

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:

Repše, N. 2012. Požar v knjižnici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Krainer, A., somentor Košir, M.): 86 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:

Repše, N. 2012. Požar v knjižnici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Krainer, A., co-supervisor Košir, M.): 86 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

Kandidat:

NEJC REPŠE

**POŽAR V KNJIŽNICI FAKULTETE ZA
GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO**

Diplomska naloga št.: 3269/KS

**FIRE IN THE LIBRARY OF FACULTY OF CIVIL AND
GEODETIC ENGINEERING**

Graduation thesis No.: 3269/KS

Mentor:
prof. dr. Aleš Krainer

Predsednik komisije:
izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:
doc. dr. Mitja Košir

Član komisije:
prof. dr. Janez Žmavc

Ljubljana, 20. 12. 2012

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani NEJC REPŠE izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Požar v knjižnici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo«.

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

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

Ljubljana, 07.12.2012

Nejc Repše

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	614.84:624:727.3(043.2)
Avtor:	Nejc Repše
Mentor:	prof. dr. Aleš Krainer
Somentor:	doc. dr. Mitja Košir
Naslov:	Požar v knjižnici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	86 str., 14 pregl., 73 sl.
Ključne besede:	požar, simulacija požara, temperatura, saje, vidljivost, porušitev, gorenje, požarna odpornost, varnost v primeru požara, koncentracija dima, požarna varnost

Izvleček

Požar je kompleksen pojav, ki ga je v naravi nemogoče predvideti. Zato je smiselno, da si pomagamo z računalniškimi programi, ki omogočajo oceno razvijanja požara in stranskih produktov, ki nastajajo med gorenjem. Velikokrat se preiskovalci nesreč zatekajo k simuliranju situacij, ki jim omogoči vpogled v vzroke nesreče in v to, kaj je potrebno pri zasnovah materialov ali prostorov spremeniti. V prvem delu diplomske naloge sem povzel osnove in produkte gorenja. Predstavil sem tipičen razvoj požara v objektu in posamezne faze požara. Nato sem opisal zakonodajo, ki ureja varstvo pred požarom in tehnično smernico o požarni varnosti v stavbah. Da je požar v objektu možen, morajo biti izpolnjeni trije ključni pogoji. V prostoru morajo biti prisotni zrak, toplota in dovolj goriva. V drugem delu diplomske naloge sem modeliral 5 različnih scenarijev gorenja knjižnice na fakulteti s programskim paketom FDS in Smokeview. Z različnimi scenariji sem hotel prikazati razvoj požara v odvisnosti od lokacije požara in potek požara glede na spremenljive pogoje, ki jim je požar podvržen. Na osnovi rezultatov računalniške simulacije sem naredil primerjavo med dvema skupinama rezultatov glede na mesto vžiga. V zadnjem računskem primeru sem simuliral tudi gašenje požara s pomočjo plina CO₂, ki pride v poštev pri prostorih z velikim požarnim tveganjem in v prostorih z občutljivo opremo. Na osnovi rezultatov sem pokazal, kako bi lahko izboljšali požarno varnost fakultete in evakuacijsko pot v primeru požara v knjižnici. Ugotovil sem, da je požar izredno nepredvidljiv in da ima posamezna spremenljivka v začetni fazi požara velik vpliv na njegov razvoj. Obenem sem spoznal, da je lahko gašenje knjižnice s CO₂ zelo učinkovito, saj s tem ne poškodujemo opreme. Posebno pozornost pa je potrebno nameniti zakasnitvi gašenja, da imajo osebe dovolj časa za varen umik iz prostora.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 614.84:624:727.3(043.2)
Author: Nejc Repše
Supervisor: prof. Aleš Krainer, Ph. D.
Co-supervisor: assist. prof. Mitja Košir, Ph. D.
Title: Fire in the library of Faculty of Civil and Geodetic engineering
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 86 p., 14 tab., 73 fig.
Key words: fire, fire simulation, temperature, soot, visibility, failure, burning, fire resistance, safety in case of fire, fire safety, smoke concentrations

Abstract:

Fire is a complex phenomenon that is naturally impossible to predict. Therefore it makes sense that we use computer software that enables an assessment of development of the fire and by-products generated during combustion. Accident investigators often resort to simulation of situations that give them the insight into the causes of the accident and what needs to be changed in design of materials or buildings. In the first part of the thesis, I summarized the fundamentals and the products of combustion. I presented the development of a typical fire in a facility and individual stages of fire. I then described the legislation governing fire protection and technical guidance on fire safety in the buildings. In order for a fire in the facility to be possible, three key conditions must be met. Heat, air and enough fuel must be present in the room. In the second part of the thesis, I modeled five different scenarios of burning in the faculty library with software package FDS and Smokeview. With a variety of scenarios I wanted to show the development of fire depending on the location of fire and the course of fire according to the changing conditions to which it is subjected. Based on the results of computer simulation, I did a comparison between the two sets of results according to the location of ignition. In the last numerical example, I simulated fire fighting using CO₂ gas, which should be considered in areas of high fire risk and in areas with sensitive equipment. Based on the results, I showed how we can improve the fire safety of the faculty and the evacuation route in case of fire in the library. I found out that the fire is very unpredictable and that each variable in the initial stage of the fire has a major influence on its development. At the same time, I realized that fire fighting with CO₂ in the library can be very effective, as it does not damage the equipment, but we need to ensure sufficient time for safe evacuation of people from the area.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Alešu Krainerju in somentorju doc. dr. Mitji Košir za ves naklonjen čas in strokovno pomoč.

Rad bi se zahvalil moji Urški, ki me je skozi celotno obdobje mojega študija in pri pisanju diplome spodbujala ter mi pomagala povsod, kjer je lahko.

Zahvaljujem se tudi staršema, bratu in sestri za vso podporo tako pri diplomi kot tudi pri celotnem študiju.

1	UVOD	1
2	OSNOVE GORENJA	2
2.1	Trikotnik gorenja	2
2.2	Širjenje požara	3
2.2.1	Gorenje s plameni.....	3
2.2.1.1	Predhodno premešani plameni	3
2.2.1.2	Difuzijski plameni	4
2.2.2	Gorenje z žarjenjem / tlenjem	4
2.2.2.1	Piroliza lesa	5
2.2.3	Gorenje s prenosom toplote.....	6
2.2.3.1	Konvekcija ali vzgon.....	7
2.2.3.2	Radiacija ali sevanje.....	7
2.2.3.3	Kondukcija ali prevodnost	7
2.3	Produkti gorenja	8
2.3.1	Dim.....	8
2.3.2	Ogljikov monoksid.....	9
2.3.3	Ogljikov dioksid	9
2.3.4	Korozivni produkti	9
3	POŽARI V OBJEKTIH	10
3.1	Razvoj požara v objektu	11
3.1.1	Faza vžiga.....	11
3.1.2	Faza rastočega požara.....	11
3.1.3	Faza razvitega požara	11
3.1.4	Faza pojemanja požara	11
3.2	Faktorji, ki vplivajo na intenziteto požara v stavbah	12
3.2.1	Velikost površine gorljivih materialov	12
3.2.2	Potreba po kisiku in dovod zraka	13
3.2.3	Odvajanje toplote	13
3.3	Vpliv požarnih lastnosti gradbenih materialov na širjenje požara	13
3.4	Požarna odpornost gradbenih elementov in konstrukcij	14
4	VARNOST V PRIMERU POŽARA – ZAKONODAJA	15

4.1	Zakon o varstvu pred požarom	15
4.2	Uredba (EU) št. 305/2011	15
4.2.1	Mehanska odpornost in stabilnost	16
4.2.2	Varnost pri požaru	16
4.2.3	Higiena, zdravje in okolje.....	16
4.2.4	Varnost in dostopnost pri uporabi	16
4.2.5	Zaščita pred hrupom	17
4.2.6	Varčevanje z energijo in ohranjanje toplote	17
4.2.7	Trajnostna raba naravnih virov	17
4.3	Osnovna zahteva št. 2 – Varnost pri požaru	17
4.3.1	Namen in področja delovanja	17
4.3.2	Razlaga požarnovarnostnih zadev	18
4.3.3	Inženirski pristop na področju varnosti	18
4.3.4	Preverjanje izpolnjevanja osnovnih zahtev	18
4.3.5	Tehnične specifikacije in navodila za pridobitev evropskega tehničnega soglasja	19
4.3.6	Pogoji za objekte in dele objektov.....	20
4.3.6.1	Nosilna konstrukcija.....	20
4.3.6.2	Omejevanje nastajanja in širjenje požara in dima znotraj objektov	21
4.3.6.3	Omejevanje širjenja požara na sosednje objekte	21
4.3.6.4	Evakuacija prebivalcev.....	22
4.3.6.5	Varnost reševalnih ekip	22
4.3.7	Pogoji za proizvode	22
4.3.7.1	Izdelki in njihove lastnosti, ki zadevajo bistveno zahtevo.....	22
4.3.7.2	Izdelki podvrženi zahtevam požarne varnosti	23
4.4	Osnovna zahteva št. 3 – Higiena, zdravje in okolje	24
4.4.1	Namen in področje delovanja	24
4.4.2	Razlaga osnovne zahteve »higiena, zdravje in okolje«	24
4.4.3	Tehnične specifikacije	24
4.5	Tehnična smernica TSG-1-001:2010.....	25
4.5.1	Širjenje požara na sosednje objekte.....	25
4.5.2	Nosilnost konstrukcije in širjenje požara po stavbi	26
4.5.3	Evakuacijske poti in sistemi za javljanje in alarmiranje.....	26
4.5.4	Naprave za gašenje in dostop gasilcev	26
4.6	Preskušanje požarnih lastnosti materialov	27

5	PROGRAMSKI PAKET FIRE DYNAMICS SIMULATOR	28
6	RAČUNSKI MODEL	29
6.1	Konstruktivski sklopi	29
6.1.1	Zunanja stena	29
6.1.2	Medetažna konstrukcija	29
6.1.3	Predelna stena	29
6.2	Oprema	29
6.3	Opis osnovnega računskega modela	30
6.4	Zasnova simulacije	31
6.4.1	Porušitev podesta in razbitje okenskega stekla	31
6.5	Scenarij 1	32
6.5.1	Rezultati	33
6.6	Scenarij 2	36
6.6.1	Opis računskega modela	36
6.6.2	Rezultati	37
6.7	Scenarij 3	42
6.7.1	Opis računskega modela	44
6.7.2	Rezultati	44
6.8	Scenarij 4	48
6.8.1	Opis računskega modela	49
6.8.2	Rezultati	50
6.9	Scenarij 5	54
6.9.1	Opis računskega modela	54
6.9.2	Rezultati	55
7	PRIMERJAVA REZULTATOV	59
7.1	Primerjava rezultatov prve skupine	59
7.1.1	Temperatura	59
7.1.2	Kisik	61
7.1.3	Ogljikov monoksid	63
7.1.4	Ogljikov dioksid	64
7.1.5	Saje	64
7.1.6	Vidljivost	66

7.2	Primerjava rezultatov druge skupine	67
7.2.1	Temperatura.....	67
7.2.2	Kisik	70
7.2.3	Ogljikov monoksid	72
7.2.4	Ogljikov dioksid	73
7.2.5	Saje	74
7.2.6	Vidljivost	77
8	ZAKLJUČEK	78

KAZALO SLIK

Slika 2-1: Trikotnik gorenja	2
Slika 2-2: Modri plamen pri popolnem gorenju	3
Slika 2-3: Rumeni plamen pri difuzijskem gorenju	4
Slika 2-4: Piroliza lesa	5
Slika 3-1: Vrsta požarov v Sloveniji v letu 2011	10
Slika 3-2: Vzroki požarov glede na požare v objektih v Sloveniji	10
Slika 3-3: Časovni potek tipičnega požara v objektu	12
Slika 3-4: Vžig trdnih materialov	13
Slika 5-1: Model knjižnice	31
Slika 5-2: Porušitev jeklenega podesta pri temperaturni obremenitvi	32
Slika 5-3: Tloris knjižnice z vrisanim koordinatnem sistemom	33
Slika 5-4: Primerjava temperatur po višini na merilnem mestu 1	34
Slika 5-5: Primerjava temperatur po višini na merilnem mestu 3	34
Slika 5-6: Vidljivost v knjižnici	35
Slika 5-7: Tloris pritličja	36
Slika 5-8: Pogledi računskega modela	37
Slika 5-9: Potek temperature na merilnem mestu 1	38
Slika 5-10: Trajektorije gibanja zraka med podesti	40
Slika 5-11: Trajektorije gibanja zraka na stopnišču s skalo	41
Slika 5-12: Primerjava temperatur v prostoru pred in po poružitvi podesta	41
Slika 5-13: Primerjava točkovnih temperatur med posameznimi prostori	42
Slika 5-14: Mesto vžiga	43
Slika 5-15: Tloris pritličja	43
Slika 5-16: Pogledi računskega modela	44
Slika 5-17: Hitrost porabe goriva	45
Slika 5-18: Hitrost gorenja pri računskem primeru 3	46
Slika 5-19: Primerjava temperatur na stopnišču	46
Slika 5-20: Izoterme, ki predstavljata mejo opeklin in temperaturo samovžiga knjig	47
Slika 5-21: Primerjava temperatur po višini na merilnem mestu 6	48
Slika 5-22: Tloris pritličja	48
Slika 5-23: Pogledi računskega modela	49
Slika 5-24: Hitrost gorenja pri računskem primeru 4	51
Slika 5-25: Prikaz temperatur po fakulteti za različna časovna obdobja	52
Slika 5-26: Primerjava temperatur po višini na merilnem mestu 6	53
Slika 5-27: Tokovnice gibanja zraka na stopniščnem delu zgradbe	53

Slika 5-28: Tloris računskega modela 5	54
Slika 5-29: Pogledi računskega modela.....	55
Slika 5-30: Primerjava temperatur po knjižnici.....	55
Slika 5-31: Hitrost gorenja pri računskem primeru 5	56
Slika 5-32: Prikaz zalogovnika CO ₂ in vpihovalnih šob	57
Slika 5-33: Koncentracija CO ₂ v knjižnici	57
Slika 5-34: Primerjava CO ₂ po višini na merilnem mestu 3.....	58
Slika 6-1: Primer porušitve jeklenih elementov v knjižnici	59
Slika 6-2: Primerjava temperatur na merilnem mestu 1 za prvi in drugi scenarij	60
Slika 6-3: Primerjava temperatur v knjižnici za prvi in drugi scenarij.....	60
Slika 6-4: Primerjava temperatur na merilnim mestu 5.....	61
Slika 6-5: Primerjava količine kisika po višini na merilnem mestu 1 za prvi in drugi scenarij	62
Slika 6-6: Primerjava količine kisika po višina na merilnem mestu 1 za prvi in drugi scenarij.....	62
Slika 6-7: Primerjava CO po višini na merilnem mestu 2 za prvi in drugi scenarij	63
Slika 6-8: Primerjava CO po višini na merilnem mestu 5 za prvi in drugi scenarij	63
Slika 6-9: Količina CO ₂ po višini na merilnem mestu 5 za prvi in drugi scenarij.....	64
Slika 6-10: Primerjava količine saj na merilnem mestu 4 pri prvem in drugem scenariju.....	65
Slika 6-11: Primerjava količine saj na merilnem mestu 5 pri prvem in drugem scenariju.....	65
Slika 6-12: Primerjava produktov gorenja pri prvem in drugem scenariju	66
Slika 6-13: Primerjava vidljivosti na merilnem mestu 4 pri prvem in drugem scenariju.....	66
Slika 6-14: Primerjava temperatur po višini na merilnem mestu 3 za tretji, četrti in peti scenarij.....	67
Slika 6-15: Primerjava temperatur po višini na merilnem mestu 6 za tretji, četrti in peti scenarij.....	68
Slika 6-16: Primerjava temperatur po fakulteti za tretji in četrti scenarij.....	69
Slika 6-17: Primerjava povprečnih temperatur knjižnice za tretji, četrti in peti scenarij	70
Slika 6-18: Primerjava O ₂ po višini na merilnem mestu 2 za tretji, četrti in peti scenarij.....	71
Slika 6-19: Primerjava koncentracije O ₂ višini na merilnem mestu 6 za tretji, četrti in peti scenarij ...	71
Slika 6-20: Primerjava CO po višini na merilnem mestu 2 za tretji, četrti in peti scenarij	72
Slika 6-21: Primerjava CO po višini na merilnem mestu 6 za tretji, četrti in peti scenarij	73
Slika 6-22: Primerjava CO ₂ po višini na merilnem mestu 1 za tretji, četrti in peti scenarij	73
Slika 6-23: Primerjava CO ₂ po višini na merilnem mestu 6 za tretji, četrti in peti scenarij	74
Slika 6-24: Primerjava saj po višini na merilnem mestu 4 za tretji, četrti in peti scenarij	75
Slika 6-25: Primerjava saj po višini na merilnem mestu 6 za tretji, četrti in peti scenarij	76
Slika 6-26: Produkti gorenja za drugo skupino rezultatov	77
Slika 6-27: Primerjava vidljivosti po višini na merilnem mestu 2 za tretji, četrti in peti scenarij.....	77

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 2-1: Sestava plinskih produktov pri pirolizi lesa v odvisnosti od temperature.....	6
Preglednica 4-1: Korelacija med razredi in nastanek preskoka pri SBI testu	27
Preglednica 5-1: Sestava zunanje stene.....	29
Preglednica 5-2: Sestava medetažne konstrukcije.....	29
Preglednica 5-3: Sestava predelne stene	29
Preglednica 5-4: Tabela uporabljenih materialov	30
Preglednica 5-5: Legenda.....	33
Preglednica 5-6: Koordinate točkovnih merilnih mest.....	33
Preglednica 5-7: Potek požara.....	35
Preglednica 5-8: Legenda.....	36
Preglednica 5-9: Potek požara.....	38
Preglednica 5-10: Legenda.....	43
Preglednica 5-11: Legenda.....	49
Preglednica 5-12: Legenda.....	54

KRATICE

CEN	Evropski odbor za standardizacijo
CPD	Direktiva o gradbenih proizvodih
EN	Evropski standard
FDS	Fire Dynamics Simulator
FIGRA	Hitrost razvoja požara
NIST	Ameriški inštitut za standardizacijo
SBI	Sobni kotni preizkus
SIST	Slovenski inštitut za standardizacijo
SMOGRA	Hitrost sproščanja dima
THR	Celotna sproščena toplota
TSG	Tehnična smernica
TSP	Celotna količina dima
UL RS	Uradni list Republike Slovenije
ZGPro	Zakon o gradbenih proizvodih
ZVPoz	Zakon o varstvu pred požarom

#

1 UVOD

Strela, ki trešči v drevo, ali žareča lava iz vulkana lahko v nekaj sekundah zanetita ogenj. Verjetno so ljudje v predzgodovinskih časih odkrili ogenj kot posledico takih ali podobnih naravnih pojavov. Kasneje so se sami naučili prižigati ogenj, tako da so drgnili dva kosa lesa ali pa so ukresali iskro s kresilnim kamnom. Danes uporabljamo ogenj za kuho hrane, z njim ogrevamo stanovanja, daje nam energijo za delovanje mnogih strojev v industriji in v redkih primerih ga uporabljamo tudi kot svetilo. Ogenj, ki ga ne moremo več nadzorovati, je lahko zelo nevaren, saj vsako leto plameni v svetu ubijejo ali poškodujejo na tisoče ljudi. Tako je požar vsako gorenje, ki ni pod nadzorom, ki ogroža življenja ali povzroča materialno škodo v naravi ali urbanem okolju.

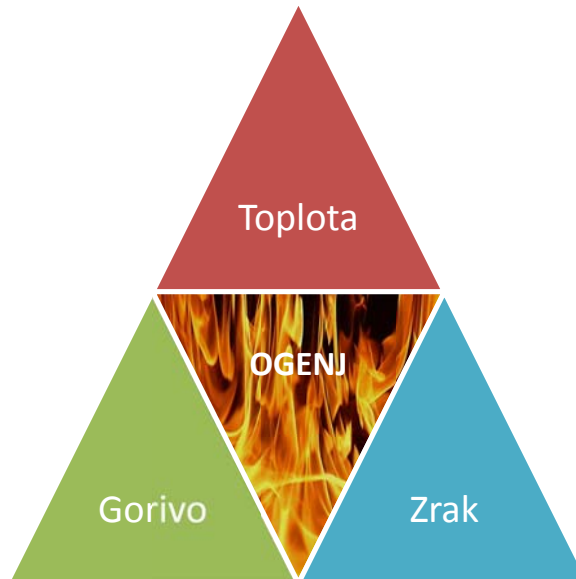
Gorenje je eksotermna kemijska reakcija med gorljivo snovjo in kisikom, vendar mora biti gorljivi material segret na vžigno temperaturo. Tako lahko pride do gorenja zaradi samodejnega vžiga gorljivega materiala ali zaradi zunanega vira vžiga. Produkt vsakega gorenja je večja količina toplote skupaj s stranskimi produkti kot so dim, saje, strupeni plini in plameni. Požar je reakcija, ki poteka zelo hitro in v nekaj trenutkih se lahko iz majhnega ognja razvije velik požar. Dandanes je zaradi visokih temperatur, dolgotrajne suše in malomarnosti ljudi velika verjetnost samovžiga v okolju in objektih. Samovžig je pojav, kjer se gorljiva snov zaradi dviga temperature vžge brez zunanega vira vžiga. Samovžig nastane, ko temperatura gorljivih materialov preseže temperaturo samovžiga. Nastanek požara zaradi samovžiga je največkrat nepričakovan, pogosto na nedostopnem ali nenaseljenem mestu in je zato velikokrat pozno odkrit. To vodi do posledic, da so požari že v polnem razvoju, preden se začnejo gasiti.

Glavni cilj diplomske naloge je ugotoviti kakšne so posledice morebitnega požara v knjižnici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo za predpostavljene scenarije in primerjava rezultatov med različnimi računskimi modeli. Predpostavljenih je pet realističnih scenarijev, ki so razdeljeni v dve skupini. Prvo skupino tvorita scenarija, kjer se požar zgodi med knjižnimi policami, ki so bližje sredini prostora, medtem ko drugo skupino tvorijo scenariji, ko se požar zgodi bližje oknu, ki meji na stopnišče fakultete. Bistvo diplomske naloge je spoznati razvoj požara in ostalih stranskih produktov ter ugotoviti kakšen vpliv imajo na stavbo in okoliške materiale. Za simuliranje požara je uporabljen programski paket Fire Dynamics Simulator, ki pokriva široki spekter simuliranja različnih tipov požarov in bogat nabor funkcij, ki omogoča primerjavo rezultatov. Izbira knjižnice kot prostora, kjer se zgodi požar ni naključje, ker se v njej nahaja velika količina papirja, ki predstavlja gorivo. V grobem je tematika razdeljena na tri sklope. V prvem sklopu so predstavljene osnove gorenja in razvoj požara in produkti, ki se sproščajo v procesu gorenja. V drugem sklopu je predstavljena zakonodaja, ki velja v Sloveniji in tehniška smernica TSG-1-001:2010, ki opisuje požarno varnost v stavbah. Nato pa je predstavljenih 5 računskih primerov z opisom scenarija in analiza rezultatov, kar predstavlja tretji sklop diplomske naloge.

2 OSNOVE GORENJA

2.1 Trikotnik gorenja

Do gorenja lahko pride le, če so istočasno v zadostnih količinah oz. koncentracijah prisotni gorljiv material, oksidacijsko sredstvo ter vir toplote oziroma vžiga. Gorivo, kisik in toplota so trije nujno potrebni elementi, brez katerih ni gorenja. Prej omenjene elemente najlažje predstavimo s t.i. trikotnikom gorenja.



Slika 2-1: Trikotnik gorenja

Gorivo so vsi materiali, ki zaradi svoje kemijske sestave lahko oksidirajo. To so predvsem tisti materiali, ki jih tvorita ogljik in vodik. Večina gorljivih trdnih organskih snovi ter vnetljivih tekočin in plinov vsebuje visok procent ogljika in vodika. Oksidirajo lahko tudi drugi kemijski elementi kot so kovine in nekovine, vendar za razliko od materialov, ki so sestavljeni pretežno iz ogljika in kisika, ti materiali ne nastopajo pogosto v vlogi goriv.

Kot oksidacijsko sredstvo pri gorenju v večini primerov nastopa zrak oziroma kisik, ki je sestavni del le-tega. En volumski delež zraka vsebuje povprečno 21% kisika in 79% dušika. Nekatere snovi imajo kisik vgrajen v svojo strukturo, tako da za gorenje ni potreben zunanji kisik. Primer takšnih snovi sta vodikov peroksid (H_2O_2) in dušikova kislina (HNO_3).

Toplota je potrebna za zagotovitev poteka reakcij oksidacije in sicer:

- za segrevanje do vžigne temperature,
- pri trdnih in tekočih snoveh za nastanek hlapov (izparevanje) in nastanek plinskih razkrojnih produktov (piroliza),
- za cepljenje vezi med molekularni gorljivih snoveh in kisikom (aktivacijska energija).

Vzroki za prenehanje gorenja:

- ves gorljiv material pogori/odstranitev gorljivega materiala,
- koncentracija oksidacijskega sredstva pade pod koncentracijo, ki je še potrebna za vzdrževanje gorenja (oksidacijsko sredstvo se porabi oz. ga izpodrinemo z inertnimi plini),
- ohladitev gorljivega materiala pod vžigno temperaturo,
- zaviranje plamenov s kemijskimi sredstvi.

Za gašenje požarov s hlajenjem se v praksi uporablja voda. Eden od načinov zadušitve gorenja je tudi izpodrivanje zraka, ki vsebuje kisik, iz neposredne okolice gorečega materiala s pomočjo ogljikovega dioksida ali kakšnega drugega plina, ki ne omogoča gorenja. Prav tako lahko gorenje zadušimo z uporabo razpršenega kemijskega prahu za gašenje ali hlapnih tekočin iz skupine ogljikovodikov. Te snovi ogenj pogasijo tako, da direktno vplivajo na potek kemijskih reakcij gorenja v plamenih (Grm, 2002).

2.2 Širjenje požara

Požar se širi samo na tri načine. Prvi način je širjenje požara oz. gorenja s plameni, drugi s tlenjem oz. žarenjem, zadnji pa s prenosom toplote.

2.2.1 Gorenje s plameni

Gorenje s plamenom poteka v plinasti fazi in ga imenujemo tudi homogeno gorenje. Za tako gorenje so značilni plameni. Z njimi gorijo vnetljivi plini in hlapi tekočine, pri trdnih snoveh pa gorijo vnetljivi hlapi in plinasti produkti termičnega razkroja. Plameni so lahko predhodno premešani ali difuzijski.

2.2.1.1 Predhodno premešani plameni

Za predhodno premešane plamene je značilno, da so gorljivi hlapi oz. plini in zrak pred vstopom v reakcijsko cono že pomešani v ustrezni koncentraciji med spodnjo in zgornjo mejo vnetljivosti. Pri koncentracijah gorljivih plinov pod spodnjo mejo vnetljivosti za potek gorenja ni dovolj goriva, pri koncentracijah nad zgornjo mejo pa ni dovolj kisika. Pri takem gorenju pride do popolnega izgorevanja, zato plameni gorijo modro.



Slika 2-2: Modri plamen pri popolnem gorenju (vir: www.colourbox.com)

2.2.1.2 Difuzijski plameni

Za difuzijske plamene je značilno, da gorljivi hlapci in oksidanti niso predhodno premešani, ampak se mešajo postopno s turbulentno in molekularno difuzijo. Hitrost gorenja je tako odvisna od hitrosti mešanja gorljivih hlapov in oksidantov. Če so difuzijski procesi prepočasni, plinska zmes gorljivih plinov in kisika tako ne bo dosegla spodnje meje vnetljivosti in ne bo prišlo do vžiga.

V primeru vžiga bo zaradi vzgona dvigajoče plinaste zmesi do mesta, kjer bo dosežena spodnja meja vnetljivosti, plamen višji. Zrak, ki vstopa v reakcijsko cono iz okolice plamena, povzroči, da kisika ni dovolj, tako da ima plamen nižjo temperaturo in je rumene barve. Primer gorenja z difuzijskim plamenom je gorenje sveče.



Slika 2-3: Rumeni plamen pri difuzijskem gorenju (vir: www.system-x.info)

V splošnem velja, da pri običajnem gorenju prevladujejo difuzijski plameni, zato je za razumevanje požara v objektih in na prostem najpomembnejše prav poznavanje mehanizma gorenja z difuzijskimi plameni.

2.2.2 Gorenje z žarjenjem / tlenjem

Proces gorenja z žarjenjem oz. tlenjem imenujemo piroliza in poteka le na površini gorljivih trdnih materialov, zato ga označujemo kot heterogeno gorenje. Na ta način gorijo predvsem trdni kemijski elementi kot so kovine in nekovine. Pri pirolizi gre za kemijski razkroj snovi pod vplivom toplote. To gorenje srečamo predvsem pri materialih, ki so sestavljeni iz ogljika in vodika in pri pirolizi tvorijo poleg tekočih in plinskih produktov tudi trdni produkt – oglje. Po končani pirolizi in ko pogorijo vsi plinski produkti pirolize, preostane sloj oglja. Hitrost gorenja je odvisna predvsem od prenosa kisika iz glavne mase okoliškega zraka do površine trdega kemijskega elementa ali do molekularne difuzije kisika. Kisik se dviguje proti površini, produkti izgorevanja pa potujejo stran od površine. Pri gorenju materialov pride do velikih sprememb temperature in energije, ki so posledica različnih procesov kot so segrevanje, spremembe agregatnega stanja (taljenje, izparevanje, sublimacija), kemijske reakcije, oksidacije, ohlajanje in termični razkroj. Pri trdnih in tekočih materialih se požar širi s plamenom po

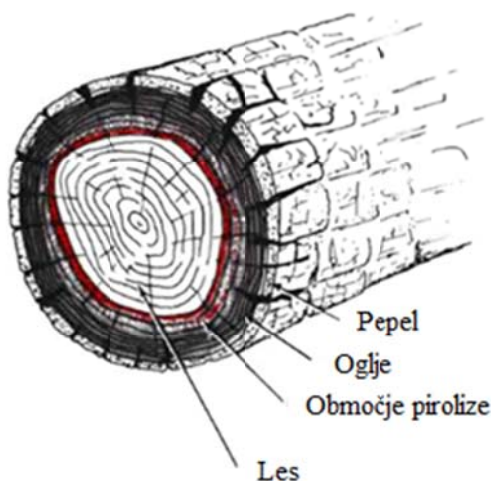
oziroma ob površini. Zaradi prenosa toplote s cone napredujočega plamena pride do segrevanja še negoreče površine materiala v okolici požara. Ta toplota omogoča pirolizo ali proces izparevanja, ko se ob površini nabere toliko hlapov, da je presežena spodnja meja vnetljivosti.

Na smer in hitrost širjenja plamenov vplivajo poleg požarnih in toplotnih lastnosti materialov tudi jakost in smer zraka zaradi vzgona ali prisilne ventilacije. V to skupino materialov spadajo materiali kot so:

- les,
- leseni izdelki,
- papir,
- celulozna vlakna,
- žaganje,
- vlaknene plošče,
- kavčuk,
- izdelki iz gume.

2.2.2.1 Piroliza lesa

Celuloza je eden od osnovnih sestavin lesa. Z segrevanjem se viša temperatura in pričenja razpad (piroliza) celuloze. Ker je voda sestavni del lesa in ker ima v lesu visok sestavni delež, se v prvi fazi pirolize začne sproščati voda v obliki vodne pare. Z nadaljnjim segrevanjem se začne druga faza pirolize, kjer začnejo izhajati različni gorljivi in negorljivi hlapi. Proti koncu razkroja začnejo prevladovati ogljikov monoksid, ogljikov dioksid in vodna para, dokler na koncu ne preostane samo še ogljik v oblik sloja oglja. Proces pirolize se vedno začne na površini lesa in se nato širi v notranjost.



Slika 2-4: Piroliza lesa

MEHKI LES (bor, smreka, jelka, macesen, lipa, breza, jelša) vsebuje večje količine smol, ki pri segrevanju hitro izhlapevajo. Mehki les ima celično strukturo z večjimi celicami kot trdi les, zato poteka izparevanje pri nižjih temperaturah kot pri trdem lesu. Temperatura vžiga je odvisna od celične strukture lesa, zato imajo različne vrste lesa različne vžigne temperature. Proces pirolize lahko poteka pri precej nižji temperaturi kot je vžigna temperatura samega lesa.

Plini, ki se pri procesu sproščajo, se pomešajo z okoliškim zrakom. Ko je dosežena spodnja meja vnetljivosti in minimalna vžigna energija, se ti plini vžgejo. Gorenje poteka v plinski fazi v obliki plamena. Pri temperaturi vžiga se celotni kemijski proces spremeni iz endotermnega v eksotermnega in postane samovzdržen. Ker je v začetku pri doseženi vžigni temperaturi koncentracija ogljikovega dioksida in vodne pare v plinih še previsoka, to onemogoča daljše vzdrževanje gorenja s plameni. Toplota, ki jo oddajajo plameni, sproži reakcije sekundarne pirolize, kar ima za posledico sproščanje večje količine gorljivih plinov in gorenje s plameni poteka v celoti v plinski fazi (preglednica 2-1).

Ker je sproščanje plinov iz notranjosti lesa tako intenzivno, to onemogoča dostop kisika do površine lesa ter tako prepreči gorenje plasti oglja. Ko pa začne zmanjkovati lesa, se proces pirolize začne ustavljati in kisik iz zraka ima dostop do površine oglja in oglje začne goreti brez plamena. Do gorenja z žarjenjem pride v lesu v zadnji fazi pirolize, ko večina gorljivih hlapov plinov že pogori, ali pa v primeru, ko je nastanek hlapov in plinov preprečen npr. z dodatkom snovi za preprečevanje plamena. V ta namen se pri gorljivih vlaknastih izolacijah uporablja borova kislina.

Preglednica 2-1: Sestava plinskih produktov pri pirolizi lesa v odvisnosti od temperature

Temperatura (°C)	Volumen plinov v m ³ na 100kg lesa	Vsebnost plina v %				
		CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	H ₂
200	0,4	25,0	75,0	-	-	-
300	5,6	40,2	56,0	3,8	-	-
400	9,5	34,0	49,4	14,3	0,85	1,45
500	12,8	29,4	43,2	21,7	3,68	2,34
600	14,3	27,2	41,0	23,4	5,74	2,66
700	16	25,2	38,6	24,9	8,50	2,80

2.2.3 Gorenje s prenosom toplote

Največ požarov se začne s prenosom toplote. Zapuščanje prostora v času vklopljenih naprav in njihova nepravilna uporaba, slabe, dotrajane, nestrokovno narejene električne instalacije, naprave, ki vodijo do pregrevanja naprav in nepravilno postavljeni toplotni viri, ki močno sevajo toploto preblizu gorljivih snovi so le nekateri izmed razlogov, da v objektu pride do požara.

Poleg ogromne količine energije, ki se pri posameznem procesu sprosti ali porabi, predstavlja prenos toplote pomemben dejavnik, ki predstavlja samovžig in gorenje. Toplota se po fizikalnem zakonu vedno prenaša iz hladnejšega na toplejše območje na več načinov:

- konvekcija ali vzgon,
- radiacija ali sevanje,
- kondukcija ali prevodnost.

2.2.3.1 Konvekcija ali vzgon

Je prenos toplote med gibajočim medijem, ki je lahko tekočina ali plin. Poznamo:

- NARAVNO KONVEKCIJO, kjer prihaja do gibanja toplejšega in redkejšega plina skozi hladnejši in gostejši okoliški plin zaradi termičnega vzgona (razlika v temperaturi in gostoti) in se giblje samo v vertikalni smeri (segreti plin se dviga, ohlajeni spušča) ter,
- PRISILJENO KONVEKCIJO, kjer z uporabo ventilatorjev ustvarjamo gibanje plinov v vseh smereh.

2.2.3.2 Radiacija ali sevanje

Predstavlja prenos energije po prostoru s pomočjo elektromagnetnega valovanja kot so npr. toplotni valovi, svetloba, radijski valovi, itd. Ko elektromagnetno valovanje trči ob trdno telo se absorbira, odbije ali prenese naprej. Pri procesu gorenja poteka oddajanje elektromagnetnega valovanja predvsem v infrardečem območju, zato naše oko zazna le majhen del spektra svetlobe, ki se sprošča ob gorenju. Toplota se s sevanjem prenaša s toplejšega telesa na hladnejše telo, dokler se temperaturi ne izenačita. Sposobnost absorpcije sevanja je odvisna od vrste in narave površine hladnejšega telesa in od velikosti površine toplejšega telesa. Toplota sevanja predstavlja za neposredno okolico večjo nevarnost kot pa konvekcijska toplota. Velja namreč, da predmeti v neposredni okolici absorbirajo večino energije sevanja, ki jih zadane, konvekcijska energija pa se s segretim zrakom giblje mimo in le manjši del se prenese na te predmete.

2.2.3.3 Kondukcija ali prevodnost

Prenos toplote skozi telo in direktnim stikom med telesi imenujemo prenos toplote s prevodnostjo ali kondukcijo. Toplotni tok je količina toplote, ki se prenese v časovni enoti in je po Fourierjevem zakonu odvisen od temperaturne razlike in toplotne prevodnosti. Toplotna prevodnost pa je odvisna od koeficienta toplotne prevodnosti snovi, površine pravokotnega prečnega preseka (glede na tok toplote) in debeline materiala. Toplotni tok se vedno prenaša z mesta z višjo temperaturo na mesto z nižjo temperaturo.

