



**УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ”- ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ
Институт за рударство
Катедра за подземна експлоатација
Штип**

м-р Ванчо Аџиски

**СОВРЕМЕН ПРИСТАП ПРИ ПЛАНИРАЊЕ НА СИСТЕМОТ ЗА
ЕВАКУАЦИЈА И СПАСУВАЊЕ ВО СЛУЧАЈ НА ПОЖАР ВО
РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА**

- ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА -

Штип, 2016

ИНТЕРЕН МЕНТОР:	Проф.д-р Дејан Мираковски вонреден професор, Факултет за природни и технички науки Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип
ЕКСТЕРЕН МЕНТОР:	Проф.д-р Никола Лилич редовен професор, Рударско-геолошки факултет, Универзитет во Белград, Р.Србија

ЧЛЕНОВИ НА КОМИСИЈА ЗА ОЦЕНКА И ОДБРАНА:

ПРЕТСЕДАТЕЛ:	Проф.д-р Зоран Десподов редовен професор, Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“- Штип
ЧЛЕН:	Проф.д-р Зоран Панов редовен професор, Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“- Штип
ЧЛЕН:	Проф.д-р Благој Голомеов редовен професор, Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“- Штип
ЧЛЕН:	Проф.д-р Дејан Мираковски вонреден професор, Факултет за природни и технички науки Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип
ЧЛЕН:	Проф.д-р Никола Лилич редовен професор, Рударско-геолошки факултет, Универзитет во Белград, Р.Србија
НАУЧНО ПОДРАЧЈЕ:	Техничко-технолошки науки
НАУЧНО ПОЛЕ:	Рударство
НАУЧНА ОБЛАСТ:	Вентилација и техничка заштита
ДАТУМ НА ОДБРАНА:	
ДАТУМ НА ПРОМОЦИЈА:	

БЛАГОДАРНОСТ

Докторската дисертација е работена под менторство на проф.д-р Дејан Мираковски, вонреден професор на Факултетот за природни и технички науки - Штип и проф.д-р Никола Лилич, редовен професор на Рударско-геолошки факултет, Универзитет во Белград, Р.Србија. Ја користам оваа прилика да им се заблагодарам за безрезервната помош во текот на целата изработка, како и за големата морална поддршка.

Посебна благодарност до членовите на комисијата, проф. д-р. Зоран Десподов, проф. д-р Зоран Панов и проф. д-р Благој Голомеов за нивната стручна помош, совети и сугестии за постигнување на подобри резултати.

На крајот, посебна благодарност и почит сакам да изразам до мојата фамилија, за трпението и моралната поддршка што ми ја дадоа при изработката на докторската дисертација.

РЕЦЕНЗИРАНИ И ОБЈАВЕНИ ТРУДОВИ
ОД ИСТРАЖУВАЊЕТО:

1. **Аџиски В.:** “МОЖНОСТ ЗА ПРИМЕНА НА СОФТВЕРИ ЗА ВИЗУАЛИЗАЦИЈА ЗА ПОДОБРО РАЗБИРАЊЕ НА РАБОТНИ АКТИВНОСТИ И ТОЛКУВАЊЕ НА МНОГУ ТИПОВИ НА ПОДАТОЦИ ВО РУДАРСТВОТО”, Зборник на трудови од Шесто стручно советување со меѓународно учество ПОДЕКС '12, ЗРГИМ, Штип, 2012.
2. **Adjiski V.:** "POSSIBILITIES FOR SIMULATING THE SMOKE ROLL-BACK EFFECT IN UNDERGROUND MINES USING CFD SOFTWARE", GeoScience Engineering, Volume LXI, "Vysoká škola báňská" VSB -Technical University of Ostrava, Czech Republic, 2014.
3. **Аџиски В.:** “СОВРЕМЕН КОМПЈУТЕРСКИ ПРИСТАП ЗА ПЛАНИРАЊЕ И СИМУЛАЦИЈА НА ПОЖАРНИТЕ СЦЕНАРИЈА И ПЛАНОВИТЕ ЗА ЕВАКУАЦИЈА ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА”, Зборник на трудови од Седмо стручно советување со меѓународно учество ПОДЕКС '14, ЗРГИМ, Радовиш, 2014.
4. **Аџиски В.:** “МОЖНОСТИ ЗА СИМУЛИРАЊЕ НА ЕФЕКТОТ НА РЕВЕРСИРАЊЕ НА ЧАДОТ И ПОЖАРНИТЕ ПРОДУКТИ СО ПОМОШ НА CFD СОФТВЕР ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА”, Природни ресурси и технологии, Универзитет “Гоце Делчев” – Штип, 2014.
5. **Adjiski V., Despodov Z., Mirakovski D., Mijalkovski S.:** “FIRE RISK ASSESSMENT AND COMPUTER SIMULATION OF FIRE SCENARIO IN UNDERGROUND MINES”, Studies in Engineering and Technology Vol. 2, No. 1, USA, 2015.
6. **Аџиски В.,** Мираковски Д., Десподов З., Мијалковски С.:. “МОДЕЛИРАЊЕ НА ПОЖАРНИ СЦЕНАРИЈА ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА”, Природни ресурси и технологии, Универзитет “Гоце Делчев” – Штип, 2015.
7. **Аџиски В.:** “ВИЗУАЛИЗАЦИЈА И СИМУЛАЦИЈА НА ПЛАНОВИТЕ ЗА ЕВАКУАЦИЈА И СПАСУВАЊЕ ВО СЛУЧАЈ НА ПОЖАР ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА”, Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини, Крушево, 2015.
8. **Adjiski V., Mirakovski D., Despodov Z., Mijalkovski S.:** “SIMULATION AND OPTIMIZATION OF EVACUATION ROUTES IN CASE OF FIRE IN UNDERGROUND MINES”, Journal of Sustainable Mining, 14 (3), Poland, 2015.

СОВРЕМЕН ПРИСТАП ПРИ ПЛАНИРАЊЕ НА СИСТЕМОТ ЗА ЕВАКУАЦИЈА И СПАСУВАЊЕ ВО СЛУЧАЈ НА ПОЖАР ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА

Краток извадок:

Вонредна состојба во рудник за подземна експлоатација, се прогласува тогаш кога истиот веќе не е во состојба ефикасно да го контролира здравјето и безбедноста на луѓето. Статистички, едни од најопасните вонредни состојби кои имаат однесено најмногу човечки животи во рудниците за подземна експлоатација се пожарите. Во рудниците за подземна експлоатација, пожарите можат да се случат во било кое време и можат да резултираат со делумна или целосна евакуација на персоналот во рудникот. Плановите за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација, даваат преглед на постапките за одговор и превентивни мерки кои се неопходни за ефективно и навремено управување со оваа вонредна ситуација. Брзата акција и претходната подготовка за справување со ваков тип на вонредни ситуации, може да помогне во спасување на човечки животи и заштита на финансиските инвестиции во самиот рудник.

Примарната цел на оваа докторска дисертација е да се прикажат современи компјутерски методи за планирање, моделирање и симулација на пожарните сценарија кои можат да настанат во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ - М.Каменица, и врз основа на овие резултати да се одредат безбедните патишта за евакуација и спасување на сите вработени. Разработена е методологија за моделирање на пожарни сценарија и врз основа на овие податоци одредени се оптималните рути за евакуација на сите вработени кои се зафатени од пожарот. Предложената методологија во докторската дисертација е изработена со лесно достапни софтвери кои се користени за да се изработат сите потребни делови кои треба да ги содржи еден ефективен план за евакуација во случај на пожар. Предложената методологија дозволува и изработка на база на податоци од повеќе различни пожарни сценарија кои можат да послужат за планирање на повеќе варијанти од системот за евакуација. Резултатите од овие истражувања покажуваат дека разработената и предложената методологија преставува брза, евтина и ефективна варијанта која значително го подобрува процесот на

планирање и изработка на плановите за евакуација и спасување во случај на пожар и истата може да се користи за обука, научноистражувачки и практични цели со што значително се подобрува безбедноста во секој рудник за подземна експлоатација.

Клучни зборови: рудници за подземна експлоатација, вонредна состојба, пожарни сценарија, моделирање, симулација, оптимизација, планови за евакуација, спасување, безбедност при работа.

MODERN APPROACH TO THE PLANNING SYSTEM FOR EVACUATION AND RESCUE IN CASE OF FIRE IN UNDERGROUND MINES

Abstract:

Emergency in underground mine is declared when it is no longer able to effectively control the health and safety of people. Statistically, one of the most dangerous emergencies that have taken the most lives in underground mines are the fires. In underground mines, fires can happen at any time and may result in partial or complete evacuation of the mine. Plans for evacuation and rescue in case of fire in underground mines, outline procedures for response and preventive measures that are necessary for the effective and timely management of this emergency situation. The quick action and preconditioning for dealing with this kind of emergency can help save lives and protect the financial investment in the mine.

The primary objective of this Ph.D. thesis is to present modern computer methods for planning, modeling and simulation of fire scenarios that can occur in underground mine „SASA” - M.Kamenica, and based on these results to determine the safe routes for evacuation and rescue of all employees. In the Ph.D. thesis is developed a methodology for modeling of fire scenarios that may occur in the underground mine „SASA”, and based on these specific fire scenarios are determine the optimal routes for evacuation of all employees who are affected by the fire scenario. The proposed methodology in this Ph.D. thesis is made with readily available softwares that are used to prepare all sections that are included in an effective plan for evacuation in case of fire scenario. This proposed methodology also allows for preparation of database from various fire scenarios that can be used for planning more variants of the system for evacuation. The results of this study show that this developed and proposed methodology represents a fast, inexpensive and effective system that significantly improves the planning and preparation of plans for evacuation and rescue in case of fire and it can be used for training, research and practical purposes which significantly improves safety in any underground mine.

Key words: underground mines, emergency, fire scenarios, modeling, simulation, optimization, evacuation plans, rescue, safety at work.

Содржина:

1. ВОВЕД	1
2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА	6
3. ЦЕЛИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО	9
4. МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЧКАТА РАБОТА	10
5. ПОЖАРНА СТАТИСТИКА И ПРИЧИНИ ЗА ПОЈАВА НА ПОЖАРИ ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА	12
6. ПОЖАРОТ КАКО ПРОЦЕС	15
6.1 Пресметка и одредување на пожарните параметри	17
6.1.1 Методи за одредување на стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate)	18
6.1.1.1 Стапката на горење на масата.....	18
6.1.1.2 Калориметарска метода	19
6.1.1.3 Топлина на согорување	20
6.2 Противпожарна заштита и разгледување на последиците од пожарот	21
7. РАЗЛИЧНИ ВИДОВИ НА ОПРЕМА И ИНСТАЛАЦИИ КОИ МОЖАТ ДА ПРЕДИЗВИКААТ ПОЖАР ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА	23
7.1 Акумулации на запаливи течности (дизел гориво, хидраулични течности)	23
7.2 Работна механизација.....	26
7.3 Транспортни ленти	26
7.4 Пневматици (гуми).....	26
7.5 Пожари од кабли	27
8. ТЕОРЕТСКИ ПРИНЦИПИ ЗА МОДЕЛИРАЊЕ НА ПОЖАРИ ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА	28
8.1 Идентификација и дефинирање на потенцијалните сценарија за моделирање на пожари во рудниците за подземна експлоатација.....	29
8.1.1 Квантифицирање (квантитативна анализа) на сценаријата за моделирање на пожари.....	35
9. ДЕФИНИРАЊЕ И ТЕОРЕТСКИ АСПЕКТИ НА ЧАДОТ	38
9.1 Ширење и движење на чадот и пожарните гасови во рудниците за подземна експлоатација	42
9.2 Влијание на вентилационите системи врз движењето на чадот и пожарните гасови во рудниците за подземна експлоатација	43
9.2.1. Реверсирање на чадот (backlayering).....	44
9.2.2. Задушлив (throttle) ефект и пловен (buoyancy) ефект	46

9.3 Намалена видливост (прегледност) од чадот.....	47
9.4 Токсични продукти генерирани од чадот и нивните ефекти врз човечкиот организам.....	49
10. МЕТОДИ И ПРИНЦИПИ ЗА КОНТРОЛА НА ЧАД	53
10.1 Компјутерска анализа на методите и принципите за контрола од чад.....	56
10.2 Тестирање на системот за контрола од чад во рудниците за подземна експлоатација	57
11. ПРОЦЕС НА МОДЕЛИРАЊЕ НА ПОЖАРИТЕ СЦЕНАРИЈА И ПРОДУКТИТЕ НА СОГОРУВАЊЕ ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА	58
11.1 Софтверско моделирање на пожарите сценарија и продуктите на согорување во рудниците за подземна експлоатација.....	69
11.2 Избор на пожарно сценарио и нивна документација.....	71
12. ПЛАНОВИ ЗА ЕВАКУАЦИЈА И СПАСУВАЊЕ ВО СЛУЧАЈ НА ПОЖАР ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА.....	72
13. СОВРЕМЕН ПРИСТАП ПРИ ПЛАНИРАЊЕ НА СИСТЕМОТ ЗА ЕВАКУАЦИЈА И СПАСУВАЊЕ ВО СЛУЧАЈ НА ПОЖАР ВО РУДНИКОТ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ОЛОВО И ЦИНК „САСА” - М. КАМЕНИЦА	75
13.1 Идентификација и дефинирање на пожарните сценарија во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА” - М. Каменица.....	78
13.2 Моделирање и симулација на пожарните сценарија во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА” - М. Каменица.....	85
13.3 Систем за евакуација и спасување, изработен врз основа на движењето на чадот и пожарните гасови во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА” - М. Каменица	87
13.4 Оптимизација на рутите за евакуација во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА” - М. Каменица	89
13.4.1 Пресметка на вкупна тежина на рутите за евакуација.....	90
13.4.1.1 Пресметка на еквивалентната должина на патиштата.....	90
13.4.1.2 Коефициент од типот на огранокот (начин на движење-транспорт).....	91
13.4.1.3 Коефициент од влијанието на вентилационата воздушна брзина.....	92
13.4.1.4 Коефициент од влијанието на косината на огранокот	93
13.4.1.5 Коефициент од влијанието на чадот и пожарните гасови	93
13.4.1.6 Коефициент од влијанието на збиеноста на луѓето при евакуацијата .	94
13.4.1.7 Коефициент на влијанието од специјалните фактори поврзани со вонредната ситуација.....	95
13.5 Моделирање на пожар настанат од јамски камион Minetruck MT2010	95

13.5.1. Систем за евакуација и спасување од пожар настанат од јамски камион Minetruck MT2010.....	114
13.5.1.1 Пожарно сценарио-1	115
13.5.1.1.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-1 ...	139
13.5.1.2 Пожарно Сценарио-2	153
13.5.1.2.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-2 ...	178
14. ЗАКЛУЧОЦИ И ПРЕПОРАКИ ЗА ПОНАТАМОШНИ ИСТРАЖУВАЊА.....	182
15. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА.....	187

ПРИЛОЗИ

ПРИЛОГ 1:

1. Моделирање на пожар настанат од утоварач Scooptram ST 3.5.....	198
1.1 Систем за евакуација и спасување од пожар настанат од утоварач Scooptram ST 3.5.....	217
1.1.1 Пожарно Сценарио-3.....	218
1.1.1.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-3.....	234
1.1.2 Пожарно Сценарио-4.....	237
1.1.2.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-4.....	251
1.1.3 Пожарно Сценарио-5.....	254
1.1.3.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-5.....	270
1.1.4 Пожарно сценарио-6.....	273
1.1.4.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-6.....	287

ПРИЛОГ 2:

2. Моделирање на пожар настанат од електро-хидраулична дупчалка Boomer 281 ..	292
2.1 Систем за евакуација и спасување од пожар настанат од електро-хидраулична дупчалка Boomer 281	311
2.1.1 Пожарно сценарио-7.....	312
2.1.1.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-7.....	331

ПРИЛОГ 3:

3. Моделирање на пожар настанат од магацин за дизел гориво и масло	336
3.1 Систем за евакуација и спасување од пожар настанат од магацин за дизел гориво и масло	348
3.1.1 Пожарно сценарио-8.....	349
3.1.1.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-8.....	369

1. ВОВЕД

Несреќите кои се случуваат во рудниците за подземна експлоатација, многу често прераснуваат во големи размери кои резултираат со загуби на човечки животи. Несреќите предизвикани од пожар не само што можат да предизвикаат повреди, или во најлош случај смртни последици, но исто така предизвикуваат и големи трошоци поради загуби во производство, репарации и загуба во добра волја за работа.

Сите оние кои ќе се најдат затечени од пожарот, треба прво да се обидат да ја стават ситуацијата под контрола, или пак ако е тоа невозможно тогаш треба да се повлечат на безбедно место каде нема да бидат изложени на ризик.

Постојат повеќе различни активности во вакви вонредни ситуации кои најчесто вклучуваат: евакуација, преживување и спасување. Евакуацијата преставува нормален излез на сите луѓе од рудникот со користење на претходно идентификувани патишта за повлекување, кои се утврдени и дефинирани во посебен документ наречен план за евакуација. Рударите кај кои овие патишта за повлекување се блокирани, треба да се обидат да најдат други алтернативни патишта за повлекување и да се спасат со свои сопствени напори. За оние кои не можат да се евакуираат, тогаш веќе станува збор за преживување, додека чекаат да бидат спасени. Периодот за преживување може да трае и неколку денови додека спасувачките напори се организираат надвор од рудникот.

Денес главниот проблем со рудниците за подземна експлоатација е тоа што тие станаа сè повеќе комплицирани во процесот на нивното отварање и проширување и тоа со голем број на окна, рампи, поткопи, пречници итн. Со големиот број на вакви подземни објекти е многу тешко да се контролира начинот на кој се шират чадот и топлина во случај на пожар. Реалните искуства за справување со пожари во рудниците за подземна експлоатација се многу мали.

Како што рудничката индустрија се менува и се развиваат нови техники за отварање и разработка на рудникот, така и мерките за безбедност на персоналот треба многу често да се прилагодуваат за да одговараат на

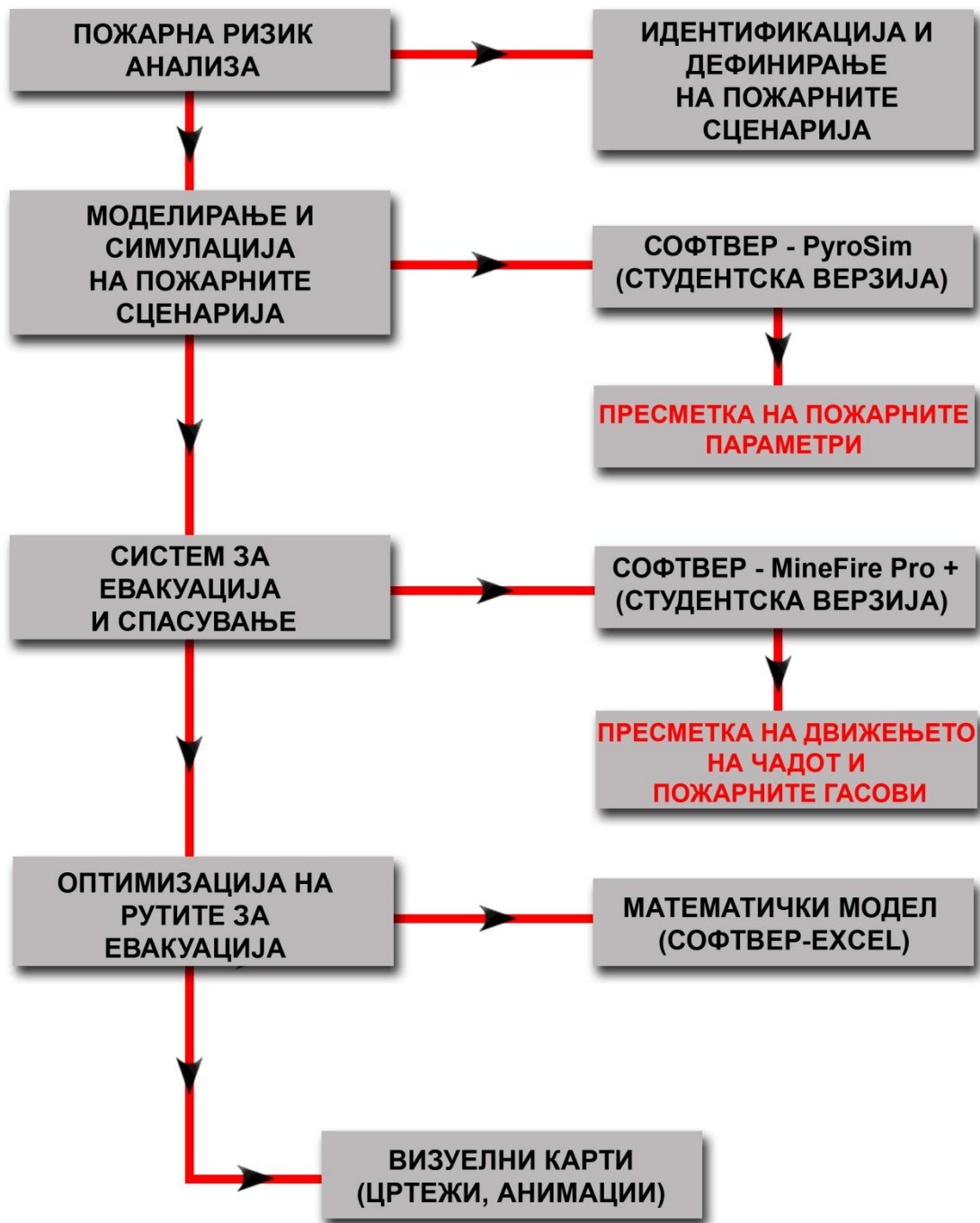
моменталната состојба на рудникот. Новите технологии значат и нови видови на пожари за кои треба и нови мерки за справување со ризиците.

Научноистражувачкиот пристап на оваа докторска дисертација произлегува од потребата за изработка на ефективен современ пристап при изработката на плановите за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација, како и фактот дека во Република Македонија досега не е посветено доволно внимание на оваа сложена проблематика. Предходната подготовка и изработка на плановите за евакуација и спасување во случај на пожар значително ја подобрува безбедноста на вработените во рудникот, а со тоа и навременото идентификување и реагирање за справување со оваа вонредна ситуација.

Предмет на истражување на докторската дисертација е разработката на методологија при планирање на системот за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација. Како студија на случај ќе биде земен Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ - М.Каменица, за кој ќе биде направена детална анализа за оние пожарни сценарија кои имаат највисок ризик од настанување и за истите ќе биде направен модел на пожар и оптимален систем за евакуација на сите вработени.

Методологијата разработена во оваа дисертација, за прв пат ги обединува сите чекори потребни за брза и целосна изработка на систем за евакуација и спасување во случај на пожар, користејќи ги при тоа најновите научни сознанија од областа на пожарното инженерство и информатичката технологија претставени преку достапни софтверски решенија.

Поврзувањето на сите чекори за развој на пожарно сценарио заедно со процесот на евакуација, со логички и едноставни за примена софтверски решенија, во целост го потврдува научноистражувачкото и апликативното значење на предложената теза за изработка на докторската дисертација.



Слика 1.1. Методологија за поврзување на сите чекори за развој на пожарно сценарио заедно со оптималниот процес на евакуација

Figure 1.1. Methodology for connecting all the necessary steps for the development of model for the fire scenario with the optimal process of evacuation

Според структурата, дисертацијата е разработена во 15 основни поглавја:

- Во **првото поглавје** - *Вовед* се објаснети сериозноста и опасностите кои може да ги генерира било кое пожарно сценарио и врз база на оваа констатација е дефинирана потребата за изработка на ефективен систем за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација.
- Во **второто поглавје** - *Преглед на литературата* се елаборирани светските научни и практични искуства од третираната проблематика. Детално се опишани досегашните методи за пристап во процесот на моделирање на пожарните сценарија заедно со системот за евакуација, врз чијашто основа се формулирани целите на оваа докторска дисертација.
- Во **третото поглавје** - *Цели на истражувањето* е објаснета основната цел на истражувањето кое е формулирано како методолошки пристап за моделирање на пожарните сценарија, одредување на патиштата на движењето на чадот и параметрите на пожарните гасови, како и пресметка на оптималните рути за евакуација и спасување со користење на едноставни алатки и софтверски решенија.
- Во **четвртото поглавје** - *Методи на истражувачката работа* е дадена анализа и избор на достапните софтверски решенија за изработка на овој современ пристап при планирање на системот за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација.
- Во **петтото поглавје** - *Пожарна статистика и причини за појава на пожари во рудниците за подземна експлоатација* е претставена сериозноста од пожарните сценарија преку краток статистички преглед на катастрофални пожарни несреќи во металичните рудници за подземна експлоатација.
- Во **шестото поглавје** - *Пожарот како процес* е дадена дефиницијата која го објаснува поимот пожар заедно со процесот на согорување и одредувањето на пожарните параметри.
- Во **седмото поглавје** - *Различни видови на опрема и инсталации кои можат да предизвикаат пожар во рудниците за подземна*

експлоатација е ставен фокус основан врз базирање на достапната статистика, за тоа кои видови на запаливи материјали во рудниците за подземна експлоатација се идентификувани со повисок ранг на ризик од запалување.

- Во **осмото поглавје** - *Теоретски принципи за моделирање на пожари во рудниците за подземна експлоатација* е даден краток преглед на теоретските различни аспекти во моделирањето на пожарите, како и процесот на идентификација и дефинирање на потенцијалните сценарија за моделирање на пожари во рудниците за подземна експлоатација.
- Во **деветото поглавје** - *Дефинирање и теоретски аспекти на чадот* се претставени сите штетни компоненти на чадот кои создаваат опасна работна средина. Исто така е претставен процесот на движење на чадот и пожарните гасови во рудниците за подземна експлоатација, како и влијанието на вентилационите системи врз истото.
- Во **десеттото поглавје** - *Методи и принципи за контрола на чад* се објаснети и претставени достапните вентилациони и механички системи за контрола на движењето на чадот и пожарните гасови низ подземните руднички простории.
- Во **единаесеттото поглавје** - *Процес на моделирање на пожарните сценарија и продуктите на согорување во рудниците за подземна експлоатација* е објаснет чекор по чекор методот на моделирање на пожарното сценарио со сите негови сегменти и се претставени софтверски решенија за поефикасно моделирање и претставување на истото.
- Во **дванаесеттото поглавје** - *Планови за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација* е даден краток осврт за она што е потребно за да се развие ефективен план за евакуација и спасување во случај на пожар, кој треба да ги задоволува законските барања, како и рудничките барања.
- Во **тринаесеттото поглавје** - *Современ пристап при планирање на системот за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација* како студија на случај е земен Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ - М. Каменица, на

чијшто модел детално се разработени процедурите на претставената методологија за евакуација во случај на пожар по следниов распоред:

- Идентификација и дефинирање на пожарните сценарија;
 - Моделирање и симулација на пожарните сценарија;
 - Систем за евакуација и спасување, изработен врз основа на движењето на чадот и пожарните гасови;
 - Оптимизација на рутите за евакуација.
- Во **четринаесеттото поглавје** се формулирани заклучоците и препораките за понатамошните истражувања.
 - Во **петнаесеттото поглавје** е дадена листата на користена литература.

Докторската дисертација е систематизирана и претставена на 374 страници, содржи вкупно 268 слики и графички прикази, 94 табели и 23 математички изрази.

2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА

Развивањето и примената на компјутерската технологија во склоп со предходните лабораториски испитувања значително ја подобрија ефикасноста на софтверската метода за моделирање на пожарни сценарија. Константните испитувања во областа на пожарното инженерство доведоа до сè поточни и попрецизни математички формулации кои значително ги подобруваа софтверските пакети.

Пожарните продукти и пожарната динамика низ годините се опширно истражувани во лабораториски услови, а во некои случаи се спроведувани и реални пожарни тестови, но сепак компјутерскиот модел преставува најпристапна и најевтина варијанта за моделирање на пожари. Во текот на изминатите години се развиени повеќе алатки за моделирање на излезните параметри на пожарните сценарија. Основа на сите софтвери од овој тип преставува Fire Dynamics Simulator (FDS, <https://code.google.com/p/fds-smv/>) кој оригинално е произведен од National Institute of Standards and Technology (NIST) USA. FDS кодот може да симулира пожарни сценарија со користење на пресметковна метода на динамика на флуидите (CFD). Овој пристап е многу

флексибилен и може да предвиди и да симулира различни пожарни сценарија заедно со нивните излезни пожарни параметри.

Во текот на изминатите години се развиени повеќе алатки за моделирање на движењето на пожарни параметри (чадот и пожарните гасови) во рудниците за подземна експлоатација како што се MFIRE (развиен од страна на US Bureau of Mines првично во 1980 година) и Ventgraph™ (развиен од страна на Strata Mechanics Research Institute of the Polish Academy of Sciences, во 1988). Во поново време, вентилациониот комерцијален софтвер VnetPC™ е на располагање со додадок на модул како што е MINEFIRE PRO+ (MVS) кој е модифицирана верзија од MFIRE софтверот. Другиот попознат вентилационен комерцијален софтвер Ventsim исто така неодамна вовеле дополнителен модул за моделирање на ефектите на пожарите и чадот во рудниците за подземна експлоатација, наречен VentFIRE™.

Голем број на научни работници се занимавале со проблематиката за моделирање на пожарни сценарија и системи за евакуација, но многу малку од нив се применети во рудниците за подземна експлоатација. Од светската литература ќе издвоиме еден карактеристичен реален тест од пожарно сценарио, кој е направен во реални услови и во природна големина во рудник за подземна експлоатација (*Hansen, R., & Ingason, H. (2013). Heat release rate measurements of burning mining vehicles in an underground mine. Fire Safety Journal, 61, 12–25.*), и истиот тој преставува добра основа за валидација и верификација на точноста на излезните софтверски податоци.

Од лабораториските испитувања направени се повеќе обиди за точно и прецизно мерење на продуктите од согорување на одредени материјали, кои најчесто се запалуваат во рудниците за подземна експлоатација (*Ingason, H. (2008). Fire test with a front wheel loader rubber tire. SP Rapport 2010:64. Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden, 89-98.*). За моделирање на сите пожарни сценарија, со помош на лабораториска метода, кои можат да се случат во рудник за подземна експлоатација е потребно повеќе финансиски средства. Исто така со дадена лабораториска метода, многу тешко можат да се земат во предвид сите варијабилни фактори и пожарни сценарија, кои можат да вклучуваат повеќе променливи. Затоа овие лабораториски податоци, најмногу се користат за подобрување на точноста на математичките

формулации и софтверските пакети, кои со секоја нивна нова верзија се значително подобрени.

Процедурите кои треба да се следат во случај на настанување на пожар во рудниците за подземна експлоатација, се истражени од повеќе автори и институти (*Conti, S., Chasko L., & Wiehagen W. (2005). Fire Response Preparedness for Underground Mines. National Institute for Occupational Safety and Health-NIOSH, Pittsburgh, PA., 68-72.*); (*Mallett, G., Vaught, C., Brnich, J. (1999). The emergency communication triangle. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication, 99–157.*), и истите придонесуваат за подобрување на системот за евакуација и успешно справување со настанатиот пожар што значително го намалува ризикот од несакани последици.

Традиционално, повеќето анализи за евакуација од несреќни случаи се фокусираат повеќе на комерцијални објекти и евакуација на големи популации во јавни средини. Системите за евакуација од ваков тип ги има многу и се добро документирани. Сепак системите за евакуација во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација се малку истражени и се релативно ограничени. Од достапната светска литература, (*Huang, P., Kang, J., & Kider T. (2010). Real-Time Evacuation Simulation in Mine Interior Model of Smoke and Action. 23rd International Conference on Computer Animation and Social Agents, Singapore, 55-70.*); (*Guangwei, Y., & Dandan, F. (2012). Escape-Route Planning of Underground Coal Mine Based on Improved Ant Algorithm. Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering, 2013(2013), China, 32-46.*), направени се повеќе обиди за изработка на ефективен систем за евакуација, но сите тие имаат одредени ограничувања во поглед на нивната точност, бидејќи се базираат на поедноставени 2D мапи кои не ги вклучуваат реалните големини на рудникот заедно со многуте рампи, окна, ускопи итн.

Досега не е направен обид за моделирање на сите индивидуални чекори од пожарните сценарија и изработка на еден комплетен систем за евакуација и спасување по оптимални рути во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација. Затоа во оваа докторска дисертација ќе се направи обид за изработка на методологија при планирање на системот за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација, кој ќе

може брзо и ефективно да се надоградува поради константните промени во самиот рудник. Преставениот модел ќе има зголемена точност во споредба со останатите досега преставени модели, поради изработениот 3D модел на самиот рудник каде се вклучени реалните димензии на рудникот, заедно со сите негови придружни елементи од кои зависи пожарната динамика и системот за евакуација како и подобрена визуелизација.

3. ЦЕЛИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Основна цел на истражувањето е да се направи обид за моделирање на пожарните сценарија, одредување на движењето на чадот и параметрите на пожарните гасови низ подземните руднички простории, како и пресметка на оптималните рути за евакуација и спасување со користење на едноставни алатки и достапни софтверски решенија. Во Република Македонија, според досега расположливата литература и податоци, не е посветено доволно внимание на оваа сложена проблематика од која зависи безбедноста на вработените во рудниците за подземна експлоатација. Движејќи се во оваа насока, основната цел на истражувањето на докторската дисертација е развој на методолошка база за:

- Идентификација, дефинирање и моделирање на пожарните сценарија кои ги вклучуваат: стапката на ослободување на топлина (heat release rate), преносот на топлина, стапка на горење на материјалот, генерирање на штетни пожарни гасови, чад итн.
- Пресметка и симулација на движењето на чадот и пожарните гасови низ подземните руднички простории, со влезни параметри од пресметаните пожарни карактеристики на предходно моделираното пожарното сценарио.
- Разработка на методологија за одредување и пресметка на оптималните рути за евакуација, кои се базирани на резултатите од движењето на чадот и пожарните гасови низ подземните руднички простории.

При тоа основен услов беше методлошката база да користи едноставни и достапни софтверски решенија, употребени по логички редослед со можност за широка и брза примена во дадени услови.

За да се постигне бараното ниво на реалност на изработените модели а воедно и да се зголеми апликативното значење, целата методолошка база беше разработена на ниво на Рудникот за подземна експлоатација „САСА“ - М.Каменица. Разработениот методолошки пристап на овој современ пристап при планирањето на системот за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација, може да се користи за обука, научноистражувачки и практични цели, при што основна цел на овој труд е со помош на оваа претходната подготовка за евакуација од ваков тип на вонредни ситуации е да се намали ризикот, а воедно и да се помогне во спасување на човечки животи и заштита на финансиските инвестиции на самиот рудник.

4. МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЧКАТА РАБОТА

При изработката на докторската дисертација е користен метод на научно проучување на податоци од странска и домашна литература, анализа и избор на соодветни софтверски решенија и математички формулации за решавање на проблематиката која произлегува од предложената теза.

За идентификување и дефинирање на можните пожарни сценарија во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ - М.Каменица, ќе ги користиме прирачниците за работните процесите и работната механизација кои детално ќе ги обработиме со помош на пожарна ризик анализа и на тој начин ќе ги идентификуваме потенцијалните пожарни сценарија. За секое идентификувано пожарно сценарио во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ - М.Каменица, ќе биде изработен модел на пожар и систем за евакуација.

Одредувањето на излезните пожарни параметри, како што се: стапката на ослободување на топлина (heat release rate), преносот на топлина, стапка на горење на материјалот, генерирање на штетни пожарни гасови, чад итн. преставуваат клучни податоци на самото пожарно сценарио. Од методот на пресметка на овие излезните пожарни параметри ќе зависи и точноста на

самото пожарно сценарио. Постојат четири методи за пресметка на излезните пожарни параметри и тоа:

1. Лабораториски (одредување на излезните пожарни параметри со согорување на засегнатите материјали во лабораториски услови).
2. Реални тестови (одредување на излезните пожарни параметри со поставување на пожарното сценарио во реални природни размери и услови).
3. Математичко моделирање.
4. Софтверско моделирање.

Во докторската дисертација од погоре спомнатите четири методи за пресметка на излезните пожарни параметри, ќе го користиме методот на софтверско моделирање во софтверот Pyrosim (студентска верзија). Овој метод има финансиска предност пред методологијата на лабораториски и реални тестови, а далеку поголема точност, поедноставеност и заштеда во време од математичкото моделирање.

За пресметка на движењето и ширењето на предходно пресметаните пожарни параметри, ќе користиме софтверско моделирање во софтверот MINEFIRE PRO+ (студентска верзија), како најпристапен и најевтин метод поради сложеноста на подземните руднички објекти. Во софтверскиот модел на движењето и ширењето на пожарните параметри низ рудничките подземни простории ќе бидат вклучени и пресметките за вентилацијата кои одговараат на реалниот рудник.

За пресметка на оптималните рути за евакуација и спасување на сите вработени во рудникот ќе се користи математички метод базиран на резултатите од движењето на чадот и пожарните гасови низ рудничките подземни простории.

При изработката на оваа дисертација и изработката на пожарните сценарија заедно со системот за евакуација и спасување ќе се користат следниве софтверски пакети: Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Access, Ventsim™ Lite (студентска верзија), VnetPC Pro+, MineFire Pro+ (студентска верзија), PyroSim - Thunderhead Engineering (студентска верзија), Pathfinder-Thunderhead Engineering (студентска верзија), Adobe Photoshop (студентска

верзија), Adobe After Effects (студентска верзија) и Adobe Autocad (студентска верзија).

5. ПОЖАРНА СТАТИСТИКА И ПРИЧИНИ ЗА ПОЈАВА НА ПОЖАРИ ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА

Ризиците од настанување на пожари во рудниците за подземна експлоатација се познати подолго време. Пожарите во рудниците за подземна експлоатација во минатото имаат резултирано со бројни катастрофи. Во текот на дваесеттиот век се направени многу обиди за да се подобри безбедноста при работа во подземните рудници. Еден таков пример имаме во САД од страна на US Bureau of Mines (USBM), која беше формирана поради штетните последици од две големи рударски несреќи. Во текот на временскиот период кога беше активно рударското биро USBM, безбедноста во рудниците за подземна експлоатација значително беше подобрена [23]. Исто така во тој временски период, во многу земји беа преземени неколку законски регулативи, што резултираше со големо влијание на позитивниот тренд во однос на безбедноста во рудниците.

Штетните последиците од некои руднички пожари, доведоа до напредок во некои специфични области, на пример по големата пожарна катастрофа во рудникот за подземна експлоатација Sunshine Mine, Idaho, USA во 1972 година, обемна работа започна за развој на софтвер алатка која може да ја симулира интеракцијата помеѓу рудничките пожари и системот за вентилација. Крајниот резултат беше софтверот MFIRE развиен од страна на US Bureau of Mines (USBM).

Табела 5.1. Примери на катастрофални пожарни несреќи во металични рудници за подземна експлоатација

Table 5.1. Examples of catastrophic fire accidents in metallic underground mines

Дата	Рудник	Број на смртни случаи	Настанување на пожарот	Вид на рудник
12.10.1912	Mount Lyell Aline; Tasmania, Australia	42	Пожарот започнува во магацин на ниво 700 метри под земјата.	Рудник за подземна експлоатација на бакар
06.08.1917	Granite Mountain Mine; Montana, USA	168	Пожар настанат во окното, предизвикан од палење на излеано дизел гориво врз каблите за електрична изолација. Окното беше главниот довод на свеж воздух во рудникот што доведе до брзо ширење на чадот низ целиот рудник.	Рудник за подземна експлоатација на бакар
27.08.1922	Argonaut Mine; California, USA	47	Пожарот се случил во главното окно кое воедно било и главен довод на свеж воздух во рудникот. Причината за пожарот не е откриена.	Рудник за подземна експлоатација на злато
10.02.1928	Hollinger Aline, Ontario, Canada	39	Нема податоци за причините на настанување на пожарот.	Рудник за подземна експлоатација на злато
05.06.1945	Braden Mine, Chile	354	Пожарот се случил во магацинот за одржување на механизацијата со запалување на резервоар со дизел гориво.	Рудник за подземна експлоатација на бакар
23.04.1947	Malartic Mine; Quebec, Canada	12	Пожарот се случил во подземна приемна просторија.	Рудник за подземна експлоатација на злато

05.03.1968	Belle Isle Mine; Louisiana, USA	21	Пожарот се случил во главното окно. Причината за пожарот не е откриена.	Рудник за подземна експлоатација на злато
02.05.1972	Sunshine Mine; Idaho, USA	91	Пожарот настанал на ниво 900 метри под земјата. Причината за пожарот не е откриена.	Рудник за подземна експлоатација на сребро
16.09.1986	Kinross Mine; South Africa	117	Пожарот настанал како резултат од искрење предизвикано од заварување на метали.	Рудник за подземна експлоатација на злато
22.11.2004	Shahe Mine; China	49	Пожарот настанал како резултат од искрење предизвикано од неисправна електрична инсталација врз дрвена подграда.	Рудник за подземна експлоатација на железо

Иако во денешно време безбедноста од пожар во рудниците за подземна експлоатација е значително подобрена, сепак постојат земји кои што дури и денес имаат висок степен на несреќи. Пожарната статистика ни укажува дека најчест причинител на пожари во рудниците за подземна експлоатација е работната механизација, додека најчести локации се работните области по кои минува истата таа работна механизација.

Пожар настанат во рудник за подземна експлоатација, генерира многу опасности и проблеми, како за луѓето кои се зафатени од пожарот така и за екипите за спасување. Затоа е потребно подетално истражување од оваа област и предлагање на соодветни мерки за намалување на ризикот настанат од пожари.

6. ПОЖАРОТ КАКО ПРОЦЕС

Пожарот е брза оксидација на зафатените материјали во екзотермичен хемиски процес на согорување, каде што се ослободуваат топлина, светлина и други реакциони продукти. Треба да се напомене дека во процесот на согорување и кај цврстите и кај течните материјали она што гори е, всушност, переата од гасови која се испушта од материјалот кога тој се загрева до одредена температура. Пожар може да настане само ако овие три елементи се присутни [21]:

- кислород;
- гориво;
- топлина (енергија).

Овие три елементи го сочинуваат она што во пожарното инженерство е познато под терминот „пожарен триаголник“.



Слика 6.1. Теоријата на „пожарен триаголник“

Figure 6.1. The theory of „fire triangle“

Теоријата на „пожарен триаголник“ е широко прифатена во научните кругови. Едноставно кажано, постојат три карактеристики потребни за да настане пожар: гориво (материјали кои можат да горат), кислород (од самиот воздух или од друг извор) и топлина (извор на топлина која може да го иницира

пожарот). Денес оваа пожарна теорија е видоизменета за да се дообјасни процесот на согорување, со додавање на елементот на хемиска верижна реакција на веќе постоечките елементи и оваа изменета теорија е позната под името „пожарен тетраедар“.



Слика 6.2. Теорија на „пожарен тетраедар“

Figure 6.2. Theory „fire tetrahedron“

Хемиската верижна реакција се јавува кога останатите три елементи, топлина, гориво и кислород се присутни во соодветни пропорции. За време на процесот на согорување се ослободува пареа од гасови кои се движат директно во пламенот и на тој начин се одржува согорувањето. Откако ќе започне пожарот, резултирачката екзотермична верижна реакција го одржува пожарот и дозволува да продолжи се додека барем еден од елементите на пожарот не биде исклучен. За исклучување на некој од елементите за одржување на пожарот, можат да се користат различни материјали во зависност од тоа кој елемент сакаме до го исклучиме од самиот процес на согорување. Пена за гасење на пожар се користи за да го исклучиме кислородот од процесот на согорување. Вода може да се користи за да се намали температурата на горивото под точка на запалување. Халон може да се користи за отстранување на слободните радикали и да се создаде бариера на инертен гас која ја исклучува хемиската верижна реакција. Постојат три општопризнати фази на секое пожарно сценарио [24]:

- фаза на започнување на пожарот;
- фаза на тлеење на пожарот;
- фаза на целосно развиен пожар.

Фаза на започнување на пожарот е регион каде имаме загревање, дестилација и бавна пиролиза на материјалот. Пиролиза е термохемиско распаѓање на органските материјали на покачена температура во отсуство на кислород (или халогени елементи). Пиролизата подразбира истовремена промена на хемискиот и физичкиот состав, и истиот е неповратен процес. Во фазата на започнување на пожарот имаме генерирање на гасови и микронски честички кои се транспортираат од овој извор со помош на дифузија, движење на воздухот (вентилација), конвекција итн.

Фазата на тлеење на пожарот е регион со целосно развиена пиролиза, која започнува со делумно запалување на материјалот. Во оваа фаза имаме генерирање на невидливи аеросоли и видливи честички од чад, кои се транспортираат далеку од овој извор со топлотните струења предизвикани од оваа фаза и од самото струење на воздухот.

Фаза на целосно развиен пожар е регион на брза реакција кој го опфаќа периодот од почетната појава на пламен до целосно развиен пожар. Преносот на топлина од пожарот се дистрибуира претежно од радиација, конвекција и кондукција од пламенот.

6.1 Пресметка и одредување на пожарните параметри

Стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) е критичен параметар за да карактеризира даден пожар. Развиени се различни методи за пресметка на овој критичен параметар. Најраспространетата техника за пресметка на стапката на ослободување на топлина се базира на методот на одредување на стапката на горење на масата на материјалот. Ако топлина на согорување на дадениот материјал е позната заедно со стапката на горење на масата на материјалот, тогаш многу лесно може да се одреди стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate). Ако композицијата на материјалот кој гори не може да се идентификува, тогаш се користи методот на

калориметар кој се извршува во лабораториски услови. Калориметарскиот метод се базира на одредување на консумацијата на кислород од страна на пожарот или пак со одредување на генерираниот јаглерод моноксид или јаглерод диоксид од страна на пожарот. Точноста на овој метод во најголема мера зависи од познавањето на композицијата на дадениот материјал.

Со познавањето на вредноста на стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) инкорпорирана со широкиот спектар на пожарни алатаци, можат многу лесно да го предвидат и моделираат дадениот пожар. Сите аналитички формулации, емпириски корелации, компјутерски и софтверски модели, како основен влезен параметар ја користат стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) .

6.1.1 Методи за одредување на стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate)

6.1.1.1 Стапката на горење на масата

Постојат повеќе различни техники за да се пресмета стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate). Кога е позната топлина на согорување на даден материјал, тогаш можеме да добиеме добра евалуација на теориската стапка на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) со помош на мерење и одредување на стапката на горење на дадениот материјал. Во оваа колерација, стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) се пресметува со помош на следнава равенка [2]:

$$\dot{q} = \Delta H_c \dot{m} \quad (6.1)$$

Каде што:

\dot{q} – стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate), [kW];

ΔH_c – Топлина на согорување на дадениот материјал, [kJ/kg];

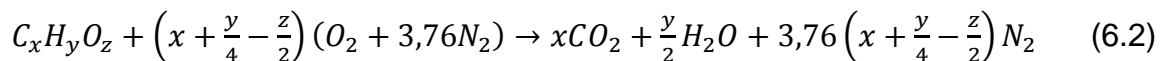
\dot{m} - стапката на горење на масата, [kg/m²*s].

Во случај на целосно согорување на материјалот, единствено нешто што треба да се измери е стапката на горење на масата. Ако имаме нецелосно согорување на материјалот, тогаш точноста при мерење на стапката на горење

на масата е значително отежната. Генерирањето на CO ослободува помалку енергија отколку при исто генерирање на CO₂ по грам на согорен материјал (гориво). Па одовде може да се направи корекција на вредноста на топлината на согорување со воведување на соодносот CO/CO₂.

6.1.1.2 Калориметарска метода

Еден поинаков пристап за да се одреди стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) е со помош на мерење на параметрите на согорување во лабораториски услови со помош на калориметар [40]. Ова е софистицирана лабораториска метода за пресметка на стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) и истата има голема точност. Најраспространетата калориметарска метода се базира на принципот на консумацијата на кислород од страна на пожарот. Друг калориметарски метод е со одредување на параметрите на генерираниот јаглерод моноксид или јаглерод диоксид од страна на пожарот. Овие два методи се најмногу користени во лабораториски услови за одредување на стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate). Стехиометриски реакција на целосно согорување за хемиско соединение C_x H_y O_z е дадена со:



Секоја количина на согорен материјал (гориво) генерира одредена количина на енергија. Многубројните истражувања покажаа дека ослободувањето на топлина е пропорционално со количината на консумиран кислород за целосно согорување. Оваа изјава сугерира дека варијациите во концентрација на O₂ и ослободената топлина по консумација на единица маса на O₂ се доволни за да се пресмета стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) во случај на целосно согорување. Ова може да се изрази како:

$$\dot{q}_{oc} = E_{O_2} (\dot{m}_{O_2}^0 - \dot{m}_{O_2}) - (E_{O_2(CO \rightarrow CO_2)} - E_{O_2}) \dot{m}_{O_2(CO \rightarrow CO_2)} \quad (6.3)$$

Ослободената енергија E_{O_2} по консумација на единица маса на O_2 е приближно константна за голем број на органски материји, течности и гасовити соединенија, овозможувајќи точни пресметки дури и кога не го познаваме деталниот хемиски состав на материјалот (горивото) кој го согоруваме.

6.1.1.3 Топлина на согорување

Топлината на согорување е енергијата ослободена во вид на топлина, кога соединението е подложено на целосно согорување во присуство на кислород и под стандардни услови. Хемиска реакција е јаглеродороди кои реагираат со кислород за да формираат јаглероден диоксид, вода и топлина. Топлината на согорување може да се изрази во различни големини: kJ/mol, kJ/kg, kJ/V.

Топлината на согорување се одредува од топлината на формирање на секоја молекула при самата реакцијата на согорување, или пак се определува експериментално со помош на калориметар. Ако составот на материјалот (горивото) и топлината на формирање на молекулите се познати, тогаш топлината на реакцијата може да се пресмета со помош на хемиската равенка [21]:

$$\Delta h_{\text{реакција}}^0 = \sum_{\text{продукт } i} \psi_i \Delta h_{\text{формирање } i}^0 - \sum_{\text{реактант } j} \psi_j \Delta h_{\text{формирање } j}^0 \quad (6.4)$$

Каде што:

$\Delta h_{\text{реакција}}^0$ - топлина на реакција, [кЈ];

$\Delta h_{\text{формирање}}^0$ – топлина на формирање, [кЈ].

За комплетна реакцијата на согорување, топлината на реакција е дефинирана како топлина на согорување на услови со притисок од една атмосфера и температура од 298 К. Ако произведената вода ја сметаме како пареа, тогаш износот на произведената енергија е еднаква на топлината од согорувањето на дадениот материјал.

6.2 Противпожарна заштита и разгледување на последиците од пожарот

Fitzgerald ја наведува противпожарна заштита како состав од следниве компоненти:

- детектори на пожар;
- противпожарни водни прскалки;
- противпожарни апарати;
- системи за автоматско потиснување на пожарот;
- пожарни бариери;
- противпожарна служба итн.

Системи за гасење на пожар можат да се најдат на различни места во рудниците за подземна експлоатација. Видот на системите за гасење на пожар ќе зависи, пред сè, од видот на материјалите кои се зафатени од пожарот како и од големината на просторијата. Системите за гасење на пожар треба да бидат инсталирани во сите рудници за подземна експлоатација, како што се: прскалки на вода, систем на проширувачка пена, противпожарни апарати, противпожарни станици, системи за автоматско откривање на пожар, противпожарни бригади, спасувачки екипи итн.

Фазата на згаснување на пожарот предизвикана од системите за гасење може да се изрази како:

$$\dot{Q} = Q_{act} * e^{\frac{-(t_{ign}-t_{act})}{\tau}} \quad (6.5)$$

$$\tau = \frac{3}{\omega^{1,85}} \quad (6.6)$$

Каде што:

\dot{Q} - стапка на ослободување на топлина (HRR-heat release rate), [kW];

Q_{act} - стапка на ослободување на топлина за време на активирање на системот за гасење на пожарот (HRR-heat release rate), [kW];

t_{ign} - време на започнување на пожарот, [s];

t_{act} - време на започнување на системот за гасење на пожарот, [s];

τ - транспортно време, [s];

ω - густина на водениот распрскувач (кај водените прскалки), [mm/s].

Веројатноста за појава на пожар треба да се проценува со користење на достапните податоци. Релативната веројатност за појава на пожар за секое пожарно сценарио, треба да се оценува со разгледување на сите можни сценарија за појава на пожар.

Техничкиот комитет ISO/TC 92, вели дека при проценка на последиците од секое пожарно сценарио треба да се пресметат сите можни загуби. Последиците треба да бидат изразени во соодветни мерки, како што се: потенцијалите за загуби на живот, повреди или очекуваните штети.

7. РАЗЛИЧНИ ВИДОВИ НА ОПРЕМА И ИНСТАЛАЦИИ КОИ МОЖАТ ДА ПРЕДИЗВИКААТ ПОЖАР ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА

Во однос на достапната пожарна статистика при моделирањето на пожарните сценарија во рудниците за подземна експлоатација најчесто треба да се фокусира на пожари предизвикани од запалива течност (дизел гориво, хидраулично масло), која може да дојде до некоја жешка површина како што се електрични искри и работна жешка опрема, како и од запалување на пневматиците на работната механизација. Со базирање, пред сè, на достапната статистика, следниве видови на запаливи материјали во рудниците за подземна експлоатација се идентификувани со повисок ранг на ризик од запалување [35]:

- акумулации на запаливи течности (дизел гориво, хидраулични течности);
- работна механизација;
- транспортни ленти;
- пневматици (гуми);
- кабли.

7.1 Акумулации на запаливи течности (дизел гориво, хидраулични течности)

Акумулациите на запаливите течности се во голема зависност од дијаметарот на формираниот базен, длабочината на базенот, видот на површината која се наоѓа под базенот и од физичките својства на запаливата течност. За време на слободното горење на овие акумулации од запаливи течности, стапката на ослободување на топлина бргу ќе достигне константна вредност која ќе зависи од самиот дијаметар на формираниот базен и од физичките и хемиските карактеристиките на акумулираната течност во формираниот базен. Видот на површината под базенот ќе диктира колку од запаливата течност ќе се апсорбира од површината.

Длабочината на формиранiot базен ќе влијае на стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate). Поголема длабочина на формиранiot базен ќе резултира во повисока стапката на ослободување на топлина. Голем број на практични експерименти се спроведени во однос на овие формирани базени од запаливи течности кои ја оформиле следнава равенка за стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) за единица површина [35]:

$$q'' = \chi * \Delta H_c * m''_{\infty} * (1 - e^{-k\beta * D}) \quad (7.1)$$

Каде што:

q'' – стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) за единица површина, [kW/m²];

χ – ефикасност на согорувањето;

ΔH_c – топлина на согорувањето, [MJ/kg];

m''_{∞} – стапка на горење на запаливите течности за голем дијаметар, [kg/s*m²];

$k\beta$ – математичка константа за течно гориво, [m⁻¹];

D – дијаметар.

Големината на формиранiot базен од запаливи течности ќе зависи од тоа дали областа околу базенот е слободна или пак е ограничена. Друг битен фактор во формирањето на овие запаливи базени е тоа дали изворот на овие течности е континуиран или статичен во однос на тоа кога акумулираниот базен ќе се запали. Во случај на истекување на запалива течност од резервоар, протокот ќе се намали со текот на времето како што количината на течноста се намалува во резервоарот. Протокот на течноста од кружна дупка на дното од резервоарот може да се пресмета со помош на следнава равенка:

$$q = 2000 * A_H * k * (\sqrt{h_1} - k * t) \quad (7.2)$$

$$k = \frac{c_v * \pi * D^2 * \sqrt{2 * g}}{8 * A_T} \quad (7.3)$$

Каде што:

q – проток, [l/s];

A_H – хоризонтална површина на контејнерот, [m²];

k – термална кондуктивност, [kW/m*k];

h_1 – почетна висина на течноста во контејнерот, [m];

t – време, [s];

C_v – коефициент на проточна контракција;

D – дијаметар, [m];

g – гравитација, [m/s²];

A_T – површина на отворот, [m²].

Хидраулични течности се користат во големи количини во скоро сите рудници за подземна експлоатација, како на пример во дупчечките гарнитури, дробилките, утоварачите и скоро целата останата работна механизација. Хидрауличната течност која се наоѓа под притисок, ако дојде до нејзино запалување ќе предизвика распрсан пожар. Овој распрсан пожар бргу се шири и има висока стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) која може да се одреди од брзината на истекување на хидраулична течност со хемиската топлина на согорување на истата:

$$\dot{Q} = 0,11 * \Delta H_{ch} * u_o \quad (7.4)$$

Каде што:

\dot{Q} - стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate), [kW];

ΔH_{ch} - хемиска топлина на согорување, [kJ/kg];

u_o - брзината на истекување на хидраулична течност, [m/s].

Повеќето студии покажале дека кога отворен пламен се користи како извор на топлина, течностите со помала вискозност полесно се запалуваат од течностите со поголема вискозност.

7.2 Работна механизација

Работна механизација и транспортните возилата обично ги има во голем број во рудниците за подземна експлоатација и истите преставуваат потенцијален извор на пожар. Различни видови на работна механизација можат да се најдат во било кој дел на рудникот, како на пример во откопните простории, рампи, работилници итн. Оваа работна механизација генерално се состои од неколку видови, како на пример: утоварачи, сервисни возила, камиони, дупчечки гарнитуре итн.

7.3 Транспортни ленти

Транспортни ленти се честа појава во сите рудници за подземна експлоатација со можност да предизвикаат пожари кои многу лесно можат да се прошират низ целата транспортна лента. Иако во поново време се користат транспортни ленти кои се незапаливи, сепак големото производство на чад од истите може да предизвика огромни проблеми низ целиот рудник.

7.4 Пневматици (гуми)

Пожар настанат од гумите на работната механизација, се честа појава во рудниците за подземна експлоатација и истиот најчесто се случува на површината на самата гума. Приближната вредност на максималната стапка на ослободување на топлина е можно да се пресмета со проценување на максималната површина на гумата која е вклучена во пожарот, која потоа се множи со фактор 0,11-0,21 MW/m². За пресметувањето на топлинскиот флуks од гумата се користи следнава равенка:

$$q'' = \eta * \frac{\dot{Q}}{4\pi x^2} \quad (7.5)$$

Каде што:

q'' - стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) за единица површина, [kW/m²];

η – соодносот на топлинскиот флуks од стапката на ослободување на топлина;

\dot{Q} - стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate), [kW];
x – радиус, [m].

7.5 Пожари од кабли

Електричните кабли можат да се најдат во голем број во сите рудници за подземна експлоатација. Пожар настанат од кабли во рудниците за подземна експлоатација можат да предизвикат големо генерирање на чад кој може лесно да се рашири низ целиот рудник.

8. ТЕОРЕТСКИ ПРИНЦИПИ ЗА МОДЕЛИРАЊЕ НА ПОЖАРИ ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА

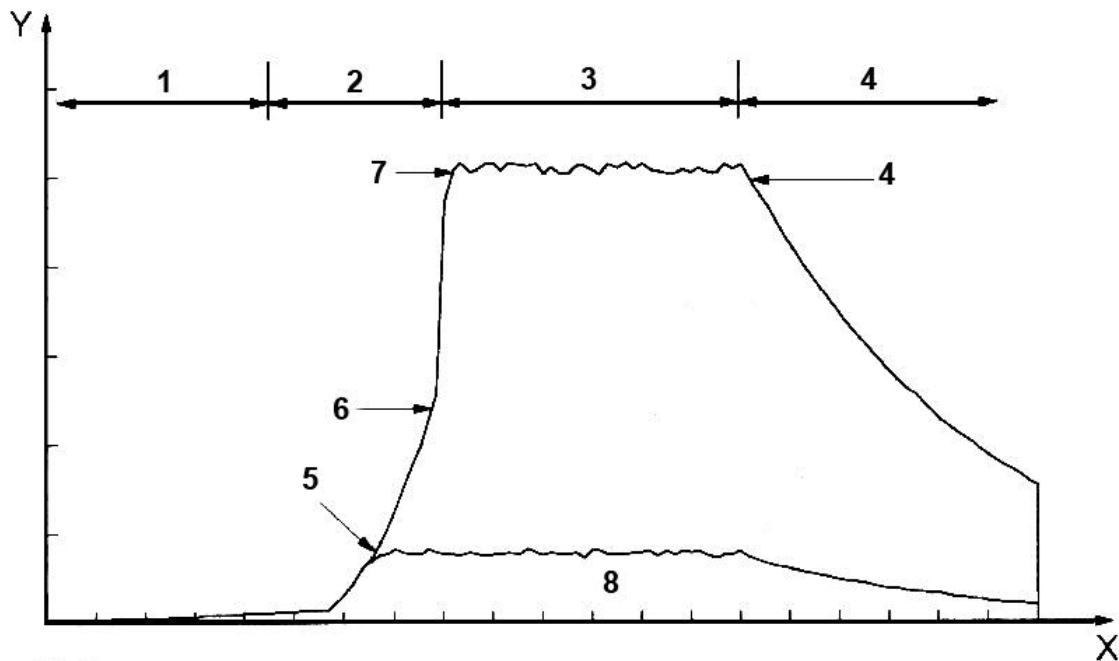
Во литературата постојат различни аспекти во моделирањето на пожарите. Fitzgerald го дефинира моделирањето на пожарот како товар против кој треба да се евалуира активна противпожарна заштита и да се утврди резултирачкиот ризик на изложените луѓе од пожарот, како и изложеноста на самиот објект. Поконкретно, моделот на пожарот ја опишува претпоставката на карактеристиките на пожарот, како што се на пример стапката на ослободување на топлина (heat release rate), преносот на топлина, стапка на горење на материјалот, генерирање на штетни пожарни гасови, чад итн.

Klote и Milke нагласуваат дека пред да се започне со процесот на моделирање на пожари, треба да се утврдат неколку критериуми. Работата што следува потоа ќе се фокусира на развој и анализа на дизајн алтернативи за да се исполнат претходно утврдените критериуми. Неколку критериуми може да вклучуваат:

- безбедноста при работа како главен приоритет;
- заштитата на објектите;
- континуитет на бизнисот и работата;
- заштита на животната средина итн.

За секој критериум може да се бара различен сет на сценарија во моделирањето на пожарите. Целосна спецификација на временската еволуција во моделирањето на пожарите е опишано од страна на техничкиот комитетот ISO/TC 92, кој ги вклучува следниве фази во процесот на пожарот:

- почетна фаза на пожарот;
- фаза на растење (тлеење) на пожарот;
- целосно развиена фаза на пожарот;
- фаза на згаснување на пожарот;
- целосно згаснување на пожарот.



X - Време

Y - Ослободување на топлина

1 - процес на започнување на пожарот

2 - растење на пожарот

3 - целосно развиен пожар

4 - фаза на згаснување

5 - активирање на водени прскалки

6 - истовремено палење на повеќето директно изложени запаливи материјали во затворен простор.

7 - вентилација

8 - контрола на пожарот од водените прскалки

Слика 8.1. Пример за моделирање на пожар во различните фази на развој

Figure 8.1. Example of modeling fire at different stages of development

8.1 Идентификација и дефинирање на потенцијалните сценарија за моделирање на пожари во рудниците за подземна експлоатација

За идентификување на можните пожарни сценарија во рудниците за подземна експлоатација можат да се користат различни пристапи, како на пример [85]:

- историски податоци за пожарни инциденти во конкретниот рудник и податоци за различните работни активности кои можат да предизвикаат пожар;

- работните процесите и работната механизација може да биде анализирана за да се идентификуваат потенцијалните можности за пожар;
- статистички податоци;
- пожарна ризик анализа.

Изборот на сценариото за моделирање на пожарот неопходно е да ги опише претпоставените карактеристики на пожарот врз чија основа се базира самото сценарио. Претпоставените карактеристики на пожарот се именуваат со поимот „моделирање на пожар“. Техничкиот комитет ISO/TC 92, наведува дека моделираните пожари обично се карактеризираат со однос на следните варијабли во однос на времето:

- стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate);
- испуштање на токсични материи;
- стапка на испуштање на чад;
- големината на пожарот;
- температура;
- топлотен флукс.

Почетната стапка на раст на пожарот потоа се модифицира од настани што се случуваат за време на самото специфично моделирано пожарно сценарио. Овие типични настани се наведени од страна на Техничкиот комитет ISO/TC 92, како:

- истовремено палење на повеќето директно изложени запаливи материјали во затворен простор (flashover);
- активирање на водени прскалки;
- потиснување на пожарот;
- промени во вентилација итн.

Техничкиот комитет ISO/TC 92, наведува дека пожарните сценарија претставуваат комбинација од настани и околности, како што се следниве:

- вид на пожар (тлеечки, растечки, итн);
- внатрешни услови на вентилација;
- надворешни услови на животната средина;
- статус и ефикасност на секој од активните системи за заштита од пожар;
- видот, големината и локацијата на изворот на палење;
- распределба и видот на запаливите материјали;
- густина на пожарот;
- откривање, аларм и сузбивање на пожарот;
- статус на отвори од кои може да влегува воздух;
- оштетување на отворите.

Слика 8.2 го прикажува целиот процес на идентификување и избирање на сценарио за моделирање на пожар.



Слика 8.2. Процес на идентификување и избирање на сценарио за моделирање на пожар

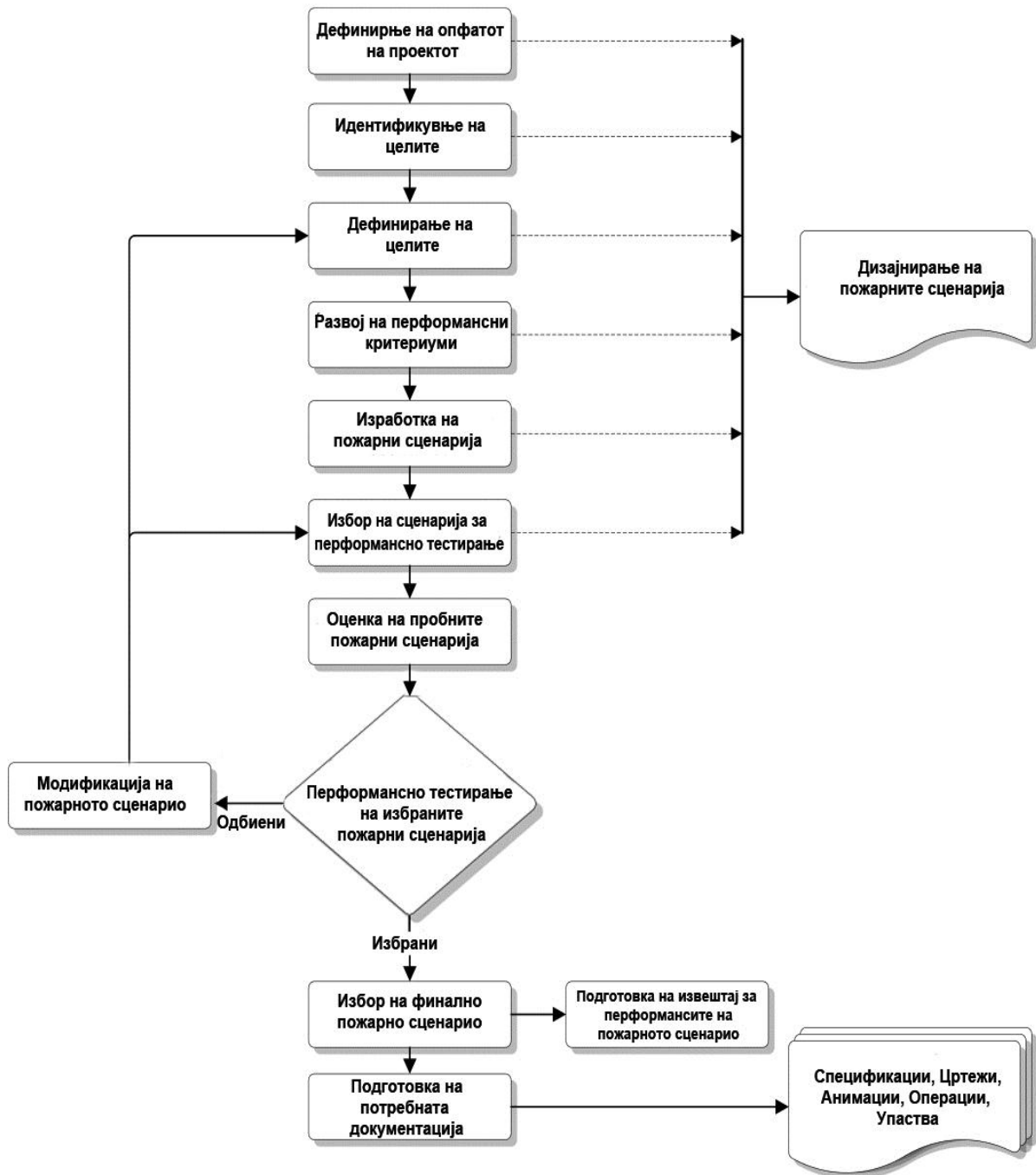
Figure 8.2. Process of identifying and selecting the scenario for modeling fire

Пожарните сценарија најчесто се основаат на нормативни решенија во националните, регионалните или локалните регулативи. Многу регулативи даваат можност за перформансно-базирани пожарни сценарија. Користењето на перформансно-базираниот пристап дозволува поголема флексибилност во моделирањето на пожарните сценарија, бидејќи инженерот за противпожарна заштита може да користи математички и инженерски методи за да добие оптимално дизајн сценарио.

Целта на пожарните сценарија може да биде поинаква од онаа која е дефинирана во задолжителни законски прописи, иако задолжителните законски прописи секогаш треба да бидат исполнети. Една од тие поинакви цели може да биде, на пример, спречувањето на големи финансиски загуби за компанијата за време на пожар, која често не се наведува во задолжителни законски прописи.

Поради сериозноста на темата, од голема важност е инженерот за противпожарна заштита да ги земе во предвид сите фактори при моделирањето на пожарните сценарија и самиот процес на евакуација и спасување во случај на пожар.

За перформансно-базираниите решенија процесот на моделирање на пожарните сценарија треба да се направи по методолошки пристап. Еден таков методолошки пристап е прикажан на слика 8.3.



Слика 8.3. Перформансно-базиран процес на моделирање на пожарните сценарија

Figure 8.3. Performance-based process for modeling of fire scenarios

Перформансно-базираниот процес на моделирање на пожарните сценарија започнува со дефинирање на опфатот на проектот, така што инженерот за противпожарна заштита ги дефинира границите на системот.

Следниот чекор е да се идентификуваат целите на проектот за заштита од пожар и истите да се опишат квалитативно. Целите на заштитата од пожар можат да се поделат на четири основни категории [85]:

1. Безбедност за животот на персоналот;
2. Заштита на имотот;
3. Заштитата на континуитетот на работењето;
4. Заштита на животната средина.

Овие цели за заштита од пожар доаѓаат од задолжителните законски прописи. Откако целите на проектот за заштитата од пожар се идентификувани, нареден чекор е нивно конкретно дефинирање. Бидејќи целите на конкретното дефинирање на проектот за заштитата од пожар се опишани во инженерска смисла наместо во мерливи вредности, тие мора понатаму да бидат изразени како перформансни критериуми кои ги вклучуваат максималните вредности на ослободената температурата, генерирањето на чадот, пожарните гасови и сите останати пожарни параметри.

Кога ќе се постават и дефинираат перформансните пожарни критериуми, инженерот за противпожарна заштита треба да изработи пожарни алтернативи сценарија кои ги задоволуваат предходно дефинираните критериуми. Ова прво се прави со вршење на идентификација на ризикот кој ги дефинира сите можни пожарни сценарија кои можат да се случат и потоа да го избере најрелевантното пожарно сценарија за понатамошна анализа.

Едно или повеќе потенцијални решенија (пробни пожарни сценарија) се изработуваат врз основа на обемот на проектот, перформансните пожарни критериуми и пожарните сценарија. Во оваа фаза е корисно да се развие драфт верзија од сценариото за заштита од пожар и да се презентира на засегнатите страни за да се согледа нивното мислење кое може да помогне во подобрување и изработката на самото сценарио. Оваа кратка драфт верзија треба да го вклучува дефинирањето на опфатот на проектот, идентификување и дефинирање на целите на проектот, перформансните пожарни критериуми, изработените пробни пожарни сценарија и користените методи за анализа на пожарните сценарија.

Секоја од изработените пробни пожарни сценарија се оценуваат без разлика дали ги исполнуваат перформансните пожарни критериуми. Ако никоја од изработените пробни пожарни сценарија не ги исполнуваат перформансните пожарни критериуми, тогаш инженерот за противпожарна заштита треба да го смени целиот предходен концепт на моделот.

Нареден чекор е оценување и перформансно тестирање на избраните пожарни сценарија кои ќе доведат до избирање на финално пожарно сценарио за конкретниот случај. Потребно е да се извршува комплетна документација на одлуките и заклучоците донесени во текот на целиот процес на моделирање на пожарните сценарија. Последниот чекор во процесот на изработка на пожарни сценарија е да се направи детална анализа на целата документација која вклучува спецификации, цртежи, анимации, градежни активности, прирачници за одржување итн.

8.1.1 Квантифицирање (квантитативна анализа) на сценаријата за моделирање на пожари

Ако се неопходни пресметки во процесот на квантифицирање (квантитативна анализа) на сценаријата, тогаш две општи пристапи за постигнување на ова се на располагање: веројатен и детерминистички пристап [38]. Секое сценарио за моделирање на пожар е дел од т.н. сценарио група и оваа група мора да ги вклучува сите потенцијални сценарија.

Веројатниот пристап обично се базира на статистичка веројатност дека пожарот ќе се случи и самиот исход ако пожарот се случи. Одлуката дали да изберете одредено можно моделирано пожарно сценарио се базира на сценарија кои се слични по самото групирање. Веројатниот пристап би можело да ги користи следниве извори на податоци:

- статистички и историски информации;
- опасност / неуспех анализа;
- достапност на системот и сигурноста;
- анализа на ризик.

Детерминистичкиот пристап е дефиниран во голема мера врз анализи базирани најчесто на науката (физиката и хемијата) или корелации развиени од предходно реално тестирање и испитување кое може да го предвиди исходот од пожарот.

Во многу публикации се укажува дека кога се извршува квантифицирање (квантитативна анализа) на моделот на пожарот многу често немаме податоци за изворот на палење или стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate), кои се неопходни за да се измери секој аспект на моделираниот пожар. Во овие случаи, деталната работа треба да биде ограничена на најзначајните делови кои може да вклучуваат голем број на различни видови пожар, стапки на раст на пожарот или видот на вентилацијата.

Исто така, развојот на сценариото за пожар може да биде комбинација од анализа на опасностите и анализа на ризикот. Анализа на опасностите ги идентификува можните потенцијалните извори на палење, запаливите материјали и самиот развој на пожарот. Анализа на ризикот може да ја вклучува целата анализа на опасностите и исто така да ја посочи веројатноста за појава на пожар и сериозноста на резултатите.

Параметрите кои треба да се дефинираат кога се извршува квантитативната анализа на пожарните сценарија се:

1. Стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate):

Fitzgerald вели дека стапката на ослободување на топлина за дизајн цели на растечки пожари често се претставуваат со експоненцијална стапка. Ова претставува горна граница на голем опсег на можни проширувања на пожарите во самите пожарни сценарија. Техничкиот комитет ISO/TC 92 вели дека фазата на згаснување на пожарот започнува кога 80% од расположливите запаливи материји се потрошени. Оваа вредност секако многу зависи од типот на горивото (запаливите материји), конфигурацијата на објектот и условите на вентилација. Фазата на згаснување на пожарот може да се земе како линеарен пад во текот на одреден временски период, така што стапката на ослободување на топлина во фазата на згаснување на пожарот е еднаква на 20% од останатите запаливи материји. Очигледно е дека ова нема да важи во

сите случаи поради многуте различни конфигурации на објектите и различните типови на запаливи материи.

2. **Тлеечки пожари:** Техничкиот комитет ISO/TC 92 вели дека тлеечките пожари обично генерираат многу малку топлина, но можат да го исполнат затворениот простор со големо количество на несогорени запаливи гасови и токсични материи кои се производ на нецелосното согорувањето на пожарот. Факторите кои влијаат на процесот на согорувањето на тлеечките пожари се: природата на горивото (запаливите материи), вентилацијата и изворот на палење. Главните опасности поврзани со тлеечките пожари се производство на јаглерод моноксид кој се јавува како резултат на нецелосно согорување, и развој на лоша видливост од генерираниот чад. Кога се работи на самиот процес за моделирање на пожар од голема важност е да се дефинираат различните присутни материјали во објектот кои можат да го предизвикаат процесот на тлеене на пожарот. Исто така е важно да се дефинираат и наведат потенцијалните извори на палење кои можат да предизвикаат тлеечки пожари, како што се цигарите, жешките предмети, електричните искри итн.
3. **Запаливи материи:** Кога запаливите материи за одредено пожарно сценарио се добро дефинирани, тогаш и пожарните карактеристики ќе имаат поголема точност.

Карактеристиките на моделираниот пожар за генерирањето и ширењето на чадот го вклучуваат следново:

- врската помеѓу времето и волуменот на генерираниот чад;
- температура на чадот;
- видливост;
- идентификација на корозивни или отровни гасови за чувствителна опрема.

9. ДЕФИНИРАЊЕ И ТЕОРЕТСКИ АСПЕКТИ НА ЧАДОТ

Како што е дефинирано од страна на Webster's Dictionary, чадот е „пареа составена од мали честички на јаглерод во воздухот кои се генерираат во главно од нецелосно согорување на органските материји“. Американското друштво за испитување на материјали (ASTM) го дефинира чадот како „цврсти и течни воздушни честички и гасови, кои еволуираат кога материјалот е подложен на пиролиза или согорување.“ Двете дефиниции го идентификуваат фактот дека чадот се состои од две компоненти: гасови (пареи) и цврсти честички. Секоја од компонентите на чадот имаат карактеристики кои создаваат опасна животната средина. Еден опасен аспект на чадот кој не е потенциран во приложените дефиниции е фактот на покачените температури кои се составен дел на чадот и истите треба да бидат земени во предвид кога се прави проценка на опасностите кои се генерираат од присуството на чад.

Постојат неколку својства поврзани со чадот кои можат да се дефинираат како основни опасности за персоналот кој ќе биде зафатен од самиот чад во рудниците за подземна експлоатација.

Табела 9.1 [51], ја прикажува листата на основните опасности од присуството на чадот.

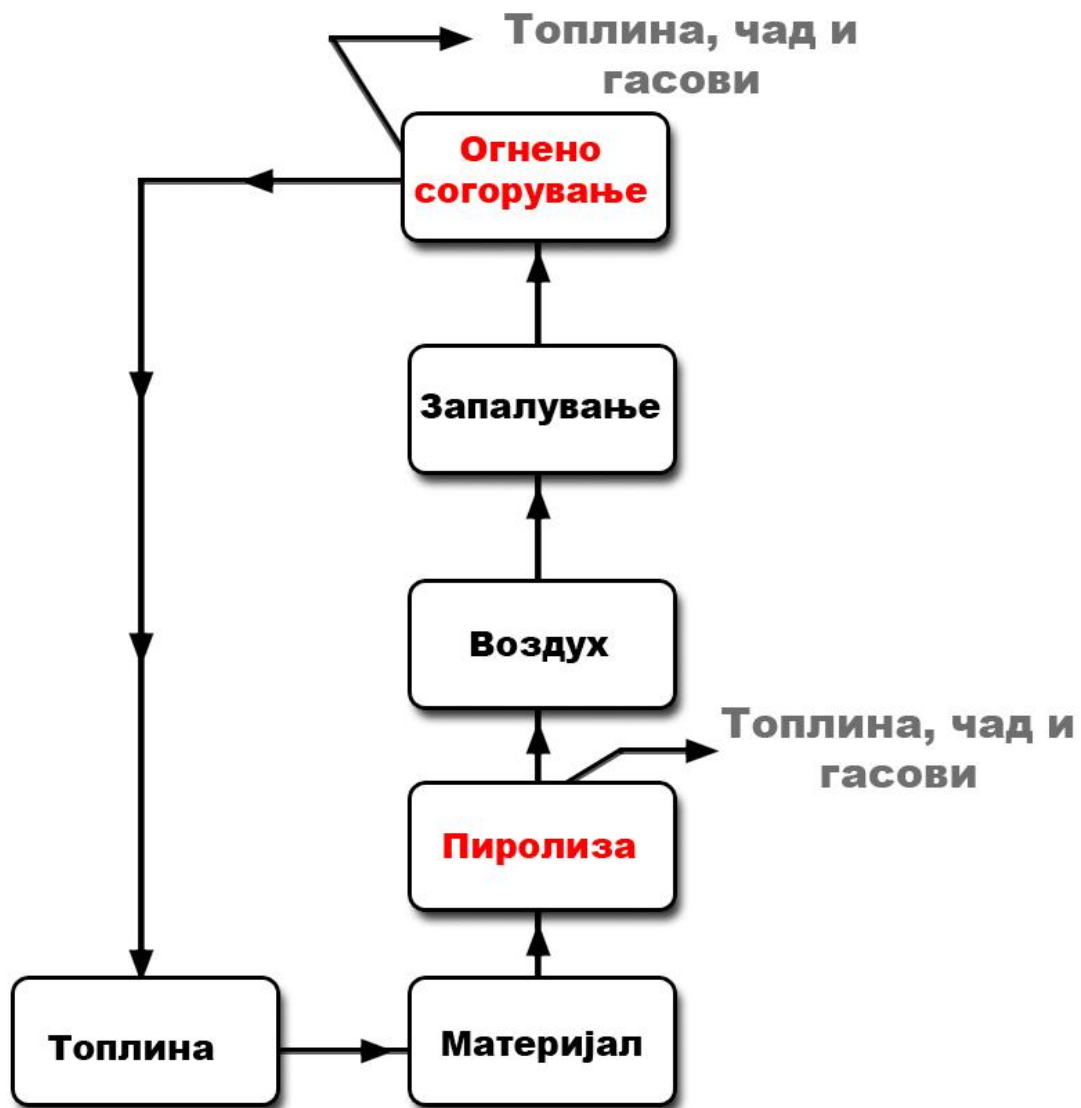
Табела 9.1. Основни опасности од присуството на чад во рудниците за подземна експлоатација

Table 9.1. The dangers of smoke presence in underground mines

Својство	Опасност
Нетранспарентност	Го попречува процесот на спасување и повлекување
Иритација (надразнување)	Предизвикува паника
Токсичност (директна)	Предизвикува смрт
Токсичност (индиректна)	Аноксија (хипоксија)
Топлина	Предизвикува проблеми на респираторниот систем
Синергизам ¹	Комбинирани ефекти

¹ Синергизам е интеракцијата или соработка на две или повеќе супстанции, или други средства за да се произведе комбиниран ефект поголем од збирот на нивните одделни ефекти.

Чадот се генерира како резултат на нецелосно согорување. Тоа може да биде од огнено или тлеечко согорување и секоја од нив генерираат различни количини на чад. Слика 9.1 ја прикажува основната шема на динамиката на еден типичен пожар, која ги идентификува сите точки во синџирот на настани во кои се генерира чад.



Слика 9.1. Динамиката на еден типичен пожар, која ги идентификува сите точки во синџирот на настани во кои се генерира чад

Figure 9.1. The dynamics of a typical fire, which identifies all points in the chain of events that generate smoke

Стапката по која се генерира вкупната количина на чадот ќе биде во функција од:

- видот и количината на запаливите материјали кои се вклучени во пожарот;
- стапката на согорување;
- количината на воздух кој влегува во самиот пламен на пожарот.

За да се процени степенот со кој ќе се произведува и генерира чадот од клучно значење е да се разберат овие горенаведени процеси.

Една од основните информации кои се неопходни за квантифицирање на одреден пожар е стапката на горење на масата $\dot{m} = [kg/s]$. Можеби е посоодветно да се размислува за стапката на горење на масата како област од вклучени запаливи материјали $\dot{m}'' = [kg/m^2 * s]$. Вистинската стапка на горење на масата ќе биде функција од специфичните материјали кои се вклучени во пожарот и областа (просторијата, објектот) во која се случува согорувањето. Различни материјали горат со различни стапки и генерираат различни количини на чад. Сепак волуменот на генерираниот чад, исто така, зависи и од достапноста на кислород во непосредна близина на „зоната на согорување“. Како што наведовме предходно, чадот е резултат на нецелосно (непотполно) согорување. Оттука, степенот на „непотполноста“ ќе влијае на износот на генерираниот чад.

Колку е поголем процесот на согорување на материјалите, толку ќе имаме помалку видлива генерирана чад. Со овој факт може да се очекува дека идентични материјали можат да произведат различни количини на видлив чад, со оглед на различните средини во кои се случува согорувањето. Ова е еден факт кој може значително да го комплицира напорот да се предвиди количеството на генериран чад.

Многу често сериозноста од пожарот се изразува во однос на стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate), \dot{q} . Ако ја знаеме стапката на горење на масата на самиот материјал заедно со топлината на согорување на материјалот (h_c), можно е да се пресмета стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) на даден материјал (равенка 6.1).

Достапни се бројни статистички извори кои можат да ни достават валидни информации за \dot{m} - стапката на горење на масата [$kg/m^2 * s$] и H_c - топлина на согорување [kJ/kg] за материјали кои најчесто се зафаќаат од пожари. За да можеме да развиеме предвидување за потенцијалното генерирање на чад во специфично пожарно сценарио, најпрвин треба да направиме пресметки за количината на чад која може да биде генерирана од зафатените поединечни запаливи материјали.

Секој запалив материјал под одредени пожарни услови генерира количини од чад како дел од процесот на согорување [57]:

$$S_y = \chi * \dot{m} \quad (9.1)$$

Каде што:

S_y - стапка на генерирање (производство) количина на чад;

χ - "чад потенцијал" на материјалот - претставува мерка која е специфична за секој материјал и е еднаква на количината на чад која ќе биде генерирана под одредени (нормално пожарно согорување) услови;

\dot{m} - стапката на горење на масата, [kg/s].

За равенката 9.1 да биде од било каква употреба, потребно е да се има некои податоци од „чад потенцијалот“ на материјалот и да се претвори во некоја единица за мерка.

Волуменот на чад што излегува од материјал кој е зафатен од пожар (\dot{m}_e) значително се зголемува како резултат на влегување на турбулентен воздух. Со ова би можело да се констатира дека концентрацијата на чад се разредува со инфузија на дополнителен чист воздух. Сепак, видливоста низ слојот од чадот останува во суштина 100 % попречена. Волуменот на воздухот кој влегува во огнот (\dot{m}_a) се додава на волуменот од чад генериран од процесот на согорување (\dot{m}_f). Бидејќи волуменот на воздухот кој влегува во пожарот е многу поголем од оној на продуктите на согорување генерирани од пожарот, логички е да се претпостави дека вкупниот волумен на генериран (произведен) чад е еднаков на волуменот на влезниот воздух. Со користење на едноставен модел на пламен може да се претпостави дека:

$$\dot{m}_a = \dot{m}_p = E * \left(\frac{g\rho_\infty^2}{c_p T_\infty}\right)^{\frac{1}{3}} * \dot{Q}_c^{\frac{1}{3}} * Z^{\frac{5}{3}} \quad (9.2)$$

Каде што:

\dot{m}_a - воздух кој влегува во огнот, [kg/s];

\dot{m}_p - генерирање (количество) на чад од огнот [kg/s – функција од \dot{m}_f];

E - константа на огнот (пламенот) – оваа вредност се движи од 0,06 до 0,14;

g - гравитационо забрзување, [9,81 m/s²];

ρ_∞ - густина на воздухот, [kg/m³];

c_p - специфична топлина на воздухот, [kJ/kg-⁰K];

T_∞ - амбиентна температура, [⁰K];

\dot{Q}_c - конвектна (конвекција) топлина ослободена од огнот, [kW];

Z - висина на слојот над запаливиот материјал, [m].

Треба да се напомене дека равенката 9.2 е најточна во раните фази на развојот на пожарот, т.е. пред истовременото палење на повеќето директно изложени запаливи материјали во затворен простор (flashover).

За подетални и поточни анализи во случај на конкретно пожарно сценарио има многу посложени равенки и пресметки кои најдобро се решаваат со помош на специјализирани софтвери за анализа и предвидување на развојот на пожарот и чадот.

9.1 Ширење и движење на чадот и пожарните гасови во рудниците за подземна експлоатација

Ширењето и движењето на чадот во рудниците за подземна експлоатација ќе ја диктира безбедноста за повлекување и спасување, како и самата операција на спасувачките служби [72]. Процесот на спасувачките операции многу тешко се изведува ако бројот на можните патишта за повлекување се намалат поради исполнувањето со чад на истите. Достапните системи за насочувањето на движењето и ширењето на чадот ќе бидат од клучна значајност за безбедната евакуација и успешното справување со пожарот. Комплексната природа на подземните рудници со големиот број на

окна, рампи, пречници, итн. дополнително го отежнува системот и процесот за насочување и справување со движењето и ширењето на чадот.

Движењето на пожарните гасови во подземните рудници ќе бидат под влијание од страна на неколку различни фактори, како што се: размена на топлина со околниот карпест масив, загубите од триење, присуство на вода, мешање со околниот воздух, насоката и брзината на вентилациониот воздушен проток итн. Размената на топлината со околниот карпест масив ќе бидат утврдени со помош на факторите од самите својства на карпестиот масив (температурата, коефициентот на топлинска спроводливост и дифузијата), стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) од пожарот, вентилациониот воздушен проток итн. Загубите од триење ќе зависат од параметрите како што се должината на рударската просторија, нејзината температура, периметар, напречниот пресек, наклонот и вентилациониот воздушен проток. Мешањето на пожарните гасови со околниот воздух во голема мера зависи од стратификацијата на чадот, која пак е зависна од вентилационата воздушна брзина и самото растојание од пожарот.

9.2 Влијание на вентилационите системи врз движењето на чадот и пожарните гасови во рудниците за подземна експлоатација

Системите за вентилација во подземните рудници имаат за цел да го контролираат нивото на штетни гасови, прадини, температурата, влажноста и да ги снабдуваат работните простории со соодветно количество на воздух. Системите за вентилација во рудниците обично се многу големи и комплексни и истите се составени од голем број на вентилациони ограноци и мрежи кои можат да бидат дизајнирани на многу различни начини во зависност од самиот рудник.

Движењето и ширењето на чадот низ рударските подземни простории во голема мера зависат од самата стратификација на чадот. Стратификација се случува кога чадот се загрева со тлеечки или развиен пожар од различни запаливи материјали и станува помалку густ од околниот воздух и на тој начин се придвижува кон кровот на просторијата. Стратификацијата на чадот во голема мера зависи од вентилационата воздушна брзина во рударската

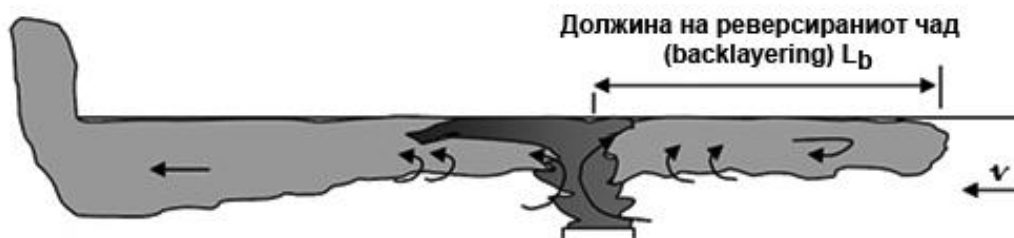
просторија. Три типични вентилациони брзини на воздухот се дефинирани кога се опишува стратификацијата на чадот [4]:

1. Ниски воздушни брзини (0-1 m/s). Во рамките на овој брзински воздушен опсег стратификацијата на чадот е висока во близината на областа на пожарот.
2. Умерени воздушни брзини (1-3 m/s). Во рамките на овој брзински воздушен опсег стратификацијата на чадот во близината на пожарот во голема мера е под влијание на брзината на воздухот.
3. Големи воздушни брзини (>3 m/s). Во рамките на овој брзински воздушен опсег стратификацијата на чадот е ниска, низводно од пожарот.

Стратификацијата на чадот, исто така, ќе зависи и од растојанието од пожарот, колку сме подалеку од пожарот вертикалниот температурен градиент ќе се намалува и пропорцијално на тоа ќе се намалува и стратификацијата на чадот.

9.2.1. Реверсирање на чадот (backlayering)

Друг влијателен феномен е т.н. реверсирање на чадот (backlayering), односно движење и ширење на чадот во спротивна насока од воздушната вентилација. Реверсирање на чадот обично се случува кога брзината на воздухот е во рамките на низок или умерен воздушен опсег. Реверсирање на чадот може да предизвика сериозни проблеми на спасувачките екипи за нивно безбедно стигнување до местото на пожарот и спасување на жртвите.



Слика 9.2. Реверсирање на чадот

Figure 9.2. Backlayering of smoke

За да се спречи ефектот на реверсирање на чадот, критичната вентилациона воздушна брзина се пресметува со помош на следнава равенка [26]:

$$v_{crit} = k \left(\frac{g\dot{Q}'}{\rho_0 c_p T} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (9.3)$$

Каде што:

v_{crit} - критичната вентилациона воздушна брзина, [m/s];

g – гравитационо забрзување, [m/s²];

k – константа;

\dot{Q}' - стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate), [kW];

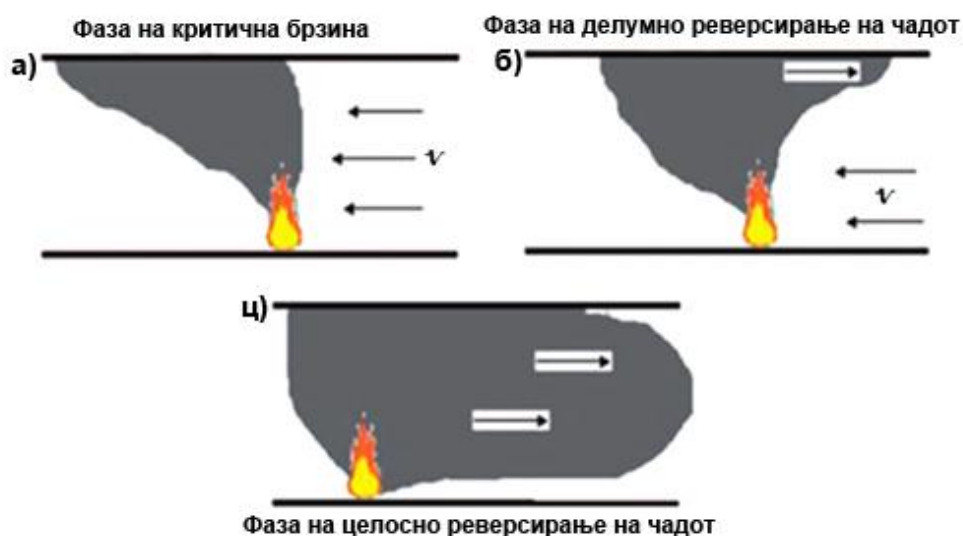
ρ_0 – амбиентна густина на воздухот, [kg/m³];

c_p - Специфичниот топлински капацитет на воздухот, [K];

T – Температура на чадот, [K].

