbenih elementov in vertikalnih ter horizontalnih odprtih. Toplotna kapaciteta in toplotna prevodnost materialov vpliva na delež absorbirane toplote in delež toplote odvedene iz prostora v okolico. V primeru odprtih je omogočeno odvajanje vročih dimnih plinov, ki povzročajo dvig temperature v prostoru. [5]

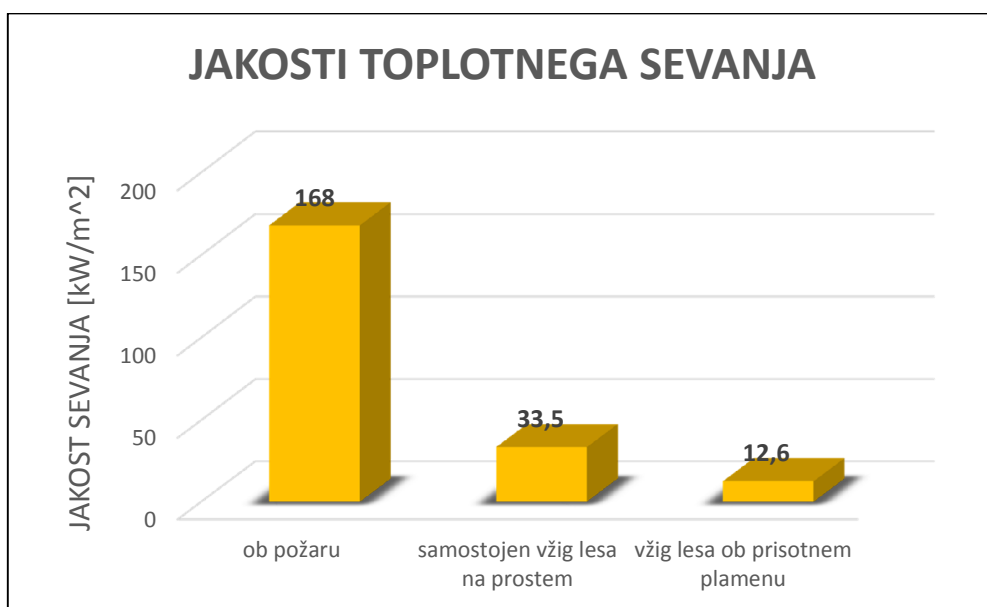
## **3.6 Mehanizmi širjenja požara po objektu**

Požar se lahko širi po objektu neposredno s prenosom toplote ali posredno s plameni. Širjenje požara neposredno s plameni je možno le ob površini gorljivih materialov ali s širjenjem plamena v zraku preko vnetljivih plinskih zmesi.

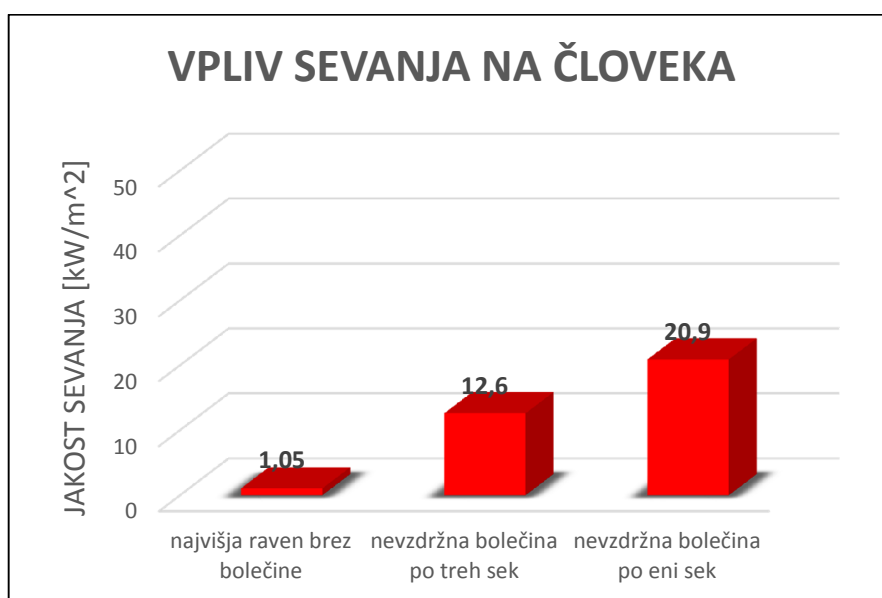
Širjenje požara s prenosom toplote poteka z mesta z višjo temperaturo na mesto z nižjo temperaturo po enem od naslednjih treh mehanizmov:

- kondukcija
- konvekcija in
- sevanje. [5]

Jakost toplotnega sevanja v primeru požara (Slika 8) in njene vplive na človeka (Slika 9) je prikazal Tomazin [4].



Slika 8: Jakost toplotnega sevanja



Slika 9: Vpliv sevanja na človeka

### 3.7 Vplivi lastnosti gradbenih materialov in elementov na širjenje požara

Gradbene materiale lahko razdelimo na dve veliki skupini: gorljive in negorljive. Gorljivi gradbeni materiali omogočajo širjenje požara neposredno s plameni ali posredno s prenosom toplote. Ob segretju nad temperaturo vnetišča se vnamejo in gorijo z žarom ali s plamenom. To so predvsem organske snovi oz. materiali ki so pretežno sestavljeni iz ogljikovodikov. Gorljive materiale delimo na:

- težko vnetljive, po odstranitvi plamena gorenje preneha ali napreduje le v obliki žara,
- normalno vnetljive, omejeno širjenje plamena in toplote,
- lahko vnetljive, npr. volna, bombaž, celulozna vlakna...

Negorljivi gradbeni materiali se ne morajo vžgati, zato prispevajo k širitvi požara le posredno s prenosom toplote. Takšni materiali so npr. umetni kamen, beton, jeklo in vsi ostali materiali, ki ne vsebujejo organskih snovi.

V fazi razvitega požara lahko pride do poškodbe predelnih ali nosilnih elementov zaradi povišane temperature. Poškodba ali porušitev predelnih elementov omogoča širitev požara v sosednje prostore. Na širjenje požara v prostoru nastanka in v sosednje prostore vplivajo predvsem naslednje lastnosti materialov:

- gorljivost,
- vnetljivost,
- temperatura vžiga in samovžiga,
- toplotna kapaciteta,
- toplotna prevodnost,
- toplotna emisivnost,
- gostota,
- specifična površina,
- hitrost sproščanje toplote,
- mejne koncentracije vnetljivosti in eksplozivnosti. [11]

## 4 EVAKUACIJA

»Evakuacija je organiziran umik ljudi, živali in premoženj iz določenega objekta ali določenega območja, ki je ogroženo zaradi požara ali prisotnosti nevarnih snovi, saj obstaja možnost zadušitve, zastрупitve, širjenja požara, eksplozije,...« [12]

Evakuacijo se izvaja tudi v primerih naravnih nesreč, ko gre za masovno reševanje ljudi iz enega na drugo območje. Evakuacijo pogosto razdelimo na dve glavni skupini glede smeri evakuacije:

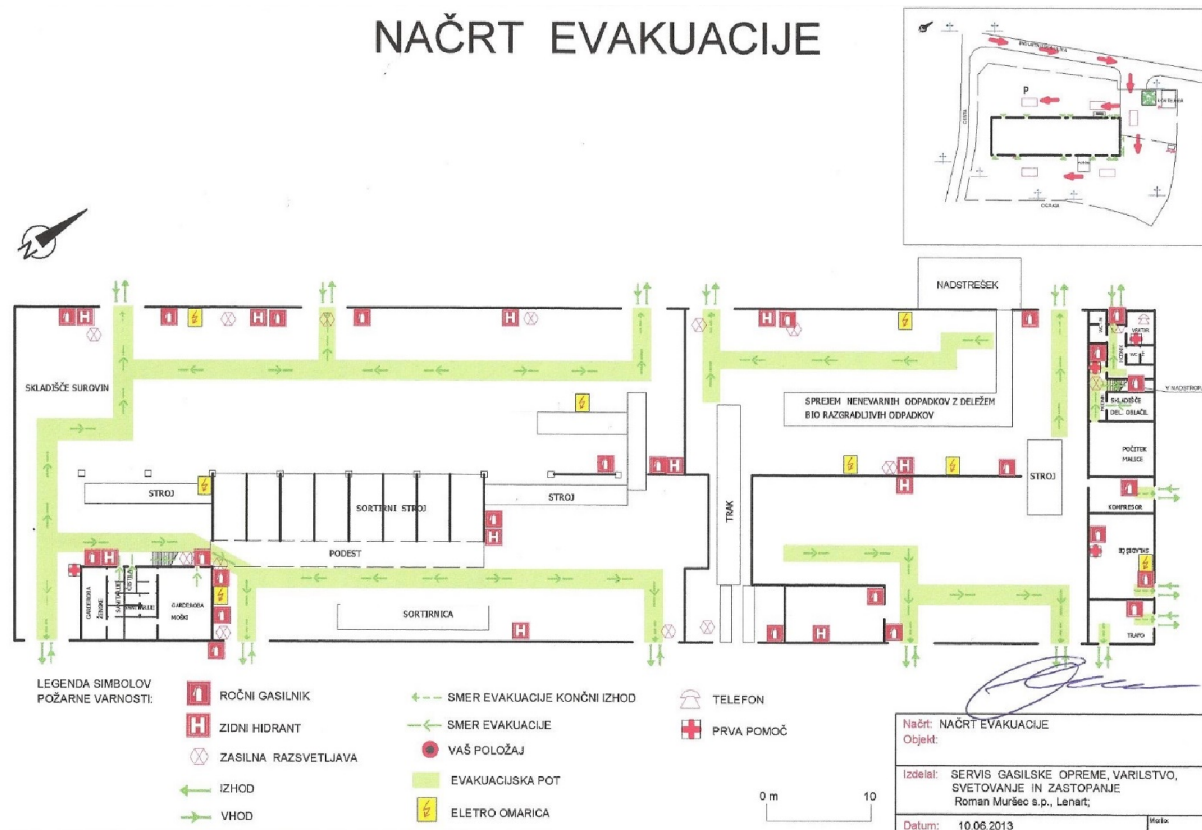
- vertikalna evakuacija in
- horizontalna evakuacija.

Vertikalna evakuacija poteka v več ravninah. Prehod med ravninami je v večini primerov omogočen preko stopnic, kar lahko predstavlja veliko oviro za določene skupine ljudi z omejenimi motoričnimi sposobnostmi. Kljub zanesljivim alternativam, kot so požarno odporna dvigala se velikokrat načrtujejo varna zbirna mesta v posameznih etažah zgradbe.

Horizontalna evakuacija poteka na nivoju ene etaže. Osebe se evakuirajo v horizontalni smeri iz ogroženega sektorja na prosto oziroma na varna mesta locirana v isti ravnini. [11]

### 4.1 Načrt evakuacije

Načrt evakuacije (Slika 10) je grafični prikaz objekta ali delov objekta, ki prikazuje potek evakuiranja oseb na varno mesto v primeru požara ali drugi nevarnosti. Vsebovati mora potek in smer evakuacijske poti, lokacijo zbirnih mest, položaj gasilnikov in ročnih javljalnikov ter prikazovati mesto lokacije načrta. [11]



Slika 10: Primer načrta evakuacije [13]

## 4.2 Zagotavljanje varnosti poteka evakuacije

Uspešnost varne evakuacije je odvisna predvsem od:

- izvedbe evakuacijskih poti,
- lastnosti uporabnikov objekta,
- požarne obremenitve in
- organizacije v primeru požara.

Za uspešno izvedbo evakuacije je potrebno paziti na potrebni čas za varen umik, ki ne sme biti večji od razpoložljivega časa za varen umik.

Razpoložljiv čas za varen umik zahteva inženirsko oceno, ki upošteva dejavnike kot so konfiguracija objekta, požarni scenarij z napovedanim razvojem požara, količino dima in temperaturo v požaru.

Potreben čas za varen umik je odvisen od sistema za javljanje in alarmiranje ter od vrste parametrov, ki se nanašajo na gibanje uporabnikov pri evakuaciji:

- obnašanje pred začetkom umika
- obnašanje pri umiku. [11]

### 4.3 Evakuacijska pot

Evakuacija se izvaja po predvidenih evakuacijskih poteh, ki so vnaprej določene in preverjene ter morajo zagotoviti:

- varen umik uporabnikov na varno mesto v zgradbi ali izven zgradbe,
- gasilcem in reševalnim ekipam, iskanje in reševanje uporabnikov med samim požarom.

Varno mesto je mesto kjer se lahko ljudje umaknejo iz ogroženega predela stavbe. Zaščitena stopnišča ali drugi požarni sektorji morajo zagotoviti varen umik na prosto.

Za varen potek evakuacije morajo biti evakuacijske poti:

- v zadostnem številu,
- na ustreznih lokacijah,
- ustrezne širine in dolžine,
- požarno ločene od ostalih delov objekta,
- opremljene s sistemi za nadzor dima,
- ustrezno označevane in osvetljene,
- brez ovir in proste,
- lahko dostopne in enostavne za uporabo. [11]

### 4.4 Označevanje evakuacijske poti

Znaki za izhode (Slika 11) morajo biti nameščeni, nad izhodi evakuacijskih poti, kot so vrata iz prostorov, vrata v stopnišča, prehodi in izhodi iz zgradbe. Znaki za smer umika morajo biti nameščeni na prehodih in hodnikih.



Slika 11: Znak za zbirno mesto in znak za izhod [14]

V javnih zgradbah, kjer se zbere večje število ljudi, morajo biti nameščeni trajno osvetljeni znaki, ki so osvetljeni z vgrajenim notranjim ali zunanjim svetilom. [11]

## 5 ZAKONODAJA

Zakonodaja določa ukrepe za preprečevanje in omejitev posledic v primeru nastanka požara. Zakoni in pravilniki, ki obravnavajo požar v objektih in evakuacijo objektov so:

- Zakon o varstvu pred požarom, [15]
- Pravilnik o požarni varnosti v stavbah in, [16]
- Pravilnik o požarnem redu. [17]

### 5.1 Zakon o varstvu pred požarom

Zakon o varstvu pred požarom je bil sprejet leta 1993. Namen zakona je bil vzpostaviti sistem varstva pred požarom. Sistem varstva pred požarom zajema organiziranje, načrtovanje, izvajanje, nadzor ter financiranje dejavnosti in ukrepov varstva pred požarom. Določeni členi zakona so bili z leti modificirani ali dopolnjeni. Cilji dejavnosti in ukrepov so zapisani v 4. členu uradnega prečiščenega besedila [15]:

- načrtovanje in upoštevanje preventivnih ukrepov varstva pred požarom;
- odkrivanje, obveščanje, omejitev širjenja in učinkovito gašenje požara;
- **varen umik ljudi in živali s požarno ogroženega območja;**
- preprečevanje in zmanjševanje škodljivih posledic požara in eksplozije za ljudi, živali, premoženje in okolje;
- vzpostavitev ekonomskih razmerij med predpisanimi preventivnimi ukrepi varstva pred požarom in pričakovano požarno škodo.

### 5.2 Pravilnik o požarni varnosti v stavbah

Pravilnik o požarni varnosti v stavbah je bil izdelan na podlagi drugega odstavka 10. člena Zakona o graditvi objektov. Pravilnik določa ukrepe, ki jih je potrebno izvesti za zagotovitev požarne varnosti v stavbah. Cilj pravilnika je omejiti ogrožanje ljudi, živali in premoženja v stavbi ter uporabnikov sosednjih stavb, omejiti ogrožanje okolja in zagotoviti učinkovito ukrepanje gasilcev. 5. člen pravilnika obravnava evakuacijske poti in sisteme za javljanje ter alarmiranje [16]:

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

Na podlagi pravilnika o požarni varnosti v stavbah je nastala tehnična smernica TSG-1-001:2010.

### 5.3 Pravilnik o požarnem redu

Na podlagi 6. odstavka Zakona o varstvu pred požarom je bil leta 2007 sprejet Pravilnik o požarnem redu. Pravilnik določa objekte, za katere je potrebno izdelati požarni red, požarni načrt in načrt evakuacije ter vsebino le teh. Štiri leta kasneje je bil izdan Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o požarnem redu, v katerem se obravnava vsebino evakuacijskega načrta in lastnosti evakuacijskih poti (10. člen) ter napotke za izvajanje evakuacije (11.člen) [17]:

- Lastnik ali uporabnik stanovanjskega, poslovnega in industrijskega objekta, ki mora izdelati požarni red v skladu s predpisi, mora zagotoviti, da so evakuacijske poti in zasilni izhodi vedno prosti in prehodni. Ob nevarnosti mora biti uporabnikom objektov omogočena hitra in varna evakuacija.
- Lastniki ali uporabniki objektov, za katere je treba v skladu z drugim odstavkom 2. člena tega pravilnika, izdelati načrt evakuacije, morajo najmanj enkrat letno izvesti praktično usposabljanje za izvajanje evakuacije iz objekta ob požaru ter voditi evidenco o času, sodelujočih in načinu izvedbe usposabljanja.



## **6 TEHNIČNA SMERNICA TSG-1-001:2010**

Tehnična smernica TSG-1-001:2010 (TSG1) [18] obravnava požarno varnost v stavbah. Sestavljena je iz 4 poglavij:

- širjenje požara na sosednje objekte,
- nosilnost konstrukcije in širjenje požara po stavbah,
- **evakuacijske poti in sistemi za javljanje ter alarmiranje** in
- naprave za gašenje in dostop gasilcev.

V nadaljevanju so povzeti deli TSG1, ki se direktno nanašajo na vsebino obravnavanega problema v diplomski nalogi.

### **6.1 Evakuacijske poti in sistemi za javljanje ter alarmiranje**

#### **6.1.1 Evakuacijska pot**

Za uporabnike objekta mora evakuacijska pot predstavljati najkrajšo možno pot iz ogroženih prostorov na prosto. Evakuacijsko pot se projektira glede na:

- število uporabnikov,
- število in velikosti etaž,
- površino in namembnost stavbe ter njena razdelitev v požarne sektorje.

#### **6.1.2 Dolžina evakuacijskih poti**

Dolžina evakuacijske poti predstavlja vsoto največje razdalje med izhodom in najbolj oddaljeno točko prostora ter dolžine poti po hodniku do izhoda na prosto ali v zaščiteno stopnišče. Hodniki, ki so del evakuacijskih poti morajo voditi do izhodov na prosto ali do zaščiteneh stopnišč.

V prostorih z enim samim izhodom, največja dovoljena razdalja do izhodnih vrat ne sme presegati 20m, v prostorih z vsaj dvema izhodoma pa 35m. Izhodi iz prostora morajo biti razporejeni tako, da zagotavljajo neodvisne izhodne poti. Pogosto se izhode projektira tako da je razdalja med njimi največja.

Skupna dolžina evakuacijske poti, ki vodi do enega izhoda na prosto ali do zaščiteneh stopnišč ne sme presegati 35m. V primeru več izhodov na prosto ali več zaščiteneh stopnišč, največja dovoljena dolžina znaša 50m (za posamezno pot).

### 6.1.3 Širina evakuacijskih poti

Širina evakuacijske poti je odvisna od števila uporabnikov in se ne sme zmanjšati vzdolž evakuacijskih poti. Širino določajo:

- svetla širina vrat,
- svetla širina hodnika,
- pohodna površina stopnišča.

Najmanjša dovoljena svetla širina vrat na evakuacijski poti znaša 0,9m, najmanjša širina stopnišč in hodnikov pa 1,2m.

### 6.1.4 Zaščitena stopnišča

Stopnišče lahko štejeemo za zaščiteno, če je urejeno tako, da je varno pred požarom v stavbi. Fizično mora biti ločeno od ostalega dela objekta, imeti neposredni izhod na prosto in omogočiti umik na varno mesto. Na zunanji strani objekta, okoli stopnišča, mora biti zagotovljena:

- požarna odpornost fasade – izvedba z negorljivimi materiali,
- požarna odpornost odprtín na fasadi in
- požarna odpornost dostopov na zunanje stopnišče.

### 6.1.5 Stopnice in klančine

Stopnice in podesti na evakuacijski poteh morajo biti lahko dostopni in enostavni za uporabo. Posebne oblike stopnišč kot so krožna ali zvrta so dovoljene le kot servisni dostopi in kot notranje povezave v stanovanjih. Stopnišča z eno ali dvema stopnicama niso dovoljena na evakuacijski poti.

Na evakuacijskih poteh znaša največji dovoljen naklon klančin 6%.

### 6.1.6 Zaščiteni hodniki

Zaščiteni hodniki so del evakuacijske poti, zato morajo biti požarno ločeni od ostalega dela objekta. Stene in vrata zaščitenih hodnikov so grajene iz požarno odpornih materialov in zagotavljajo normalen prehod uporabnikov v primeru požara.

### 6.1.7 Varnostna razsvetljava

Evakuacijske poti morajo biti osvetljene do izhoda na prosto, zato je potrebno zagotoviti rezervno električno napajanje varnostne razsvetljave najmanj tri ure.

## 7 PREDSTAVITEV OBJEKTA

### 7.1 Opis in lokacija

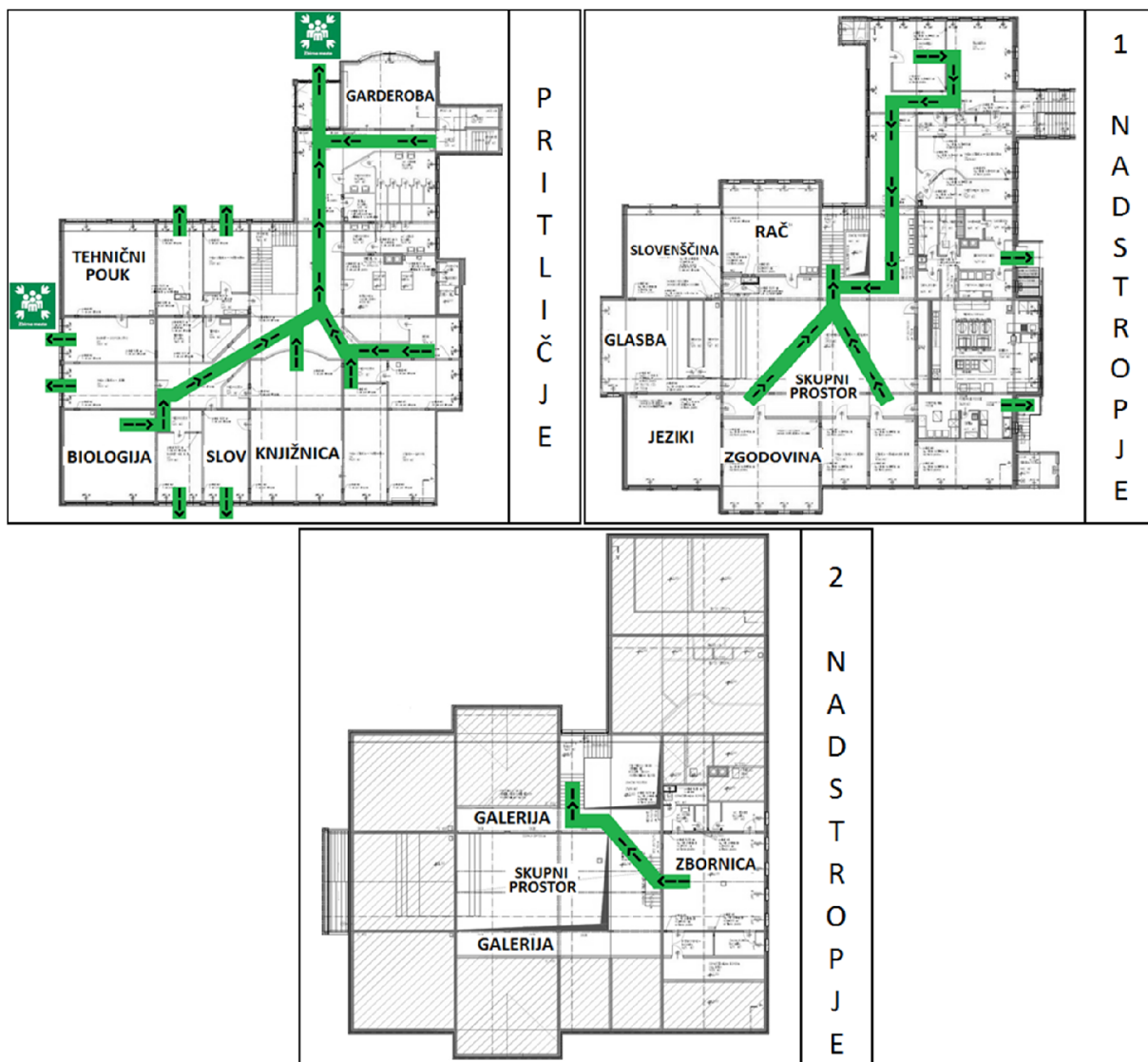
OŠ Elvire Vatovec se nahaja v vasi z imenom Prade. Prade so naselje v obalno kraški regiji, 5km oddaljene od Kopra, s približno 1000 prebivalci. Šola je sestavljena iz treh delov: razredna stopnja, predmetna stopnja in telovadnica (Slika 12). Obravnavani del stavbe v diplomski nalogi je predmetna stopnja, ki predstavlja učni prostor za učence od šestega do devetega razreda. Objekt sestavljajo pritličje in dve nadstropji s skupno uporabno tlorisno površino  $\sim 1950\text{m}^2$ . Atrijska arhitektonska zasnova objekta omogoča pogled iz galerije drugega nadstropja na celotni skupni prostor oz. jedilnico (Slika 13). Poleg 17 učilnic in jedilnice, se nahajajo v tem delu objekta še knjižnica, zbornica, kuhinja in ostali prostori za strokovne sodelavce, za približno 250 ljudi v normalnem delovnem dnevu. V nadaljevanju naloge bom pri izračunih upošteval 260 uporabnikov.



Slika 12: Tloris OŠ Prade [19]

### 7.2 Evakuacijski načrt

Po predvidenem evakuacijskem načrtu poteka evakuacijska pot (Slika 13) po glavnem stopnišču objekta, preko večnamenskega prostora, do glavnega vhoda/izhoda. V prvem nadstropju sta predvidena dva zasilna izhoda v kuhinji oziroma skladišču, v pritličju pa poleg glavnega izhoda s požarnimi vrati s panično kljuko še dodatnih šest zasilnih izhodov iz posameznih učilnic. Zbirni mesti sta predvideni na igralni površini pred glavnim vhodom in na travniku ob zahodnem delu fasade. Gasilniki in naprave za alarmiranje se nahajajo na hodnikih ob glavnemu stopnišču, v vseh treh nadstropjih. Hodniki po katerih poteka evakuacija so širine 3,2 m, glavno stopnišče pa je širine 1,8m. Vrata na glavnem izhodu so širine 1,5m.



Slika 13: Načrt evakuacijske poti

## 8 ANALIZA EVAKUACIJSKE POTI

Za predmetno stopnjo OŠ Prade bom preveril ustreznost projektiranih evakuacijskih poti in s pomočjo programske opreme poskusil izboljšati potek evakuacije. Širine in dolžine evakuacijskih poti bom preveril z enačbami, ki so podane v tehnični smernici TSG1. Za dele evakuacijskih poti, ki ne bodo zadostili predpisom bom predlagal alternativne rešitve.

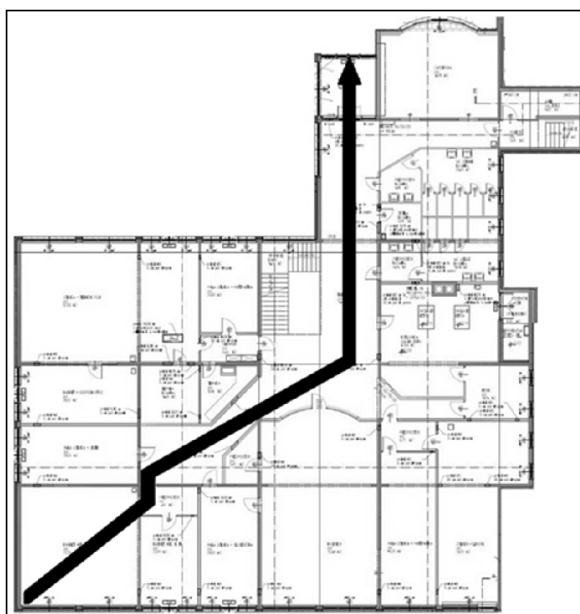
S pomočjo programske opreme Pyrosim [20] in Pathfinder [21] bom simuliral nastanek požara v različnih prostorih znotraj predmetne stopnje in spreminjal potek skozi evakuacijske poti za posamezne skupine uporabnikov. Opazoval bom potek širjenja požara in nevarnih stranskih produktov ter preverjal vpliv slednjih na izvedbo evakuacije.

Potek evakuacijskih poti bo ustrezal predvidenemu načrtu, vendar bo vseboval določene variacije v območjih nastanka požara. S pomočjo simulacij bom opazoval obnašanje 260 uporabnikov skozi kritične točke evakuacijskih poti: stopnice in vrata. Na podlagi rezultatov bom predlagal ukrepe za zmanjšanje evakuacijskega časa in za omejitev vplivov stranskih produktov vzdolž evakuacijski poti.

