

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:

Zorko, D., 2014. Požarna evakuacijska pot na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Kristl, Ž.): 90 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Zorko, D., 2014. Požarna evakuacijska pot na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Kristl, Ž.): 90 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidatka:

DAŠA ZORKO

**POŽARNA EVAKUACIJSKA POT NA FAKULTETI ZA
GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO**

Diplomska naloga št.: 3384/KS

**FIRE ESCAPE ROUTE AT THE FACULTY OF CIVIL
AND GEODETIC ENGINEERING**

Graduation thesis No.: 3384/KS

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentorica:

dr. Živa Kristl

Član komisije:

doc. dr. Tomaž Maher
prof. dr. Bogdan Zgonc

Ljubljana, 23. 04. 2014

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna«

IZJAVE

Podpisana Daša Zorko izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Požarna evakuacijska pot na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Krško, 31. 3. 2014

Daša Zorko

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 614.84:351.862.21:624:727:378.4(043.2)
Avtor: Daša Zorko
Mentor: doc. dr. Mitja Košir
Somentor: doc. dr. Živa Kristl
Naslov: Požarna evakuacijska pot na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo
Tip dokumenta: Diplomaska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema: 90 str., 37 preg., 48 sl.
Ključne besede: gorenje, požar, evakuacija, požarna analiza, koncentracija dima, požarna varnost, evakuacijska pot, evakuacijski čas

Izvleček

Premalokrat se zavedamo pomena požarno evakuacijske poti, saj se nam zdi možnost za nezgodo praktično minimalna. Namen diplomske naloge je bil, da ugotovim realno stanje požarne evakuacijske poti na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. Naloga opisuje pogoje za nastanek ognja, razvoj požara in lastnosti evakuacijske poti ter časa. Razvoj računalnikov je prinesel s seboj veliko dobrih lastnosti, saj so se začeli razvijati programi za ponazarjanje požara, kjer dobimo zelo realne podatke ne, da bi pri tem koga poškodovali. Za simulacijo požara sem uporabila Fire Dynamics Simulator, pri simulaciji evakuacijske poti pa mi je bil v pomoč program Pathfinder. Kadar načrtujemo požarno evakuacijsko pot je potrebno predvideti najhujše možne variante, saj samo tako dobimo najboljše rezultate. V nalogi je opisanih pet različnih variant, pri tem pa sem spreminjala kraj nastanka požara in različne izboljšave, katere upoštevajo priporočila in zahteve Tehnično smernico TSG-1-001:2010 Požarna varnost v stavbah. Opazovala sem evakuacijski čas, temperaturo požara, vsebnosti CO in CO₂, potek dima in prehodnost evakuacijske poti. V diplomski nalogi sem ugotovila, da stavba ne ustreza tehničnim smernicam, zato obstaja utemeljen strah, da bi ob potencialnem nastanku požara prišlo pri evakuacij do poškodb uporabnikov.

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 614.84:351.862.21:624:727:378.4(043.2)
Author: Daša Zorko
Supervisor: Assist. prof. Mitja Košir, Ph. D.
Co-supervisor: Assist. prof. Živa Kristl, Ph.D.
Title: Fire escape route at the Faculty of Civil and Geodetic Engineering
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 90 p., 37 tab., 48 fig.
Keywords: burning, fire, evacuation, fire analysis, smoke concentration, fire safety, escape route, evacuation time

Abstract

It often happens that we don't realize the importance of fire escape routes until something happens, because we find the possibilities for a real accident too trivial. The purpose of this diploma thesis was to establish the actual condition of the fire escape route at the Faculty of Civil and Geodetic Engineering in Ljubljana. The diploma describes prerequisites for a fire, its development, as well as the characteristics of an escape route and evacuation time. Thanks to computer development, we now have access to different fire simulation software which provides us with extremely realistic data without anyone getting hurt in the process. I used Fire Dynamics Simulator software to simulate the fire and Pathfinder for the simulation of an escape route. For best results when planning fire escape routes, we must presume the worst-case scenarios. This diploma describes 5 variants, differing in the location of fire initiation and potential improvements, which are based on TSG-1-001:2010 Fire Safety in Buildings technical guidelines. I noted evacuation times, fire temperatures, levels of CO and CO₂, smoke movements, and how the escape route is transient. As a result, my diploma shows that this building doesn't comply with technical guidelines, which could cause harm to users in the event of fire.

»Ta stran je namenoma prazna«

ZAHVALA

Za strokovno pomoč in koristne nasvete bi se rada zahvalila mentorju doc. dr. Mitja Koširju in somentorici doc. dr. Živi Kristl.

Zahvalila bi se rada tudi Gregorju in moji družini, ki so mi stali ob strani skozi celoten študij in me spodbujali pri pisanju diplome.

Vsem prijateljem in sošolcem pa hvala za čudovita in nepozabna leta, ki smo jih skupaj preživeli na predavanjih in izven njih.

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	OSNOVNI POJMI GORENJA	3
2.1	Oksidacija	3
2.2	Gorenje.....	3
2.2.1	Gorljive snovi	4
2.2.2	Kisik.....	4
2.2.3	Toplota	4
2.3	Produkti oksidacije in gorenja	4
2.3.1	Dim	4
2.3.2	Ogljikov dioksid – CO ₂	4
2.3.3	Ogljikov oksid – CO	5
2.3.4	Nevarni plini.....	5
3	POŽAR	7
3.1	Faze požara.....	7
3.1.1	Začetni požar	7
3.1.2	Rastoči požar.....	8
3.1.3	Požarni preskok (flash-over)	8
3.1.4	Polno razviti požar	8
3.1.5	Pojemajoči požar	9
3.2	Vpliv gašenja na razvoj požara	9
3.3	Mehanizmi širjenja požara po objektu	9
3.3.1	Širjenje s plameni	9
3.3.2	Širjenje s prenosom toplote	9
3.4	Vpliv požarnih lastnosti gradbenih materialov in elementov na širjenje požara.....	10
3.4.1	Odziv gradbenih materialov v primeru požara.....	11
3.4.2	Požarna odpornost gradbenih elementov	12
3.5	Ocena požarne ogroženosti.....	12
4	EVAKUACIJA	13
4.1	Evakuacijski časi.....	13
4.1.1	Razpoložljivi čas za varen umik – ASET	15
4.1.2	Potrebni čas za varen umik – RSET	15

4.2	Vpliv vedenja ljudi na evakuacijo.....	15
4.3	Zakonodaja	16
4.3.1	Zahteve za evakuacijsko pot po TSG1 [3].....	16
4.4	Organizacijski ukrepi.....	24
4.4.1	Navodila za zagotavljanje požarne varnosti v objektu	24
4.4.2	Požarni načrt	25
4.4.3	Evakuacijski načrt.....	26
4.4.4	Evakuacijski znaki po objektu	27
5	UPORABLJENA SIMULACIJSKA ORODJA.....	29
5.1	Fire Dynamics Simulator.....	29
5.1.1	Računalniška dinamike tekočin – RDT.....	29
5.2	Pyrosim.....	30
5.3	Pathfinder	30
6	OPIS OBJEKTA IN SCENARIJA POŽARA	31
6.1	Opis objekta.....	31
6.2	Opis evakuacijske poti v obstoječem stanju	32
6.3	Obravnavan scenariji izbruha požara.....	34
6.3.1	Začetek požara v knjižnici.....	34
6.3.2	Začetek požara v kuhinji	35
7	ANALIZE EVAKUACIJSKE POTI	37
7.1	Varianta 0	37
7.1.1	Izboljšave.....	38
7.2	Varianta 1	39
7.2.1	Prikaz poteka evakuacije	40
7.2.2	Prikaz poteka temperature plinov.....	42
7.2.3	Količina CO ₂ in CO po stavbi	43
7.3	Varianta 2	46
7.3.1	Zahteve TSG1 [3]	46
7.3.2	Izbrani ukrepi.....	47
7.3.3	Prikaz poteka evakuacije in temperature.....	49
7.4	Varianta 3	52
7.4.1	Spremenjeni potek evakuacije	53
7.4.2	Prikaz poteka evakuacije	54

7.4.3	Prikaz poteka temperatur.....	56
7.5	Varianta 4	57
7.5.1	Prikaz poteka evakuacije	58
7.5.2	Prikaz poteka temperature plinov.....	60
7.5.3	Količina CO ₂ in CO po stavbi	61
7.6	Varianta 5	64
7.6.1	Zahteve TSG1 [3] za stavbe s prostori za veliko uporabnikov	64
7.6.2	Prikaz evakuiranja uporabnikov iz predavalnice.....	65
8	PRIMERJAVA REZULTATOV	67
8.1	Primerjava časa evakuacije	67
8.2	Primerjava poteka temperature pri prvih treh variantah.....	68
8.3	Primerjava poteka evakuacije pri prvih treh variantah	70
8.4	Primerjava širjenja dima in temperature zraka pri upoštevanju zaščitnih ukrepov in brez njih pri varianti 3 ter z varianto 1	72
8.5	Primerjava naraščanja temperature in poteka dima med varianto 1 in varianto 4... 76	
8.6	Primerjava količine koncentracije CO ₂ in CO po stavbi med varianto 1 in varianto 4 80	
8.7	Primerjava širjenja dima pri varianti 4 in varianti 1 s stekleno steno na hodniku.....	83
9	ZAKLJUČEK.....	87
VIRI		89

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 4-1:	Hitrost potovanja [7]	14
Preglednica 4-2:	Prikaz širine izhodov za določeno število uporabnikov [3]	19
Preglednica 4-3:	Prikaz računskega števila uporabnikov v prostoru [3]	19
Preglednica 4-4:	Prikaz pogojev za varnostno razsvetljava, ki veljajo za stavbo FGG (skrajšana tabela) [3]	21
Preglednica 4-5:	Razdalja med vrstami in število sedežev [3]	22
Preglednica 4-6:	Tabela za razvrstitev stavbe ali dela stavbe za AJP [3]	23
Preglednica 7-1:	Prikaz evakuacije pri požarni vaji	37
Preglednica 7-2:	Prikaz evakuacije in širjenje dima po stavbi	40
Preglednica 7-3:	Prikaz poteka temperatur po objektu	42
Preglednica 7-4:	Prikaz evakuacije ob upoštevanju ukrepov	49
Preglednica 7-5:	Razporeditev preostalih uporabnikov po nadstropjih	53
Preglednica 7-6:	Potek evakuacije po 185 s	54
Preglednica 7-7:	Prikaz poteka temperature stranskega reza skozi stopnišče	56
Preglednica 7-8:	Prikaz evakuacije pri požaru v kuhinji	58
Preglednica 7-9:	Prikaz razvoja temperature pri požaru v kuhinji	60
Preglednica 7-10:	Prikaz poteka evakuacije	65
Preglednica 8-1:	Grafični prikaz temperature pri 200 s	68
Preglednica 8-2:	Grafični prikaz temperature pri 300 s	69
Preglednica 8-3:	Primerjava evakuacije pri požaru v knjižnici pri 50 s	70
Preglednica 8-4:	Primerjava evakuacije pri požaru v knjižnici pri 100 s	71
Preglednica 8-5:	Primerjava evakuacije pri požaru v knjižnici pri 200 s	71
Preglednica 8-6:	Primerjava poteka dima pri varianti 3 z izboljšavo in brez nje po 200 s	72
Preglednica 8-7:	Primerjava poteka dima pri varianti 3 z izboljšavo in brez nje po 300 s	73
Preglednica 8-8:	Primerjava temperature zraka pri varianti 3 z izboljšavo in brez nje po 200 s	74
Preglednica 8-9:	Primerjava temperature zraka pri varianti 3 z izboljšavo in brez nje po 300 s	75
Preglednica 8-10:	Grafični prikaz temperature pri 50 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara	76
Preglednica 8-11:	Grafični prikaz poteka dima pri 50 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara	76
Preglednica 8-12:	Grafični prikaz temperature stranskega prereza pri 150 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara	77
Preglednica 8-13:	Grafični prikaz temperature vzdolžnega prereza pri 150 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara	77

Preglednica 8-14:	Grafični prikaz poteka dima pri 150 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara	78
Preglednica 8-15:	Grafični prikaz temperature stranskega prereza pri 350 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara	79
Preglednica 8-16:	Grafični prikaz temperature vzdolžnega prereza pri 350 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara	79
Preglednica 8-17:	Grafični prikaz poteka dima pri 350 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara	80
Preglednica 8-18:	Prikaz poteka dima pri varianti 1 in varianti 4 s predelno steno na hodniku po 100 s	83
Preglednica 8-19:	Prikaz poteka dima pri varianti 1 in varianti 4 s predelno steno na hodniku po 200 s	84
Preglednica 8-20:	Prikaz poteka dima pri varianti 1 in varianti 4 s predelno steno na hodniku po 300 s	84
Preglednica 8-21	Prikaz poteka dima pri varianti 1 in varianti 4 s predelno steno na hodniku po 400 s	85

KAZALO SLIK

Slika 2-1:	Trikotnik gorenja	3
Slika 3-1:	Časovni potek tipičnega požara [7]	7
Slika 3-2:	Prikaz konvekcije [7]	10
Slika 4-1:	Prikaz evakuacijskih časov [15]	15
Slika 4-2:	Prikaz določanja dolžine evakuacijske poti v prostoru [3]	17
Slika 4-3:	Skupna dolžina evakuacijske poti do dveh ali več izhodov na zaščitena stopnišča [3]	18
Slika 4-4:	Zahteve za evakuacijske poti v stavbah z dvema ali več zaščiteni stopnišči [3]	18
Slika 4-5:	Primer ureditve dvorane oziroma predavalnice [3]	23
Slika 4-6:	Prikaz požarnega načrta [7]	25
Slika 4-7:	Prikaz evakuacijskega načrta stavbe FGG	26
Slika 4-8:	Znak, ki kaže smer evakuacije in je tudi osvetljen	27
Slika 4-9:	Znak zbirnega mesta izven objekta	27
Slika 6-1:	Prikaz zunanosti fakultete (južna in severna stran)	31
Slika 6-2:	Tloris pritličja meri 21,3 m x 64,4 m	31
Slika 6-3:	Tloris 1. nadstropja meri 25,4 m x 67,7 m	32
Slika 6-4:	Razdelitev požarnih sektorjev	32
Slika 6-5:	Prikaz oznake evakuacijske poti na FGG proti stopnišču	33
Slika 6-6:	Zbirno mesto ter dovoz za intervencijska vozila	33
Slika 6-7:	Prikaz tlorisa knjižnice	34
Slika 6-8:	Pozicija vžiga v kuhinji	35
Slika 7-1:	Začetno stanje evakuacije, brez zahodnega stopnišča	39
Slika 7-2:	Stavba FGG v programu Pyrosim	39
Slika 7-3:	Prikaz merilnih naprav za CO in CO ₂ po nadstropjih	43
Slika 7-4:	Prikaz CO ₂ v 4. nadstropju	44
Slika 7-5:	Prikaz CO v 4. nadstropju	44
Slika 7-6:	Prikaz CO ₂ na vzhodnem stopnišču	45
Slika 7-7:	Prikaz dolžine evakuacijske poti na 1. nadstropju	46
Slika 7-8:	Oddaljenost stopnišča od roba stavbe	46
Slika 7-9:	Stopnišče v stavbi FGG	47
Slika 7-10:	Enokrilna vrata [28]	48
Slika 7-11:	Loputa za odvajanje dima – ODPRTA [29]	52
Slika 7-12:	Loputa za odvajanje dima – ZAPRTA [29]	52
Slika 7-13:	Evakuacija pri 185 s	53

Slika 7-14:	Prikaz kuhinje v programu PyroSim (štedilnik je rdeče obarvana površina)	57
Slika 7-15:	Grafični prikaz vsebnosti CO ₂ v 2. nadstropju	61
Slika 7-16:	Grafični prikaz vsebnosti CO v 2. nadstropju	62
Slika 7-17:	Grafični prikaz vsebnosti CO ₂ na zahodnem stopnišču	62
Slika 7-18:	Grafični prikaz vsebnosti CO ₂ na vzhodnem stopnišču	63
Slika 7-19:	Prikaz predavalnice P-I/1	64
Slika 7-20:	Prikaz modela predavalnice	65
Slika 8-1:	Grafični prikaz evakuacijskih časov za vse variante	67
Slika 8-2:	Prikaz merilnih mest CO in CO ₂	80
Slika 8-3:	Primerjava CO na 2. nadstropju	81
Slika 8-4:	Primerjava CO ₂ na 2. nadstropju	81
Slika 8-5:	Primerjava CO na 4. nadstropju	82
Slika 8-6:	Primerjava CO ₂ na 4. nadstropju	82
Slika 8-7:	Prikaz poteka dima pri varianti 4	83
Slika 8-8:	Steklena stena na hodnikih	83

KRATICE

ASET	Razpoložljivi čas za varen umik
BET	Bruto etažni prerez
CFD	Computational Fluid Dynamics
CFPA-E	Certifikat za vroča dela
DNS	Direktna numerična simulacija
EN	Evropski standard
FDS	Fire Dynamics Simulator
FGG	Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
LES	Simulacija velikih turbulenc
RANS	Reynolds-Averaged Navier-Stokes
RDT	Računalniška dinamika tekočin
RSET	Potrebni čas za varen umik
SFPE	Society of Fire Protection Engineers
SIST	Slovenski inštitut za standardizacijo
SZPV	Slovensko združenje za požarno varnost
TSG1	Tehnična smernica
UL RS	Uradni list Republike Slovenije

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Velikokrat se ne zavedamo pomena požarne evakuacijske poti, saj se nam zdi verjetnost za nastanek požara ter posledično potrebe po evakuaciji minimalna. Kadar pride do nesreče, pa je le-ta zelo pomembna, saj nas lahko reši pred morebitnimi poškodbami ali celo ohrani naše življenje.

V diplomski nalogi sem se osredotočila na požarno evakuacijsko pot na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani (FGG) in upoštevala trenutno veljavne zakone, pravilnike in smernice iz slovenskih predpisov o gradnji objektov. Pri postavitvi evakuacijske poti vedno strmimo k temu, da je pot čim krajša in, da na njej ne prihaja do večjih zastojev.

Danes lahko s pomočjo računalnikov analiziramo ter simuliramo najbolj črne scenarije, ne da bi pri tem koga poškodovali. Za simulacijo požara sem uporabila dva programa, in sicer Fire Dynamic Simulator in PyroSim, ki pokrivata bogat nabor funkcij za izračun in primerjavo rezultatov simulacij požara. Za simulacijo požarne evakuacije sem uporabila program Pathfinder, ki omogoča izračun evakuacijskega časa ter podrobno analizo evakuacije.

Cilj diplomske naloge je ugotoviti in analizirati lastnosti in potencialne težave pri trenutno predvideni evakuacijski poti na FGG. Preveriti želim, ali ta zadostuje veljavnim smernicam in zakonom. Prepričati se želim, da v primeru izbruha požara ob evakuaciji uporabnikov stavbe ne bi prišlo do nepotrebnih zapletov, poškodb ali celo smrtnih žrtev. Na podlagi analize obstoječega stanja bom predlagala izboljšave, ki bi doprinesle k varnejšem evakuiranju v primeru nesreče, njihovo učinkovitost pa bom preverila s simulacijami. Pričakujem, da bodo rezultati pokazali neustrezno stanje trenutne evakuacijske poti stavbe FGG in da bodo predlagane rešitve izboljšale trenutno stanje.

V uvodnem delu diplomske naloge sem se osredotočila na mehanizem gorenja in razvoj požara. Ogenj se razvije v požar, ki lahko ogroža ljudi v objektu. Z gledišča požara v stavbah in njegovega vpliva na evakuacijo me zanimajo temperature zraka in gradbenih konstrukcij, pojavljanje ter širjenje dima in plinov kot sta ogljikov dioksid in ogljikov oksid. Požar lahko poškoduje tudi gradbene konstrukcije, posledično lahko to povzroči porušitev dela ali celotne stavbe.

Pri evakuaciji se osredotočimo na njen čas. Želimo si evakuacijo brez zastojev in brez nepredvidenih dogodkov v najkrajšem možnem času. Evakuacijska pot pa mora biti čim krajša. V Sloveniji je trenutno v veljavi Zakon o varstvu pred požarom (Ur. l. RS, št. 71/1993) [1], ki predpisuje podrejena prepisa; Pravilnik o požarni varnosti v stavbah (Ur.l. RS, št. 31/2004) [2] in Tehnično smernico TSG-1-001:2010 Požarna varnost v stavbah [3]. Slednja obsega tudi vse zahteve za načrtovanje evakuacijske poti in sistema za javljanje ter alarmiranje v stavbah.

V diplomski nalogi sem analizirala pet variant evakuacije. Izbrala sem dva potencialna scenarija izbruha požara in na tej podlagi izvedla simulacijo evakuacije. S tem sem želela osvetliti problematiko evakuacije v stavbi FGG v trenutnem stanju. Pri prvih treh variantah sem se osredotočila na izbruh požara v knjižnici, ki se nahaja v pritličju stavbe. Požar ima ob določenih pogojih potencial, da se razširi po celotni stavbi, saj stavba nima požarno zaščitene stopnišče. Z drugo in tretjo varianto sem pokazala, kako je možno z določenimi

ukrepi na nivoju gradbenih posegov izboljšati oz. omogočiti varnejšo požarno evakuacijo. Primerjala sem trajanje evakuacijskega časa, morebitne težave, ki nastanejo med evakuacijo, gibanje temperature zraka in širjenje dima po objektu. V četrti varianti sem preverila nastanek požara v kuhinji, ki se nahaja v drugem nadstropju stavbe. Primerjala sem dinamiko razvoja požara in višanje temperature. Zadnja varianta obravnava evakuacijo največje predavalnice na fakulteti, ki ima predvideno kapaciteto dimenzionirano za 180 uporabnikov.

2 OSNOVNI POJMI GORENJA

2.1 Oksidacija

Oksidacija je proces spajanja gorljivih snovi s kisikom, pri katerem se sprošča toplota. Glede na način poteka oksidacije razlikujemo:

- biološko oksidacijo,
- oksidacijo brez plamena ali tiho oksidacijo,
- oksidacijo s plamenom oziroma gorenje,
- eksplozijo. [4]

2.2 Gorenje

Gorenje je eksotermna kemijska reakcija. Gorljiva snov se spaja s čistim kisikom ali kisikom iz zraka, pri tem pa nastanejo svetloba, toplota in negorljivi ostanki. Do pričetka gorenja lahko pride zaradi samodejnega vžiga ali zunanje vira vžiga, material pa mora biti segret na vžigno temperaturo.

Hitrost gorenja je odvisna od hitrosti spajanja snovi s kisikom. Sposobnost vezave snovi s kisikom je odvisna od:

- vrste in kemične sestave snovi,
- temperature snovi,
- tlaka, pod katerim poteka proces oksidacije,
- prisotnosti snovi, ki zavirajo ali pospešujejo kemične reakcije.



Slika 2-1: Trikotnik gorenja

Do procesa gorenja lahko pride, če so istočasno izpolnjeni trije pogoji:

- gorljiva snov,
- kisik – oksidacijsko sredstvo,
- vir toplote oziroma vžiga.

Za lažjo predstavo lahko gorenje ponazorimo s sklenjenim trikotnikom (Slika 2-1), v katerem vsaka stranica predstavlja en dejavnik. Če so stranice sklenjene, so pogoji gorenja izpolnjeni. Če kateri koli pogoj manjka, se trikotnik razklene in gorenje ni več možno. Ta dejstva so nam v veliko pomoč pri teoriji gašenja. [5] [6]

2.2.1 Gorljive snovi

Gorljive snovi so tisti materiali, ki lahko zaradi kemijske sestave oksidirajo. To so predvsem razne organske tekočine (bencin, etri, estri, alkohol,...), plinasti ogljikovodiki (metan propan, butan ...) in trdne snovi, kot so razne vrste lesa, papir, suha trava, tekstil ...

Večina gorljivih snovi v vseh agregatnih stanjih vsebuje visok odstotek ogljika in vodika, ki ju potrebujemo za oksidacijo. Oksidirajo lahko tudi drugi kemijski elementi, npr. kovine in nekovine, vendar ti materiali niso pogosto v vlogi goriv. [4]

2.2.2 Kisik

Drugi pogoj za gorenje je kisik. Kisik je v normalnih pogojih plin brez barve, vonja in okusa. Najdemo ga kot glavno sestavino vode, atmosfere in v skoraj vsaki keramiki. V zraku, ki je zmes dušika, žlahtnih plinov in ogljikovega dioksida, je kisika kar 21 prostorskih odstotkov.

V procesu gorenja je kisik nadomestljiv dejavnik in ga imenujemo tudi katalizator, saj pospešuje gorenje. [4]

2.2.3 Toplota

Za vžig snovi potrebujemo zadostno količino nakopičene toplotne energije. Ta toplota poviša temperaturo snovi do temperature vžiga.[4]

2.3 Produkti oksidacije in gorenja

Kadar oksidacija in gorenje potekata pri visokih temperaturah in zadostni količini kisika, pride do popolnega sežiga gorljivih snovi, kar pomeni, da se ves ogljik v gorljivih snoveh spremeni v ogljikov dioksid, vodik pa v vodno paro. V praksi redkokdaj pride do popolnega gorenja in poleg vodne pare in ogljikovega dioksida dobimo še stranske produkte, ki jih imenujemo ostanki. Ti nastanejo pri razkroju kompleksnih molekul zaradi pomanjkanja kisika ali prenizke temperature. Ostanki gorenja so v veliki meri škodljivi. [4]

2.3.1 Dim

Dim in saje so sive ter črne barve, sestavljene so iz drobnih delcev ogljika, ki se sproščajo pri nepopolnem zgorevanju. Pri popolnem zgorevanju se pojavlja belkast dim, ki je zvečine sestavljen iz vodne pare. Dim je nevaren, ker zastira pogled v okolico, temu pa se pridruži še njegovo jedko delovanje na oči in sluznico, saj vsebuje strupene snovi. Po barvi dima lahko spoznamo, katere snovi gorijo. Les gori s sivo-črno barvo in ga je razmeroma lahko prenašati. Papir, slama in seno dajejo rumenkasto bel dim, ki močno draži oči. [5] [6]

2.3.2 Ogljikov dioksid – CO₂

Ogljikov dioksid je plin brez barve in vonja. Nastane kot produkt popolnega gorenja. Za človeka je nevaren kot dušjivec, saj pri večjih količinah izpodriva kisik iz zraka. Že pri 3 odstotni koncentraciji v zraku povzroča občutek zadušljivosti, pri 8 % nastopi nevarnost dušitve, v količinah med 25 % in 30 % pa celo smrt. [5] [6]

2.3.3 Ogljikov oksid – CO

Ogljikov oksid je brez barve, vonja in okusa. Pri gorenju nastane, kadar ni dovolj kisika, in se atom ogljika veže samo z enim atomom kisika. Ta pojav imenujemo nepopolno gorenje. Ogljikov oksid spada med zelo strupene pline. Za človeka je že zelo majhna količina v zraku smrtno nevarna, ker se v krvi izjemno hitro kemično veže s hemoglobinom. Iz njega izpodriva kisik in tako preprečuje spajanje hemoglobina s kisikom, ki je nujno potreben za življenje. [5] [6]

2.3.4 Nevarni plini

Pri gorenju organskih snovi se razvije dim, ki draži oči in dihala, vendar ni strupen. V primeru gorenja kemičnih snovi (smole, umetne snovi, različna gnojila ...) se ustvarjajo nove kemične substance, ki so strupene in dražljive.

Na splošno velja, da so razni strupeni in nestrupeni plini, hlapi ter dimi, ki se sproščajo pri gorenju, škodljivi. V takšnem primeru morajo gasilci pri gašenju nujno uporabljati ustrezna zaščitna sredstva za dihala in telo. [6]

»Ta stran je namenoma prazna«

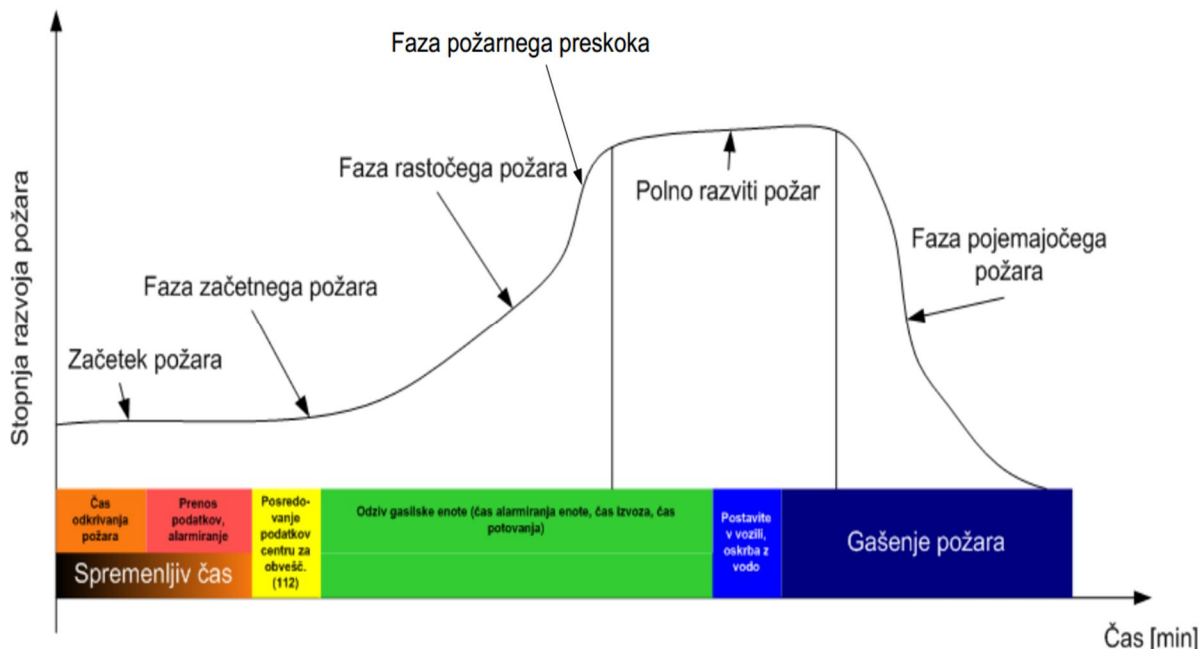
3 POŽAR

Požar je vsako neobvladano gorenje, ki se nekontrolirano širi in povzroča škodo. Pri požaru se sprošča veliko toplote, dima in nevarnih snovi (plinov).

3.1 Faze požara

Požar v večini primerov poteka v petih fazah (Slika 3-1):

- začetni požar – vžig,
- rastoči požar,
- požarni preskok (flash-over),
- polno razviti požar,
- pojemajoči požar.



Slika 3-1: Časovni potek tipičnega požara [7]

3.1.1 Začetni požar

V prvi fazi pride do vžiga in pričetka gorenja gorljivega materiala. Viri vžiga so lahko:

- neposreden plameni ali stik z drugimi vročimi ali gorečimi materiali,
- toplota ali iskra zaradi trenja,
- električne iskre ali obloki,
- samodejno segrevanje, ki vodi do samovžiga,
- daljša izpostavljenost zunanemu viru toplote pri sorazmerno nizki temperaturi,
- eksotermne kemijske reakcije (reakcije, pri katerih se sprošča toplota),
- hitro zvišanje tlaka plina, kar povzroči dvig temperature dokler ni dosežena temperatura samovžiga,
- segrevanje s konvekcijo ali sevanjem.

Ti viri ob prisotnosti kisika in gorljivih materialov povzročajo vžig. [7]

3.1.2 Rastoči požar

Po vžigu je gorenje lahko:

- zelo hitro – pri eksploziji,
- hitro oziroma enakomerno – gorenje kompaktnega lesa,
- počasno – tlenje.

Na začetku je hitrost razvoja požara odvisna predvsem od lastnosti gorljivih materialov in manj od ostalih parametrov (dovajanja kisika, geometrije prostora, lastnosti ostalih gradbenih elementov ...). Velikokrat postanejo že goreči materiali izvor segrevanja do vžigne temperature in vžiga ostalih gorljiv materialov v okolici požara. Temperatura požara raste z razvojem in širjenjem požara.

Razlika med počasnim in hitrim požarom je, da se pri počasnem požaru sprošča predvsem dim, požar se razvija počasi, plamena ob gorenju ni, količina toplote, ki se sprošča ob gorenju, pa je nizka. Pri hitrem požaru imamo gorenje s plameni, zaradi česar imamo hitrejši razvoj požara. [7]

3.1.3 Požarni preskok (flash-over)

Požarni preskok nastane, ko plameni zajamejo ves prostor in požar preide v polno razviti požar. To se lahko zgodi v zaprtih prostorih v fazi rastočega požara, ko pride zaradi zvišanja temperature zraka oziroma dimnih plinov pod stropom (500-600 °C) do toplotnega sevanja te vroče plasti, zaradi tega pa se v zelo kratkem času vžgejo še vsi negoreči materiali v prostoru. [7]

3.1.4 Polno razviti požar

Pri polno razvitem požaru so v požaru zajeti vsi gorljivi materiali v prostoru. Pri tem temperatura narašča minimalno, pozneje kasneje pa prične postopoma padati. Hitrost sproščanja toplote je tu največja. V tej fazi več materiala pirolizira (termokemičen razpad organskih spojin ob visoki temperaturi brez prisotnosti kisika, brez gorenja) kot pa ga zgori. Razlog za to je pomakanje kisika. Z dovajanjem kisika oziroma ventilacijo lahko kontroliramo hitrost gorenja.

Količina toplote, ki se sprošča pri polno razvitem požaru je odvisna od:

- stopnje prezračevanja prostora in
- količine in vrste razpoložljivega goriva.

Stopnja prezračevanja narekuje zgornjo mejo hitrosti odgorevanja materiala. Kadar imamo omejeno stopnjo prezračevanja, požar po vsej verjetnosti ne bo prišel v fazo požarnega preskoka in lahko celo sam ugasne. Kjer pride do požarnega preskoka, bo hitrost sproščanja toplote dosegla najvišjo raven pri določeni ravni prezračevanja.

Pri požaru, omejenem s količino goriva, bo hitrost sproščanja toplote omejena s količino, vrsto in postavitev gorljivih predmetov in snovi. Hitrosti sproščanja toplote bo pri majhni količini gorljivih snovi majhna in do požarnega preskoka ne bo prišlo.

Zunanji faktorji, kot so prezračevanje, geometrija prostora in lastnosti obodne strukture prostora, imajo odločujoč vpliv na hitrost gorenja v prostoru. V tej fazi običajno pride do širjenja požara v sosednje prostore oziroma na sosednje objekte. [7]

3.1.5 Pojemajoči požar

V tej fazi pride do pojemanja požara, saj zmanjkuje gorljivega materiala in/ali kisika. V tej fazi požara hitrost gorenja določa predvsem količina gorljivega materiala, če pa požar pojema zaradi pomanjkanja kisika, se lahko po sorazmerno daljšem času ob ponovnem dovajanju kisika, požar ponovno pojavi v rastoči obliki. [7]

3.2 Vpliv gašenja na razvoj požara

Gašenje ima na razvoj požara vpliv že v fazi razvoja požara pred pojavom požarnega preskoka. V tem času se lahko sproži avtomatski sistem gašenja, da se na požar odzovejo gasilci ali osebje v objektu.

Ob upoštevanju vplivov gašenja na razvoj požara so možne tri situacije:

- ogenj je pogašen – aktiviranje sistema gašenja zmanjša hitrost sproščanja toplote na nič,
- ogenj je pod nadzorom in je konstanten – gasilo upočasni hitrost toplote, požar je konstanten, ne narašča,
- ogenj je nenadzorovan – gasilo ni učinkovito in nima vpliva na zmanjšanje hitrosti sproščene toplote. [7]

3.3 Mehanizmi širjenja požara po objektu

Požar se širi s plameni in s prenosom toplote.

3.3.1 Širjenje s plameni

Požar s plameni se lahko širi s širjenjem plamenske fronte v plinskih zmesih vnetljivih plinov z zrakom in ob površini gorljivih materialov.

V zmesi plinov se plamen lahko širi s predhodno premešanimi plameni in z difuzijskimi plameni. Pri plinih pride do začetka gorenja zaradi reakcije med molekulami gorljivega plina in kisika.

V tekočinah in trdnih materialih se požar širi s širjenjem plamena po oz. ob površini. Plameni se širijo v plinski obliki. Pri tekočinah in trdnih snoveh morajo hlapne vnetljive snovi najprej preiti iz trdne oz. tekoče faze v plinasto stanje. Pri tekočinah z mehanizmom izparevanja, pri trdnih pa z mehanizmom pirolize in izparevanja. [7]

3.3.2 Širjenje s prenosom toplote

Toplota se vedno širi s toplejšega na hladnejše območje po enem od naslednjih treh mehanizmov:

- kondukcija,

- konvekcija,
- sevanje.