Materiali, ki imajo nizek koeficient toplotne prevodnosti, so poznani pod imenom toplotni izolatorji. Najboljši toplotni izolatorji so plini, zato je večina izolacijskih materialov, ki se uporabljajo v

gradbeništvo za toplotno izolacijo, izdelanih iz finih delcev ali vlaken, pri katerih je vmesni prostor zapolnjen z zrakom. Noben material prevajanja toplote ne ustavi popolnoma. Velja pa, da je toplotni tok pri materialih z višjim koeficientom toplotne prevodnosti višji kot pa pri materialih z nižjim koeficientom. To pomeni, da se bo preko teh materialov toplota hitreje prenašala na sosednje materiale, ki bodo zato hitreje dosegli temperaturo vžiga.

2.3 Produkti gorenja

Pri vsakem gorenju nastajajo stranski produkti, ki so v veliki meri škodljivi. Dim zmanjšuje vidljivost in deluje dušilno, poleg tega pa prenaša požar na širšo okolico, saj nosi žareče delce. Poleg saj in iskrečih delcev, dim nosi s sabo tudi toksične pline kot so ogljikov monoksid in ogljikov dioksid ter ostale strupene pline. Pri gorenju potekajo endotermne (toplota se porablja) kot tudi eksotermne (toplota se sprošča) reakcije, vendar se več toplote sprosti kot pa porabi, zato je gorenje eksotermna reakcija. Ta reakcija se odvija zelo hitro in ker se toplota ne more hitro odvajati, temperatura reaktantov narašča. Toplota se širi s konvekcijo, kondukcijo in radiacijo na gorljive materiale na mestu nastanka požara in v neposredno okolico ter s tem omogoča vzdrževanje in širjenje požara. Če gorenje poteka pri visokih temperaturah in zadostni količini kisika, pride do polnega sežiga gorljivih snovi. To pomeni, da se ves ogljik v gorljivih snoveh spremeni v ogljikov dioksid in vodik v vodno paro. Vendar v praksi velikokrat ne pride do popolnega sežiga in poleg ogljikovega dioksida in vodne pare dobimo še vmesne produkte. Ti nastanejo pri razkroju kompleksnih molekul zaradi pomanjkanja kisika ali prenizke temperature, ki onemogočajo reakcijo s kisikom in pogosto ostanejo toksični, saj ostanejo nespremenjeni.

Pri gorenju gorljivih trdnih snovi, tekočin in plinov nastajajo produkti, ki jih lahko razdelimo glede na:

- agregatno stanje (trdni produkti – pepel in saje, tekoči produkti, plinski produkti),
- stopnjo oksidacije (končni produkti oksidacije, vmesni produkti oksidacije),
- toksičnost (toksični in netoksični produkti),
- korozivnost (korozivni in nekorozivni produkti).

2.3.1 Dim

Dim je sestavljen iz disperzije tekočih in trdnih delcev v nosilnem plinu, ki ga sestavljajo plinski produkti gorenja in zrak. Tekoči delci so katranu podobne kapljice ali meglica, ki jo sestavljajo tekoči produkti pirolize in delno oksidirani produkti in voda. Trdne delce sestavljajo luske ogljika, zrna saj, pepel, sublimirani produkti pirolize in oksidi anorganskih snovi. Če so v dimu prisotni strupeni plinski produkti deluje dim toksično. Pri popolnem gorenju materialov, ki vsebujejo ogljik, nastaja ogljikov dioksid. Pri zaprtih prostorih, kjer je dovod kisika omejen pa pride do nepopolnega gorenja in posledično do nastanka ogljikovega monoksida.

2.3.2 Ogljikov monoksid

Ogljikov monoksid (CO) je plin brez vonja in barve. Pri vdihavanju se absorbira v kri in se veže z molekulami hemoglobina, ki normalno prenaša kisik po telesu. Če se ta proces nadaljuje pride do zadušitve. Ker je ogljikov monoksid brez barve in vonja, ga človek ne zazna vse do trenutka, ko se skoraj onesvesti. Prvi učinki so zelo podobni zastrupitvi z alkoholom. Zmožnost presoje je močno zmanjšana. Nevarna koncentracija za vdihavanje je 1‰ v zraku oz 2‰ pri enournem vdihavanju. Nadaljnje vdihovanje povzroči nezavest in tudi smrt. 1,3% CO v zraku je dovolj, da povzroči nezavest po dveh do treh vdihih. Koncentracija 0,32 % v zraku povzroči smrt v 30 minutah.

2.3.3 Ogljikov dioksid

Ogljikov dioksid (CO₂) je delno toksičen. Je plin brez vonja in barve. Koncentracije okoli 3% v zraku povzročajo globoko in pospešeno dihanje, kar povzroči, da pride do dodatnega vdihovanja toksičnega plina. Pri 5% postane dihanje oteženo, pri 9% pa v nekaj minutah pride do nezavesti. Pri koncentraciji okoli 20% lahko pride do smrti v času dvajset do trideset minut.

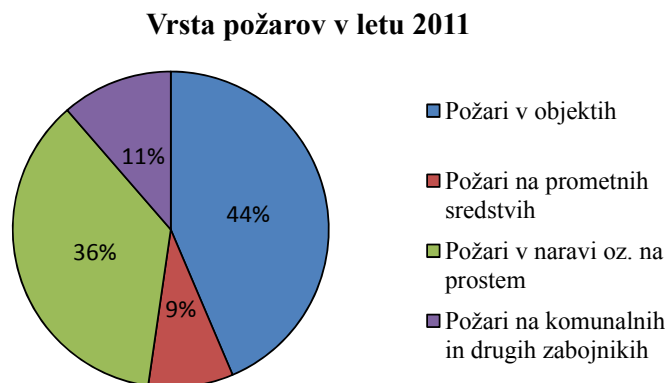
2.3.4 Korozivni produkti

Korozivni produkti so nevarni, ker se absorbirajo v kapljicah vode in posledično tvorijo kisline. Ti korozivni plini predstavljajo nevarnost tako za človeka kot tudi za nosilne kovinske konstrukcije gradbenih objektov. Pri gorenju lesa zaradi segrevanja in nepopolnega zgorevanja prihaja do produktov kot so ogljikov dioksid, ogljikov monoksid, metanol, višji alkoholi, formaldehid, mravljična in očetna kislina itd. Količine teh snovi so sicer majhne, vendar niso zanemarljive, saj so dovolj visoke, da povzročajo poseben vonj in dražijo oči. Ta pojav je še posebno izrazit, če je vlažnost v lesu višja od običajno zračno suhega lesa.

Številni materiali so znani po tem, da pri gorenju sproščajo večje količine dima. To velja za bitumenske izdelke in strešno lepenko. V teh izdelkih se nahaja prosti ogljik, ki zelo težko gori. Pri zgorevanju teh materialov je prisoten zelo visok odstotek ogljikovega monoksida. Saje nastajajo pri gorenju sintetičnih materialov, kot je npr. plastika. V splošnem velja, da je sestava produktov izgorevanja odvisna od sestave gorečega materiala in od pogojev gorenja.

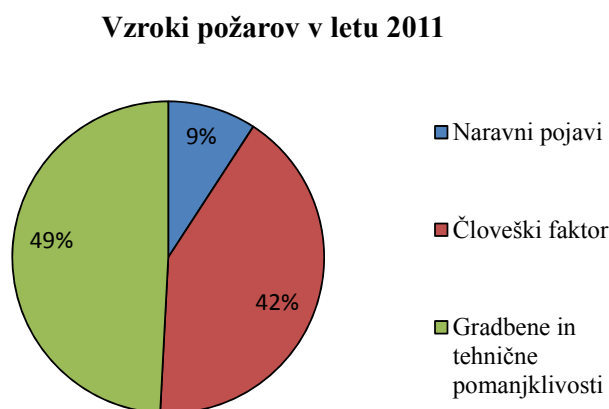
3 POŽARI V OBJEKTIH

Izmed vseh požarov, ki so se zgodili v letu 2011 v Sloveniji, so predstavljali požari v objektih kar 44% izmed vseh požarov.



Slika 3-1: Vrsta požarov v Sloveniji v letu 2011¹

Pregled vzrokov pri požarih v objektih nam pokaže, da so v slabi polovici primerov vzroki vžiga v gradbenih in tehničnih pomanjkljivostih med katere sodijo vžig saj, iskrenje in neustrezno tehnično stanje dimniških naprav, vžig gorljivih in lahko vnetljivih tekočin, plinov in snovi, eksplozije plina, okvare in poškodbe strojev, motorjev (kratek stik), neustrezno tehnično stanje sredstev, prostorov, naprav, statična elektrika.



Slika 3-2: Vzroki požarov glede na požare v objektih v Sloveniji²

1 Vir: <http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/Saveshow.asp> (pridobljeno 23.09.2012)

2. Vir: http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=2708904S&ti=&path=../Database/Okolje/27_okolje/05_Nesrece/27089_vzrok_požarov/&lang=2 (pridobljeno 10.06.2012)

3.1 Razvoj požara v objektu

Običajno požar poteka v štirih fazah:

- faza vžiga,
- faza rastočega požara,
- faza razvitega požara,
- faza pojemajočega požara.

3.1.1 Faza vžiga

Prva faza požara se imenuje faza vžiga ali faza začetnega požara. Pri tej fazi se prične gorenje gorljivega materiala s pomočjo vžiga ob zadostni koncentraciji kisika in zadostni količini gorljivega materiala. Vir vžiga je lahko direktni plamen ali stik z drugimi vročimi ali gorečimi materiali, daljša izpostavljenost zunanjemu viru toplote, eksotermne kemijske reakcije, samodejno segrevanje, ki vodi do samovžiga, električne iskre in hitro zvišanje pritiska plina, ki povzroči dvig temperature, dokler ni dosežena temperatura samovžiga.

3.1.2 Faza rastočega požara

Druga faza je faza rastočega požara. Po vžigu je lahko gorenje počasno (tlenje), hitro (enakomerno gorenje kompaktnega lesa) ali pa zelo hitro (plinske eksplozije). Hitrost razvoja požara je na tej stopnji odvisna predvsem od lastnosti gorljivih materialov in manj od ostalih faktorjev, kot so količina kisika (prezračevanje), geometrije prostora in lastnosti gradbenih materialov.

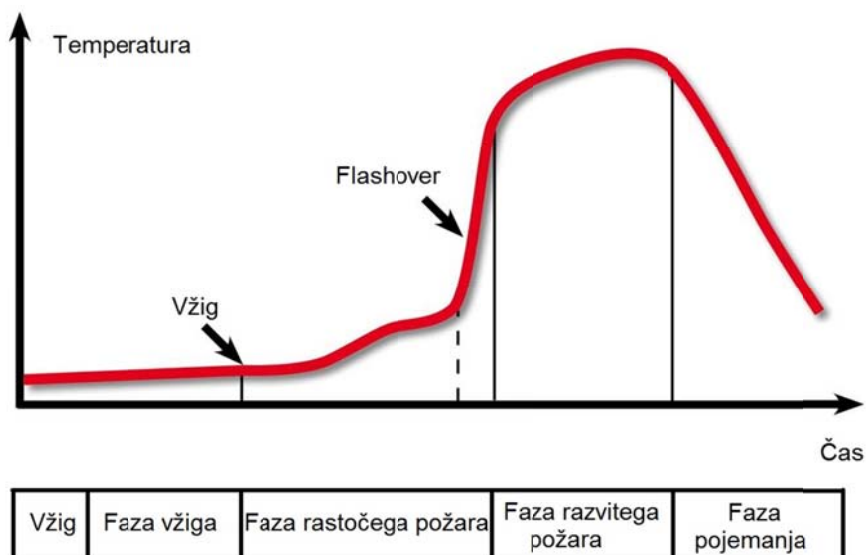
V zaprtih prostorih v fazi rastočega požara pogosto pride do faze, ko se zaradi zviševanja temperature zraka oz. dimnih plinov, ki se segrejejo na temperaturno območje med 500 do 600°C in posledičnega toplotnega sevanja te vroče plasti plina, v zelo kratkem času vžgejo še negoreči materiali v prostoru. Plameni zajamejo ves prostor in požar preide v polno razviti požar. Ta prehod se imenuje »flash-over«.

3.1.3 Faza razvitega požara

Za tretjo fazo oz. fazo razvitega požara je značilno, da temperatura ne narašča več tako hitro oz. sploh ne narašča več, hitrost sproščanja toplote je največja in da so v požar zajeti vsi gorljivi materiali v prostoru. Pogosto se dogaja, da se v tej fazi več materiala pirolizira kot pa zgori, razlog za to pa je pomanjkanje kisika. V tej fazi pridejo do izraza ventilacija, geometrija prostora in lastnosti gradbenih obodnih proizvodov, saj vplivajo na hitrost gorenja v prostoru.

3.1.4 Faza pojemanja požara

V zadnji fazi požara pride do pojemanja požara, ker zmanjkuje gorljivega materiala ali kisika. V tej fazi gorljiv material običajno kontrolira hitrost gorenja. Če je do pojemanja požara prišlo zaradi pomanjkanja kisika in ne zaradi pomanjkanja gorljivega materiala, lahko v tej fazi ob ponovnem dovodu kisika, npr. ob odprtju vrat, požar ponovno preide iz faze tlenja v fazo intenzivne rasti požara.



Slika 3-3: Časovni potek tipičnega požara v objektu

3.2 Faktorji, ki vplivajo na intenziteto požara v stavbah

S količino toplote, ki se sprosti v časovni enoti, merimo intenziteto požara, ki določa vpliv požara na konstrukcijo, vsebino in atmosfero.

Intenziteta požara je odvisna od naslednjih faktorjev:

- površina gorljivih materialov,
- potreba po kisiku in dovodu zraka,
- odvajanje toplote iz prostora,
- požarna obremenitev, ki je odvisna od količine in vrste gorljivih snovi,
- požarne lastnosti gorljivih materialov, kot so vnetljivost, temperatura vžiga, hitrost širjenja plamena po površini, hitrost sproščanje toplote, mejne koncentracije vnetljivosti in eksplozivnosti itd.

3.2.1 Velikost površine gorljivih materialov

V primeru neplinastih snovi se požar lahko začne samo ob obodu snovi. Materiali, ki imajo v primerjavi z drugimi materiali veliko večjo specifično površino (npr. penjena plastika in tekstil), se lažje vžgejo in raje gorijo.



Lažji vžig



Težji vžig

Slika 3-4: Vžig trdnih materialov (vir:www.dreamstime.com)

3.2.2 Potreba po kisiku in dovod zraka

Največkrat se požar začne pri normalni koncentraciji kisika, ki se nahaja v zraku. To je okoli 21%. Pri gorenju se ta količina v zaprtih prostorih zmanjšuje in če pade količina kisika pod 16% to onemogoča nadaljnje gorenje. Nekateri materiali lahko tlijo še zelo dolgo časa tudi pri nizki koncentraciji kisika.

Hitrost gorenja je poleg lastnosti materialov odvisna tudi od dovoda svežega zraka oziroma prezračevanja. Če se ventilacija svežega zraka ne izvaja, to vpliva na potek požara. Pri požarih, kjer je dovolj svežega zraka pa potek požara določajo požarne lastnosti gorljivih materialov in lastnosti gradbenih materialov, ki tvorijo prostor. Za požare, pri katerih je hitrost gorenja odvisna od dovoda zraka, je značilno, da se temperatura dviguje počasneje, nižja temperatura gorenja, predčasno zmanjšanje intenzitete in pogosto tudi ugasnitev.

3.2.3 Odvajanje toplote

Predvsem toplotne lastnosti obodnih gradbenih materialov vplivajo na količino sproščene toplote, ki jo bodo materiali absorbirali in na to, koliko toplote bo prešlo iz prostora v okolico ter tako posledično vplivajo na temperaturo v prostoru in hitrost gorenja. Velik vpliv na potek požara imajo tudi horizontalne ali vertikalne odprtine, saj se skozi njih v primeru požara odvaja dim in toplota. To pomembno vpliva na gradbene materiale, saj ima manjša temperatura manjši vpliv na poškodbe gradbenih elementov in ostale opreme v prostoru.

3.3 Vpliv požarnih lastnosti gradbenih materialov na širjenje požara

Na širjenje požara iz prostora nastanka požara v sosednji prostor vplivajo predvsem naslednje lastnosti gradiv:

- toplotna kapaciteta,
- toplotna prevodnost,
- toplotna emisivnost,
- gostota,
- gorljivost,

- vnetljivost,
- temperatura vžiga in samovžiga,
- oblika in velikost površine na volumsko enoto – specifična površina,
- mejne koncentracije vnetljivosti in eksplozivnosti,
- hitrost širjenja plamena po površini,
- hitrost sproščanja toplote.

Gorljivi materiali so materiali, ki omogočajo prenos požara s plameni in indirektno s prenosom toplote. Negorljivi materiali ne gorijo in ne omogočajo širjenja požara s plameni, ampak samo indirektno s prenosom toplote. Na širjenje požara v prostoru nastanka vplivajo predvsem požarne lastnosti materialov za finalno obdelavo konstrukcijskih sklopov kot so strop, stene in tla ter notranja oprema prostorov, pohištvo in zavese.

3.4 Požarna odpornost gradbenih elementov in konstrukcij

Požarna odpornost nam sporoča kako dobro in koliko časa lahko stavba ali njen del zadržuje ogenj in onemogoča širjenje plamena z enega prostora na drugega. Požarna odpornost je zelo pomembna lastnost gradbenih proizvodov v primeru, da stena ločuje dve hotelski sobi ali pa v primeru ventilacijskega jaška, ko ta poteka čez požarni zid, ki ločuje dva požarna sektorja. Vsi konstrukcijski gradbeni elementi (stene, stropi, nosilci, stebri ipd.) ali zaporni elementi (vrata, lopute, zapore, preboji inštalacij, ipd) lahko z direktno ali s plamensko konvekcijo, kondukcijo ali sevanjem razširijo požar iz enega prostora na drugega. Tako lahko konstrukcijski gradbeni elementi in ostali zaporni elementi predstavljajo oviro ali zaporo le v primeru zadostne in potrebne požarne odpornosti, ki se gibljejo od 15 minut pa do nekaj ur. Potrebna požarna odpornost je odvisna od:

- namembnosti,
- požarne obremenitve,
- požarne ogroženosti objekta ali prostora.

Osnovni kriteriji za požarno odpornost:

- Nosilnost – sposobnost elementa, da pri požaru ne pride do njegove porušitve.
- Izolativnost – sposobnost elementa, da prepreči prekomeren prehod toplote s kondukcijo.
- Celovitost – sposobnost elementa, da prepreči prehod plamenov in vročih plinov oz. da pri izpostavljenosti požaru na elementu ne pride do razpok ali odprtin.

4 VARNOST V PRIMERU POŽARA – ZAKONODAJA

4.1 Zakon o varstvu pred požarom

Na področju normativne ureditve sistema varstva pred požarom ter sistema varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami se je kmalu po osamosvojitvi Slovenije vzpostavil nov sistem, v katerem so bili uveljavljeni novi krovni zakoni. Prvi zakon o Varstvu pred požarom je bil sprejet v letih 1993 in 1994 in je razveljavil zakon iz leta 1976, razen določil, ki so urejala izdajanje soglasij k lokacijskim, gradbenim in uporabnim dovoljenjem. S sprejetjem zakona so se občinske in medobčinske inšpekcije preoblikovale v izpostave Inšpektorata RS za varstvo pred požarom. Zakon je opredeljeval dejavnosti in ukrepe varstva pred požarom kot so:

- načrtovanje in upoštevanje preventivnih ukrepov varstva pred požarom,
- odkrivanje požarov,
- obveščanje o požarih,
- omejitev širjenja in učinkovito gašenje požarov,
- varen umik ljudi,
- vzpostavitev ekonomskih razmerij med preventivnimi ukrepi varstva pred požarom ter pričakovano požarno škodo.

Vsi naštetni ukrepi z izjemo zadnjega so se nanašali na graditelje objektov.

»Ukrepi varstva pred požarom pri graditvi objektov morajo biti načrtovani in izvedeni tako, da čim bolj preprečijo nastanek požara, ob nastanku pa njegovo širjenje. Predvsem pa morajo preprečevati širjenje požara na sosednje objekte.« (načelo zaščite sosedovega premoženja in načelo preventive iz. 8 in 10. člena zakona ZVPoz)

4.2 Uredba (EU) št. 305/2011

Slovenija se je z vstopom v Evropsko unijo obvezala harmonizirati slovenske standarde z evropsko zakonodajo. Tako je bila z Zakonom o gradbenih proizvodih (ZGPro) Ur.l. RS št. 52/2000 v pravni red Republike Slovenije vnesena Direktiva sveta Evropske unije št. 89/106/EGS, ki pa jo je leta 2011 razveljavila nova uredba št. 305/2011. Uredba velja za vse države članice evropske unije neposredno in tako onemogoča različne interpretacije direktive CPD št. 89/106/EGS. Z novo uredbo se predvsem poenostavlja način za pridobitev oznake CE. Prav tako so določeni usklajeni pogoji za trženje gradbenih proizvodov, ki določa, da morajo biti gradbeni objekti kot celota in njihovi posamezni deli primerni za predvideno uporabo, pri čemer je treba upoštevati zlasti zdravje in varnost udeleženih ljudi skozi celoten cikel objektov. Tako morajo gradbeni objekti ob običajnem vzdrževanju izpolnjevati naslednje osnovne zahteve za gradbene objekte skozi celoten čas sprejemljive življenjske dobe.

4.2.1 Mehanska odpornost in stabilnost

Gradbeni objekti morajo biti načrtovani in grajeni tako, da obremenitve, ki jim bodo verjetno izpostavljeni med gradnjo in uporabo, ne bodo povzročile:

- a) porušitve celotnega objekta ali delov objekta;
- b) večjih deformacij od dopustnih;
- c) škode na drugih delih gradbenih objektov ali na napeljavi ali vgrajeni opremi zaradi večjih deformacij nosilne konstrukcije;
- d) glede na vzrok nesorazmerno velike škode zaradi nekega dogodka.

4.2.2 Varnost pri požaru

Gradbeni objekti morajo biti načrtovani in grajeni tako, da je ob izbruhu požara:

- a) določen čas še ohranjena nosilnost konstrukcije;
- b) omejeno nastajanje in širjenje požara in dima v gradbenem objektu;
- c) omejeno širjenje požara na sosednje gradbene objekte;
- d) mogoče osebam v objektu zapustiti objekt ali da jih je mogoče rešiti na drug način;
- e) upoštevana varnost reševalnih ekip.

4.2.3 Higiena, zdravje in okolje

Gradbeni objekti morajo biti načrtovani in grajeni tako, da skozi celoten življenjski cikel ne bodo ogrožali higijene ali zdravja in varnosti delavcev, oseb v objektu ali sosedov ali povzročali prekomernih posledic za kakovost okolja ali podnebje skozi njihov celotni življenjski cikel, predvsem zaradi:

- (a) sproščanja strupenih plinov;
- (b) emisij nevarnih snovi, hlapnih organskih spojin, toplogrednih plinov ali nevarnih delcev v zraku v zaprtih prostorih ali zraku na prostem;
- (c) emisij nevarnega sevanja;
- (d) izpusta nevarnih snovi v podzemno vodo, morske vode, površinske vode ali zemljo;
- (e) izpusta nevarnih snovi v pitno vodo ali snovi, ki imajo drug negativen vpliv na pitno vodo;
- (f) napačnega odvajanja odpadne vode, emisij izpušnih plinov ali napačnega odstranjevanja trdnih ali tekočih odpadkov;
- (g) vlage v delih objekta ali na površinah znotraj objekta.

4.2.4 Varnost in dostopnost pri uporabi

Gradbeni objekti morajo biti načrtovani in grajeni tako, da pri uporabi ali obratovanju ne pomenijo nesprejemljivega tveganja za nastanek nesreč ali poškodb, kakršne so zdrs, padec, trčenje, opekline, električni udarec, poškodbe zaradi eksplozije in vlomov. Gradbeni objekti morajo biti zlasti načrtovani in grajeni tako, da invalidnim osebam omogočijo dostopnost in uporabo.

4.2.5 Zaščita pred hrupom

Gradbeni objekti morajo biti načrtovani in grajeni tako, da se hrup, ki ga zaznavajo osebe v objektu ali bližnji okolici, vzdržuje na ravni, ki ne bo ogrožala njihovega zdravja in jim bo omogočala zadovoljive razmere za spanje, počitek in delo.

4.2.6 Varčevanje z energijo in ohranjanje toplote

Gradbeni objekti ter njihove naprave za ogrevanje, hlajenje, razsvetljavo in zračenje morajo biti načrtovani in grajeni tako, da je ob upoštevanju oseb v objektu in lokalnih podnebnih razmer poraba energije pri uporabi objekta in naprav majhna. Gradbeni objekti morajo biti tudi energetsko učinkoviti ter med gradnjo in rušenjem porabiti čim manj energije.

4.2.7 Trajnostna raba naravnih virov

Gradbeni objekti morajo biti načrtovani, grajeni in zrušeni tako, da je raba naravnih virov trajnostna in da se zagotovi predvsem naslednje:

- a) ponovna uporaba ali možnost recikliranja gradbenih objektov, gradbenega materiala in delov po zrušenju;
- b) trajnost gradbenih objektov;
- c) uporaba okoljsko združljivih surovin in sekundarnih materialov v gradbenih objektih.

4.3 Osnovna zahteva št. 2 – Varnost pri požaru

4.3.1 Namen in področja delovanja

V uredbi (EU) št. 305/2011 so osnovne zahteve podane zelo okorno, zato so potrebni razlagalni dokumenti, ki podrobneje pojasnjujejo, kako naj bodo izraženi kriteriji za izpolnjevanje posamezne osnovne zahteve, kar daje lahko tudi podlago za oblikovanje nacionalnega tehničnega predpisa na tem področju. V njih je konkretizirana oblika in pomen osnovnih pojmov uporabljenih v razlagalnih dokumentih in označevanje nivojev ali ravni zahtev s tehničnimi specifikacijami. Razlagalni dokument obravnava objekte, ki zadevajo varnost v primeru požara, določa izdelke in razrede izdelkov ter njihove lastnosti, ki se nanašajo na njihovo uporabo.

Gradbena dela morajo biti načrtovana in izvedena tako, da v primeru požara zagotavljajo:

- zadostno kapaciteto nosilnosti konstrukcije za določen čas,
- omejeno nastajanje in širjenje požara in dima znotraj gradbenih del,
- omejevanje širjenja požara na gradbene objekte,
- zagotovljeno varnost stanovalcev pri evakuaciji iz objekta,
- zadostno varnost reševalcev.

4.3.2 Razlaga požarnovarnostnih zadev

Pomemben del predpisov za doseg požarne varnosti objektov se nanaša na obliko in zasnovano konstrukcije in gradbenih izdelkov, strojnih in elektroinstalacij ter požarnovarnostnih napeljav v primeru požara. Pomemben del strategije požarne varnosti je namenjen preprečevanju oz. zmanjšanju možnosti za nastanek požara. Razvoj in širjenje požara je odvisno predvsem od lastnosti in razporeditev gradbenih materialov ter opreme v prostoru, dovoda svežega zraka, toplotnih lastnosti vgrajenih materialov, sistemov za nadzorovanje ognja in dima ter sistema za preprečevanje požarov v stavbi. Dodatno lahko povečamo požarno varnost s sistemom za zgodnje odkrivanje in javljanje požara in/ali sistemom za zgodnje gašenje požara.

Za učinkovito preprečevanje širjenje požara se objekti navadno razdelijo na požarne sektorje. Le-ti preprečujejo širjenje ognja in dima za določen čas, do prihoda gasilcev. Nadaljnji ukrep pri učinkovitem preprečevanju širjenje požara je onemogočanje prehoda požara iz ene stavbe na drugo oz. na sosednji objekt.

4.3.3 Inženirski pristop na področju varnosti

Pri požarnem inženirstvu se vrednotijo zahtevane ravni požarne varnosti, načrtovanja in izvedbe varnostnih ukrepov. Zahteve lahko izpolnimo na več načinov:

- Določevanje osnovnih informacij o razvoju in širjenju požara (izračun razvoja požara in širjenja požara znotraj in zunaj objekta izven prostora nastanka, ocena gibanja dima in toplote).
- Ocenjevanje učinkov požara (izpostavljenost ljudi in stavbe toplotnemu sevanju, mehanski vpliv na celotno konstrukcijo ali njen del).
- Vrednotenje delovanja gradbenih izdelkov ob požarni izpostavljenosti (lastnosti produktov kot so vnetljivost, širjenje plamena, stopnja sproščene toplote, nastanek dima in toksičnih produktov), odpornost stavbe, izpostavljene požaru v smislu nosilnosti in ohranjanju ločevalne funkcije).
- Vrednotenje odkrivanja, vključevanja požarnih naprav, zadušitve požara (čas zaznave požara in delovanje požarno-preventivnega sistema).
- Vrednotenje in načrtovanje evakuacijskih načrtov in reševalnih ukrepov.

4.3.4 Preverjanje izpolnjevanja osnovnih zahtev

Izdelki, ki se preverjajo na požarno odpornost so izpostavljeni naslednjim toplotnim vplivom:

- majhen vir vžiga (npr. vžigalica),
- posamezen goreči predmet (npr. goreče pohištvo, skladiščni materiali v industrijskih prostorih),
- polno razviti požar (izpostavljenost dejanskemu požaru, standardna ISO krivulja požara).

Vse navedene teste lahko opravimo računsko ali pa jih podvržemo dejanskemu praktičnemu preizkusu. Za vrednotenje odpornosti izdelkov, ki so podvrženi požaru se uporablja izpostavljenost

sevanju, konvekciji ali kombinaciji obeh. Toplotni vplivi so odvisni od vrste, intenzitete in trajanja izpostavljenosti in so opredeljeni z:

- velikostjo plemena,
- stopnjo sevanja,
- stopnjo konvekcijskega prenosa toplote (temperatura in hitrost vžignih plinov) z ali brez prisotnosti plamena.

Za ocenjevanje odziva naprav za odkrivanje požara, kontrolo dima in napeljav za gašenje se uporabljajo simulacije gorenja posameznega predmeta ali skupine predmetov. Toplotni vplivi so odvisni od vrste, intenzitete in trajanja izpostavljenosti in so opredeljeni z:

- stopnjo sproščene toplote,
- višino plamena in količino nastalega dima,
- območjem, ki ga je zajel požar,
- nivojem temperature.

Za ocenjevanje požarne odpornosti konstrukcij prevladujejo naslednje možnosti:

- upoštevanje naravnega požara (požarna obtežba, dovod svežega zraka, velikost in oblika stavbe, toplotnih lastnosti stavbe),
- upoštevanje običajnega požarnega scenarija (mednarodni dogovor za upoštevanje temperaturno časovne krivulje oz. ISO standardne požarne krivulje).

To je podlaga za osnovni izračun požarne odpornosti stavbe.

Evropska uredba št. 305/2011 predvideva preverjanje izpolnjevanja osnovnih ali določene ravni bistvene zahteve na tri različne načine, vendar nobeden od teh ne sme biti v nasprotju z uporabo izdelka, ki bi izpolnjeval ustrezne tehnične specifikacije.

- Navedba o izpolnitvi minimalnih zahtev v splošni ali številčni obliki. Kjer so podane zahteve v splošni obliki, je potrebna povezava med zahtevami za gradbena dela in lastnosti izdelkov.
- Navedba o minimalni požarni varnosti izdelkov kot so požarna odpornost, odziv na požar in odziv požarno varnostnih naprav. V tem primeru naj bi se navedba sklicevala na tehnične specifikacije.
- Navedba kritičnih nivojev požara, v katerih bi lahko bili izpostavljeni ljudje v ali blizu objektov.

4.3.5 Tehnične specifikacije in navodila za pridobitev evropskega tehničnega soglasja

Tehnične specifikacije, ki se nanašajo na uredbo št. 305/2011 ločijo med standardi dveh kategorij.

- *Kategorije A:* Ti standardi se nanašajo na projektiranje in gradnjo objektov in njihovih delov in jih je potrebno upoštevati za zadostitev osnovnih zahtev, določenih v uredbi št. 305/2011.
- *Kategorije B:* To so tehnične specifikacije in smernice za pridobitev evropskega soglasja, ki zadevajo izključno proizvode ali družine proizvodov, ki vplivajo na izpolnjevanje osnovnih zahtev. Zahteve kategorije A morajo biti združljive z zahtevami kategorije B in si ne smejo biti med seboj v nasprotju.

4.3.6 Pogoji za objekte in dele objektov

4.3.6.1 Nosilna konstrukcija

Stabilnost osnovne nosilnosti konstrukcije objekta v primeru požara je potrebno zagotoviti, da se:

- zagotovi varnost stanovalcev v času, ko se predvideva, da bodo stanovalci še ostali v objektu,
- zagotovi varnost reševalnih ekip in gasilcev,
- prepreči porušitev zgradbe in obvaruje ljudi pred poškodbami,
- omogoči čas, potreben za delovanje gradbenih izdelkov s požarno-varnostnimi lastnosti, da opravijo svojo funkcijo.

Stabilnost objektov mora biti zagotovljena z zadostno odpornostjo osnovne nosilne konstrukcije v primeru požara. Požarna odpornost konstrukcije velja za ustrezno, če je zagotovljena požarna odpornost posameznih elementov in če stiki med posameznimi elementi ne zmanjšujejo požarne odpornosti celotne konstrukcije. Deli objektov z ali brez ločevalne funkcije v primeru požara, na katere se to nanaša so:

- zidovi (notranji in zunanji),
- tla,
- stropi,
- stebri in natezni elementi,
- nosilci,
- stopnice.

Deli ki prispevajo k požarni odpornosti (pasivni in aktivni):

- spuščeni stropi,
- vertikalne ločevalne membrane,
- požarne zavese,
- sistemi za vodno ohlajanje površin.

4.3.6.2 Omejevanje nastajanja in širjenje požara in dima znotraj objektov

Cilja ukrepov sta upočasnitev širjenja požara in dima v objektih tako, da imajo lahko ogroženi stanovalci dovolj časa za pobeg ter omogočiti gasilcem in reševalcem, da požar omejijo.

To se lahko zagotovi z:

- Preprečitvijo vžiga – zahteve in navodila za uporabo in vgradnjo različnih naprav. To se nanaša na električne napeljave, plinske in grelne napeljave, strelovode in ventilacijske sisteme in merilce koncentracij vnetljivih plinov.
- Omejitvijo širjenja požara in dima znotraj prostora izvora požara – za vse gradbene izdelke, ki se vgradijo v objekt, mora biti izkazana določena požarno varnostna lastnost. Ti so ovrednoteni preko dveh različnih testov in sicer pri izpostavljenosti majhnemu plamenu in pri merjenju učinka pri polno razvitem požaru. Zahteve se nanašajo na zidove, strop, tla, napeljave, inštalacije in sisteme za gašenje.
- Omejitvijo širjenja požara in dima zunaj prostora izvora požara – zahteve glede namestitve požarno ločevalnih elementov, zapiranja odprtih v požarno ločevalnih elementih, primerne zasnove fasade, namestitve dimnih ovir, odvoda vročih plinov po naravni ali prisiljeni poti, namestitve naprav za gašenje požara in ustvarjanje nadtlaka med požarnimi sektorji. Elementi, na katere se zahteva nanaša so fasade, notranji in zunanji zidovi, tla, strehe in predelne stene.

4.3.6.3 Omejevanje širjenja požara na sosednje objekte

Cilj je zagotoviti varnost prebivalcev v sosednjih objektih, izognitev požaru večjih razsežnosti in njegovih posledic ter da se gasilcem omogoči lažjo kontrolo požara. V praksi sta poznana predvsem primera, da se požar širi na sosednji objekt, ki je na nasprotni strani ulice ali pa med popolnoma različnim gradbenima objektoma, ki stojita drug ob drugemu. Omejitev širjenja požara lahko kontroliramo z naslednjimi ukrepi:

- omejevanjem sevanja – z nadzorom razdalj med objekti, velikostjo nezaščitenih površin kot so okna, požarne odpornosti fasad, zastekljenih in nezastekljenih delov fasade ter aktivnih ukrepov požarne zaščite (hlajenje z vodo),
- nadzorom vžiga in širitve požara preko strehe in morebitnimi svetlobniki,
- nadzorom prodiranja ognja v notranjost stavbe,
- nadzorom vžiga površin strešne kritine,
- zagotovitev požarno ločevalne funkcije strehe,
- uporaba požarno ločevalnih zidov.

Zahteve se nanašajo na požarno ločevalne zidove, zunanje zidove in fasade ter strešne kritine.

4.3.6.4 Evakuacija prebivalcev

V objektu mora biti evakuacija omogočena tako, da se prebivalci v objektu umaknejo na varno in da je reševalnim ekipam omogočen dostop, iskanje in izhod iz objekta. To zagotovimo z naslednjimi ukrepi:

- z načrtovanjem evakuacijskih poti tako, da je zagotovljen varen umik prebivalcev,
- ločevanjem evakuacijskih poti s požarnimi in dimnimi zavesami,
- nadzorom dima,
- z omejevanjem požara in dima zaradi gorljivosti stenskih in stropnih oblog na evakuacijskih poteh.

Zahteve se nanašajo na napeljave in naprave za odkrivanje požara in alarmiranje, napeljave zasilne razsvetljave in sekundarnega vira energije, uporabo ustreznih materialov na evakuacijskih poteh, varnostne kljuke na vratih, napeljave za oskrbo z vodo, hidrantna omrežja ipd.

4.3.6.5 Varnost reševalnih ekip

Poleg zahtev glede nosilnosti, omejevanja širjenja požara in evakuacije prebivalstva, se ukrepi nanašajo tudi na zagotavljanje možnosti za izvedbo reševalnih operacij, omogočanje učinkovitega gašenja znotraj in zunaj objekta ter zagotavljanje varnega reševanja reševalcem in gasilcem in zapustitev objekta. Pogoji lahko vključujejo prostor za lahek dostop do gasilne napeljave, napeljav požarnih hidrantov, dvigal za gasilce in reševalce, napeljav zasilne oskrbe z energijo, označevanje nevarnih snovi ipd.