### 8.1 Račun dolžine in širine evakuacijske poti

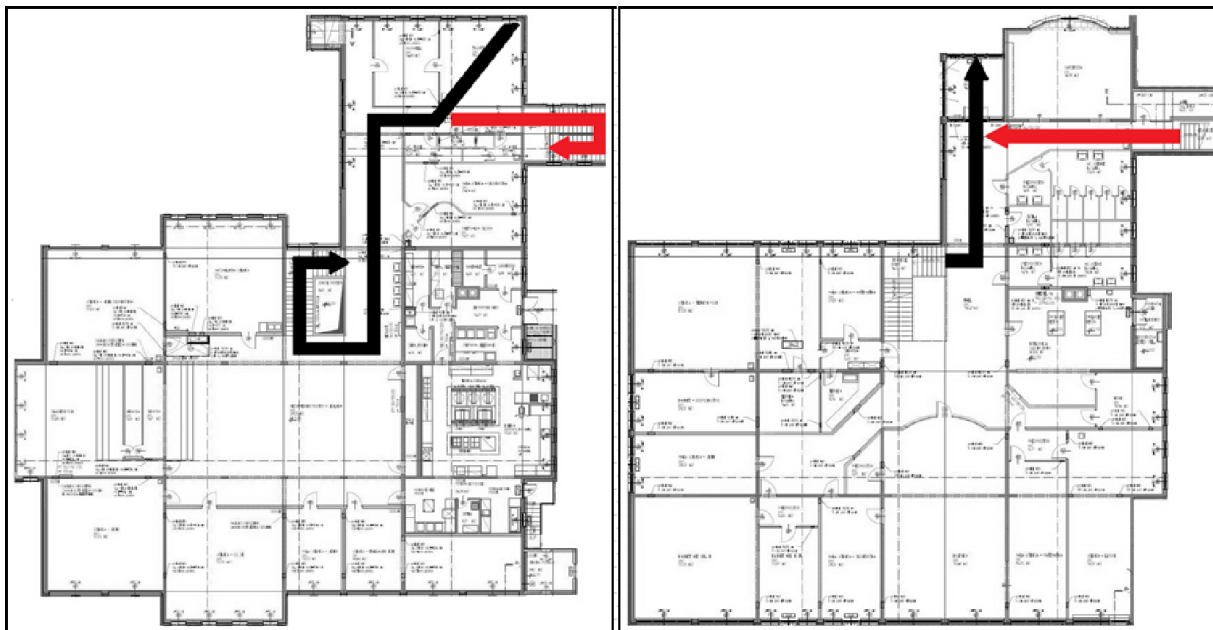
#### 8.1.1 Dolžina evakuacijske poti

Skupna dolžina evakuacijske poti je določena z najbolj oddaljeno točko v prostoru in z izhodom iz objekta. Največja dovoljena dolžina je določena v TSG1 in znaša 50m (TSG-1-001:2010, str. 38). Za pritličje predmetne stopnje je najdaljša pot iz učilnice za biologijo po glavnem hodniku do izhoda na severnem delu objekta (Slika 14) in meri  $46\text{m} < 50\text{m}$ .



Slika 14: Dolžina evakuacijske poti, pritličje

V prvem nadstropju največjo razdaljo do predvidenega izhoda predstavlja evakuacijska pot, ki poteka iz tajništva mimo toaletnih prostorov in svetovalne službe do glavnega stopnišča ter po hodniku do izhodnih vrat v pritličju (Slika 15) in znaša 52m > 50m (črna). Da bi zadostili pogojem iz tehnične smernice TSG1 bi lahko osebe zaposlene v tajništvu uporabile stopnišče, ki povezuje predmetno in razredno stopnjo. Skupna dolžina evakuacijske poti bi se tako zmanjšala na 42m < 50m (rdeča).



Slika 15: Dolžina evakuacijske poti, 1. nadstropje

Evakuacija drugega nadstropja je predvidena skozi glavni izhod v pritličju. Pot poteka iz zbornice po glavnem stopnišču do pritličja in preko hodnika do izhodnih vrat. Celotna dolžina poti presega največjo dovoljeno vrednost, saj znaša 62m. Dolžino evakuacijske poti bi lahko zmanjšali le z uporabo zasilnega izhoda v kuhinjskih prostorih. Nova pot bi potekala po glavnem stopnišču do skupnega prostora, nato pa skozi kuhinjske prostore na zunanjo dostavno površino. Skupna dolžina poti bi znašala 50m = 50m. Problem pri predlagani alternativni poti bi se pojavil v primeru požara v kuhinji, zato bom v nadaljevanju naloge upošteval evakuacijsko pot predvideno v evakuacijskem načrtu.

### 8.1.2 Širina evakuacijskih poti

Najmanjša širina evakuacijskih poti je podana v tehnični smernici TSG1. Za izhode na evakuacijski poti znaša 0,9m, za stopnišča pa 1,2m. Enačba (1) za račun potrebne širine evakuacijske poti (TSG-1-001:2010, str. 39):

$$\frac{n \times 0,6}{n_e} = \checkmark \quad (1)$$

n...dejansko število uporabnikov

$n_e$ ...računsko število uporabnikov

š...širina izhodov

Večina uporabnikov se evakuira preko glavnega izhoda. Največje število evakuiranih oseb skozi glavni izhod lahko določimo po zgornji enačbi, širina vrat meri 1,5m:

$$\frac{1,5 \times 60}{0,6} = 150$$

Večina učilnic v pritličju ima direktni izhod na prosto, zato bi lahko s primerno uskladitvijo mesta izvajanja pouka zadostili predpisanim parametrom.

Enako velja za račun širine stopnišč na evakuacijski poti. Širina glavnega stopnišča znaša 1,8m:

$$\frac{1,8 \times 60}{0,6} = 180$$

Zgornji vrednosti bi se približali le v primeru, da bi bile vse učilnice v prvem nadstropju v celoti zasedene, zato širina stopnišča zadostuje pogojem iz tehnične smernice.

## 8.2 Simulacija poteka evakuacije

### 8.2.1 Programska oprema

#### FDS in dinamika tekočin

Fire dynamics simulator (FDS) je program, ki temelji na CFD (computational fluid dynamics) modelu, s katerim lahko simuliramo nastanek in razvoj požara v določenem okolju. CFD je študija modelov tekočin, ki se lahko statično ali dinamično spreminjajo v prostoru in času. Račun dinamike tekočin temelji na numeričnih metodah z matematičnimi diferencialnimi enačbami za določitev fizikalnih karakteristik tekočine. [22]

FDS model numerično rešuje obliko Navier-Stokes enačb primernih za nizke hitrosti termalnega toka, s poudarkom na prenos toplote in dima. Enačbe za ohranitev mase, gibalne količine in energije so aproksimirane kot razlike končnih elementov. Rešitev je prikazana v časovni enoti na tridimenzionalni pravokotni mreži. Toplotno sevanje se izračuna z uporabo tehnike končnega volumna na enaki mreži. Za simuliranje gibanja dima in delovanja šprinklerjev je uporabljen Lagrangev opis gibanja delcev. [23][24]

Grafični vmesnik za lažje upravljanje s programom se imenuje Pyrosim. Slednji omogoča relativno enostavno modeliranje določenega objekta oz. uvoz objekta iz drugih programov. Rezultati izračuna so prikazani s pomočjo programa Smokeview, ki je postal sestavni del fizikalnega modela. Program projicira izračunane vrednosti v dokaj realne slike in animacije. Zaradi svojega tridimenzionalnega upodabljanja se lahko oceni potek požara v posameznih sektorjih objekta. [24]

### **Pathfinder**

Za prikaz evakuacije sem uporabil programsko opremo Pathfinder. Podobno kot Pyrosim ponuja grafični vmesnik za modeliranje in 3d prikaz rezultatov. Program je simulator evakuacije objekta, ki uporablja avtomatsko vodenje na modelu gibanja uporabnikov. Za realen potek simulacije uporablja kombinacijo načrtovanja poti, mehanizmov vodenja uporabnikov in kontrolirana ravnanja pri medsebojnih trkih. Pathfinder ponuja dve osnovni možnosti gibanja uporabnikov: SFPE način in »steering« način. SFPE je model toka, kjer sta hitrost hoje in pretok skozi vrata vnaprej definirani. V diplomski nalogi bo upoštevan »steering« način, saj omogoča realnejše obnašanje uporabnikov.

»Steering« model uporablja tri načine vodenja, ki dovoljujejo bolj kompleksno obnašanje uporabnikov: »iskati«, »izogniti se zidom« in »izogniti se ostalim uporabnikom«.

Način »iskati« določa izbiro poti med simulacijo, po predpisani trikotni mreži, od trenutne lokacije uporabnikov do izbrane ciljne točke. Izbrana pot predstavlja najkrajšo možno razdaljo. V primeru velike oddaljenosti do ciljne točke ali nenadne ovire na predvideni poti, se pot regenerira z izbiro alternativne rešitve.

»Izogniti se zidom« je ukaz, ki odkrije lokacijo zidov v objektu in določa najmanjšo potrebno razdaljo za preprečitev trkov. Ta način dovoljuje uporabnikom, da prehodijo daljšo razdaljo v neposredni bližini posameznih zidov.

»Izogniti se ostalim uporabnikom« upošteva osebni prostor za vsakega uporabnika. Trki med posameznimi uporabniki lahko povzročijo manjšo deviacijo od načrtovane poti, vendar ta bo v grobem potekala skladno z začetno izbiro. [25]

### **Zasnova računskega modela**

Program Pathfinder omogoča projektiranje poteka evakuacije. Risanje objekta je relativno enostavno s pomočjo uporabniku prijaznega grafičnega vmesnika. Modeliranje objekta poteka ločeno po posameznih etažah v 2-dimenzionalni mreži. Za vsako etažo se definira lokacijo in velikost vseh prisotnih prostorov, nato pa se s pomočjo ukaza »doors« določi prehode med posameznimi prostori. V primeru, da želimo prikazati določeno oviro v prostoru preprosto izrežemo obliko željene ovire. Stene ni potrebno vrisovati, saj je gibanje uporabnikov omejeno z robovi prostorov. Povezave med



posameznimi nadstropji se uredi z ukazom »stairs«. Določiti je potrebno le višino in širino posamezne stopnice ter začetno točko. Naslednji korak zajema umestitev oseb v prostore. Izbiramo lahko med posameznimi osebami ali skupino. Vsaki osebi lahko določimo različne lastnosti, kot so fizične karakteristike, hitrost evakuiranja in reakcijski čas. Potek evakuacijske poti lahko prepustimo programu ali določimo sami. Program upošteva najkrajšo možno pot do izhoda iz stavbe. V primeru, da imamo na razpolago več izhodov lahko za vsakega uporabnika izberemo potek evakuacijske poti.

### **8.2.2 Opis različnih scenarijev**

S pomočjo programske opreme Pyrosim in Pathfinder bom simuliral različne požarne scenarije na predmetni stopnji v OŠ Prade. Mesto nastanka požara bo predpostavljeno v treh različnih prostorih znotraj objekta na podlagi katerih bom preverjal potek evakuacijske poti:

- varianta 1: požar v kuhinji,
- varianta 2: požar v učilnici za tehnični pouk,
- varianta 3: požar v knjižnici.

Varianta 1 bo predstavljala umik uporabnikov na prosto po predvideni evakuacijski poti. Evakuacija bo potekala skozi glavni izhod na severnem delu objekta. Pri simulaciji bom opazoval morebiten nastanek zastojev na evakuacijski poti in določil potrebni čas za evakuacijo prvega nadstropja ter celotnega objekta. Vrata, ki povezujejo kuhinjo in skupni prostor bodo odprta, dim se bo lahko širil v notranjost objekta. Količino stranskih produktov gorenja bom meril pred vstopom v glavno stopnišče, kjer pričakujem zbiranje večjega števila uporabnikov.

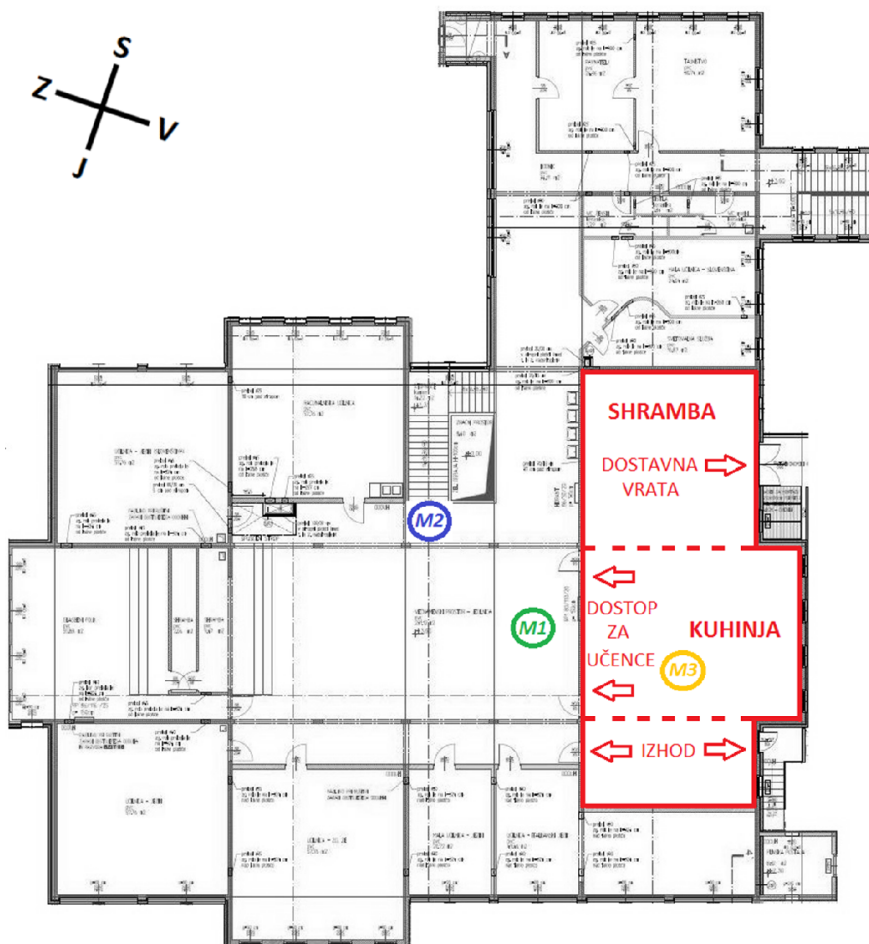
Pri varianti 2 bom upošteval večjo količino gorljivega materiala na območju zasilnega izhoda tehnične učilnice. Zaradi mesta nastanka požara se bodo uporabniki učilnice za tehnični pouk evakuirali skozi glavna izhodna vrata. V učilnici za slovenščino bom predpostavil težave pri uporabi zasilnega izhoda. Opazoval bom vpliv dodatnega števila oseb na potek evakuacije v pritličju in določil potrebni evakuacijski čas. Količino stranskih produktov bom opazoval na hodniku, pred glavnim izhodom in na stopnišču.

Varianta 3 bo predstavljala potek evakuacije v primeru vžiga velike količine gorljivega materiala. Knjižnica nima direktnega izhoda na prosto, zato bo izpraznjena skozi glavni izhod. Zaradi predvidene velike količine toplote in ostalih stranskih produktov gorenja bom modificiral potek evakuacijske poti za uporabnike učilnice za biologijo. Učitelj bo vodil evakuacijo skupine učencev skozi sosednjo učilnico in tako nekoliko razbremenil glavni izhod. Osredotočil se bom predvsem na vpliv velike količine stranskih produktov pri prehodu skozi glavno stopnišče.

## 9 RAČUNSKI MODEL

### 9.1 Varianta 1 – požar v kuhinji

#### Opis lokacije požara



Slika 16: Lokacija kuhinje

Kuhinja (Slika 16) se nahaja v prvem nadstropju vzhodno od večnamenskega prostora. Sestavljena je iz treh delov: prostor za pripravo hrane, shramba in prostor za pomivanje posode. Skupna tlorisna površina znaša  $\sim 160 m^2$ . Skupni prostor je povezan s kuhinjskimi prostori s tremi vrati. Večina opreme v kuhinji je iz negorljivega materiala. Shramba in prostor za pomivanje posode imata zasilni izhod, ki vodi na zunanjo dostavno površino. Točkovni merilniki temperature, vidljivosti in količine  $CO_2$  so postavljeni v skupnem prostoru pred kuhinjo (M1) in pred glavnim stopniščem (M2) na višini 0,9m (višina za evakuacijo v primeru večje koncentracije stranskih produktov) in 1,8m (zgornja meja za osnovnošolske otroke) ter v osrednjem predelu kuhinje (M3) na višini 1,6m. Predpostavljeno mesto nastanka požara se nahaja v predelu za pripravo hrane (Slika 17).



Slika 17: Kuhinja – rdeči krog označuje mesto nastanka požara

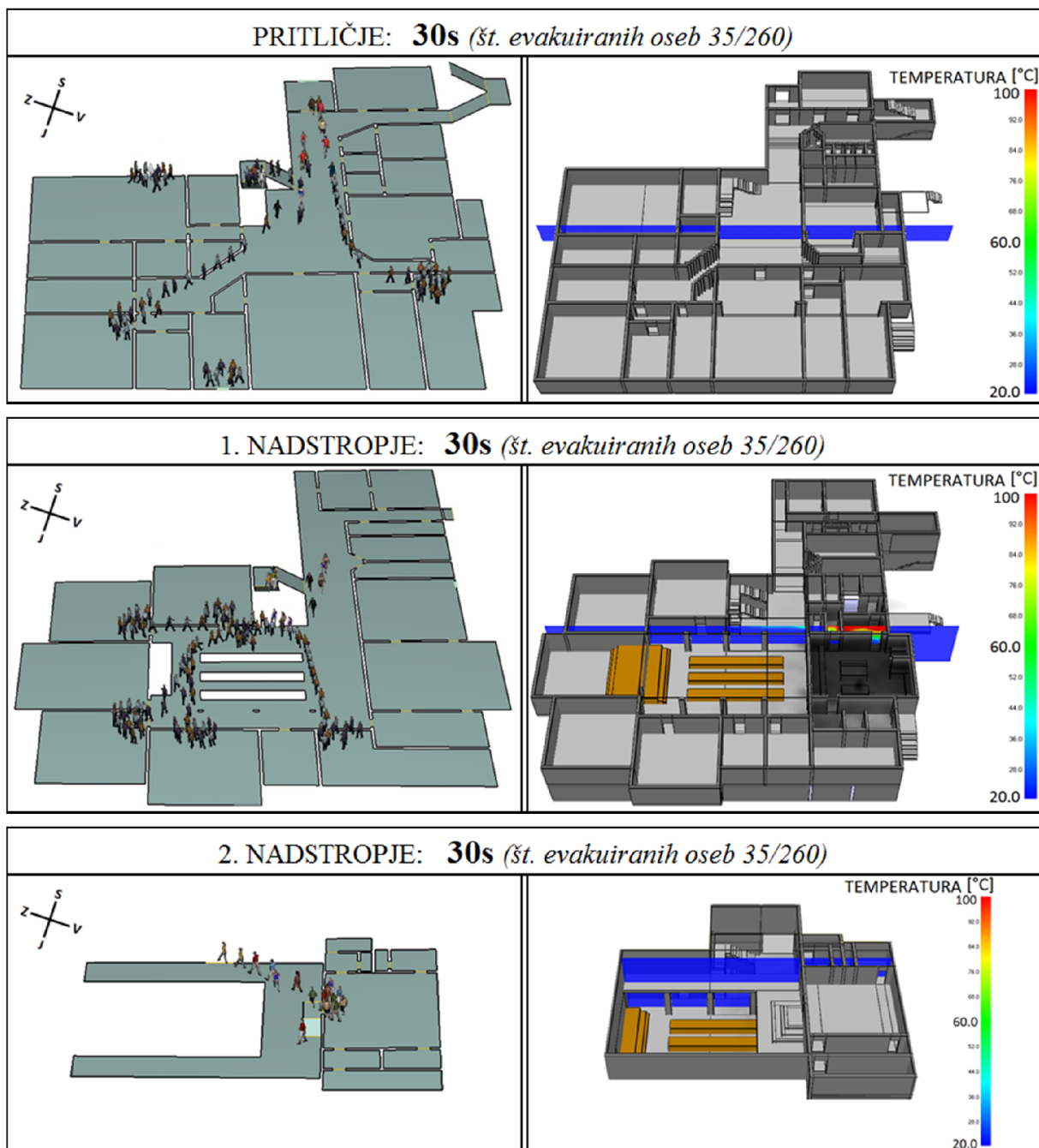
V času priprave kosila pride do izbruha požara na kuhalni plošči z močjo 1000 kW. Pojavi se manjša eksplozija plamena, ki zajeme gorljivi del opreme v kuhinji. Gorivo v reakciji gorenja predstavlja lesena omara v neposredni bližini kuhalne plošče. Vrata, ki povezujejo kuhinjo in večnamenski prostor so v času nastanka požara odprta.

### **Potek evakuacije**

Evakuacija prvega in drugega nadstropja poteka po predvideni evakuacijski poti. Učilnice z zasilnim izhodom bodo evakuirane na predvideno zbirno mesto ob zahodnem delu fasade, vsi ostali uporabniki pa bodo evakuirani skozi glavni izhod. Kuharska ekipa bo evakuirana skozi dvojne vrata na dostavno površino. Predpostavljeni reakcijski čas za vse prostore znaša 15 sekund v prostoru nastanka požara pa je nekoliko krajši.

Zaradi velikega števila uporabnikov se po 30 sekundah že pojavi zastoj v prvem nadstropju pred vhodom v stopnišče. V pritličju je večina učencev zapustila učilnice, učitelji iz zbornice pa se po stopnišču spuščajo proti prvemu nadstropju. Kuharska ekipa se nahaja na zunanji dostavni površini. Stavbo je zapustilo 35 od skupno 260 uporabnikov (Slika 18).

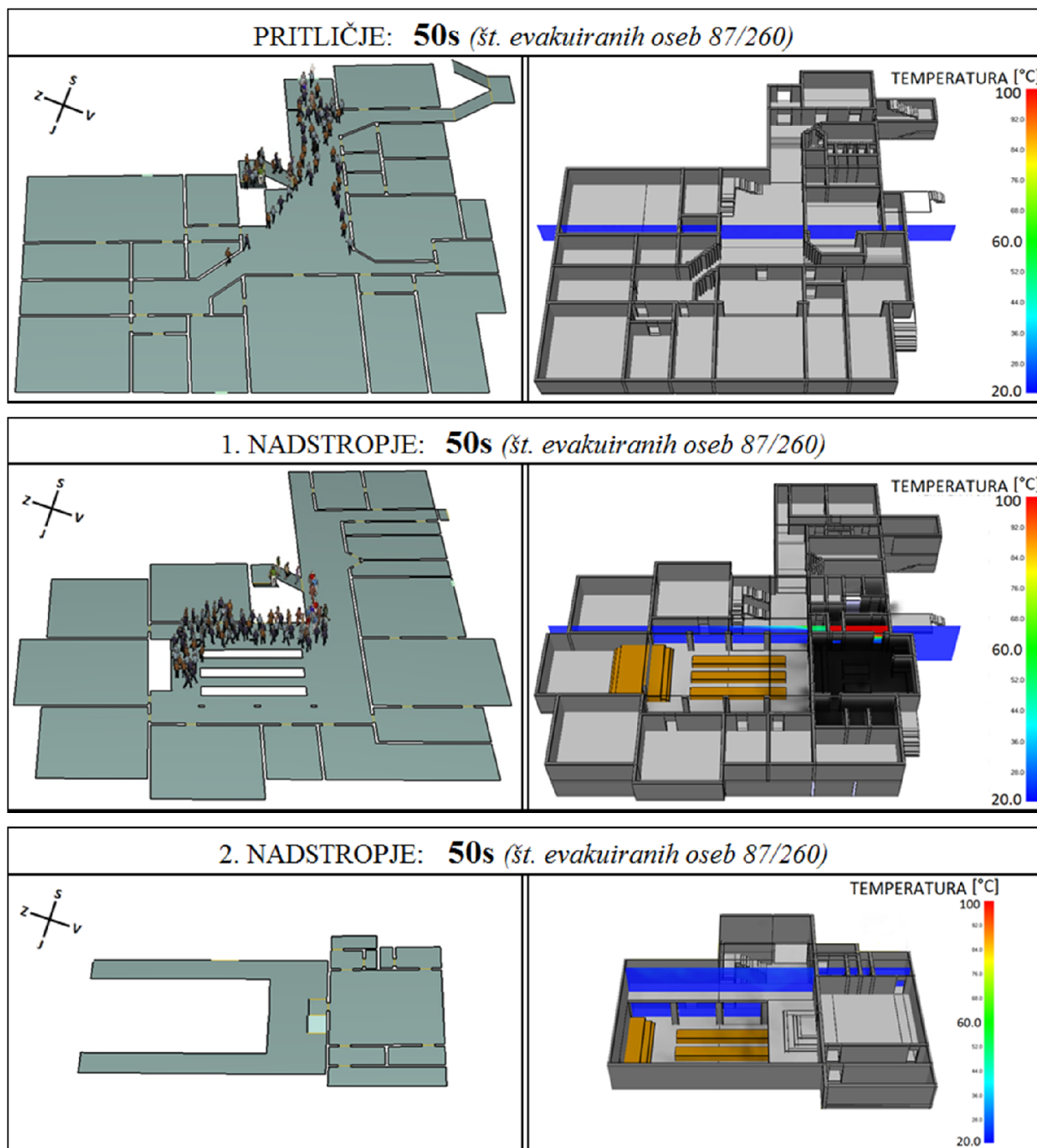
Dim se širi po celotni kuhinji in začne izhajati na prosto skozi dostavna vrata ter v skupni prostor. Temperatura pod stropom kuhinje preseže 100°C. Vzdolž evakuacijske poti vidljivost ostaja nespremenjena.



Slika 18: Varianta 1 - evakuacija pri 30 sekundah

Učilnice iz prvega nadstropja se izpraznijo po nekaj manj kot 50 sekundah. V skupnem prostoru se uporabniki zbirajo v območju glavnega stopnišča. Učilnice v pritličju, ki imajo direktni izhod na prosto so že izpraznjene, ostali uporabniki pritličja pa se približujejo glavnemu izhodu. Zaradi počasnega prehoda skozi glavno stopnišče poteka evakuacija pritličja tekoče, brez zastojev. Učitelji, ki so bili v času nastanka požara v zbornici so zapustili drugo nadstropje in se po stopnišču približujejo mestu nastalega zastoja. Po 50 sekundah je objekt zapustilo 87 uporabnikov (Slika 19).

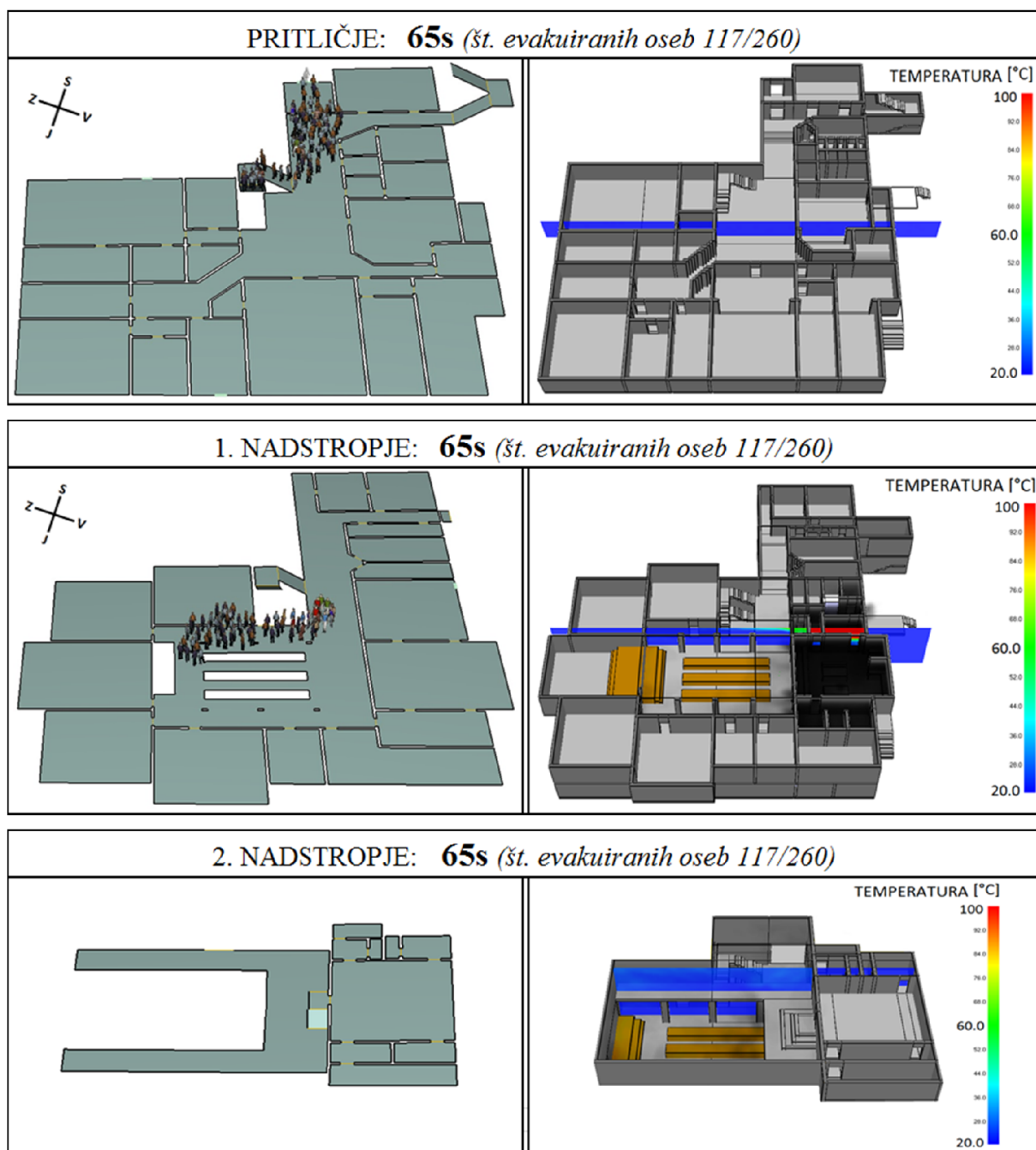
Dim je napolnil vse tri prostore kuhinje in se hitro širi skozi skupni prostor proti strešni konstrukciji. Temperatura pred kuhinjo (M1) in ob glavnem stopnišču (M2) na višini 1,8m naraste le za 2-3 °C (izhodiščna temperatura je 20°C).