Развојот на процесот за реверсирање на чадот се случува во три фази:

- фаза на критична брзина;
- фаза на делумно реверсирање на чадот;
- фаза на целосно реверсирање на чадот.



Слика 9.3. Развојот на фазите во процесот на реверсирање на чадот
Figure 9.3. Development of the stages in the process of smoke backlayering

Фазата на критичната брзина е процесот каде е застапена воздушна брзина која го спречува ефектот на реверсирање на чадот. Во оваа фаза, чадот се движи во насока на вентилациониот воздушен проток (Слика 9.3а.). Дефинирањето на критичната вентилациона воздушна брзина преставува еден од главните критериуми, каде што треба да се стави голем акцент при проектирањето на главната вентилациона рудничка мрежа. Како пожарот расте со поголем термички интензитет, инертната сила на вентилациониот воздушен проток полека се надминува од страна на пожарот и чадот почнува да мигрира на кровот од просторијата движејќи се во двете насоки на рудничката просторија. Оваа фаза од сценариото е дефинирано како делумно реверсирање на чадот (Слика 9.3б.). Ако имаме рапидно развивање на пожарот, можно е за многу кратко време самата просторија да се исполни со жежок чад кој може да предизвика целосно реверсирање на чадот во спротивна насока од вентилациониот воздушен проток (Слика 9.3ц.). Целосно реверсирање на чадот многу ретко се случува во патните транспортни тунели бидејќи диференцијалниот притисок помеѓу двата краја од тунелот, кои се отворени кон атмосферата е многу мал и незначителен за овој процес. Сепак овој ефект е многу чест во пожарите кои настануваат во подземните рудници, бидејќи истите се состојат од голем број на вентилациони воздушни патишта, ограноци, вентилатори, итн.

9.2.2. Задушлив (throttle) ефект и пловен (buoyancy) ефект

Пожарот со голема стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) може да предизвика два вида на ефекти кои ќе влијаат на ширењето и движењето на чадот како и на самата вентилација низ рудничките простории [28]:

- задушлив (throttle) ефект;
- пловен (buoyancy) ефект.

Задушливиот ефект се јавува како резултат на зголемување на волуменот на воздухот откако ќе помине низ огнот. Ова зголемување на

волуменот се должи на експанзијата на гасот, како и на додавањето на согорените продукти од пожарот и испарувањето на водата. Како резултат на ова, брзината на воздухот во правец на вентилацијата се зголемува од влијанието на огнот и се јавува дополнителна загуба на притисок.

За анализа на вентилационата мрежа врз основа на стандардната вредност на густината на воздухот на отпорот R_t може да се процени во однос на температурата на воздухот, на следниов начин :

$$R_t \propto T^2 \quad (9.4)$$

Вредноста на R_t се зголемува со квадратот од апсолутна температура (Т). Зголемениот волумен на воздухот во рударските простории бара дополнителен вентилационен притисок за надминување на задушливиот ефект и за нормално одржување на протокот. Задушливиот ефект се случува во областа најблиску до пожарот.

Пловниот ефект се случува во рударска просторија која е под наклон, каде што топлината од пожарот предизвикува зголемување на температурата и на тој начин намалување на густината на воздухот и чадот. Овој ефект ќе работи со вентилација во рударските простории кои се под растечки наклон и против вентилација во рударски простории кои се под паѓачки наклон.

9.3 Намалена видливост (прегледност) од чадот

Главните карактеристики на чадот, како што се хемискиот состав, формата и големината на честичките, пред сè, зависат од својствата и составот на запаливите материјали кои се директно вклучени во процесот на согорување. Овие карактеристики на чадот, исто така, во голема мера зависат и од својствата на објектот кој е зафатен од пожарот, како што се вентилациониот воздушен проток, околната температура и притисок.

Во главно постојат две основни причини за намалување на видливоста како резултат од чадот:

1. Намалување на јачината на светлината од светлечки објект, како резултат од цврстите честички кои се составен дел од чадот, кои го намалуваат интензитетот на светлината која треба да дојде до очите на субјектот.
2. Способноста на чадот да ја апсорбира или да ја распрска светлина во повеќе правци.

Човечкото око може да разликува светлечки објект (како на пр. светлечи знак за излез) низ чад, само кога разликата на интензитет на светлечкиот зрак и околината е поголема од некоја гранична вредност, како што е преставено во равенката 9.5 [49]:

$$\left| \frac{B_e - B_b}{B_b} \right| \geq \delta_c \quad (9.5)$$

Каде што:

B_e - интензитетот на светлечкиот зрак генериран од светлечки објект;

B_b - интензитетот на прозрачната светлина;

δ_c – гранична вредност;

Граничната вредност δ_c варира во зависност од интензитетот на светлечкиот зрак, од околината и од својствата на самиот чад. Најчеста вредност за граничната вредност δ_c се зема 0,02.

Развојот на математички модел, кој ќе може да ја претстави видливоста на светлината низ чадот, преку годините има привлечено многу истражувачи од ова поле но овој проблем излезе како многу комплициран, па затоа овој математички модел има многу мала практична употреба.

Видливоста низ чадот значително се намалува ако рудничката просторијата е исполнета со чад кој ги надрознува очите. Во вакви случаи зафатените луѓе од пожарот можат на моменти да ги задржат очите отворени, со што значително ја намалува можноста за успешно спасување и повлекување.

9.4 Токсични продукти генерирани од чадот и нивните ефекти врз човечкиот организам

Како што концентрација на чадот во одредена област се зголемува и предвидените вредности на токсичните продукти достигне ниво кое се смета за ризично по животот на луѓето, тогаш времето кое е потребно за токсичните продукти да ја достигнат дозволената гранична вредност ќе се смета за безбедно време за повлекување низ зафатената просторија од овие токсични продукти.

Постојат два главни ставови зошто токсичноста од чадот станува сè поголем проблем, кои пак доведуваат до различни пристапи кон негова евалуација [72]:

1. Првиот став е дека со напредокот на технологијата се користат нови материјали кои содржат нови токсични производи. Таквите токсични производи кои се составен дел од чадот можат да се откријат и евидентираат со едноставни експериментални тестови.
2. Вториот став е дека основните токсични производи генерирани од пожари, се приближно исти како и во минатото, но дека во многу современи пожари стапката на раст на пожарот и стапката на генерирање на токсични производи се многу поголеми во споредба со пожарите во минатото. Затоа најдобар начин за да се ублажат опасностите од токсичните производи генерирани од пожари, е да се контролираат факторите, како што се: запалување, ширење на пожарот, стапката на генерирање и ширење на чадот.

Физиолошките ефекти од изложеност на токсичен чад и топлина генерирани од пожари резултира со различни степени на опасности кои исто така можат да доведат до смрт или пак трајни повреди на зафатените луѓе од пожарот. Овие штетни и опасни ефекти од пожарите можат да го вклучуваат и следното:

- оштетен вид кој произлегува од оптичката непротивност на чадот и од ефектите на надразнување и топлина од чадот врз очите;
- создавање на болки на респираторниот тракт и потешкотии во дишењето или пак трајни повреди на респираторниот тракт, како резултат од инхалација на надразнувачкиот жежок чад. Во екстремни случаи ова може да доведе до колапс на организмот во рок од неколку минути;
- асфиксија предизвикана од вдишување на токсични гасови, што резултира со конфузија и губење на свеста;
- неподносливи болки од изгореници на кожата кое може да доведе до колапс на организмот.

Овие гореспомнати физиолошки ефекти предизвикуваат делумна или целосна неспособност на организмот во ефикасноста самиот да се спаси од настанатиот пожар. Важно е да се направи некоја основна проценка на опасните ефекти кои најверојатно ќе го отежнат процесот за спасување и повлекување на персоналот. Една од најважните опасни ефекти во овој контекст е изложеноста на оптички густа и надразнувачка чад, која ќе има тенденција во голема мера да го отежни процесот за спасување и повлекување на персоналот.

Во некои поголеми пожарни ситуации може да дојде до моменти каде што се предвидува неспособност на персоналот да може успешно да се спаси од дадената пожарна ситуација. Некои форми на неспособност на организмот можат лесно да се карактеризираат и дефинираат, како што е на пример кога асфиксијата доведува до губење на свеста на организмот. За другите опасни ефекти од пожарите, процесот на дефинирање на неспособноста на организмот не е толку лесно да се карактеризира, на пример, кога чадот предизвикува надразнување, болки и потешкотии во дишењето и како тоа точно резултира во самиот процес на спасување и повлекување. Сепак се смета дека е од голема важност да се обидеме да направиме некои приближни проценки на моментот кога условите на пожарот ќе ескалираат опасности кои ефективно ќе го отежнат процесот на повлекување и спасување на персоналот.

Табела 9.2. Најчестите токсични продукти кои можат да се појават како резултат на пожар

Table 9.2. The most common toxic products which may occur as a result of fire

Видови / Концентрација [%, ppm]	Извор	Ефекти
Намалување на концентрацијата на кислородот O₂	Сите пожари	
12-15%		Останување без здив / вртоглавица / замор
10-12%		Гадење и повраќање / отежнато движење
6-8%		Колапс и губење на свеста
<6%		Смрт во рок од 6 до 8 минути
Јаглерод моноксид CO	Сите пожари	
1000 ppm		Отежнато движење/ Смрт по еден час
2000 ppm		Смрт по околу 45 минути
5000 ppm		Брзо губење на свеста и смрт
Јаглерод диоксид CO₂	Сите пожари	
50 000 ppm		Симптоми од труење за околу 30 минути / Вртоглавица
120 000 ppm		Губење на свеста и смрт за неколку минути
Водороден цијанид HCN	Азот кој се содржи во полимерните материјали	
110-135 ppm		Фатална концентрација по 1/2 до 1 час
181 ppm		Фатална концентрација по 10 минути
280 ppm		Моментална смрт

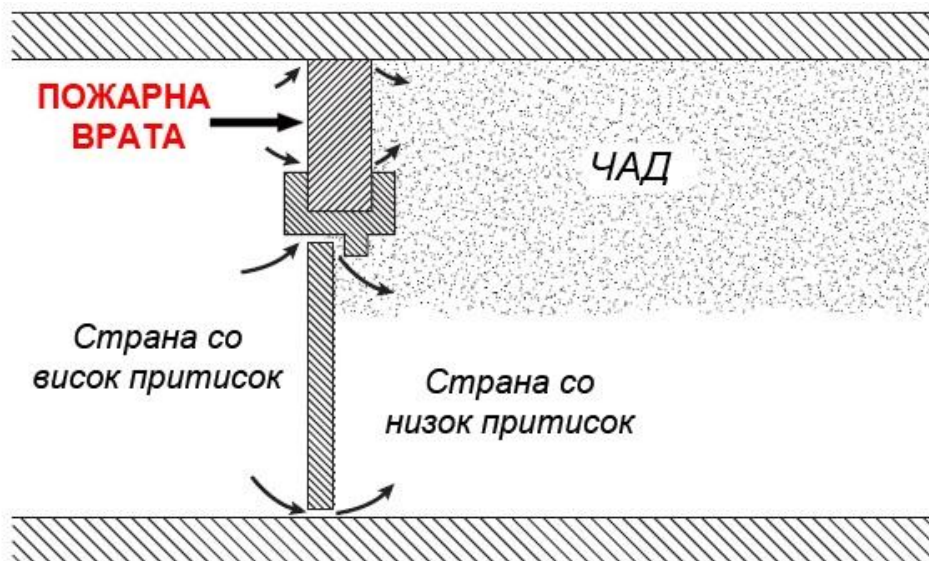
<i>Хлороводород HCl</i>	<i>Хлор кој се содржи во полимерните материјали</i>	
5-10 ppm		Блага иритација на слузницата
50-100 ppm		Гранична вредност
1000 ppm		Оштетување на белите дробови од кратка изложеност
<i>Акролеин</i>	<i>Некои полимерни материјали</i>	
5,5 ppm		Интензивна иритација
>10 ppm		Смртоносна концентрација за кратко време
24 ppm		Неподнослива и смртна концентрација

10. МЕТОДИ И ПРИНЦИПИ ЗА КОНТРОЛА НА ЧАД

Во случај на пожар во рудник за подземна експлоатација системот за вентилација ќе има многу важна улога во насока на подобрување на животната средина за персоналот и спасувачките екипи. За време на пожарна евакуација често користен концепт е оставање на вентилациониот систем да работи без никакви промени, со цел да се избегне промена на вентилационата воздушна насока. Кога фазата на евакуација е завршена, системот за вентилација може да се промени со цел да се подобри животната и работна средина која ќе им овозможи на спасувачките екипи да го изгаснат пожарот. Во некои примери можно е и реверсирање на постојниот вентилационен систем за промена на самата насока на воздушниот проток, а со тоа и на чадот.

Методите и принципите за контрола од чад во рудниците за подземна експлоатација се состојат од различни бариери, како што се вентилационите и пожарните врати кои се во тесна врска со воздушните протоци и разликите во дистрибуцијата на притисокот, генерирани од механичките вентилатори кои се во склоп на вентилациониот систем.

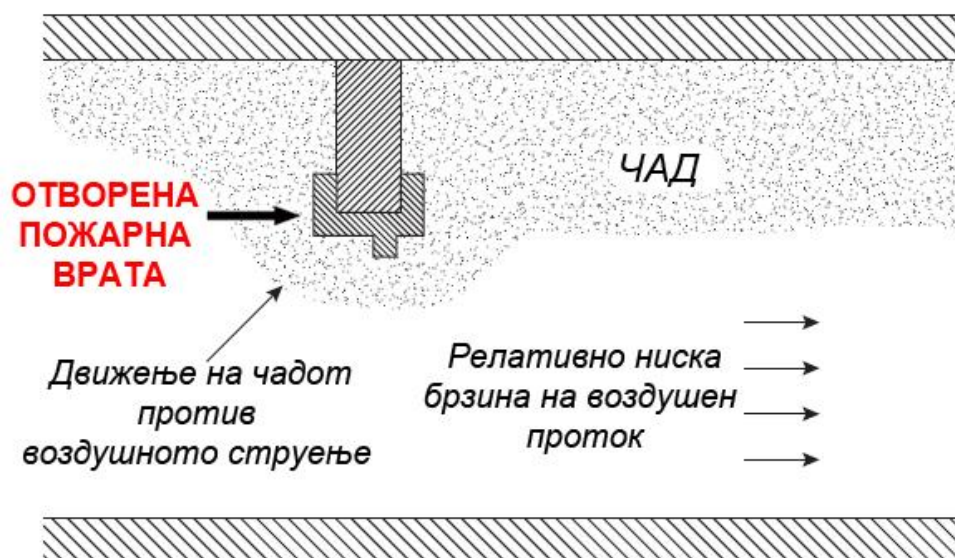
Слика 10.1 ни ја илустрира разликата во притисок низ пожарна врата во рудник за подземна експлоатација, која учествува во системот за контрола на движењето и ширењето на чадот. Страната на пожарната врата со висок притисок може да биде засолниште или пак рута за спасување и повлекување, додека другата страна од пожарната врата е со понизок притисок и е изложена на чадот од пожарот. Протокот на воздух низ пукнатините околу пожарната вратата или преку други пукнатини го спречува навлегувањето на чадот во областа со повисок притисок.



Слика 10.1. Разлика во притисокот низ пожарна врата која го спечува чадот да се придвижи кон областа со повисок притисок

Figure 10.1. The difference in pressure across the fire door preventing the smoke to move to the area of higher pressure

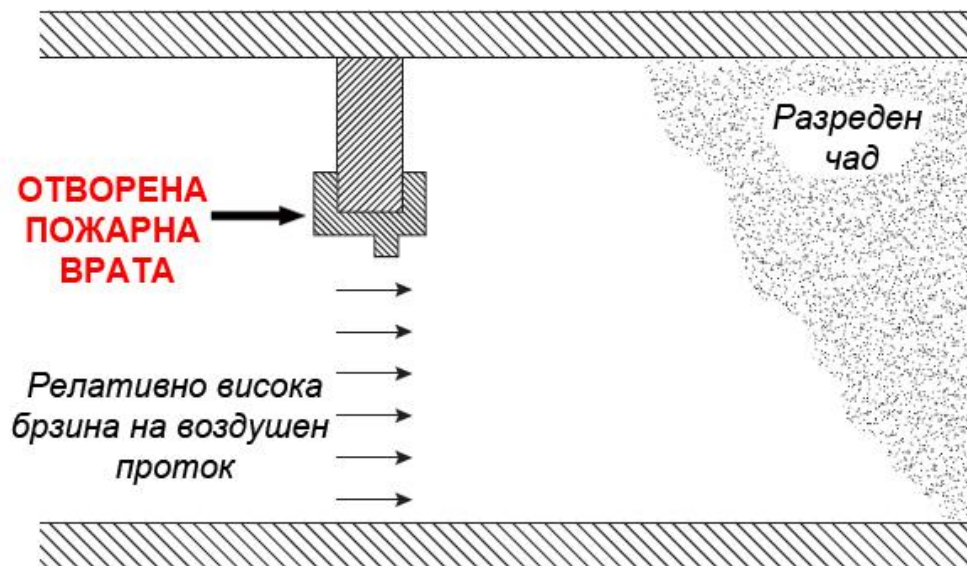
Кога пожарната врата е отворена имаме проток на воздух низ истата. Ако брзината на воздушниот проток е ниска, чадот може да се придвижи против воздушното струење и со тоа да навлезе во заштитената област и да ги изложи на ризик патиштата за спасување и повлекување (слика 10.2.).



Слика 10.2. Движење на чадот против релативно ниска брзина на воздушен проток

Figure 10.2. Movement of smoke against a relatively low speed air flow

Овој ефект на движење на чадот против воздушното струење може да се спречи ако ја зголемиме брзината на воздушниот проток (слика 10.3.). Големината на брзината на воздушниот проток кој треба да го спречи овој ефект на движење на чадот, во најголема мера зависи од стапката на ослободување на енергија на самиот пожар.



Слика 10.3. Спречување на движењето на чадот низ отворена пожарна врата со помош на зголемување на брзината на воздушниот проток

Figure 10.3. Preventing the movement of smoke through the open fire door with increasing the speed of the air flow

Во основа постојат две начела за контрола на чадот:

1. Струењето на воздушниот проток сам по себе може да го контролира движењето на чадот ако просечната брзина на воздушниот проток е доволно голема.
2. Разликите во притисок околу пожарната врата може да дејствува за контрола на чадот.

Користењето на разликите во воздушниот притисок околу бариерите за контрола од чад се нарекува пресуризација. Оваа пресуризација резултира со течение на воздушниот проток од област со повисок притисок кон област со

понизок притисок, со што го спречува движењето на чадот низ ситните отвори од пожарната врата. Во строга физичка смисла, вториот принцип од начелата за контрола од чад е специјален случај на првиот принцип.

Системите за контрола на чадот во рудниците за подземна експлоатација треба да бидат така дизајнирани, што ќе овозможат безбедни патишта за евакуација за повеќе можни пожарни сценарија.

Важна алатка кога се користи системот за вентилација и неговите вентилатори за контрола на чадот е добар вентилационен план. Овој вентилационен план содржи инструкции за тоа како да се управува и насочува чадот во вистинската насока во одредена област на рудникот. Кога се работи на овој вентилационен план од голема помош би бил софтвер за симулација на пожари, со чија помош може да се утврди насоката на движење на чадот и пожарните гасови.

Со цел да се зголемат шансите за успешна вентилација за време на пожар во рудниците за подземна експлоатација, раното откривање на пожарот е од суштинско значење. Раното откривање на пожарот би значело дека самата евакуација на персоналот ќе биде извршена во пораната фаза и на тој начин системот за вентилација може да се искористи многу порано за контрола на чадот.

10.1 Компјутерска анализа на методите и принципите за контрола од чад

Некои пресметки во процесот на дизајнирање на системот поврзан со контрола од чад се премногу комплексни и сложени за да бидат рачно пресметани. Затоа при процесот на дизајнирање на системот за контрола од чадот, од голема помош се соодветни софтверски програми кои значително го намалуваат времето кое е потребно за решавање на проблемите поврзани со методите и принципите за контрола од чад. Некои од овие софтвери ја пресметуваат брзината на воздушниот проток и разликите во распределбата на притисокот низ целиот рудник, додека други софтвери одат и подалеку од ова, па дури ги пресметуваат и концентрациите на чад кои ќе бидат генерирани низ целиот рудник во случај на пожар. Секоја од многуте софтверски програми од овој вид се разликуват еден од друг до одреден степен, но во главно сите тие користат слични и основни концепти за пресметки.

10.2 Тестирање на системот за контрола од чад во рудниците за подземна експлоатација

Без оглед на грижата, вештината и вниманието на деталите со кој секој систем за контрола од чадот е дизајниран, секогаш е потребно самиот дизајниран систем да биде тестиран за да се осигураме дека истиот работи како што е предвидено во планот. Овие тестови во главно треба да бидат составени во две основни нивоа [87]:

1. Првото ниво е функционалноста - да се утврди дали сè што е во системот работи исправно (проверка на сите компоненти на системот). Оваа клучна проверка е многу важна, бидејќи во пракса се случуваат многу оперативни технички проблеми кои го доведуваат системот за контрола од чадот нефункционален и непрактичен. Во оваа група на проверки најголемо внимание треба да се стави на исправноста на механичките вентилатори кои се во склоп на системот за вентилација во самиот рудник.
2. Второто ниво е изведбата на системот - да се утврди дали системот работи соодветно под сите потребни режими на работа. Ова тестирање може да се состои од мерење на разликите во притисокот околу пожарните врати под различни режими на работа на самиот систем. Во сценаријата каде што брзината на воздушните протоци низ отворени пожарни врати се од клучно значење, истите треба да бидат измерени и да се утврди нивото на нивната функционалност.

11. ПРОЦЕС НА МОДЕЛИРАЊЕ НА ПОЖАРНИТЕ СЦЕНАРИЈА И ПРОДУКТИТЕ НА СОГОРУВАЊЕ ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА

За да можеме точно да ги избереме пожарните карактеристики, потребно е во процесот на неговото моделирање да ги имаме следниве влезни податоци [9]:

- градежни карактеристики на објектот;
- внатрешни карактеристики на објектот;
- карактеристики на животната средина;
- карактеристики на запаливите материјали;
- карактеристики на пожарните сценарија.

Табела 11.1. Листа на фактори кои влијаат на процесот на моделирање на пожарот

Table 11.1. List of the factors that affect the process of modeling the fire

Фактори кои влијаат во процесот на моделирање на пожарот	
<i>Градежни карактеристики на објектот</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Димензии на објектот - Геометрија на објектот - Природа на изградба на објектот (материјали и метод)
<i>Внатрешни карактеристики на објектот</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Карактеристики на ѕидот - Вентилациони услови (природна или механичка) - Термални својства на објектот
<i>Карактеристики на животната средина</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Амбиентна температура - Движење на амбиентниот воздух
<i>Карактеристики на запаливите материјали</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Вид на запаливите материјали - Количина на запаливите материјали - Локација на запаливите материјали
<i>Карактеристики на пожарното сценарија</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Извор на палење - Локација на запалување на пожарот - Запаливите материјали кои се вклучени во процесот на палење - Растење и ширење на пожарот - Настани кои влијаат на ширењето на пожарот

Процесот на избирање на моделираните пожари е интегриран процес во развојот на пожарните сценарија и затоа моделираниот пожар може да влијае на дизајнираните пожарни сценарија и обратно. Описот на методот за моделирање на пожарот ни укажува на чекори во процесот што често резултираат со измени во дизајните на пожарните сценарија. Методот за избор на моделиран пожар е даден на слика 11.1.



Слика 11.1. Чекор по чекор метод за моделирање на пожар
 Figure 11.1. Step by step method for modeling fire

Некои компјутерски софтвери се во можност да ги моделираат влијанијата од пожарните сценарија и на тој начин паралелно да го менуваат и дизајнот на моделираниот пожар. Ефектите на системите за гасење на пожар, како што се водените прскалки, ефектите на вентилацијата, системите за управување со чадот и штетните пожарни гасови се фактори од клучно значење кои можат да бидат моделирани од компјутерски софтвери. На пример, моделирањето на развојот и ширењето на пожарот со помош на CFD софтвер може да донесе значајни заклучоци при самата изработка на пожарните сценарија.

Чекор 1 – Процес на започнување на пожарот

Првиот чекор е да се опише процесот на започнување на пожарот кој го вклучува изворот на палење и развојот на реакцијата на согорување. Нормална претпоставка во оценувањето на пожарните карактеристики е дека процесот на започнување на пожарот веќе се има случено и пожарната крива од овој процес најчесто се исклучува. Ако пожарната крива од процесот на започнување на пожарот се исклучи во самиот процесот на моделирање на пожарот, тогаш важно е да се земе во предвид генерираниот чад кој е создаден во овој процес.



Слика 11.2. Чекор 1 – Процес на започнување на пожарот

Figure 11.2. Step 1 - The process of starting a fire

Анализата на процесот на започнување на пожарот е од големо значење за дефинирање на пожарните карактеристики на самиот почеток. Ова се прави со анализа на сите можни потенцијални извори на палење кои можат да го предизвикат пожарот. Овие анализи најчесто се прават со помош на релевантни пожарни статистички податоци и од инженерска гледна точка.

Чекор 2 - Шематски приказ на пожарот

Со познавање на видот и количеството на запаливите материјали кои имаат најголема можност први да се запалат, заедно со познавањето на вентилационите услови, инженерот за противпожарна заштита врз базирање на овие податоци може да дојде до заклучок дали пожарот ќе биде тлеечки или растечки пожар.



Слика 11.3. Чекор 2 - Шематски приказ на пожарот

Figure 11.3. Step 2 – Schematic figure of fire

Чекор 3 - Почетни пожарни карактеристики

Откако ќе се утврди шематскиот приказ на пожарот, следниот чекор во процесот на моделирање на пожарот е да се дефинираат почетните пожарни карактеристики како што се: стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate), стапката на раст на пожарот, односот на продуктите од согорувањето, карактерот на пожарот итн. Ова може да се направи со анализа на пожарните карактеристиките на материјалите кои се зафатени од пожарот, геометријата и големината на просторијата која е зафатена од пожарот, вентилационите услови, надворешните отвори итн. Со помош на овие информации може да се процени како и колку пожарот ќе се развие и прошири. Пожарните карактеристики на материјалите кои се зафатени од пожарот можат да се добијат од предходно изведени експериментални тестови или од софтвери кои имаат база на податоци каде ги имаат складирано податоците од материјалите кои најчесто се зафатени од пожари.



Слика 11.4. Чекор 3 - Почетни пожарни карактеристики

Figure 11.4. Step 3 - Initial fire features

Чекор 4 – Вентилација

Една од најважните работи која влијае на стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate), како и на продуктите од согорувањето се условите на вентилација. Најчесто имаме два главни типови за контрола на настанатите пожари:

- контрола на запаливите материјали;
- контрола на вентилацијата.

Во текот на процесот на пожарот истиот може да се промени во зависност од овие два типа на контрола. На пример, настанувањето на ненадеен надворешен отвор, отварањето на вентилационата врата, настанување на отвори направени од страна на службата за спасување, активирањето на системот за контрола на чадот итн. може да резултираат со настанување на промени во самата вентилација. Во вакви услови неопходно е да се одредат и дефинираат промените кои ќе настанат на пожарот во предходно споменатите случаи.



Слика 11.5. Чекор 4 – Вентилација

Figure 11.5. Step 4 - Ventilation

Чекор 5 – Активирање на системи за гасење на пожарот

Друг значаен фактор кој влијае на пожарните карактеристики е активирањето на системите за гасење на пожарот. Почетните пожарни карактеристики треба да се модифицираат доколку имаме активирање на било каков систем за гасење на пожарот. Можните последици врз пожарот од системите за гасење можат да бидат следниве:

- може да се спречи предизвикување на истовремено палење на повеќето директно изложени запаливи материјали во затворен простор (Flashover);
- може да се намали стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate);
- може целосно да го изгаснат пожарот.



Слика 11.6. Чекор 5 – Активирање на системи за гасење на пожарот

Figure 11.6. Step 5 - Activating systems for extinguishing the fire

Системите за гасење на пожарот можат да бидат автоматски водени прскалки, противпожарни апарати, противпожарни бариери, противпожарна

служба итн. Во анализите на пожарните сценарија вообичаено се земаат сценаријата каде се претпоставува дека зафатениот персонал од пожарот неможе да го изгасне истиот.

Чекор 6 - Моментално палење на повеќето директно изложени запаливи материјали во затворен простор (Flashover)

Следен чекор е да се направи анализа дали постои можност за моментално и истовремено палење на повеќето директно изложени запаливи материјали во затворениот простор (Flashover).



Слика 11.7. Чекор 6 - Моментално палење на повеќето директно изложени запаливи материјали во затворен простор

Figure 11.7. Step 6 - Flashover

Откако овој процес го дефинираме како брза транзиција од локализиран пожар до брзо растечки пожар кој ги вклучува сите запаливи материјали во рамките на еден објект, тогаш логички е да се претпостави дека стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) рапидно ќе се зголеми. После овој процес на моментално и истовремено палење на повеќето директно

изложени запаливи материјали во затворениот простор, пожарот се опишува како целосно развиен со константна стапка на ослободување на топлина (HRR-heat release rate), која е ограничена од достапните запаливи површини или од системот за вентилација.

Чекор 7 – Згаснување на пожарот

Кога поголемиот дел од запаливите материјали се истрошат од самиот пожар и истиот престане да се шири, пропорцијално на ова и стапка на ослободување на топлина (HRR-heat release rate) рапидно се намалува. Во оваа фаза пожарот почнува полска да згаснува. Овој процес нормално се претпоставува дека започнува кога околу 70-80 проценти од сите запаливи материјали се потрошат од самиот пожар.



Слика 11.8. Чекор 7 – Згаснување на пожарот

Figure 11.8. Step 7 - Extinguishing the fire

Стапката на згаснување на пожарот се претпоставува дека е како линеарно намалување, експоненцијално намалување или како инверзија на самиот раст на пожарот. За линеарно згаснување на пожарот за даден

временски период, стапка на ослободување на топлина одговара на енергијата на останатите запаливи материјали. Сепак, во најголем број случаи при изработката на пожарните сценарија анализата на процесот на згаснување на пожарот се исклучува од процесот.

Чекор 8 – Крај на пожарниот процес

Последниот чекор во процесот е да се утврди дали е достигнато крајното време на пожарниот процес.



Слика 11.9. Чекор 8 – Крај на пожарниот процес

Figure 11.9. Step 8 - End of fire process

Крајното време на пожарниот процес се констатира кога:

- сите запаливи материјали се потрошат;
- постигнато е крајното време во пожарното сценарио;
- констатација на инженерот за противпожарна заштита.

Ако не се констатира крајното време на пожарниот процес, потребно е повторување во анализата на факторите кои влијаат на првичниот дизајн сè додека не се добијат потребните резултати.

11.1 Софтверско моделирање на пожарите сценарија и продуктите на согорување во рудниците за подземна експлоатација

Од голема важност за секој софтвер за моделирање на пожари е да може да ги представи карактеристиките на пожарот, како што се: ефектите од пожарните продукти (пожарната хемија), динамиката на пожарот и термодинамиката на вентилациониот систем (сите овие ефекти се меѓусебно поврзани).

Во текот на изминатите 20 години се развиени повеќе алатки за моделирање на пожари во рудниците за подземна експлоатација, како што се MFIRE (развиен од страна на US Bureau of Mines првично во 1980 година) и Ventgraph™ (развиен од страна на Strata Mechanics Research Institute of the Polish Academy of Sciences, во 1988) [56].

Во поново време, вентилациониот комерцијален софтвер VnetPC™ е на располагање со додадок на модул, како што е MINEFIRE PRO+ (MVS) кој е модифицирана верзија од MFIRE софтверот. Другиот попознат вентилационен комерцијален софтвер Ventsim, исто така неодамна вовеле дополнителен модул за моделирање на ефектите на пожарите и чадот наречен VentFIRE™. Пред изборот на софтвер за моделирање на пожари треба да се согледаат нивните технички карактеристики.

Не постои софтверски пакет за моделирање на пожарите и нивните ефекти во рудниците за подземна експлоатација, кои можат целосно и точно да ги опишат сите можни пожарни сценарија и нивните соодветни ефекти. Да се отстранат некои од овие ограничувања во софтверите за моделирање на пожарите треба да се разберат некои од математичките и теоретските принципи на пожарите и истите да се искористат за подобро дефинирање на влезните податоци при самото моделирање на пожарите во рудниците за подземна експлоатација.

VentFIRE модулот има непрекината интеграција во Ventsim софтверот за вентилација и со тоа нуди подобри излезни податоци. Истото може да се каже

и за MINEFIRE PRO+ модулот кој е поврзан со VnetPC™ софтверот за вентилација.

VentFIRE софтверот овозможува да се моделира динамичната природа на пожарот, земајќи ја во предвид промената на густината на воздухот која поминува низ пожарот, консумацијата на кислородот од пожарот како и генерирањето на продуктите од согорувањето. Во VentFIRE софтверот можат да се додаваат „пожарни настани“ во било кој вентилационен огранок. Секоја фаза на пожарот е поставена како „пожарен настан“ и ефектите од пожарот можат да се набљудуваат во реално време ако се извршат промени во самата вентилацијата (вклучување или исклучување на главниот вентилатор, реверсирање на вентилациониот воздушен проток), инсталирање на пожарни врати, воведување на инертни гасови за борба против пожарот итн. Исто така, корисникот може да ја прекине пожарната компјутерска симулација во било кое време и да ги разгледува настанатите ефекти од пожарот. Корисникот, исто така, во пожарната компјутерска симулација може да постави мерни станици во поважните вентилациони воздушни патишта каде немаме „пожарен настан“ и да ги набљудува концентрациите на чад, токсични гасови, воздушно струење, температура, влажност, видливост итн.

MINEFIRE PRO+ е Windows-базиран пакет на програми кој ја вклучува модифицираната верзија на пожарната алатка MFire, оригинално развиена од страна на поранешното US Bureau of Mines (USBM) која е интерактивно поврзана со софтверот за вентилационо мрежно планирање VnetPC [66]. MINEFIRE PRO+ врши пресметки во однос на планирање на самата вентилациона мрежа и моделирање на пожари во вентилационата мрежа под различни услови. Влезните податоци во софтверот за моделирање на пожарите е малку посложен процес. Стапката на испуштање на топлина (Heat release rates) се пресметува врз основа на кој тип на гориво (материјал) согорува. Дефинирањето на локацијата на пожарот во самата вентилациона мрежа е од клучно значење, бидејќи со самата локација се одредува дали пожарот ќе биде богат со кислород или богат со гориво. Токсичните продукти на согорувањето на пожарот се одредуваат врз база на хемискиот состав на горивото (материјалот). MINEFIRE PRO+ софтверот е развиен врз база на теоријата за компресиран воздушен проток, кој ги вклучува промените во вредностите на топлината и густината на воздухот како и Кирховите (Kirchhoff)

закони. Исто така софтверот користи форма на Hardy Cross интерактивната метода за пресметување на карактеристиките на вентилационата мрежа.

Моделите на тродимензионална (CFD) пресметка се користат за да се симулираат и предвидат флуидните текови, преносот на топлина, хемиските реакции и останатите карактеристики на пожарното сценарио. Како што е случај и со другите достапни алатки, така и моделите направени со помош на CFD софтвери имаат одредени ограничувања. После направената симулација со помош на CFD софтверите корисникот мора да направи своја оценка дали резултатите се разумни или не. Оваа валидација на резултатите може да се направи и спореди доколку е можно со експериментални резултати или со помош на други софтвери. Важно е да се напомене дека резултатите од CFD анализите неможат целосно да ги заменат реално направените експериментални пожарни резултати, но можат во голема мера да помогнат во решавањето на сложени и комплексни пожарни проблеми. CFD моделите се базирани на комплексни алгоритми и равенки базирани на законите на физиката. За симулација и дизајн на пожари широко употребуван CFD модел е FDS (Fire Dynamics Simulator). FDS ги решава Navier-Stokes равенките кои се погодни за ниски и термички проточни брзини, поврзани со чадот и топлината. Воздушните и пожарни турбуленции во FDS софтверот се решаваат со помош на моделот на Smagorinsky [76].

11.2 Избор на пожарно сценарио и нивна документација

За сите безбедносни пожарни алтернативи, највисоко рангираните пожарни сценарија се избраат за квантитативна анализа. Избраните пожарни сценарија треба да го претставуваат вкупниот ризик. Сите избрани пожарни сценарија за анализа треба да бидат документирани и тие стануваат потенцијални „моделирани пожарни сценарија“. Исто така треба да бидат документирани и останатите пожарни сценарија и да се наведе причината зошто истите не биле избрани.

12. ПЛАНОВИ ЗА ЕВАКУАЦИЈА И СПАСУВАЊЕ ВО СЛУЧАЈ НА ПОЖАР ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА

Вонредна состојба во рудник за подземна експлоатација се прогласува тогаш кога истиот веќе не се во состојба ефикасно да го контролира здравјето и безбедноста на луѓето. Плановите за евакуација и спасување му овозможуваат на секој рудник да одговори и да воспостави контрола во случај на вонредна состојба. Процесот на планирање вонредни состојби, може да се опише како серија на прашања кои треба да бидат одговорени, со цел да се развие план за евакуација и спасување од вонредни состојби кои треба да ги задоволува законските барања, како и рудничките барања. Овие прашања може да вклучуваат [92]:

- Кои вонредни состојби можат да се случат во рудникот, кои вклучуваат ризици за здравјето, безбедноста или благосостојбата на сите вработени во рудникот?
- Како рудникот може да одговори на секоја од овие итни вонредни состојби?
- Кои ресурси ќе му бидат потребни на рудникот за да успешно одговори на предходно идентификуваните итни вонредни состојби?
- Со кого треба рудничкиот оператор да комуницира, или пак да се консултира за успешно организирање на планот за реагирање во случај на вонредна состојба?
- Каква обука, настава и информации треба да им биде дадена на сите вработени во самот рудник?
- Што треба да биде напишано во самиот план за реагирање во случај на вонредни состојби?
- Како плановите за реагирање во случај на вонредни состојби треба да бидат ревидирани и проверувани за да бидеме сигурни дека истите преставуваат соодветен одговор за дадената вонредна состојба?

Процесот на планирање на системот за справување со вонредни состојби подразбира идентификување на сите итни сценарија кои можат да се случат во самиот рудник, а потоа и рангирање на ризикот на потенцијалните опасности и последици од овие вонредни сценарија, со цел да се идентификуваат ефикасни системи за контрола. Целта на планирањето на системот за справување со вонредни состојби е да се помогне во процесот на подготовка на сите вработени во рудникот да можат ефикасно да одговорат на сите опасности кои можат да се јават при работа во самиот рудник.

Постојат голем број на вонредни состојби кои можат да предизвикаат опасност по здравјето и безбедноста на сите вработени во рудникот, некои од тие опасности вклучуваат:

- непланирана експлозија;
- пожар;
- зарушување на околните карпи;
- поплава;
- испуштање на штетни гасови;
- несреќи предизвикани од работната механизација;
- запирање на вентилација предизвикана од технички проблеми;
- несреќи предизвикани од електрична опрема;
- природни катастрофи;
- спонтано согорување итн.

Статистички, едни од најопасните вонредни состојби кои имаат однесено најмногу човечки животи во рудниците за подземна експлоатација се пожарите. Во рудниците за подземна експлоатација пожарите можат да се случат во било кое време и можат да резултираат со делумна или целосна евакуација на персоналот во рудникот.

Повеќето пожари кои настануваат во рудниците за подземна експлоатација се уникатни по својот карактер, па изработката на план за евакуација и спасување за секоја ситуација е апсолутно неможно и непредвидливо. Сепак, во вакви случаи на вонредни состојби постојат одредени заеднички елементи кои можат да се предвидат, па нивното

изготвување и вметнување во плановите за евакуација и спасување во случај на пожар, можат многу да помогнат во намалувањето на катастрофалните последици.

Плановите за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација даваат преглед на постапките за одговор и превентивни мерки кои се неопходни за ефективно и навремено управување со оваа вонредна ситуација. Брзата акција и претходната подготовка за справување со ваков тип на вонредни ситуации може да помогне во спасување на човечки животи и заштита на финансиските инвестиции во самиот рудник.

13. СОВРЕМЕН ПРИСТАП ПРИ ПЛАНИРАЊЕ НА СИСТЕМОТ ЗА ЕВАКУАЦИЈА И СПАСУВАЊЕ ВО СЛУЧАЈ НА ПОЖАР ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА

Главните ризици за луѓето кои се затечени за време на пожар во рудниците за подземна експлоатација се генерираниот чад, штетните продукти од согорувањето, лошата видливост, топлината итн. Соодветните критериуми кои треба да бидат превземени во однос за безбедноста на животот на затечените луѓе од пожарот ќе бидат мерките превземени за справување со токсичните гасови, топлината, лошата видливост како и самото гасење на пожарот. Главен фокус при изработувањето на пожарните сценарија и системот за евакуација треба да биде утврдувањето на ширењето и движењето на чадот и токсичните гасови низ подземните руднички простории.

Во однос на континуитетот на работната средина големо влијание би можело да има нивото на хлор во чадот, бидејќи тоа ќе има голем ефект врз околината и може да побара поголема и подетална деконтаминација и на тој начин повеќе прекини во производството. Исто така, големо влијание во континуитетот на работната средина има и големата топлина предизвикана од пожарот која може да предизвика големи оштетувања на самата работна околина.

Трошоците кои се генерирани од самите прекини во производството далеку ги надминуваат трошоците предизвикани од пожарот, па така кога се работи на пожарните сценарија, најголем аспект треба да се стави на безбедноста на персоналот и на самото производство.

Во рударската индустрија целосно развиените пожари се од примарно значење, поради големото количество на генериран чад и отровни гасови. Целосно развиени пожари во рудниците за подземна експлоатација, исто така, ќе имаат влијание на подземните рударски структури, рударската опрема и сите останати рударски компоненти. Истовременото палење на повеќето директно изложени запаливи материјали во затворен простор (flashover) е многу редок феномен во металичните подземни рудници поради ограничената количина на запаливи материјали, додека во подземните рудници за јаглен поради големиот ризик од акумулирање на големи количества на метан овој

феномен на истовремено палење на повеќето директно изложени запаливи материји е многу честа појава.

Во случај на помали температури генерирани од тлеечките пожари и кога чадот се шири на поголеми растојанија во подземните рударски простории тоа значи дека продуктите од согорувањето имаат мала пловност и истите нема да бидат на кровот од рударската просторија, како што е во случаите на целосно развиените пожари. Ова ќе ја зголеми опасноста на персоналот во текот на спасувањето и повлекувањето и затоа мора да се води сметка за времето на развој на пожарот во самите моделирани пожарни сценарија.

Развивањето на пожарите во рудниците за подземна експлоатација во голема мера зависат од распоредот на запаливите материјали и достапноста на кислород. Како пожарот расте во големина, така пропорционално се забрзува и стапката на раст. Ако пожарот остане локализиран на местото каде започнал, тогаш пожарот станува контролиран со рапидното трошење на запаливите материјали на самата локација на започнување. Меѓутоа, ако пожарот се рашири до други запаливи материјали, тоа може да предизвика појава на транзиција од локализиран пожар до целосно развиен пожар.

Постојат повеќе можности за започнување на пожар во рудниците за подземна експлоатација, како на пример:

- Во текот на редовното одржување на рудникот природата на промените во работата драстично се зголемува, делови од производството се запираат, бројот на персоналот во рудникот драстично се зголемува, топли и загреани материјали се спроведуваат во поголем дел од рудникот, се транспортираат големи количини на запаливи материјали, опрема итн.;
- Транспортот во главните рампи драстично го менува ризикот, особено кога се транспортираат експлозивни средства и запаливи течности кои преставуваат можни иницијатори за започнување на пожар.

Во однос на достапната пожарна статистика во подземните рудници, дизајнот на пожарните сценарија најчесто треба да се фокусира на пожари предизвикани од запалива течност која може да дојде до некоја жешка

површина, како што се електрични искри и работна жешка опрема. Со базирање, пред сè, на достапата статистика, следниве видови на запаливи материјали во рудниците за подземна експлоатација се идентификувани со повисок ранг на ризик од запалување [58]:

- акумулации на запаливи течности (дизел гориво, хидраулични течности);
- работна механизација;
- транспортни ленти;
- пневматици (гуми);
- кабли.

Секоја од овие области треба да се испита од страна на експерти и инженерски кадар и сериозноста на секое пожарно сценарио се утврдува од потенцијалната фреквенција на опасноста, бројот на затечени луѓе од вонредната состојба, потенцијалното ширење на чадот и пожарните гасови, големината на предизвикана штета, итн. Формалната проценка на пожарен ризик за идентификација на можните пожарни сценарија која пред се вклучува тимска работа се базира на следново [63]:

- разгледување на целата работа област;
- анализа и разгледување на прирачниците за работните процесите и работната механизација;
- анализа и набљудување на процесот на воведување на нова работна активност;
- спроведување и пуштање во употреба на нова работна опрема;
- набљудување на изворите на опасност поврзани со процесот на работните активности и задачи;
- преглед на статистички податоци од предходни вонредни состојби.

13.1 Идентификација и дефинирање на пожарните сценарија во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА” - М. Каменица

Во рудниците за подземна експлоатација, пожар може да настане секаде каде се наоѓа запалив материјал, но негово предвидување на сите можни локации е практички невозможно. Па затоа, со помош на анализа, оваа листа на пожарни локации се сведува на оние места кои имаат најголем ризик од настанување на пожар.

За идентификување на можните пожарни сценарија во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА”, ќе ги користиме прирачниците за работните процесите и работната механизација кои детално ќе ги анализираме и на тој начин ќе ги идентификуваме потенцијалните пожарни сценарија. Од прирачниците за работните процесите и работната механизација на Рудникот „САСА”, идентификувани се можни пожарни сценарија од работната механизација:

- утоварач Scooptram ST 3.5;
- јамски камион Minetruck MT 2010;
- електро-хидраулична дупчалка Boomer 281;
- работни активности во магацинот за дизел гориво и масло.

Локациите на можните пожарни сценарија предизвикани од спомнатата дизел механизација во најголем дел ќе зависат од фреквенцијата на нивните работни активности и движења низ самите работни и извозни простории. За елиминирање на помалку ризичните места од настанување на пожари од спомнатата дизел механизација ќе ги исфрлиме оние места во рудникот каде што оваа механизација има најмалку работни активности.

Првиот чекор во анализата за настанување на можно пожарно сценарио е идентификација на потенцијалните пожарни локации, анализа на запаливиот материјал и придружните последици од пожарот. Со цел да се направи оваа пресметка, потребно е анализа на пожарен ризик со кој ќе се издвојат најризичните локации од настанување на пожари.

Методот кој ќе се користи во оваа процена на пожарен ризик е методот на модифицирана матрица, која може да се користи за да се процени ризикот од настанување на пожарно сценарио на самото работното место, рангирањето на големината од ризикот, прифатливоста на ризикот и нивниот приоритетот. Предноста на овој метод на процена на пожарен ризик е тоа што лесно може да биде разберен од страна на сите вработени во рудникот.

Проценката на пожарен ризик е можен ако се знае природата на опасностите, како и факторите кои го дефинираат нивниот интензитет. Податоците добиени од проценката на пожарниот ризик можат да се комбинираат со други извори на податоци (податоците добиени од мониторингот на здравјето на работниците, дозволените нивоа на изложеност, достапните статистички податоци итн.) и на тој начин да се добие подетална слика за можните опасности на целото работно место. Во оваа модифицирана матрица за пресметка и проценка на пожарен ризик од настанување на пожарно сценарио, самиот ризик се смета како комбинација од можни опасности и повреди. Проценката на пожарниот ризик е производ на две димензии [43]:

- сериозноста од последици за работникот во случај на пожарното сценарио;
- веројатноста и зачестеноста на пожарното сценарио.

Терминот последица во проценката на пожарниот ризик, може да се смета како „најлошото сценарио“ или исход кој може да биде разумно да се очекува ако се случи инцидентното пожарно сценарио. Општо земено, последиците можат да се случат во две области и тоа лична повреда / смрт и штета на имот.

Веројатноста за да се случи едно пожарно сценарио во голема мера зависи од фреквенцијата на изложеност. При дефинирањето на веројатноста од случување на едно пожарно сценарио, најчесто треба да се следат следниве клучни аспекти:

- колку пати се имаат случено пожарни вонредни ситуации;
- бројот на луѓе кои биле изложени;
- што се случило во минатото во слични пожарни ситуации.

Откако можните последици и веројатноста за секое потенцијално пожарно сценарио ќе бидат утврдени, соодветна нумеричка вредност за последиците и веројатноста може да се користи за да се утврди „ниво на ризик“. Вредностите за последиците и веројатноста се поделени во 4 категории на ризик, и тоа: висок, среден, низок и незначаен. Нумеричка вредност е доделена на секоја категорија на ризик на тој начин што најголемиот ризик има најголема нумеричка вредност. Нареден чекор е одредување на големината на придружните ризици и да се утврди дали овие ризици се толерантни.

Табела 13.1. Евалуација на последиците

Table 13.1. Consequence evaluation

	Критериуми на повреди и штети предизвикани од пожар	Вредност
Последица (C)	- Смрт на еден или повеќе луѓе - Траен инвалидитет - Непоправлива и значителна материјална штета - Загуби во производството - Фактори кои влијаат за имиџот на компанијата	Висока (8)
	- Повреди кои предизвикуваат привремена попреченост на едно или повеќе лица - Поправливо или делумно оштетување на работната механизација - Производствени загуби кои бараат посебни планови за обнова	Средна (4)
	- Лесни повреди - Оштетување на материјали кои не влијаат врз производствениот процес - Минимални производствени загуби	Ниска (2)
	- Скоро нема загуби	Незначајно (1)

Табела 13.2. Евалуација на веројатноста

Table 13.2. Probability Evaluation

	Критериуми за пресметка на веројатноста од настанување на пожар	Вредност
Веројатност (P)	Веројатноста дека може да настане пожарен инцидент повеќе од осум пати во една година	Висока (8)
	Веројатноста дека може да настане пожарен инцидент од два до осум пати во една година	Средна (4)
	Веројатноста дека може да настане пожарен инцидент еднаш во една година	Ниска (2)
	Веројатноста дека нема да настане пожарен инцидент во цела една година	Незначајно (1)

Табела 13.3. Пресметка на големините на ризикот

Table 13.3. Risk Magnitude Calculation

		Последица (C)			
		1	2	4	8
Веројатност (P)	1	1	2	4	8
	2	2	4	8	16
	4	4	8	16	32
	8	8	16	32	64

Големината на ризикот (R) се добива од производот помеѓу веројатноста (P) за настанување и последиците (C) од пожарното сценарио.

Како најризичните локации за настанување на пожарно сценарио од утоварач Scooptram ST 3.5 ќе бидат оние работни места каде што оваа механизација е најзастапена, а тоа се откопните блокови.

Табела 13.4. Анализа на можните локации за настанување на пожарно сценарио од утоварач Scooptram ST 3.5

Table 13.4. Analysis of possible locations for the occurrence of fire scenario from loader Scooptram ST3.5

Прелиминарна анализа на опасности									
Задача/ операција	Локација	Опасност	Можност за појава на пожар	Евалуација на ризик					
				Максимален			Минимален		
				С	Р	Р	С	Р	Р
Работни активности	Блок 1, 2 и 3	Пожар од запаливите материјали на Scooptram ST 3.5	Веројатноста дека може да настане пожарен инцидент од два до осум пати во една година	8	4	32	2	4	8

Како најризичните локации за настанување на пожарно сценарио од јамски камион Minetruck MT 2010 ќе бидат оние работни места каде што оваа механизација е најзастапена, а тоа се извозните и сервисните рампи.

Табела 13.5. Анализа на можните локации за настанување на пожарно сценарио за јамски камион Minetruck MT 2010

Table 13.5. Analysis of possible locations for the occurrence of fire scenario from Minetruck MT 2010

Прелиминарна анализа на опасности									
Задача/ операција	Локација	Опасност	Можност за појава на пожар	Евалуација на ризик					
				Максимален			Минимален		
				С	Р	Р	С	Р	Р
Работни активности	Извозните и сервисните рампи	Пожар од запаливите материјали на Minetruck MT 2010	Веројатноста дека може да настане пожарен инцидент еднаш во една година	8	2	16	2	2	4

Како најризичните локации за настанување на пожарно сценарио од електро-хидраулична дупчалка Boomer 281 ќе бидат оние работни места каде што оваа механизација е најзастапена, а тоа се простории за отворање и разработка на рудникот (слепите чела).

Табела 13.6. Анализа на можните локации за настанување на пожарно сценарио од електро-хидраулична дупчалка Boomer 281

Table 13.6. Analysis of possible locations for the occurrence of fire scenario from Boomer 281

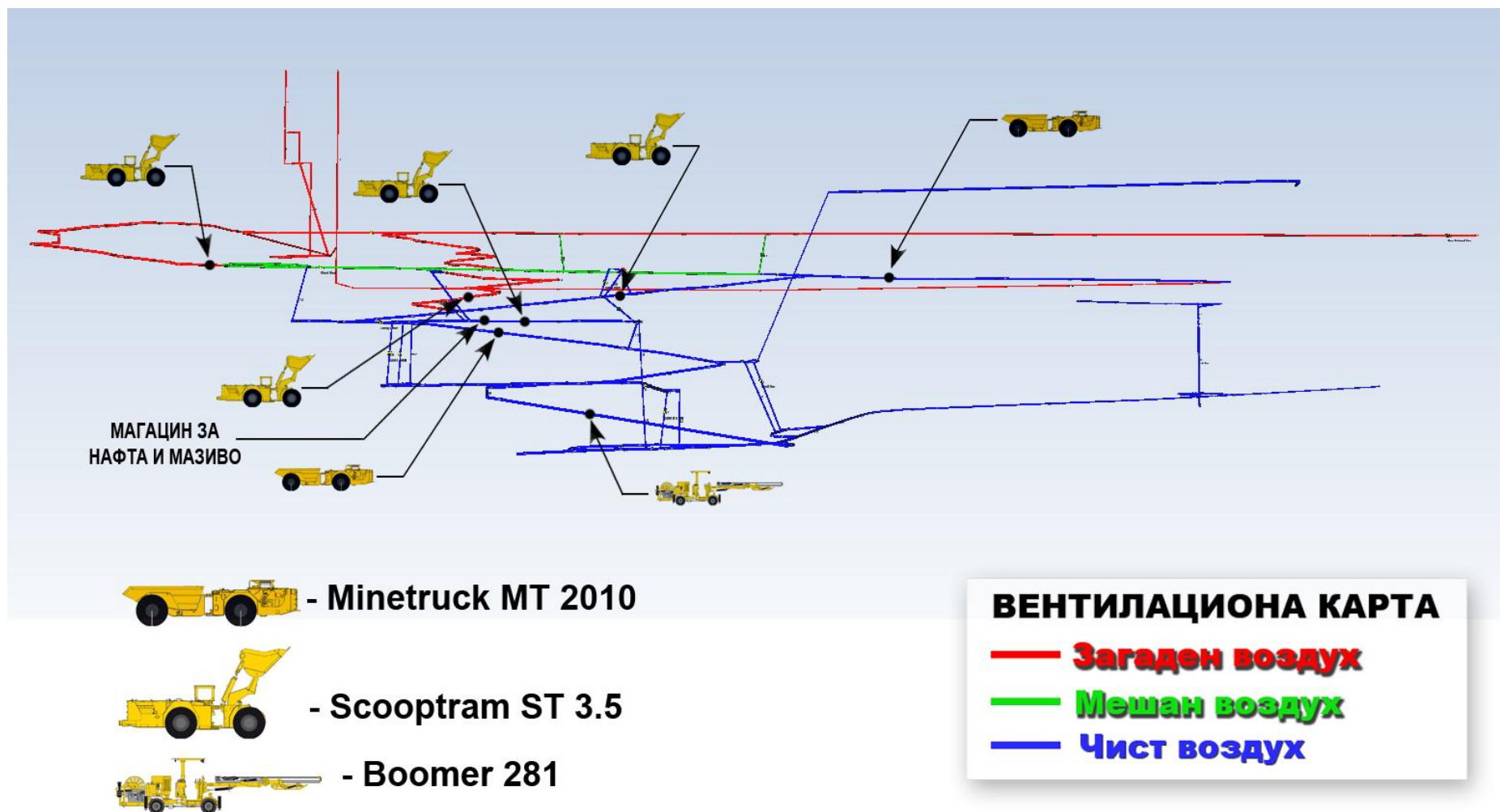
Прелиминарна анализа на опасности									
Задача/ операција	Локација	Опасност	Можност за појава на пожар	Евалуација на ризик					
				Максимален			Минимален		
				C	P	R	C	P	R
Работни активности	Простории за отворање и разработка на рудникот (слепите чела)	Пожар од запаливите материјали на Boomer 281	Веројатноста дека може да настане пожарен инцидент еднаш во една година	8	2	16	2	2	4

Од прирачниците за работните процеси идентификувано е можно пожарно сценарио и од работните активности во магацинот за дизел гориво и масло.

Табела 13.7. Анализа на локацијата за настанување на пожарно сценарио во магацинот за дизел гориво и масло

Table 13.7. Analysis of the location of fire scenario occurrence in the warehouse for diesel fuel and hydraulic oil

Прелиминарна анализа на опасности									
Задача/ операција	Локација	Опасност	Можност за појава на пожар	Евалуација на ризик					
				Максимален			Минимален		
				C	P	R	C	P	R
Работни активности	Магацин за дизел гориво и масло	Настанување на пожар од дизел гориво и масло	Веројатноста дека може да настане пожарен инцидент повеќе од осум пати во една година	8	8	64	2	8	16



Слика 13.1. Можни пожарните сценарија во рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк - „САСА“

Figure 13.1. Possible fire scenarios in underground mine for lead and zinc - „SASA“

Во оваа анализа за идентификација, дефинирање и моделирање на пожарните сценарија во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ нема да ги анализираме можните извори на палење и иницирање на пожарот, туку ќе претпоставиме дека пожарот веќе се има случено и на тој начин ќе ги анализираме сите можни пожарни сценарија од погоре спомнатата механизација и работни активности.

13.2 Моделирање и симулација на пожарните сценарија во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ - М. Каменица

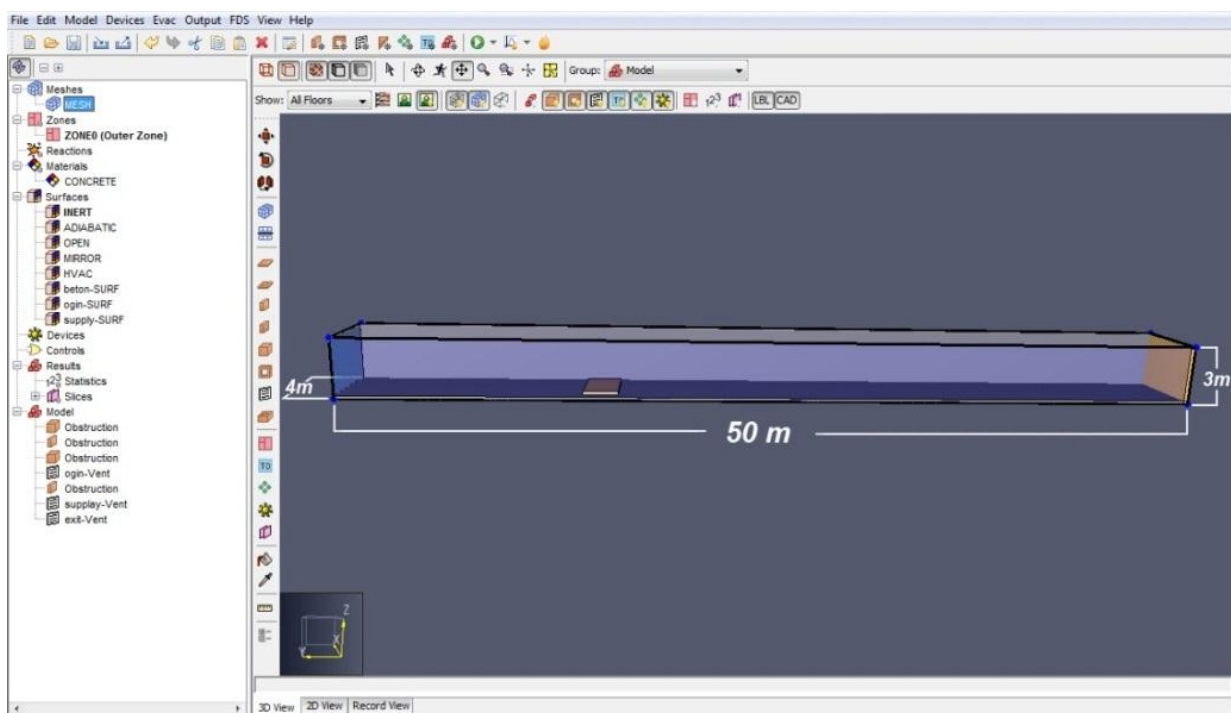
Изборот на сценариото за моделирање на пожарот е неопходно да ги опише претпоставените карактеристики на пожарот врз чија основа се базира самото сценарио. Претпоставените карактеристики на пожарот се именуваат со поимот „моделирање на пожар“. Техничкиот комитет ISO/TC 92 наведува дека моделираните пожари обично се карактеризираат со однос на следните варијабли во однос на времето:

- стапката на ослободување на топлина (HRR-heat release rate);
- испуштање на токсични материи;
- стапка на испуштање на чад;
- големината на пожарот;
- температура;
- топлотен флукс.

Одредувањето на излезните пожарни параметри кои преставуваат основни податоци на моделираното пожарно сценарио, како што се: стапката на ослободување на топлина (heat release rate), преносот на топлина, стапка на горење на материјалот, генерирање на штетни пожарни гасови, чад итн. ќе бидат пресметани и моделирани во софтверот Pyrosim (студентска верзија). Софтверот PyroSim е графички кориснички интерфејс на Fire Dynamics Simulator (FDS - <https://code.google.com/p/fds-smv/>) кој оригинално е произведен од National Institute of Standards and Technology (NIST) USA. FDS кодот може да симулира пожарни сценарија со користење на пресметковна метода на

динамика на флуидите (CFD). Овој пристап е многу флексибилен и може да предвиди и да симулира различни пожарни сценарија заедно со нивните излезни пожарни параметри.

За потребите на оваа докторска дисертација, во софтверот PyroSim е моделирана компјутерска 3D рударска подземна просторија, со следниве димензии: ширина 4 метри, висина 3 метри и должина 50 метри, во која ќе бидат посебно симулирани сите пожарни сценарија со своите специфични амбиентни и вентилациони карактеристики кои одговараат на локацијата каде што е идентификувано пожарното сценарио.



Слика 13.2. Процес на моделирање на 3D рударска просторија во софтверот PyroSim

Figure 13.2. Process of modeling computer 3D horizontal mining drift in software PyroSim

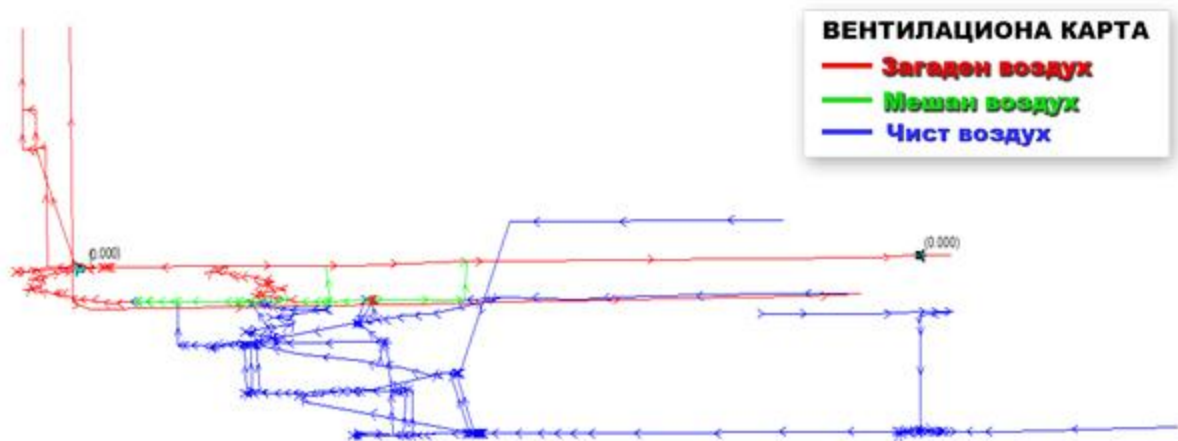
13.3 Систем за евакуација и спасување, изработен врз основа на движењето на чадот и пожарните гасови во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА” - М. Каменица

Ширењето и движењето на чадот во рудниците за подземна експлоатација ќе ја диктира безбедноста за повлекување и спасување, како и самата операција на спасувачките служби. Процесот на спасувачките операции многу тешко се изведува ако бројот на можните патишта за повлекување се намалат поради исполнувањето со чад на истите. Достапните системи за насочувањето на движењето и ширењето на чадот ќе бидат од клучна значајност за безбедната евакуација и успешното справување со пожарот. Комплексната природа на подземните рудници, со големиот број на окна, рампи, пречници итн. дополнително го отежнува системот и процесот за насочување и справување со движењето и ширењето на чадот.

За пресметка на движењето на чадот и пожарните гасови во предходно зададена локација во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА” ќе го користиме софтверот MINEFIRE PRO+ (студентска верзија).

MINEFIRE PRO+ е Windows-базиран пакет на програми кој ја вклучува модифицираната верзија на пожарната алатка MFire, оригинално развиена од страна на поранешното US Bureau of Mines (USBM), која е интерактивно поврзана со софтверот за вентилационо мрежно планирање VnetPC [66]. MINEFIRE PRO+ врши пресметки во однос на планирање на самата вентилациона мрежа и моделирање на пожари во вентилационата мрежа под различни услови.

За потребите на оваа докторска дисертација, во софтверот MINEFIRE PRO+ (студентска верзија) е изработена и моделирана 3D вентилациона мрежа на рудникот за подземна експлоатација „САСА” - М. Каменица, која одговара на реалната големина на рудникот заедно со реалните вентилациони услови во самиот рудник.



Слика 13.3. 3D вентилациона мрежа од Рудникот „САСА“ изработена во софтверот MINEFIRE PRO+

Figure 13.3. 3D mine ventilation network of „SASA“ mine made in software MINEFIRE PRO +

За софтверот MINEFIRE PRO+ да го пресмета движењето на чадот и пожарните гасови низ целиот рудник се потребни следниве влезни податоци:

1. Вентилациона мрежа од рудникот која може да се изработи во истиот софтвер.
2. Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот, [m³/s].
3. Концентрација на јаглерод моноксид во волуменскиот проток на чад и пожарни гасови CO, [%].
4. Проток на топлина од пожарот, [kW].
5. Концентрација на кислород во пожарното место O₂, [%].
6. Волуменски проток на воздух во огранокот Q, [m³/s].
7. Време на целосно развивање на пожарот [min].

После пресметката за движењето на чадот и пожарните гасови низ целиот рудник следува процесот на идентификување и дефинирање на безбедните оптимални патишта за евакуација.

13.4 Оптимизација на рутите за евакуација во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА” - М. Каменица

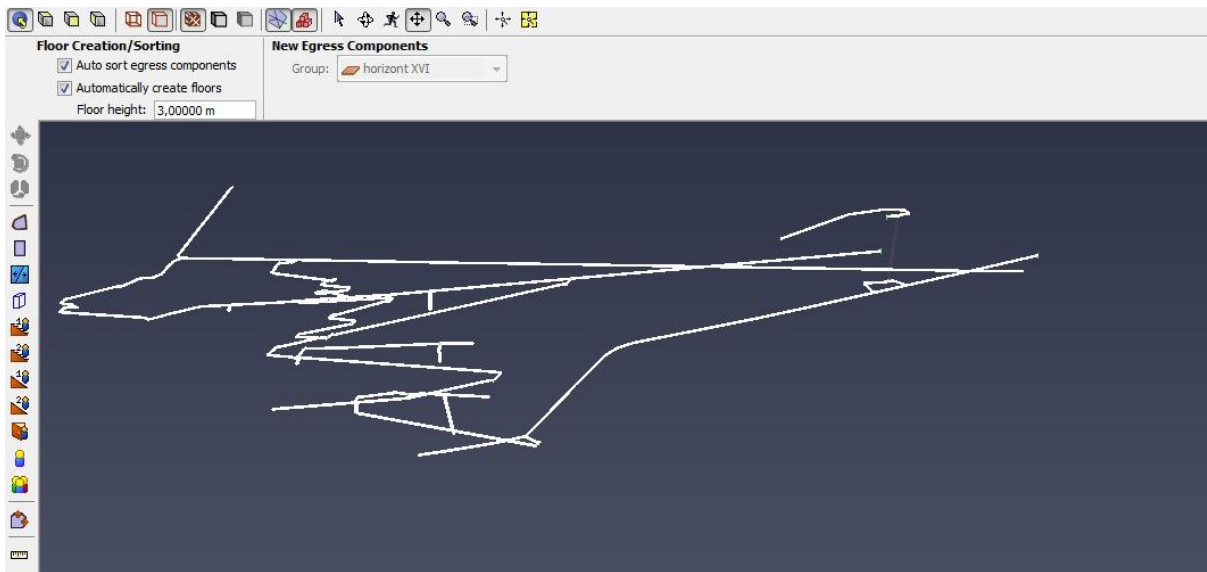
За да се пресмета оптималната рута за евакуација во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација потребни ни се повеќе податоци кои се поврзани со карактерот на самиот рудник. Во случај на пожар, факторите кои влијаат на процесот на евакуација се сложени и комплексни. Едни од тие фактори ги вклучуваат следниве податоци [34]:

- тип на огранокот (начин на движење-транспорт);
- влијанието на вентилационата воздушна брзина;
- влијанието на косината на огранокот;
- влијанието на чадот и пожарните гасови;
- влијанието на збиеноста на луѓето при евакуацијата;
- влијанието од специјалните фактори поврзани со вонредната ситуација.

Најпрво, во секој огранок се пресметува коефициентот на влијание на секој од овие фактори, кои понатаму со помош на равенка 13.1, се претвора во вкупна тежина на рутата за евакуација. Онаа рута за евакуација која ќе има вредност на најмала тежина ќе биде оптимална рута за евакуација.

За пресметка на времето потребно за евакуација и спасување, ќе зададеме средна брзина на движење на сите вработени во рудникот од 1,19 m/s низ сите хоризонтални ходници, за движење низ ускоп ќе зададеме средна брзина на движење од 0,3 m/s и за движење низ окно со помош на лифт ќе зададеме средна брзина на движење од 10 m/s.

За визуелните потреби на оваа докторска дисертација во софтверот за евакуација Pathfinder, направен е 3D модел од Рудникот за подземна експлоатација „САСА” - М.Каменица, со должини на подземните рударски објекти (патиштата) кои одговараат на реалниот рудник.



Слика 13.4. Модел на Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“, во софтверот за евакуација Pathfinder

Figure 13.4. Model of underground mine for lead and zinc „SASA“, in the software for evacuation Pathfinder

13.4.1 Пресметка на вкупна тежина на рутите за евакуација

13.4.1.1 Пресметка на еквивалентната должина на патиштата

Статусот на подземните патишта (ограноци) се различни и комплексни. Факторите кои влијаат врз тежината на евакуација низ овие подземни патишта можеме да ги поделиме на шест категории кои ги вклучуваат следниве податоци: тип на огранокот (начин на движење-транспорт), влијанието на вентилационата воздушна брзина, влијанието на косината на огранокот, влијанието на чадот и пожарните гасови, влијанието на збиеноста на луѓето при евакуацијата и влијанието од специјалните фактори поврзани со вонредната ситуација. Сите овие фактори влијаат врз зголемувањето или намалувањето на брзината на евакуација.

Влијанијата на овие фактори врз брзината на евакуација се трансформираат во еквивалентна должина на патиштата кои воедно преставуваат и вкупна тежина на рутата за евакуација (равенка 13.1) [34].

$$l_i = (k_{ti} * k_{wi} * k_{gi} * k_{vi} * k_{mi} * k_{di}) * l_{ri} \quad (13.1)$$

Каде што:

l_i – еквивалентна должина на патиштата (тежина на рутата за евакуација), [m];

k_{ti} – коефициент од типот на огранокот (начин на движење-транспорт);

k_{wi} – коефициент од влијанието на вентилационата воздушна брзина;

k_{gi} – коефициент од влијанието на косината на огранокот;

k_{vi} – коефициент од влијанието на чадот и пожарните гасови;

k_{mi} – коефициент од влијанието на збиеноста на луѓето при евакуацијата;

k_{di} – коефициент од влијанието од специјалните фактори поврзани со вонредната ситуација;

l_{ri} – вистинската должина на патиштата, [m].

Нормалното движење на луѓето ќе го означиме со v_0 . Под влијание на коефициент од типот на огранокот k_{ti} , брзината на евакуација ќе биде $v = \frac{v_0}{k_{ti}}$.

Погоре спомнатите коефициенти се независни едни од други па од нивно заедничко влијание брзината за евакуација ќе биде [34]:

$$v = \frac{v_0}{k_{ti} * k_{wi} * k_{gi} * k_{vi} * k_{mi} * k_{di}} \quad (13.2)$$

Времето потребно за евакуација можеме да го пресметаме како $t = \frac{l_{ri}}{v}$, кое е исто како и $t = \frac{l_i}{v_0}$.

13.4.1.2 Коефициент од типот на огранокот (начин на движење-транспорт)

Типот на подземниот рударски објект може да влијае на брзината на евакуација во случај на вонредни ситуации. На пример, ако луѓето затечени од вонредната ситуација се наоѓаат во објект каде има транспортно средство, тогаш брзината на евакуација ќе биде еднаква на брзината на транспортното средство. Коефициент од типот на огранокот (начин на движење-транспорт) се пресметува со помош на следнава равенка [34]:

$$k_{ti} = \frac{v_0}{v_t} \quad (13.3)$$

Каде што:

v_0 – брзина на нормално движење на луѓето;

v_t – брзина транспортното средство.

13.4.1.3 Коефициент од влијанието на вентилационата воздушна брзина

Вентилацијата е од клучно значење за безбедното и нормално работење на секој рудник за подземна експлоатација. Општо земено во некои ограноци на вентилационата мрежа имаме голема брзина на вентилациониот воздушен проток. Оваа брзината на воздушниот проток може да влијае на брзина за евакуација. Коефициент од влијанието на вентилационата воздушна брзина врз евакуацијата, може да го пресметаме со следнава равенка [34]:

$$k_{wi} = \frac{2P_0 - c_d \rho S v_0 v_w^2}{2P_0} \quad (13.4)$$

Каде што:

P_0 – моќност на движење на човекот, [W];

c_d – коефициент на отпор;

ρ – густина на воздухот, [kg/m³];

S – допирна површина помеѓу човечкото тело и воздушната брзина, [m²];

v_0 – брзина на нормално движење на човекот, [m/s];

v_w^2 – воздушната брзина во огранокот, [m/s].

Табела 13.8. Вредности на параметрите

Table 13.8. Values of parameters

Параметри	Вредност
ρ	1,2 [kg/m ³]
S	0,7225 [m ²]
c_d	0,8
P_0	200 [w]
m	80 [kg]
v_0	1,2 [m/s]

13.4.1.4 Коефициент од влијанието на косината на огранокот

Степенот на косината на тунелот во голема мера влијае на брзината на движење на луѓето. Колку е поголема вредноста на наклонот, толку е поголем отпорот при движење. За пресметка на коефициент од влијанието на косината на огранокот ја користиме следнава равенка [34]:

$$k_{gi} = \frac{mgv_0 \sin \theta_i}{P_0} + \cos \theta_i \quad (13.5)$$

Каде што:

m — тежината на човекот, [kg];

g — гравитационо забрзување, [m/s²];

v_0 — брзина на нормално движење на луѓето, [m/s];

θ_i — агол на косина на тунелот;

P_0 — моќност на движење на човекот, [W].

Кога работниците ќе се движат по падината на огранокот и по хоризонтален огранок, тогаш ќе претпоставиме дека се движат со v_0 (брзина на нормално движење на луѓето) и коефициентот ќе биде $k_{gi} = 1$.

13.4.1.5 Коефициент од влијанието на чадот и пожарните гасови

Штетните и токсичните својства на чадот одамна се познати и дефинирани како едни од главните причини за смртни последици во случај на пожар. Концентрацијата од чадот и пожарните гасови имаат големо влијание во безбедната евакуација и во самата брзина на повлекување. Коефициент од влијанието на чадот и пожарните гасови се пресметува со помош на следнава равенка [34]:

$$k_{vi} = (1 + a_h + L_r) \quad (13.6)$$

Каде што:

a_h — коефициент од влијанието на висината на слојот од чад и пожарни гасови;

L_r — коефициент од влијанието на прегледноста низ чадот и пожарните гасови.

Табела 13.9. Вредности на коефициентот a_h

Table 13.9. Values of the coefficient a_h

Висината на слојот од чад и пожарни гасови	Коефициент a_h
> 6	0
4-6	0,1
2-4	0,5
1,8-2	1
1,6-1,8	2
1,4-1,6	5
1-1,4	10
<1	100

Табела 13.10. Вредности на коефициентот L_r

Table 13.10. Values of the coefficient L_r

Прегледност [m]	Коефициент L_r
>20	1
10-20	1,25
5-10	2,95
3-5	6,25
<3	12,5

13.4.1.6 Коефициент од влијанието на збиеноста на луѓето при евакуацијата

Збиеноста на луѓето при евакуацијата до некој степен влијае на брзината на повлекување. Коефициент од влијанието на збиеноста на луѓето при евакуацијата можеме да го пресметаме како [34]:

$$k_{mi} = \begin{cases} \frac{1}{\sin\{90^\circ * (\frac{d-b}{td-b})\}}, & b < d < t_d \\ 1, & d \geq t_d \end{cases} \quad (13.7)$$

Каде што:

d - претставува интервал помеѓу луѓето (растојание помеѓу луѓето);

td - претставува горна граница на подвижниот интервал;

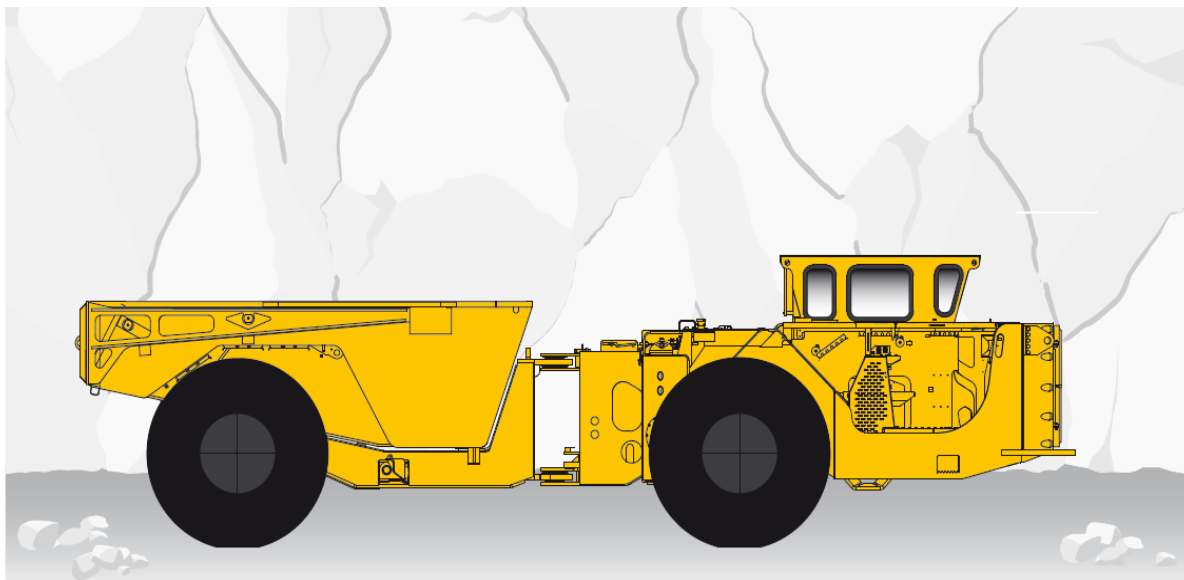
b - претставува големината на телото во хоризонтална насока.

13.4.1.7 Коефициент на влијанието од специјалните фактори поврзани со вонредната ситуација

Со цел да се создаде едноставен математички модел за разни вонредни сосотојби, овој коефициент ќе го сметаме само за екстремни ситуации каде што неговата вредност ќе биде $[1, +\infty]$. Вредноста на коефициентот од $k_{di} = 1$ ќе претставува дека огранокот (тунелот) е безбеден за евакуација, додека вредноста $k_{di} = +\infty$ ќе претставува дека низ селектираниот тунел неможе да се помине.

13.5 Моделирање на пожар настанат од јамски камион Minetruck MT2010

Самиот модел на пожар настанат од работната механизација Minetruck MT2010 ги опишува претпоставените пожарни карактеристики како што се: стапката на ослободување на топлина (heat release rate), преносот на топлина, стапка на горење на материјалот, генерирање на штетни пожарни гасови, чад итн.