4.3.7 Pogoji za proizvode

4.3.7.1 Izdelki in njihove lastnosti, ki zadevajo bistveno zahtevo

Kriteriji, ki zadevajo izdelke, so upoštevani glede na vnetljivost, količino sproščene toplote, širjenje plamena, nastajanje dima in toksičnih produktov, gorenje kapljic oz. delcev in/ali kombinacijo le teh. Izdelki so lahko homogeni, kompozitni ali sestavljeni. To so predvsem materiali za zidove, stropne, tla, vključno z oblogami, izdelke vgrajene v gradbene elemente, sestavne dele napeljav in ventilacijskih kanalov in izdelke za fasade ter zunanje zidove. Posebna pozornost je namenjena tudi streham, ki so lahko podvržene notranjemu ali zunanjemu požaru. Strehe so lahko podvržene porušitvi, prodiranju požara skozi streho in vžigom strešne kritine, širjenju požara pod in nad streho ter tvorjenju gorečih delcev na površinah, ki so oddaljeni od vira vžiga, kot tudi širjenju požara po zunanji površini ali znotraj sklopa strešne kritine in pa prodiranju požara v objekt skozi streho ali svetlobne jaške.

4.3.7.2 Izdelki podvrženi zahtevam požarne varnosti

Danes za določitev požarne lastnosti v Evropi in drugod uporabljajo ISO standardne krivulje požara. Uporablja se za primerjavo, ko je začetna faza požara že minila. Krivulja standardnega ISO požara nam ne da dejanskih vrednosti temperatur in napetosti, ki so prisotne pri dejanskem požaru, vendar zagotavlja merilo relativnega delovanja sestavov in materialov v okviru zmožnosti in dimenzij testne opreme – peči. Kot drugo možnost predpisuje preizkušanje s standardnim ISO požarom, kjer upoštevamo razvoj dogodkov kot pri dejanskem požaru. To pride v poštev predvsem, kadar lahko pričakujemo precej drugačne vrednosti toplotne prevodnosti ali kadar so elementi podvrženi neenakomernem segrevanju.

Osnovni kriterij za oceno požarne odpornosti izdelkov so nosilnost, celovitost in izolativnost, izražene v minutah.

Uporabljamo simbole:

- R za nosilnost,
- E za celovitost,
- I za izolativnost.

Poleg simbolov pripišemo še pripono, izraženo v minutah. To uporabljamo vedno, kadar je označba izpeljana v skladu s standardno krivuljo temperatura/čas.

Oznake nosilnih elementov:

- R E I čas: minimalni čas, tekom katerega so zadovoljeni vsi kriteriji (nosilnost, celovitost in izolativnost).
- R E čas: minimalni čas, tekom katerega sta zadovoljena dva kriterija (nosilnost in celovitost).
- R čas: minimalni čas, tekom katerega je zagotovljena celovitost.

Oznake nenosilnih elementov:

- E I čas: minimalni čas, tekom katerega sta zagotovljena celovitost in izolativnost.
- E čas: minimalni čas, tekom katerega je zagotovljena celovitost.

Označbe lahko razširimo z:

- W, kjer izolativnost nadzorujemo na podlagi oddanega sevanja.
- M, ko obravnavamo posamezne mehanske vplive.
- C, za vrata opremljena s samozapiralom.
- S, za elemente s posebno omejitvijo širitve dima.

Zahteve o proizvodih so navedene posebej za standardne požarne krivulje (ISO požar) in tudi po dejanskem požaru. Tako se za kriterij delovanja nosilnosti (R) po ISO požaru razvrsti v ustrezen razred R15, R20, R30, R45, R60, R90, R120, R180, R240, po dejanskem požaru pa vzdržljivost elementa glede na določeno trajanje požarne obremenitve kot ustrezna ali neustrezna.

4.4 Osnovna zahteva št. 3 – Higiena, zdravje in okolje

4.4.1 Namen in področje delovanja

V uredbi (EU) št. 305/2011 so bistvene zahteve podane zelo okorno, zato so potrebni razlagalni dokumenti, ki podrobneje pojasnjujejo, kako naj bodo izraženi kriteriji za izpolnjevanje posamezne osnovne zahteve, kar daje lahko tudi podlago za oblikovanje nacionalnega tehničnega predpisa na tem področju. V njih je konkretizirana oblika in pomen osnovnih pojmov, uporabljenih v razlagalnih dokumentih in označevanje nivojev ali ravni zahtev s tehničnimi specifikacijami. Razlagalni dokument obravnava objekte, ki zadevajo varnost v primeru požara, določa izdelke in razrede izdelkov ter njihove lastnosti, ki se nanašajo na njihovo uporabo.

Gradbena dela morajo biti projektirani in izvedena tako, da ne bodo predstavljala nevarnosti za higieno ali zdravje uporabnikov objekta ali njihovih sosedov, ki bi nastale zaradi:

- sproščanja strupenih plinov,
- vsebnosti nevarnih delcev v plinih oziroma zraku,
- sproščanja radioaktivnih snovi,
- onesnaževanja vode ali zemlje s strupenimi snovmi,
- nepravilnega odvajanja odpadnih voda, dima, trdnih in tekočih odpadkov,
- prisotnosti vlage v delih stavb ali na površinah.

4.4.2 Razlaga osnovne zahteve »higiena, zdravje in okolje«

Uredba (EU) št. 305/2011 se sklicuje na vsa gradbena dela in velja tako za visoke kot nizke gradnje. Osnovna zahteva številka 3 zavzema vsa dela, kjer sta ogrožena higiena ali zdravje lastnikov, uporabnikov ali sosedov. Sklicuje se predvsem na objekte, kjer se zadržujejo ljudje in uporabniki stavbe. Vsi onesnaževalci ali oblike onesnaževanja imajo lahko negativne učinke na zdravje uporabnikov ali pa privedejo do nelagodja in neugodja, kar lahko posledično vodi do resnih zdravstvenih težav. Zahteva se osredotoča na 5 glavnih vidikov, kot so oskrba z vodo, odstranjevanje odpadnih voda in trdnih odpadkov ter notranje in zunanje okolje.

4.4.3 Tehnične specifikacije

Kontrolira se vse gradbene izdelke in materiale, ki lahko znižujejo kvaliteto notranjega zraka, da se zagotovi zadovoljivost v zvezi z zdravjem, higieno in okoljem. Kontrola se izvaja tako kot to

zahtevajo harmonizirane tehnične specifikacije, kjer pa je potrebno, pa se naredijo in-situ preiskave. Ustrezni izdelki so tisti, ki kontaminirajo notranji zrak v dovoljenih mejah. Ti izdelki ali materiali se uporabljajo za talne in zidne obloge, predelne stene, zidove, strope, izdelke za zidanje, kitanje in preparacijo lesenih delov, izolacijske materiale, barve in loščila, lepila, polnila, parne zapore, električne kable, napeljave ipd.

4.5 Tehnična smernica TSG-1-001:2010

Tehnična smernica po Zakonu o graditvi objektov (ZGO-1) je dokument, s katerim se za določeno vrsto objekta uredi natančnejša opredelitev osnovnih zahtev, pogoji za projektiranje, izbrane ravni oziroma razredi gradbenih proizvodov/materialov, ki se smejo vgrajevati ter načini izvajanja gradnje z namenom, da se zagotovi zanesljivost objekta čez celo življenjsko dobo in tudi postopke, po katerih je mogoče ugotoviti, ali so takšne zahteve izpolnjene. V Pravilniku o požarni varnosti v stavbah so določene naslednje zahteve za varnost pred požarom:

- širjenje požara na sosednji objekt (3. člen),
- nosilnost konstrukcije in širjenja požara po stavbah (4. člen),
- evakuacijske poti in sistemi za javljanje ter alarmiranje (5. člen),
- naprave za gašenje in dostop gasilcev (6. člen).

4.5.1 Širjenje požara na sosednje objekte

Prenos požara iz goreče stavbe na sosednje objekte je odvisen od toplotnega sevanja, velikosti površine, skozi katero požar seva toploto v okolico, razdalje med stavbo in sosednjimi objekti ter od prisotnosti gorljivih materialov na zunanjih stenah potencialno ogroženih objektov oziroma od velikosti nezaščitene površine, skozi katere se lahko požar prenese na sosednji objekt. Širjenje požara je možno tudi z letečimi gorečimi delci. Stavbe je treba načrtovati tako, da se požar v njej določen čas ne bo mogel razširiti na sosednje objekte, tudi če bi ti stali na parcelni meji. To se zagotavlja z ustrezno požarno zaščito fasade in strehe stavbe in z odmikom stavbe od sosednje parcele za najmanj toliko, da je ta zahteva izpolnjena. Ukrepi za preprečevanje prenosa požara na sosednje objekte po smernici TSG-1-001:2010 temeljijo na naslednjih izhodiščih:

- intenzivnost požara je odvisna od velikosti požarnega sektorja (požar lahko zajame celoten požarni sektor, ne bo pa se razširil prek njegovih meja),
- nevarnost nastanka požara in njegova intenziteta sta odvisni od namembnosti stavbe (zmanjšata se, če je vgrajen ustrezen sprinklerski sistem),
- nastanitvene stavbe in zbirališča predstavljajo večjo nevarnost kot druge stavbe,
- toplotno sevanje skozi požarno odporno steno se lahko zanemari.

4.5.2 Nosilnost konstrukcije in širjenje požara po stavbi

V tej točki tehnične smernice so navedeni načini projektiranja in gradnje za:

- požarne lastnosti gradbenih elementov, ki omejujejo hitro širjenje požara po stavbah,
- požarne lastnosti nosilne konstrukcije stavb,
- razdelitev stavb v požarne sektorje,
- odvod in kontrolo dima in toplote,
- sprinklerske sisteme,
- varnostno napajanje.

Pri projektiranju in gradnji je treba v nekaterih primerih upoštevati tako zahteve za požarno odpornost (R) nosilne konstrukcije kot tudi zahteve za požarno odpornost in izolativnost (E in I) mejnih gradbenih elementov požarnih sektorjev.

4.5.3 Evakuacijske poti in sistemi za javljanje in alarmiranje

Evakuacijsko pot je treba projektirati tako, da predstavlja najkrajšo možno pot za umik uporabnikov iz ogroženih prostorov v stavbi na prosto.

Pri projektiranju evakuacijskih poti se upošteva:

- število uporabnikov,
- število in velikost etaž,
- površina in namembnost stavbe ter njena razdelitev v požarne sektorje.

Skupna dolžina evakuacijske poti pomeni seštevek dolžine poti od točke v prostoru, ki je najbolj oddaljena od izhoda iz tega prostora, do izhoda iz prostora in dolžine poti po hodniku do izhoda v zaščiteno stopnišče ali do izhoda na prosto.

4.5.4 Naprave za gašenje in dostop gasilcev

Stavbe morajo biti projektirane in grajene tako, da so glede na zasnovo, lokacijo, namembnost in velikost stavbe ob požaru:

- zagotovljene naprave in oprema za gašenje začetnih požarov, ki jih lahko uporabijo vsi uporabniki,
- zagotovljene naprave in oprema za gašenje, ki jih lahko uporabijo usposobljeni uporabniki in gasilci,
- vgrajeni ustrezni sistemi za gašenje požara.

Zagotovljen mora biti tudi neoviran in varen dostop za gašenje in reševanje v stavbi.

4.6 Preskušanje požarnih lastnosti materialov

Evropska organizacija za standardizacijo (CEN) je prepisala postopke za preskušanje in klasificiranje gradbenih materialov. Vpeljano je bilo sedem glavnih razredov za klasifikacijo gradbenih materialov (A1, A2, B, C, D, E in F). Vsak razred predstavlja različno stopnjo gorljivosti materiala oz. možnost povzročitve požarnega preskoka (»flash-over«) pri referenčnem SBI testu. Pri materialih z oznako A1 ne more priti do preskoka, medtem ko pri materialih z oznako F hitro nastopi požarni preskok oz. »flash-over«.

Preglednica 4-1: Korelacija med razredi in nastanek preskoka pri SBI testu

Razred	Obnašanje materiala pri sobnem kotnem preskusu – nastanek požarnega preskoka	Hitrost razvoja požara pri SBI testu FIGRA* [W/s]	Primer materiala
A1	NE (gorilnik moči 100 ali 300 kW)	negorljiv material in majhna kalorična vrednost, ni preskušen v SBI	beton, opeke, večina proizvodov iz kamene in steklene (mineralne) volne
A2	NE (gorilnik moči 100 ali 300 kW)	$FIGRA \leq 120$ W/s	mavčno-kartonske plošče, vlakneno cementne plošče, proizvodi iz mineralne volne
B	NE (gorilnik moči 100 ali 300 kW)	$FIGRA \leq 120$ W/s	prebarvana mavčno kartonska plošča, nekatere lesene plošče obdelane z zaviralci gorenja
C	DA 10 ÷ 20 minut (gorilnik moči 100 kW)	$FIGRA \leq 250$ W/s	sendvič plošče s fenolno peno, večina lesenih plošč obdelanih z zaviralci gorenja
D	DA 2 ÷ 10 minut (gorilnik moči 100 kW)	$FIGRA \leq 750$ W/s	sendvič plošče s poliizocianuratno peno, ekstrudiran polistiren, večina lesenih plošč
E	DA < 2 minuti (gorilnik moči 100 kW)	Material ni preskušen v SBI	sendvič plošče s poliuretansko peno, brizgana PIR pena, lesene vlaknene plošče
F	Da - zelo hitro	Lastnost ni določena (NPD)	ekspandiran polistiren, nepreskušeni materiali ali materiali, ki ne dosežajo razreda E

*FIGRA-Fire growth rate index

Dodatno se gradbeni materiali testirajo tudi na količino dima, ki nastaja med gorenjem in količino gorečih kapljic. Toksičnost produktov izgorevanja oz. dimnih plinov na klasifikacijo materialov ne vpliva, saj še niso odkrili verodostojne preskusne metode. Pri materialih, ki vsebujejo v svoji kemijski strukturi ogljik, se sprošča veliko strupenega dima in saj, ki ogrožajo življenje ljudi v objektu. Med najpomembnejše toksične produkte gorenja sodijo ogljikov monoksid, v dimu pa ogljikov dioksid, vodna para in saje.

5 PROGRAMSKI PAKET FIRE DYNAMICS SIMULATOR

Fire Dynamics Simulator oz. krajše FDS je računalniški program, ki se razvija že 25 let, vendar je javno dostopen postal šele leta 2000. Program so razvili na National Institute of Standards and Technology v ZDA. FDS je specializiran program za simulacijo dinamike požara v prostoru. Program rešuje sistem Navier-Stokesovih enačb, uporablja pravokotno rastrsko mrežo in zgorevalni model mešalnih razmerij (mixture fraction). V modelu je upoštevana osnovna baza gorljivih materialov in podatki o glavnih konstrukcijskih elementih. S programom je možno simuliranje odkrivanja požarov s pomočjo toplotnih javljalnikov in šprinklerskih šob. K programu FDS je dodan tudi program Smokeview, ki nam omogoča pregled slik in animacijo rezultatov v realnem času. Smokeview nam danes omogoča tridimenzionalno prikazovanje fizičnega modela, kot tudi prikaz ognja za lažjo predstavo na način, ki nam ga ostali strokovni programi navadno ne omogočajo.

Za izračun simulacije je potrebno narediti vhodno datoteko, ki mora vsebovati vse potrebne podatke za reševanje enačb. Definirati je potrebno velikost in gostoto mreže končnih elementov, začetni in končni čas simulacije, začetno temperaturo prostora, zračni tlak, itd. Prav tako je potrebno vnesti formule reakcij, ki potekajo med gorenjem, karakteristike materialov, ki sestavljajo prostor in opremo. Ko imamo vhodne podatke o geometriji in karakteristikah opisane in robne pogoje določene, je potrebno vnesti še podatke o napravah oz. merilcih, ki beležijo rezultate tekom celotne simulacije ali posameznega časovnega obdobja in jih zapisujejo v izhodne datoteke.

Izhodne datoteke se pregleduje na dva načina. Prvi je s pomočjo priloženega programa Smokeview, ki omogoča predvsem prikazovanje količin po vsej računski mreži tekom celotne računske simulacije v realnem časovnem obdobju. Tako dobimo vizualni pregled dogajanja med potekom požara. Rezultate je možno poljubno ugašati in prižigati, da prikaz rezultatov ni preveč obremenjen in spremljati posamezno količino ali celo serijo različnih količin. Drugi način pregledovanja rezultatov je s pomočjo programa za obdelavo razpredelnic, kjer z malo truda lahko analizirane podatke predstavimo s pomočjo grafov in s tem ustvarimo primerjavo med posameznimi računskimi simulacijami.

6 RAČUNSKI MODEL

Za računski model sem izbral knjižnico na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, saj knjižnica vsebuje veliko gorljivega materiala. Zanimalo me je predvsem širjenje dima in strupenih snovi po zgradbi, saj se poleg knjižnice nahaja odprto stopnišče, ki omogoča neovirano širjenje toplote in ostalih produktov po zgradbi.

6.1 Konstrukcijski sklopi

V modelu sem upošteval naslednjo sestavo tipičnih konstrukcijskih sklopov.

6.1.1 Zunanja stena

Preglednica 6-1: Sestava zunanje stene

	Debelina [cm]	Gostota [kg/m ³]	Spec. toplota [kJ/kgK]	Prevodnost [W/mK]	Emisivnost [-]	Abs. koef. [1/m]
Omet	1	2100	1,05	1,4	0,94	5000
Penobetonski bloki	20	800	1,05	0,35	0,9	5000
Betonske fasadne plošče	5	2200	0,88	1,2	0,95	5000

6.1.2 Medetažna konstrukcija

Preglednica 6-2: Sestava medetažne konstrukcije

	Debelina [cm]	Gostota [kg/m ³]	Spec. toplota [kJ/kgK]	Prevodnost [W/mK]	Emisivnost [-]	Abs. koef. [1/m]
Linolej	0,3	1200	2,3	0,17	0,96	5000
Cementni estrih	5	2200	1,05	1,4	0,9	5000
Zvočna izolacija	1	30	1,26	0,041	0,9	5000
Tlačna AB plošča	5	2500	0,88	0,2	0,95	5000
Vmesno polnilo - opeka ³	40	1800	0,92	0,76	0,92	5000
Omet	1	2100	1,05	1,4	0,94	5000

6.1.3 Predelna stena

Preglednica 6-3: Sestava predelne stene

	Debelina [cm]	Gostota [kg/m ³]	Spec. toplota [kJ/kgK]	Prevodnost [W/mK]	Emisivnost [-]	Abs. koef. [1/m]
Omet	1	2100	1,05	1,4	0,94	5000
Penobetonski bloki	20	800	1,05	0,35	0,9	5000
Omet	1	2100	1,05	1,4	0,94	5000

6.2 Oprema

Stavbno pohištvo in oprema, ki sem jo upošteval pri simulaciji požara je bila sestavljena iz naslednjih materialov, ki so vidni v preglednici 5-4. Kljub temu, da so knjige v glavnem sestavljene iz papirja jih nadomestim z lesom, ker je gorenje stisnjenega papirja zelo podobno gorenju lesa.

³ Pri modeliranju sem opečnato polnilo zanemarl.

Preglednica 6-4: Tabela uporabljenih materialov

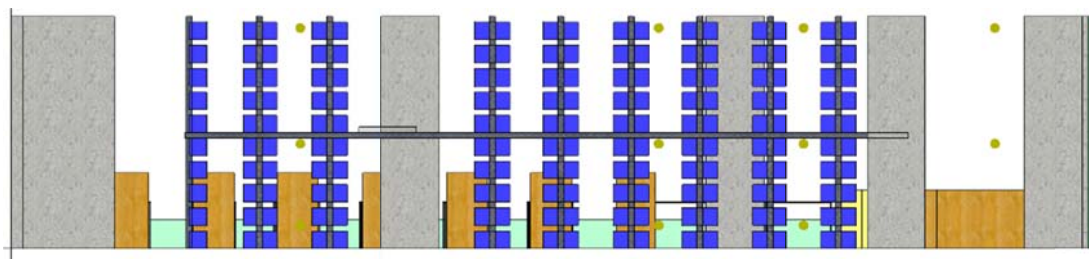
	Gostota [kg/m ³]	Spec. toplota [kJ/kgK]	Prevodnost [W/mK]	Emisivnost [-]	Abs. koeficient [1/m]
Celuloza	400	2,3	0,15-0,29	0,9	5000
Jeklo	7850	0,46	45,8	0,95	5000
Lignin	550	1,1	0,1	1	5000
Steklo	2500	0,984	0,81	0,92	5000
Voda	1000	4,19	0,6	1	5000
Linolej	1200	2,6	0,17	0,96	5000
Knjige	640	2,8	1,147	0,9	5000

6.3 Opis osnovnega računskega modela

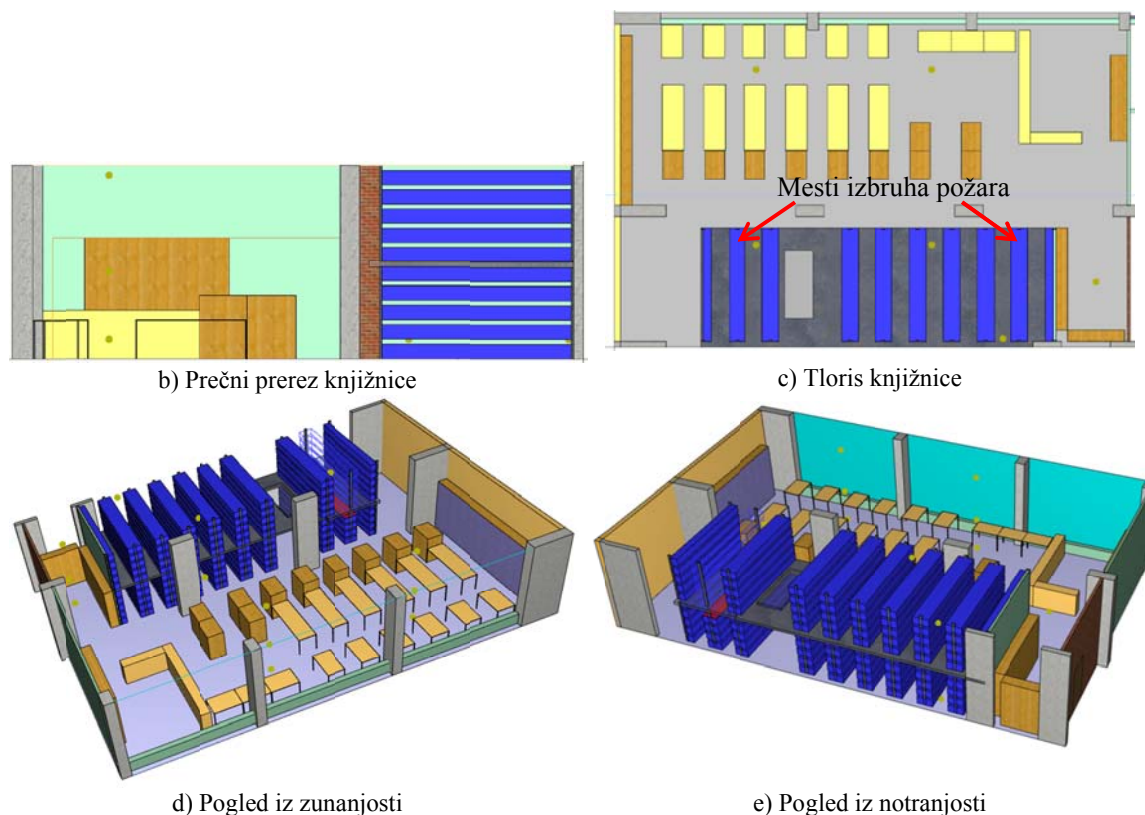
Obravnavani objekt je knjižnica gradbene fakultete, ki se nahaja v pritličju. Osnovne dimenzije knjižnice so 18,2 x 11,6 x 4 m. V knjižnici se ob steni z okni nahaja 18 miz za učenje in tri mize, ki so opremljene z računalniki. Mize so dimenzije 228 x 75 x 80 cm (D x Š x V). Poleg tega so na osrednjem delu knjižnice postavljene nizke omarice, dimenzij 100 x 70 x 130 cm, v katerih se nahajajo strokovne revije. Na zahodni strani se nahajajo omare s steklenimi vrati, dimenzije 100 x 40 x 250 cm. Na vzhodni strani se nahaja lesen pult, oblike L z dimenzijami 400 x 220 cm. Za pultom so tri omare dimenzije 100 x 40 x 250 cm. V knjižnici se nahaja tudi jeklen podest in sicer na delu z 10 knjižnimi policami, ki so v dveh nadstropjih. Prva in zadnja knjižna polica je globine 30 cm, medtem ko so vse ostale globine 60 cm, dolžine 400 cm in višine 200 cm. Dostop v knjižnico je mogoč skozi avlo. Računski model je modeliran z osnovno mrežo končnih elementov velikosti 10 x 10 x 10 cm.

Na področju knjižne police številka 2 in 9 (slika 6-1c) je narejena zgostitev mreže za 100% v območju dveh metrov od prej omenjenih knjižnih polic in zgostitev za 200% na območju enega metra od knjižnih polic. Tako so končni elementi v bližini knjižnih polic veliki 5 x 5 x 5 cm oziroma 2,5 x 2,5 x 2,5 cm.

Z zgostitvijo računske mreže so rezultati bistveno natančnejši, vendar se s tem poveča število računskih celic in podaljša čas računanja za posamezen primer. Začetna temperatura prostora je v vseh primerih enaka in znaša 20°C. Predpostavljen zračni tlak znaša 101325 Pa in 40% relativna zračna vlaga v prostoru.



a) Vzdolžni prerez knjižnice



Slika 6-1: Model knjižnice

6.4 Zasnova simulacije

Vsi scenariji, ki sem jih modeliral, so zasnovani s pomočjo scenarijev verjetnega poteka požara. Ker je v objektih najbolj pogost primer požara v enem požarnem sektorju, je izbruh požara v knjižnici možen s pomočjo neonske svetilke, ki se nahaja pod jeklenim podestom. Požar zaneti iskra, ki pri napaki električne napeljave preskoči pri neonski svetilki. Namen diplomske naloge ni bil usmerjen v iskanje vzroka vžiga materiala vendar bolj v smer, ko je faza vžiga minila in se začelna faza rastočega požara. Uporabljen je bil napredni model modeliranja s točno geometrijo prostora in opreme. Požarna krivulja, ki jo predpisuje standard ISO 834 v EN 1991-1-2 priporoča 250kW/m^2 sproščene toplote na enoto površine v primeru simulacije požara v šolah. Sproščeno toploto moramo pomnožiti še z območjem na katerem se požar zgodi, ki je v našem primeru knjižna polica velikosti $0,6\text{ m} \times 4\text{ m} = 2,4\text{ m}^2$. Končna moč požara torej znaša $250\text{ kW/m}^2 \times 2,4\text{ m}^2 = 600\text{kW}$. Knjižna polica ni kontinuirana in je sestavljena iz tipskih elementov. Ker je sredina knjižne police podprta s stebrički, sem moč požara zmanjšal za 20% in prišel do vrednosti 500 kW.

6.4.1 Porušitev podesta in razbitje okenskega stekla

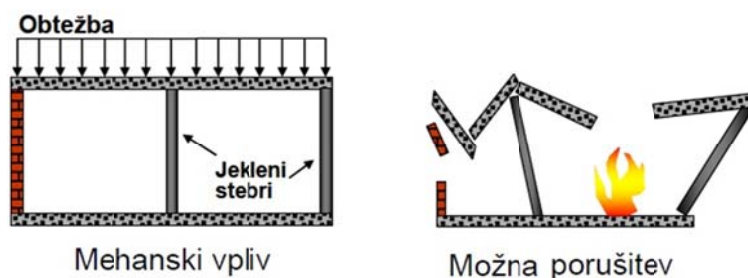
Knjižne police so zaradi prostorske stiske postavljene v dveh nadstropjih. Medetaža je sestavljena iz tipskih jeklenih profilov, preko katerih poteka jekleni podest. Jeklo je zaradi svojih dobrih lastnosti kot

so visoka trdnost, majhna lastna teža in možnosti 100% recikliranja, vedno bolj uporabljen material v gradbeništvu. Ob povišani temperaturi jeklo izgubi svojo trdnost, zato v primeru požara hitro pride do povečanih deformacij in porušitve konstrukcije. V izogib porušitve ali za doseg zakasnitve in s tem podaljšanje časa za reševanje, obstaja na trgu več sistemov požarne zaščite jeklenih konstrukcij.

Ti načini so:

- Zaščita na površini jeklenega elementa (požarno zaščitni premazi, ometi, obrizgi, plošče).
- Zaščita v jedru jeklenega prereza (prerez napolnjen z betonom ali vodo).

V knjižnici Fakultete za gradbeništvo in geodezijo ni izbran noben način zaščite jeklenega podesta, zato sem v računskem modelu moral vnesti pogoje za porušitev podesta. Podest sem sestavil iz plošč dimenzije 100 cm x 400 cm in vnesel pogoj, da se posamezna plošča poruši, ko temperatura v notranjosti preseže kritično temperaturo, ki znaša 585°C (Twilt, 1994).

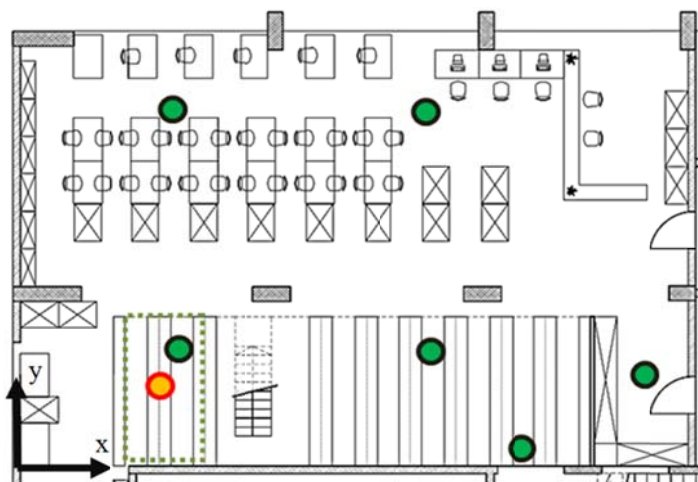


Slika 6-2: Porušitev jeklenega podesta pri temperaturni obremenitvi

Princip porušitve stekla je podoben porušitvi jeklenega podesta s to razliko, da steklo počne zaradi prevelikega temperaturnega gradienta. Steklo načeloma zelo dobro prenaša temperaturne spremembe, dokler se te dogajajo počasi in po celi površini ter da ima na robovih dovolj prostora za raztezanje, da ne pride do lokalnih napetosti. Ker pa se požar v scenariju 3, 4 in 5 odvija zelo blizu okenskega stekla sem v vhodno datoteko dodal pogoj, da v trenutku, ko temperatura na površini preseže mejno vrednost 200°C (Vytenis, 2010) steklo počne. Tu sta narejeni dve poenostavitvi, ker sem predpostavil, da steklo takoj po pojavu razpok začne razpadati, se vsuje na tla ter spremeni zračni tok v prostoru. Druga poenostavitev pa se nanaša na dejstvo, da sem zanemaril armirano mrežico, ki se nahaja v steklu.

6.5 Scenarij 1

Požar zagori z močjo 500 kW na knjižni polici številka 2 zaradi okvare na neonski svetilki, ki se nahaja neposredno pod jeklenim podestom. Ogenj se sčasoma razširi tudi na zgornjo polico zaradi lokalne porušitve podesta, ko se le ta vda pod temperaturno obremenitvijo. Vse odprtine so zaprte, tako da onemogočajo dovod svežega zraka.



Slika 6-3: Tloris knjižnice z vrisanim koordinatnem sistemom

Preglednica 6-5: Legenda

	Mesto vžiga
	Merilno mesto
	Območje , kjer se poruši jekleni podest

Preglednica 6-6: Koordinate točkovnih merilnih mest

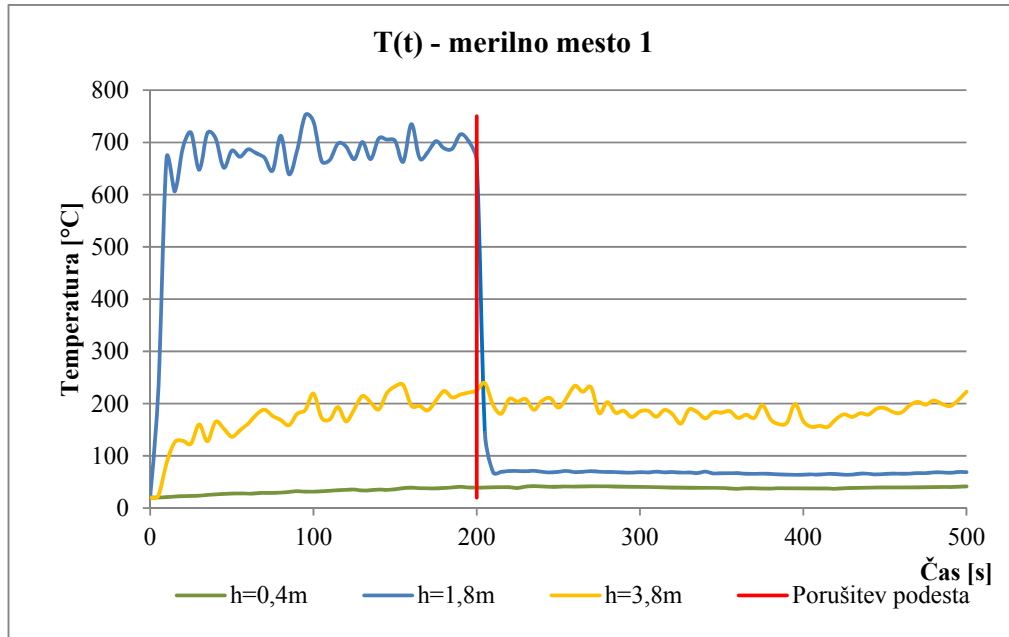
Merilno mesto	Koordinate [m]				
	X	Y	Z ₁	Z ₂	Z ₃
1	5	3,6	0,4	1,8	3,8
2	11,2	3,6	0,4	1,8	3,8
3	5	9,8	0,4	1,8	3,8
4	11,2	9,8	0,4	1,8	3,8
5	17	2,3	0,4	1,8	3,8
6	13,7	0,3	0,4	1,8	3,8

Koordinate merilnih mest in koordinatno izhodišče je enako za vse nadaljnje scenarije. Vsako merilno mesto v tlorisu knjižnice se ponovi na višini 40 cm, 180 cm in 380 cm.

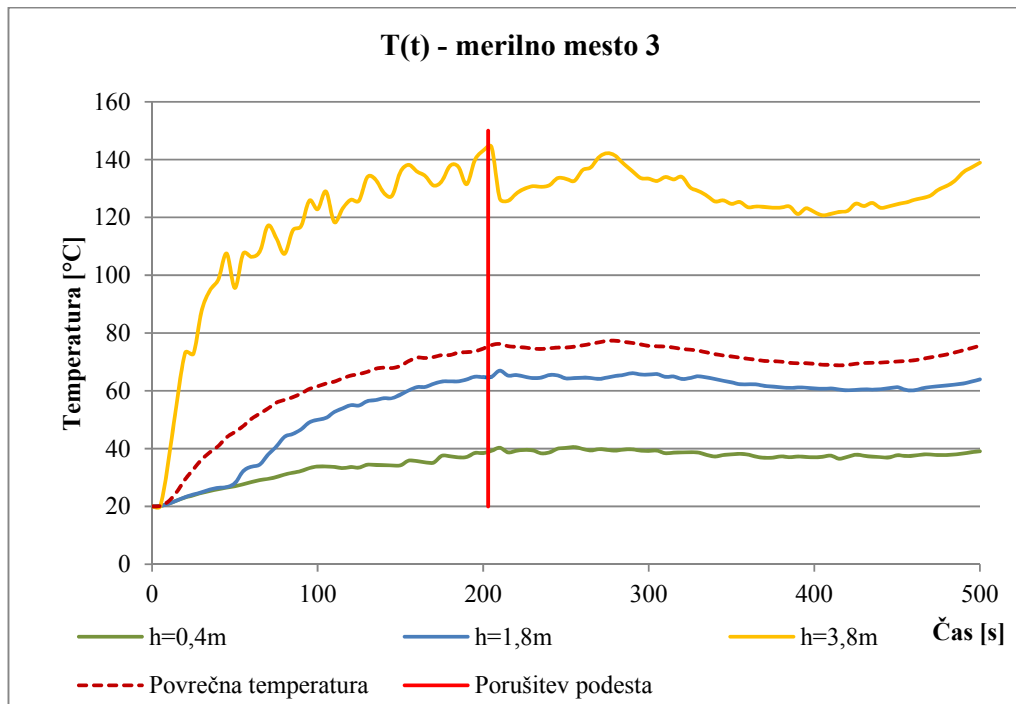
6.5.1 Rezultati

Prostor, v katerem zagori, nima dovoda svežega zraka, vendar kljub temu ogenj gori več kot 500 s, saj ima prostor prostornino kar 844m³. Dejanska povprečna temperatura vseh celic v knjižnici je že pri t=180 s nad 70°C, vendar v nadaljevanju ne narašča tako silovito kot pred tem (slika 6-5). Jekleni podest se pod temperaturno obtežbo vda pri t=203 s, kar se vidi na grafu kot strm padec temperature

(slika 6-4). Najvišje temperature so bile zabeležene na merilnem mestu 1 in sicer 750°C na višini 1,8m. Vzrok tako visoke temperature je predvsem v tem, da je merilec temperature od mesta vžiga oddaljen le 1 meter in se nahaja pod jeklenim podestom.