Slika 19: Varianta 1 - evakuacija pri 50 sekundah

Vsi učitelji iz drugega nadstropja dosežejo prvo nadstropje po 65 sekundah. V tem trenutku je v nastalem zastoju pred glavnim stopniščem ostalo približno le še 70 oseb med učenci in učitelji. Evakuacija po stopnišču poteka zelo počasi. Uporabniki pritličja se zbirajo v nastali gneči na predelu hodnika pred glavnim izhodom, kar dodatno upočasni prehod skozi glavno stopnišče (Slika 20).

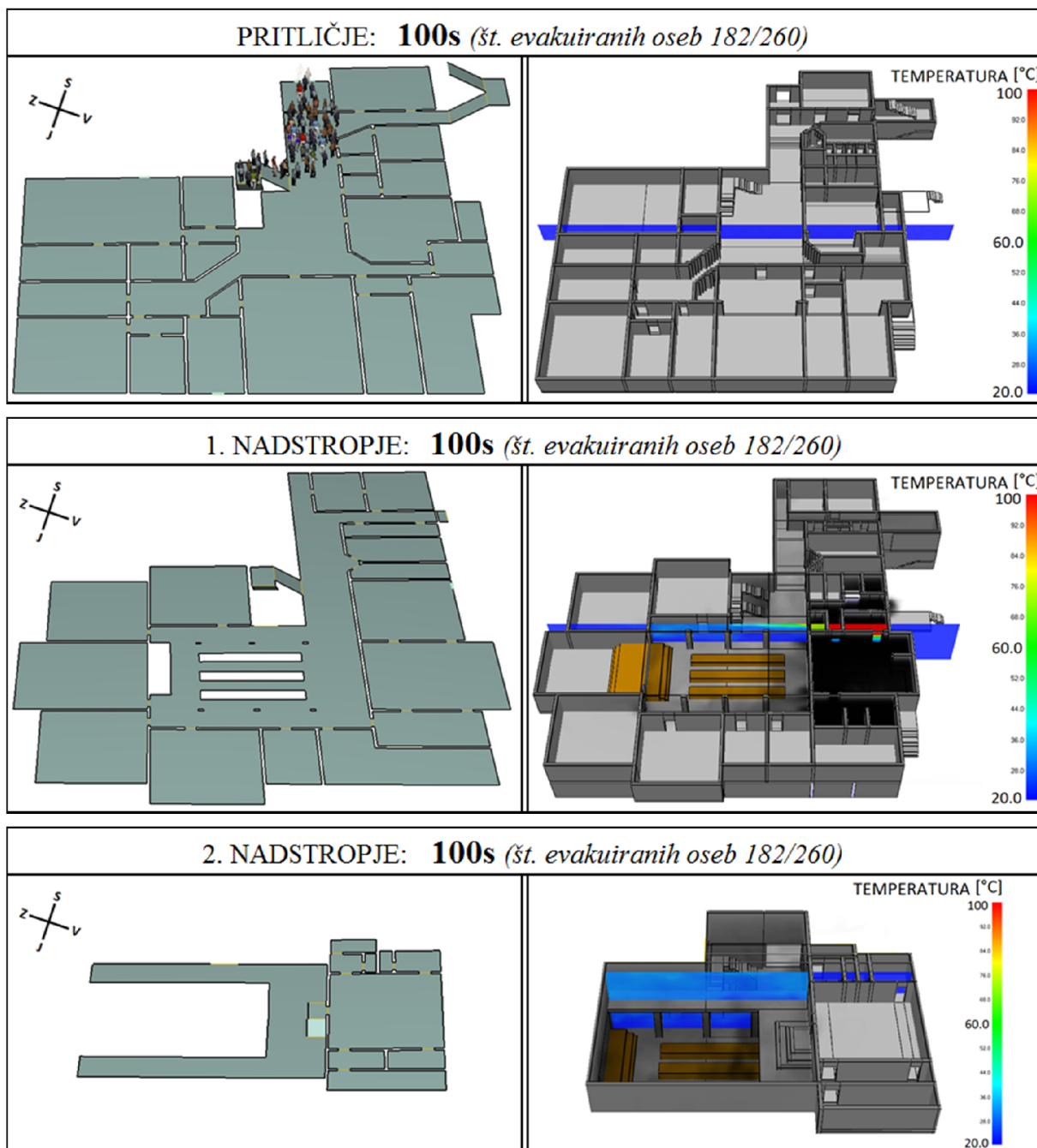
Dim se začne zbirati pod strešno konstrukcijo. Vidljivost na evakuacijski poti ostaja nespremenjena. Temperatura pred glavnim stopniščem na višini 1,8m (M2) preseže 24°C.



Slika 20: Varianta 1 - evakuacija pri 65 sekundah

Prvo nadstropje je v celoti evakuirano po približno 100 sekundah. Zadnji uporabniki iz prvega nadstropja se spuščajo po glavnem stopnišču. Evakuacija pritličja skozi glavni izhod poteka zelo počasi. Objekt je zapustilo 182 uporabnikov (Slika 21).

Pod galerijo (skupni prostor) se začnejo zadrževati stranski produkti gorenja. Na območju glavnega stopnišča (M2) na višini 1,8m temperatura doseže 30°C, vidljivost pa znaša 30m.

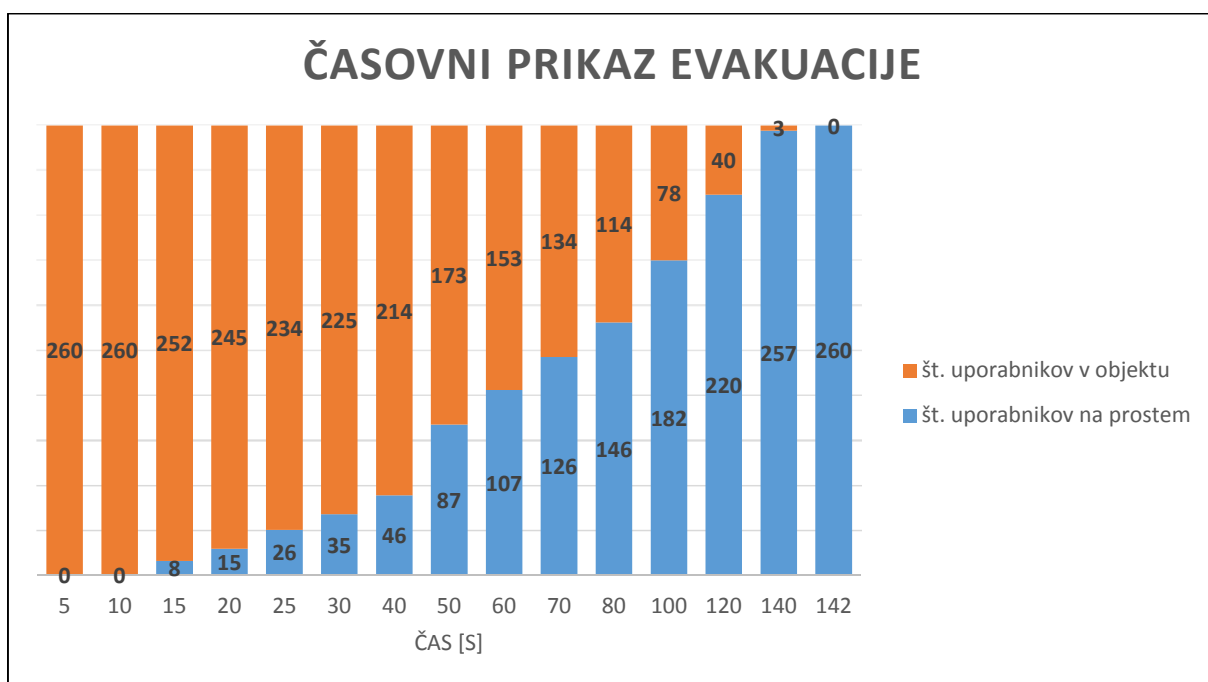


Slika 21: Varianta 1 - evakuacija pri 100 sekundah

V naslednjih sekundah evakuacije uporabniki počasi zapuščajo objekt skozi glavna izhodna vrata. Evakuacija vseh oseb na predvideni zbirni mesti, pred glavnim vhodom in na travnati površini ob tehnični učilnici, je izvedena v približno 140 sekundah.

## Ugotovitve

V spodnjem grafu (Slika 22) je prikazan časovni potek evakuacije. Stolpci oranžne barve predstavljajo število uporabnikov, ki še niso zapustili objekta, stolpci modre barve pa prikazujejo število evakuiranih uporabnikov. Evakuacija prvega nadstropja se izvede v 100, celotnega objekta pa v 142 sekundah. Težave pri predvideni evakuacijski poti predstavljata predvsem prehod skozi stopnišče oziroma glavni izhod. V območju zoženja evakuacijske poti nastanejo daljše čakalne vrste, ki bi lahko v primeru večjega števila oseb (npr. različna razporeditev učnih skupin) dodatno otežila potek evakuacije.

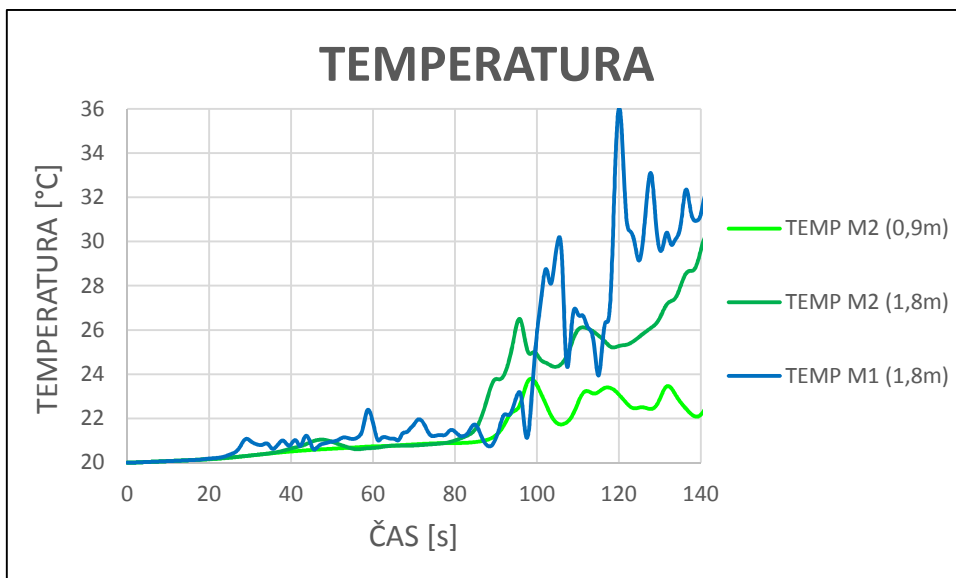


Slika 22: Časovni potek evakuacije – varianta 1

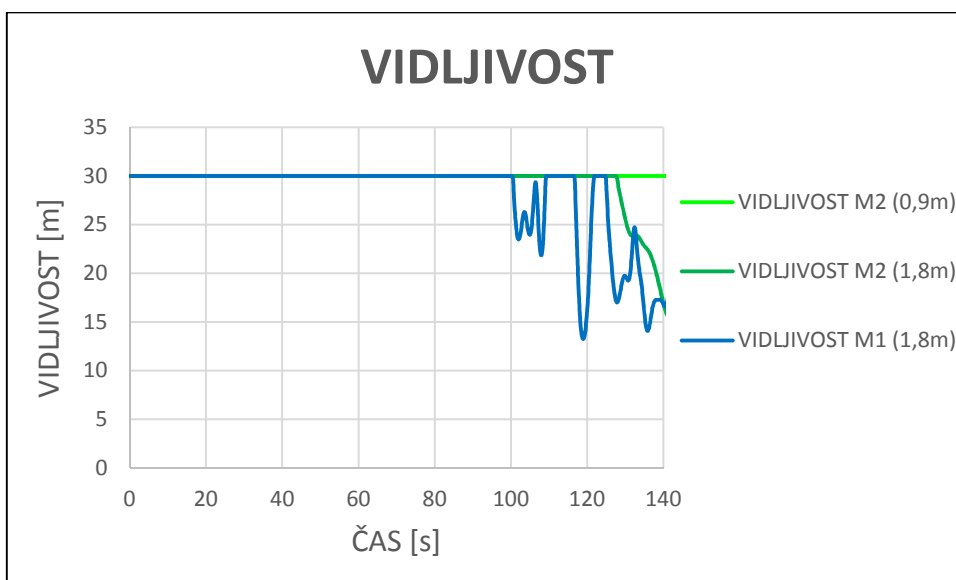
## Meritve temperature in stranskih produktov gorenja

Za evakuacijo pri prvi varianti so pomembne izvedene meritve temperature, vidljivosti in CO<sub>2</sub> v območju glavnega stopnišča (M3). Iz spodnjih grafov je razvidno, da se temperatura (Slika 23) na višini 1,8m poveča le za nekaj stopinj, vidljivost (Slika 24) pa se skorajda ne spremeni. Večje spremembe v temperaturi in vidljivosti so vidne po 100 sekundi, vendar niso več pomembne za potek evakuacije, saj so v tem času vsi uporabniki že zapustili višja nadstropja. Razloga za majhen vpliv stranskih produktov na območje skupnega prostora sta odprtje kuhinjskih dostavnih vrat in predvsem atrijska arhitektonska zasnova. Odprtje dostavnih vrat omogoči izhajanje dima na prosto, atrijska zasnova pa zagotovi odvod dima na območje strešne konstrukcije.





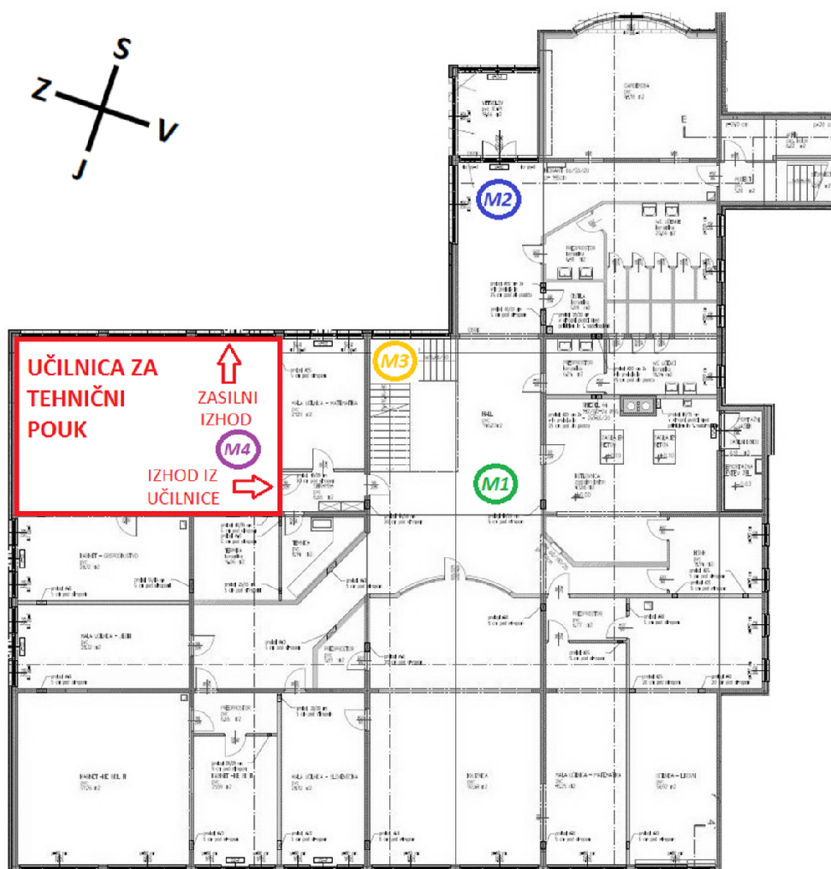
Slika 23: Časovni potek temperature



Slika 24: Časovni potek vidljivosti

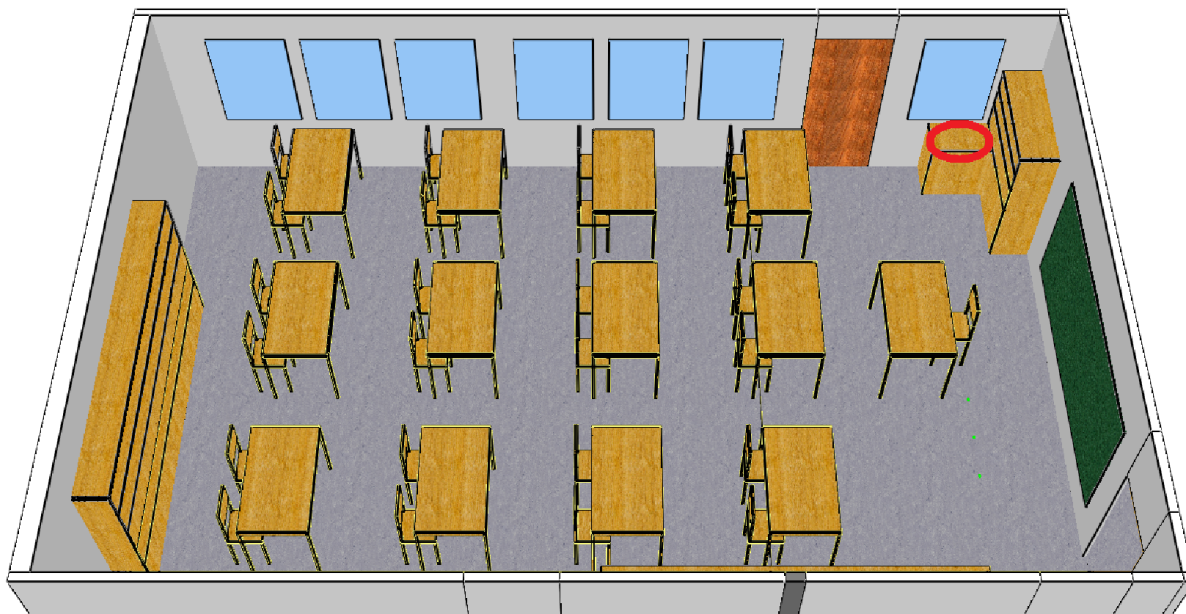
## 9.2 Varianta 2- požar v učilnici za tehnični pouk

### Opis lokacije požara



Slika 25: Lokacija tehnične učilnice in merilnih naprav

Učilnica za tehnični pouk (Slika 25) se nahaja v pritličju zahodno od glavnega stopnišča. Dvoje vrat povezuje učilnico s kabinetom za orodja in z učilnico za gospodinjstvo. Izhod iz učilnice vodi na glavni hodnik preko manjšega prostora namenjenega za shranjevanje šolskih izdelkov. Vrata v severnem delu fasade omogočajo direktni izhod na prosto v primeru požara. Uporabna tlorisna površina učilnice znaša  $\sim 88 \text{ m}^2$ . V učilnici so poleg klopi in stolov za študente še tri omare z lesenimi in papirnatimi izdelki ter različnimi pripomočki. Točkovni merilniki toplote, vidljivosti in količine  $\text{CO}_2$  so postavljeni na glavnemu hodniku pred učilnico (M1) in pred glavnim vhodom (M2) na višini 0,9m in 1,8m, na sredini stopnišča (M3) na višini 3m (1,5m nad višino podesta) ter v tehnični učilnici (M4) na višini 1,5m. Mesto nastanka požara je predpostavljeno na omari desno od zasilnega izhoda (Slika 26).



Slika 26: Tehnična učilnica – rdeča elipsa označuje mesto nastanka požara

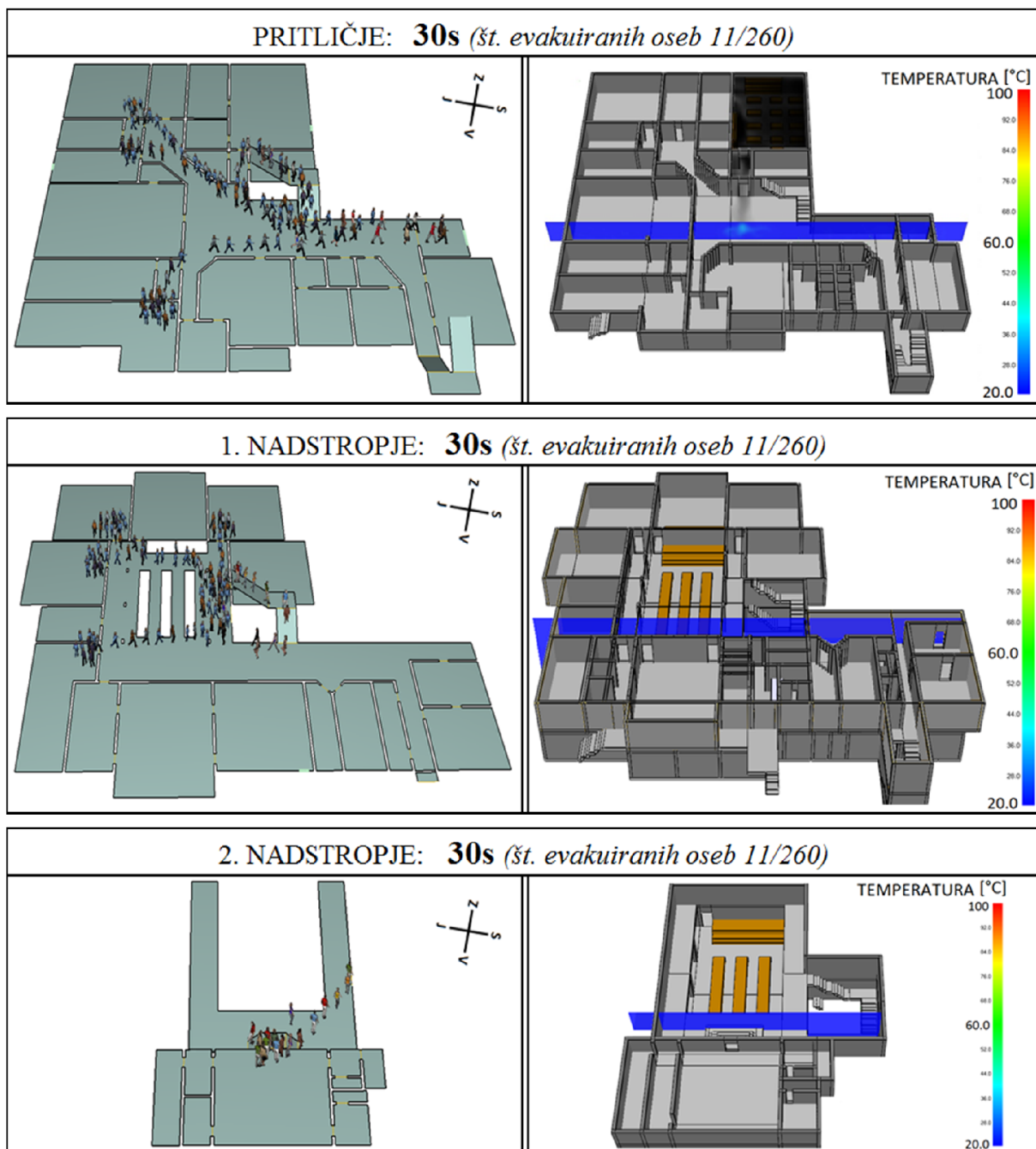
Pred začetkom učne ure, zaradi nepazljivosti učencev, pride do izbruha požara na omari desno od zasilnega izhoda. Požar začne goreti z močjo 500 kW. Gorivo v reakciji gorenja predstavlja velika količina razstavljenih papirnatih in lesenih izdelkov. V trenutku vžiga se nahaja učitelj v kabinetu, zato so vrata, ki povezujejo učilnico s predprostorom odprta.

### **Potek evakuacije**

Evakuacija učilnice je predvidena skozi zasilni izhod, ki vodi na travnato površino. Zaradi mesta nastanka požara predpostavimo, da je prehod skozi zasilni izhod onemogočen. Evakuacija učilnice bo potekala skozi glavni izhod. Prav tako predpostavimo, da je v ostalih učilnicah z direktnim izhodom na prosto, zaradi dotrajanosti materiala onemogočena uporaba zasilnega izhoda. Ostali uporabniki bodo evakuirani po predvideni evakuacijski poti. Učitelj začne evakuacijo učilnice takoj ob vnetju požara, za ostale učilnice pa je predviden reakcijski čas 15 sekund.

Zaradi ozkega predprostora, ki loči učilnico za tehnični pouk in glavni hodnik se učilnica izprazni šele po 30 sekundah. Preostali uporabniki pritličja počasi zapuščajo učilnice in se po hodniku premikajo proti glavnemu izhodu. Manjše število uporabnikov se iz prvega nadstropja spušča po glavnem stopnišču, ostali pa se zaradi nastale gneče zbirajo v skupnem prostoru na območju računalniške učilnice. V drugem nadstropju učitelji zapuščajo zbornico in se po stopnišču približujejo mestu nastale gneče. Evakuacija pritličja poteka tekoče, brez zastojev. Po 30 sekundah objekt zapusti 11 uporabnikov (Slika 27).

Dim je zajel večji del učilnice in se začne preko predprostora širiti v notranjost objekta. Količina oddanega dima še ne vpliva na vidljivost pred tehnično učilnico (M1). Temperatura v učilnici (M4) preseže 50°C.

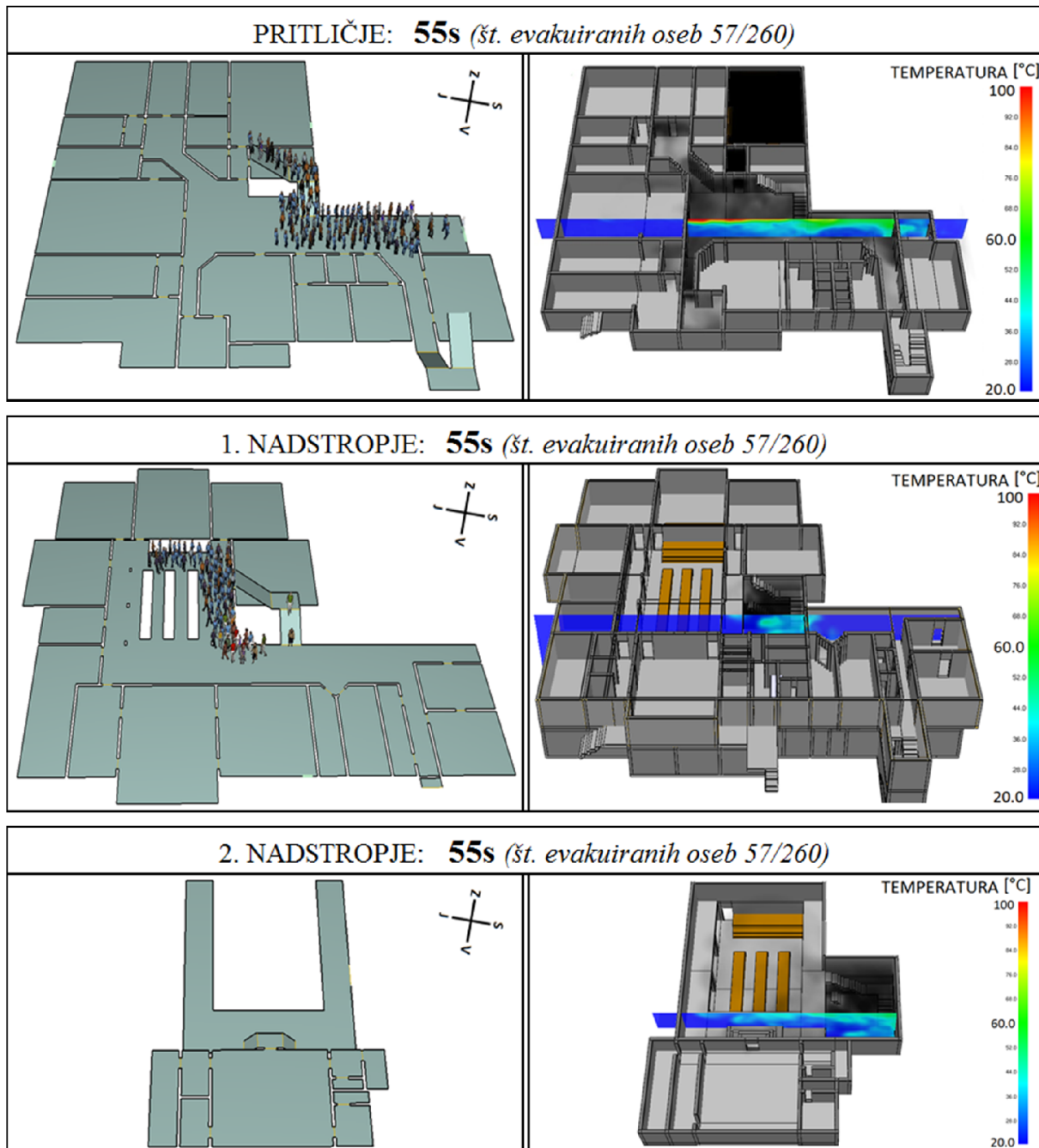


Slika 27: Varianta 2 - evakuacija pri 30 sekundah

Po 40 sekundah so vsi uporabniki pritličja zapustili učilnice in se zbirajo pred glavnim vhodom, kjer se jim pridružujejo uporabniki iz prvega nadstropja. Nastala gneča občutno upočasni celotni potek evakuacije. Višek je dosežen 15 sekund kasneje, ko so vsi uporabniki zgoščeni v pritličju pred glavnim izhodom oziroma v prvem nadstropju pred računalniško učilnico. Evakuacija celotnega objekta poteka zelo počasi. Objekt je zapustilo 57 oseb, vsi ostali pa so povezani v dolgo čakalno vrsto, ki poteka vse od glavnega izhoda pa do odra v skupnem prostoru prvega nadstropja (Slika 28).