Слика 13.5. Minetruck MT2010

Figure 13.5. Minetruck MT2010

Ќе претпоставиме дека пожарот ги зафатил следниве запаливи материјали:

➤ Согорување на гума од Minetruck MT2010

Гума - топлина на согорување



Моларна маса на $C_4H_6 = 4 * 12,011 + 6 * 1,008 = 54,04 \text{ g/mol}$

Сооднос на горење O_2 :гума

$$O_2:\text{Гума} = \frac{5,5 * 2 * 15,9}{54,04} = 3,2 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg Дизел}}$$

$$O_2 \text{ е } 23\% \text{ од масата на воздухот} = \frac{3,2 * 100}{23} = 13,91 \frac{\text{kg воздух}}{\text{kg гориво}}$$

Енталпија на формирање:

$$C_4H_6 = -50 \text{ kJ/mol}$$

$$CO_2 = -393 \text{ kJ/mol}$$

$$H_2O = -286 \text{ kJ/mol}$$

$$O_2 = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$3 * (-286) + 4(-393) - 4 * 0 - (-50) = -2.378 \text{ kJ/mol}$$

Конвертирање на -2.378 kJ/mol во $\text{kJ/kg} =$

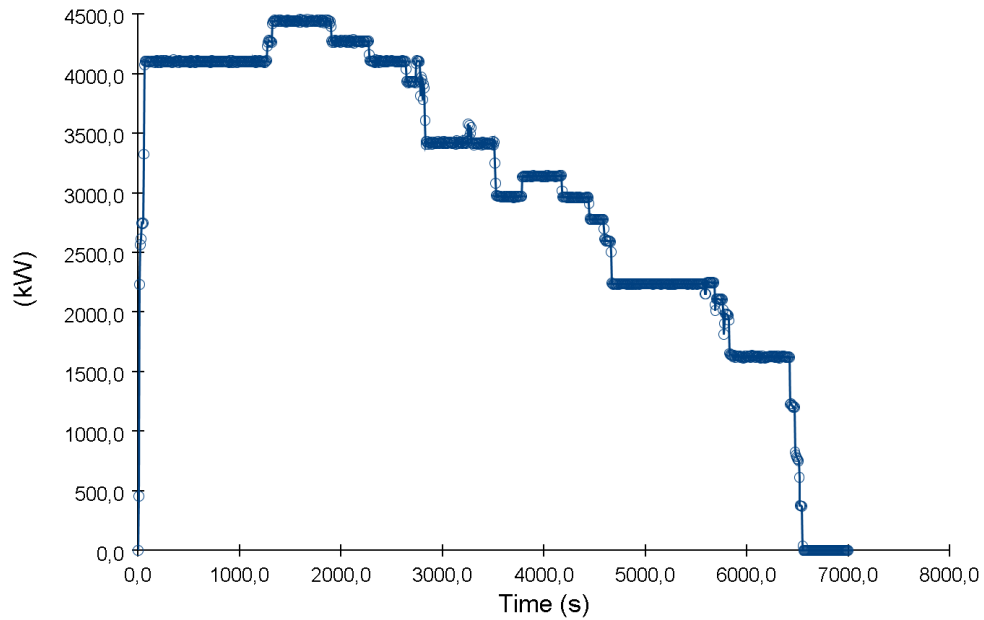
$$= \frac{\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{\text{molar mass}} * 1.000 = \frac{-2.378}{54,04} * 1.000 = -44.004 \text{ kJ/kg}$$

Табела 13.11. Хемиски и физички карактеристики на гумата

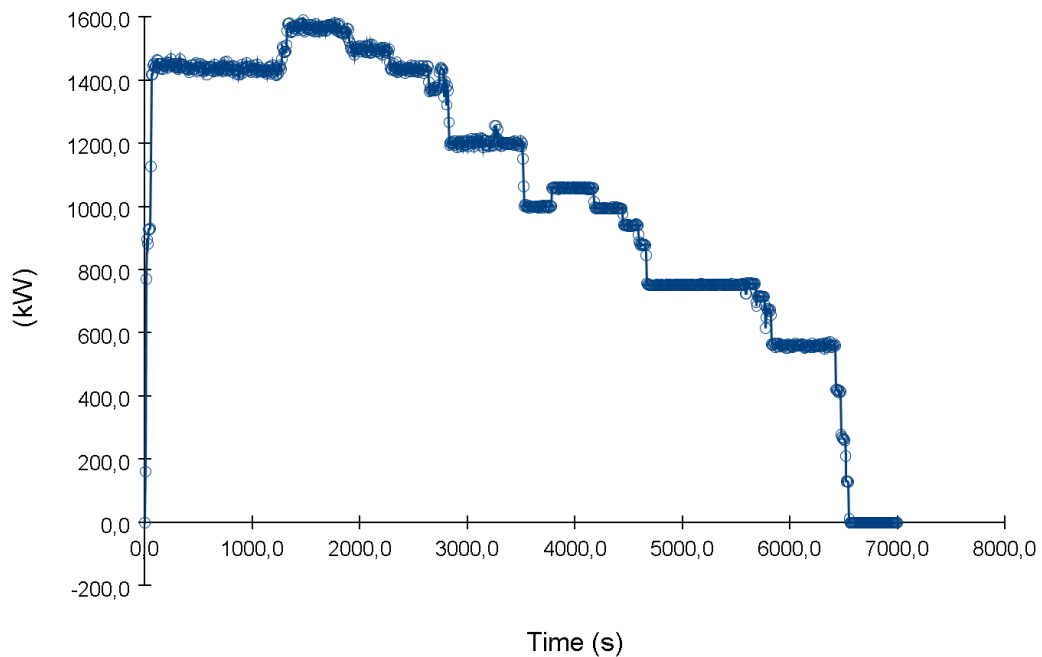
Table 13.11. Chemical and physical characteristics of the tire

Гума	
Големина на гума	Гума 18,00 R25
Тежина на една гума	489 kg
Густина на гума	1.150 kg/m ³
Поедноставена хемиска (hydrocarbon) формула	C ₄ H ₆
Топлина на согорување	44.004 kJ/kg
Стапка на горење на материјалот kg/m ² *s (експериментален податок) [37]	0,062 kg/m ² *s

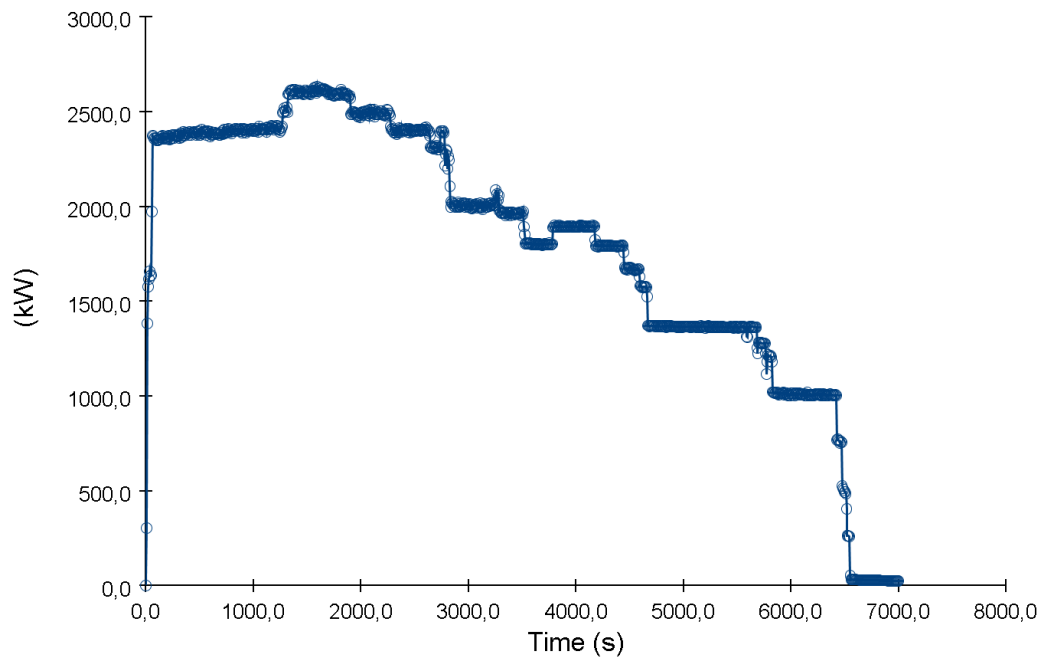
Во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, со согорување на една гума со тежина од 489 kg и со погоре споменатите хемиски и физички карактеристики ги добиваме следниве резултати:



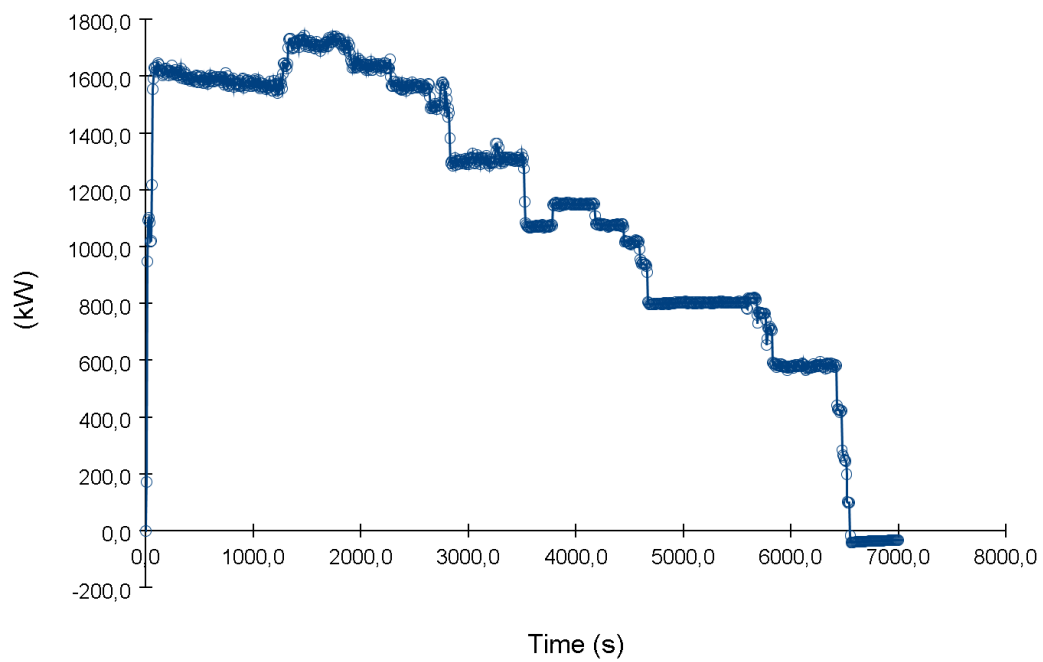
Слика 13.6. Стапка на ослободување на топлина
Figure 13.6. Heat release rate - HRR



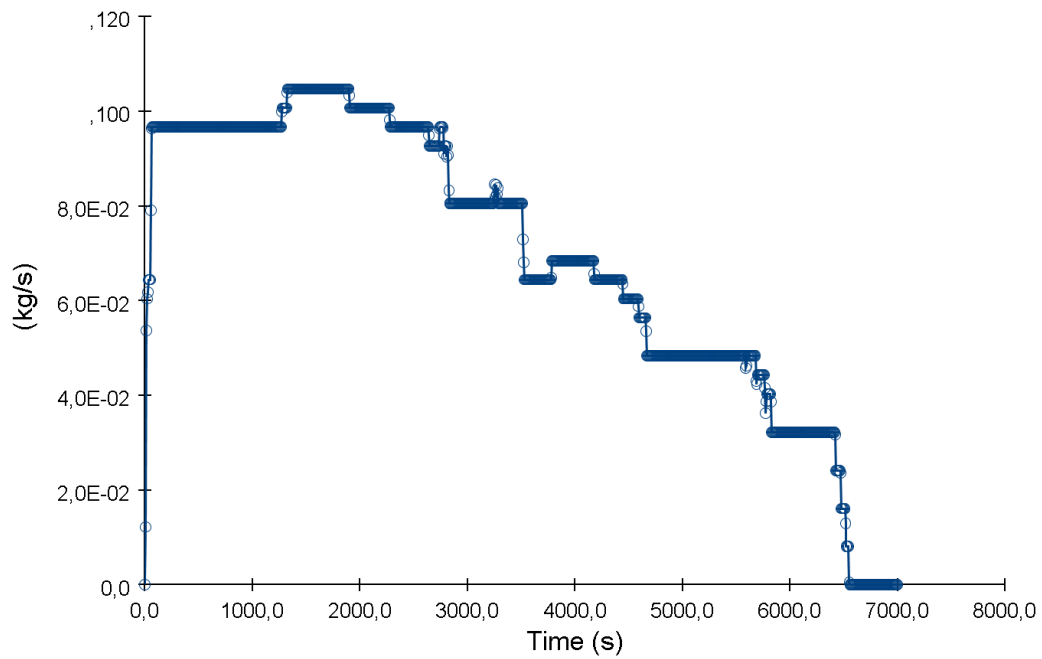
Слика 13.7. Пренос на топлина со радијација
Figure 13.7. Heat transfer by radiation



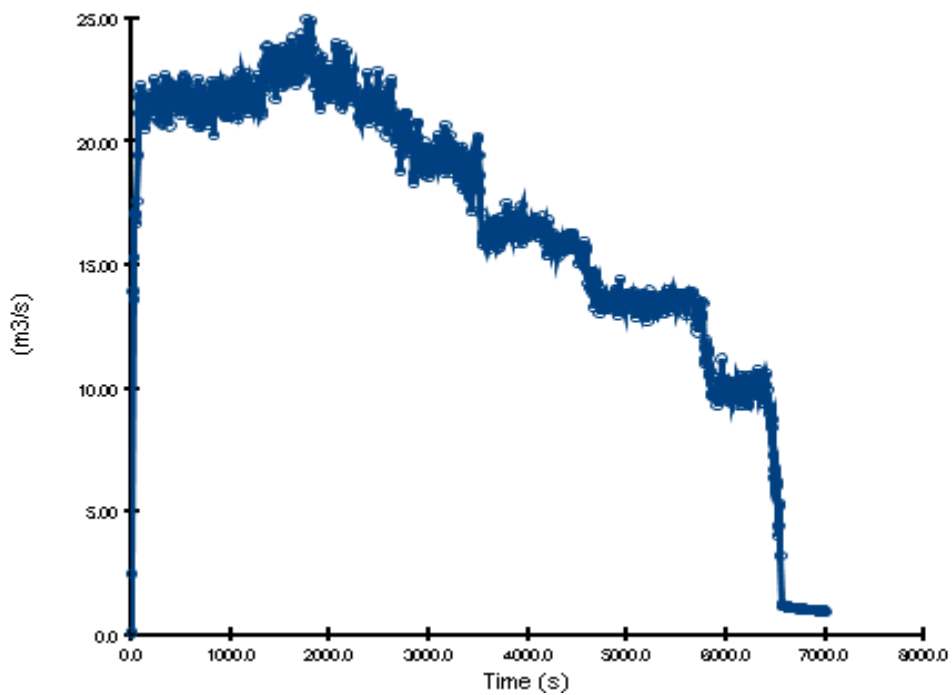
Слика 13.8. Пренос на топлина со конвекција
 Figure 13.8. Heat transfer by convection



Слика 13.9. Пренос на топлина со кондукција
 Figure 13.9. Heat transfer by conduction

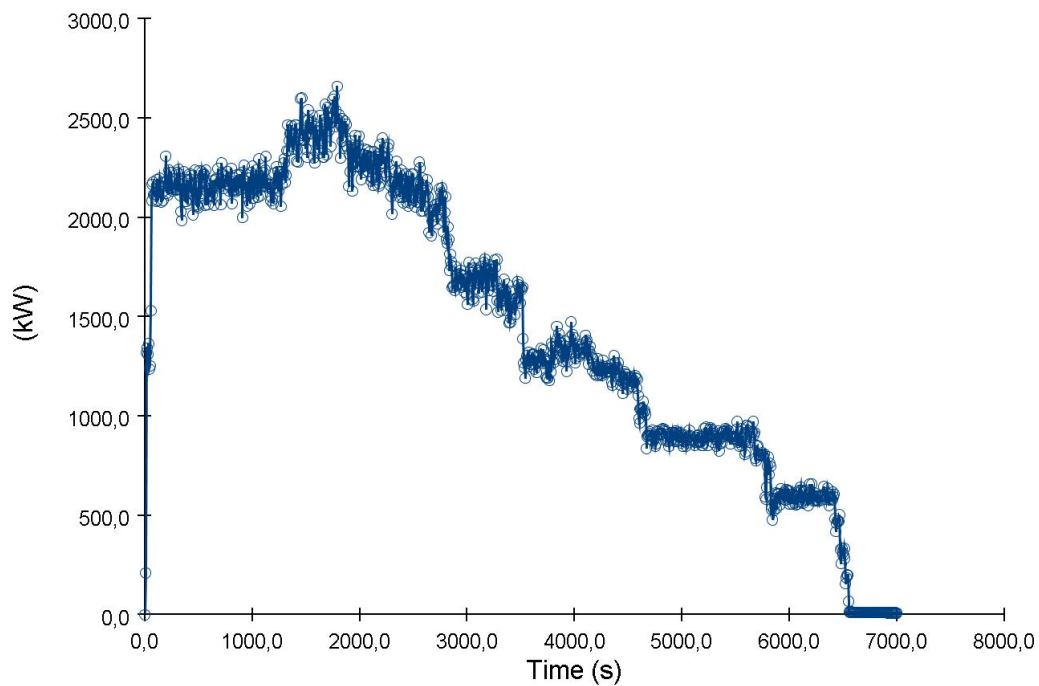


Слика 13.10. Стапка на горење на материјалот (гумата)
 Figure 13.10. Burning rate of material (tire)



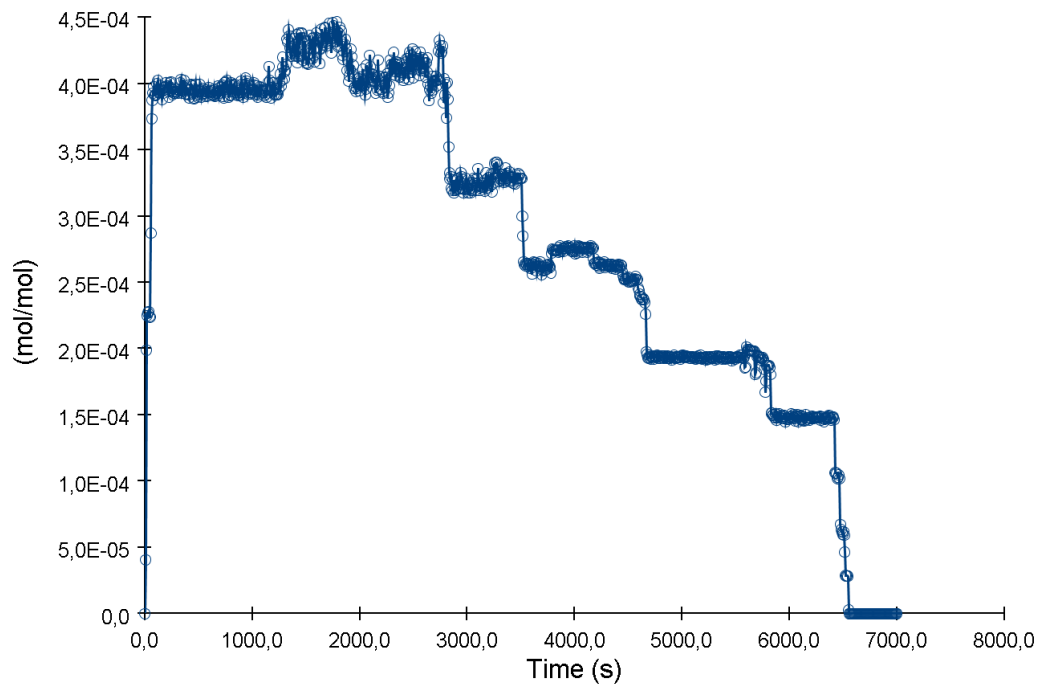
Слика 13.11. Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од
 пожарот

Figure 13.11. Volume flow of smoke and fire gases generated by the fire



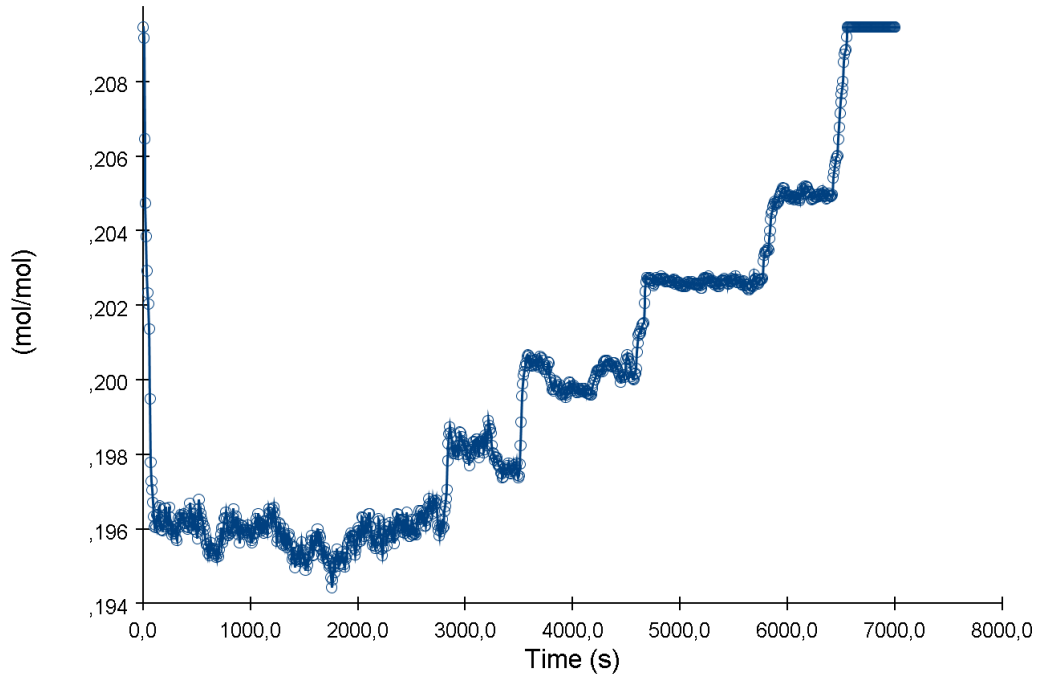
Слика 13.12. Проток на топлина од пожарот

Figure 13.12. Heat flow from fire

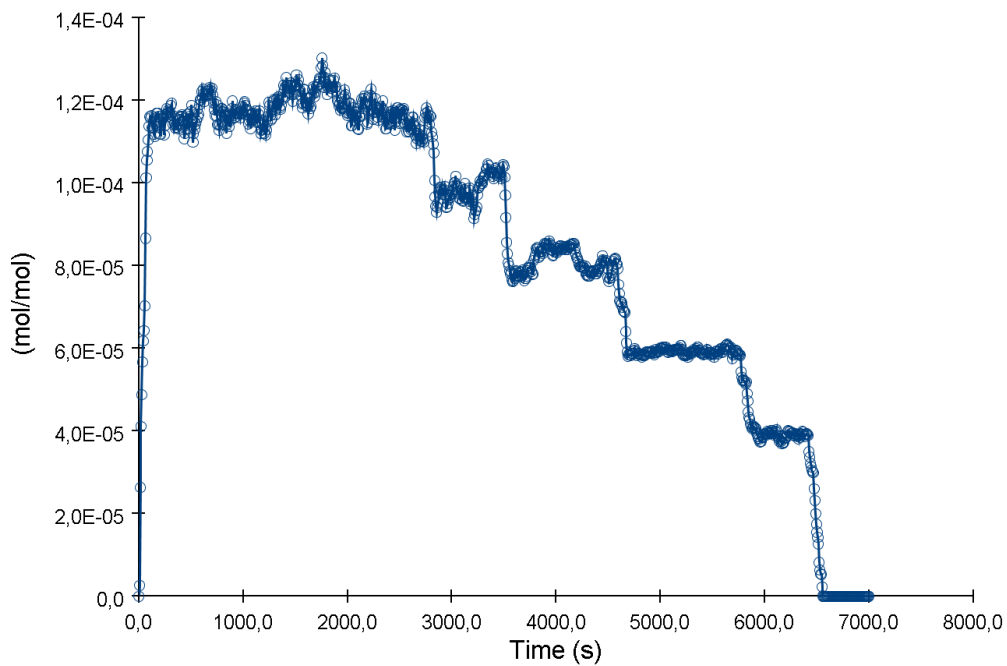


Слика 13.13. Генерирање на јаглерод моноксид - CO од пожарот

Figure 13.13. Generation of carbon monoxide - CO from fire



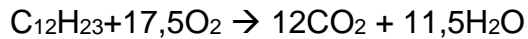
Слика 13.14. Волуменска содржина на кислород во пожарното место
 Figure 13.14. Volume oxygen content in the fire place



Слика 13.15. Генерирање на саѓи од пожарот
 Figure 13.15. Generating soot from fire

➤ Согорување на дизел гориво од Minetruck MT2010

Дизел- топлина на согорување



Моларна маса на $C_{12}H_{23} = 12 * 12,011 + 23 * 1,008 = 167,3 \text{ g/mol}$

Сооднос на горење O_2 :дизел

$$O_2:\text{Дизел} = \frac{17,5 * 2 * 15,9}{167,3} = 3,32 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg Дизел}}$$

$$O_2 \text{ е } 23\% \text{ од масата на воздухот} = \frac{3,32 * 100}{23} = 14,43 \frac{\text{kg воздух}}{\text{kg гориво}}$$

Енталпија на формирање:

$$C_{12}H_{23} = -303,4 \text{ kJ/mol}$$

$$CO_2 = -393 \text{ kJ/mol}$$

$$H_2O = -286 \text{ kJ/mol}$$

$$O_2 = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$11,5 * (-286) + 12(-394) - 17,5 * 0 - (-303,4) = -7.714 \text{ kJ/mol}$$

Конвертирање на -7.714 kJ/mol во $\text{kJ/kg} =$

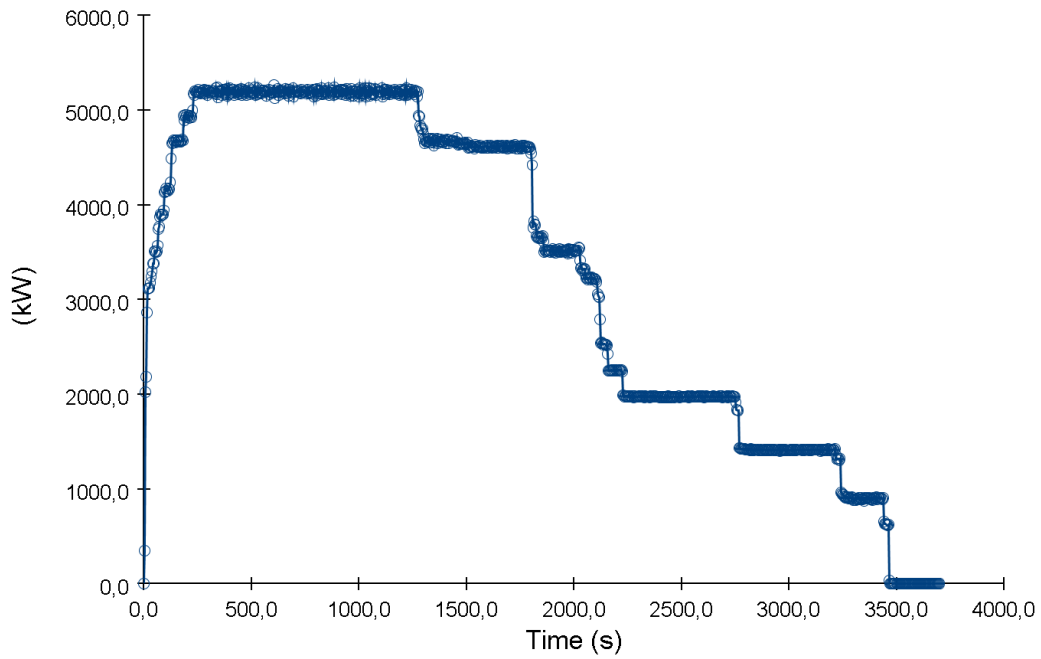
$$= \frac{\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{\text{molar mass}} * 1.000 = \frac{-7.714}{167,3} * 1.000 = -46.108 \text{ kJ/kg}$$

Табела 13.12. Хемиски и физички карактеристики на дизел гориво

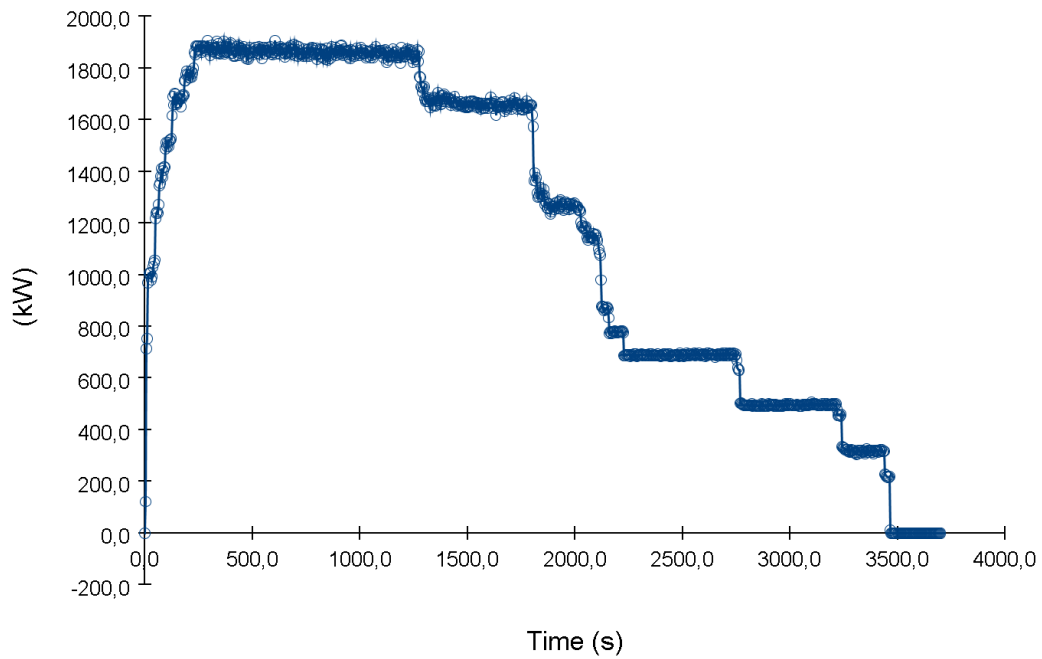
Table 13.12. Chemical and physical characteristics of diesel fuel

Дизел гориво	
Капацитет на резервоар	379 L
Претпоставка на останато дизел гориво во резервоарот	270 L
Густина на дизел гориво	918 kg/m ³
Поедноставена хемиска (hydrocarbon) формула	C ₁₂ H ₂₃
Топлина на согорување	46.108 kJ/kg
Стапка на горење на материјалот kg/m ² *s (експериментален податок) [81]	0,045 kg/m ² *s

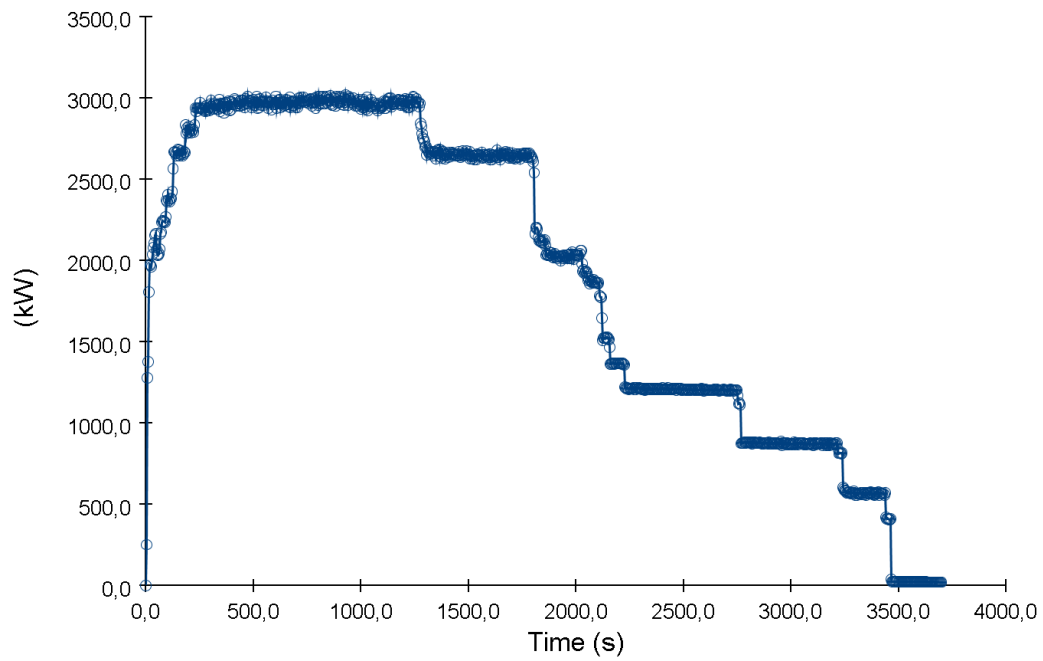
Во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, со согорување на 270 литри на дизел гориво и со погоре споменатите хемиски и физички карактеристики ги добиваме следниве резултати:



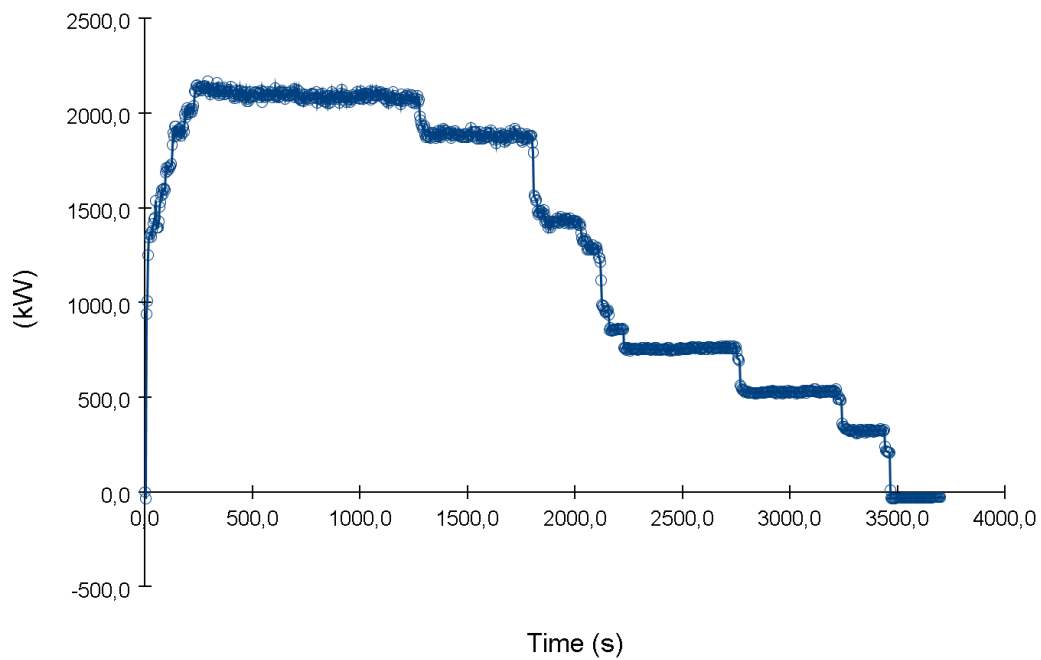
Слика 13.16. Стапка на ослободување на топлина
 Figure 13.16. Heat release rate - HRR



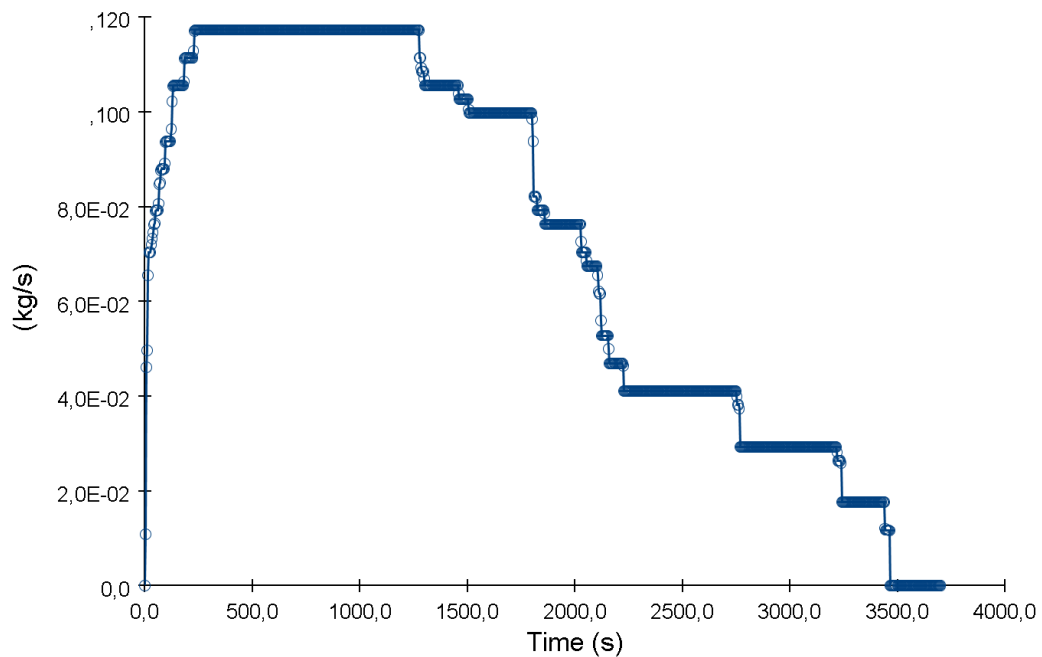
Слика 13.17. Пренос на топлина со радијација
 Figure 13.17. Heat transfer by radiation



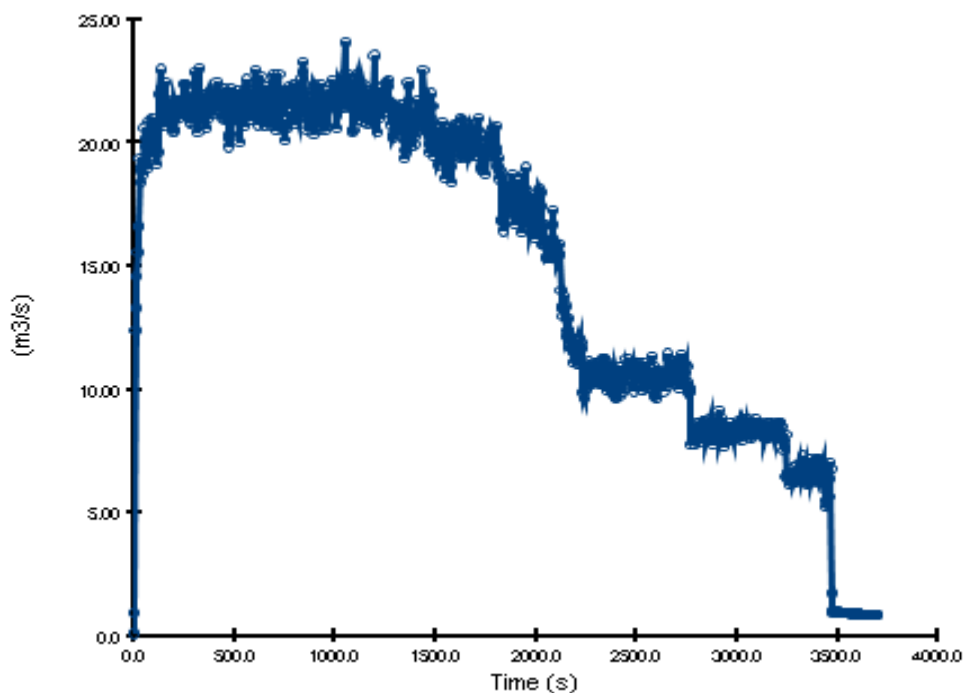
Слика 13.18. Пренос на топлина со конвекција
 Figure 13.18. Heat transfer by convection



Слика 13.19. Пренос на топлина со кондукција
 Figure 13.19. Heat transfer by conduction

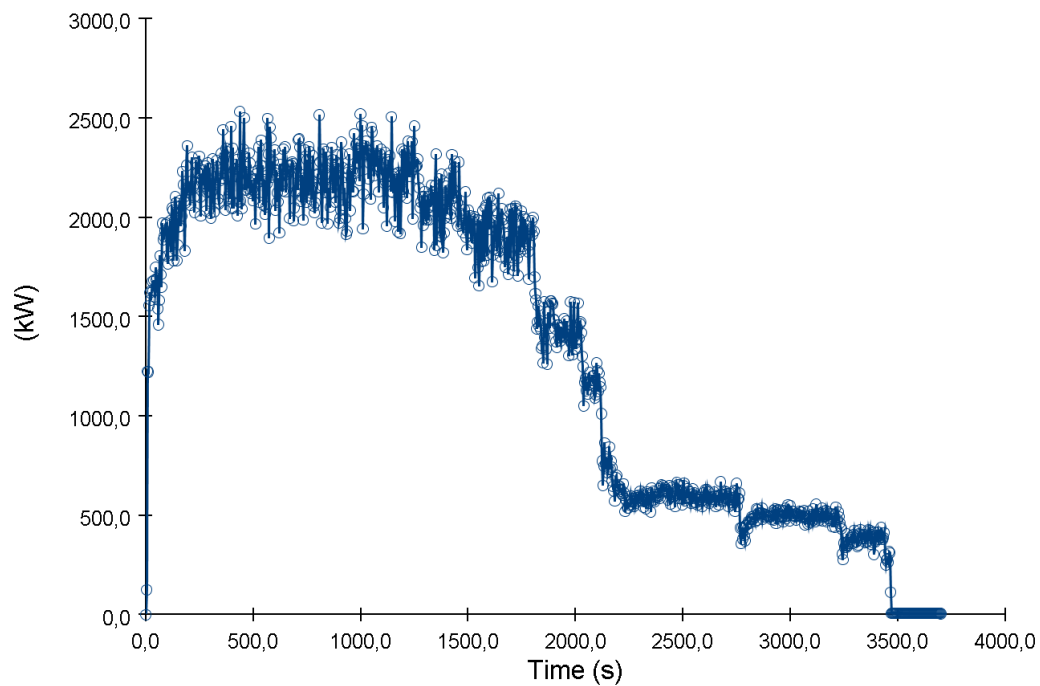


Слика 13.20. Стапка на горење на материјалот (дизел гориво)
 Figure 13.20. Burning rate of material (diesel fuel)

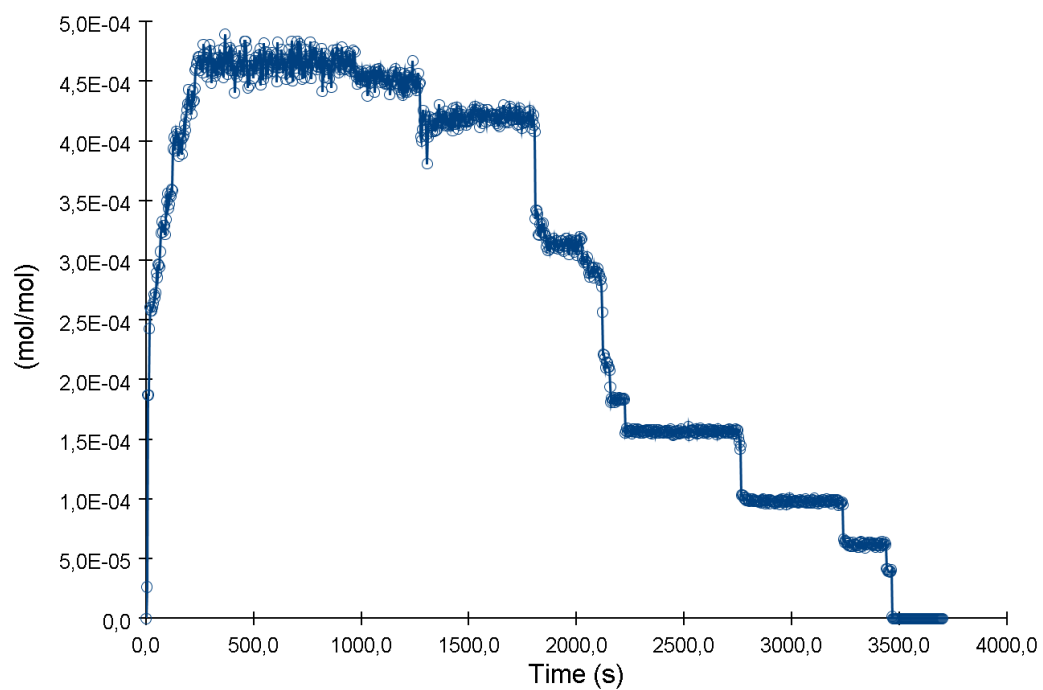


Слика 13.21. Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од
 пожарот

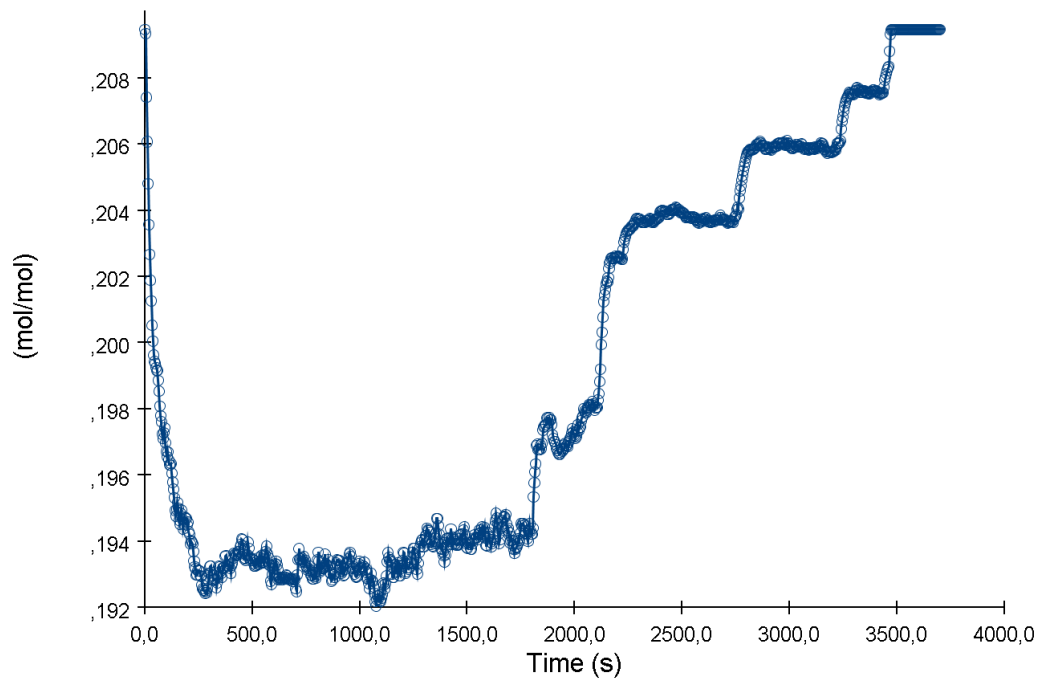
Figure 13.21. Volume flow of smoke and fire gases generated by the fire



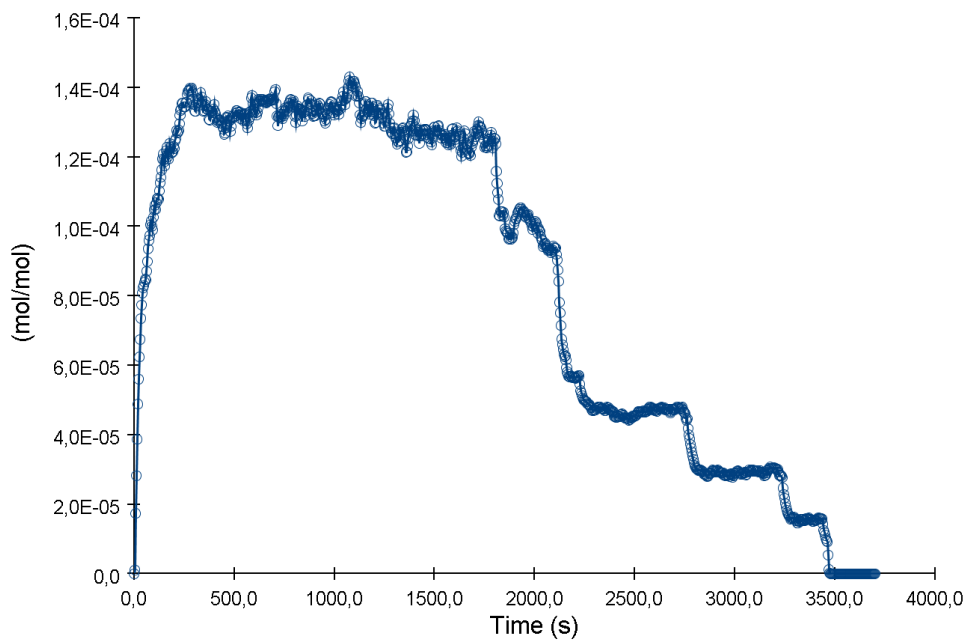
Слика 13.22. Проток на топлина од пожарот
 Figure 13.22. Heat flow from fire



Слика 13.23. Генерирање на јаглерод моноксид - CO од пожарот
 Figure 13.23. Generation of carbon monoxide - CO from fire



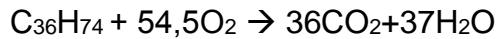
Слика 13.24. Волюменска содржина на кислород во пожарното место
 Figure 13.24. Volume oxygen content in the fire place



Слика 13.25. Генерирање на саѓи од пожарот
 Figure 13.25. Generating soot from fire

➤ Согорување на Хидраулично масло од Minetruck MT2010

Хидраулично масло - топлина на согорување



Моларна маса $C_{36}H_{74} = 36 * 12,001 + 74 * 1,008 = 506,3 \text{ g/mol}$

Сооднос на горење O_2 : Хидраулично масло

$$O_2: \text{Хидраулично масло} = \frac{54,5 * 2 * 15,9}{506,3} = 3,42 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg Хидраулично масло}}$$

$$O_2 \text{ е } 23\% \text{ од масата на воздухот} = \frac{3,42 * 100}{23} = 14,86 \frac{\text{kg воздух}}{\text{kg гориво}}$$

Енталпија на формирање:

$$C_{12}H_{23} = -188,04 \text{ kJ/mol}$$

$$CO_2 = -393 \text{ kJ/mol}$$

$$H_2O = -286 \text{ kJ/mol}$$

$$O_2 = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$37 * (-286) + 36(-394) - 54,5 * 0 - (-188,04) = -24.578 \text{ kJ/mol}$$

Конвертирање на -24.578 kJ/mol во $\text{kJ/kg} =$

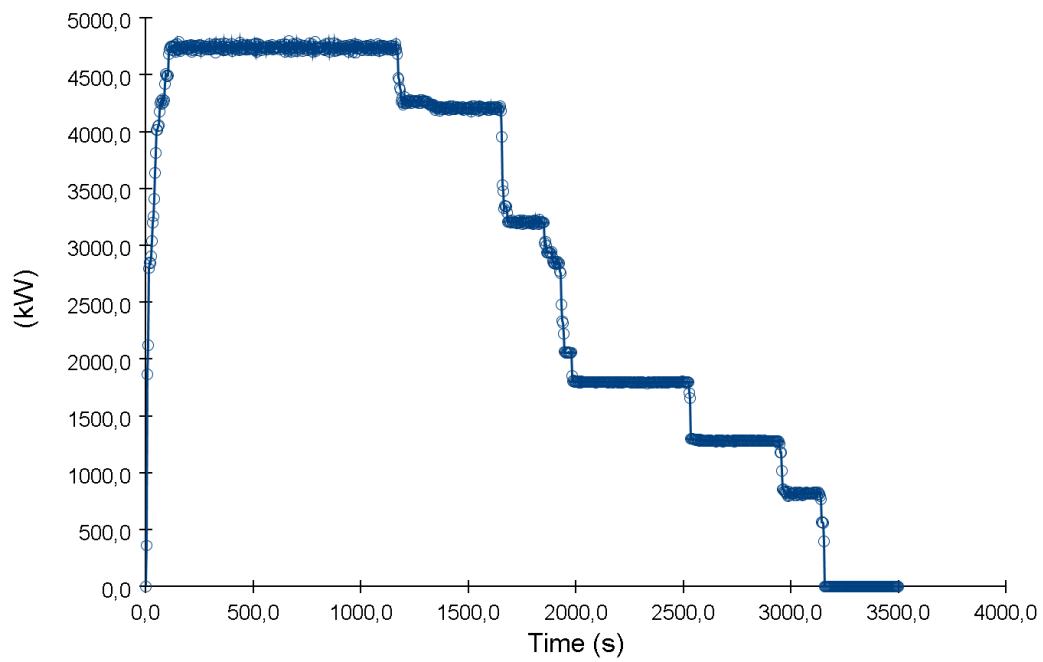
$$= \frac{\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{\text{molar mass}} * 1.000 = \frac{-24.578}{506,3} * 1.000 = -48.544 \text{ kJ/kg}$$

Табела 13.13. Хемиски и физички карактеристики на хидраулично масло

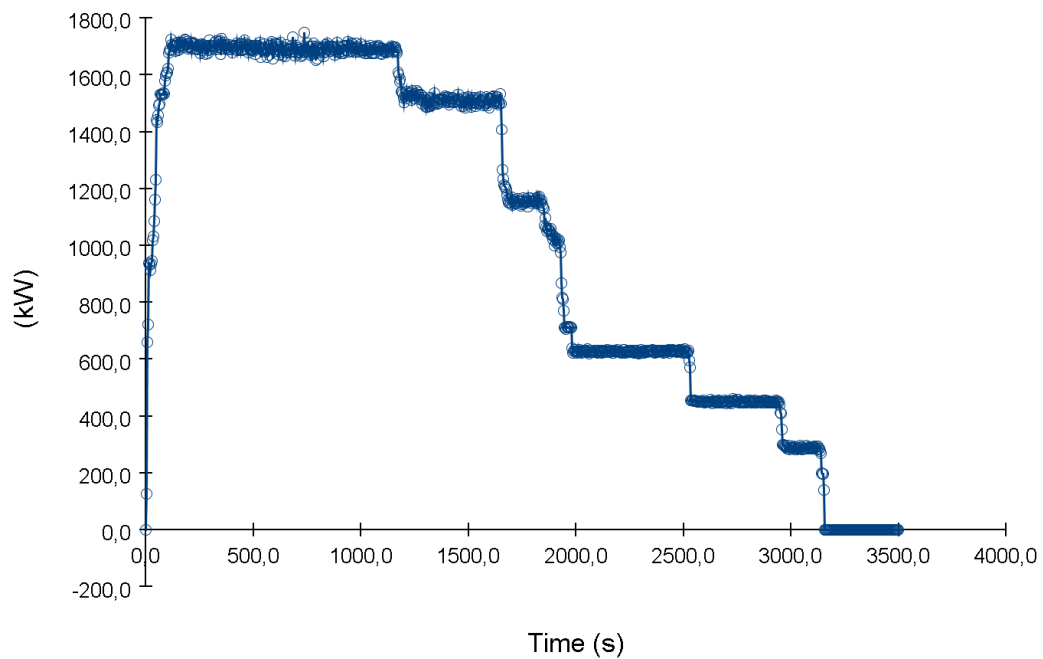
Table 13.13. Chemical and physical characteristics of hydraulic oil

Хидраулично масло	
Капацитет на резервоар	223 L
Густина на хидраулично масло	760 kg/m ³
Поедноставена хемиска (hydrocarbon) формула	C ₃₆ H ₇₄
Топлина на согорување	48.544 kJ/kg
Стапка на горење на материјалот kg/m ² *s (експериментален податок) [81]	0,039 kg/m ² *s

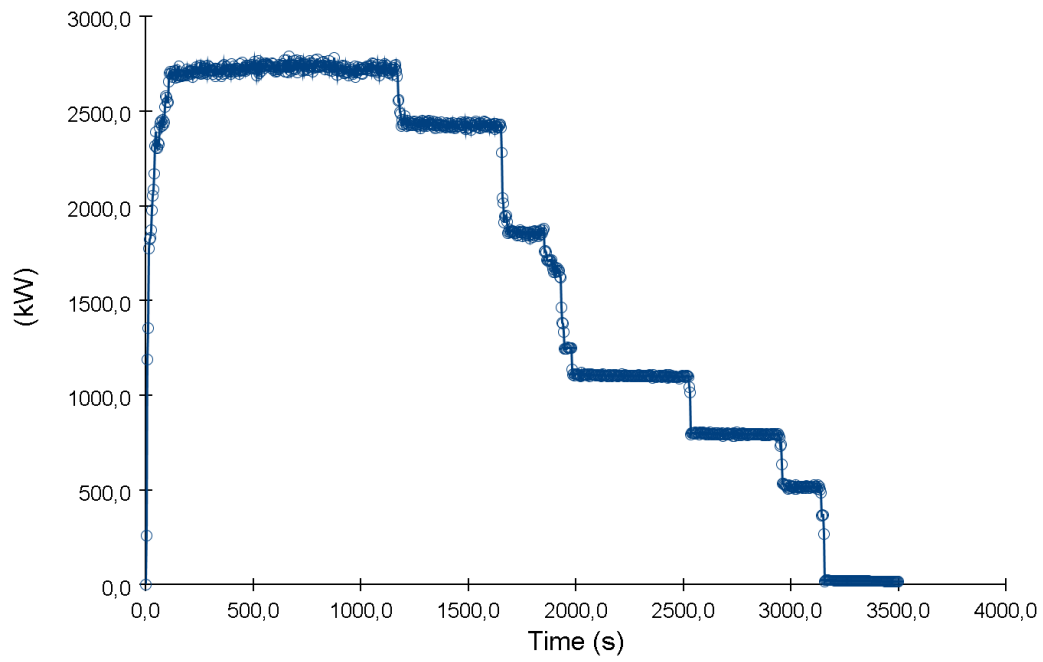
Во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, со согорување на 223 литри на хидраулично масло и со погоре споменатите хемиски и физички карактеристики ги добиваме следниве резултати:



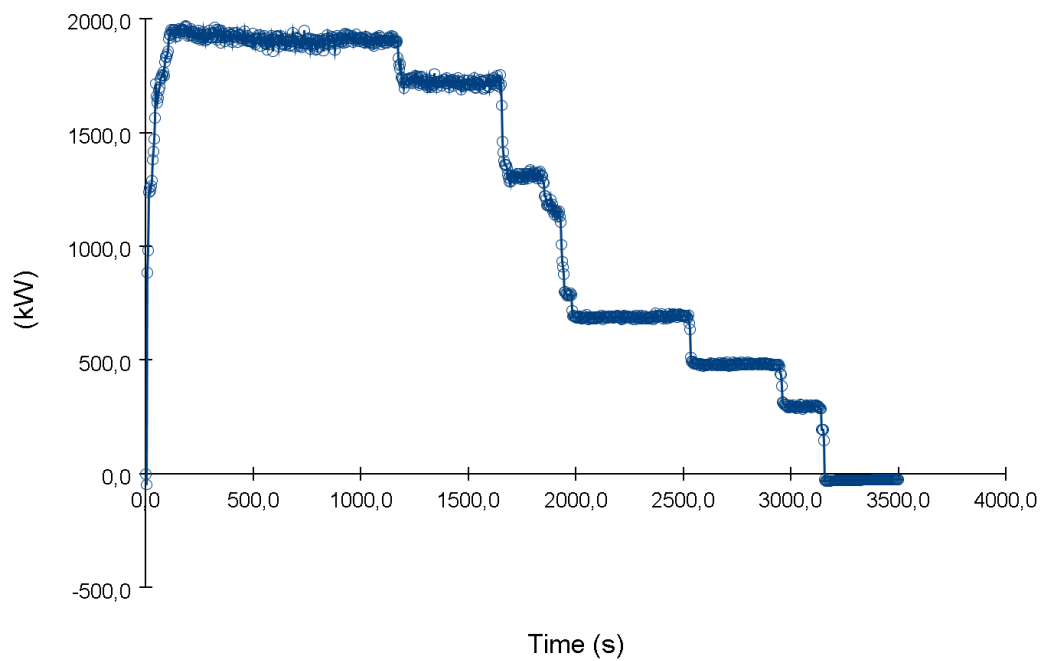
Слика 13.26. Стапка на ослободување на топлина
 Figure 13.26. Heat release rate - HRR



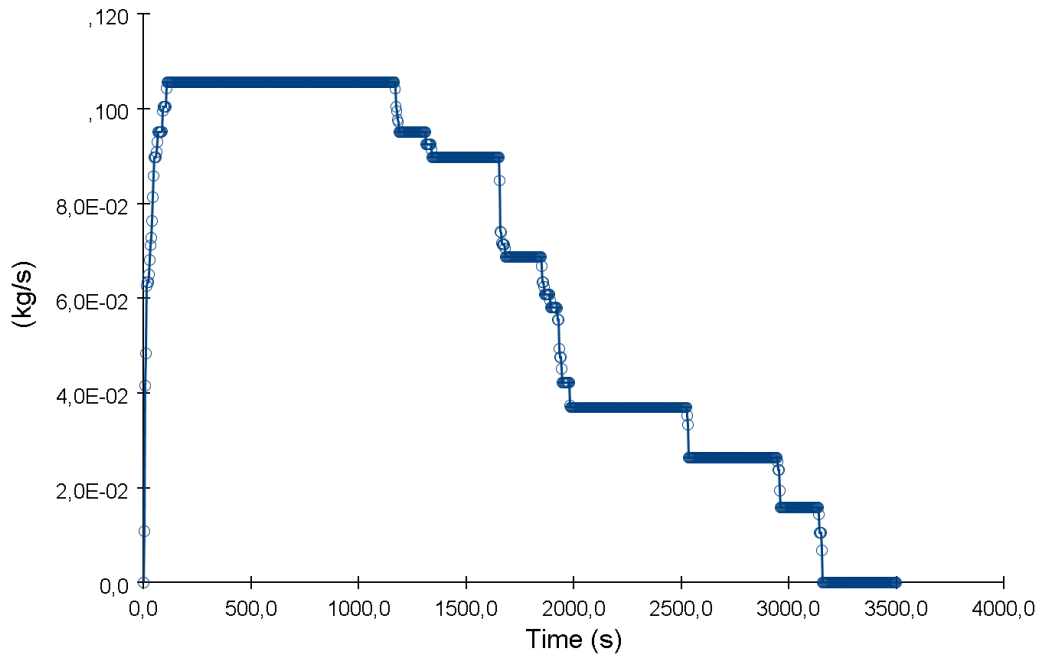
Слика 13.27. Пренос на топлина со радијација
 Figure 13.27. Heat transfer by radiation



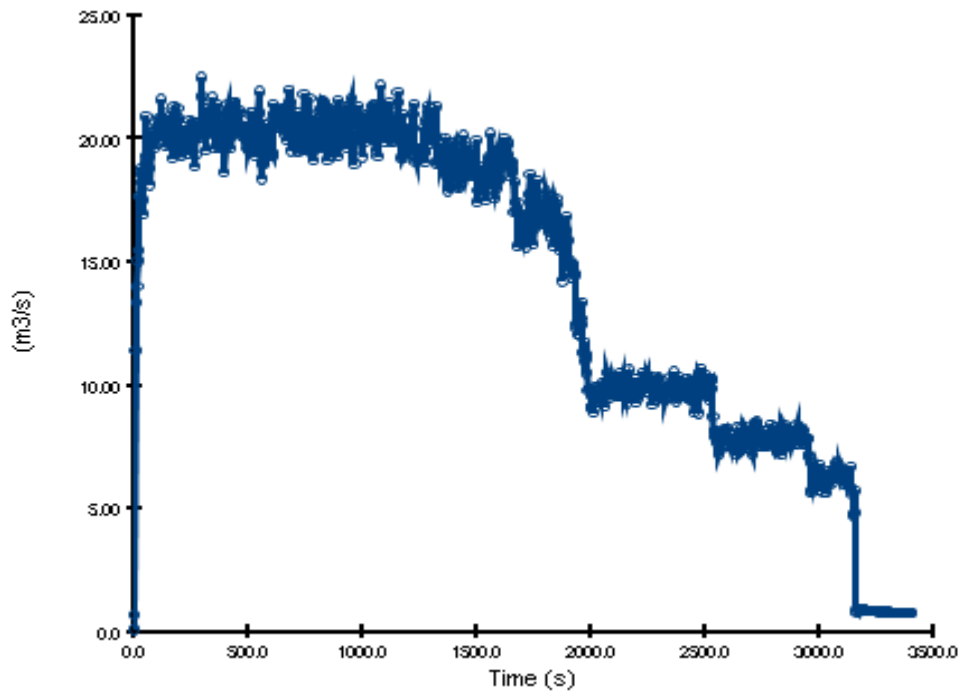
Слика 13.28. Пренос на топлина со конвекција
 Figure 13.28. Heat transfer by convection



Слика 13.29. Пренос на топлина со кондукција
 Figure 13.29. Heat transfer by conduction

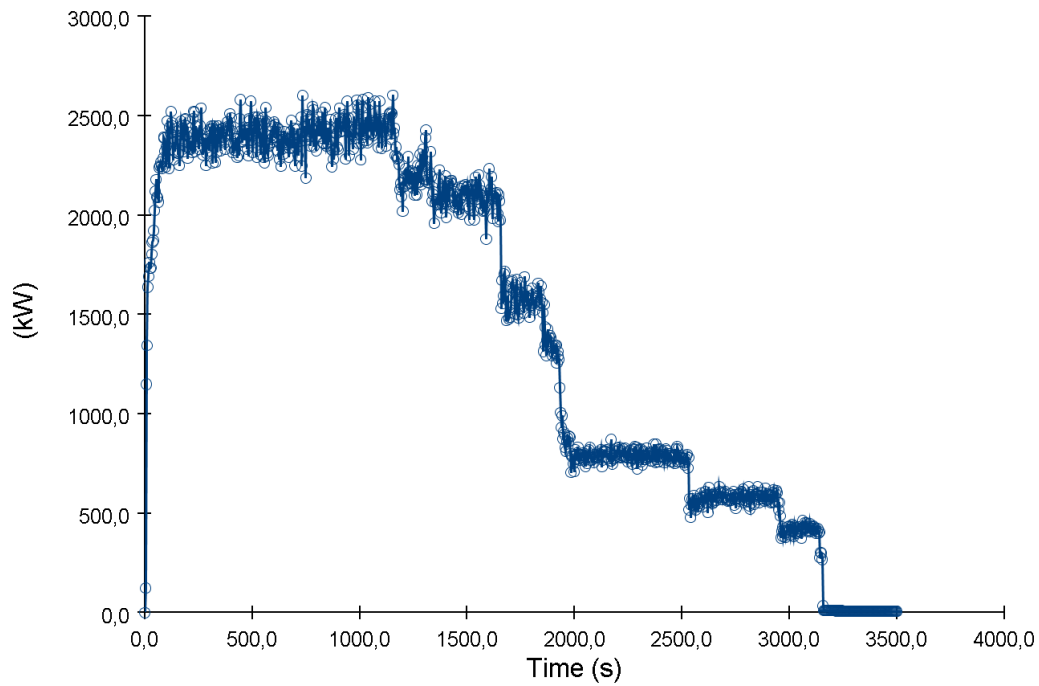


Слика 13.30. Стапка на горење на материјалот (хидраулично масло)
 Figure 13.30. Burning rate of material (hydraulic oil)

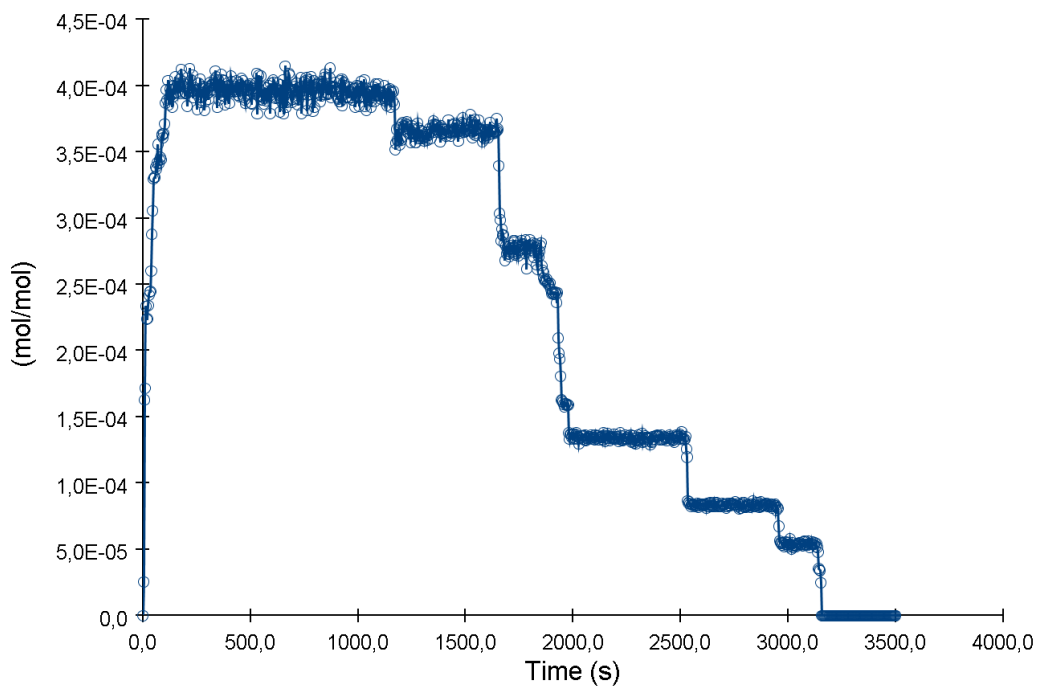


Слика 13.31. Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот

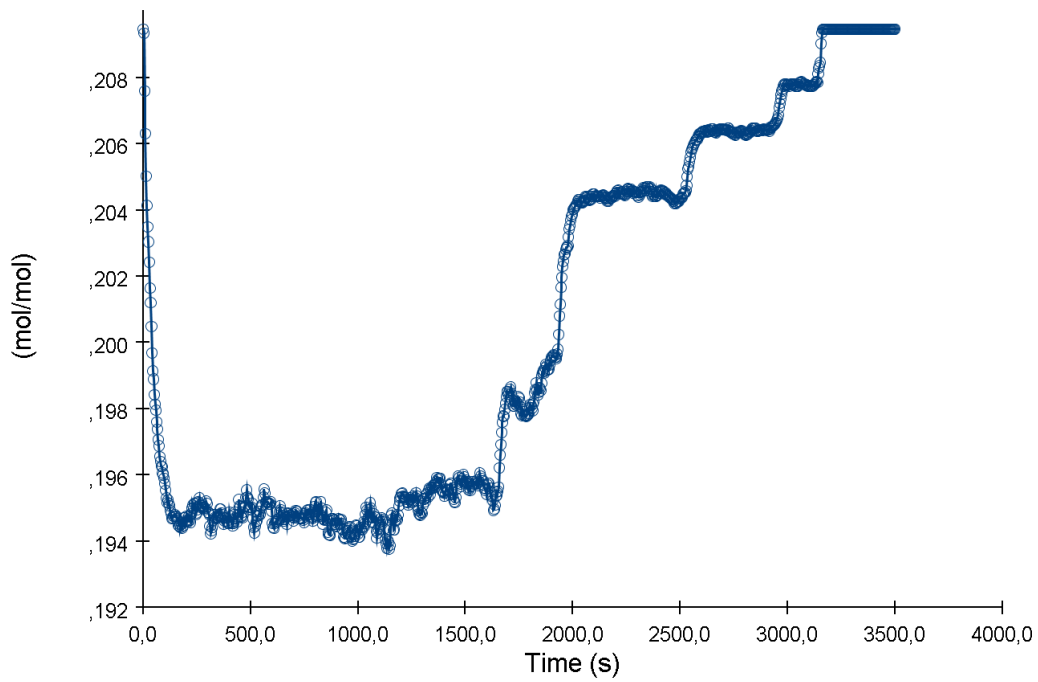
Figure 13.31. Volume flow of smoke and fire gases generated by the fire



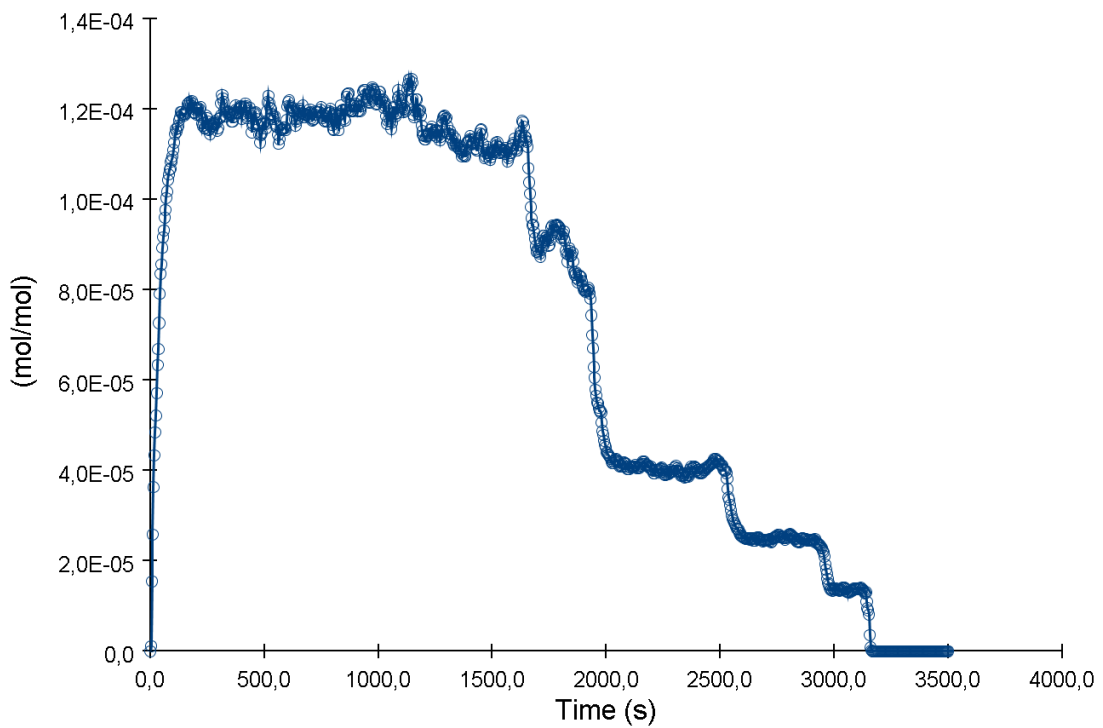
Слика 13.32. Проток на топлина од пожарот
 Figure 13.32. Heat flow from fire



Слика 13.33. Генерирање на јаглерод моноксид - CO од пожарот
 Figure 13.33. Generation of carbon monoxide - CO from fire



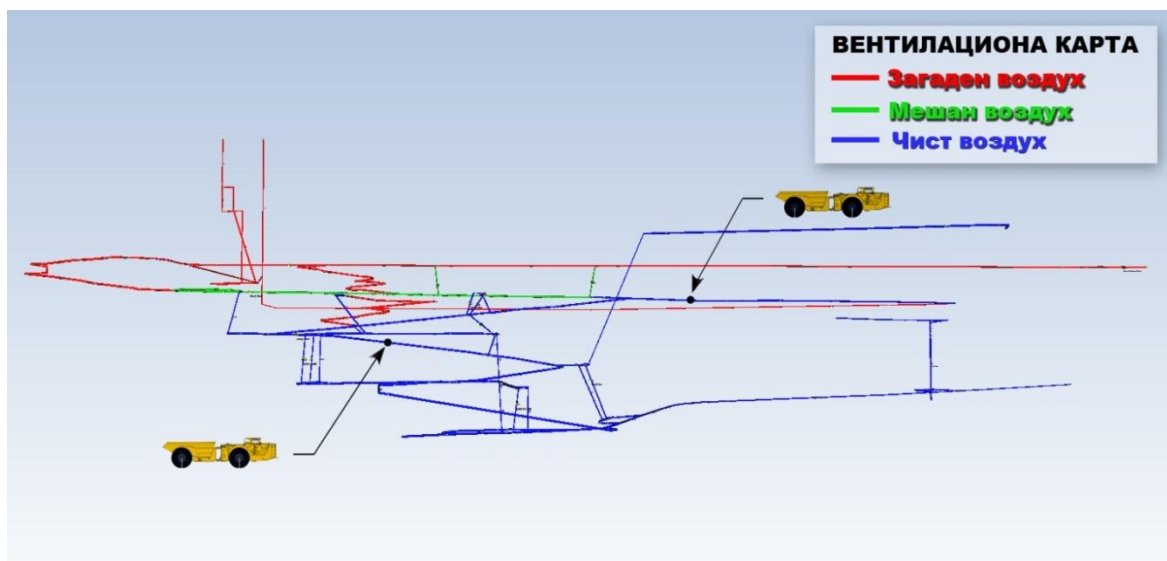
Слика 13.34. Волуменска содржина на кислород во пожарното место
 Figure 13.34. Volume oxygen content in the fire place



Слика 13.35. Генерирање на саѓи од пожарот
 Figure 13.35. Generating soot from fire

13.5.1. Систем за евакуација и спасување од пожар настанат од јамски камион Minetruck MT2010

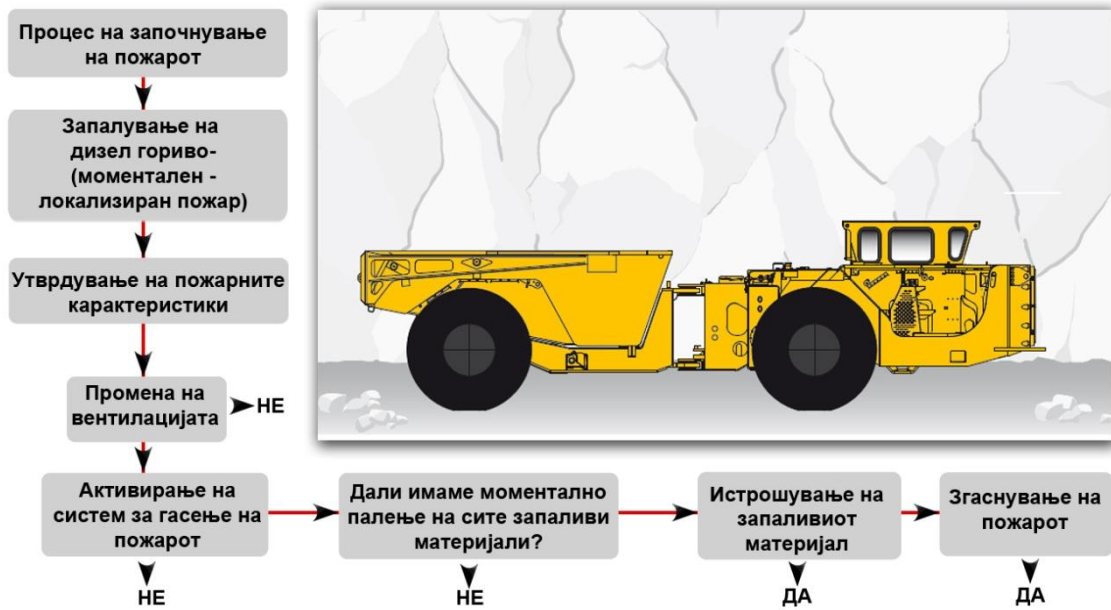
За идентификување на можните пожарни сценарија во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ ги користевме прирачниците за работните процесите и работната можанизација, со што беше направена анализа на пожарен ризик со чија помош ги идентификувавме локациите на можните пожарни сценарија од јамскиот камион Minetruck MT2010.



Слика 13.36. Локации на можните пожарни сценарија од јамски камион, Minetruck MT2010

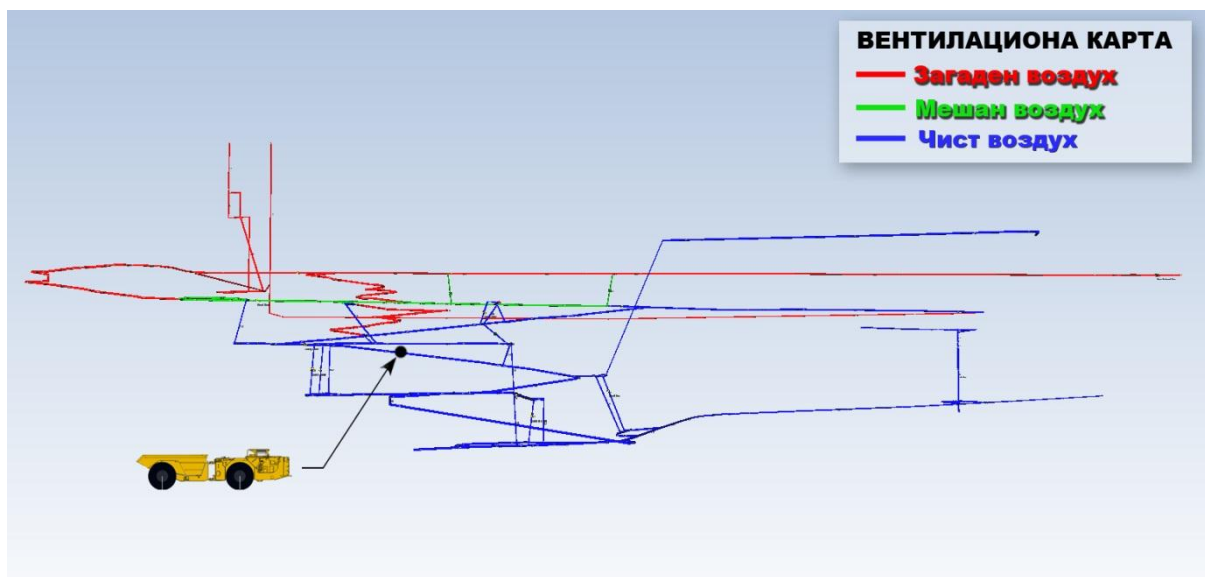
Figure 13.36. Locations of possible fire scenarios from working machinery, Minetruck MT2010

13.5.1.1 Пожарно сценарио-1



Слика 13.37. Моделирање на пожарно сценарио-1

Figure 13.37. Modeling of fire scenario-1



Слика 13.38. Локација на моделираното пожарно сценарио-1

Figure 13.38. Location of the modeled fire scenario-1

За моделирање на пожарно сценарио-1, ќе претпоставиме механички проблем на јамскиот камион Minetruck MT2010, од кој ќе истече преостанатото дизел гориво од резервоарот и истото ќе се запали. За ова пожарно сценарио ќе претпоставиме дека во резервоарот има преостанато околу 270 литри на дизел гориво.

За пресметка на движењето на чадот и пожарните гасови во предходно зададена локација во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ ќе го користиме софтверот MINEFIRE PRO+. Во софтверот MINEFIRE PRO+ ги внесуваме предходно пресметаните пожарни карактеристики од софтверот Pyrosim за пожар настанат од истекување на 270 литри на дизел гориво од јамскиот камион Minetruck MT2010.

Табела 13.14. Влезни пожарни параметри во софтверот MINEFIRE PRO+ за пожарно сценарио-1

Table 13.14. Input fire parameters in software MINEFIRE PRO + for fire scenario-1

Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот, [m ³ /s]	Концентрација на јаглерод моноксид во волуменскиот проток на чад и пожарни гасови CO, [%]	Проток на топлина од пожарот, [kW]	Концентрација на кислород во пожарното место O ₂ , [%]	Волуменски проток на воздух во огранокот Q, [m ³ /s]	Време на целосно развивање на пожарот [min]
12,7	0,0272	1.247,4	20	17,76	1

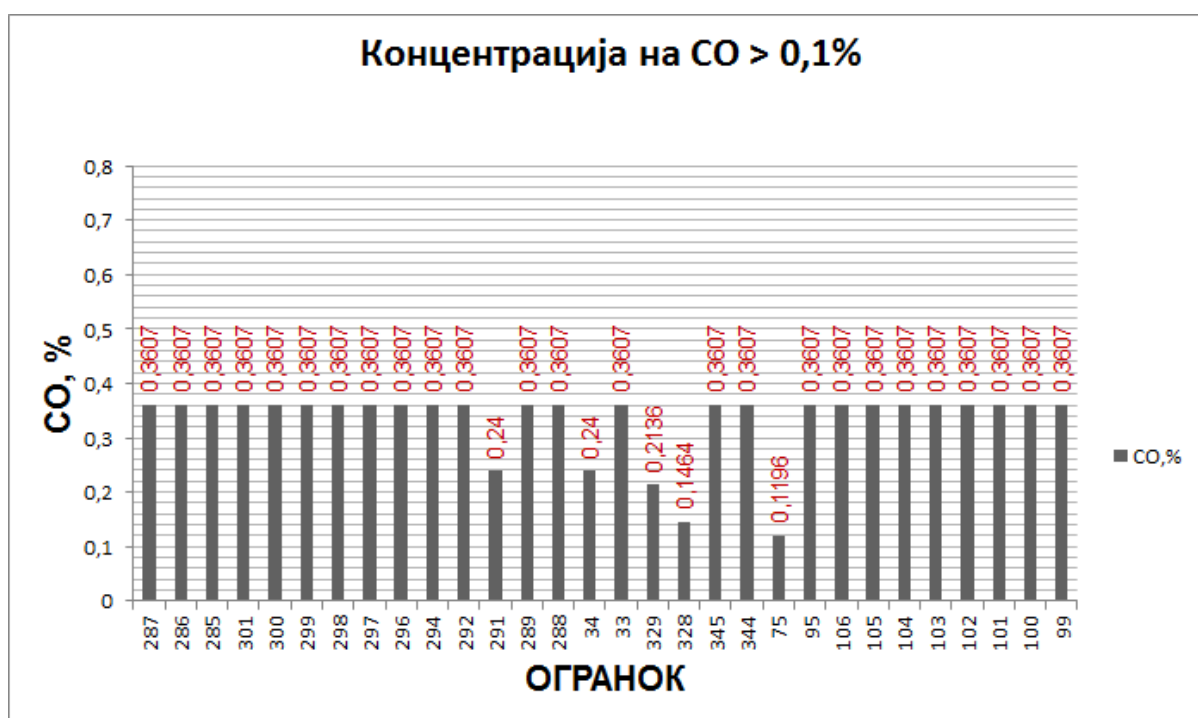
Од направената анализа и пресметки на пожарното сценарио-1, за јамски камион Minetruck MT2010, со влезни параметри дадени во табела 13.14, за моментален (локализиран) пожар настанат од истекување и запалување на 270 литри на дизел гориво, ги добивме следниве резултати:

Табела 13.15. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-1, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Table 13.15. Analysis and calculations of fire scenario-1, 90 seconds after fire event

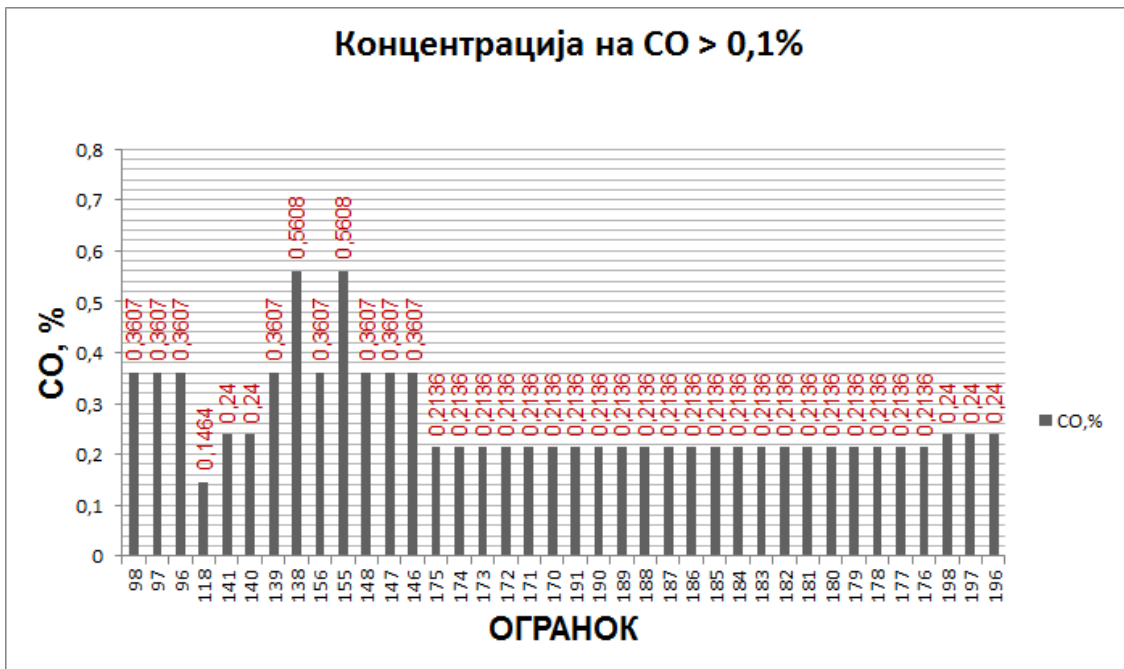
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
287	22,7	49,7	0,3607
286	22,7	27,8	0,3607
285	22,7	29,0	0,3607
301	22,7	36,8	0,3607
300	22,7	41,0	0,3607
299	22,7	33,2	0,3607
298	22,7	32,6	0,3607
297	22,7	31,8	0,3607
296	22,7	30,2	0,3607
295	16,5	28,7	0,0786
294	22,7	27,6	0,3607
293	16,5	27,3	0,0786
292	22,7	54,0	0,3607
291	39,3	27,0	0,2400
290	16,5	30,6	0,0786
289	22,7	51,3	0,3607
288	23,7	75,1	0,3607
34	37,3	25,0	0,2400
33	22,7	28,6	0,3607
329	39,5	21,0	0,2136
328	57,6	20,4	0,1464
345	3,8	74,3	0,3607
344	23,7	75,6	0,3607
75	70,5	20,3	0,1196
95	22,7	59,6	0,3607
106	22,7	42,0	0,3607
105	22,7	43,8	0,3607
104	22,7	45,6	0,3607
103	22,7	47,3	0,3607
102	22,7	63,7	0,3607
101	23,7	68,3	0,3607
100	23,7	70,4	0,3607
99	22,7	60,2	0,3607
98	22,7	58,4	0,3607
97	22,7	57,1	0,3607
96	23,7	73,2	0,3607
118	57,6	20,5	0,1464
141	39,3	26,6	0,2400
140	37,3	26,2	0,2400
139	22,7	28,1	0,3607
138	20,3	140,7	0,5608
156	3,1	90,8	0,3607
155	20,3	145,9	0,5608
148	27,5	89,1	0,3607
147	30,6	93,3	0,3607
146	27,5	80,8	0,3607
175	41,4	23,2	0,2136
174	41,4	23,3	0,2136
173	41,4	23,4	0,2136
172	41,4	23,6	0,2136

171	41,4	23,9	0,2136
170	41,4	24,2	0,2136
191	41,4	21,3	0,2136
190	41,4	21,3	0,2136
189	41,4	21,5	0,2136
188	41,4	21,6	0,2136
187	41,4	21,7	0,2136
186	41,4	21,7	0,2136
185	41,4	21,8	0,2136
184	41,4	22,0	0,2136
183	41,4	22,1	0,2136
182	41,4	22,2	0,2136
181	41,4	22,3	0,2136
180	41,4	22,3	0,2136
179	41,4	22,4	0,2136
178	41,4	22,6	0,2136
177	41,4	22,8	0,2136
176	41,4	23,0	0,2136
198	37,3	25,8	0,2400
197	37,3	25,4	0,2400
196	37,3	25,2	0,2400



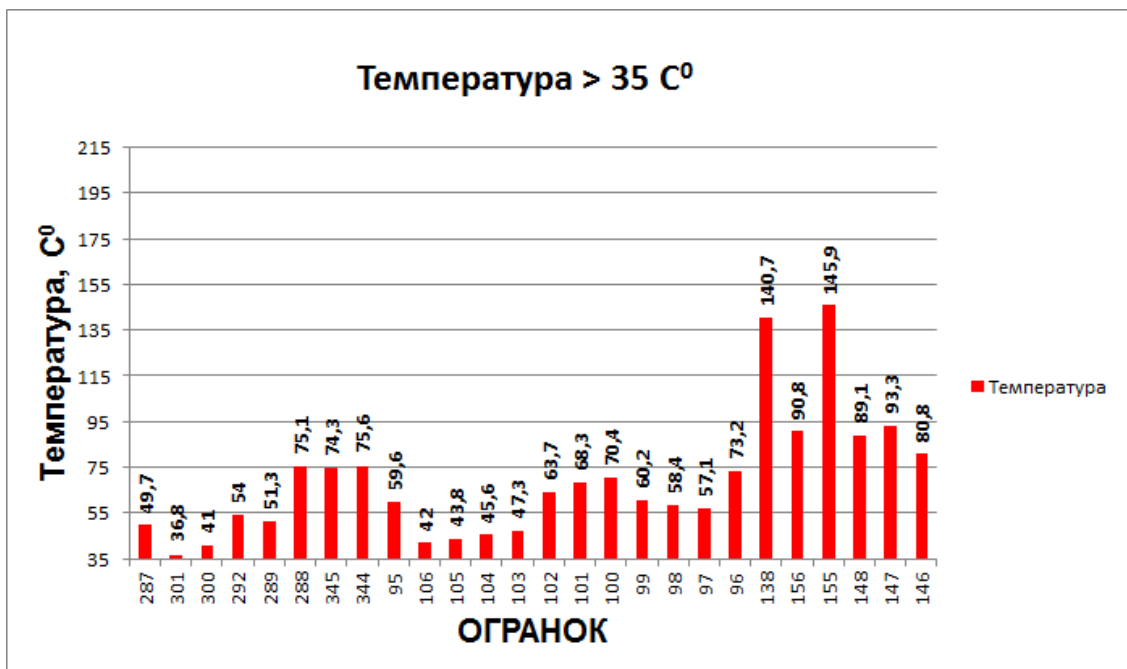
Слика.13.39. Критични услови во пожарно сценарио-1, со CO > 0,1%, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.39. Critical conditions in fire scenario-1, with CO > 0,1%, 90 seconds after fire event



Слика.13.40. Критични услови во пожарно сценарио-1, со CO > 0,1%, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.40. Critical conditions in fire scenario-1, with CO > 0,1%, 90 seconds after fire event



Слика.13.41. Критични услови во пожарно сценарио-1, со температура >35 C°, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.41. Critical conditions in fire scenario-1, with temperature >35 C°, 90 seconds after fire event

Табела 13.16. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-1, на 810 секунди од започнувањето на пожарот

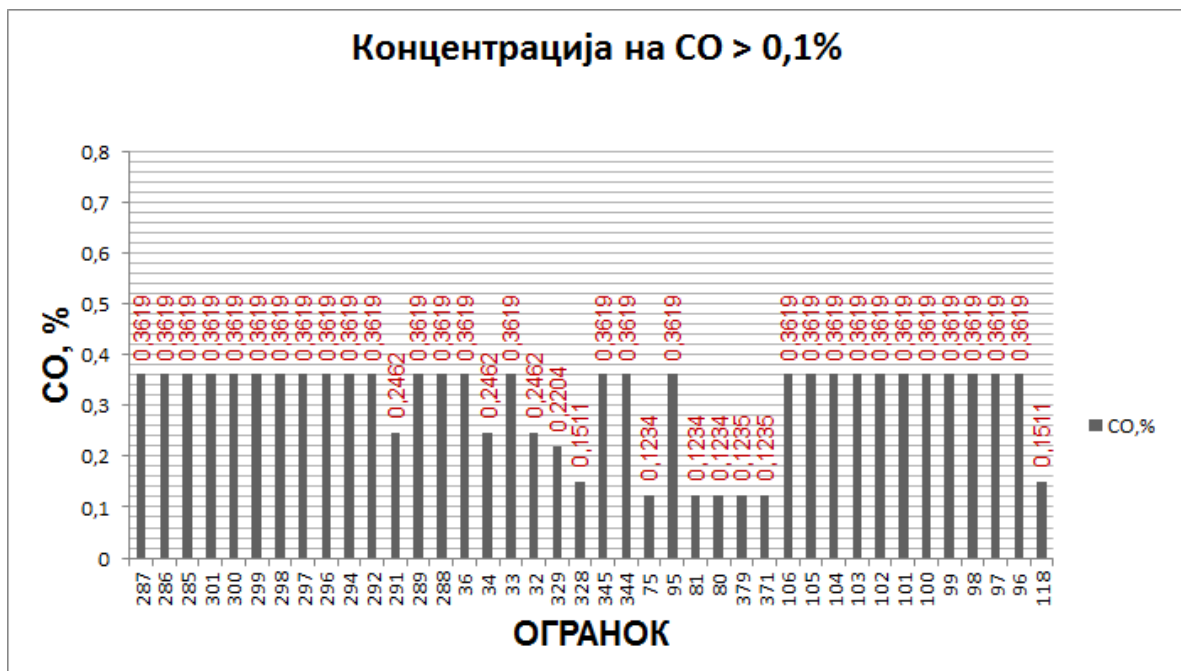
Table 13.16. Analysis and calculations of fire scenario-1, 810 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C ^o]	Концентрација на CO, [%]
287	22,4	35,7	0,3619
286	22,4	22,0	0,3619
285	22,4	22,5	0,3619
281	28,7	21,7	0,0502
302	12,9	21,2	0,0502
301	22,4	26,6	0,3619
300	22,4	29,2	0,3619
299	22,4	24,5	0,3619
298	22,4	24,2	0,3619
297	22,4	23,8	0,3619
296	22,4	23,1	0,3619
295	16,8	25,9	0,0916
294	22,4	21,9	0,3619
293	16,8	24,3	0,0916
292	22,4	39,3	0,3619
291	39,1	22,6	0,2462
290	16,8	28,8	0,0916
289	22,4	37,0	0,3619
288	23,4	62,6	0,3619
316	22,3	20,0	0,0442
315	10,3	19,8	0,0442
314	32,6	20,0	0,0441
313	8,6	19,7	0,0376
312	8,6	19,7	0,0376
311	17,3	19,7	0,0375
310	8,6	19,7	0,0376
309	8,7	19,7	0,0376
308	7,0	19,7	0,0280
307	8,7	19,7	0,0376
306	7,0	19,8	0,0280
36	1,0	49,8	0,3619
35	25,7	21,3	0,0138
34	37,2	21,3	0,2462
33	22,4	22,3	0,3619
32	2,0	22,0	0,2462
329	39,6	20,0	0,2204
328	57,7	20,0	0,1511
347	9,7	19,7	0,0442
346	15,3	20,0	0,0442
345	4,2	62,3	0,3619
344	23,4	63,3	0,3619
75	70,6	20,0	0,1234
367	5,6	20,0	0,0442
366	5,6	20,1	0,0442
95	22,4	44,3	0,3619

81	70,6	20,0	0,1234
80	70,6	20,0	0,1234
379	70,6	21,7	0,1235
374	9,7	20,1	0,0442
372	17,3	19,7	0,0375
371	70,6	20,0	0,1235
106	22,4	29,9	0,3619
105	22,4	31,1	0,3619
104	22,4	32,4	0,3619
103	22,4	33,7	0,3619
102	22,4	48,4	0,3619
101	23,4	53,1	0,3619
100	23,4	55,5	0,3619
99	22,4	44,9	0,3619
98	22,4	43,2	0,3619
97	22,4	42,0	0,3619
96	23,4	59,5	0,3619
126	30,6	20,4	0,0470
125	15,8	20,7	0,0502
124	14,8	20,5	0,0435
123	15,8	20,8	0,0502
122	15,8	20,9	0,0502
121	15,8	21,1	0,0502
120	15,8	21,2	0,0502
118	57,7	20,0	0,1511
115	28,7	23,3	0,0503
114	28,7	23,1	0,0503
113	28,7	22,7	0,0503
112	28,7	22,5	0,0502
141	39,1	22,3	0,2462
140	37,2	22,1	0,2462
139	22,4	22,1	0,3619
138	20,3	132,8	0,5453
137	30,6	20,5	0,0470
136	30,6	20,0	0,0470
135	30,6	20,3	0,0470
134	30,6	20,4	0,0470
133	2,6	20,0	0,0442
132	2,6	20,0	0,0432
131	2,6	20,0	0,0429
130	2,6	20,0	0,0442
129	4,4	20,0	0,0442
128	2,6	20,0	0,0427
159	3,0	52,0	0,3619
158	3,0	60,2	0,3619
157	3,0	73,1	0,3619
156	3,0	84,9	0,3619
155	20,3	140,3	0,5453
148	27,6	81,8	0,3619

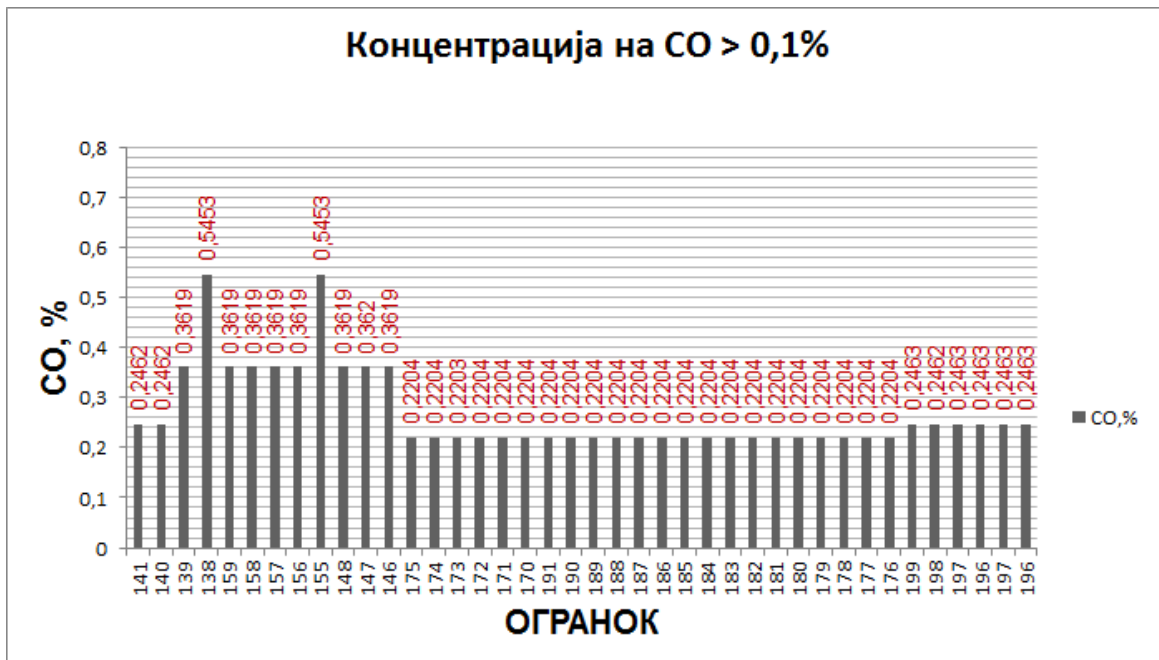
147	30,6	88,3	0,3620
146	27,6	70,2	0,3619
175	41,5	20,6	0,2204
174	41,5	20,6	0,2204
173	41,5	20,7	0,2203
172	41,5	20,8	0,2204
171	41,5	20,9	0,2204
170	41,5	21,0	0,2204
162	25,7	21,0	0,0138
161	25,7	20,8	0,0138
160	25,7	20,7	0,0139
191	41,5	20,1	0,2204
190	41,5	20,1	0,2204
189	41,5	20,1	0,2204
188	41,5	20,1	0,2204
187	41,5	20,1	0,2204
186	41,5	20,1	0,2204
185	41,5	20,2	0,2204
184	41,5	20,2	0,2204
183	41,5	20,2	0,2204
182	41,5	20,3	0,2204
181	41,5	20,3	0,2204
180	41,5	20,3	0,2204
179	41,5	20,3	0,2204
178	41,5	20,4	0,2204
177	41,5	20,4	0,2204
176	41,5	20,5	0,2204
207	30,6	20,0	0,0470
206	30,6	20,0	0,0470
205	30,6	20,0	0,0470
204	30,6	20,0	0,0470
203	30,6	20,0	0,0470
202	14,8	20,6	0,0435
201	14,8	20,7	0,0435
200	14,8	20,8	0,0435
199	2,0	21,5	0,2463
198	37,2	21,9	0,2462
197	37,2	21,6	0,2463
196	37,2	21,4	0,2463
211	32,6	20,0	0,0441
210	32,6	20,0	0,0441
209	32,6	20,0	0,0441
208	30,6	20,0	0,0470
239	30,6	20,3	0,0470

238	30,6	20,1	0,0470
237	30,6	20,1	0,0470
236	30,6	20,1	0,0470
235	30,6	20,0	0,0470
234	30,6	20,0	0,0470
233	30,6	20,0	0,0470
232	30,6	20,0	0,0470
247	30,6	20,1	0,0470
246	30,6	20,1	0,0470
245	30,6	20,1	0,0470
244	30,6	20,1	0,0470
243	30,6	20,2	0,0470
242	30,6	20,2	0,0470
241	30,6	20,2	0,0470
240	30,6	20,2	0,0470



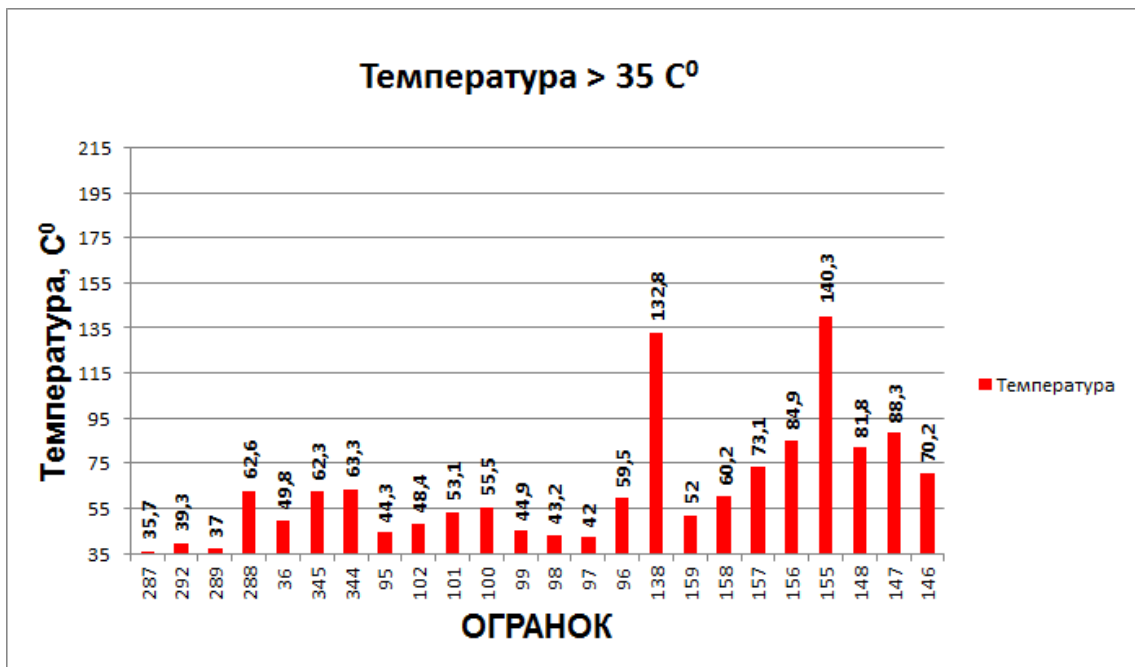
Слика 13.42. Критични услови во пожарно сценарио-1, со CO > 0,1%, на 810 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.42. Critical conditions in fire scenario-1, with CO > 0,1%, 810 seconds after fire event



Слика 13.43. Критични услови во пожарно сценарио 1, со CO > 0,1%, на 810 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.43. Critical conditions in fire scenario 1, with CO > 0,1%, 810 seconds after fire event



Слика 13.44. Критични услови во пожарно сценарио-1, со температура > 35 C°, на 810 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.44. Critical conditions in fire scenario-1, with temperature >35 C°, 810 seconds after fire event