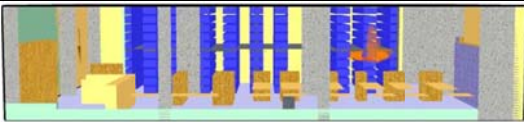
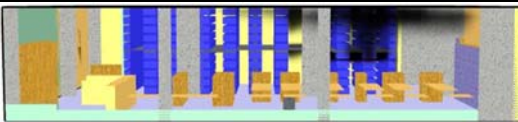
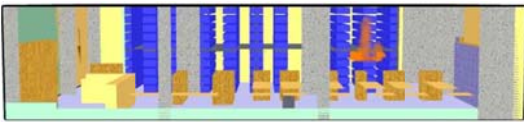
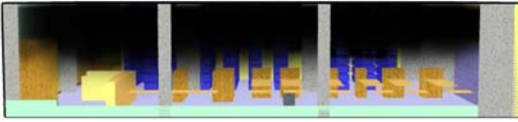
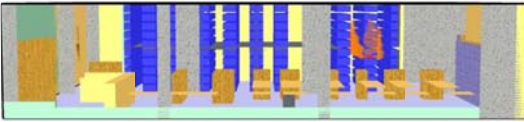
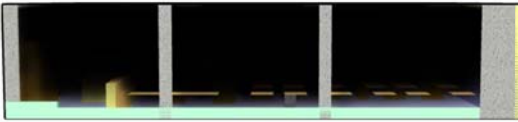
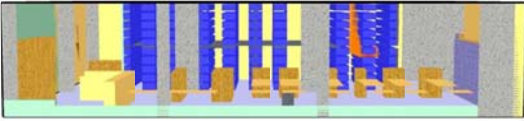

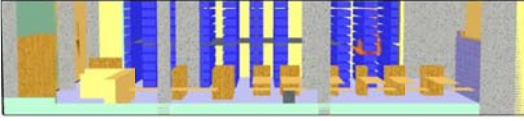



Slika 6-4: Primerjava temperatur po višini na merilnem mestu 1

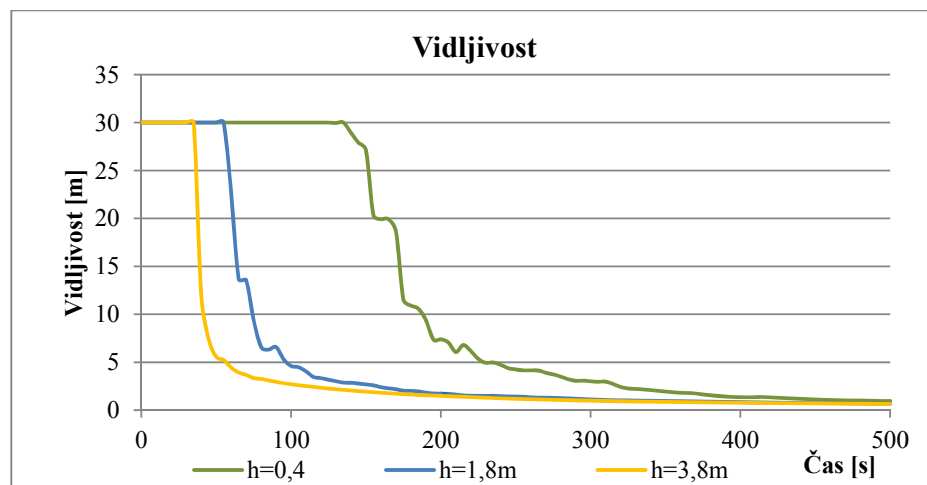


Slika 6-5: Primerjava temperatur po višini na merilnem mestu 3

Preglednica 6-7: Potek požara

	Intenzivnost gorenja	Saje
t=10 s		
t=60 s		
t=200 s		
t=300 s		
t=400 s		

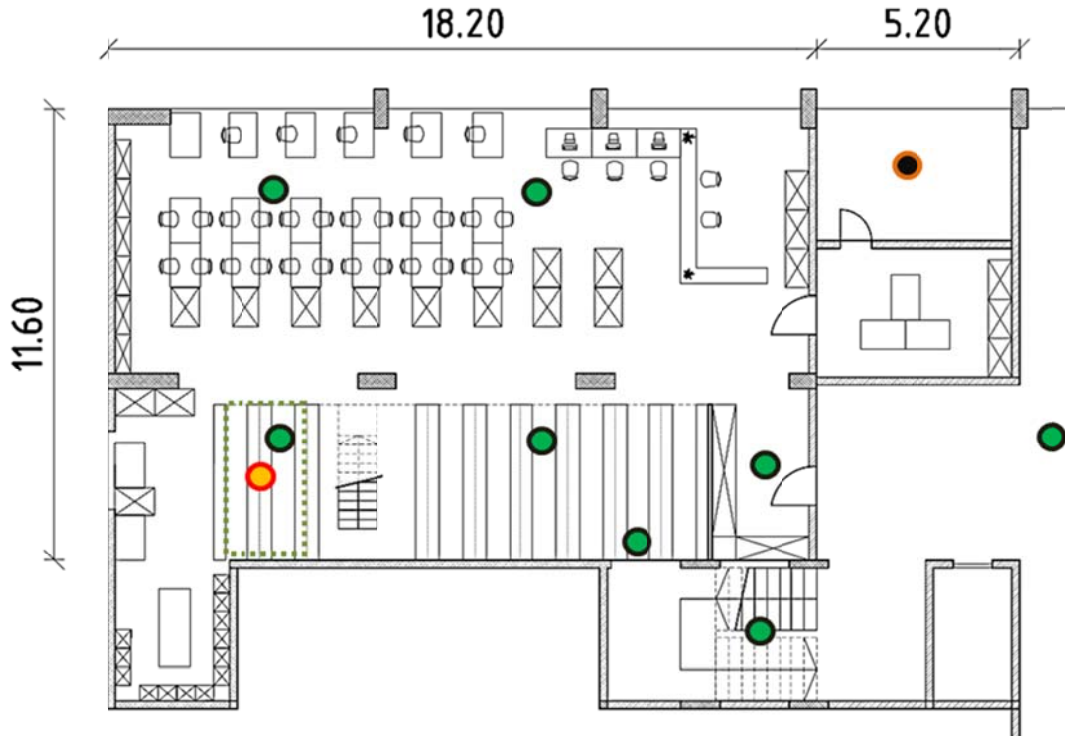
Saje že pri $t=200$ s prekrijejo celotni volumen prostora in vidljivost se na višini 1,8 m kmalu spusti pod 5m. Ogenj gori le na knjižni polici številka 2 ter lokalno na polici številka 1 in 3, kar je posledica dejstva, da ni dovoda svežega zraka oz. kisika, ki bi omogočal bolj burno gorenje (preglednica 6-7). Vidljivost po $t=400$ s znaša praktično manj od 1m (slika 6-6).



Slika 6-6: Vidljivost v knjižnici

6.6 Scenarij 2

Požar zagori v jutranjih urah, ko je v knjižnici prisotna samo knjižničarka, ki se nahaja v pisarni. Med pisarno, v kateri se nahaja knjižničarka in knjižnico je vmesni prostor s steklenimi vrati. Mesto požara je knjižna polica številka 2. Knjižničarka po $t=120$ s zazna dim in odhiti v knjižnico, zagleda požar in panično odhiti skozi vrata knjižnice, ne da bi jih zaprla.



Slika 6-7: Tloris pritličja

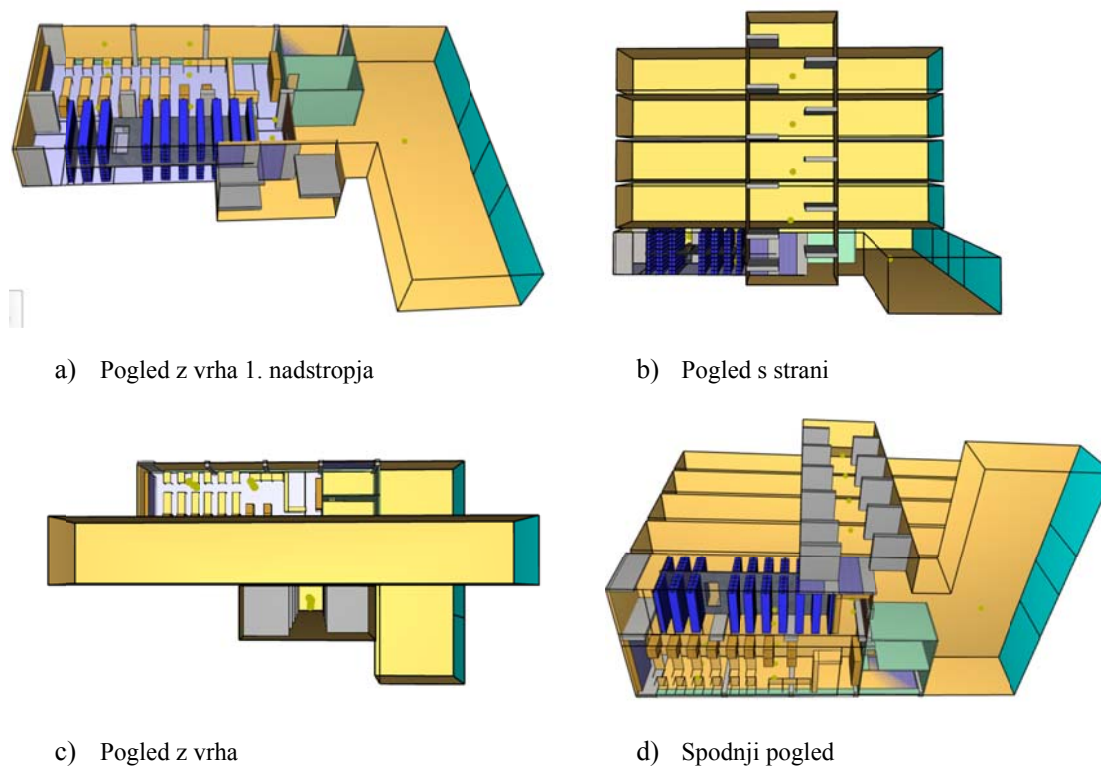
Preglednica 6-8: Legenda

	Mesto vžiga
	Merilno mesto
	Območje, kjer se poruši jekleni podest
	Knjižničarka

6.6.1 Opis računskega modela

Računski model prostora knjižnice je identičen tistemu v osnovnem računskem modelu. Računski model je razširjen z dodatnimi prostori. Dodani sta dve pisarni za osebje knjižnice. Vrata med knjižnico in pisarno so steklena, medtem ko so vrata med pisarnama lesena. Prav tako je dodano stopnišče z vmesnimi podesti, avla in posamezna nadstropja. V vsakem nadstropju sem modeliral še hodnik, ki povezuje učilnice. Zaradi počasnega procesiranja podatkov med izračunom sem uporabil ravnino »mirror«, ki omogoča povečanje prostorskega modela. Tako sem volumen avle in hodnikov

približal realnemu stanju. Na ta način sem se izognil bolj grobi delitvi končnih elementov v programu FDS.



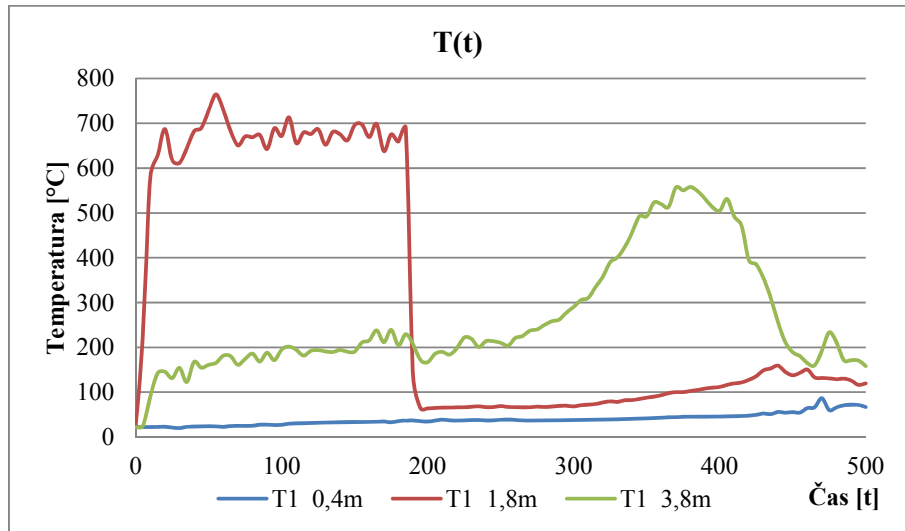
Slika 6-8: Pogledi računskega modela

Turkizna barva na desni strani slik označuje ravnino »mirror« (slika 6-8). Na stopnišču se nahajajo vmesni podesti med stopniščnimi ramami. Pri stopnišču sem naredil poenostavitev in sem modeliral le podeste brez stopniščnih ram. Stopniščno ramo tvori betonski nosilec, ki poteka po sredini in na katerega so naložene nastopnice. Višina stopnic tako ni zaprtega tipa in zrak se lahko prosto giblje po stopnišču. S to poenostavitvijo rezultatov bistveno ne spremenim.

6.6.2 Rezultati

Požar v drugem primeru do $t=120$ s poteka zelo podobno kot pri prvem računskem primeru, potem pa se odprejo vrata v avlo, ker knjižničarka odhiti ven. Jekleni podest se tudi v tem primeru upira ognjenim zubljem, dokler pri $t=185$ s ne popusti. Na grafu (slika 6-9) se tudi opazi, kako jekleni podest svojo ločevalno funkcijo upravlja do porušitve. Temperatura se na merilnem mestu 1, ki je najbližje izvoru požara hipoma spusti za 600°C . Tako se toplota ne kopiči več lokalno pod podestom. Pri $t=340$ s pride do lokalnega pojava »flash-over«. Opaziti je tudi tipično krivuljo poteka požara in sicer na višini 3,8m, kjer se lepo vidi, kako v intervalu med $t=320$ s do $t=360$ s nenadno pride do

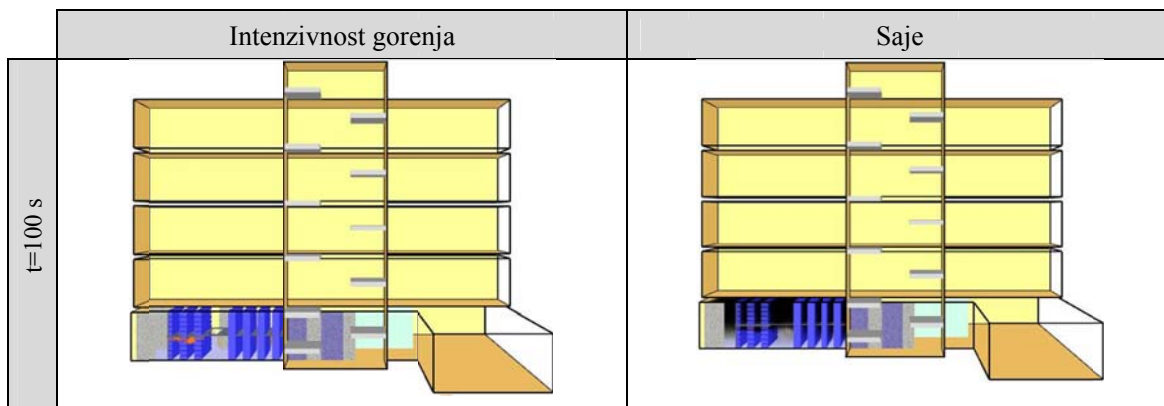
povišanja temperature in posledično do prej omenjenega pojava. Temperatura se v 40 s poviša za dobrih 300°C.

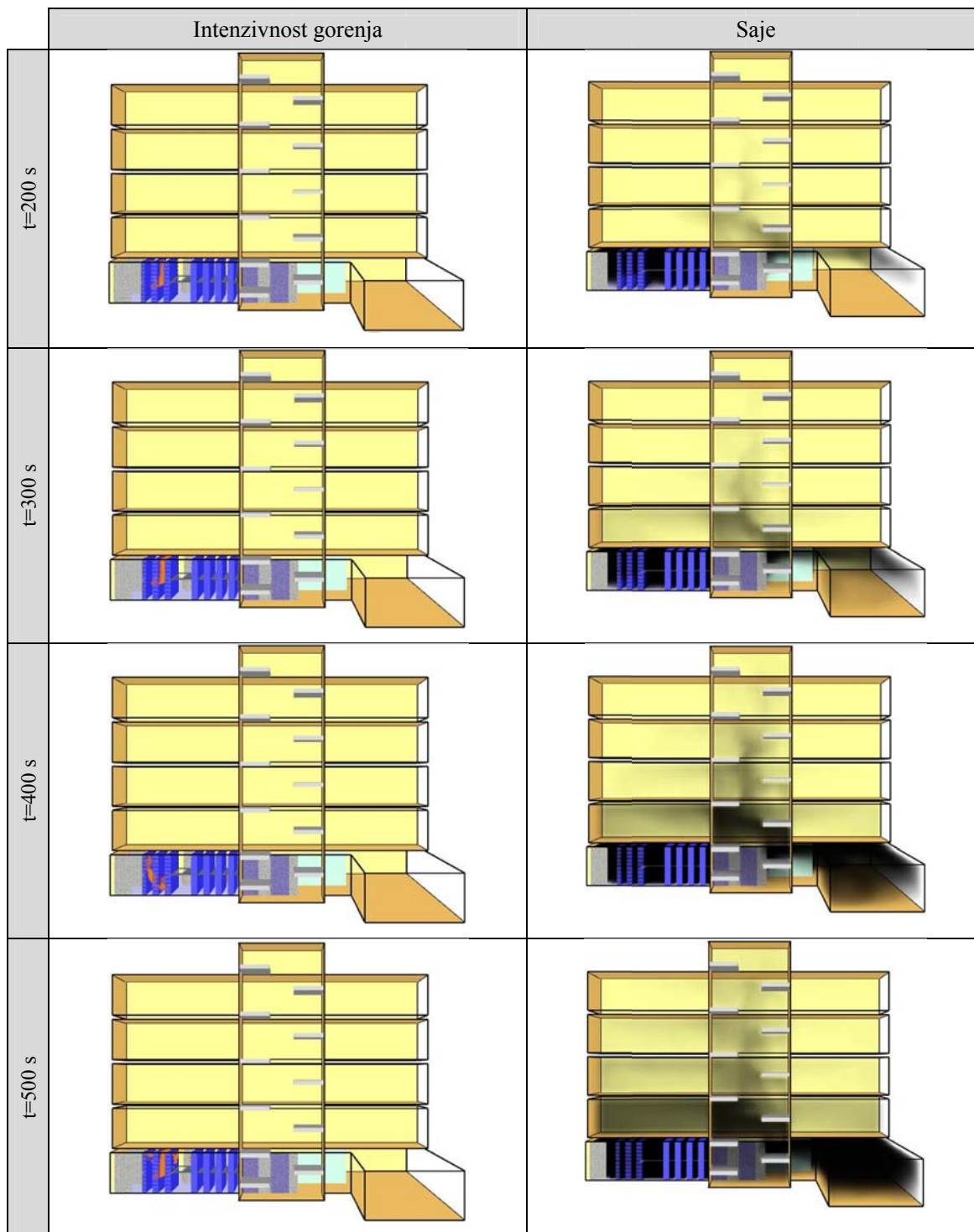


Slika 6-9: Potek temperature na merilnem mestu 1

Pri spremljanju poteka požara začne dim po $t=120$ s uhajati iz knjižnice in se postopoma začne širiti po avli in navzgor po stopnišču ter nato v hodnike v posameznem nadstropju. Največ saj je prisotnih v knjižnici, vendar se saje začnejo kopičiti tudi v avli, kjer se nahajajo vrata, ki povezujejo avlo in knjižnico (preglednica 6-9). Ker so vrata oddaljena 2m od stopnišča, je koncentracija saj na stopnišču bistveno manjša od koncentracije v avli. Logično je tudi dejstvo, da je količina saj večja bolj kot smo blizu viru uhajanja saj iz osnovnega prostora.

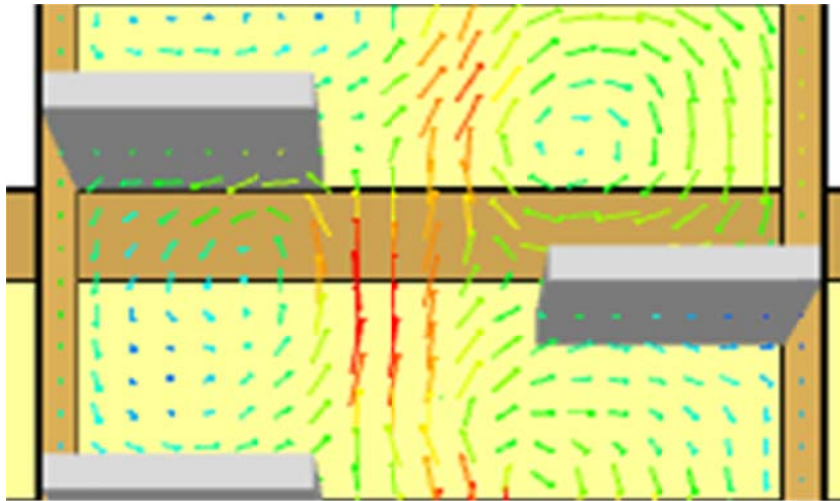
Preglednica 6-9: Potek požara



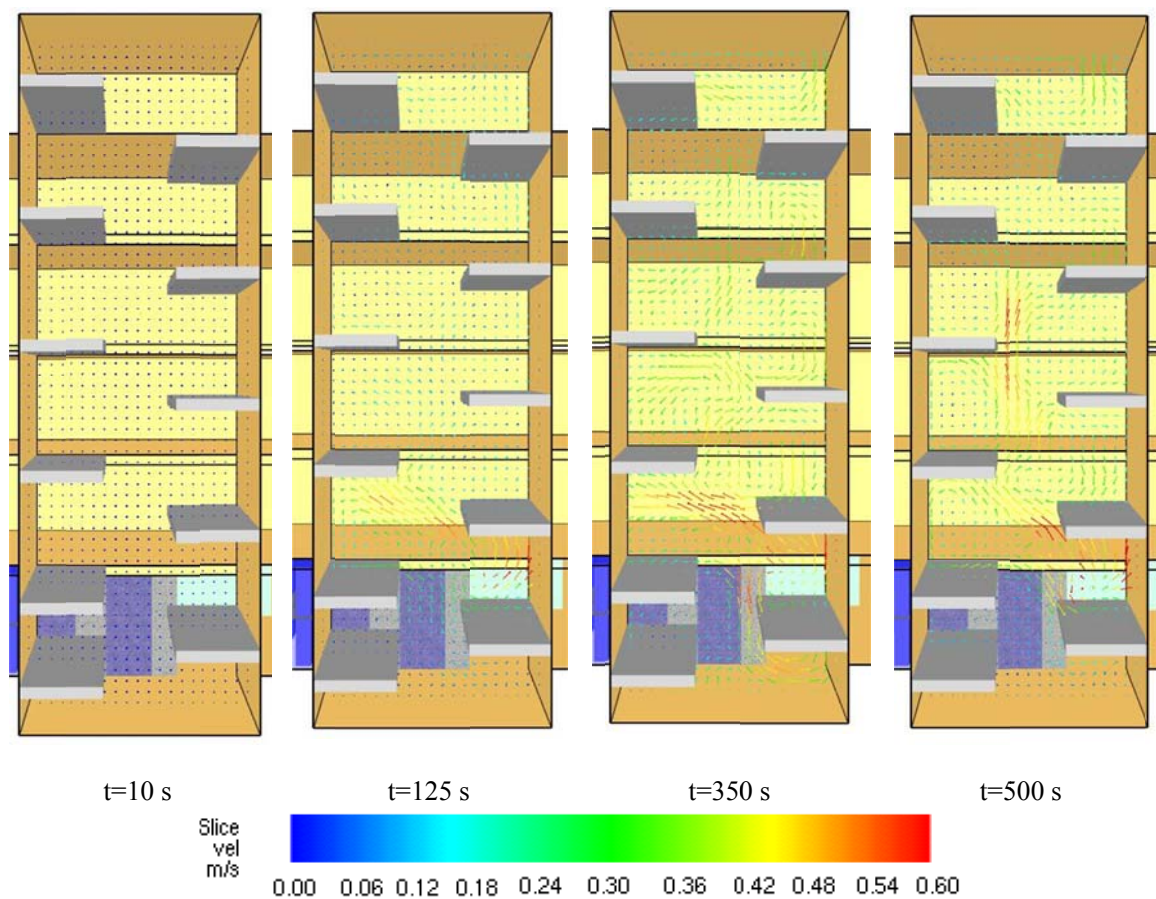


Ko se vrata med knjižnico in avlo odprejo, sem opazil pojav konvekcije. Pri tem pojavu se ustvari steber dvigajočega vročega zraka, bolj znan pod imenom termika. Pojavi se tudi značilno vrtinčenje zraka pod ovirami. Vsak podest torej predstavlja oviro pri gibanju zraka in tako povzroča lokalne turbulence. Topli zrak se med dvigovanjem ohlaja, ker vroči zrak iz knjižnice segreva stopnišče, oddaja toploto in s seboj nosi delce saj. Hitrost toplega zraka presega hitrosti 0,6 m/s (slika 6-10).

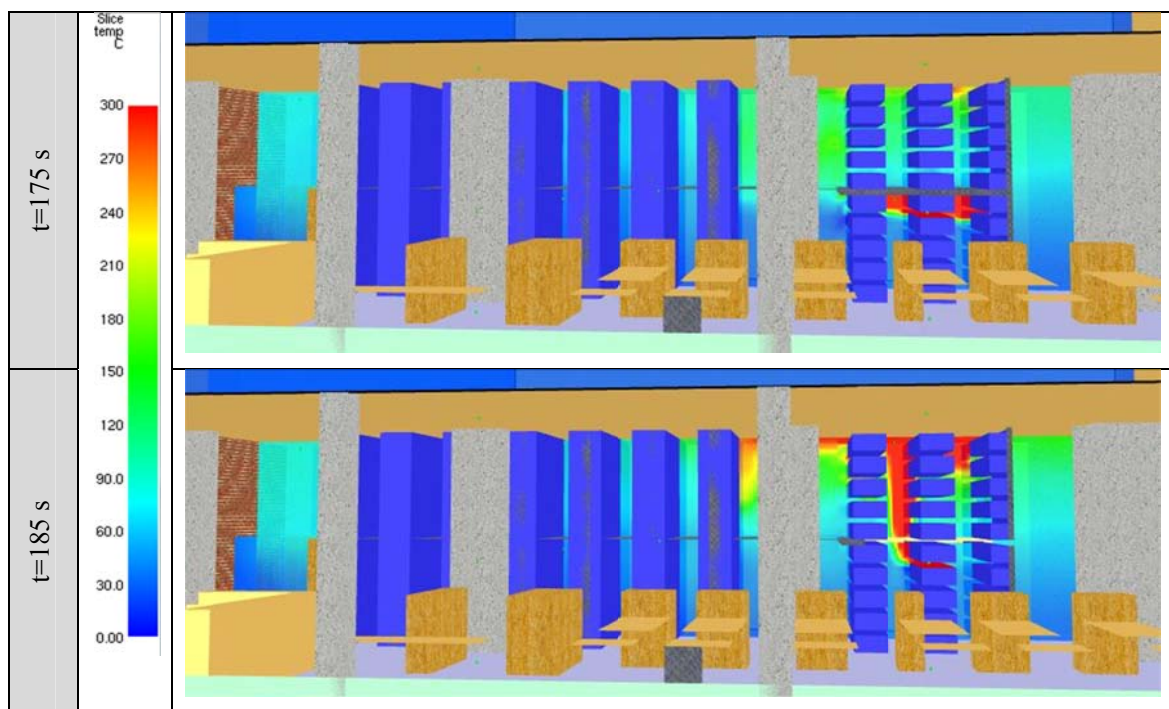
Pomembno vlogo pri požaru ima torej tudi odvod toplote, ki se najlažje doseže z vertikalnim prezračevanjem, saj zrak po naravni poti sam odvaja toploto. Arhitekti in inženirji radi izkoriščajo ta princip pri načrtovanju stavb, ker z naravno ventilacijo oz. hlajenjem privarčujemo pri stroških električne energije. Z odvajanjem toplote se odvajajo tudi saje, kar je zelo dobrodošlo pri požaru v objektih, kjer se nahajajo ljudje. Je pa sporno odvajanje saj skozi stopnišče, ker na fakulteti skozi stopnišče poteka tudi ena izmed dveh evakuacijskih poti. To je neugodno, ker se v tem primeru prepolovi kapaciteta evakuacijskih poti. V današnjih časih je pri visokih stavbah pogost ukrep umetno ustvarjanje nadtlaka na evakuacijskih poteh, ki so zaprtega tipa, ker s tem omogočimo varno in zanesljivo evakuacijo prebivalcev skozi vse evakuacijske poti.



Slika 6-10: Trajektorije gibanja zraka med podesti

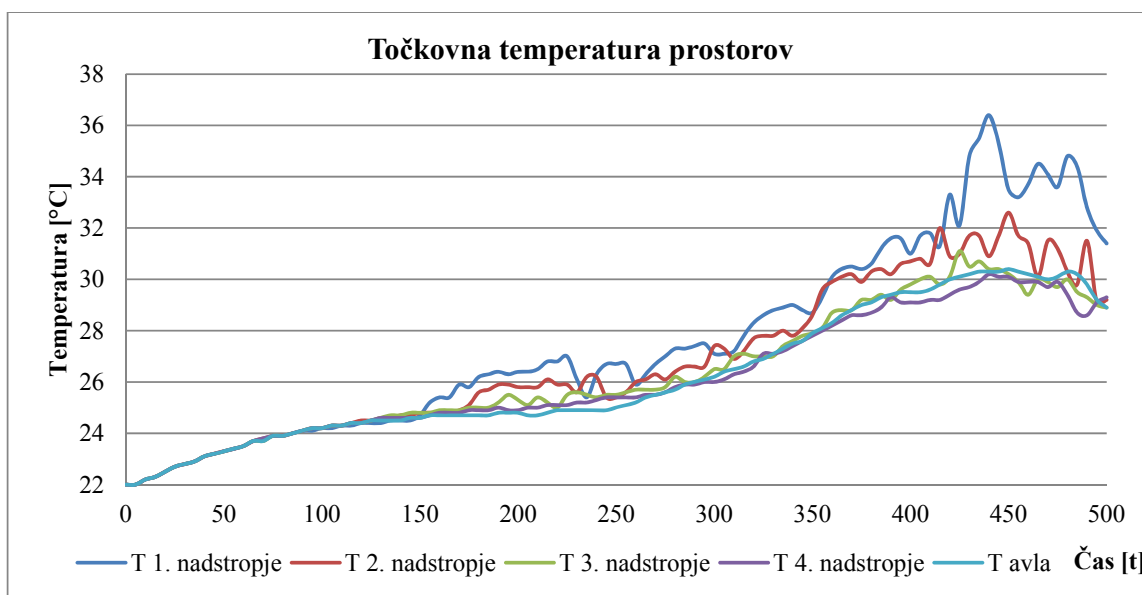


Slika 6-11: Trajektorije gibanja zraka na stopnišču s skalo



Slika 6-12: Primerjava temperatur v prostoru pred in po porušitvi podesta

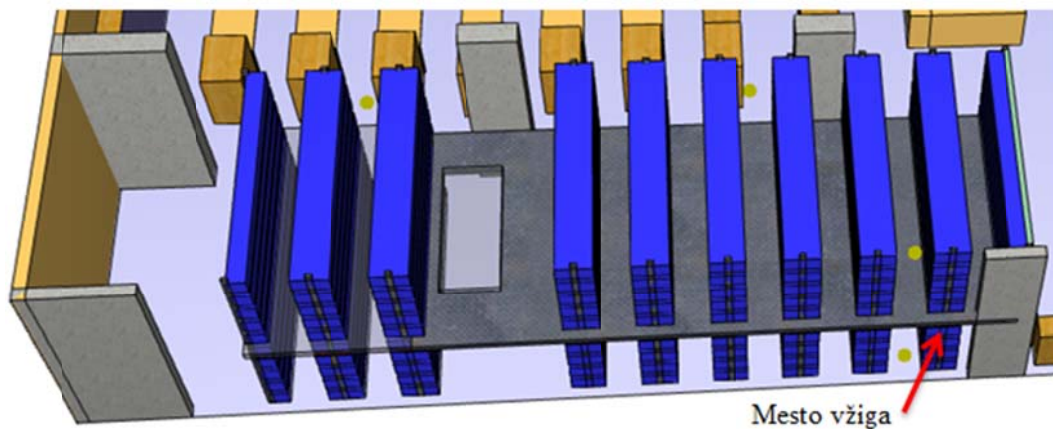
Temperatura se kopiči pod podestom, saj le-ta do porušitve opravlja ločevalno funkcijo. Ko se podest segreje na 500°C, se poruši in vroč zrak se hipoma dvigne pod strop (slika 5-12). Ko se odprejo vrata knjižnice, nekaj vročega zraka uide tudi na stopniščni del in avlo. Temperatura avle se dvigne za 8°C, medtem ko se temperatura na stopnišču v prvem nadstropju dvigne za 13°C, v drugem za 10°C, v tretjem in četrtem pa za dobrih 7°C (Slika 6-13).



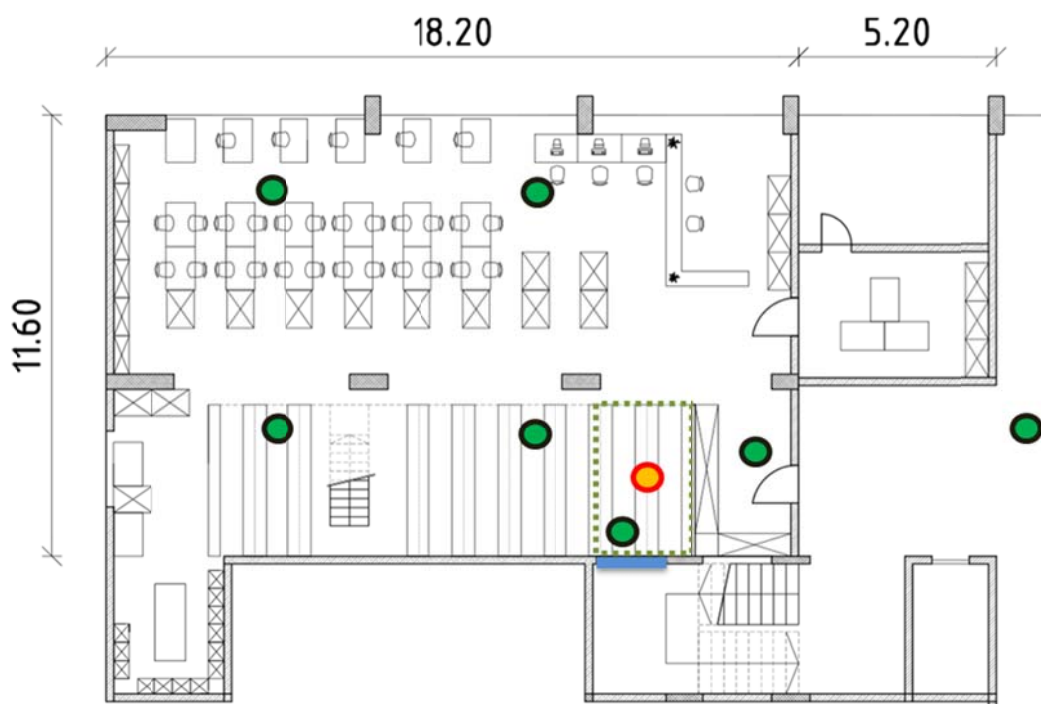
Slika 6-13: Primerjava točkovnih temperatur med posameznimi prostori

6.7 Scenarij 3

Žarišče požara se nahaja na knjižni polici številka 9, ki se nahaja ob stopnišču. Steklo, ki se nahaja med stopniščem in knjižnico je blizu izvora požara, zato je podvrženo visokim temperaturam. Temperaturni gradient je za steklo prevelik, zato steklo počni, ko se temperatura na steklu povzpne na 200°C. S predpostavljenim sesutjem stekla v prostor priteka svež zrak iz okolice, ki dodatno spodbudi gorenje. Ker med prostoroma ni več ločevalnega stekla, se skozi nastalo odprtino temperatura in saje prosto izmenjujejo po vseh odprtih prostorih fakultete. S tem scenarijem sem hotel preveriti vpliv širjena saj in temperature na stopniščni del, kjer se po poku stekla ustvari neke vrste prezračevalni jašek.