3.3.2.1 Prevajanje ali kondukcija

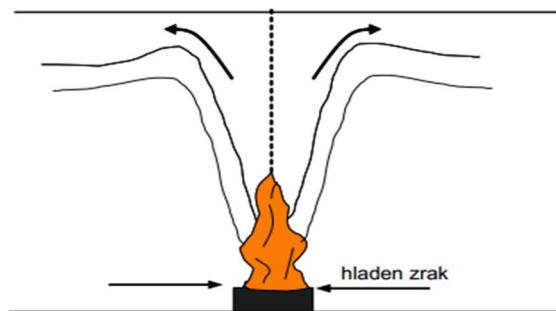
Prevajanje je prenos toplote skozi materiale. Kovinski materiali so zelo dobri prenosniki toplote, medtem ko imajo mineralna volna in penjena plastika ravno nasproten učinek, zato jih imenujemo izolatorji.

Toplota prehaja skozi stene, pode in strope v sosednje prostore. Kadar imamo ob stenah gorljive materiale, se lahko te zaradi kondukcijske toplote segrejejo do vžigne ali samovžigne temperature in tako pride do vžiga in razširitve požara. [6] [7]

3.3.2.2 Konvekcija

Konvekcija je masno gibanje toplejšega in redkejšega plina skozi hladnejši in gostejši okoliški plin. Konvektivni prenos je osnovni element širjenja požara.

Običajno se 75 % produktov gorenja razširi v dvigajočem konvekcijskem toku vročih plinov, ki ima temperaturo med 800 in 1000 °C in segreva vse predmete in elemente, s katerimi pride v stik. Če vroči plin pri dviganju naleti na oviro, kot je strop, se prične širiti vzdolž stropa navzven in navzdol – efekt gobe.



Slika 3-2: Prikaz konvekcije [7]

Konvekcijski tok plina lahko zanese dim in toksične produkte gorenja precej daleč stran od mesta požara, posledica česar je neprehodnost evakuacijskih poti. Tok plina s seboj nosi tudi žareče delce, ki lahko vžgejo gorljive materiale, ki so na poti širjenja tega vročega toka plina. [6] [7]

3.3.2.3 Sevanje

Sevanje je prenos toplotne energije z elektromagnetnim valovanjem. Količina sevane toplote je odvisna od temperature telesa, ki seva. Toplotno sevanje ne segreva plinov, ampak potuje skozi in segreva trdne snovi in tekočine, ki se nahajajo na poti širjenja toplotnih valov. [7]

3.4 Vpliv požarnih lastnosti gradbenih materialov in elementov na širjenje požara

Na širjenje požara v prostoru nastanka požara in v sosednje prostore vplivajo:

- gorljivost,

- vnetljivost,
- temperatura vžiga in samovžiga,
- toplotna kapaciteta,
- toplotna prevodnost,
- toplotna emisivnost,
- gostota materiala,
- oblika in velikost površine na volumsko enoto,
- hitrost širjenja plamena po površini,
- hitrost sproščanja toplote,
- mejne koncentracije vnetljivosti in eksplozivnosti.

Negorljivi gradbeni materiali ne vsebujejo organskih snovi, zato ne omogočajo širjenja požara neposredno s plameni, ampak samo posredno s prenosom toplote. Materiali, ki ne prispevajo k požarni obremenitvi so armiran beton, jeklo, aluminij, opeka, steklo ...

Gorljivi gradbeni materiali vsebujejo pretežno ogljik in vodik, ter omogočajo prenos požara tako neposredno s plameni kot tudi posredno s prenosom toplote. Materiali, ki prispevajo k požarni obremenitvi, so les, umetne mase ... [7]

3.4.1 Odziv gradbenih materialov v primeru požara

Beton spada med negorljive gradbene materiale. Med požarom pride do termohidravličnih procesov, ki povzročajo napetosti v betonu. Te privedejo do eksplozijskega odpadanja betona. Betonske konstrukcije pred požarom zaščitimo s ploščami iz kalcijevega silikata, ki so odporne na temperaturo do 1350°C in neobčutljive na vlago. [8]

Jeklo ne prispeva k požarni obremenitvi zgradb in je negorljiv material. Zaradi dobrih mehanskih lastnosti uporabljamo jeklo za nosilne elemente, vendar ta pri povišanju temperature te lastnosti izgubi. To se pojavi pri kritični temperaturi, ki je ocenjena na približno 500 °C. Pri tej temperaturi se nosilnost jekla zmanjša za polovico trdnosti, ki jo ima pri sobni temperaturi, in to zmanjšanje nosilnosti privede do porušitve konstrukcije. Druga slaba lastnost jekla je relativno visok koeficient toplotnega raztezka, kar pomeni, da se jekleni nosilec dolžine 10 m v primeru povišanja temperature za 600 °C podaljša za 9 cm. Posledica tega so velike deformacije ali celo porušitve objekta. Za zaščito jekla uporabljamo površinske zaščite in zaščite v jedru jeklene konstrukcije. [9] [10]

Opeka in malta sta negorljiva materiala in ne prispevata k požarni obremenitvi zgradb. Med požarom opečni zid velikokrat razpoka vendar ne nastajajo strupeni produkti, ki bi ogrožali zdravje ljudi. Ena izmed dobrih lastnosti opečnega zidu je tudi relativno slaba toplotna prevodnost.

Med požarom temperatura zelo hitro narašča, zaradi česar pride do izhlapevanja vode iz lesa. Zaradi termodinamskih lastnosti vode temperatura lesa nikoli ne preseže 100 °C, ko pa vsa voda izhlapi, se poveča tudi temperatura lesa. Ta je potrebna za termični razkroj lesa ali pirolizo ob tem pa nastanejo gorljivi plini, ki se pri 250-300 °C vžgejo. Les močno prispeva k požarni obremenitvi objekta. Med gorenjem lesa vedno poteka piroliza, zaradi česar nastane sloj oglja in pepela, ki je zelo dober izolator preostalega lesa. Izolirani del ostane

nepoškodovan in ohranja vse svoje mehanske lastnosti. Hitrost odgorevanja je odvisna od vrste lesa. Les lahko pred požarom dodatno zaščitimo s protipožarnimi ploščami in premazi. [11]

3.4.2 Požarna odpornost gradbenih elementov

Gradbeni elementi so proizvodi iz gradbenih materialov. Za gradnjo je najbolje uporabiti negorljive in težko gorljive materiale, saj ti ne prispevajo k dodatni požarni obremenitvi. V fazi razvitega požara je pri gradbenih elementih pomembna njihova požarna odpornost. Določimo jo s pomočjo standardnih preskušanj. Na osnovi rezultatov se jim nato skladno s klasifikacijskimi standardi določi požarna odpornost. Označujemo jih z osnovnimi črkami R, I, E, W ter M, C in S v kombinaciji s številko, ki pomeni požarno odpornost v minutah.

Osnovne oznake:

- R – Nosilnost, sposobnost elementa, da pri požaru ne pride do njegove porušitve.
- E – Celovitost, sposobnost elementa, da prepreči prehod plamenov ali plinov. Pri izpostavljenosti požaru na elementu ne sme priti do razpok ali odprtin.
- I – Toplotna izolativnost, sposobnost elementa, da prepreči prekomerno prehodnost toplote s kondukcijo. Element mora biti izdelan iz materialov, ki imajo nizko toplotno prevodnost.

Z ostalimi črkami označujemo posamezne dele stavbe – pomožna merila. [7]

3.5 Ocena požarne ogroženosti

Lastniki in uporabniki poslovnih in industrijskih objektov morajo imeti izdelano oceno požarne ogroženosti v skladu s Pravilnikom o metodologiji za ugotavljanje ocene požarne ogroženosti [12]. Ocena zajema ocenjevanje požarne ogroženosti v okoljih. Za natančnejše ugotavljanje se lahko uporabljajo tudi druge računske metode. Požarno tveganje in ogroženost morata zajeti tiste dejavnike, ki vplivajo na verjetnost nastanka in razširitve požara ter ogroženost življenja in zdravja ljudi, živali ter premoženja.

Na podlagi ugotovljenih stopenj požarne ogroženosti mora zavezanec načrtovati in izvajati dejanski ogroženosti primerne ukrepe varstva pred požarom.

4 EVAKUACIJA

Evakuacija je preselitev ljudi oziroma česa drugega s področja, ki je ogroženo zaradi naravne nesreče, požara, vojne ... [13]

V 4. členu Zakona o varstvu pred požarom je v navedeno, da moramo ljudi in živali varno umakniti s požarno ogroženega območja. V 35. členu se omenja tudi načrt evakuacije. Zahteve z vidika evakuacije podrobneje opisuje in podaja Pravilnik o požarnem redu.

Zakon o varstvu pred požarom zahteva, da morajo lastniki oziroma uporabniki vsaj enkrat letno izvesti praktično usposabljanje za izvajanje evakuacije iz objektov v primeru požara.

Pri opisu evakuacij ločimo več vrst. Pri prvem načinu se osredotočimo na število ljudi, ki jih evakuiramo, pri drugem pa na lokacijo, kamor osebe evakuiramo. [14]

Kadar govorimo o številu ljudi, ki jih evakuiramo, poznamo popolno in delno evakuacijo. Popolna evakuacija pomeni umik vseh oseb iz objekta na varno mesto, zunaj ali znotraj stavbe. Ta evakuacija je lahko takojšna ali postopna. Postopno evakuacijo uporabimo, kadar zaradi narave gorenja in razvoja požara ter konfiguracije stavbe ni možno takoj pričeti z evakuacijo vseh oseb v njej. Pri takšni evakuaciji je obseg odvisen od ogroženosti ter poteka in širjenja požara. Delno evakuacijo uporabimo, kadar želimo umakniti samo del ljudi, ki se nahajajo v delu stavbe, ki je zajet v požaru, oziroma kjer se pričakuje razvoj in napredovanje požara.

Evakuacijo lahko izvedemo tudi na lokaciji. Poznamo dva načina evakuiranja horizontalno in vertikalno evakuacijo. Horizontalno evakuacijo izvajamo tako, da osebe premeščamo na varno mesto, ki je v istem nivoju ali etaži in ga požar še ni zajel, vertikalno evakuacijo pa izvajamo ob intenzivnem razvoju požara in v primerih, ko požar hitro zajame celoten objekt. [7]

4.1 Evakuacijski časi

Na evakuacijski čas osebja v objektu vpliva mnogo dejavnikov:

- število uporabnikov v objektu,
- razporeditev uporabnikov po stavbi ob različnih časih,
- njihovo poznavanje stavbe,
- njihove sposobnosti, vedenje,
- lastnosti stavbe, vključno z njeno uporabo,
- razporeditev prostorov in inštalacij,
- obstoj opozoril,
- sredstva umika in strategije ravnanja v sili,
- interakcija vseh teh vidikov z razvojem požara,
- ukrepi za intervencijo (naprave za gašenje in reševanje). [3]

Izračunani evakuacijski čas je odvisen od zaporedja procesov, in sicer od:

- časa od vžiga do odkritja požara,

- časa od odkritja požara do splošnega opozorila uporabnikom, da je potrebna evakuacija,
- časa umika, ki je sestavljen iz dveh faz:
 - čas pred začetkom umika (od trenutka, ko se uporabniki stavbe zavejo nevarnosti, do trenutka, ko se začnejo premikati proti izhodu) – čas potreben za prepoznavanje nevarnosti, in čas za različne dejavnosti pred začetkom pomikanja proti izhodu in
 - čas potreben za pot do varnega mesta.

Želimo si, da je evakuacijski čas čim krajši, zato izvajamo redne vaje evakuacije. S tem uporabniki spoznajo objekt, evakuacijsko pot in postopke, zaradi katerih se evakuacijski čas skrajša.

Evakuacijski čas lahko izračunamo s pomočjo simulacijskih računalniških programov, lahko pa ga opredelimo na splošno na podlagi hitrosti potovanja in dolžine evakuacijske poti. Hitrost potovanja nekaterih ciljnih skupin po objektu je podana v preglednici 4-1.

Preglednica 4-1: Hitrost potovanja [7]

Hitrost [m/s]	Skupina
1,6	Fizično in psihično v dobrem stanju
1	Fizično mobilne osebe
0,85	Omejeno mobilne osebe (otroci in starejše osebe)
0,5	Osebe, ki potrebujejo pomoč pri gibanju

Čas odkritja požara in čas alarmiranja sta odvisna predvsem od vgrajenih sistemov aktivnih požarnih zaščit in tehničnih komponent, medtem ko je evakuacijski čas uporabnikov zelo različen, saj ima vsak uporabnik individualen čas umika iz objekta.

Na evakuacijski čas vplivajo oddaljenost uporabnika od zbirnega mesta, hitrost hoje, pretočna kapaciteta uporabljenih izhodov ter urejenost poti. [7]

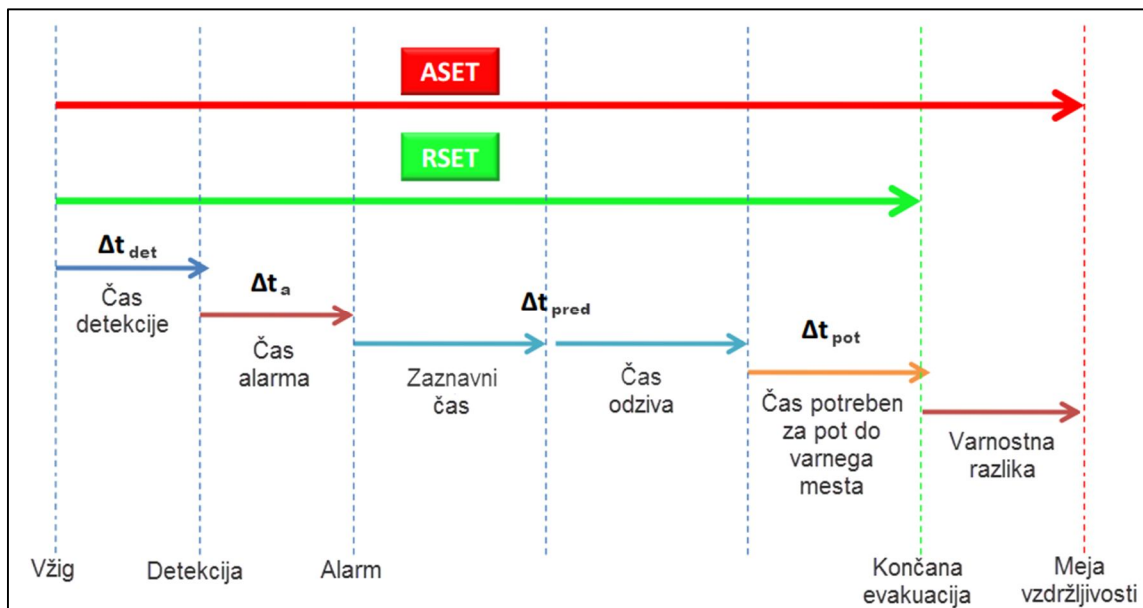
Pri evakuaciji sta najpomembnejša dva podatka:

- ASET – available safe escape time ali razpoložljivi čas za varen umik
- RSET – required safe escape time ali potrebni čas za varen umik

Varnostna razlika oziroma varnostni faktor je odvisen od razpoložljivega časa za varen umik in od potrebnega časa za varen umik (Slika 4-1). Ta razlika je potrebna zaradi negotovosti pri napovedovanju teh dveh časov. [14]

$$t_{varnost} = t_{ASET} - t_{RSET} \quad (1)$$

Takšne metode se lahko uporabljajo tudi pri zapletenih ali inovativnih stavbah, pri katerih normativni pristop ne bi bil zadosten. Z inženirskim pristopom lahko tudi ocenimo in potrdimo rešitve predpisanih metod. [15]



Slika 4-1: Prikaz evakuacijskih časov [15]

4.1.1 Razpoložljivi čas za varen umik – ASET

Za napovedovanje razpoložljivega časa za varen umik potrebujemo inženirsko oceno, ki upošteva dejavnike, kot so konfiguracija objekta, požarni scenarij z napovedanim razvojem požara, količina dima in temperatura v požaru. [16]

4.1.2 Potrebni čas za varen umik – RSET

Odvisen je od odkrivanja in alarmiranja, opozoril in vrste parametrov, ki se nanašajo na obnašanje in gibanje uporabnikov pri evakuaciji. Ta čas umika je razdeljen na obnašanje pred začetkom umika in obnašanje pri umiku. Za izračun časa RSET uporabljamo spodaj podano enačbo. [16]

$$t_{RSET} = \Delta t_{det} + \Delta t_a + (\Delta t_{pred} + \Delta t_{pot}) \quad (2)$$

Δt_{det} – čas od vžiga do odkrivanja požara

Δt_a – čas od odkrivanja požara do splošnega alarma

Δt_{pred} – čas pred začetkom umika uporabnikov prostora ali stavbe

Δt_{pot} – čas, potreben za pot uporabnikov prostora ali stavbe do varnega mesta

4.2 Vpliv vedenja ljudi na evakuacijo

Pri požaru imamo veliko stranskih produktov, ki vplivajo na ljudi pri evakuaciji. Pri zaznavi dima in plamena se pojavi strah pred bližajočim se dimom in ognjem. Pri tem lahko ljudje panično začnejo iskati izhode in ne upoštevajo evakuacijskih navodil. Zaradi dima se poslabša vidljivost, ki nastane zaradi optične gostote dima, bolečih učinkov dražečih dimnih produktov in visoke temperature. Ti vplivi niso smrtno nevarni, lahko pa pride do nastanka trajnih poškodb.

Za ljudi je zelo nevarno vdihavanje dražečega dima, ki je ob tem tudi zelo vroč. Pojavijo se bolečine v dihalnih organih, težave z dihanjem ter dušenje, ki pripelje do skrajnih primerov, kot so laringealni krč (mlahavo grlo, posledica je piskanje pri vdihu in težko dihanje) ali zožitve bronhijev. Dušenje lahko nastopi tudi zaradi vdihovanja strupenih plinov, to pa posledično privede do zmedenosti in izgube zavesti. Zelo nevarne so tudi opekline, ki se pojavijo zaradi vročine. Vsi naštetih vplivi pa lahko močno ovirajo ljudi pri evakuaciji iz stavbe. [7]

4.3 Zakonodaja

Minister za okolje, prostor in energijo je na podlagi Zakona o graditvi objektov [16] in Zakona o varstvu pred požarom [1] s soglasjem z Ministrstvom za obrambo izdal Pravilniku o požarni varnosti v stavbah [2].

Pravilnik o požarni varnosti v stavbah določa ukrepe, ki jih je treba izvesti, da bi stavbe izpolnjevale gradbene zahteve za zagotovitev požarne varnosti, in katerih cilj je omejiti ogroženost ljudi, živali in premoženja v stavbah ter uporabnikov sosednjih objektov in posameznikov, ki se v času požara nahajajo v neposredni bližini stavbe, omejiti ogrožanje okolja ter omogočiti učinkovito ukrepanje gasilskih ekip, ki sodelujejo pri omejitvi posledic požara, ne da bi bili po nepotrebnem ogroženi življenje in zdravje njihovih članov. [2]

V tem pravilniku so določene naslednje zahteve za varnost pred požarom:

3. člen – širjenje požara na sosednje objekte
4. člen – nosilnost konstrukcije in širjenje požara po stavbah
5. člen – evakuacijske poti in sistemi za javljanje ter alarmiranje
6. člen – naprave za gašenje in dostop gasilcev

Peti člen zavzema dve točki:

- Stavbe morajo biti projektirane in grajene tako, da je ob požaru na voljo zadostno število ustreznih izvedenih evakuacijskih poti in izhodov na ustreznih lokacijah, ki omogočajo uporabnikom hitro in varno zapustitev stavbe.
- Če je glede na zasnovo, lokacijo, namembnost in velikost stavbe to nujno, morajo biti za zagotovitev hitre in varne evakuacije uporabnikov v stavbah ter hitrega posredovanja gasilcev v stavbi vgrajeni sistemi za požarno javljanje in alarmiranje. [2]

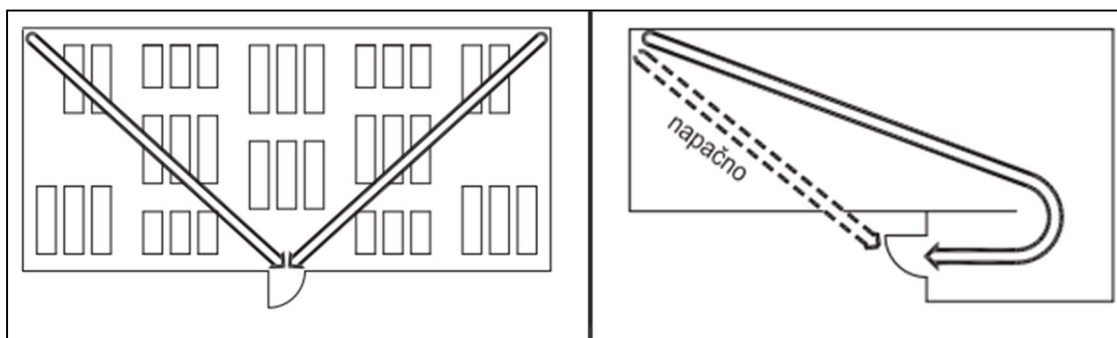
V Sloveniji imamo poleg zgoraj naštetih zakonov in pravilnika tudi Tehnično smernico: Požarna varnost v stavbah (TSG-1-001:2010) (v nadaljevanju TSG1) [3]. Tehnična smernica ni zakonsko obvezujoča, v njej so zapisani zgolj priporočeni gradbeni ukrepi oziroma rešitve za izpolnitev v pravilniku predpisanih zahtev o požarni varnosti v stavbah.

4.3.1 Zahteve za evakuacijsko pot po TSG1 [3]

V TSG1 [3] so v tretjem poglavju evakuacijske poti in sistemi za javljanje ter alarmiranje navedene zahteve za projektiranje evakuacijskih poti in sistemov za javljanje požara ter alarmiranje.

4.3.1.1 Evakuacijske poti

1. Evakuacijsko pot je treba projektirati tako, da predstavlja najkrajšo pot umika uporabnikov iz ogroženih prostorov v stavbi na prosto.
2. Pri tem moremo upoštevati:
 - število uporabnikov,
 - število in velikost etaž,
 - površino in namembnost stavbe,
 - njeno razporeditev v požarnem sektorju.
3. Skupna dolžina evakuacijske poti pomeni seštevek dolžine poti od točke v prostoru, ki je najbolj oddaljena od izhoda iz tega prostora do izhoda iz prostor in dolžine poti po hodniku do izhoda v zaščiteno stopnišče ali do izhoda na prosto.
4. Dolžina evakuacijske poti po zaščitenem stopnišču do izhoda na prosto se ne prišteva k skupni dolžini evakuacijske poti. Dolžina poti po zaščitenem hodniku in po nezaščitenih delih evakuacijske poti se prišteva k skupni dolžini evakuacijske poti.
5. Zaščiteno stopnišče mora imeti neposreden izhod na prosto.
6. V prostoru se dolžina poti do izhoda iz prostora meri po zračni liniji, vendar ne skozi gradbene elemente, na hodniku pa po njegovi osi (Slika 4-2).



Slika 4-2: Prikaz določanja dolžine evakuacijske poti v prostoru [3]

7. Širina evakuacijske poti se pri vratih meri kot svetla širina vrat, v hodniku kot svetla širina hodnika in na stopnišču kot širina pohodne površine stopnišča. Širine evakuacijske poti vzdolž evakuacijske poti ne smemo zmanjšati.
8. Pri določanju širine moremo upoštevati, koliko uporabnikov je v določenih prostorih, ki so znotraj enega požarnega sektorja. Če imamo stavbo razdeljeno na več požarnih sektorjev, ki pa imajo skupne dele evakuacijskih poti, širino določimo glede na zahtevo za širino izhoda iz požarnega sektorja z največjim številom uporabnikov.
9. Pri projektiranju evakuacijske poti je potrebno upoštevati tehnično smernico in zahteve predpisov za zagotavljanje neoviranega dostopa, vstopa in uporabe stavb v javni rabi in večstanovanjskih stavb. [3]

4.3.1.1.1 Število in razporeditev ter dolžine in širine evakuacijskih poti

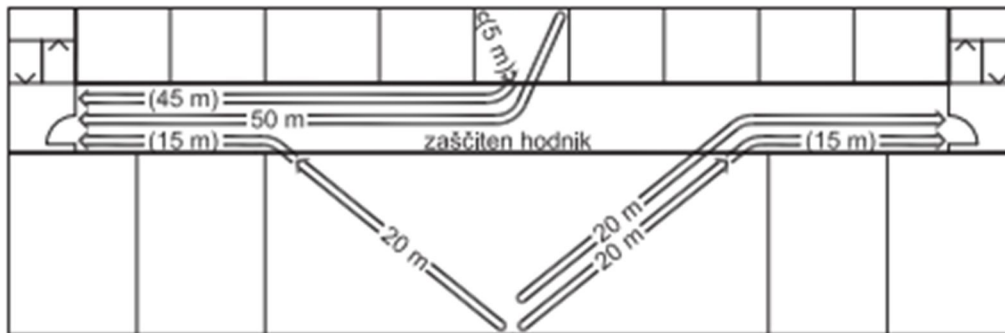
4.3.1.1.1.1 Dolžine evakuacijskih poti v prostoru

1. Če ima prostor vsaj dva izhoda, ne sme biti nobena točka v prostoru od vsaj enega izhoda oddaljena več kot 35 m. Izhodi morajo biti razporejeni tako, da so razdalje med njimi čim večje, zato da so izhodne poti med seboj neodvisne.

- Če dolžina poti do izhodov iz prostora presega dolžino iz prvega in drugega odstavka, je treba v prostoru urediti hodnik ali zaščiten hodnik. [3]

4.3.1.1.2 Skupna dolžina evakuacijske poti

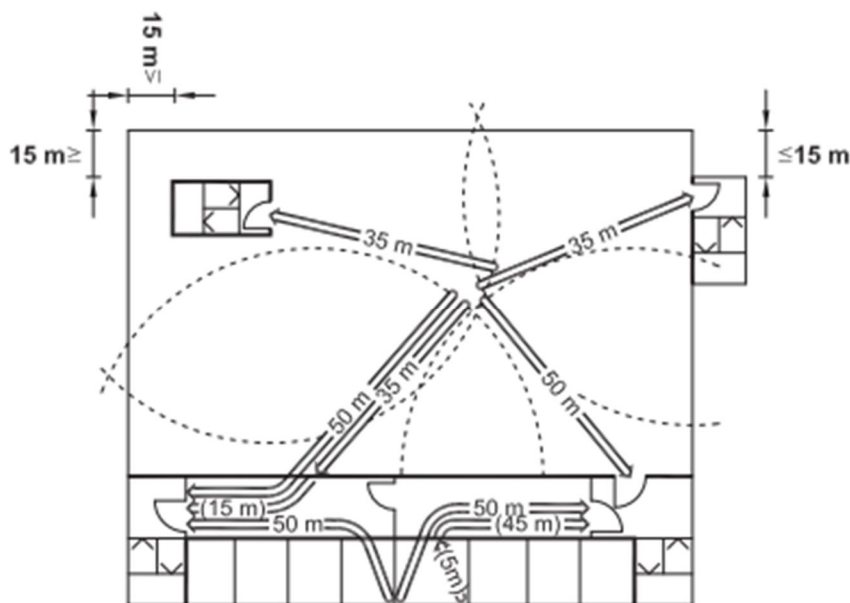
- Če evakuacijske poti vodijo do dveh ali več zaščitenih stopnišč, ne sme skupna dolžina nobene od poti presegati 50 m (Slika 4-3). [3]



Slika 4-3: Skupna dolžina evakuacijske poti do dveh ali več izhodov na zaščiteni stopnišča [3]

4.3.1.1.3 Število in razpored stopnišč

- Če evakuacijske poti iz etaže vodijo k dvema ali več zaščitenim stopniščem, bruto tlorisna površina etaže ne sme presegati 900 m^2 na vsako zaščiteni stopnišče.
- Zaščiteni stopnišča morajo biti nameščena največ 15 m od vogalov stavbe in razporejena tako, da so evakuacijske poti, ki vodijo do njih, med seboj neodvisne (Slika 4-4). [3]



Slika 4-4: Zahteve za evakuacijske poti v stavbah z dvema ali več zaščitenimi stopnišči [3]

4.3.1.1.1.4 Širina evakuacijskih poti

1. Zahtevani izhodi iz prostorov

Preglednica 4-2: Prikaz širine izhodov za določeno število uporabnikov [3]

Število uporabnikov	Število izhodov in njihove širine
do 50 uporabnikov	en izhod širine 0,9 m
do 100 uporabnikov	dva izhoda širine 0,9 m
do 200 uporabnikov	trije izhodi širine 0,9 m ali dva izhoda, eden s širino 0,9 m in drugi s širino 1,2 m
nad 200 uporabnikov	vsaj dva izhoda širine 1,2 m, skupna širina vseh izhodov se izračuna ob upoštevanju lokacije etaže, kjer je prostor: <ul style="list-style-type: none">– v pritličju– v etaži nad pritličjem– etaže pod pritličjem

Če imamo v prostoru več kot 200 uporabnikov, uporabimo za izračun skupne širine vseh izhodov formulo:

$$\check{s} = n \times 0,6/n_e \quad (3)$$

\check{s} – širina izhodov

n – dejansko število uporabnikov v prostoru ali več prostorih

n_e – računsko število uporabnikov v prostoru ali več prostorih (Preglednica 4-3)

Preglednica 4-3: Prikaz računskega števila uporabnikov v prostoru [3]

Lokacija prostora v stavbi	n_e
v pritličju	100
v etaži nad pritličjem	60
v etaži pod pritličjem	50

2. Najmanjša širina izhodov na evakuacijski poti je 0,9 m. Najmanjša širina izhodov iz stanovanj v večstanovanjski stavbi in iz tehničnih prostorov, kjer se samo občasno zadržujejo pooblašene osebe, je 0,8 m. Izhodi iz prostorov, ki imajo več kot 200 uporabnikov, morajo biti široki vsaj 1,2 m.
3. Najmanjša širina stopnišč in hodnikov je 1,2 m. Če je po izračunih širina izhodov, stopnišč in hodnikov večja od 1,2 m, se mora vsaka nadaljnja širina povečati za 0,6 m.
4. Inštalacije, oprema ali naprave na hodnikih ne smejo zmanjšati v zgornji točki zahtevane širine hodnikov. Če je širina hodnika večja od zahtevane, more biti v tlorisu etaže označena zahtevana širina hodnika. [3]

4.3.1.1.2 Izvedba evakuacijskih poti

4.3.1.1.2.1 Zaščitena stopnišča

1. Zaščiteno stopnišče more biti požarno ločeno od ostalih delov stavbe (določeno v drugem poglavju TSG1 [3]. Vrata iz drugih požarnih sektorjev v zaščitena stopnišča morajo imeti požarno odpornost EI2 30-C ali EW 30-C, če je specifična požarna obremenitev v prostoru, ki meji na stopnišče, manjša od 250 MJ/m².
2. V večstanovanjski stavbah, upravnih in pisarniških stavbah z največ štirimi etažami in stavbah za izobraževanje in znanstveno-raziskovalno delo z največ štirimi etažami požarna ločitev zaščitnega stopnišča od hodnika ni zahtevana, če je hodnik proti

sosednjim prostorom požarno ločen s požarno odpornostjo, ki je zahtevana za zaščiteno stopnišče, in če bruto tlorisna površina posamezne etaže ne presega 600 m². [3]

4.3.1.1.2.2 Stopnice in klančine

1. Stopnice in podesti morajo biti lahko dostopni in varni (ne krožni, zaviti).
2. Na evakuacijski poti je dovoljeno le stopnišče z najmanj tremi stopnicami.
3. Klančine na evakuacijskih poteh ne smejo imeti več kot 6 odstotnega naklona. [3]

4.3.1.1.2.3 Zaščiteni hodniki

1. Zaščiteni hodniki morajo biti požarno ločeni od ostale stavbe s stenami požarne odpornosti najmanj EI 30, vrata v zaščiteni hodnik morajo imeti požarno odpornost EI₂ 30-c ali EW 30-C, če je specifična požarna obremenitev v prostoru, ki meji na stopnišče, manjša od 250 MJ/m². [3]

4.3.1.1.2.4 Vrata

1. Vrata na evakuacijskih poteh se morajo odpirati v smeri evakuacije. Izjeme so vrata iz prostorov:
 - z bruto tlorisno površino največ 200 m², če se v njih uporabniki ne zadržujejo stalno,
 - kjer se lahko hkrati zadržuje manj kot 20 uporabnikov in v njih ni povečanega požarnega tveganja,
 - kot so »mokri« prostori (toplotne postaje ...), iz shramb za orodje in podobnih prostorov, v katerih ni povečanega požarnega tveganja.
2. Vrata na evakuacijskih poteh iz prostorov, ki niso naštetih v prvem odstavku, in vrata na zaščiteneh delih evakuacijskih poti morajo biti glede na značilnost uporabnikov, ki se bodo skozi umikali, opremljena z zapirali, ki so v skladu s smernico SZPV-CFPA-E.
3. Poleg zahtev iz te točke morajo požarna vrata na evakuacijskih poteh zagotavljati tako požarno odpornost, kot je zahtevana v tej tehnični smernici in v njenih podpornih dokumentih.
4. Avtomatska (dvižna, vrtljiva, drsna, rolo ...) vrata na evakuacijskih poteh so dovoljena samo, če izpolnjujejo zahteve smernice MautSchR ali če so v njihovi neposredni bližini nameščena dodatna krilna vrata, ki izpolnjujejo zahteve iz točke 3.2.2.4 TSG1 [3].
5. Avtomatska požarna vrata na evakuacijskih poteh se morajo v požaru ali ob izpadu napajanja, ki omogoča njihovo samodejno zapiranje, samodejno zapreti. Avtomatska požarna vrata na evakuacijskih poteh morajo imeti vgrajena dodatna krilna vrata s samozapiralom, ki izpolnjujejo zahteve točke 3.2.2.4 TSG1 [3], ali pa morajo biti v njihovi neposredni bližini nameščena dodatna krilna vrata, ki izpolnjujejo zahteve točke 3.2.2.
6. Odpiranje vrat na evakuacijski poti ne sme biti omejeno zaradi nadzora nad dostopom ali protivlomnega varovanja stavbe. Upoštevati je treba tudi dodatne zahteve smernice M-EitVTR. [3]

4.3.1.1.2.5 Varnostna razsvetljava

1. Zahteve za vgradnjo varnostne razsvetljave v stavbah so podane v tabeli 16 v TSG1 [3]. Varnostno razsvetljava je treba namestiti, če je izpolnjen vsaj eden od pogojev: površina, število ljudi ali število ležišč iz Preglednice 4-4.

Preglednica 4-4: Prikaz pogojev za varnostno razsvetljava, ki veljajo za stavbo FGG (skrajšana tabela) [3]

Namembnost stavbe ali dela stavbe	BET stavbe ali dela stavbe [m ²]	Število uporabnikov	Število postelj	Maksimalni vklopni čas [s]	Minimalni čas delovanja [h]	Osvetljenost piktogramov v stalnem spoju
121 – Gostinske stavbe 1262 – Muzeji in knjižnice 1263 – Stavbe za izobraževanje in znanstveno-raziskovalno delo 1265 – Športne dvorane	1000	100	10	1	1 ^[1]	da

BET – bruto etažni prerez

1^[1] – Pristojni državni organ oziroma zakonsko določeni udeleženci, ki nadzorujejo pravilnost projektiranja, lahko glede na specifičnost stavbe zahtevajo čas delovanja 3 h.

2. Poleg stavb oziroma njihovih delov iz prvega odstavka je treba varnostno razsvetljava namestiti tudi v naslednjih stavbah ali delih stavb:
 - v vseh stavbah s prostori za veliko uporabnikov,
 - v vseh stavbah z evakuacijskimi potmi, po katerih se mora evakuirati več kot 20 uporabnikov in so brez dnevne svetlobe.
3. Če je za stavbo ali njen del zahtevana namestitev varnostne razsvetljave, jo je treba namestiti:
 - na evakuacijskih poteh,
 - na požarnih točkah (npr. pri gasilnikih, hidrantih ...),
 - na posebno nevarnih delovnih mestih,
 - v prostorih, večjih od 50 m², z delovnimi mesti brez dnevne svetlobe,
 - v prostorih, večjih od 100 m², z delovnimi mesti z dnevno svetlobo,
 - v prostorih, kjer se lahko zbere več kot 50 oseb,
 - na odrih, večjih od 20 m²,
 - v garderobah, večjih od 50 m²,
 - v skladiščih, večjih od 100 m²,
 - v kuhinjah in pralnicah, večjih od 50 m²,
 - v prostoru električnega agregata,
 - v prostorih električnih razdelilnikov, če so namenjeni tudi napajanju ali krmiljenju požarnih naprav ali varnostne razsvetljave,
 - v prostorih centralnih baterij varnostne razsvetljave,
 - v drugih prostorih ali delih stavbe, za katere je treba v skladu s točko 3 TSG1 [3] upoštevati katerega od podpornih dokumentov, ki tako določa.
4. Ne glede na zahteve prvega odstavka tega poglavja mora biti v stavbah s horizontalno evakuacijo najmanj 3 ure zagotovljeno rezervno električno napajanje varnostne razsvetljave.
5. Evakuacijske poti morajo biti osvetljene do izhoda na prosto.
6. Preizkusni elementi in svetilke morajo biti ustrezno označeni.