Vidljivost v učilnici je skoraj nična. Zaradi temperaturnega preskoka se dim hitro širi po celotnem hodniku in vzpenja proti višjim etažam preko glavnega stopnišča. Vidljivost v pritličju vzdolž

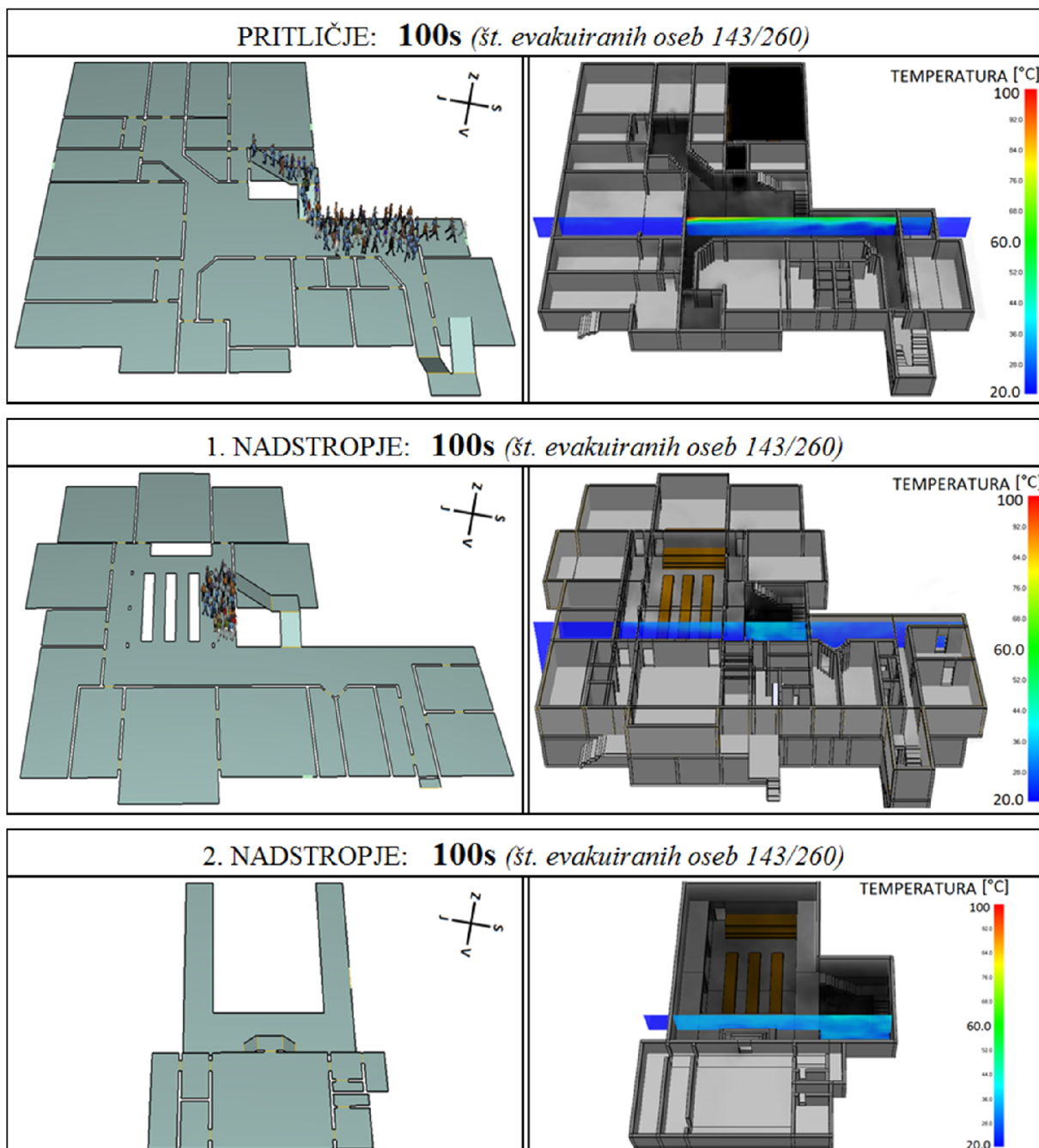
evakuacijske poti (M1 in M2) lahko ocenimo na 15m. Na hodniku (M1 in M2) temperatura niha okoli 30°C na višini 0,9m oziroma 40°C na višini 1,8m. Na glavnem stopnišču (M3) se zaradi temperaturnega preskoka temperatura povzpne nad 55°C, nato pa se postopoma zmanjšuje.



Slika 28: Varianta 2 – evakuacija pri 55 sekundah

V naslednjih sekundah evakuacija poteka nespremenjeno. Uporabniki se po stopnišču počasi premikajo proti nastali gneči na območju glavnega izhoda. Po 100 sekundah je objekt zapustilo 143 uporabnikov, v prvem nadstropju pa je prisotnih še 37 oseb (Slika 29).

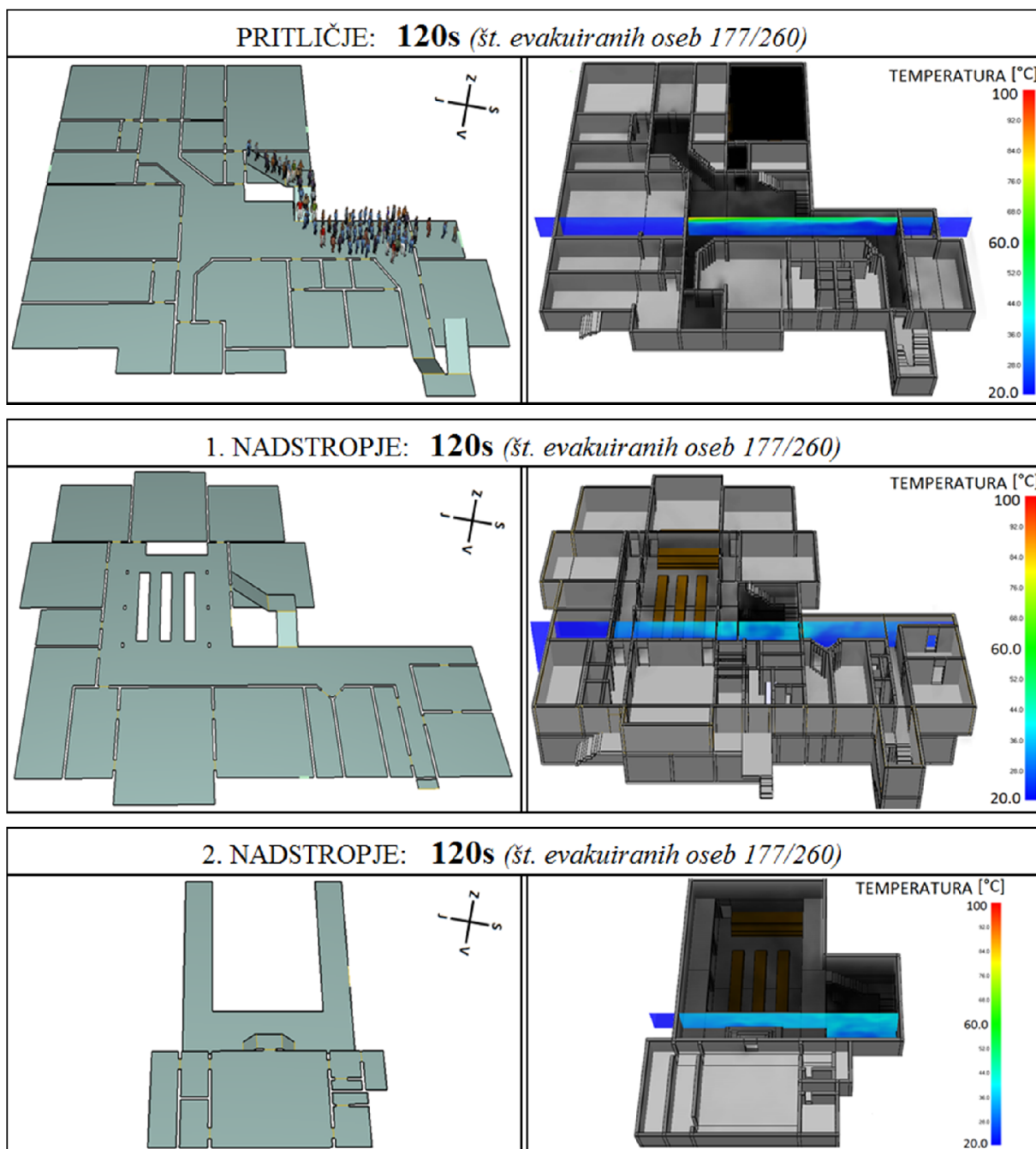
Dim se preko glavnega stopnišča dviguje proti strešni konstrukciji. Vidljivost pred glavnim izhodom (M2) lahko ocenimo na 10m, na stopnišču (M3) pa na 5m. Temperatura na hodniku (M1 in M2) niha od 25°C na višini 0,9m do 36°C na višini 1,8m, na stopnišču pa se stabilizira na 38°C.



Slika 29: Varianta 2 – evakuacija pri 100 sekundah

Prvo nadstropje se evakuira po 120 sekundah, kar vpliva na postopni upad gneče pred glavnim izhodom. V tem času je objekt zapustilo 177 oseb. Evakuacija celotnega objekta se izvrši v približno 166 sekundah (Slika 30).

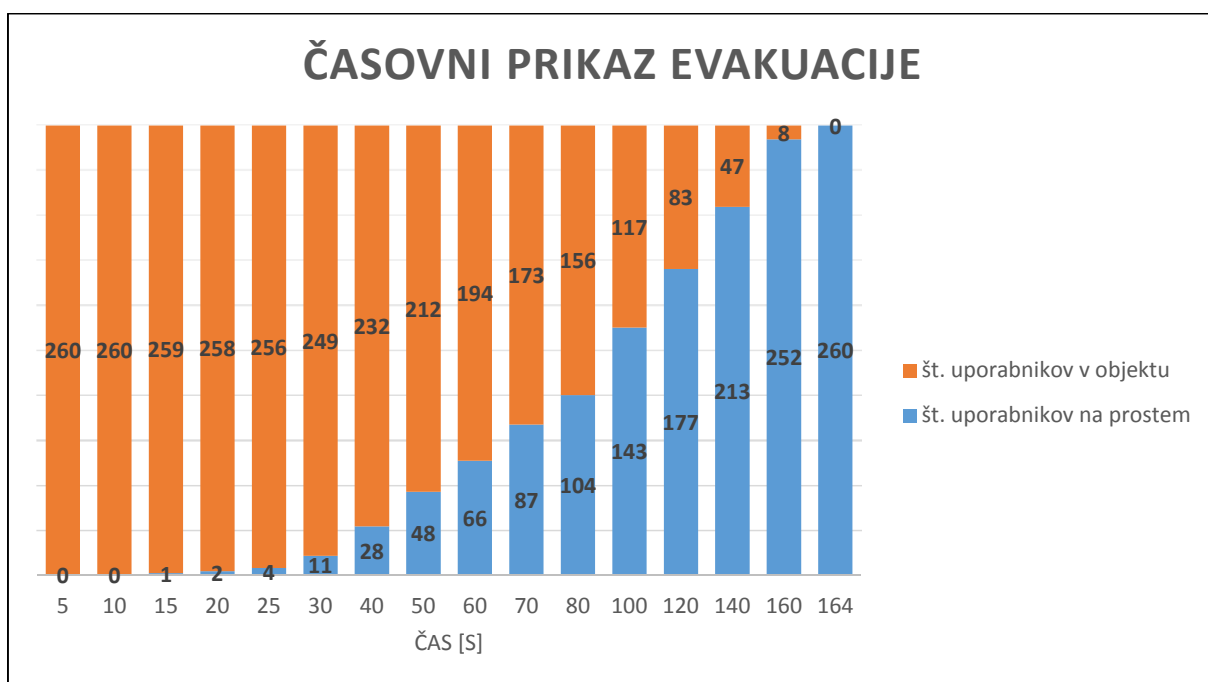
Vidljivost na stopnišču (M3) in na hodniku (M1 in M2) se stabilizira na 5m. Temperatura na hodniku (M1 in M2) na višini 1,8m niha okoli 34°C na glavnem stopnišču (M3) pa okoli 37°C.



Slika 30: Varianta 2 – evakuacija pri 120 sekundah

## Ugotovitve

Sprememba evakuacijskih poti za določene skupine uporabnikov znatno spremeni časovni potek evakuacije (Slika 31). Skupina učencev iz učilnice za tehnični pouk in učilnice za slovenščino dodatno obremenita evakuacijsko pot. V začetni fazi evakuacije nastaneta dva zastoja in sicer pred glavnim izhodom ter pred vstopom na stopnišče. Povečano število oseb v pritličju dodatno upočasni prehod skozi glavno stopnišče. Evakuacija celotnega objekta poteka zelo počasi vse do zadnjih sekund evakuacije. Prvo nadstropje se evakuira po 120, celotni objekt pa po približno 165 sekundah.



Slika 31: Varianta 2 – časovni potek evakuacije

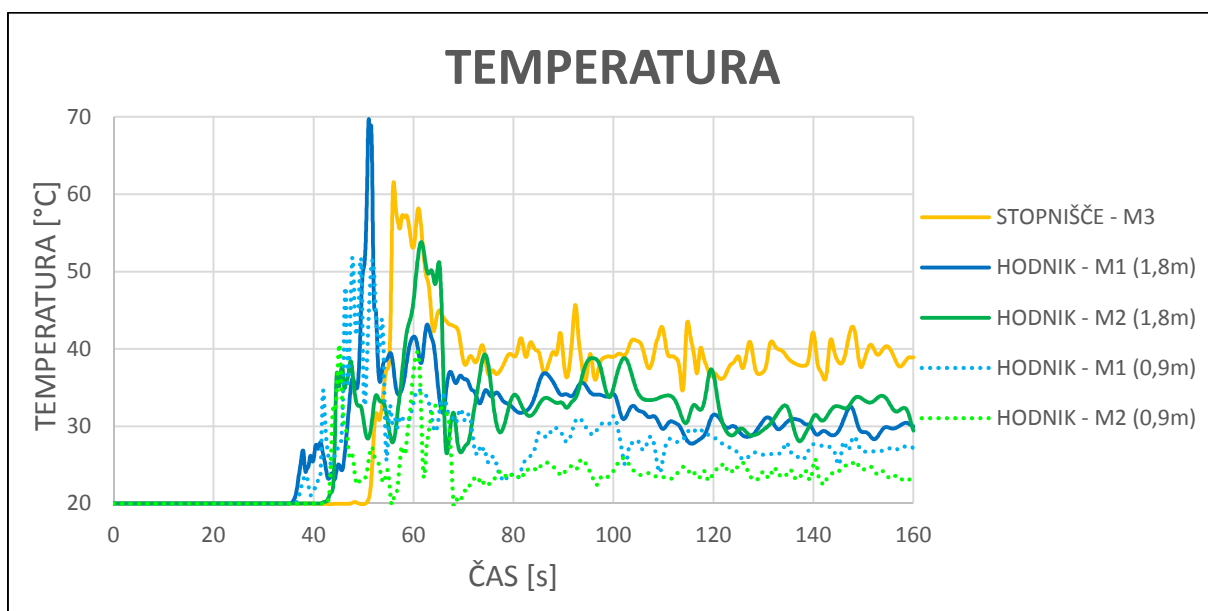
## Meritve temperature in vidljivosti

Točkovni merilniki toplote, vidljivosti in CO<sub>2</sub> so bili postavljeni vzdolž evakuacijske poti. Prve spremembe so opazne po 40 sekundah. Zaradi stranskih produktov gorenja se temperatura na evakuacijski poti hitro povečuje. Kritični trenutek je pri 55 sekundah, ko pride do temperaturnega preskoka (Slika 32). Najbolj izpostavljeno mesto je del hodnika pred učilnico za tehnični pouk (M1). Na višini 1,8m temperatura doseže nevarnih 70°C (vrednost pri kateri se pojavijo prve opekline). Na stopnišču (M3) temperatura preseže 60°C, ob glavnem izhodu pa naraste do 55°C. V naslednjih sekundah evakuacije temperatura na stopnišču upade na približno 40°C, na hodniku pa niha med 30 in 40°C na višini 1,8m in med 20 in 30°C na višini 0,9m. Pri 125 sekundah, ko zadnja oseba zapusti stopnišče, temperatura (M3) znaša 39°C. V zadnjih sekundah evakuacije se temperatura na hodniku stabilizira na približno 30°C na višini 1,8m, na višini 0,9m pa niha okoli 25°C. Za učence lahko predpostavimo nekoliko nižjo povprečno višino, zato zgornji parametri ne predstavljajo večje nevarnosti pri evakuiranju skozi pritličje.

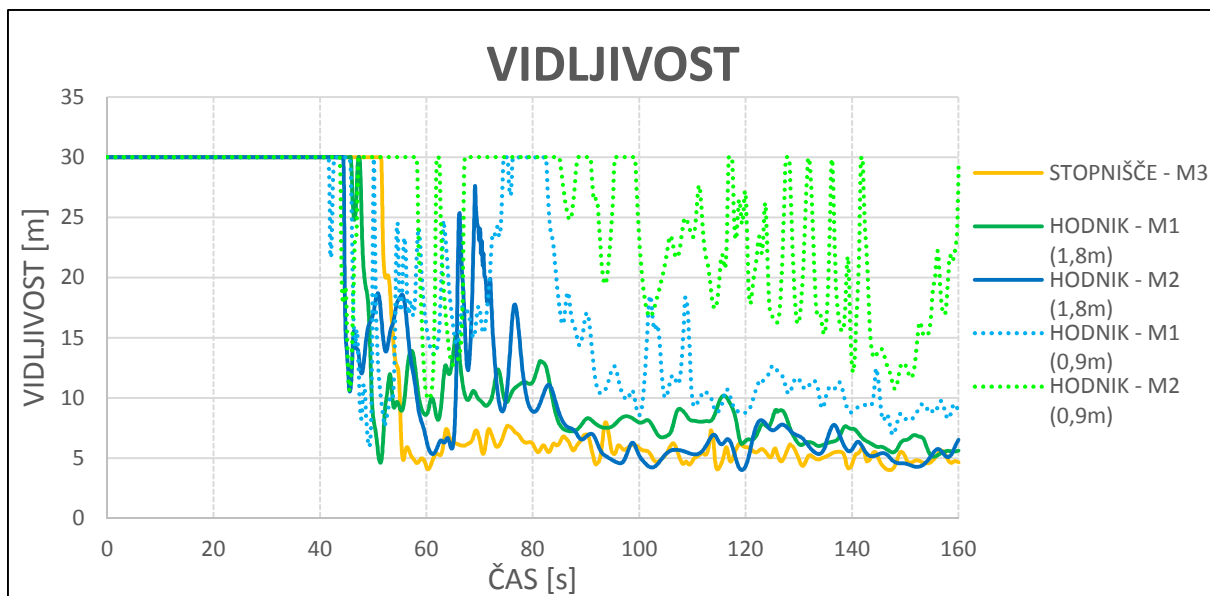


Manjšo oviro za evakuacijo predstavlja povečana količina dima (Slika 33) vzdolž evakuacijske poti. Začetna vidljivost je predpostavljena na 30m. Do 40 sekunde evakuacije vrednosti v pritličju ostanejo nespremenjene. V trenutku temperaturnega preskoka vidljivost na evakuacijski poti močno upade. Na hodniku (M1), na višini 1,8m, lahko ocenimo vidljivost na približno 10m, pred glavnim izhodom (M2) pa na 15m. Vidljivost na stopnišču (M3) upade na 5m. V naslednjih sekundah se vidljivost na hodniku dodatno zmanjšuje, na stopnišču pa ostaja nespremenjena vse do konca evakuacije. Na hodniku na višini 1,8m vrednosti nihajo med 5 in 10m, v zadnjih sekundah pa se stabilizirajo na približno 5m, na višini 0,9m pa nihajo od 10-30m.

Koncentracija CO<sub>2</sub> v ozračju ne doseže vrednosti, ki bi lahko ogrozile človeška življenja, zato v nadaljevanju naloge meritve CO<sub>2</sub> ne bodo obravnavane. Meja pri kateri začnemo občutiti vpliv povečane količine CO<sub>2</sub> znaša 2%, vzdolž evakuacijske poti pa vrednosti ne presežejo 1,5%.



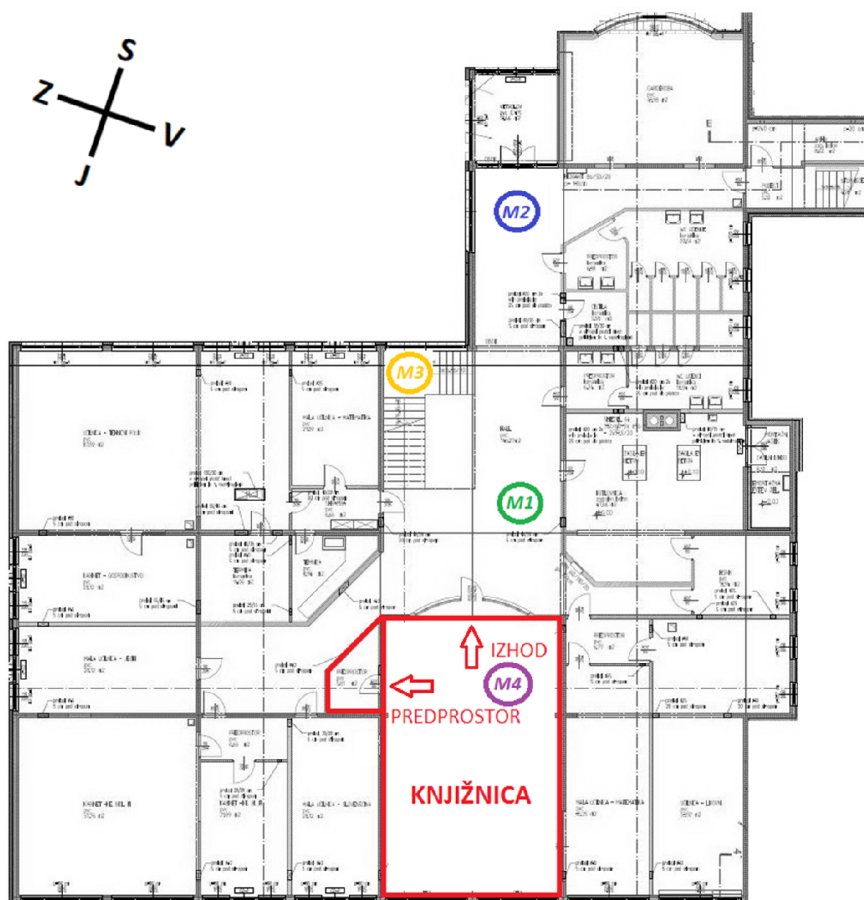
Slika 32: Časovni potek temperature – varianta 2



Slika 33: Časovni potek vidljivosti – varianta 2

### 9.3 Varianta 3 – požar v knjižnici

#### Opis lokacije požara



Slika 34: Lokacija knjižnice in točkovnih merilnikov

Knjižnica (Slika 34) se nahaja v osrednjem delu pritličja in je razdeljena na dva dela. V osrednjem predelu so police s knjigami in miza z računalnikoma za omrežno iskanje, predel ob oknih pa je namenjen listanju revij. Levo od izhoda se nahaja pult in vhod v predprostor, ki služi kot arhiv. Tlorisna uporabna površina knjižnice znaša  $\sim 93 \text{ m}^2$ . Točkovni merilniki toplote in vidljivosti so postavljeni na glavnemu hodniku pred učilnico za tehnični pouk (M1) in pred glavnim vhodom (M2) na višini 0,9m in 1,8m, na sredini stopnišča (M3) na višini 3m ter pred izhodom iz knjižnice (M4) na višini 1,5m. Predpostavljeno mesto požara se nahaja v osrednjem predelu na mizi z računalnikoma (Slika 35).



Slika 35: Knjižnica – rdeči krog prikazuje mesto nastanka požara

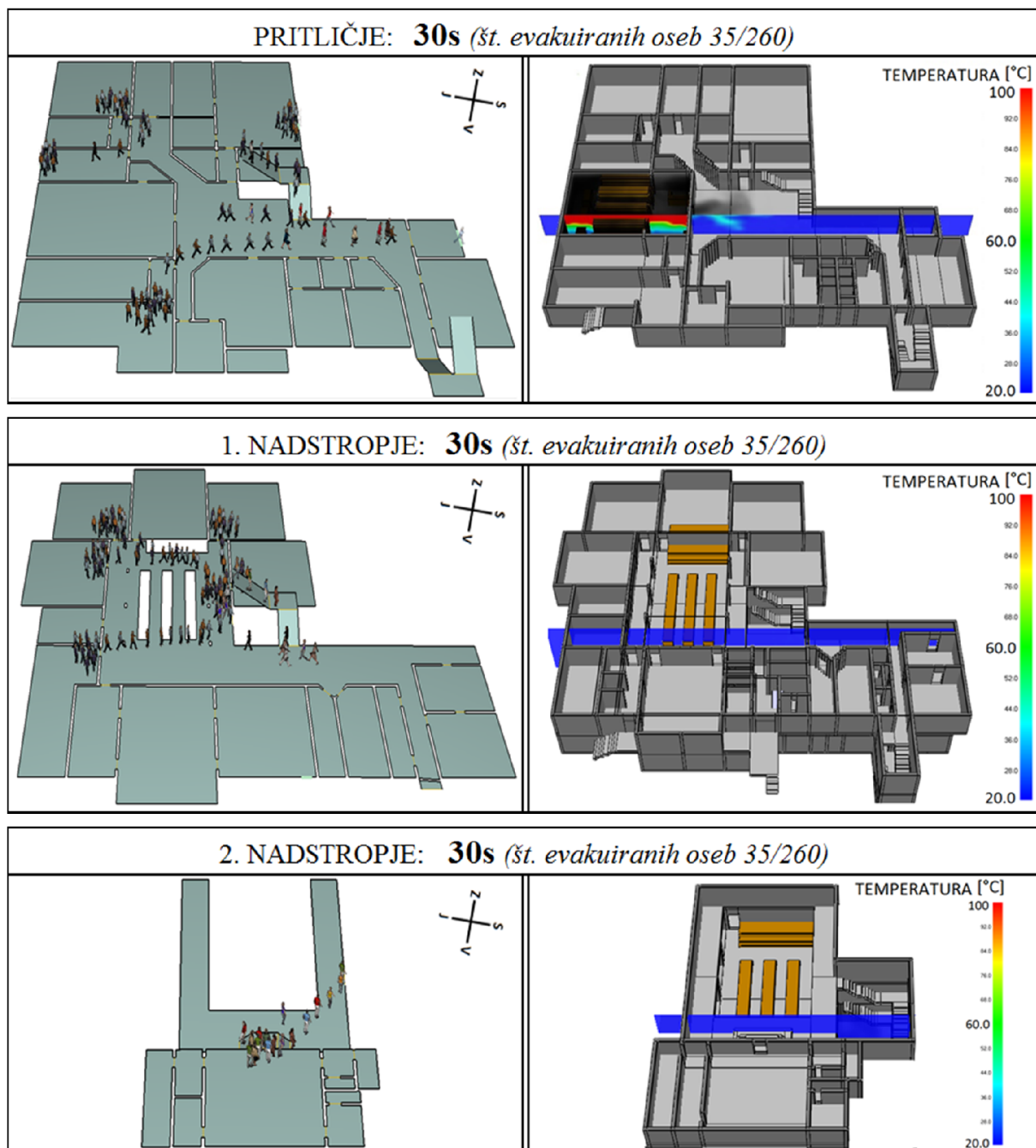
Zaradi napake na električnem omrežju pride do vžiga stacionarnega računalnika lociranega ob knjižni polici. Požar začne goreti z močjo 350 kW. Gorivo v reakciji gorenja predstavljajo zbirke knjig na lesenih policah. Okna so zaprta zato se lahko stranski produkti gorenja širijo le v notranjost objekta.

### Potek evakuacije

Evakuacija knjižnice je predvidena skozi glavni izhod, saj knjižnica nima direktnega izhoda na prosto. Zaradi mesta nastanka požara se bo učilnica za biologijo evakuirala skozi sosednjo učilnico (učilnica za slovenščino). Ostali uporabniki bodo evakuirani po predvideni evakuacijski poti. Knjižnica se prične evakuirati takoj ob vnetju požara, za ostale prostore znaša reakcijski čas 15 sekund.

Knjižnica se evakuira po nekaj sekundah. Po 25 sekundah učitelj biologije zagleda dim, ki izhaja iz knjižnice, zato se odloči za uporabo alternativne evakuacijske poti. Najbližji izhod za skupino predstavlja mala učilnica za slovenščino z zasilnim izhodom, ki vodi neposredno na odprto površino ob objektu. Uporabniki pritličja in prvega nadstropja zapuščajo učilnice in se podajo proti glavnemu izhodu oziroma proti glavnemu stopnišču. Učitelji iz drugega nadstropja se počasi začnejo spuščati proti prvemu nadstropju. Evakuacija poteka tekoče brez večjih čakalnih vrst. V 30 sekundah objekt zapusti 35 oseb (Slika 36).

Bližina stacionarnega računalnika povzroči vžig bližnjih knjig. Požar se začne hitro širiti po celotnem prostoru. Temperatura pod stropom knjižnice preseže 100°C. Dim je zajel celotni del prostora in se začne širiti v notranjost objekta, vendar še ne vpliva na zmanjšanje vidljivosti na hodniku.