Slika 6-14: Mesto vžiga



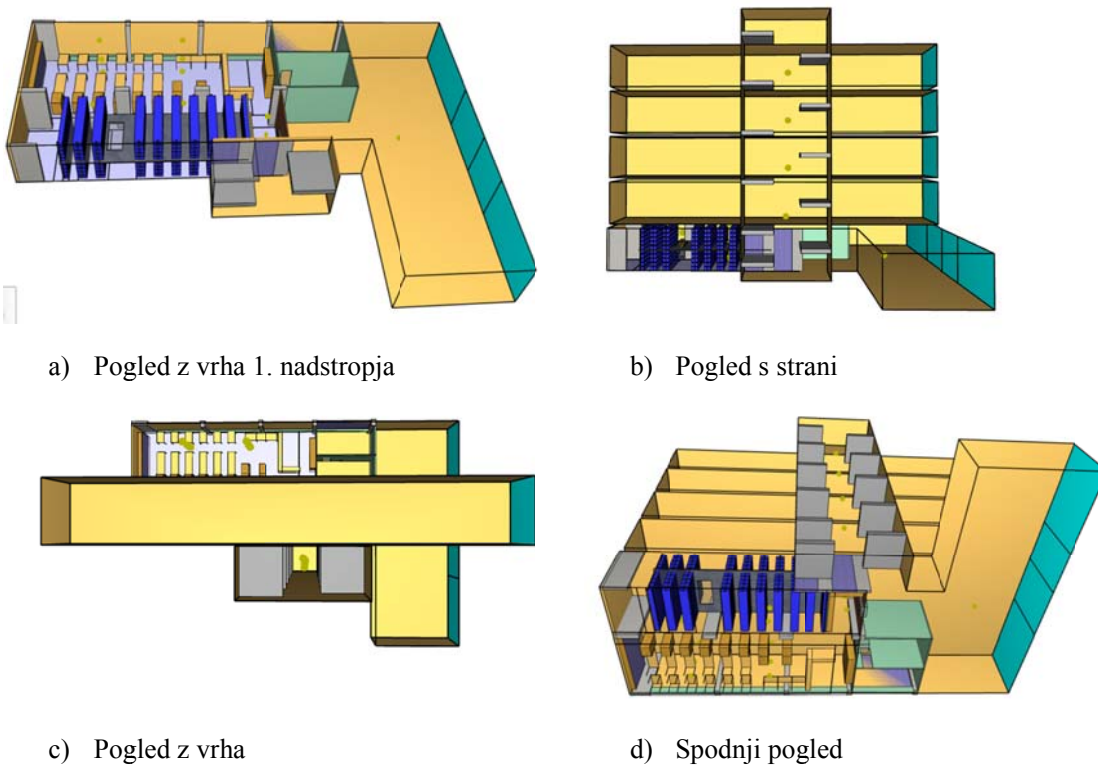
Slika 6-15: Tloris pritličja

Preglednica 6-10: Legenda

	Mesto vžiga
	Merilno mesto
	Območje , kjer se poruši jekleni podest
	Steklo, ki poči

6.7.1 Opis računskega modela

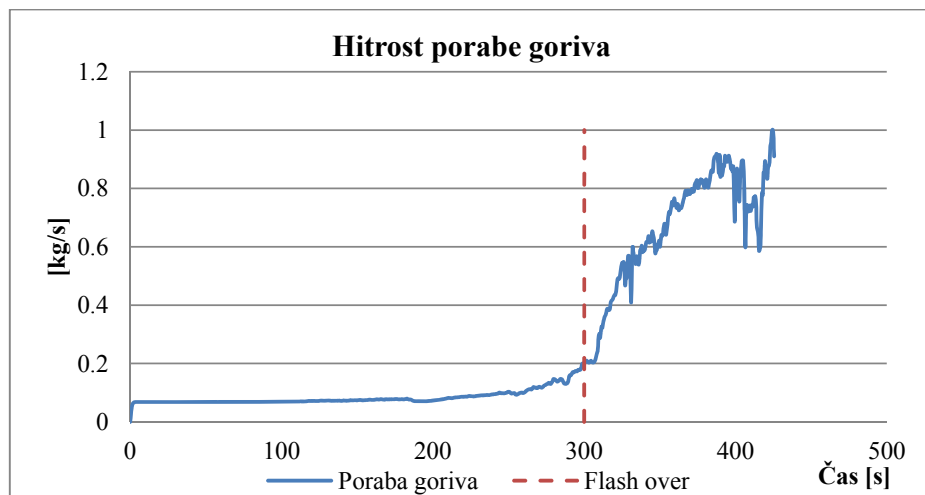
Računski model prostora knjižnice je identičen kot tistemu v prejšnjem primeru. Vsi robni pogoji ostanejo enaki, razen lokacije vžiga, ki se prestavi iz knjižne police številka 2 na polico številka 9. Edini dodatni robni pogoj je, da steklo, ki ločuje knjižnico in stopnišče počí, ko se temperatura na površini stekla dvigne na 200°C. S tem pogojem sem želel simulirati realno stanje obnašanja stekla, ko je izpostavljen hitrim temperaturnim spremembam. Tu sem naredil poenostavitev, ker sem predpostavil, da steklo počí po vsej višini. V realnosti bi se odprtina časovno povečevala od manjše luknje na začetku do luknje, ki bi potekala skozi celotno višino etaže. Zaradi počasnega procesiranja podatkov med izračunom sem uporabil ravnino »mirror«, ki omogoča povečanje prostorskega modela. Tako sem volumen avle in hodnikov približal realnemu stanju.



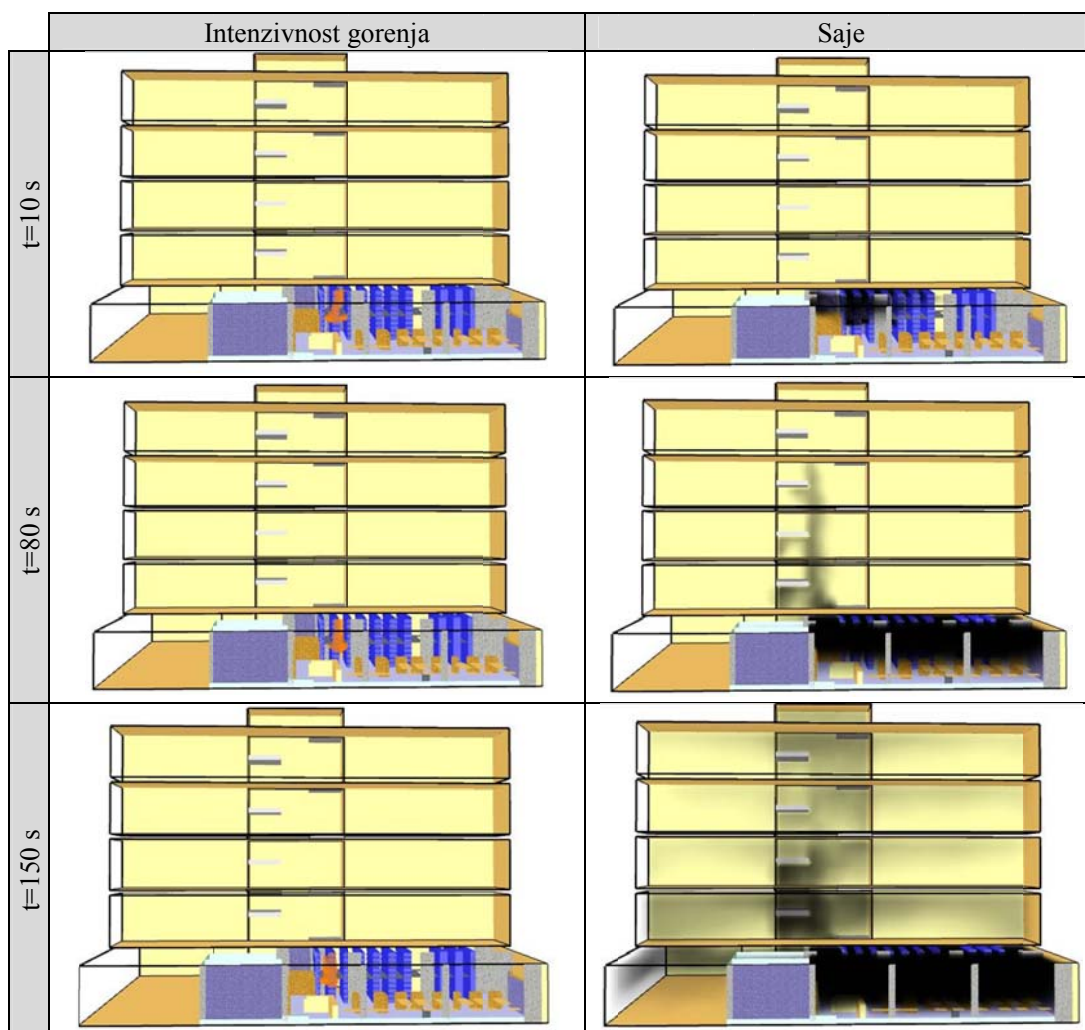
Slika 6-16: Pogledi računskega modela

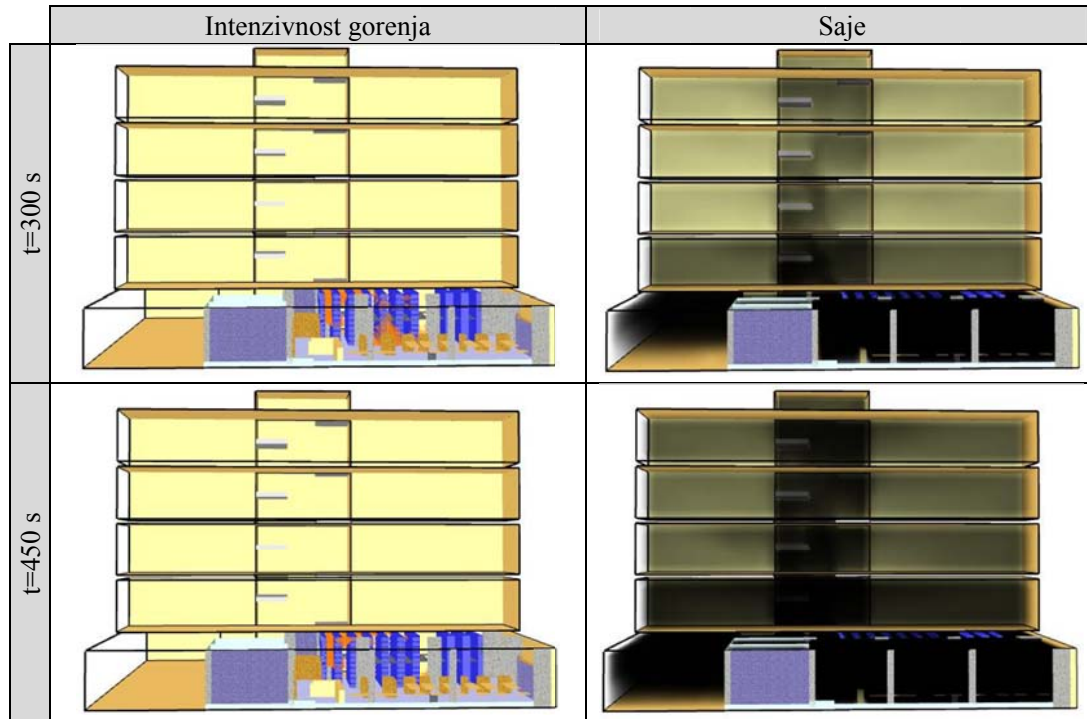
6.7.2 Rezultati

Zaradi bližine stekla in vira vžiga steklo počí pri $t=67$ s in tako omogoči odvod toplote in saj relativno zgodaj po začetku gorenja. Tako se zagotovi zadostna količina svežega zraka, ki omogoči hitro širjenje požara. Po $t=400$ s pride zaradi obsežnosti požara do deficita kisika in pospešeno se začne tvoriti ogljikov monoksid. Požar se začne silovito razvijati po $t=300$ s. Tako se poraba goriva iz začetnega stanja, ko se porablja s hitrostjo 0,2 kg/s, poveča za 5-krat pri $t=400$ s (slika 6-17).



Slika 6-17: Hitrost porabe goriva

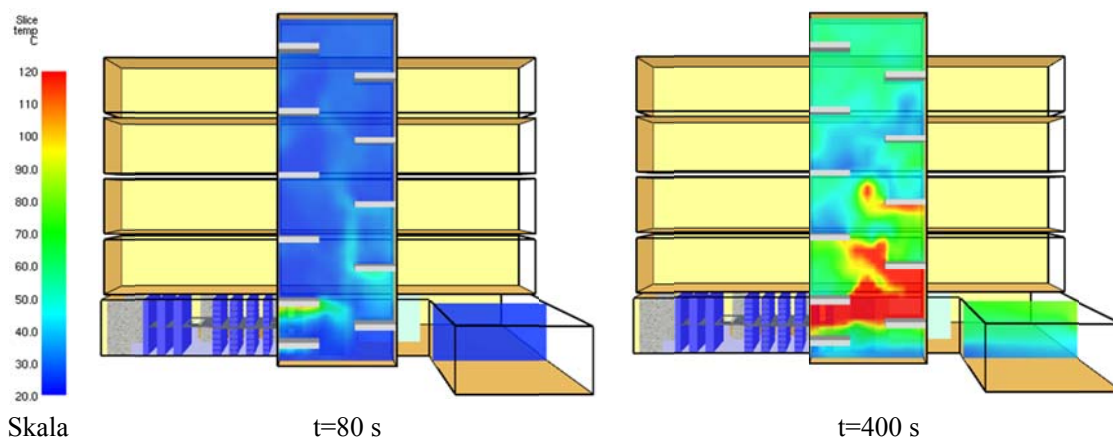




Slika 6-18: Hitrost gorenja pri računskem primeru 3

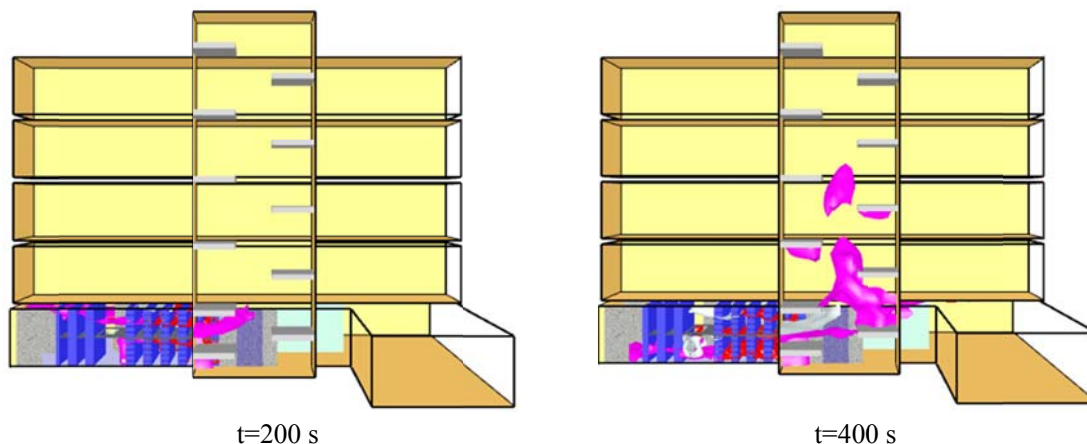
Pri poteku požara pride pri $t=300$ s do preskoka oz. pojava »flash-over«. Gostota saj je po celotni fakulteti zelo velika, saj steklo počni po celi višini pritličja in ni več nobene dimne zaves, ki bi tvorila slepi žep, kjer bi se saje in dim lahko zadrževale. Zanimivo je predvsem to, da je vidljivost po vseh prostorih, ki so bili modelirani, manjša od 5 metrov že po $t=350$ s.

Primerjava temperatur po višini na stopniščnem delu prikazuje, kako vrednosti v drugem nadstropju pod podestom pri času $t=400$ s presegajo vrednosti 120°C (slika 6-19). To predstavlja oviro z vidika evakuacije, ker je evakuacijska pot, ki poteka iz višjih nadstropij preveč segreta, zato bi osebe, ki bi bile ujete v višjih nadstropjih, bi po vsej verjetnosti morale ubrati evakuacijsko pot, ki poteka skozi drugo stopnišče fakultete.



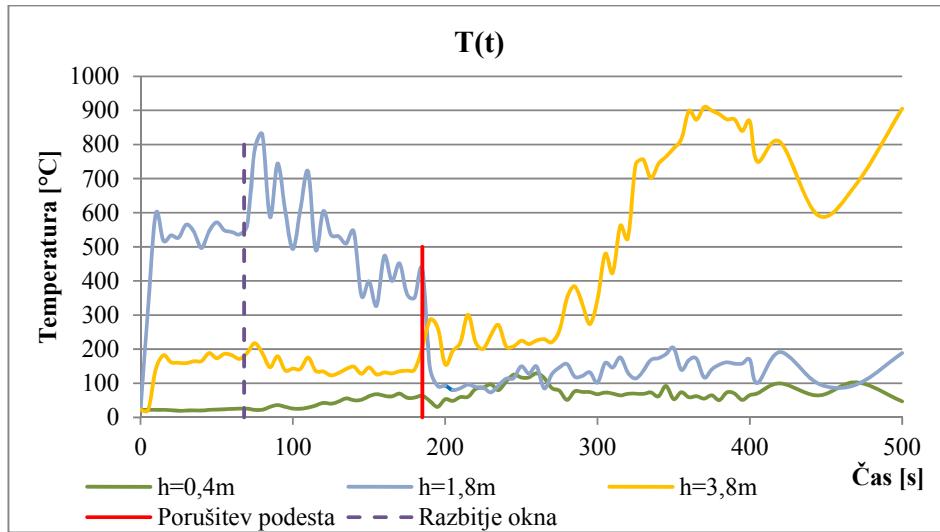
Slika 6-19: Primerjava temperatur na stopnišču

Na spodnji sliki je meja opeklin, ki znaša 70°C , označena z vijolično barvo, medtem ko je meja, pri kateri naj bi prišlo do samovžiga knjig, predstavljena z belo barvo. Pri tem računskem modelu se meja opeklin nahaja po celotni knjižnici že pred $t=400$ s, medtem ko se pri $t=200$ s meja opeklin nahaja približno 2 m nad tlemi. Lepo se vidi kopičenje toplega zraka pod podesti, saj tam zrak ne kroži tako silovito in se temperatura kopiči pod njimi (slika 6-20 desno).



Slika 6-20: Izoterme, ki predstavljata mejo opeklin (vijolična barva) in temperaturo samovžiga knjig (bela barva)

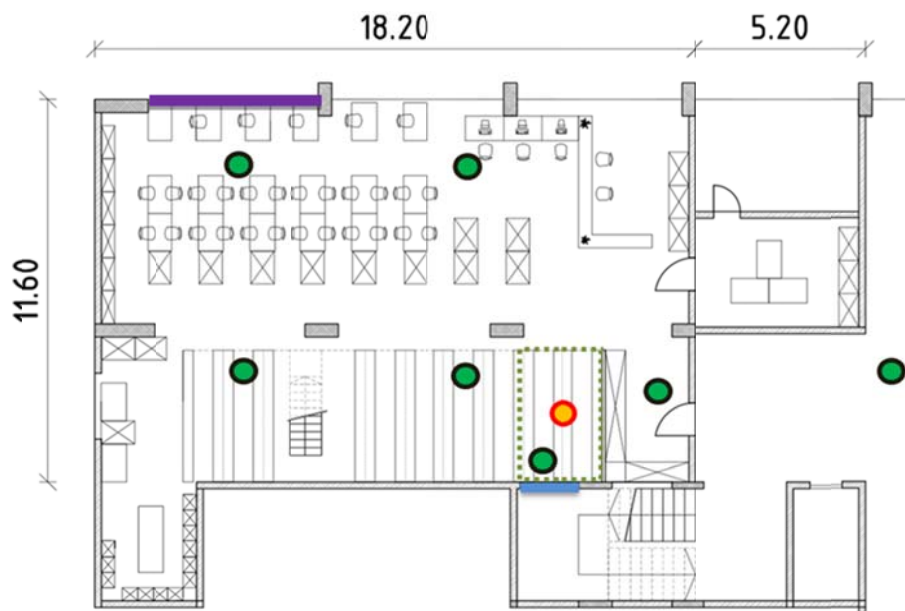
Pri primerjavi temperatur je prišlo do zanimivega skoka temperature na višini 1,8m, saj se merilno mesto nahaja izredno blizu izvora požara ter tudi zraven zidu, kar onemogoča odvajanje toplote (slika 6-21). Tudi ko steklo počí, se temperatura poveča, saj je na voljo več kisika. Jekleni podest še vedno zadržuje toploto pod seboj in tako onemogoča odvod toplote. Šele po poružitvi podesta pri času približno 190 s se temperatura spusti na raven okoli 100°C . Pojav »flash over« se najbolj opazi pri dvigu temperature na višini 3,8m, ko se temperatura povzpne na 900°C . Ker pa se požar odvija na zgornji polici pod podestom, se temperatura na razdalji 40 cm od tal dvigne šele po 100 s.



Slika 6-21: Primerjava temperatur po višini na merilnem mestu 6






6.8 Scenarij 4

Scenarij 4 je identičen scenariju 3, vendar so spodnja okna pri omarah s steklenimi vrati odprta. Žarišče požara se nahaja na knjižni polici številka 9, ki se nahaja ob stopniščnem steklu. Temperaturni gradient je za steklo prevelik, zato steklo poči, ko se temperatura na steklu povzpne na 200°C. Požar ima na voljo dovod svežega zraka že od vsega začetka, saj so odprta nekatera spodnja okna. Požar se izredno hitro razvija. Po razbitju stekla se dim širi po avli in v višja nadstropja. Tudi tokrat uporabimo ravnino »mirror«.



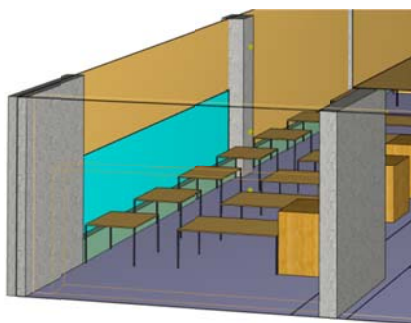
Slika 6-22: Tloris pritličja

Preglednica 6-11: Legenda

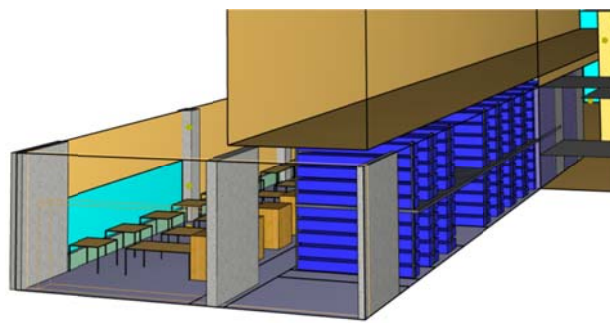
	Mesto vžiga
	Merilno mesto
	Območje , kjer se poruši jekleni podest
	Steklo, ki počí
	Odrpta okna

6.8.1 Opis računskega modela

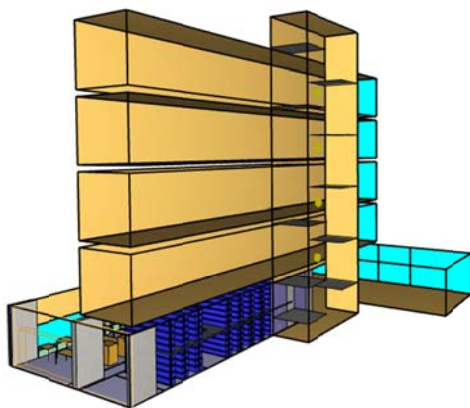
Računski model prostora knjižnice je identičen kot v prejšnjem primeru. Vsi robni pogoji ostanejo enaki. Dodatni pogoj je, da so spodnja okna v najbolj oddaljenem vogalu knjižnice odprta. Zaradi počasnega procesiranja podatkov med izračunom sem zopet uporabil ravnino »mirror«, ki omogoča povečanje prostorskega modela. Tako sem volumen avle in hodnikov približal realnemu stanju in dobil bolj točne rezultate.



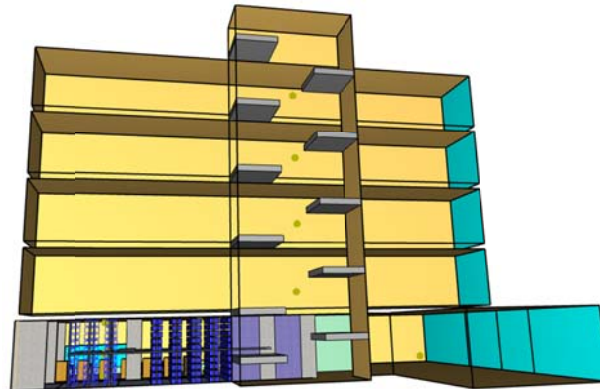
a) Detajlni pogled na odprto okno



b) Pogled z zunanosti



c) Stranski pogled

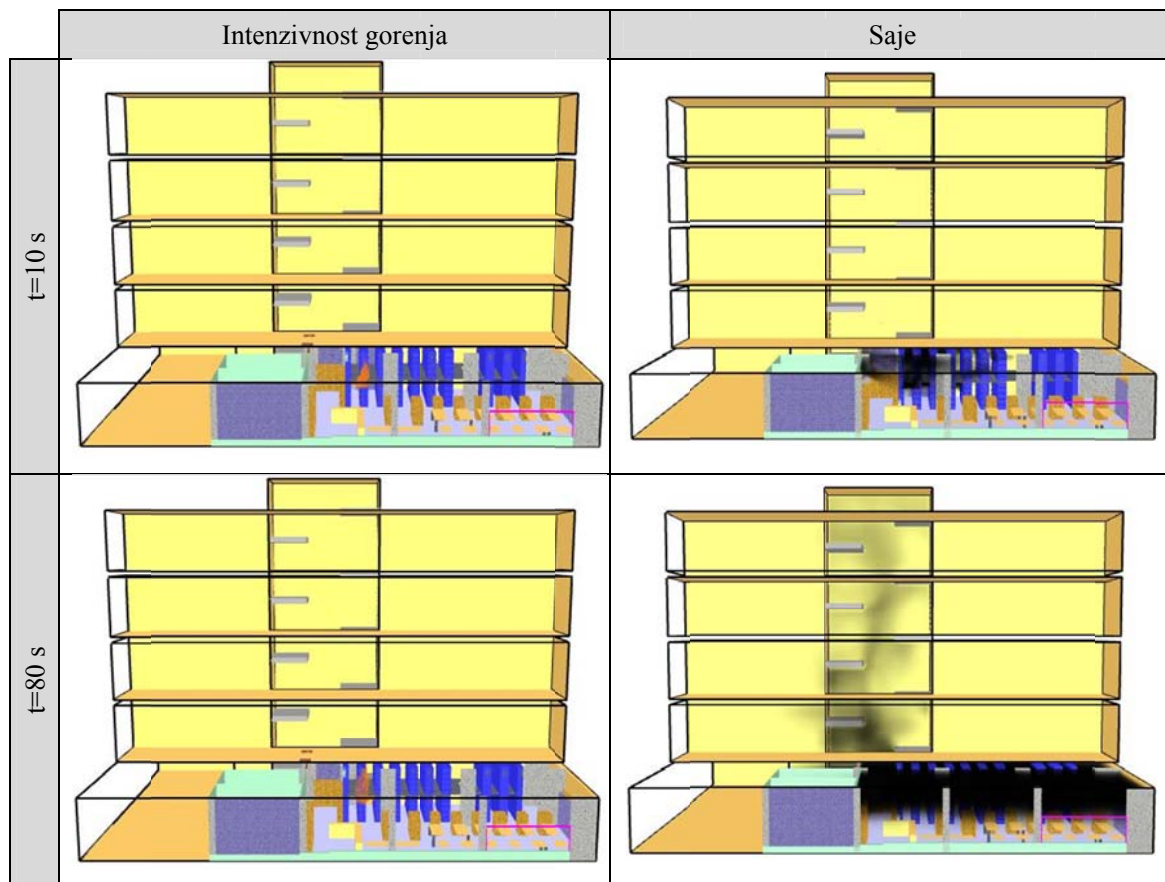


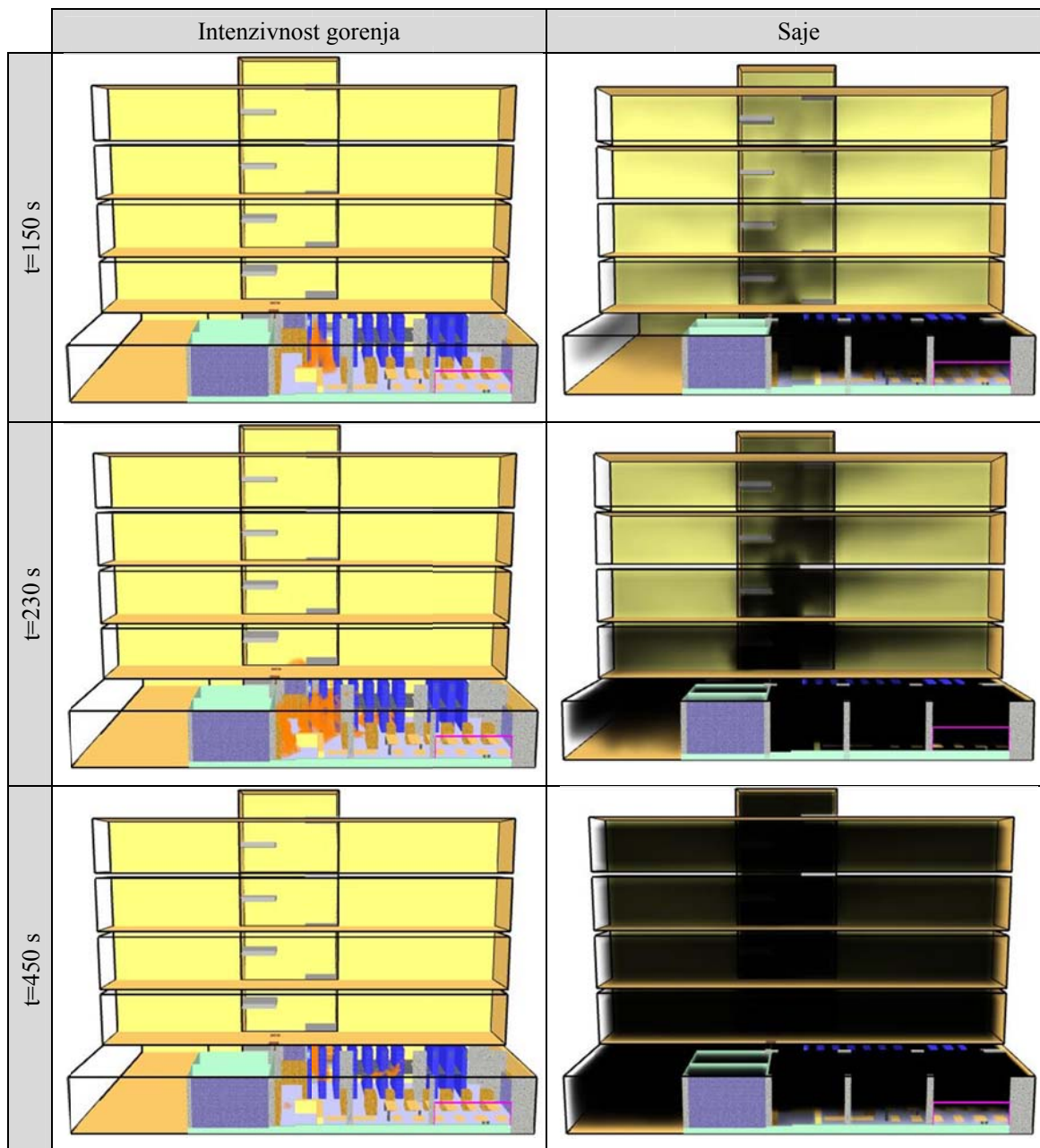
d) Pogled od spredaj

Slika 6-23: Pogledi računskega modela

6.8.2 Rezultati

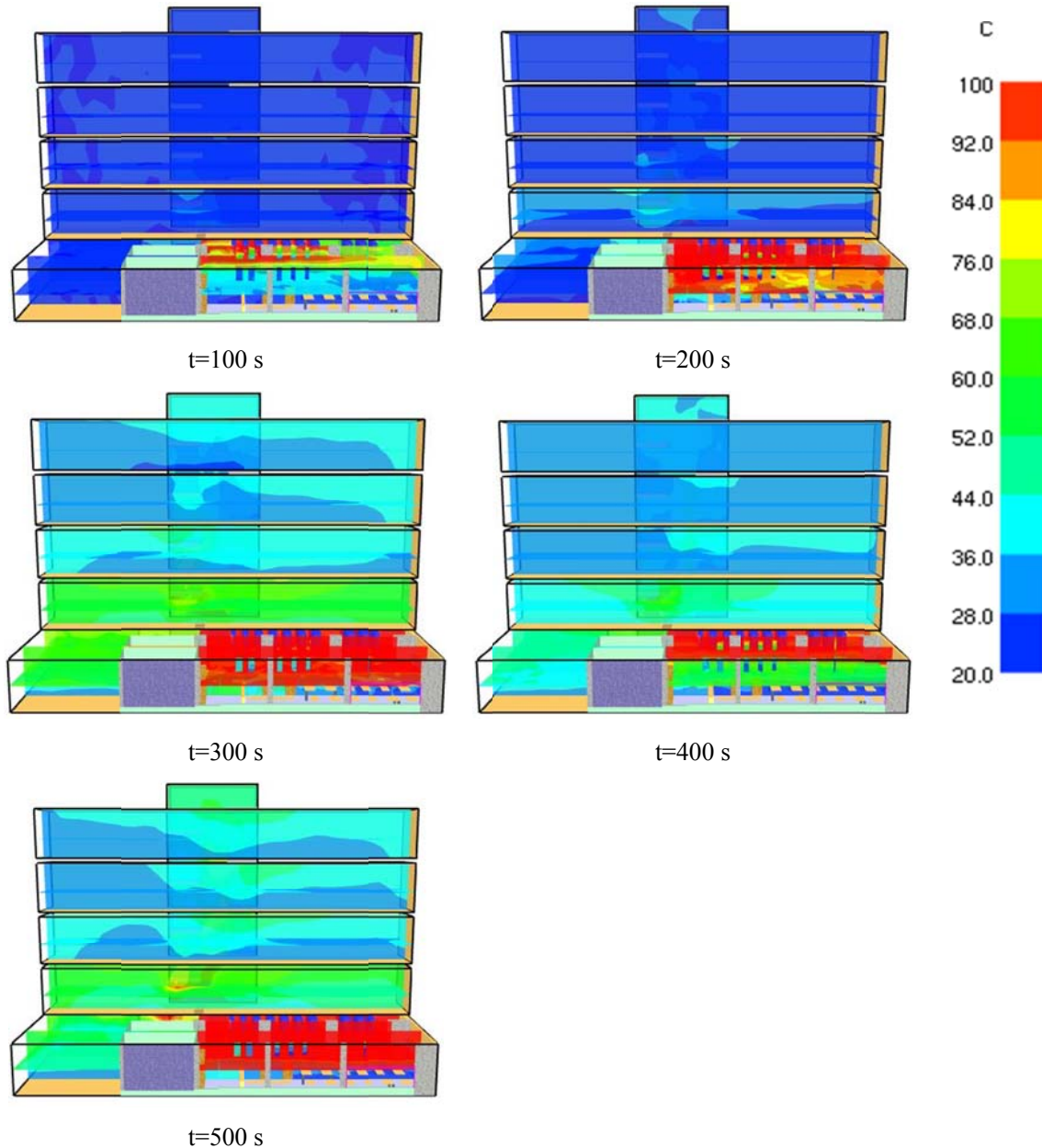
Zaradi dovoda svežega zraka skozi celoten čas požara so v prostoru ustvarjeni idealni pogoji za hiter razvoj požara. V prostoru je dovolj kisika, goriva in toplote. Tako je sklenjen trikotnik gorenja. Do vžiga vseh predmetov pride pri $t=230$ s in sicer v območju, kjer se zrak lahko segreje. V bližini odprtih oken tako ne pride do vžiga predmetov, saj je ima zrak iz okolice temperaturo 20°C in tako onemogoča akumuliranje zadostne količine toplote, da bi se vžgali predmeti v bližini oken. Tako sem v vseh točkovnih merilcih temperature zaznal silovit dvig (slika 6-26). Ko se na knjižni polici začne požar se sprošča toplota. S tem nastaja dim, ki s sabo nosi saje in gorivo. Dim oz. plini se segrevajo in se dvignejo pod strop in s tem se sklne trikotnik gorenja (gorivo, kisik in toplota). Dvigajoč zrak doseže točko samovžiga in se vžge. Požar se preseli tudi pod strop in seva toploto navzdol. Pri segretju prostora nad 600°C se vsi gorljivi predmeti vžgejo. Ker v prostoru ni bilo dovolj kisika, da bi se požar tako burno odvijal naprej je temperatura v prostoru začela padati. Dovod kisika je bil skozi celotno simulacijo konstanten in kmalu zatem se je količina kisika, ki je zaradi vžiga vseh predmetov padla pod volumski delež 10% dvignila nad to mejo in tako omogočala normalno gorenje do konca simulacije.





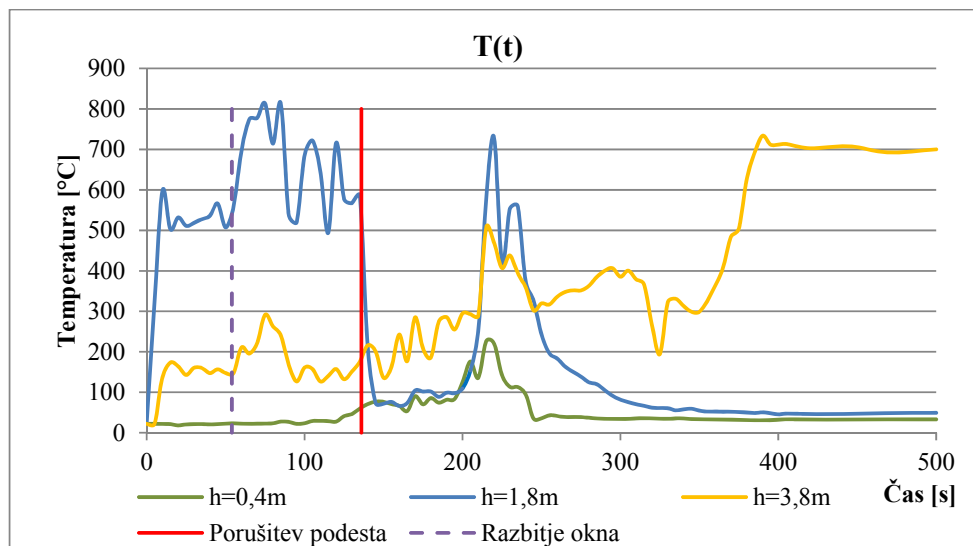
Slika 6-24: Hitrost gorenja pri računskem primeru 4

Pri primerjavi temperatur sem opazil, da je temperatura v avli najvišja pri $t=300$ s in znaša okoli 52°C . Tudi celotna knjižnica je po $t=200$ s segreta na 100°C in več. Temperature pod stropom hodnikov so v povprečju za okoli 10°C višje od temperature pri tleh (slika 6-25). Izredno lepo se tudi vidi kako se toplota s časom širi po fakulteti od pritličja navzgor.