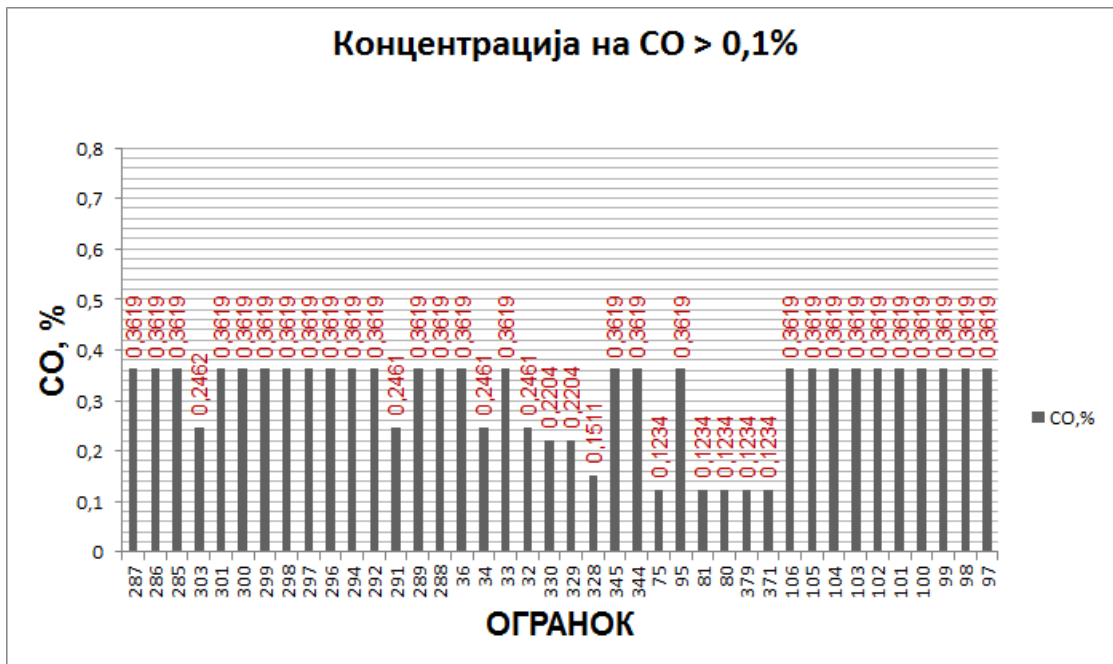
Табела 13.17. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-1, на 1.620 секунди од започнувањето на пожарот

Table 13.17. Analysis and calculations of fire scenario-1, 1.620 seconds after fire event

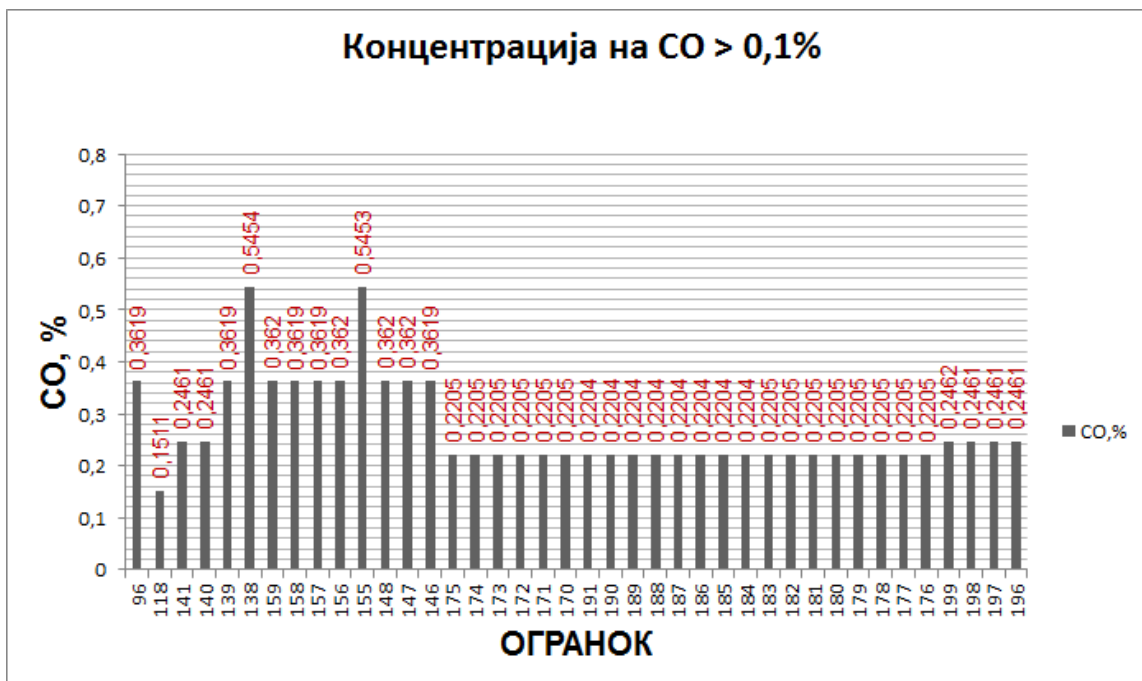
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C ⁰]	Концентрација на CO, [%]
287	22,4	36,9	0,3619
286	22,4	22,4	0,3619
285	22,4	22,9	0,3619
281	28,7	21,9	0,0502
303	2,0	21,0	0,2462
302	12,9	21,5	0,0501
301	22,4	27,3	0,3619
300	22,4	30,2	0,3619
299	22,4	25,1	0,3619
298	22,4	24,8	0,3619
297	22,4	24,4	0,3619
296	22,4	23,5	0,3619
295	16,7	26,3	0,0910
294	22,4	22,3	0,3619
293	16,7	24,6	0,0910
292	22,4	40,6	0,3619
291	39,2	22,9	0,2461
290	16,7	29,1	0,0910
289	22,4	38,3	0,3619
288	23,4	63,9	0,3619
316	22,2	20,0	0,0723
315	10,4	19,8	0,0723
314	32,6	20,0	0,0723
313	8,6	19,7	0,0714
312	8,6	19,7	0,0714
311	17,3	19,6	0,0714
310	8,6	19,7	0,0714
309	8,7	19,8	0,0714
308	6,9	19,7	0,0700
307	8,7	19,7	0,0714
306	6,9	19,8	0,0701
36	1,0	51,3	0,3619
35	25,7	21,3	0,0137
34	37,2	21,6	0,2461
33	22,4	22,7	0,3619
32	2,0	22,3	0,2461
330	2,0	20,0	0,2204
329	39,5	20,0	0,2204
328	57,7	20,0	0,1511
347	9,7	19,7	0,0722
346	15,3	20,0	0,0723
345	4,2	63,5	0,3619
344	23,4	64,5	0,3619
75	70,6	20,0	0,1234
367	5,6	20,0	0,0722
366	5,6	20,1	0,0722
95	22,4	45,8	0,3619
81	70,6	20,0	0,1234

80	70,6	20,0	0,1234
379	70,6	21,6	0,1234
374	9,7	20,0	0,0722
372	17,3	19,7	0,0714
371	70,6	20,0	0,1234
370	5,6	20,0	0,0369
369	5,6	20,0	0,0369
106	22,4	30,9	0,3619
105	22,4	32,2	0,3619
104	22,4	33,5	0,3619
103	22,4	34,9	0,3619
102	22,4	49,9	0,3619
101	23,4	54,6	0,3619
100	23,4	57,0	0,3619
99	22,4	46,3	0,3619
98	22,4	44,6	0,3619
97	22,4	43,4	0,3619
96	23,4	60,9	0,3619
127	2,5	20,0	0,0712
126	30,6	20,4	0,0629
125	15,8	20,7	0,0503
124	14,8	20,6	0,0763
123	15,8	20,9	0,0502
122	15,8	21,1	0,0502
121	15,8	21,3	0,0502
120	15,8	21,6	0,0501
118	57,7	20,0	0,1511
115	28,7	23,4	0,0501
114	28,7	23,1	0,0501
113	28,7	22,8	0,0501
112	28,7	22,5	0,0502
141	39,2	22,6	0,2461
140	37,2	22,4	0,2461
139	22,4	22,5	0,3619
138	20,3	133,2	0,5454
137	30,6	20,6	0,0629
136	30,6	20,0	0,0628
135	30,6	20,3	0,0629
134	30,6	20,5	0,0629
133	2,5	20,0	0,0722
132	2,5	20,0	0,0722
131	2,5	20,0	0,0719
130	2,5	20,0	0,0723
129	4,4	20,0	0,0723
128	2,5	20,0	0,0718
159	3,0	52,5	0,3620
158	3,0	60,7	0,3619
157	3,0	73,6	0,3619
156	3,0	85,5	0,3620
155	20,3	140,3	0,5453
148	27,6	82,5	0,3620
147	30,6	88,8	0,3620
146	27,6	71,2	0,3619
175	41,5	20,8	0,2205
174	41,5	20,8	0,2205
173	41,5	20,9	0,2205
172	41,5	21,0	0,2205
171	41,5	21,2	0,2205

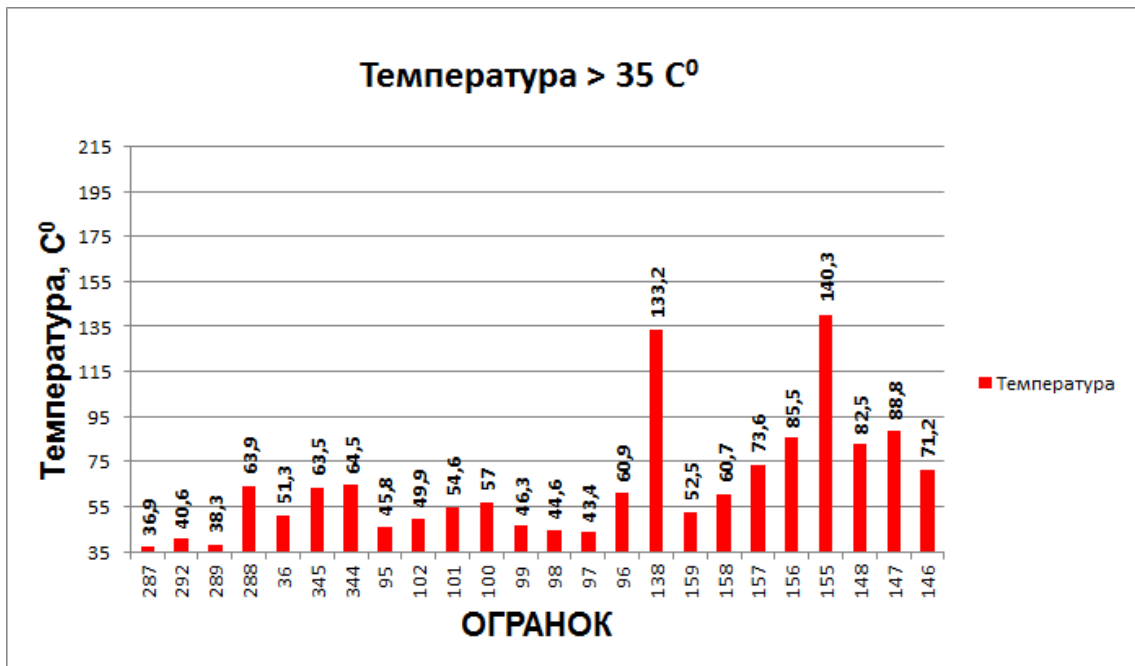
170	41,5	21,3	0,2205
162	25,7	21,1	0,0137
161	25,7	20,9	0,0137
160	25,7	20,8	0,0137
191	41,5	20,1	0,2204
190	41,5	20,1	0,2204
189	41,5	20,1	0,2204
188	41,5	20,1	0,2204
187	41,5	20,1	0,2204
186	41,5	20,2	0,2204
185	41,5	20,2	0,2204
184	41,5	20,2	0,2204
183	41,5	20,3	0,2205
182	41,5	20,4	0,2205
181	41,5	20,4	0,2205
180	41,5	20,4	0,2205
179	41,5	20,5	0,2205
178	41,5	20,5	0,2205
177	41,5	20,6	0,2205
176	41,5	20,7	0,2205
207	30,6	20,0	0,0628
206	30,6	20,0	0,0628
205	30,6	20,0	0,0628
204	30,6	20,0	0,0628
203	30,6	20,0	0,0628
202	14,8	20,7	0,0763
201	14,8	20,9	0,0762
200	14,8	21,1	0,0762
199	2,0	21,7	0,2462
198	37,2	22,1	0,2461
197	37,2	21,9	0,2461
196	37,2	21,7	0,2461
211	32,6	20,0	0,0723
210	32,6	20,0	0,0723
209	32,6	20,0	0,0723
208	30,6	20,0	0,0628
239	30,6	20,3	0,0629
238	30,6	20,1	0,0628
237	30,6	20,1	0,0628
236	30,6	20,1	0,0628
235	30,6	20,1	0,0628
234	30,6	20,0	0,0628
233	30,6	20,0	0,0628
232	30,6	20,0	0,0628
247	30,6	20,1	0,0628
246	30,6	20,2	0,0628
245	30,6	20,2	0,0628
244	30,6	20,2	0,0628
243	30,6	20,2	0,0628
242	30,6	20,3	0,0628
241	30,6	20,3	0,0628
240	30,6	20,3	0,0629



Слика 13.45. Критични услови во пожарно сценарио-1, со CO > 0,1%, на 1.620 секунди од започнувањето на пожарот
 Figure 13.45. Critical conditions in fire scenario-1, with CO > 0,1%, 1.620 seconds after fire event



Слика 13.46. Критични услови во пожарно сценарио-1, со CO > 0,1%, на 1.620 секунди од започнувањето на пожарот
 Figure 13.46. Critical conditions in fire scenario-1, with CO > 0,1%, 1.620 seconds after fire event



Слика 13.47. Критични услови во пожарно сценарио-1, со температура > 35 C°, на 1.620 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.47. Critical conditions in fire scenario-1, with temperature >35 C°, 1.620 seconds after fire event

Табела 13.18. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-1, на 2.420 секунди од започнувањето на пожарот

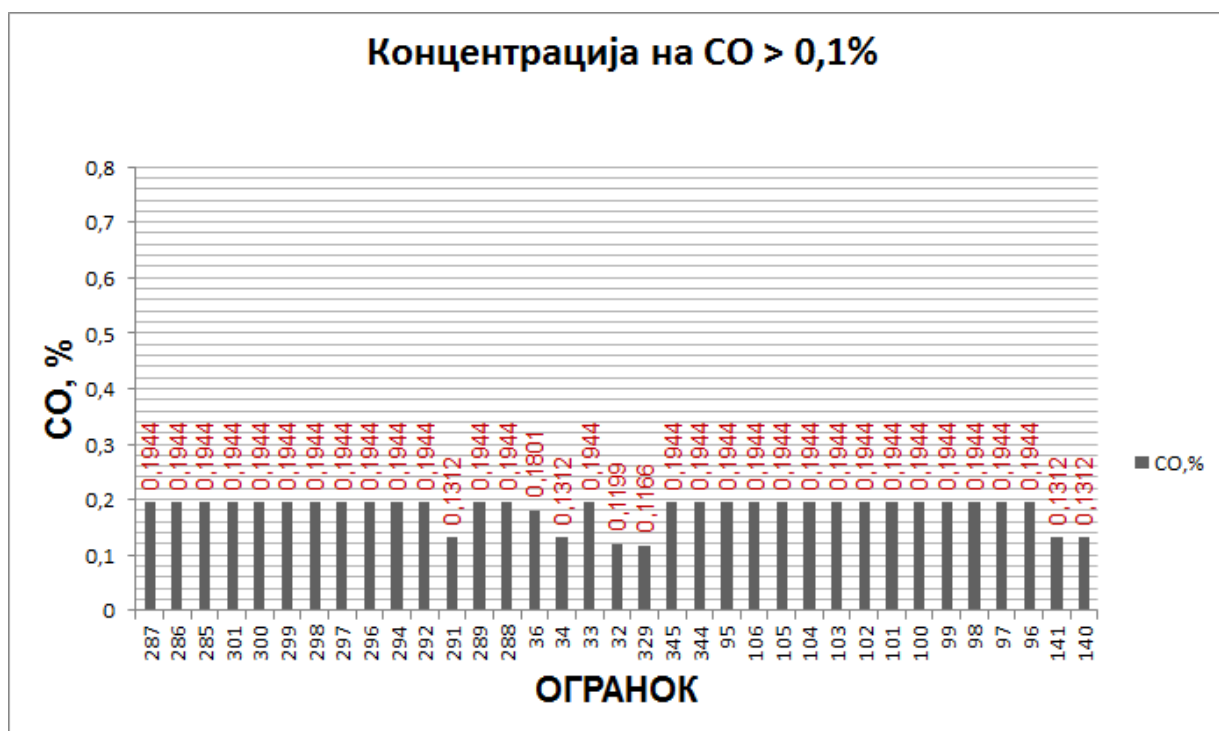
Table 13.18. Analysis and calculations of fire scenario-1, 2.420 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m³/s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
287	22,1	28,8	0,1944
286	22,1	21,1	0,1944
285	22,1	21,4	0,1944
281	28,8	20,7	0,0243
302	12,9	20,4	0,0243
301	22,1	23,7	0,1944
300	22,1	25,2	0,1944
299	22,1	22,5	0,1944
298	22,1	22,4	0,1944
297	22,1	22,2	0,1944
296	22,1	21,7	0,1944
295	16,7	23,1	0,0476
294	22,1	21,1	0,1944
293	16,7	22,2	0,0476
292	22,1	30,8	0,1944
291	38,9	21,4	0,1312
290	16,7	24,7	0,0476
289	22,1	29,5	0,1944
288	23,2	43,6	0,1944

316	22,3	20,0	0,0204
315	10,4	19,8	0,0169
314	32,7	20,0	0,0204
313	8,6	19,7	0,0135
312	8,6	19,7	0,0135
311	17,3	19,7	0,0135
310	8,6	19,7	0,0135
309	8,7	19,8	0,0135
308	7,0	19,7	0,0085
307	8,7	19,8	0,0135
306	7,0	19,8	0,0087
36	1,0	35,8	0,1801
35	25,6	20,8	0,0073
34	36,9	20,8	0,1312
33	22,1	21,3	0,1944
32	2,0	21,0	0,1199
329	39,5	20,0	0,1166
328	57,7	20,0	0,0799
347	9,7	19,7	0,0140
346	15,4	20,0	0,0204
345	4,1	43,3	0,1944
344	23,2	43,9	0,1944
75	70,6	20,0	0,0653
367	5,6	20,1	0,0194
366	5,6	20,1	0,0194
95	22,1	33,6	0,1944
81	70,6	20,0	0,0645
80	70,6	20,0	0,0645
379	70,6	21,8	0,0636
374	9,7	20,1	0,0140
372	17,3	19,7	0,0135
371	70,6	20,0	0,0645
106	22,1	25,6	0,1944
105	22,1	26,2	0,1944
104	22,1	27,0	0,1944
103	22,1	27,7	0,1944
102	22,1	35,8	0,1944
101	23,2	38,4	0,1944
100	23,2	39,7	0,1944
99	22,1	33,9	0,1944
98	22,1	33,0	0,1944
97	22,1	32,3	0,1944
96	23,2	41,8	0,1944
126	30,7	20,1	0,0228
125	15,8	20,2	0,0243
124	14,9	20,2	0,0211
123	15,8	20,3	0,0243
122	15,8	20,3	0,0243
121	15,8	20,3	0,0243
120	15,8	20,4	0,0243
118	57,7	20,0	0,0799
115	28,8	21,4	0,0243
114	28,8	21,2	0,0243
113	28,8	21,1	0,0243
112	28,8	21,0	0,0243
141	38,9	21,3	0,1312
140	36,9	21,1	0,1312
139	22,1	21,2	0,1944

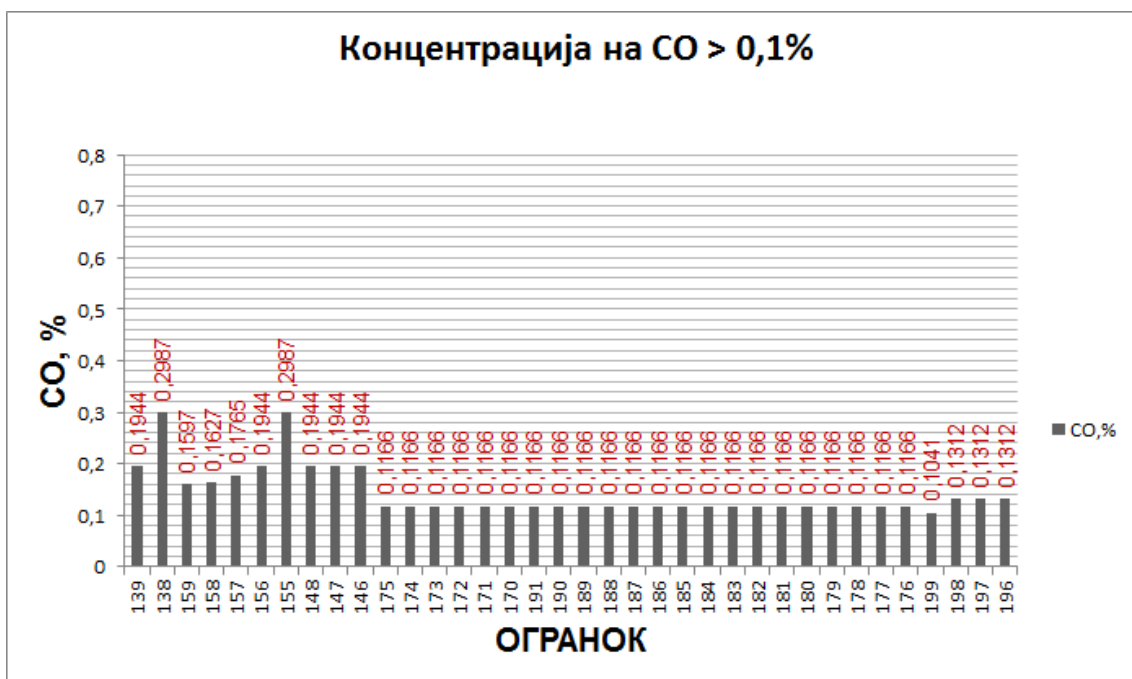
138	19,9	82,8	0,2987
137	30,7	20,2	0,0228
136	30,7	19,9	0,0228
135	30,7	20,1	0,0228
134	30,7	20,1	0,0228
133	2,5	20,0	0,0130
132	2,5	20,0	0,0130
131	2,5	20,0	0,0108
130	2,5	20,0	0,0191
129	4,4	20,0	0,0189
159	3,2	31,5	0,1597
158	3,2	35,3	0,1627
157	3,2	47,3	0,1765
156	3,2	55,5	0,1944
155	19,9	86,8	0,2987
148	27,3	53,8	0,1944
147	30,5	57,3	0,1944
146	27,3	47,6	0,1944
175	41,5	20,4	0,1166
174	41,5	20,4	0,1166
173	41,5	20,4	0,1166
172	41,5	20,5	0,1166
171	41,5	20,5	0,1166
170	41,5	20,6	0,1166
162	25,6	20,7	0,0073
161	25,6	20,6	0,0073
160	25,6	20,5	0,0073
191	41,5	20,0	0,1166
190	41,5	20,0	0,1166
189	41,5	20,0	0,1166
188	41,5	20,1	0,1166
187	41,5	20,1	0,1166
186	41,5	20,1	0,1166
185	41,5	20,1	0,1166
184	41,5	20,1	0,1166
183	41,5	20,1	0,1166
182	41,5	20,1	0,1166
181	41,5	20,2	0,1166
180	41,5	20,2	0,1166
179	41,5	20,2	0,1166
178	41,5	20,2	0,1166
177	41,5	20,3	0,1166
176	41,5	20,3	0,1166
207	30,7	20,0	0,0228
206	30,7	20,0	0,0228
205	30,7	20,0	0,0228
204	30,7	20,0	0,0228
203	30,7	19,9	0,0228
202	14,9	20,2	0,0211
201	14,9	20,2	0,0211
200	14,9	20,3	0,0211
199	2,0	20,6	0,1041
198	36,9	21,0	0,1312
197	36,9	20,9	0,1312
196	36,9	20,8	0,1312
211	32,7	20,0	0,0214

210	32,7	20,0	0,0214
209	32,7	20,0	0,0204
208	30,7	20,0	0,0228
239	30,7	20,1	0,0228
238	30,7	20,0	0,0228
237	30,7	20,0	0,0228
236	30,7	20,0	0,0228
235	30,7	20,0	0,0228
234	30,7	20,0	0,0228
233	30,7	20,0	0,0228
232	30,7	19,9	0,0228
247	30,7	20,0	0,0228
246	30,7	20,0	0,0228
245	30,7	20,0	0,0228
244	30,7	20,0	0,0228
243	30,7	20,0	0,0228
242	30,7	20,1	0,0228
241	30,7	20,1	0,0228
240	30,7	20,1	0,0228



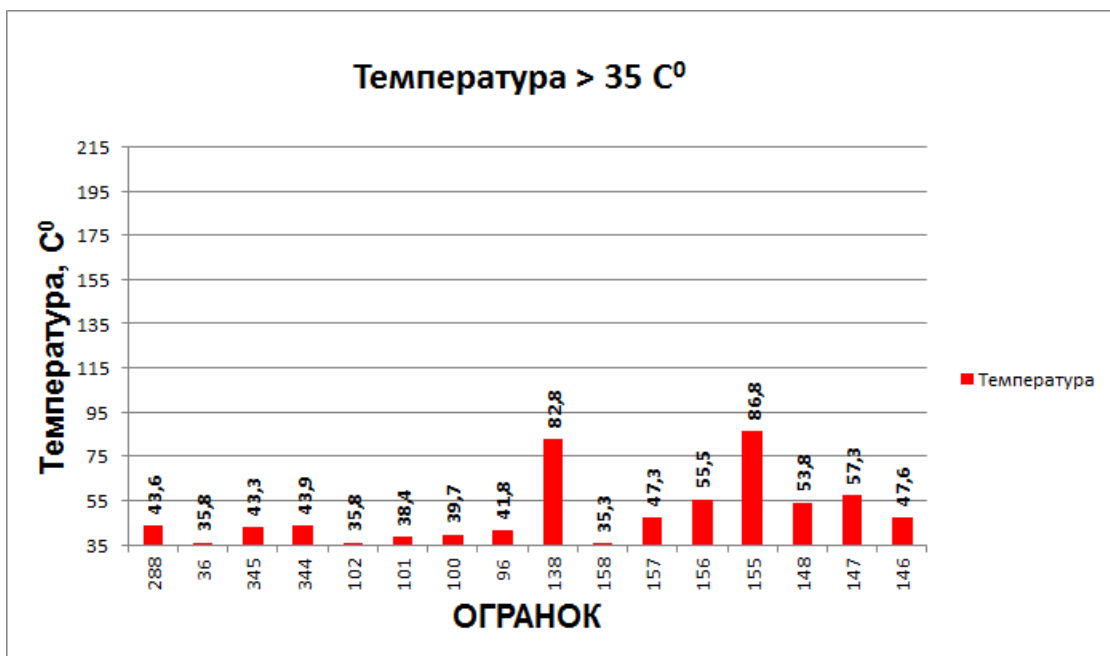
Слика 13.48. Критични услови во пожарно сценарио-1, со CO > 0,1%, на 2.420 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.48. Critical conditions in fire scenario-1, with CO > 0,1%, 2.420 seconds after fire event



Слика 13.49. Критични услови во пожарно сценарио-1, со CO > 0,1%, на 2.420 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.49. Critical conditions in fire scenario-1, with CO > 0,1%, 2.420 seconds after fire event



Слика 13.50. Критични услови во пожарно сценарио-1, со температура > 35 C°, на 2.420 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.50. Critical conditions in fire scenario-1, with temperature >35 C°, 2.420 seconds after fire event

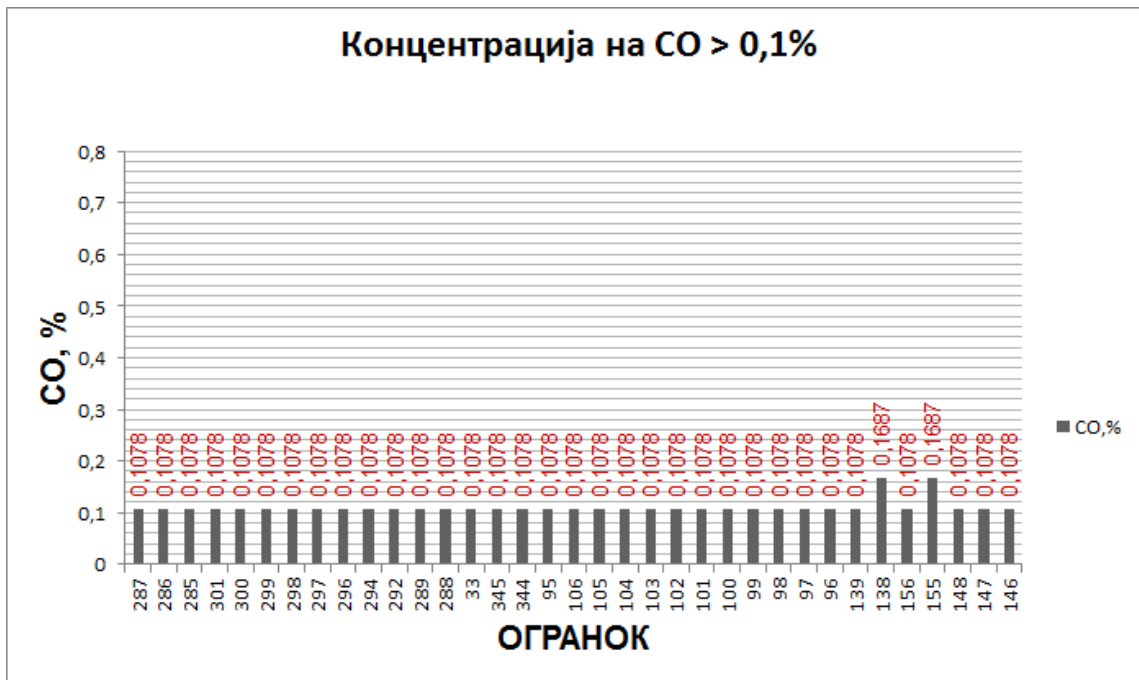
Табела 13.19. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-1, на 3.490 секунди од започнувањето на пожарот

Table 13.19. Analysis and calculations of fire scenario-1, 3.490 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C ^o]	Концентрација на CO, [%]
287	22,0	24,7	0,1078
286	22,0	20,6	0,1078
285	22,0	20,7	0,1078
281	28,8	20,2	0,0119
302	13,0	20,1	0,0119
301	22,0	21,9	0,1078
300	22,0	22,7	0,1078
299	22,0	21,3	0,1078
298	22,0	21,2	0,1078
297	22,0	21,1	0,1078
296	22,0	20,9	0,1078
295	16,7	21,5	0,0249
294	22,0	20,5	0,1078
293	16,7	21,1	0,0249
292	22,0	25,8	0,1078
291	38,7	20,7	0,0720
290	16,7	22,4	0,0249
289	22,0	25,1	0,1078
288	23,0	33,1	0,1078
316	22,4	20,0	0,0093
314	32,7	20,0	0,0093
36	1,1	28,4	0,0938
35	25,5	20,6	0,0040
34	36,7	20,4	0,0720
33	22,0	20,7	0,1078
32	2,0	20,5	0,0608
329	39,5	20,0	0,0636
328	57,7	20,0	0,0436
346	15,4	20,0	0,0093
345	3,9	32,9	0,1078
344	23,0	33,2	0,1078
75	70,6	20,0	0,0356
367	5,7	20,1	0,0079
366	5,7	20,1	0,0079
95	22,0	27,4	0,1078
81	70,6	20,0	0,0349
80	70,6	20,0	0,0349
379	70,6	21,9	0,0340
371	70,6	20,0	0,0349
106	22,0	22,9	0,1078
105	22,0	23,3	0,1078
104	22,0	23,7	0,1078
103	22,0	24,1	0,1078
102	22,0	28,6	0,1078
101	23,0	30,1	0,1078
100	23,0	30,8	0,1078
99	22,0	27,5	0,1078
98	22,0	27,0	0,1078
97	22,0	26,7	0,1078

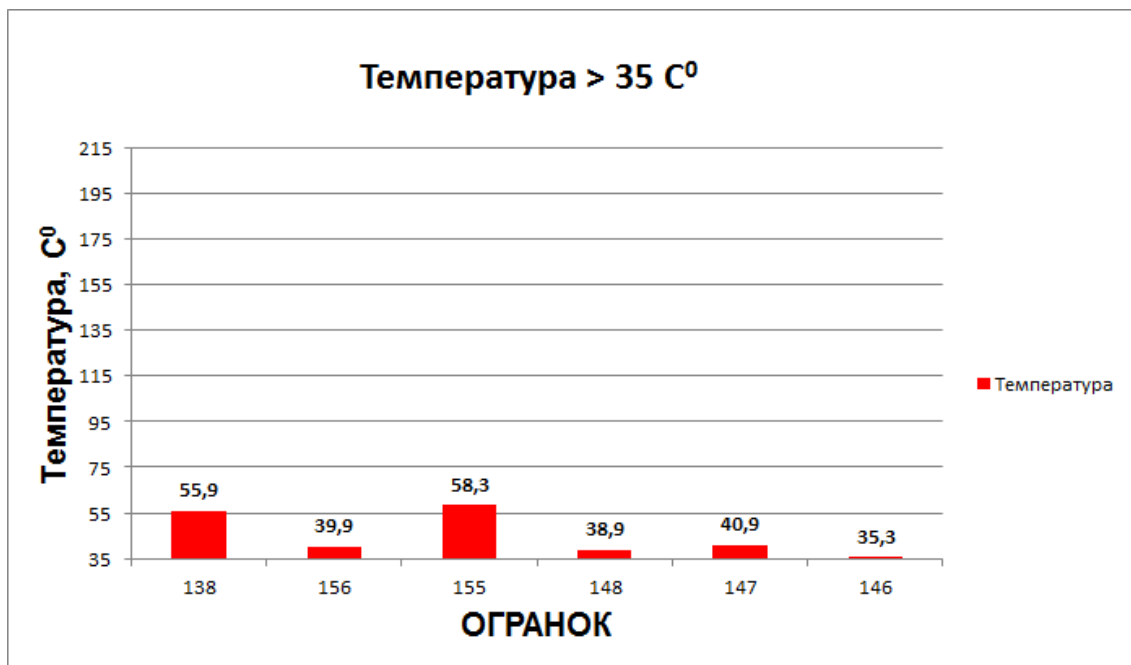
96	23,0	32,0	0,1078
126	30,8	20,0	0,0111
125	15,9	20,1	0,0119
124	14,9	20,0	0,0103
123	15,9	20,1	0,0119
122	15,9	20,1	0,0119
121	15,9	20,1	0,0119
120	15,9	20,1	0,0119
118	57,7	20,0	0,0436
115	28,8	20,6	0,0119
114	28,8	20,6	0,0119
113	28,8	20,5	0,0119
112	28,8	20,5	0,0119
141	38,7	20,6	0,0720
140	36,7	20,5	0,0720
139	22,0	20,6	0,1078
138	19,4	55,9	0,1687
137	30,8	20,0	0,0111
136	30,8	19,9	0,0111
135	30,8	20,0	0,0111
134	30,8	20,0	0,0111
130	2,6	20,0	0,0075
129	4,4	20,0	0,0072
159	3,3	24,7	0,0728
158	3,3	26,9	0,0758
157	3,3	34,7	0,0897
156	3,3	39,9	0,1078
155	19,4	58,3	0,1687
148	26,9	38,9	0,1078
147	30,2	40,9	0,1078
146	26,9	35,3	0,1078
175	41,5	20,2	0,0636
174	41,5	20,2	0,0636
173	41,5	20,2	0,0636
172	41,5	20,2	0,0636
171	41,5	20,2	0,0636
170	41,5	20,3	0,0636
162	25,5	20,5	0,0040
161	25,5	20,4	0,0040
160	25,5	20,4	0,0040
191	41,5	20,0	0,0636
190	41,5	20,0	0,0636
189	41,5	20,0	0,0636
188	41,5	20,0	0,0636
187	41,5	20,0	0,0636
186	41,5	20,0	0,0636
185	41,5	20,0	0,0636
184	41,5	20,0	0,0636
183	41,5	20,0	0,0636
182	41,5	20,0	0,0636
181	41,5	20,0	0,0636
180	41,5	20,1	0,0636
179	41,5	20,1	0,0636
178	41,5	20,1	0,0636
177	41,5	20,1	0,0636
176	41,5	20,1	0,0636
207	30,8	20,0	0,0111
206	30,8	20,0	0,0111

205	30,8	19,9	0,0111
204	30,8	19,9	0,0111
203	30,8	19,9	0,0111
202	14,9	20,0	0,0103
201	14,9	20,0	0,0103
200	14,9	20,1	0,0103
199	2,0	20,2	0,0452
198	36,7	20,5	0,0720
197	36,7	20,4	0,0720
196	36,7	20,4	0,0720
211	32,7	20,0	0,0105
210	32,7	20,0	0,0105
209	32,7	20,0	0,0093
208	30,8	20,0	0,0111
239	30,8	20,0	0,0111
238	30,8	19,9	0,0111
237	30,8	19,9	0,0111
236	30,8	19,9	0,0111
235	30,8	19,9	0,0111
234	30,8	19,9	0,0111
233	30,8	19,9	0,0111
232	30,8	19,9	0,0111
247	30,8	20,0	0,0111
246	30,8	20,0	0,0111
245	30,8	20,0	0,0111
244	30,8	20,0	0,0111
243	30,8	20,0	0,0111
242	30,8	20,0	0,0111
241	30,8	20,0	0,0111
240	30,8	20,0	0,0111



Слика 13.51. Критични услови во пожарно сценарио-1, со CO > 0,1%, на 3.490 секунди од започнувањето на пожарот

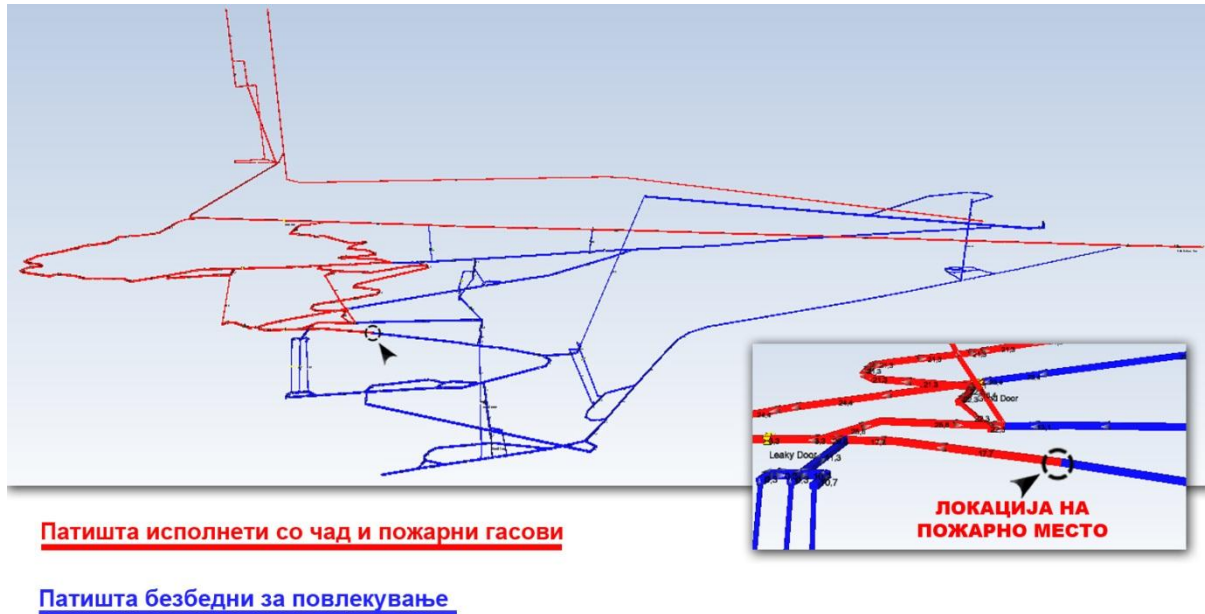
Figure 13.51. Critical conditions in fire scenario-1, with CO > 0,1%, 3.490 seconds after fire event



Слика 13.52. Критични услови во пожарно сценарио-1, со температура > 35 C°, на 3.490 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.52. Critical conditions in fire scenario-1, with temperature >35 C°, 3.490 seconds after fire event

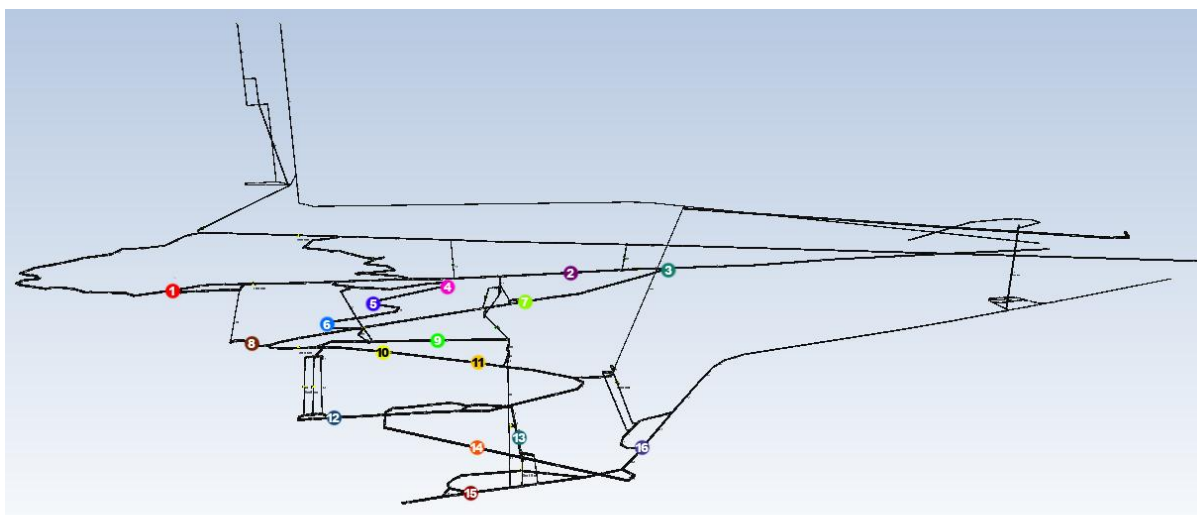
Со направените анализи и пресметки во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, за пожарното сценарио-1, добивме временска должина на пожарот од 3.490 секунди (58,1 минути), за целосно согорување на истеченото дизел гориво од 270 литри.



Слика 13.53. Анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-1

Figure 13.53. Analysis and calculations for movement of smoke and fire gases made in software MINEFIRE PRO +, the fire scenario-1

По направената анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови, генерирани од пожарното сценарио-1, следува процес за лоцирање на местоположбата на сите луѓе во рудникот (слика 13.54) и издавање на наредби и упаства за нивно повлекување по предходно пресметаните безбедни патишта за спасување и евакуација (слика 13.53).



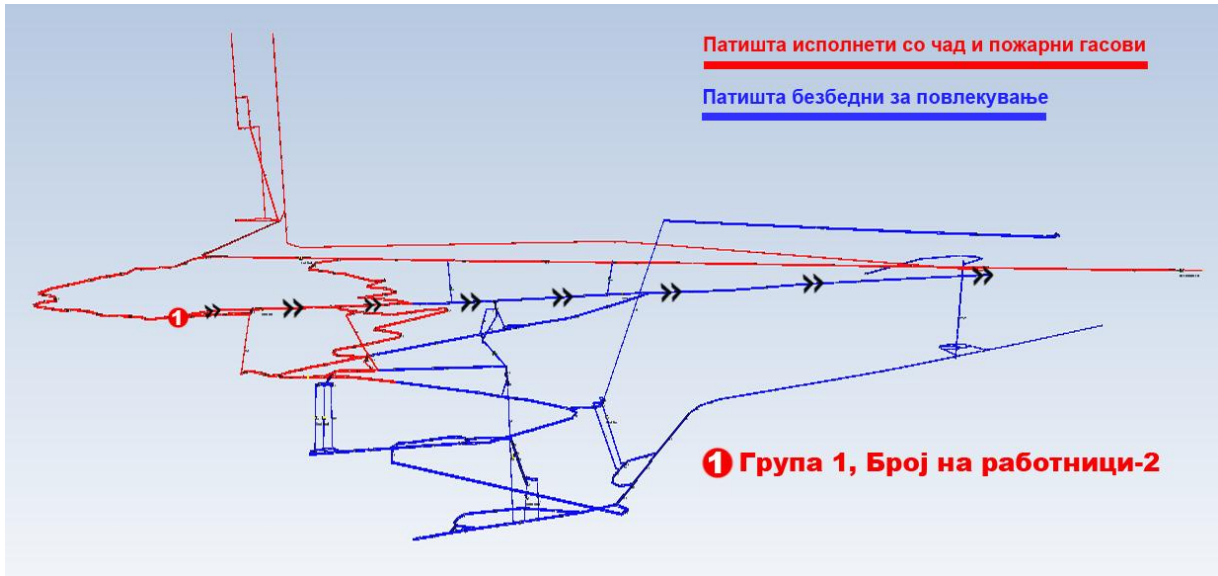
- | | |
|---------------------------------------|--|
| ❶ Група 1, Број на работници-2 | ❸ Група 9, Број на работници-3 |
| ❷ Група 2, Број на работници-3 | ❹ Група 10, Број на работници-2 |
| ❸ Група 3, Број на работници-2 | ❺ Група 11, Број на работници-2 |
| ❹ Група 4, Број на работници-3 | ❻ Група 12, Број на работници-2 |
| ❺ Група 5, Број на работници-2 | ❼ Група 13, Број на работници-3 |
| ❻ Група 6, Број на работници-2 | ❽ Група 14, Број на работници-2 |
| ❼ Група 7, Број на работници-2 | ❾ Група 15, Број на работници-2 |
| ❽ Група 8, Број на работници-2 | ❿ Група 16, Број на работници-2 |

Слика 13.54. Лоцирање на местоположбата на сите луѓе во рудникот
 Figure 13.54. Locating the position of all workers in the underground mine

13.5.1.1.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-1

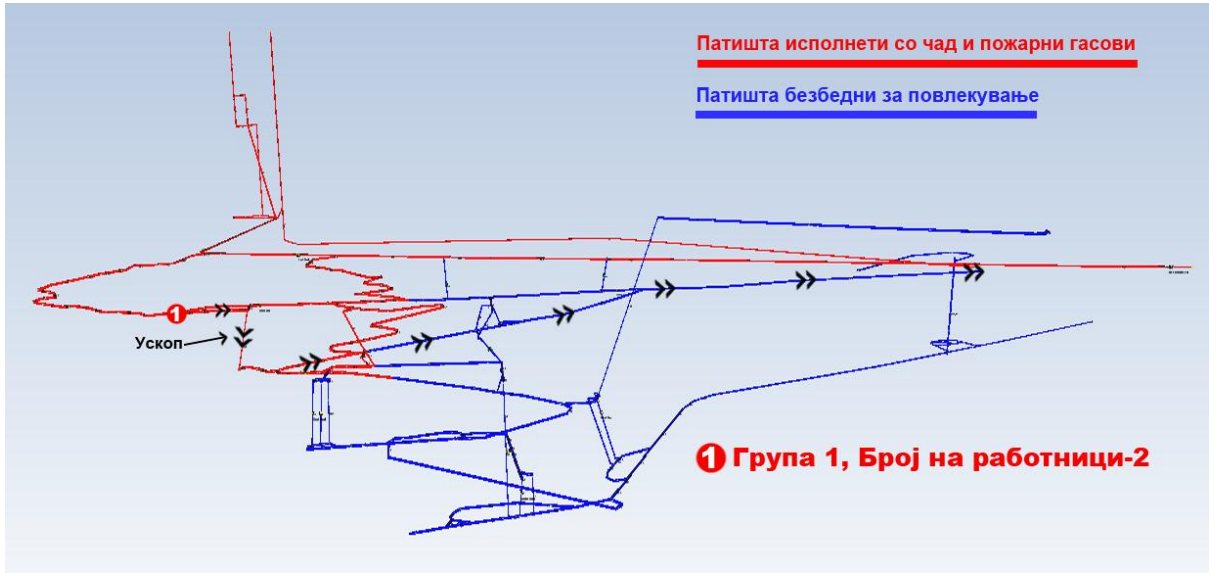
За пресметка на безбедните оптимални рути и потребното време за евакуација на сите вработени во рудникот ќе го користиме погоре спомнатиот математички модел за оптимизација. Пресметките на оптималните рути за евакуација ќе ги разгледуваме до трет ранг.

Според анализата и пресметките за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-1 (слика 13.53), лоцирани се можните патишта за евакуација на група 1 (ќе разгледуваме рути за евакуација до трет ранг). Нареден чекор е избор на оптимална рута за евакуација на група 1.



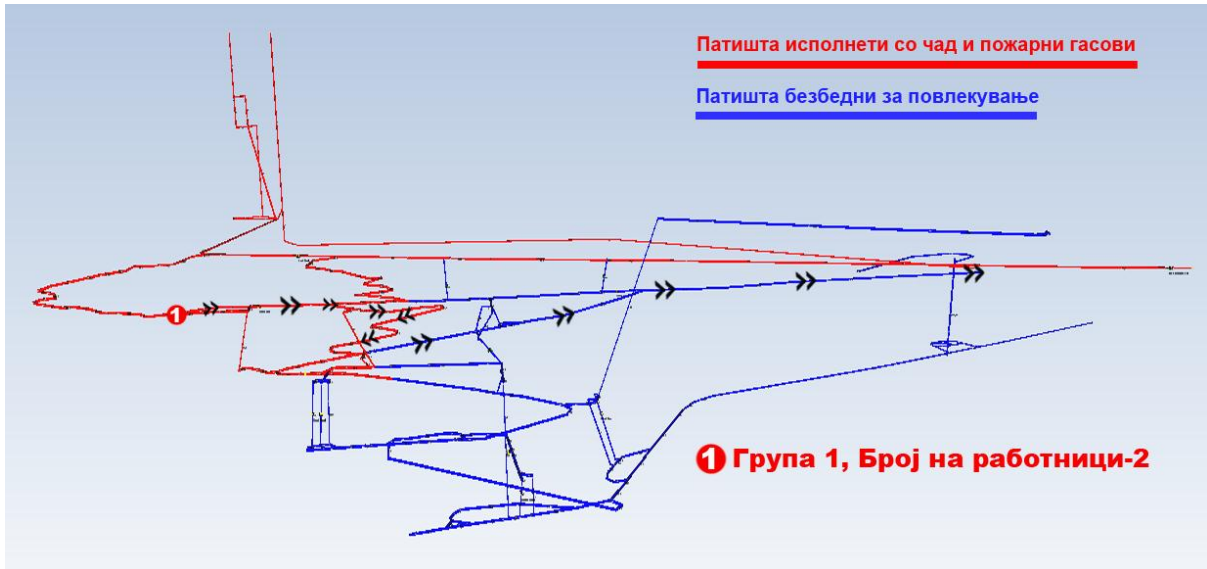
Слика 13.55. Можна рута 1-1 за повлекување на група 1

Figure 13.55. Possible route 1-1 for evacuation of group 1



Слика 13.56. Можна рута 1-2 за повлекување на група 1

Figure 13.56. Possible route 1-2 for evacuation of group 1



Слика 13.57. Можна рута 1-3 за повлекување на група 1

Figure 13.57. Possible route 1-3 for evacuation of group 1

- **Вкупна тежина на рутите за евакуација на група 1**

Влијанијата на предходно дефинираните фактори за оптимизација ќе влијаат на брзината за евакуација и истите се трансформираат во еквивалентна должина на патиштата кои воедно преставуваат и вкупна тежина на рутата за евакуација. Онаа рута за евакуација која ќе има најмала тежина пресметана по предходно спомнатата методологија ќе преставува оптимална рута за евакуација.

Табела 13.20. Пресметка на вкупната тежина на рута 1-1 за евакуација на група 1

Table 13.20. Calculation of the total weight of the evacuation route 1-1 of group 1

Огранок	Коефициент од типот на огранокот (Начин на движење-транспорт) (K_{ti})	Коефициент од влијанието на вентилационата воздушна брзина (K_{wi})	Коефициент од влијанието на косината на огранокот (K_{gi})	Коефициент од влијанието на чадот (K_{vi})	Коефициент од влијанието на збиеноста на луѓето (K_{mi})	Коефициент од специјални фактори поврзани со вонредната ситуација (K_{di})	Должина на огранокот (патиштата) [m]	Средна брзина на движење на луѓето низ огранокот [m/s]	Еквивалентна должина на огранокот (m) (тежина на огранокот) (L_i)
32	1	1	1	2,75	1	1	25,9	0,43	71,2
34	1	1	1	2,75	1	1	27,1	0,43	74,5
38	1	1	1	1	1	1	3,6	1,19	3,6
39	1	1	1	1	1	1	13,7	1,19	13,7
72	1	1	1	1	1	1	272,9	1,19	272,9
73	1	1	1	1	1	1	164,6	1,19	164,6
77	1	1	1	1	1	1	23,3	1,19	23,3
79	1	1	1	1	1	1	126,1	1,19	126,1
116	1	1	1	1	1	1	71,2	1,19	71,2
119	1	1	1	1	1	1	26,9	1,19	26,9
124	1	1	1	1,5	1	1	5,6	0,8	8,4
140	1	1	1	2,75	1	1	33,3	0,43	91,5
167	1	1	1	1	1	1	169,5	1,19	169,5

169	1	1	1	1	1	1	23,9	1,19	23,9
192	1	1	1	1	1	1	93,1	1,19	93,1
193	1	1	1	1	1	1	67,5	1,19	67,5
194	1	1	1	1	1	1	8,9	1,19	8,9
195	1	1	1	1	1	1	4,8	1,19	4,8
196	1	1	1	2,75	1	1	5,5	0,43	15,1
197	1	1	1	2,75	1	1	37,1	0,43	102,0
198	1	1	1	2,75	1	1	23,9	0,43	65,7
199	1	1	1	2,75	1	1	19,9	0,43	54,7
200	1	1	1	1,5	1	1	54,8	0,8	82,2
201	1	1	1	1,5	1	1	13,9	0,8	20,8
202	1	1	1	1,5	1	1	35,2	0,8	52,8
303	1	1	1	1,5	1	1	108	0,8	162
364	1	1	1	1	1	1	203,2	1,19	203,2
Вкупна тежина на рутата за евакуација									2.074 m
Вкупно време на евакуација за Рута 1-1 = 1.742 секунди (29,1 минути)									

Табела 13.21. Пресметка на вкупната тежина на рута 1-2 за евакуација на група 1

Table 13.21. Calculation of the total weight of the evacuation route 1-2 of group 1

Огранок	Коефициент од типот на огранокот (Начин на движење-транспорт) (k_{ti})	Коефициент од влијанието на вентилационата воздушна брзина (k_{wi})	Коефициент од влијанието на косината на огранокот (k_{gi})	Коефициент од влијанието на чадот (k_{vi})	Коефициент од влијанието на збиеноста на луѓето (k_{mi})	Коефициент од специјални фактори поврзани со вонредната ситуација (k_{di})	Должина на огранокот (патиштата) [m]	Средна брзина на движење на луѓето низ огранокот [m/s]	Еквивалентна должина на огранокот (m) (тежина на огранокот) (L_i)
35	1	1	1,864	2,5	1	1	54,9	0,23	255,8
37	1	1	1,987	1	1	1	35,3	0,21	70,1
72	1	1	1	1	1	1	272,9	1,19	272,9
73	1	1	1	1	1	1	164,6	1,19	164,6
86	1	1	1	1	1	1	44,2	1,19	44,2
90	1	1	1	1	1	1	35,7	1,19	35,7
91	1	1	1	1	1	1	25,5	1,19	25,5
112	1	1	1	2,5	1	1	11,7	1,19	29,2
113	1	1	1	2,5	1	1	15	1,19	37,5
114	1	1	1	2,5	1	1	43,4	1,19	108,5
115	1	1	1	2,5	1	1	14,6	0,8	36,5
120	1	1	1	1,5	1	1	27,5	0,43	41,2
121	1	1	1	1,5	1	1	28,8	1,19	43,2

122	1	1	1	1,5	1	1	29,4	1,19	44,1
123	1	1	1	1,5	1	1	19,1	1,19	28,6
125	1	1	1	1,5	1	1	17,6	1,19	26,4
149	1	1	1,995	1	1	1	7,4	0,60	14,7
160	1	1	1	2,5	1	1	16	1,19	40
161	1	1	1,849	2,5	1	1	36,7	0,23	169,6
162	1	1	1,510	2,5	1	1	47,4	0,28	178,9
163	1	1	1	1	1	1	3,6	0,43	3,6
164	1	1	1	1	1	1	58,7	0,43	58,7
165	1	1	1	1	1	1	29	0,8	29
166	1	1	1	1	1	1	106,9	0,8	106,9
167	1	1	1	1	1	1	169,5	0,8	169,5
168	1	1	1	1	1	1	54,1	0,8	54,1
281	1	1	4,81	2,5	1	1	88,1	0,24	1.059,4
305	1	1	1,964	1	1	1	8	0,61	15,7
335	1	1	1,841	1	1	1	141,7	0,65	260,8
337	1	1	1	1	1	1	3,8	1,19	3,8
364	1	1	1	1	1	1	203,2	1,19	203,2
Вкупна тежина на рутата за евакуација									3.631 m
Вкупно време на евакуација за Рута 1-2 = 3.051 секунди (50,8 минути)									

Табела 13.22. Пресметка на вкупната тежина на рута 1-3 за евакуација на група 1

Table 13.22. Calculation of the total weight of the evacuation route 1-3 of group 1

Огранок	Коефициент од типот на огранокот (Начин на движење-транспорт) (K_{ti})	Коефициент од влијанието на вентилационата воздушна брзина (K_{wi})	Коефициент од влијанието на косината на огранокот (K_{gi})	Коефициент од влијанието на чадот (K_{vi})	Коефициент од влијанието на збиеноста на луѓето (K_{mi})	Коефициент од специјални фактори поврзани со вонредната ситуација (K_{di})	Должина на огранокот (патиштата) [m]	Средна брзина на движење на луѓето низ огранокот [m/s]	Еквивалентна должина на огранокот (m) (тежина на огранокот) (Li)
32	1	1	1	2,5	1	1	25,9	0,48	64,7
33	1	1	1	2,5	1	1	24,5	0,48	61,2
37	1	1	1,987	1	1	1	35,3	0,60	70,14
72	1	1	1	1	1	1	272,9	1,19	272,9
73	1	1	1	1	1	1	164,6	1,19	164,6
86	1	1	1	1	1	1	44,2	1,19	44,2
90	1	1	1	1	1	1	35,7	1,19	35,7
91	1	1	1	1	1	1	25,5	1,19	25,5
95	1	1	1	2,5	1	1	6,8	0,48	17
97	1	1	1	2,5	1	1	9,3	0,48	23,2
98	1	1	1	2,5	1	1	12,7	0,48	31,7
99	1	1	1	1	1	1	2,1	1,19	2,1
102	1	1	1	2,5	1	1	50,4	0,48	126

103	1	1	1	2,5	1	1	27,1	0,48	67,7
104	1	1	1	2,5	1	1	13,7	0,48	34,2
105	1	1	1	2,5	1	1	32,1	0,48	80,2
106	1	1	1	2,5	1	1	15,3	0,48	38,2
124	1	1	1	1,5	1	1	5,6	0,8	8,4
139	1	1	1	2,5	1	1	12,2	0,48	30,5
141	1	1	1	2,5	1	1	16,8	0,48	42
149	1	1	1,995	1	1	1	7,4	0,60	14,7
163	1	1	1	1	1	1	3,6	1,19	3,6
164	1	1	1	1	1	1	58,7	1,19	58,7
165	1	1	1	1	1	1	29	1,19	29
166	1	1	1	1	1	1	106,9	1,19	106,9
167	1	1	1	1	1	1	169,5	1,19	169,5
168	1	1	1	1	1	1	54,1	1,19	54,1
199	1	1	1	2,5	1	1	19,9	0,48	49,7
200	1	1	1	1,5	1	1	54,8	0,8	82,2
201	1	1	1	1,5	1	1	13,9	0,8	20,8
202	1	1	1	1,5	1	1	35,2	0,8	52,8
285	1	1	1	2,5	1	1	6,8	0,48	17
286	1	1	1	2,5	1	1	8,8	0,48	22

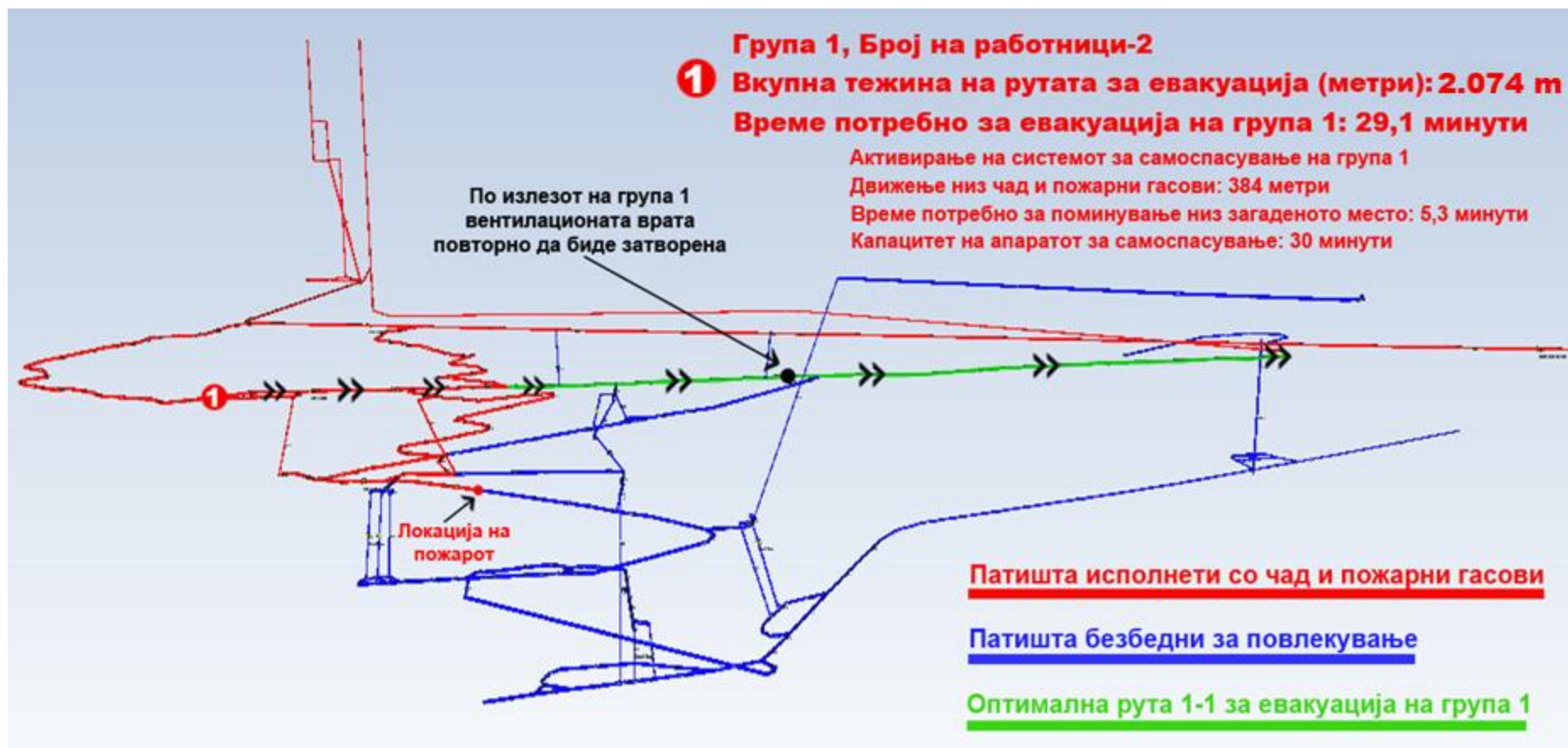
287	1	1	1	2,5	1	1	27,2	0,48	68
289	1	1	1	1	1	1	5,7	1,19	5,7
291	1	1	1	2,5	1	1	33,1	0,48	82,7
292	1	1	1	2,5	1	1	45	0,48	112,5
294	1	1	1	2,5	1	1	8,3	0,48	20,7
296	1	1	1	2,5	1	1	69,6	0,48	174
297	1	1	1	2,5	1	1	25,9	0,48	64,7
298	1	1	1	2,5	1	1	13,1	0,48	32,7
299	1	1	1	2,5	1	1	14,7	0,48	36,7
300	1	1	1	2,5	1	1	14,3	0,48	35,7
301	1	1	1	2,5	1	1	132,8	0,48	332
303	1	1	1	1	1	1	108	1,19	108
305	1	1	1,964	1	1	1	8	0,61	15,7
335	1	1	1,841	1	1	1	141,7	0,65	260,8
337	1	1	1	1	1	1	3,8	1,19	3,8
364	1	1	1	1	1	1	203,2	1,19	203,2
Вкупна тежина на рутата за евакуација									3.478 m
Вкупно време на евакуација за Рута 1-3 = 2.922 секунди (48,7 минути)									

Табела 13.23. Вкупна тежина на рутите за евакуација на група 1

Table 13.23. Total weight of evacuation routes of group 1 (considered to the third rank)

Ранг	Рути за евакуација на група 1	Тежина на рута за евакуација (метри)	Време за евакуација (минути)
1	Рута 1-1	2.074	29,1
2	Рута 1-2	3.631	50,8
3	Рута 1-3	3.478	48,7

По направените анализи и пресметки, од табела 13.23, ја избираме оптималната рута 1-1 за евакуација на група 1, со време за евакуација од 29,1 минути.



Слика 13.58. Оптимална рута за евакуација на група 1
 Figure 13.58. Optimal route for the evacuation of group 1

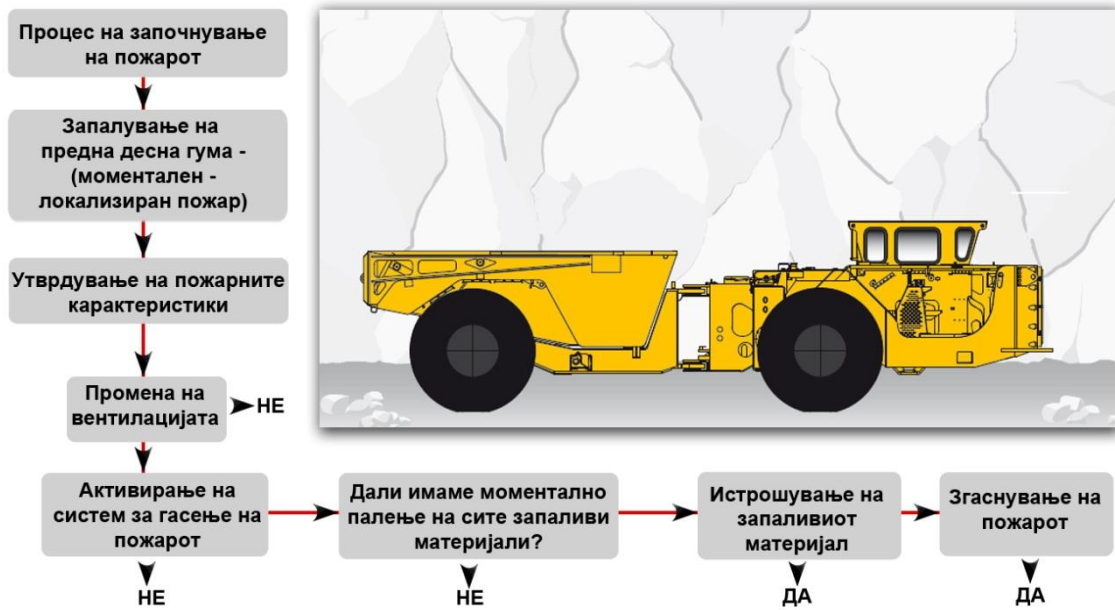
Табела 13.24. Оптимални рути за евакуација на сите работници во рудникот, генерирани за пожарно сценарио-1

Table 13.24. Optimal routes for evacuation of all workers in the underground mine for fire scenario-1

Евакуација на група работници	Број на работници	Тежина на оптималната рута за евакуација (метри)	Време потребно за евакуација низ оптималната рута (минути)	Активирање на системот за самоспасување (капацитет 30 минути)	Движење низ чад и пожарни гасови (метри)	Време потребно за поминување низ загаденото место (минути)
Група 1	2	2.074	29,1	Да	384	5,3
Група 2	3	1.027	14,3	Не	0	0
Група 3	2	810	11,3	Не	0	0
Група 4	3	1.615	22,6	Да	346	4,8
Група 5	2	1.621	22,7	Да	260	3,6
Група 6	2	1.445	20,2	Да	85,3	1,1
Група 7	2	1.084	15,1	Не	0	0

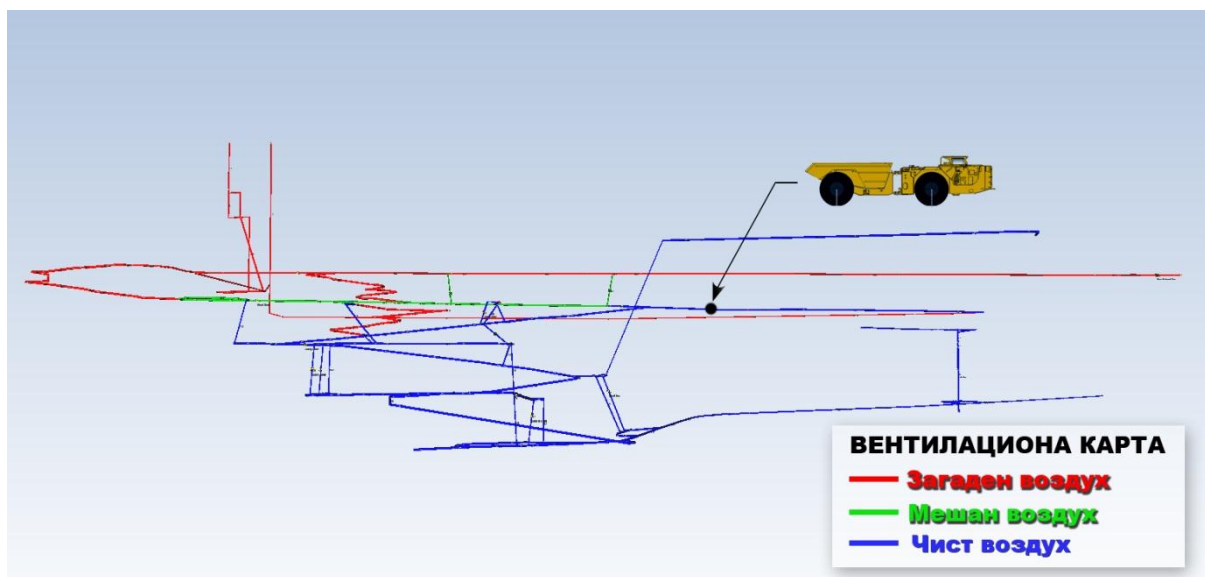
Група 8	2	1.577	22	Да	213	2,9
Група 9	3	2.377	33,2	Не	0	0
Група 10	2	2.434	34	Не	0	0
Група 11	2	2.285	32	Не	0	0
Група 12	2	2.557	35,8	Не	0	0
Група 13	3	2.590	36,2	Не	0	0
Група 14	2	2.254	31,5	Не	0	0
Група 15	2	2.280	31,9	Не	0	0
Група 16	2	1.969	27,5	Не	0	0

13.5.1.2 Пожарно Сценарио-2



Слика 13.59. Моделирање на пожарно сценарио-2

Figure 13.59. Modeling of fire scenario-2



Слика 13.60. Локација на моделираното пожарно сценарио-2

Figure 13.60. Location of fire scenario-2

За моделирање на пожарно сценарио-2 ќе претпоставиме пожар настанат од запалување на предна десна гума на јамски камион Minetruck MT2010. За пресметка на движењето на чадот и пожарните гасови во предходно зададена локација во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ ќе го користиме софтверот MINEFIRE PRO+.

Во софтверот MINEFIRE PRO+ ги внесуваме предходно пресметаните пожарни карактеристики од софтверот Pyrosim, за пожар настанат од гума на јамски камион Minetruck MT2010.

Табела 13.25. Влезни пожарни параметри во софтверот MINEFIRE PRO+ за пожарно сценарио-2

Table 13.25. Input fire parameters in software MINEFIRE PRO + for fire scenario-2

Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот, [m ³ /s]	Концентрација на јаглерод моноксид во волуменскиот проток на чад и пожарни гасови CO, [%]	Проток на топлина од пожарот, [kW]	Концентрација на кислород во пожарното место O ₂ , [%]	Волуменски проток на воздух во огранокот Q, [m ³ /s]	Време на целосно развивање на пожарот [min]
16,84	0,0283	1.459	20	51,4	2

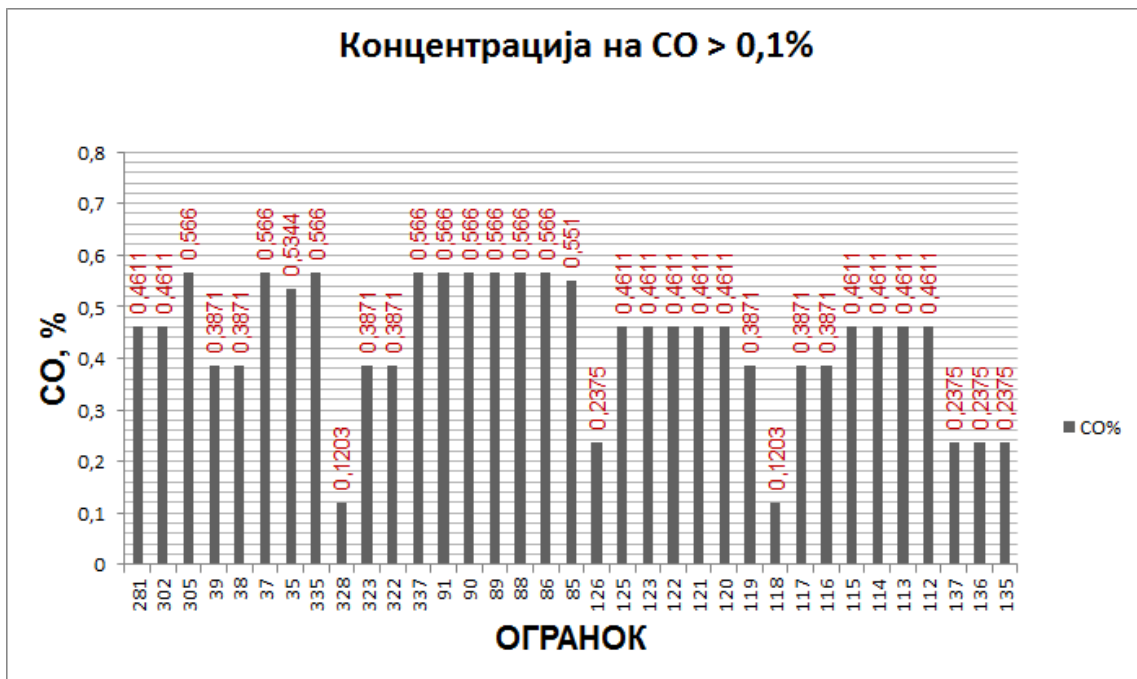
Од направената анализа и пресметки на пожарното сценарио за јамски камион Minetruck MT2010, со влезни параметри дадени во табела 13.25, за моментален (локализиран) пожар настанат од запалување на предна десна гума, ги добивме следниве резултати од софтверот MINEFIRE PRO+:

Табела 13.26. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-2, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Table 13.26. Analysis and calculations of fire scenario-2, 90 seconds after fire event

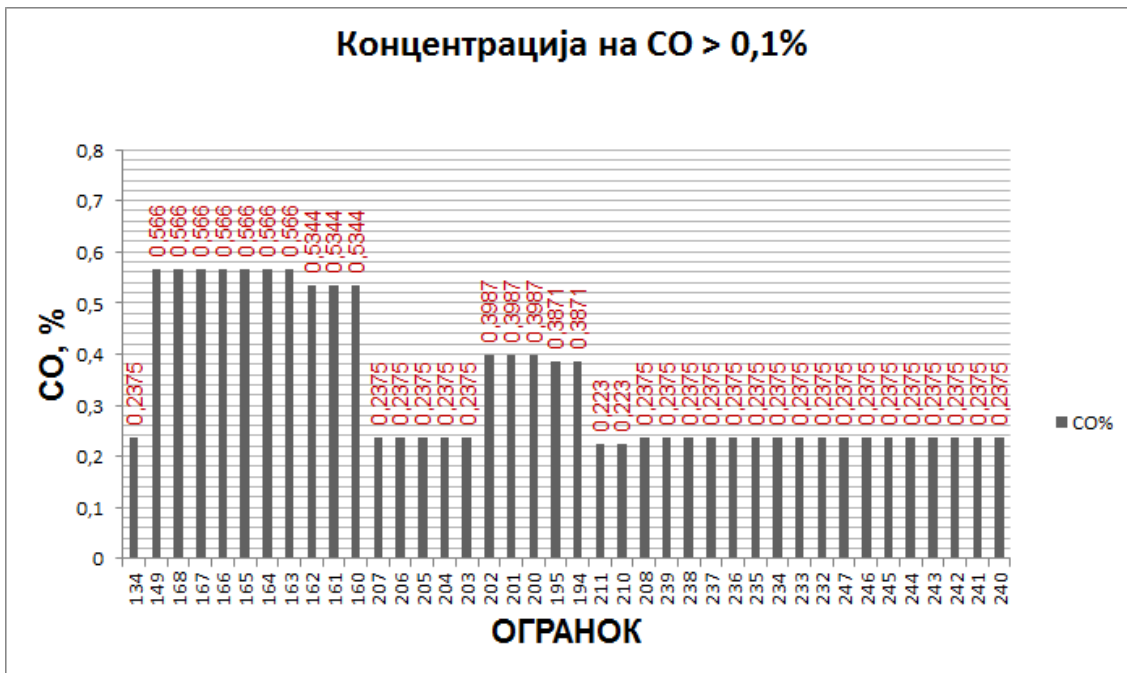
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
281	27,4	30,6	0,4611
302	12,3	28,9	0,4611
305	21,6	68,7	0,5660
39	4,0	41,6	0,3871
38	4,0	42,8	0,3871
37	21,6	50,0	0,5660
35	23,2	44,4	0,5344
335	21,6	59,3	0,5660
328	56,8	24,2	0,1203
323	31,9	52,5	0,3871
322	31,9	50,5	0,3871
337	22,6	70,1	0,5660
75	69,7	22,6	0,0981
91	45,6	84,4	0,5660
90	24,3	79,9	0,5660
89	21,4	79,5	0,5660
88	21,4	75,4	0,5660
87	0,9	38,6	0,0000
86	23,3	73,6	0,5660
85	22,3	70,3	0,5510
126	29,3	22,5	0,2375
125	15,1	26,3	0,4611
123	15,1	26,8	0,4611
122	15,1	27,4	0,4611
121	15,1	28,2	0,4611
120	15,1	29,2	0,4611
119	4,0	38,6	0,3871
118	56,8	25,3	0,1203
117	17,5	40,4	0,3871
116	21,4	45,8	0,3871
115	27,4	34,3	0,4611
114	27,4	33,2	0,4611
113	27,4	32,2	0,4611
112	27,4	31,8	0,4611
137	29,3	22,9	0,2375
136	29,3	20,8	0,2375
135	29,3	22,3	0,2375
134	29,3	22,6	0,2375
149	21,6	48,2	0,5660
168	45,6	119,2	0,5660
167	48,1	124,2	0,5660
166	45,6	105,7	0,5660
165	45,6	95,5	0,5660
164	45,6	89,7	0,5660
163	21,6	69,5	0,5660
162	23,2	41,0	0,5344
161	23,2	38,6	0,5344
160	23,2	37,3	0,5344
207	29,3	20,5	0,2375
206	29,3	20,6	0,2375

205	29,3	20,7	0,2375
204	29,3	20,7	0,2375
203	29,3	20,7	0,2375
202	14,2	25,1	0,3987
201	14,2	25,6	0,3987
200	14,2	26,4	0,3987
195	4,0	40,4	0,3871
194	21,4	49,1	0,3871
211	31,3	20,4	0,2230
210	31,3	20,4	0,2230
208	29,3	20,5	0,2375
239	29,3	22,1	0,2375
238	29,3	21,3	0,2375
237	29,3	21,3	0,2375
236	29,3	21,2	0,2375
235	29,3	21,1	0,2375
234	29,3	21,0	0,2375
233	29,3	20,9	0,2375
232	29,3	20,8	0,2375
247	29,3	21,4	0,2375
246	29,3	21,5	0,2375
245	29,3	21,6	0,2375
244	29,3	21,6	0,2375
243	29,3	21,7	0,2375
242	29,3	21,9	0,2375
241	29,3	21,9	0,2375
240	29,3	22,0	0,2375



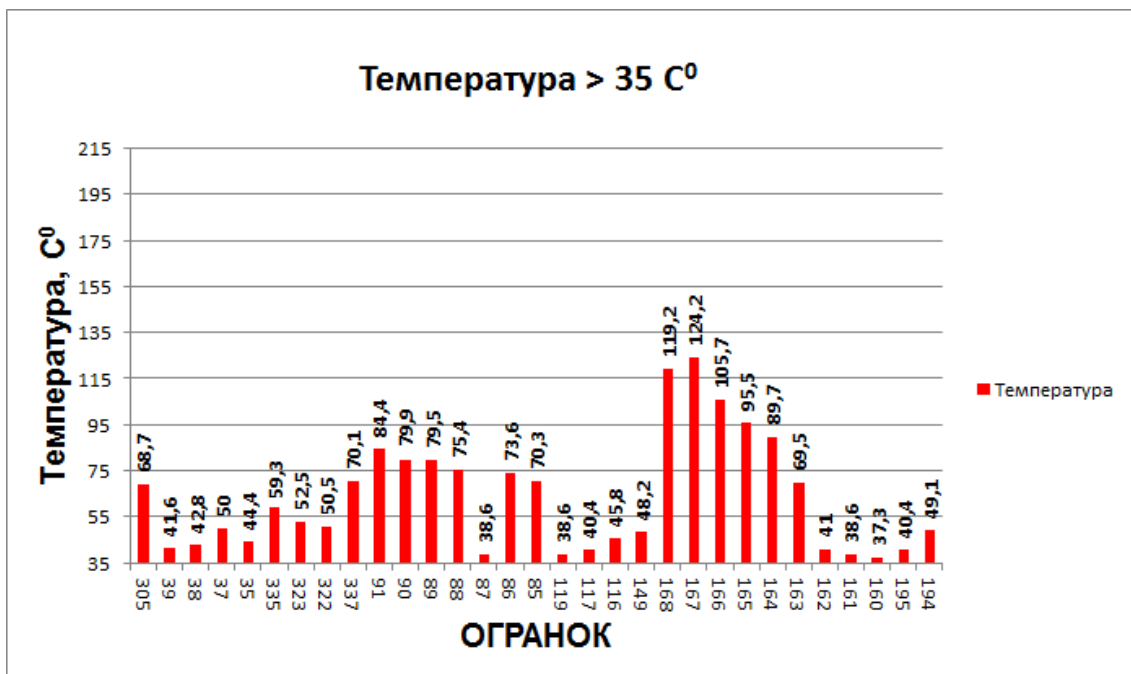
Слика 13.61. Критични услови во пожарно сценарио-2, со CO > 0,1%, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.61. Critical conditions in fire scenario-2, with CO > 0,1%, 90 seconds after fire event



Слика 13.62. Критични услови во пожарно сценарио-2, со CO > 0,1%, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.62. Critical conditions in fire scenario-2, with CO > 0,1%, 90 seconds after fire event



Слика 13.63. Критични услови во пожарно сценарио-2, со температура > 35 C°, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.63. Critical conditions in fire scenario-2, with temperature >35 C°, 90 seconds after fire event

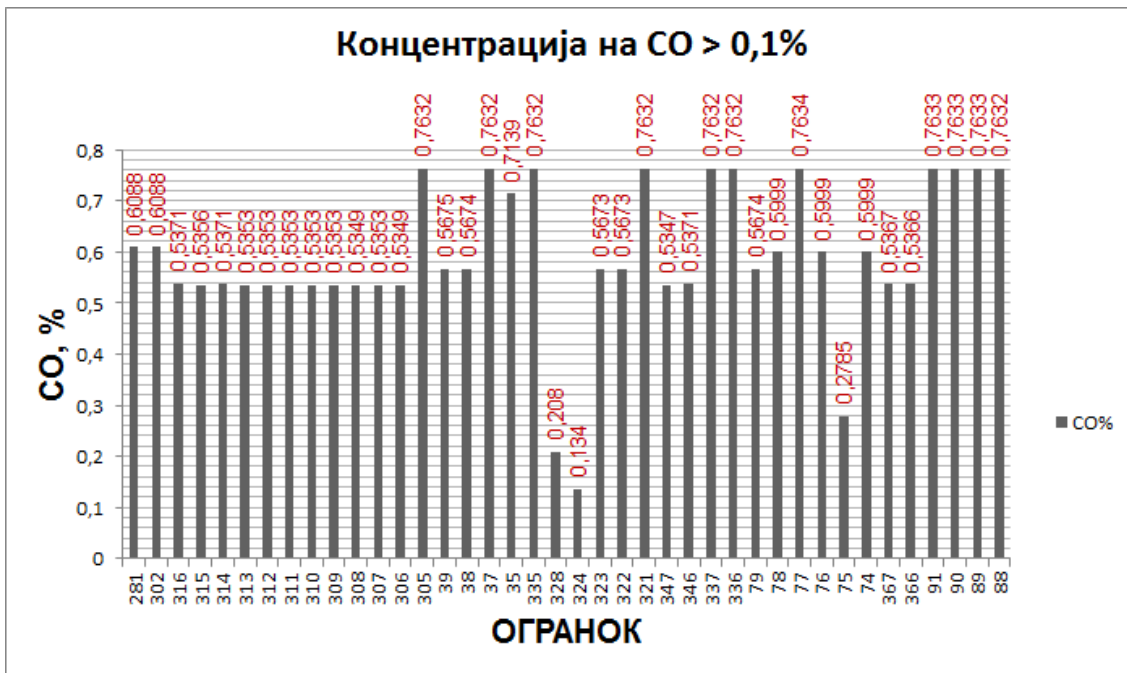
Табела 13.27. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-2, на 1.350 секунди од започнувањето на пожарот

Table 13.27. Analysis and calculations of fire scenario-2, 1.350 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
281	27,9	22,5	0,6088
302	12,5	21,6	0,6088
316	21,7	20,0	0,5371
315	10,1	19,8	0,5356
314	31,8	20,0	0,5371
313	8,3	19,7	0,5353
312	8,3	19,7	0,5353
311	16,8	19,6	0,5353
310	8,3	19,7	0,5353
309	8,4	19,7	0,5353
308	6,7	19,7	0,5349
307	8,4	19,7	0,5353
306	6,7	19,8	0,5349
305	22,2	50,7	0,7632
304	8,8	21,2	0,0580
39	3,3	30,0	0,5675
38	3,3	30,8	0,5674
37	22,2	34,1	0,7632
35	23,8	30,3	0,7139
335	22,2	41,9	0,7632
330	1,9	20,0	0,0409
329	39,4	20,0	0,0453
328	57,2	21,1	0,2080
325	8,8	20,8	0,0580
324	9,8	21,8	0,1340
323	31,6	39,8	0,5673
322	31,6	37,5	0,5673
321	1,1	33,5	0,7632
347	9,4	19,7	0,5347
346	15,0	20,0	0,5371
337	23,3	52,8	0,7632
336	1,1	42,9	0,7632
79	10,5	26,5	0,5674
78	12,5	33,4	0,5999
77	2,1	87,3	0,7634
76	12,5	27,3	0,5999
75	69,7	21,6	0,2785
74	12,5	30,1	0,5999
367	5,6	20,1	0,5367
366	5,6	20,1	0,5366
91	45,7	71,6	0,7633
90	24,3	65,0	0,7633
89	21,4	64,7	0,7633
88	21,4	59,4	0,7632
87	0,3	56,8	0,7632
86	23,9	57,1	0,7632
85	21,7	53,7	0,7632
84	0,3	52,0	0,7632

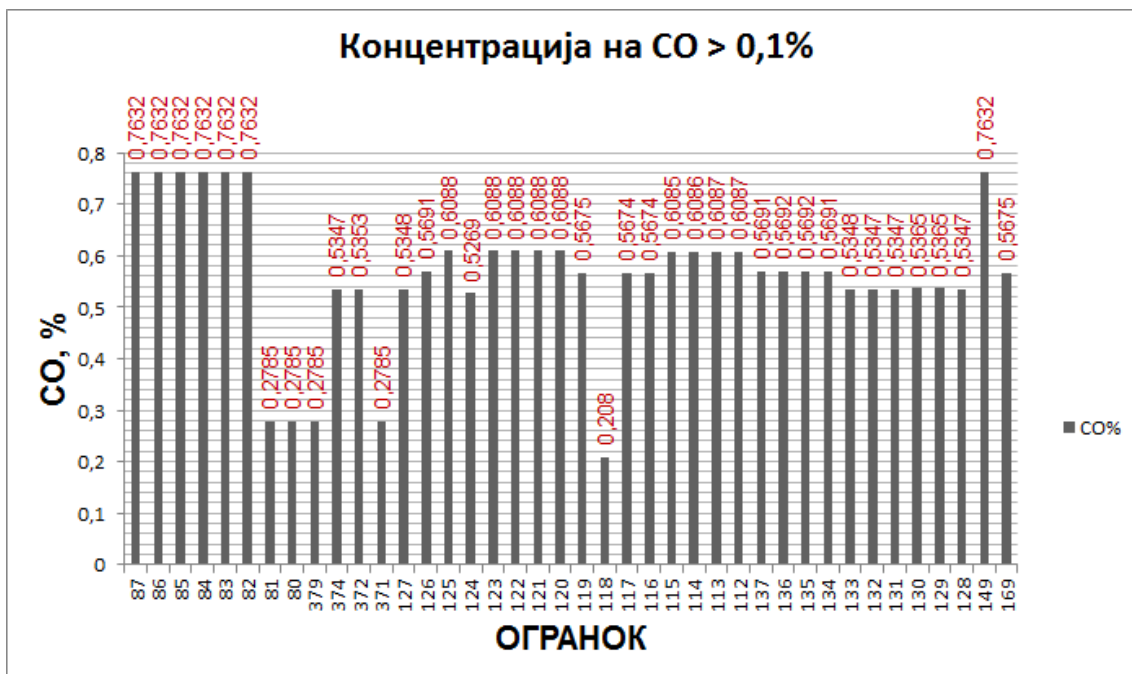
83	0,7	50,1	0,7632
82	0,7	44,1	0,7632
81	69,7	20,5	0,2785
80	69,7	20,1	0,2785
379	69,7	21,7	0,2785
374	9,4	20,1	0,5347
372	16,8	19,7	0,5353
371	69,7	20,1	0,2785
127	2,5	20,0	0,5348
126	29,8	20,5	0,5691
125	15,4	21,0	0,6088
124	14,5	20,7	0,5269
123	15,4	21,1	0,6088
122	15,4	21,2	0,6088
121	15,4	21,4	0,6088
120	15,4	21,7	0,6088
119	3,3	28,1	0,5675
118	57,2	21,8	0,2080
117	17,8	28,6	0,5674
116	21,1	33,1	0,5674
115	27,9	24,6	0,6085
114	27,9	24,0	0,6086
113	27,9	23,5	0,6087
112	27,9	23,3	0,6087
137	29,8	20,7	0,5691
136	29,8	20,0	0,5692
135	29,8	20,4	0,5692
134	29,8	20,6	0,5691
133	2,5	20,0	0,5348
132	2,5	20,0	0,5347
131	2,5	20,0	0,5347
130	2,5	20,0	0,5365
129	4,3	20,0	0,5365
128	2,5	20,0	0,5347
149	22,2	32,7	0,7632
175	41,3	20,2	0,0454
174	41,3	20,2	0,0454
173	41,3	20,3	0,0454
172	41,3	20,3	0,0454
171	41,3	20,3	0,0454
170	41,3	20,4	0,0454
169	3,3	26,6	0,5675
168	45,7	147,6	0,7635
167	47,8	161,4	0,7635
166	45,7	114,2	0,7635
165	45,7	92,0	0,7634
164	45,7	80,9	0,7634
163	22,2	51,9	0,7632
162	23,8	28,1	0,7140
161	23,8	26,6	0,7140
160	23,8	25,8	0,7141
191	41,3	20,0	0,0453
190	41,3	20,0	0,0453
189	41,3	20,0	0,0453
188	41,3	20,0	0,0453
187	41,3	20,0	0,0453
186	41,3	20,0	0,0453
185	41,3	20,0	0,0453

184	41,3	20,0	0,0453
183	41,3	20,0	0,0453
182	41,3	20,1	0,0453
181	41,3	20,1	0,0453
180	41,3	20,1	0,0453
179	41,3	20,1	0,0453
178	41,3	20,1	0,0453
177	41,3	20,1	0,0453
176	41,3	20,1	0,0454
207	29,8	20,0	0,5692
206	29,8	20,0	0,5692
205	29,8	20,0	0,5692
204	29,8	20,0	0,5692
203	29,8	20,0	0,5692
202	14,5	20,8	0,5269
201	14,5	20,9	0,5269
200	14,5	21,1	0,5269
195	3,3	29,2	0,5675
194	21,1	36,0	0,5673
193	2,1	125,3	0,7634
192	10,5	32,5	0,5673
211	31,8	20,0	0,5372
210	31,8	20,0	0,5372
209	31,8	20,0	0,5371
208	29,8	20,0	0,5692
239	29,8	20,4	0,5692
238	29,8	20,1	0,5692
237	29,8	20,1	0,5692
236	29,8	20,1	0,5692
235	29,8	20,1	0,5692
234	29,8	20,1	0,5692
233	29,8	20,0	0,5692
232	29,8	20,0	0,5692
247	29,8	20,2	0,5692
246	29,8	20,2	0,5692
245	29,8	20,2	0,5692
244	29,8	20,2	0,5692
243	29,8	20,3	0,5692
242	29,8	20,3	0,5692
241	29,8	20,3	0,5692
240	29,8	20,3	0,5692



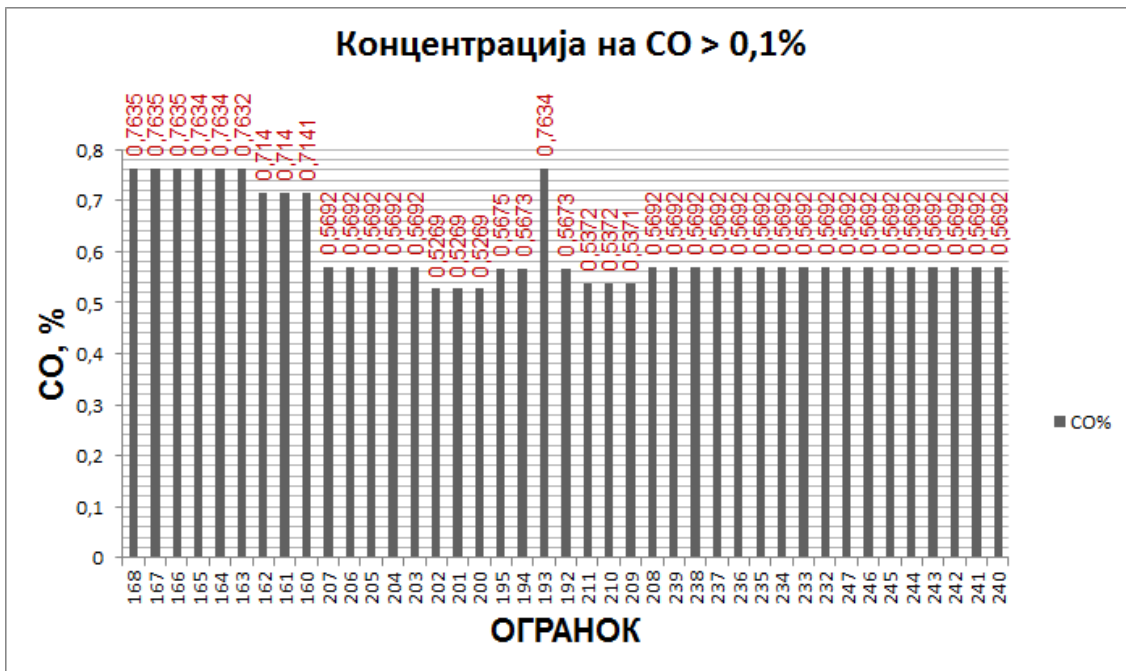
Слика 13.64. Критични услови во пожарно сценарио-2, со CO > 0,1%, на 1.350 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.64. Critical conditions in fire scenario-2, with CO > 0,1%, 1.350 seconds after fire event