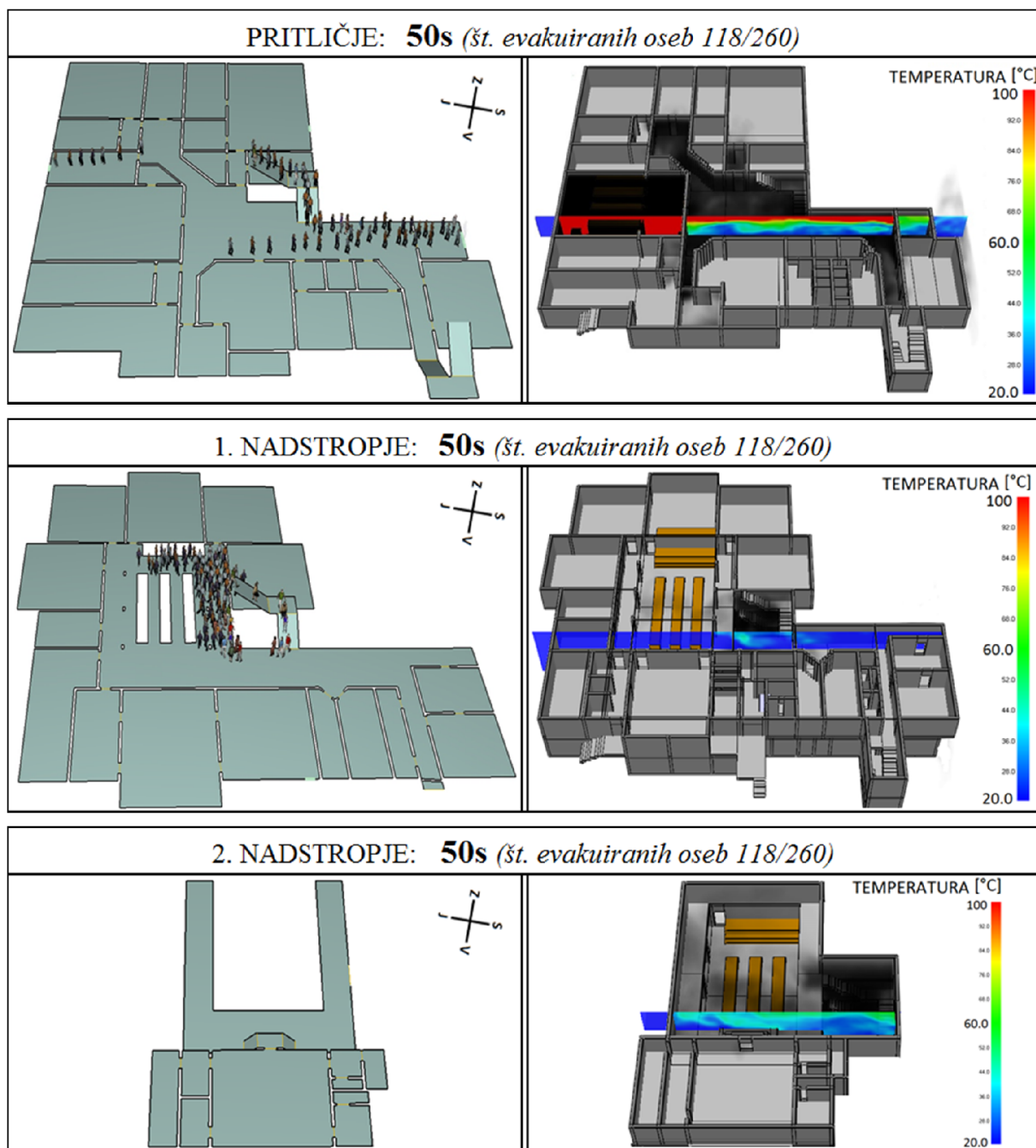


Slika 36: Varianta 3 - Evakuacija pri 30 sekundah

Podobno kot pri varianti 2 nastane zastoje v prvem nadstropju po nekaj več kot 30 sekundah. Uporabniki prvega nadstropja se začnejo zbirati pred glavnim stopniščem. Največji zastoje se pojavi približno 25 sekund kasneje, ko območje dosežejo učitelji iz zbornice. Izbira alternativne poti za uporabnike učilnice za biologijo nekoliko razbremeni glavni izhod. Evakuacija pritličja poteka relativno hitro, saj je po 55 sekundah objekt zapustilo 118 oseb (Slika 37).

Hodnik v pritličju je v celoti zaje v dim, ki se začne širiti proti višjim nadstropjem skozi glavno stopnišče. Požarni preskok povzroči hipni dvig temperature po celotnem pritličju. Pod stropom

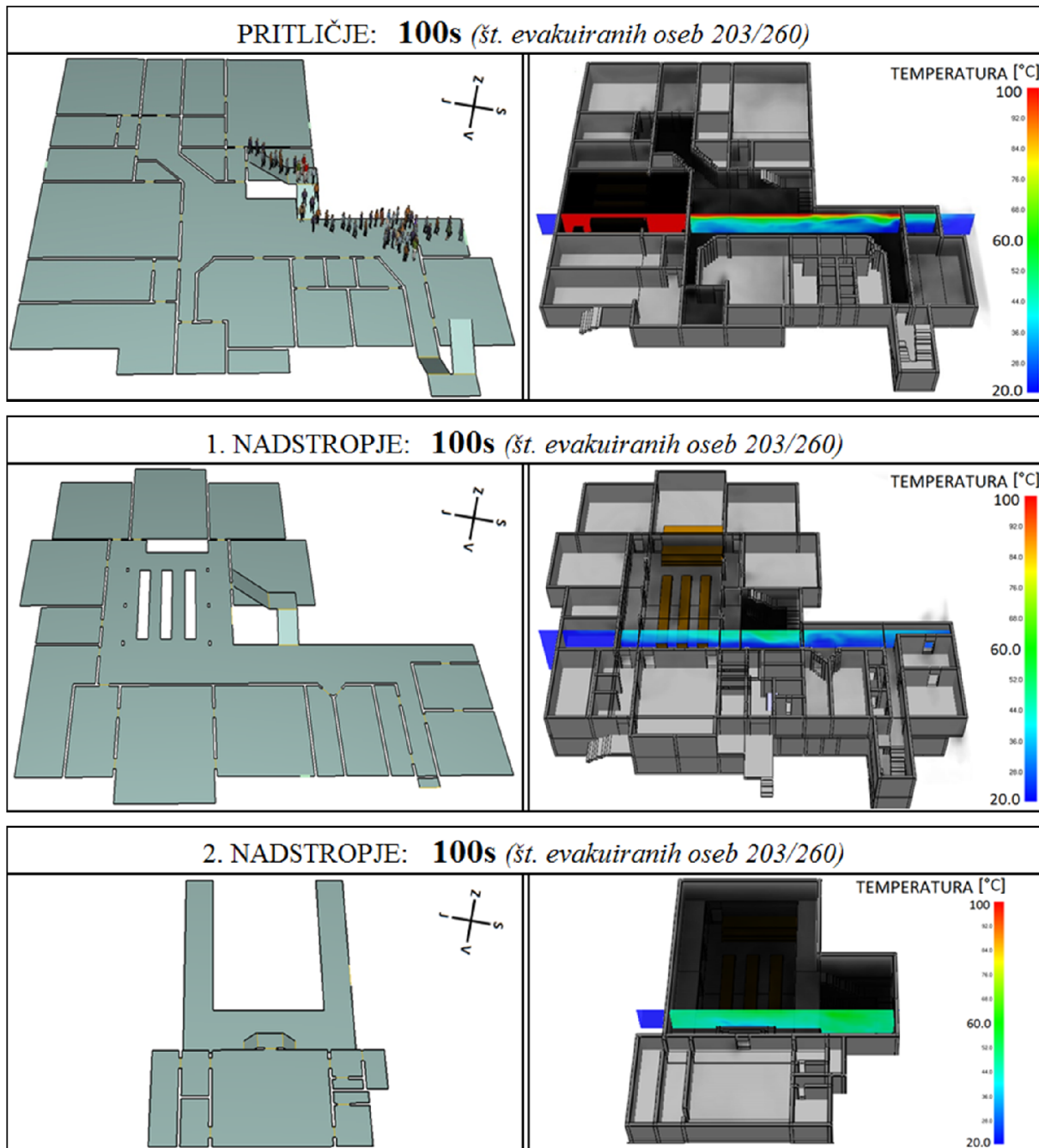
temperatura preseže 100°C, na višini 1,8m (M1 in M2) pa doseže nevarnih 80°C. Na stopnišču (M3) temperatura preseže 90°C. Vidljivost na hodniku (M1 in M2) ter na stopnišču (M3) upade na 5m.



Slika 37: Varianta 3 - Evakuacija pri 50 sekundah

Evakuacija skozi glavno stopnišče poteka zelo počasi. V pritličju se pojavi manjši zastoj po 65 sekundah, vendar se v nadaljnjem poteku evakuacije ne povečuje. Po 100 sekundah, ko zadnji uporabnik zapusti prvo nadstropje, je v objektu le še 57 uporabnikov (Slika 38). Evakuacija objekta se izvrši v 130 sekundah.

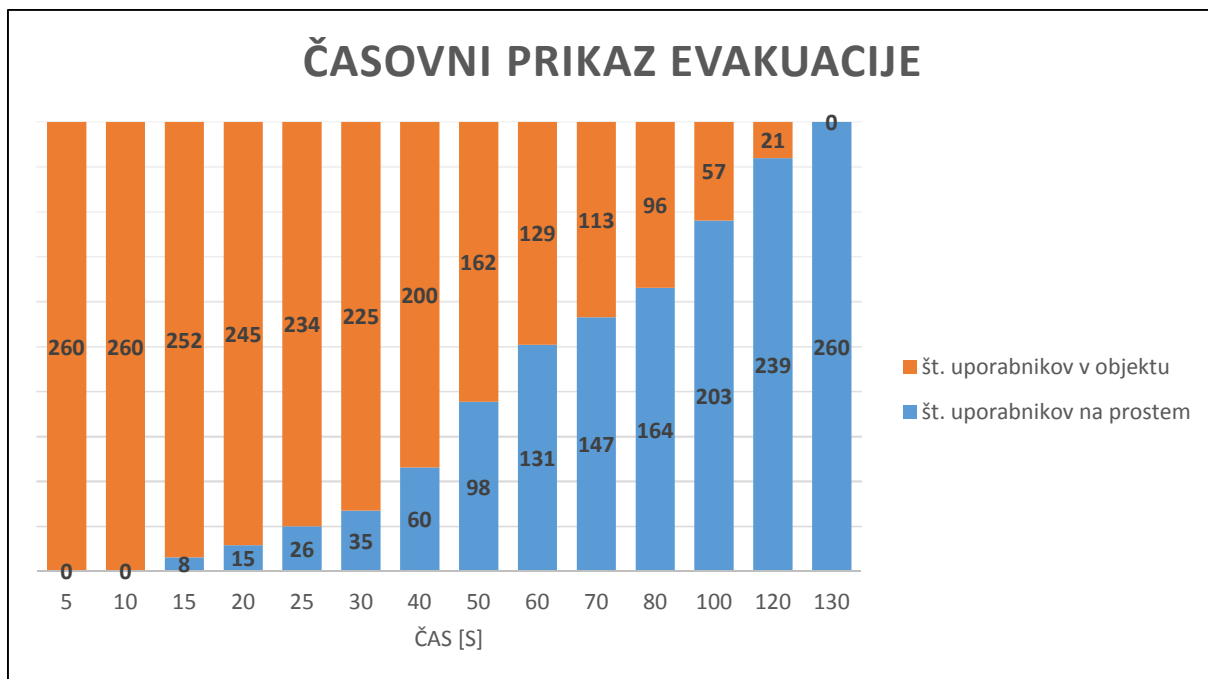
Temperatura na hodniku niha od 40°C na višini 0,9m do 50°C na višini 1,8m (M1 in M2). Na stopnišču (M3) temperatura se stabilizira na približno 55°C. Vidljivost je po celotnem pritličju zelo omejena, ocenimo jo lahko na nekaj manj kot 5m.



Slika 38: Varianta 3 - Evakuacija pri 100 sekundah

## Ugotovitve

Sprememba evakuacijske poti za uporabnike učilnice biologije vpliva na evakuacijo skozi pritličje. Uporaba alternativne poti nekoliko razbremeni glavni izhod. V začetni fazi evakuacija pritličja poteka relativno hitro brez večjih zastojev. V 65 sekundi nastane manjši zastoj, vendar se do konca evakuacije ne povečuje. V prvem nadstropju poteka evakuacija zelo počasi, zato nastane daljša čakalna vrsta. Prvo nadstropje se evakuira po 100, celotna predmetna stopnja pa po približno 130 sekundah (Slika 39).



Slika 39: Časovni potek evakuacije – varianta 3

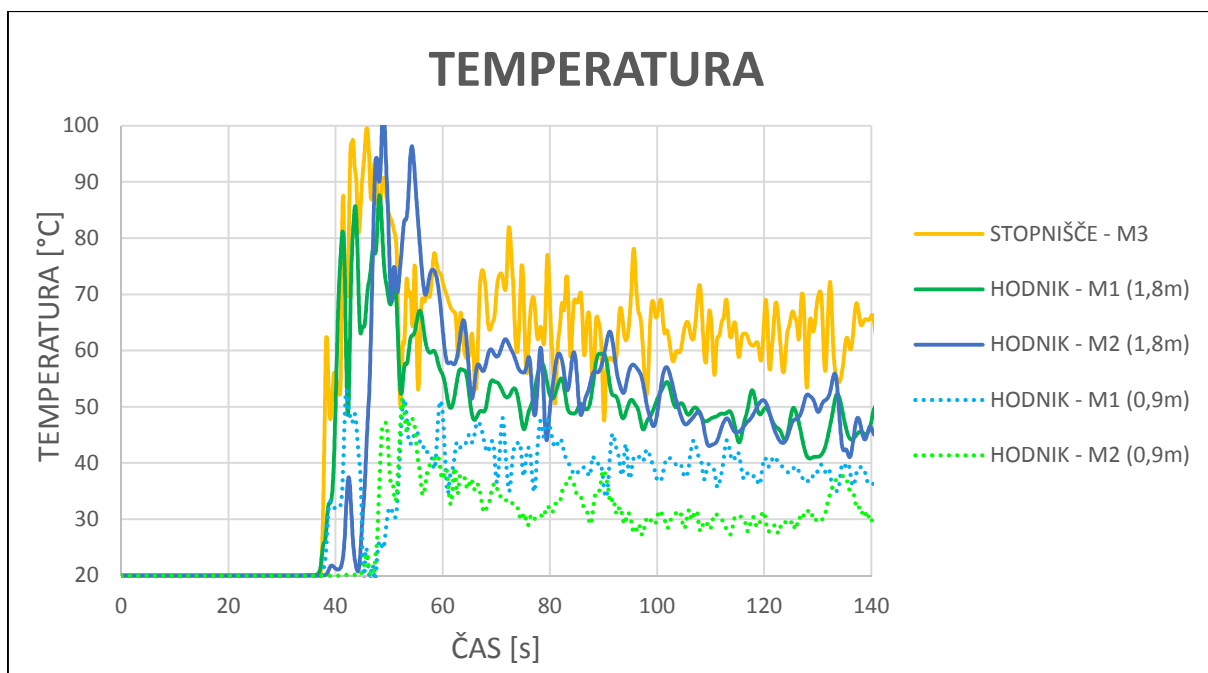
## Meritve temperature in vidljivosti

V knjižnici je veliko gorljivega materiala zato so temperatura in stranski produkti gorenja prisotni v večjih količinah. Po približno 50 sekundah pride do temperaturnega preskoka. Temperatura na hodniku (M1) in na glavnem stopnišču (M3) doseže zelo nevarnih 100°C, pred glavnim izhodom (M2) na višini 1,8m pa preseže 80°C. Na višini 0,9m se temperatura povzpne do neprijetnih 50°C. V naslednjih sekundah evakuacije vrednosti nekoliko upadejo, vendar še vedno predstavljajo veliko oviro za uporabnike objekta. Na glavnem stopnišču temperatura niha med 55°C in 75°C vse do konca evakuacije. vzdolž hodnika na višini 1,8m vrednosti se gibljejo med 50-60°C, na višini 0,9m pa okoli 45°C (M1) oziroma 35°C (M2). V zadnjih sekundah evakuacije na območju glavnega izhoda se temperatura spusti pod 50°C na višini 1,8m (M2), na višini 0,9m pa se stabilizira na približno 30°C.

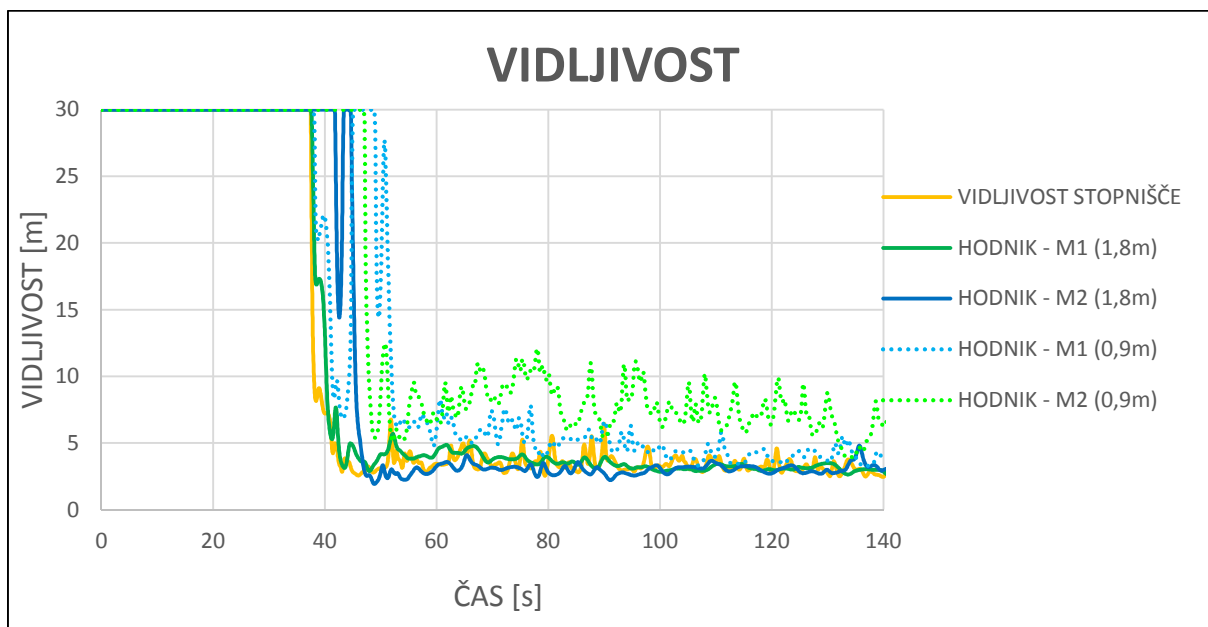
Poleg visoke temperature predstavlja dodatno oviro za evakuacijo količina dima v ozračju. Vidljivost doseže mejne vrednosti že po 40 sekundah. Na stopnišču (M3) in na hodniku, na višini 1,8m, vidljivost



upade na 2-3m. Vrednosti se do konca evakuacije ne spremenijo. Na višini 0,9m vidljivost lahko ocenimo na 5m (M1), pred glavnim izhodom pa niha med 5 in 10m.



Slika 40: Časovni prikaz temperature – varianta 3



Slika 41: Časovni potek vidljivosti – varianta 3

## 10 UGOTOVITVE IN IZBOLJŠAVE

Varianta 1 prikazuje potek evakuacije po predvidenem evakuacijskem načrtu. V začetni fazi evakuacija pritličja poteka tekoče brez zastojev, v prvem nadstropju pa se pojavi gneča že po 30 sekundah. V nadaljevanju evakuacije se čakalna vrsta močno poveča. V pritličju se pojavi prvi zastoj po 50 sekundah. Nadaljevanje evakuacije poteka zelo počasi tako v prvem nadstropju kot v pritličju. Objekt se v celoti izprazni v 140 sekundah. Stranski produkti gorenja se širijo proti strešni konstrukciji, zato ne ovirajo prehoda uporabnikov skozi evakuacijsko pot.

Pri varianti 2 sem predpostavil robne pogoje tako, da se je povečalo število evakuiranih oseb skozi glavni izhod. Povečana obremenitev glavnega evakuacijskega izhoda dodatno upočasni celotni potek evakuacije. V pritličju, na območju hodnika pred glavnim hodnikom, nastane velik zastoj, ki dodatno upočasni prehod uporabnikov skozi glavno stopnišče. Vse osebe, ki niso zapustile objekta se znajdejo v dolgi čakalni vrsti. Objekt se v celoti evakuira po približno 165 sekundah. Stranski produkti gorenja se širijo po pritličju in vzpenjajo skozi glavno stopnišče proti strehi. Dosežene vrednosti ne predstavljajo nevarnosti za zdravje prisotnih oseb.

Varianta 3 predstavlja potek evakuacije pri uporabi alternativnega zasilnega izhoda za dodatno skupino učencev. Izbrana pot skupine učencev, nekoliko razbremeni glavni izhod. Evakuacija pritličja poteka tekoče brez zastojev. V nadaljevanju evakuacije nastane manjši zastoj pred izhodnimi vrati, vendar se ne povečuje. Objekt se v celoti evakuira v 130 sekundah. Zaradi velike količine gorljivega materiala, se širijo stranski produkti gorenja po celotnem pritličju. Visoke temperature in zmanjšana vidljivost močno otežijo prehod skozi glavno stopnišče.

V primeru požara mora biti objekt evakuiran pred prihodom gasilcev, zato so iz časovnega vidika vrednosti zadovoljive. Težave pri OŠ Prade so v samem poteku evakuacije. Pri zožitvah evakuacijske poti nastanejo daljše čakalne vrste. Uporabniki se začnejo zbirati v pritličju pred glavnim izhodom in v prvem nadstropju pred vstopom v stopnišče. Zaradi starostne skupine uporabnikov (otroci od 9-13 let) bi lahko prišlo do paničnega vedenja in posledično do težko obvladljive situacije za odgovorne učitelje. Dodatna težava bi lahko predstavljala večja količina stranskih produktov gorenja vzdolž same evakuacijske poti, ti pa bi še dodatno pripomogli k potencialnem nastanku panike.

Da bi razbremenili glavno stopnišče in zmanjšali evakuacijski čas prvega nadstropja bi lahko uporabili stopnišče, ki povezuje predmetno stopnjo z razredno stopnjo. Stopnišče je locirano znotraj objekta na severo-zahodnem delu. Alternativna evakuacijska pot bi vodila po hodniku mimo svetovalne službe in ob tajništvu, nato po stopnišču do pritličja ter mimo garderob skozi glavni izhod. Širina alternativne evakuacijske poti je nekoliko manjša (1,6m), zato bi bilo potrebno omejiti dostop le na manjšo skupino uporabnikov objekta. Dolžina poti bi se za zaposlene v tajništvu in v svetovalni službi zmanjšala, za ostale uporabnike alternativne evakuacijske poti pa nekoliko povečala. Predvidevam, da bi lahko čas

evakuacije dodatno zmanjšali z evakuacijo celotnega pritličja skozi sekundarne zasilne izhode, vendar so zaradi zaklepanja učilnic med odmori trenutno določeni izhodi nedosegljivi.

V primeru, da bi imeli možnost poseči v strukturo objekta bi lahko uporabili nekatere gradbene ukrepe, da bi povečali hitrost evakuacije skozi glavni izhod oziroma nekatere tehnične ukrepe za zmanjšanje količine stranskih produktov na evakuacijski poti. Z izgradnjo zasilnih izhodov v preostalih učilnicah pritličja bi lahko povečali število evakuiranih oseb skozi sekundarne izhode in tako bistveno razbremenili potek evakuacije skozi glavni izhod na severnem delu predmetne stopnje. Objekt obdaja velika travnata površina, zato bi poseg omogočil varen umik učencev na predvideni zbirni mesti. Večjo hitrost pretoka skozi glavni izhod bi lahko zagotovili z nekoliko širšimi izhodnimi vrati.

Zmanjšanje vplivov stranskih produktov gorenja bi lahko dosegli z dodatnimi mehanizmi za odvod dima. Na strehi so postavljeni svetlobniki, z možnostjo vgradnje električnega motorja za avtomatsko odpiranje. Vgradnja motorja bi lahko omogočila odvod dima skozi strešna okna. V knjižnici, kjer je veliko gorljivega materiala bi morali zagotoviti direktni odvod dima na prosto ali vzpostaviti avtomatski šprinklerski sistem gašenja. V nadaljevanju naloge se bom poskusil izogniti stranskim produktom gorenja z uporabo stopnišča na severo-zahodnem delu objekta.

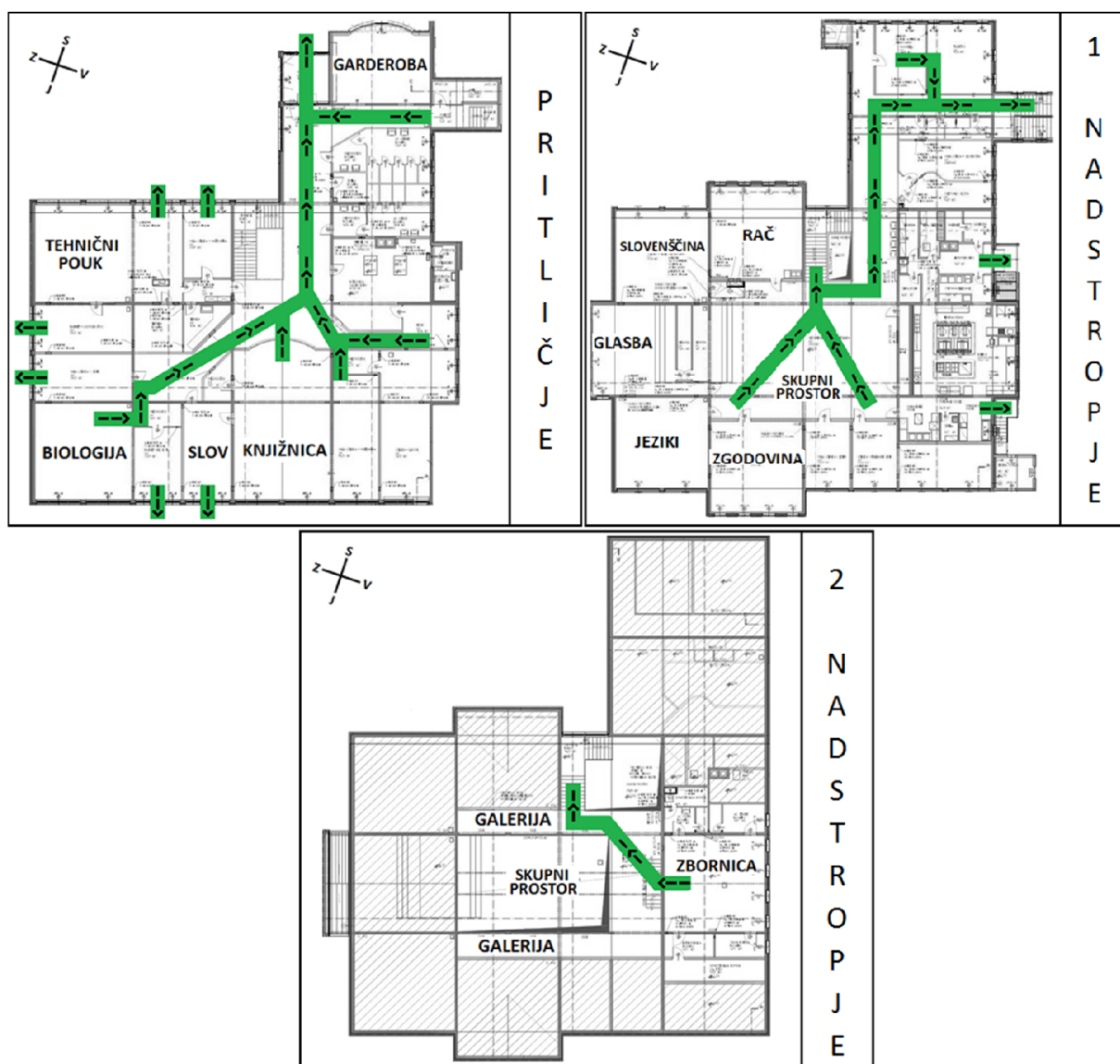
### **Izbrani ukrepi**

V nadaljevanju naloge bom preveril nekatere predlagane ukrepe. Varianta A bo predstavljala evakuacijo objekta z uporabo sekundarnega stopnišča. Alternativne evakuacijske poti se bodo poslužili zaposleni tajništva in svetovalne službe, učitelji iz zbornice ter učitelj matematike s skupino učencev. Ostali uporabniki bodo evakuirani po predvideni evakuacijski poti. Za primer požara v knjižnici bom preveril še potek evakuacije pri onemogočeni uporabi glavnega stopnišča zaradi velike količine stranskih produktov gorenja.

Varianti B in C bosta predstavljali potek evakuacije z uporabo gradbenih ukrepov. Pri varianti B bom povečal širino glavnega izhoda. Nova širina izhodnih vrat bo znašala 1,8m. Evakuacija bo potekala po projektiranem evakuacijskem načrtu. Varianta C bo imela dva dodatna zasilna izhoda v učilnici za biologijo in učilnici za likovni pouk. Ostali uporabniki objekta bodo evakuirani po predvideni evakuacijski poti.