- Oznake izhodov in evakuacijskih poti morajo biti neposredno ali posredno osvetljene z varnostno razsvetljavo. Izhodne oznake iz prostorov za veliko uporabnikov morajo biti osvetljene neposredno. [3]

4.3.1.1.3 Dodatne zahteve za stavbe s prostori za veliko uporabnikov

- Stavbe, v katerih je načrtovan vsaj en prostor za veliko število uporabnikov, morajo imeti ne glede na bruto tlorisno površino etaže najmanj dve stopnišči.
- Zahtevana širina stopnišča je odvisna od zahtevane širine izhodov iz prostora z največjim številom uporabnikov.
- Zahteve iz prejšnjega odstavka veljajo pod pogojem, da je vsak prostor za zbiranje več kot 20 uporabnikov načrtovan kot ločen požarni sektor, sicer je zahtevana širina stopnišča odvisna od števila uporabnikov znotraj enega požarnega sektorja. Pri tem upošteva število uporabnikov, ki se bodo iz prostorov evakuirali po skupnih evakuacijskih poteh, od skupnega števila uporabnikov pa se odšteje število uporabnikov, ki se bodo evakuirali po požarno ločenih evakuacijskih poteh, na katere je možen dostop neposredno iz prostora (kot so zunanja požarna stopnišča z izhodom neposredno iz prostora).
- Stopnišča s svetlo širino več kot 2,4 m morajo imeti na sredini ograjo z držanjem. [3]

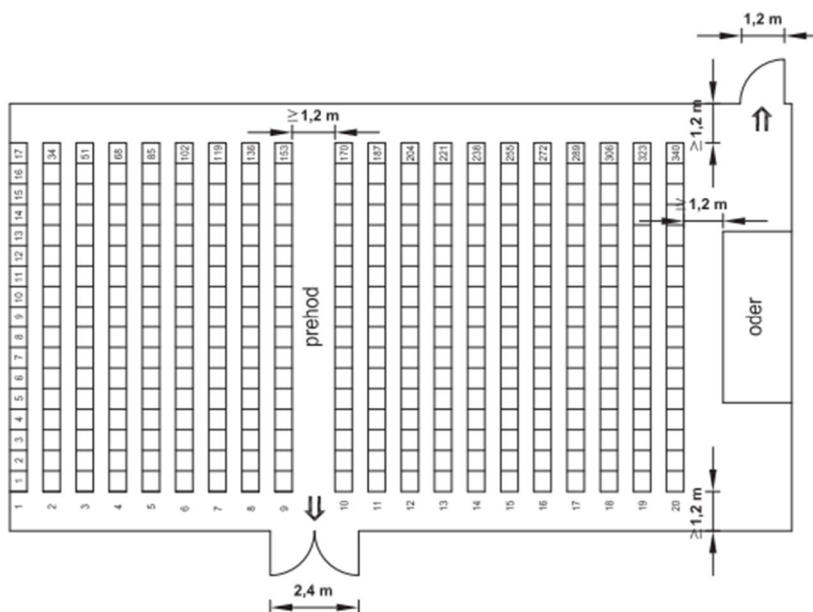
4.3.1.1.3.1 Sedeži v vrstah

- Sedeži v vrstah, vmesni prostori med vrstami sedežev in prehodi med skupinami vrst sedežev morajo biti načrtovani tako, da je pot za umik čim bolj ravna.
- Razdalje med vrstami sedežev so določene v standardu SIST EN 13200. Če za obravnavani primer v teh standardih ni zahtev, je treba upoštevati zahteve iz preglednice 4-5.

Preglednica 4-5: Razdalja med vrstami in število sedežev [3]

Najmanjša razdalja med vrstami [m]	Največje število sedežev v vrsti	
	Dostop z ene strani	Dostop z dveh strani
0,35	8	16
0,40	10	20
0,45 ali več	16	32

- Sedeži morajo biti razporejeni v skupine z največ 30 vrstami, med katerimi morajo biti prehodi s širino najmanj 1,2 m. Ti prehodi morajo voditi do izhodov iz prostora po najkrajši možni poti.
- Sedeži morajo biti pritrjeni na tla. Če to ni možno, morajo biti v vrsti povezani med seboj tako, da ne morejo ovirati umika uporabnikov. Ti dve zahtevi ne veljata za prostore, namenjene strežbi hrane, in za dele prostorov za veliko uporabnikov, v katerih ni več kot 20 sedežev.
- Za prostore za veliko uporabnikov poleg zahtev TSG1 [3] veljajo tudi dopolnilne zahteve smernice (MVStattV).
- Primer ureditve dvorane oziroma predavalnice (Slika 4-5). [3]



Slika 4-5: Primer ureditve dvorane oziroma predavalnice [3]

4.3.1.1.4 Sistemi za požarno javljanje in alarmiranje (AJP)

1. Poleg stavb, v katerih so sistemi AJP, zahtevani v točki 2 TSG1 [3], morajo biti ti sistemi nameščeni tudi v stavbah, navedenih v Preglednici 4-6

Preglednica 4-6: Tabela za razvrstitev stavbe ali dela stavbe za AJP [3]

Razvrstitev stavbe ali dela stavbe	Če stavba ali del stavbe, ki sodi v to namembnost, izpolnjuje katerega od naštetih pogojev
1263 – Stavbe za izobraževanje in znanstveno-raziskovalno delo	– stavbe z nadstropnimi ali kletnimi etažami ^[1] , v katerih se lahko hkrati izobražuje 100 ali več uporabnikov – stavbe z nadstropnimi ali kletnimi etažami ^[1] , v katerih se odvija vzgojno-varnostna dejavnost za 20 ali več uporabnikov (tudi s posebnimi potrebami)
Stavbe, v katerih so prostori za veliko uporabnikov	– stavbe, v katerih se prostori za veliko uporabnikov nahajajo v nadstropnih ali kletnih etažah ^[1]

^[1] Upoštevajo se etaže, iz katerih ni možen neposreden izhod vseh uporabnikov v predpisani dimenzionirani evakuacijski poti na nivo okoliškega terena in na varno mesto. Za neposreden izhod šteje tudi izhod čez zunanje zaščiteno stopnišče

2. Celoten sistem AJP mora biti projektiran v skladu s smernico VdS 2095, oprema in naprave pa morajo biti skladne s tistimi deli standarda SIST EN 54, ki se nanje nanaša.
3. V stavbah, v katerih je nameščen sistem AJP, morajo imeti tudi alarmiranje, ki mora biti prilagojeno uporabnikom in načinu uporabe stavbe (zvočni alarm in/ali svetlobni alarm). Pri stavbah s prostori za veliko uporabnikov je treba glede alarmiranja upoštevati tudi zahteve smernice MVStättV.
4. Alarmni signal in signal, ki obvešča o napaki sistema AJP, mora biti voden z mesta, na katerem je stalno prisotna oseba, usposobljena za ukrepanje, in so zagotovljene tehnične možnosti za alarmiranje pristojne gasilske enote.
5. Požarna centrala mora biti nameščena na enostavno in hitro dostopnem mestu v bližini tistega (glavnega) vhoda v stavbo, ki je načrtovan kot vstopno mesto intervencijske enote. [3]

4.4 Organizacijski ukrepi

Pred požarom se zaščitimo z gradbenimi, tehnološkimi, tehničnimi in organizacijskimi ukrepi. Prve tri sem opisala že v prejšnjih poglavjih, z organizacijskim ukrepom pa želimo zmanjšati možnost nastanka požara. Ob njegovem nastanku, želimo zagotoviti varno evakuacijo ljudi in premoženja ter preprečiti njegovo širjenje. Te ukrepe podrobneje opredeli požarni red.

Zakon o varstvu pred požarom določa, da je lastnik ali uporabnik stanovanjskih, poslovnih in industrijskih objektov odgovoren za varnost pred požarom. Lastnik ali uporabnik lahko pooblasti ustrezno usposobljeno fizično ali pravno osebo, ki bo odgovorna za izvajanje ukrepov varstva pred požarom in izpolnjuje pogoje za izvajanje nalog na področju varstva pred požarom.

V vsaki zgradbi mora biti določena oseba, ki bo odgovorna za gašenje začetnih požarov in izvajanje evakuacije. Naloge te osebe so:

- se seznaniti z nevarnostmi, jih razumeti in poznati nastanek in razvoj pričakovanih požarov v delu objekta, za katerega je oseba odgovorna,
- poznati delovanje in način uporabe naprav za začetno gašenje požarov (gasilniki, notranji hidranti, požarne odeje ...),
- poznati evakuacijske poti, skrbeti za prehodnost le-teh in o tem obveščati in opozarjati odgovorno osebo, pooblaščenca osebo in zaposlene,
- usmerjati zaposlene ob vaji evakuacije in dejanski evakuaciji na evakuacijske poti,
- voditi evidenco o osebah, ki so v času evakuacije ostale v objektu,
- druge naloge glede na vrsto in namembnost objekta.

Vse te naloge in še dodatne naloge, ki jih mora prej omenjena oseba opraviti, so podrobneje napisane v požarnem redu, ki je oblikovan glede na Zakon o varstvu pred požarom [1] in Pravilnik o požarnem redu [2]. [7]

4.4.1 Navodila za zagotavljanje požarne varnosti v objektu

Za osnovo priprave navodil za zagotavljanje požarne varnosti v objektu vzamemo Pravilnik o požarnem redu [16], ki opredeljuje organizacijske ukrepe na področju varstva pred požarom. Ta pravilnik določa objekte, za katere je treba izdelati požarni red, požarni načrt in načrt evakuacije, ter vsebino in pogoje reda in načrtov.

Obvezne priloge požarnega reda so:

- izvleček požarnega reda – dokument, ki mora biti nameščen na vidnem mestu v objektu,
- navodila za posameznike – te se izdelajo za osebe, ki v objektu začasno ali stalno stanujejo,
- evidenčni listi o rednem vzdrževanju, pregledih, preizkusih opreme, naprav in drugih sredstev za varnost pred požarom ter vgrajenih sistemov aktivne požarne zaščite in o izvajanju drugih ukrepov varstva pred požarom,
- evidenčni list o usposabljanju zaposlenih za varnost pred požarom ter seznanitvi s požarnim redom,
- evidenčni list o požarih eksplozijah in gasilskih intervencijah,

- kontrolni list.

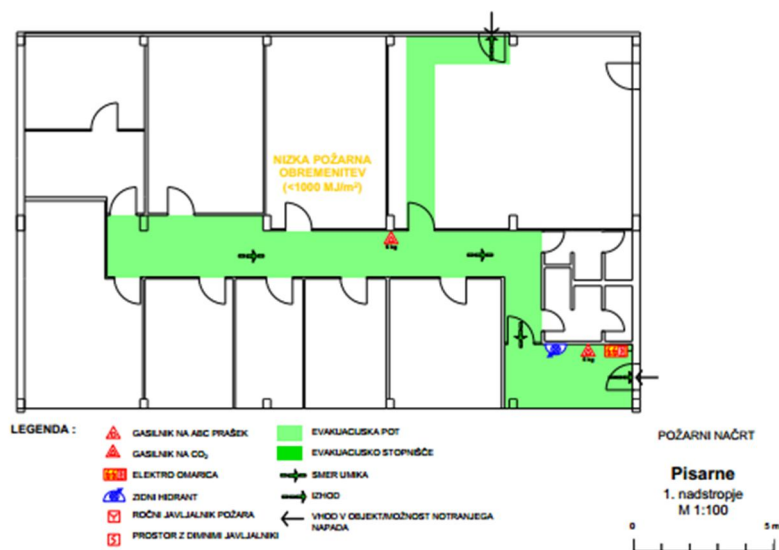
Za požarno bolj ogrožene objekte in za objekte, v katerih se zbira več ljudi, je treba izdelati tudi požarne načrte in načrte evakuacije ob požaru. Ta dva načrta je treba izdelati, kadar v objektu obstaja najmanj srednja požarna ogroženost po predpisih o ugotavljanju ocene požarne ogroženosti oziroma za objekte, v katerih je hkrati več kot 100 ljudi. [7]

4.4.2 Požarni načrt

Požarni načrt je grafični prikaz situacije objekta in delov objekta z označenimi nevarnostmi ter sistemi, napravami in sredstvi za preventivno in aktivno požarno zaščito, s katerim se zmanjšuje nevarnost nastanka požara oziroma zagotavlja učinkovito gašenje, če do požara pride. Namenjen je uporabnikom objekta, gasilcem in drugim reševalcem (Slika 4-6).

Prikaz objekta v prostoru mora zajemati naslednje podatke:

- lega in namembnost vseh objektov na zemljišču,
- stopnja požarne obremenitve,
- intervencijske poti in postavitvene površine za gasilce in druge reševalce,
- visoko- in nizkonapetostni elektrovi in naprave,
- plinovodih ali vodnih požarnih nevarnih snovi,
- hidrantna omrežja in drugi vodni viri za potrebe gašenja,
- nevarne snovi in eksplozijsko ogroženi prostori,
- gasilska orodišča.



Slika 4-6: Prikaz požarnega načrta [7]

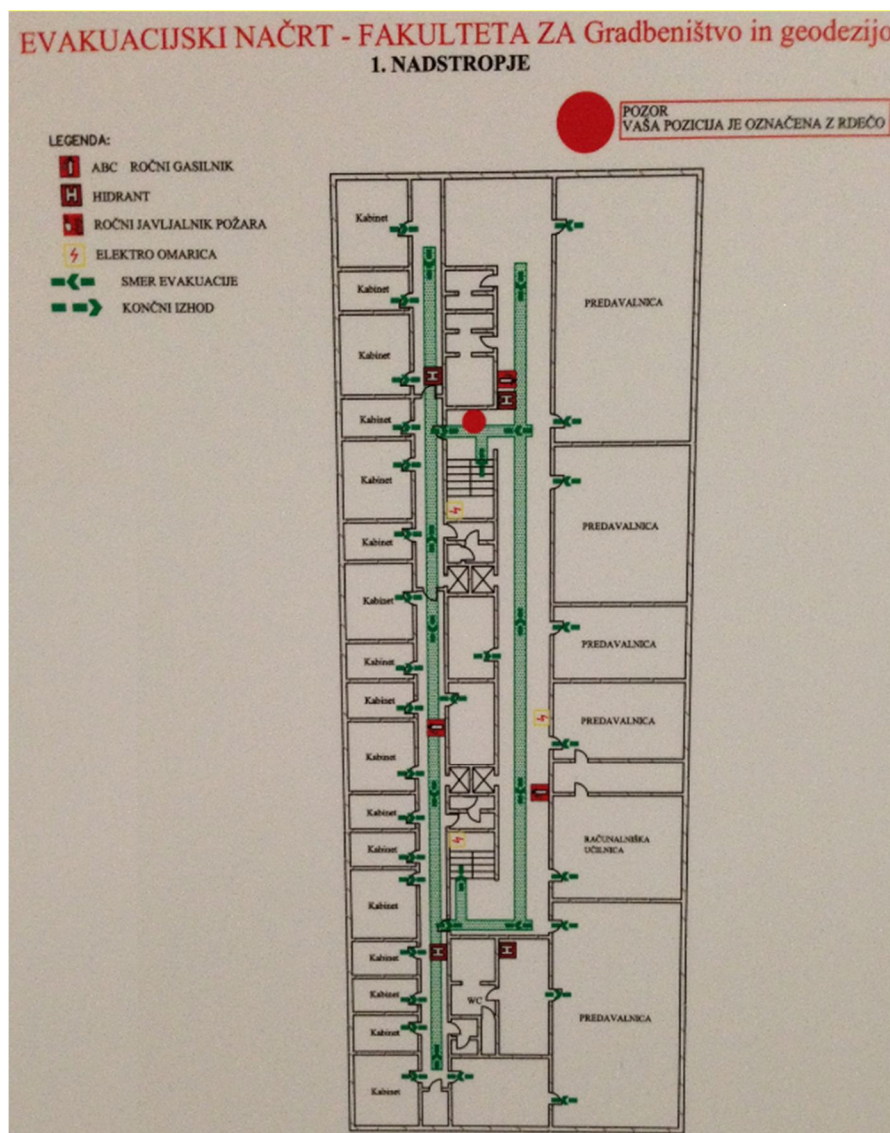
Izdelan mora biti v merilu, praviloma na formatu A4 ali A3 oziroma v formatu, ki še omogoča preglednost grafičnih znakov. Za označevanje opreme, naprav in drugih sredstev za varnost pred požarom ter vgrajenih sistemov aktivne požarne zaščite je treba upoštevati predpise o grafičnih znakih za izdelavo prilog požarnih redov. [18]

4.4.3 Evakuacijski načrt

Načrt evakuacije je grafični prikaz objekta ali delov objekta s podatki, ki prikazujejo možnost urejenega gibanja oseb na varno mesto ob požaru ali drugih nevarnosti (Slika 4-7). Na njem mora biti vrisan položaj posamezne sobe ali posameznega prostora oziroma točka nahajanja, evakuacijska pot, zbirno mesto, mesta z nameščenimi napravami, opremo in sredstvi za gašenje ter položaj ročnih javljalnikov požara.

Načrt evakuacije more biti izobešen v vsaki sobi ali prostoru, v katerem se skladno z namembnostjo objekta, zbirajo ali zadržujejo ljudje.

Izdelan mora biti v merilu, praviloma v formatu A4 ali A3 oziroma v formatu, ki še omogoča preglednost grafičnih znakov. Za označevanje opreme, naprav in drugih sredstev za varnost pred požarom ter vgrajenih sistemov aktivne požarne zaščite je treba upoštevati predpise o grafičnih znakih za izdelavo prilog požarnih redov. [18]



Slika 4-7: Prikaz evakuacijskega načrta stavbe FGG

4.4.4 Evakuacijski znaki po objektu

Evakuacijska pot je označena z opozorilnimi znaki zelene barve, ki nakazujejo smer zasilnega izhoda (Slika 4-8).



Slika 4-8: Znak, ki kaže smer evakuacije in je tudi osvetljen

Po zapustitvi objekta se morajo vsi uporabniki zbrati na zbirnem mestu, ki je pri vsakem objektu na varnem mestu zunaj objekta (Slika 4-9). Uporabniki na zbirnem mestu posredujejo čim več informacij gasilcem in reševalcem. Med posredovanjem le-teh morajo uporabniki na zbirnem mestu počakati, da je nevarnosti konec. [13]



Slika 4-9: Znak zbirnega mesta izven objekta

»Ta stran je namenoma prazna«

5 UPORABLJENA SIMULACIJSKA ORODJA

5.1 Fire Dynamics Simulator

Fire Dynamics Simulator (v nadaljevanju FDS) je računalniški program, ki simulira dinamiko požara v prostoru. Deluje po načelu Computational Fluid Dynamisc (CFD) oz. računalniške dinamike tekočin (RDT). [19]

Za pregled rezultatov izračunanih s pomočjo FDS, imamo na voljo program Smokeview za pregled slik in animacij rezultatov v realnem času. Z njim si lahko ogledamo eno izmed izhodnih datotek, ki jih izračuna FDS. Ta nam omogoči predvsem prikazovanje količin po vsej računski mreži skozi celotno računsko simulacijo v realnem časovnem obdobju ter realno simulacijo poteka požara in dima po mreži.

Druge rezultate dobimo v tabelah, kjer lahko analizirane podatke predstavimo s pomočjo grafov in s tem naredimo primerjavo med posameznimi računalniškimi simulacijami. [20] [21]

5.1.1 Računalniška dinamike tekočin – RDT

RDT omogoča reševanje zahtevnih inženirskih problemov toka tekočin in s tem povezanih prenosnih pojavov. S to metodo uporabimo realne prostorske geometrije in realne parametre obravnavanjih tekočin.

RDT je izhodiščni sistem ohranitvenih zakonov mase gibalne količine, toplote in snovi v diferencialni obliki. Te zakone združimo v Navier-Stokesove enačbe za opis laminarnega in turbulentnega toka, stisljive in nestisljive ter newtonske ali ne-newtonske tekočine. Opisujejo povezave med hitrostjo, gostoto, tlakom in temperaturo tekočin ter viskoznosti na tok tekočin. To so delne diferencialne enačbe, ki jih ob danih robnih in začetnih pogojih rešujemo numerično. Numerično reševanje zajema računalniško obdelavo podatkov, ki jih izvajajo računalniški algoritmi. [22]

Kot sem že omenila, FDS za izračun uporablja RDT. Pri simulaciji požarov uporabljamo turbulentni tok, ki ga lahko izračunamo na tri načine:

- z direktno numerično simulacijo (DNS) – pri tej moremo biti pozorni na numerično računsko mrežo, ki more biti dovolj natančna,
- Large Eddy Simulation (LES) – dobesedno pomeni simulacija velikih turbulenc,
- Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS).

FDS lahko uporablja prva dva načina izračuna. DNS zaradi pojava zelo majhnih vrtincev zahteva zelo fino računsko mrežo in s tem zelo majhno skalo celic ter zelo dolgotrajen izračun. Tega si ne želimo, zato raje uporabimo izračun LES – turbulentne modele. [19]

Turbulentno gibanje je gibanje tekočin v vrtincih. Tekočinske plasti se prepletajo in mešajo, zaradi česar nastanejo vrtinci. Če barvilo vlijemo v neko tokovno cev, se kmalu razgubi po celotnem območju tekočine. Tokovnice se namreč prepletajo in tekočina se med gibanjem meša. Pri turbulentnem gibanju zaradi tega ne govorimo o tokovnih ceveh. Tokovna cev je več tokovnic skupaj. [23] [24]

5.2 Pyrosim

Pyrosim je grafični uporabniški vmesnik za FDS. S FDS-modeli se lahko simulira širitev dima po objektu, temperature ter količino ogljikovega oksida in drugih snovi med požarom. Z rezultati teh simulacij lahko ocenimo varnost objektov (med gradnjo in uporabo), ugotovimo vzrok požara in pomagamo gasilcem pri vajah v primeru požara.

Z njim si olajšamo izdelavo vhodnih podatkov za FDS in dobimo takojšne povratne informacij. Prilagojen je za vse narodnosti, saj lahko delamo v metričnih ali angleških imperialnih enotah, poleg tega pa lahko med enotami poljubno preklaplamo. Program omogoča 2D- in 3D-pogled, kar olajša izdelavo simuliranega prostora oziroma stavbe. Pri izdelavi simulacijskega okolja si lahko pomagamo s slikami in/ali uvozimo datoteke iz programov AutoCAD in SketchUp in tako poenostavimo in pospešimo izdelavo modela. [24]

5.3 Pathfinder

Pathfinder je računalniški program, ki simulira evakuacijo ljudi iz objekta. Sestavljen je iz treh modulov: grafični uporabniški vmesnik, simulator in pregledovalnik 3D-rezultatov.

Pathfinder uporablja dve primarni možnosti za potnika gibanja: način SFPE (Society of Fire Protection Engineers) in krmilni način. SFPE način izhaja iz SFPE inženirski pripomočka proti požarni zaščiti. Ta način program uporablja za izračun simulacije, pri kateri določi hitrost hoje potnika in nadzira pretok skozi vrata.

V programu je uporabljen tudi krmilni način, ki temelji na ideji inverznega krmilnega vedenja in omogoča simulacijo bolj zapletenega vedenja, ki se naravno pojavlja kot stranski produkt gibanja v paniki. [25]

6 OPIS OBJEKTA IN SCENARIJA POŽARA

6.1 Opis objekta

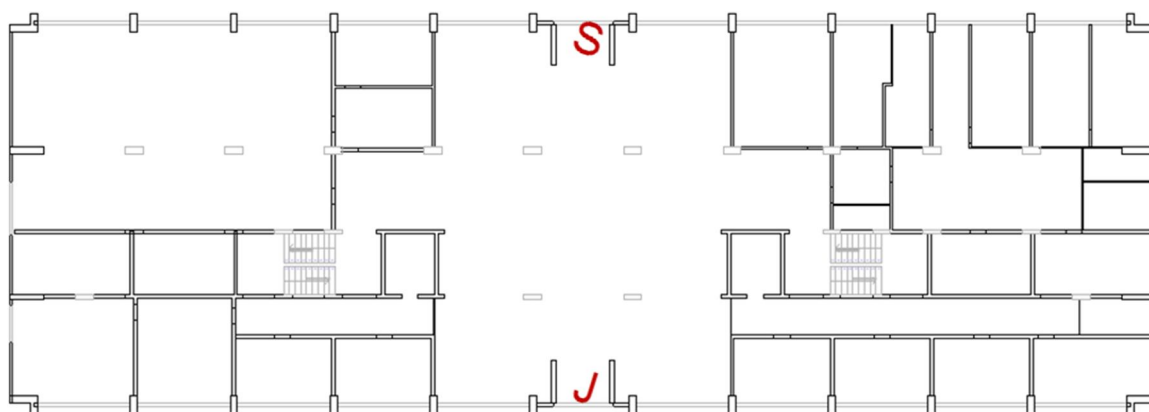
Stavba Fakultete za gradbeništvo in geodezijo je bila zgrajena leta 1969. Sodi med stavbe za izobraževanje in znanstveno-raziskovalno delo.

Stavba ima pravilno pravokotno obliko (Slike 6-1,6-2, 6-3). Tloris objekta lahko razdelimo na tri dele: južni del s kabineti, severni del s predavalnicami in osrednji hodnik s stopnišči, ki ju povezuje.

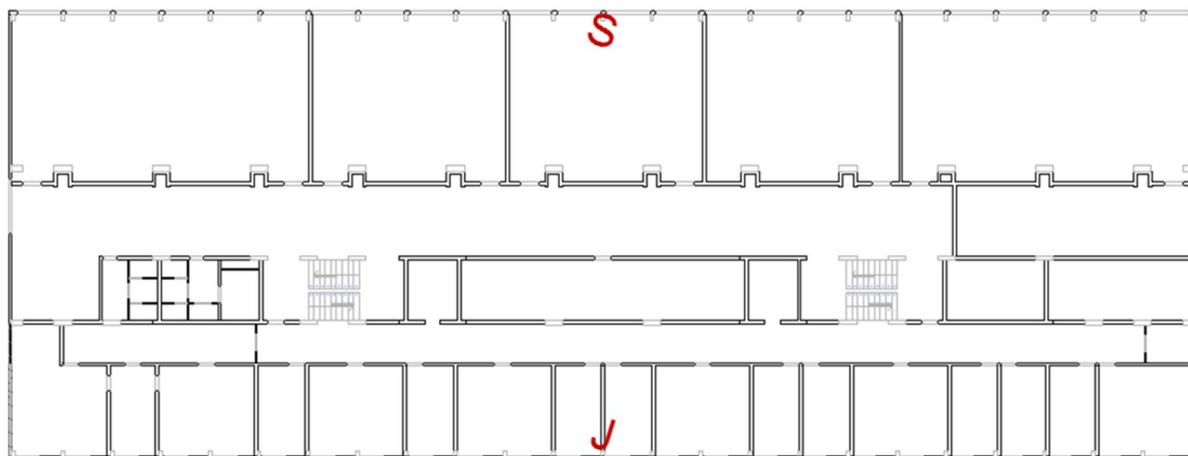


Slika 6-1: Prikaz zunanosti fakultete (južna in severna stran)

Višina fakultete je 24,65 m, kletni prostori imajo višino 2,9 m oziroma svetlo višino 2,75 m. Pritličje in severna stran stavbe imata višino 4,35 m oziroma 4,2 m svetle višine. Prostori na južni strani, kjer se nahajajo kabineti za profesorje, imajo višino 2,9 m oziroma 2,75 m svetle višine.



Slika 6-2: Tloris pritličja meri 21,3 m x 64,4 m



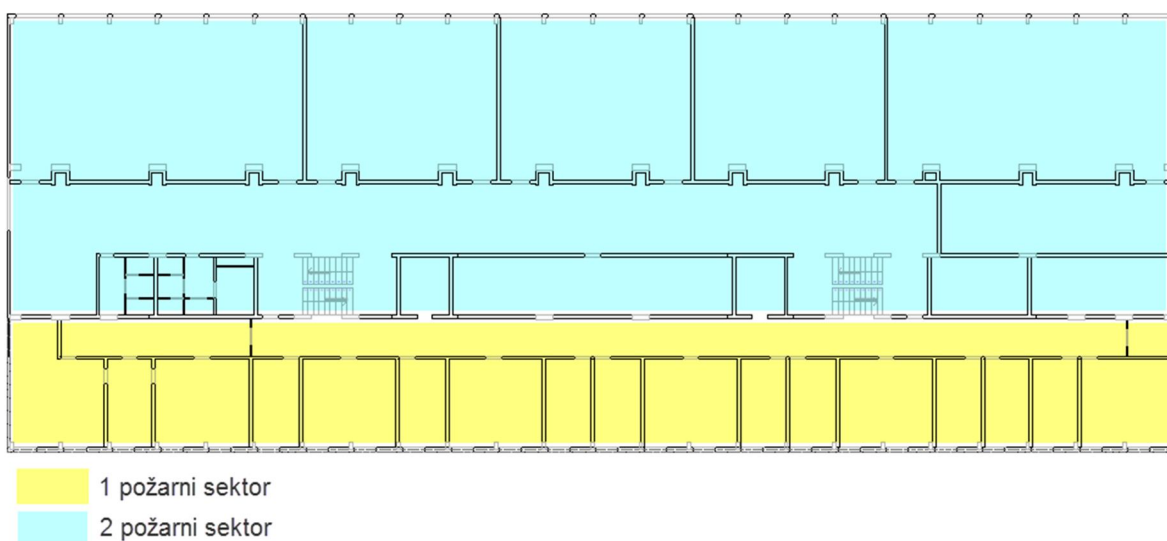
Slika 6-3: Tloris 1. nadstropja meri 25,4 m x 67,7 m

Nosilna konstrukcija je skeletna, izvedena iz armiranobetonskih slopov. Fasada je izdelana iz penobetonskih blokov ter fasadne betonske obloge. Za predelne stene so uporabljeni penobetonski bloki, opeka ter les. Zaključna obloga notranjih sten je narejena iz ometa, tla pa so v večini prostorov prekrita s talno oblogo iz linoleja, ki je zelo vnetljiv material.

V šolskem letu 2013/2014 je fakulteto obiskovalo 1062 rednih študentov, 77 izrednih študentov in približno 120 zaposlenih. Vsak dan se fakulteta odpre ob 6.30 in zapre ob 21.00.

6.2 Opis evakuacijske poti v obstoječem stanju

Tloris objekta lahko razdelimo na dva požarna sektorja. Prvi sektor je južna stran fakultete, drugi pa preostali del fakultete, saj sta hodnik in severna stran med seboj povezana (Slika 6-4).



Slika 6-4: Razdelitev požarnih sektorjev

Evakuacijska pot na fakulteti je sestavljena iz dveh stopnišč, ki se uporabljata za vsakodnevno vertikalno komunikacijo in nista dodatno zaščiteni. Na severni in južni strani

avle v pritličju se nahajata dva glavna izhoda, dodatno pa je omogočen izhod tudi skozi dva izhoda v kletnih prostorih fakultete. Glavna izhoda imata avtomatska pomična vrata. V primeru požara je požarna pot označena z znaki za evakuacijo, ki so tudi osvetljeni (Slika 6-5).



Slika 6-5: Prikaz oznake evakuacijske poti na FGG proti stopnišču

Fakulteta ima dve zbirni mesti. Na južni strani fakultete je zbirno mesto pri kolesarnici, na severni strani pa je zbirno mesto na novem parkirnem prostoru, kar prikazuje Slika 6-6. Dovoz za intervencijska vozila je prek dovoza z Jamove ceste. Intervencijska pot poteka okoli fakultete tako, da imajo gasilci in reševalci neoviran dostop do stavbe z obeh strani.



Slika 6-6: Zbirno mesto ter dovoz za intervencijska vozila

Fakulteta ima glavno električno stikalo in požarno plinsko pipo, sistema za gašenje ni, po hodnikih so nameščeni ročni javljalniki požara, v kabinetih in učilnicah pa so nameščeni detektorji dima. Objekt je opremljen z ročnimi gasilniki na CO₂ in s hidranti. Vsa oprema je označena na evakuacijskem načrtu in izvlečku požarnega reda.

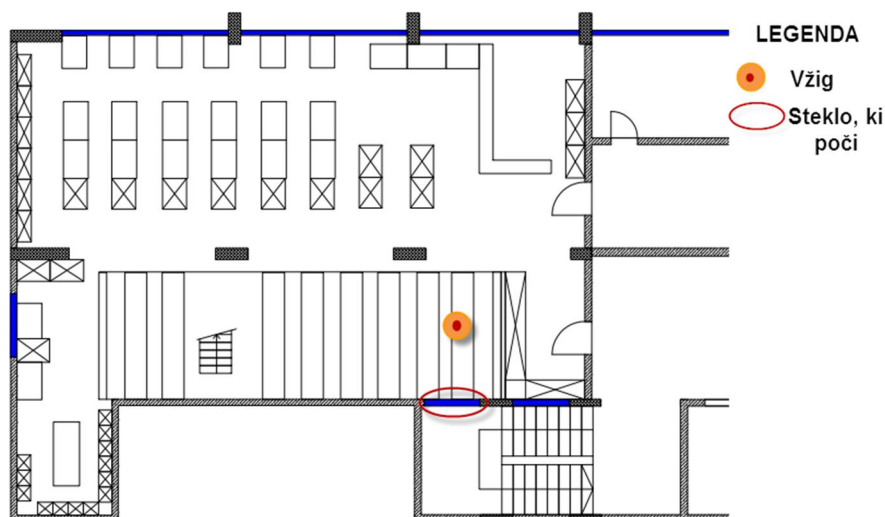
6.3 Obravnavan scenariji izbruha požara

6.3.1 Začetek požara v knjižnici

Scenarij izbruha požara v knjižnici je obravnaval že Nejc Repše v svoji diplomski nalogi [26]. Izbrala sem njegov 3. scenarij, pri katerem poče steklo med knjižnico in stopniščem, s tem pa se dim širi po objektu in najbolj vpliva na evakuacijo uporabnikov.

Potek požara:

- Začetek požara je v knjižnici, ki se nahaja v pritličju stavbe.
- Izbruh požara se zgodi zaradi neonske svetilke pod jeklenim podestom pri zahodnem stopnišču (Slika 6-7). Iskra, ki zaradi napake v električni napeljavi preskoči pri neonski svetilki, zaneti požar.
- V neposredni bližini so police s knjigami. Papir spada po klasifikaciji materialov v skupino D med normalno gorljive materiale. Knjige pospešijo razvoj požara, ki se razširi po policah in podestu.
- Končno moč požara predpostavimo na 500 kW.



Slika 6-7: Prikaz tlorisa knjižnice

- Steklo, ki se nahaja med zahodnim stopniščem in knjižnico, je blizu izvora požara, zato je podvrženo visokim temperaturam. Steklo poče pri temperaturi 200 °C, saj ne more prevzeti tako velikega temperaturnega gradienta.
- S predpostavljenim sesutjem stekla v prostor priteka svež zrak iz sosednjih prostorov, ki dodatno spodbudi gorenje, ter omogoči širjenje saj in dima po vseh odprtih prostorih fakultete. [26]
- V knjižnici je podest, s katerim povečamo kapaciteto knjig v njej. Podest je iz jekla, ki ni gorljiv material. V primeru požara, pri katerem temperature hitro narastejo, jeklo

izgubi svojo trdnost in povečajo se deformacije, to pa vodi do porušitve konstrukcije. Požar poteka pod podestom in ko se temperatura povzpne do 585 °C, se podest poruši.

Za gašenje požara na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo so pristojni Gasilska brigada Ljubljana in prostovoljna gasilska društva iz gasilskega sektorja Vič.

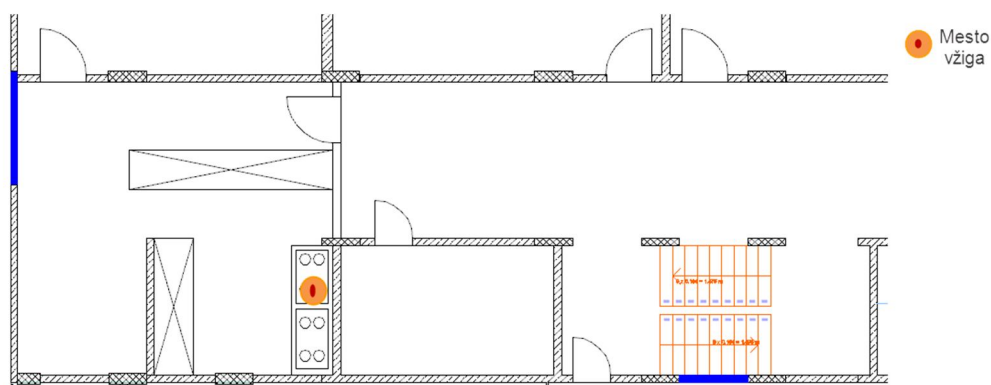
Število ljudi v stavbi je odvisno od dneva in časa. Izbrala sem ponedeljek 13.1.2014 ob 10.00 in predpostavila, da je na predavanjih 70 odstotna udeležba. V profesorskih kabinetih sem predpostavila tudi identično prisotnost. V celotni stavbi se tako nahaja 812 oseb.