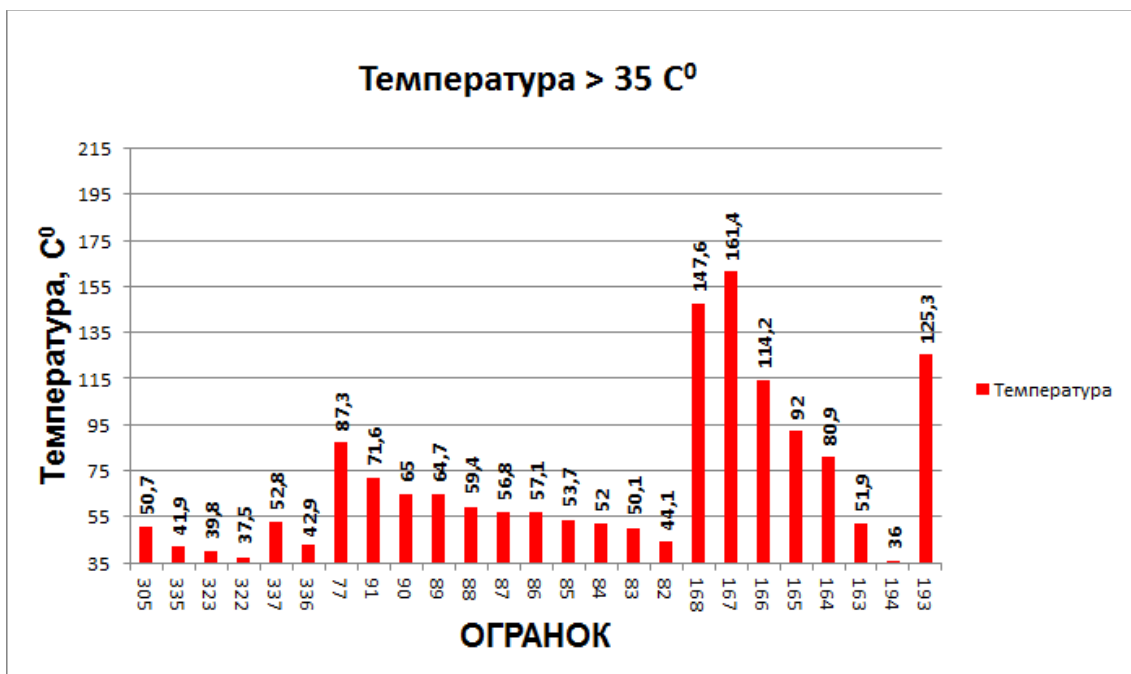
Слика 13.65. Критични услови во пожарно сценарио-2, со CO > 0,1%, на 1.350 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.65. Critical conditions in fire scenario-2, with CO > 0,1%, 1.350 seconds after fire event



Слика 13.66. Критични услови во пожарно сценарио-2, со CO > 0,1%, на 1.350 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.66. Critical conditions in fire scenario-2, with CO > 0,1%, 1.350 seconds after fire event



Слика 13.67. Критични услови во пожарно сценарио-2, со температура >35 C°, на 1.350 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.67. Critical conditions in fire scenario-2, with temperature >35 C°, 1.350 seconds after fire event

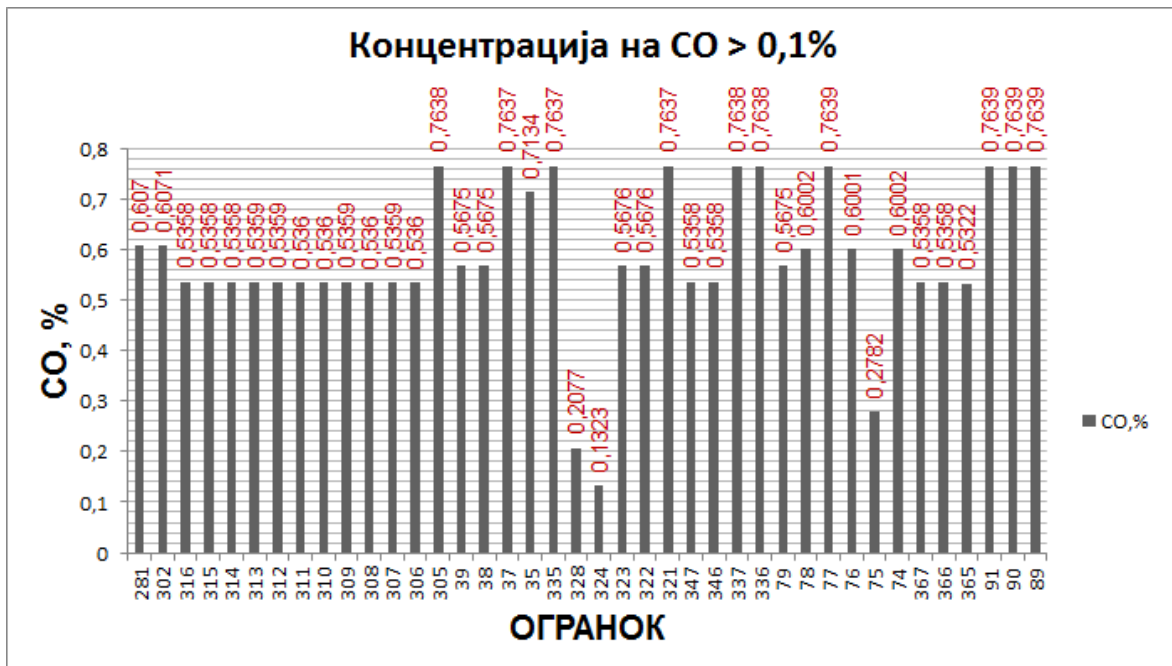
Табела 13.28. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-2, на 2.790 секунди од започнувањето на пожарот

Table 13.28. Analysis and calculations of fire scenario-2, 2.790 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C ^o]	Концентрација на CO, [%]
281	27,8	23,1	0,6070
302	12,5	22,1	0,6071
316	21,6	20,0	0,5358
315	10,0	19,8	0,5358
314	31,7	20,0	0,5358
313	8,3	19,7	0,5359
312	8,3	19,7	0,5359
311	16,7	19,6	0,5360
310	8,3	19,7	0,5360
309	8,4	19,7	0,5359
308	6,7	19,7	0,5360
307	8,4	19,7	0,5359
306	6,7	19,8	0,5360
305	22,1	55,0	0,7638
304	8,7	21,3	0,0557
39	3,3	31,9	0,5675
38	3,3	32,9	0,5675
37	22,1	36,6	0,7637
35	23,6	32,1	0,7134
335	22,1	45,3	0,7637
330	1,9	20,0	0,0453
329	39,4	20,0	0,0454
328	57,1	21,4	0,2077
325	8,7	20,9	0,0557
324	9,8	22,0	0,1323
323	31,5	42,8	0,5676
322	31,5	40,5	0,5676
321	1,1	35,5	0,7637
347	9,4	19,7	0,5358
346	14,9	20,0	0,5358
337	23,1	57,0	0,7638
336	1,1	46,1	0,7638
79	10,4	27,8	0,5675
78	12,5	34,3	0,6002
77	2,1	87,9	0,7639
76	12,5	28,1	0,6001
75	69,7	21,9	0,2782
74	12,5	30,9	0,6002
367	5,6	20,1	0,5358
366	5,6	20,1	0,5358
365	5,6	20,0	0,5322
91	45,5	76,2	0,7639
90	24,2	69,6	0,7639
89	21,3	69,2	0,7639
88	21,3	63,8	0,7639
87	0,4	61,3	0,7637
86	23,8	61,4	0,7639
85	21,7	58,1	0,7638

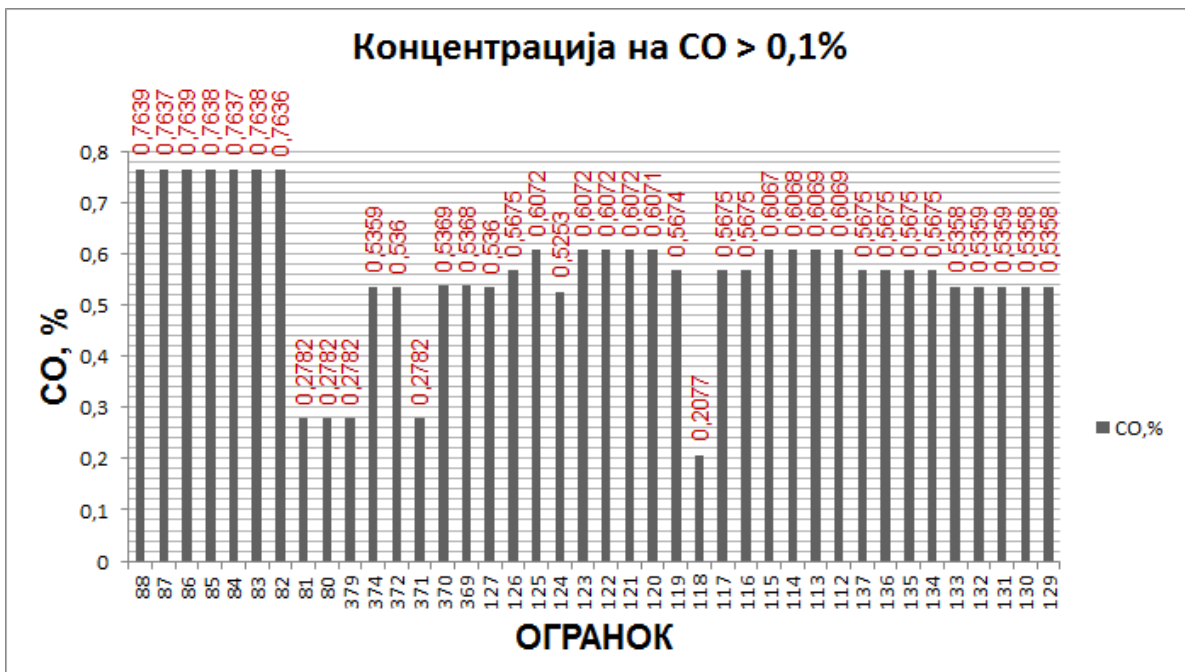
84	0,4	56,3	0,7637
83	0,6	54,0	0,7638
82	0,6	47,3	0,7636
81	69,7	20,7	0,2782
80	69,7	20,1	0,2782
379	69,7	21,6	0,2782
374	9,4	20,0	0,5359
372	16,7	19,7	0,5360
371	69,7	20,1	0,2782
370	5,6	20,0	0,5369
369	5,6	20,0	0,5368
127	2,5	20,0	0,5360
126	29,8	20,7	0,5675
125	15,3	21,3	0,6072
124	14,4	20,9	0,5253
123	15,3	21,4	0,6072
122	15,3	21,6	0,6072
121	15,3	21,9	0,6072
120	15,3	22,2	0,6071
119	3,3	29,6	0,5674
118	57,1	22,3	0,2077
117	17,8	30,5	0,5675
116	21,1	35,6	0,5675
115	27,8	25,5	0,6067
114	27,8	24,8	0,6068
113	27,8	24,2	0,6069
112	27,8	24,0	0,6069
137	29,8	21,0	0,5675
136	29,8	20,1	0,5675
135	29,8	20,6	0,5675
134	29,8	20,8	0,5675
133	2,5	20,0	0,5358
132	2,5	20,0	0,5359
131	2,5	20,0	0,5359
130	2,5	20,0	0,5358
129	4,2	20,0	0,5358
128	2,5	20,0	0,5359
149	22,1	35,0	0,7636
175	41,3	20,2	0,0457
174	41,3	20,3	0,0457
173	41,3	20,3	0,0458
172	41,3	20,3	0,0458
171	41,3	20,4	0,0459
170	41,3	20,5	0,0459
169	3,3	27,7	0,5674
168	45,5	148,9	0,7640
167	47,6	161,6	0,7641
166	45,5	117,4	0,7640
165	45,5	96,2	0,7640
164	45,5	85,4	0,7639
163	22,1	56,2	0,7638
162	23,6	29,6	0,7134
161	23,6	27,9	0,7134
160	23,6	27,0	0,7134
191	41,3	20,0	0,0454
190	41,3	20,0	0,0454
189	41,3	20,0	0,0454
188	41,3	20,0	0,0454

187	41,3	20,0	0,0454
186	41,3	20,0	0,0454
185	41,3	20,0	0,0454
184	41,3	20,0	0,0454
183	41,3	20,1	0,0454
182	41,3	20,1	0,0454
181	41,3	20,1	0,0455
180	41,3	20,1	0,0455
179	41,3	20,1	0,0455
178	41,3	20,1	0,0456
177	41,3	20,2	0,0456
176	41,3	20,2	0,0457
207	29,8	20,0	0,5675
206	29,8	20,0	0,5675
205	29,8	20,0	0,5675
204	29,8	20,1	0,5675
203	29,8	20,1	0,5675
202	14,4	21,0	0,5253
201	14,4	21,2	0,5253
200	14,4	21,4	0,5252
195	3,3	31,0	0,5675
194	21,1	38,8	0,5676
193	2,1	125,8	0,7640
192	10,4	34,8	0,5676
211	31,7	20,0	0,5358
210	31,7	20,0	0,5358
209	31,7	20,0	0,5358
208	29,8	20,0	0,5675
239	29,8	20,6	0,5675
238	29,8	20,2	0,5675
237	29,8	20,2	0,5675
236	29,8	20,2	0,5675
235	29,8	20,1	0,5675
234	29,8	20,1	0,5675
233	29,8	20,1	0,5675
232	29,8	20,1	0,5675
247	29,8	20,3	0,5675
246	29,8	20,3	0,5675
245	29,8	20,3	0,5675
244	29,8	20,3	0,5675
243	29,8	20,4	0,5675
242	29,8	20,5	0,5675
241	29,8	20,5	0,5675
240	29,8	20,5	0,5675



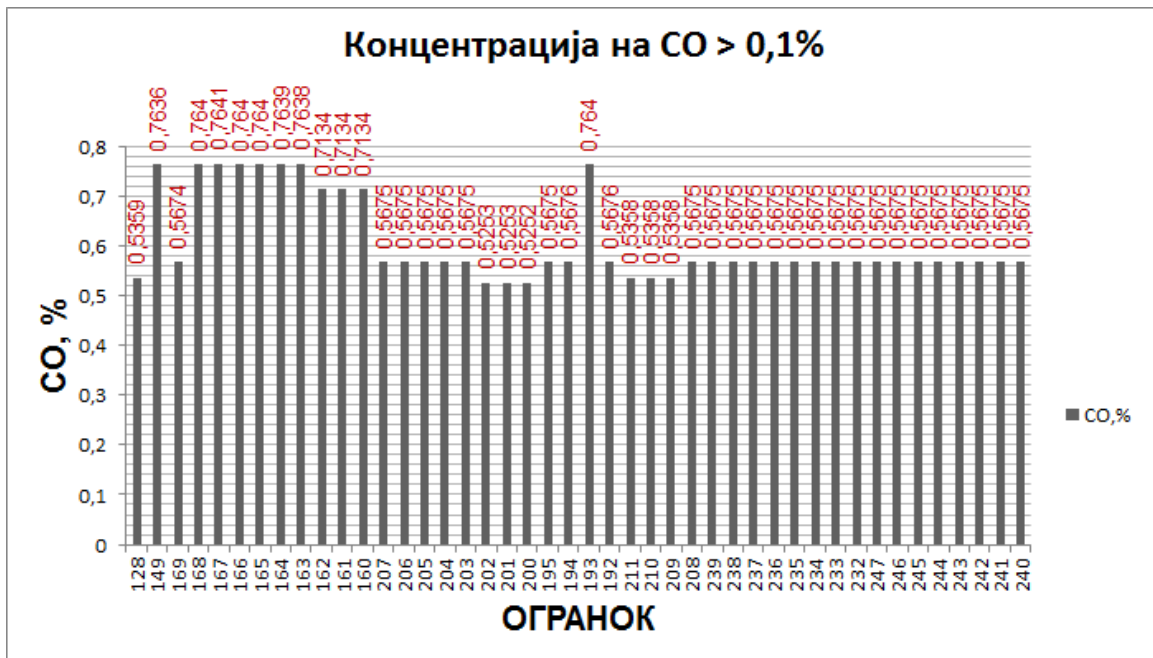
Слика 13.68. Критични услови во пожарно сценарио-2, со CO > 0,1%, на 2.790 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.68. Critical conditions in fire scenario-2, with CO > 0,1%, 2.790 seconds after fire event



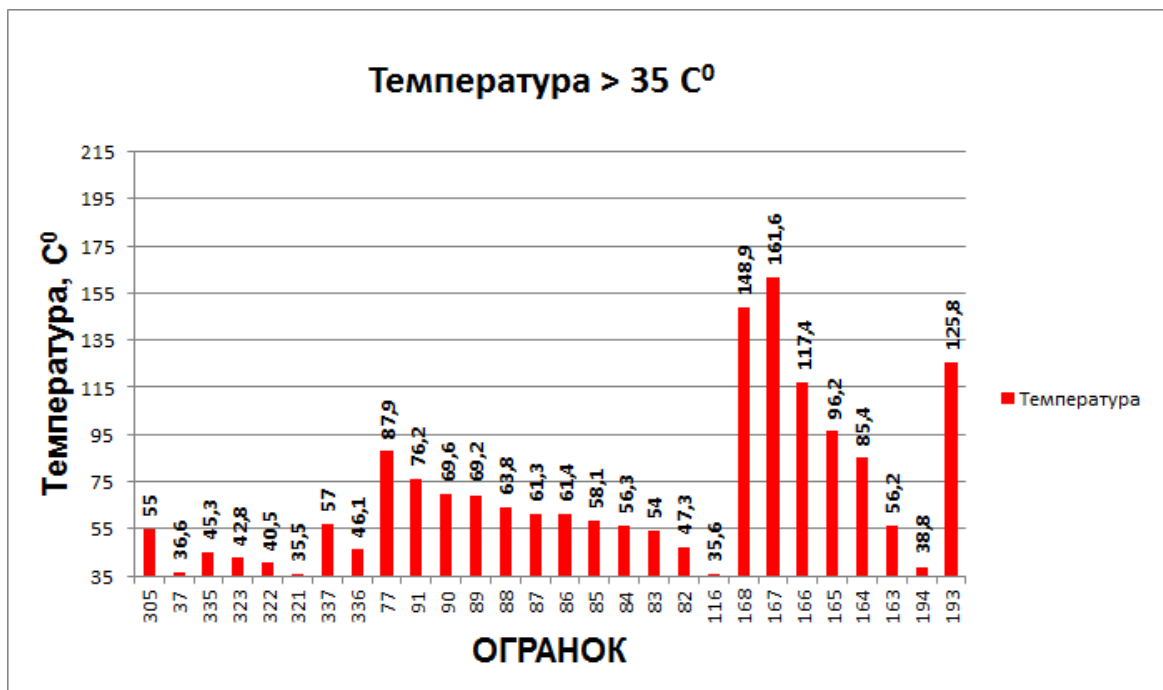
Слика 13.69. Критични услови во пожарно сценарио-2, со CO > 0,1%, на 2.790 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.69. Critical conditions in fire scenario-2, with CO > 0,1%, 2.790 seconds after fire event



Слика 13.70. Критични услови во пожарно сценарио-2, со CO > 0,1%, на 2.790 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.70. Critical conditions in fire scenario-2, with CO > 0,1%, 2.790 seconds after fire event



Слика 13.71. Критични услови во пожарно сценарио-2, со температура >35 C°, на 2.790 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.71. Critical conditions in fire scenario-2, with temperature >35 C°, 2.790 seconds after fire event

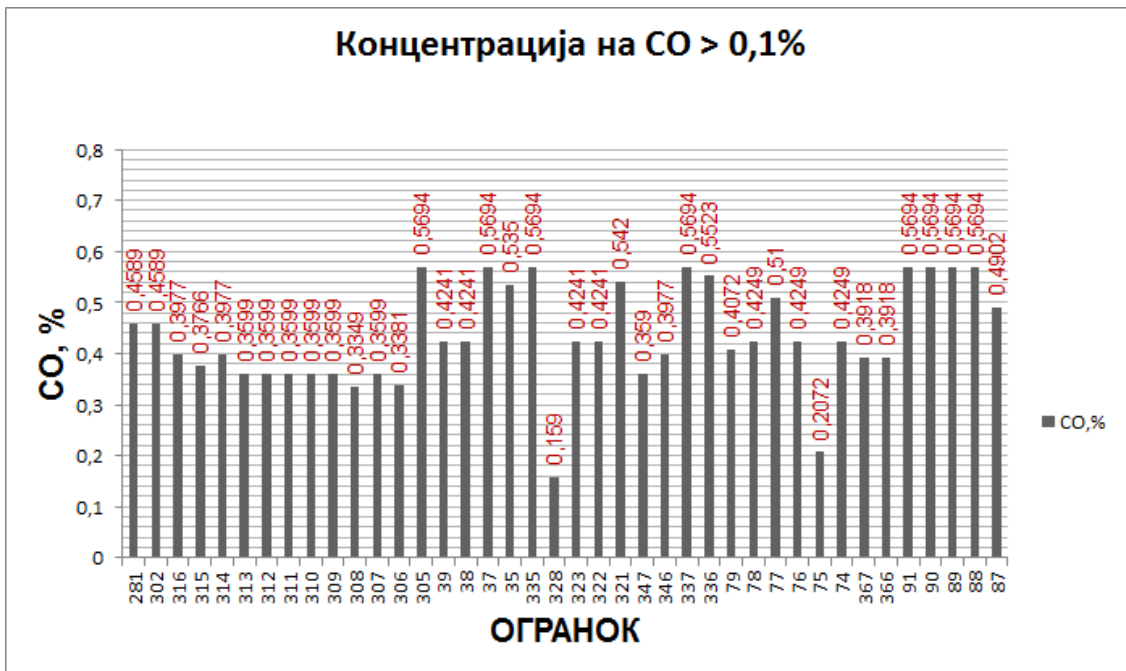
Табела 13.29. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-2, на 4.110 секунди од започнувањето на пожарот

Table 13.29. Analysis and calculations of fire scenario-2, 4.110 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
281	28,0	22,6	0,4589
302	12,6	21,8	0,4589
316	21,8	20,0	0,3977
315	10,1	19,8	0,3766
314	31,9	20,0	0,3977
313	8,4	19,7	0,3599
312	8,4	19,7	0,3599
311	16,9	19,6	0,3599
310	8,4	19,7	0,3599
309	8,5	19,8	0,3599
308	6,7	19,8	0,3349
307	8,5	19,8	0,3599
306	6,7	19,8	0,3381
305	22,6	46,9	0,5694
304	8,7	20,9	0,0417
39	3,8	29,4	0,4241
38	3,8	30,1	0,4241
37	22,6	32,9	0,5694
35	24,0	29,6	0,5350
335	22,6	39,6	0,5694
330	1,9	20,0	0,0238
329	39,4	20,0	0,0389
328	57,3	21,1	0,1590
325	8,7	20,6	0,0417
324	9,8	21,2	0,0977
323	32,1	37,4	0,4241
322	32,1	35,6	0,4241
321	1,1	29,5	0,5420
347	9,5	19,7	0,3590
346	15,0	20,0	0,3977
337	23,7	48,1	0,5694
336	1,1	39,7	0,5523
79	10,5	25,2	0,4072
78	12,7	29,1	0,4249
77	2,2	64,6	0,5100
76	12,7	25,1	0,4249
75	69,9	21,3	0,2072
74	12,7	26,9	0,4249
367	5,6	20,1	0,3918
366	5,6	20,1	0,3918
91	46,7	62,2	0,5694
90	24,8	57,3	0,5694
89	21,9	57,0	0,5694
88	21,9	53,2	0,5694
87	0,4	49,2	0,4902
86	24,4	51,3	0,5694
85	22,3	48,8	0,5678
84	0,4	42,7	0,4802

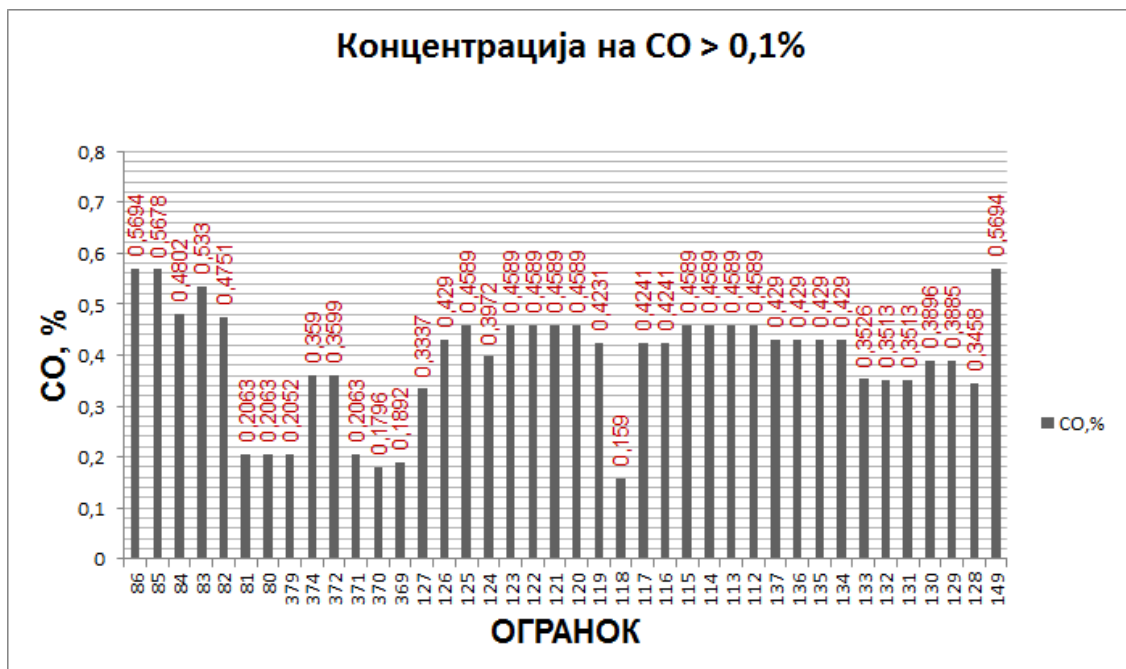
83	0,8	44,9	0,5330
82	0,8	37,7	0,4751
81	69,9	20,4	0,2063
80	69,9	20,1	0,2063
379	69,9	21,7	0,2052
374	9,5	20,0	0,3590
372	16,9	19,7	0,3599
371	69,9	20,1	0,2063
370	5,6	20,0	0,1796
369	5,6	20,0	0,1892
127	2,5	20,0	0,3337
126	30,0	20,6	0,4290
125	15,4	21,1	0,4589
124	14,5	20,8	0,3972
123	15,4	21,3	0,4589
122	15,4	21,4	0,4589
121	15,4	21,6	0,4589
120	15,4	21,9	0,4589
119	3,8	27,8	0,4231
118	57,3	21,8	0,1590
117	17,8	28,1	0,4241
116	21,6	32,1	0,4241
115	28,0	24,6	0,4589
114	28,0	24,1	0,4589
113	28,0	23,6	0,4589
112	28,0	23,4	0,4589
137	30,0	20,9	0,4290
136	30,0	20,1	0,4290
135	30,0	20,6	0,4290
134	30,0	20,7	0,4290
133	2,5	20,0	0,3526
132	2,5	20,0	0,3513
131	2,5	20,0	0,3513
130	2,5	20,0	0,3896
129	4,3	20,0	0,3885
128	2,5	20,0	0,3458
149	22,6	31,7	0,5694
175	41,3	20,2	0,0389
174	41,3	20,2	0,0389
173	41,3	20,3	0,0389
172	41,3	20,3	0,0389
171	41,3	20,3	0,0389
170	41,3	20,4	0,0389
169	3,8	25,9	0,4231
168	46,7	116,0	0,5694
167	48,9	125,5	0,5694
166	46,7	92,6	0,5694
165	46,7	76,9	0,5694
164	46,7	68,9	0,5694
163	22,6	47,7	0,5694
162	24,0	27,7	0,5350
161	24,0	26,4	0,5350
160	24,0	25,7	0,5350
191	41,3	20,0	0,0389
190	41,3	20,0	0,0389
189	41,3	20,0	0,0389
188	41,3	20,0	0,0389
187	41,3	20,0	0,0389

186	41,3	20,0	0,0389
185	41,3	20,0	0,0389
184	41,3	20,1	0,0389
183	41,3	20,1	0,0389
182	41,3	20,1	0,0389
181	41,3	20,1	0,0389
180	41,3	20,1	0,0389
179	41,3	20,1	0,0389
178	41,3	20,1	0,0389
177	41,3	20,2	0,0389
176	41,3	20,2	0,0389
207	30,0	20,0	0,4290
206	30,0	20,0	0,4290
205	30,0	20,0	0,4290
204	30,0	20,0	0,4290
203	30,0	20,0	0,4290
202	14,5	20,9	0,3972
201	14,5	21,0	0,3972
200	14,5	21,3	0,3972
195	3,8	28,8	0,4241
194	21,6	34,4	0,4241
193	2,2	96,4	0,5191
192	10,5	31,2	0,4202
211	31,9	20,0	0,4044
210	31,9	20,0	0,4044
209	31,9	20,0	0,3977
208	30,0	20,0	0,4290
239	30,0	20,5	0,4290
238	30,0	20,2	0,4290
237	30,0	20,2	0,4290
236	30,0	20,2	0,4290
235	30,0	20,1	0,4290
234	30,0	20,1	0,4290
233	30,0	20,1	0,4290
232	30,0	20,1	0,4290
247	30,0	20,2	0,4290
246	30,0	20,3	0,4290
245	30,0	20,3	0,4290
244	30,0	20,3	0,4290
243	30,0	20,4	0,4290
242	30,0	20,4	0,4290
241	30,0	20,4	0,4290
240	30,0	20,5	0,4290



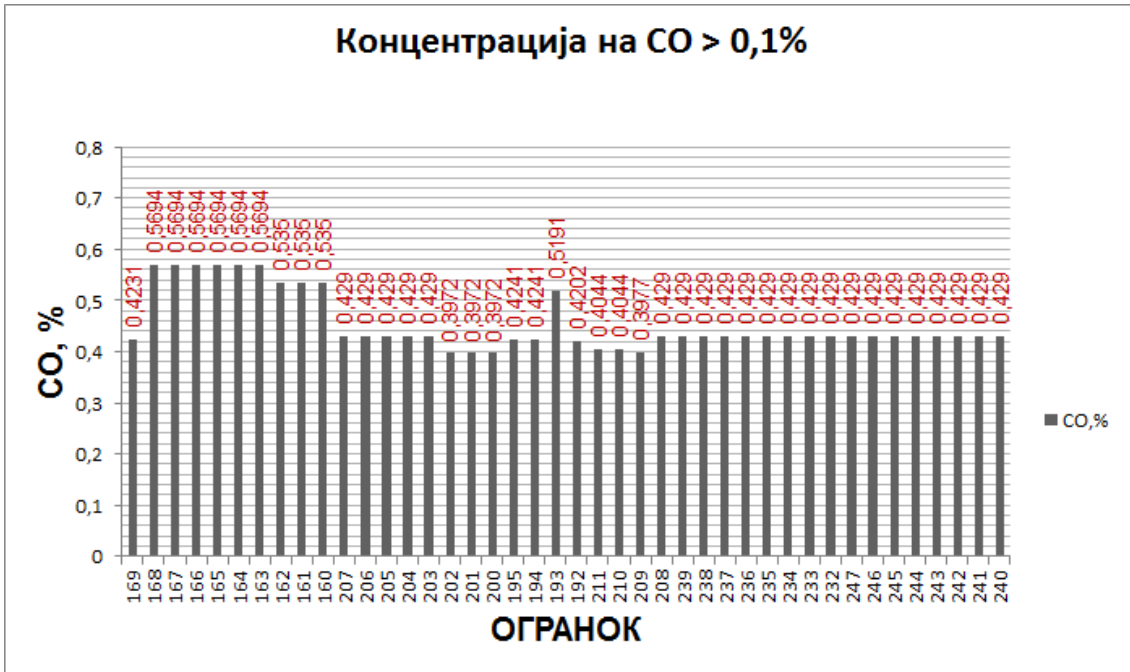
Слика 13.72. Критични услови во пожарно сценарио-2, со CO > 0,1%, на 4.110 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.72 Critical conditions in fire scenario-2, with CO > 0,1%, 4.110 seconds after fire event



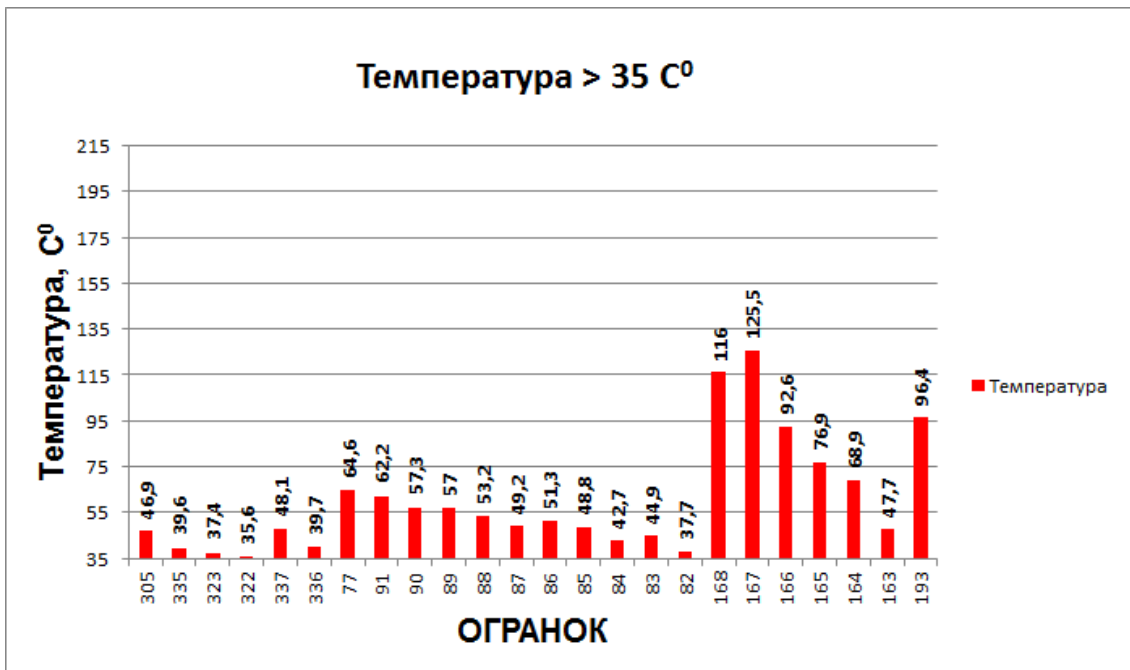
Слика 13.73. Критични услови во пожарно сценарио-2, со CO > 0,1%, на 4.110 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.73. Critical conditions in fire scenario-2, with CO > 0,1%, 4.110 seconds after fire event



Слика 13.74. Критични услови во пожарно сценарио-2, со CO > 0,1%, на 4.110 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.74. Critical conditions in fire scenario-2, with CO > 0,1%, 4.110 seconds after fire event



Слика 13.75. Критични услови во пожарно сценарио-2, со температура >35 C°, на 4.110 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.75. Critical conditions in fire scenario-2, with temperature >35 C°, 4.110 seconds after fire event

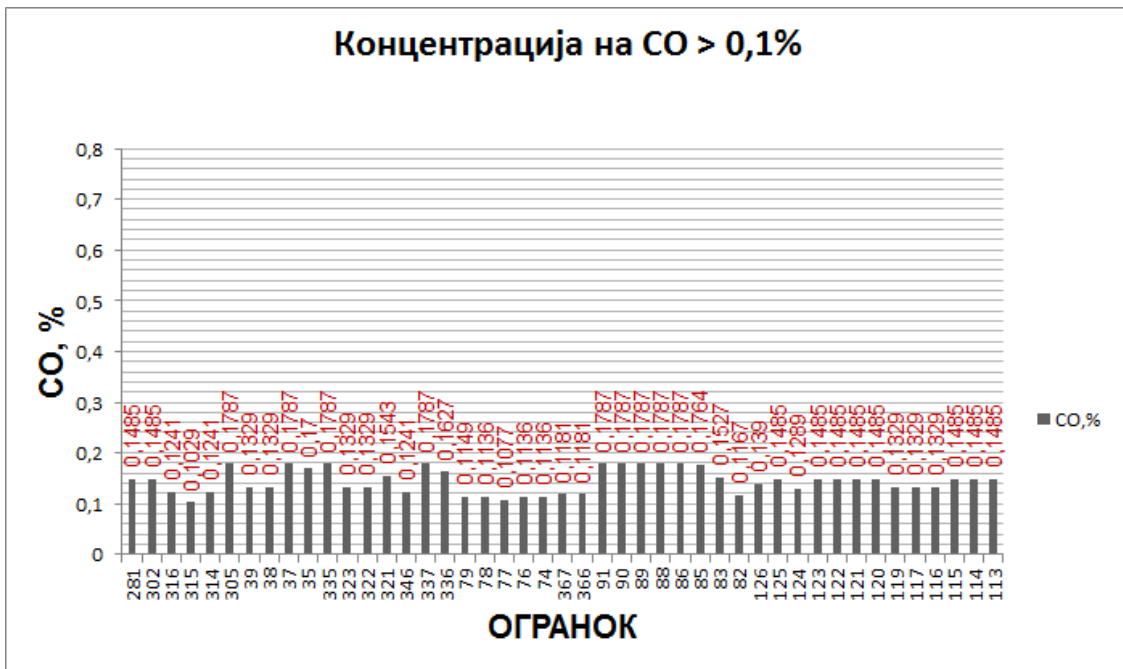
Табела 13.30. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-2, на 6.650 секунди од започнувањето на пожарот

Table 13.30. Analysis and calculations of fire scenario-2, 6.650 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C ⁰]	Концентрација на CO, [%]
281	28,6	20,6	0,1485
302	12,9	20,4	0,1485
316	22,2	20,0	0,1241
315	10,3	19,8	0,1029
314	32,5	20,0	0,1241
313	8,6	19,7	0,0828
312	8,6	19,7	0,0828
311	17,2	19,7	0,0828
310	8,6	19,7	0,0828
309	8,7	19,8	0,0828
308	6,9	19,7	0,0527
307	8,7	19,8	0,0828
306	6,9	19,8	0,0539
305	23,8	28,1	0,1787
304	8,7	20,1	0,0133
39	4,6	22,7	0,1329
38	4,6	22,8	0,1329
37	23,8	23,8	0,1787
35	25,0	22,8	0,1700
335	23,8	25,8	0,1787
329	39,5	20,0	0,0141
328	57,5	20,2	0,0514
325	8,7	20,1	0,0133
324	9,9	20,2	0,0301
323	33,2	25,0	0,1329
322	33,2	24,5	0,1329
321	1,2	22,5	0,1543
347	9,7	19,7	0,0853
346	15,3	20,0	0,1241
337	24,9	28,4	0,1787
336	1,2	25,7	0,1627
79	10,5	21,2	0,1149
78	12,9	21,9	0,1136
77	2,4	29,6	0,1077
76	12,9	20,9	0,1136
75	70,4	20,2	0,0628
74	12,9	21,3	0,1136
367	5,6	20,1	0,1181
366	5,6	20,1	0,1181
91	49,2	32,8	0,1787
90	26,2	31,3	0,1787
89	23,0	31,2	0,1787
88	23,0	30,0	0,1787
87	0,3	26,3	0,0524
86	25,9	29,4	0,1787
85	23,3	28,5	0,1764
83	1,0	27,2	0,1527
82	1,0	24,1	0,1167

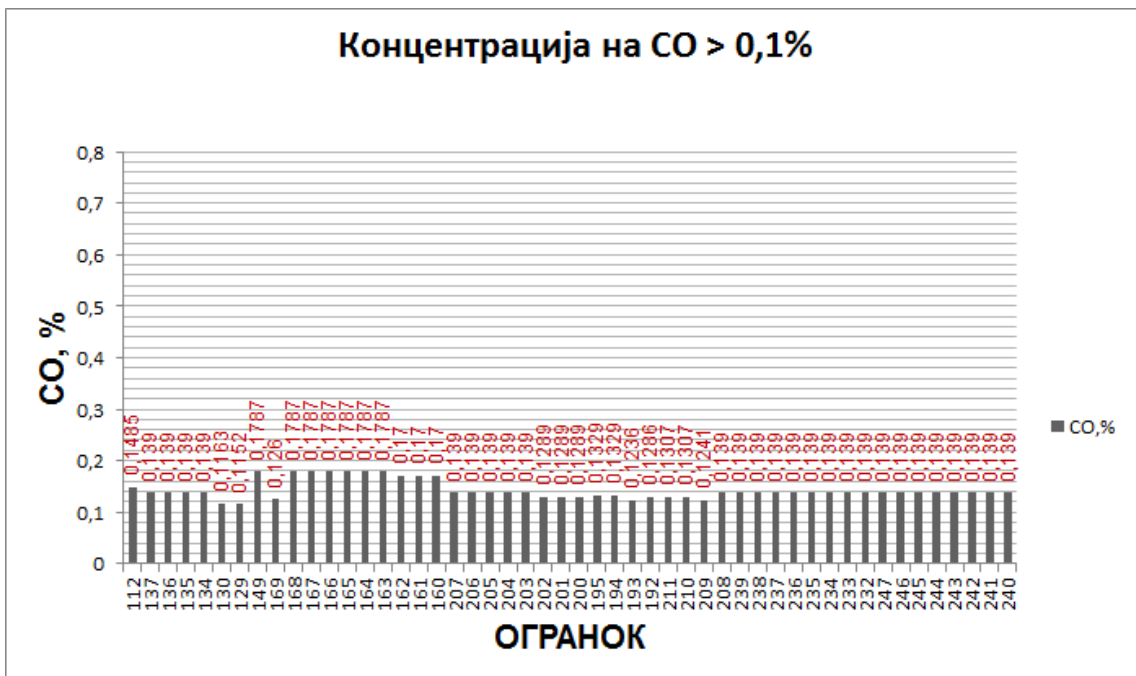
81	70,4	20,1	0,0619
80	70,4	20,0	0,0619
379	70,4	21,8	0,0608
374	9,7	20,1	0,0853
372	17,2	19,7	0,0828
371	70,4	20,0	0,0619
126	30,6	20,1	0,1390
125	15,7	20,2	0,1485
124	14,8	20,2	0,1289
123	15,7	20,2	0,1485
122	15,7	20,3	0,1485
121	15,7	20,3	0,1485
120	15,7	20,4	0,1485
119	4,6	22,2	0,1329
118	57,5	20,4	0,0514
117	18,1	22,2	0,1329
116	22,7	23,4	0,1329
115	28,6	21,3	0,1485
114	28,6	21,2	0,1485
113	28,6	21,0	0,1485
112	28,6	21,0	0,1485
137	30,6	20,2	0,1390
136	30,6	19,9	0,1390
135	30,6	20,1	0,1390
134	30,6	20,1	0,1390
133	2,5	20,0	0,0795
132	2,5	20,0	0,0795
131	2,5	20,0	0,0695
130	2,5	20,0	0,1163
129	4,4	20,0	0,1152
128	2,5	20,0	0,0685
149	23,8	23,4	0,1787
175	41,4	20,0	0,0141
174	41,4	20,0	0,0141
173	41,4	20,0	0,0141
172	41,4	20,0	0,0141
171	41,4	20,0	0,0141
170	41,4	20,1	0,0141
169	4,6	21,5	0,1260
168	49,2	50,7	0,1787
167	51,6	54,0	0,1787
166	49,2	42,9	0,1787
165	49,2	37,6	0,1787
164	49,2	35,0	0,1787
163	23,8	28,3	0,1787
162	25,0	22,2	0,1700
161	25,0	21,9	0,1700
160	25,0	21,6	0,1700
191	41,4	19,9	0,0141
190	41,4	19,9	0,0141
189	41,4	19,9	0,0141
188	41,4	19,9	0,0141
187	41,4	19,9	0,0141
186	41,4	19,9	0,0141
185	41,4	19,9	0,0141
184	41,4	20,0	0,0141
183	41,4	20,0	0,0141
182	41,4	20,0	0,0141

181	41,4	20,0	0,0141
180	41,4	20,0	0,0141
179	41,4	20,0	0,0141
178	41,4	20,0	0,0141
177	41,4	20,0	0,0141
176	41,4	20,0	0,0141
207	30,6	20,0	0,1390
206	30,6	20,0	0,1390
205	30,6	20,0	0,1390
204	30,6	20,0	0,1390
203	30,6	19,9	0,1390
202	14,8	20,2	0,1289
201	14,8	20,2	0,1289
200	14,8	20,2	0,1289
195	4,6	22,5	0,1329
194	22,7	24,1	0,1329
193	2,4	42,4	0,1236
192	10,5	23,1	0,1286
211	32,5	20,0	0,1307
210	32,5	20,0	0,1307
209	32,5	20,0	0,1241
208	30,6	20,0	0,1390
239	30,6	20,1	0,1390
238	30,6	20,0	0,1390
237	30,6	20,0	0,1390
236	30,6	20,0	0,1390
235	30,6	20,0	0,1390
234	30,6	20,0	0,1390
233	30,6	19,9	0,1390
232	30,6	19,9	0,1390
247	30,6	20,0	0,1390
246	30,6	20,0	0,1390
245	30,6	20,0	0,1390
244	30,6	20,0	0,1390
243	30,6	20,0	0,1390
242	30,6	20,0	0,1390
241	30,6	20,0	0,1390
240	30,6	20,1	0,1390



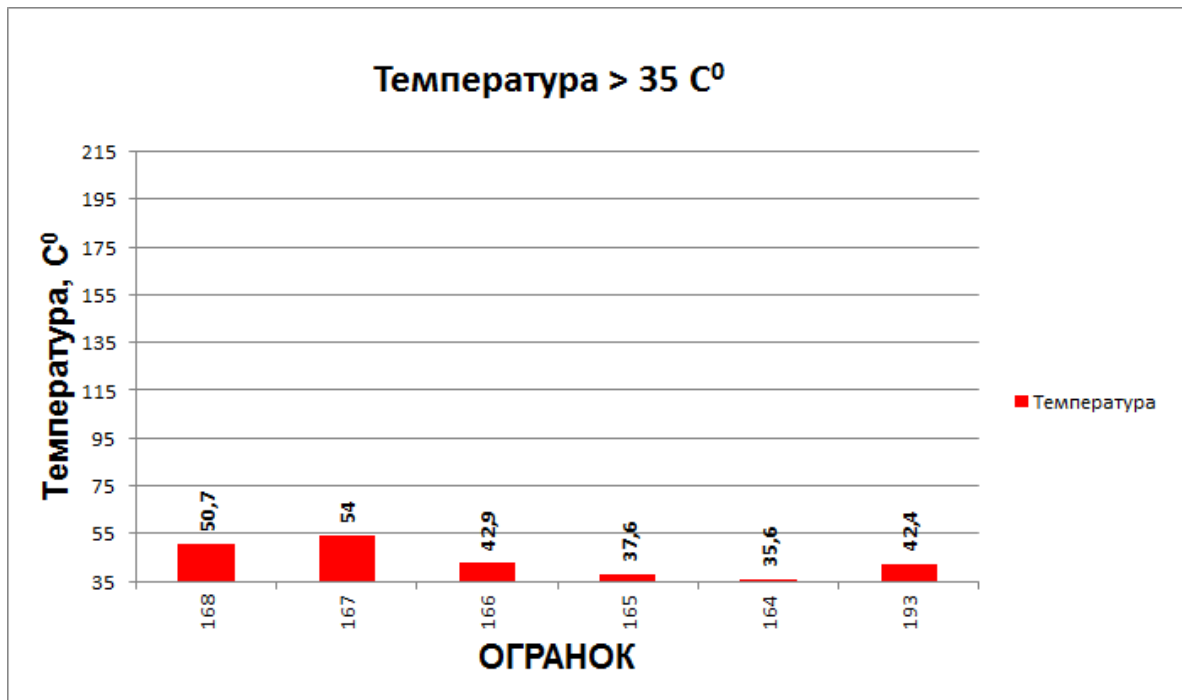
Слика 13.76. Критични услови во пожарно сценарио-2, со CO > 0,1%, на 6.650 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.76. Critical conditions in fire scenario-2, with CO > 0,1%, 6.650 seconds after fire event



Слика 13.77. Критични услови во пожарно сценарио-2, со CO > 0,1%, на 6.650 секунди од започнувањето на пожарот

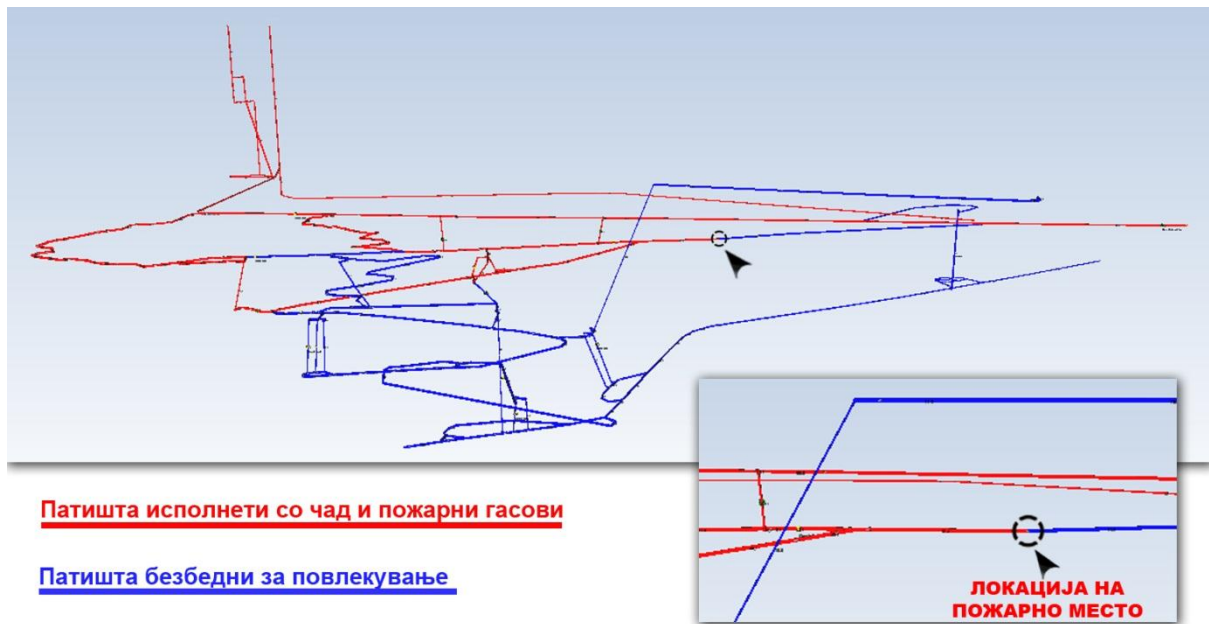
Figure 13.77. Critical conditions in fire scenario-2, with CO > 0,1%, 6.650 seconds after fire event



Слика 13.78. Критични услови во пожарно сценарио-2, со температура $>35\text{ C}^{\circ}$, на 6.650 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 13.78. Critical conditions in fire scenario-2, with temperature $>35\text{ C}^{\circ}$, 6.650 seconds after fire event

Со направените анализи и пресметки во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, за пожарното сценарио-2, добивме временска должина на пожарот од 6.650 секунди (110,8 минути), за целосно согорување на една гума со тежина од 489 kg.



Слика 13.79. Анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-2
 Figure 13.79. Calculations for movement of smoke and fire gases made in software MINEFIRE PRO+ for fire scenario-2,

По направената анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови, генерирани од пожарното сценарио-2, следува процес за лоцирање на местоположбата на сите луѓе во рудникот (слика 13.54) и издавање на наредби и упаства за нивно повлекување по предходно пресметаните безбедни патишта за спасување и евакуација (слика 13.79).

13.5.1.2.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-2

Влијанијата на предходно дефинираните фактори за оптимизација ќе влијаат на брзината за евакуација и истите се трансформираат во еквивалентна должина на патиштата кои воедно преставуваат и вкупна тежина на рутата за евакуација. Онаа рута за евакуација која ќе има најмала тежина пресметана по предходно спомнатата методологија ќе преставува оптимална рута за евакуација

Според анализата и пресметките за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-2 (слика 13.79), лоцирани се можните патишта за евакуација на сите групи на

работници (ќе разгледуваме рути за евакуација до трет ранг). Во табела 13.31 прикажани се само оптималните рути за евакуација на сите вработени во рудникот, пресметани по предходно спомнатиот математички модел за оптимизација.

Табела 13.31. Оптимални рути за евакуација на сите работници во рудникот, генерирани за пожарно сценарио-2

Table 13.31. Optimal routes for evacuation of all workers in the underground mine for fire scenario-2

Евакуација на група работници	Број на работници	Тежина на оптималната рута за евакуација (метри)	Време потребно за евакуација низ оптималната рута (минути)	Активирање на системот за самоспасување (капацитет 30 минути)	Движење низ чад и пожарни гасови (метри)	Време потребно за поминување низ загаденото место (минути)
Група 1	2	3.522	49,3	Да	103	1,4
Група 2	3	3.636	50,9	Да	242	3,3
Група 3	2	3.849	53,9	Да	463	6,4
Група 4	3	3.019	42,2	Не	0	0
Група 5	2	2.885	40,4	Не	0	0
Група 6	2	2.703	37,8	Не	0	0
Група 7	2	2.916	40,8	Да	279	3,9

Група 8	2	2.695	37,7	Да	58	0,8
Група 9	3	2.515	35,2	Не	0	0
Група 10	2	2.434	34,0	Не	0	0
Група 11	2	2.285	32,0	Не	0	0
Група 12	2	2.557	35,8	Не	0	0
Група 13	3	2.590	36,2	Не	0	0
Група 14	2	2.254	31,5	Не	0	0
Група 15	2	2.280	31,9	Не	0	0
Група 16	2	1.969	27,5	Не	0	0

14. ЗАКЛУЧОЦИ И ПРЕПОРАКИ ЗА ПОНАТАМОШНИ ИСТРАЖУВАЊА

Плановите за евакуација и спасување му овозможуваат на секој рудник да одговори и да воспостави контрола во случај на вонредна состојба. Едни од најопасните вонредни состојби кои имаат однесено најмногу човечки животи во рудниците за подземна експлоатација се пожарите. Во рудниците за подземна експлоатација, пожарите можат да се случат во било кое време и можат да резултираат со делумна или целосна евакуација на персоналот во рудникот. Повеќето пожари кои настануваат во рудниците за подземна експлоатација се уникатни по својот карактер, па изработката на план за евакуација и спасување за секоја ситуација е апсолутно неможно и непредвидливо. Сепак, во вакви случаи на вонредни состојби постојат одредени заеднички елементи кои можат да се предвидат, па нивното изготвување и вметнување во плановите за евакуација и спасување во случај на пожар можат многу да помогнат во намалувањето на катастрофалните последици.

Плановите за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација даваат преглед на постапките за одговор и превентивни мерки кои се неопходни за ефективно и навремено управување со оваа вонредна ситуација. Брзата акција и претходната подготовка за справување со ваков тип на вонредни ситуации може да помогне во спасување на човечки животи и заштита на финансиските инвестиции во самиот рудник.

Ширењето и движењето на чадот во рудниците за подземна експлоатација ќе ја диктира безбедноста за повлекување и спасување како и самата операција на спасувачките служби.

Пожарните сценарија најчесто се основаат на нормативни решенија во националните, регионалните или локалните регулативи. Многу регулативи даваат можност за перформансно-базирани пожарни сценарија. Користењето на перформансно-базираниот пристап дозволува поголема флексибилност во моделирањето на пожарните сценарија бидејќи инженерот за противпожарна заштита може да користи математички и инженерски методи за да добие оптимално дизајн сценарио.

Основниот услов кој беше земен во предвид при изработката на методолошката база преставена во оваа докторска дисертација е истата да користи едноставни и достапни софтверски решенија, употребени по логички редослед со можност за широка и брза примена во дадени услови. За да се постигне бараното ниво на реалност на изработените модели, а воедно и да се зголеми апликативното значење, целата методолошка база беше разработена на ниво на Рудникот за подземна експлоатација „САСА” - М.Каменица.

За идентификување на можните пожарни сценарија во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА” ги користевме прирачниците за работните процесите и работната механизација со што беше направена анализа на пожарен ризик со чија помош ги идентификувавме локациите на можните пожарни сценарија. Од прирачниците за работните процесите и работната механизација на рудникот „САСА” идентификувани се можни пожарни сценарија од работната механизација: електро-хидраулична дупчалка Boomer 281, јамски камион Minetruck MT 2010, утоварач Scooptram ST 3.5 како и од работни активности во магацинот за дизел гориво и мазиво. За секое идентификувано пожарно сценарио во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА”, е изработен модел на пожар и систем за евакуација.

Одредувањето на излезните пожарни параметри, како што се: стапката на ослободување на топлина (heat release rate), преносот на топлина, стапка на горење на материјалот, генерирање на штетни пожарни гасови, чад итн. преставуваат клучни податоци на самото пожарно сценарио. Од методот на пресметка на овие излезните пожарни параметри ќе зависи и точноста на самото пожарно сценарио. Постојат четири методи за пресметка на излезните пожарни параметри и тоа: лабораториски, реални тестови, математичко моделирање и софтверско моделирање. Во докторската дисертација од гореспомнатите четири методи за пресметка на излезните пожарни параметри го користевме методот на софтверско моделирање во софтверот Pyrosim (студентска верзија). Овој метод има финансиска предност пред методологијата на лабораториски и реални тестови, а далеку поголема точност, поедноставеност и заштеда во време од математичкото моделирање. Софтверот PyroSim е графички кориснички интерфејс на компјутерскиот код Fire Dynamics Simulator (FDS) кој може да симулира пожарни сценарија со

користење на пресметковна метода на динамика на флуидите (CFD). Овој пристап е многу флексибилен и може да предвиди и да симулира различни пожарни сценарија заедно со нивните излезни пожарни параметри.

Во докторската дисертација за пресметка на движењето и ширењето на предходно пресметаните пожарни параметри е користен метод на софтверско моделирање во софтверот MINEFIRE PRO+ (студентска верзија), како најпристапен и најевтин метод поради сложеноста на подземните руднички објекти. MINEFIRE PRO+ е Windows-базиран пакет на програми кој ја вклучува модифицираната верзија на пожарната алатка MFire, оригинално развиена од страна на поранешното US Bureau of Mines (USBM) која е интерактивно поврзана со софтверот за вентилационо мрежно планирање VnetPC. Во софтверскиот модел на движењето и ширењето на пожарните параметри низ рудничките подземни простории, се вклучени и пресметките за вентилацијата кои одговараат на Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“.

За пресметка на оптималните рути за евакуација и спасување на сите вработени во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ е користен е математички метод базиран на резултатите од движењето на чадот и пожарните гасови низ рудничките подземни простории.

На основа на предходно изнесеното, може да се формулираат научнометодолошките и научноапликативните придонеси на оваа докторска дисертација, која нуди иновативност, поврзување и подобрување во следниве процеси:

- Разработка на методологија за идентификување и дефинирање на можните пожарни сценарија;
- Разработка на процес и чекори за моделирање и пресметка на пожарните параметри од идентификуваното пожарно сценарио;
- Методологија за пресметка на движењето на пожарните параметри низ системот од рудничките простории каде е вклучена и реалната вентилација на рудникот;
- Разработка на соодветна методологија за пресметка на оптималните рути за евакуација;

- Преставената методолошка база за прв пат ги обединува сите чекори потребни за брза и целосна изработка на систем за евакуација и спасување во случај на пожар, користејќи ги при тоа најновите научни сознанија од областа на пожарното инженерство и информатичката технологија претставени преку достапни софтверски решенија;
- Преставената методологија и систем на работа преставуваат најевтина варијанта за изработка на ефективен систем за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација;
- Преставената методологија значително може да го намали ризикот во случај на пожар и да помогне во спасување на човечки животи и заштита на финансиските инвестиции на самиот рудник;
- Предложената методологија дозволува изработка на база на податоци од повеќе различни пожарни сценарија кои можат да послужат за планирање на повеќе варијанти од системот за евакуација;
- Преставениот модел на системот за евакуација и спасување во случај на пожар има значително зголемена точност во споредба со останатите досега преставени модели, поради изработениот 3D софтверски модел кој ја вклучува реалната големина на рудникот заедно со сите придружни елементи од кои зависи пожарната динамика и самиот систем за евакуација.

Во овој докторски труд е разработен модел на современ пристап при планирањето на системот за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација и истиот може да се користи за обука, научноистражувачки и практични цели, при што основна цел на овој труд е со помош на оваа претходната подготовка за евакуација од ваков тип на вонредни ситуации е да се намали ризикот, а воедно и да се помогне во спасување на човечки животи.

Препораки за понатамошни истражувања

Понатамошните истражувања можат да се развиваат во повеќе правци, а еден од нив е секако подобрување на точноста на софтверското моделирање за пресметка на параметрите на согорените пожарните продукти, кои ќе

придонесат за поточно моделирање на истите со што би се намалила потребата од скапите лабораториски тестови. Преставената методолошка база, заедно со сите чекори за изработка на систем за евакуација и спасување во случај на пожар, може да послужи како основа врз чии податоци може да се изработи компјутерски симулатор каде што ќе може да се претстави овој процес и секој работник со помош на компјутер да проба да го тестира предложениот систем за евакуација. Исто така преставената методологија може да послужи како идеја за изработка на еден софтверски пакет, кој ќе ги вклучува сите чекори за изработка на систем за евакуација и спасување во случај на пожар во рудниците за подземна експлоатација.

15. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Babrauskas, V., & Grayson, J. (1992). Heat Release in Fires. Chapman and Hall, London, 635.
- [2] Babrauskas, V., & Peacock, D. (1992). Heat release rate: the single most important variable in fire hazard. *Fire Safety Journal*, 18 (3), 255-272.
- [3] Bahr, J. (1997). *System Safety Engineering and Risk Assessment: A Practical Approach*. Taylor and Francis, Washington, D.C, 247.
- [4] Banjac, M., & Nikolic, B. (2008). Numerical study of smoke flow control in tunnel fires using ventilation systems. *FME Transactions*, 36, 145-150.
- [5] Barker, R., & Li, H. (1989). Automatic selection of safe egress routes away from underground fires. *Mining Science and Technology*, 9, 289-308.
- [6] Baum, R., McGrattan, B., & Rehm, G. (1994). Simulation of smoke plumes from large pool fires. *Proceedings of the 25th symposium (international) on combustion*, Pittsburgh: The Combustion Institute, 69-76.
- [7] Beard, N. (1997). A Model for Predicting Fire Spread in Tunnels. *Journal of Fire Sciences*, 15, 277-307.
- [8] Beard, N. (2001). Modelling Spread of Fire in a Tunnel. *Journal of Applied Fire Science*, 10, 29-40.
- [9] Beard, N., Carvel, R., & Jowitt, P. (2007). Modelling fire size and spread in tunnels. *Fire Science and Technology*, 26(02), 125-131.
- [10] Bhattacharjee, S., Roy, P., Ghosh, S., Misra, S., & Obaidat, M. (2012). Wireless sensor network-based fire detection, alarming, monitoring and prevention system for Bord-and-Pillar coal mines. *The Journal of Systems and Software*, 85 (2012), 571-581.
- [11] Brake, J. (2013). Fire Modelling in Underground Mines using Ventsim Visual VentFIRE Software. *The Australian mine ventilation conference-Adelaide, SA*, 265-276.
- [12] Bukowski, R. (1989). *The HAZARD- 1 Computer Code Package for Fire Hazard Assessment*. NBS(NIST), Gaithersburg, MD, 43.
- [13] Carvel, O., Beard, N., & Jowitt, W. (2001). A Method for Making Realistic Estimates of the Heat Release Rate of a Fire in a Tunnel. *3rd International*

- Conference on Tunnel Fires & Escape from Tunnels, Washington, DC, 137-144.
- [14] Carvel, O., Beard, N., & Jowitt, W. (2001). A Bayesian Estimation of the Effect of Forced Ventilation on a Pool Fire in a Tunnel. *Civil Engineering & Environmental Systems*, 18, 279-302.
- [15] Charters, A., Gray, W., & McIntosh, A. (1994). A computer model to assess fire hazards in tunnels. *Fire Technol*, 30, 134-54.
- [16] Chen, J., Chen, H., & Fu, S. (2003). Numerical study of reversal flow in tunnel fires. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 5(4),194-198.
- [17] Cheng, H., Ueng, H., & Liu, W. (2001). Simulation of ventilation and fire in the underground facilities. *Fire Safety Journal*, 36, 597-619.
- [18] Conti, S. (2001). Emerging technologies: aiding responders in mine emergencies and during the escape from smoke-filled passageways. *Proceedings of the Northwest Mining Association's 107th Annual Meeting* Spokane, 3-14.
- [19] Conti, S., Chasko L., & Wiehagen W. (2005). *Fire Response Preparedness for Underground Mines*. National Institute for Occupational Safety and Health-NIOSH, Pittsburgh, PA., 68-72.
- [20] Conti, S., Chasko, L., & Cool, D. (1999). An overview of technology and training simulations for mine rescue teams. *Proceedings of the 28th International Conference of Safety in Mines Research Institutes*, Sinaia, Romania, 521–538.
- [21] Cox, G. (1995). *Combustion fundamentals of fires*. Academic Press, UK, 476.
- [22] Cuiping, L., Lei, H., Zhongxue, L., & Zhiguo, C. (2012). A Fume Concentration Model of Underground Mine Fire and Its Calculation. *Energy Procedia* ,16(2012), 320-326.
- [23] Derosa, M. (2004). *Analysis of Mine Fires for all US Metal/Non-metal Mining Categories, 1990–2001*. National Institute for Occupational Safety and Health-NIOSH, Pittsburgh, PA, 51-59.
- [24] Drysdale, D. (1999). *An Introduction to Fire Dynamics: The production and movement of smoke*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 403.

- [25] Dziurzyński, W., Krawczyk, J., & Kruczkowski, J. (2008). Assessment of stability of flow in a modified mine ventilation network considering a presence of fire hazards. 12th U.S./North American Mine Ventilation Symposium 2008 – Wallace (ed), 575-582.
- [26] Edwards, C., Franks, A., Friel, F., & Yuan, L. (2006). Experimental and modeling investigation of the effect of ventilation on smoke rollback in a mine entry. *Mining Engineering* 2006, 53-58.
- [27] Egan, M. (1990). Summary of combustion products from mine materials: Their relevance to mine fire detection. NIOSH report IC 9272, 76.
- [28] Friel, F., Yuan, L., & Edwards, C. (2006). Fire-generated smoke rollback through crosscut from return to intake-experimental and CFD study. Proceedings of 11th U.S./North American Mine Ventilation Symposium, Mutmansky, PA, 142-151.
- [29] Gillies, A., Wala, A., & Wu, H. (2004). Case studies from application of numerical simulation software to examining the effects of fires on mine ventilation systems. Tenth US Mine Ventilation Symposium, Anchorage, Balkema, The Netherlands, 445-455.
- [30] Glassman, I. (1988). Soot Formation in Combustion Processes. 22nd Symposium on Combustion (The Combustion Institute), 295-311
- [31] Glowacki, F., Brnich, J., Mallett, G., Unger, L., & Vaught, C. (1996). Mine emergency response interactive training simulation. Proceedings of Minesim '96, the First International Symposium Via the Internet, University of Idaho, National Technical University of Athens, Greece, 120-142.
- [32] Goodman, R., & Kissel, N. (1990). Important factors for escaping a mine fire. *Coal Journal*, 96, 75-77.
- [33] Grant, B., & Drysdale, D. (1997). Estimating Heat Release Rates From Large Scale Tunnel Fires. Proc 5th International Symposium on Fire Safety Science, Melbourne, Australia, 1213-1224.
- [34] Guangwei, Y., & Dandan, F. (2012). Escape-Route Planning of Underground Coal Mine Based on Improved Ant Algorithm. Hindawi Publishing Corporation, *Mathematical Problems in Engineering*, 2013(2013) , China, 32-46.

- [35] Hansen, R. (2010). Design fires in underground mines. PhD thesis, Mälardalen University, Sweden, 140.
- [36] Hansen, R., & Ingason, H. (2011). An engineering tool to calculate heat release rates of multiple objects in Underground structures. *Fire Safety Journal*, 46(2011), 194-203.
- [37] Hansen, R., & Ingason, H. (2013). Heat release rate measurements of burning mining vehicles in an underground mine. *Fire Safety Journal*, 61, 12–25.
- [38] Heskestad, G. (1975). Physical modeling of fire. *Journal of Fire and Flammability*, 6(1975), 253-273.
- [39] Huang, P., Kang, J., & Kider T. (2010). Real-Time Evacuation Simulation in Mine Interior Model of Smoke and Action. 23rd International Conference on Computer Animation and Social Agents, Singapore, 55-70.
- [40] Huggett, C. (1980). Estimation of rate of heat release by means of oxygen consumption measurements. *Fire and Materials*, 4(1980), 61-65.
- [41] Huo, R., & Li, Z. (2001). Studies of smoke filling process in large spaces. *Combustion science and technology*, 7(3), 219-222.
- [42] Hurley, J., & Quiter, R. (2003). Simple fire hazard calculations. *Fire Protection Handbook*, 19(1), National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 145-166.
- [43] Iannacchione, A., Varley, F., & Brady, T. (2008). The Application of Major Hazard Risk Assessment (MHRA) to Eliminate Multiple Fatality Occurrences in the US Minerals Industry. U.S Department of Health and Human Services. Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health Spokane Research Laboratory Spokane, WA, 142.
- [44] Ingason, H. (2006). Correlation between temperatures and oxygen measurements in a tunnel flow. *Fire Safety Journal*, 42, 75–80.
- [45] Ingason, H. (2008). Fire test with a front wheel loader rubber tire. SP Rapport 2010:64. Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden, 89-98.
- [46] Ingason, H. (2009). Design fire curves for tunnels. *Fire Safety Journal*, 44, 259–265.

- [47] Jalali, S.E., & Noroozi, M. (2009). Determination of the optimal escape route of underground mine networks in emergency cases. *Safety Science*, 47, 1077-1082.
- [48] Jeon, G., & Hong, W. (2009). Characteristic features of the behavior and perception of evacuees from the Daegu subway fire and safety measures in an underground fire. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 422, 415–422.
- [49] Jin, T. (1977). Visibility through Fire Smoke. *Journal of Fire Flammability*, (9), 135-155.
- [50] Jin, T. (1981). Studies of emotional instability in smoke from fires. *Journal of Fire and Flammability*, (12), 131-142.
- [51] Jin, T., & Yamada, T. (1985). Irritating effects from fire smoke on visibility. *Fire Science and Technology* 5 (1), 79–90.
- [52] John, C., Edwards, R., & Franks, V. (2006). Experimental and modeling investigation of the effect of ventilation on smoke rollback in a mine entry. National Institute for Occupational Safety and Health, Pittsburgh Research Laboratory, Pittsburgh, PA, 53-58
- [53] Kang, K. (2007). A smoke model and its application for smoke management in an underground mass transit station. *Fire Safety Journal* 42, 218–231.
- [54] Karpov, V., & Makarov, V. (2000). Fire in tunnels: three-dimensional numerical simulation and comparison with the experiment. *Proceedings of the Fourth Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology*, Waseda University, Tokyo, 565–576.
- [55] Kim, J., & Lilley, G. (1997). Flashover: A Study of Parametric Effects on the Time to Reach Flashover Conditions. *Proc. Of ASME 17* Int. Computers in Engng. Conf./Design Conf. Paper DETC97/CIE-4427*, Sacramento, CA, 23-33.
- [56] Kim, E., Woycheese, P. & Dembsey, A. (2008). Fire dynamics simulator (version 4.0) simulation for tunnel fire scenarios with forced, transient, longitudinal ventilation flows. *Fire Technology*, 44, 137-166.
- [57] Klote, J. (2002). Principles of smoke management. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc, 22-34.

- [58] Kumar, P. (2014). Risk Analysis by Using Failure Mode and Effects Analysis for Safe Mining. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3(11), 2512-2515.
- [59] Kurioka, H., Oka, Y., Satoh, H., & Sugawa, O. (2003). Fire properties in near field of square fire source with longitudinal ventilation in tunnels. *Fire Safety Journal*, 38(2003), 319-340.
- [60] Lihong, Z., & Smith, A. (2011). Improvement of a mine fire simulation program — incorporation of smoke rollback into MFIRE 3.0. Office of Mine Safety and Health Research, National Institute for Occupational Safety and Health, Pittsburgh, PA, 78-85.
- [61] Lyon, E., & Walters, N. (2004). Pyrolysis Combustion Flow Calorimetry. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 71(1), 27-46.
- [62] Mallett, G., Vaught, C., Brnich, J. (1999). The emergency communication triangle. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication, 99–157.
- [63] Mallett, L., & Brnich, M. (1999). Focus on Prevention: Conducting a Fire Risk Assessment. U.S. Department of Health and Human Services. Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health, Pittsburgh Research Laboratory, Pittsburgh, PA, 121.
- [64] McGrattan, B., Baum, R., & Rehm, G. (1998). Large eddy simulations of smoke movement. *Fire Safety Journal*, 30, 161-78.
- [65] McGrattan, K., Baum, H., Rehm, R., Hostikka, S., & Floyd, J. (2007). Fire Dynamics Simulator (Version 5)-Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1018-5, BFRL, NIST. 75.
- [66] MineFire Pro+, A Simulator for Underground Fires (USER'S MANUAL & TUTORIAL)., (2013). Mine Ventilation Services, Inc., Clovis, CA 93611, USA, 82.
- [67] Minkang, T., & Yuanchun, D. (2011). The Reliability of Ergonomics in the Ventilation System of an Underground Metal Mine. *Procedia Engineering*, 26(2011), 1705-1711.

- [68] Modic, J. (2003). Fire simulation in road tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology* 18, 525-530.
- [69] Munoz, M., Planas, E., Ferrero, F., & Casal, J. (2007). Predicting the emissive power of hydrocarbon pool fires. *Journal of Hazardous Materials*, 144(2007) 725-729.
- [70] Newman, S. (1984). Experimental evaluation of fire-induced stratification. *Combust Flame*, 57, 33-9.
- [71] Nordmark, A., (1998). Fire & Life Safety for Underground Facilities: Present Status of Fire & Life Safety Principles Related to Underground Facilities. *Tunnelling & Underground Space Technology*, 13, 217-269.
- [72] Oka, Y., & Atkinson T. (1995). Control of smoke flow in tunnel fires. *Fire Safety*, 25, 305–322.
- [73] Peacock, D., Babrauskas, V. (1991). Analysis of Large-scale Fire Test Data. *Fire Safety Journal*, 17, 387-414.
- [74] Prosser, B., & Ruckman, R. (2010). Conducting a fire modeling study. 13th United States/North American Mine Ventilation Symposium, Hardcastle & McKinnon (Eds.), 365-370.
- [75] PyroSim User Manual-PyroSim Documentation, (user manual of computer code)., (2012). Thunderhead Engineering Consultants, Inc. Manhattan, KS 66502-6081, USA, 102.
- [76] Qi, X., Wang, J., Ji, H., & Nie, L. (2000). Structure and key technology of virtual reality in fire science. *Journal of China University of Mining & Technology*, 10(1), 7-11.
- [77] Quintiere, G. (1989). Scaling applications in fire research. *Fire Safety Journal*, 15(1989), 3-29.
- [78] Raman, R. (2003). *Underground Mine Safety- Are We Doing Enough?*, Kellogg Brown & Root Pty Ltd, Sydney, 18.
- [79] Rasche, T. (2001). Development of a Safety case Methodology for the Minerals Industry - a Discussion Paper. Minerals Industry Safety and Health centre (MISHC), University of Queensland, 75.
- [80] Ray, S., Sahay, N., Singh, R., Singh, A., & Bhowmick, B. (2002). Reversal of underground mine ventilation of mines. *Metals & Fuels*, 50(9), 339-344.

- [81] Roh, J.S., Ryou, H.S., & Kim, D.H. (2007). Critical velocity and burning rate in pool fire during longitudinal ventilation. *Tunnelling Underground Space Technology*, 22(3), 262–271.
- [82] Roh, S., Ryou, S., Park, H., & Jang, J. (2009). CFD simulation and assessment of life safety in a subway train fire. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 24, 447–453.
- [83] Sheng, W., Gao, M., & Yang, L. (2011). Theory and Construction of Emergency Refuge System in Underground Coal Mine. *Procedia Engineering*, 26(2011), 2351-2359.
- [84] Shengzhu, Z., Zongzhi, W., Rui, Z., & Jianning, K. (2012). Dynamic numerical simulation of coal mine fire for escape capsule installation. *Safety Science*, 50 (2012), 600-606.
- [85] Staffansson, L. (2010). Selecting design fires. Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University, Sweden, 63-75
- [86] Tarada, F. (2000). Critical Velocities for Smoke Control in Tunnel Cross-Passages. First International Conference on Major Tunnel and Infrastructure Projects, Taipei, Taiwan, 56-63
- [87] Tarada, F. (2010). New perspectives on the critical velocity for smoke control. Proceedings 4th International Symposium on Tunnel Safety and Security, SP Technical Research Institute of Sweden, 419-426.
- [88] Thyer, A. (2002). Development of a Fire and Explosion Risk Assessment Methodology for Underground Mines. Health and Safety Laboratory, United Kingdom, 57.
- [89] Totten, G., Westbrook, S., & Shah, R. (2003). *Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance, and Testing*. 1, ASTM International, 234.
- [90] Tsukahara, M., Koshiba, Y., & Ohtani, H. (2011). Effectiveness of downward evacuation in a large-scale subway fire using Fire Dynamics Simulator. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 26(2011), 573-581.
- [91] Vaught, C., Brnich, M., Mallet, L., Cole, H., Wiehagen, W., Conti, F., Kowalski, K., & Litton, C. (2000). Behavioral and organizational dimensions of underground mine fires. NIOSH report IC 9450, 52-70.

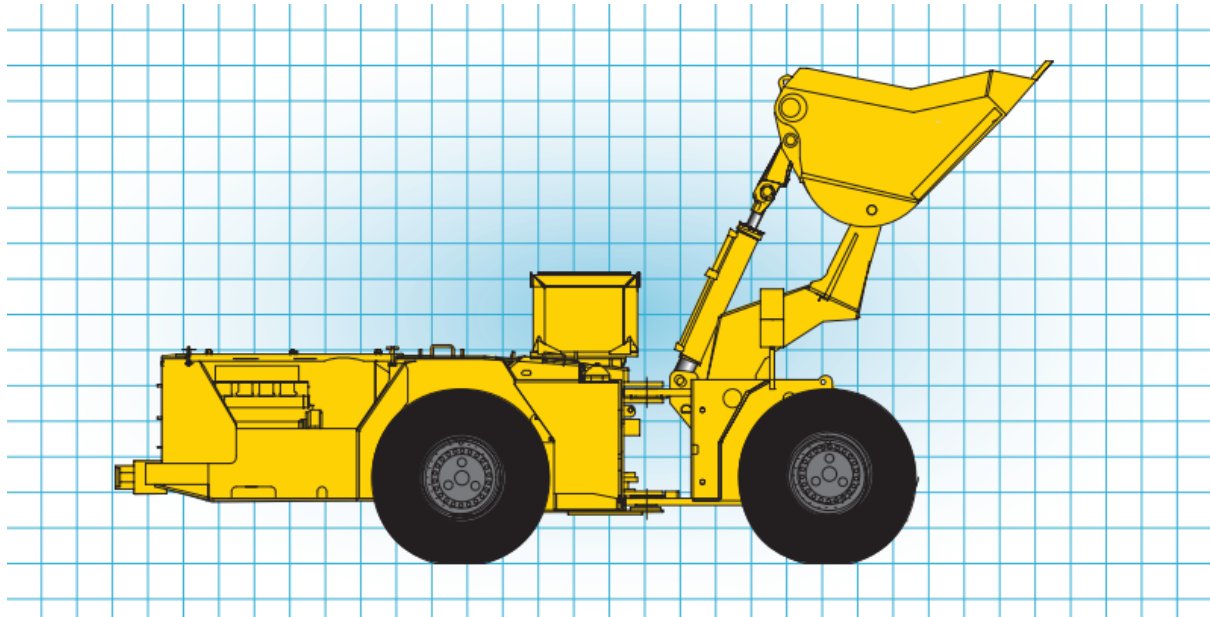
- [92] Vaught, C., Mallett, G., Fowkes, S., Conti, S., & Wiehagen, J. (1997). Underground mine fire preparedness. Part 2 of 4: Preparedness to evacuate and miners' experiences with incipient fires. MSHA Holmes Saf Assoc Bull, 12-66.
- [93] Vauquelin, O., & Megret, O. (2002). Smoke extraction experiments in case of fire in a tunnel. *Fire Safety Journal*, 37(2002), 525-533.
- [94] Wala, A., Dziurzyński, W., & Tracz J. (1991). Graphical technique for rapid comparison of mine ventilation network analyses. *Proceedings of the 5th Mine Ventilation Symposium*, West Virginia University, Morgantown SME, Littleton-Colorado, 351-355.
- [95] Wala, A., Krawczyk, J., & Dziurzyński, W. (2002). Safe escape from longwall development section in case of a belt fire. *Proc. of the Queensland Mining Industry Health & Safety Conference*, Townsville, Australia, 113-119.
- [96] Wang Y., (2009). Prediction of soot and carbon monoxide production in a ventilated tunnel fire by using a computer simulation. *Fire Safety Journal*, 44, 394-406.
- [97] Wesley, R. (2006). The successful recovery of the Dotiki Mine after a major fire. *Proceedings of the 11th U.S./North American Mine Ventilation Symposium*, 29-34.
- [98] Woodburn, J., & Britter, E. (1996). CFD simulation of a tunnel fire - Part 1. *Fire Safety Journal*, 26, 63-90.
- [99] Xiaojun, C. (2008). Simulation of temperature and smoke distribution of a tunnel fire based on modifications of multi-layer zone model. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23(2008). 75-79.
- [100] Zalosh, R. (2003). *Industrial Fire Protection Engineering*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 77-81.
- [101] Zhen, Y., Lei, B., & Ingason H. (2011). The maximum temperature of buoyancy-driven smoke flow beneath the ceiling in tunnel fires. *Fire Safety Journal*, 46(2011), 204–210.
- [102] Zhou, F., & Wang, D. (2002). An experimental study of airflow reversal from a tunnel fire with downcast ventilation. *Proceedings North American/Ninth US Mine Ventilation Symposium*, Kingston, Canada, 539-543.

ПРИЛОЗИ:

ПРИЛОГ 1:

1. Моделирање на пожар настанат од утоварач Scooptram ST 3.5

Самиот модел на пожар настанат од Scooptram ST 3.5 ги опишува претпоставените пожарни карактеристики како што се: стапката на ослободување на топлина (heat release rate), преносот на топлина, стапка на горење на материјалот, генерирање на штетни пожарни гасови, чад итн.