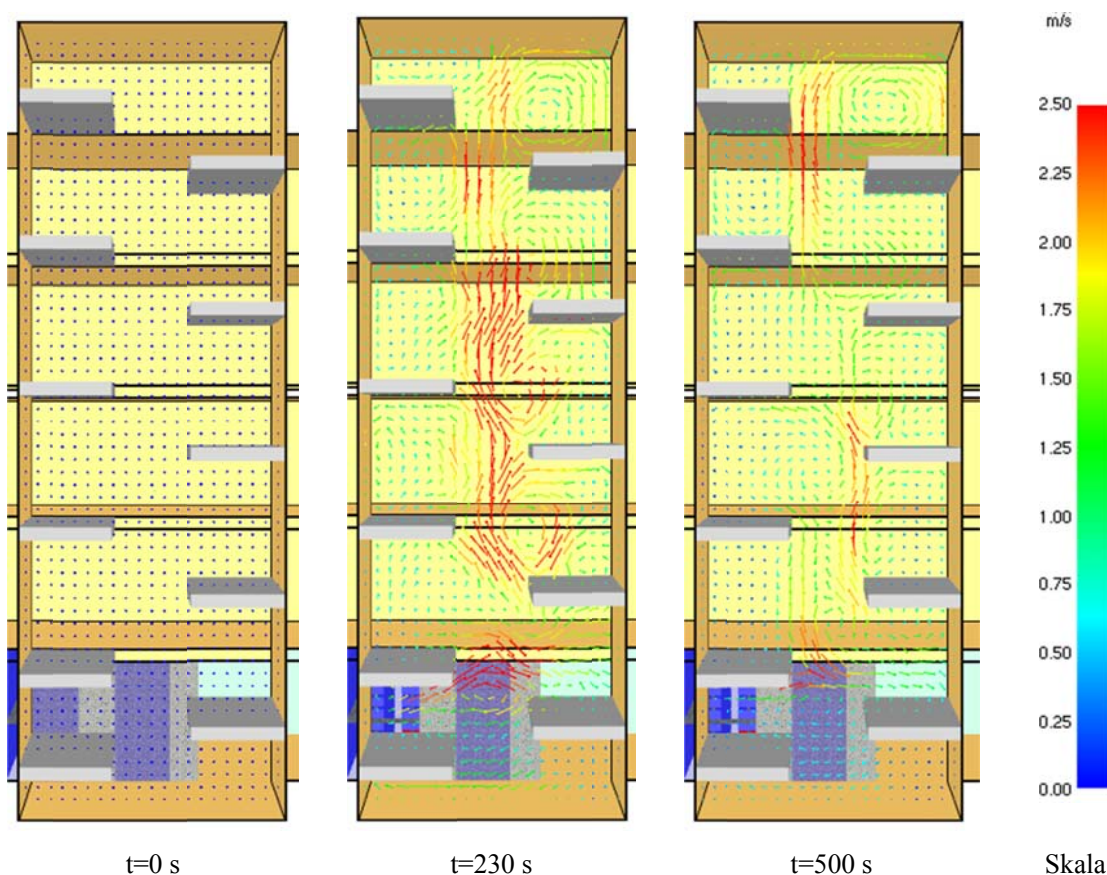
Slika 6-25: Prikaz temperatur po fakulteti za različna časovna obdobja

Na grafu (slika 6-26) je moč opaziti skok temperature na višini 1,8 m in 3,8 m (pri $t=54\text{ s}$), kar pomeni, da se je steklo, ki meji na stopnišče, segrelo na 200°C in se tako porušilo. Do padca temperatur pride pri $t=136\text{ s}$ zaradi porušitve podesta. Ponoven skok se zgodi pri $t=230\text{ s}$, ko pride do pojava »flash-over« in do vžiga celotnega prostora. Temperatura pod stropom se povzpne na 700°C .



Slika 6-26: Primerjava temperatur po višini na merilnem mestu 6

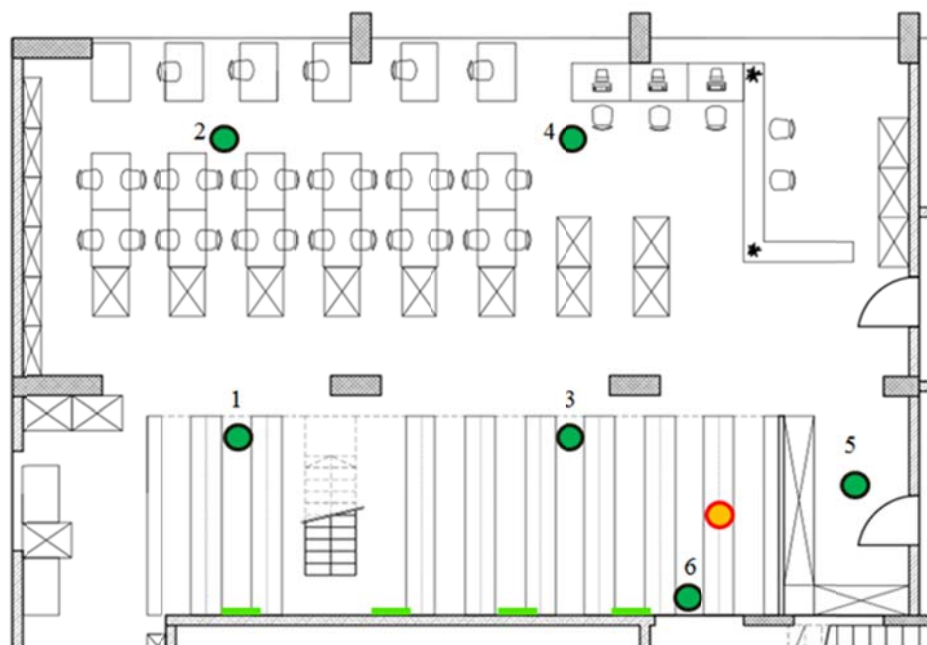
Hitrosti tokovnic zraka so najvišje, ko pride do največje razsežnosti požara pri $t=230$ s. Lepo je vidno vrtinčenje zraka zaradi ovir (slika 6-27), ki jih predstavljajo posamezni podesti. Najvišje hitrosti gibanja zraka so po sredini stopnišča in pa ob izhodu zraka iz knjižnice na stopnišče, kjer presegajo hitrosti 2,5m/s.



Slika 6-27: Tokovnice gibanja zraka na stopniščnem delu zgradbe




6.9 Scenarij 5

Scenarij 5 je identičen scenariju 3. Vsi robni pogoji so enaki, z razliko, da je omogočeno gašenje z odvzemom kisika. Običajno se v ta namen uporabljajo inertni plini kot so argon, dušik ali ogljikov dioksid oz. mešanica le-teh. Ker bi v realnosti zaradi nizke višine obeh etaž (2m) težko izvedli gašenje požara s plinom, ki bi se vpihoval pod stropom, sem se raje odločil za vpihovanje plina s stene, pri kateri se nahajajo knjižnih police. Vpihovalne šobe se nahajajo na medsebojnem razmaku 2 m in v dveh višinskih nivojih. Ta način gašenja je vsekakor bolj učinkovit od tistega, kjer se šobe nahajajo na stropu, ker so inertni plini težji od zraka in bi plin le s težavo dosegel požar na spodnji etaži knjižnih polic. Zaradi opravljanja ločevalne funkcije bi jekleni podest vse do porušitve preprečeval dostop plina za gašenje in sistem ne bi deloval optimalno. Bistvo vsakega gasilnega sistema je, da učinkovito in hitro gasi požare po vsem prostoru. Žarišče požara se nahaja na knjižni polici številka 9, ki se nahaja ob stopniščnem steklu. Vse odprtine so zaprte.



Slika 6-28: Tloris računskega modela 5

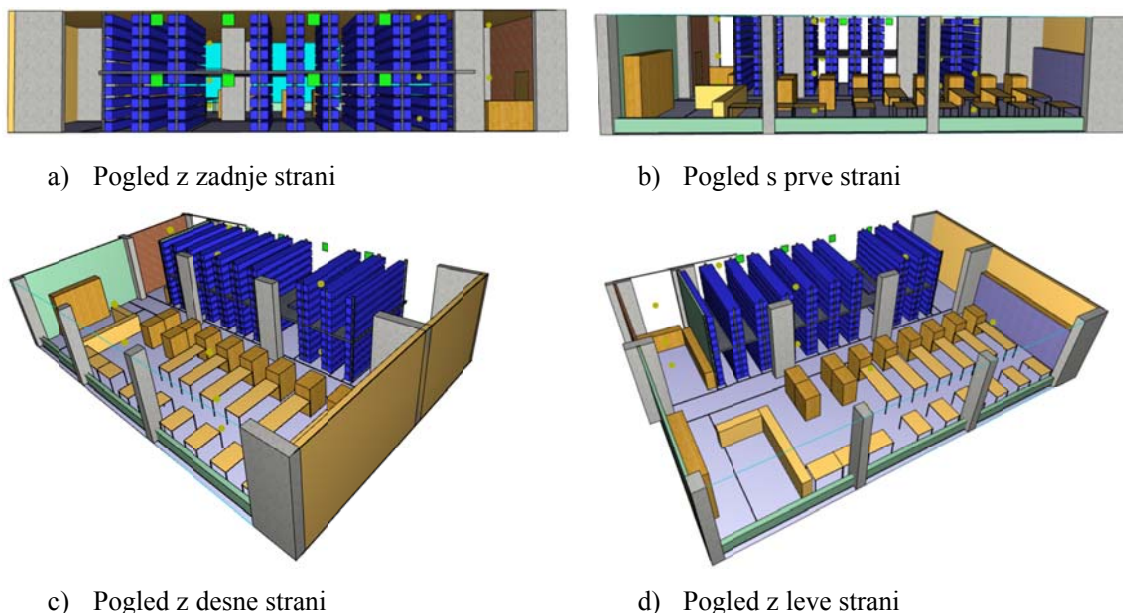
Preglednica 6-12: Legenda

	Mesto vžiga
	Merilno mesto
	Dovod CO ₂

6.9.1 Opis računskega modela

Računski model prostora knjižnice je identičen kot v prejšnjem primeru. V tem primeru so vse zunanje odprtine zaprte, tako da vsi produkti gorenja ostanejo v knjižnici. Na strani s knjižnimi policami se

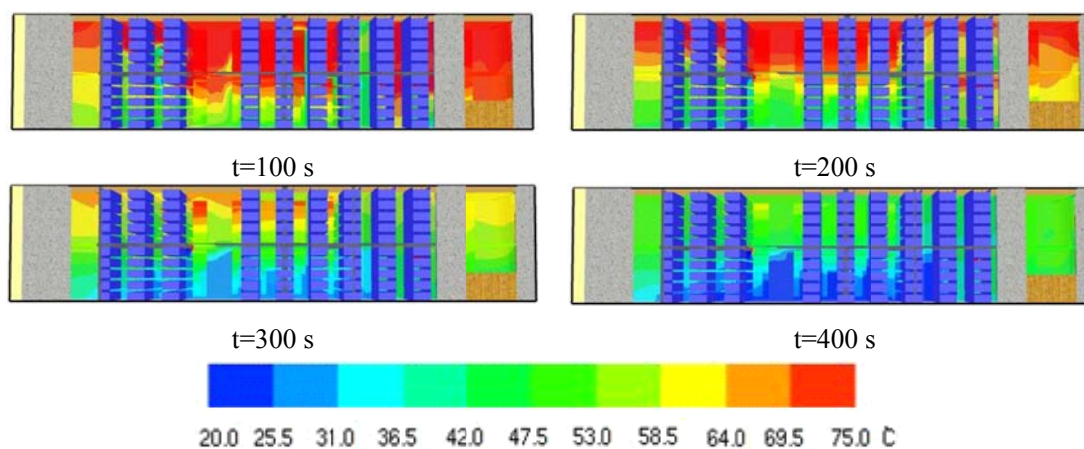
nahaja 8 ventilacijskih loput v dveh višinskih nivojih velikosti 40 x 40 cm, iz katerih je možen vnos CO₂ v prostor z masnim tokom 10 kg/m²s (slika 6-29 a). Gašenje s CO₂ se prične, ko se sproži dimni detektor na stropu. Čas vpihovanja plina traja 130 s. Ker program še ne omogoča gašenja s plinskimi mešanicami, ki bi bile sestavljene iz komponent zraka, sem se odločil za gašenje s CO₂.



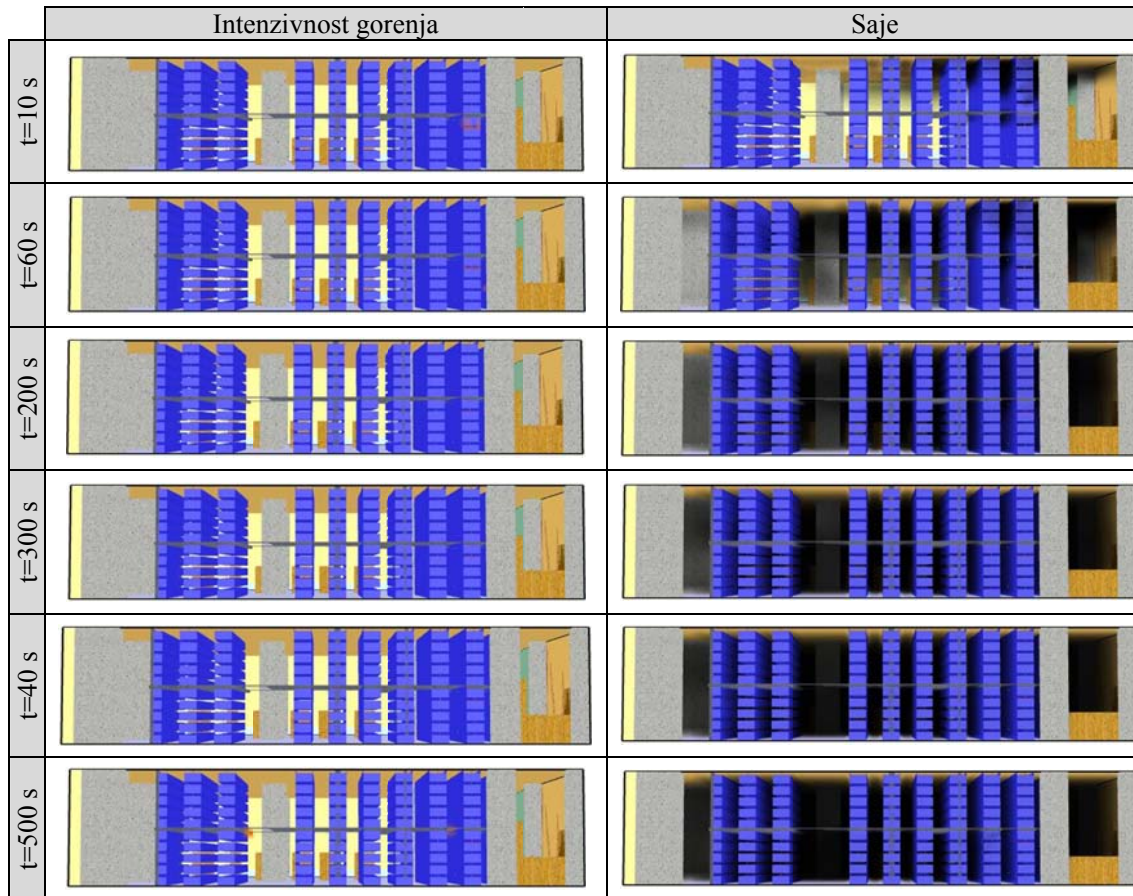
Slika 6-29: Pogledi računskega modela

6.9.2 Rezultati

Požar se širi do trenutka, ko toplotni senzor zazna temperaturo, ki presega 70°C in sproži vpihovanje CO₂, kar privede do zaustavitve in prenehanje požara. Dimni detektor in opozorilni alarm se sproži pri t=12 s. Sledi 20 s zakasnitev pred začetkom vpihovanja, da se lahko osebje knjižnice in učenci varno umaknejo. Vpihovanja traja do t=162 s in tako prepreči kisiku iz zraka dostop do požara. Požar se pogasi in naraščanje temperature po prostoru se ustavi. Temperatura se po prvih 100 s povzpne nad 50°C po vsej knjižnici, nato pa začne postopno padati, ker se gorenje ustavi (slika 6-30).



Slika 6-30: Primerjava temperatur po knjižnici



Slika 6-31: Hitrost gorenja pri računskem primeru 5

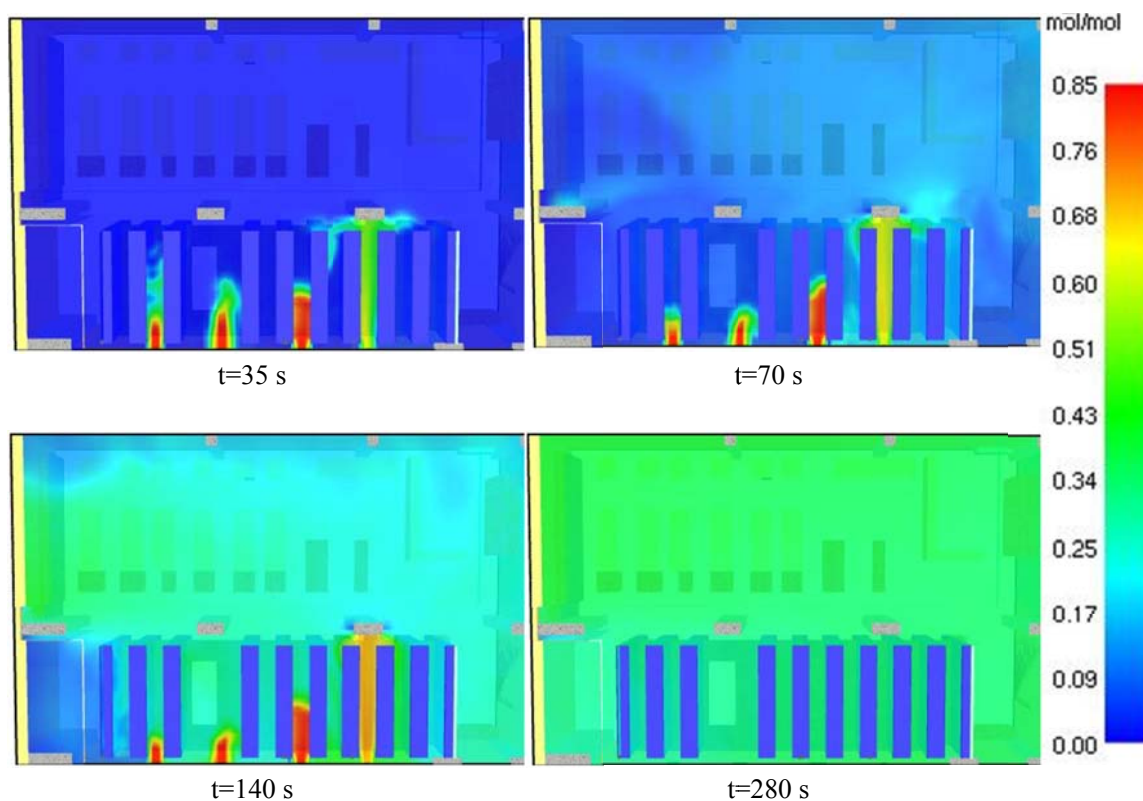
Gašenje požarov s plini pride v poštev predvsem v prostorih z velikim požarnim tveganjem in z občutljivo opremo. To so različni laboratoriji z visokotehnološko opremo, električni transformatorji ali prostori z veliko dodano vrednostjo kot so npr. knjižnice in muzeji. Voda lahko v teh primerih sicer prepreči požar, vendar prav tako povzroči nepopravljivo in nenadomestljivo škodo na predmetih in opremi, ki se nahaja v prostoru. Inertni plini, ki se uporabljajo za gašenje, so brez vonja, brez stranskih produktov in predvsem neškodljivi za opremo, ne pa nujno za živa bitja. Pri gašenju požara s pomočjo plina CO_2 je potrebno veliko pozornost nameniti varnemu umiku oseb. V mojem primeru sem evakuaciji namenil 20s, ker se v knjižnici zelo redko nahaja večja skupina ljudi. Tudi, če bi do požara prišlo, bi najverjetneje obiskovalci knjižnice že vizualno opazili požar in odšli proti izhodu. V večjih prostorih z daljšimi evakuacijskimi potmi pa so zakasnitveni časi namenjeni evakuaciji lahko bistveno daljši. Začetek gašenja se lahko izvaja ročno, polavtomatsko ali avtomatsko. Razlike so predvsem v tem, ali je potrebno tudi ročno aktivirati stikalo, da se gašenje lahko začne. Ročno stikalo se vedno nahaja izven prostora gašenja oz. v nadzornem centru. Danes se uporabljajo predvsem mešanice plinov za gašenje, ki so sestavljene iz t.i. naravnih plinov, ki se nahajajo v zraku. Komponente, ki

sestavljajo plinsko mešanico so argon, dušik in ogljikov dioksid, ki v ustreznem mešalnem razmerju niso človeku škodljivi.



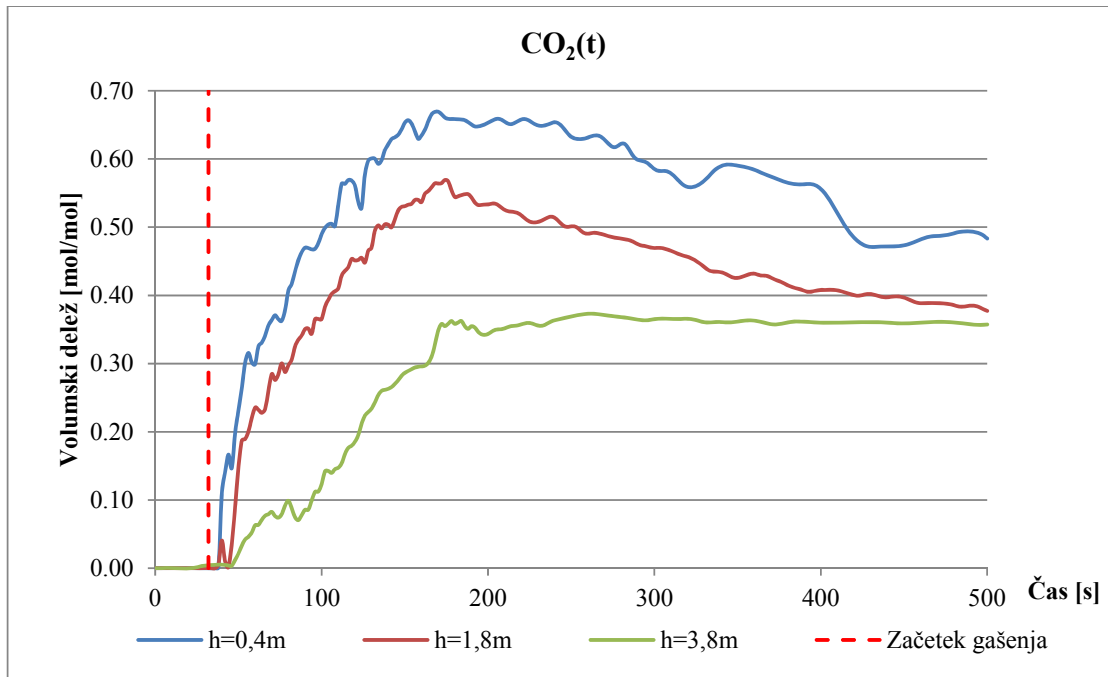
Slika 6-32: Prikaz zalogovnika CO₂ in vpihovalnih šob (vir: www.imp.si/immppps/plin.html)

Na spodnji sliki je prikaz vpihovanja plina s pomočjo ventilacijskih šob. Pri vpihovanju plina je koncentracija plina zelo visoka na lokalnih mestih vpihovanja, kasneje pa se zaradi kroženja zraka leta porazdeli po celi knjižnici in znaša približno 30% vsega zraka, ki se nahaja v prostoru.



Slika 6-33: Koncentracija CO₂ v knjižnici

Pri spremljanju plina CO_2 v knjižnici je njegov volumski delež pred začetkom gašenja zanemarljiv, saj ga je v zraku manj kot 1%. Takoj po začetku gašenja pa se vsebnost plina poveča in sicer najbolj na višini 0,4m nad tlemi. Pri tleh je gostota CO_2 na volumen višja za okoli 30% kar ne preseneča, saj je ogljikov dioksid težji od zraka (slika 6-34). Mehanizem gašenja je torej izpodrivanje kisika, da ni več v stiku s plamenom in je tako onemogočen normalen razvoj požara.



Slika 6-34: Primerjava CO_2 po višini na merilnem mestu 3

7 PRIMERJAVA REZULTATOV

Pri primerjavi rezultatov se bom osredotočil na primerjavo med dvema skupinama rezultatov. Prva skupina rezultatov je prvi in drugi scenarij, saj imata izvor požara na isti lokaciji. Druga skupina so preostali trije računski modeli, kjer je izvor požara na knjižni polici številka devet, ki se nahaja bližje stopnišču fakultete.

7.1 Primerjava rezultatov prve skupine

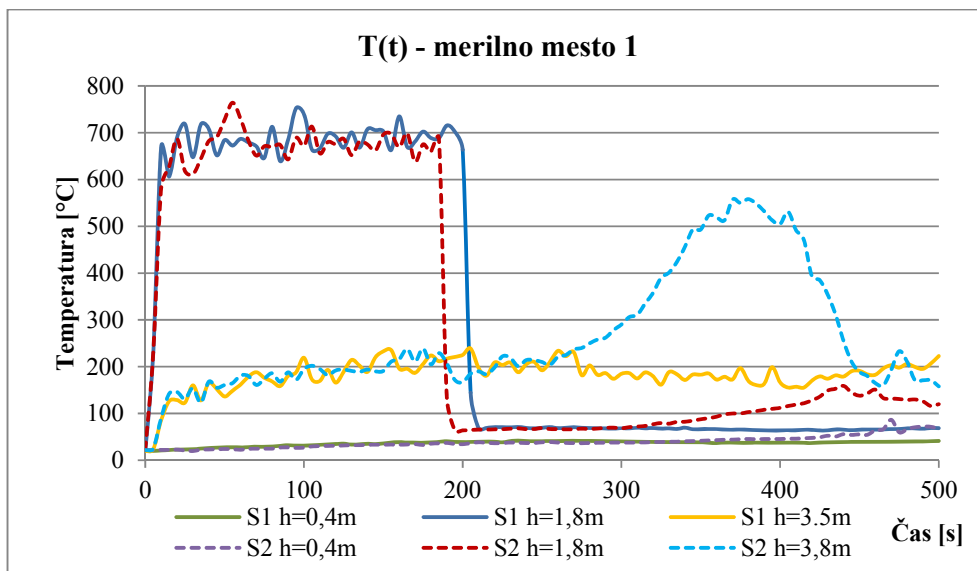
V prvo skupino sem uvrstil rezultate scenarijev, kjer se požar zgodi na knjižni polici številka 2. V to skupino sodita scenarij 1, kjer je modeliran osnovni prostor knjižnice in kjer so vse odprtine zaprte in scenarij 2, kjer je poleg prostora knjižnice modelirana še pisarna, ki se nahaja poleg knjižnice in prostori, ki mejijo na knjižnico.

7.1.1 Temperatura

Pri točkovnih meritvah, ki so bile najbližje viru vžiga, je zaznati velik skok temperature na višini 1,8m v obeh primerih. Temperature se že pri $t=10$ s povzpnejo čez 600°C (slika 7-2). Tu gre predvsem za kopičenje toplote, saj se merilno mesto nahaja 20cm pod jeklenim podestom. Podest deluje kot bariera in onemogoča mešanje vročega zraka s hladnim zrakom iz okolice. Drastičen padec temperature na grafu samo še dodatno potrjuje dejstvo, da jekleni podest kljub temu, da ni primeren material za ločitvene elemente, ki bi zadrževali temperaturo, svojo funkcijo opravlja presenetljivo dobro, dokler se ne segreje nad temperaturo 585°C , ko se poruši. Iz grafa je jasno razvidno, da se jekleni podest poruši pri prvem scenariju okoli $t=200$ s, medtem ko se pri drugem, ko ima požar na voljo dovod svežega zraka, poruši 15 s prej, torej pri $t=185$ s. Pri primerjavi temperatur do $t=250$ s ni večjih odstopanj, kljub temu, da so se pri drugem scenariju steklena vrata in vrata, ki povezujejo knjižnico in avlo, odprla po dveh minutah od začetka požara. Šele okoli $t=250$ s se temperatura pod stropom začne dvigovati in doseže svoj maksimum pri 550°C pri $t=380$ s. Po tem sledi ohlajanje, saj se požar razvije do te stopnje, da je količina kisika, ki je potrebna za gorenje, večja od količine kisika, ki je na voljo, kljub temu, da so vrata knjižnice odprta.

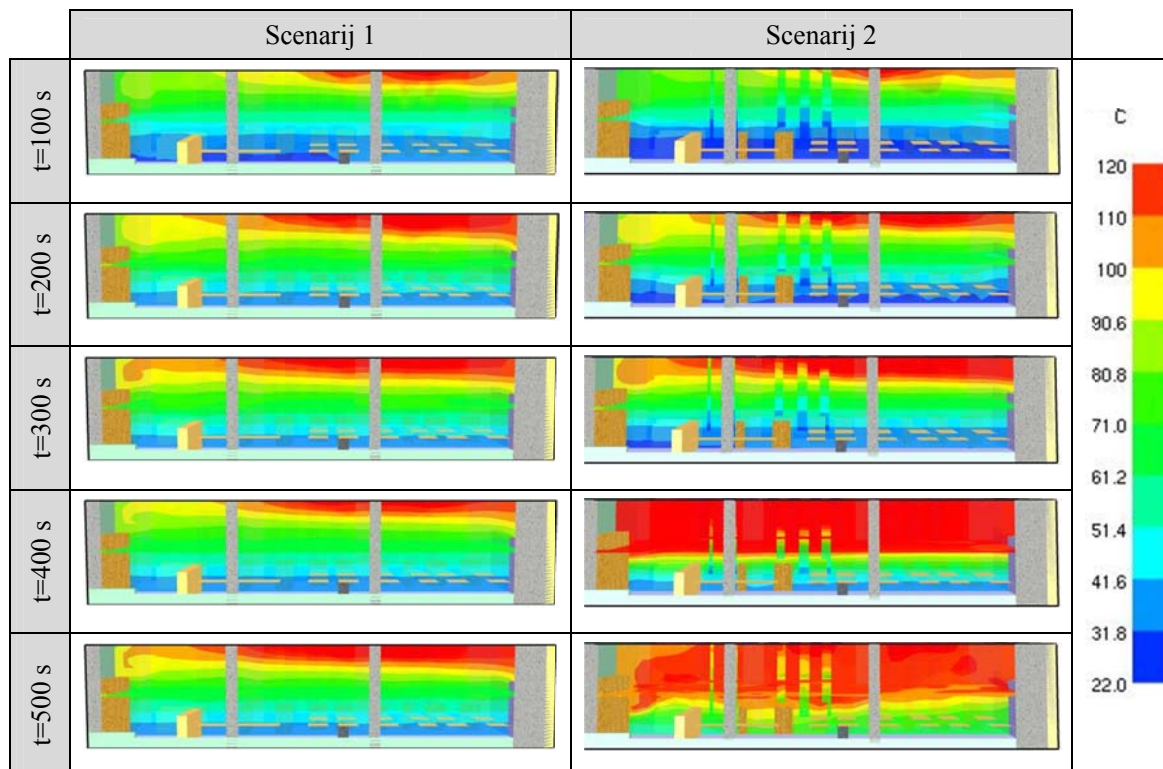


Slika 7-1: Primer porušitve jeklenih elementov v knjižnici (vir:chicora.org/fire.html)



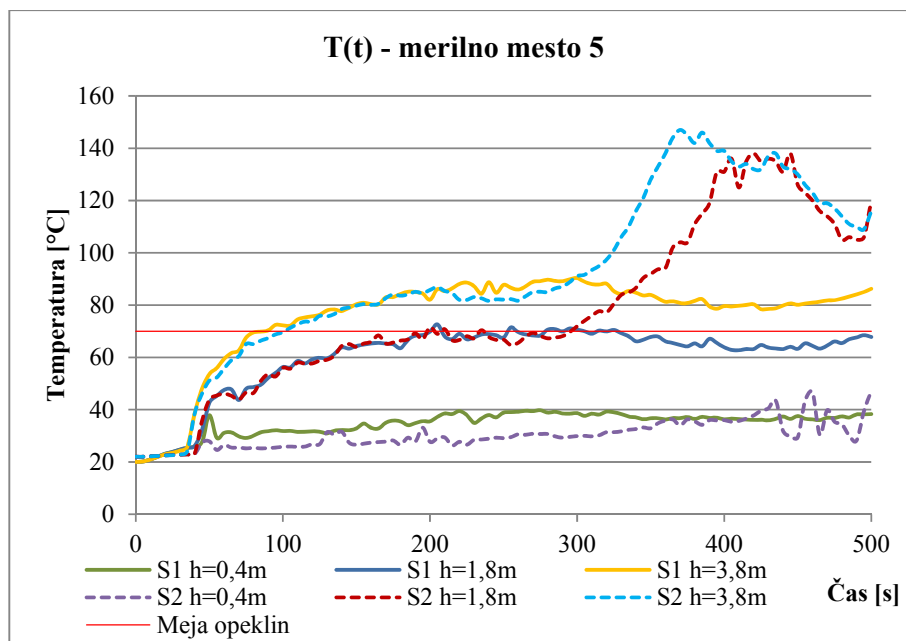
Slika 7-2: Primerjava temperatur na merilnem mestu 1 za prvi in drugi scenarij

Primerjava temperatur po 100 sekundnih intervalih prikazuje, da ni večjih odstopanj v temperaturi celotne knjižnice (slika 7-3). Pri $t=300$ s se začnejo odstopanja v temperaturi, kar je posledica hitrejšega razvoja požara. Na zgornjem delu nad vrati v knjižnico se nahaja t.i. slepi žep, kjer se kopiči temperatura, ki se nima kam odvesti, zato je celoten zgornji del knjižnice segret preko 100°C . Pri $t=500$ s se nazorno vidi, kako pri scenariju 2 toplota uhaja skozi vrata, ki so odprta na levi strani prostora.



Slika 7-3: Primerjava temperatur v knjižnici za prvi in drugi scenarij

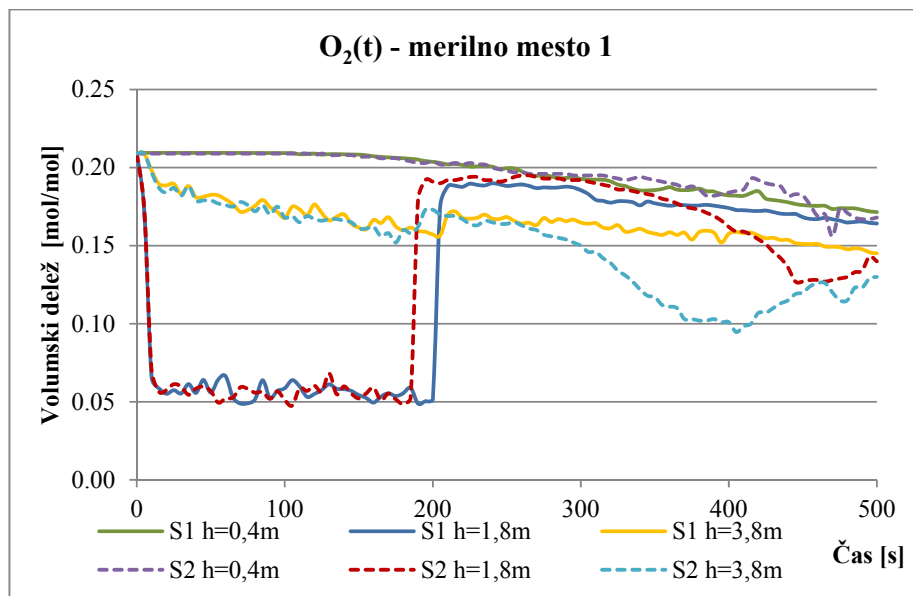
Pri primerjavi temperatur me je zanimal tudi vpliv, ki mu je bila izpostavljena knjižničarka od trenutka, ko je zaznala požar v svoji pisarni do izhoda iz knjižnice. Ob vstopu knjižničarke pri $t=120$ s je znašala temperatura približno 60°C (slika 7-4). Meja opeklin za človeško telo se nahaja pri 70°C , zato lahko sklepam, da jo je knjižničarka odnesla brez opeklin. Kljub temu pa je bila izpostavljena tudi različnim produktom gorenja, med katerimi so nekateri v določenih količinah lahko tudi strupeni.