Evakuacijo pričnejo zaposleni, ki so zadolženi za varnost. Ti pomagajo uporabnikom in jih vodijo, pri tem pa upoštevajo navodila evakuacijskega načrta.

6.3.2 Začetek požara v kuhinji

Potek požara:

- Začetek požara je v kuhinji, ki se nahaja v 2. nadstropju.
- Kuhar pripravlja kosila na plinskem štedilniku moči 500 kW.
- Gorilnik nepričakovano eksplodira (Slika 6-8).
- Vnamejo se lesene omarice ob štedilniku, mikrovalovna pečica ter kuhinjski pult iz iverne plošče, oblepljene z ultrapasom, ki je že malo poškodovan in hitreje vnetljiv. Z gorenjem mikrovalovne pečice se razvije gost in temen dim.
- Kuhar zbeži iz kuhinje ter pozabi zapreti vrata. S tem omogoči dovod zraka v kuhinjo, ki dodatno pospeši razvoj požara, ter širjenje saj in dima po vseh odprtih prostorih fakultete.



Slika 6-8: Pozicija vžiga v kuhinji

Število prisotnih ljudi je identično kot v primeru izbruha požara v knjižnici.

»Ta stran je namenoma prazna«

7 ANALIZE EVAKUACIJSKE POTI

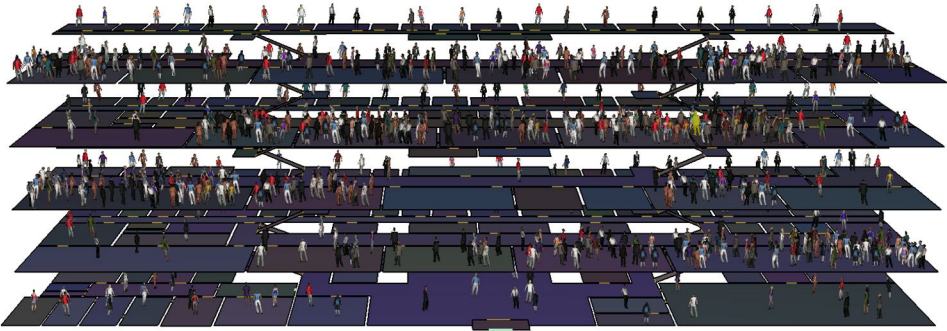

Obravnavala bom pet scenarijev evakuacije:

- VARIANTA 0 – predpisana evakuacija brez požara,
- VARIANTA 1 – evakuacija v primeru požara v knjižnici,
- VARIANTA 2 – evakuacija v primeru požara v knjižnici z rešitvami po TSG1 [3],
- VARIANTA 3 – evakuacija v primeru požara v knjižnici s prezračevalnim jaškom,
- VARIANTA 4 – evakuacija v primeru požara v kuhinji,
- VARIANTA 5 – evakuacija iz predavalnice P-I/1.

7.1 Varianta 0


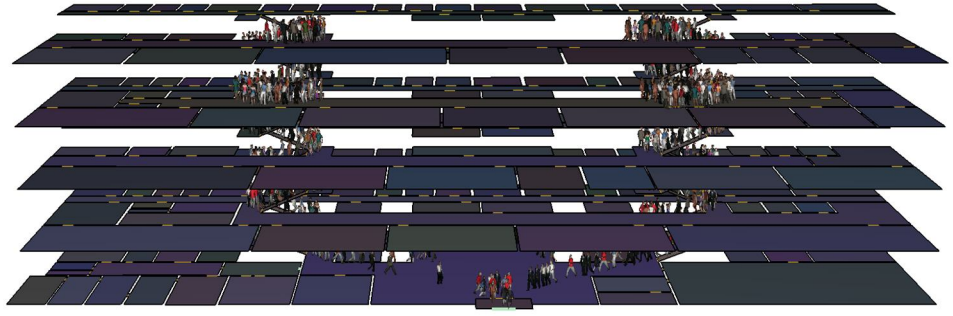
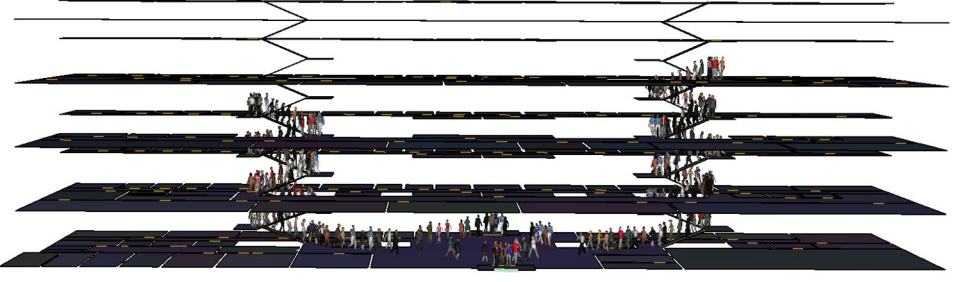
V prvi varianti poteka evakuacija brez požara. Predstavljamo si, da se izvaja požarna vaja. Evakuacija poteka po predvideni evakuacijski poti. Ta gre po obeh stopniščih in skozi glavna vhoda do zbirnega mesta.

Preglednica 7-1: Prikaz evakuacije pri požarni vaji

Čas [s]	Evakuacija slika in opis	Št. ev. up.
0	Začetek evakuacije 	0/812
10	Prvi zastoji se pojavijo že pri zapuščanju učilnic, kar prikazuje spodnja slika. 	16/812

se nadaljuje...

nadaljevanje Tabele 7-1 ...

50	<p>Pozneje se pojavijo zastoji tudi pri stopnišču, kar prikazujejo spodnji rdeči krogi. V drugem nadstropju opazim, da uporabniki spremenijo smer gibanja, saj je pri vzhodnem stopnišču zastoj, pri zahodnem pa ga ni, kar prikazuje tudi zelena elipsa.</p> 	87/812
100	<p>Ljudje zapuščajo stavbo na severnem in južnem glavnem izhodu, čeprav je severni (izhod, ki se vidi na sliki) bližje stopnicam.</p> 	248/417
200	<p>Pri času 200 s poteka evakuacija brez zastojev, uporabniki se lepo razvrščajo pri izhodu. Evakuacija se konča po 282 s.</p> 	567/812

7.1.1 Izboljšave

Vrata predavalnic bi lahko razširili oziroma dodali, kar bi omogočilo lažji izhod iz njih.

Zastojev pri vstopu na stopnišča ni možno odpraviti, saj zasnova stavbe ne omogoča razširitve. Evakuacijski čas bi lahko zmanjšali s tem, da bi na vsaki strani stavbe dodali zunanja zaščitena stopnišča, vendar bi s tem popačili zunanji videz stavbe, težave pa bi se pojavile tudi pri izvedbi dostopa do teh stopnišč, saj v vseh nadstropjih ni možen.

7.2 Varianta 1

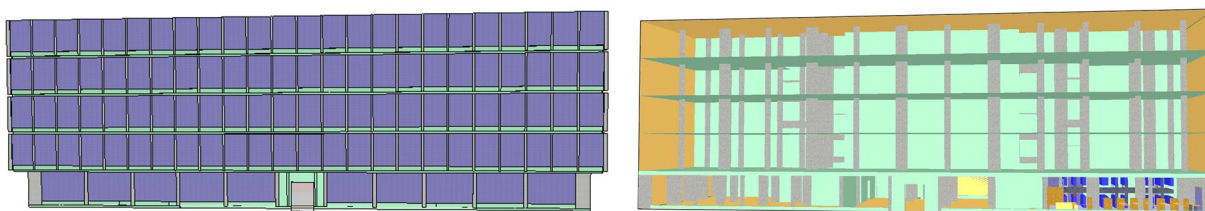
V tej varianti predpostavim prvi scenarij požara, pri katerem požar izbruhne v knjižnici. Po 67 s poči steklo med knjižnico in stopniščem, požar se začne širiti po zahodnem stopnišču in po 185 s se podre jekleni podest.

Za evakuacijski model uporabim model iz Variante 0. Sprememim ga tako, da izbrišem zahodno stopnišče. Zahodno stopnišče ni več prehodno, saj se požar po 67 s začne širiti po njem in s tem onemogoči njegovo uporabo. Evakuacija sedaj poteka le po vzhodnem stopnišču. S tem evakuacijski čas zelo podaljšamo ter ogrozimo uporabnike in njihovo zdravje.



Slika 7-1: Začetno stanje evakuacije, brez zahodnega stopnišča

V programu Pyrosim sem izdelala model naše fakultete. Za bolj nazoren prikaz poteka požara je bilo treba odstraniti fasadno zasteklitev in nekatere notranje stene (Slika 7-2).

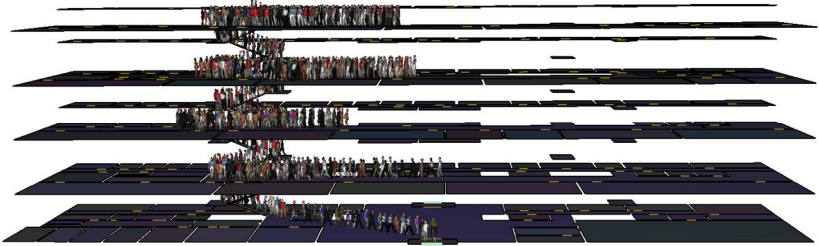
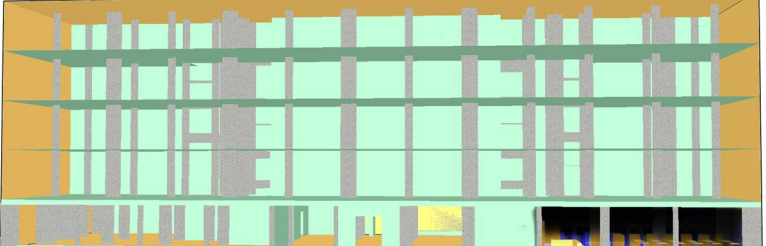
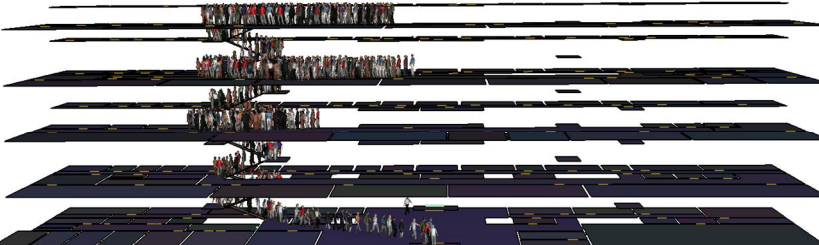
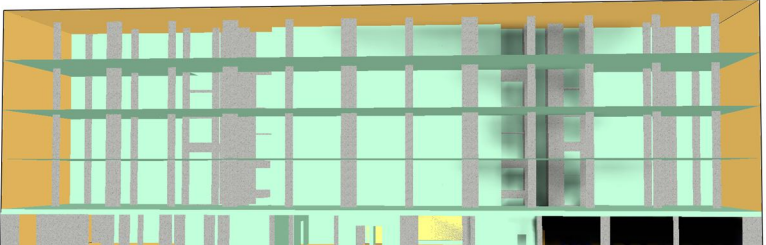
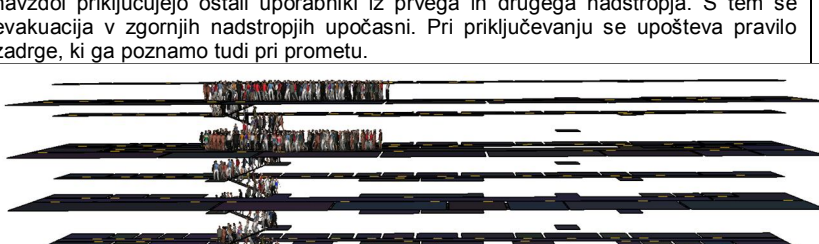
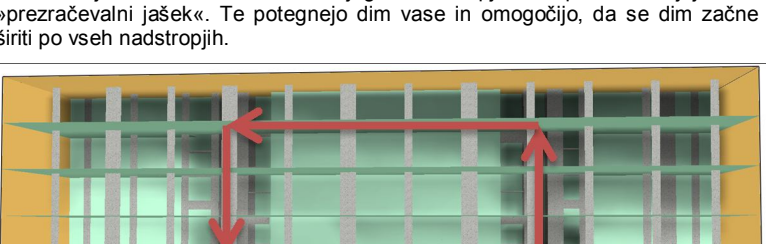


Slika 7-2: Stavba FGG v programu Pyrosim

Objekt na slikah je vedno usmerjen tako, da ga opazujemo s severne strani (s smeri parkirišča). S tem imamo pregled nad dogajanjem v knjižnici in na hodnikih.

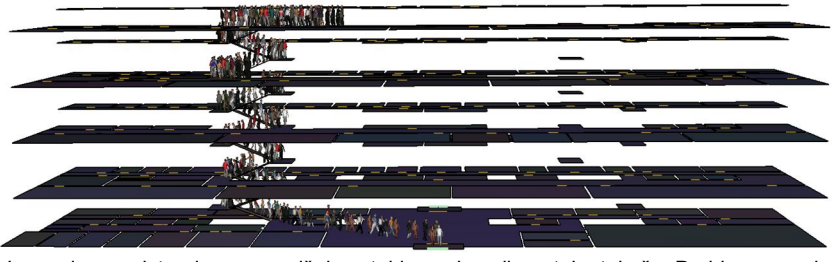

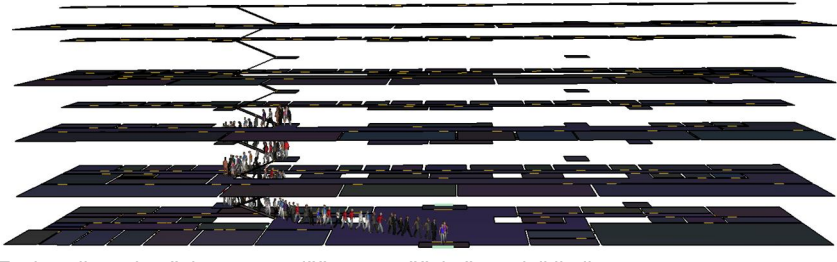
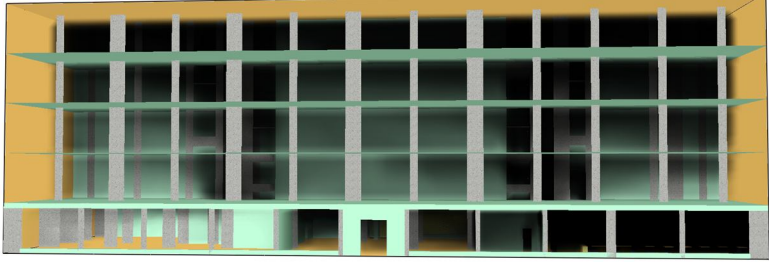

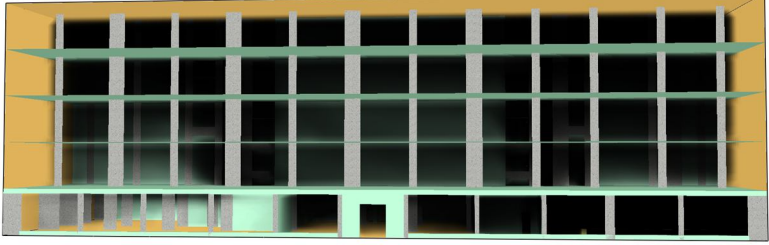
7.2.1 Prikaz poteka evakuacije

Preglednica 7-2: Prikaz evakuacije in širjenje dima po stavbi

Čas [s]	Potek evakuacije	Širjenje dima	Št. ev. up.
50	 <p>Evakuacija se prične, opazimo že prve zastoje pri stopnicah.</p>	 <p>Dim se je razširil že po celotni knjižnici.</p>	71/812
150	 <p>Zastoji so večji v zgornjih nadstropjih. Uporabnikom se med hojo po stopnicah navzdol priključujejo ostali uporabniki iz prvega in drugega nadstropja. S tem se evakuacija v zgornjih nadstropjih upočasni. Pri priključevanju se upošteva pravilo zadrge, ki ga poznamo tudi pri prometu.</p>	 <p>Dim se je razširil že do zadnjega nadstropja. Stopnice delujejo kot »prezračevalni jašek«. Te potegnejo dim vase in omogočijo, da se dim začne širiti po vseh nadstropjih.</p>	233/812
250	 <p>Evakuacija poteka počasi. V zgornjih dveh nadstropjih se še vedno pojavljajo zastoji ob vstopu v stopnišče.</p>	 <p>Dim se širi že po celotni stavbi. Največ dima se zadržuje v 4. nadstropju. Dim se širi tudi že po vzhodnem stopnišču. Puščice prikazujejo smer širjenja dima po stavbi. Dim se širi krožno in po vzhodnem stopnišču navzdol, prihaja tudi v avlo.</p>	398/812

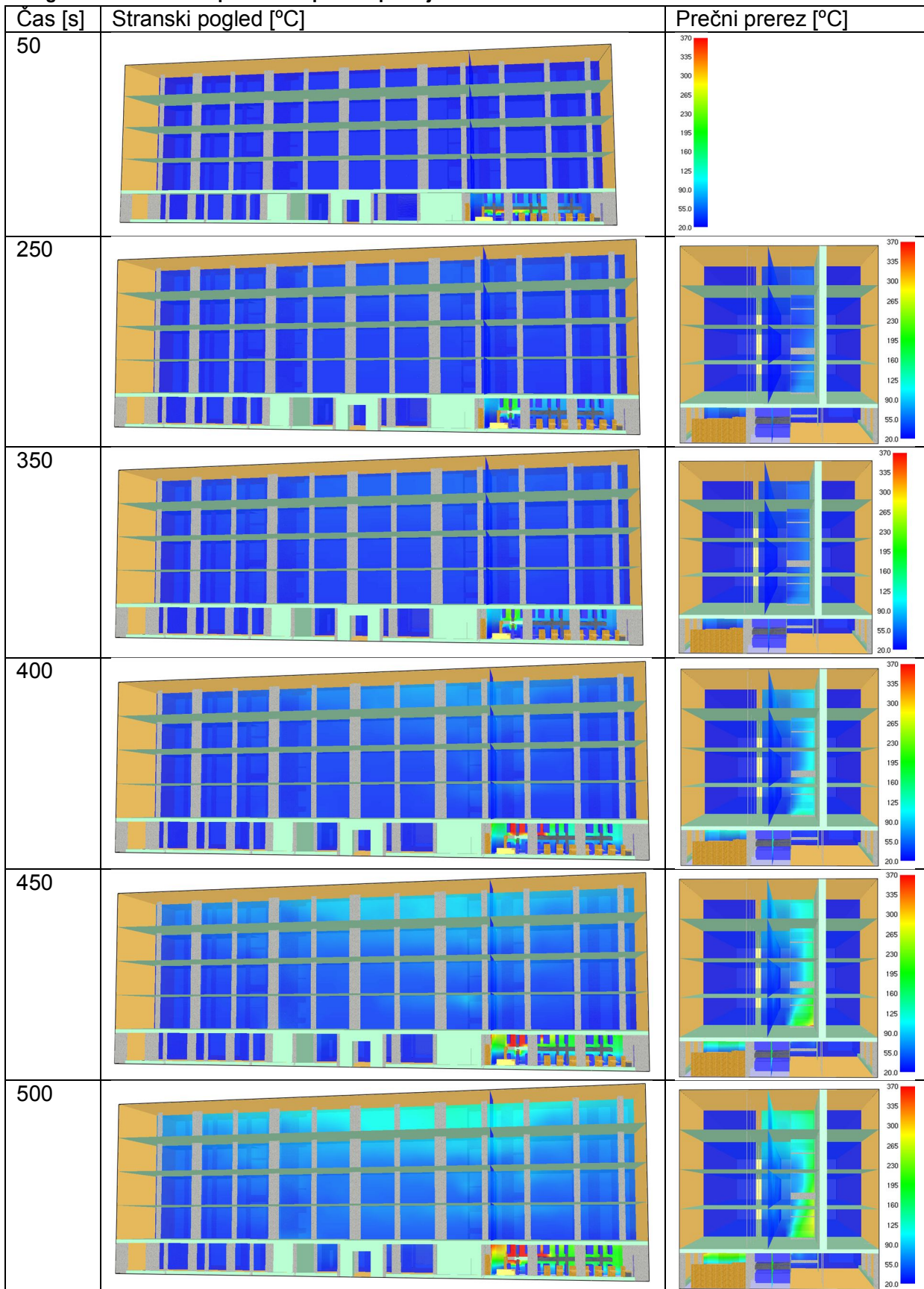
se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 7-2

350	 <p>V zgornjem nadstropju se zmanjšal zastoj in evakuacija poteka tekoče. Problem se pojavi zaradi dima, saj kakor vidimo na sosednji sliki, v zgornjem nadstropju že precej. Uporabnike bi lahko zajela panika, kar bi lahko imelo nepričakovane ter neželjene posledice.</p>	 <p>Dim zavzame že velik del stavbe.</p>	555/812
450	 <p>Evakuacija se končuje, po stopnišču se spuščajo še zadnji ljudje.</p>	 <p>Dim se je razširil tudi v avlo.</p>	710/812
500	 <p>Zadnji ljudje zapuščajo objekt. Končni čas evakuacije je 515 s.</p>	 <p>Dim je zavzel ves objekt.</p>	790/812

7.2.2 Prikaz poteka temperature plinov

Preglednica 7-3: Prikaz poteka temperatur po objektu



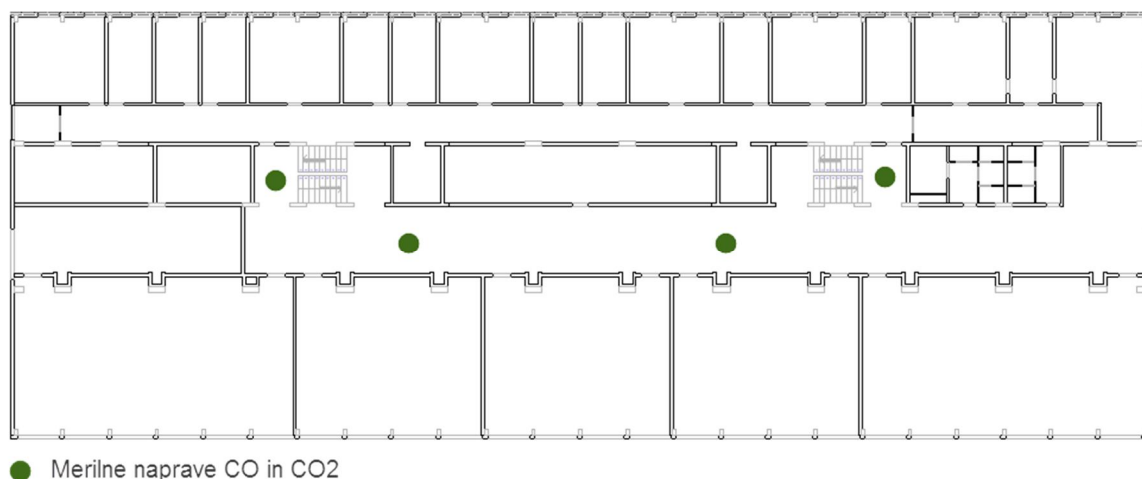
Pričetek požara je v knjižnici, kjer so dosežene najvišje temperature. Do 400 s se temperatura povečuje le na zahodnem stopnišču, nato pa najprej naraste v 4. nadstropju, kjer se temperatura povzpne do 160°C.

Takrat v 4. nadstropju ni več uporabnikov, vendar je kljub temu takšna situacija nevarna, saj se lahko evakuacija v realnosti podaljša. To pa bi lahko pomenilo, da uporabniki še niso zapustili tega nadstropja. Visoke temperature plinov lahko povzročajo pri uporabnikih opekline, te pa so lahko tudi usodne.

7.2.3 Količina CO₂ in CO po stavbi

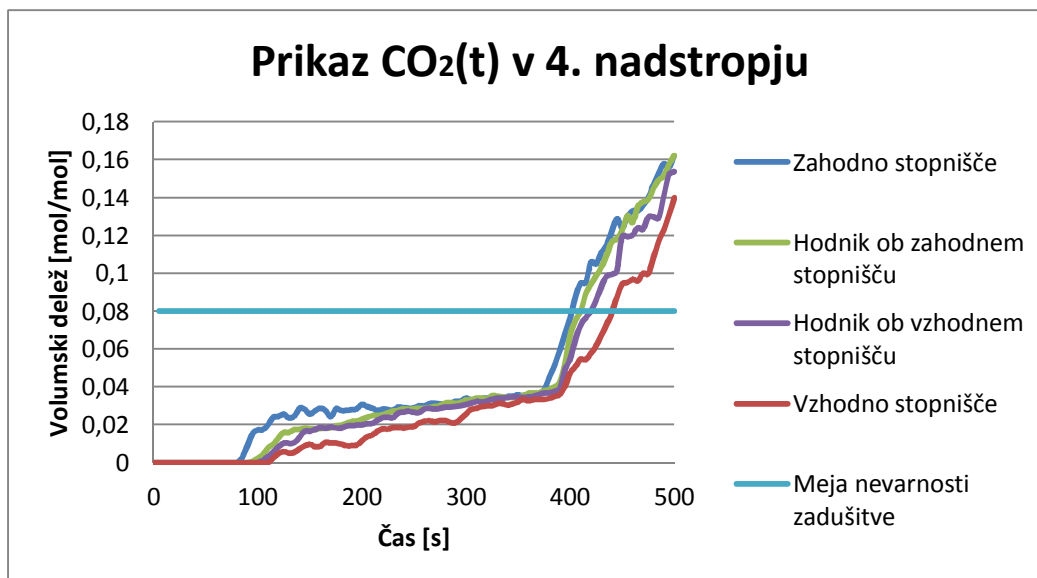
Po objektu sem dodala merilne točke za spremljanje CO in CO₂. Preveriti želim, če in v kolikšni meri se ob požaru tvorita CO in CO₂, saj sta oba plina v dovolj visokih koncentracijah lahko nevarna za ljudi med evakuacijo.

V vsako nadstropje sem namestila štiri naprave za merjenje CO in CO₂. Naprave so nameščene na višini 1,6 m, saj nas zanima, kolikšno količino vdihnejo uporabniki med evakuacijo. Postavitev merilnih točk je prikazana na Sliki 7-3.



Slika 7-3: Prikaz merilnih naprav za CO in CO₂ po nadstropjih

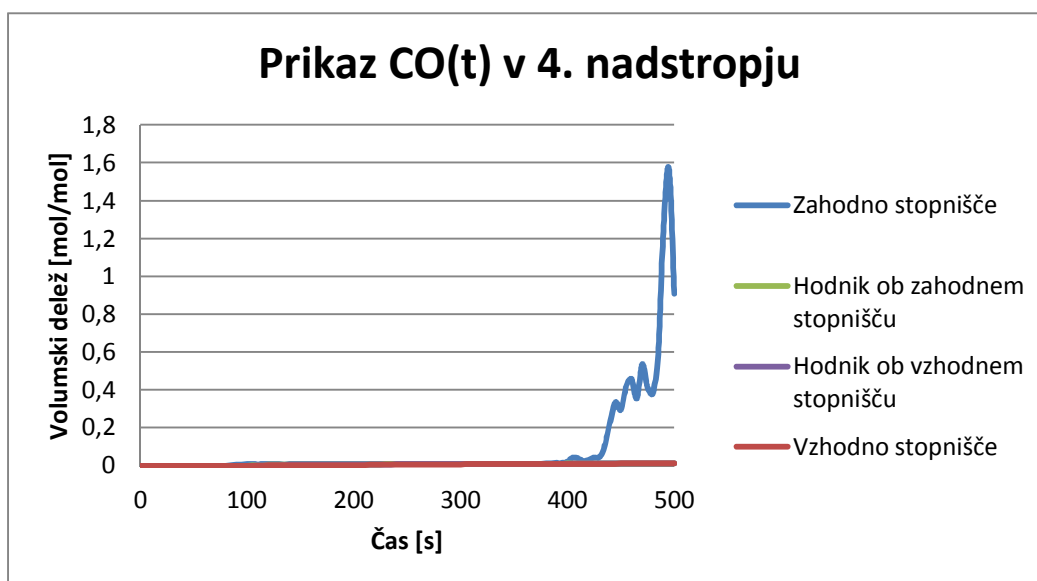
Najprej sem preučila rezultate za 4. nadstropje, saj se tam uporabniki najdlje zadržujejo.

Slika 7-4: Prikaz CO₂ v 4. nadstropju

Iz Slike 7-4 lahko vidimo, da do 100 s v 4. nadstropju ne prihaja do povišanja koncentracije CO₂. Najprej zazna prisotnost CO₂ merilna naprava na zahodnem stopnišču, saj se po njem širi dim. Med 100 s in 400 s je volumenski delež CO₂ skoraj konstanten, po 400 s pa skokovito naraste. Na Sliki 7-4 je označena tudi meja zadušitve, ki je 8 odstotna koncentracija CO₂ v zraku [5]. Meja je prekoračena šele po 400 s.

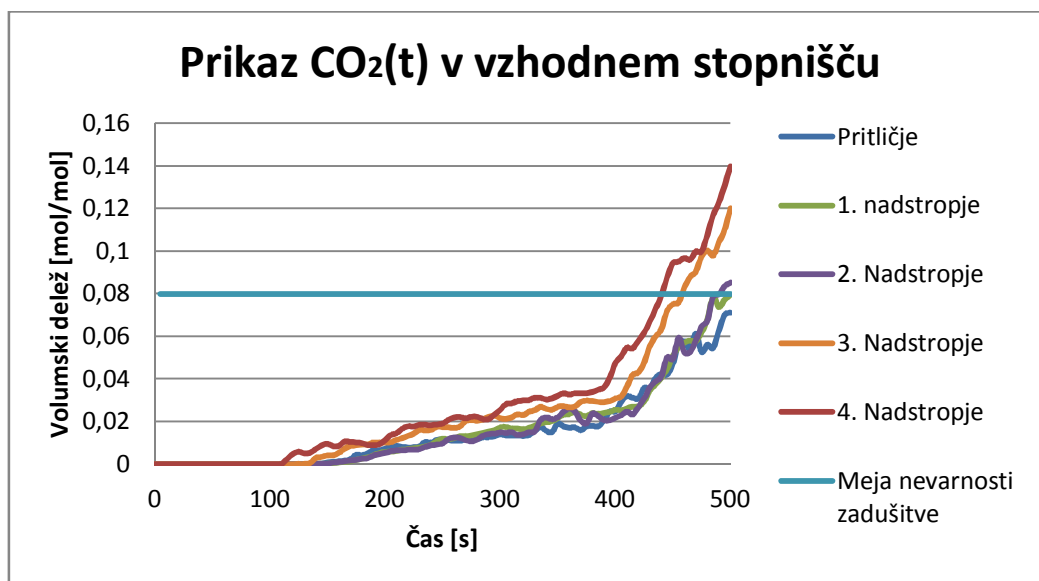
Po ponovnem ogledu simulacije lahko opazimo, da se v tem času tudi dim in toplota razširita po celotni stavbi. Uporabniki so v tem času že zapustili 4. nadstropje, zato ni nevarnosti, da bi pri njih prišlo do poškodb.

Med požarom nas ogroža tudi ogljikov oksid, ki se sprošča kadar pri gorenju ni prisotne zadostne količine kisika in se atom ogljika veže samo z enim atomom kisika (Slika 7-5). Med merjenjem koncentracij CO je bila prisotnost le-tega zaznana le na stopnišču, po hodniku pa se ne razširi. Na nevarnost zastrupitve s CO morajo biti pozorni predvsem reševalci.



Slika 7-5: Prikaz CO v 4 nadstropju

Evakuacija poteka po vzhodnem stopnišču, kjer se tudi najdlje zadržujejo uporabniki, zato si je smiselno ogledati koncentracijo CO₂ tudi tukaj (Slika 7-6).



Slika 7-6: Prikaz CO₂ na vzhodnem stopnišču

Potek koncentracije CO₂ na vzhodnem stopnišču je zelo podoben poteku koncentracije CO₂ v 4. nadstropju. Po 400 s delež hitro narašča. Največje koncentracije so dosežene v zgornjih dveh nadstropjih, saj se tam najprej razširi dim sočasno pa naraščajo tudi temperature zraka. V pritličju in ostalih dveh nadstropjih je delež CO₂ približno enak.

Vsi uporabniki po 400 s zapustijo zgornja nadstropja. Kljub temu pa se pri evakuacijah nikoli ne ve, kako bodo uporabniki reagirali v realnosti. Predvidevamo lahko, da se zaradi panike evakuacija podaljša tudi za 20 %. V takšnih primerih bi bili uporabniki izpostavljeni večji količini CO₂ in bi bili v nevarnosti.

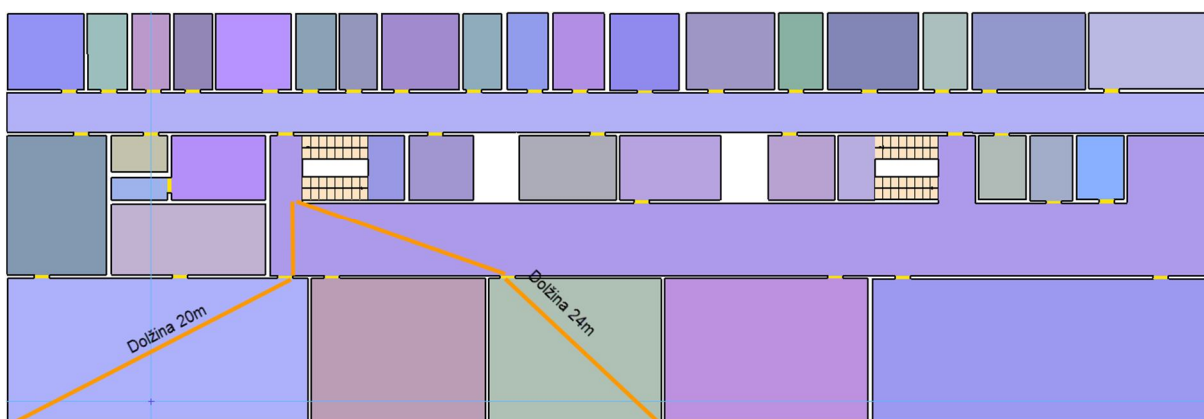
Ugotovim, da pri takšnih pogojih nujno potrebujemo rešitev za varnejšo evakuacijo uporabnikov. Ob pregledu objekta in s pomočjo simulacij sem ugotovila, da objekt ni zasnovan po zahtevah TSG1 [3]. V naslednji varianti bom poskušala upoštevati vsaj nekatera pravila smernice in s tem zmanjšala čas evakuacije ter tako omogočila bolj varno evakuacijo.

7.3 Varianta 2

Pri tej varianti se bom osredotočila na TSG1 [3] in poskusila najti rešitve, ki bodo omogočile varen umik iz stavbe.

7.3.1 Zahteve TSG1 [3]

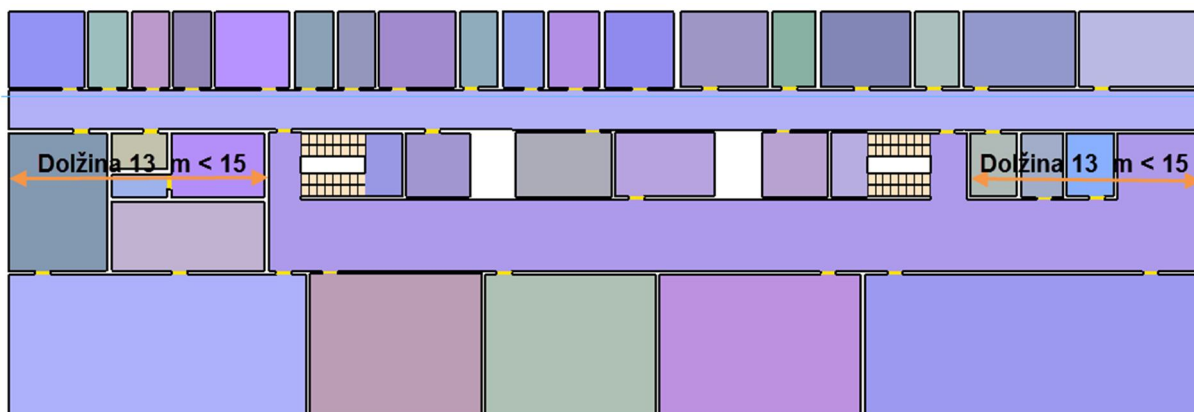
V poglavju 4.3.1.1 so zapisane osnovne zahteve TSG1 [3] za evakuacijsko pot. Skupna dolžina evakuacijske poti pri dveh stopniščih ne sme presegati 50 m. V prvem nadstropju sem preverila in ugotovila, da najdaljša evakuacijska pot znaša 24 m, kar je v skladu s TSG1 [3] (Slika 7-7).