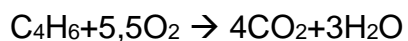
Слика 1.1. Утоварач Scooptram ST 3.5

Figure 1.1. Loader Scooptram ST 3.5

Ќе претпоставиме дека пожарот ги зафатил следниве запаливи материјали:

➤ **Согорување на гума од утоварач-Scooptram ST 3.5**

Гума - топлина на согорување



Моларна маса на $\text{C}_4\text{H}_6 = 4 * 12,011 + 6 * 1,008 = 54,04 \text{ g/mol}$

Сооднос на горење O₂:гума

$$O_2:\text{Гума} = \frac{5,5 \cdot 2 \cdot 15,9}{54,04} = 3,2 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg Дизел}}$$

$$O_2 \text{ е } 23\% \text{ од масата на воздухот} = \frac{3,2 \cdot 100}{23} = 13,91 \frac{\text{kg воздух}}{\text{kg гориво}}$$

Енталпија на формирање:

$$C_4H_6 = -50 \text{ kJ/mol}$$

$$CO_2 = -393 \text{ kJ/mol}$$

$$H_2O = -286 \text{ kJ/mol}$$

$$O_2 = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$3 * (-286) + 4(-393) - 4 * 0 - (-50) = -2.378 \text{ kJ/mol}$$

Конвертирање на -2378 kJ/mol во kJ/kg =

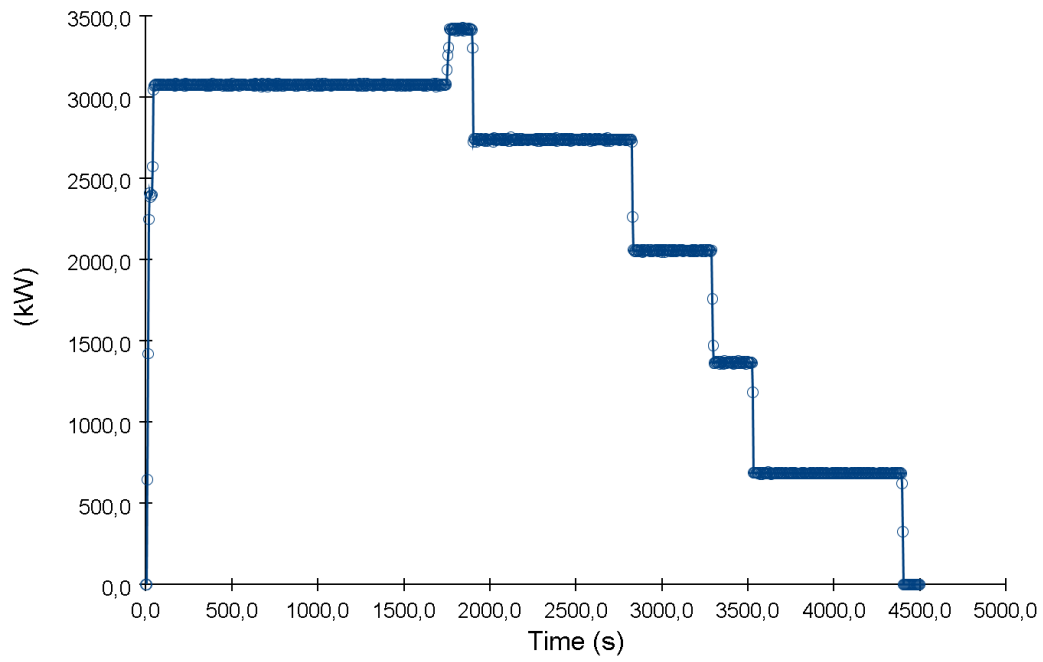
$$= \frac{\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{\text{molar mass}} * 1.000 = -\frac{2.378}{54,04} * 1.000 = -44.004 \text{ kJ/kg}$$

Табела 1.1. Хемиски и физички карактеристики на гумата

Table 1.1. Chemical and physical characteristics of tire

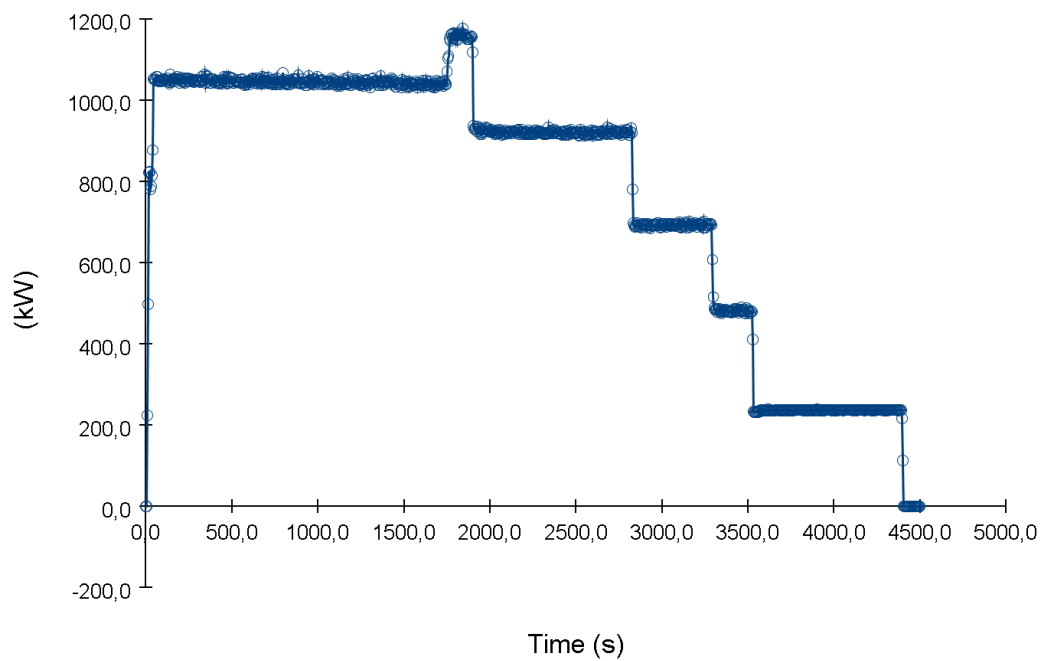
Гума	
Големина на гума	Гума 17,50x25, 20 ply, L-5S,
Тежина на една гума	248 kg
Густина на гума	1.150 kg/m ³
Поедноставена хемиска (hydrocarbon) формула	C ₄ H ₆
Топлина на согорување	44.004 kJ/kg
Стапка на горење на материјалот kg/m ² *s (експериментален податок) [37]	0,062 kg/m ² *s

Во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim со согорување на една гума со тежина од 248 kg и со погоре споменатите хемиски и физички карактеристики ги добиваме следниве резултати:



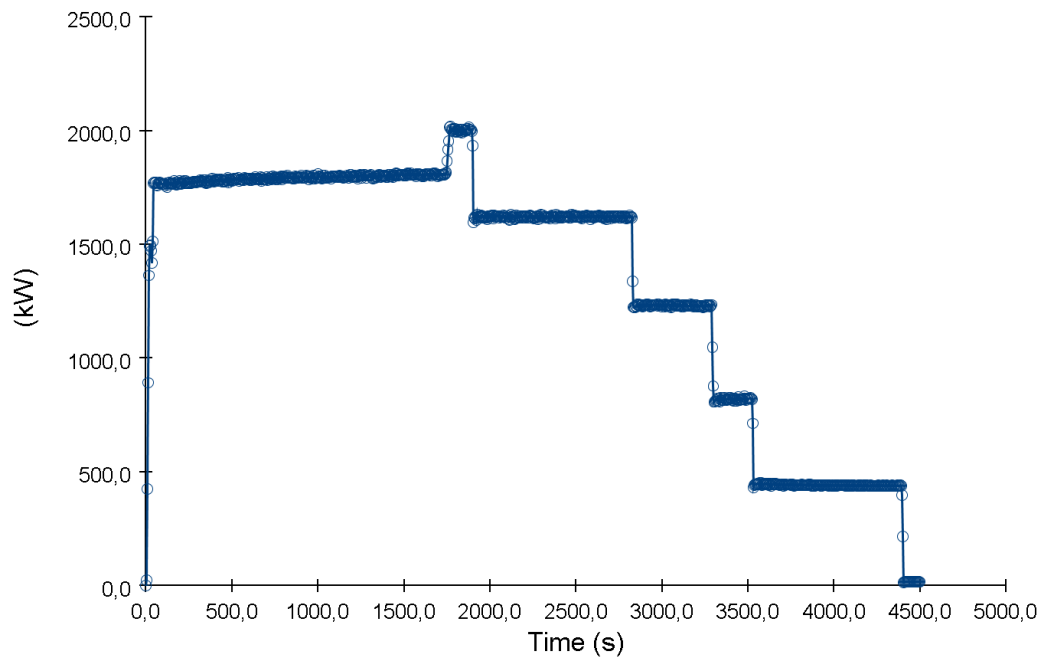
Слика 1.2. Стапка на ослободување на топлина

Figure 1.2. Heat release rate - HRR

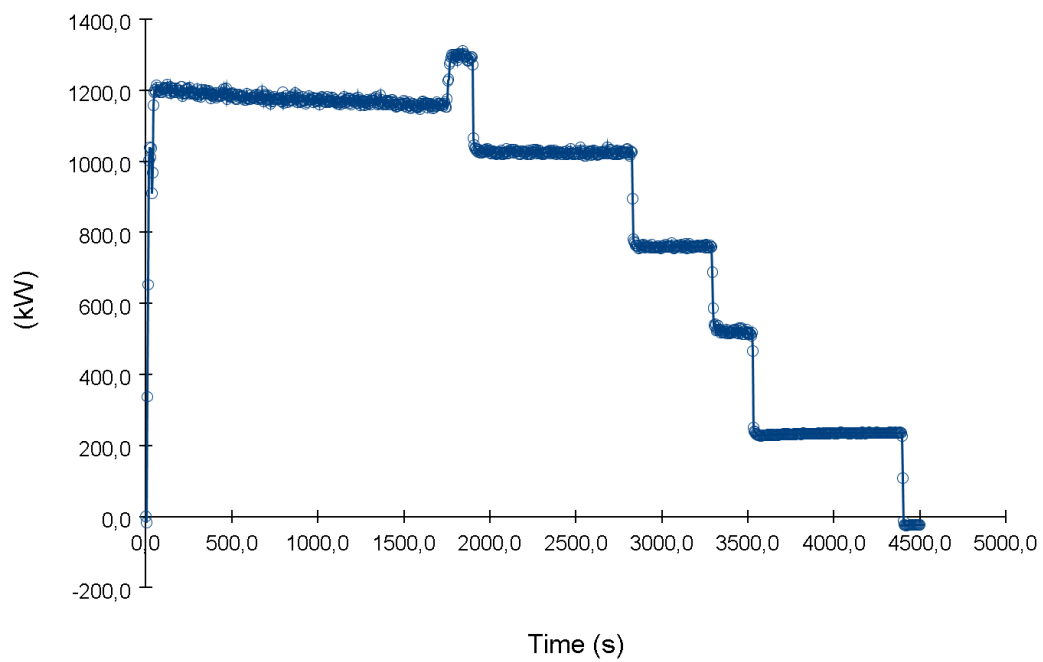


Слика 1.3. Пренос на топлина со радијација

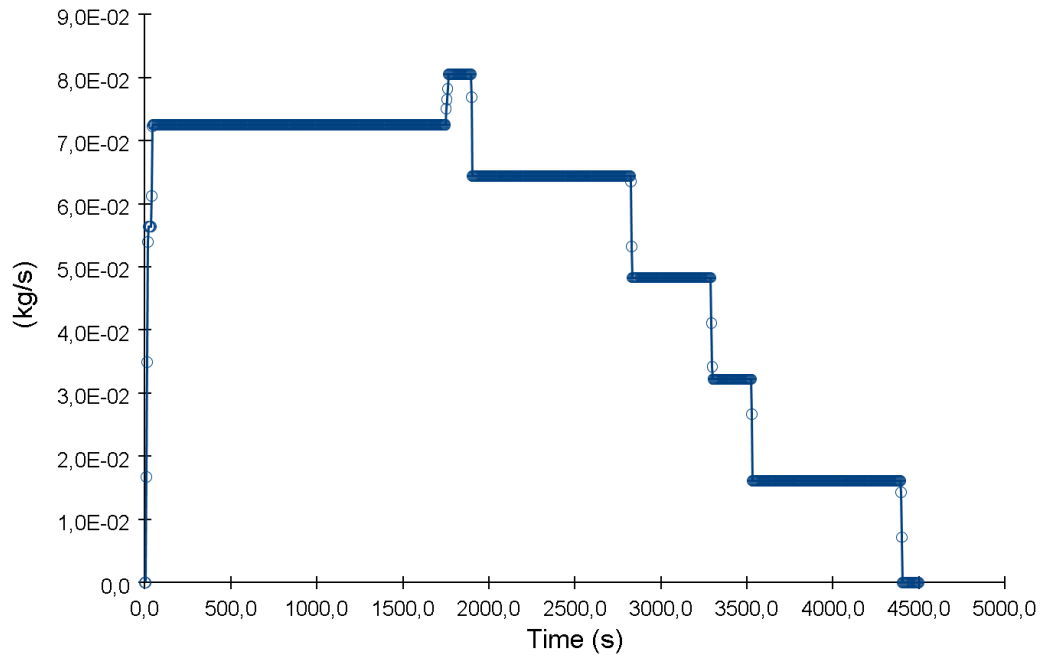
Figure 1.3. Heat transfer by radiation



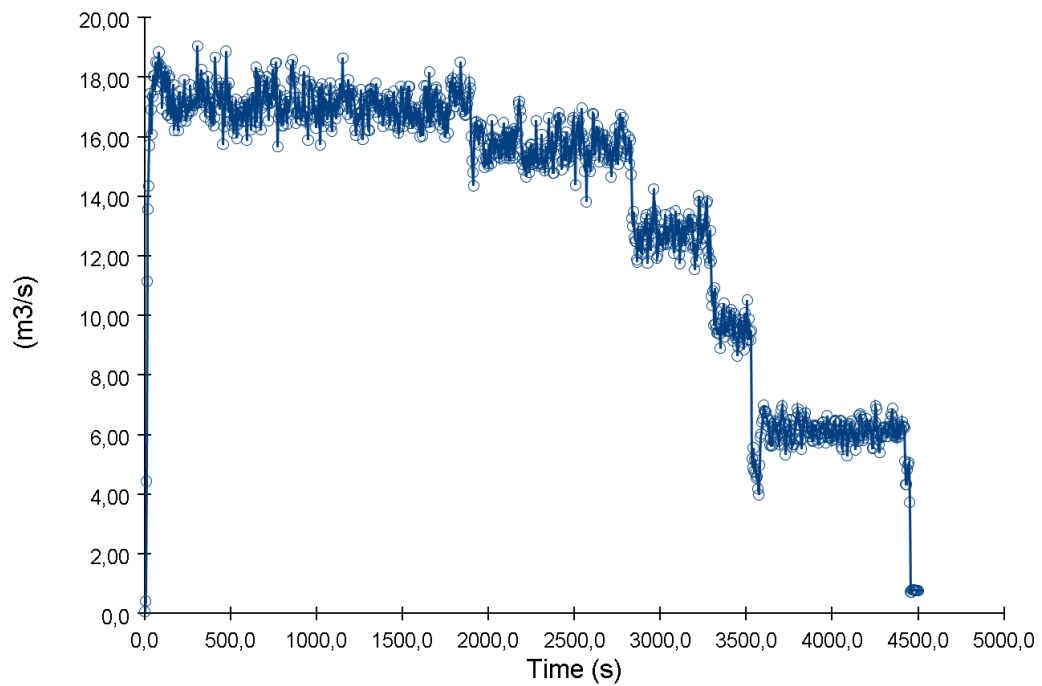
Слика 1.4. Пренос на топлина со конвекција
 Figure 1.4. Heat transfer by convection



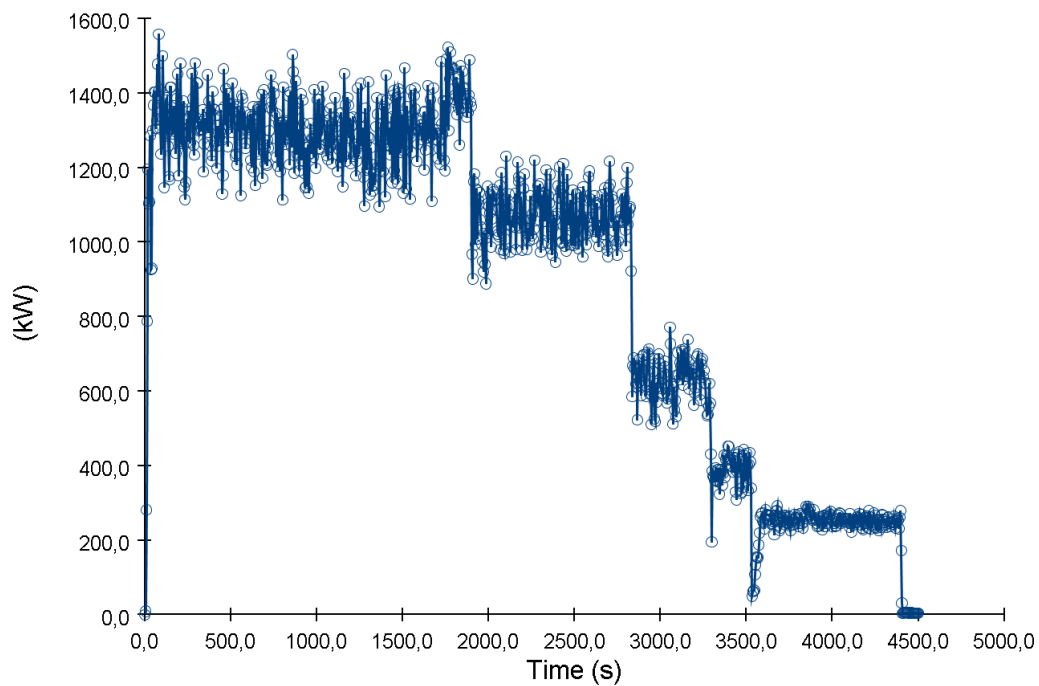
Слика 1.5. Пренос на топлина со кондукција
 Figure 1.5. Heat transfer by conduction



Слика 1.6. Стапка на горење на материјалот (гумата)
 Figure 1.6. Burning rate of material (tire)

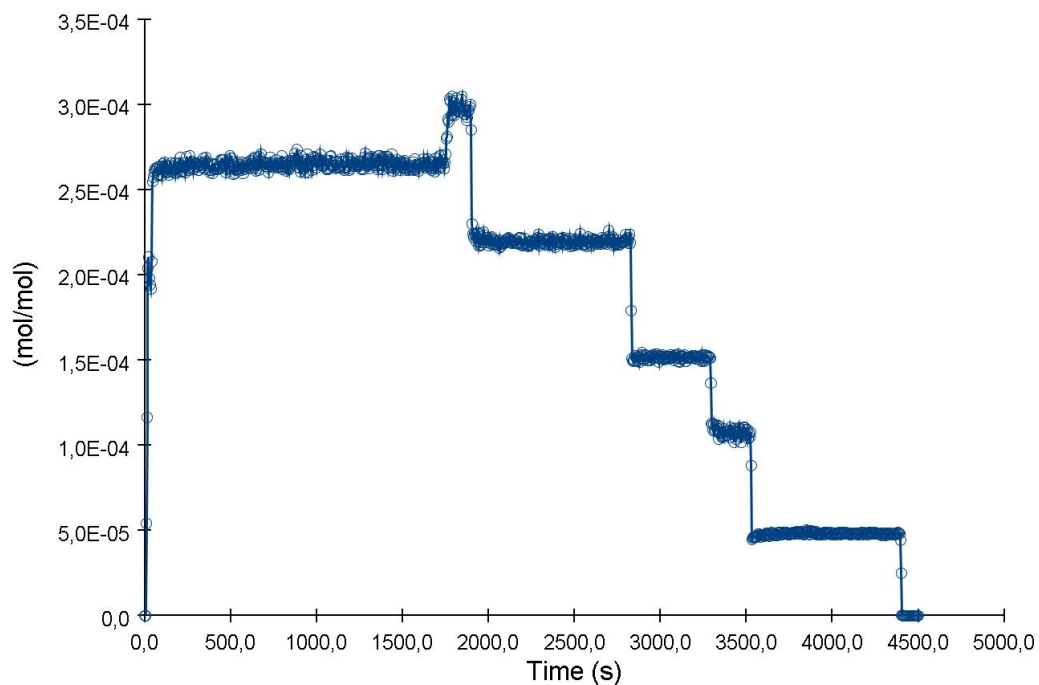


Слика 1.7. Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот
 Figure 1.7. Volume flow of smoke and fire gases generated by the fire



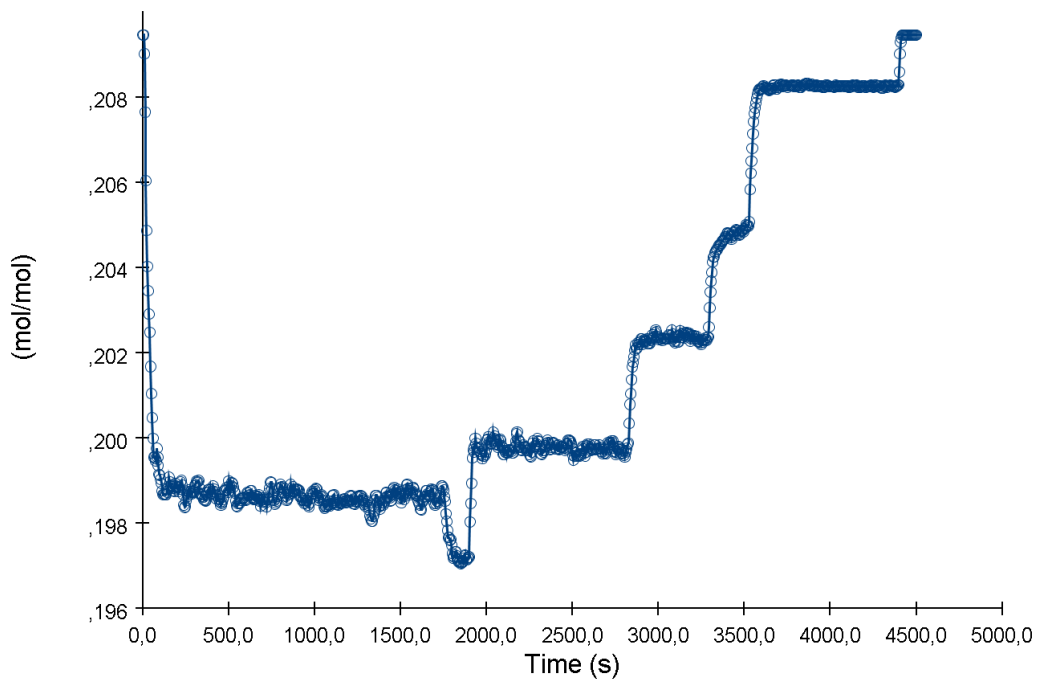
Слика 1.8. Проток на топлина од пожарот

Figure 1.8. Heat flow from fire

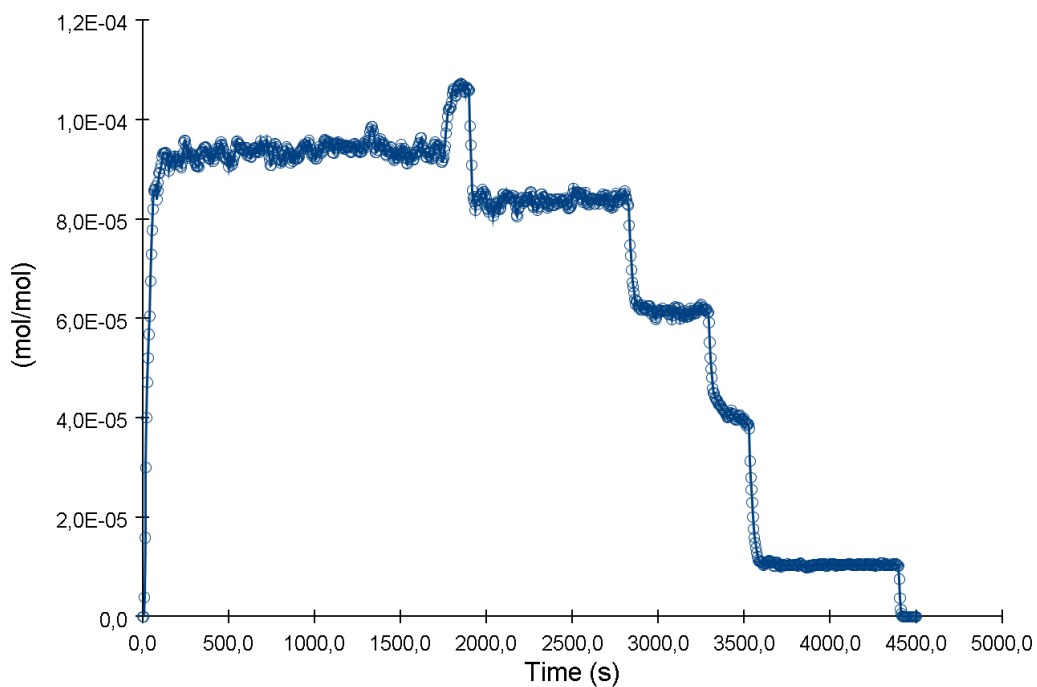


Слика 1.9. Генерирање на јаглерод монооксид - CO од пожарот

Figure 1.9. Generation of carbon monoxide - CO from fire



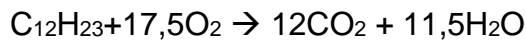
Слика 1.10. Волуменска содржина на кислород во пожарното место
 Figure 1.10. Volume oxygen content in the fire place



Слика 1.11. Генерирање на саѓи од пожарот
 Figure 1.11. Generating soot from fire

➤ **Согорување на дизел гориво од утоварач-Scooptram ST**
3.5

Дизел- топлина на согорување



Моларна маса на $C_{12}H_{23} = 12 * 12,011 + 23 * 1,008 = 167,3 \text{ g/mol}$

Сооднос на горење O_2 :дизел

$$O_2:\text{Дизел} = \frac{17,5 * 2 * 15,9}{167,3} = 3,32 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg Дизел}}$$

$$O_2 \text{ е } 23\% \text{ од масата на воздухот} = \frac{3,32 * 100}{23} = 14,43 \frac{\text{kg воздух}}{\text{kg гориво}}$$

Енталпија на формирање:

$$C_{12}H_{23} = -303,4 \text{ kJ/mol}$$

$$CO_2 = -393 \text{ kJ/mol}$$

$$H_2O = -286 \text{ kJ/mol}$$

$$O_2 = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$11,5 * (-286) + 12(-394) - 17,5 * 0 - (-303,4) = -7.714 \text{ kJ/mol}$$

Конвертирање на -7.714 kJ/mol во $\text{kJ/kg} =$

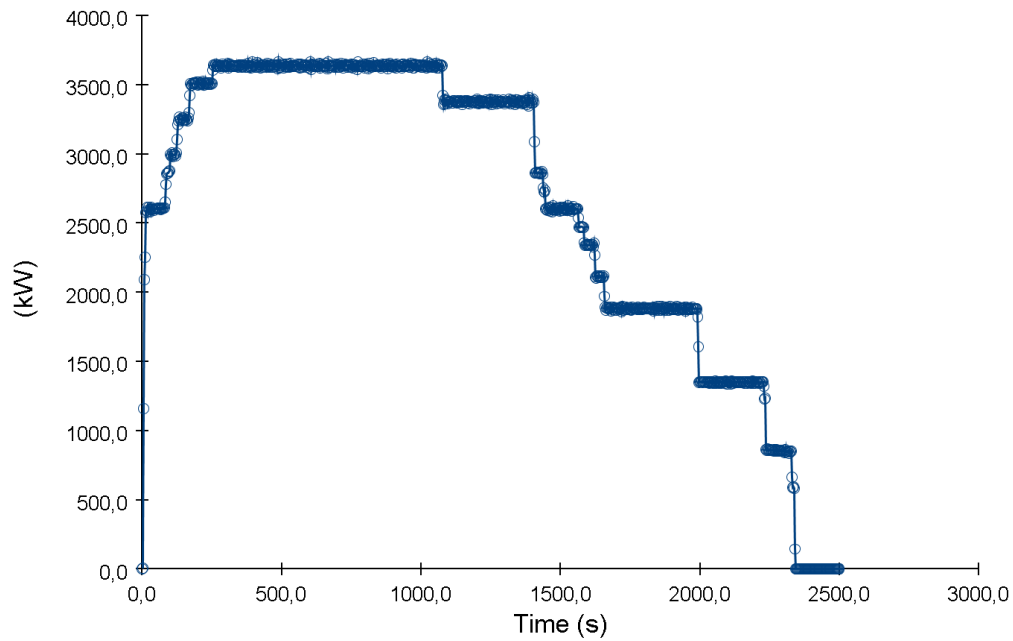
$$\frac{\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{\text{molar mass}} * 1.000 = - \frac{7.714}{167,3} * 1.000 = -46.108 \text{ kJ/kg}$$

Табела 1.2. Хемиски и физички карактеристики на дизел гориво

Table 1.2. Chemical and physical characteristics of diesel fuel

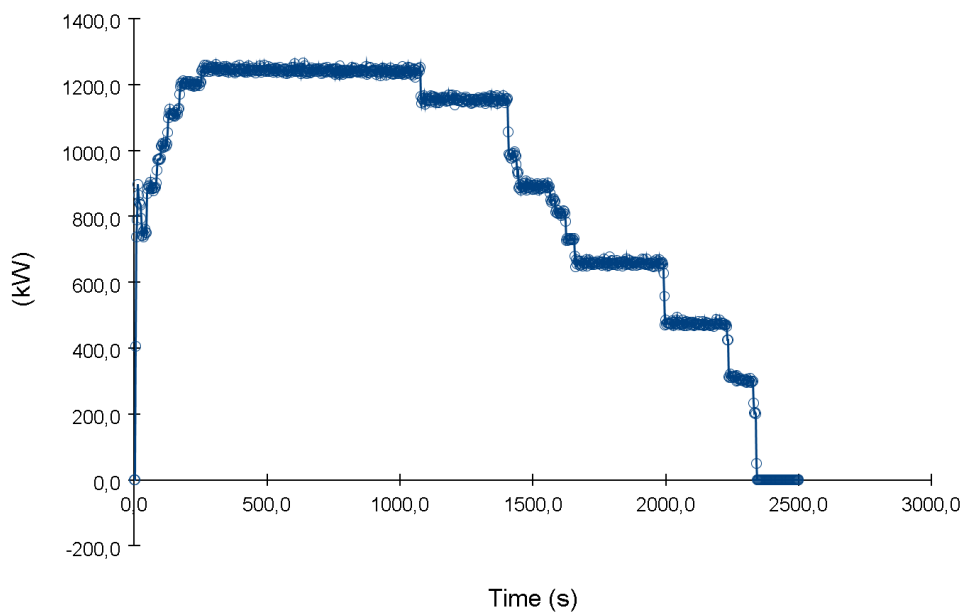
Дизел гориво	
Капацитет на резервоар	250 L
Претпоставка на останато дизел гориво во резервоарот	150 L
Густина на дизел гориво	918 kg/m ³
Поедноставена хемиска (hydrocarbon) формула	C ₁₂ H ₂₃
Топлина на согорување	46.108 kJ/kg
Стапка на горење на материјалот kg/m ² *s (експериментален податок) [81]	0,045 kg/m ² *s

Во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, со согорување на 150 литри на дизел гориво и со погоре споменатите хемиски и физички карактеристики ги добиваме следниве резултати:



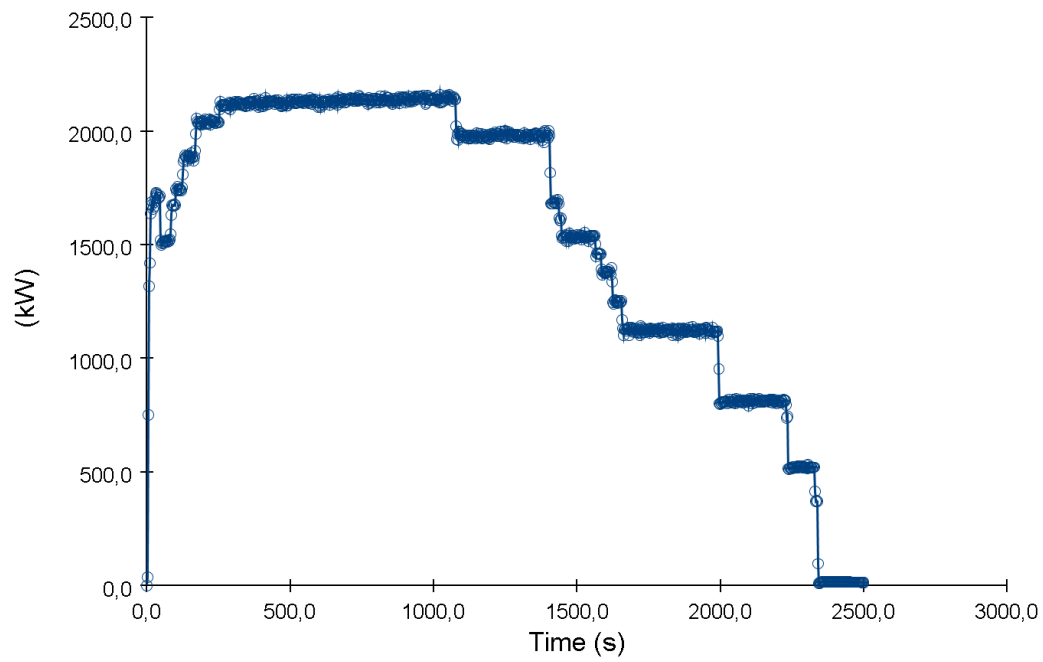
Слика 1.12. Стапка на ослободување на топлина

Figure 1.12. Heat release rate - HRR

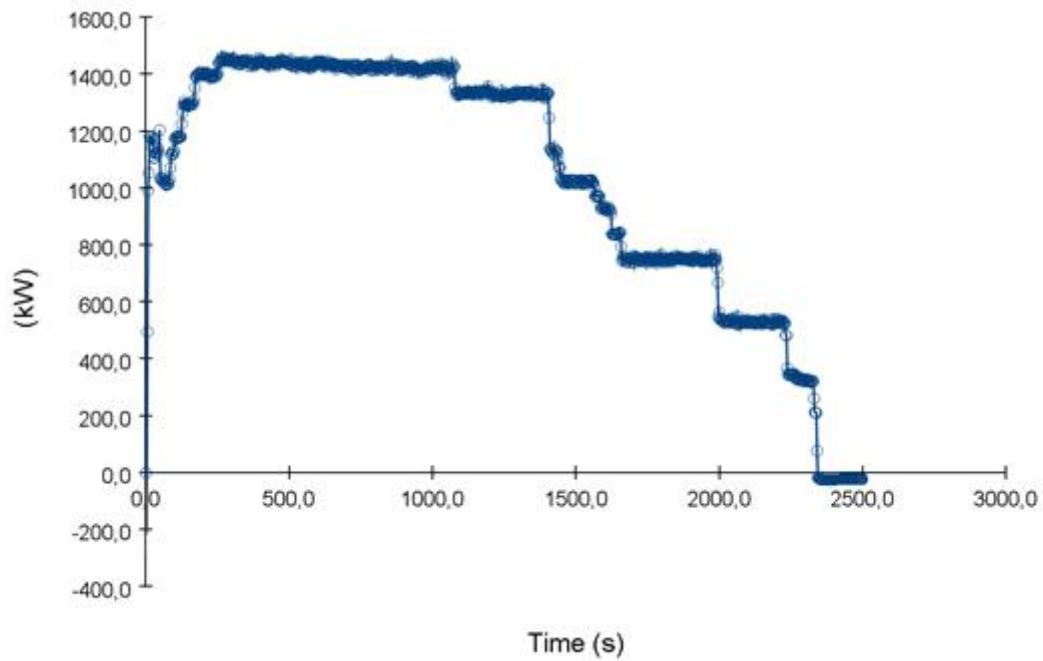


Слика 1.13. Пренос на топлина со радијација

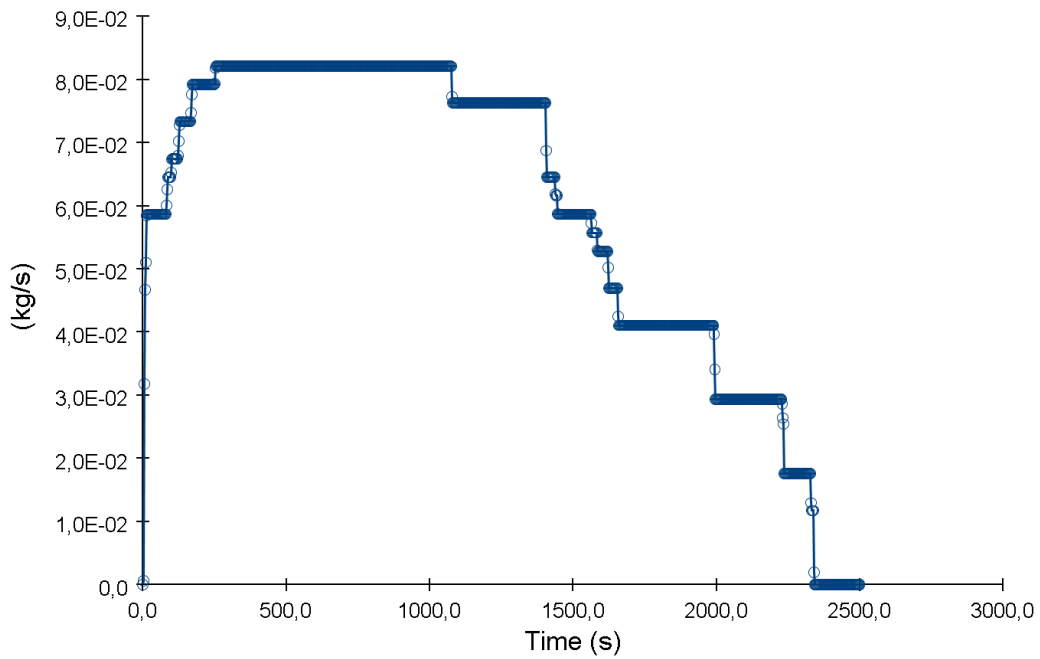
Figure 1.13. Heat transfer by radiation



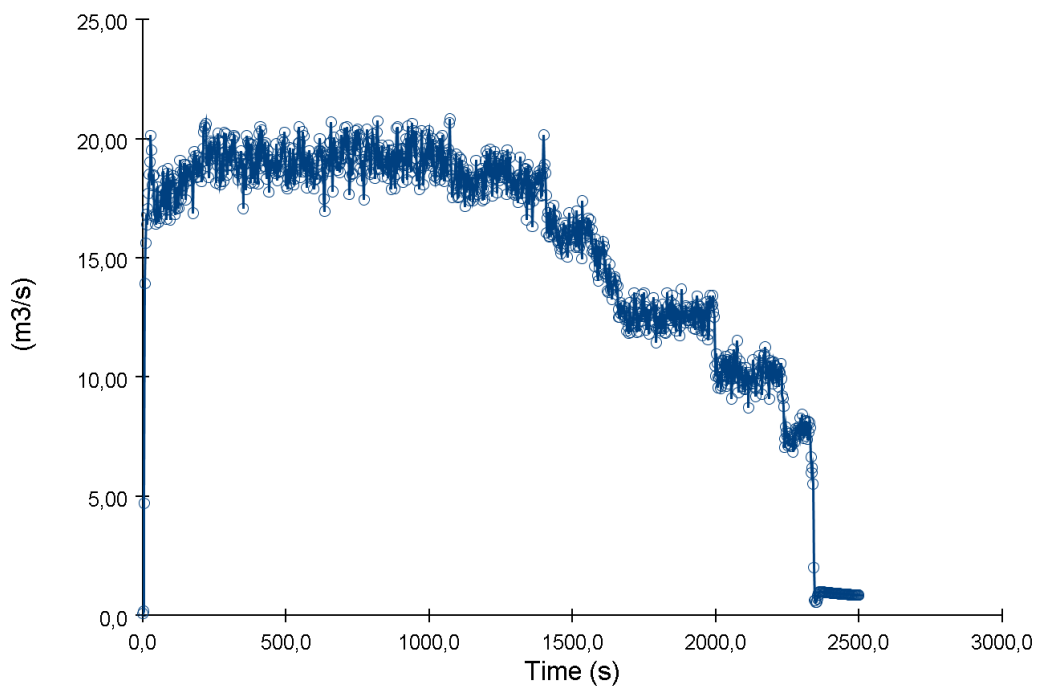
Слика 1.14. Пренос на топлина со конвекција
 Figure 1.14. Heat transfer by convection



Слика 1.15. Пренос на топлина со кондукција
 Figure 1.15. Heat transfer by conduction

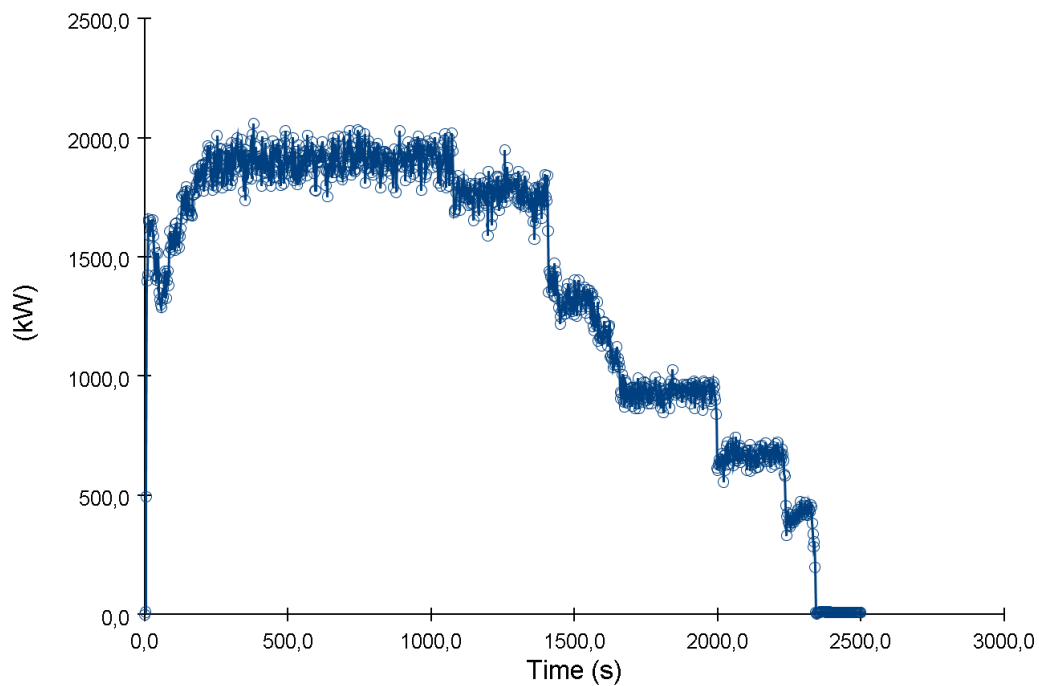


Слика 1.16. Стапка на горење на материјалот (дизел гориво)
 Figure 1.16. Burning rate of material (diesel fuel)



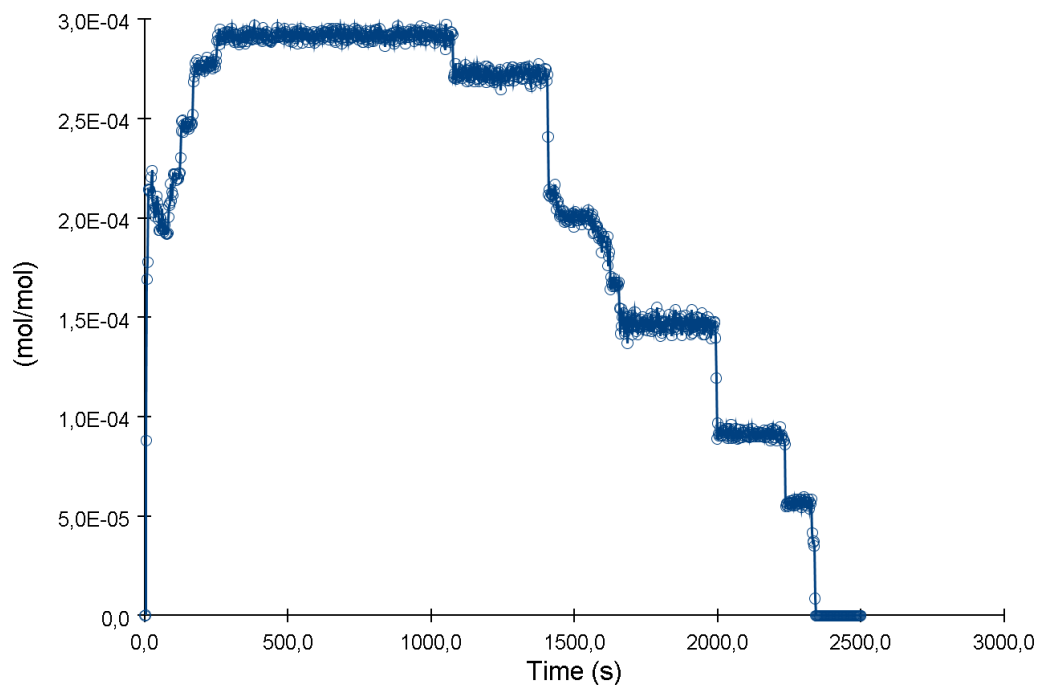
Слика 1.17. Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од
 пожарот

Figure 1.17. Volume flow of smoke and fire gases generated by the fire



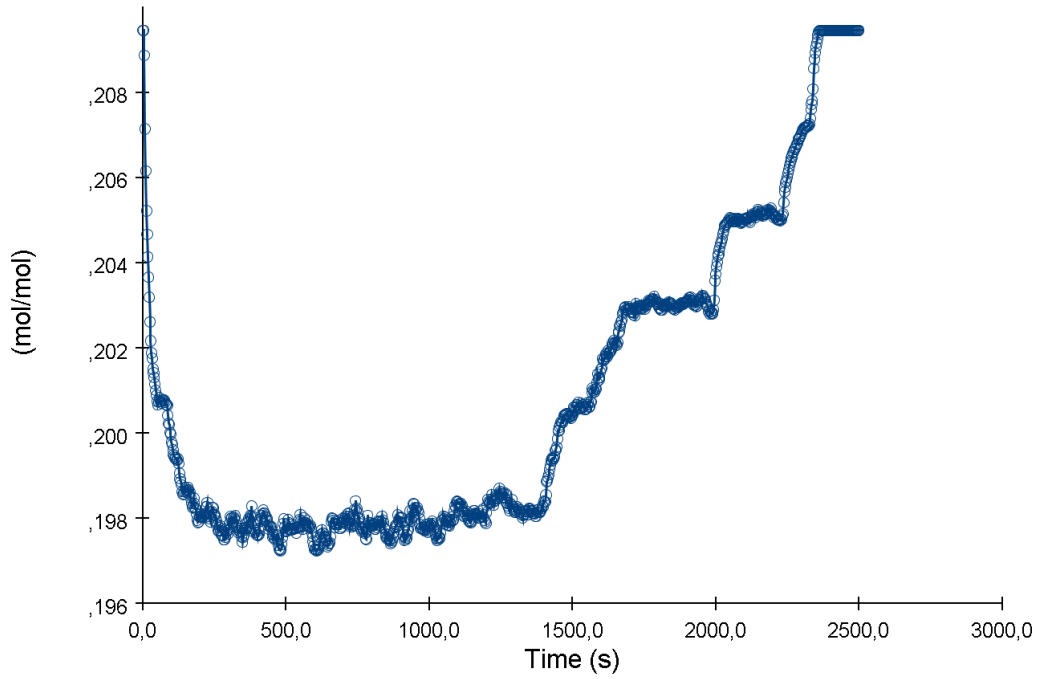
Слика 1.18. Проток на топлина од пожарот

Figure 1.18. Heat flow from fire

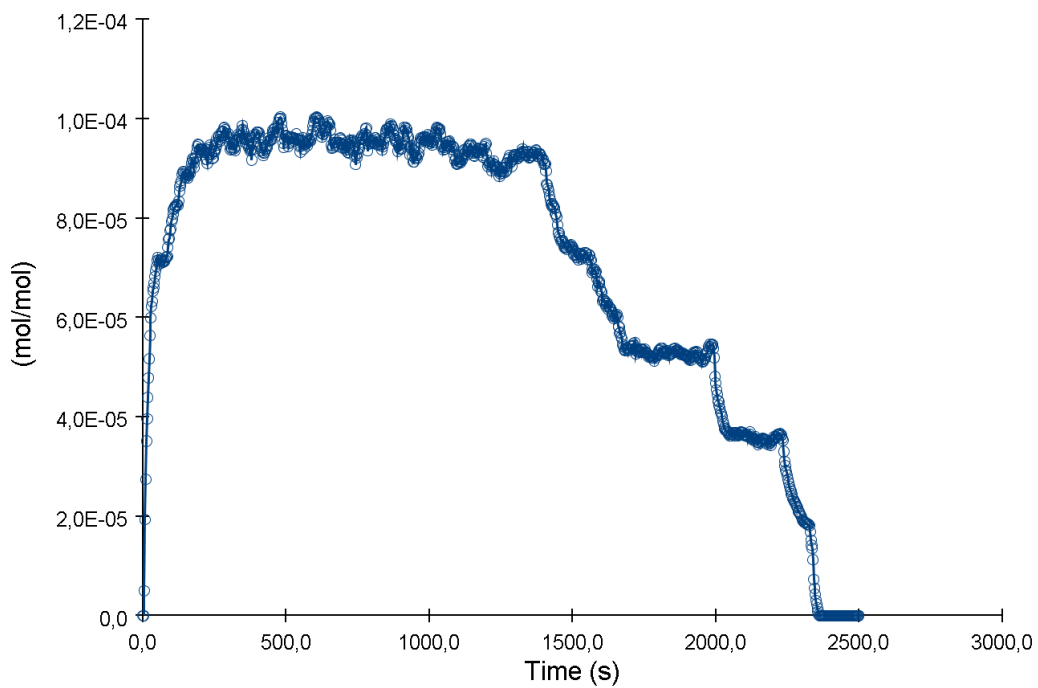


Слика 1.19. Генерирање на јаглерод монооксид - CO од пожарот

Figure 1.19. Generation of carbon monoxide - CO from fire



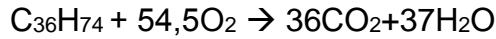
Слика 1.20. Волуменска содржина на кислород во пожарното место
 Figure 1.20. Volume oxygen content in the fire place



Слика 1.21. Генерирање на саѓи од пожарот
 Figure 1.21. Generating soot from fire

➤ Согорување на Хидраулично масло од утоварач- Scooptram ST 3.5

Хидраулично масло - топлина на согорување



Моларна маса $C_{36}H_{74} = 36 * 12,001 + 74 * 1,008 = 506,3 \text{ g/mol}$

Сооднос на горење O_2 : Хидраулично масло

$$O_2: \text{Хидраулично масло} = \frac{54,5 * 2 * 15,9}{506,3} = 3,42 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg Хидраулично масло}}$$

$$O_2 \text{ е } 23\% \text{ од масата на воздухот} = \frac{3,42 * 100}{23} = 14,86 \frac{\text{kg воздух}}{\text{kg гориво}}$$

Енталпија на формирање:

$$C_{12}H_{23} = -188,04 \text{ kJ/mol}$$

$$CO_2 = -393 \text{ kJ/mol}$$

$$H_2O = -286 \text{ kJ/mol}$$

$$O_2 = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$37 * (-286) + 36(-394) - 54,5 * 0 - (-188,04) = -24.578 \text{ kJ/mol}$$

Конвертирање на -24.578 kJ/mol во $\text{kJ/kg} =$

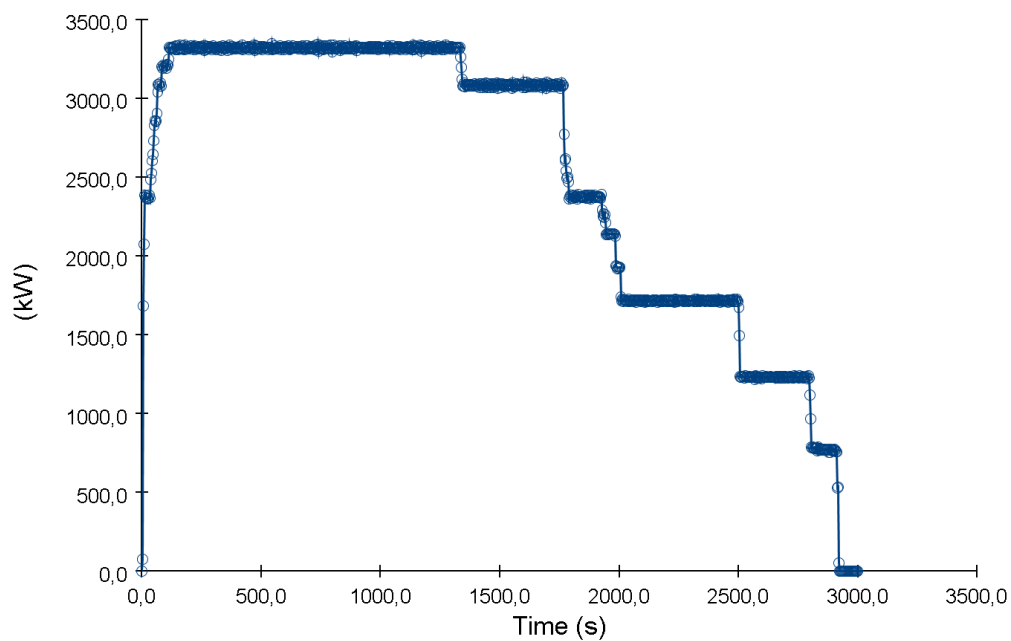
$$\frac{\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{\text{molar mass}} * 1.000 == -\frac{24.578}{506,3} * 1.000 = -48.544 \text{ kJ/kg}$$

Табела 1.3. Хемиски и физички карактеристики на хидраулично масло

Table 1.3. Chemical and physical characteristics of hydraulic oil

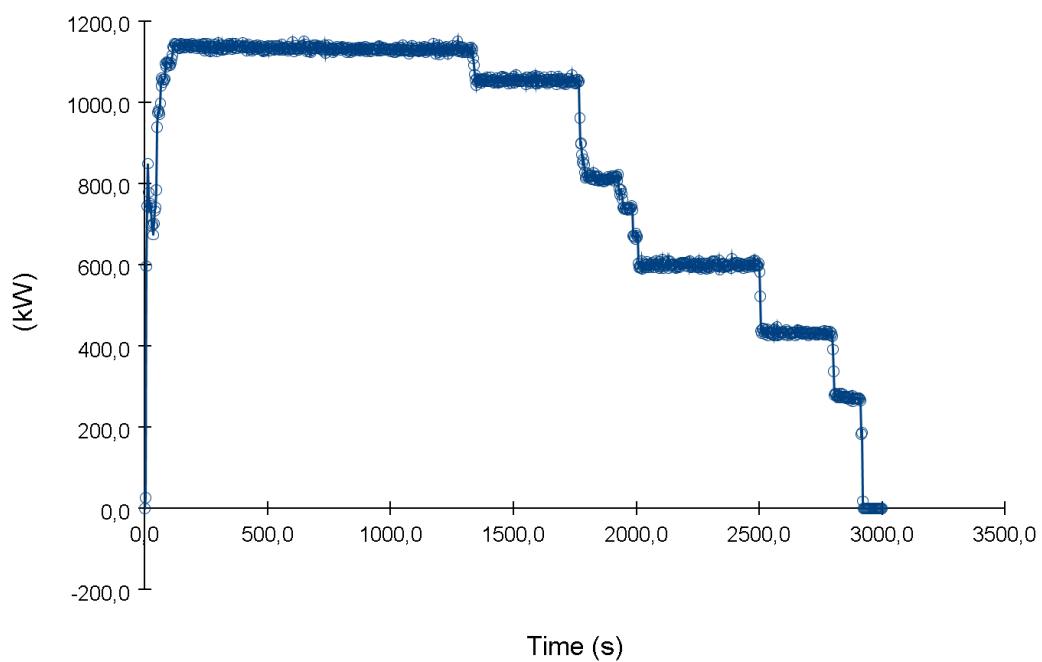
Хидраулично масло	
Капацитет на резервоар	170 L
Густина на хидраулично масло	760 kg/m ³
Поедноставена хемиска (hydrocarbon) формула	C ₃₆ H ₇₄
Топлина на согорување	48.544 kJ/kg
Стапка на горење на материјалот kg/m ² *s (експериментален податок) [81]	0,039 kg/m ² *s

Во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, со согорување на 170 литри на хидраулично масло и со погоре споменатите хемиски и физички карактеристики ги добиваме следниве резултати:



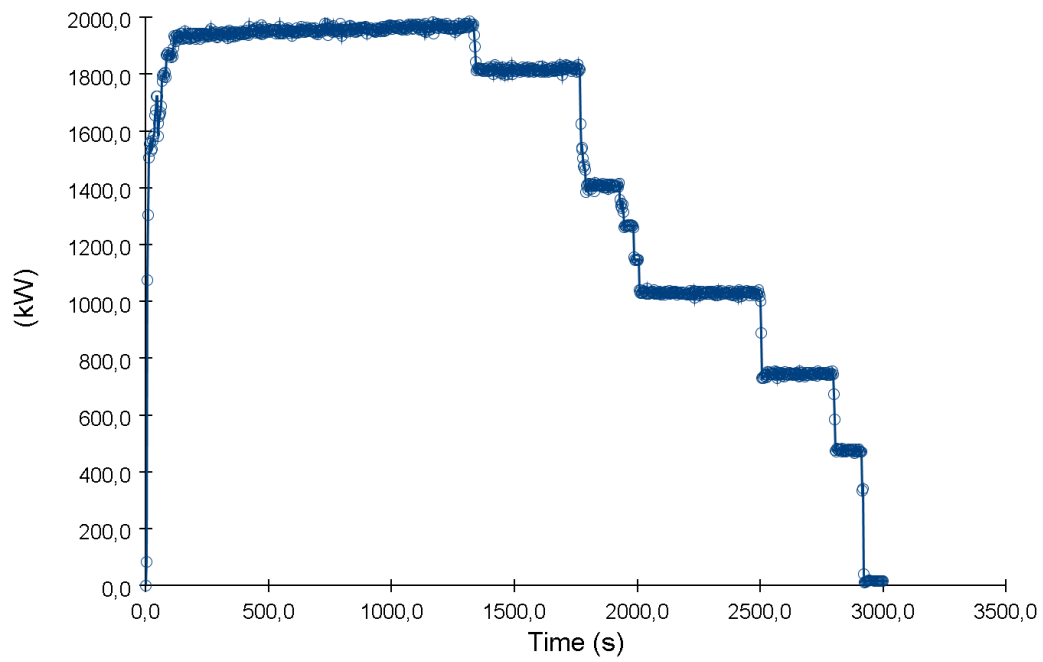
Слика 1.22. Стапка на ослободување на топлина

Figure 1.22. Heat release rate - HRR

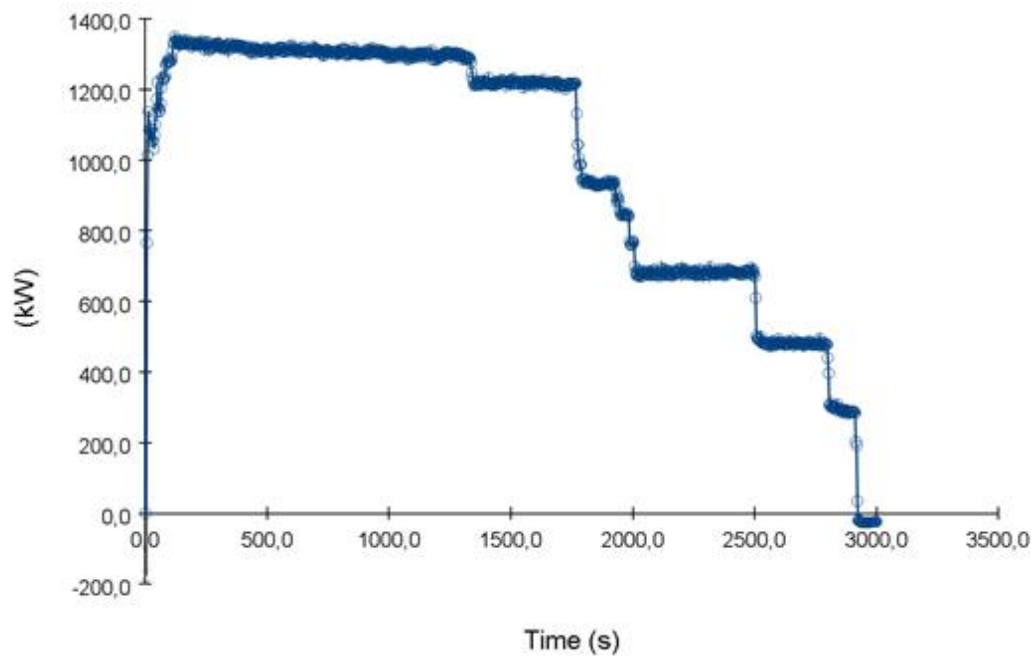


Слика 1.23. Пренос на топлина со радијација

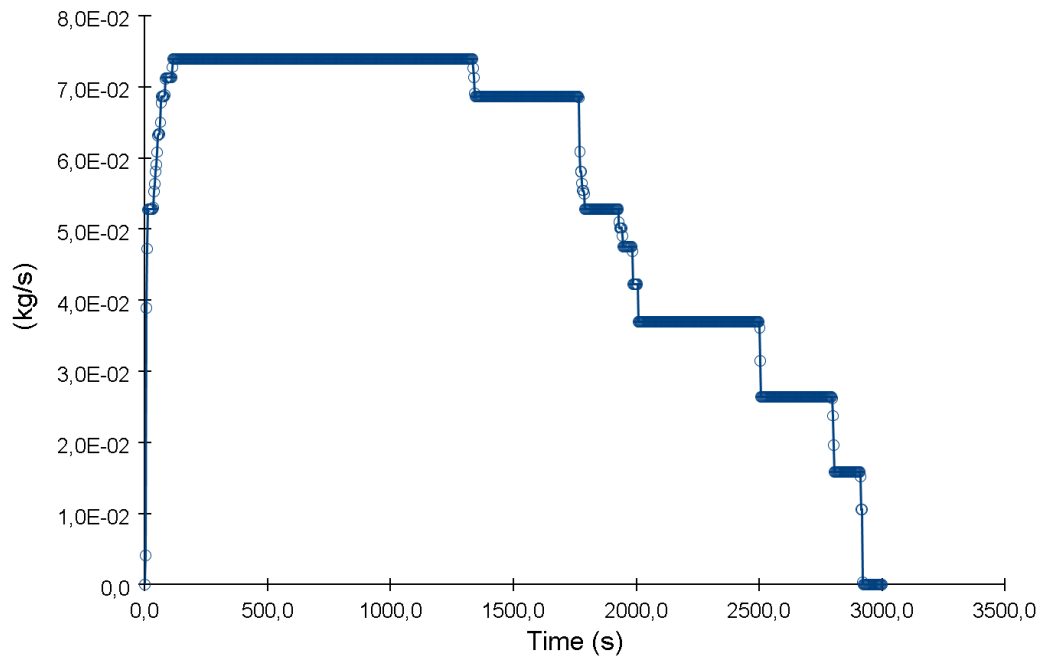
Figure 1.23. Heat transfer by radiation



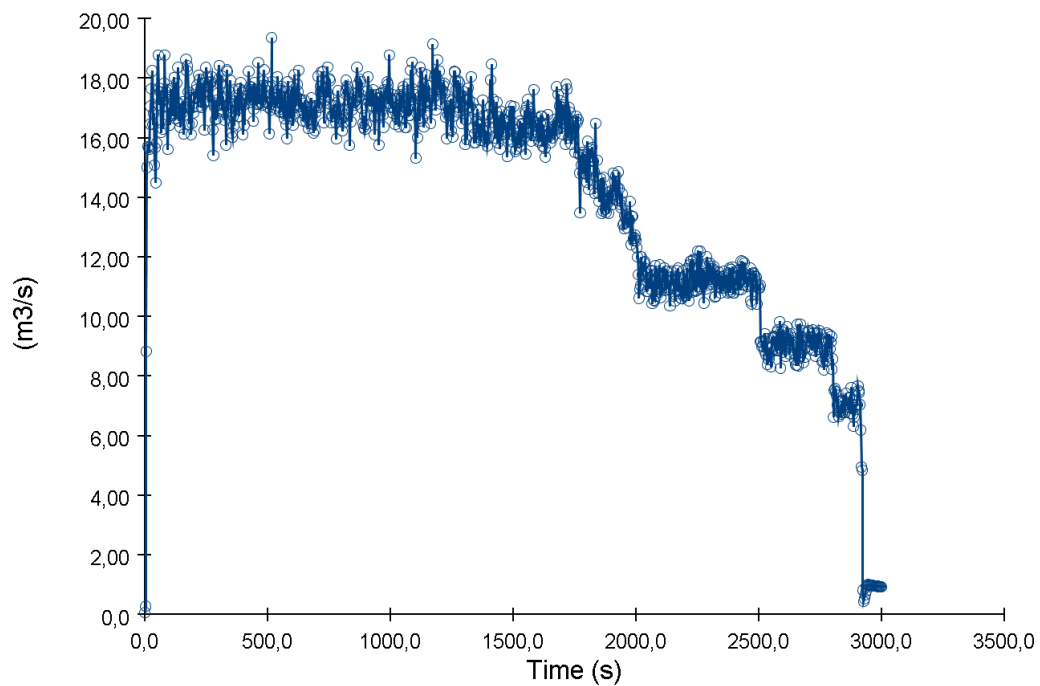
Слика 1.24. Пренос на топлина со конвекција
 Figure 1.24. Heat transfer by convection



Слика 1.25. Пренос на топлина со кондукција
 Figure 1.25. Heat transfer by conduction

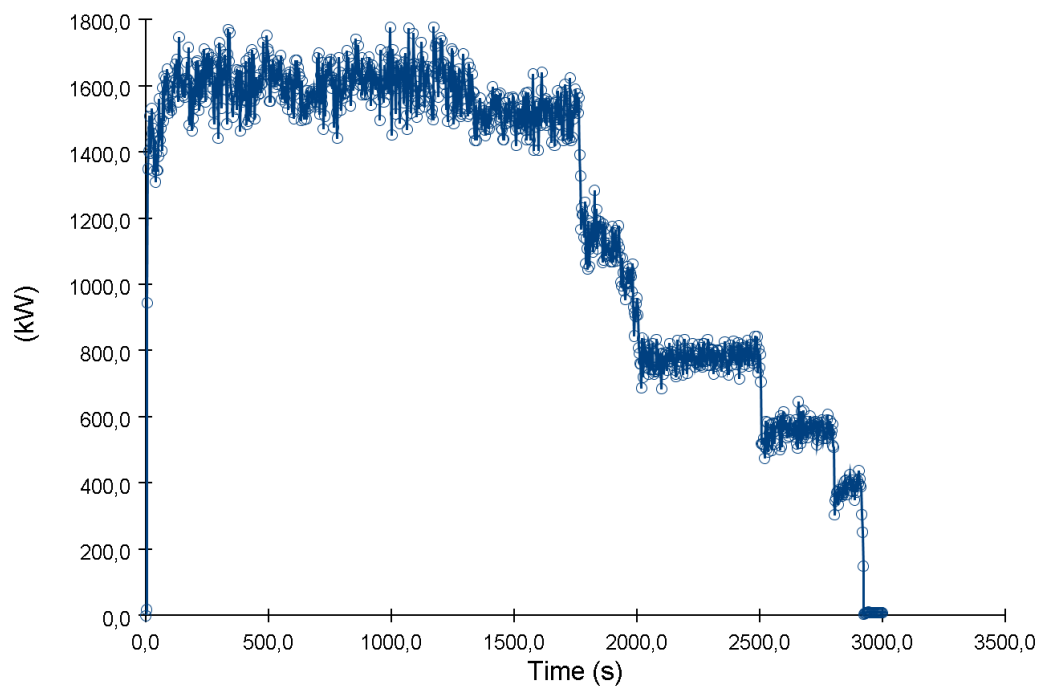


Слика 1.26. Стапка на горење на материјалот (хидраулично масло)
 Figure 1.26. Burning rate of material (hydraulic oil)



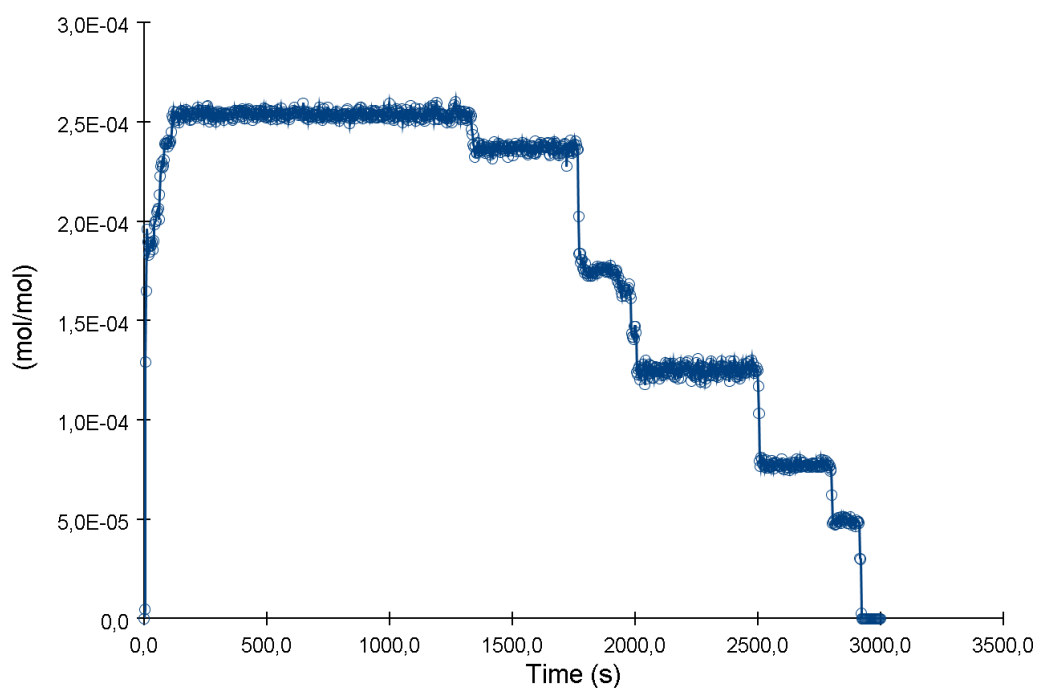
Слика 1.27. Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од
 пожарот

Figure 1.27. Volume flow of smoke and fire gases generated by the fire



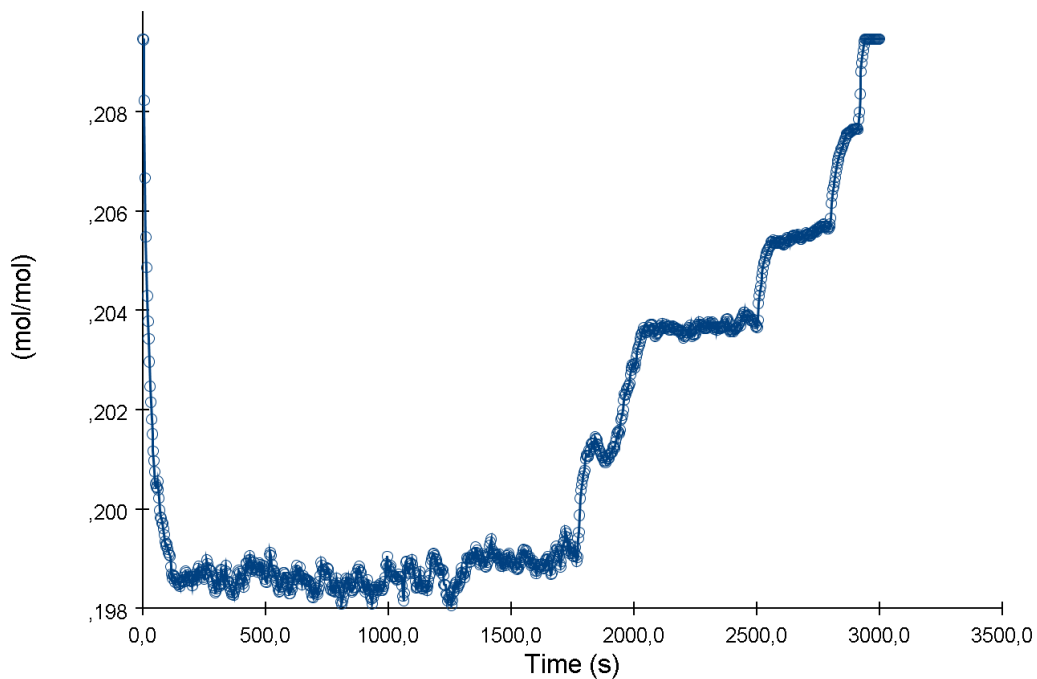
Слика 1.28. Проток на топлина од пожарот

Figure 1.28. Heat flow from fire

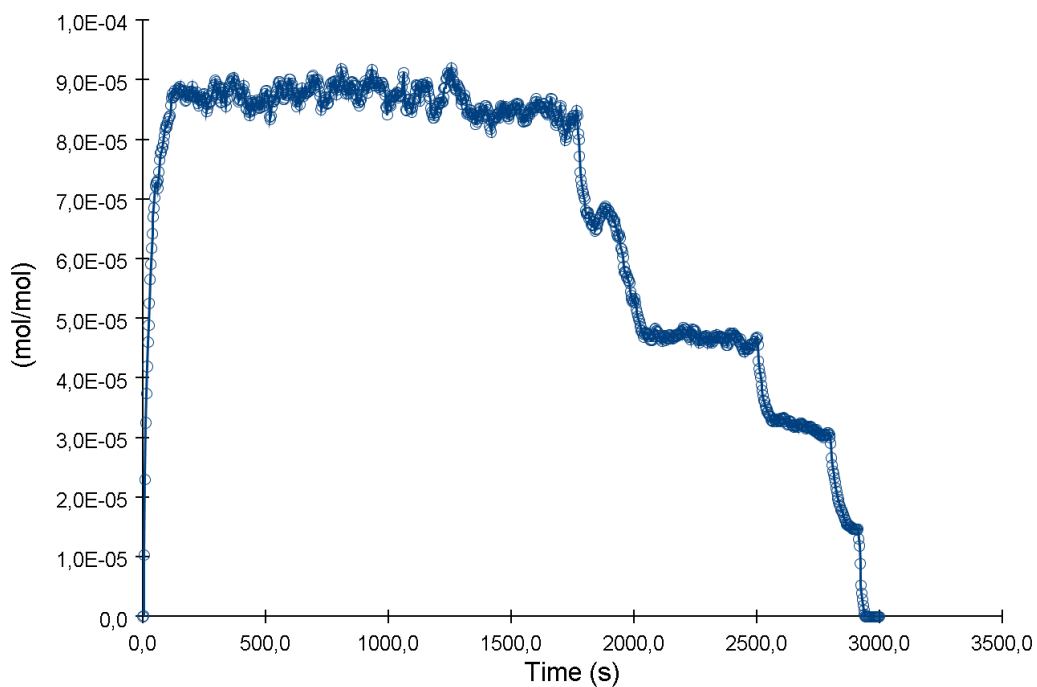


Слика 1.29. Генерирање на јаглерод монооксид - CO од пожарот

Figure 1.29. Generation of carbon monoxide - CO from fire



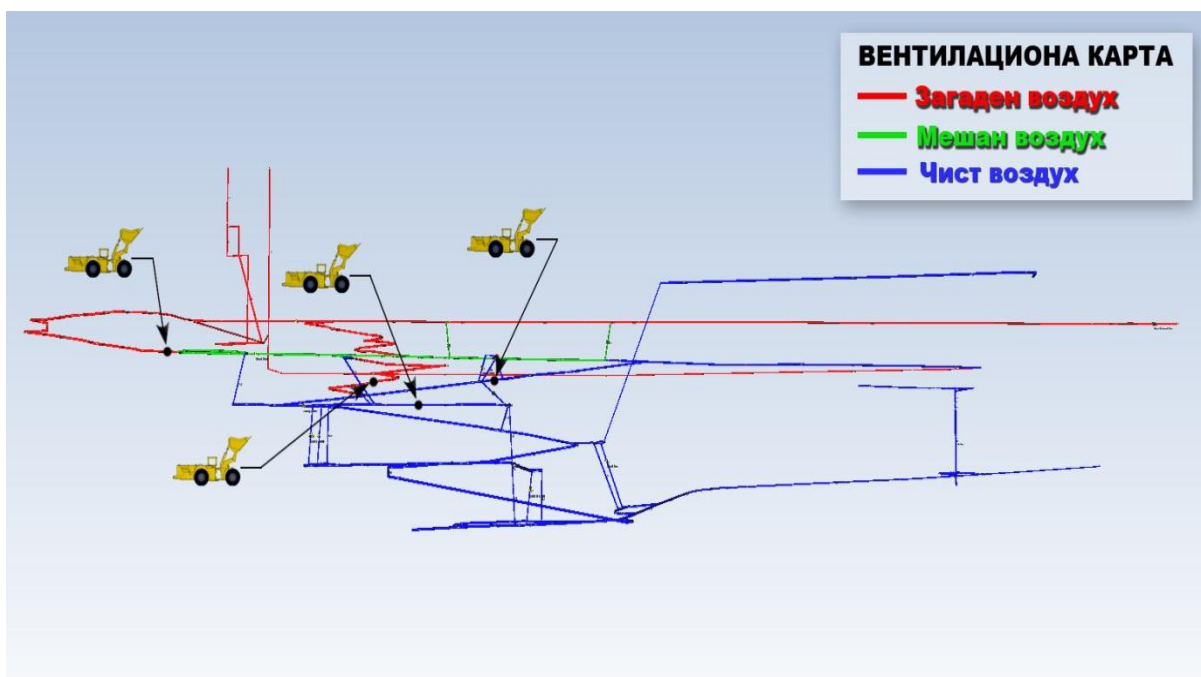
Слика 1.30. Волуменска содржина на кислород во пожарното место
 Figure 1.30. Volume oxygen content in the fire place



Слика 1.31. Генерирање на саѓи од пожарот
 Figure 1.31. Generating soot from fire

1.1. Систем за евакуација и спасување од пожар настанат од утоварач Scooptram ST 3.5

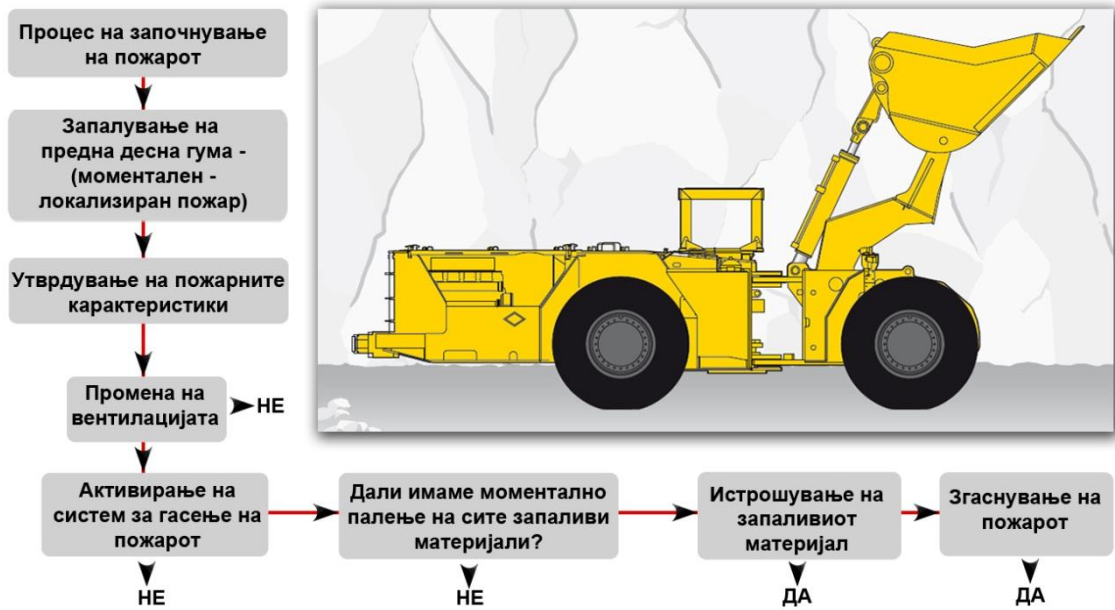
За идентификување на можните пожарни сценарија во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ ги користевме прирачниците за работните процесите и работната механизација со што беше направена анализа на пожарен ризик со чија помош ги идентификувавме локациите на можните пожарни сценарија од работната механизација утоварач Scooptram ST 3.5.



Слика 1.32. Локации на можните пожарни сценарија од работната механизација, утоварач Scooptram ST 3.5

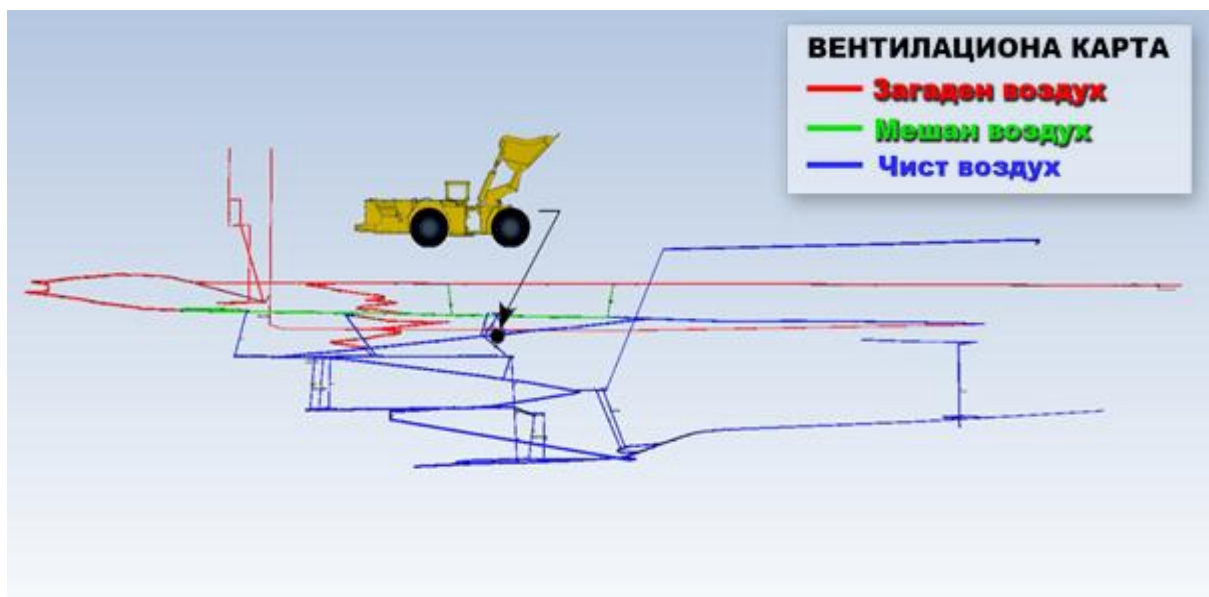
Figure 1.32. Locations of possible fire scenarios from working machinery, Loader Scooptram ST 3.5

1.1.1. Пожарно Сценарио-3



Слика 1.33. Моделирање на пожарно сценарио-3

Figure 1.33. Modeling of fire scenario-3



Слика 1.34. Локација на моделираното пожарно сценарио-3

Figure 1.34. Location of fire scenario-3

За моделирање на пожарно сценарио-3 ќе претпоставиме пожар настанат од запалување на предна десна гума на работната механизација, утоварач-Scooptram ST 3.5. За пресметка на движењето на чадот и пожарните гасови во предходно зададена локација во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „CACA” ќе го користиме софтверот MINEFIRE PRO+. Во софтверот MINEFIRE PRO+ ги внесуваме предходно пресметаните пожарни карактеристики од софтверот Pyrosim, за пожар настанат од гума на работната механизација утоварач-Scooptram ST 3.5.

Табела 1.4. Влезни пожарни параметри во софтверот MINEFIRE PRO+ за пожарно сценарио-3

Table 1.4. Input fire parameters in software MINEFIRE PRO + for fire scenario-3

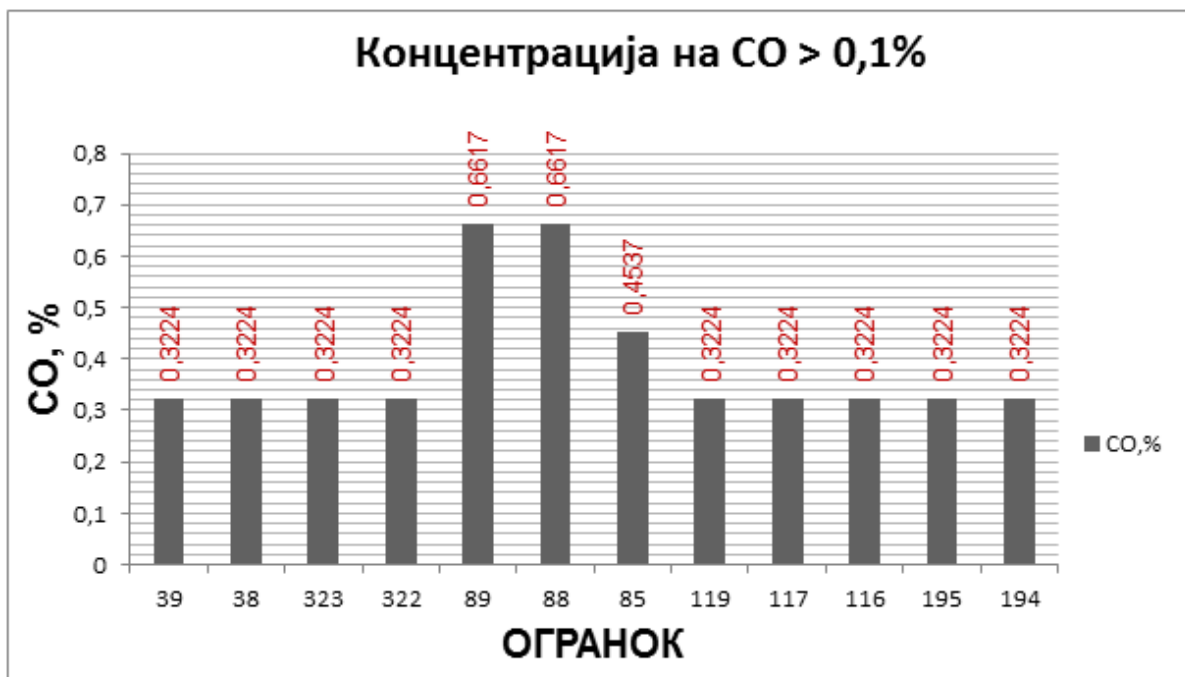
Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот, [m ³ /s]	Концентрација на јаглерод моноксид во волуменскиот проток на чад и пожарни гасови CO, [%]	Проток на топлина од пожарот, [kW]	Концентрација на кислород во пожарното место O ₂ , [%]	Волуменски проток на воздух во огранокот Q, [m ³ /s]	Време на целосно развивање на пожарот [min]
12	0,0155	684	20	22	1

Од направената анализа и пресметки на пожарното сценарио за утоварач-Scooptram ST 3.5, со влезни параметри дадени во табела 1.4, за моментален (локализиран) пожар настанат од запалување на предната десна гума, ги добивме следниве резултати од софтверот MINEFIRE PRO+:

Табела 1.5. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-3, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

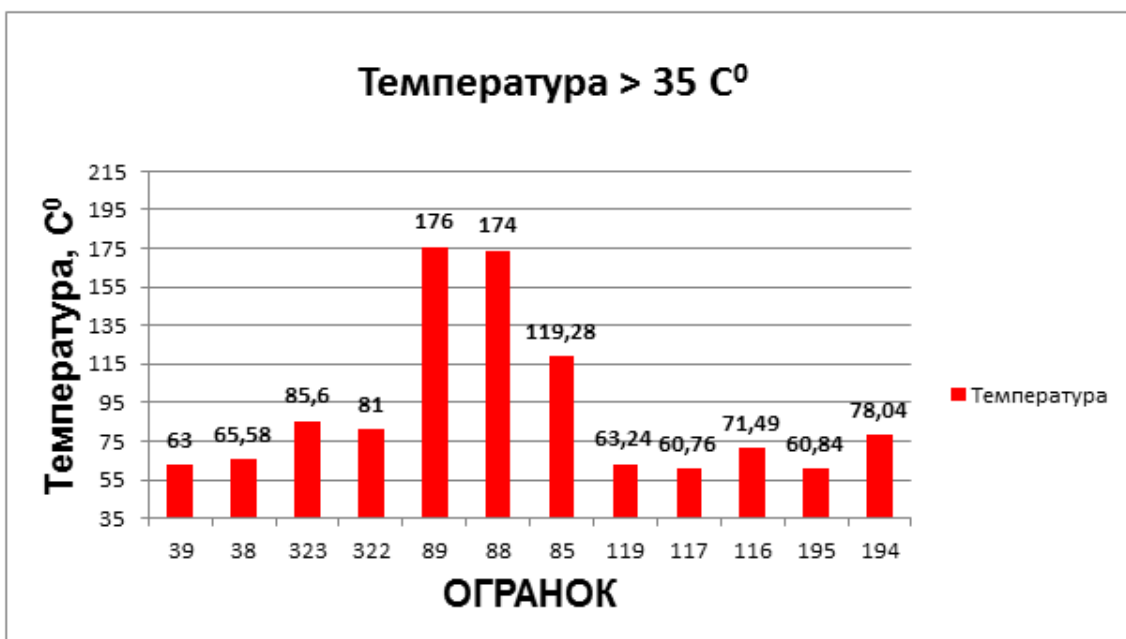
Table 1.5. Analysis and calculations of fire scenario-3, 90 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C ^o]	Концентрација на CO, [%]
39	5,4	63	0,3224
38	5,4	65,58	0,3224
323	33,1	85,6	0,3224
322	33,1	81	0,3224
75	69,8	25,23	0,0805
89	10,3	176	0,6617
88	10,3	174	0,6617
85	23,6	119,28	0,4537
119	5,4	63,24	0,3224
118	56,8	30,24	0,0988
117	17,0	60,76	0,3224
116	22,4	71,49	0,3224
195	5,4	60,84	0,3224
194	22,4	78,04	0,3224



Слика 1.35. Критични услови во пожарно сценарио-3, со CO > 0,1%, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.35. Critical conditions in fire scenario-3, with CO > 0,1%, 90 seconds after fire event



Слика 1.36. Критични услови во пожарно сценарио-3, со температура >35 C°, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

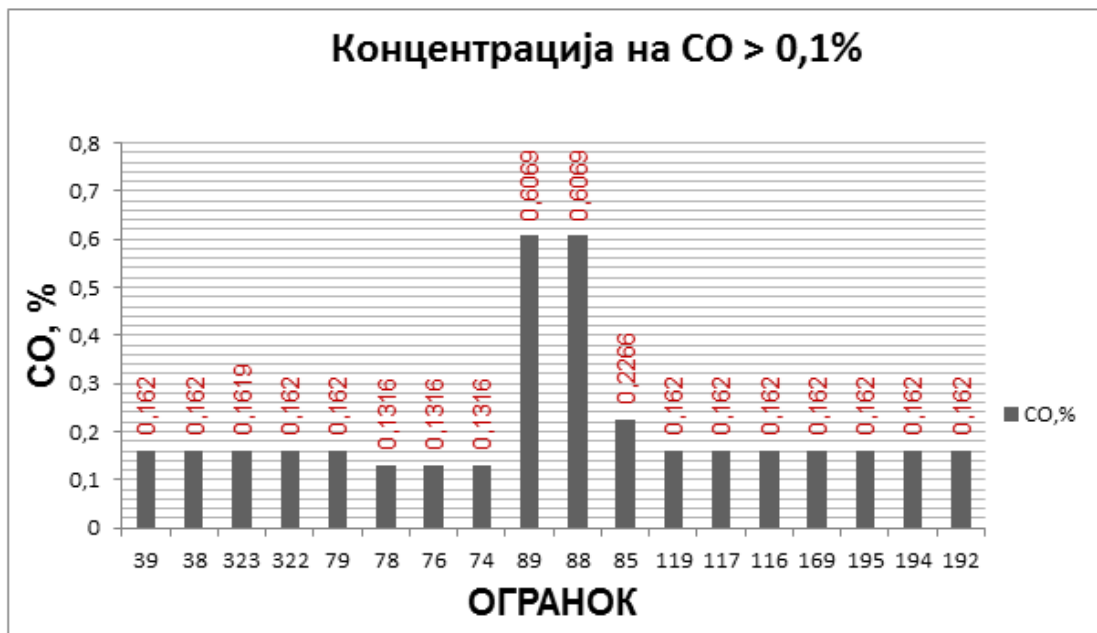
Figure 1.36. Critical conditions in fire scenario-3, with temperature >35 C°, 90 seconds after fire event

Табела 1.6. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-3, на 540 секунди од започнувањето на пожарот

Table 1.6. Analysis and calculations of fire scenario-3, 540 seconds after fire event

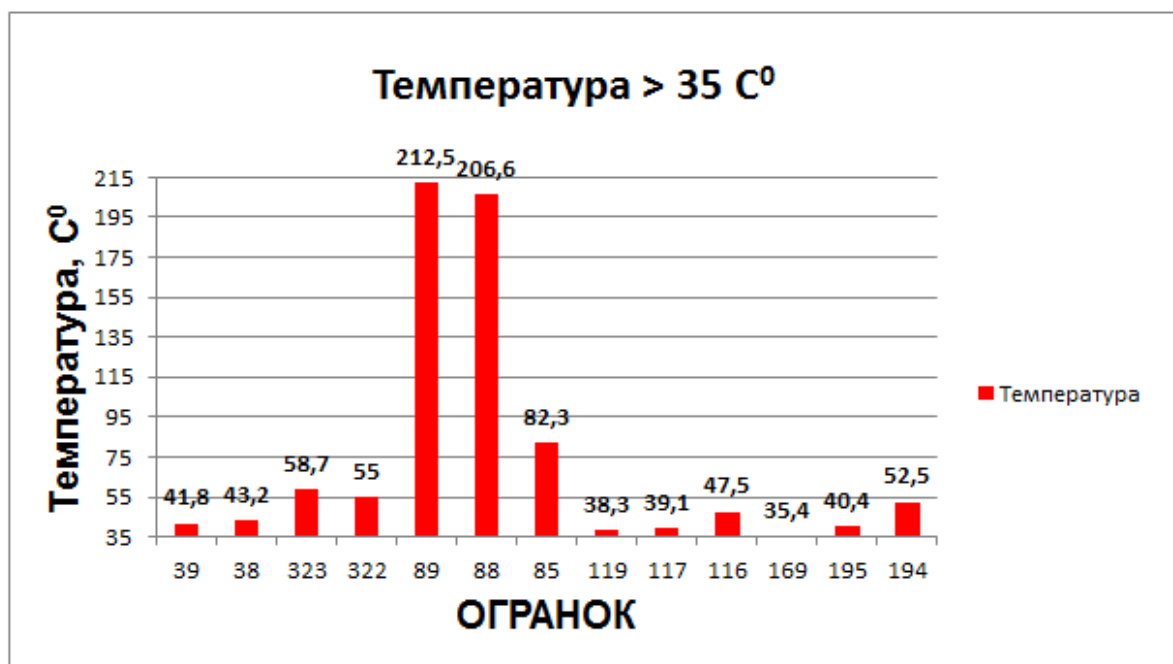
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m³/s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
39	5,3	38,3	0,1628
38	5,3	39,5	0,1628
323	33,6	55,4	0,1627
322	33,6	51,4	0,1628
79	10,4	31,5	0,1628
78	12,9	26,2	0,1323
76	12,9	23,2	0,1323
75	70,4	21,2	0,0771
74	12,9	24,6	0,1323
89	9,0	212,2	0,6080
88	9,0	205,8	0,6080
85	24,0	80,0	0,2278
81	70,4	20,3	0,0771
80	70,4	20,0	0,0772
379	70,4	21,8	0,0772
371	70,4	20,0	0,0772
119	5,3	35,3	0,1628
118	57,6	23,2	0,0647
117	17,8	35,2	0,1628
116	23,1	43,7	0,1628

175	41,7	20,8	0,0208
174	41,7	20,8	0,0208
173	41,7	20,9	0,0208
172	41,7	21,0	0,0208
171	41,7	21,1	0,0208
170	41,7	21,3	0,0208
169	5,3	32,8	0,1628
191	41,7	20,1	0,0208
190	41,7	20,1	0,0208
189	41,7	20,1	0,0208
188	41,7	20,2	0,0208
187	41,7	20,2	0,0208
186	41,7	20,2	0,0208
185	41,7	20,2	0,0208
184	41,7	20,3	0,0208
183	41,7	20,3	0,0208
182	41,7	20,4	0,0208
181	41,7	20,4	0,0208
180	41,7	20,4	0,0208
179	41,7	20,5	0,0208
178	41,7	20,5	0,0208
177	41,7	20,6	0,0208
176	41,7	20,7	0,0208
195	5,3	37,1	0,1628
194	23,1	48,7	0,1628
192	10,4	42,4	0,1628



Слика 1.37. Критични услови во пожарно сценарио-3, со CO > 0,1%, на 540 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.37. Critical conditions in fire scenario-3, with CO > 0,1%, 540 seconds after fire event



Слика 1.38. Критични услови во пожарно сценарио-3, со температура >35 C°, на 540 секунди од започнувањето на пожарот

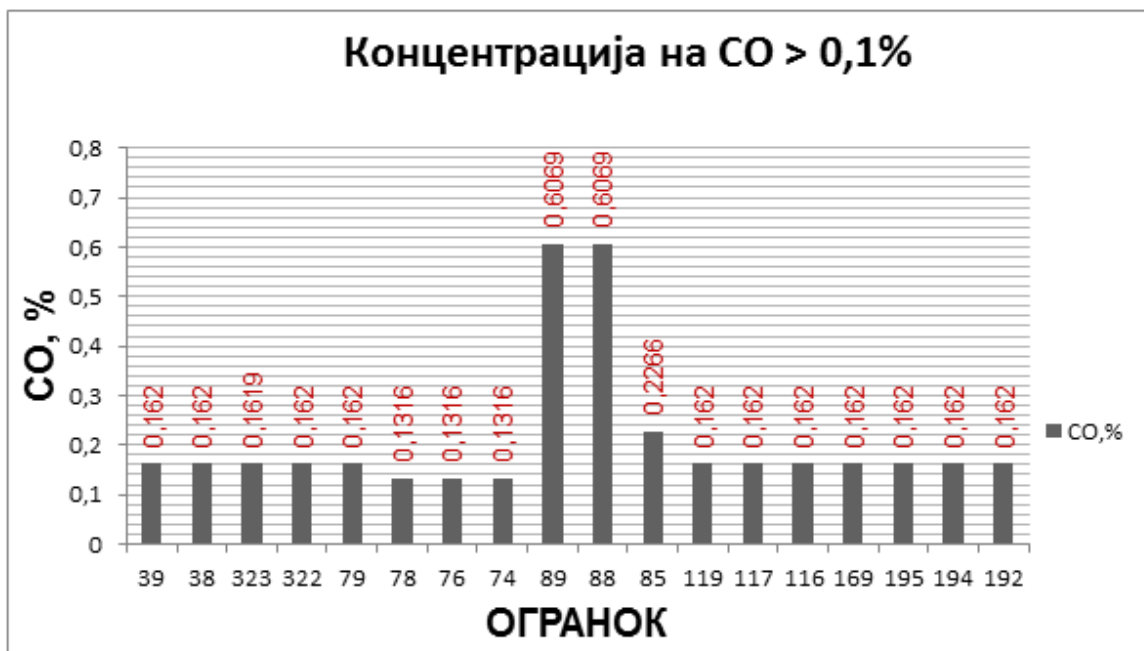
Figure 1.38. Critical conditions in fire scenario-3, with temperature >35 C°, 540 seconds after fire event

Табела 1.7. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-3, на 1.260 секунди од започнувањето на пожарот

Table 1.7. Analysis and calculations of fire scenario-3, 1.260 seconds after fire event

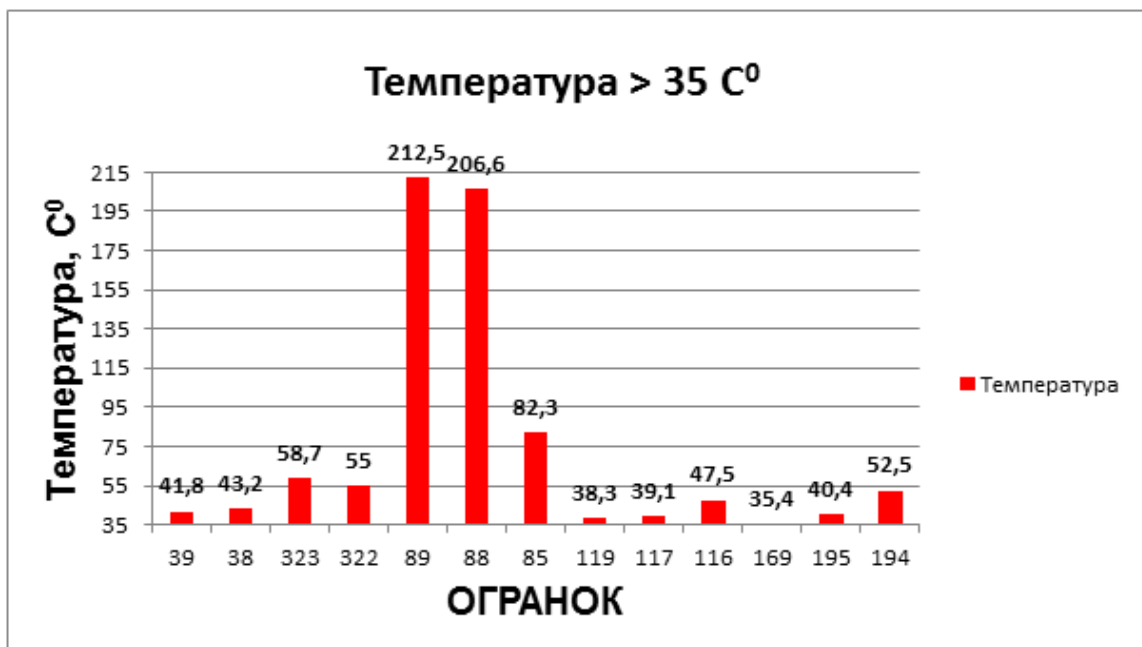
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
39	5,3	39,2	0,1627
38	5,3	40,5	0,1626
330	2,0	20,0	0,0235
329	39,8	20,1	0,0208
328	57,5	22,0	0,0646
323	33,5	56,5	0,1625
322	33,5	52,6	0,1626
79	10,4	32,2	0,1626
78	12,9	26,5	0,1321
76	12,9	23,4	0,1322
75	70,4	21,4	0,0770
74	12,9	24,8	0,1322
89	9,0	212,3	0,6077
88	9,0	206,1	0,6077
85	24,0	80,8	0,2275
81	70,4	20,4	0,0770
80	70,4	20,1	0,0770

379	70,4	21,7	0,0770
371	70,4	20,1	0,0770
119	5,3	35,8	0,1627
118	57,5	23,5	0,0646
117	17,8	36,3	0,1626
116	23,1	44,8	0,1626
175	41,7	20,8	0,0208
174	41,7	20,9	0,0208
173	41,7	20,9	0,0208
172	41,7	21,0	0,0208
171	41,7	21,2	0,0208
170	41,7	21,4	0,0208
169	5,3	33,1	0,1627
191	41,7	20,1	0,0208
190	41,7	20,1	0,0208
189	41,7	20,1	0,0208
188	41,7	20,2	0,0208
187	41,7	20,2	0,0208
186	41,7	20,2	0,0208
185	41,7	20,2	0,0208
184	41,7	20,3	0,0208
183	41,7	20,3	0,0208
182	41,7	20,4	0,0208
181	41,7	20,4	0,0208
180	41,7	20,4	0,0208
179	41,7	20,5	0,0208
178	41,7	20,5	0,0208
177	41,7	20,6	0,0208
176	41,7	20,7	0,0208
195	5,3	37,8	0,1627
194	23,1	49,9	0,1626
192	10,4	43,4	0,1626
211	32,7	19,9	0,0014
210	32,7	19,9	0,0014



Слика 1.39. Критични услови во пожарно сценарио-3, со CO > 0,1%, на 1.260 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.39. Critical conditions in fire scenario-3, with CO > 0,1%, 1.260 seconds after fire event



Слика 1.40. Критични услови во пожарно сценарио-3, со температура >35 C°, на 1.260 секунди од започнувањето на пожарот

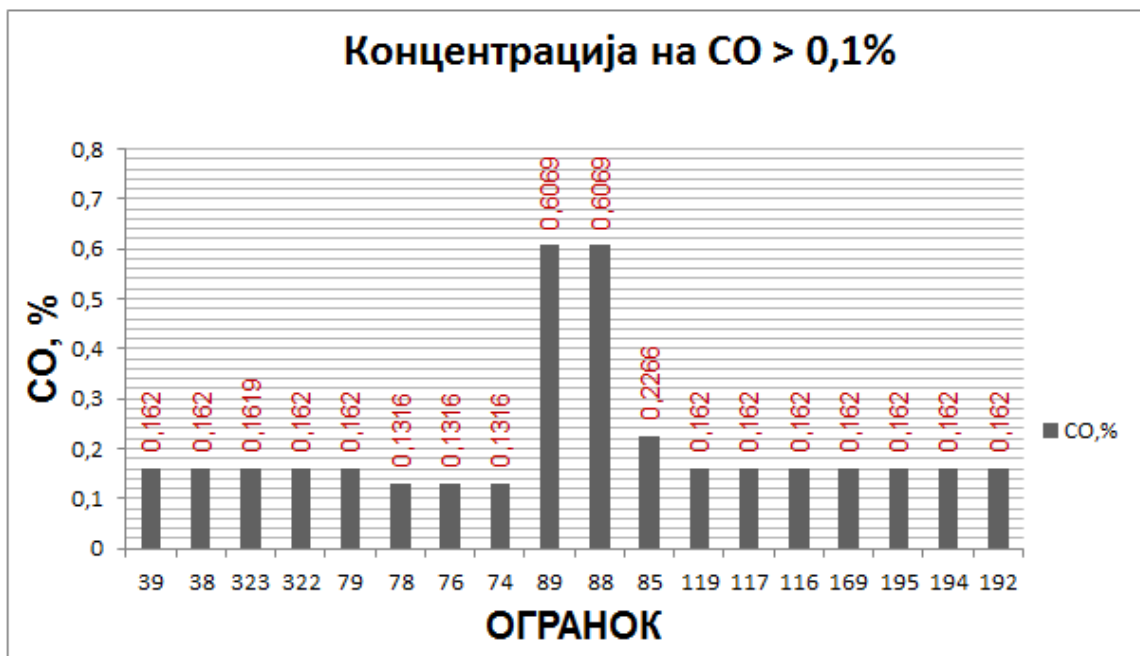
Figure 1.40. Critical conditions in fire scenario-3, with temperature >35 C°, 1.260 seconds after fire event