### 10.1 Uporaba sekundarnega stopnišča – varianta A

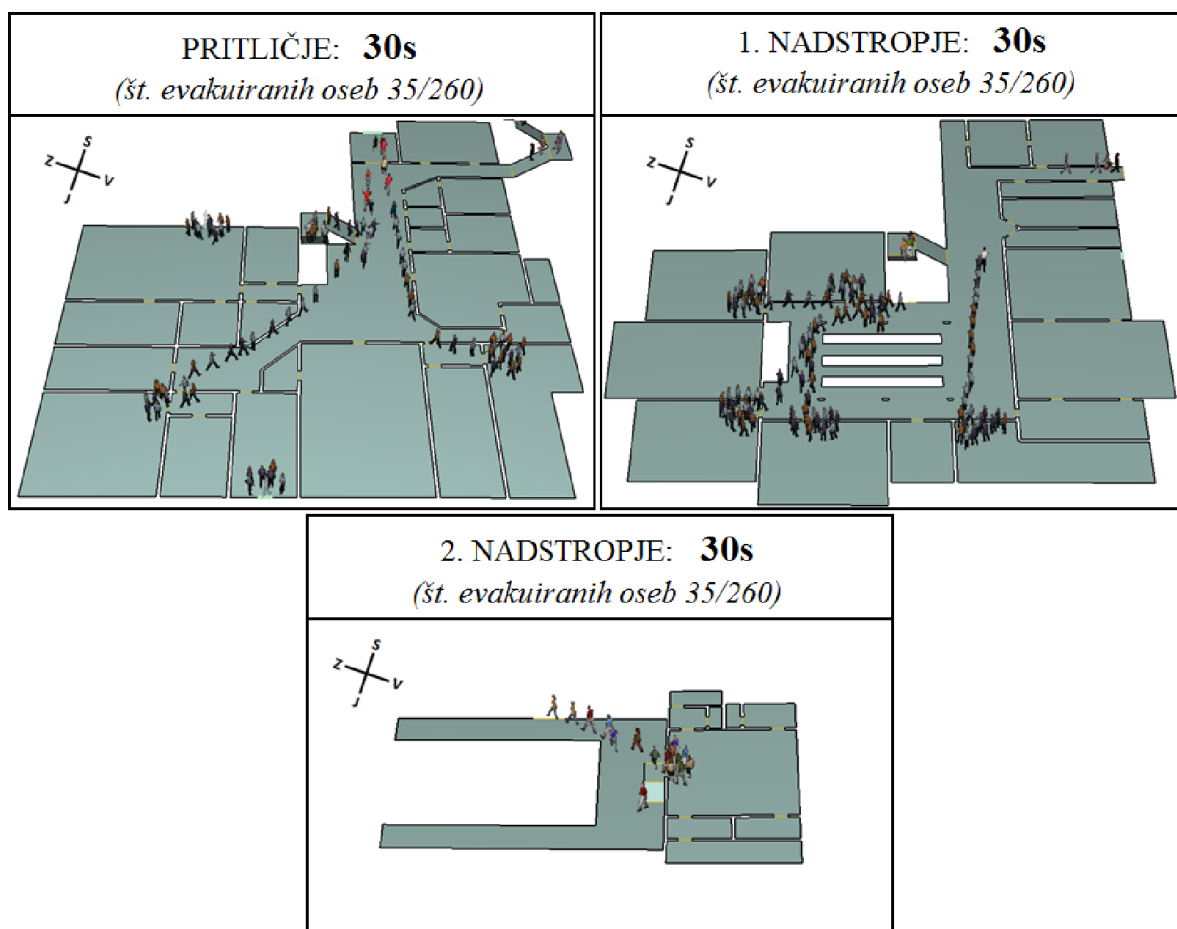
Prehod iz predmetne stopnje v razredno stopnjo je možen preko stopnišča, ki se nahaja na vzhodnem delu objekta. Stopnišče bo uporabljeno kot alternativna pot za evakuacijo prvega nadstropja (Slika 42). Poleg izhodnih vrat v kuhinjskih prostorih bo imelo prvo nadstropje dve ločeni evakuacijski poti in sicer po glavnem stopnišču in po hodniku pred tajništvom. Evakuacijska pot v pritličju ostaja nespremenjena. Šest učilnic ima direktni izhod na prosto ostale pa bodo evakuirane preko glavnega izhoda v severnem delu objekta.



Slika 42: Evakuacijska pot – uporaba sekundarnega stopnišča

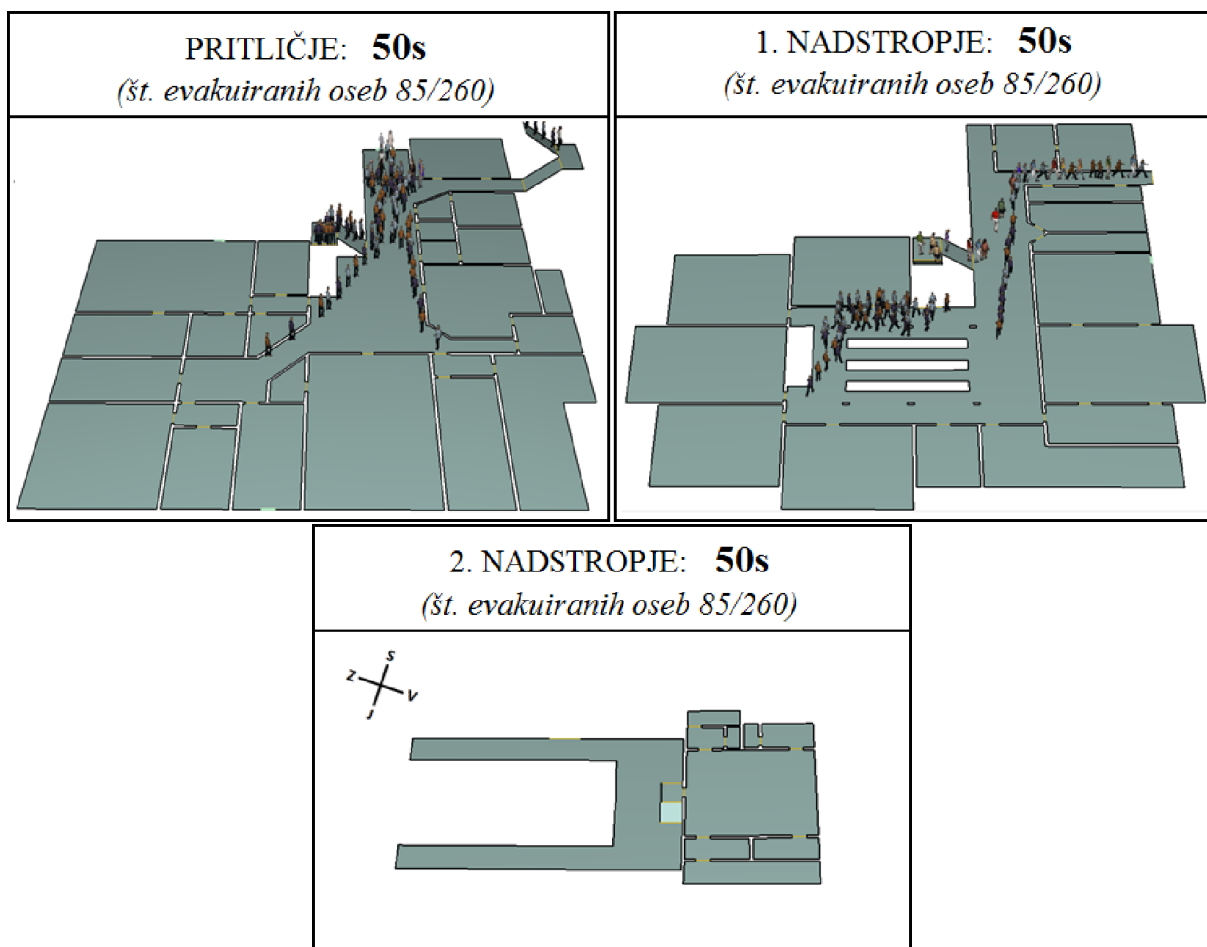
## Potek evakuacije

V začetni fazi evakuacije se tajništvo z ravnateljem in zaposleni v svetovalni službi napotijo po sekundarnem stopnišču. Po 25 sekundah se učitelj matematike s skupino učencev nahaja v območju glavnega stopnišča in zaradi velikega števila učencev, ki zapušča učilnice se odloči za uporabo alternativne evakuacijske poti. Deset sekund kasneje se jim pridružijo učitelji iz drugega nadstropja. V pritličju se prvi uporabniki približujejo glavnemu izhodu, v učilnicah z direktnim izhodom pa je večina učencev že zapustila objekt (Slika 43).



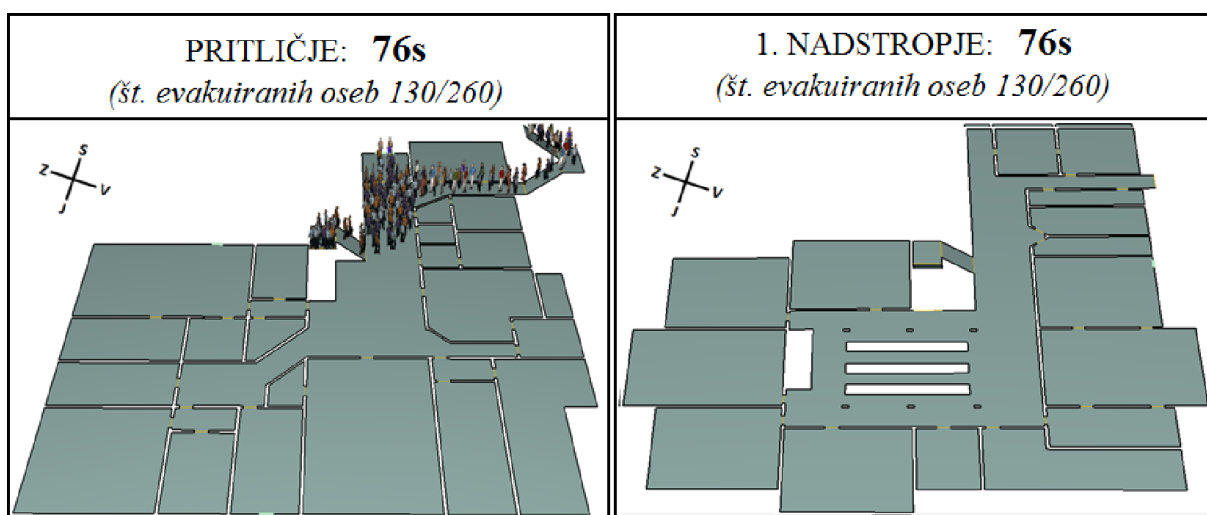
Slika 43: Varianta A1 – evakuacija pri 30 sekundah

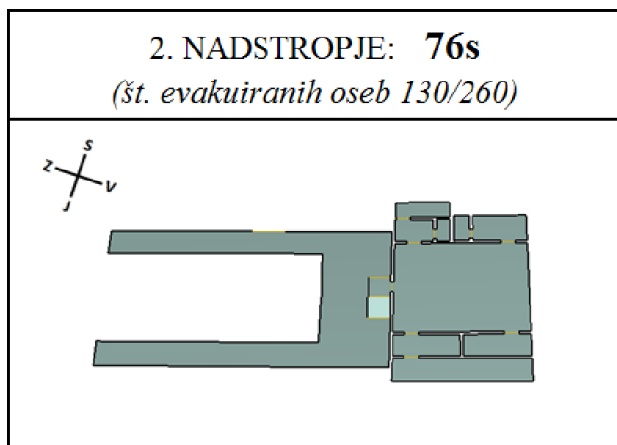
Po 50 sekundah so vsi učenci zapustili učilnice učitelji pa evakuirali drugo nadstropje. V prvem nadstropju se je zbrala manjša skupina pred glavnim stopniščem, medtem ko evakuacija skozi stransko stopnišče poteka tekoče. V pritličju so predel hodnika pred glavnim izhodom dosegli zaposleni iz tajništva in svetovalne službe, zato se evakuacija iz objekta nekoliko upočasni (Slika 44).



Slika 44: Varianta A1 – evakuacija pri 50 sekundah

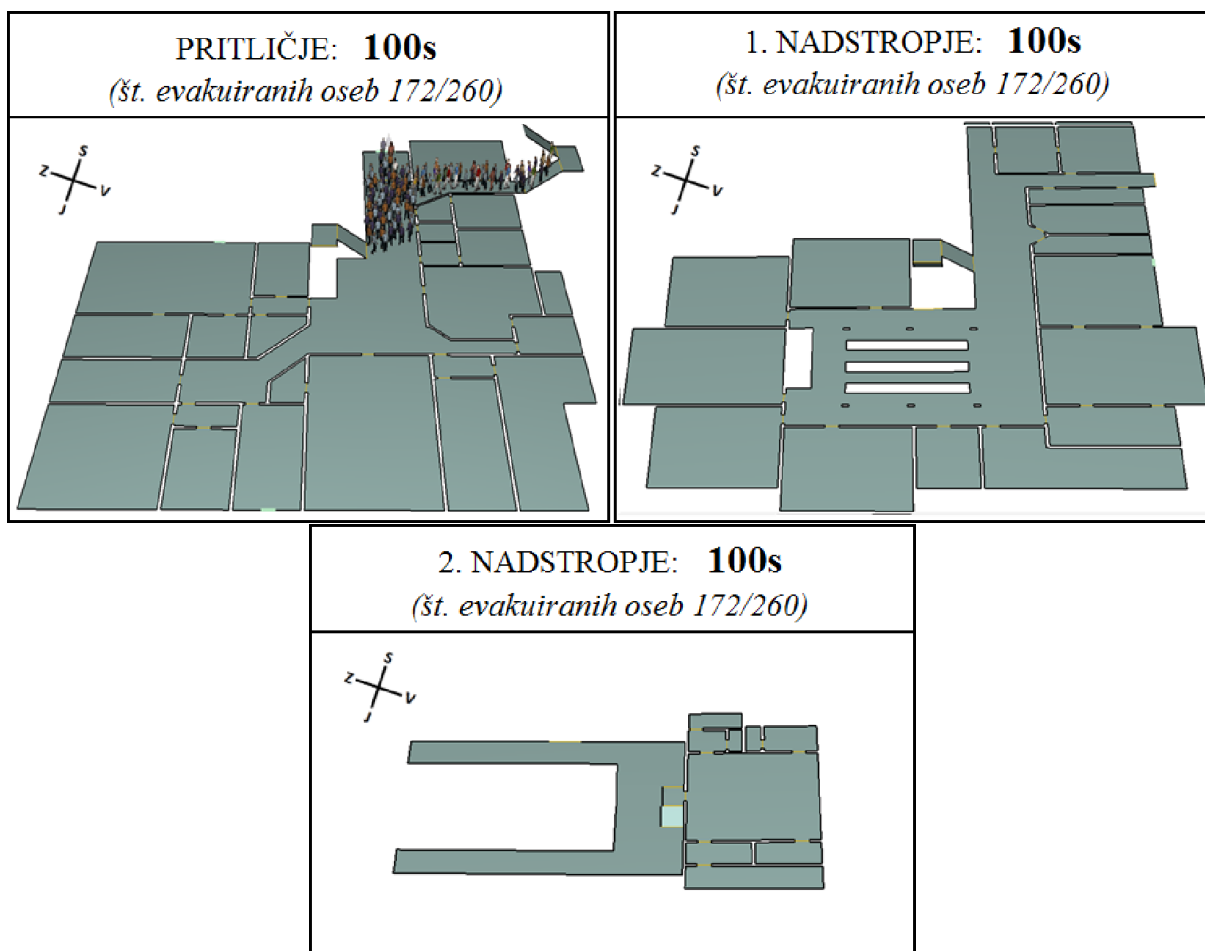
V naslednjih sekundah se povečuje količina uporabnikov pred glavnim izhodom. Hodnik se polni iz dveh smeri, čakalna vrsta pa se razteza po celotni širini hodnika do spodnjega dela glavnega stopnišča, kar nekoliko upočasni evakuacijo skozi glavno stopnišče. Pretok uporabnikov skozi sekundarno stopnišče ni še oviran. Prvo nadstropje se izprazni po 76-ih sekundah, v tem času je objekt zapustilo 134 oseb (Slika 45).





Slika 45: Varianta A1 – evakuacija pri 76 sekundah

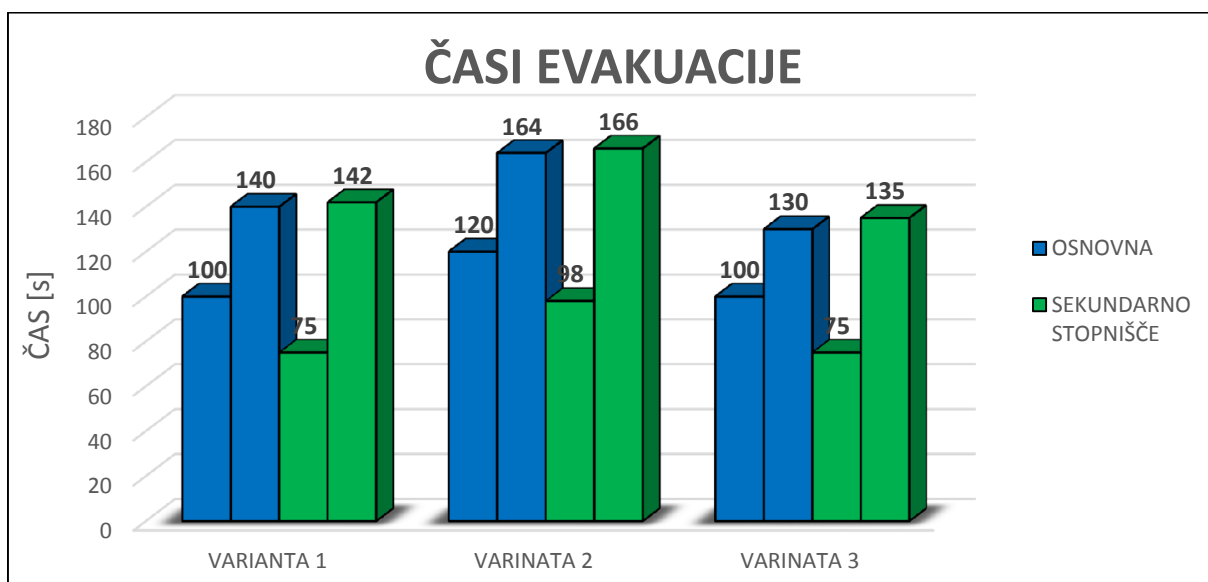
Uporabniki iz prvega nadstropja se zelo počasi premikajo po stopnišču, saj je predel hodnika pred glavnim vhodom v celoti zapolnjen. Petnajst sekund kasneje je preostalih 100 oseb zajetih v dolgo kolono, ki se razveja v dve smeri od glavnega izhoda proti glavnemu in sekundarnemu stopnišču. Objekt se v celoti evakuira v 142 sekundah (Slika 46).



Slika 46: Varianta A1 – evakuacija pri 100 sekundah

## Ugotovitve

V spodnjem grafu (Slika 47) so prikazani časi evakuacije za vse 3 variante. Stolpci modre barve prikazujejo potrebni čas za evakuacijo prvega nadstropja in za evakuacijo celotnega objekta za osnovne primere, zeleni pa za evakuacijo z uporabo sekundarnega stopnišča. Evakuacijski čas objekta se ne spremeni bistveno, občutno pa se zmanjša čas evakuacije prvega nadstropja. Evakuacijski časi se v primeru uporabe stopnišča, ki povezuje razredno in predmetno stopnjo, v povprečju razlikujejo za 2 sekundi. Sekundarno stopnišče omogoča predčasno izpraznitev prvega nadstropja in zagotovi manjše tveganje na prehodu skozi glavno stopnišče zaradi stranskih produktov gorenja. Uporaba alternativne poti znatno razbremeni glavno stopnišče, vendar povzroči nastanek daljše čakalne vrste pred glavnim izhodom v zadnjih sekundah evakuacije.

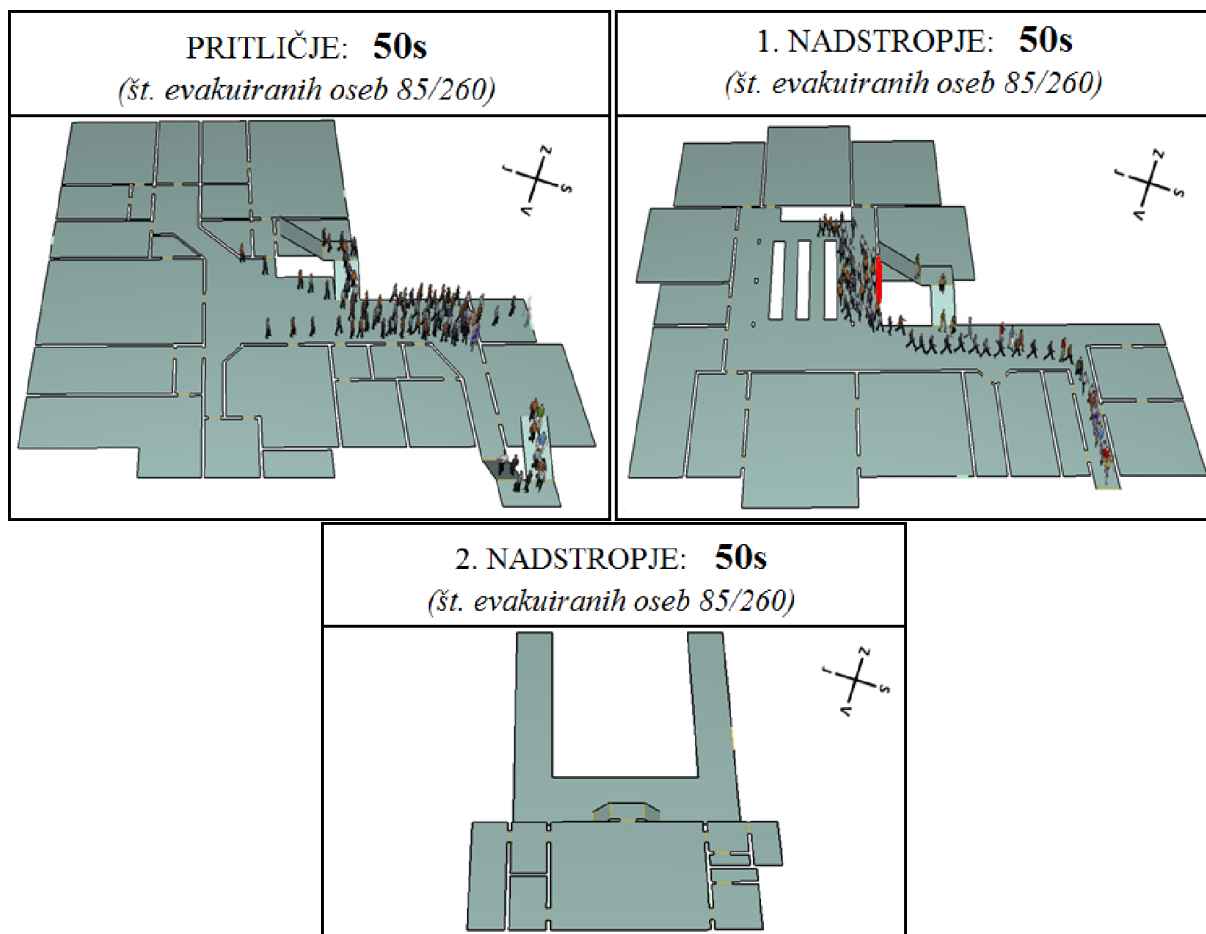


Slika 47: Evakuacijski časi za posamezne variante



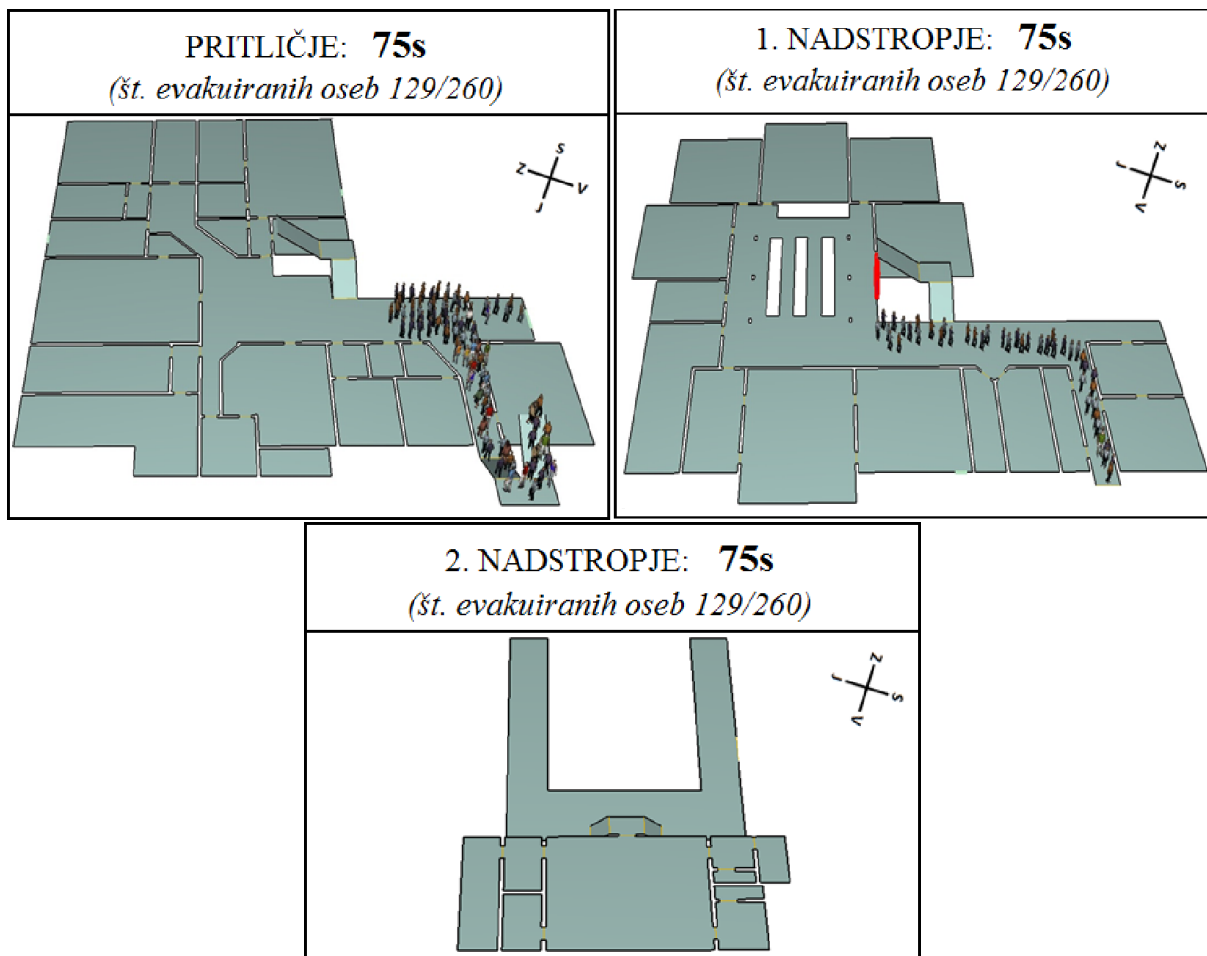
## 10.2 Nedostopnost glavnega stopnišča zaradi stranskih produktov gorenja A3(2)

Pri varianti 3 količina stranskih produktov gorenja doseže vrednosti, ki so nevarne za zdrave uporabnikov. Prehod skozi glavno stopnišče je praktično onemogočeno po 50 sekundah, ko pride do temperaturnega preskoka. Potek evakuacije od tega trenutka dalje bo potekal po stopnišču, ki povezuje predmetno in razredno stopnjo (Slika 48).



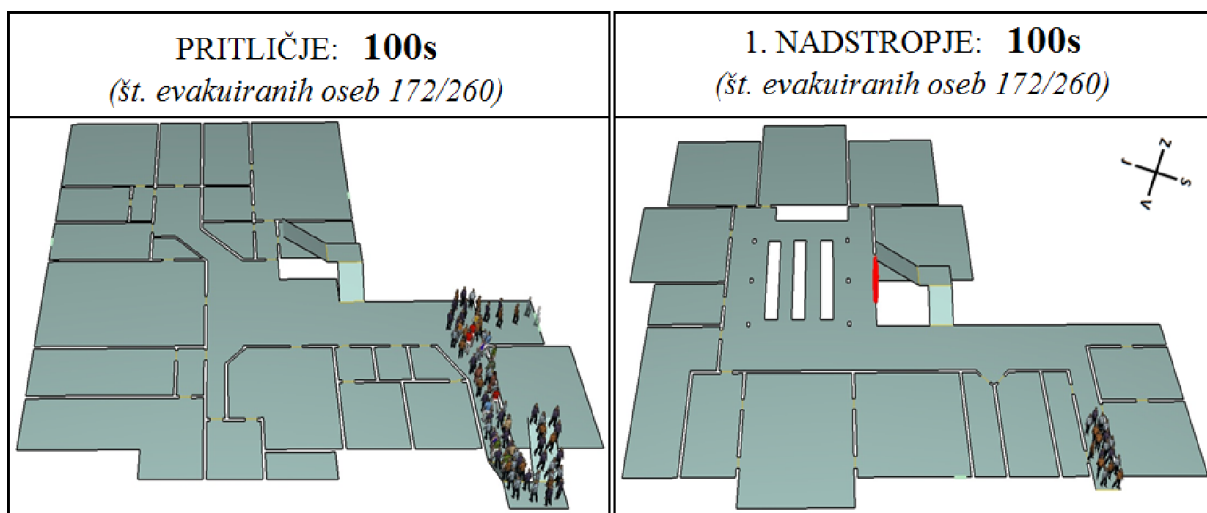
Slika 48: Varianta A3(2) – Evakuacija pri 50 sekundah

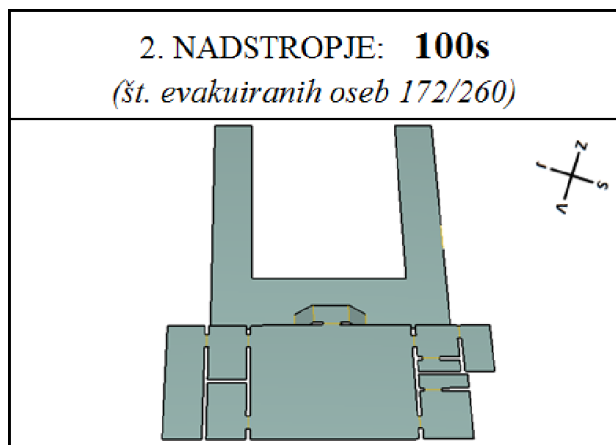
Zaradi velike količine dima na glavnem stopnišču, se učitelji odločijo za evakuacijo preko stopnišča ob tajništvu. Sprememba poti razbremeni glavni izhod v naslednjih sekundah evakuacije. Evakuacija skozi sekundarno stopnišče poteka zelo počasi. Zaradi manjšega pretoka uporabnikov se nastali zastoj v pritličju zmanjšuje. Objekt je zapustilo 129 uporabnikov (Slika 49).