Slika 7-7: Prikaz dolžine evakuacijske poti na 1. nadstropju

Evakuacijska pot mora potekati vse do izhoda iz stavbe, kar v mojem primeru ne drži.

V poglavju 4.3.1.1.1.3 sem opredelila število in razpored stopnišč. Bruto tlorisna površina etaže je okvirno 1280 m² in ne sme presegati bruto tlorisne površine etaže 900 m² na vsako zaščiteno stopnišče. Naša površina ne presega največje dovoljene površine, zato dve stopnišči zadoščata za evakuacijo stavbe. Stopnišči ne smeta biti oddaljeni od roba stavbe več kot 15 m (Slika 7-8), kar v našem primeru tudi drži, vendar stopnišči nista požarno zaščiteni.



Slika 7-8: Oddaljenost stopnišča od roba stavbe

V poglavju 4.3.1.1.1.4 sem opredelila širino evakuacijske poti. Na fakulteti imamo dve stopnišči s širino 1,2 m, hodniki na fakulteti so širši in prehodni. Širina stopnišča v stavbi FGG zadostuje zahtevam TSG1 [3].

V poglavju 4.3.1.1.2 sem opredelila izvedbo evakuacijske poti. Stopnišča morajo biti požarno ločena od ostalih delov stavbe, kar pri stavbi FGG ni izvedeno. Vrata morajo imeti požarno odpornost EI 30-C ali EW 30-C.

Stopnice in podesti morajo biti enostavno dostopni in varni, kar tudi so, saj v stavbi FGG nimamo krožnih stopnic. Klančine na evakuacijski poti ne smejo imeti več kot 6 odstotnega naklona. Ta zahteva pri nas ne drži.

Objekti namenjeni izobraževanju in znanstveno-raziskovalnemu delu in z bruto etažno površino nad 1000 m² ter za več kot 100 uporabnikov, morajo biti opremljeni z varnostno razsvetljavo. Stavba fakultete je opremljena s primernimi oznakami evakuacijske poti, ki so tudi osvetljene.

7.3.2 Izbrani ukrepi

Ukrepi pri zaščiti stopnišča:

- evakuacijsko pot izvedemo do kletne etaže, do zasilnega izhoda je izveden zaščiten hodnik,
- stopnišče zasteklimo in opremimo s protipožarnimi vrati,
- stopnišče zasteklimo s protipožarnim steklom.

Na fakulteti nimamo dodatne zasilne poti, zato gre ta skozi stopnišče, ki ga vseskozi uporabljamo. Stopnišče je trenutno odprto (Slika 7-9).



Slika 7-9: Stopnišče v stavbi FGG

Obstoječe stopnišče požarnoodporno zasteklimo s steklom razreda EI. Takšno steklo mora poleg plamenov in dimnih plinov zaustaviti tudi toplotno sevanje. Površina stekla, ki ni neposredno izpostavljena plamenom, se v povprečju ne sme segreti za več kot 140 °C.

Zaradi te zahteve so predelne steklene stene relativno debele in težke. Narejene so iz več plasti in zlepljene s posebnim materialom. Ti posebni materiali so različne folije in geli z visoko vsebnostjo vode, ki pod vplivom vročine izpari in tako spremeni lastnosti materiala. Ob tem nastane izolacijska plast, ki je sposobna absorbirati toplotno sevanje. Pri več slojih lahko ta proces poteka od plasti do plasti, tako da pri zelo debelih steklih zadrži toploto tudi do 120 min. [27]

Med hodnikom in stopniščem potrebujemo tudi protipožarna vrata. Pri vratih moramo biti pozorni, saj se v zasilnih izhodih vrata vedno odpirajo v smer umika, kar je v našem primeru na stopnišče. Z dvokrilnimi vrati bi zaustavili pomik ljudi po stopnišču navzdol, zato bom izbrala enokrilna vrata. Krilo in okvir vrat sta izdelana iz aluminija, ki ima v notranjosti profila posebno ognjevarno polnilo ter posebno ognjevarno tesnilo in steklo. Takšna vrata lahko zdržijo ogenj tudi do 30 min in več (Slika 7-10). [28]




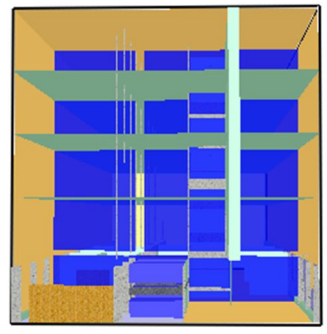

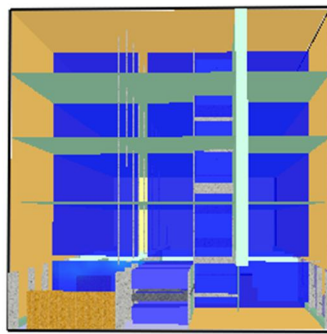
Slika 7-10: Enokrilna vrata [28]

V kleti bi od stopnišča do izhoda izvedli steklen hodnik s požarno odpornimi stenami in steklom razreda EI. Na izhodu iz stavbe morajo biti protipožarna vrata, ki so široka in se odpirajo v smeri evakuacije.

7.3.3 Prikaz poteka evakuacije in temperature

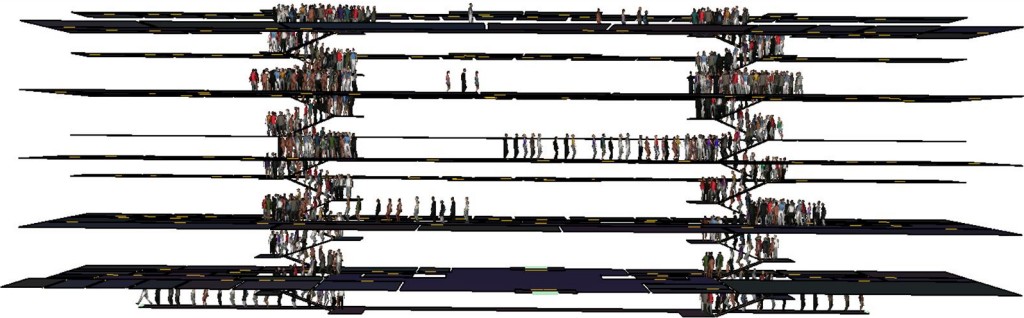
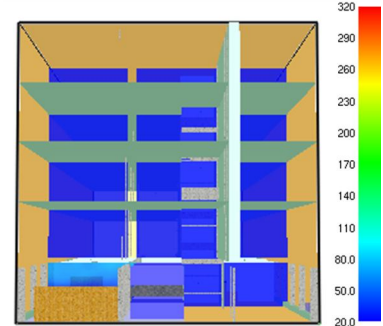

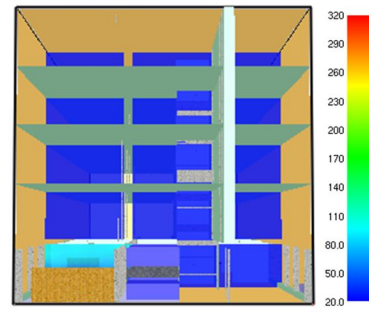

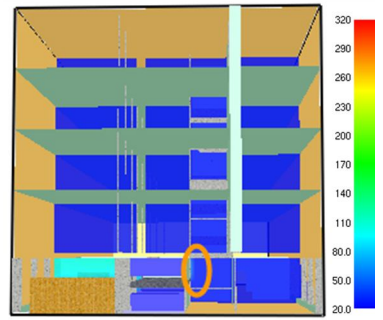
V primeru požara imamo sedaj v knjižnici ognjevarno zaščitno steklo, ki ne poči. V knjižnici je nekaj uporabnikov, ki se ob zaznavi dima umaknejo iz nje in ob tem pozabijo zapreti vrata. V spodnji preglednici sem prikazala potek evakuacije. Zraven bom tudi spremljala temperaturo na stopnišču ob knjižnici. Preverila bom, ali je zaščitni hodnik varen za evakuacijo.

Preglednica 7-4: Prikaz evakuacije ob upoštevanju ukrepov

Čas [s]	Prikaz evakuacije	Prikaz temperature na zahodnem stopnišču [°C]	Št. ev. up.
0	 <p data-bbox="313 877 1276 901">Evakuacija poteka po zaščitnih stopniščih do kletne etaže, od tu pa po zaščitnem hodniku na prosto.</p>		0/812
15	 <p data-bbox="313 1260 1344 1316">V simulaciji sem predvidevala, da uporabniki, ki se nahajajo v pritličju, zapustijo stavbo skozi glavne vhode. Ostali zapustijo stavbo po stopniščih ter skozi klet in nove zasilne izhode.</p>	 <p data-bbox="1377 1260 1848 1332">V knjižnici se temperatura že poviša na 60 °C, ob izvoru požara pa je višina temperature tudi 300 °C.</p>	24/812


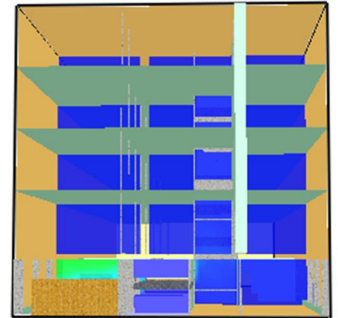

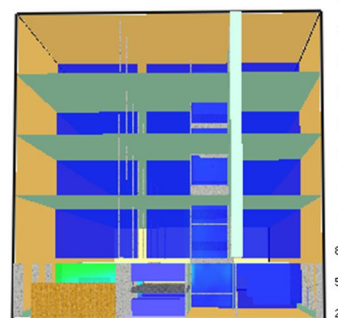
se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 7-4

50	 <p data-bbox="313 598 1232 630">Zastoji se pojavljajo v zgornjih dveh nadstropjih, vendar evakuacija poteka dokaj mirno in tekoče.</p>	 <p data-bbox="1366 598 1859 630">Ob stopniščih se temperatura še ne spreminja.</p>	69/812
100	 <p data-bbox="313 963 784 989">V zgornjih nadstropjih imamo še manjše zastoje.</p>		219/812
150	 <p data-bbox="313 1315 739 1340">Evakuacija po 150 s poteka že brez zastojev.</p>	 <p data-bbox="1366 1315 1859 1386">Steklo, ki loči stopnišče in knjižnico, se je segrelo na 110 °C. Zrak na stopnišču se še ni segrel, zato evakuacija ni prekinjena.</p>	379/812

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 7-4

200		 <p>Opazimo, da se je poleg temperature stekla začela dvigati tudi temperatura zraka na stopnišču, vendar ni velikih sprememb.</p>	535/812
250	 <p>Evakuacija se zaključuje, zadnji uporabniki zapuščajo stavbo. Končni čas evakuacije je 290 s.</p>	 <p>Stopnišče se je segrelo, vendar ne presega temperature 80°C in s tem ne ogrožamo ljudi.</p>	695/812

Opazim, da so predlagane rešitve učinkovite. Uporabnike zaščitimo pred vdihovanjem saj, CO in CO₂. Požar se ne širi po stavbi, zato nisem preverjala poteka dima po stavbi in koncentracije CO in CO₂ po stopniščih in nadstropjih.

Pozorni moramo biti le na steklo pri knjižnici. Predlagam, da bi tisti del zazidali, s čimer bi preprečili nepričakovano pokanje stekla. Takšen primer bomo obravnavali pri naslednji varianti.

7.4 Varianta 3

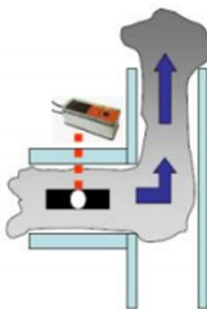
Pri tretji varianti upoštevam vse varnostne ukrepe iz variante 2. Dodala sem še lopute za odvajanje dima na vrhu stopnišča. Scenarij požara se malo spremeni. V knjižnici se sproži požar, po 185 s se podest poruši. Podest ob poružitvi poškoduje steklo ob knjižnici in stopnišču, ki se nato sesuje. Zahodno stopnišče po tem ni več prehodno, saj se po njem razširita dim in toplota.

Loputa za odvajanje dima ima pogon, ki nima lastne energije. Poznamo motorni pogon in ročni pogon. Elektromotorni pogon je izveden tako, da ob prisotnosti napajanja postavi lamelo v odprt položaj in ohranja lego, dokler je prisotno napajanje. Ročni-vzmetni pogon deluje tako, da se lamelo s pomočjo zunanjega vzvoda ročno premakne v odprt položaj.

Krmiljenje pozicije lamel je odvisno od zunanjega vira energije. Pri elektromotornem pogonu je ta priključen na zunanji dimni javljalnik oz. AJP, pri ročno-vzmetnem pogoju pa zgodnjo zaznavanje dima ni možno.

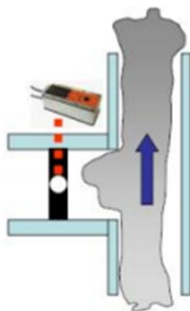
Poznamo dva načina delovanja loput za odvajanje dima:

- ODPRTA – ta se uporablja v požarnem sektorju, kjer gori, za odvod dima in toplote (Slika 7-11),



Slika 7-11: Loputa za odvajanje dima – ODPRTA [29]

- ZAPRTA – ta se uporablja v požarnem sektorju, kjer ne gori, za preprečevanje vdora dima in toplote v ta sektor (Slika 7-12).



Slika 7-12: Loputa za odvajanje dima – ZAPRTA [29]

V tej varianti bom uporabila lopute za odvajanje dima, ki se aktivirajo motorno in so odprtega tipa, saj jih potrebujemo za odvod dima in toplote. [29]

7.4.1 Spremenjeni potek evakuacije

Evakuacija poteka nemoteno in identično kot v primeru variante 2. Do 185 s, ko poči steklo na zahodnem stopnišču, se evakuira 489 uporabnikov (Slika 7-13).



Slika 7-13: Evakuacija pri 185 s

Po poku stekla zahodno stopnišče zapolni dim in uporabnikom onemogoči prehod. Preostalih 323 uporabnikov mora zapustiti objekt po vzhodnem stopnišču.

Zaradi omejitve programskega orodja Pathfinder, ki ne omogoča spremembe poti po določenem času, sem izdelala nov simulacijski model. 323 uporabnikov sem porazdelila po nadstropjih, kot prikazuje Preglednica 7-5. Iz modela sem izbrisala zahodno stopnišče. Vsem preostalim uporabnikom sem določila, da objekt zapustijo skozi kletne prostore.


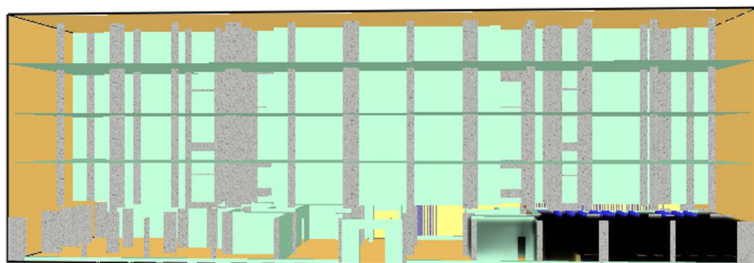

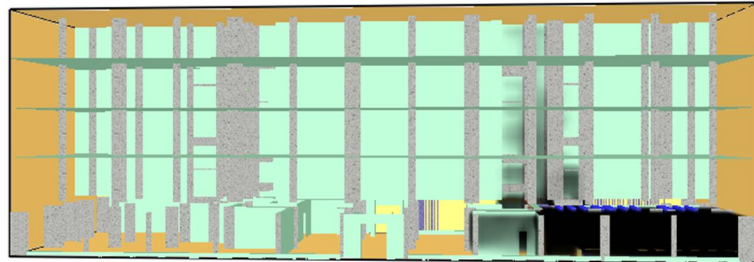

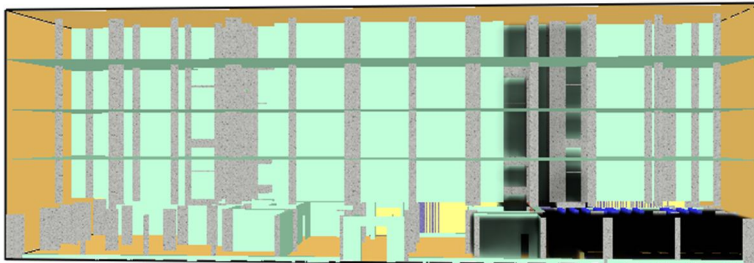
Preglednica 7-5: Razporeditev preostalih uporabnikov po nadstropjih

Nadstropje	Št. uporabnikov
Pritličje	110
1. nadstropje	90
2. nadstropje	70
3. nadstropje	53

S tem sem podaljšala čas evakuacije, vendar se bi ob takšnem dogodku verjetno pojavila panika, kar bi seveda podaljšalo čas evakuacije.

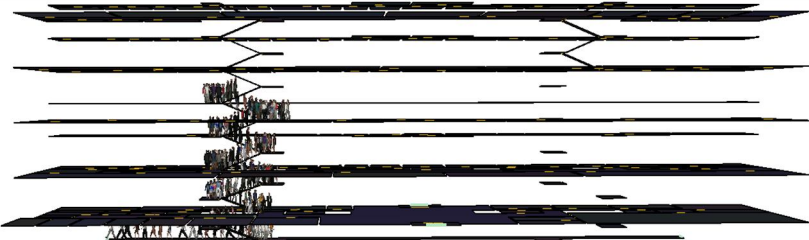
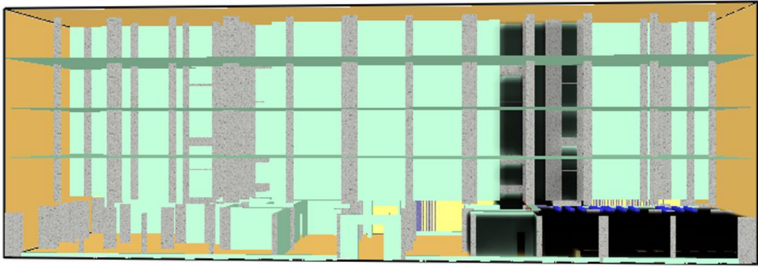

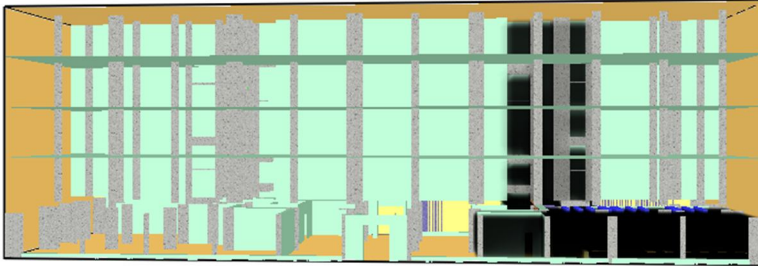
7.4.2 Prikaz poteka evakuacije

Preglednica 7-6: Potek evakuacije po 185 s

Čas [s]	Evakuacijska pot	Potek dima	Št. ev. up.
185	 <p>Prikaz modela evakuacije po vzhodnem stopnišču.</p>	 <p>V tem času počí steklo. Dim se je razširil po knjižnici.</p>	489/812
200	 <p>Zaradi nove razporeditve se ob stopnišču ponovno pojavijo zastoji. Upoštevala sem tudi paniko, ki bi bila v takšnem primeru prisotna pri uporabnikih.</p>	 <p>Dim se je začel širiti po stopnišču. Po nekaj sekundah protidimna loputa zazna dim in se odpre. S tem omogočimo, da se dim in toplota širita iz objekta. Če bi bili ta čas še uporabniki na zahodnem stopnišču, bi jih dim zelo škodil.</p>	489/812
250	 <p>Uporabniki so začeli enakomerno zapuščati objekt</p>	 <p>Zahodno stopnišče je začelo delovati kot dimnik. Dim zapušča objekt skozi lopute.</p>	543/812

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 7-6

300	 <p>Uporabniki zapuščajo objekt brez zastojev.</p>	 <p>Vidimo da je dim v knjižnici in na stopnišču že zelo zgoščen.</p>	621/812
350	 <p>Evakuacija se konča po 421 s.</p>		700/812

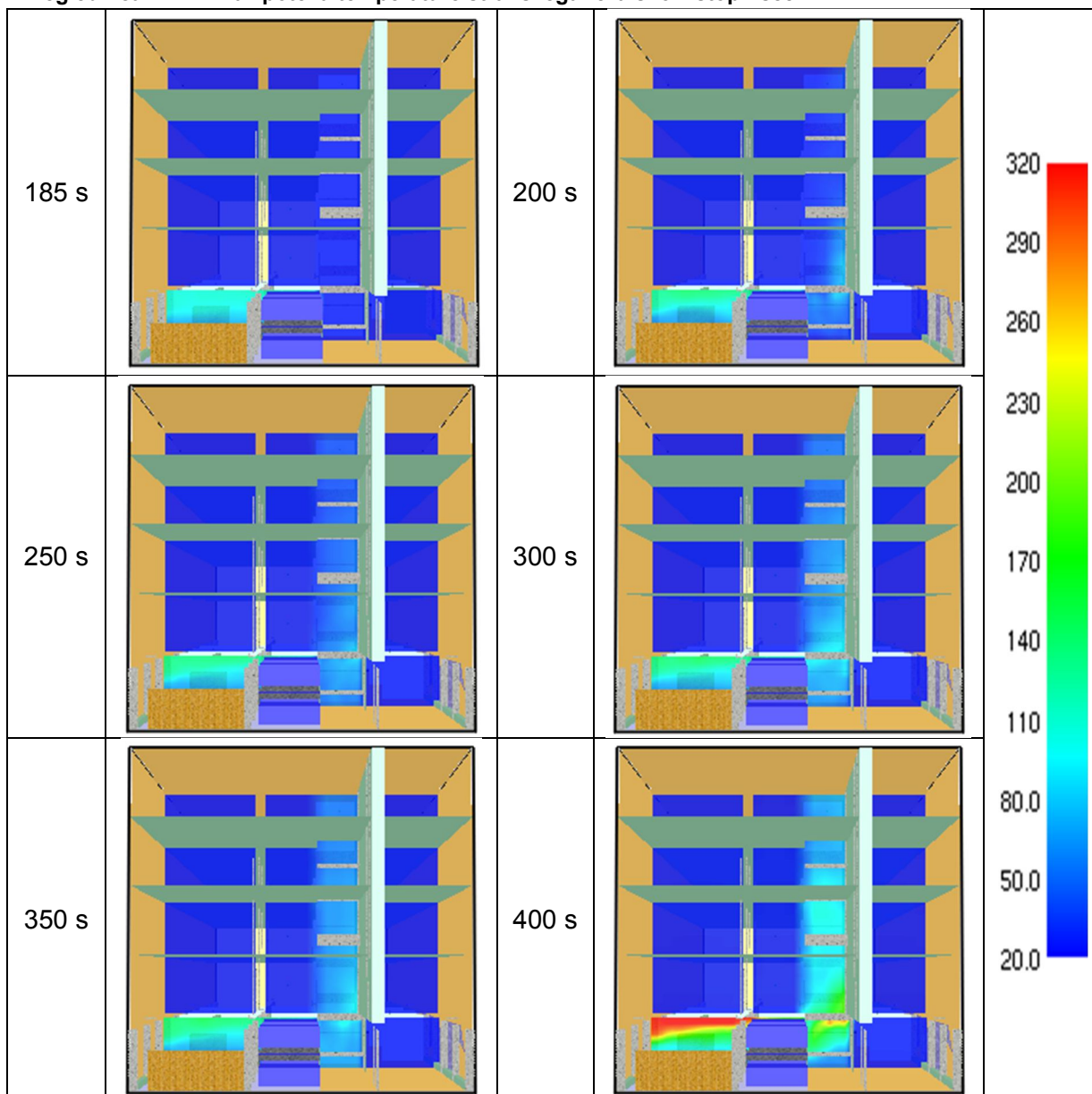
Vsi predlagani ukrepi bi učinkovali, vendar potrebujemo tudi usposobljene uporabnike za evakuacijo, ki bi pravočasno ukrepali. Ta varianta nam pokaže nepričakovan dogodek. Uporabniki bi se zmedli in lahko bi prišlo do katastrofe. Na podlagi prikazanih dogodkov v simulaciji lahko zaključimo, da je pri takšnem scenariju ključnega pomena usposobljena oseba, ki bo znala pravilno razvrstiti uporabnike in jim nakazala pravo pot evakuacije.

Zelo pomembno je, da uporabniki pravočasno ukrepajo in sledijo navodilom odgovornih ljudi. V tem primeru bi bilo ključno navodilo to, da vsi zapustijo zahodno stopnišče in se preusmerijo na vzhodno stopnišče.

Pri varianti 3 se požar razširi po zahodnem stopnišču in ne po celotnem objektu. S tem zavarujemo uporabnike pred vdihovanjem saj, CO in CO₂. Zaradi tega se nisem odločila za podrobnejše analize koncentracije CO in CO₂ po stopniščih in hodnikih.

7.4.3 Prikaz poteka temperatur

Preglednica 7-7: Prikaz poteka temperature stranskega reza skozi stopnišče

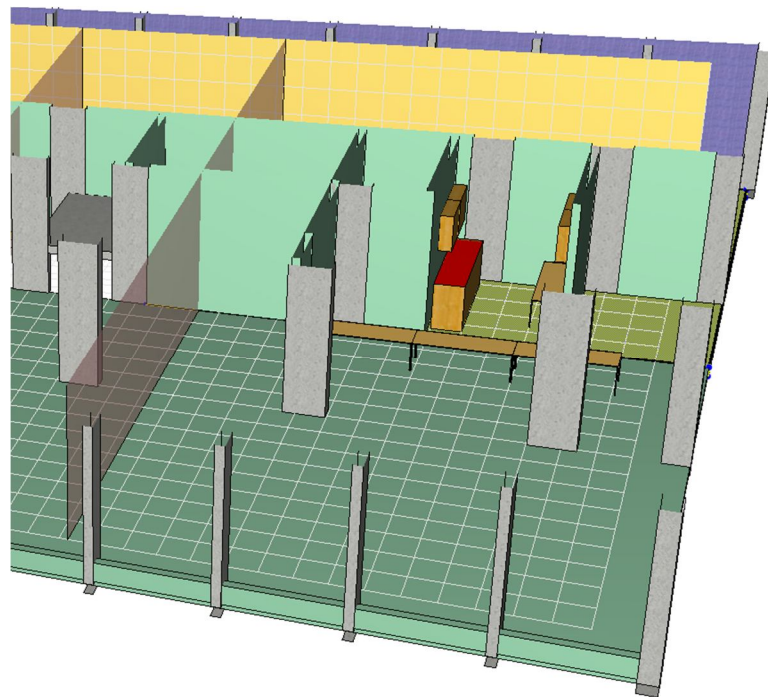


Opazim, da se temperatura najprej poviša v knjižnici (Preglednica 7-7). Po poku stekla se začne temperatura širiti po stopnišču in se zvišuje. Pri 400 s je temperatura na stopnišču že zelo visoka, zaradi česar se lahko poškoduje konstrukcija stavbe. Po požaru bi morali pozorno pregledati objekt in se prepričati o njegovi varnosti.

7.5 Varianta 4

Predpostavim drugi scenarij požara, pri katerem se pojavi izbruh požara v kuhinji. Kuhar pripravlja kosilo, medtem pa prodaja tudi malice. V nekem trenutku v kuhinji počí, kuhar steče v kuhinjo in poskuša pogasiti ogenj. Po 20 s obupa in steče iz kuhinje, pri tem pozabi za seboj zapreti vrata (Slika 7-14). Dim se začne širiti po objektu.


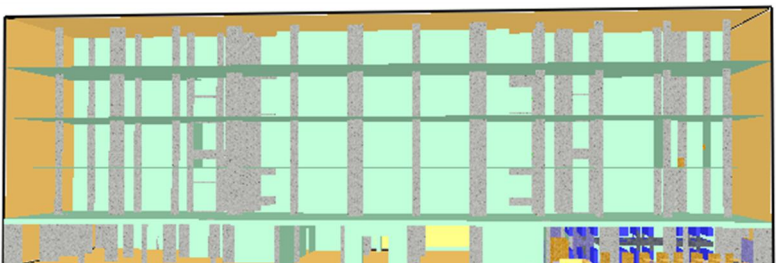
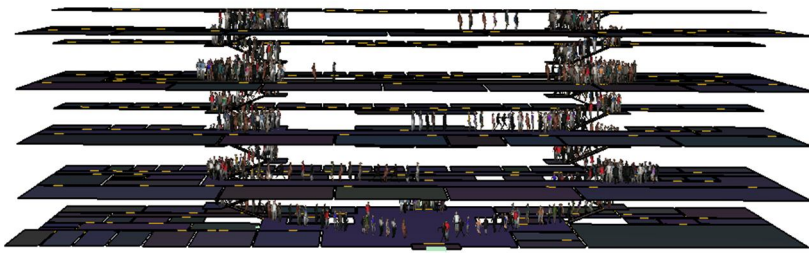
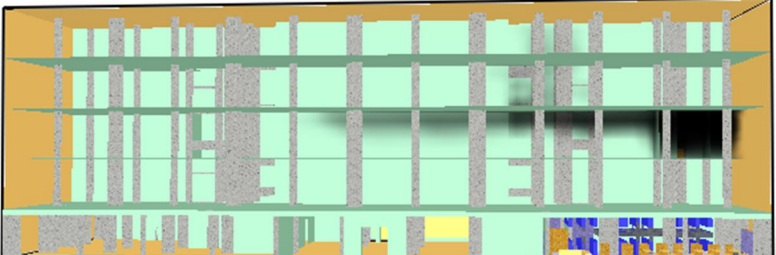
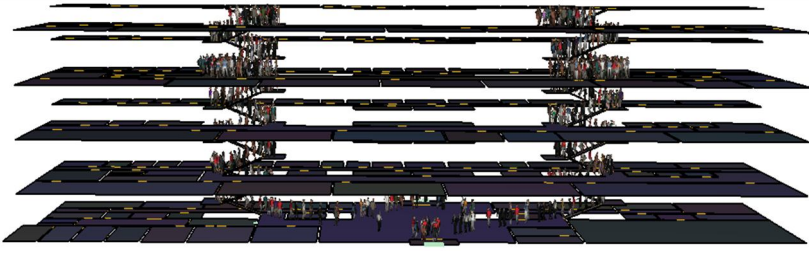

Pri evakuaciji uporabim model iz Variante 0. Uporabniki se evakuirajo po obeh stopniščih. Preverila bom, kako hitro dim zajame prostore in ali se dim razširi tudi v nižje etaže.



Slika 7-14: Prikaz kuhinje v programu PyroSim (štedilnik je rdeče obarvana površina)


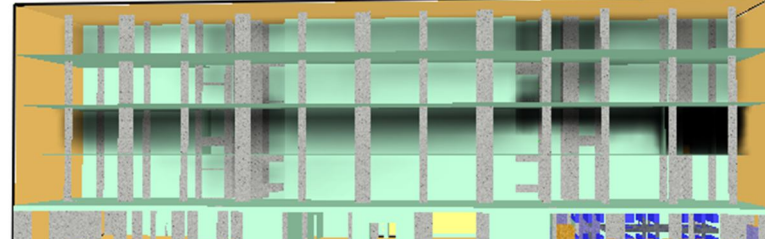

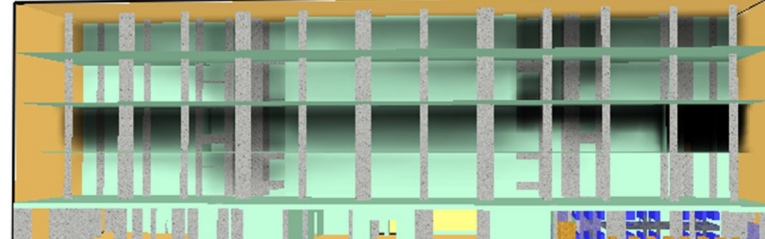

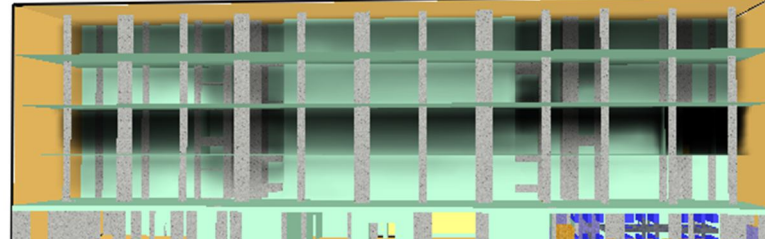
7.5.1 Prikaz poteka evakuacije

Preglednica 7-8: Prikaz evakuacije pri požaru v kuhinji

Čas [s]	Evakuacija	Širjenje dima	Št. ev. up.
0	 <p>Evakuacija se prične.</p>	 <p>V kuhinji ni veliko gorljivih materialov, vendar imamo nekaj polic in omar, ki razširijo požar.</p>	0/812
50	 <p>Evakuacija se prične, zastoji se pojavijo ob stopnicah. Pozorni moramo biti na zahodno stopnišče v 2. nadstropju.</p>	 <p>Dim se je razširil do polovice hodnika na 2. nadstropju. Ob pregledu evakuacije, lahko vidimo, da je nekaj uporabnikov izpostavljenih dimu.</p>	88/812
100	 <p>Vsi uporabniki so že na stopnišču. Evakuacija poteka le še z zastojem v 3. In 4. nadstropju.</p>	 <p>Dim se je razširil po hodniku. Zahodno stopnišče je tudi že obdano z dimom, vendar situacija še ni kritična. Uporabniki lahko v tem trenutku vdihnejo dim, ki bi povzročil kašelj in paniko. S tem bi se čas evakuacije podaljšal za 20 %.</p>	248/812

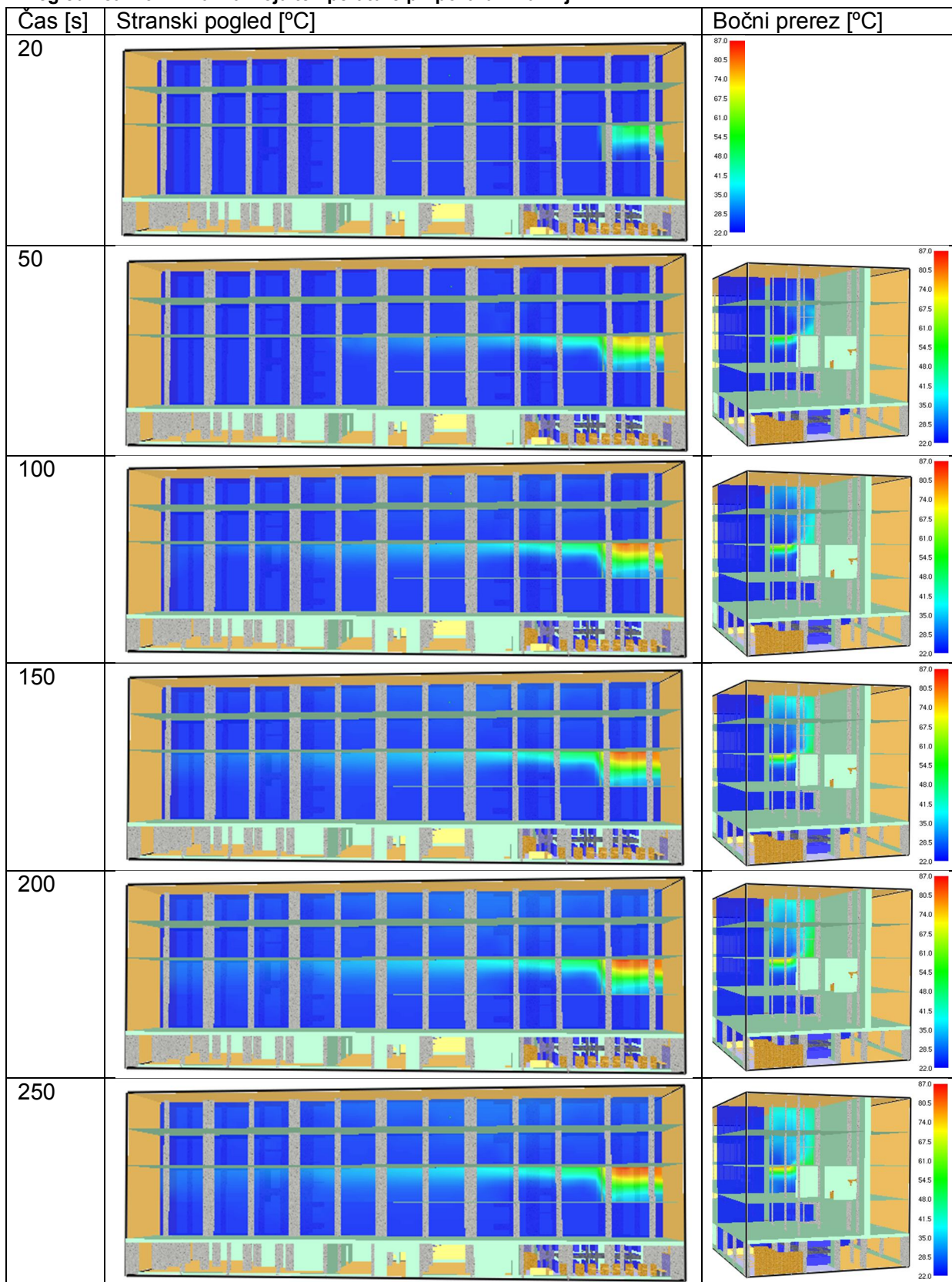
se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 7-8

150	 <p>Na evakuacijski poti se zastoji ne pojavijo več. Uporabniki se počasi evakuirajo iz stavbe.</p>	 <p>Dim se je že razširil do 4. nadstropja, vendar se širi počasi. Požar v kuhinji se ne razvije tako intenzivno.</p>	410/812
200	 <p>Uporabniki so že zapustili stopnišče na 3. nadstropju.</p>	 <p>Dim se širi po hodniku in po zahodnem stopnišču. Opazim, da se dim zadržuje na levi strani hodnika. Tam se ustvari nekakšen oblak, tako kot na zahodnem stopnišču. Po hodniku se dim zadržuje na višini. Vzhodno stopnišče ni tako zelo v dimu, vendar se je ta razširil tudi do 1. nadstropja.</p>	568/812
250	 <p>Evakuacija se konča pri 282 s, vendar se zaradi dima, ki se pojavi na hodniku in stopnišču, evakuacija podaljša za 20 %. To podaljšanje lahko štejemo kot paniko med evakuacijo. Končni čas evakuacije je 338 s.</p>	 <p>Dim se je v 4. nadstropju že močno razširil. V nadstropju, kjer se nahaja tudi kuhinja, je dim že zelo gost.</p>	729/812

7.5.2 Prikaz poteka temperature plinov

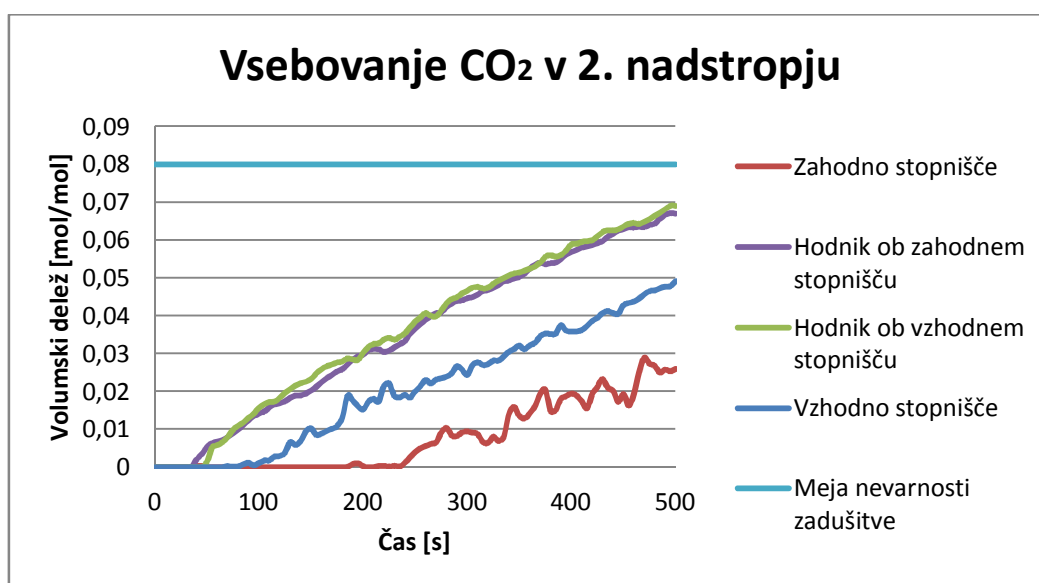
Preglednica 7-9: Prikaz razvoja temperature pri požaru v kuhinji



Temperatura v kuhinji hitro naraste na 80 °C, vendar se požar ne širi hitro, saj v kuhinji ni veliko gorljivega materiala, ki bi to omogočal. V drugem nadstropju se temperatura širi, vendar ne preseže 40 °C. Poleg hodnika me zanima tudi dvig temperature na zahodnem stopnišču. Temperatura se v prvih 50 s poveča na 50 °C, vendar le med 2. in 3. nadstropjem. Po 100 s se temperatura zviša tudi v 4. nadstropju. Te temperature niso kritične, so pa moteče za uporabnike, ki se evakuirajo po tem stopnišču. Po 200 s se na zahodnem stopnišču temperatura povzpne nad 60 °C.