Табела 1.8. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-3, на 2.340 секунди од започнувањето на пожарот

Table 1.8. Analysis and calculations of fire scenario-3, 2.340 seconds after fire event

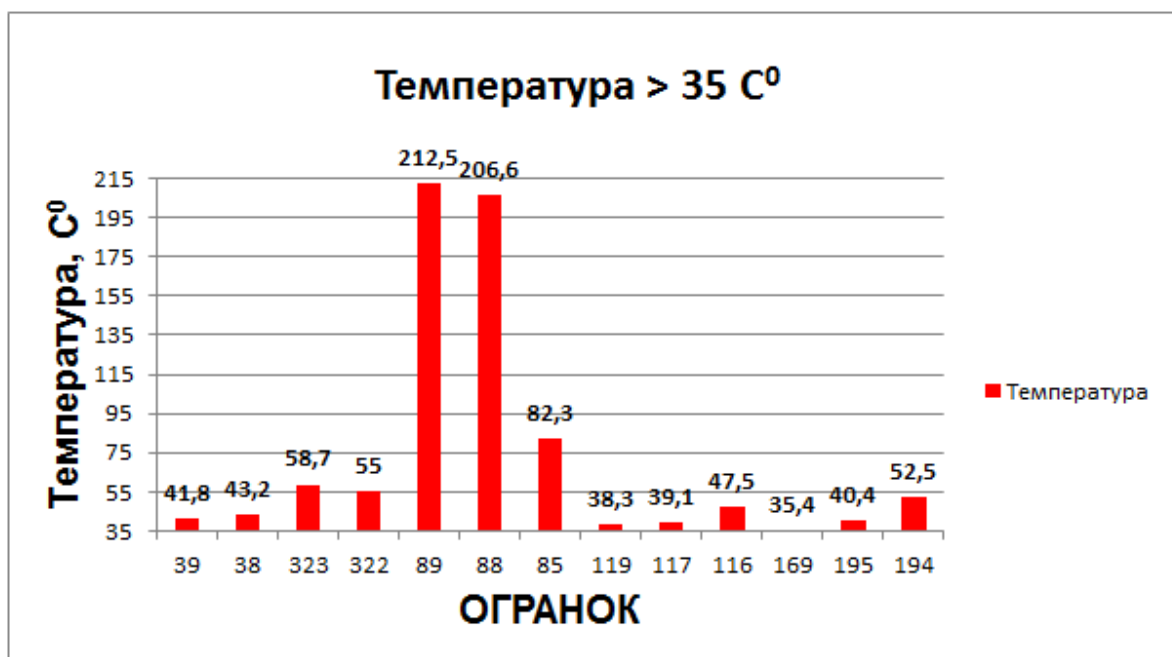
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
316	22,4	20,0	0,0012
315	10,4	19,8	0,0012
314	32,8	20,0	0,0012
313	8,6	19,7	0,0013
312	8,6	19,7	0,0013
311	17,4	19,6	0,0013
310	8,6	19,7	0,0013
309	8,7	19,7	0,0013
308	7,0	19,7	0,0013
307	8,7	19,7	0,0013
306	7,0	19,8	0,0013
39	5,4	40,4	0,1624
38	5,4	41,7	0,1624
330	2,0	20,0	0,0208
329	39,8	20,1	0,0208
328	57,5	22,4	0,0644
323	33,5	57,5	0,1623
322	33,5	53,7	0,1623
347	9,8	19,7	0,0012
346	15,4	20,0	0,0012
79	10,4	32,9	0,1624
78	12,8	27,1	0,1319
77	2,4	20,6	0,0000
76	12,8	23,9	0,1319
75	70,3	21,7	0,0768
74	12,8	25,3	0,1319
367	5,6	20,0	0,0012
366	5,6	20,1	0,0012
89	9,0	212,4	0,6074
88	9,0	206,3	0,6074
85	23,9	81,5	0,2271
81	70,3	20,6	0,0768
80	70,3	20,1	0,0768
379	70,3	21,6	0,0768
374	9,8	20,0	0,0013
372	17,4	19,7	0,0013
371	70,3	20,1	0,0768
127	2,6	20,0	0,0013
119	5,4	37,0	0,1624
118	57,5	23,9	0,0644
117	17,7	37,5	0,1624
116	23,1	46,0	0,1624
133	2,6	20,0	0,0012
132	2,6	20,0	0,0013
131	2,6	20,0	0,0013
130	2,6	20,0	0,0012
129	4,4	20,0	0,0012
128	2,6	20,0	0,0013

175	41,7	20,9	0,0208
174	41,7	21,0	0,0208
173	41,7	21,1	0,0208
172	41,7	21,1	0,0208
171	41,7	21,3	0,0208
170	41,7	21,5	0,0208
169	5,4	34,2	0,1624
191	41,7	20,1	0,0208
190	41,7	20,1	0,0208
189	41,7	20,2	0,0208
188	41,7	20,2	0,0208
187	41,7	20,2	0,0208
186	41,7	20,2	0,0208
185	41,7	20,3	0,0208
184	41,7	20,3	0,0208
183	41,7	20,4	0,0208
182	41,7	20,4	0,0208
181	41,7	20,4	0,0208
180	41,7	20,5	0,0208
179	41,7	20,5	0,0208
178	41,7	20,6	0,0208
177	41,7	20,7	0,0208
176	41,7	20,8	0,0208
195	5,4	39,0	0,1624
194	23,1	51,1	0,1623
192	10,4	44,4	0,1623
211	32,8	19,9	0,0012
210	32,8	19,9	0,0012
209	32,8	20,0	0,0012



Слика 1.41. Критични услови во пожарно сценарио-3, со CO > 0,1%,
на 2.340 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.41. Critical conditions in fire scenario-3, with CO > 0,1%,
2.340 seconds after fire event



Слика 1.42. Критични услови во пожарно сценарио-3, со температура >35 C°, на 2.430 секунди од започнувањето на пожарот

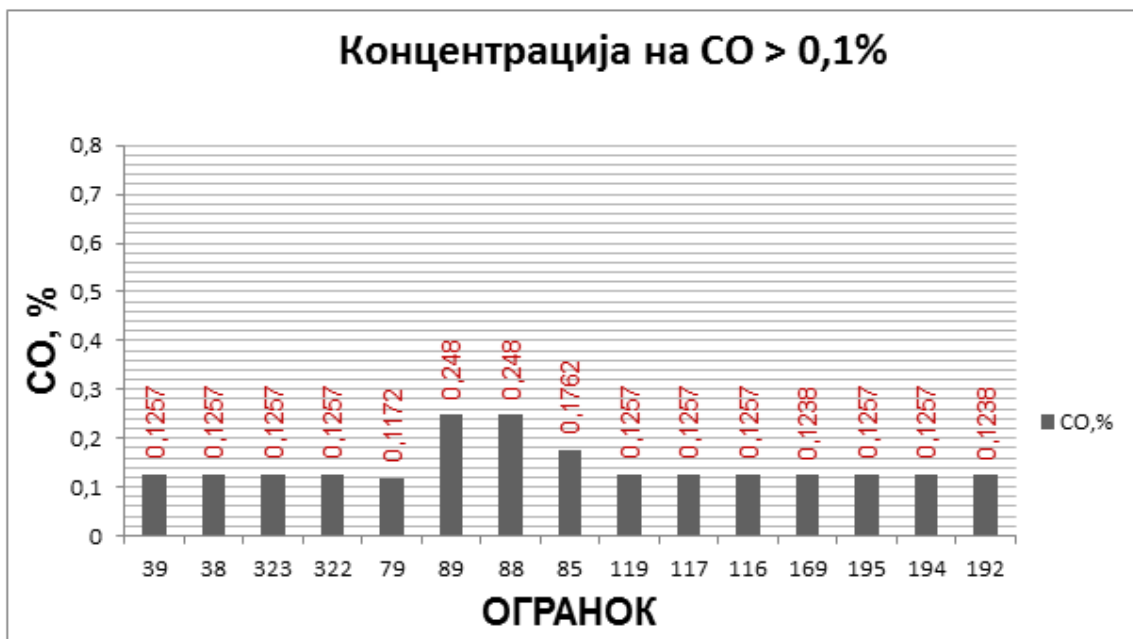
Figure 1.42. Critical conditions in fire scenario-3, with temperature >35 C°, 2.430 seconds after fire event

Табела 1.9. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-3, на 3.780 секунди од започнувањето на пожарот

Table 1.9. Analysis and calculations of fire scenario-3, 3.780 seconds after fire event

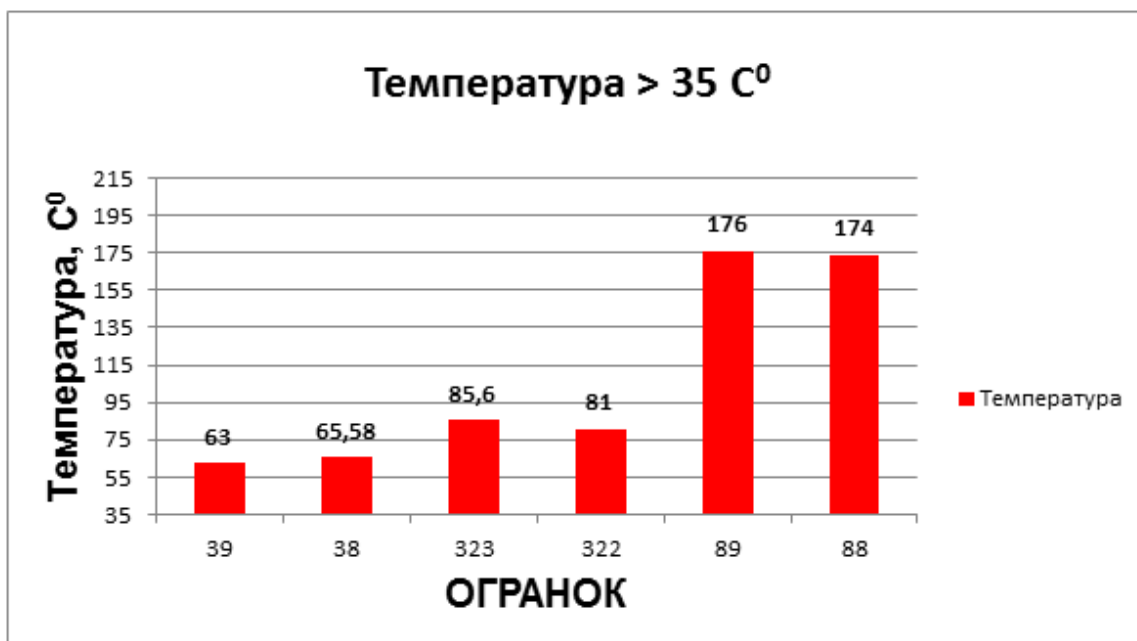
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m³/s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
39	5,3	31,2	0,1257
38	5,3	31,9	0,1257
329	39,7	20,0	0,0157
328	57,6	21,2	0,0499
323	33,7	41,0	0,1257
322	33,7	38,8	0,1257
79	10,5	25,7	0,1172
78	12,9	22,8	0,0954
76	12,9	21,4	0,0954
75	70,5	20,7	0,0583
74	12,9	22,0	0,0954
89	16,7	78,4	0,2480
88	16,7	76,9	0,2480
85	24,0	55,1	0,1762
81	70,5	20,2	0,0578
80	70,5	20,0	0,0578

379	70,5	21,8	0,0573
371	70,5	20,0	0,0578
119	5,3	29,4	0,1257
118	57,6	22,0	0,0499
117	17,9	29,4	0,1257
116	23,2	34,4	0,1257
175	41,6	20,3	0,0157
174	41,6	20,4	0,0157
173	41,6	20,4	0,0157
172	41,6	20,4	0,0157
171	41,6	20,5	0,0157
170	41,6	20,6	0,0157
169	5,3	27,2	0,1238
191	41,6	20,0	0,0157
190	41,6	20,0	0,0157
189	41,6	20,0	0,0157
188	41,6	20,0	0,0157
187	41,6	20,1	0,0157
186	41,6	20,1	0,0157
185	41,6	20,1	0,0157
184	41,6	20,1	0,0157
183	41,6	20,1	0,0157
182	41,6	20,1	0,0157
181	41,6	20,1	0,0157
180	41,6	20,2	0,0157
179	41,6	20,2	0,0157
178	41,6	20,2	0,0157
177	41,6	20,2	0,0157
176	41,6	20,3	0,0157
195	5,3	30,5	0,1257
194	23,2	37,3	0,1257
192	10,5	33,2	0,1238



Слика 1.43. Критични услови во пожарно сценарио-3, со CO > 0,1%, на 3.780 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.43. Critical conditions in fire scenario-3, with CO > 0,1%, 3.780 seconds after fire event



Слика 1.44. Критични услови во пожарно сценарио-3, со температура >35 C⁰, на 3.780 секунди од започнувањето на пожарот

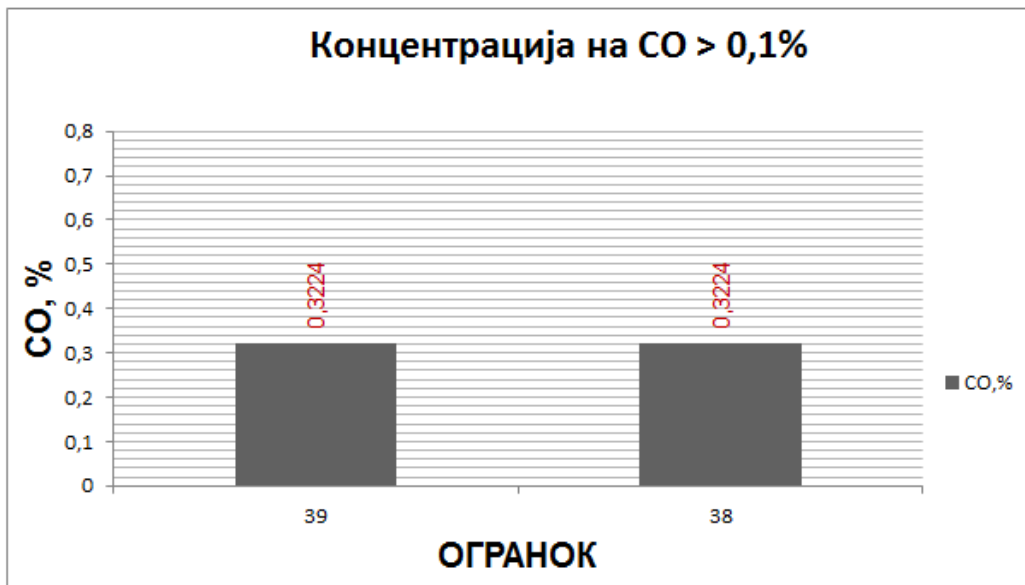
Figure 1.44. Critical conditions in fire scenario-3, with temperature >35 C⁰, 3.780 seconds after fire event

Табела 1.10. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-3, на 4.500 секунди од започнувањето на пожарот

Table 1.10. Analysis and calculations of fire scenario-3, 4.500 seconds after fire event

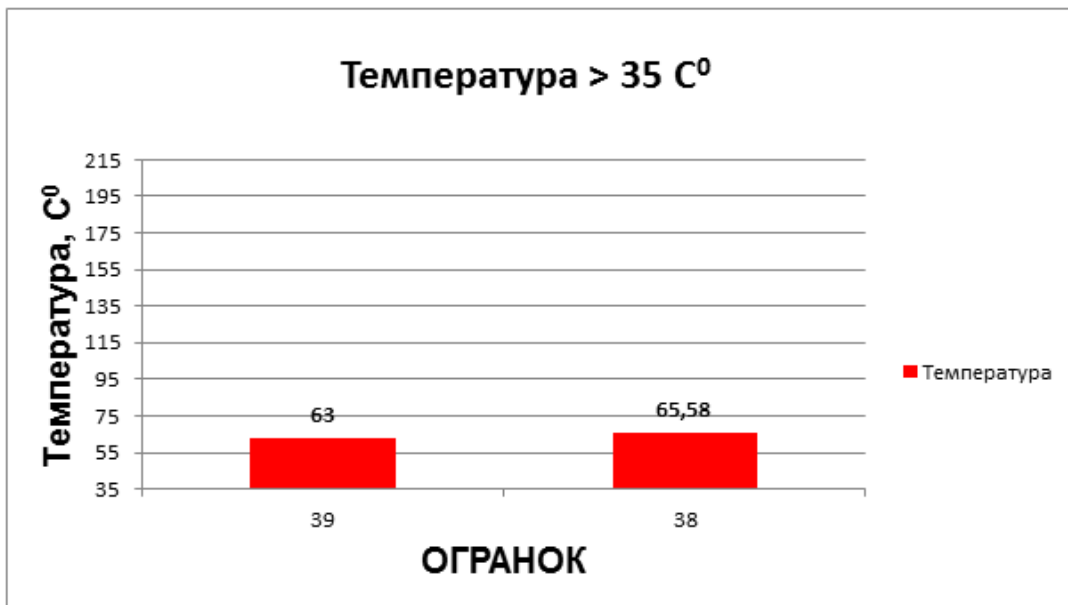
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C ^o]	Концентрација на CO, [%]
39	5,2	26,0	0,0737
38	5,2	26,4	0,0737
329	39,6	20,0	0,0088
328	57,6	20,6	0,0291
323	33,7	31,5	0,0737
322	33,7	30,2	0,0737
79	10,5	22,6	0,0604
78	12,9	21,2	0,0492
76	12,9	20,5	0,0492
75	70,6	20,3	0,0328
74	12,9	20,8	0,0492
89	19,9	47,5	0,1226
88	19,9	46,8	0,1226
81	70,6	20,1	0,0321
80	70,6	20,0	0,0321
379	70,6	21,9	0,0313
371	70,6	20,0	0,0321
119	5,2	25,1	0,0737
118	57,6	21,0	0,0291
117	18,0	25,0	0,0737
116	23,2	27,8	0,0737
175	41,6	20,1	0,0088
174	41,6	20,1	0,0088
173	41,6	20,1	0,0088
172	41,6	20,2	0,0088
171	41,6	20,2	0,0088
170	41,6	20,2	0,0088
169	5,2	23,6	0,0704
191	41,6	20,0	0,0088
190	41,6	20,0	0,0088
189	41,6	20,0	0,0088
188	41,6	20,0	0,0088
187	41,6	20,0	0,0088
186	41,6	20,0	0,0088
185	41,6	20,0	0,0088
184	41,6	20,0	0,0088
183	41,6	20,0	0,0088
182	41,6	20,0	0,0088
181	41,6	20,0	0,0088
180	41,6	20,0	0,0088
179	41,6	20,0	0,0088
178	41,6	20,1	0,0088
177	41,6	20,1	0,0088
176	41,6	20,1	0,0088
195	5,2	25,7	0,0737

194	23,2	29,4	0,0737
192	10,5	27,1	0,0707



Слика 1.45. Критични услови во пожарно сценарио-3, со CO > 0,1%, на 4.500 секунди од започнувањето на пожарот

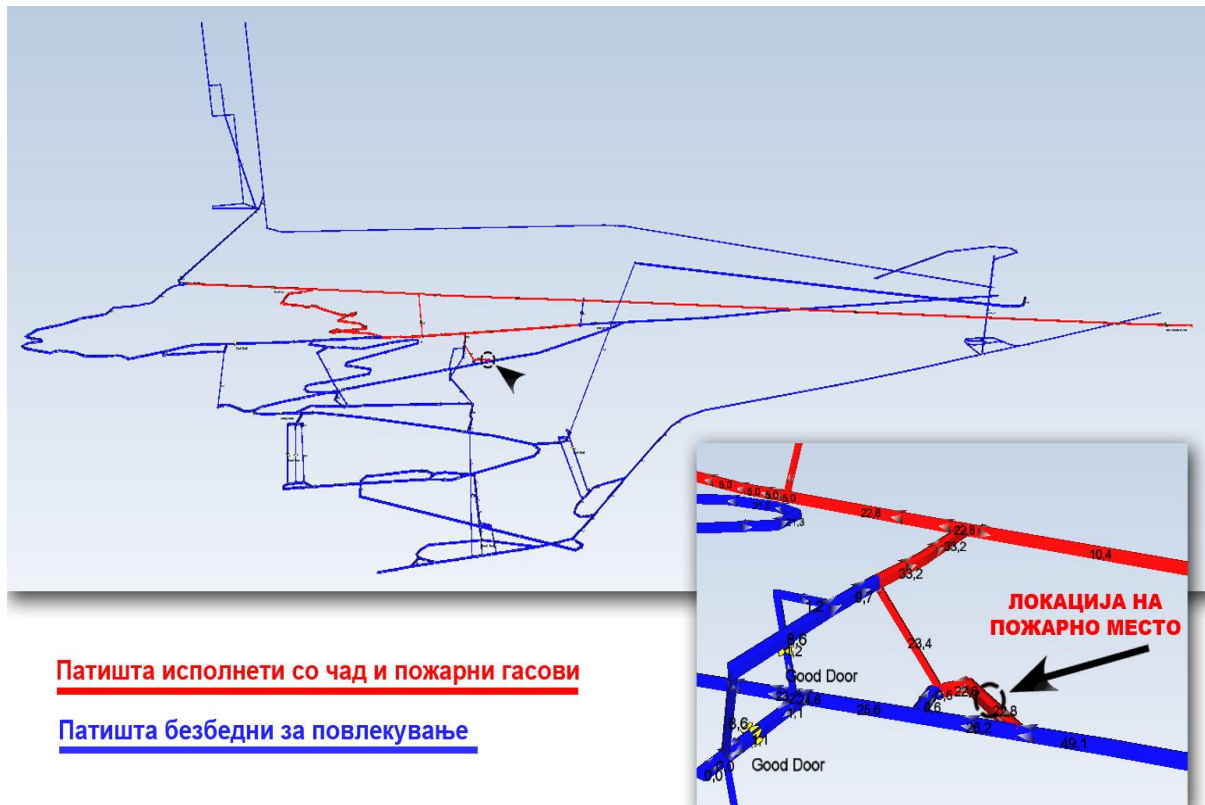
Figure 1.45. Critical conditions in fire scenario-3, with CO > 0,1%, 4.500 seconds after fire event



Слика 1.46. Критични услови во пожарно сценарио-3, со температура >35 C°, на 4.500 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.46. Critical conditions in fire scenario-3, with temperature >35 C°, 4.500 seconds after fire event

Со направените анализи и пресметки во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, за пожарното сценарио-3, добивме временска должина на пожарот од 4.500 секунди (75 минути), за целосно согорување на една гума со тежина од 248 kg.



Слика 1.47. Анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-3
 Figure 1.47. Calculations for movement of smoke and fire gases made in software MINEFIRE PRO+, for fire scenario-3

По направената анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови, генерирани од пожарното сценарио-3, следува процес за лоцирање на местоположбата на сите луѓе во рудникот (слика 13.54) и издавање на наредби и упаства за нивно повлекување по предходно пресметаните безбедни патишта за спасување и евакуација (слика 1.47).

1.1.1.1. Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-3

Влијанијата на предходно дефинираните фактори за оптимизација ќе влијаат на брзината за евакуација и истите се трансформираат во еквивалентна должина на патиштата кои воедно преставуваат и вкупна тежина на рутата за евакуација. Онаа рута за евакуација која ќе има најмала тежина пресметана по предходно спомнатата методологија ќе преставува оптимална рута за евакуација

Според анализата и пресметките за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-3 (слика 1.47), лоцирани се можните патишта за евакуација на сите групи на работници (ќе разгледуваме рути за евакуација до трет ранг). Во табела 1.11, прикажани се само оптималните рути за евакуација на сите вработени во рудникот, пресметани по предходно спомнатиот математички модел за оптимизација.

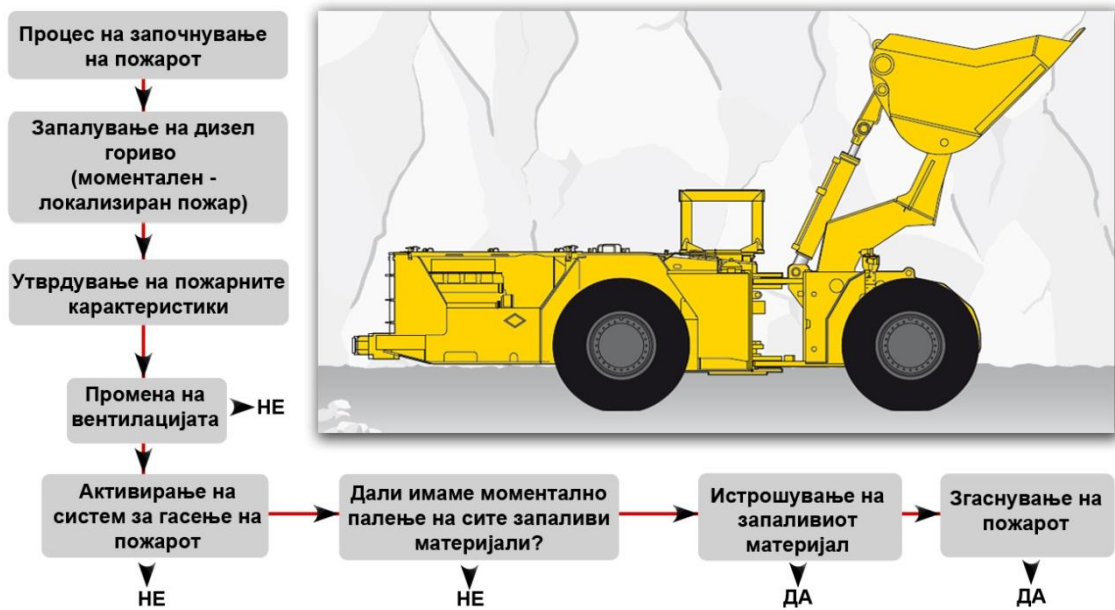
Табела 1.11. Оптимални рути за евакуација на сите работници во рудникот, генерирани за пожарно сценарио-3

Table 1.11. Optimal routes for evacuation of all workers in the underground mine for fire scenario-3

Евакуација на група работници	Број на работници	Тежина на оптималната рута за евакуација (метри)	Време потребно за евакуација низ оптималната рута (минути)	Активирање на системот за самоспасување (капацитет 30 минути)	Движење низ чад и пожарни гасови (метри)	Време потребно за поминување низ загаденото место (минути)
Група 1	2	1.810	25,3	Не	0	0
Група 2	3	1.027	14,3	Да	126	1,7
Група 3	2	810	11,3	Не	0	0
Група 4	3	1.771	24,8	Не	0	0
Група 5	2	1.639	22,9	Не	0	0
Група 6	2	1.449	20,2	Не	0	0
Група 7	2	1.084	15,1	Не	0	0

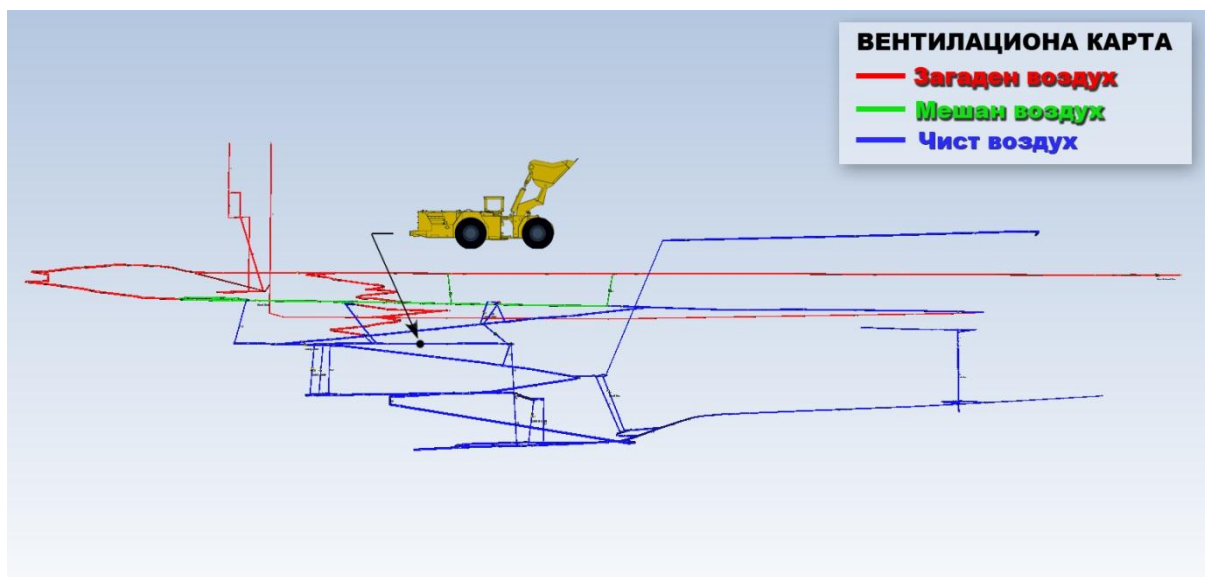
Група 8	2	1.573	22,0	He	0	0
Група 9	3	1.459	20,4	He	0	0
Група 10	2	1.718	24,0	He	0	0
Група 11	2	1.867	26,1	He	0	0
Група 12	2	2.557	35,8	He	0	0
Група 13	3	2.590	36,2	He	0	0
Група 14	2	2.254	31,5	He	0	0
Група 15	2	2.280	31,9	He	0	0
Група 16	2	1.969	27,5	He	0	0

1.1.2 Пожарно Сценарио-4



Слика 1.48. Моделирање на пожарно сценарио-4

Figure 1.48. Modeling of fire scenario-4



Слика 1.49. Локација на моделираното пожарно сценарио-4

Figure 1.49. Location of fire scenario-4

За моделирање на пожарно сценарио-4 ќе претпоставиме механички проблем на утоварач-Scooptram ST 3.5 од кој ќе истече преостанатото дизел гориво од резервоарот и истото ќе се запали. За ова пожарно сценарио ќе претпоставиме дека во резервоарот има преостанато околу 150 литри на дизел гориво.

За пресметка на движењето на чадот и пожарните гасови во предходно зададена локација во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „CACA“, ќе го користиме софтверот MINEFIRE PRO+.

Во софтверот MINEFIRE PRO+ ги внесуваме предходно пресметаните пожарни карактеристики од софтверот Pyrosim, за пожар настанат од истекување на 150 литри на дизел гориво од утоварач-Scooptram ST 3.5.

Табела 1.12. Влезни пожарни параметри во софтверот MINEFIRE PRO+ за пожарно сценарио-4

Table 1.12. Input fire parameters in software MINEFIRE PRO + for fire scenario-4

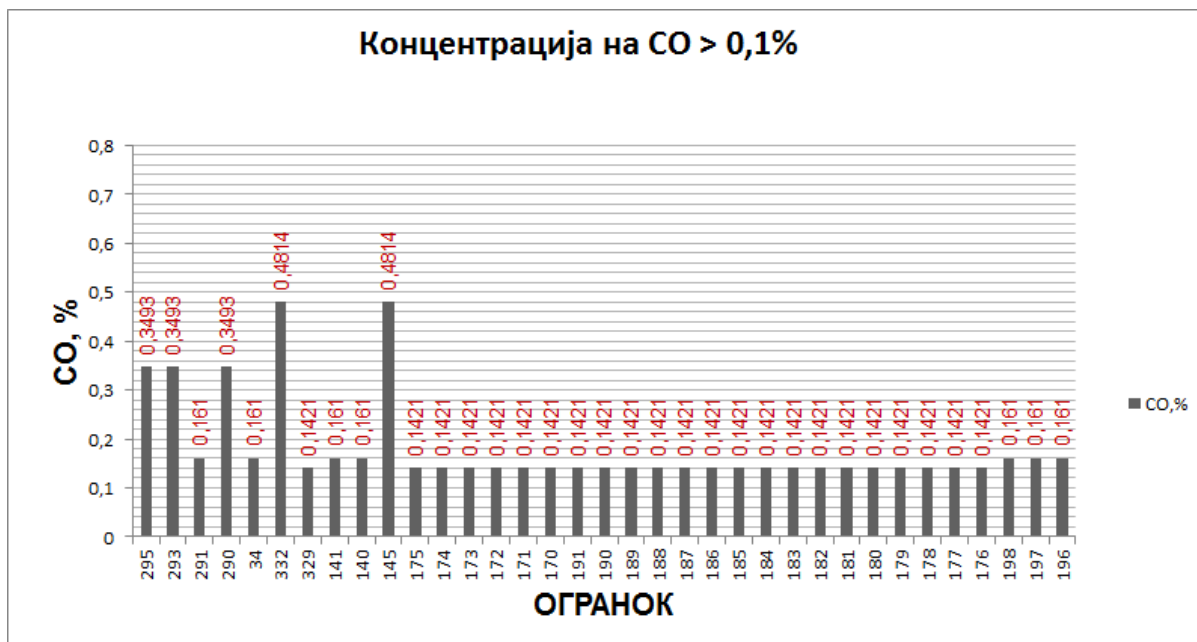
Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот, [m ³ /s]	Концентрација на јаглерод моноксид во волуменскиот проток на чад и пожарни гасови CO, [%]	Проток на топлина од пожарот, [kW]	Концентрација на кислород во пожарното место O ₂ , [%]	Волуменски проток на воздух во огранокот Q, [m ³ /s]	Време на целосно развивање на пожарот [min]
14	0,0176	1.150	20	13	1

Од направената анализа и пресметки на пожарното сценарио за утоварач-Scooptram ST 3.5, со влезни параметри дадени во табела 1.12, за моментален (локализиран) пожар настанат од истекување и запалување на 150 литри на дизел гориво, ги добивме следниве резултати:

Табела 1.13. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-4, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

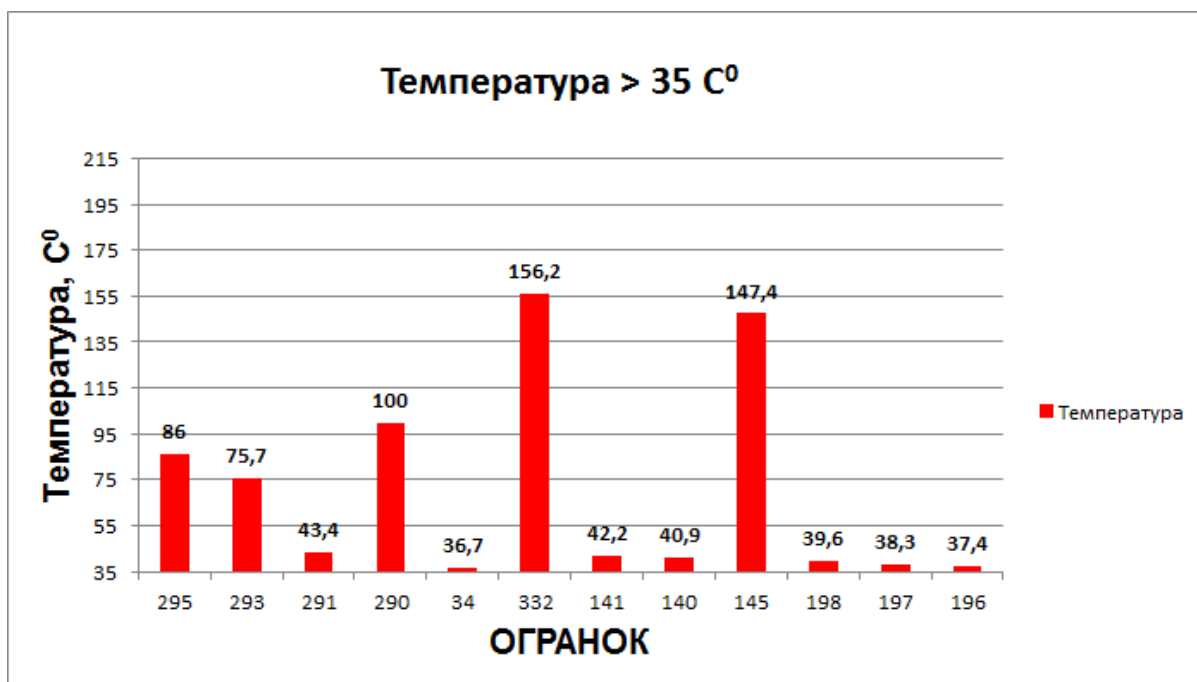
Table 1.13. Analysis and calculations of fire scenario-4, 90 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
295	18,6	86,0	0,3493
293	18,6	75,7	0,3493
291	38,6	43,4	0,1610
290	18,6	100,0	0,3493
34	36,6	36,7	0,1610
332	12,5	156,2	0,4814
329	39,3	23,6	0,1421
328	57,5	21,5	0,0973
75	70,4	20,9	0,0795
118	57,5	21,9	0,0973
141	38,6	42,2	0,1610
140	36,6	40,9	0,1610
145	12,5	147,4	0,4814
144	11,3	20,2	0,0000
175	41,3	30,7	0,1421
174	41,3	31,1	0,1421
173	41,3	31,5	0,1421
172	41,3	32,0	0,1421
171	41,3	32,9	0,1421
171	41,3	32,9	0,1421
170	41,3	33,9	0,1421
191	41,3	24,5	0,1421
190	41,3	24,7	0,1421
189	41,3	25,1	0,1421
188	41,3	25,5	0,1421
187	41,3	25,8	0,1421
186	41,3	26,0	0,1421
185	41,3	26,3	0,1421
184	41,3	26,7	0,1421
183	41,3	27,1	0,1421
182	41,3	27,4	0,1421
181	41,3	27,6	0,1421
180	41,3	27,9	0,1421
179	41,3	28,2	0,1421
178	41,3	28,7	0,1421
177	41,3	29,3	0,1421
176	41,3	30,0	0,1421
198	36,6	39,6	0,1610
197	36,6	38,3	0,1610
196	36,6	37,4	0,1610



Слика 1.50. Критични услови во пожарно сценарио-4, со CO > 0,1%, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.50. Critical conditions in fire scenario-4, with CO > 0,1%, 90 seconds after fire event



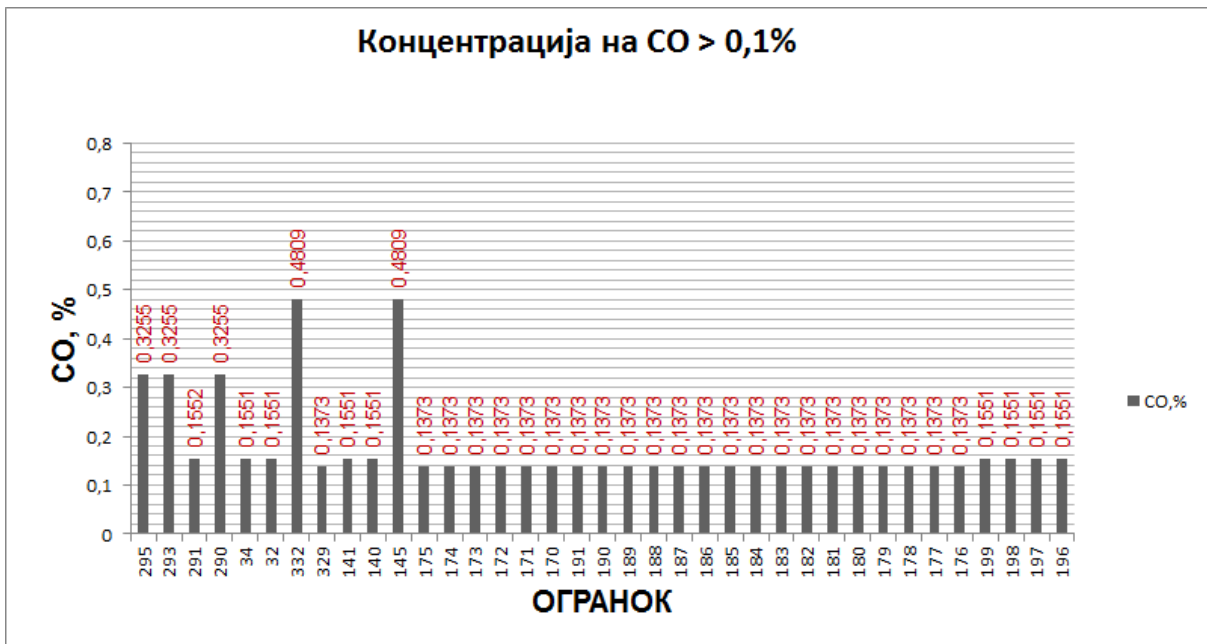
Слика 1.51. Критични услови во пожарно сценарио-4, со температура >35 C°, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.51. Critical conditions in fire scenario-4, with temperature >35 C°, 90 seconds after fire event

Табела 1.14. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-4, на 540 секунди од започнувањето на пожарот

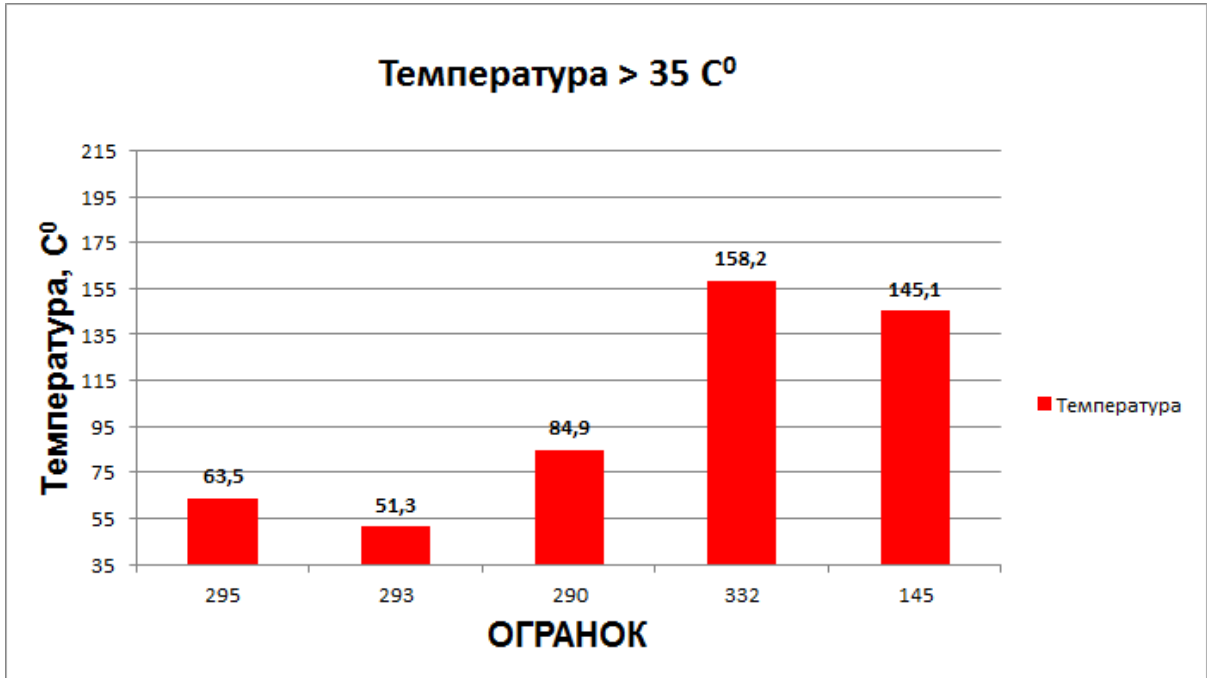
Table 1.14. Analysis and calculations of fire scenario-4, 540 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C ^o]	Концентрација на CO, [%]
295	18,4	63,5	0,3255
293	18,4	51,3	0,3255
291	38,7	32,7	0,1552
290	18,4	84,9	0,3255
34	36,7	26,7	0,1551
32	2,0	29,7	0,1551
332	12,5	158,2	0,4809
329	39,5	20,3	0,1373
328	57,7	20,1	0,0941
75	70,6	20,0	0,0769
81	70,6	20,0	0,0769
80	70,6	20,0	0,0769
379	70,6	21,8	0,0769
371	70,6	20,0	0,0769
118	57,7	20,1	0,0941
141	38,7	31,3	0,1551
140	36,7	30,1	0,1551
145	12,5	145,1	0,4809
175	41,5	23,1	0,1373
174	41,5	23,4	0,1373
173	41,5	23,6	0,1373
172	41,5	23,9	0,1373
171	41,5	24,5	0,1373
170	41,5	25,3	0,1373
191	41,5	20,5	0,1373
190	41,5	20,6	0,1373
189	41,5	20,7	0,1373
188	41,5	20,8	0,1373
187	41,5	20,9	0,1373
186	41,5	21,0	0,1373
185	41,5	21,1	0,1373
184	41,5	21,2	0,1373
183	41,5	21,4	0,1373
182	41,5	21,5	0,1373
181	41,5	21,6	0,1373
180	41,5	21,7	0,1373
179	41,5	21,9	0,1373
178	41,5	22,1	0,1373
177	41,5	22,4	0,1373
176	41,5	22,7	0,1373
199	2,0	27,8	0,1551
198	36,7	29,0	0,1551
197	36,7	27,9	0,1551
196	36,7	27,2	0,1551



Слика 1.52. Критични услови во пожарно сценарио-4, со CO > 0,1%, на 540 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.52. Critical conditions in fire scenario-4, with CO > 0,1%, 540 seconds after fire event



Слика 1.53. Критични услови во пожарно сценарио-4, со температура >35 C°, на 540 секунди од започнувањето на пожарот

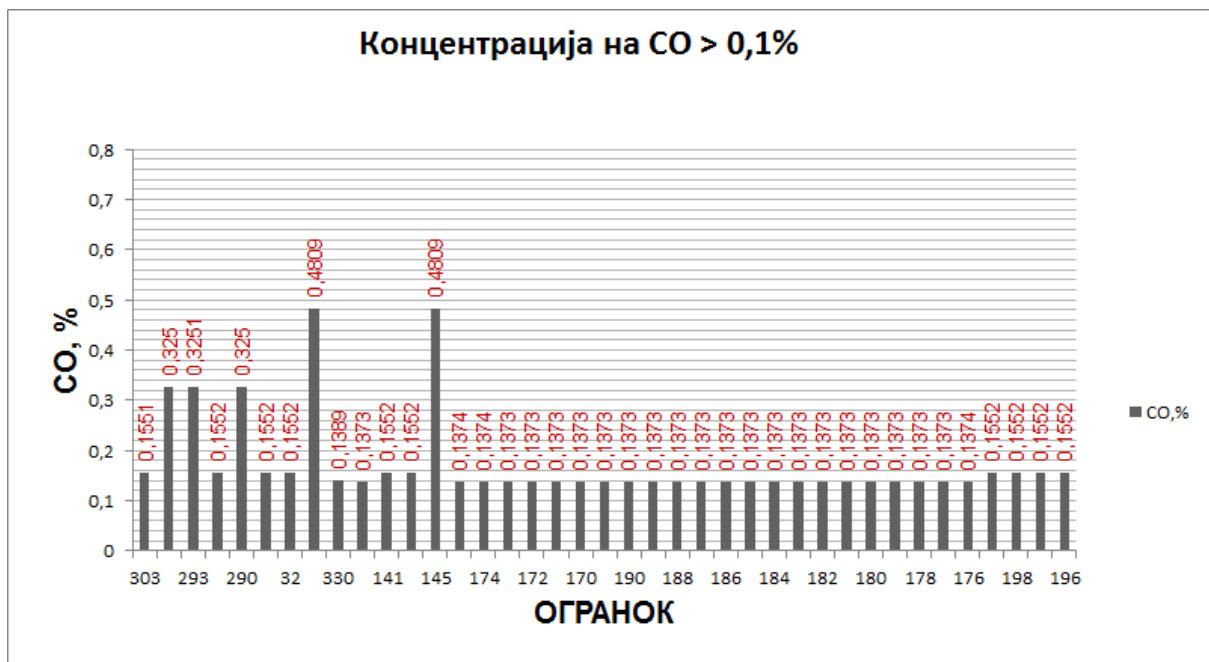
Figure 1.53. Critical conditions in fire scenario-4, with temperature >35 C°, 540 seconds after fire event

Табела 1.15. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-4, на 1.260 секунди од започнувањето на пожарот

Table 1.15. Analysis and calculations of fire scenario-4, 1.260 seconds after fire event

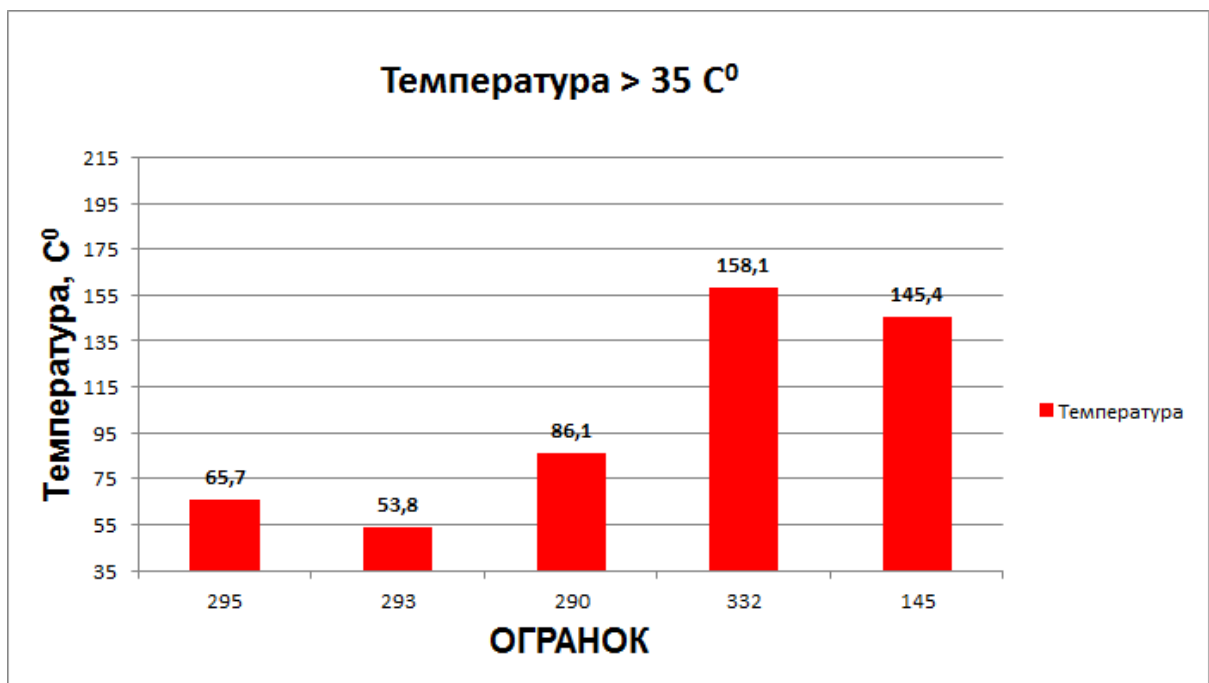
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
303	1,9	24,7	0,1551
295	18,5	65,7	0,3250
293	18,5	53,8	0,3251
291	38,7	33,9	0,1552
290	18,5	86,1	0,3250
316	22,4	20,0	0,0179
315	10,4	19,8	0,0130
314	32,7	20,0	0,0179
313	8,6	19,6	0,0078
312	8,6	19,7	0,0078
310	8,6	19,6	0,0078
309	8,7	19,7	0,0078
34	36,7	27,2	0,1552
32	1,9	30,6	0,1552
332	12,5	158,1	0,4809
330	2,0	20,2	0,1389
329	39,5	20,4	0,1373
328	57,7	20,1	0,0941
346	15,5	20,0	0,0179
75	70,6	20,0	0,0769
367	5,7	20,1	0,0168
366	5,7	20,1	0,0168
81	70,6	20,0	0,0769
80	70,6	20,0	0,0769
379	70,6	21,7	0,0769
371	70,6	20,0	0,0769
126	30,8	20,0	0,0101
124	14,9	20,2	0,0209
118	57,7	20,1	0,0941
141	38,7	32,5	0,1552
140	36,7	31,2	0,1552
137	30,8	20,1	0,0101
136	30,8	19,9	0,0101
135	30,8	20,0	0,0101
134	30,8	20,1	0,0101
130	2,5	20,0	0,0164
129	4,4	20,0	0,0162
145	12,5	145,4	0,4809
175	41,5	23,3	0,1374
174	41,5	23,5	0,1374
173	41,5	24,0	0,1373
172	41,5	24,3	0,1373
171	41,5	24,9	0,1373
170	41,5	25,6	0,1373
191	41,5	20,6	0,1373
190	41,5	20,6	0,1373
189	41,5	20,7	0,1373
188	41,5	20,9	0,1373

187	41,5	21,0	0,1373
186	41,5	21,0	0,1373
185	41,5	21,1	0,1373
184	41,5	21,3	0,1373
183	41,5	21,4	0,1373
182	41,5	21,6	0,1373
181	41,5	21,7	0,1373
180	41,5	21,8	0,1373
179	41,5	22,0	0,1373
178	41,5	22,2	0,1373
177	41,5	22,5	0,1373
176	41,5	22,9	0,1374
207	30,8	20,0	0,0101
206	30,8	20,0	0,0101
205	30,8	19,9	0,0101
204	30,8	19,9	0,0101
203	30,8	19,9	0,0101
202	14,9	20,2	0,0209
201	14,9	20,2	0,0209
200	14,9	20,3	0,0209
199	1,9	28,5	0,1552
198	36,7	29,9	0,1552
197	36,7	28,6	0,1552
196	36,7	27,8	0,1552
211	32,7	20,0	0,0179
210	32,7	20,0	0,0179
209	32,7	20,0	0,0179
208	30,8	20,0	0,0101
239	30,8	20,0	0,0101
238	30,8	19,9	0,0101
237	30,8	19,9	0,0101
236	30,8	19,9	0,0101
235	30,8	19,9	0,0101
234	30,8	19,9	0,0101
233	30,8	19,9	0,0101
232	30,8	19,9	0,0101
247	30,8	20,0	0,0101
246	30,8	20,0	0,0101
245	30,8	20,0	0,0101
244	30,8	20,0	0,0101
243	30,8	20,0	0,0101
242	30,8	20,0	0,0101
241	30,8	20,0	0,0101
240	30,8	24,7	0,0101



Слика 1.54. Критични услови во пожарно сценарио-4, со CO > 0,1%, на 1.260 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.54. Critical conditions in fire scenario-4, with CO > 0,1%, 1.260 seconds after fire event



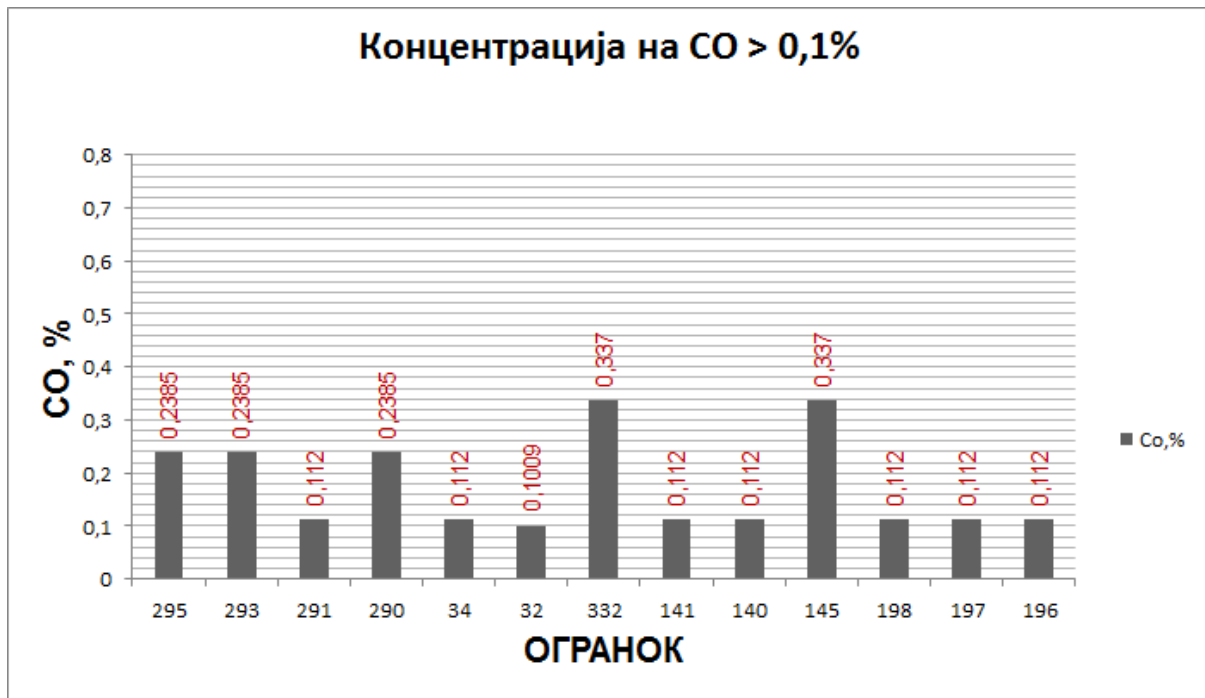
Слика 1.55. Критични услови во пожарно сценарио-4, со температура >35 C°, на 1.260 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.55. Critical conditions in fire scenario-4, with temperature >35 C°, 1.260 seconds after fire event

Табела 1.16. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-4, на 1.980 секунди од започнувањето на пожарот

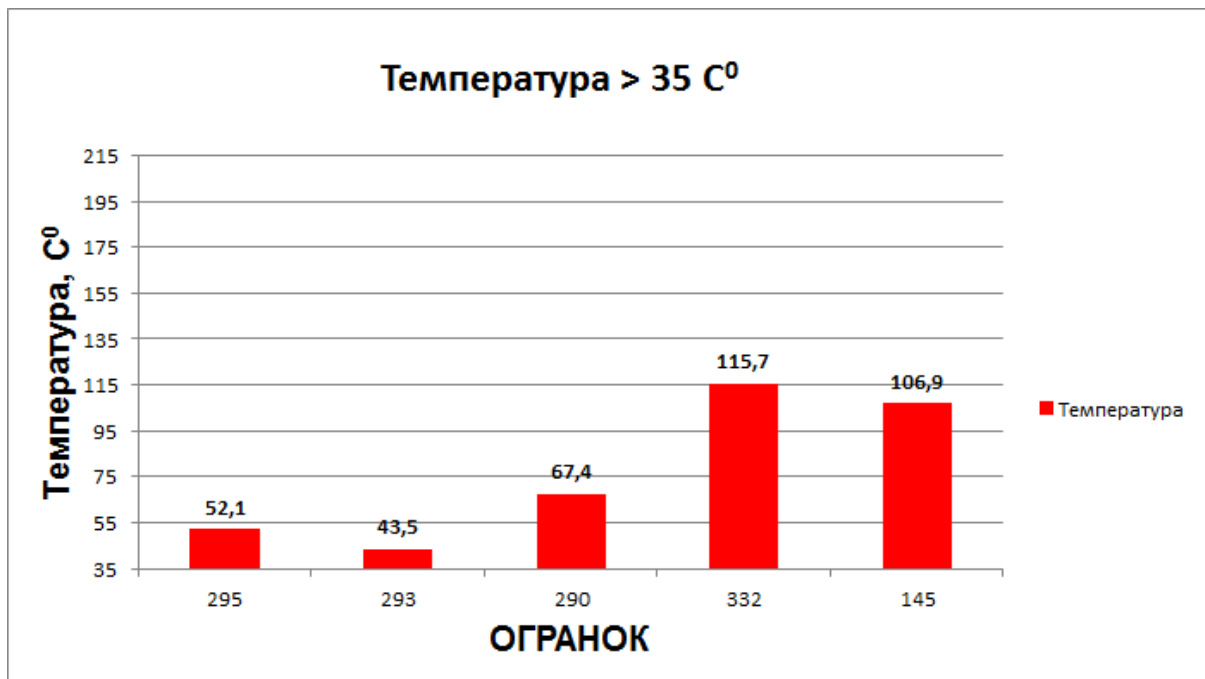
Table 1.16. Analysis and calculations of fire scenario-4, 1.980 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C ^o]	Концентрација на CO, [%]
295	18,2	52,1	0,2385
293	18,2	43,5	0,2385
291	38,7	29,5	0,1120
290	18,2	67,4	0,2385
34	36,7	25,2	0,1120
32	2,0	26,9	0,1009
332	12,8	115,7	0,3370
329	39,5	20,3	0,0991
328	57,7	20,1	0,0680
75	70,6	20,0	0,0555
81	70,6	20,0	0,0547
80	70,6	20,0	0,0547
379	70,6	21,8	0,0538
371	70,6	20,0	0,0547
141	38,7	28,6	0,1120
140	36,7	27,7	0,1120
145	12,8	106,9	0,3370
175	41,5	22,5	0,0991
174	41,5	22,7	0,0991
173	41,5	22,9	0,0991
172	41,5	23,1	0,0991
171	41,5	23,5	0,0991
170	41,5	24,1	0,0991
191	41,5	20,4	0,0991
190	41,5	20,5	0,0991
189	41,5	20,6	0,0991
188	41,5	20,7	0,0991
187	41,5	20,8	0,0991
186	41,5	20,8	0,0991
185	41,5	20,9	0,0991
184	41,5	21,0	0,0991
183	41,5	21,1	0,0991
182	41,5	21,2	0,0991
181	41,5	21,3	0,0991
180	41,5	21,4	0,0991
179	41,5	21,5	0,0991
178	41,5	21,7	0,0991
177	41,5	21,9	0,0991
176	41,5	22,2	0,0991
199	2,0	24,2	0,0849
198	36,7	26,9	0,1120
197	36,7	26,0	0,1120
196	36,7	25,5	0,1120



Слика 1.56. Критични услови во пожарно сценарио-4, со CO > 0,1%, на 1.980 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.56. Critical conditions in fire scenario-4, with CO > 0,1%, 1.980 seconds after fire event



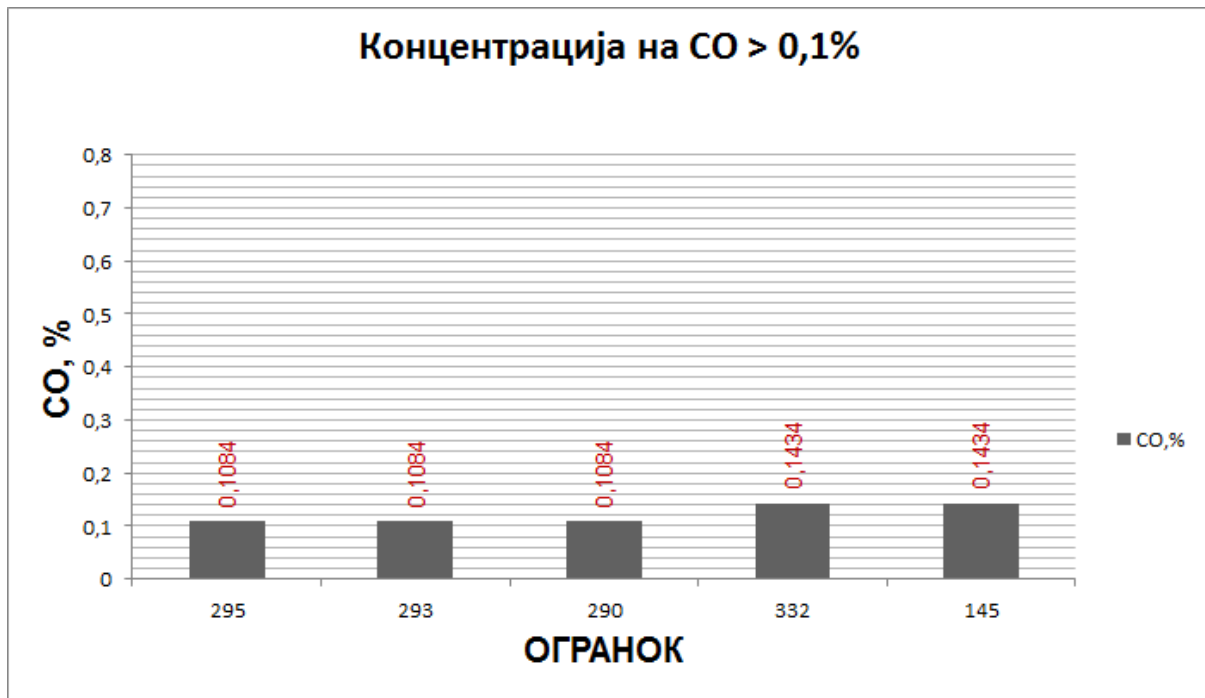
Слика 1.57. Критични услови во пожарно сценарио-4, со температура >35 C°, на 1.980 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.57. Critical conditions in fire scenario-4, with temperature >35 C°, 1.980 seconds after fire event

Табела 1.17. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-4, на 2.430 секунди од започнувањето на пожарот

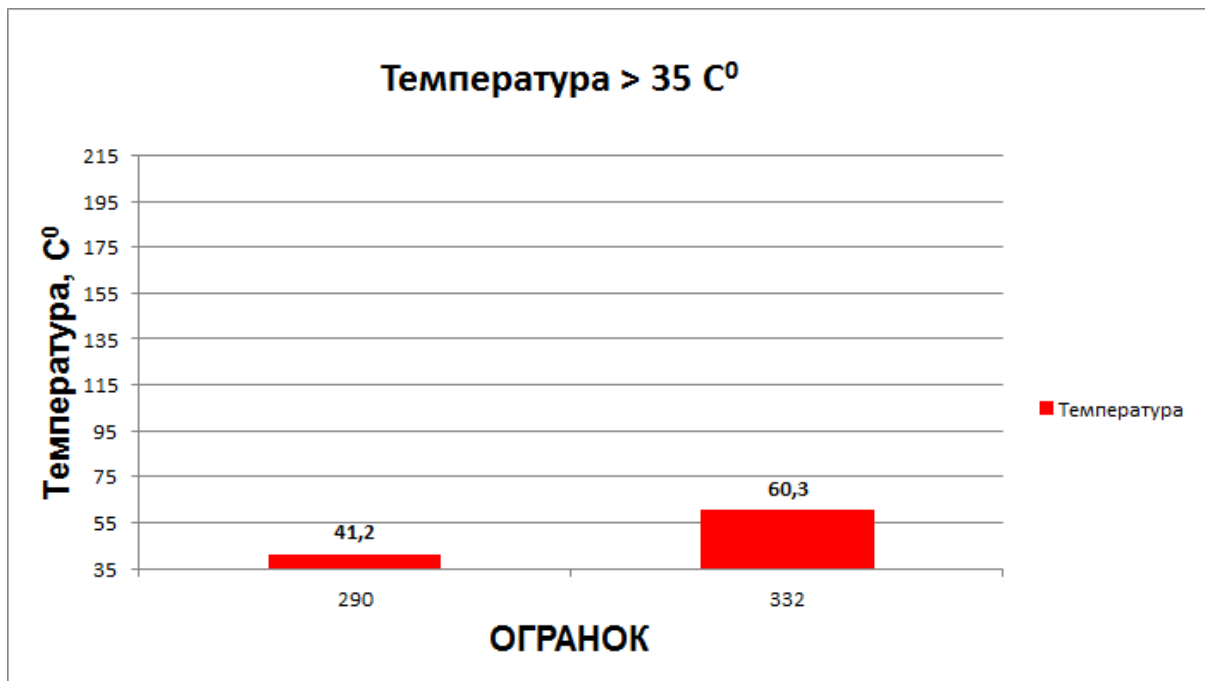
Table 1.17. Analysis and calculations of fire scenario-4, 2.430 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
295	17,6	34,0	0,1084
293	17,6	30,0	0,1084
291	38,6	23,9	0,0491
290	17,6	41,2	0,1084
34	36,6	22,1	0,0491
32	2,0	22,5	0,0369
332	13,2	60,3	0,1434
329	39,5	20,1	0,0433
328	57,7	20,0	0,0297
75	70,6	20,0	0,0243
81	70,6	20,0	0,0234
80	70,6	20,0	0,0234
379	70,6	21,9	0,0224
371	70,6	20,0	0,0234
141	38,6	23,5	0,0491
140	36,6	23,1	0,0491
145	13,2	56,7	0,1434
175	41,5	20,9	0,0433
174	41,5	21,0	0,0433
173	41,5	21,1	0,0433
172	41,5	21,2	0,0433
171	41,5	21,4	0,0433
170	41,5	21,6	0,0433
191	41,5	20,1	0,0433
190	41,5	20,1	0,0433
189	41,5	20,2	0,0433
188	41,5	20,2	0,0433
187	41,5	20,2	0,0433
186	41,5	20,3	0,0433
185	41,5	20,3	0,0433
184	41,5	20,3	0,0433
183	41,5	20,4	0,0433
182	41,5	20,4	0,0433
181	41,5	20,5	0,0433
180	41,5	20,5	0,0433
179	41,5	20,5	0,0433
178	41,5	20,6	0,0433
177	41,5	20,7	0,0433
176	41,5	20,8	0,0433
198	36,6	22,8	0,0491
197	36,6	22,4	0,0491
196	36,6	22,2	0,0491



Слика 1.58. Критични услови во пожарно сценарио-4, со CO > 0,1%, на 2.430 секунди од започнувањето на пожарот

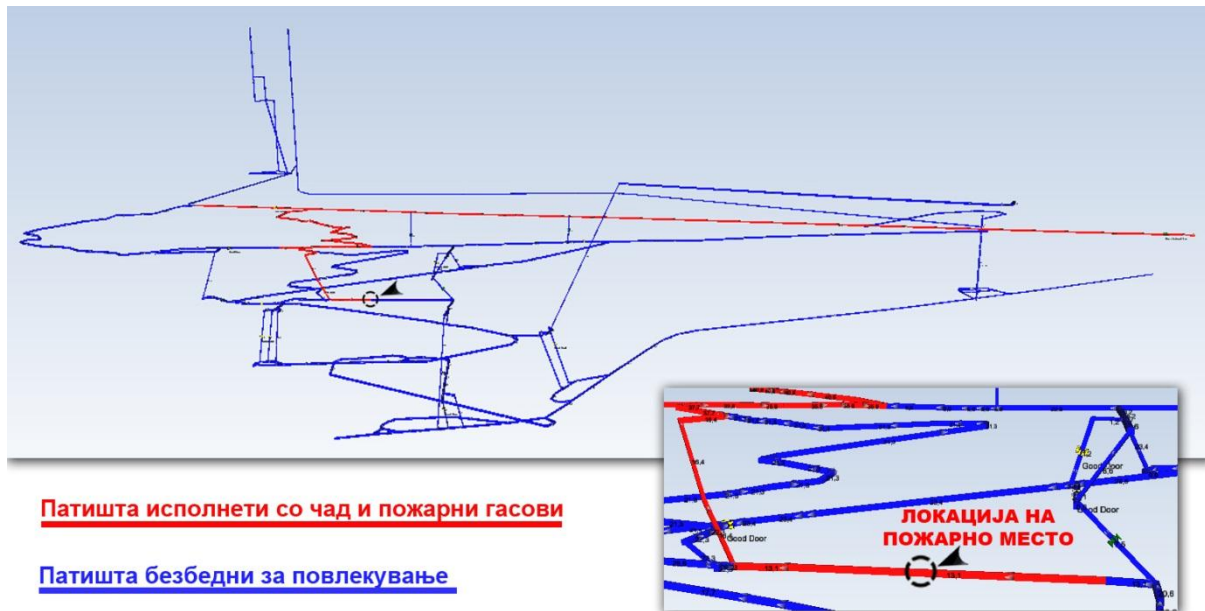
Figure 1.58. Critical conditions in fire scenario-4, with CO > 0,1%, 2.430 seconds after fire event



Слика 1.59. Критични услови во пожарно сценарио-4, со температура >35 C°, на 2.430 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.59. Critical conditions in fire scenario-4, with temperature >35 C°, 2.430 seconds after fire event

Со направените анализи и пресметки во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, за пожарното сценарио-4, добивме временска должина на пожарот од 2.430 секунди (40,5 минути), за целосно согорување на истечените 150 литри на дизел гориво.



Слика 1.60. Анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-4

Figure 1.60. Calculations for movement of smoke and fire gases made in software MINEFIRE PRO+ for fire scenario-4,

По направената анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови, генерирани од пожарното сценарио-4, следува процес за лоцирање на местоположбата на сите луѓе во рудникот (слика 13.54) и издавање на наредби и упаства за нивно повлекување по предходно пресметаните безбедни патишта за спасување и евакуација (слика 1.60).

1.1.2.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-4

За пресметка на безбедните оптимални рути и потребното време за евакуација на сите работени во рудникот, ќе го користиме погоре спомнатиот математички модел за оптимизација. Влијанијата на предходно дефинираните фактори за оптимизација ќе влијаат на брзината за евакуација и истите се трансформираат во еквивалентна должина на патиштата кои воедно преставуваат и вкупна тежина на рутата за евакуација. Онаа рута за евакуација која ќе има најмала тежина пресметана по предходно спомнатата методологија ќе преставува оптимална рута за евакуација

Според анализата и пресметките за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-4 (слика 1.60), лоцирани се можните патишта за евакуација на сите групи на работници (ќе разгледуваме рути за евакуација до трет ранг). Во табела 1.18 прикажани се само оптималните рути за евакуација на сите вработени во рудникот, пресметани по предходно спомнатиот математички модел за оптимизација.

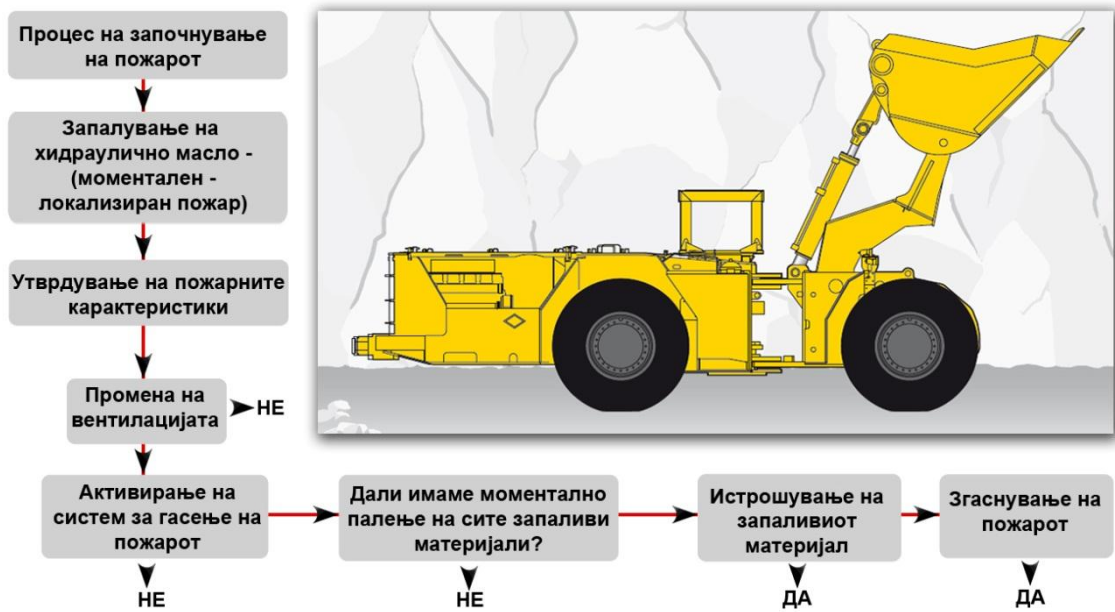
Табела 1.18. Оптимални рути за евакуација на сите работници во рудникот, генерирани за пожарно сценарио-4

Table 1.18. Optimal routes for evacuation of all workers in the underground mine for fire scenario-4

Евакуација на група работници	Број на работници	Тежина на оптималната рута за евакуација (метри)	Време потребно за евакуација низ оптималната рута (минути)	Активирање на системот за самоспасување (капацитет 30 минути)	Движење низ чад и пожарни гасови (метри)	Време потребно за поминување низ загаденото место (минути)
Група 1	2	1.810	25,3	Не	0	0
Група 2	3	1.027	14,3	Не	0	0
Група 3	2	810	11,3	Не	0	0
Група 4	3	1.771	24,8	Не	0	0
Група 5	2	1.639	22,9	Не	0	0
Група 6	2	1.449	20,2	Не	0	0
Група 7	2	1.084	15,1	Не	0	0

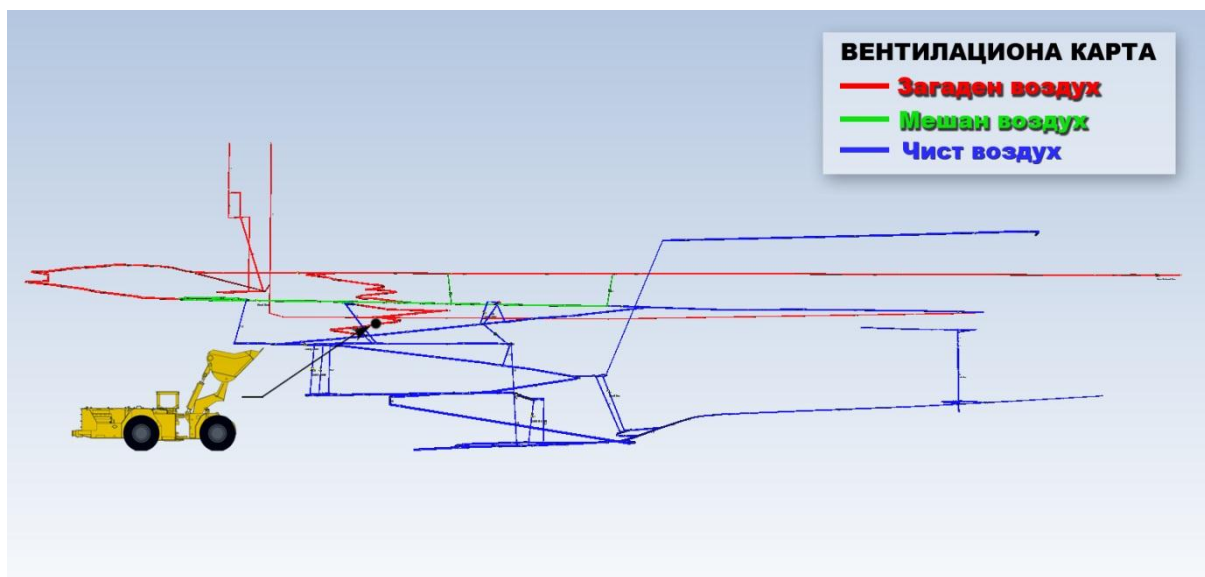
Група 8	2	1.573	22,0	Не	0	0
Група 9	3	2.459	34,4	Да	80	1,1
Група 10	2	1.718	24,0	Не	0	0
Група 11	2	1.867	26,1	Не	0	0
Група 12	2	2.557	35,8	Не	0	0
Група 13	3	2.590	36,2	Не	0	0
Група 14	2	2.254	31,5	Не	0	0
Група 15	2	2.280	31,9	Не	0	0
Група 16	2	1.969	27,5	Не	0	0

1.1.3 Пожарно Сценарио-5



Слика 1.61. Моделирање на пожарно сценарио-5

Figure 1.61. Modeling of fire scenario-5



Слика 1.62. Локација на моделираното пожарно сценарио-5

Figure 1.62. Location of fire scenario-5

За моделирање на пожарно сценарио-5 ќе претпоставиме механички проблем на утоварач-Scooptram ST 3.5 од кој ќе истече хидрауличното масло од резервоарот и истото ќе се запали. Капацитетот на резервоарот за хидраулично масло на утоварачот Scooptram ST 3.5 е 170 литри.

За пресметка на движењето на чадот и пожарните гасови во предходно зададена локација во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „CACA” ќе го користиме софтверот MINEFIRE PRO+.

Во софтверот MINEFIRE PRO+ ги внесуваме предходно пресметаните пожарни карактеристики од софтверот Pyrosim, за пожар настанат од истекување на 170 литри на хидраулично масло од утоварач-Scooptram ST 3.5.

Табела 1.19. Влезни пожарни параметри во софтверот MINEFIRE PRO+ за пожарно сценарио-5

Table 1.19. Input fire parameters in software MINEFIRE PRO + for fire scenario-5

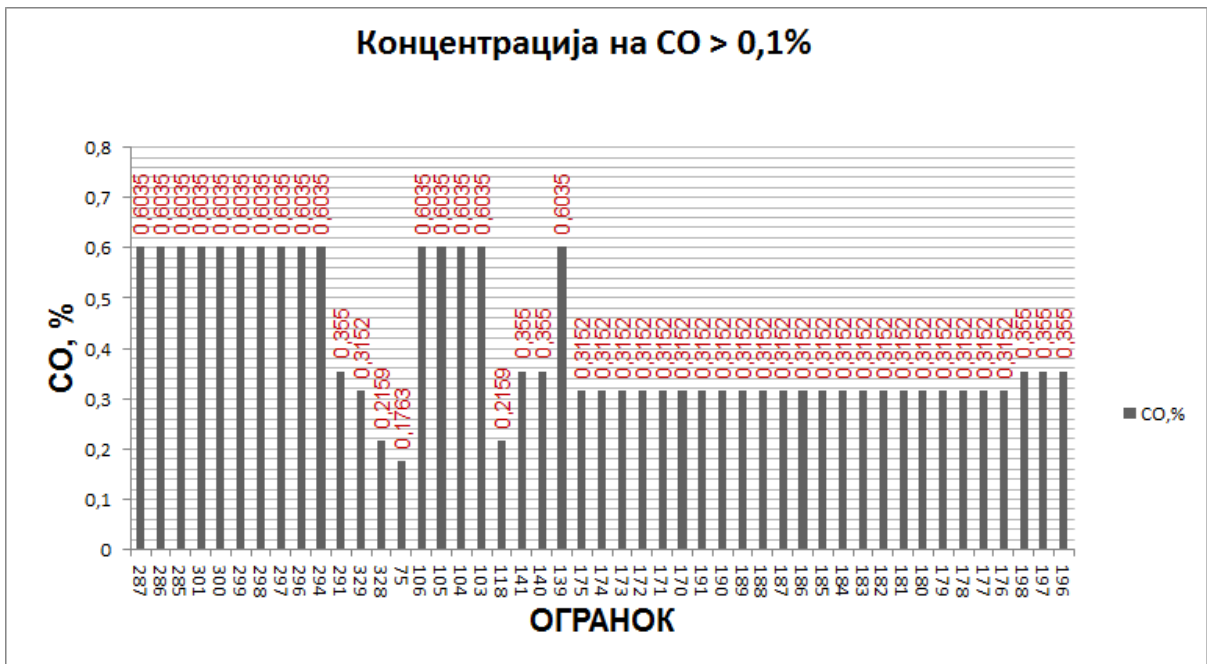
Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот, [m ³ /s]	Концентрација на јаглерод моноксид во волуменскиот проток на чад и пожарни гасови CO, [%]	Проток на топлина од пожарот, [kW]	Концентрација на кислород во пожарното место O ₂ , [%]	Волуменски проток на воздух во огранокот Q, [m ³ /s]	Време на целосно развивање на пожарот [min]
12,05	0,0153	899	20	21,3	1

Од направената анализа и пресметки на пожарното сценарио-5 за утоварач-Scooptram ST 3.5 со влезни параметри дадени во табела 1.19, за моментален (локализиран) пожар настанат од истекување и запалување на 170 литри на хидраулично масло ги добивме следниве резултати:

Табела 1.20. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-5, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

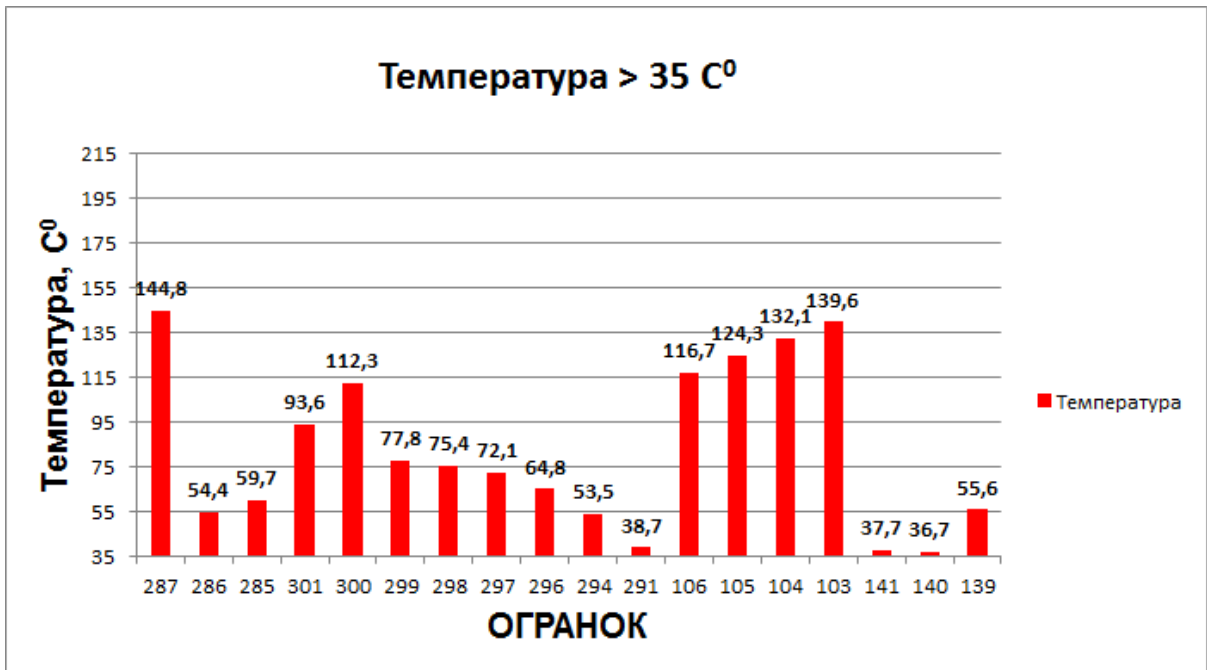
Table 1.20. Analysis and calculations of fire scenario-5, 90 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
287	23,7	144,8	0,6035
286	23,7	54,4	0,6035
285	23,7	59,7	0,6035
301	23,7	93,6	0,6035
300	23,7	112,3	0,6035
299	23,7	77,8	0,6035
298	23,7	75,4	0,6035
297	23,7	72,1	0,6035
296	23,7	64,8	0,6035
294	23,7	53,5	0,6035
291	39,0	38,7	0,3550
329	39,4	22,8	0,3152
328	57,5	21,2	0,2159
75	70,5	20,8	0,1763
106	23,7	116,7	0,6035
105	23,7	124,3	0,6035
104	23,7	132,1	0,6035
103	23,7	139,6	0,6035
118	57,5	21,5	0,2159
141	39,0	37,7	0,3550
140	37,0	36,7	0,3550
139	23,7	55,6	0,6035
175	41,3	28,6	0,3152
174	41,3	28,9	0,3152
173	41,3	29,2	0,3152
172	41,3	29,6	0,3152
171	41,3	30,3	0,3152
170	41,3	31,2	0,3152
191	41,3	23,6	0,3152
190	41,3	23,8	0,3152
189	41,3	24,1	0,3152
188	41,3	24,4	0,3152
187	41,3	24,7	0,3152
186	41,3	24,8	0,3152
185	41,3	25,0	0,3152
184	41,3	25,3	0,3152
183	41,3	25,7	0,3152
182	41,3	25,9	0,3152
181	41,3	26,1	0,3152
180	41,3	26,4	0,3152
179	41,3	26,6	0,3152
178	41,3	27,0	0,3152
177	41,3	27,5	0,3152
176	41,3	28,0	0,3152
198	37,0	35,6	0,3550
197	37,0	34,6	0,3550
196	37,0	33,9	0,3550



Слика 1.63. Критични услови во пожарно сценарио-5, со CO > 0,1%, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.63. Critical conditions in fire scenario-5, with CO > 0,1%, 90 seconds after fire event



Слика 1.64. Критични услови во пожарно сценарио-5, со температура >35 C°, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

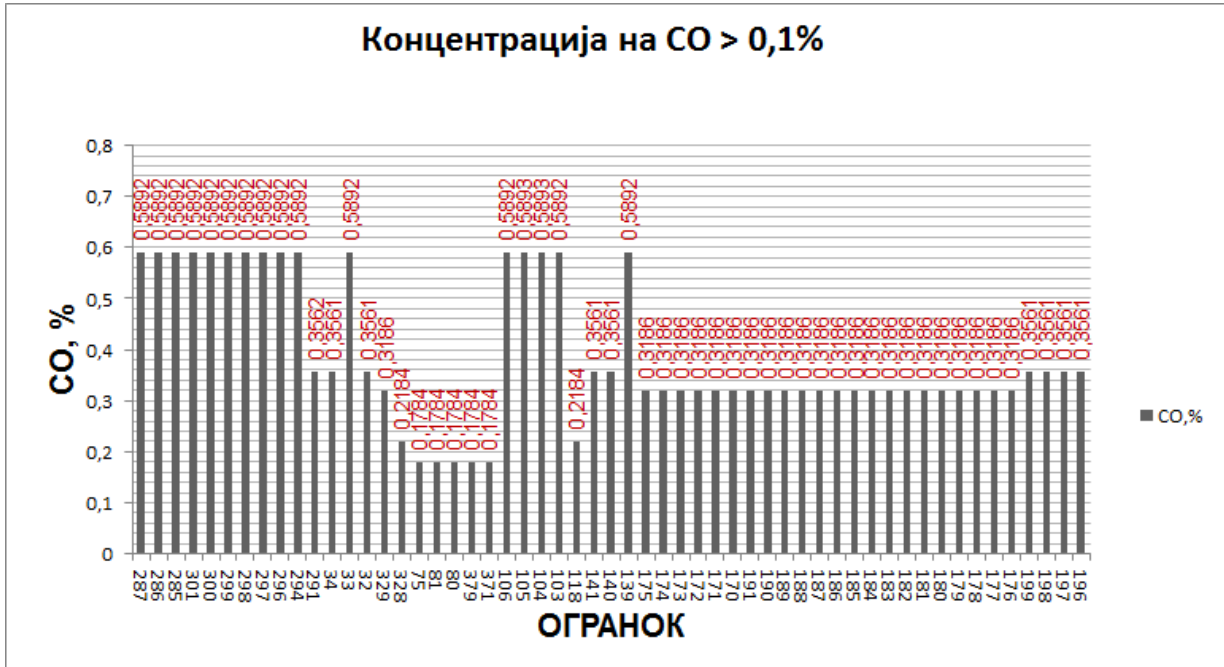
Figure 1.64. Critical conditions in fire scenario-5, with temperature >35 C°, 90 seconds after fire event

Табела 1.21. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-5, на 630 секунди од започнувањето на пожарот

Table 1.21. Analysis and calculations of fire scenario-5, 630 seconds after fire event

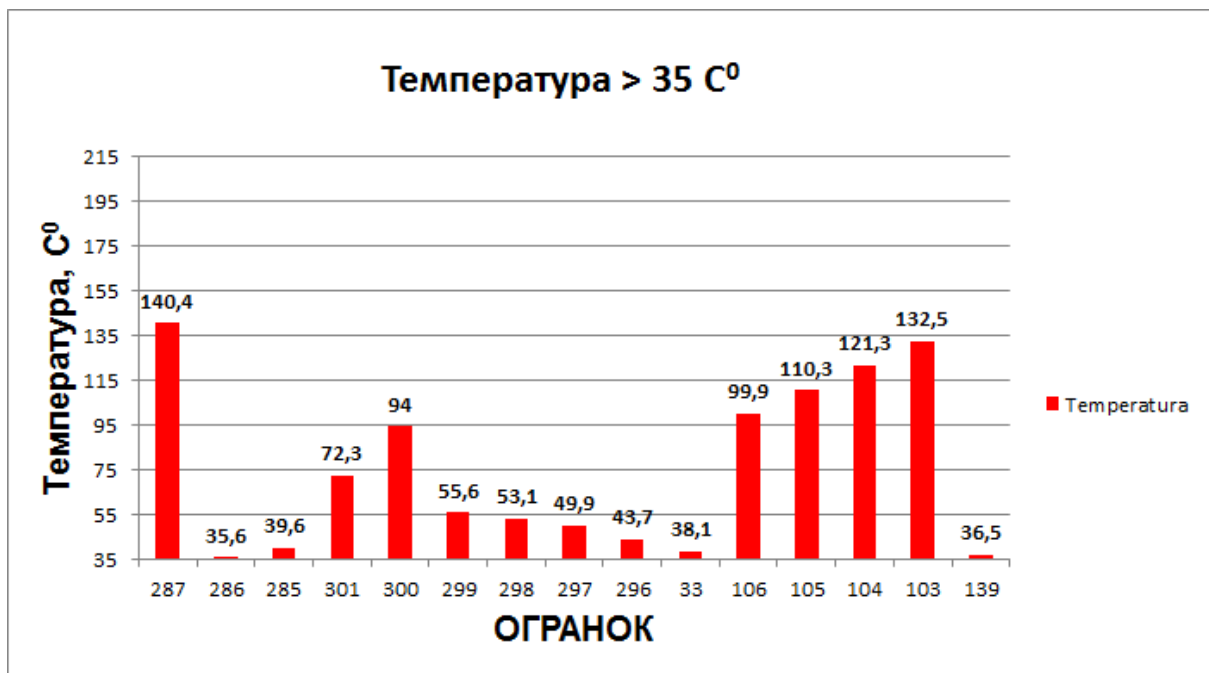
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
287	23,6	140,4	0,5892
286	23,6	35,6	0,5892
285	23,6	39,6	0,5892
301	23,6	72,3	0,5892
300	23,6	94,0	0,5892
299	23,6	55,6	0,5892
298	23,6	53,1	0,5892
297	23,6	49,9	0,5892
296	23,6	43,7	0,5892
294	23,6	34,9	0,5892
291	39,1	28,2	0,3562
34	37,1	24,4	0,3561
33	23,6	38,1	0,5892
32	2,0	26,3	0,3561
329	39,5	20,2	0,3186
328	57,7	20,1	0,2184
75	70,6	20,0	0,1784
81	70,6	20,0	0,1784
80	70,6	20,0	0,1784
379	70,6	21,7	0,1784
371	70,6	20,0	0,1784
106	23,6	99,9	0,5892
105	23,6	110,3	0,5893
104	23,6	121,3	0,5893
103	23,6	132,5	0,5892
118	57,7	20,1	0,2184
141	39,1	27,4	0,3561
140	37,1	26,7	0,3561
139	23,6	36,5	0,5892
175	41,5	22,1	0,3186
174	41,5	22,3	0,3186
173	41,5	22,4	0,3186
172	41,5	22,6	0,3186
171	41,5	23,0	0,3186
170	41,5	23,5	0,3186
191	41,5	20,3	0,3186
190	41,5	20,4	0,3186
189	41,5	20,5	0,3186
188	41,5	20,5	0,3186
187	41,5	20,6	0,3186
186	41,5	20,7	0,3186
185	41,5	20,7	0,3186
184	41,5	20,8	0,3186
183	41,5	20,9	0,3186
182	41,5	21,0	0,3186
181	41,5	21,1	0,3186
180	41,5	21,2	0,3186
179	41,5	21,3	0,3186
178	41,5	21,4	0,3186