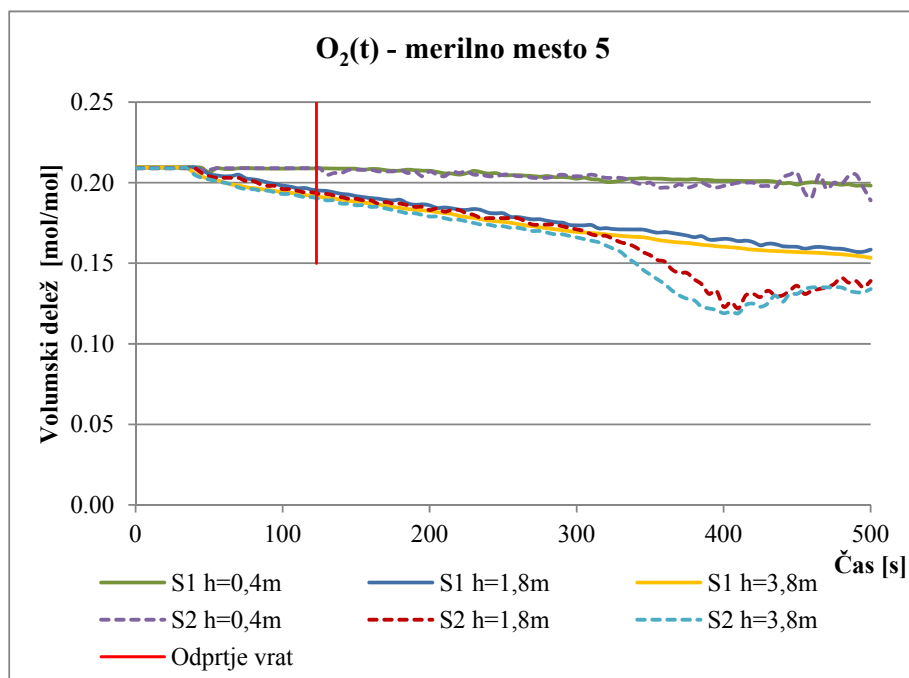
Slika 7-4: Primerjava temperatur na merilnim mestu 5

7.1.2 Kisik

Pri nadzoru kisika sem opazil, da je pri drugem scenariju pri $t=300$ s količina kisika pod stropom padla pod 15% (slika 7-5), zato je padec temperature v tem primeru razumljiv. Požar se v tem primeru ni mogel razvijati naprej, saj je prešel svojo kritično točko, ko bi za nadaljevanje gorenja z večjo intenzivnostjo potreboval več kisika, ki pa ga ni bilo na voljo. Ko količina kisika pade pod 15%, je vžig predmetov dosti težji in je potrebna dosti višja vžigna temperatura. Za nadaljnji razvoj popolnega gorenja bi potreboval dovod svežega zraka. Ker pa imajo vrata površino okoli 2 m^2 in so oddaljene od izvora požara 13 m, je razumljivo, da je začel požar pojenjati. Podest, ki opravlja vlogo začasne bariere, prav tako onemogoča prost dostop kisika, zato je med začetkom požara do porušitve podesta v obeh primerih opaziti močan lokalni deficit. Ker je povprečna vrednost kisika v obeh scenarijih nad 12%, je potekalo predvsem popolno gorenje, pri katerem se ne tvori ogljikov monoksid (slika 7-6).



Slika 7-5: Primerjava količine kisika po višini na merilnem mestu 1 za prvi in drugi scenarij



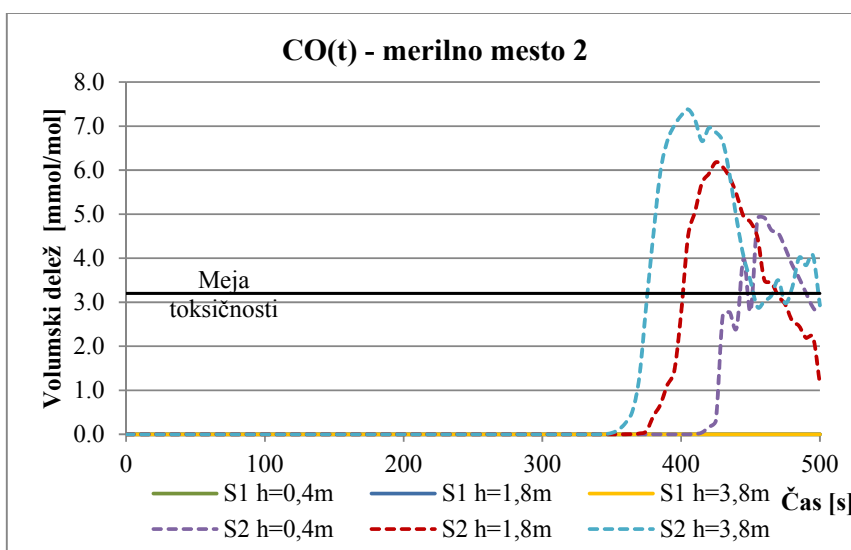
Slika 7-6: Primerjava količine kisika po višina na merilnem mestu 1 za prvi in drugi scenarij

Pri primerjavi količine kisika na merilnem mestu 1 in 5, ki se nahajata blizu izbruha požara in pri izhodu iz knjižnice, je razvidno, da se koncentracija kisika v prostoru bistveno ne spremeni kljub odprtju vrat. Razloga sta dva: prvi je ta, da ni dovoda kisika v prostor iz zunanosti in drugi, da ni direktne poti kisika, ki bi lahko oskrboval ogenj, saj se poleg vrat nahaja predelna stena, ki ločuje knjižne police in omare, ki se nahajajo ob vhodu v knjižnico. Tudi velikost odprtine, ki se tvori z odprtjem vrat ni velika, zato požar pri $t=300$ s začne pojenjati. Opazil sem lokalni padeč v

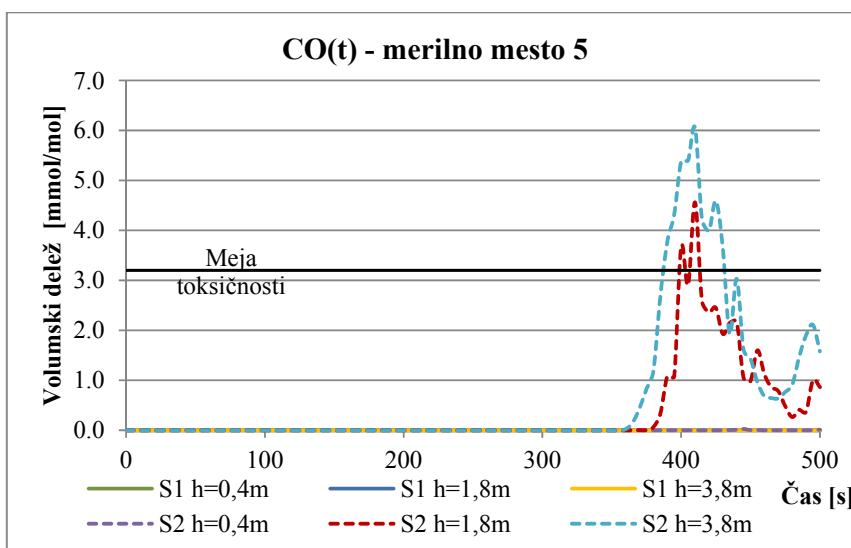
koncentraciji kisika takoj po odprtju vrat na višini 3,8 m, kar pomeni, da je zračni tlak v knjižnici višji od zračnega tlaka v avli zaradi višjih temperature knjižnice (slika 7-6).

7.1.3 Ogljikov monoksid

Ogljikov monoksid je nastajal le v drugem primeru. Knjižničarka ni bila izpostavljena nevarnim koncentracijam, ker ga pri $t=123$ s ni bilo moč zaznati (slika 7-7). Do nastajanja CO pride predvsem pri pomanjkanju kisika zaradi nepopolnega gorenja. Padec koncentracije proti koncu simulacije je posledica izenačevanja koncentracij po prostoru. Tudi če bi knjižničarka zapustila knjižnico, ko bi bila meja toksičnosti presežena, bi morala biti nevarnim koncentracijam izpostavljena kar pol ure, da bi se zastrepila s CO (slika 7-8).



Slika 7-7: Primerjava CO po višini na merilnem mestu 2 za prvi in drugi scenarij

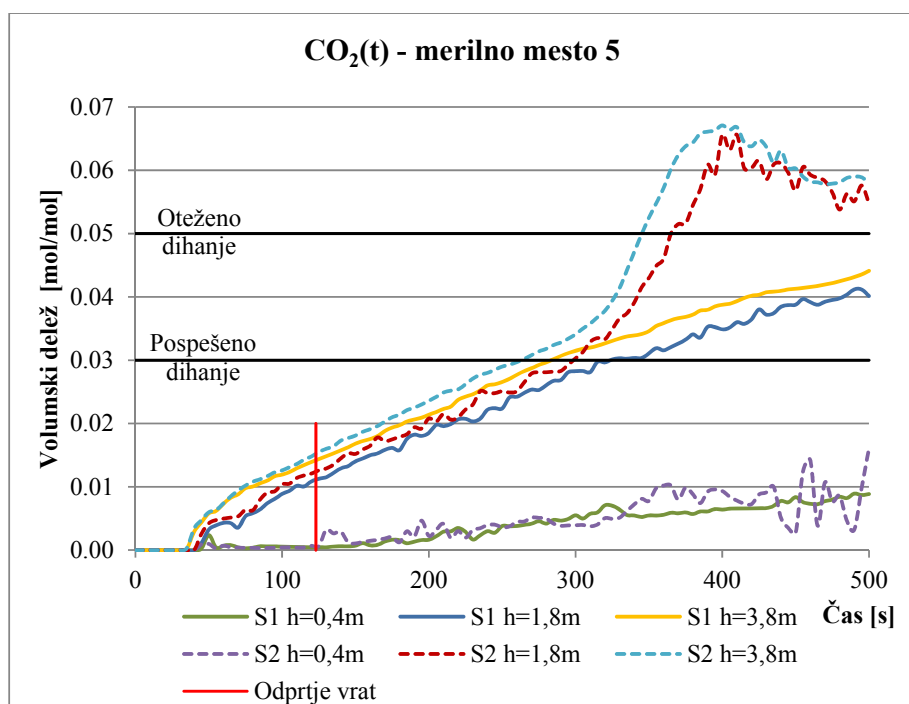


Slika 7-8: Primerjava CO po višini na merilnem mestu 5 za prvi in drugi scenarij

Razlika med koncentracijami na višini 1,8 m in 3,8 m ni bistvena. Oblika grafa je na obeh merilnih mestih podobna, vendar je prisotna časovna razlika 10 s pri zaznavi koncentracije na mestu, ki je bližje viru vžiga kot pri vratih. Razlika se pojavi le pri koncentraciji CO na višini 0,4 m nad tlemi pri vratni odprtini zaradi možnega odvoda le tega skozi odprtino.

7.1.4 Ogljikov dioksid

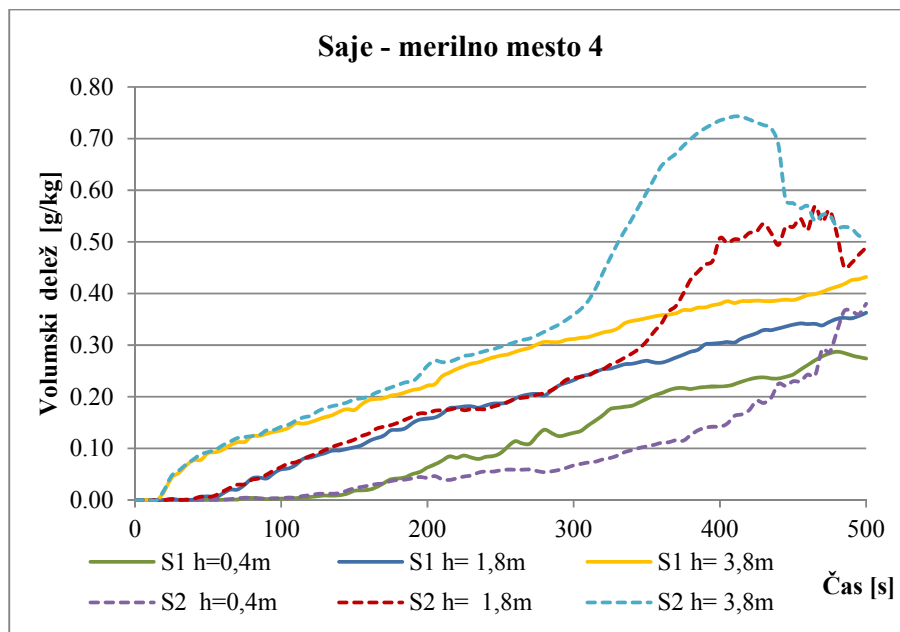
Pri spremljanju ogljikovega dioksida me je zanimalo predvsem, ali je bila knjižničarka izpostavljena nevarnim koncentracijam plina. V času pred $t=300$ s je koncentracija pod nevarno mejo 3%, kjer se pojavijo prvi simptomi zastrupitve s CO₂ (slika 7-9). Knjižničarka ob zapustitvi prostora pri $t=123$ s ni bila izpostavljena nevarnosti zastrupitve s CO₂.



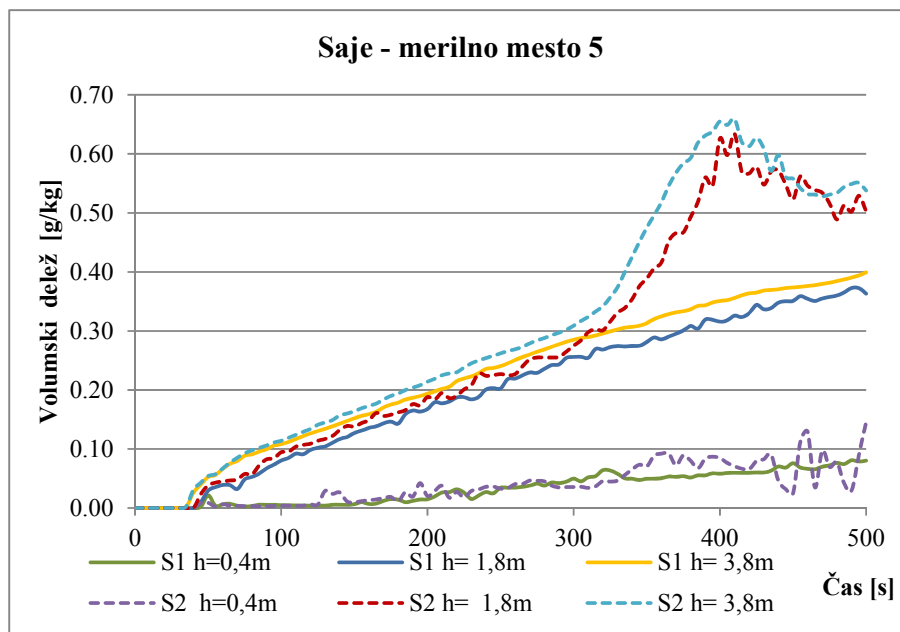
Slika 7-9: Količina CO₂ po višini na merilnem mestu 5 za prvi in drugi scenarij

7.1.5 Saje

Količina saj, ki nastane pri obeh scenarijih, se razlikuje za 27%. Pri prvem primeru je masa vseh saj, ki so posledica požara v prvih 500 s, enaka 0,35 kg, medtem ko pri drugem primeru masa vseh saj znaša 0,44 kg. V skladu s pričakovanji se največ saj tvori pri drugem scenariju v obdobju, ko se požar začne razvijati hitreje, to je pri $t=300$ s (slika 7-10). Presenetilo me je, da vpliv odprtih vrat vsebnosti saj v prostoru ne zniža bistveno. Pri merilnem mestu 5 sem opazil, da na višini 0,4 m odprtje vrat povzroči posamezne skoke v koncentraciji saj, kar pa je predvsem posledica zračnih tokov, ki nosijo saje ven iz knjižnice (slika 7-11). Odvajanje dima iz knjižnice ni najbolj učinkovito, ker se vrata nahajajo na spodnji polovici etažne višine. Večina saj se nahaja nad višinsko koto +2 m nad tlemi in so ujetе v zaprtem žepu in zato ni možen učinkovit odvod.

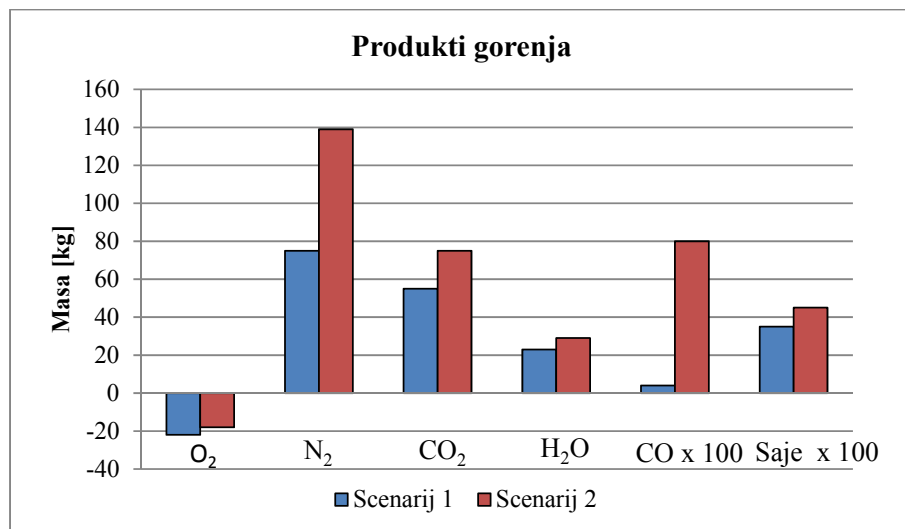


Slika 7-10: Primerjava količine saj na merilnem mestu 4 pri prvem in drugem scenariju



Slika 7-11: Primerjava količine saj na merilnem mestu 5 pri prvem in drugem scenariju

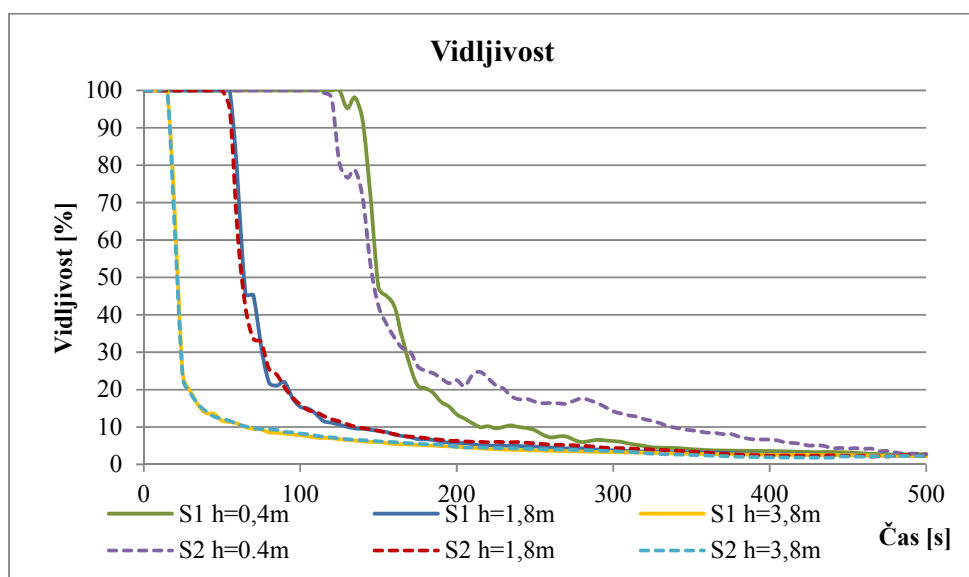
Skupna količina vseh produktov v prvem primeru znaša 153,4 kg, medtem ko v drugem primeru ta znaša 244,2 kg. Največji delež predstavlja N_2 in sicer okoli 40% v obeh primerih. Do večjih odstopanj je prišlo pri tvorbi CO . Tega rezultata nisem pričakoval, saj sem bil prepričan, da je pri odprtih vratih na voljo dovolj kisika. To samo še potrди dejstvo, da je v drugem primeru prihajalo do nepopolnega gorenja po $t=300$ s, ko je koncentracija kisika padla pod 15%. V prvem primeru se je porabilo vsega 18 kg O_2 , v drugem pa za 4 kg več. Masa saj v prvem primeru znaša 0,35 kg oz. 0,45 kg v drugem primeru (slika 7-12).



Slika 7-12: Primerjava produktov gorenja pri prvem in drugem scenariju

7.1.6 Vidljivost

Pri vidljivosti v obeh primerih ni večjih odstopanj do $t=120$ s (slika 7-13). Šele po tem času je zaznati na višini 0,4 m nad tlemi zmanjšano vidljivost do $t=180$ s v primeru odprtih vrat knjižnice. Šele takrat se vidljivost v drugem primeru začne povečevati, kar se da utemeljiti z dejstvom, da v trenutku odprtja vrat nastane tok zraka pri tleh, ki steče v smeri iz knjižnice proti avli in s seboj nosi saje, ki zmanjšujejo vidljivost na tem mestu. Pri $t=480$ s je v vsem prostoru že toliko saj, da vidljivosti praktično ni.



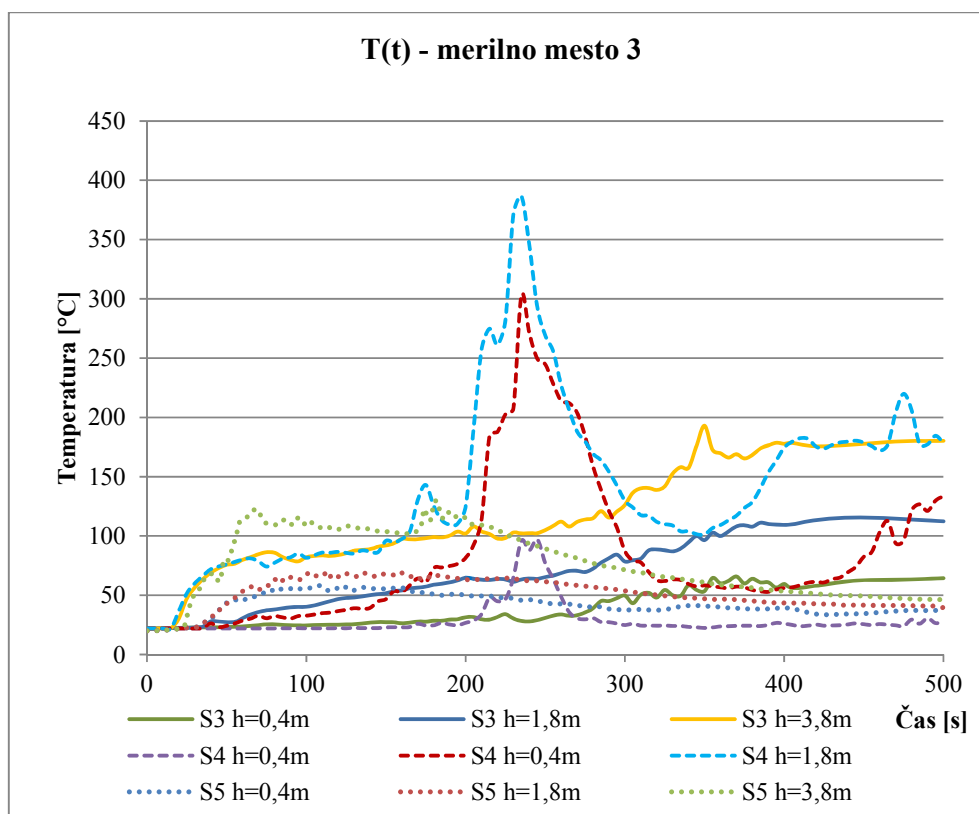
Slika 7-13: Primerjava vidljivosti na merilnem mestu 4 pri prvem in drugem scenariju

7.2 Primerjava rezultatov druge skupine

V drugo skupino sem uvrstil rezultate scenarijev, kjer se požar zgodi na knjižni polici številka 9. V to skupino sodijo scenarij 3, kjer je modeliran osnovni prostor knjižnice, hodniki, avla in stopnišče, scenarij 4, ki je podoben scenariju 3, vendar z odprtimi okni ter scenarij 5, kjer se požar gasi s pomočjo CO₂.

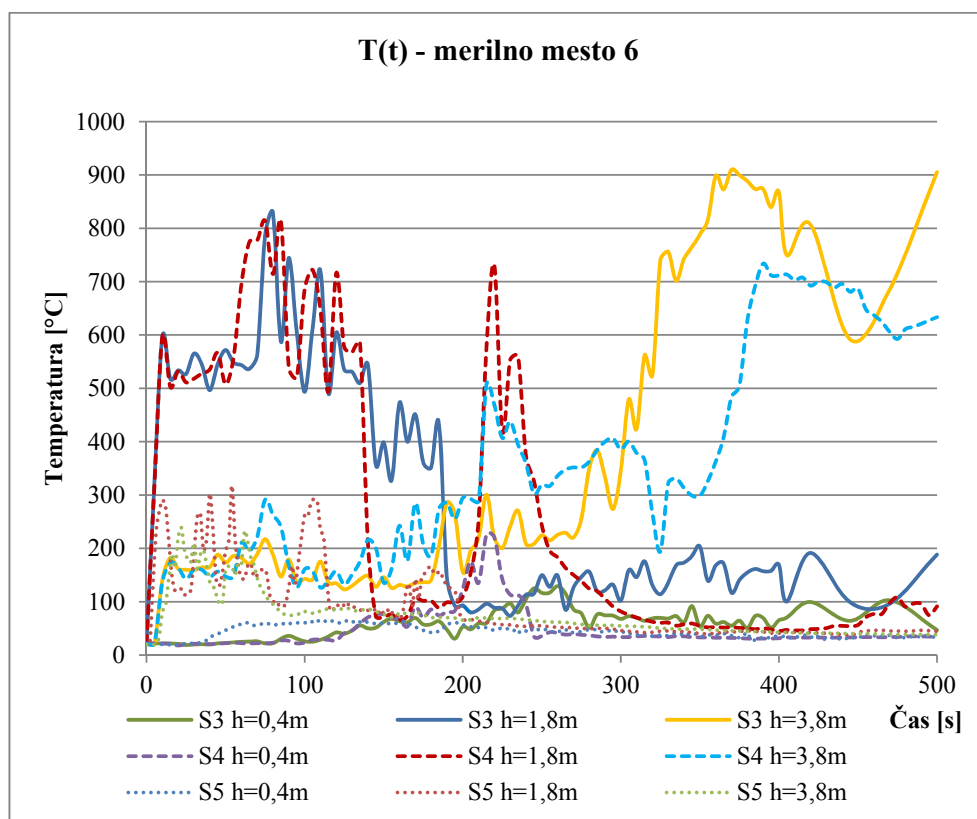
7.2.1 Temperatura

Pri primerjavi temperatur na merilnem mestu številka 3 je moč videti velik skok temperature pri $t=230$ s, kar je posledica vžiga vseh predmetov v knjižnici. Temperatura je od ostalih dveh primerov pod stopom višja za 380°C, medtem ko je na višini 1,8 m višja za 250°C (slika 7-14). Tu gre predvsem za kratkotrajen skok temperature, saj se lahko zrak potem ohladi s pomočjo dovoda novega zraka skozi odprta okna knjižnice. V primeru, ko je požar gašen s pomočjo CO₂, je temperatura med vsemi primeri najvišja med $t=50$ s in $t=170$ s, kar je posledica mešanja zraka zaradi ventilacijskih rešetk, ki vpihavajo CO₂. Če primerjam končne temperature scenarija 3 in 4, opazim, da ni bistvenih odstopanj, kar me je presenetilo, kljub temu, da je okno v scenariju 4 odprto. Temperature na koncu simulacije so najnižje v primeru gašenja prostora s CO₂ in znašajo okoli 40°C.



Slika 7-14: Primerjava temperatur po višini na merilnem mestu 3 za tretji, četrti in peti scenarij

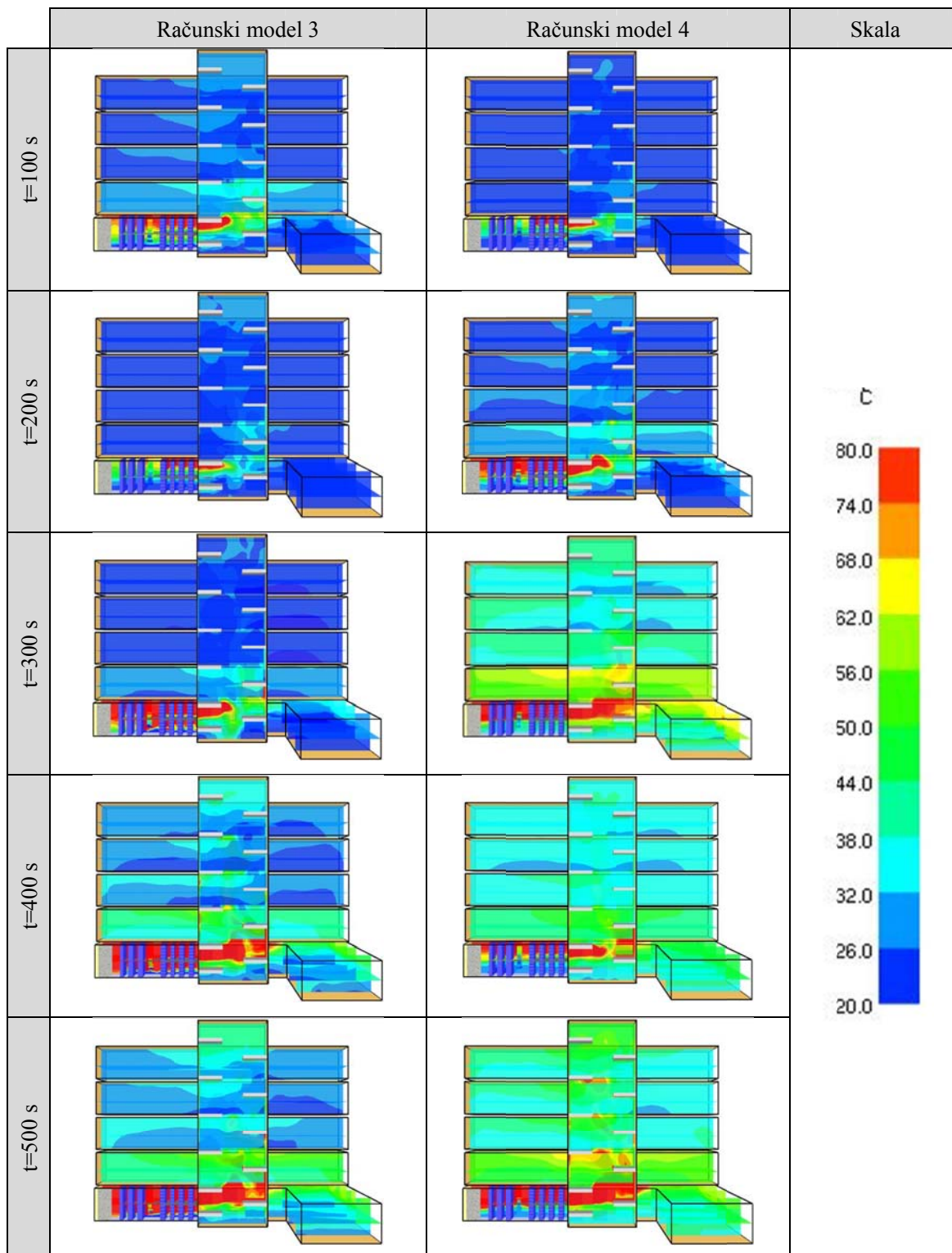
Na merilnem mestu, ki se nahaja najbližje viru požara, so temperature zopet najvišje na višini 1,8 m in ne pod stropom zaradi jeklenega podesta, ki omogoča kopičenje temperature. Tudi tu je tako kot pri prvi skupini rezultatov moč opaziti intenziven skok temperature vse do porušitve podesta pri $t=185$ s oz. $t=136$ s (slika 7-15). Temperature se v obeh primerih povzpnejo na 800°C . V primeru gašenja požara se jekleni podest ne poruši, saj se ne segreje nad kritično temperaturo. Zaradi tega je temperatura višja pod podestom vse do $t=120$ s. Za scenarij 3 je temperatura pri koncu simulacije pod stropom najvišja in znaša 900°C . Temperatura je v primeru zaprtega okna višja kot v primeru odprtega okna zaradi stalnega dotoka svežega zraka. S pomočjo okna se ustvari naravni vlek skozi razbito steklo na stopnišču, ki tvori ventilacijski jašek za odvod toplote. Pojav »flash-over« je viden pri scenariju številka 4 pri $t=230$ s. Temperatura na višini 1,8 m je od temperature pod stropom višja, ker se merilno mesto na srednji višini nahaja bližje izvoru požara, v okolici katerega so višje tudi temperature.



Slika 7-15: Primerjava temperatur po višini na merilnem mestu 6 za tretji, četrti in peti scenarij

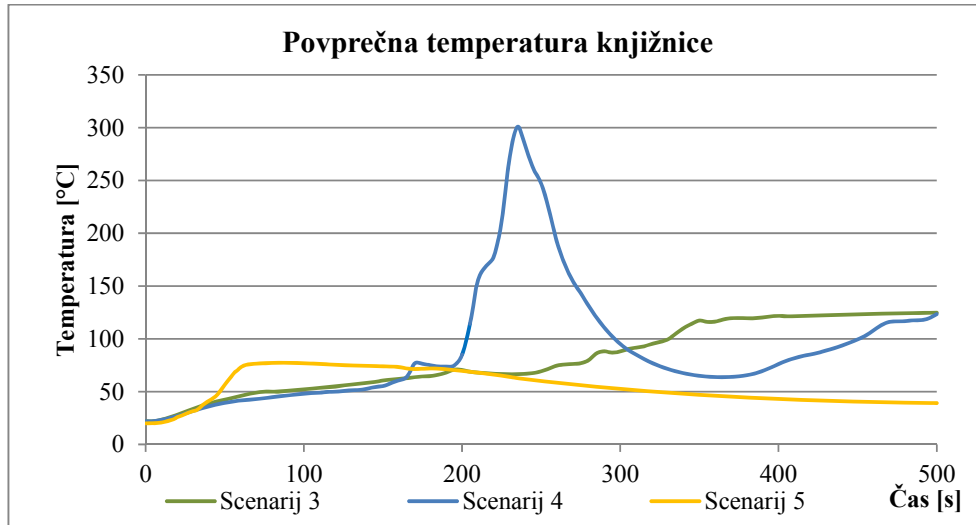
Primerjava temperatur po 100 s intervalih nam pokaže (slika 7-16), da so temperature na stopniščnem delu za tretji računski model pri zaprtih oknih višje na začetku tako v knjižnici kot tudi na stopniščnem delu in hodnikih fakultete, ker ni hlajenja prostora s svežim zrakom iz okolice. Vendar se situacija kmalu obrne, saj je posledica svežega zraka hitrejša in bolj intenzivno gorenje, kar pokažejo temperature, ki so že pri $t=200$ s višje v vseh prostorih fakultete. Največja razlika v temperaturnih

primerjavah je pri $t=300$ s, kjer je povprečna temperatura celotne fakultete višja za 40°C , kar je pri tako velikem volumnu zraka, ki se nahaja v fakulteti, ogromno.



Slika 7-16: Primerjava temperatur po fakulteti za tretji in četrti scenarij

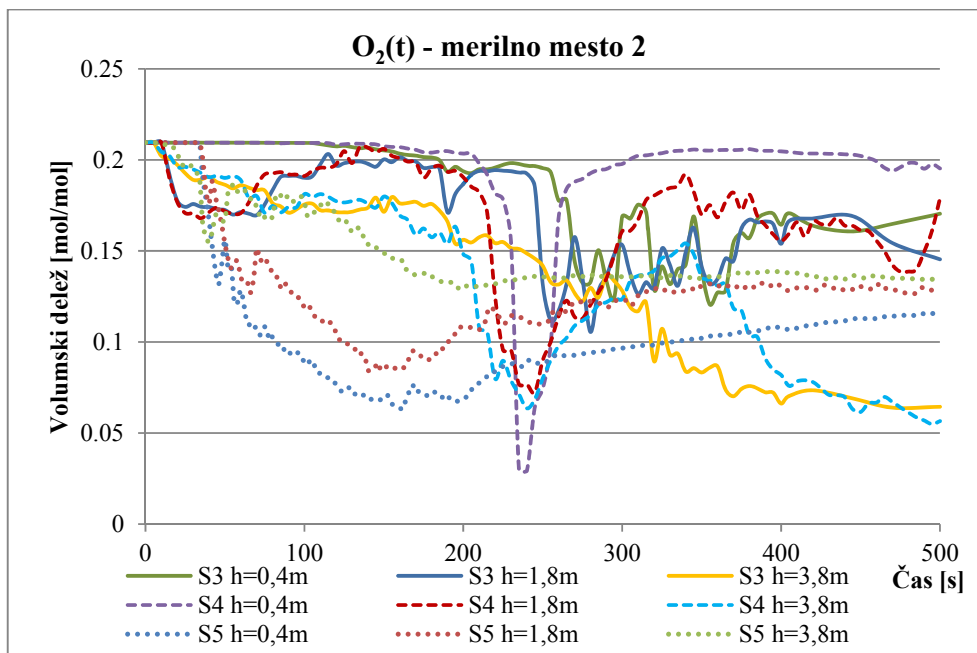
Primerjava dejanske povprečne temperature knjižnice med scenariji (slika 7-17) pokaže, da je najvišja dosežena temperatura na začetku ravno v primeru gašenja požara s CO₂, ki med gašenjem dodatno premeša zrak v knjižnici in s tem začasno segreje ostali zrak v knjižnici. Velik skok temperature pri scenariju 4 je posledica vžiga vseh predmetov v prostoru. Temperatura v tretjem scenariju se dviguje konstantno in skoraj linearno z hitrostjo 25°C/minuto in znaša ob koncu simulacije 122°C.