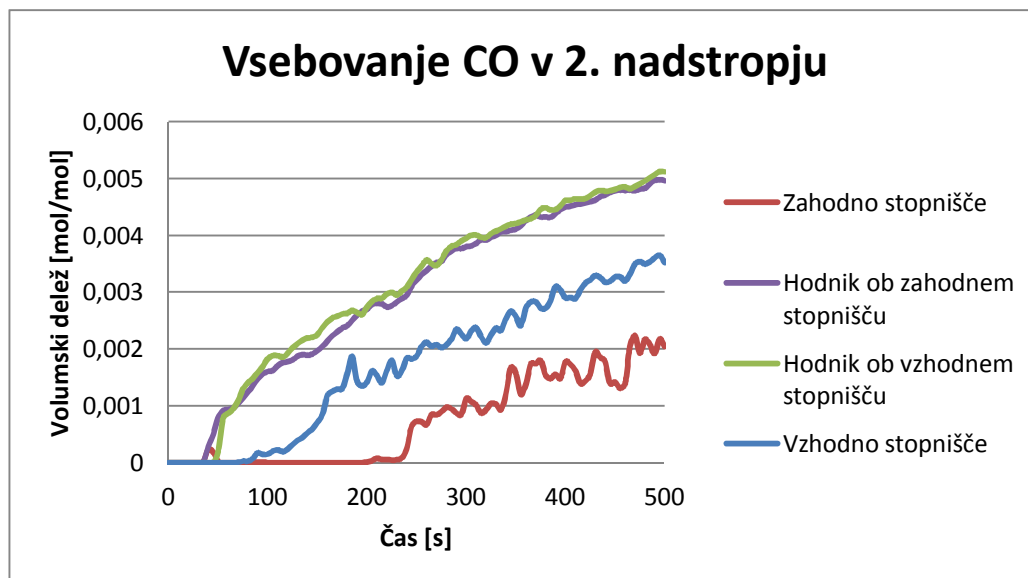
7.5.3 Količina CO₂ in CO po stavbi

Na Slikah 7-14 in 7-15 sem grafično prikazala meritve CO₂ in CO. Merilna mesta so identična kot pri varianti 1, le da sem jih prestavila v 2. nadstropje.



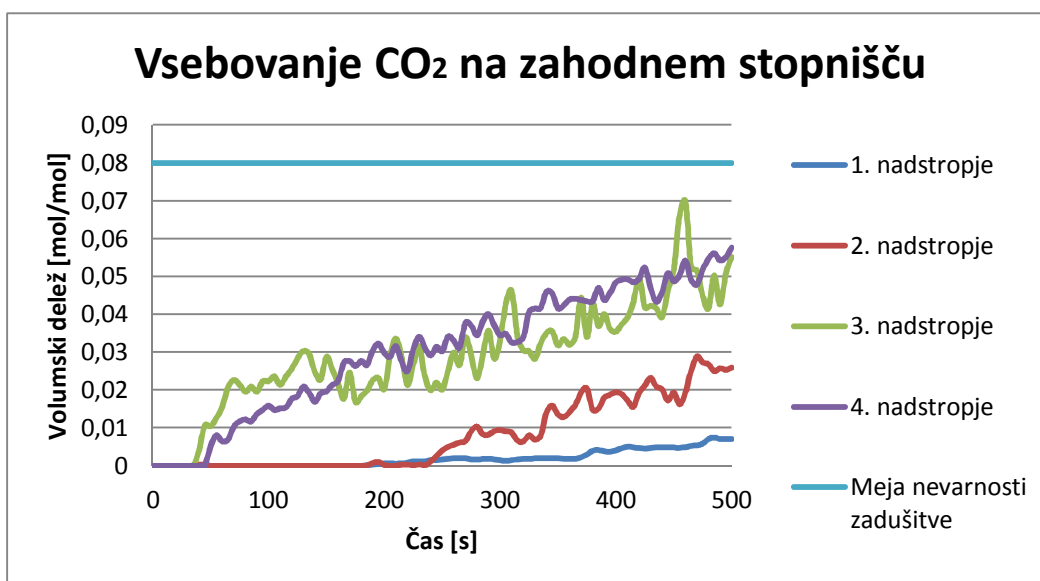
Slika 7-15: Grafični prikaz vsebnosti CO₂ v 2. nadstropju

Koncentracija ogljikovega dioksida v zraku v 2. nadstropju najhitreje naraste po hodniku, vendar ne preseže meje 8 %, ki predstavlja mejo nevarnosti zadušitve. Zanimivo je, da je na vzhodnem stopnišču večja količina CO₂ kot na zahodnem. Po simulaciji vidimo, da se dim najprej širi po hodniku, zato je tam tudi največja količina ogljikovega dioksida. Evakuacija poteka do 338 s, v tem času koncentracija CO₂ ne preseže 5 odstotne koncentracije. Pojavi se nevarnost občutka zadušitve, vendar drugih simptomov uporabniki ne bi občutili.

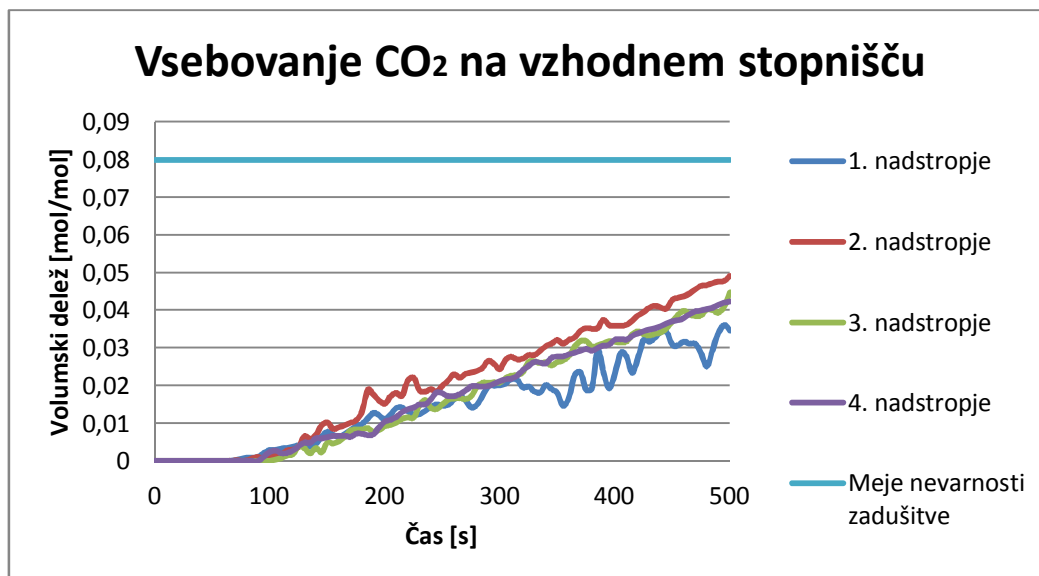


Slika 7-16: Grafični prikaz vsebnosti CO v 2. nadstropju

Vsebnost CO je zelo majhna in ob koncu evakuacije ne presega 0,4 % koncentracije v zraku (Slika 7-16). CO je nevaren že v zelo majhnih količinah. Količina CO najhitreje naraste na hodniku, tako kot pri CO₂.

Slika 7-17: Grafični prikaz vsebnosti CO₂ na zahodnem stopnišču

Na zahodnem stopnišču je količina CO₂ največja v zgornjih dveh nadstropjih (Slika 7-17). Največjo količino sem pričakovala v drugem nadstropju, vendar potovanje dima poteka po drugi poti, kjer je postavljen merilnik CO₂, zato tudi pride do takšne razlike. V prvem nadstropju je količina CO₂ majhna in ne ogroža zdravja in počutja uporabnikov med evakuacijo.

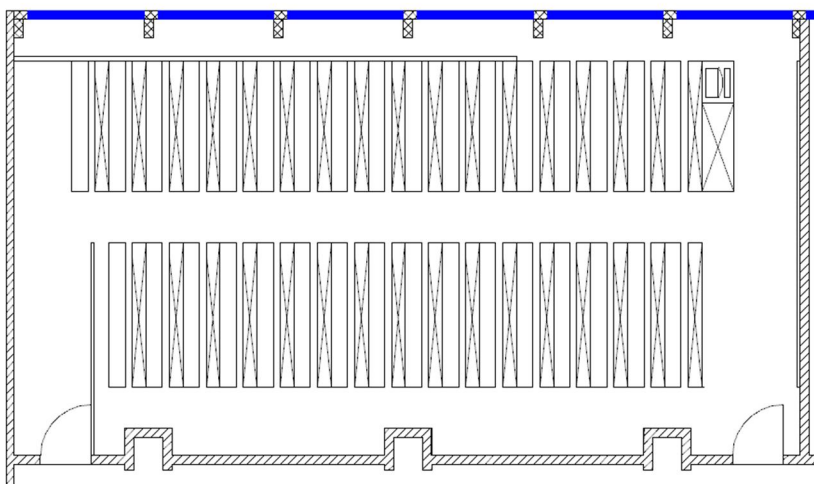


Slika 7-18: Grafični prikaz vsebnosti CO₂ na vzhodnem stopnišču

Na vzhodnem stopnišču se ogljikov dioksid pojavi šele po 100 s in nato enakomerno raste skoraj v vseh nadstropjih (Slika 7-18). V primerjavi z dimom vidimo, da se v vseh nadstropjih pojavi približno istočasno. Predvidevam, da je tudi zaradi tega koncentracija dioksida enakomerna po nadstropjih.

7.6 Varianta 5

Na fakulteti imamo dve veliki predavalnici. Največja predavalnica se nahaja v prvem nadstropju in jo imenujemo P-I/1. V njej je prostora za 180 študentov. Predavalnica ima 14 vrst miz (Slika 7-19).



Slika 7-19: Prikaz predavalnice P-I/1

7.6.1 Zahteve TSG1 [3] za stavbe s prostori za veliko uporabnikov

V poglavju 4.3.1.1.3 sem navedla nekaj splošnih zahtev TSG1 [3]. Stavba s prostorom za veliko uporabnikov mora imeti dve stopnišči, kar naša fakulteta ima. Vsaka predavalnica bi morala biti svoj požarni sektor, vendar ta pogoj na fakulteti ni izpolnjen.

Za prej omenjeno predavalnico bom izračunala potrebno skupno širino evakuacijske poti.

Skupna širina poti:

$$\check{s} = \frac{n \times 0,6}{n_e} = \frac{180 \text{ uporabnikov} \times 0,6 \text{ m}}{60 \text{ uporabnikov}} = 1,8 \text{ m} \quad (13)$$

Imam možnost izvedbe dvokrilnih vrata v širini 1,8 m, vendar imamo v predavalnici že dvoje vrat širine 1,2 m. Skupna realna širina evakuacijske poti je 2,4 m. S tem smo dokazali, da ima predavalnica dovolj široko evakuacijsko pot.

V poglavju 4.3.1.1.3.1 sem obravnavala sedežni red. Glede na razdaljo med vrstami imamo določeno število sedežev v vrsti. V naši predavalnici je razdalja med vrstami 0,4 m. Imamo dve vrsti:

- vrsta ob oknu ima 5 sedežev in en dostop,
- vrsta ob predelni steni ima 6 sedežev in dva dostopa.

S tem izpopolnjuje zahteve TSG1 [3].

Sedeže imamo v 14 vrstah in vmes je prehod širine 1,2 m, kar tudi ustreza TS. Sedeži so pritrjeni in ne ovirajo umika uporabnikov.

7.6.2 Prikaz evakuiranja uporabnikov iz predavalnice

V programu Pathfinder sem izdelala model predavalnice. Želela sem omejiti gibanje, zato sem določila položaj miz in ograje. Stoli niso ovira, saj so pritrjeni. V predavalnico sem vstavila 180 uporabnikov (Slika 7-20).



Slika 7-20: Prikaz modela predavalnice

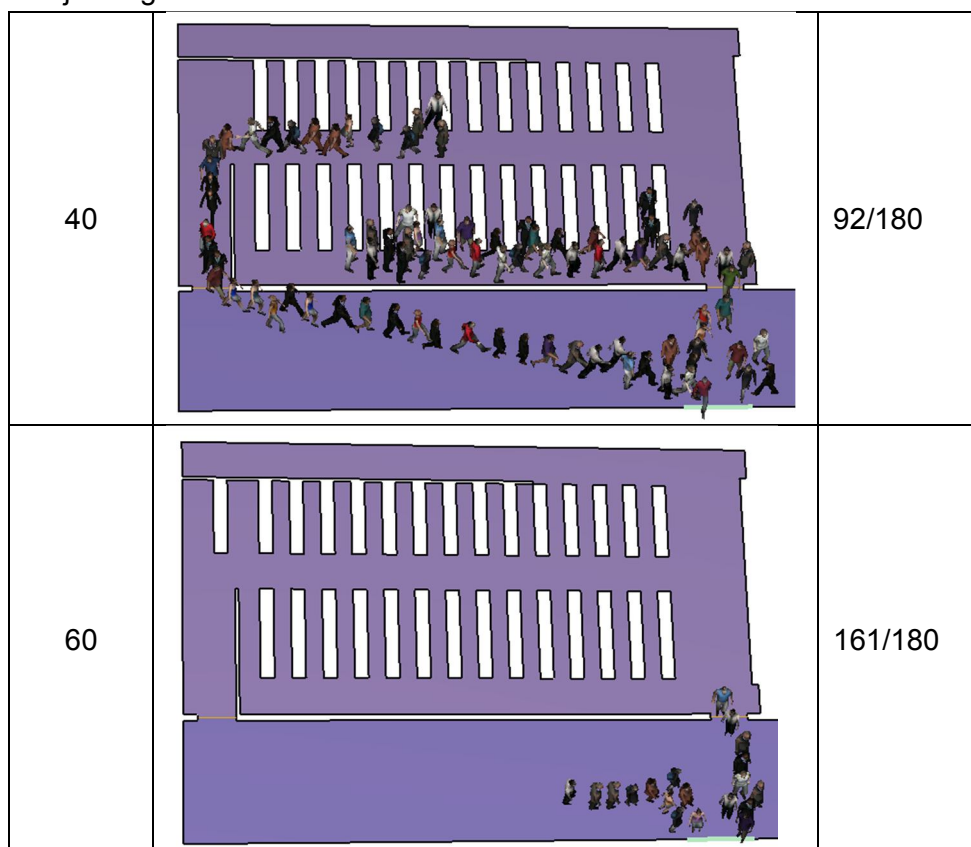
Evakuiranje poteka skozi oba izhoda do stopnišča (Preglednica 7-10).

Preglednica 7-10: Prikaz poteka evakuacije

Čas [s]	Potek evakuacije	Št. ev. up.
10		7/180
20		28/180

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 7-10

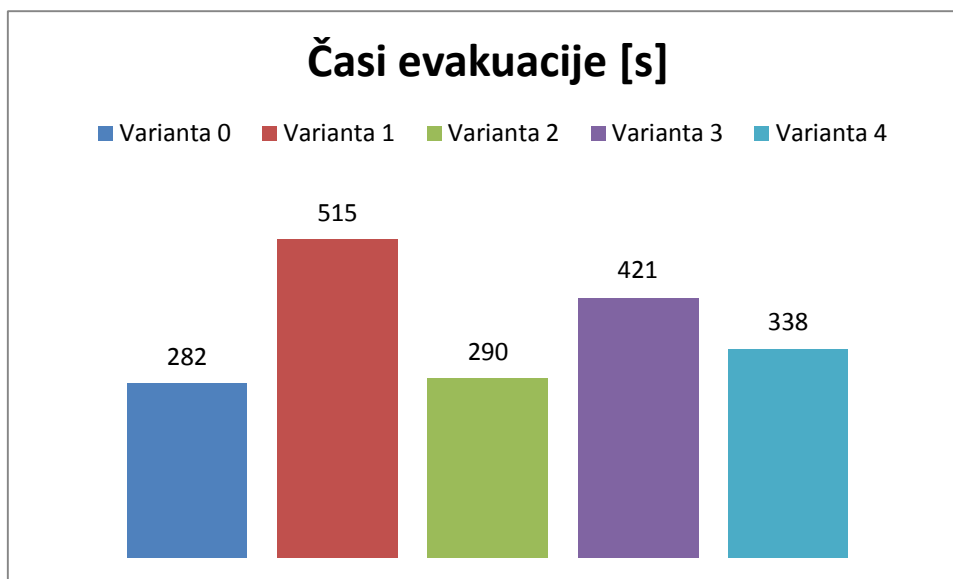


Na začetku evakuacije so uporabniki zmedeni in se ne znajo usmeriti proti izhodu. Po 10 s se že razvrstijo proti dvema izhodoma. Pri 20 s še niso vsi zapustili svojih sedežev in še vedno čakajo, da se bodo razporedili v vrsto. Po 40 s so že vsi v vrstah in na poti proti izhodu. Evakuacija iz predavalnice se konča pri 65 s.

8 PRIMERJAVA REZULTATOV

8.1 Primerjava časa evakuacije

V grafu na Sliki 8-1 je prikazano trajanje evakuacije v vseh obravnavanih variantah.



Slika 8-1: Grafični prikaz evakuacijskih časov za vse variante

Iz Slike 9-1 je razvidno, da poteka evakuacija brez prisotnosti požara najhitreje (požarna vaja). Problem se pojavi pri požaru v knjižnici, kar predstavlja varianta 1. V tem primeru je evakuacija po zahodnem stopnišču onemogočena. Čas evakuacije samo po vzhodnem stopnišču se v primerjavi z izhodiščno varianto podaljša za 83 %. S tem ogrožamo življenja uporabnikov in tudi njihovo zdravje.

Varianta 2 in varianta 3 sta izboljšavi variante 1. Pri varianti 2 smo upoštevali navodila za evakuacijo pri požaru iz TS. Stopnišče smo zasteklili in ga s tem naredili požarno varnega. Pri tem se je čas evakuacije skrajšal za kar 44 % v primerjavi z evakuacijo v varianti 1 in je tako skoraj enak kot v primeru požarne vaje (varianta 0) pri nezaščitnih stopniščih.

Varianta 3 prikazuje potek evakuacije pri požaru z vsemi upoštevanimi izboljšavami iz variante 2 ter dodatno požarno loputo na stopnišču. Pri tem sem upoštevala ekstremne pogoje, saj se je v knjižnici ob porušitvi podesta razbilo steklo med stopniščem in knjižnico. Požar se je začel širiti po zahodnem stopnišču in s tem po 185 s onemogočil evakuacijo po njem. Čas evakuiranja se je od začetne variante skrajšal za 18 %.

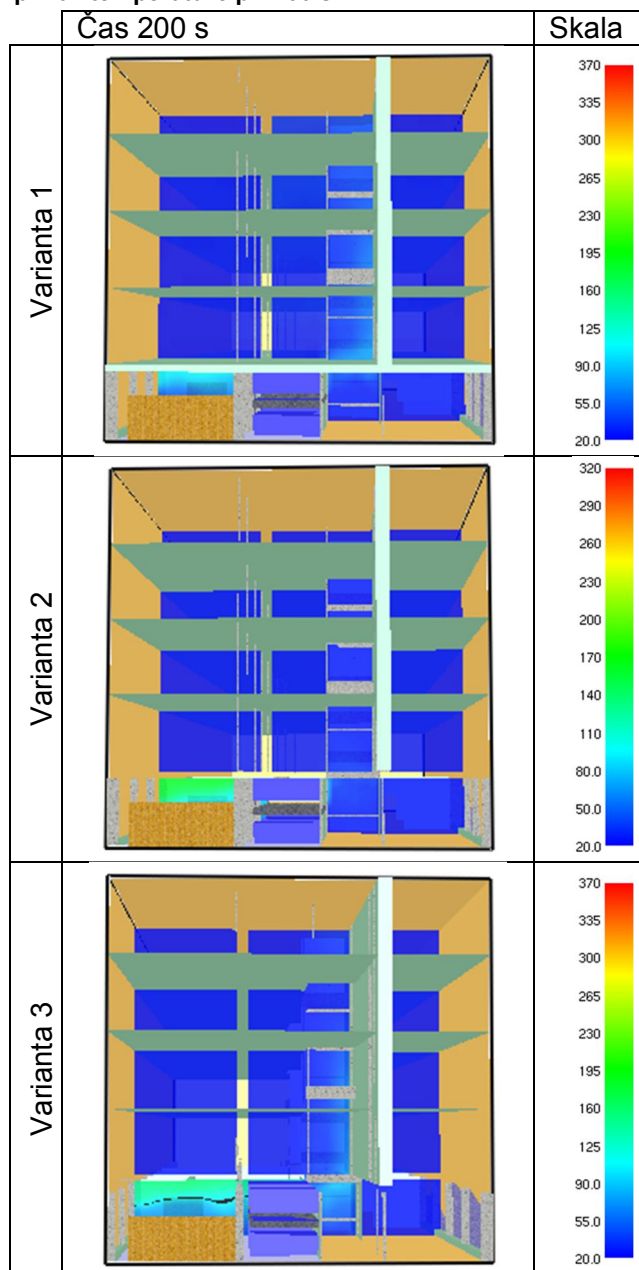
Varianta 4 predstavlja simulacijo evakuacije v primeru nastanka požara v kuhinji. Evakuacija poteka po obeh stopniščih, vendar se dim širi po objektu in s tem zmede uporabnike. Zaradi panike se čas evakuiranja podaljša za 20 % in na koncu znaša 338 s namesto 282 s. Kljub temu je evakuacijski čas še vedno krajši kot v primeru variante 1, in sicer za 34 %.

Najkrajši evakuacijski čas sem dosegla z varianto 2, pri kateri sem upoštevala TSG1 [3] in uredila stavbo tako, da je pri evakuacijah varna in zadostuje pogojem Pravilnika o požarni varnosti v stavbah.

8.2 Primerjava poteka temperature pri prvih treh variantah

V začetnih fazah se požar še ne razvije, zato sem pričela s primerjavo pri 200 s. V Preglednici 8-1 je prikaz prečnega reza, ki prikazuje temperature na zahodnem stopnišču, ki so pri vseh simuliranih variantah najbolj kritične.

Preglednica 8-1: Grafični prikaz temperature pri 200 s

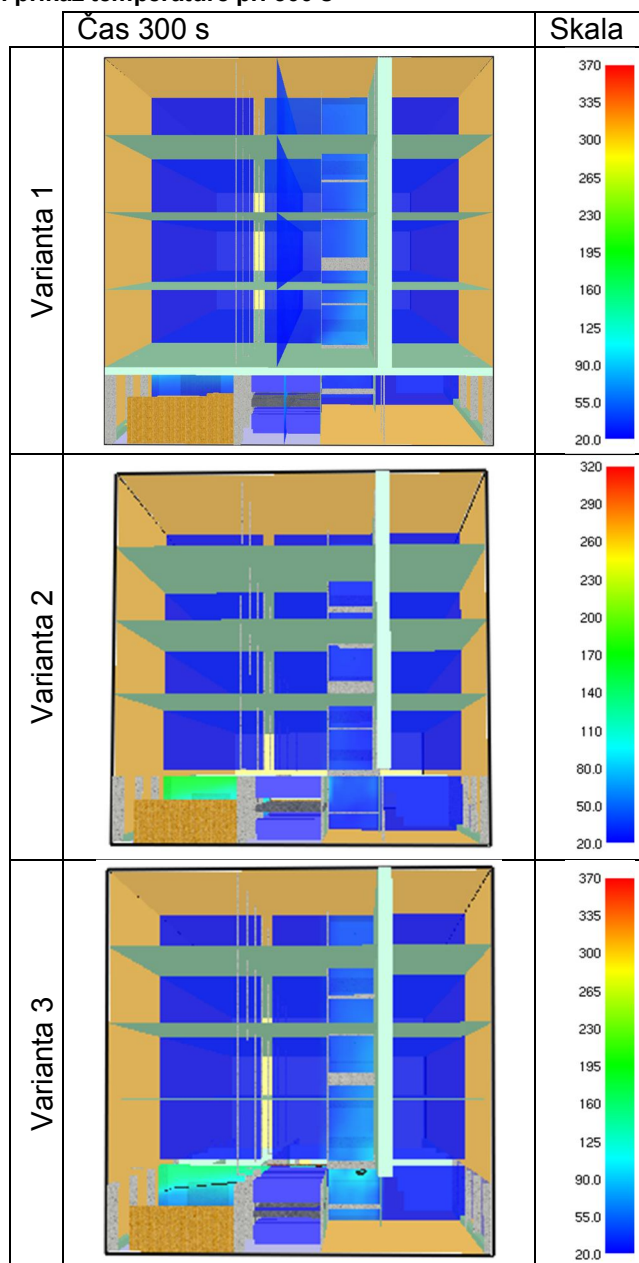


V varianti 1 se temperatura na hodniku hitro dviga, saj steklo poči že pri 60 s. Pri varianti 2 steklo, ki loči stopnišče in knjižnico ne poči, vendar se segreva, pri čemer se zrak ob steklu na stopnišču segreje do 100 °C. Pri zadnji varianti pa steklo poči zaradi porušitve podesta pri 185 s. V tem času se odprejo tudi požarne lopute in stopnišče deluje kot dimnik. Temperatura se hitro dviga in doseže 90 °C.

Med primerjanjem temperature v knjižnici le-ta doseže največjo vrednost v drugem primeru, kjer se temperatura povzpne do okoli 200 °C. Pri ostalih dveh variantah se temperatura zraka v knjižnici zadržuje okoli 125 °C.

Po pretečenih 100 s se simulacija ne spremeni veliko (Preglednica 8-2). Varianta 2 ima še vedno najvišjo temperaturo v knjižnici, vendar se v tem času uporabniki že evakuirajo. Iz primerjave med varianto 1 in 3 pa se vidi, da se je pri varianti 3 odprla požarna loputa in se zaradi tega toplota hitreje širi po stopnišču navzgor. Pozorni moramo biti na materiale, ki so na stopnišču. Beton se ob povišanju temperature začne krušiti. Nevarnost se pojavi, ko se beton odkruši do armature, zaradi česar se lahko pojavijo večje deformacije, ki lahko v skrajnem primeru privedejo tudi do porušitve objekta. Ta nevarnost se pojavi predvsem pri 3. varianti, kjer se temperature na stopnišču povečajo tudi do 370 °C.

Preglednica 8-2: Grafični prikaz temperature pri 300 s

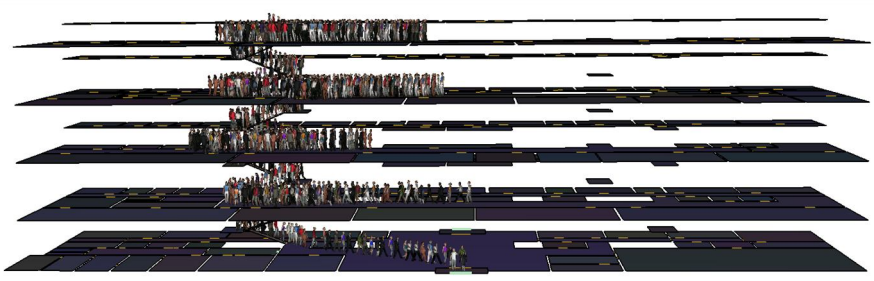
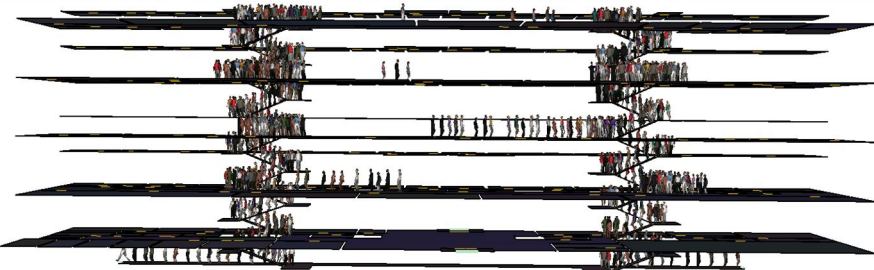


Opazim, da je pri varianti 1 in varianti 3 zahodno stopnišče neuporabno za evakuacijo. S tem podaljšamo evakuacijski čas, kar privede tudi do večje panike in nevarnosti za poškodbe. Da bi se izognili nevšečnostim s segrevanjem stekla pri stopnišču, bi bilo treba le-tega zamenjati z zidano steno.

8.3 Primerjava poteka evakuacije pri prvih treh variantah



V Preglednici 8-3 lahko opazujem primerjavo evakuacije pri požaru v knjižnici v variantah 1, 2 in 3. Opazim, da se po pretečenih 50 s v primeru, da uporabniki zapuščajo stavbo skozi pritličje, evakuira več uporabnikov. S tem je začetek evakuacije uspešnejši, vendar lahko tudi opazim, da se hkrati ob vzhodnem stopnišču pojavijo veliki zastoji, kar podaljša čas evakuacije. Pri vseh treh variantah so kritična mesta evakuacije ob vstopu na stopnišče. Pri varianti 2 in 3 se uporabniki sami preusmerijo na stopnišče, kjer je gneča manjša. S tem se evakuacijski čas skrajša. Opazim tudi, da uporabniki pri varianti 1 zapuščajo stavbo le skozi severni izhod, pri ostalih dveh variantah pa ima vsako stopnišče zaščitni hodnik, ki vodi do svojega zasilnega izhoda.

Preglednica 8-3: Primerjava evakuacije pri požaru v knjižnici pri 50 s

	Čas 50 s	Št. ev. up.
Varianta 1		71/812
Varianta 2 in 3		69/812




Pri 100 s potekata varianti 2 in 3 še vedno enako. Sedaj je že opaziti razliko v evakuiranju uporabnikov. Pri izboljšavah se je v tem času evakuiralo že 69 uporabnikov več oziroma 46 % več kot v varianti 1. Po pregledu situacije, prikazane v Preglednici 8-4, opazim tudi, da pri variantah 2 in 3 ni več zastojev, medtem ko se pri varianti 1 ti še vedno pojavljajo v zgornjih dveh nadstropjih, ki bi jih lahko označili za kritični coni. S tem se izboljšave obrestujejo in evakuacija uporabnikov je hitrejša.

Preglednica 8-4: Primerjava evakuacije pri požaru v knjižnici pri 100 s

	Čas 100 s	Št. ev. up.
Variant 1		150/812
Variant 2 in 3		219/812

Pri 200 s imamo že tri različne načine evakuiranja, kar pomeni, da se pojavijo tudi različne poti. Različno je tudi število evakuiranih uporabnikov iz objekta. Najhitrejša je varianta 2. V primerjavi s prvo se je evakuiralo že 535 uporabnikov, kar je 221 več kot pri varianti 1 in predstavlja 70 % več evakuiranih ljudi. Varianta 3 je ravno tako hitrejša, saj se je evakuiralo že 489 uporabnikov, kar je 221 uporabnikov oziroma 56 % več kot pri varianti 1. Obe rešitvi sta učinkoviti, saj se pri njihju ne pojavljajo veliki zastoji ob stopniščih.