Slika 49: Varianta A3(2) – Evakuacija pri 75 sekundah

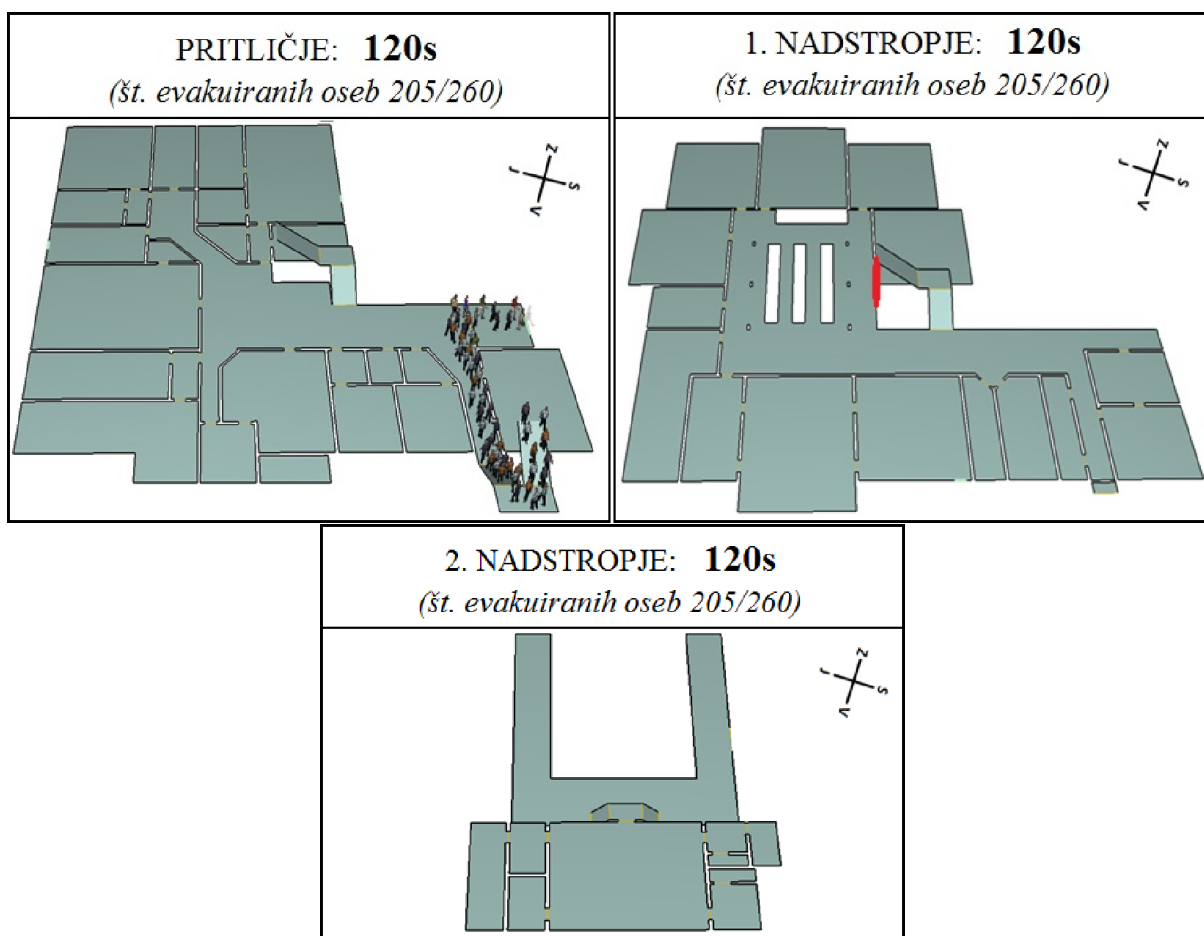
Po 95 sekundah se je območje hodnika pred glavnim stopniščem izpraznilo. Evakuacija skozi sekundarno stopnišče se je zaradi velikega števila oseb dodatno upočasnila. Uporabniki tvorijo dolgo kolono, ki se razteza vse od glavnega izhoda, ob garderobah do izhodnih vrat tajništva. Objekt je zapustilo 165 oseb (Slika 50).





Slika 50: Varianta A3(2) – Evakuacija pri 100 sekundah

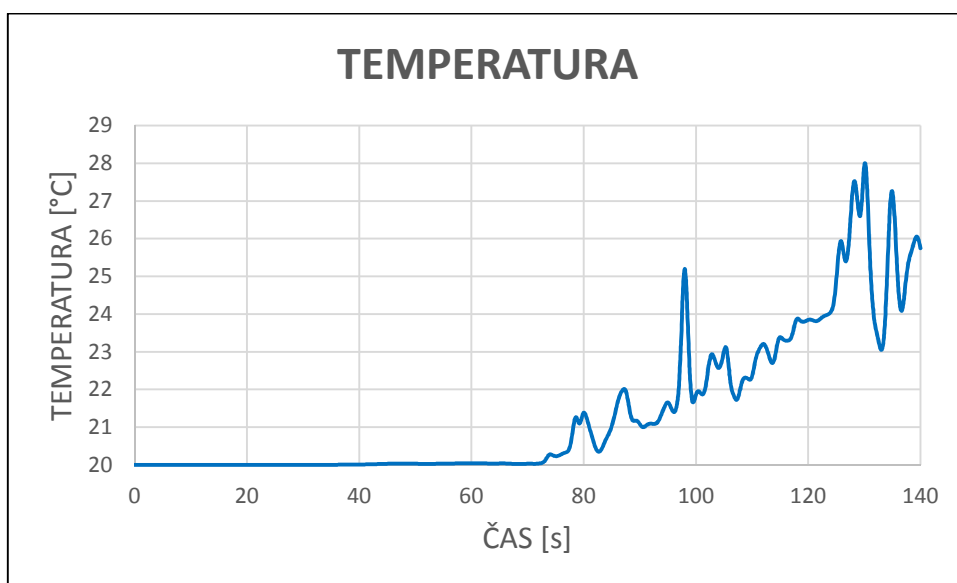
Prvo nadstropje se izprazni po 120 sekundah. V pritličju se uporabniki zbirajo na hodniku pred garderobami in počasi zapuščajo objekt skozi glavni izhod. Evakuacija skozi sekundarno stopnišče poteka zelo počasi (Slika 51). Objekt se v celoti evakuira po 150s.



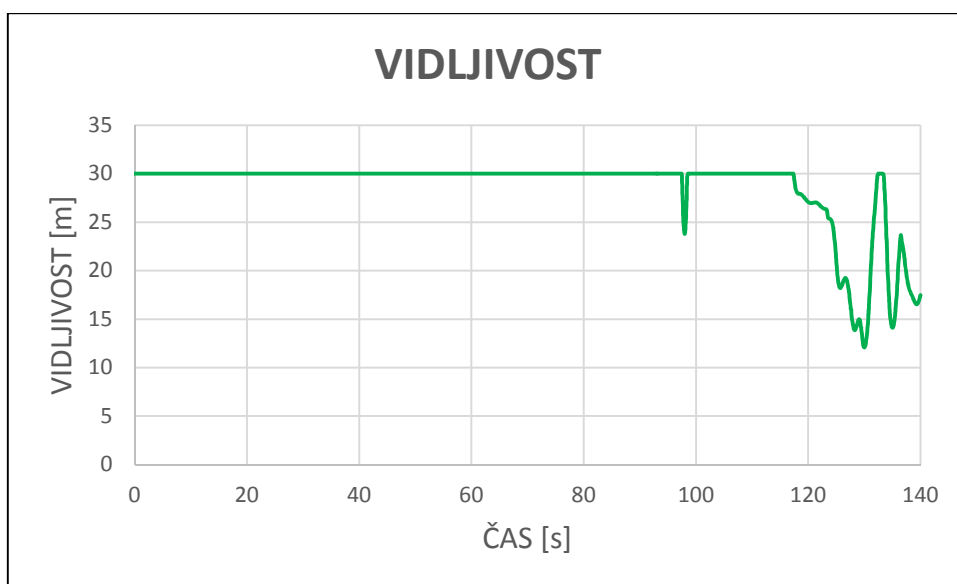
Slika 51: Varianta A3(2) – Evakuacija pri 120 sekundah

## Ugotovitve

Z evakuacijo uporabnikov prvega nadstropja skozi sekundarno stopnišče se izognemo nevarnim stranskim produktom, ki se skozi glavno stopnišče dvigujejo proti strehi. Spodnja grafa prikazujeta temperaturo (Slika 52) in vidljivost (Slika 53) na sekundarnem stopnišču 1,5m nad podestom. Temperatura ne preseže 28°C, vidljivost pa upade na 15m le v zadnjih sekundah evakuacije. Uporaba alternativne poti poveča evakuacijski čas objekta za približno 20 sekund. Največji problem predstavlja ozki hodnik pred garderobami, kjer nastane daljši zastoj.



Slika 52: Temperatura na sekundarnem stopnišču

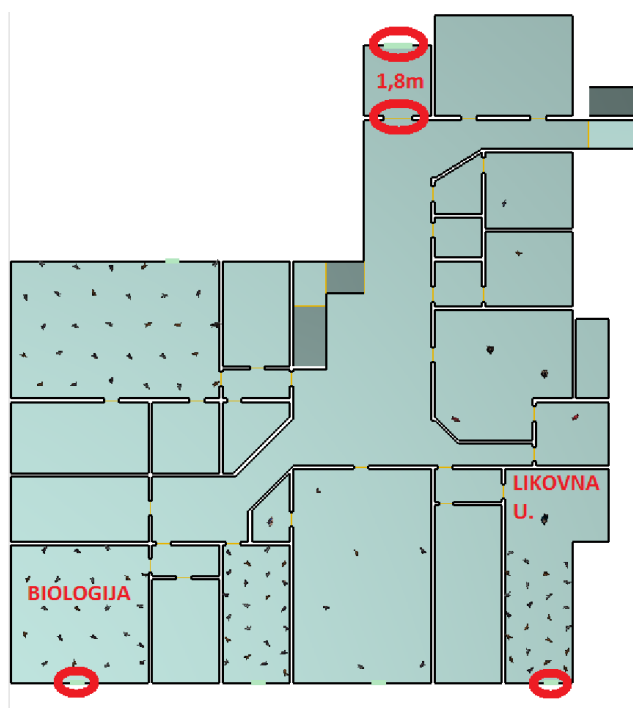


Slika 53: Vidljivost na sekundarnem stopnišču

### 10.3 Gradbeni ukrepi

Z gradbenimi ukrepi bi lahko povečali skupno širino evakuacijskih izhodov. S povečanjem širine izhodnih vrat bi povečali hitrost pretoka skozi glavni izhod (varianta B). Pri varianti 2 je najbolj razviden problem ozkega grla v območju glavnega izhoda. Zaradi velikega števila uporabnikov se pojavi velika gneča pred izhodnimi vrati. Razbremenitev glavnega izhoda in posledično zmanjšanje evakuacijskega časa bi lahko zagotovili z dodatnimi izhodi iz učilnic v pritličju (varianta C). Izhodi iz učilnic bi vodili preko travnate površine na predvideno zbirno mesto ob zahodnem delu fasade.

Opazoval bom potek evakuacije pri povečani širini izhodnih vrat iz 1,5m na 1,8m in pri umestitvi dveh dodatnih zasilnih izhodov v učilnici za biologijo in učilnici za likovni pouk (Slika 54). Potek evakuacije bom prikazal na varianti 1 (B,C).



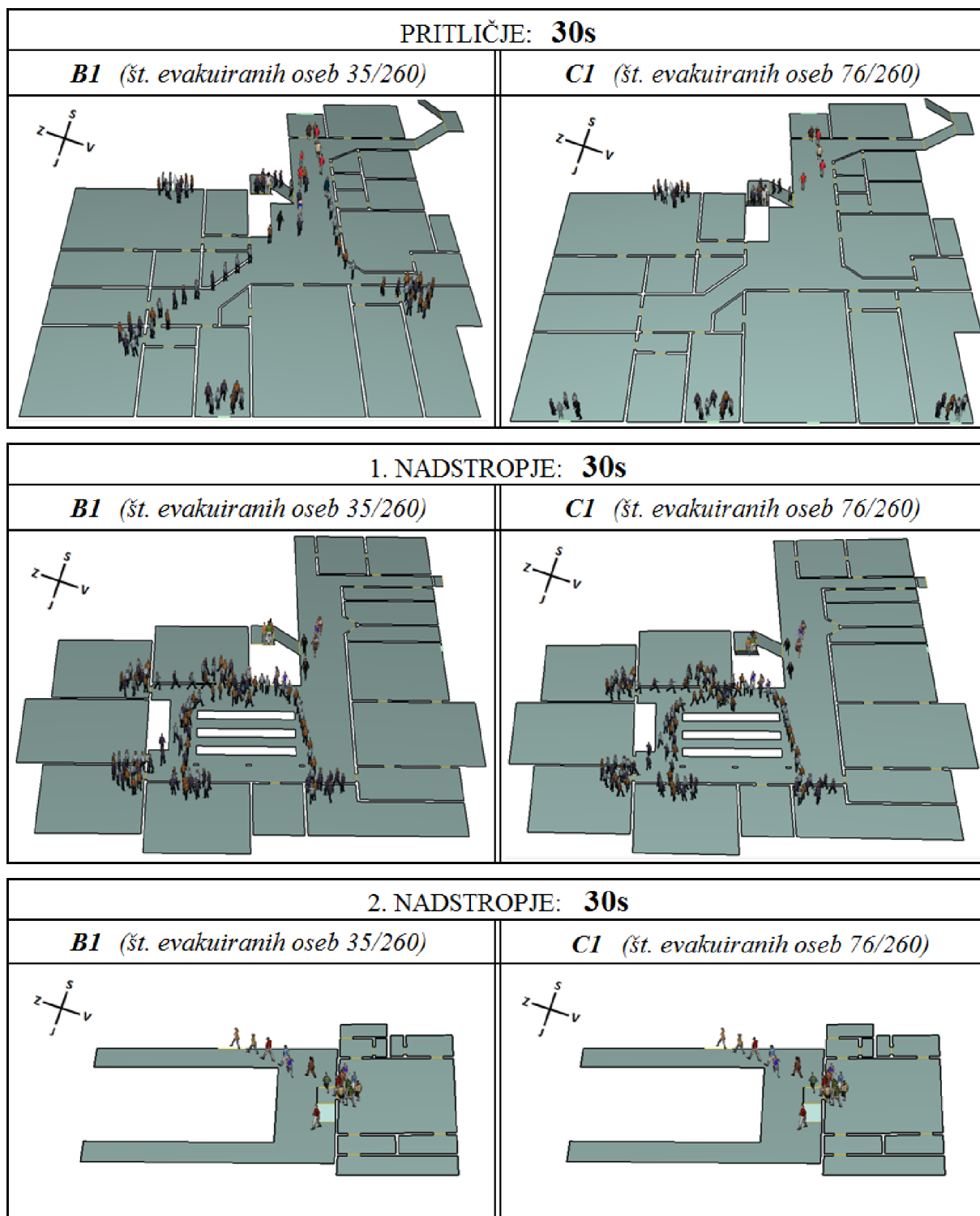
Slika 54: Povečanje skupne širine izhodov

#### Potek evakuacije – varianta B1, C1

Evakuacija prvega in drugega nadstropja predmetne stopnje bo potekala po predvideni evakuacijski poti. Uporabniki se bodo evakuirali skozi glavni izhod na severnem delu objekta, kuharska ekipa pa bo evakuirana skozi dostavna vrata. Pritličje bo pri varianti B1 evakuirano po predvidenem načrtu, pri varianti C1 pa bosta učilnici za biologijo in za likovni pouk evakuirani skozi sekundarna zasilna izhoda.

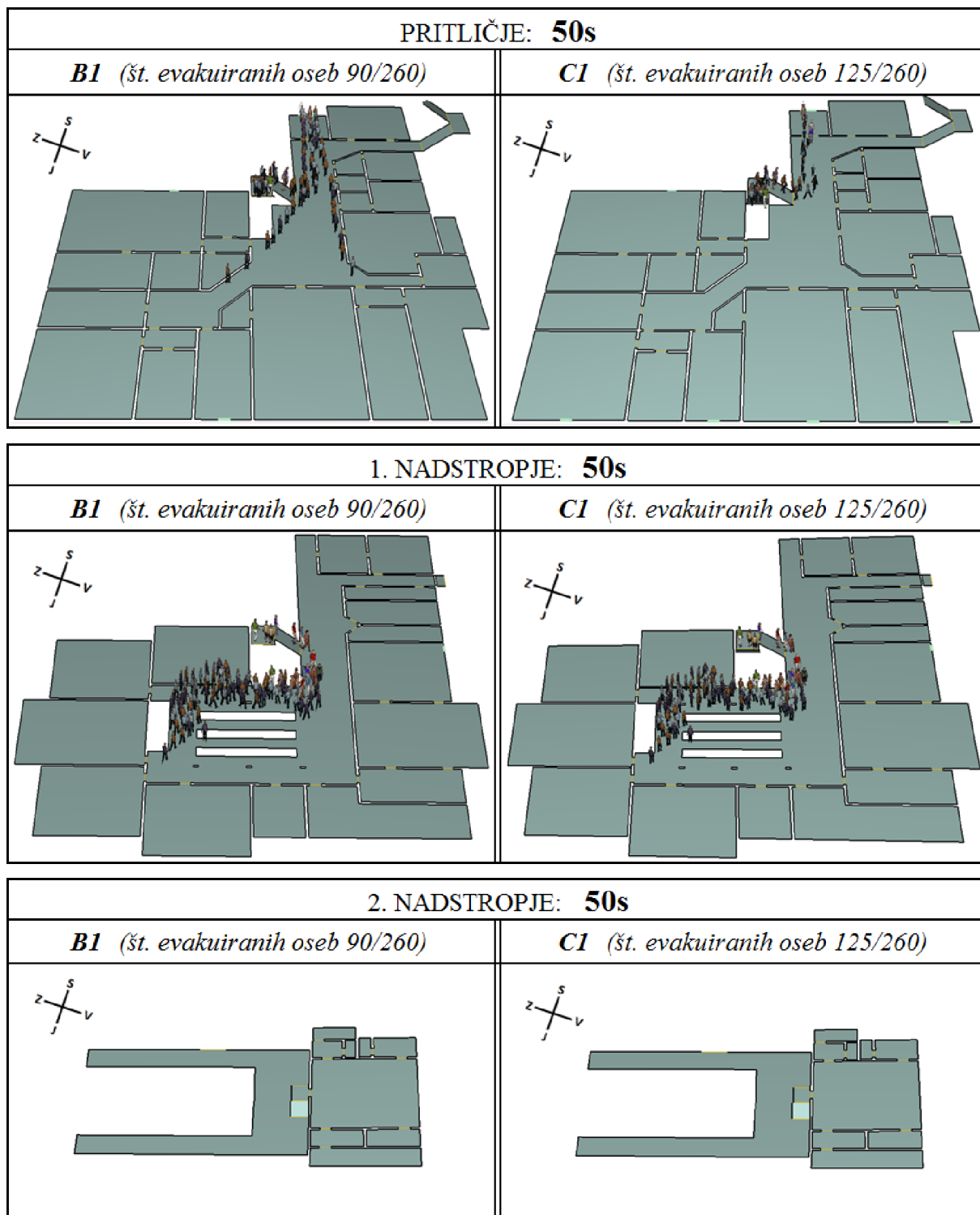
V prvih sekundah evakuacije se stanje v višjih nadstropjih ne razlikuje od osnovne variante. Učitelji iz zbornice počasi zapuščajo drugo nadstropje in se po stopnišču približujejo skupnemu prostoru. V prvem nadstropju nastane zastoj pred računalniško učilnico po 30 sekundah. V pritličju uporabniki zapuščajo

učilnice in se po hodniku približujejo proti glavnemu izhodu. Učilnice z direktnim dostopom na prosto so v večjem delu izpraznjene. Pri varianti B1 je objekt zapustilo 35, pri varianti C1 pa 76 oseb (Slika 55).



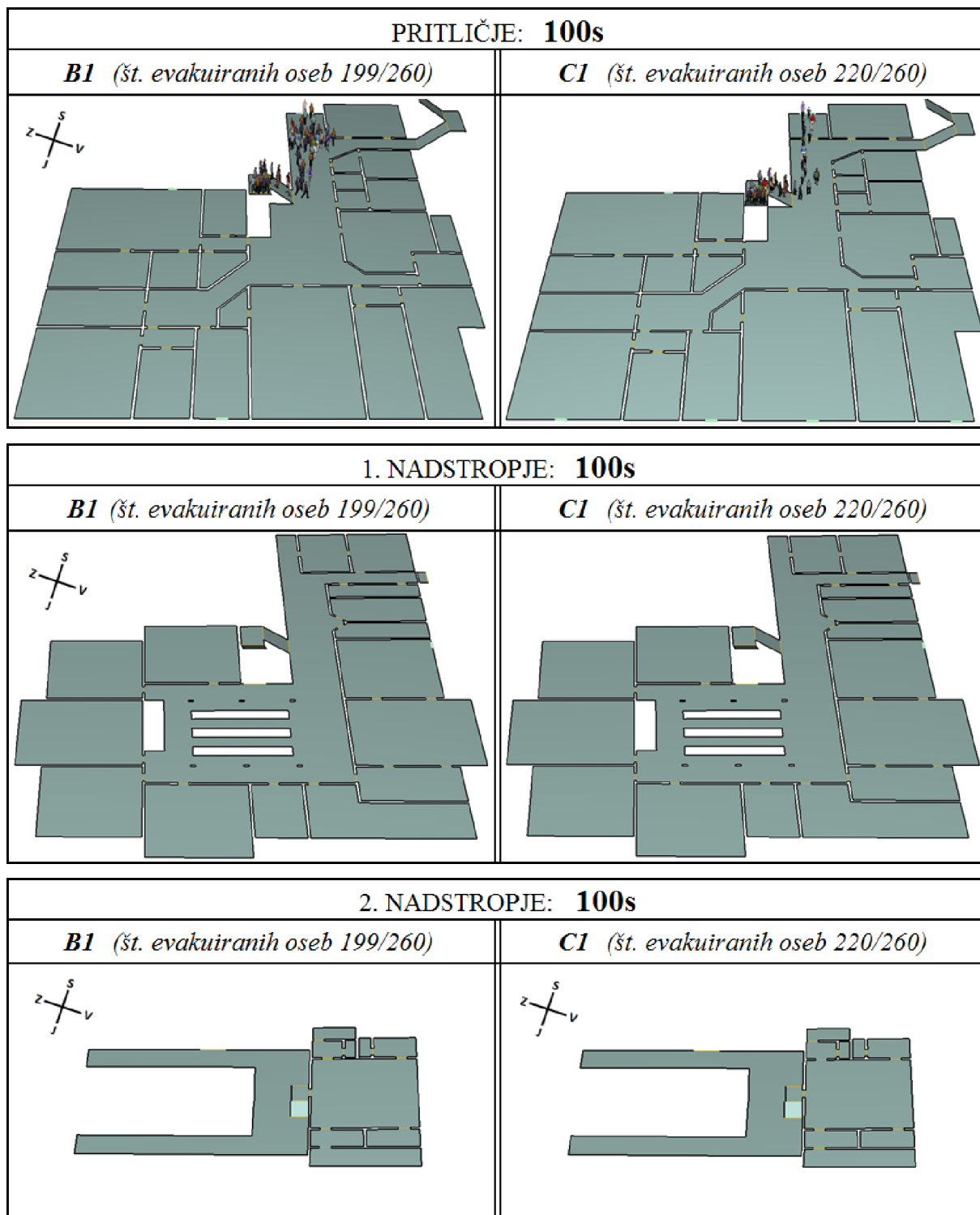
Slika 55: Varianta B1,C1 - Evakuacija pri 30 sekundah

Zastoj pred vstopom v glavno stopnišče se postopoma povečuje. Evakuacija prvega nadstropja poteka zelo počasi. Zadnji učitelji zapuščajo zbornico in se približujejo nastalemu zastoju. Drugo nadstropje je v celoti evakuirano. V pritličju poteka evakuacija tekoče, brez zastojev. Pri varianti B1 se zaradi prehoda učencev iz učilnice za biologijo in učilnice za likovni pouk nekoliko upočasni evakuacija skozi glavno stopnišče. Pri varianti B1 je objekt zapustilo 90, pri varianti C1 pa 125 oseb (Slika 56).



Slika 56: Varianta B1,C1 - Evakuacija pri 50 sekundah

Prvo nadstropje se evakuira v približno 100 sekundah. Zadnje osebe iz prvega nadstropja se po stopnišču počasi približujejo območju pritličja pred glavnim izhodom. Pri varianti B1 je nastal manjši zastojev pred izhodnimi vrati, vendar se zaradi povečane širine ne povečuje. Evakuacija pri varianti C1 poteka tekoče, brez zastojev. Objekt se pri varianti B1 v celoti evakuira v 132 sekundah pri varianti C1 pa v 122 sekundah (Slika 57).

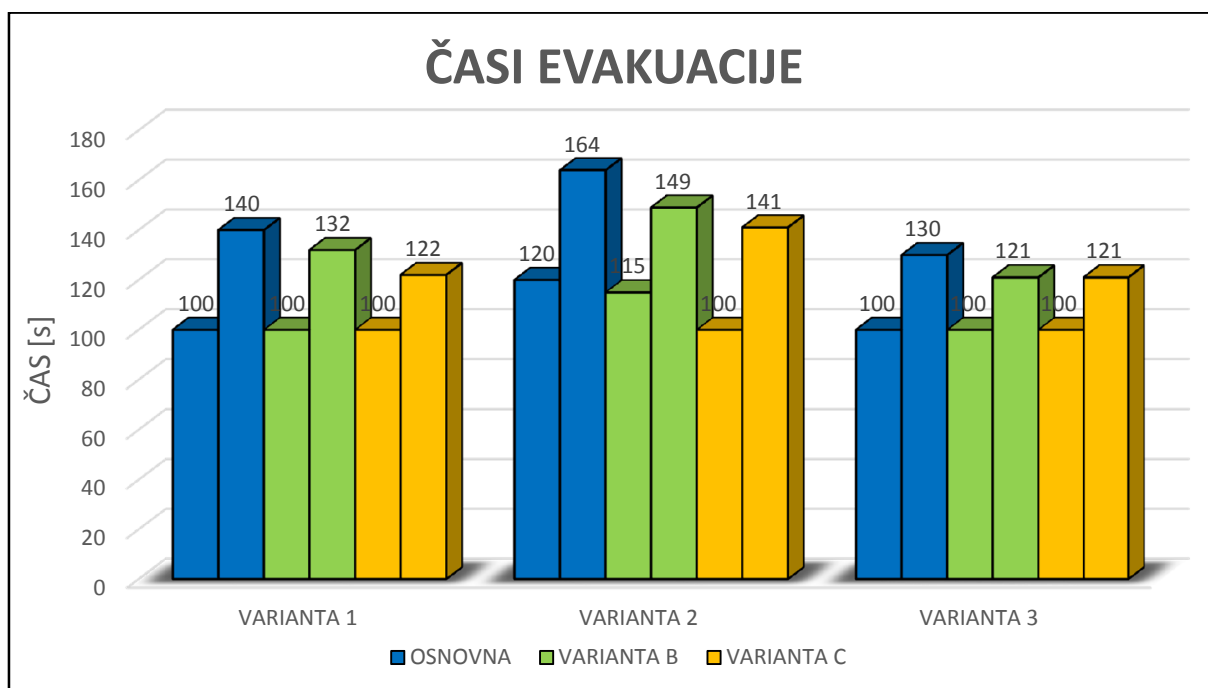


Slika 57: Varianta B1,C1 - Evakuacija pri 100 sekundah



## Ugotovitve

Spodnji graf (Slika 58) prikazuje evakuacijske čase predmetne stopnje za vse 3 variante. Stolpci modre barve predstavljajo čase evakuacije prvega nadstropja in evakuacije celotnega objekta za osnovne variante, stolpci zelene barve za variante B (povečana širina glavnega izhoda) in stolpci oranžne barve za variante C (dodatna zasilna izhoda v pritličju). Iz grafa je razvidno, da se z uporabo nekaterih gradbenih ukrepov evakuacijski čas zmanjša tudi za 20 sekund, čas evakuacije prvega nadstropja pa ostaja za varianti 1 in 3 nespremenjen. Pričakovano so nekoliko boljši rezultati pri variantah z dodatnima izhodoma. Poleg končnega evakuacijskega časa, ukrepi znatno razbremenijo glavni izhod in tako preprečijo nastanek nevarne gneče v pritličju. Problem ostaja pri evakuaciji skozi glavno stopnišče. Preobremenjenost stopnišča povzroča velike zastoje v skupnem prostoru prvega nadstropja.