Slika 7-17: Primerjava povprečnih temperatur knjižnice za tretji, četrti in peti scenarij

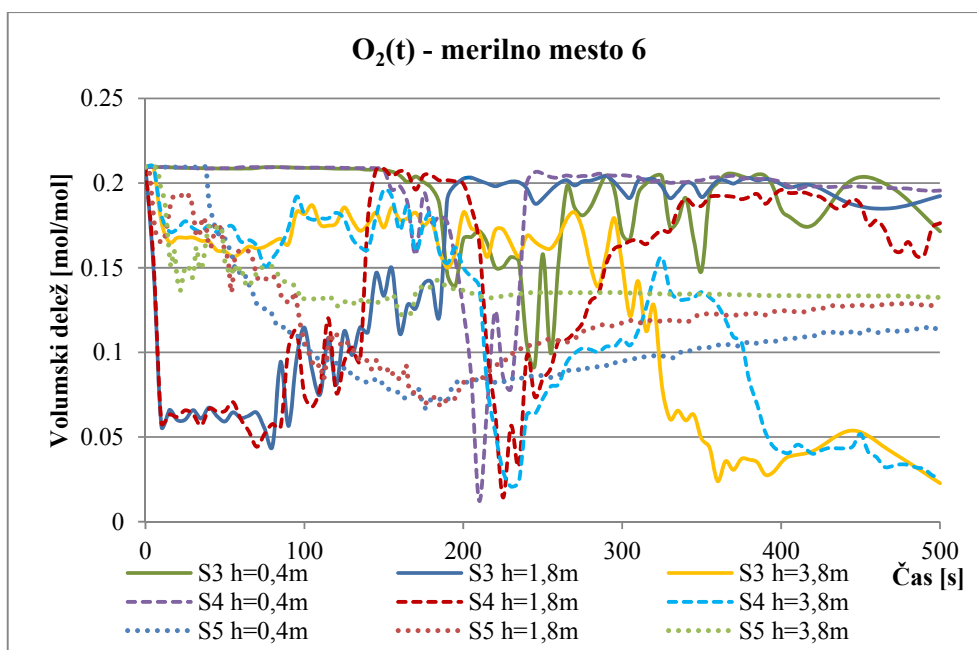
7.2.2 Kisik

Primanjkljaj kisika se najprej začne na najvišjih mestih in sicer v vseh treh primerih (slika 7-18). Koncentracije se spustijo tudi pod 10% v primeru gašenja kot tudi pri scenariju z zaprtimi okni pod stropom. Najnižji globalni minimum pa se zgodi pri scenariju z odprtimi okni pri vžigu celotnega prostora, kjer kisika skoraj zmanjka.



Slika 7-18: Primerjava O_2 po višini na merilnem mestu 2 za tretji, četrti in peti scenarij

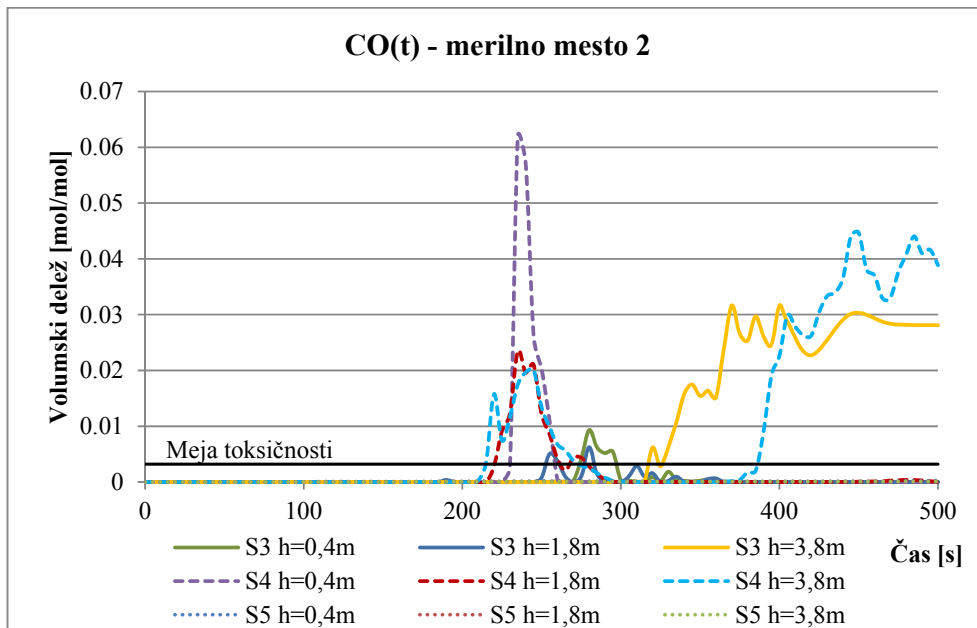
Pri merilnem mestu, ki se nahaja najbližje stopniščnemu oknu so opazni veliki skoki v deležu kisika (slika 7-19). Z razbitjem stekla se ustvari odprtina in hitrost gibanja zraka je tu največja. Tako kot v prvi skupini rezultatov, je tudi tu primanjkljaj kisika pod podestom do trenutka porušitve. Na grafu je viden princip gašenja z izpodrivanjem kisika pri scenariju 5, kjer v nižjih predelih knjižnice koncentracija kisika pade pod 10%. Tako kot pri temperaturi, je tudi pri kisiku končna koncentracija kisika na vseh višinah približno enaka za tretji in četrti scenarij, kljub odprtemu oknu.



Slika 7-19: Primerjava koncentracije O_2 višini na merilnem mestu 6 za tretji, četrti in peti scenarij

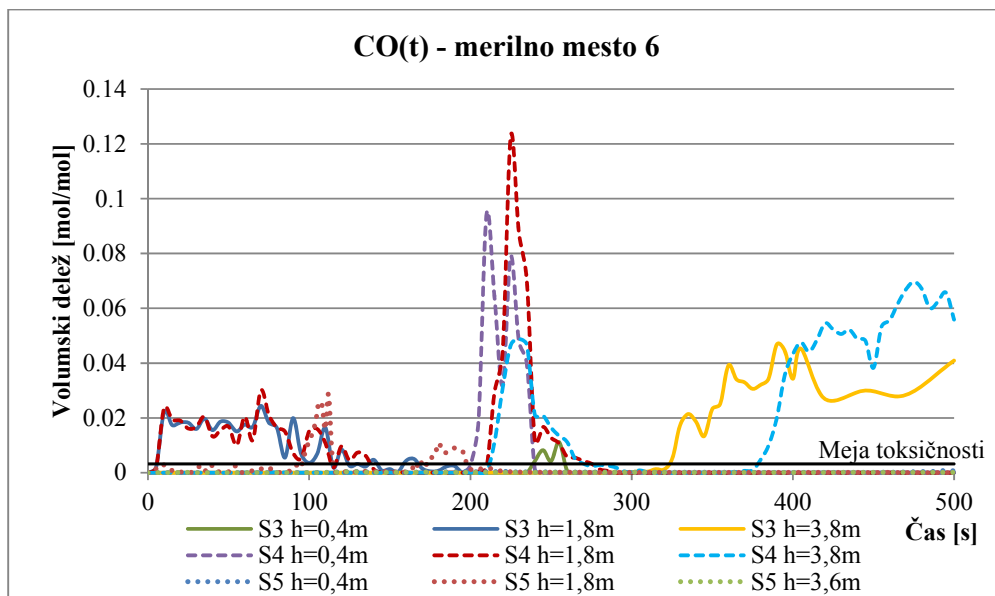
7.2.3 Ogljikov monoksid

Nastanek ogljikovega monoksida je pogojen z nepopolnim gorenjem. Na merilnem mestu 2, ki se nahaja blizu zunanjih oken, v prvih 200 s praktično ni zaznati omembe vredne količine ogljikovega monoksida (slika 7-20). Ko pri četrtem scenariju pride do vžiga vsega prostora, se zaradi deficita kisika kot stranski produkt začne tvoriti CO in pri tleh za trenutek doseže vrednost kar 60% oz. 20% na višini 1,8m, kar pa po lestvicah zastрупitve pomeni takojšna smrt. Če bi bila v prostoru prisotna oseba, bi se takoj zastúpila s CO in tudi temperatura bi terjala svoj davek, saj so temperature povsod višje kot jih lahko prenese človeško telo. Ogljikov monoksid se zopet začne tvoriti pod stropom v računskem modelu z odprtimi in z zaprtimi okni. Kljub temu, da je CO težji od zraka se ga največ nahaja pod stropom, ker je bolj segret od okoliškega zraka. To je tudi razlog, da se detektorji CO največkrat nahajajo na stropih. Pri gašenju požara s pomočjo CO₂ tvorbe ogljikovega monoksida nisem zaznal.



Slika 7-20: Primerjava CO po višini na merilnem mestu 2 za tretji, četrti in peti scenarij

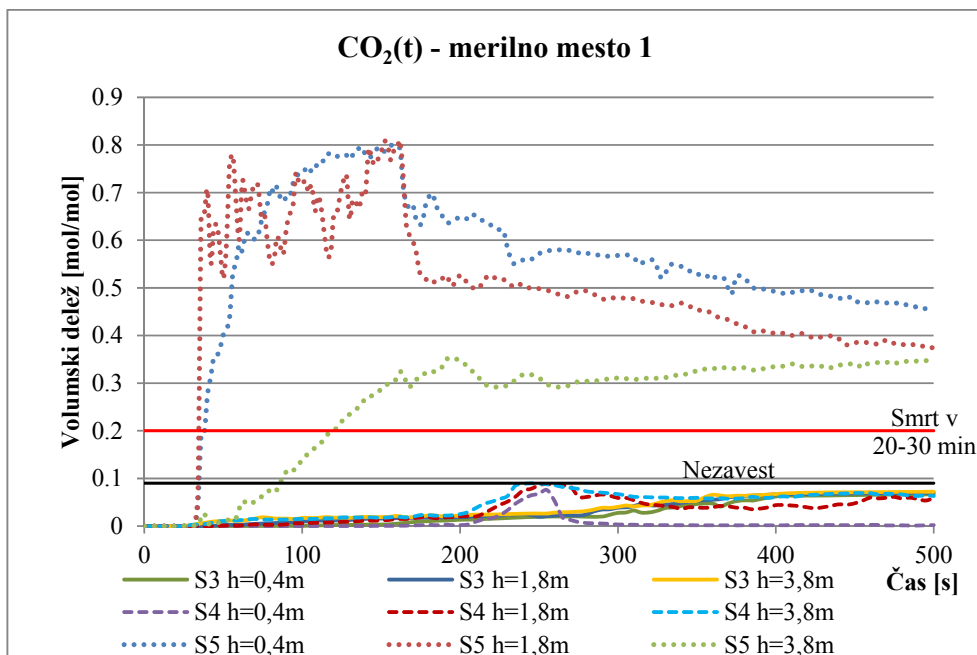
S primerjavo grafov na merilnem mestu 2 in merilnem mestu 6 (slika 7-21), ki se nahaja najbližje viru vžiga, opazim, da ni večjih razlik v koncentracijah CO, razen med časom $t=0$ s in $t=130$ s, kjer jekleni podest opravlja ločevalno funkcijo in povzroči 2% dvig koncentracije CO v scenariju 3 in scenariju 4 vse do porušitve.



Slika 7-21: Primerjava CO po višini na merilnem mestu 6 za tretji, četrti in peti scenarij

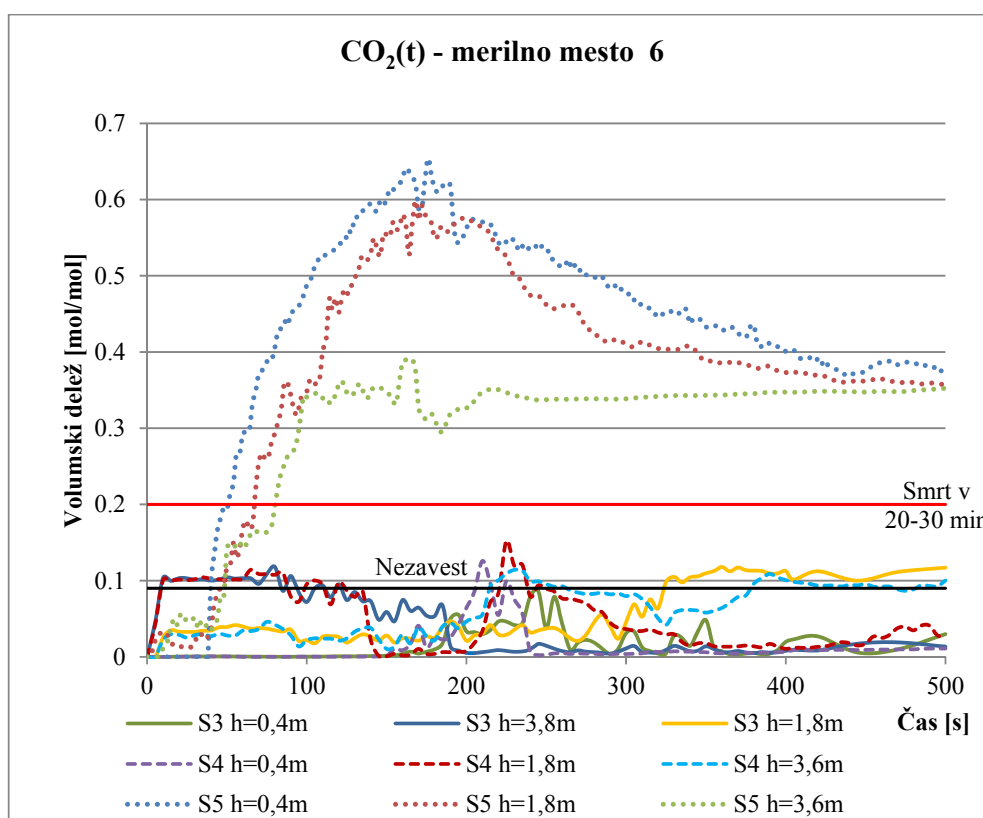
7.2.4 Ogljikov dioksid

Pri merilnem mestu 1 je koncentracija CO₂ pričakovano največja v primeru gašenja požara s plinom. Koncentracija je v tem primeru mnogo višja kot v ostalih dveh. Koncentracija CO₂ narašča skoraj linearno v primeru gorenja požara z zaprtimi okni medtem ko je koncentracija CO₂ zopet višja v primeru z odprtimi okni v času okoli t=250 s, ko se požar začne razvijati do polne razvitosti pri t=300 s. Tu je opazen tudi padec CO₂ zaradi začetka nepopolnega gorenja. Na grafu (slika 7-21) je moč opaziti, da je CO₂ težji od zraka, saj so koncentracije pri tleh v primeru gašenja požara višje kot pa na višjih ležečih mestih.



Slika 7-22: Primerjava CO₂ po višini na merilnem mestu 1 za tretji, četrti in peti scenarij

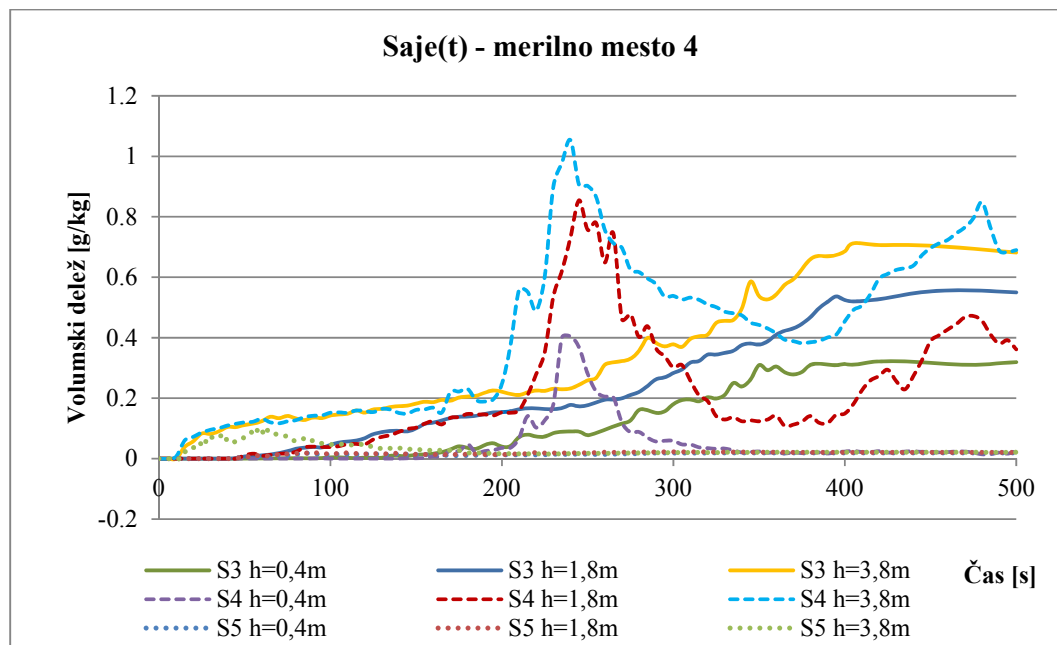
Tudi pri merilnem mestu 6 so koncentracije najvišje v primeru gašenja in znašajo pri tleh preko 60%, vendar koncentracija pod stropom že pade na polovično vrednost. Na grafu je prikazana tudi mejna koncentracija, pri kateri pride do nezavesti in do smrtne zastrupitve. Tu se vidi (slika 7-23), kako pomembna je zakasnitev v primeru gašenja s CO₂, saj je pri gašenju požara poglavitno reševanje človeških življenj in šele nato reševanje materialnih stvari. Jekleni podest tudi tokrat v računskem primeru 3 in 4 deluje kot bariera, pod katero se lahko kopiči CO₂, kljub temu, da je ta lažji od zraka, vendar mu termika, ki je blizu požara, ne dovoli, da bi se ta spustil do nižjih plasti. Meja nezavesti je na tem mestu dosežena kmalu in sicer že pri t=20 s, medtem ko je na odprtem delu knjižnice izven knjižnih polic ta meja dosežena pri t=250 s.



Slika 7-23: Primerjava CO₂ po višini na merilnem mestu 6 za tretji, četrti in peti scenarij

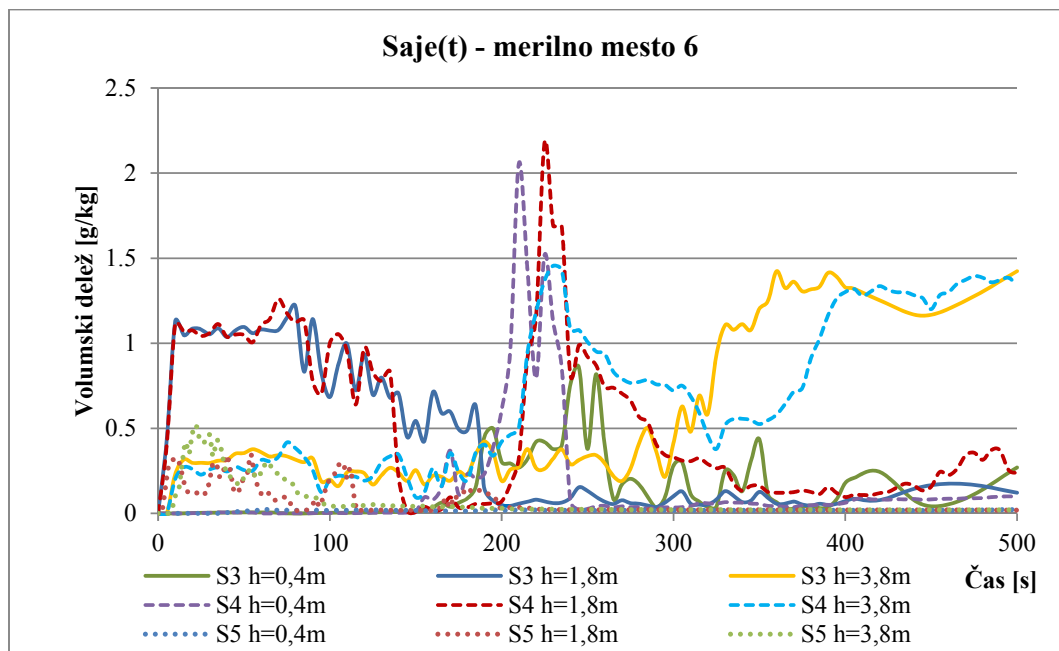
7.2.5 Saje

Količina saj, ki nastane pri tretjem scenariju, znaša 0,59 kg, pri četrtem scenariju 0,74 kg, pri gašenju požara s CO₂ pa le 0,05kg. Največ saj nastane v četrtem računskem modelu (slika 7-24). Te so posledica najbolj intenzivnega gorenja, saj v tem primeru zgori tudi največ materiala.



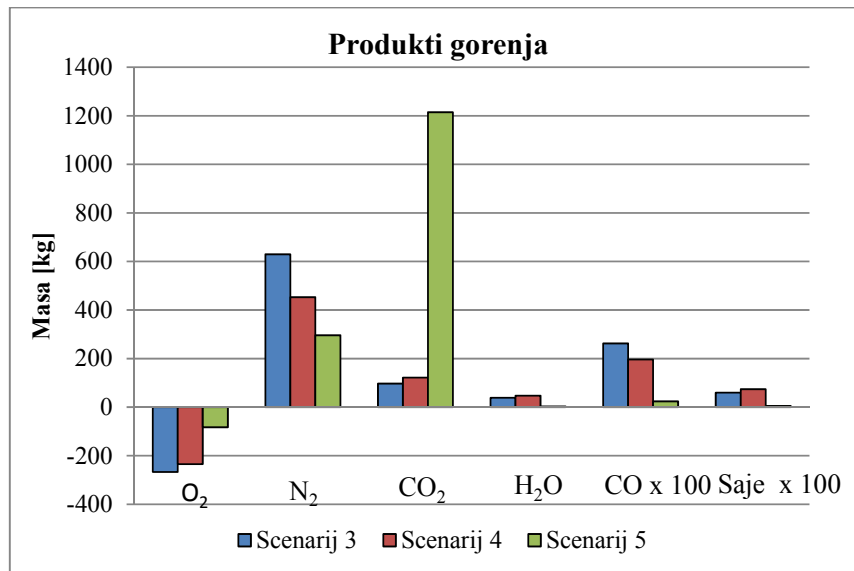
Slika 7-24: Primerjava saj po višini na merilnem mestu 4 za tretji, četrti in peti scenarij

V skladu s pričakovanji se največ saj tvori pri četrtem scenariju v času, ko se vname celotna knjižnica. Odprta okna niso veliko pripomogla k zmanjšanju koncentracije, ker se zračni tok tvori v smeri od odprtih oken proti stopniščnemu delu. Ker je bila knjižnica v 5. računskem modelu gašena s pomočjo inertnega plina, saje niso nastajale tako intenzivno kot bi v primeru gašenja z vodo. Če primerjamo oba grafa (slika 7-23 in slika 7-25) vidimo, da v bližini razbitega okna pri knjižnih policah koncentracija saj pada bistveno hitreje kot pa v središču prostora. Tudi pri sajah se vidi, da jekleni podest zadržuje saje vse do porušitve. Večina saj se tudi v tem primeru nahaja v zgornji polovici prostora knjižnice.



Slika 7-25: Primerjava saj po višini na merilnem mestu 6 za tretji, četrti in peti scenarij

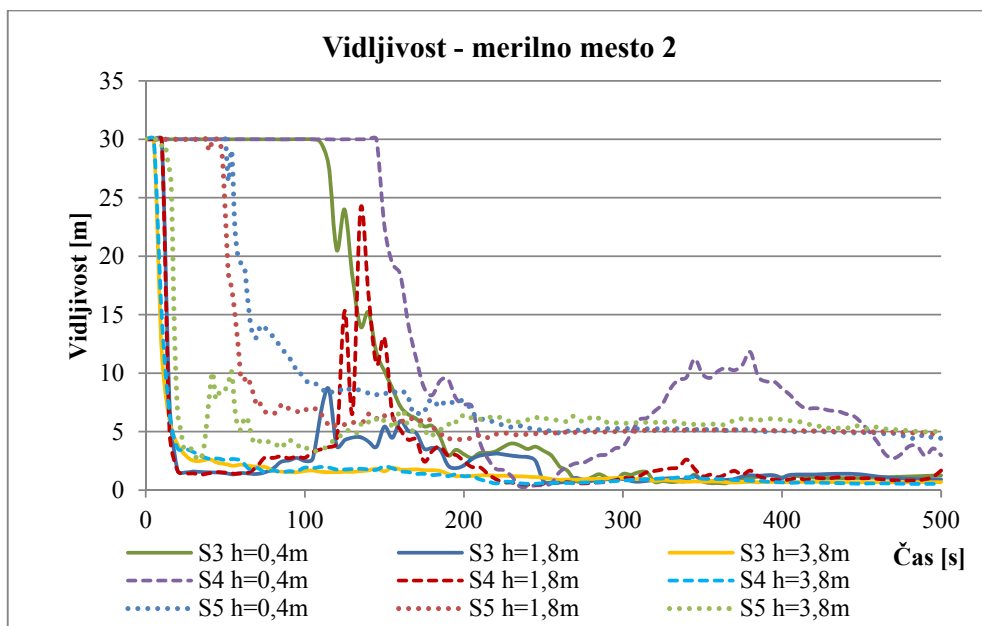
Skupna količina vseh produktov za posamezen scenarij znaša 501 kg v tretjem scenariju, 383 kg v četrtem scenariju in 1431 kg v primeru gašenja s CO₂. Od 1431 kg kar 95% CO₂ predstavlja gasilno sredstvo, ki je bilo vneseno v prostor skozi ventilacijske lopute. Do nepopolnega gorenja je torej prihajalo v obeh primerih, ki nista bila gašena s CO₂, saj je vrednost CO znašala 2,62 kg v primeru zaprtega in 1,95 kg v primeru odprtega okna (slika 7-26). Razlog, da je količina porabljenega kisika v četrtem scenariju manjša od vrednosti v tretjem scenariju je v tem, da v porabi ni vključen kisik, ki je prišel skozi odprto okno. Največ vodne pare je nastalo v četrtem scenariju, saj je bilo tudi gorenje tam najbolj burno.



Slika 7-26: Produkti gorenja za drugo skupino rezultatov

7.2.6 Vidljivost

Primerjava vidljivosti na merilnem mestu 2 nam pokaže, da vidljivost najhitreje pada pod stropom, nato na višini 1,8 m in najkasneje pri tleh (slika 7-27). Zanimivo je predvsem povečanje vidljivosti v primeru odprtega okna in sicer med obdobjem $t=250$ s do $t=500$ s, kjer znaša vidljivost tudi 10 m zaradi odvajanja saj s pomočjo naravnega vleka. Vidljivosti se je kmalu po začetku na višini 1,8 m zmanjšala na 1,5 m. Največja vidljivost med vsemi tremi primeri je največja ravno v primeru gašenja in znaša 5 m, medtem ko v ostalih primerih pade skoraj na 0 m.



Slika 7-27: Primerjava vidljivosti po višini na merilnem mestu 2 za tretji, četrti in peti scenarij

8 ZAKLJUČEK

Požar je kompleksen pojav, ki ga je v naravi nemogoče predvideti. Danes nam računalniški programi in računalniki omogočajo oceno razvijanja požara in stranskih produktov, ki nastajajo med gorenjem. Velikokrat se preiskovalci nesreč zatekajo k simuliranju situacij, ki jim omogoči vpogled v vzroke nesreče in kaj je potrebno pri zasnovah materialov ali prostorov spremeniti.

Programski paket FDS in Smokeview je le eden iz mnogih, ki omogoča simulacijo požara, vendar eden redkih, ki je na voljo brezplačno in omogoča tridimenzionalno prikazovanje fizičnega modela, kot tudi prikaz ognja. Kljub temu, da je računalniški program star že 25 let in se je zmogljivost računalnikov v tem času že zelo povečala, je reševanje Navier-Stokesovih enačb še vedno zahtevno opravilo. Reševanje enačb modela je v mojem primeru trajalo od 23 do 49 ur.

Pri pregledu tuje literature sem zasledil, da je bilo narejenih že veliko numeričnih simulacij s programom FDS, vendar je bilo od teh zelo malo modeliranih požarov v knjižnici. Narejena je bila študija evakuacije, ki jo je naredil oddelek za strojništvo na univerzi Kasetsart na Tajskem z naslovom *Modeling Fire Evacuation of a Library Building based on the Numerical Simulation*, ki je bil objavljena v *American Journal of Applied Sciences* in študija, ki je bila opravljena na Worcester Polytechnic Institute z naslovom *Analysis of sprinkler use in Library Stack Room using Fire Dynamics Simulator*.

Danes so vsi gradbeni materiali razvrščeni v razrede gorljivosti in pri načrtovanju novih stavb je potrebno upoštevati predpise požarne varnosti v objektih, ki se je v zadnjih dvajsetih letih zelo izboljšala. Z uporabo računalniških modelov se lahko naredijo študije požarne varnosti in obnašanje objekta v požaru, ter tako ugotovi morebitne pomanjkljivosti v zgradbi, ki imajo lahko pogubne posledice za prebivalce objekta.

Glavni produkti gorenja so saje, ogljikov dioksid, ogljikov monoksid in vodna para. Saje povzročajo zmanjšano vidljivost in oteženo evakuacijo, saj velikokrat zastrejo tudi evakuacijske znake. Nevarnost zastrupitve z različnimi toksičnimi produkti je največkrat vzrok za smrt pri požaru.

V diplomskem delu me je zanimal predvsem razvoj stranskih produktov, ki nastajajo pri požaru in širjenje dima po fakulteti pri različnih scenarijih. Knjižnica sama po sebi deluje kot prostor, v katerem se naj bi požar zelo hitro širi, vendar je potrebno poudariti, da večino gorljivega materiala predstavlja papir, ki je stisnjen in gori bistveno počasneje kot posamezen list papirja, zato se pri simulaciji gorenja knjig uporablja model zgorevanja lesa. To dejstvo me ni presenetilo, vendar sem sam glede na veliko količino goriva, ki se nahaja v knjižnici, pričakoval bolj buren razvoj požara.

Najvišje temperature so bile izmerjene v računskem primeru z odprtimi okni, ker je bil trikotnik gorenja sklenjen skozi celotno simulacijo. Tako ne preseneča dejstvo, da je razvoj požara, ki se zgodi v danem trenutku, odvisen tudi od spleta okoliščin. Okoliščine lahko močno pripomorejo k poboljšanju požarne varnosti kot tudi nasprotno. Ne ravno preudarno ravnanje knjižničarke povzroči širjenje dima v ostale prostore fakultete zaradi odprtih vrat v drugem računskem primeru. Širjenje dima po fakulteti ob pravilnem ravnanju knjižničarke bi bilo minimalno. Sporno je predvsem to, da je stopnišče fakultete odprtega tipa in se lahko saje neovirano širijo po celotnem objektu. Vsako stopnišče predstavlja tudi eno izmed dveh ključnih evakuacijskih poti, ki potekata po fakulteti. Preprosta rešitev tega problema je tudi ekonomsko upravičena, saj bi z nakupom in montažo avtomata za zapiranje vrat na zelo enostaven način preprečili širjenje dima.

Kljub relativno dobri zasnovi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo z vidika požarne varnosti, ki ima dve evakuacijski poti, ki potekata po ločenih stopniščih, bi bilo smiselno razmisliti o odstranitvi stopniščnega stekla, ki se nahaja med knjižnico in stopniščem. Stopniščno steklo, bi lahko nadomestili s predelno steno. Vsako uhajanje saj na evakuacijsko pot zmanjšuje vidljivost in otežuje evakuacijo ljudi. Ukrep proti zmanjšani vidljivosti je na fakulteti rešen z osvetljenimi znaki za evakuacijo, ki pa delujejo le do določene mere. Najmanjša vidljivost na evakuacijskih poteh je bila v primeru porušitve stopniščnega stekla in saje so kmalu napolnile hodnike in stopnišče fakultete. Zaradi zmanjšane vidljivosti je evakuacija ljudi, ki bi se nahajali v višjih nadstropjih fakultete otežena. Zaradi računske omejitve sem bil primoran uporabiti ravnino »mirror«, ki mi je sicer dala bolj natančne podatke iz merilnih mest na simulirani polovici fakultete, vendar nisem imel vpogled v širjenje dima skozi drugo stopnišče in evakuacijsko pot, tako da realnih zaključkov o evakuaciji žal ne morem podati.

Presenetilo me je dejstvo, da v vseh primerih vidljivost kljub velikosti knjižnice izredno hitro pada. Vidljivost na višini 1,8 m znaša manj kot 2 m pri $t=120$ s v vseh simulacijah, tudi v primeru, kjer je vzpostavljen zračni tok skozi odprta okna in razbitim stopniščnim oknom, ki odvajata saje iz knjižnice. Poleg težav z vidljivostjo se pri požaru srečujemo tudi z vplivom toksičnih produktov in visokimi temperaturami. Meja opeklin zunaj knjižnice na evakuacijski poti je dosežena le lokalno v prvem in drugem nadstropju v scenariju številka 3, kar pa ne morem trditi za sam prostor v katerem je simuliran požar. Najvišje temperature dosežajo vrednosti preko 700°C v primeru odprtega okna in razbitja stopniščnega stekla, vendar šele po 325 s od začetka požara, tako da imajo morebitni obiskovalci in osebje knjižnice dovolj časa za umik. Zasnova knjižnice je torej ustrezna in tudi vgrajeni materiali, ki tvorijo obodno konstrukcijo prostora so primerni, z izjemo steklenega pasu, ki se nahaja pri stopnišču.

Meje toksičnosti za primer zastrupitve s CO in CO₂ so najhitreje dosežene pod stropom knjižnice in pod jeklenim podestom, kjer jekleni podest opravlja zadrževalno in ločevalno funkcijo vse do lokalne porušitve. Smrtne koncentracije so dosežene le pod stropom knjižnice in ne pod višino 1,8 m, kjer se

običajno nahajajo ljudje. Tako bi, če izločim vpliv temperature sicer prišlo do zastrupitev vendar do smrtnih žrtev v prvih 500 s ne bi prišlo. Tudi pri uhajanju produktov gorenja na evakuacijske poti so koncentracije CO in CO₂ majhne in do zastrupitev ne bi prihajalo. Največjo oviro pri evakuaciji bi torej predstavljala zmanjšana vidljivost.

Požar se lahko pogasi z različnimi načini, vendar je najbolj običajno gašenje s pomočjo vode. Tu se pojavlja vprašanje, ali je glavna prioriteta gašenje in reševanje ljudi ali tudi stvari. Tako se danes na trgu pojavljajo različni sistemi za gašenje požara, vendar je potrebno preučiti njihove pozitivne in negativne lastnosti in nenazadnje ugotoviti tudi njihovo ekonomsko upravičenost.

V diplomskem delu sem preizkusil tudi način gašenja požara s pomočjo plina CO₂, ki deluje po principu gašenja z izpodrivanjem kisika. Tak princip gašenja se velikokrat uporablja pri gašenju manjših požarov z uporabo ročnega gasilnika CO₂. Sistem ročnega in stenskega gašenja sta si podobna, le da se je pri vpihovanju CO₂ v prostor preko šob na steni potrebno zavedati, da lahko pride do velikih koncentracij plina, ki so lahko za človeka usodne. Stensko gašenje požara s CO₂ se je obneslo zelo dobro, ker začne delovati hitro in učinkovito. Na ta način bi preprečili izgubo knjig, ki bi jih požar sicer uničil. Če ne bi bilo zakasnitve zaradi evakuacijske dobe, škode na predmetih praktično ne bi bilo. Pri teh sistemih se je potrebno zavedati, da je prioriteta pri gašenju požarov vedno reševanje življenj in šele nato reševanje materialnih stvari.

VIRI

Ahačič, M. 2006. Praktični preizkus delovanja točkovnih javljalnikov po SIST EN 54-7. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, (Samozaložba M. Ahačič): 138 str.

Babrauskas, V. 2010. Glass breakage in fires. Chicago, Fire Science and Technology Inc: 7 str.

Communication of the Commission with regard to the interpretative documents of Council Directive 89/106/EEC (UL C 62/01, 28.2.1994, str 1-163).

Direktiva evropske unije o gradbenih proizvodih (Council Directive 89/106/EEC).

Drysdale, D. 1998. An introduction to fire dynamics. New York, Wiley: 133 str.

FDS user guide. 2007

<http://www.fire.nist.gov/fds/> (Pridobljeno 30.6.2012)

Gaber, M., 2004. Potek požara: meritve in simulacija. Diplomaska naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, (Samozaložba M. Gaber): 104 str.

Gotlih, K. 2001. Seminar požarne varnosti. Maribor, Društvo strojnih inženirjev in tehnikov Maribor: 158 str.

Grm, B. 2002. Kemija v gasilstvu, Požar, eksplozija in nevarne snovi. Ljubljana, Gasilska zveza Slovenije: 339 str.

Hajduković, M. 2005. Preizkušanje požarnih lastnosti gradbenih materialov, Razvojno raziskovalna naloga, Ljubljana, ZAG: 23 str.

Priročnik za uporabo, Nist Fire Dynamic Simulator in Smokeview

<http://kske.fgg.uni-lj.si/programi/NIST%20FDS%20&%20SMOKEVIEW%20v5.5.3.pdf> (Pridobljeno 30.6.2012)

Petelin, S., Vidmar, P. 2006. Model požara ob prometni nesreči v bližini jedrske elektrarne. Strojniški vestnik 52, 6: 380-391.

Smokeyview user guide. 2007

<http://www.fire.nist.gov/fds/> (Pridobljeno 30.6.2012)

Tehnična smernica TSG-1-001:2010, Požarna varnost v stavbah.

Twilt, L. 1994. Design Guide for Structural Hollow Section Columns Exposed to Fire. Cidect, Verlag TUV Rheinland: 215 str.

Wharry, D. M. 1992. Fire technology – Chemistry and combustion. Leicester, Institution of Fire Engineers: 344 str.

White, C.S. 1952. Human tolerance to acute exposure to carbon dioxide. Report No. 1: Six percent carbon dioxide in air and in oxygen. Aviation, Med. pp. 439-455.

Zafošnik, A. 2004. Požarna preventiva. Ljubljana, Gasilska zveza Slovenije: 339 str.

Zakon o gradbenih proizvodih (Uradni list RS, št. 52/00, 110/02-ZGO-1).

Zakon o graditvi objektov (Uradni list RS, št 102/04-UPB).