Preglednica 8-5: Primerjava evakuacije pri požaru v knjižnici pri 200 s

	Čas 200 s	Št. ev. up.
Variant 1		314/812
Variant 2		535/812
Variant 3		489/812

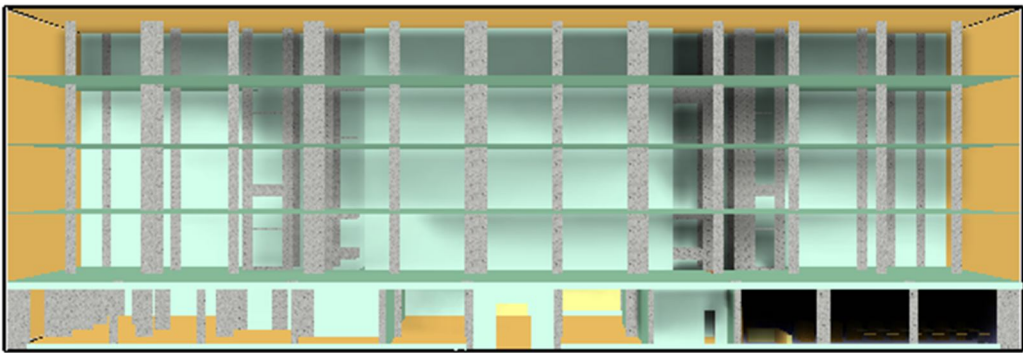

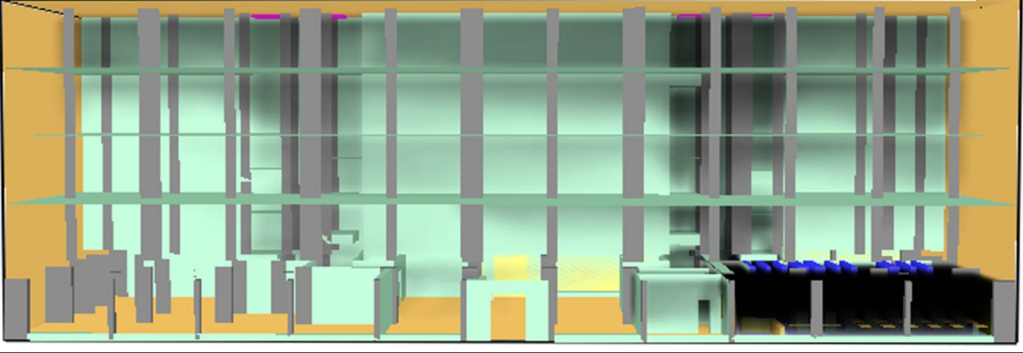
Evakuacija v primeru variant 2 in 3 se počasi že zaključuje in poteka brez zastojev in dodatnih težav. Evakuacija v primeru variante 1 pa ravno nasprotno – še vedno poteka. Izkaže se, da je način evakuacije v primeru variante 1 izredno problematičen, saj poteka zelo počasi, s tem pa so ogrožena življenja uporabnikov.

8.4 Primerjava širjenja dima in temperature zraka pri upoštevanju zaščitnih ukrepov in brez njih pri varianti 3 ter z varianto 1

Pri varianti 3 sem upoštevala izboljšave iz variante 2 in dodala dodatne lopute za odvod dima. Izdelala sem tudi model variante 3 brez izboljšav. Želim se prepričati, kakšna je razlika med primeroma in do kolikšnih temperatur pride pri obeh variantah. Varianto 1 sem dodala zato, da preverim, če bi lahko tudi samo z loputo zmanjšali dim in znižati temperaturo po stavbi med požarom.

Preverila bom potek dima pri 200 s, saj pri varianti 3 z izboljšavami steklo med stopniščem in knjižnico počši šele pri 185 s.

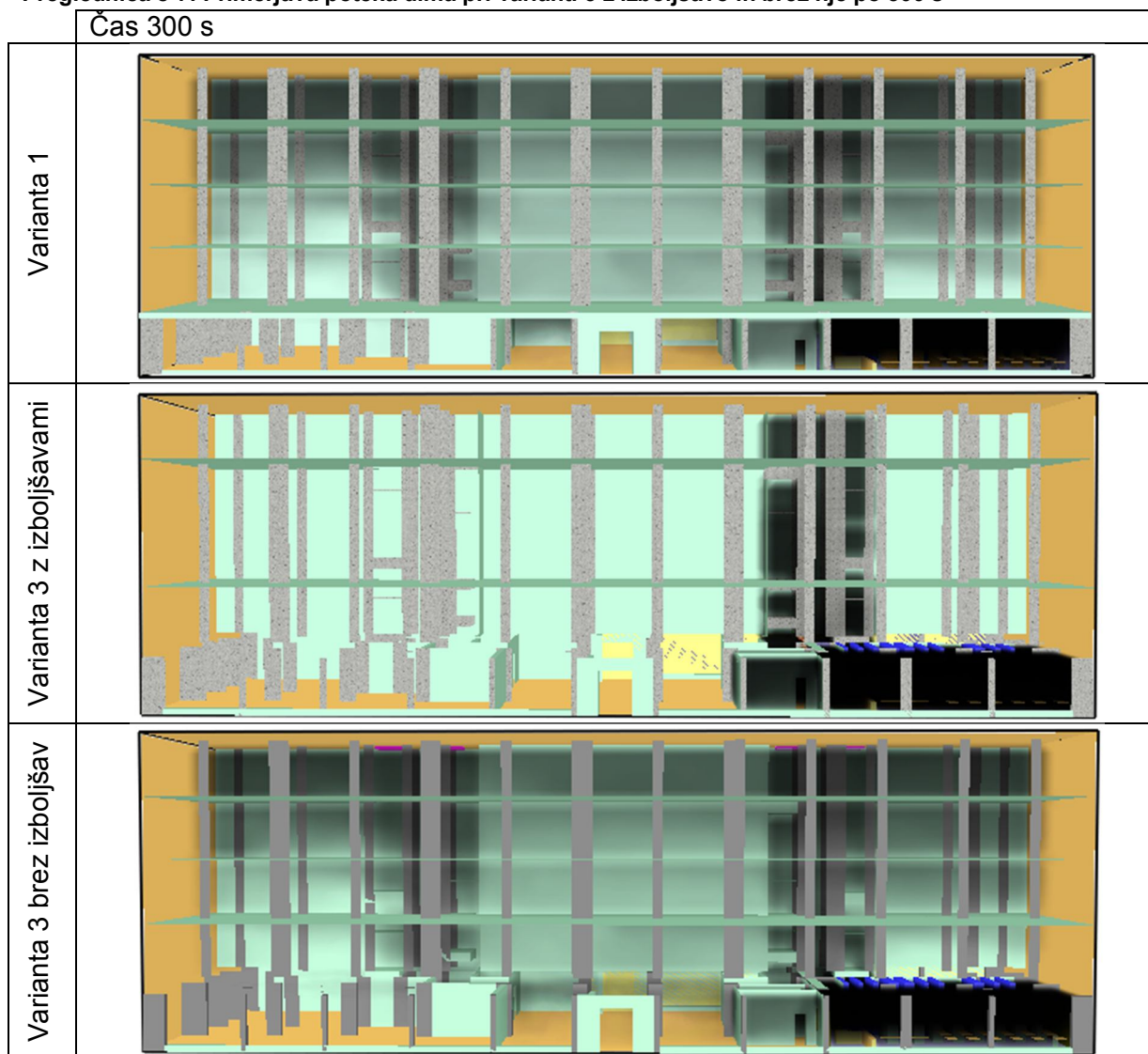
Preglednica 8-6: Primerjava poteka dima pri varianti 3 z izboljšavo in brez nje po 200 s

Čas 200 s	
Variant 1	
Variant 3 z izboljšavami	
Variant 3 brez izboljšav	

Iz Preglednice 8-6 lahko opazim, da se dim v 4. nadstropju najhitreje začne kopičiti pri varianti 1. Pri varianti 3 brez izboljšav nekaj dima zapusti objekt skozi lopute in s tem se nekoliko izboljša vidljivost. Varianta 3 z izboljšavami dim zadrži na zahodnem stopnišču in s tem omogoči varno in mirno evakuacijo uporabnikom po vzhodnem stopnišču.

Naslednja primerjava bo pri 300 s

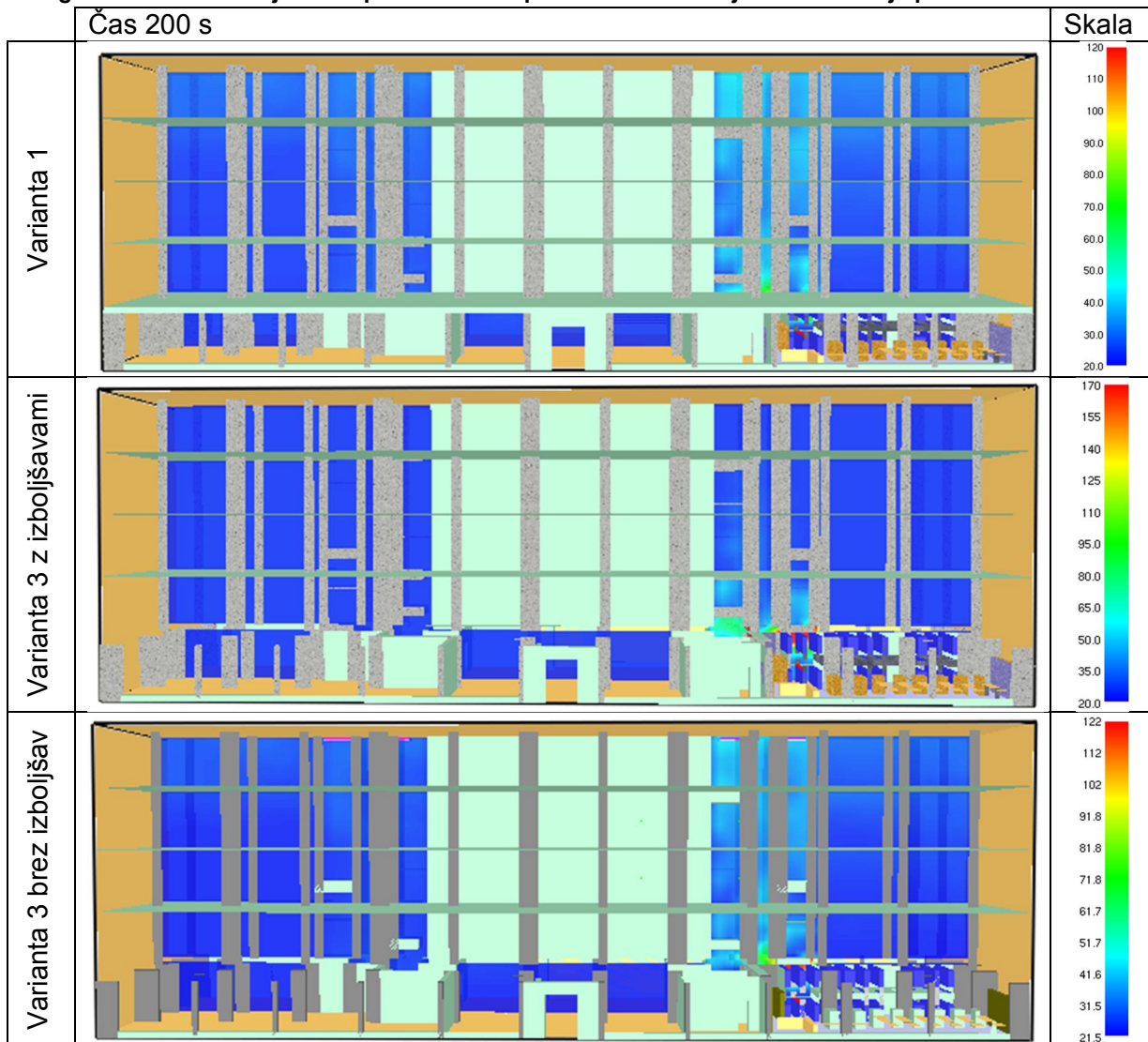
Preglednica 8-7: Primerjava poteka dima pri varianti 3 z izboljšavo in brez nje po 300 s



Preglednica 8-7 razkriva, da se dim pri varianti 1 in varianti 3 brez izboljšav enako razvija. Varianta 3 z izboljšavami ima dim samo na zahodnem stopnišču. Pričakovala sem, da bo varianta 3 brez izboljšav bolj ugodna. Zaradi loput, ki so nameščene na strehi obeh stopnišč, sem pričakovala, da se bo dim manj širil po stavbi FGG. Žal pa se takšen ukrep izkaže za neučinkovitega, saj neopazno vpliva na zmanjšanje koncentracije dima v stavbi FGG.

Preveriti želim še temperature zraka po stavbi. Podrobneje si bom pogledala stopnišči, saj sta zelo pomembni za evakuacijo, hkrati pa se po njiju dim širi najhitreje. Preverila bom, če se je temperatura pri varianti 3 brez izboljšav zmanjšala.

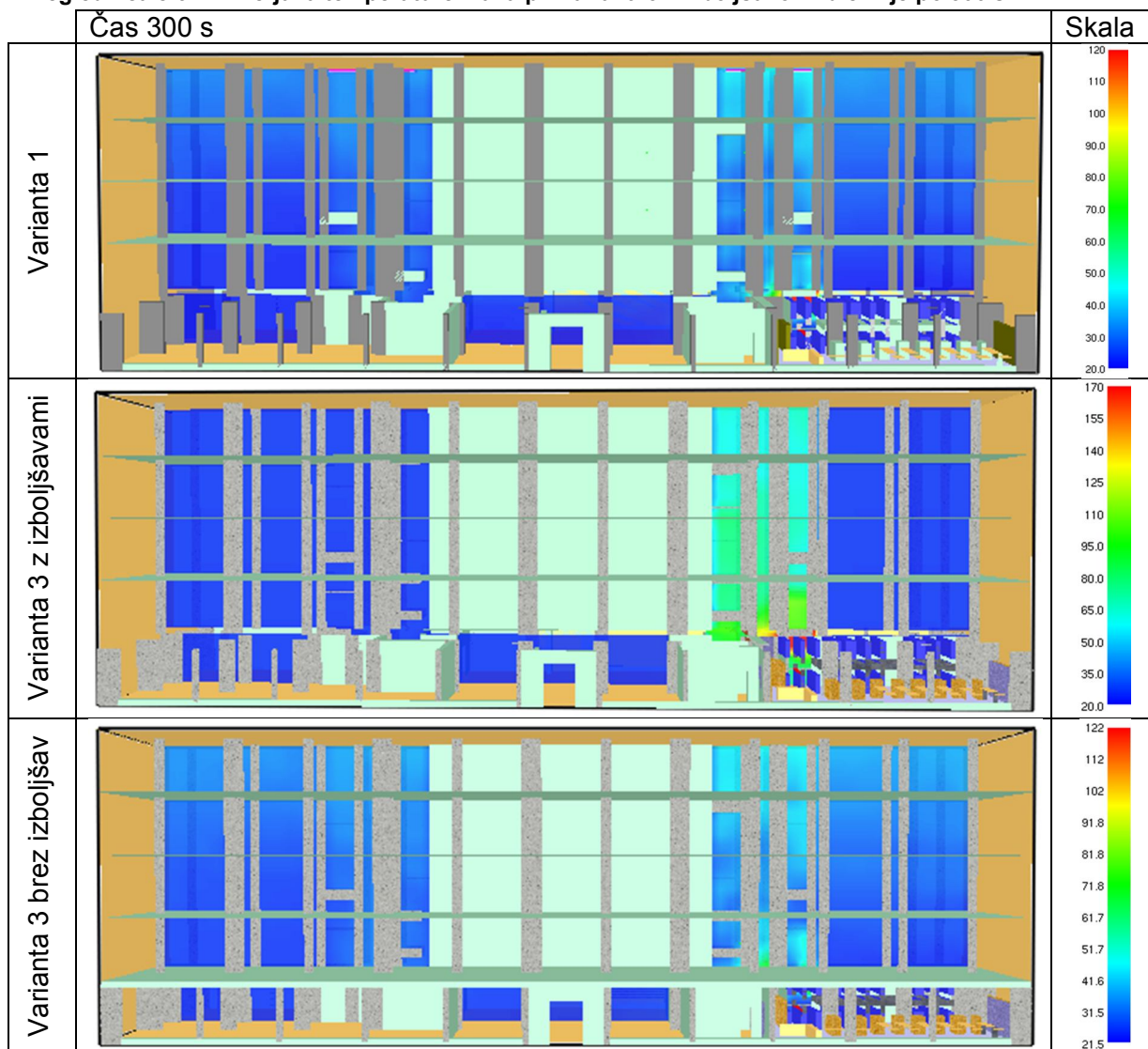
Preglednica 8-8: Primerjava temperature zraka pri varianti 3 z izboljšavo in brez nje po 200 s



Ob pregledu temperatur se opazi, da sta varianta 1 in varianta 3 brez izboljšav skoraj enaki. Z odvajanjem dima nisem izboljšala pogojev evakuacije, ampak sem situacijo še poslabšala, saj so se temperature malo dvignile. Varianta 3 z izboljšavami ima izrazito boljše rezultate, saj se temperatura dvigne le na zahodnem stopnišču in s tem ne vpliva na evakuacijo uporabnikov in njihovo zdravje. Treba bi bilo preveriti, do katere višine temperatura naraste do prihoda gasilcev.

Preverila sem še temperaturo pri 300 s, saj me zanima kako se segrevajo prostori zraven stopnišča in kako se dvigne temperatura na vzhodnem stopnišču.

Preglednica 8-9: Primerjava temperature zraka pri varianti 3 z izboljšavo in brez nje po 300 s



V Preglednici 8-9 se jasno vidi, da je varianta 3 brez izboljšav bolj kritična kot varianta 1. Temperature so višje in s tem je tudi nevarnost za uporabnike večja. Varianta 3 z izboljšavami je varna za evakuacijo, saj se temperature po ostalih prostorih stavbe ne dvignejo. Treba pa bi bilo preveriti, ali prihaja do poškodb na gradbenih konstrukcijah.

Samo loputa za odvod dima nima pozitivnega učinka na evakuacijo uporabnikov. Vzrok temu pojavu bi lahko bila premajhna kapaciteta odvodnih dimnih loput. Hkrati pa lahko lopute tudi pospešijo gibanje dima po stavbi in dovajanje kisika ter s tem bolj intenzivno gorenje. Za zaščito uporabnikov moramo obvezno izvesti zaščitene hodnike, saj s tem zaščitimo uporabnike in njihovo zdravje.

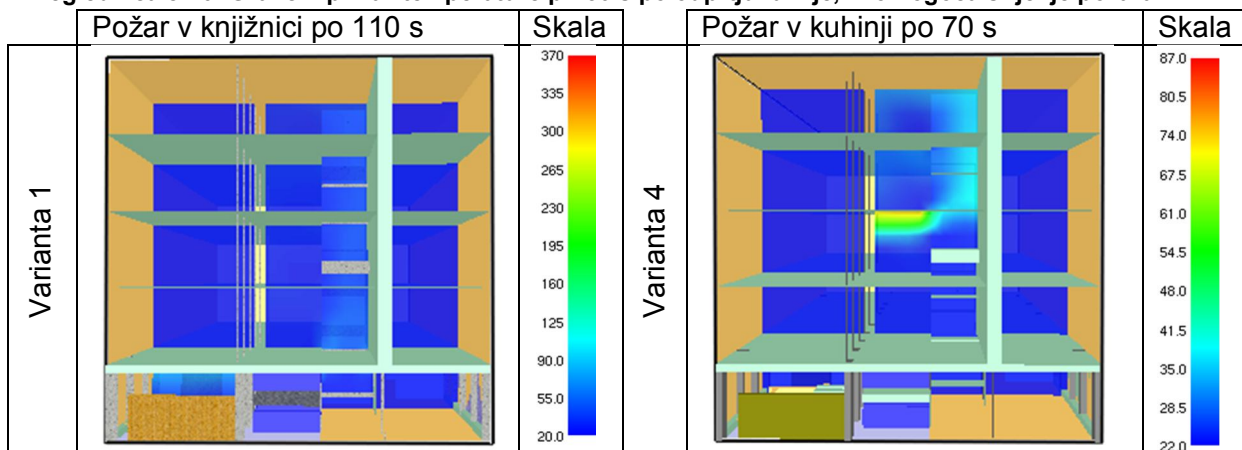
8.5 Primerjava naraščanja temperature in poteka dima med varianto 1 in varianto 4

Za primerjavo širjenja toplote si bom izbrala dva trenutka v razvoju požara:

- 50 s po poružitvi stekla med knjižnico in stopniščem,
- 50 s po tem, ko kuhar pozabi zapreti vrata za seboj.

Zanima me kako hitro se toplota dviga po stavbi, in te vrednosti želim tudi primerjati.

Preglednica 8-10: Grafični prikaz temperature pri 50 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara



Najprej opazim, da se temperaturni skali v variantah močno razlikujeta (Preglednica 8-10). Pri požaru v knjižnici so temperature višje, saj imamo v knjižnici veliko gorljivega materiala, kar omogoči razvoj močnega požara. V kuhinji imamo le nekaj kuhinjskih površin in omarice na steni, ki pa niso dovolj, da bi se požar razvil in povzročil velik dvig temperature.

V istem trenutku lahko primerjamo tudi razpored dima v stavbi. Zanima me kako hitro se razširi dim po stavbi pri obeh scenarijih (Preglednica 8-11).

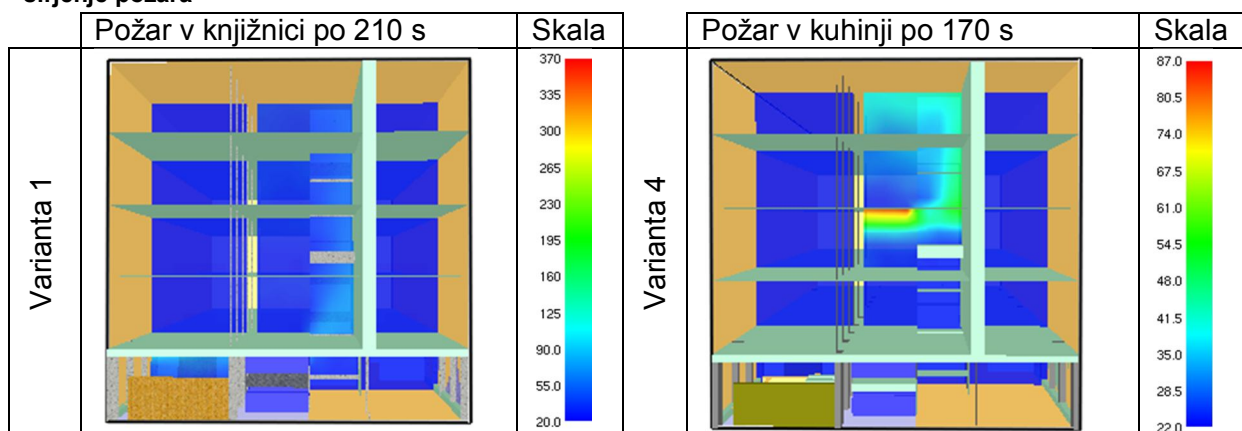
Preglednica 8-11: Grafični prikaz poteka dima pri 50 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara



Opazim, da sta knjižnica in kuhinja v tem času že gosto zadimljeni. Pri knjižnici, se dim začne širiti po stopnišču, saj počí steklo med stopniščem in knjižnico, pri kuhinji pa se dim naprej širi po hodniku v drugem nadstropju ter šele nato po stopnišču. Pri varianti 1 se dim razširi v vsa nadstropja. Podroben pregled rezultatov pokaže, da se naprej razširi v 4. nadstropje, nato pa po vseh ostalih. Lahko bi rekli, da se širi linearno, s tem da se pojavi najprej v zgornjih nadstropjih ter najpozneje v pritličju. Pri simulaciji požara v kuhinji opazim, da se najbolj širi po 2. nadstropju. Začenja pa se širiti tudi po zahodnem stopnišču, ki se nahaja tik ob kuhinji, in naprej v višja nadstropja.

Sedaj si bom pogledala še temperature v naslednjih 100 s (Preglednica 8-12). Zanima me razvoj temperature in dima po stavbi.

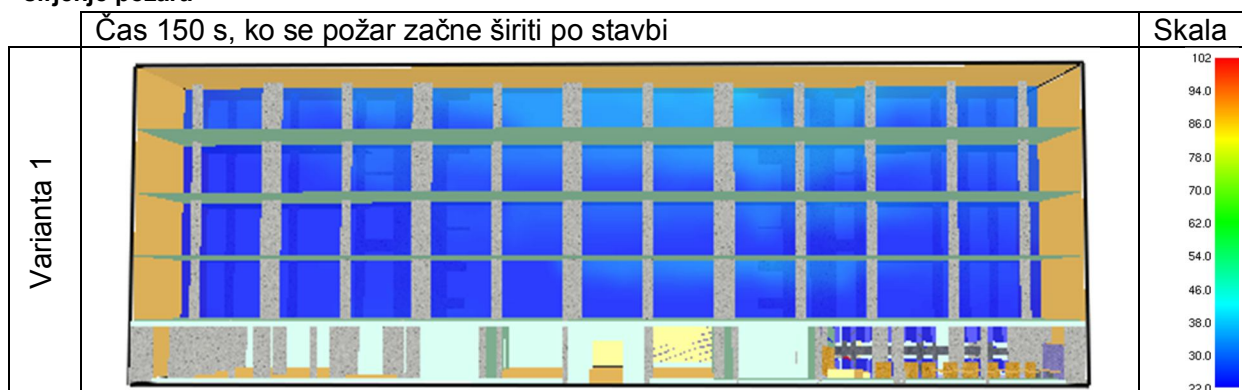
Preglednica 8-12: Grafični prikaz temperature stranskega prereza pri 150 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara



Temperaturni skali se tudi tukaj razlikujeta. Pri požaru v knjižnici se temperatura širi po stopnišču od spodaj navzgor in naraste približno do 100 °C, pri požaru v kuhinji pa se temperatura dvigne samo v zadnjih treh nadstropjih, kar je tudi logično. Tukaj so temperature nižje, saj požar nima možnosti, da bi se razvil tako močno kot v knjižnici. Temperatura zraka ne preseže 61 °C.

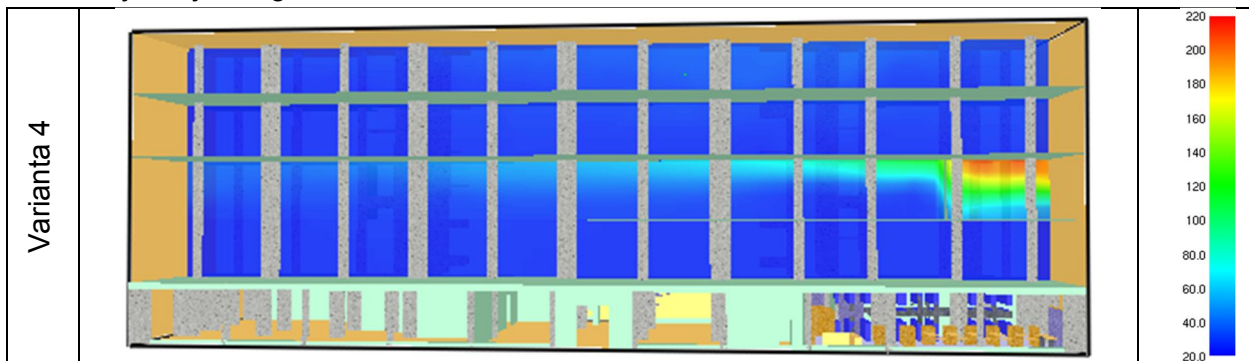
Evakuacija poteka po hodniku, zato me zanima tudi razvoj temperature po vzdolžnem prerezu (Preglednica 8-13). Na hodniku se uporabniki med evakuacijo tudi zadržujejo, zato je zelo pomembno, kolikšna je temperatura zraka v tem območju.

Preglednica 8-13: Grafični prikaz temperature vzdolžnega prereza pri 150 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara



se nadaljuje...

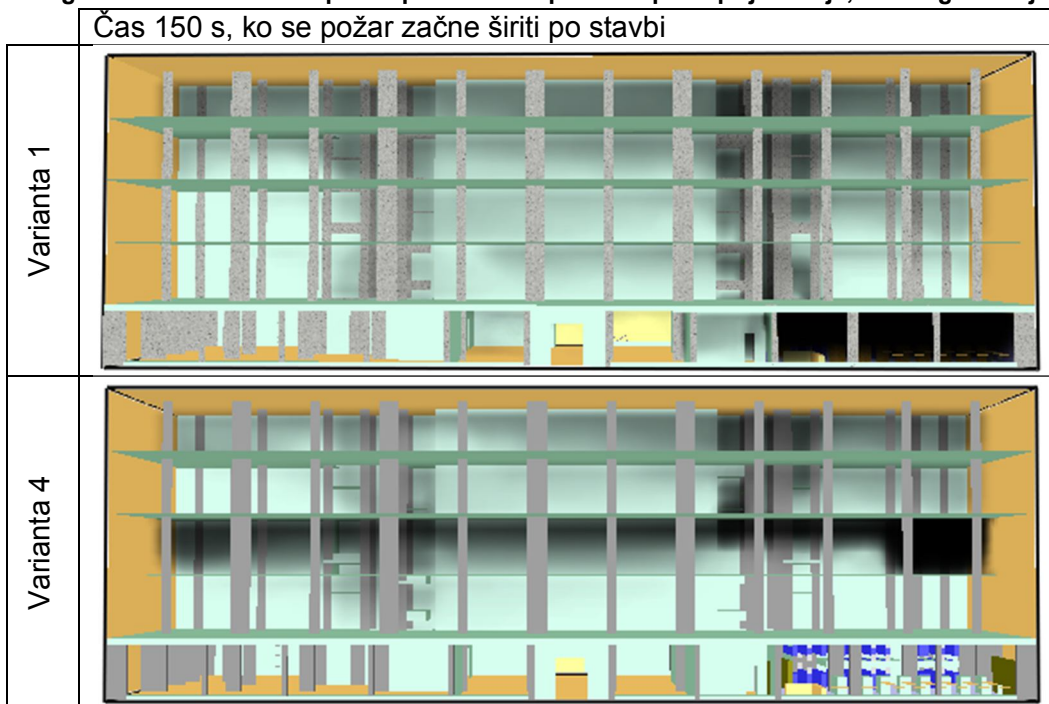
...nadaljevanje Preglednice 8-13



Temperaturni skali sta drugačni, vendar imamo pri varianti 4 sedaj višje temperature. Pri tej varianti je na hodniku v drugem nadstropju temperatura med 40 in 60°C. Najbolj naraste ob stropu, kjer se pojavi tudi dim. V primerjavi z varianto 1 se tam temperatura najhitreje poviša v četrtem nadstropju, kjer se pojavi tudi največ dima. Ob primerjanju poteka temperatur vidim, da se pri varianti 1 temperatura dvigne takoj po celotni višini nadstropja, pri varianti 4 pa se dvigne le ob stropu.

Pogled na razvoj dima mi pove, da se dim iz kuhinje hitreje razširi po hodniku drugega nadstropja. Pri požaru v knjižnici se dim širi počasneje in enakomerneje po celotni stavbi (Preglednica 8-14).

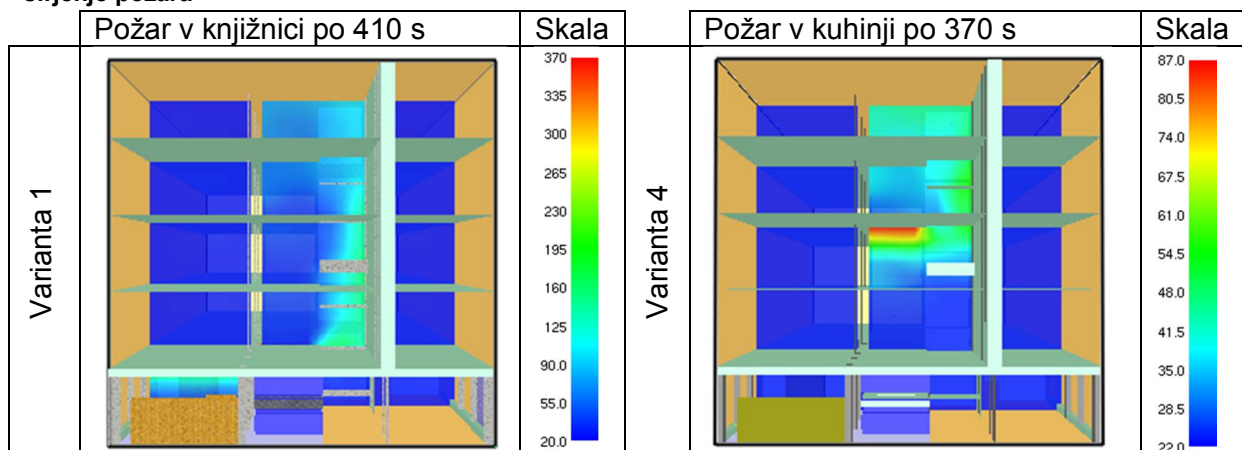
Preglednica 8-14: Grafični prikaz poteka dima pri 150 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara



Zadnjo primerjavo bom izvedla še pri 200 s, ko se evakuacija uporabnikov že zaključuje.

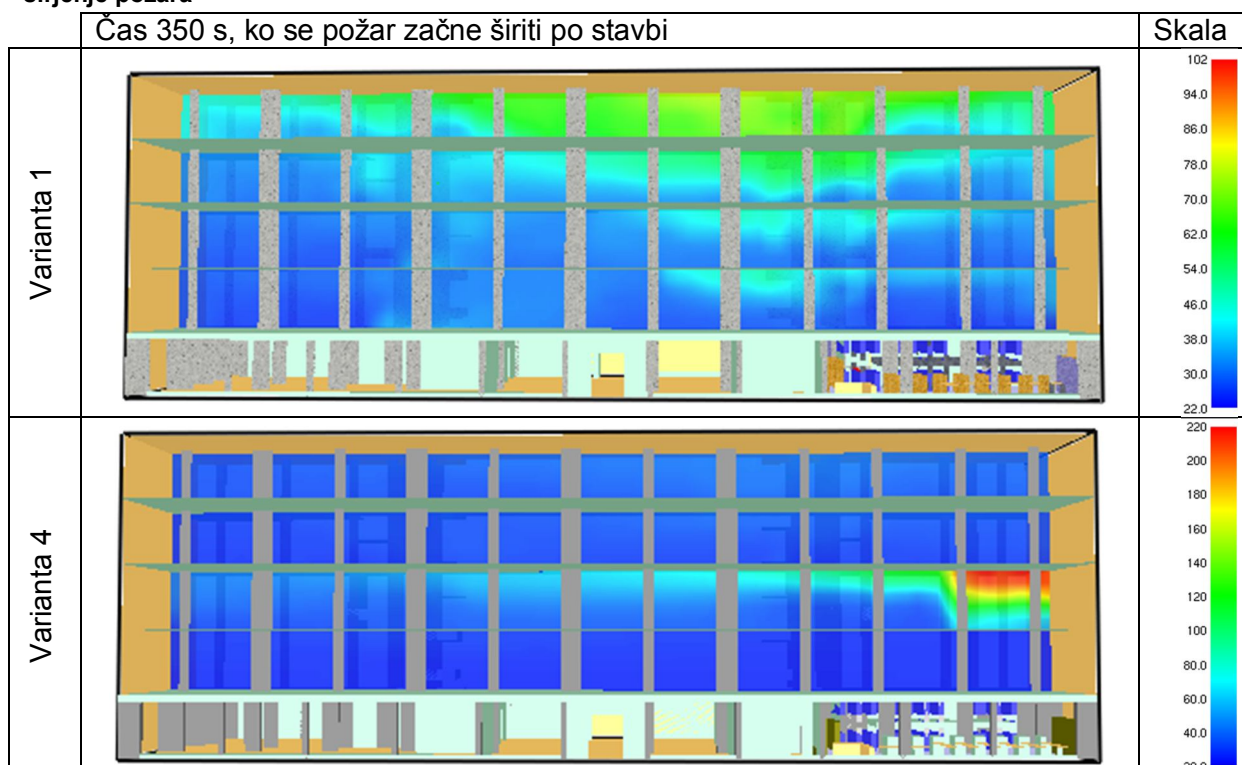
Zanima me, kolikšne so temperature na stopnišču po 410 s požara v knjižnici in po 370 s požara v kuhinji (Preglednica 8-15). Izbrala sem različne čase, saj se je dim začel širiti po objektu v različnem trenutku, s tem pa sem dosegla bolj relevantno primerjavo različnih scenarijev.

Preglednica 8-15: Grafični prikaz temperature stranskega prereza pri 350 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara

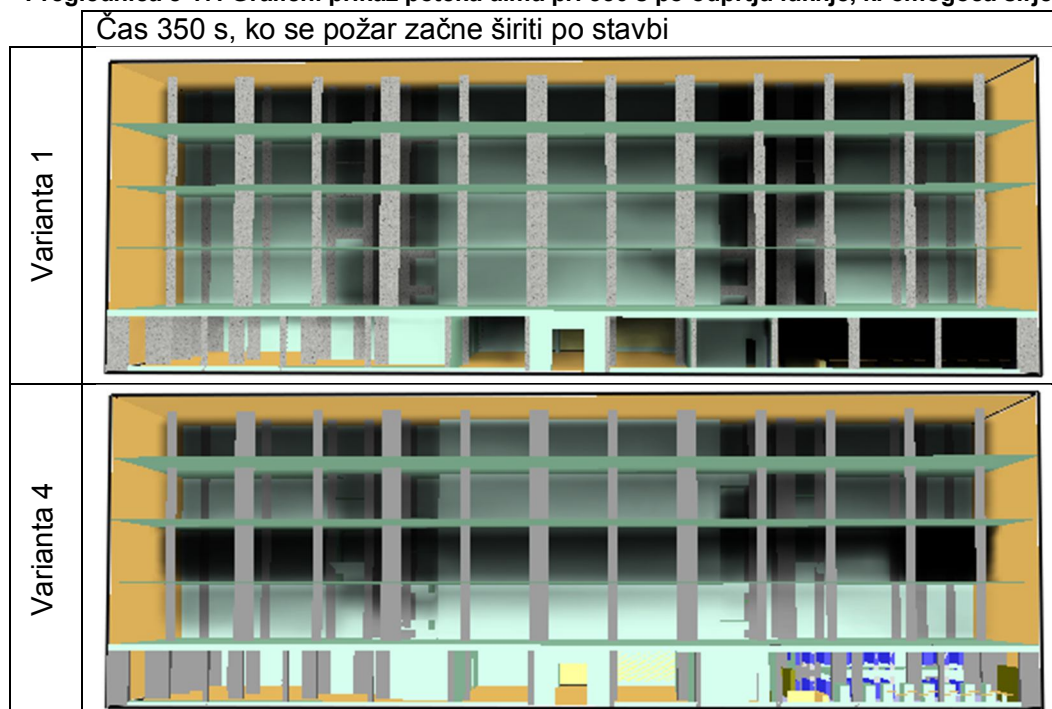


Temperatura se je pri varianti 1 hitro dvignila na stopnišču v vseh nadstropjih. Najvišja temperatura se pojavi v knjižnici in znaša 125 °C, vroči plini pa se širijo tudi v zgornja nadstropja. Pri varianti 4 se pojavijo najvišje temperature v tretjem nadstropju in znašajo 61° C. Razlika v najvišjih doseženih temperaturah ter v distribuciji vročih plinov med obema variantama je relativno velika.