Slika 58: Evakuacijski časi za prvo nadstropje oziroma za celotni objekt – gradbeni ukrepi

## 10.4 Optimalna varianta

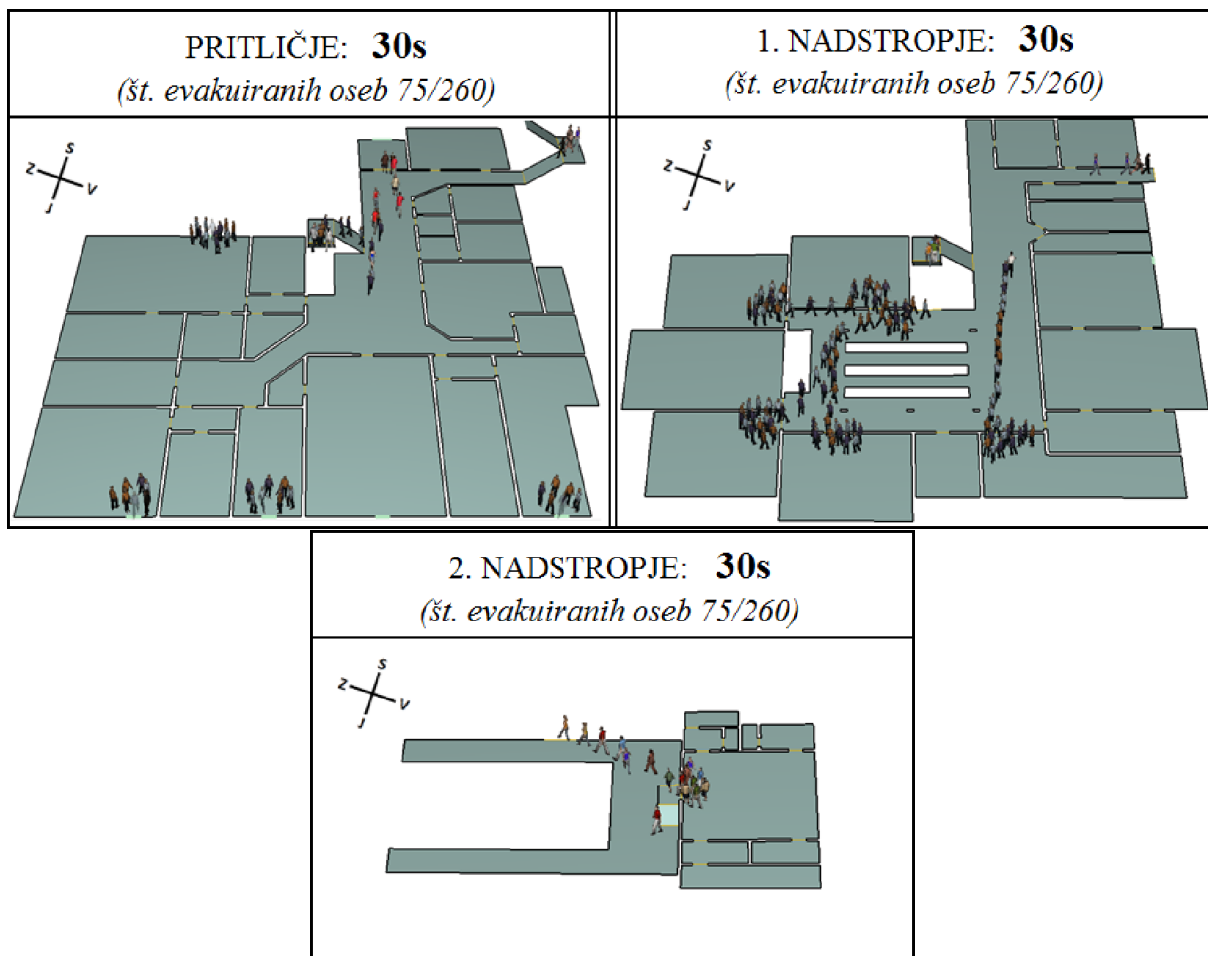
Analize različnih scenarijev v primeru požara na predmetni stopnji OŠ Prade so pokazale določene pomanjkljivosti v predvideni evakuacijski poti. Evakuacija velikega števila uporabnikov povzroči težave pri zožitvah evakuacijske poti: stopnišče in glavni izhod. Stopnišče in glavni izhod nista zadostne širine, da bi omogočila tekoč pretok večjega števila oseb, zato pri evakuaciji nastajajo dolgi zastoji v skupnem prostoru prvega nadstropja in v pritličju pred izhodnimi vrati (glej varianto 1). Dodatno težavo pri evakuaciji bi lahko povzročili stranski produkti gorenja. Pri varianti 3 je količina oddanih snovi in temperatura (nad 65°C) na glavnem stopnišču zelo nevarna predvsem za zdravje otrok. Simulacije alternativnih variant A, B in C so pokazale možne rešitve (uporaba sek. stopnišča, gradbeni ukrepi), s katerimi bi se lahko izognili daljšim zastojem oziroma izpostavljenosti uporabnikov večji količini stranskih produktov gorenja na evakuacijski poti.

Na podlagi rezultatov sem se za izboljšavo poteka evakuacije odločil uporabiti kombinacijo dveh predhodno analiziranih ukrepov, uporaba sekundarnega stopnišča in dodatna zasilna izhoda v pritličju. Pri optimalni varianti bom omogočil uporabo stopnišča na severo-vzhodnem predelu objekta in zagotovil evakuacijo skozi učilnice za vse uporabnike pritličja.

### Potek evakuacije

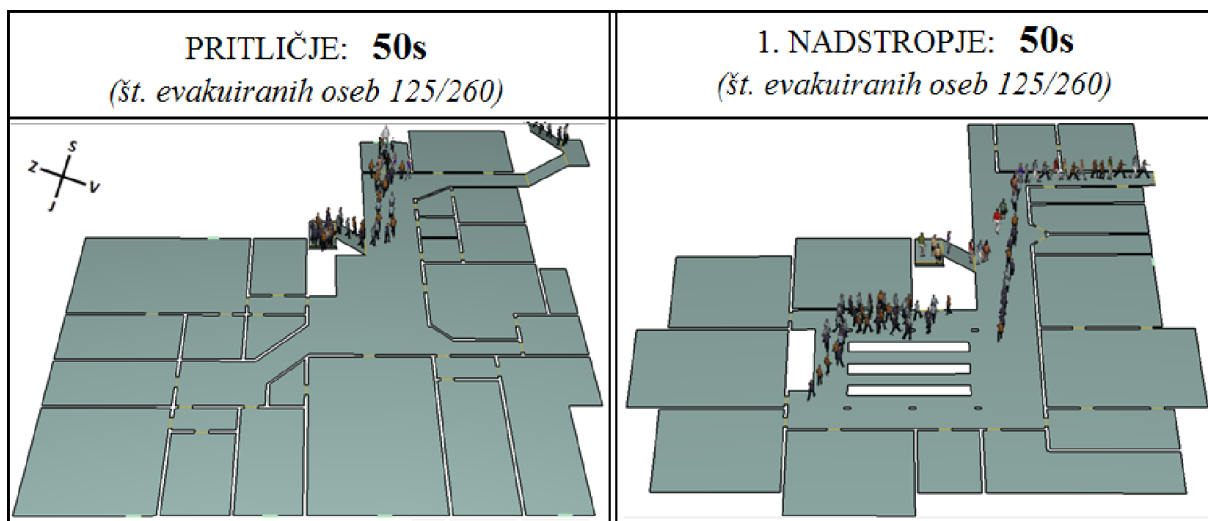
Evakuacija pritličja bo izvedena skozi učilnice. Vsaka učilnica bo imela direktni zasilni izhod, ki bo vodil do predvidenega zbirnega mesta ob zahodnem delu stavbe. Prvo nadstropje bo evakuirano skozi glavno in skozi sekundarno stopnišče. Učenci iz učilnice za matematiko in strokovni sodelavci bodo uporabili stopnišče na severo-zahodnem delu predmetne stopnje, ostali pa bodo evakuirani skozi glavno stopnišče. Evakuacija drugega nadstropja bo izvedena po predvidenem načrtu. Reakcijski čas za vse uporabnike znaša 15 sekund.

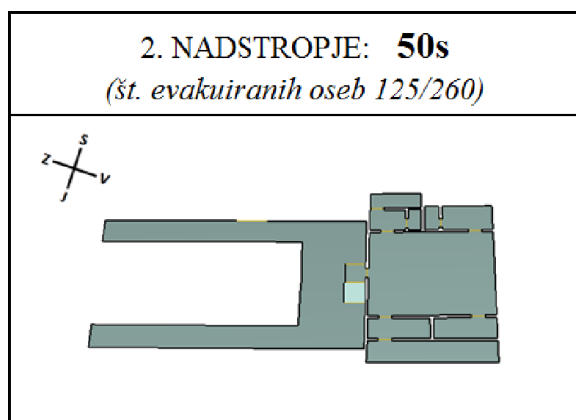
V začetni fazi evakuacija poteka tekoče, brez zastojev. V prvem nadstropju učenci počasi zapuščajo učilnice in se približujejo glavnemu oz. proti sekundarnemu stopnišču. V pritličju je večina oseb že zapustila objekt in se nahaja na predvidenem zbirnem mestu. Učitelji iz drugega nadstropja se po stopnišču spuščajo proti prvemu nadstropju. Po 30 sekundah je objekt zapustilo 75 od skupno 260 oseb (Slika 59).



Slika 59: Optimalna varianta - Evakuacija pri 30 sekundah

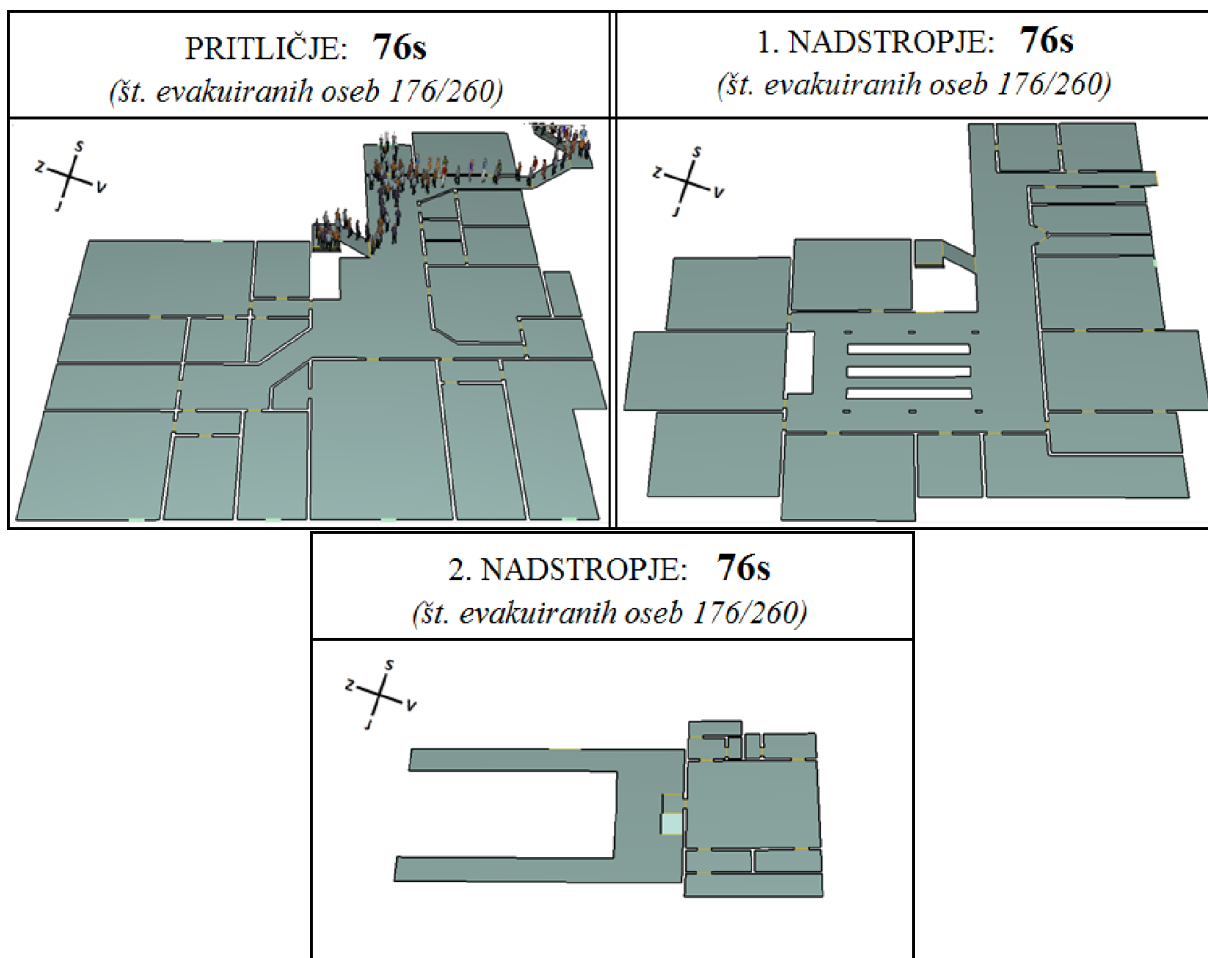
Po 50 sekundah so učilnice v pritličju v celoti evakuirane, evakuacija skozi glavni izhod poteka brez zastojev. V predelu skupnega prostora pred računalniško učilnico je nastala manjša gneča, vendar se zaradi sočasne uporabe sekundarnega stopnišča hitro zmanjšuje. Ostali učenci se po hodniku približujejo stopnišču na severo-vzhodnem delu objekta, kjer se jim pridružijo učitelji iz drugega nadstropja. Objekt je zapustilo 125 oseb (Slika 60).





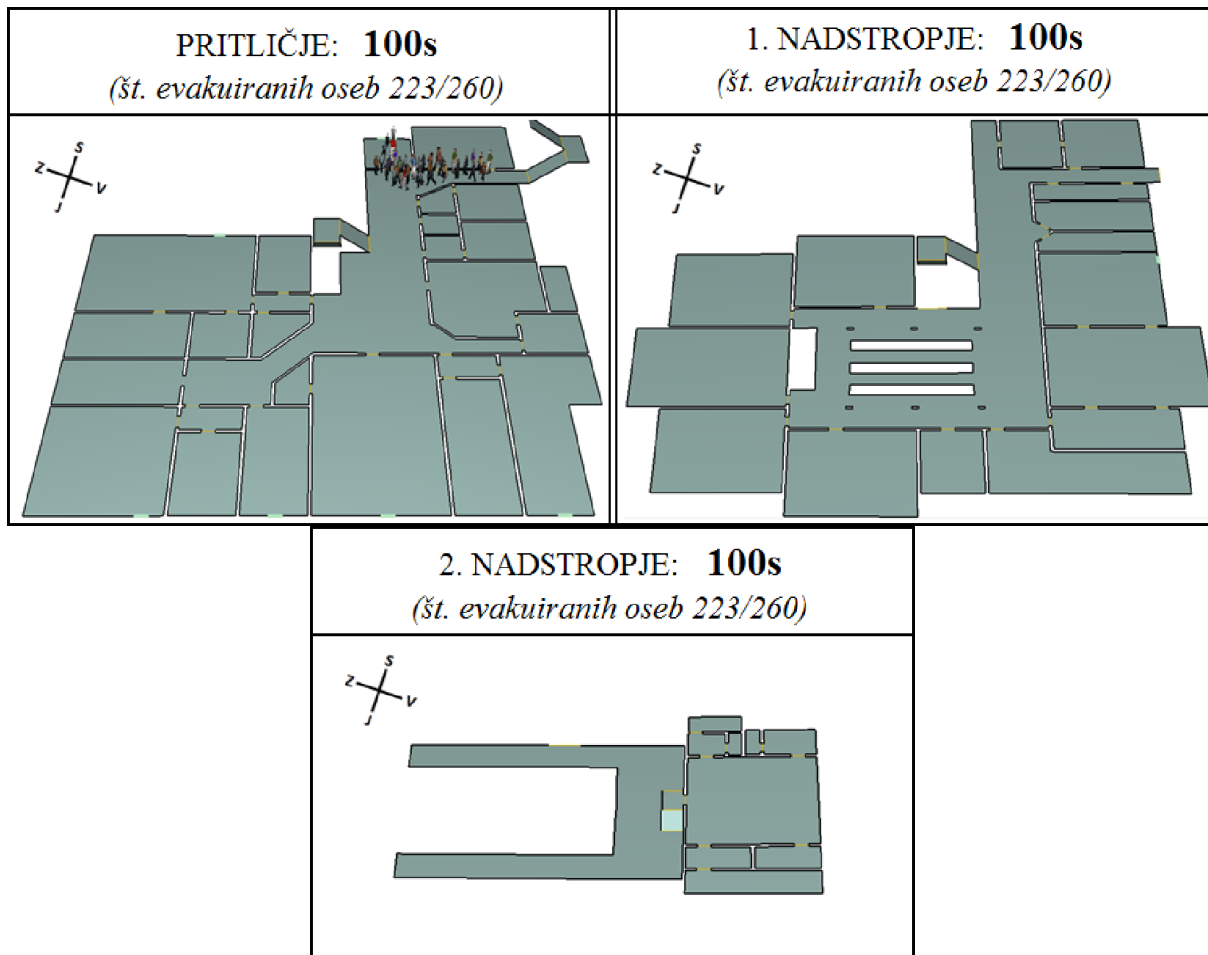
Slika 60: Optimalna varianta - Evakuacija pri 50 sekundah

Prvo nadstropje se izprazni po 76 sekundah. V tem trenutku se nekoliko poveča število oseb v območju glavnega izhoda. Uporabniki iz prvega nadstropja se po obeh stopniščih približujejo nastalemu zastoju. Potek evakuacije za osebe evakuirane skozi sekundarno stopnišče se nekoliko upočasni. Po 76 sekundah je objekt zapustilo 176 oseb (Slika 61).



Slika 61: Optimalna varianta - Evakuacija pri 76 sekundah

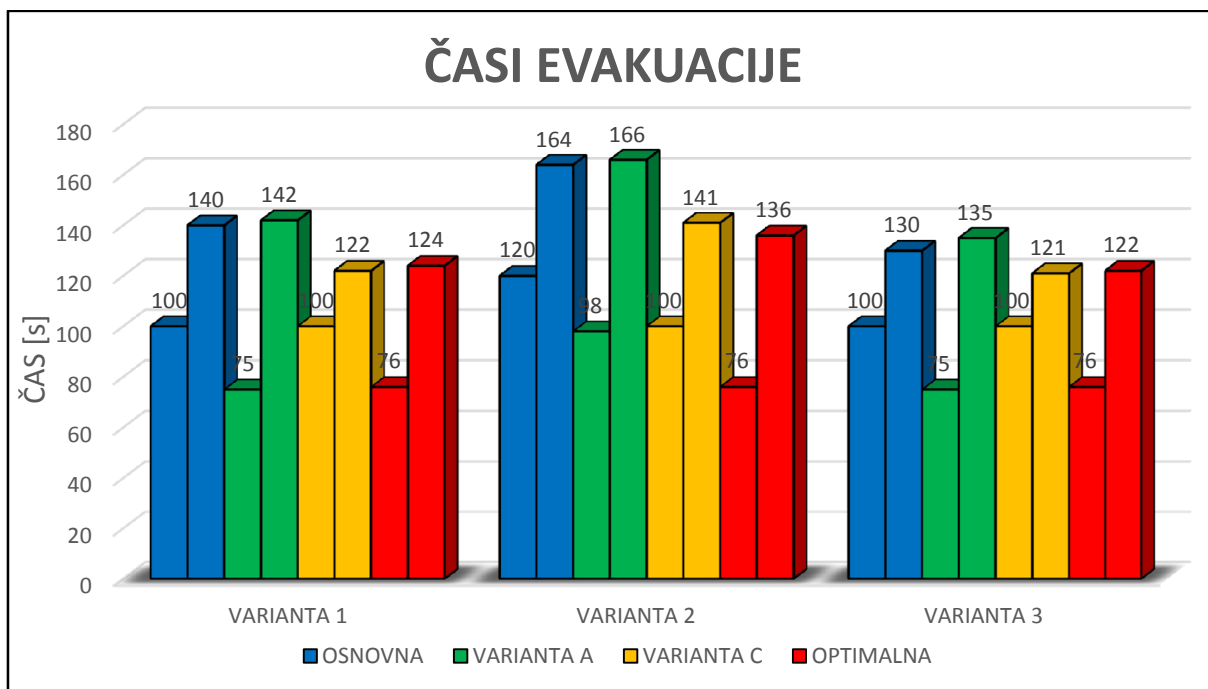
Evakuacija skozi glavni izhod poteka nekoliko počasneje. Vsi uporabniki so dosegli predel hodnika pred garderobami. Nastal je manjši zastoj s približno 40 udeleženimi osebami. Po 100 sekundah je objekt zapustilo 223 uporabnikov (Slika 62). Objekt se v celoti evakuira po 124 sekundah.



Slika 62: Optimalna varianta - Evakuacija pri 30 sekundah

## Ugotovitve

V spodnjem grafu (Slika 63) so prikazani časi za evakuacijo prvega nadstropja in celotnega objekta za optimizirane variante. Kombinacija uporabe sekundarnega stopnišča in variante C, časovno gledano, ne predstavlja bistvene razlike v primerjavi s predhodnimi ukrepi. Razvidno je, da so pri vseh treh variantah končni evakuacijski časi skoraj povsem enaki kot pri varianti C, potrebni časi za evakuacijo prvega nadstropja pa enaki varianti A. V primerjavi z osnovnimi variantami smo z dodatnimi ukrepi zmanjšali potrebni evakuacijski čas za 10-20 sekund, vendar nismo rešili problemov glede nastalih daljših čakalnih kolon. Velika razlika pri optimalni varianti je v poteku evakuacije. Osnovne variante so kljub raznim predlaganim ukrepom (varianta A, varianta B in C) imele določene pomanjkljivosti. Zaradi velikega števila uporabnikov so nastale dolge čakalne kolone pred vstopom na glavno stopnišče oziroma na območju hodnika pred izhodnimi vrati. Z uporabo kombinacije sekundarnega stopnišča in celotne evakuacije pritličja skozi sekundarne zasilne izhode sta se bistveno razbremenili kritični točki te evakuacijske poti. Nastali zastoji so veliko manjši, zato poteka evakuacija skozi stopnišče in glavni izhod veliko bolj tekoče.



Slika 63: Končna primerjava evakuacijskih časov

## 11 ZAKLJUČEK

Za velike objekte in objekte z večjim številom uporabnikov je potrebno projektirati evakuacijski načrt. Evakuacijski načrt vsebuje prikaz poti (za vsak prostor v stavbi), ki je potrebno ubrati v primeru nastanka požara. Skladno z zahtevami zakonodaje je bil izdelan evakuacijski načrt tudi za OŠ Prade.

Evakuacijska pot za predmetno stopnjo ne zadostuje zahtevam iz tehnične smernice, vendar omogoča evakuacijo objekta v relativno kratkem času. V primeru nastanka požara se mora stavba evakuirati pred prihodom gasilcev in reševalne ekipe ter dovoliti neovirani pričetek postopka gašenja.

Podrobnejša analiza simulacije nekaterih možnih scenarijev je pokazala določene pomanjkljivosti pri izvajanju evakuacije. V vseh treh osnovnih variantah je prišlo do nastanka daljših zastojev pri zožitvah evakuacijske poti, pred stopniščem in pred glavnim izhodom. Že v prvih fazah evakuacije so nastale daljše čakalne vrste pred glavnim izhodom na severnem delu objekta in na območju skupnega prostora pred vstopom v glavno stopnišče. Dodatne težave pri poteku evakuacije bi lahko povzročal požar višje intenzitete v pritličju objekta. Velike količine stranskih produktov znatno zmanjšajo vidljivost skozi glavno stopnišče. Poleg omenjenih težav je potrebno upoštevati starostno sestavo uporabnikov osnovnih šol. Posamezni učitelji so odgovorni za večje število učencev starosti do 13 let. Občutek tesnobe in pogled na širitev dima skozi glavno stopnišče bi lahko povzročil panično vedenje otrok in neobvladljivo situacijo s strani odgovornih oseb.

Za izboljšanje poteka evakuacije so bili predstavljeni določeni organizacijski, tehnološki in gradbeni ukrepi. Posledice ukrepov so zmanjšanje potrebnega evakuacijskega časa za evakuacijo objekta in predvsem zmanjšanje velikosti čakalnih vrst v kritičnih točkah objekta. Problem se pojavi pri tehnoloških in gradbenih ukrepih, saj bi bilo potrebno poseči v samo zasnovo objekta. Preobremenjenost glavnega izhoda bi lahko zmanjšali z ustreznim planiranjem mesta izvajanja pouka (uporaba učilnic z direktnim zasilnim izhodom).

Za evakuacijo v izobraževalnih ustanovah je poleg primernega načrta evakuacije pomembna dobra notranja organizacija. Uspešnost evakuacije je v veliki meri odvisna od hitrosti in načina izvedbe. Zagotoviti je potrebno ustrezno izobraževanje zaposlenih in določiti skupino odgovornih oseb ter jim predpisati naloge v primeru nastanka požara. Največji delež pri uspešni evakuaciji določene stavbe zagotovo prispevajo redne evakuacijske vaje, ki bi lahko skupaj z vedno bolj realnimi orodji za simulacijo znatno zmanjšali poškodbe pri požaru v stavbah.

**VIRI**

- [1] Repše, N. 2012. Požar v knjižnici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba N. Repše): str. 2-7
- [2] Jerončič, Š. 2013. Požarna analiza osnovne šole Vič. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Š. Jerončič): 41 str.
- [3] Zorko, D. 2014. Požarna evakuacijska pot na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Zorko): str. 13-27
- [4] Tomazin, M. 2010. Teorija gorenja, gašenja in dinamika požara. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje: loč. pag.
- [5] Za pripravo na strokovni izpit iz varstva pred požarom. 2009. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje.  
[http://www.sos112.si/slo/tdocs/pozar\\_gradivo.pdf](http://www.sos112.si/slo/tdocs/pozar_gradivo.pdf) (Pridobljeno 10. 2. 2014.)
- [6] Trikotnik gorenja. 2014. Kalkomey Enterprises.  
[http://www.boat-ed.com/indiana/studyGuide/Preventing-a-Fire/10101601\\_700052803](http://www.boat-ed.com/indiana/studyGuide/Preventing-a-Fire/10101601_700052803)  
(Pridobljeno 10. 5. 2014.)
- [7] Shematski prikaz gorenja plastike in lesa. 2009. Za pripravo na strokovni izpit iz varstva pred požarom. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje: str. 19
- [8] Definicija dima. 2009. Za pripravo na strokovni izpit iz varstva pred požarom. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje: str. 12
- [9] Časovni potek tipičnega požara. 2009. Za pripravo na strokovni izpit iz varstva pred požarom. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje: 23 str.
- [10] Tomazin, M. 2010. Požarna obremenitev. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje: str. 7
- [11] Tomazin, M. 2010. Učbenik za predmet Požarna varnost. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje: str. 49-58, 183-184
- [12] Tomazin, M. 2010. Definicija evakuacije. Učbenik za predmet Požarna varnost. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje: str. 49



- [13] Načrt evakuacije. 2014. Roman Muršec s.p.  
<http://www.servis-mursec.si/Pages/Po%C5%BEarini%20in%C5%BEeniring>  
(Pridobljeno 10. 5. 2014.)
- [14] Evakuacijska znaka. 2014. Ministrstvo za obrambo, URSZR.  
<http://www.sos112.si/slo/page.php?src=sv1187.htm> (Pridobljeno 7. 3. 2014.)
- [15] Zakon o varstvu pred požarom. 1993. Uradni list RS št. 71/1993.
- [16] Pravilnik o požarni varnosti v stavbah. 2004. Uradni list RS št. 31/2004.
- [17] Pravilnik o požarnem redu. 2007. Uradni list RS št. 52/2007.
- [18] Tehnična smernica TSG-1-001:2010 Požarna varnost v stavbah. 2010. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor.
- [19] Satelitski posnetek OŠ Prade. Google maps. 2014.  
<https://www.google.si/maps/place/Pobe%C5%A1ka+cesta+52/@45.5403323,13.7715397,176m/data=!3m2!1e3!4b1!4m2!3m1!1s0x477b686cf24618d5:0xe16b2e2e8883aa43>  
(Pridobljeno 12. 3. 2014.)
- [20] Pyrosim – Fire Dynamics and Smoke Control. 2013.  
<http://www.thunderheadeng.com/pyrosim/> (Pridobljeno 22. 11. 2013.)
- [21] Pathfinder – Agent Based Evacuation Simulaton. 2013.  
<http://www.thunderheadeng.com/pathfinder/> (Pridobljeno 6. 1. 2014.)
- [22] Yeoh, G.H., Yuen, K.K. 2009. Computational fluid dynamics in fire engineering. Elsevier.  
<http://books.google.si/books?id=XRBOntiNGL8C&pg=PA1&lpg=PA1&dq=theory+of+fluid+dynamics+fire&source=bl&ots=vMRW49QwmG&sig=IW-UwCIfGNFm6teVfd4XeJhzrBk&hl=sl&sa=X&ei=CiH-UrG7KKWyywOT-4GQDQ&ved=0CD4Q6AEwAw#v=onepage&q=theory%20of%20fluid%20dynamics%20fire&f=false> (Pridobljeno 10. 2. 2014.): str. 1-4 in 29-31
- [23] Computational Fluid Dynamics & Fire Dynamics Modeling. 2010 Exponent.  
[http://www.exponent.com/fire\\_modeling\\_computational\\_analysis/#tab\\_overview](http://www.exponent.com/fire_modeling_computational_analysis/#tab_overview)  
[http://www.sos112.si/slo/tdocs/2011\\_01\\_jug.pdf](http://www.sos112.si/slo/tdocs/2011_01_jug.pdf) (Pridobljeno 13. 2. 2014.)
- [24] Fire dynamics simulator (version 5). Technical reference guide. NIST 2007: str. 5-13  
<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire07/PDF/f07048.pdf> (Pridobljeno 13. 2. 2014.)

- 
- [25] Pathfinder, Technical reference. 2009: 8-16 str.  
[http://www.thunderheadeng.com/downloads/pathfinder/Pathfinder\\_tech\\_ref.pdf](http://www.thunderheadeng.com/downloads/pathfinder/Pathfinder_tech_ref.pdf)  
(Pridobljeno 18. 3. 2014.)
- [26] Pyrosim User Manual. 2013.  
<http://www.thunderheadeng.com/pyrosim/> (Pridobljeno 22. 11. 2013.)
- [27] Pathfinder User Manual. 2013.  
<http://www.thunderheadeng.com/pathfinder/> (Pridobljeno 19. 1. 2014.)
- [28] M&M Consulting d.o.o. 2012. Načrti OŠ Prade. Osebna komunikacija. (15. 11. 2013.)