Preglednica 8-16: Grafični prikaz temperature vzdolžnega prereza pri 350 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara



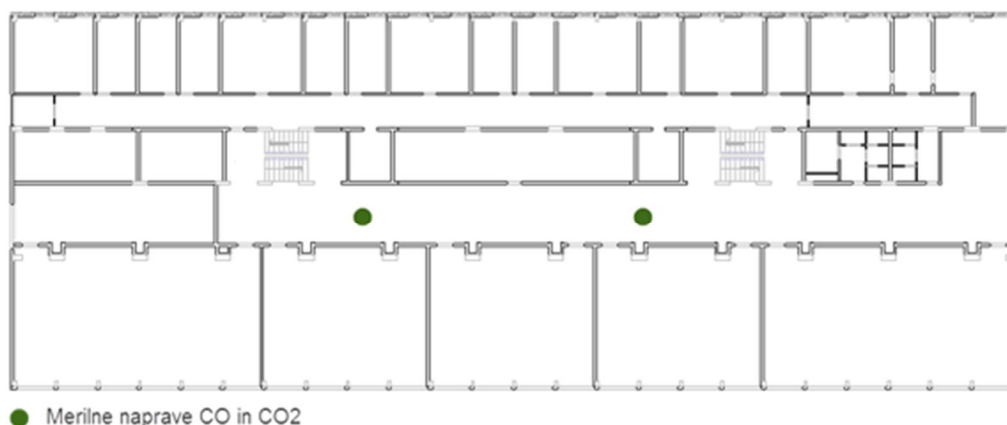
Pri pregledu vzdolžnega prereza (Preglednica 8-16) je možno opaziti, da se požar v knjižnici razvije in preide v fazo polno razvitega požara. Temperatura se po celotni stavbi dviga in ponekod preseže 70 °C. Pri varianti 4 se v drugem nadstropju temperatura dvigne tudi na 60 °C. Najvišja temperatura se pojavi ob stopnišču in ne ogroža uporabnikov, tako kot v primeru variante 1.

Preglednica 8-17: Grafični prikaz poteka dima pri 350 s po odprtju luknje, ki omogoča širjenje požara

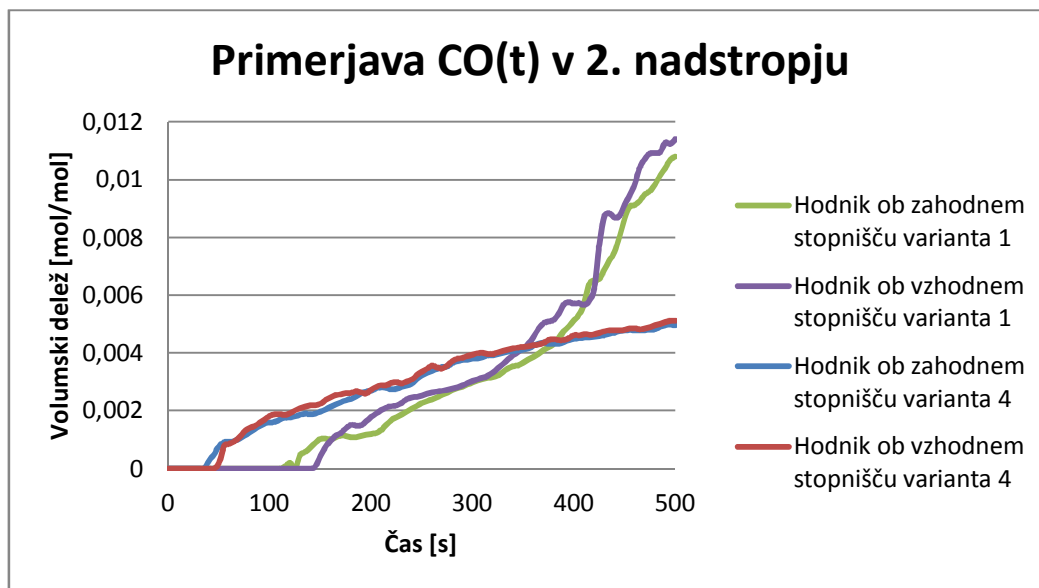
Širjenje dima po stavbi pri obeh variantah poteka podobno (Preglednica 8-17). Naprej se razširi v zgornja nadstropja, nato pa se prične širiti tudi v spodnja. Pri varianti 4 je dim naprej zavzel hodnik v 2. nadstropju, ki je po 350 s tudi že močno zadimljen, nato pa se je razširil po zahodnem stopnišču v zgornja nadstropja. Če podrobno analiziram rezultate simulacije, lahko opazim, da je dim po vzhodnem stopnišču prešel tudi na hodnik 1. nadstropja. To pomeni, da je zakrožil enako kot pri varianti 1.

8.6 Primerjava količine koncentracije CO₂ in CO po stavbi med varianto 1 in varianto 4

Pri primerjavi koncentracij CO₂ in CO sem se odločila, da bom preverila celotno drugo in četrto nadstropje na enakih mestih in na višini 1,6 m nad tlemi. Prikaz merilnih mest je na Sliki 8-2. Izbrala sem označeni merilni mesti ter primerjala koncentracije v drugem in četrtem nadstropju. V primeru variante 1 je kritično četrto nadstropje, pri varianti 4 pa drugo.

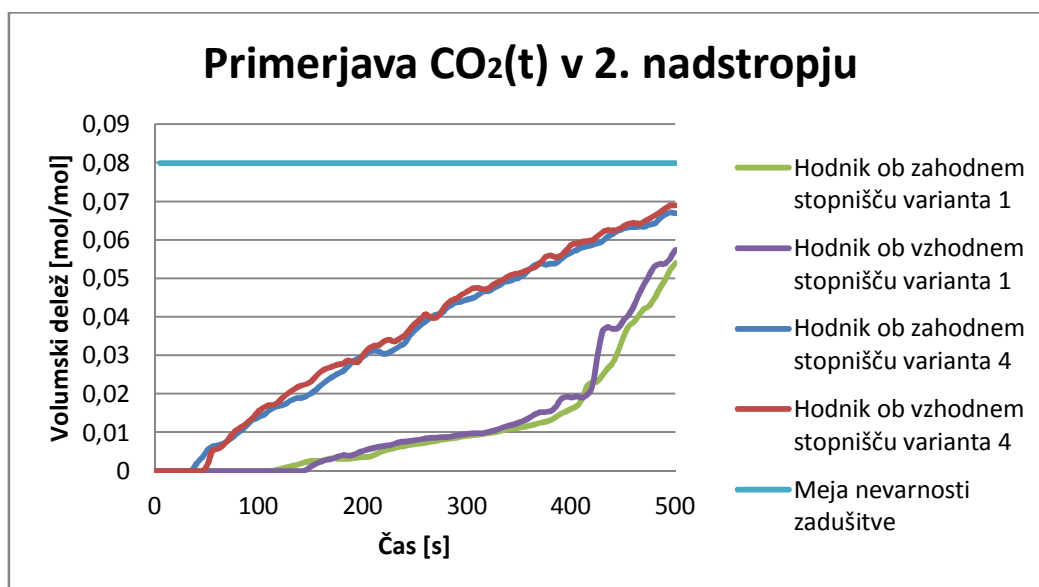
**Slika 8-2: Prikaz merilnih mest CO in CO₂**

V drugem nadstropju sem merila volumski delež CO in CO₂, ki ju prikazujeta Sliki 8-3 in 8-4.



Slika 8-3: Primerjava CO na 2. nadstropju

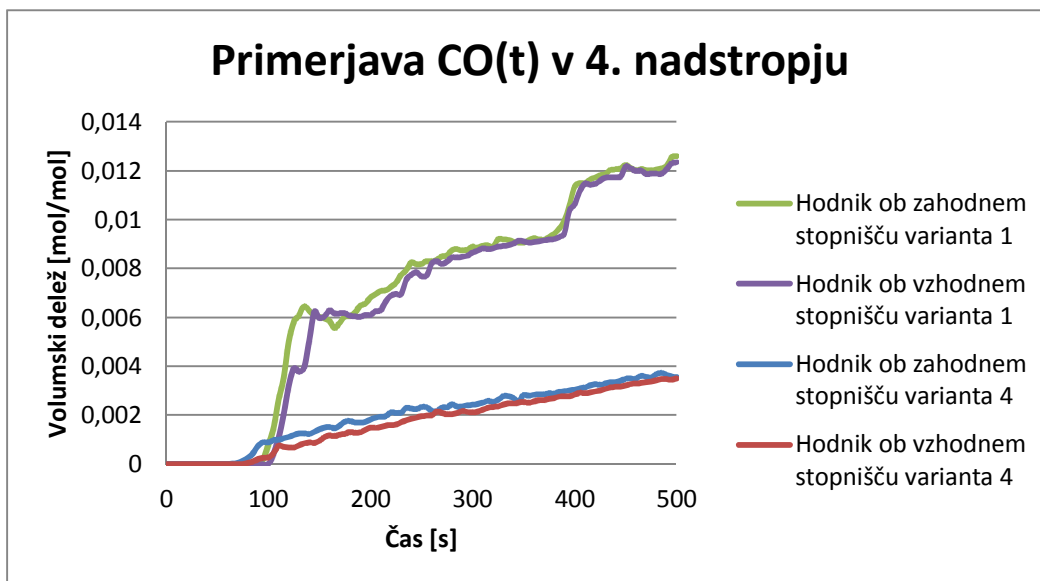
Volumski delež CO v zraku je pri varianti 1 do 350 s nižji od deleža pri varianti 4. Pri varianti 1 se po 300 s začne delež hitro večati, pri varianti 4 pa delež enakomerno narašča in proti koncu simulacije se koncentracija CO že skoraj ustali. Predvidevam, da do opisanih razlik v koncentraciji CO prihaja zaradi intenzitete požara, saj se ta pri varianti 1 razvije v polno razviti požar.



Slika 8-4: Primerjava CO₂ na 2. nadstropju

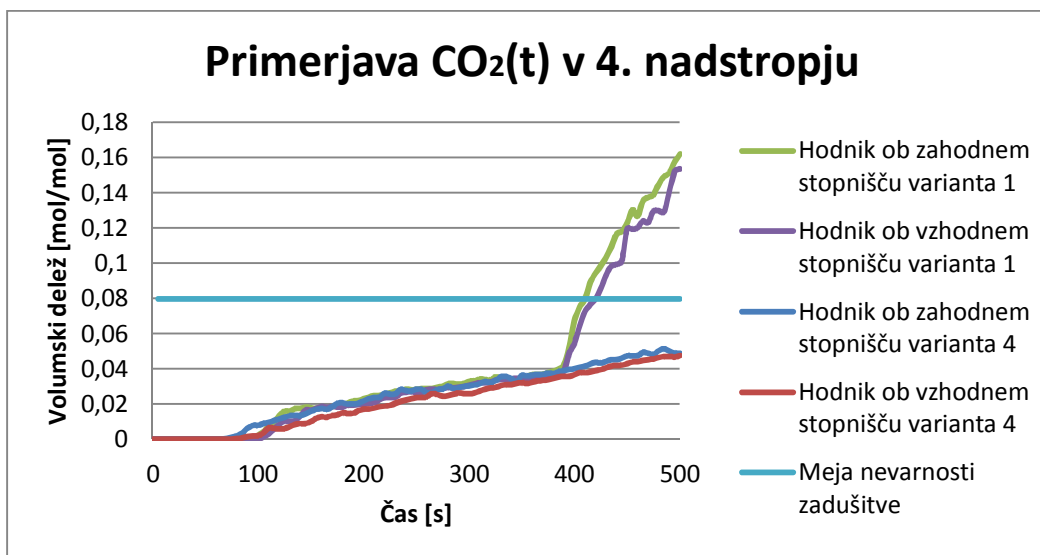
Koncentracija CO₂ v drugem nadstropju je pri varianti 4 višja, vendar se pri varianti 1 po 300 s hitreje vzpenja. Predvidevam, da bi se pri 600 s koncentracija CO₂ pri varianti 1 še povišala in povzpela nad koncentracije, zabeležene pri varianti 4. Pri varianti 4 koncentracija CO₂ narašča enakomerno.

Sedaj bomo pogledali še koncentracijo CO in CO₂ v četrtem nadstropju.



Slika 8-5: Primerjava CO na 4. nadstropju

Na Sliki 8-5 je prikaz koncentracije CO v zraku v četrtem nadstropju. Pri obeh variantah se koncentracija začne višati po 100 s. Pri Varianti 1 se ta hitro poviša na 0,6 odstotni volumski delež, kasneje pa počasneje narašča do 1,2 %. Ta delež je že precej nevaren za uporabnike. Pri varianti 4 pa se delež ne povzpne nad 0,4 %. Ponovno se opazi, da se pri varianti 1 po 400 s dogodi preskok.



Slika 8-6: Primerjava CO₂ na 4. nadstropju

Na Sliki 8-6 lahko opazim, da je delež CO₂ pri obeh variantah do 400 s skoraj identičen, po tem času pa se v primeru variante 1 dogodi preskok. Takrat preide požar v fazo polno razvitega požara. Hkrati je presežena tudi meja nevarnosti zadužitve, zaradi česar so uporabniki v nevarnosti.

Pri varianti 1 imamo močnejši požar, kar posledično prinese tudi višje koncentracije CO in CO₂ v nadstropjih.

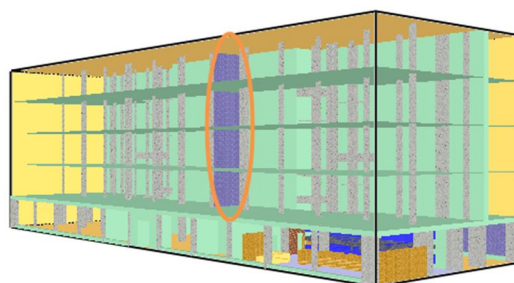
8.7 Primerjava širjenja dima pri varianti 4 in varianti 1 s stekleno steno na hodniku

Pri varianti 4 sem pri poteku dima opazila horizontalno širjenje dima po hodniku (Slika 8-7).



Slika 8-7: Prikaz poteka dima pri varianti 4

Preverila sem možnost izboljšanja varnosti z izvedbo steklene pregrade na sredini hodnika. Pregradna stena vsebuje vrata. S predlaganim ukrepom sem želela preprečiti širjenje dima v horizontalni smeri (Slika 8-8).



Slika 8-8: Steklена stena na hodnikih

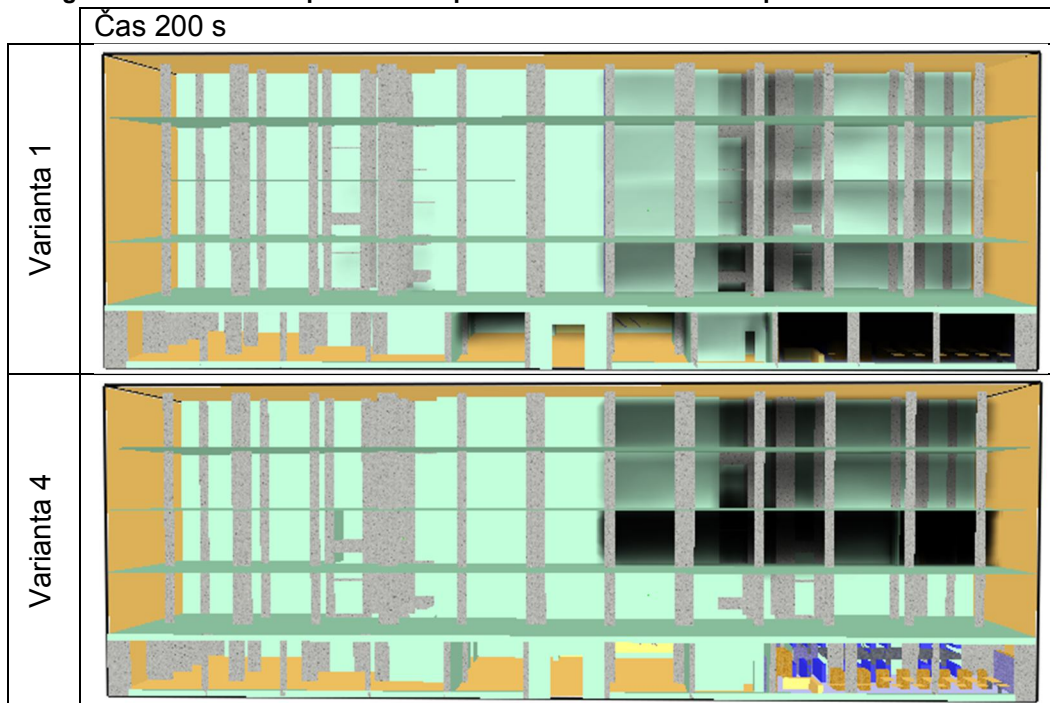
Preverila bom širjenje dima pri obeh požarih ter ocenila, ali je predlagana rešitev smiselna za izboljšanje požarne varnosti v stavbi FGG (Preglednica 8-18).

Preglednica 8-18: Prikaz poteka dima pri varianti 1 in varianti 4 s predelno steno na hodniku po 100 s

	Čas 100 s
Variant 1	
Variant 4	

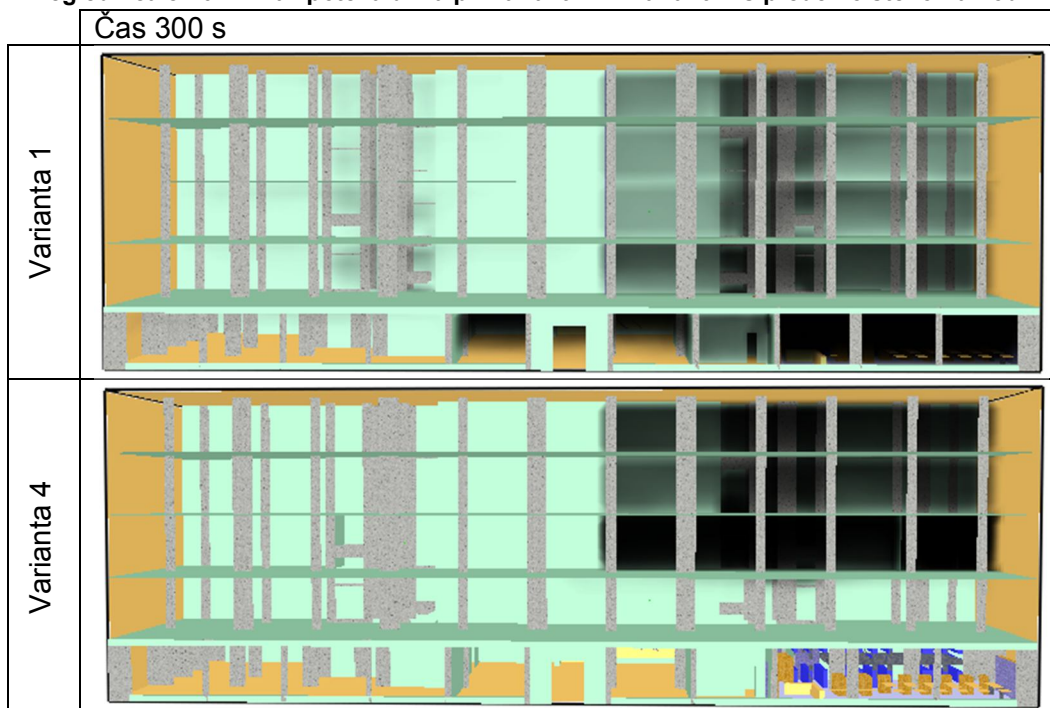
Pri varianti 1 se požar še ni dovolj razvil, da bi lahko opazila, ali je predlagana rešitev dobra. Pri varianti 4 pa se opazi, da se zaradi nove predelne stene dim širi le po zahodnem stopnišču, ostali deli stavbe pa ostanejo nezadimljeni.

Preglednica 8-19: Prikaz poteka dima pri varianti 1 in varianti 4 s predelno steno na hodniku po 200 s



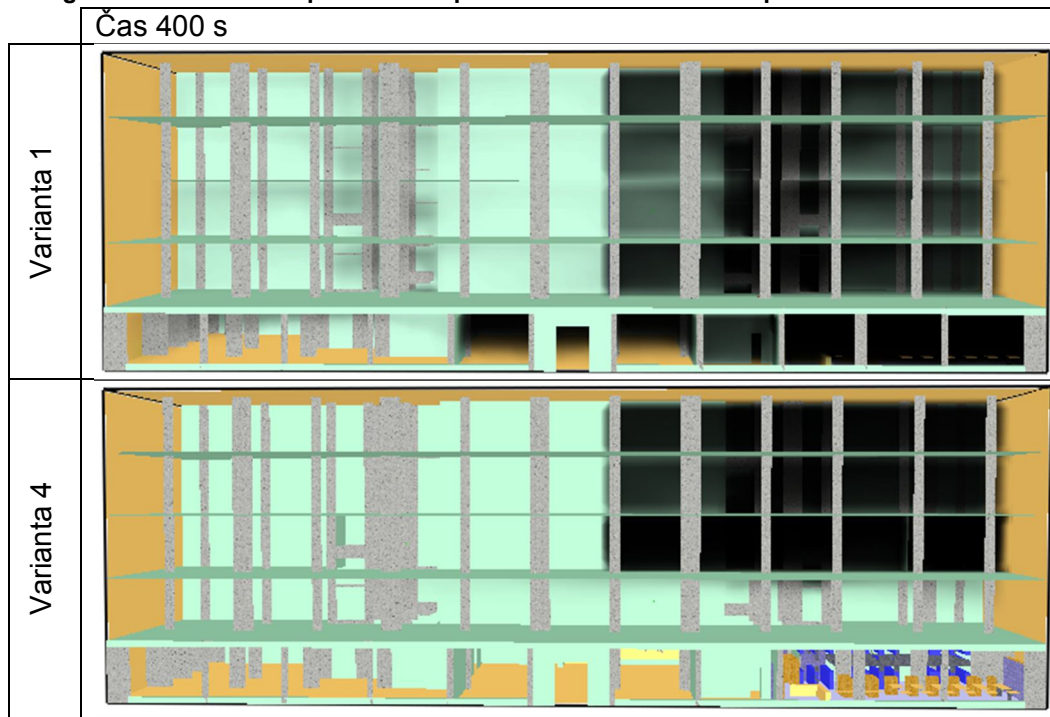
Pri varianti 1 se opazi, da se dim širi tudi po avli, pri varianti 4 pa se dim širi le v zgornja nadstropja (Preglednica 8-19). V prvo nadstropje se po 200 s dim še ni razširil.

Preglednica 8-20: Prikaz poteka dima pri varianti 1 in varianti 4 s predelno steno na hodniku po 300 s



Po 300 s se dim pri varianti 1 širi že po vzhodnem stopnišču, kar bi ogrozilo evakuacijo uporabnikov, medtem ko se pri varianti 4 dim še vedno širi le v zgornja nadstropja (Preglednica 8-20).

Preglednica 8-21: Prikaz poteka dima pri varianti 1 in varianti 4 s predelno steno na hodniku po 400 s



Po 400 s je dim pri varianti 1 v avli že zelo gost. Uporabniki bi težje zapuščali stavbo, hkrati pa bi bilo ogroženo tudi njihovo zdravje. Pri varianti 4 imamo drugačno situacijo. Dim je samo v zahodnem delu zgornjih treh nadstropij. Tukaj bi se uporabniki lahko evakuirali skozi vzhodni del stavbe in ne bi ogrozili svojega zdravja.

Pri požarih v pritličju s stenami na hodnikih ne bi dosegli želenega rezultata. Uporabniki bi se še vedno morali evakuirati skozi zadimljene prostore stavbe, s tem pa bi ogrozili svoje zdravje, v primeru pojava požara v nadstropjih pa bi bile steklene predelne stene na hodnikih ustrezna in smiselna rešitev. Dim se pri takšnem scenariju ne širi v spodnja nadstropja, saj se termično dviga v višja nadstropja.

»Ta stran je namenoma prazna«

9 ZAKLJUČEK

Namen diplomske naloge je bil, da ugotovim realno stanje požarne poti na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. Pri analizi sem si v diplomski nalogi pomagala z računalniškimi programi, ki so namenjeni načrtovanju evakuacijske poti in simulaciji dinamike tekočin. Nesreč ne moremo v naprej predvideti, vendar se lahko nanje ustrezno pripravimo tako, da najhujše možne oblike nesreče vnaprej predvidimo ter temu primerno načrtujemo stavbe.

Pri vsaki nesreči je pomembno, da ostanemo mirni in zbrani, to pa dosežemo z ustreznimi preventivnimi ukrepi in občasnimi evakuacijskimi vajami.

V diplomski nalogi sem obravnavala pet variant poteka požara in spremljala evakuacijo uporabnikov iz stavbe FGG. Med evakuacijo uporabnikov sem spremljala čas trajanja evakuacije, temperaturo zraka v prostorih, širjenje dima po stavbi in koncentracijo CO in CO₂ v določenih nadstropjih.

Pri prvi varianti se požar prične v knjižnici. Ko steklena stena med knjižnico in avlo počí, se požar razširi na stopnišče in nato po celotni stavbi. Ko se dim razširi po stavbi, se povečajo koncentracije CO in CO₂ v zraku, postopoma pa se po stavbi razširi toplota. Najbolj kritično je četrto nadstropje, saj imajo tam uporabniki najdaljšo evakuacijsko pot. Zaradi širjenja dima v zgornja nadstropja, kajti stopnišče deluje kot dimnik, je v tem nadstropju tudi največja koncentracija dimnih plinov. Pri tej varianti pridem do zaključka, da v primeru pričetka požara v pritličnih prostorih dim zajame celotno stavbo in ogroža evakuacijo uporabnikov. Obstoječa evakuacija ni primerna in jo je možno in potrebno z izboljšavami prilagoditi zahtevam TSG1 [3].

V drugi varianti sta vzrok in mesto požara enaka kot pri prvi, vendar sem stopnišče prilagodila tehničnim smernicam. Na stopnišču med evakuacijo nastane ozko grlo, saj se nanj priključujejo uporabniki iz vseh nadstropij. Stopnišče je v tej varianti s stekleno steno ločeno od hodnika oziroma ostalih prostorov. TSG1 [3] zahteva, da je na zasilni izhod nameščen neposredno na stopnišče, v kolikor pa tega ni, je dovoljeno povezati stopnišče in zasilni izhod z zaščitenim hodnikom. V našem primeru na hodniku ni zasilnega izhoda, zato je bilo treba najti drugo rešitev. Zahteve TSG1 [3] sem zadovoljila tako, da sem evakuacijsko pot izpeljala skozi kletne prostore stavbe. V tej varianti se je evakuacijski čas podaljšal v primeru evakuacijske vaje, vendar smo uporabnikom zagotovili varen izhod iz stavbe.

Tretja varianta je po izvedbi enaka drugi, le da so na strop stopnišča dodane protipožarne lopute, ki se ob zaznavi dima odprejo. Tudi kraj in vzrok požara sta enaka kot pri varianti 1, vendar se zaradi porušitve jeklenega podesta v knjižnici razbije steklo, ki ločuje hodnik in knjižnico. Skozi razbito steklo se razširi dim, ta pa sproži signal in posledično se lopute na stropu stopnišča odprejo. V tem primeru nam stopnišče služi kot dimnik za odvajanje dima. Zaradi pritoka svežega zraka se požar širi hitreje, s tem se povišajo tudi temperature. Povišanje temperature lahko poškoduje konstrukcijske elemente stavbe, vendar omogoča varen umik uporabnikov po preostalem stopnišču. Pri tej varianti sem tudi simulirala potek požara, če stopnišče ni zastekljeno. Ugotovila sem, da samo lopute ne izboljšajo prvotnega stanja, ampak ga celo poslabšajo, saj so temperature v primerjavi s prvo varianto višje.

V četrti varianti se požar začne v kuhinji, ki se nahaja v drugem nadstropju. Za takšno varianto sem se odločila zato, ker sem želela preveriti, ali se v primeru požara v višjem nadstropju vpliv le-tega razširi tudi v nižja nadstropja. Pri tej varianti se požar ne razvije do polno razvitega požara, saj v kuhinji ni veliko gorljivih materialov. Ker je kuhar pozabil odprta vrata, se dim najprej razširi po drugem nadstropju in zahodnem stopnišču. Dim počasi zavzame tudi tretje in četrto nadstropje, zaradi kroženja zraka pa pride del dima tudi v prvo nadstropje. V tej varianti so najbolj ogroženi uporabniki v drugem, tretjem in četrtem nadstropju. Zaradi horizontalne širitve dima sem kot izboljšavo na sredi hodnika na vseh nadstropjih dodala stekleno predelno steno z vrati. S to izboljšavo sem dosegla omejitev širjenja dima le na območje zahodnega dela drugega, tretjega in četrtega nadstropja, ostali prostori so ostali nezadimljeni in normalno prehodni. Ob preveritvi učinka te rešitve v primeru požara, simuliranega v prvi varianti, pa se izkaže, da bi bila takšna rešitev dokaj neučinkovita, saj bi se požar skozi pritličje in nato stopnišče razširil tudi po vzhodnem delu stavbe.

V TSG1 [3] je posebno poglavje namenjeno tudi evakuiranju uporabnikov iz velikih prostorov, kar je na fakulteti pričakovati. V tej varianti sem za mesto opazovanja izbrala največjo predavalnico na fakulteti. Opazovana predavalnica je izvedena tako, da odgovarja zahtevam TSG1 [3] in omogoča uporabnikom varen umik v primeru požara.

V diplomski nalogi sem prišla do zaključka, da je trenutno predvidena evakuacijska pot v stavbi FGG pomanjkljiva oziroma bi jo bilo možno izboljšati. S pomočjo simulacij se je izkazalo, da bi bila najbolj smiselna in najenostavnejše izvedljiva rešitev zasteklitev stopnišč. Ostali preverjeni ukrepi so se izkazali kot učinkoviti, vendar le ob določenih pogojih.

VIRI

- [1] Zakon o varstvu pred požarom. 1993. Uradni list RS št. 71/1993.
- [2] Pravilnik o požarni varnosti v stavbah. 2004. Uradni list RS št. 31-1359/2004:3752.
- [3] Tehnična smernica TSG-1-001:2010 Požarna varnost v stavbah. 2010. Ministrstvo za okolje in prostor: 6-8 in 36-48 str.
- [4] Krušec, I. 2001. Osnove varstva pred požarom. Ljubljana, Gasilska zveza Slovenije: 103-128 str.
- [5] Priročnik za gasilce, teorija. 1989. Ljubljana, Gasilska zveza Slovenije: 179-212 str.
- [6] Tomšič, M. 2010. Požar in nevarne snovi. Ljubljana, Gasilska zveza Slovenije.
http://www.pgd-racna.si/files/ntg/pozar_in_nevarne_snovi.pdf
(Pridobljeno 9. 10. 2013.)
- [7] Gradivo (delno), 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 (Pridobljeno 8. 11. 2013.)
- [8] Pajek, 2013. L. Požarna zaščita betonskih konstrukcij: 3-6 str.
http://www.promat.si/str_pris/po%C5%BEarna%20za%C5%A1%C4%8Dita%20betonskih%20konstrukcij.pdf (Pridobljeno 1. 12. 2013.)
- [9] Jeklene konstrukcije v požaru in njihova zaščita s požarnimi ploščami. 2013.: 1-2 str.
http://www.promat.si/str_pris/Po%C5%BEarna%20za%C5%A1%C4%8Dita%20jeklenih%20konstrukcij%20s%20plo%C5%A1%C4%8Dami.pdf (Pridobljeno 1. 12. 2013.)
- [10] Požarna zaščita jeklenih konstrukcij s premazi. 2013.
http://www.promat.si/str_pris/Po%C5%BEarna%20za%C5%A1%C4%8Dita%20jeklenih%20konstrukcij%20s%20premazom.pdf (Pridobljeno 1. 12. 2013.)
- [11] Pajek, L. Les kot gradbeni element v požaru. 2013.
http://www.promat.si/str_pris/Les%20kot%20gradbeni%20element%20v%20po%C5%BEaru.pdf (Pridobljeno 1. 12. 2013.)
- [12] Pravilnikom o metodologiji za ugotavljanje ocene požarne ogroženosti. 2004. Uradni list RS št. 31/2004.
- [13] Jerončič, Š. 2013. Požarna analiza osnovne šole Vič. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Odd. Za gradbeništvo (samozaložba Š. Jerončič): 8-11 str.
- [14] Jug, A. 2013. Evakuacija – splošno o evakuaciji.
www.sos112.si/slo/tdocs/9_jug.ppt (Pridobljeno 8. 12. 2013.)
- [15] European Guideline, Fire safety engineering concerning evacuation from buildings. 2009.
http://www.cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA_E_Guideline_No_19_2009.pdf
(Pridobljeno 9. 12. 2013.)
- [16] Zakona o graditvi objektov. 2002. Uradni list RS, št. 110/2002.

- [17] Candy, M.Y., Chow, W.K. 2006. A Brief review on the time line concept in evacuation: 4-7 str.
http://www.bse.polyu.edu.hk/researchCentre/Fire_Engineering/summary_of_output/journal/IJAS/V7/p1-13.pdf (Pridobljeno 9. 12. 2013.)
- [18] Zupan, M. 2009. Požarni red, požarni načrt, načrtovanje evakuacije: 4-5 str.
<http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2009/176.pdf> (Pridobljeno 11. 1. 2014.)
- [19] Fire dynamic simulator guide. 2013.
http://www.thunderheadeng.com/wp-content/uploads/2013/08/FDS_User_Guide.pdf
(Pridobljeno 29. 10. 2013.)
- [20] Smokeview – A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation. 2013.
http://www.thunderheadeng.com/wp-content/uploads/2013/08/SMV_User_Guide.pdf
(Pridobljeno 29. 10. 2013.)
- [21] Priporočnik za uporabo, Nist Fire Dynamic Simulator in Smokeview. 2012.
<http://kske.fgg.uni-lj.si/programi/NIST%20FDS%20&%20SMOKEVIEW%20v5.5.3.pdf>
(Pridobljeno 29. 10. 2013.)
- [22] Hriberšek, M., Škerget, L. 2005. Računalniška dinamika tekočin, Maribor, Fakulteta za strojništvo: 7-8 str.
http://iepoi.uni-mb.si/hribersek/Stud_gradivo/cfd-temp.pdf (Pridobljeno 28. 1. 2014.)
- [23] Mendinger, J. 2010. Računalniška dinamika tekočin (pomožno gradivo za predavanja), Ljubljana, Fakulteta za strojništvo, Katedra za dinamiko fluidov in termodinamiko: 77-98 str.
- [24] Istenič, R. 2005. Upodabljanje toka tekočin, Maribor, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Odd. Programske opreme (samozaložba R. Istenič): 9 str.
- [25] PyroSim User Manual. 2013.
<http://www.thunderheadeng.com/pyrosim/> (Pridobljeno 29. 10. 2013.)
- [26] Pathfinder User Manual. 2013.
<http://www.thunderheadeng.com/pathfinder/> (Pridobljeno 29. 10. 2013.)
- [26] Repše, N. 2012. Požar v knjižnici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Odd. Za gradbeništvo (samozaložba N. Repše): 32 str.
- [27] Reflex. 2014.
<http://www.reflex.si/> (Pridobljeno 18. 2. 2014.)
- [28] Mik-Celje. 2014.
<http://www.mik-ce.si> (Pridobljeno 18. 2. 2014.)
- [29] Klemenčič, 2014. S. Požarne lopute, Zahteve za vsebino poročila o pregledu in preizkusu vgrajenega sistem APZ, Del-1 Lastnosti požarnih loput.
http://www.sos112.si/slo/tdocs/1109_klemencic.pdf (Pridobljeno 18. 2. 2014.)