177	41,5	21,6	0,3186
176	41,5	21,8	0,3186
199	2,0	25,1	0,3561
198	37,1	25,9	0,3561
197	37,1	25,2	0,3561
196	37,1	24,7	0,3561



Слика 1.65. Критични услови во пожарно сценарио-5, со CO > 0,1%, на 630 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.65. Critical conditions in fire scenario-5, with CO > 0,1%, 630 seconds after fire event



Слика 1.66. Критични услови во пожарно сценарио-5, со температура >35 C°, на 630 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.66. Critical conditions in fire scenario-5, with temperature >35 C°, 630 seconds after fire event

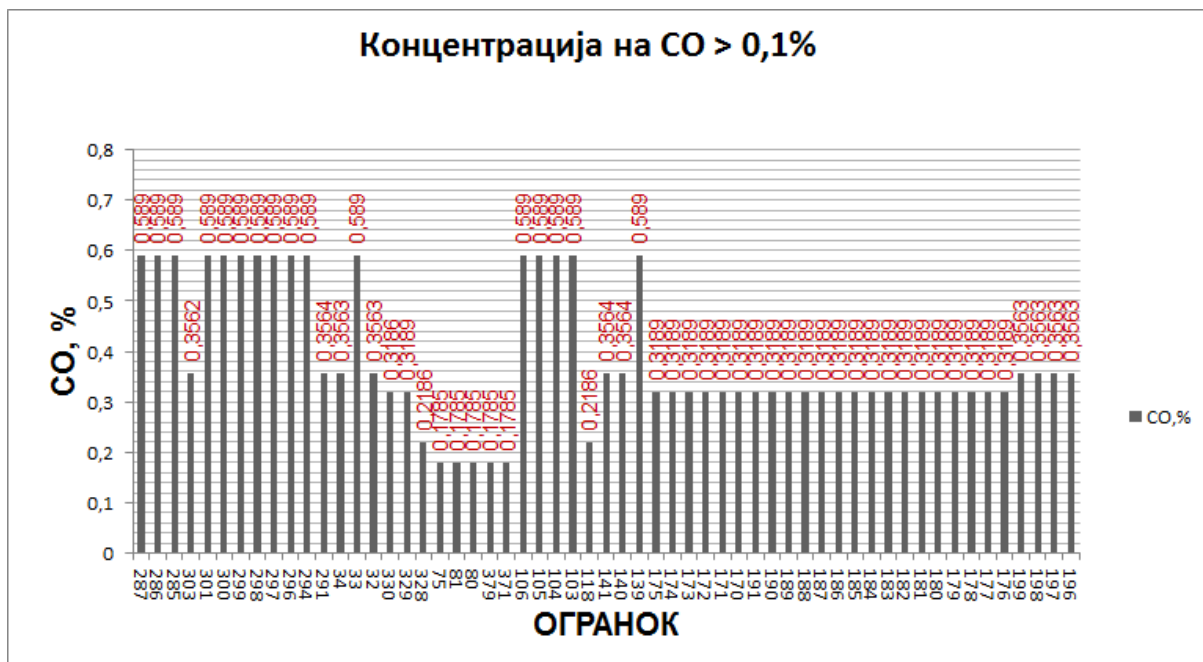
Табела 1.22. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-5, на 1.620 секунди од започнувањето на пожарот

Table 1.22. Analysis and calculations of fire scenario-5, 1.620 seconds after fire event

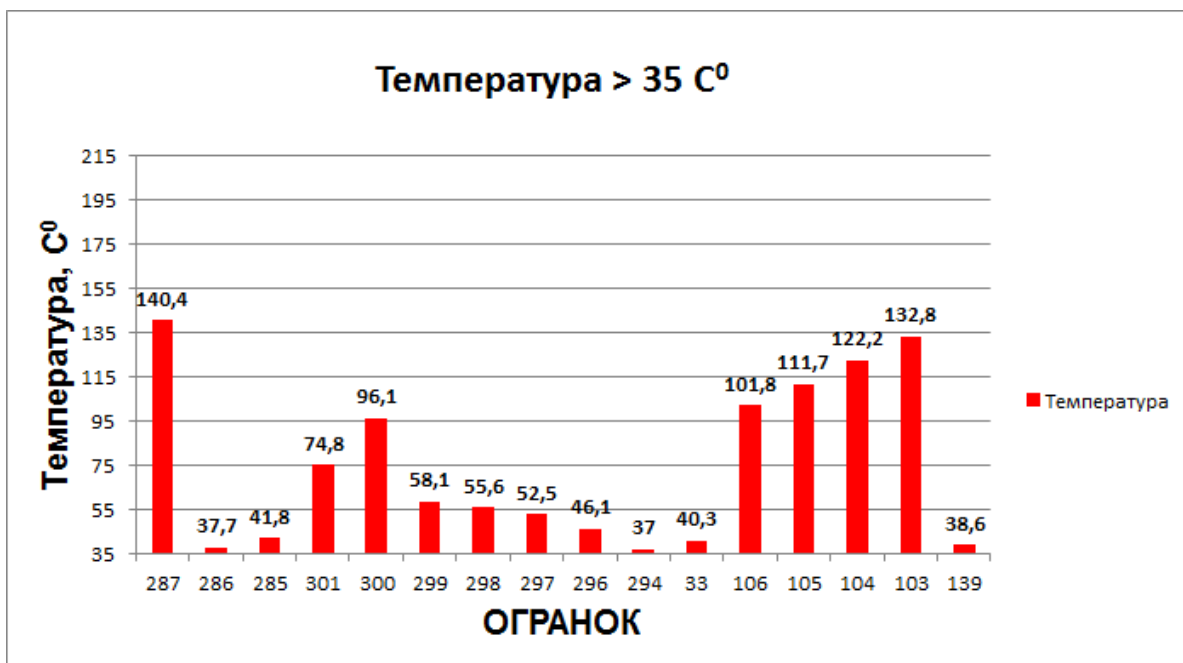
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m³/s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
287	23,7	140,4	0,5890
286	23,7	37,7	0,5890
285	23,7	41,8	0,5890
303	2,0	23,3	0,3562
301	23,7	74,8	0,5890
300	23,7	96,1	0,5890
299	23,7	58,1	0,5890
298	23,7	55,6	0,5890
297	23,7	52,5	0,5890
296	23,7	46,1	0,5890
294	23,7	37,0	0,5890
291	39,1	29,4	0,3564
316	22,4	20,0	0,0403
315	10,4	19,8	0,0403
314	32,8	20,0	0,0403
313	8,7	19,7	0,0343
312	8,7	19,7	0,0343
311	17,4	19,6	0,0343

310	8,7	19,7	0,0343
309	8,7	19,8	0,0343
308	7,0	19,7	0,0256
307	8,7	19,7	0,0343
306	7,0	19,8	0,0256
34	37,1	25,3	0,3563
33	23,7	40,3	0,5890
32	2,0	27,4	0,3563
330	2,0	20,2	0,3186
329	39,5	20,3	0,3189
328	57,7	20,1	0,2186
347	9,7	19,7	0,0403
346	15,4	20,0	0,0403
75	70,6	20,0	0,1785
367	5,6	20,0	0,0403
366	5,6	20,1	0,0403
81	70,6	20,0	0,1785
80	70,6	20,0	0,1785
379	70,6	21,6	0,1785
374	9,7	20,0	0,0404
372	17,4	19,7	0,0343
371	70,6	20,0	0,1785
106	23,7	101,8	0,5890
105	23,7	111,7	0,5890
104	23,7	122,2	0,5890
103	23,7	132,8	0,5890
126	30,8	20,0	0,0226
124	14,9	20,1	0,0466
118	57,7	20,1	0,2186
141	39,1	28,5	0,3564
140	37,1	27,7	0,3564
139	23,7	38,6	0,5890
137	30,8	20,0	0,0226
136	30,8	19,9	0,0226
135	30,8	20,0	0,0226
134	30,8	20,0	0,0226
133	2,6	20,0	0,0403
132	2,6	20,0	0,0403
131	2,6	20,0	0,0400
130	2,6	20,0	0,0403
129	4,4	20,0	0,0403
128	2,6	20,0	0,0399
175	41,5	22,6	0,3189
174	41,5	22,8	0,3189
173	41,5	23,0	0,3189
172	41,5	23,3	0,3189
171	41,5	23,7	0,3189
170	41,5	24,3	0,3189
191	41,5	20,5	0,3189
190	41,5	20,6	0,3189
189	41,5	20,7	0,3189
188	41,5	20,8	0,3189
187	41,5	20,9	0,3189
186	41,5	20,9	0,3189
185	41,5	21,0	0,3189
184	41,5	21,1	0,3189
183	41,5	21,3	0,3189
182	41,5	21,4	0,3189

181	41,5	21,4	0,3189
180	41,5	21,5	0,3189
179	41,5	21,7	0,3189
178	41,5	21,8	0,3189
177	41,5	22,1	0,3189
176	41,5	22,3	0,3189
207	30,8	20,0	0,0226
206	30,8	19,9	0,0226
205	30,8	19,9	0,0226
204	30,8	19,9	0,0226
203	30,8	19,9	0,0226
202	14,9	20,1	0,0466
201	14,9	20,1	0,0466
200	14,9	20,2	0,0466
199	2,0	26,0	0,3563
198	37,1	26,9	0,3563
197	37,1	26,1	0,3563
196	37,1	25,6	0,3563
211	32,8	20,0	0,0403
210	32,8	20,0	0,0403
209	32,8	20,0	0,0403
208	30,8	20,0	0,0226
239	30,8	20,0	0,0226
238	30,8	19,9	0,0226
237	30,8	19,9	0,0226
236	30,8	19,9	0,0226
235	30,8	19,9	0,0226
234	30,8	19,9	0,0226
233	30,8	19,9	0,0226
232	30,8	19,9	0,0226
247	30,8	20,0	0,0226
246	30,8	20,0	0,0226
245	30,8	20,0	0,0226
244	30,8	20,0	0,0226
243	30,8	20,0	0,0226
242	30,8	20,0	0,0226
241	30,8	20,0	0,0226
240	30,8	20,0	0,0226



Слика 1.67. Критични услови во пожарно сценарио-5, со CO > 0,1%, на 1.620 секунди од започнувањето на пожарот
 Figure 1.67. Critical conditions in fire scenario-5, with CO > 0,1%, 1.620 seconds after fire event



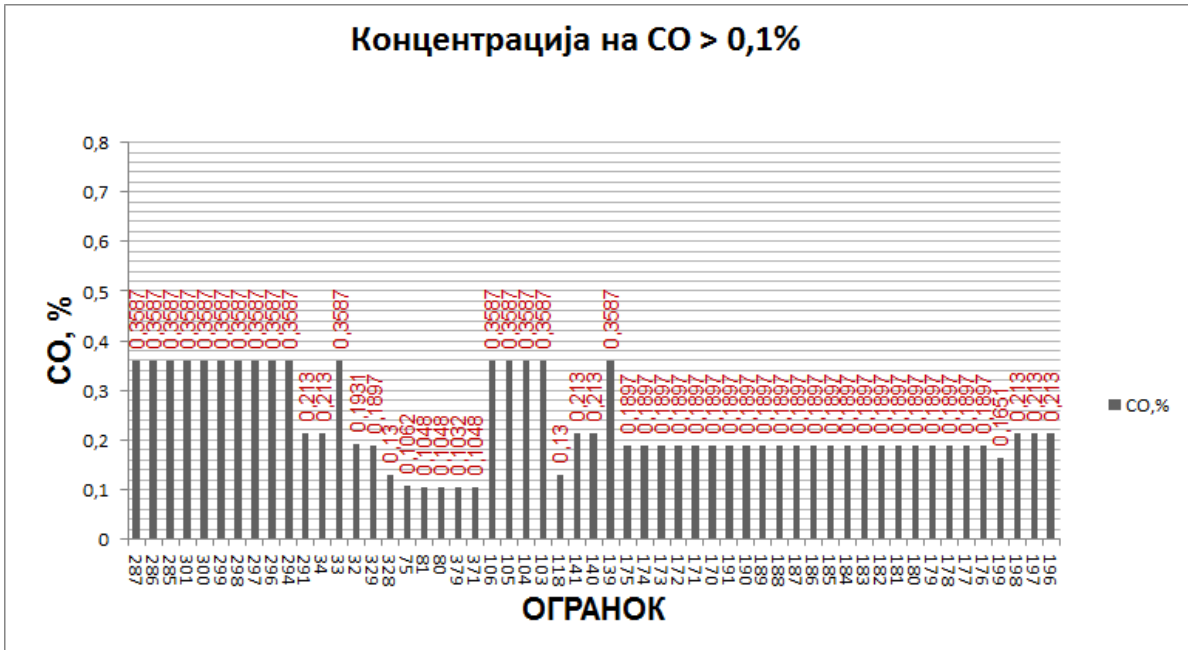
Слика 1.68. Критични услови во пожарно сценарио-5, со температура >35 C°, на 1.620 секунди од започнувањето на пожарот
 Figure 1.68. Critical conditions in fire scenario-5, with temperature >35 C°, 1.620 seconds after fire event

Табела 1.23. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-5, на 2.340 секунди од започнувањето на пожарот

Table 1.23. Analysis and calculations of fire scenario-5, 2.340 seconds after fire event

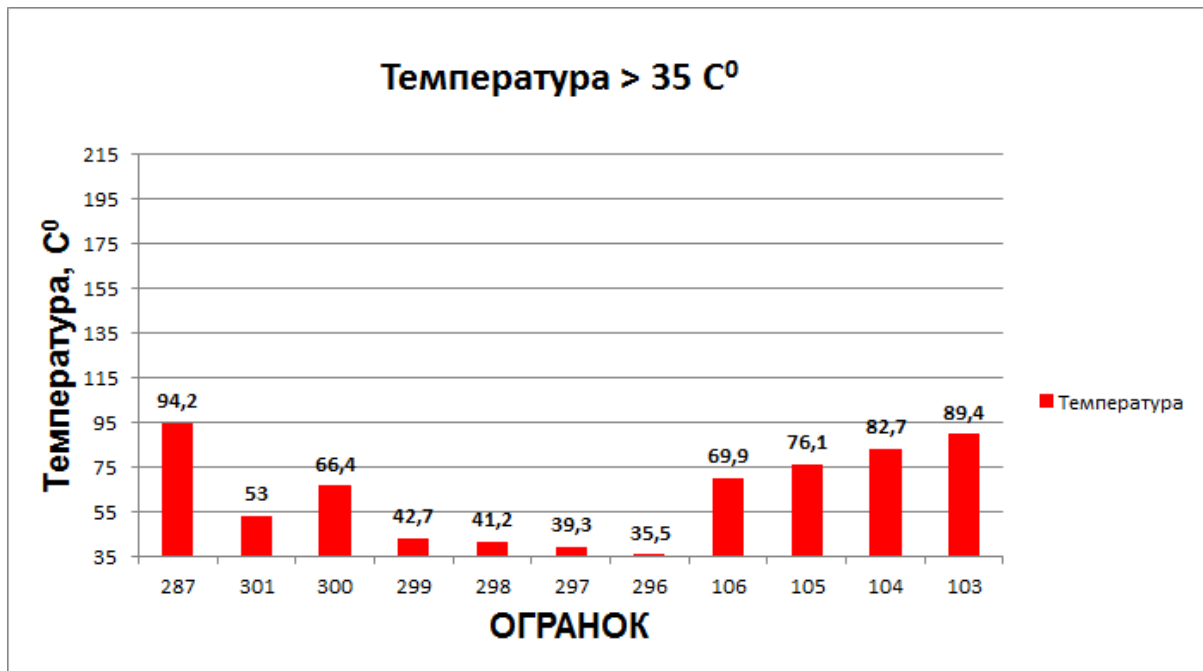
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
287	23,2	94,2	0,3587
286	23,2	30,4	0,3587
285	23,2	32,8	0,3587
301	23,2	53,0	0,3587
300	23,2	66,4	0,3587
299	23,2	42,7	0,3587
298	23,2	41,2	0,3587
297	23,2	39,3	0,3587
296	23,2	35,5	0,3587
294	23,2	29,9	0,3587
291	38,9	25,4	0,2130
34	37,0	22,9	0,2130
33	23,2	31,9	0,3587
32	2,0	23,9	0,1931
329	39,5	20,1	0,1897
328	57,7	20,0	0,1300
75	70,6	20,0	0,1062
81	70,6	20,0	0,1048
80	70,6	20,0	0,1048
379	70,6	21,8	0,1032
371	70,6	20,0	0,1048
106	23,2	69,9	0,3587
105	23,2	76,1	0,3587
104	23,2	82,7	0,3587
103	23,2	89,4	0,3587
118	57,7	20,1	0,1300
141	38,9	24,8	0,2130
140	37,0	24,4	0,2130
139	23,2	30,9	0,3587
175	41,5	21,4	0,1897
174	41,5	21,5	0,1897
173	41,5	21,6	0,1897
172	41,5	21,8	0,1897
171	41,5	22,0	0,1897
170	41,5	22,4	0,1897
191	41,5	20,2	0,1897
190	41,5	20,3	0,1897
189	41,5	20,3	0,1897
188	41,5	20,4	0,1897
187	41,5	20,4	0,1897
186	41,5	20,4	0,1897
185	41,5	20,5	0,1897
184	41,5	20,6	0,1897
183	41,5	20,6	0,1897
182	41,5	20,7	0,1897
181	41,5	20,7	0,1897
180	41,5	20,8	0,1897
179	41,5	20,9	0,1897

178	41,5	20,9	0,1897
177	41,5	21,1	0,1897
176	41,5	21,2	0,1897
199	2,0	22,4	0,1651
198	37,0	23,9	0,2130
197	37,0	23,4	0,2130
196	37,0	23,1	0,2130



Слика 1.69. Критични услови во пожарно сценарио-5, со CO > 0,1%, на 2.340 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.69. Critical conditions in fire scenario-5, with CO > 0,1%, 2.340 seconds after fire event



Слика 1.70. Критични услови во пожарно сценарио-5, со температура >35 C°, на 2.340 секунди од започнувањето на пожарот

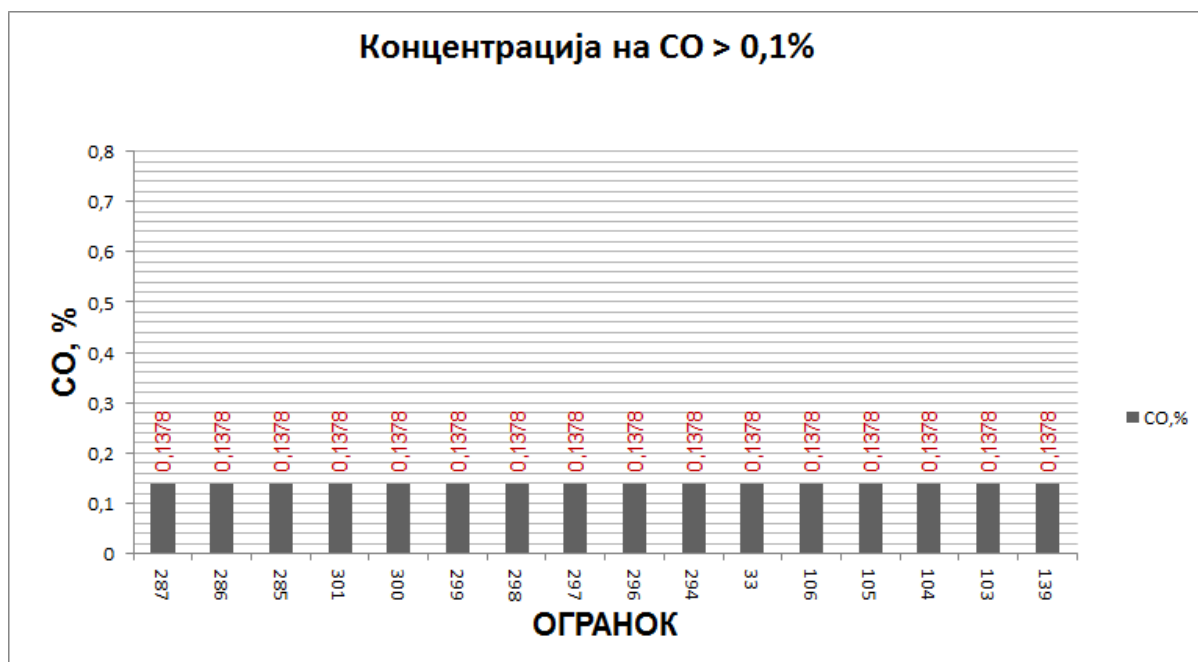
Figure 1.70. Critical conditions in fire scenario-5, with temperature >35 C°, 2.340 seconds after fire event

Табела 1.24. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-5, на 2.950 секунди од започнувањето на пожарот

Table 1.24. Analysis and calculations of fire scenario-5, 2.950 seconds after fire event

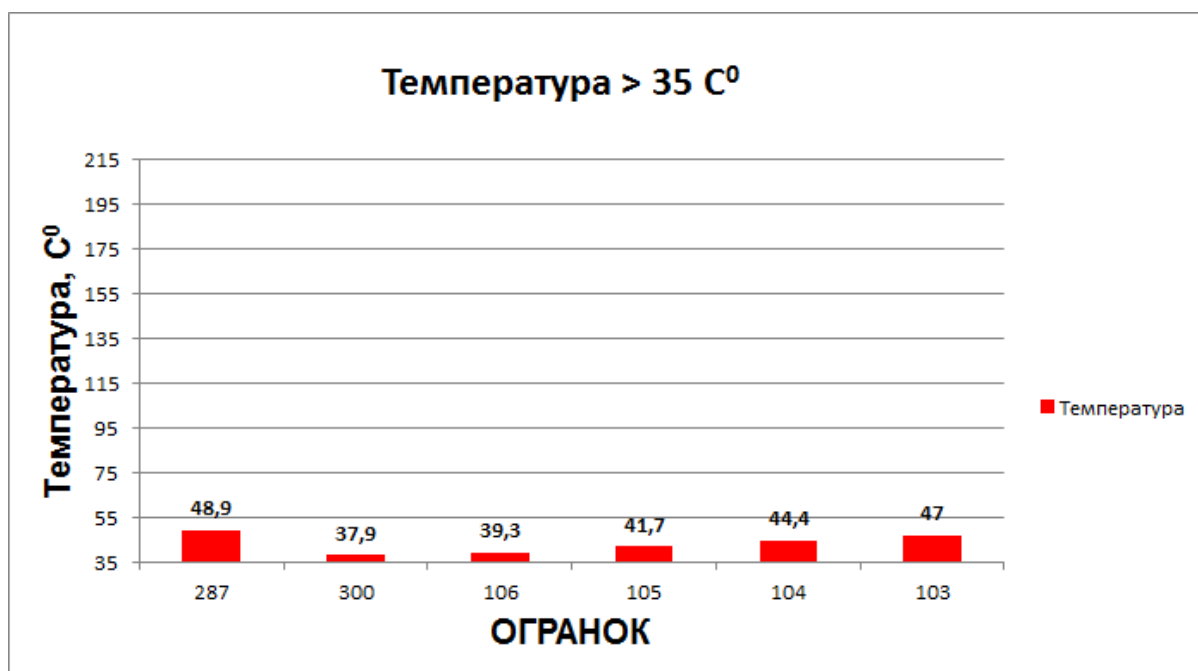
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
287	22,4	48,9	0,1378
286	22,4	23,8	0,1378
285	22,4	24,7	0,1378
301	22,4	32,6	0,1378
300	22,4	37,9	0,1378
299	22,4	28,5	0,1378
298	22,4	28,0	0,1378
297	22,4	27,2	0,1378
296	22,4	25,7	0,1378
294	22,4	23,6	0,1378
291	38,7	21,8	0,0795
34	36,7	21,0	0,0795
33	22,4	24,4	0,1378
32	2,0	21,2	0,0593
329	39,5	20,0	0,0702
328	57,7	20,0	0,0481
75	70,6	20,0	0,0393
81	70,6	20,0	0,0380

80	70,6	20,0	0,0380
379	70,6	21,9	0,0363
371	70,6	20,0	0,0380
106	22,4	39,3	0,1378
105	22,4	41,7	0,1378
104	22,4	44,4	0,1378
103	22,4	47,0	0,1378
118	57,7	20,0	0,0481
141	38,7	21,6	0,0795
140	36,7	21,5	0,0795
139	22,4	24,0	0,1378
175	41,5	20,4	0,0702
174	41,5	20,5	0,0702
173	41,5	20,5	0,0702
172	41,5	20,6	0,0702
171	41,5	20,7	0,0702
170	41,5	20,8	0,0702
191	41,5	20,0	0,0702
190	41,5	20,0	0,0702
189	41,5	20,1	0,0702
188	41,5	20,1	0,0702
187	41,5	20,1	0,0702
186	41,5	20,1	0,0702
185	41,5	20,1	0,0702
184	41,5	20,1	0,0702
183	41,5	20,2	0,0702
182	41,5	20,2	0,0702
181	41,5	20,2	0,0702
180	41,5	20,2	0,0702
179	41,5	20,2	0,0702
178	41,5	20,3	0,0702
177	41,5	20,3	0,0702
176	41,5	20,4	0,0702
198	36,7	21,3	0,0795
197	36,7	21,1	0,0795
196	36,7	21,0	0,0795



Слика 1.71. Критични услови во пожарно сценарио-5, со CO > 0,1%, на 2.950 секунди од започнувањето на пожарот

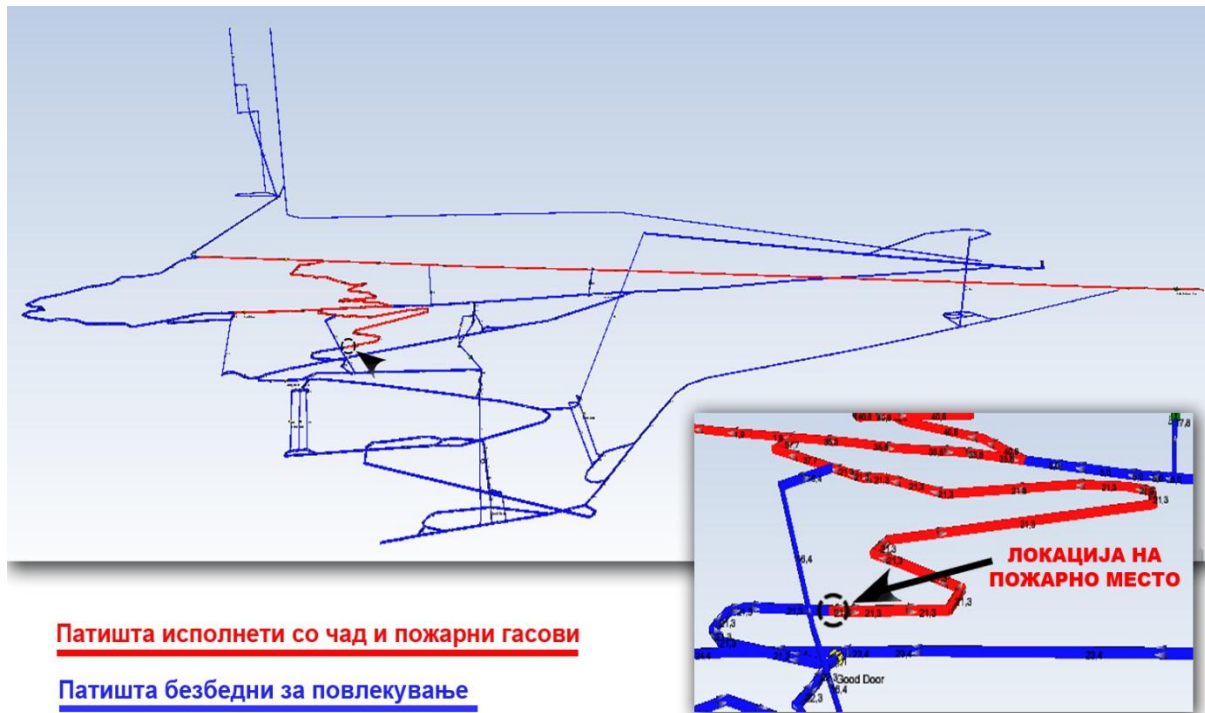
Figure 1.71. Critical conditions in fire scenario-5, with CO > 0,1%, 2.950 seconds after fire event



Слика 1.72. Критични услови во пожарно сценарио-5, со температура >35 C°, на 2.950 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.72. Critical conditions in fire scenario-5, with temperature >35 C°, 2.950 seconds after fire event

Со направените анализи и пресметки во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, за пожарното сценарио-5, добивме временска должина на пожарот од 2.950 секунди (49,1 минути), за целосно согорување на една гума со тежина од 248 kg.



Слика 1.73. Анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-5

Figure 1.73. Calculations for movement of smoke and fire gases made in software MINEFIRE PRO+ for fire scenario-5,

По направената анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови, генерирани од пожарното сценарио-5, следува процес за лоцирање на местоположбата на сите луѓе во рудникот (слика 13.54) и издавање на наредби и упаства за нивно повлекување по предходно пресметаните безбедни патишта за спасување и евакуација (слика 1.73).

1.1.3.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-5

За пресметка на безбедните оптимални рути и потребното време за евакуација на сите работени во рудникот, ќе го користиме погоре спомнатиот математички модел за оптимизација. Влијанијата на предходно дефинираните фактори за оптимизација ќе влијаат на брзината за евакуација и истите се трансформираат во еквивалентна должина на патиштата кои воедно преставуваат и вкупна тежина на рутата за евакуација. Онаа рута за евакуација која ќе има најмала тежина пресметана по предходно спомнатата методологија ќе преставува оптимална рута за евакуација

Според анализата и пресметките за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-5 (слика 1.73), лоцирани се можните патишта за евакуација на сите групи на работници (ќе разгледуваме рути за евакуација до трет ранг). Во табела 1.25, прикажани се само оптималните рути за евакуација на сите вработени во рудникот, пресметани по предходно спомнатиот математички модел за оптимизација.

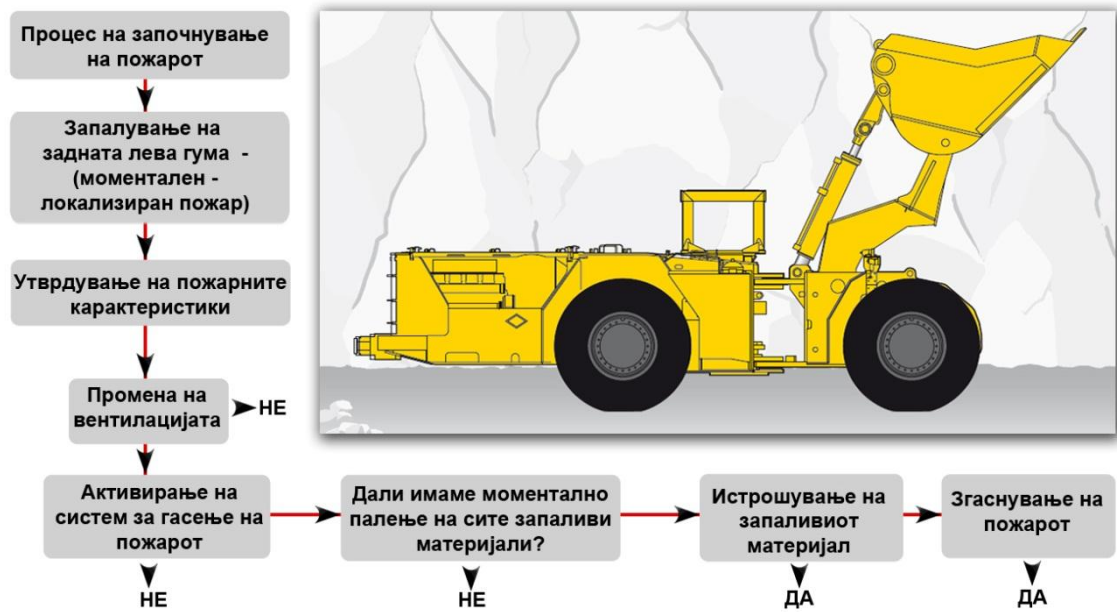
Табела 1.25. Оптимални рути за евакуација на сите работници во рудникот, генерирани за пожарно сценарио-5

Table 1.25. Optimal routes for evacuation of all workers in the underground mine for fire scenario-5

Евакуација на група работници	Број на работници	Тежина на оптималната рута за евакуација (метри)	Време потребно за евакуација низ оптималната рута (минути)	Активирање на системот за самоспасување (капацитет 30 минути)	Движење низ чад и пожарни гасови (метри)	Време потребно за поминување низ загаденото место (минути)
Група 1	2	1.810	25,3	Не	0	0
Група 2	3	1.027	14,3	Не	0	0
Група 3	2	810	11,3	Не	0	0
Група 4	3	1.630	22,8	Да	384	5,3
Група 5	2	1.766	24,7	Да	517	7,2
Група 6	2	1.449	20,2	Не	0	0
Група 7	2	1.084	15,1	Не	0	0

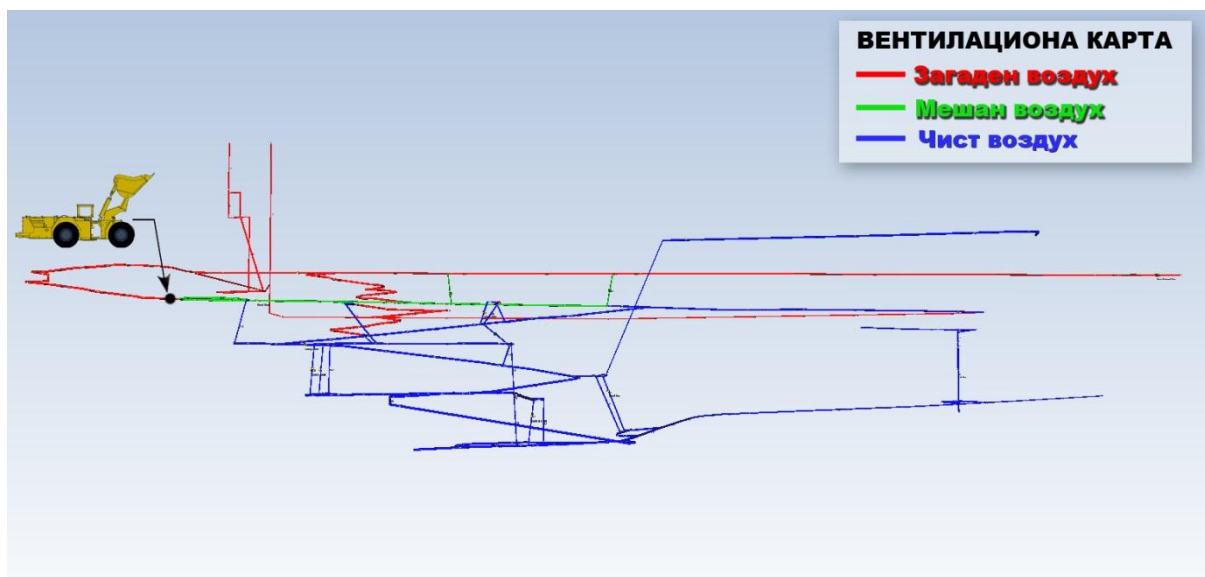
Група 8	2	1.573	22,0	He	0	0
Група 9	3	1.772	24,8	He	0	0
Група 10	2	1.718	24,0	He	0	0
Група 11	2	1.867	26,1	He	0	0
Група 12	2	2.557	35,8	He	0	0
Група 13	3	2.590	36,2	He	0	0
Група 14	2	2.254	31,5	He	0	0
Група 15	2	2.280	31,9	He	0	0
Група 16	2	1.969	27,5	He	0	0

1.1.4 Пожарно сценарио-6



Слика 1.74. Моделирање на пожарно сценарио-6

Figure 1.74. Modeling of fire scenario-6



Слика 1.75. Локација на моделираното пожарно сценарио-6

Figure 1.75. Location of fire scenario-6

За моделирање на пожарно сценарио-6 ќе претпоставиме пожар настанат од запалување на задната лева гума на утоварач-Scooptram ST 3.5. За пресметка на движењето на чадот и пожарните гасови во предходно зададена локација во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“, ќе го користиме софтверот MINEFIRE PRO+.

Во софтверот MINEFIRE PRO+ ги внесуваме предходно пресметаните пожарни карактеристики од софтверот Pyrosim, за пожар настанат од гума на утоварач-Scooptram ST 3.5.

Табела 1.26. Влезни пожарни параметри во софтверот MINEFIRE PRO+ за пожарно сценарио-6

Table 1.26. Input fire parameters in software MINEFIRE PRO + for fire scenario-6

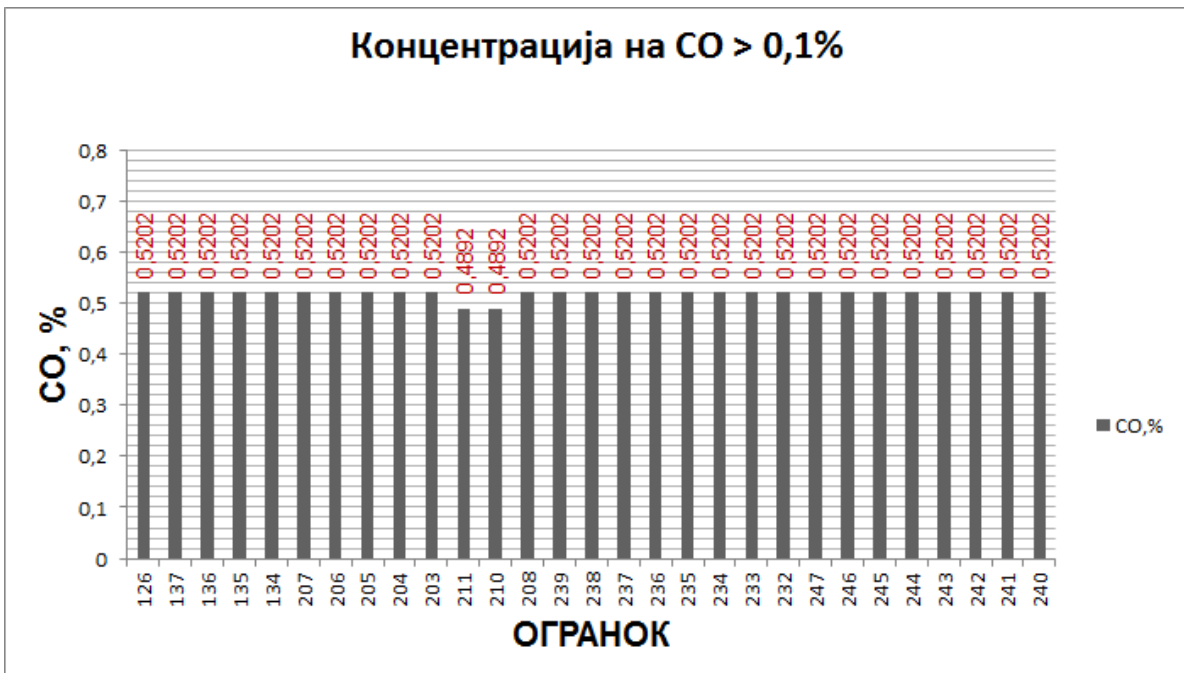
Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот, [m ³ /s]	Концентрација на јаглерод моноксид во волуменскиот проток на чад и пожарни гасови CO, [%]	Проток на топлина од пожарот, [kW]	Концентрација на кислород во пожарното место O ₂ , [%]	Волуменски проток на воздух во огранокот Q, [m ³ /s]	Време на целосно развивање на пожарот [min]
12	0,0155	684	20	29,7	2

Од направената анализа и пресметки на пожарното сценарио-6 за утоварач-Scooptram ST 3.5, со влезни параметри дадени во табела 1.26, за моментален (локализиран) пожар настанат од запалување на задната лева гума, ги добивме следниве резултати од софтверот MINEFIRE PRO+:

Табела 1.27. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-6, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

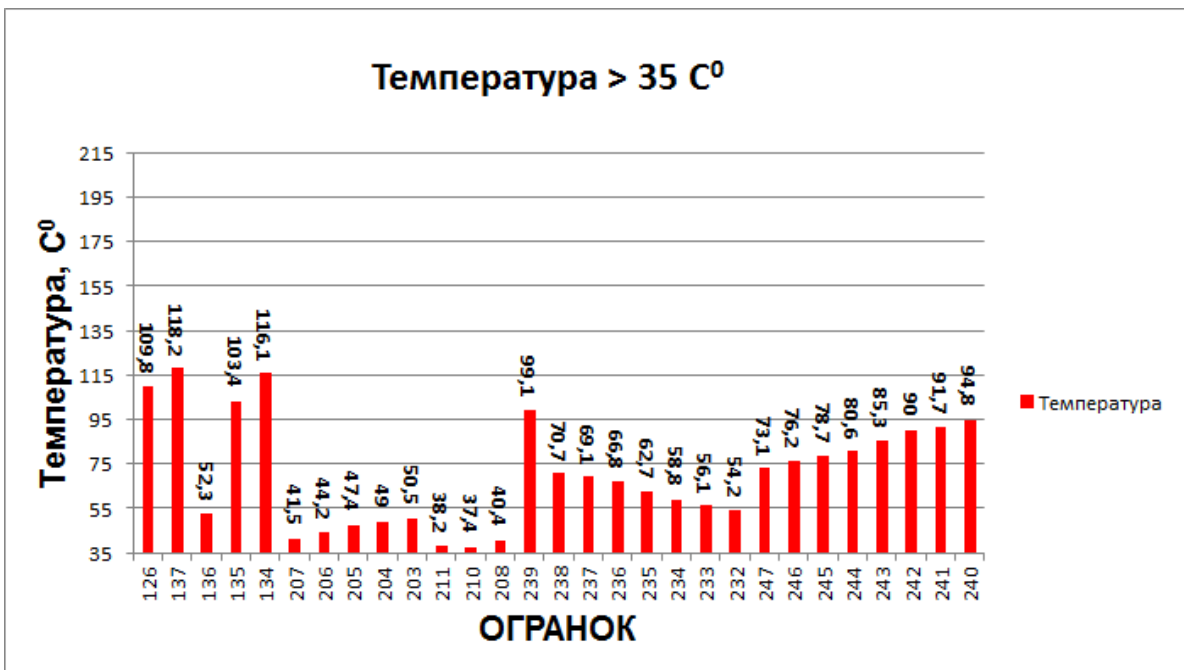
Table 1.27. Analysis and calculations of fire scenario-6, 90 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
126	29,9	109,8	0,5202
137	29,9	118,2	0,5202
136	29,9	52,3	0,5202
135	29,9	103,4	0,5202
134	29,9	116,1	0,5202
207	29,9	41,5	0,5202
206	29,9	44,2	0,5202
205	29,9	47,4	0,5202
204	29,9	49,0	0,5202
203	29,9	50,5	0,5202
211	31,8	38,2	0,4892
210	31,8	37,4	0,4892
208	29,9	40,4	0,5202
239	29,9	99,1	0,5202
238	29,9	70,7	0,5202
237	29,9	69,1	0,5202
236	29,9	66,8	0,5202
235	29,9	62,7	0,5202
234	29,9	58,8	0,5202
233	29,9	56,1	0,5202
232	29,9	54,2	0,5202
247	29,9	73,1	0,5202
246	29,9	76,2	0,5202
245	29,9	78,7	0,5202
244	29,9	80,6	0,5202
243	29,9	85,3	0,5202
242	29,9	90,0	0,5202
241	29,9	91,7	0,5202
240	29,9	94,8	0,5202



Слика 1.76. Критични услови во пожарно сценарио-6, со CO > 0,1%, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.76. Critical conditions in fire scenario-6, with CO > 0,1%, 90 seconds after fire event



Слика 1.77. Критични услови во пожарно сценарио-6, со температура >35 C°, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

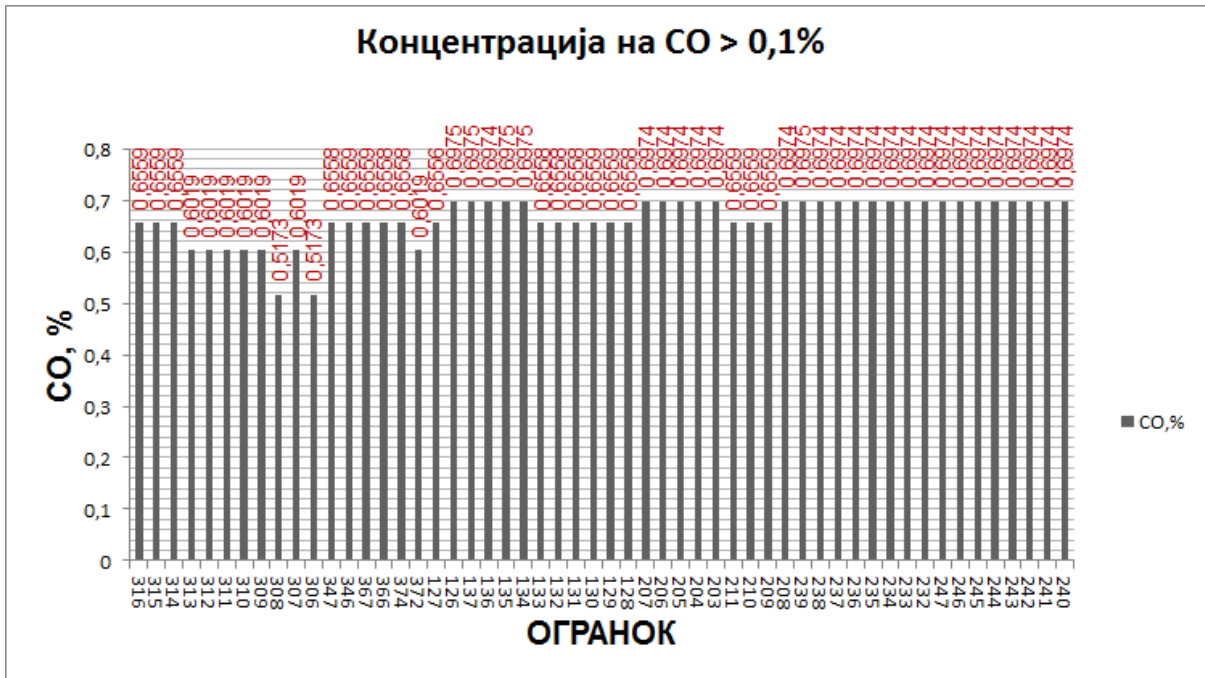
Figure 1.77. Critical conditions in fire scenario-6, with temperature >35 C°, 90 seconds after fire event

Табела 1.28. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-6, на 900 секунди од започнувањето на пожарот

Table 1.28. Analysis and calculations of fire scenario-6, 900 seconds after fire event

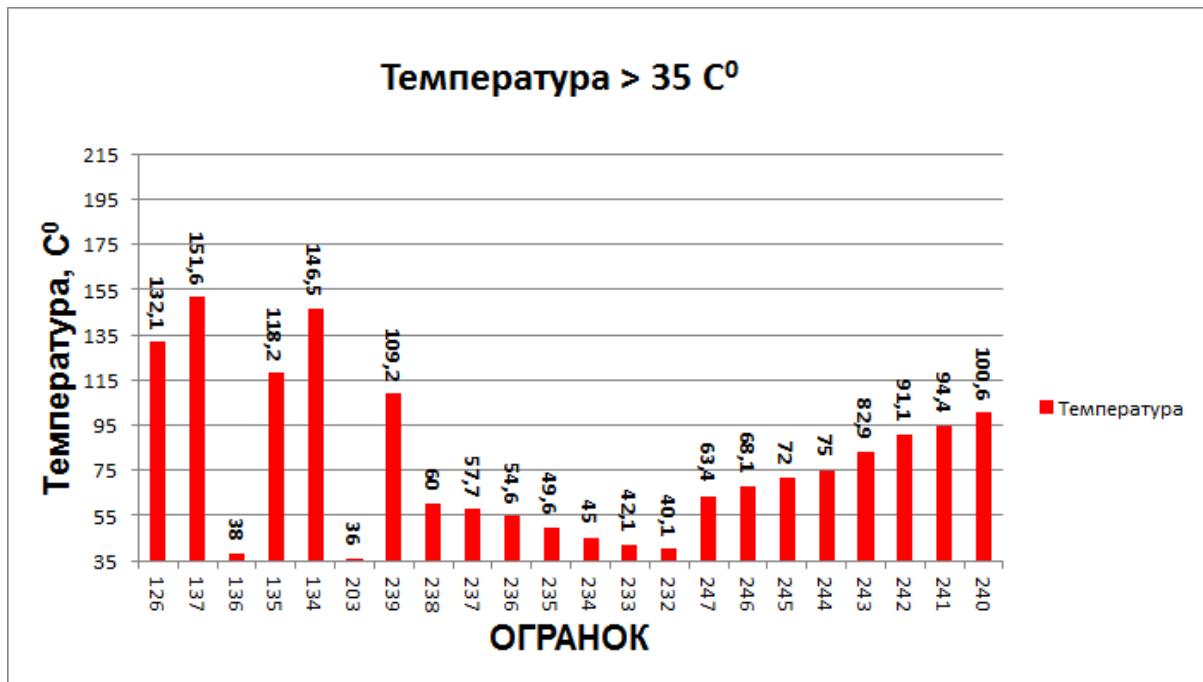
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C ^o]	Концентрација на CO, [%]
316	22,0	20,4	0,6559
315	10,5	20,0	0,6559
314	32,5	20,4	0,6559
313	8,6	19,7	0,6019
312	8,6	19,8	0,6019
311	17,2	19,7	0,6019
310	8,6	19,7	0,6019
309	8,6	19,8	0,6019
308	6,7	19,7	0,5173
307	8,6	19,8	0,6019
306	6,7	19,9	0,5173
347	9,8	19,8	0,6558
346	15,3	20,3	0,6559
367	5,5	20,2	0,6559
366	5,5	20,2	0,6558
374	9,8	20,1	0,6558
372	17,2	19,7	0,6019
127	2,4	20,1	0,6556
126	30,6	132,1	0,6975
137	30,6	151,6	0,6975
136	30,6	38,0	0,6974
135	30,6	118,2	0,6975
134	30,6	146,5	0,6975
133	2,4	20,1	0,6558
132	2,4	20,1	0,6558
131	2,4	20,1	0,6558
130	2,4	20,3	0,6559
129	4,2	20,2	0,6559
128	2,4	20,0	0,6558
207	30,6	27,9	0,6974
206	30,6	30,1	0,6974
205	30,6	32,9	0,6974
204	30,6	34,4	0,6974
203	30,6	36,0	0,6974
211	32,5	26,0	0,6559
210	32,5	25,4	0,6559
209	32,5	21,9	0,6559
208	30,6	27,1	0,6974
239	30,6	109,2	0,6975
238	30,6	60,0	0,6974
237	30,6	57,7	0,6974
236	30,6	54,6	0,6974
235	30,6	49,6	0,6974
234	30,6	45,0	0,6974
233	30,6	42,1	0,6974
232	30,6	40,1	0,6974
247	30,6	63,4	0,6974
246	30,6	68,1	0,6974
245	30,6	72,0	0,6974
244	30,6	75,0	0,6974

243	30,6	82,9	0,6974
242	30,6	91,1	0,6974
241	30,6	94,4	0,6974
240	30,6	100,6	0,6974



Слика 1.78. Критични услови во пожарно сценарио-6, со CO > 0,1%, на 900 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.78. Critical conditions in fire scenario-6, with CO > 0,1%, 900 seconds after fire event



Слика 1.79. Критични услови во пожарно сценарио-6, со температура >35 C°, на 900 секунди од започнувањето на пожарот

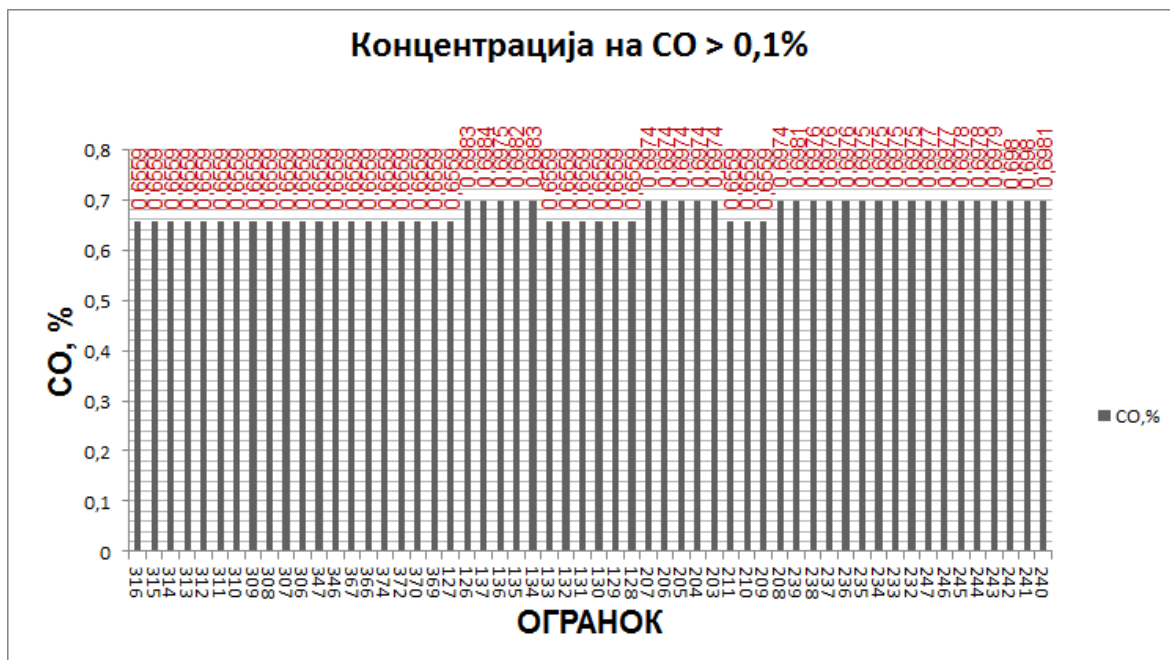
Figure 1.79. Critical conditions in fire scenario-6, with temperature >35 C°, 900 seconds after fire event

Табела 1.29. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-6, на 2.340 секунди од започнувањето на пожарот

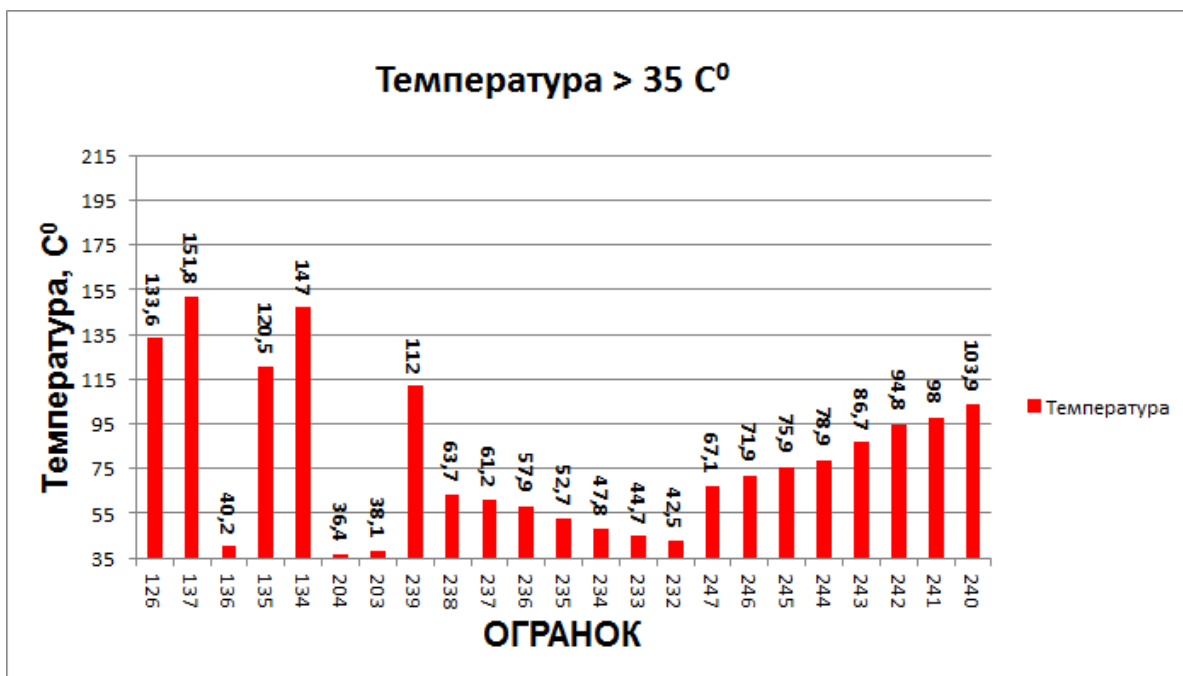
Table 1.29. Analysis and calculations of fire scenario-6, 2.340 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
316	21,9	20,5	0,6559
315	10,5	20,1	0,6559
314	32,5	20,6	0,6559
313	8,5	19,7	0,6559
312	8,5	19,8	0,6559
311	17,1	19,7	0,6559
310	8,5	19,7	0,6559
309	8,6	19,8	0,6559
308	6,6	19,7	0,6559
307	8,6	19,8	0,6559
306	6,6	19,9	0,6559
347	9,8	19,8	0,6559
346	15,3	20,4	0,6559
367	5,5	20,3	0,6559
366	5,5	20,3	0,6559
374	9,8	20,1	0,6559
372	17,1	19,7	0,6559

370	5,5	20,0	0,6559
369	5,5	20,0	0,6559
127	2,4	20,1	0,6559
126	30,5	133,6	0,6983
137	30,5	151,8	0,6984
136	30,5	40,2	0,6975
135	30,5	120,5	0,6982
134	30,5	147,0	0,6983
133	2,4	20,2	0,6559
132	2,4	20,1	0,6559
131	2,4	20,1	0,6559
130	2,4	20,4	0,6559
129	4,2	20,4	0,6559
128	2,4	20,1	0,6559
207	30,5	29,3	0,6974
206	30,5	31,7	0,6974
205	30,5	34,6	0,6974
204	30,5	36,4	0,6974
203	30,5	38,1	0,6974
211	32,5	27,1	0,6559
210	32,5	26,5	0,6559
209	32,5	22,5	0,6559
208	30,5	28,4	0,6974
239	30,5	112,0	0,6981
238	30,5	63,7	0,6976
237	30,5	61,2	0,6976
236	30,5	57,9	0,6976
235	30,5	52,7	0,6975
234	30,5	47,8	0,6975
233	30,5	44,7	0,6975
232	30,5	42,5	0,6975
247	30,5	67,1	0,6977
246	30,5	71,9	0,6977
245	30,5	75,9	0,6978
244	30,5	78,9	0,6978
243	30,5	86,7	0,6979
242	30,5	94,8	0,6980
241	30,5	98,0	0,6980
240	30,5	103,9	0,6981



Слика 1.80. Критични услови во пожарно сценарио-6, со CO > 0,1%, на 2.340 секунди од започнувањето на пожарот
 Figure 1.80. Critical conditions in fire scenario-6, with CO > 0,1%, 2.340 seconds after fire event



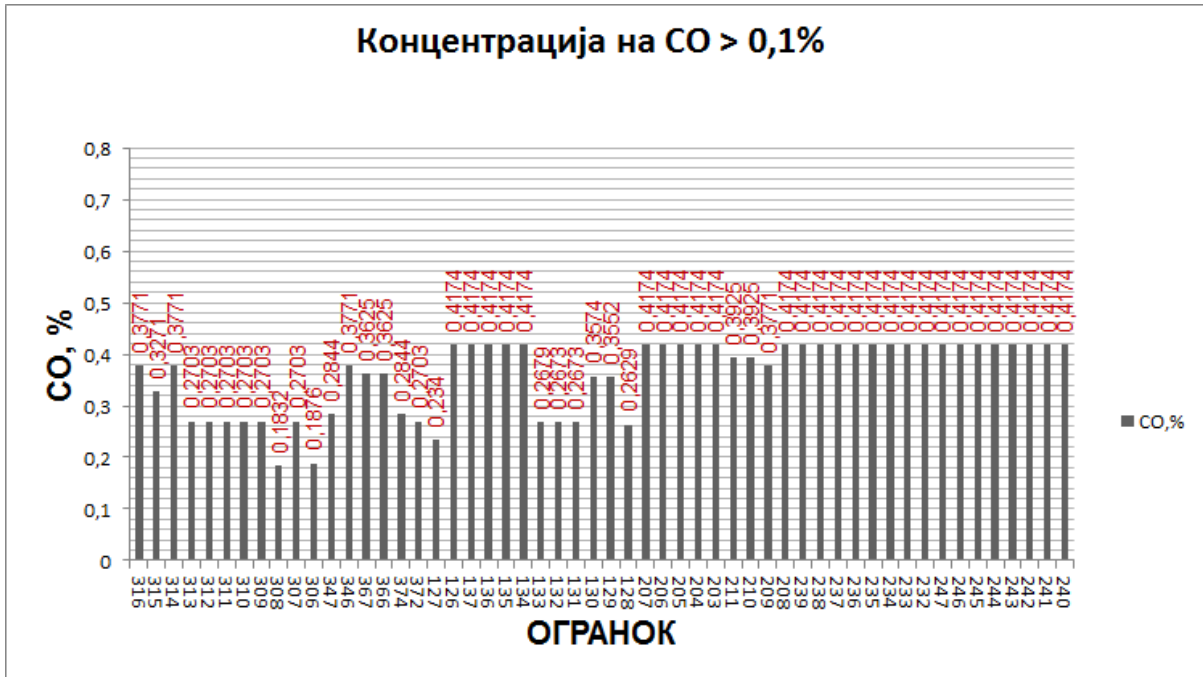
Слика 1.81. Критични услови во пожарно сценарио-6, со температура >35 C°, на 2.340 секунди од започнувањето на пожарот
 Figure 1.81. Critical conditions in fire scenario-6, with temperature >35 C°, 2.340 seconds after fire event

Табела 1.30. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-6, на 3.420 секунди од започнувањето на пожарот

Table 1.30. Analysis and calculations of fire scenario-6, 3.420 seconds after fire event

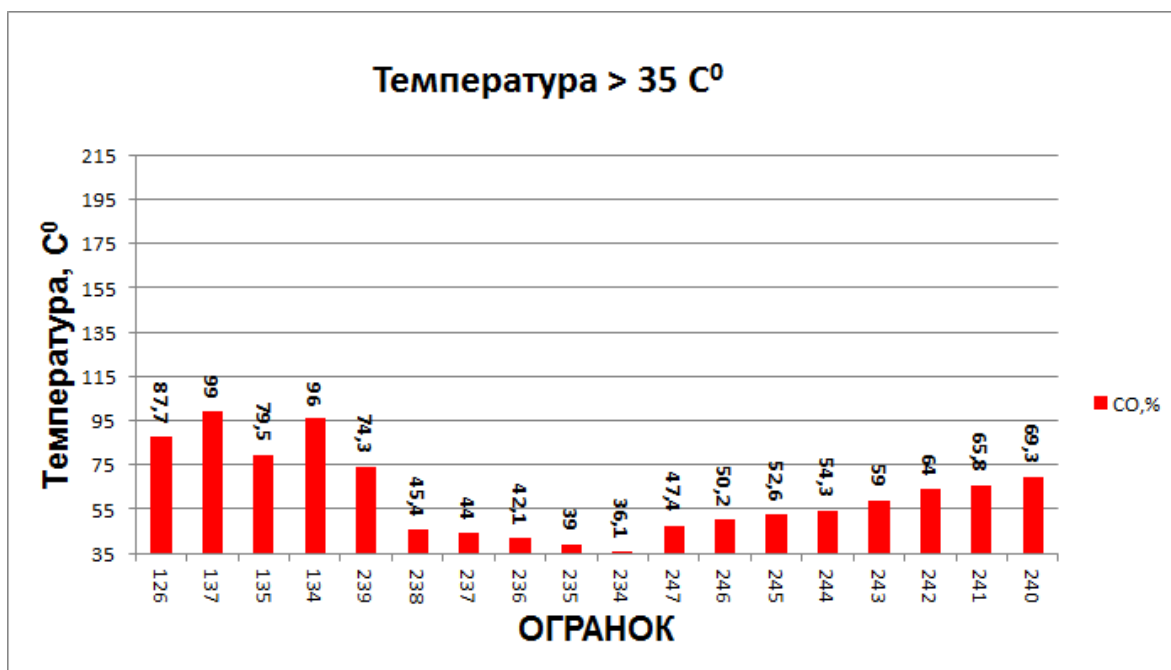
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
316	22,1	20,2	0,3771
315	10,5	19,9	0,3271
314	32,6	20,2	0,3771
313	8,6	19,7	0,2703
312	8,6	19,8	0,2703
311	17,3	19,7	0,2703
310	8,6	19,7	0,2703
309	8,7	19,8	0,2703
308	6,8	19,8	0,1832
307	8,7	19,8	0,2703
306	6,8	19,8	0,1876
347	9,8	19,7	0,2844
346	15,3	20,1	0,3771
367	5,6	20,2	0,3625
366	5,6	20,2	0,3625
374	9,8	20,1	0,2844
372	17,3	19,7	0,2703
127	2,5	20,0	0,2340
126	30,7	87,7	0,4174
137	30,7	99,0	0,4174
136	30,7	31,8	0,4174
135	30,7	79,5	0,4174
134	30,7	96,0	0,4174
133	2,5	20,1	0,2679
132	2,5	20,0	0,2673
131	2,5	20,0	0,2673
130	2,5	20,2	0,3574
129	4,3	20,1	0,3552
128	2,5	20,0	0,2629
207	30,7	25,3	0,4174
206	30,7	26,7	0,4174
205	30,7	28,5	0,4174
204	30,7	29,5	0,4174
203	30,7	30,5	0,4174
211	32,6	24,1	0,3925
210	32,6	23,8	0,3925
209	32,6	21,3	0,3771
208	30,7	24,8	0,4174
239	30,7	74,3	0,4174
238	30,7	45,4	0,4174
237	30,7	44,0	0,4174
236	30,7	42,1	0,4174
235	30,7	39,0	0,4174
234	30,7	36,1	0,4174
233	30,7	34,3	0,4174
232	30,7	33,0	0,4174
247	30,7	47,4	0,4174
246	30,7	50,2	0,4174

245	30,7	52,6	0,4174
244	30,7	54,3	0,4174
243	30,7	59,0	0,4174
242	30,7	64,0	0,4174
241	30,7	65,8	0,4174
240	30,7	69,3	0,4174



Слика 1.82. Критични услови во пожарно сценарио-6, со CO > 0,1%, на 3.420 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.82. Critical conditions in fire scenario-6, with CO > 0,1%, 3.420 seconds after fire event



Слика 1.83. Критични услови во пожарно сценарио-6, со температура $>35\text{ C}^{\circ}$, на 3.420 секунди од започнувањето на пожарот

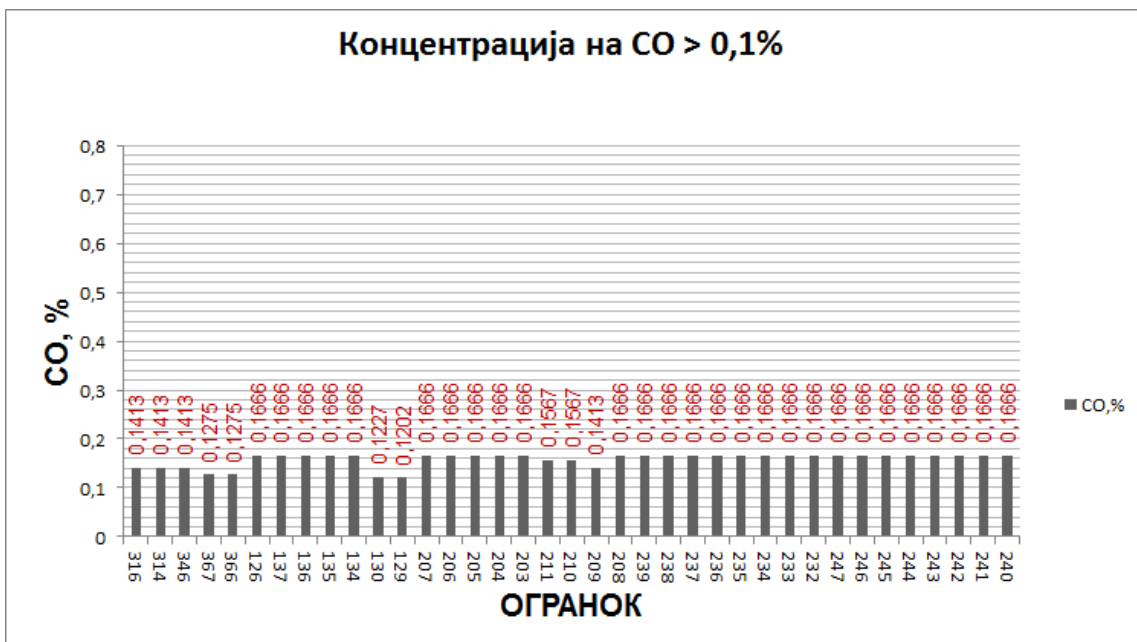
Figure 1.83. Critical conditions in fire scenario-6, with temperature $>35\text{ C}^{\circ}$, 3.420 seconds after fire event

Табела 1.31. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-6, на 4.500 секунди од започнувањето на пожарот

Table 1.31. Analysis and calculations of fire scenario-6, 4.500 seconds after fire event

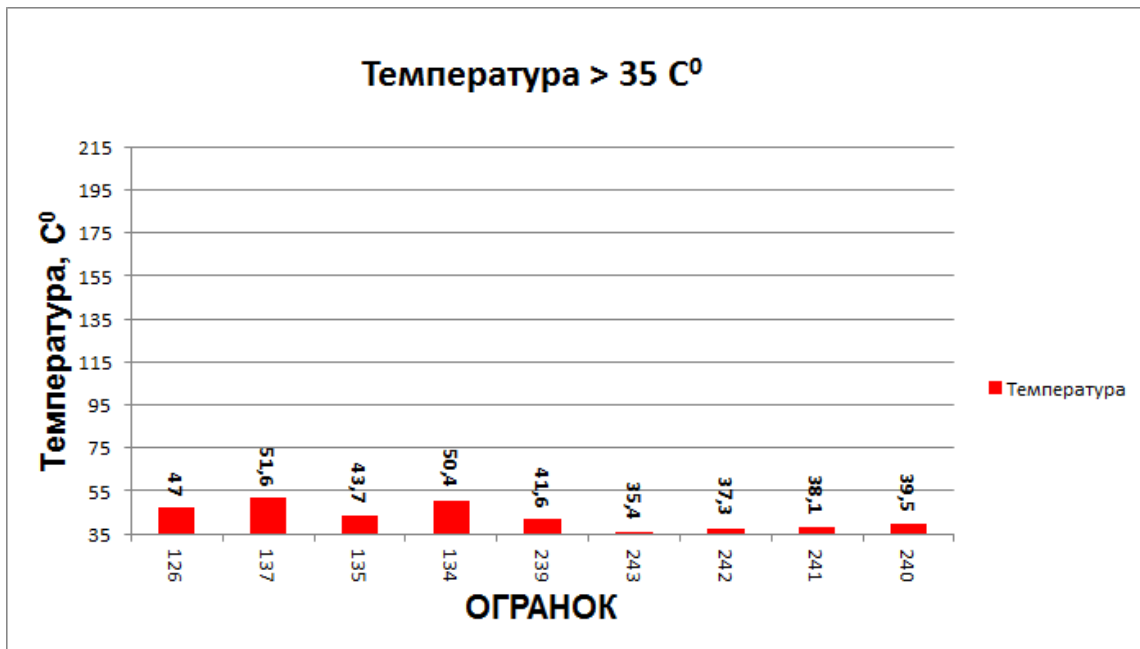
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
316	22,3	20,1	0,1413
315	10,4	19,8	0,0903
314	32,7	20,1	0,1413
313	8,6	19,6	0,0543
312	8,6	19,7	0,0543
310	8,6	19,6	0,0543
309	8,7	19,7	0,0543
346	15,5	20,0	0,1413
367	5,6	20,1	0,1275
366	5,6	20,1	0,1275
126	30,8	47,0	0,1666
137	30,8	51,6	0,1666
136	30,8	24,4	0,1666
135	30,8	43,7	0,1666
134	30,8	50,4	0,1666
130	2,5	20,0	0,1227

129	4,4	20,0	0,1202
207	30,8	21,9	0,1666
206	30,8	22,4	0,1666
205	30,8	23,1	0,1666
204	30,8	23,5	0,1666
203	30,8	23,9	0,1666
211	32,7	21,4	0,1567
210	32,7	21,3	0,1567
209	32,7	20,4	0,1413
208	30,8	21,7	0,1666
239	30,8	41,6	0,1666
238	30,8	29,8	0,1666
237	30,8	29,3	0,1666
236	30,8	28,5	0,1666
235	30,8	27,3	0,1666
234	30,8	26,1	0,1666
233	30,8	25,4	0,1666
232	30,8	24,9	0,1666
247	30,8	30,7	0,1666
246	30,8	31,8	0,1666
245	30,8	32,7	0,1666
244	30,8	33,4	0,1666
243	30,8	35,4	0,1666
242	30,8	37,3	0,1666
241	30,8	38,1	0,1666
240	30,8	39,5	0,1666



Слика 1.84. Критични услови во пожарно сценарио-6, со CO > 0,1%, на 4.500 секунди од започнувањето на пожарот

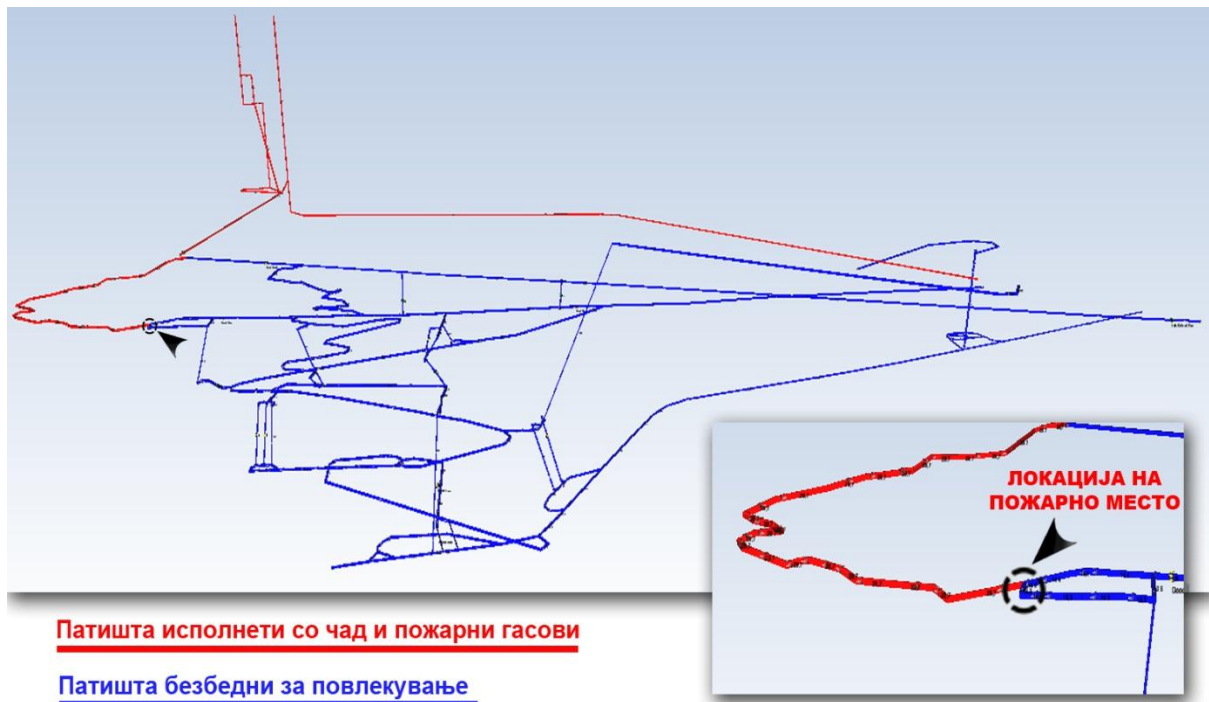
Figure 1.84. Critical conditions in fire scenario-6, with CO > 0,1%, 4.500 seconds after fire event



Слика 1.85. Критични услови во пожарно сценарио-6, со температура $>35\text{ C}^{\circ}$, на 4.500 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 1.85. Critical conditions in fire scenario-6, with temperature $>35\text{ C}^{\circ}$, 4.500 seconds after fire event

Со направените анализи и пресметки во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, за пожарното сценарио-6, добивме временска должина на пожарот од 4.500 секунди (75 минути), за целосно согорување на една гума со тежина од 248 kg.



Слика 1.86. Анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-6
 Figure 1.86. Calculations for movement of smoke and fire gases made in software MINEFIRE PRO+ for fire scenario-6

По направената анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови, генерирани од пожарното сценарио-6, следува процес за лоцирање на местоположбата на сите луѓе во рудникот (слика 13.54) и издавање на наредби и упаства за нивно повлекување по предходно пресметаните безбедни патишта за спасување и евакуација (слика 1.86).

1.1.4.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-6

За пресметка на безбедните оптимални рути и потребното време за евакуација на сите работени во рудникот, ќе го користиме погоре спомнатиот математички модел за оптимизација. Влијанијата на предходно дефинираните фактори за оптимизација ќе влијаат на брзината за евакуација и истите се трансформираат во еквивалентна должина на патиштата кои воедно преставуваат и вкупна тежина на рутата за евакуација. Онаа рута за евакуација

која ќе има најмала тежина пресметана по предходно спомнатата методологија ќе преставува оптимална рута за евакуација

Според анализата и пресметките за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-6 (слика 1.86), лоцирани се можните патишта за евакуација на сите групи на работници (ќе разгледуваме рути за евакуација до трет ранг). Во табела 1.32, прикажани се само оптималните рути за евакуација на сите вработени во рудникот, пресметани по предходно спомнатиот математички модел за оптимизација.

Табела 1.32. Оптимални рути за евакуација на сите работници во рудникот, генерирани за пожарно сценарио-6

Table 1.32. Optimal routes for evacuation of all workers in the underground mine for fire scenario-6

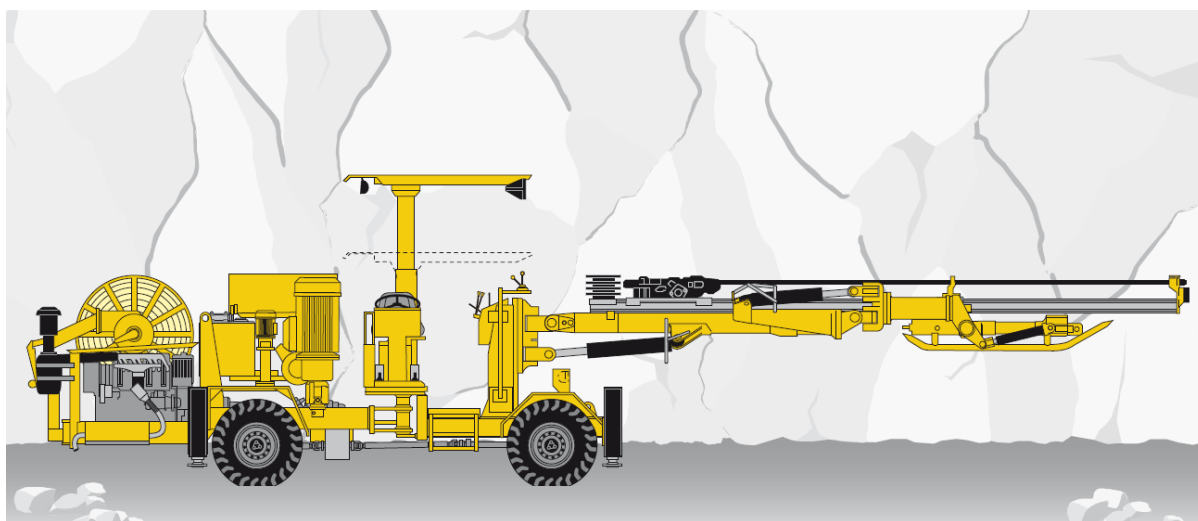
Евакуација на група работници	Број на работници	Тежина на оптималната рута за евакуација (метри)	Време потребно за евакуација низ оптималната рута (минути)	Активирање на системот за самоспасување (капацитет 30 минути)	Движење низ чад и пожарни гасови (метри)	Време потребно за поминување низ загаденото место (минути)
Група 1	2	1.659	23,2	Не	0	0
Група 2	3	1.027	14,3	Не	0	0
Група 3	2	810	11,3	Не	0	0
Група 4	3	1.771	24,8	Не	0	0
Група 5	2	1.639	22,9	Не	0	0
Група 6	2	1.449	20,2	Не	0	0
Група 7	2	1.084	15,1	Не	0	0

Група 8	2	1.573	22,0	He	0	0
Група 9	3	1.772	24,8	He	0	0
Група 10	2	1.718	24,0	He	0	0
Група 11	2	1.867	26,1	He	0	0
Група 12	2	2.557	35,8	He	0	0
Група 13	3	2.590	36,2	He	0	0
Група 14	2	2.254	31,5	He	0	0
Група 15	2	2.280	31,9	He	0	0
Група 16	2	1.969	27,5	He	0	0

ПРИЛОГ 2:

2. Моделирање на пожар настанат од електро-хидраулична дупчалка Boomer 281

Самиот модел на пожар настанат од електро-хидраулична дупчалка Boomer 281 ги опишува претпоставените пожарни карактеристики, како што се: стапката на ослободување на топлина (heat release rate), преносот на топлина, стапка на горење на материјалот, генерирање на штетни пожарни гасови, чад итн.



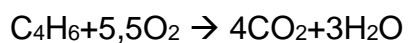
Слика 2.1. Електро-хидраулична дупчалка Boomer 281

Figure 2.1. Electro-hydraulic drill rig Boomer 281

Ќе претпоставиме дека пожарот ги зафатил следниве запаливи материјали:

➤ **Согорување на гума од електро-хидраулична дупчалка Boomer 281**

Гума - топлина на согорување



Моларна маса на $\text{C}_4\text{H}_6 = 4 * 12,011 + 6 * 1,008 = 54,04 \text{ g/mol}$

Сооднос на горење O₂:гума

$$O_2:\text{Гума} = \frac{5,5 \cdot 2 \cdot 15,9}{54,04} = 3,2 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg Дизел}}$$

$$O_2 \text{ е } 23\% \text{ од масата на воздухот} = \frac{3,2 \cdot 100}{23} = 13,91 \frac{\text{kg воздух}}{\text{kg гориво}}$$

Енталпија на формирање:

$$C_4H_6 = -50 \text{ kJ/mol}$$

$$CO_2 = -393 \text{ kJ/mol}$$

$$H_2O = -286 \text{ kJ/mol}$$

$$O_2 = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$3 * (-286) + 4(-393) - 4 * 0 - (-50) = -2.378 \text{ kJ/mol}$$

Конвертирање на -2.378 kJ/mol во kJ/kg =

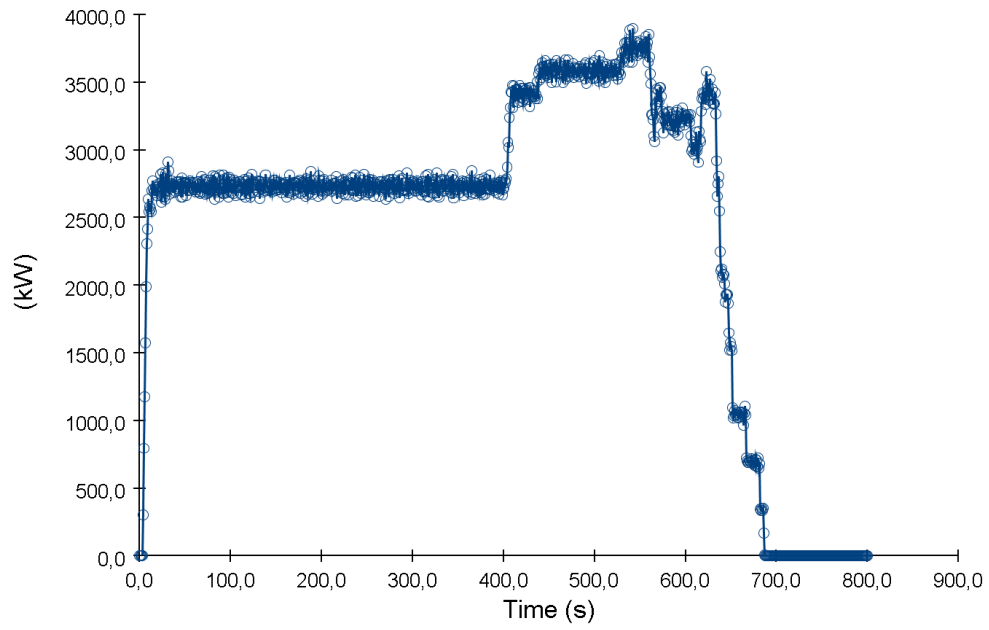
$$= \frac{\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{\text{molar mass}} * 1.000 = \frac{-2.378}{54,04} * 1.000 = -44.004 \text{ kJ/kg}$$

Табела 2.1. Хемиски и физички карактеристики на гумата

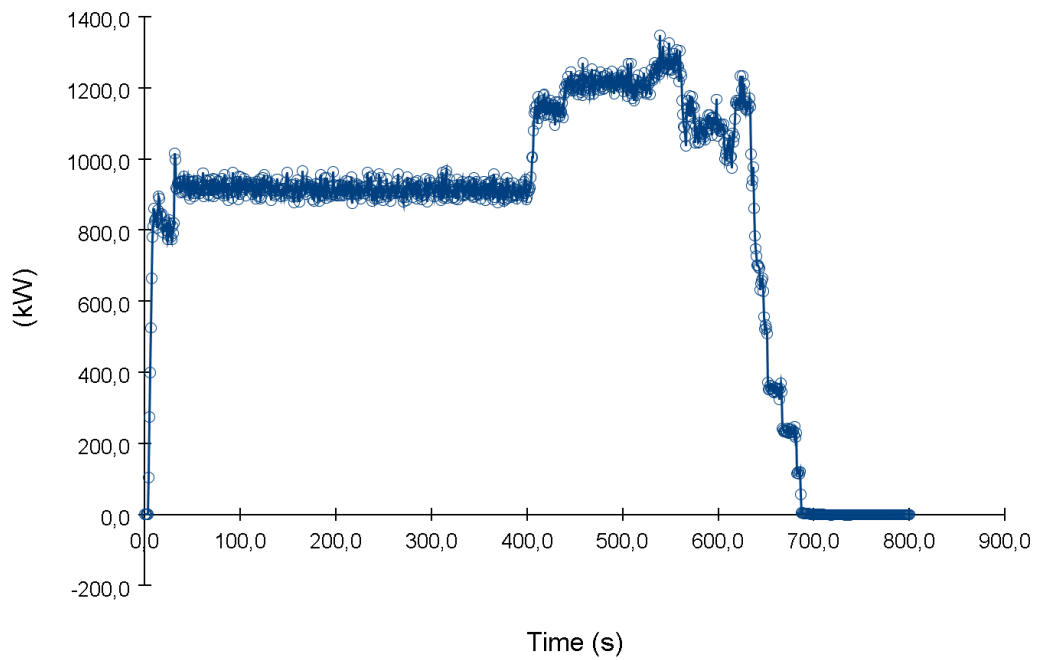
Table 2.1. Chemical and physical characteristics of tire

Гума	
Големина на гума	Гума 8,25 x R15
Тежина на една гума	47 kg
Густина на гума	1.150 kg/m ³
Поедноставена хемиска (hydrocarbon) формула	C ₄ H ₆
Топлина на согорување	44.004 kJ/kg
Стапка на горење на материјалот kg/m ² *s (експериментален податок) [37]	0,062 kg/m ² *s

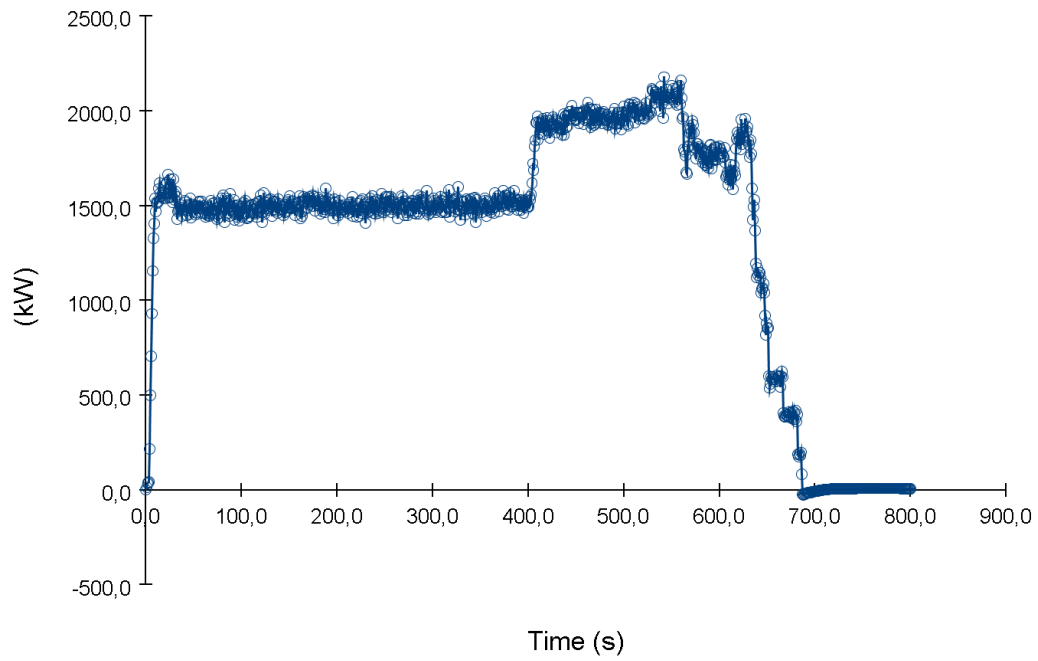
Во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, со согорување на една гума со тежина од 47 kg и со погоре споменатите хемиски и физички карактеристики ги добиваме следниве резултати:



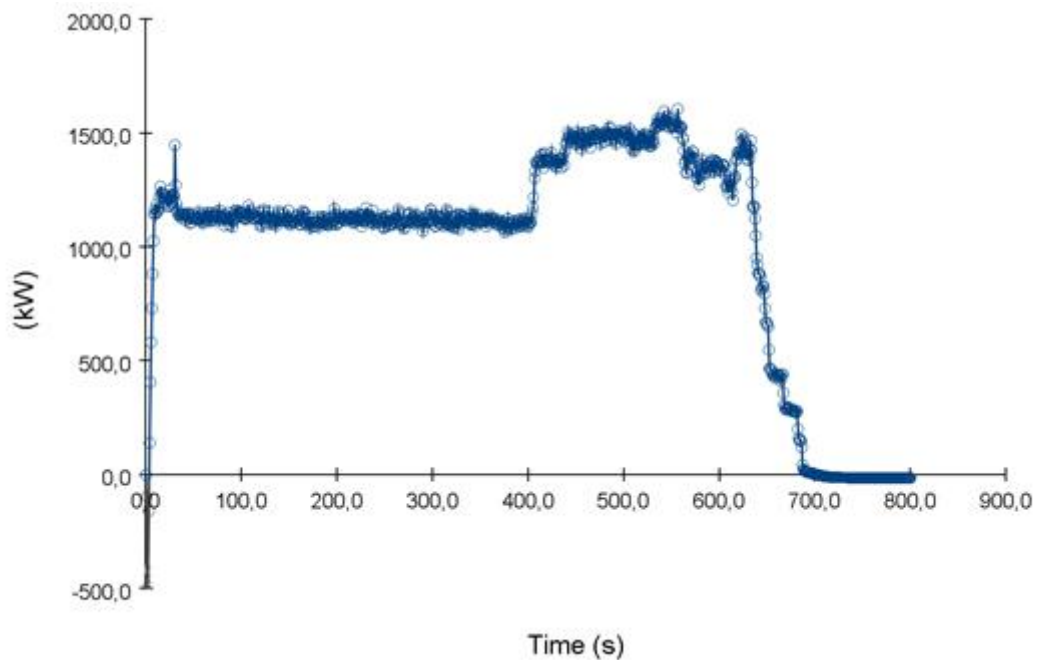
Слика 2.2. Стапка на ослободување на топлина
 Figure 2.2. Heat release rate - HRR



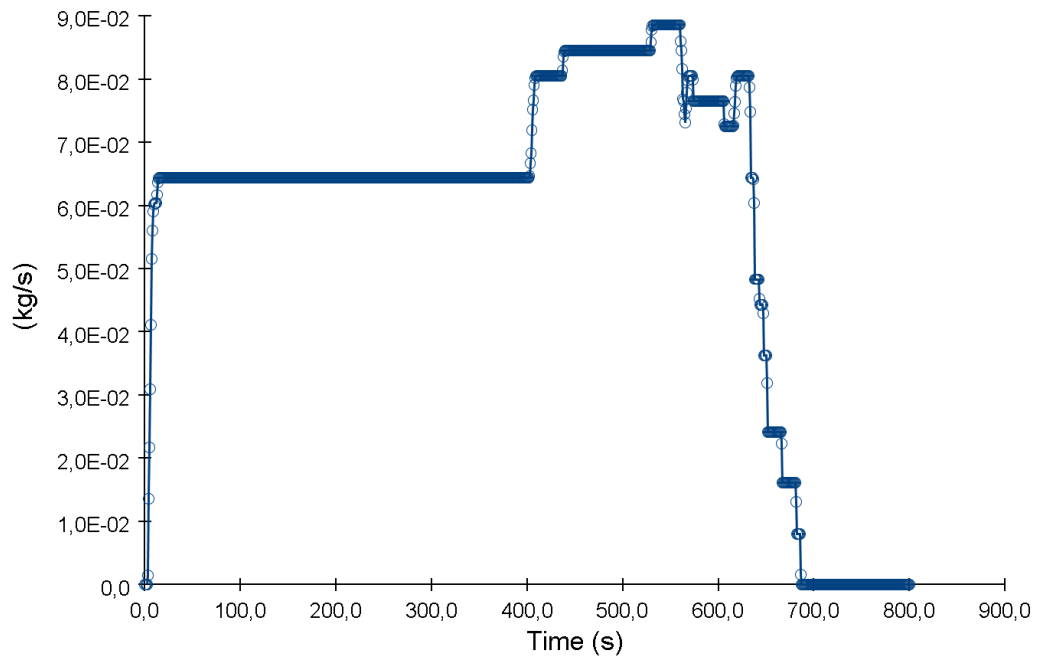
Слика 2.3. Пренос на топлина со радијација
 Figure 2.3. Heat transfer by radiation



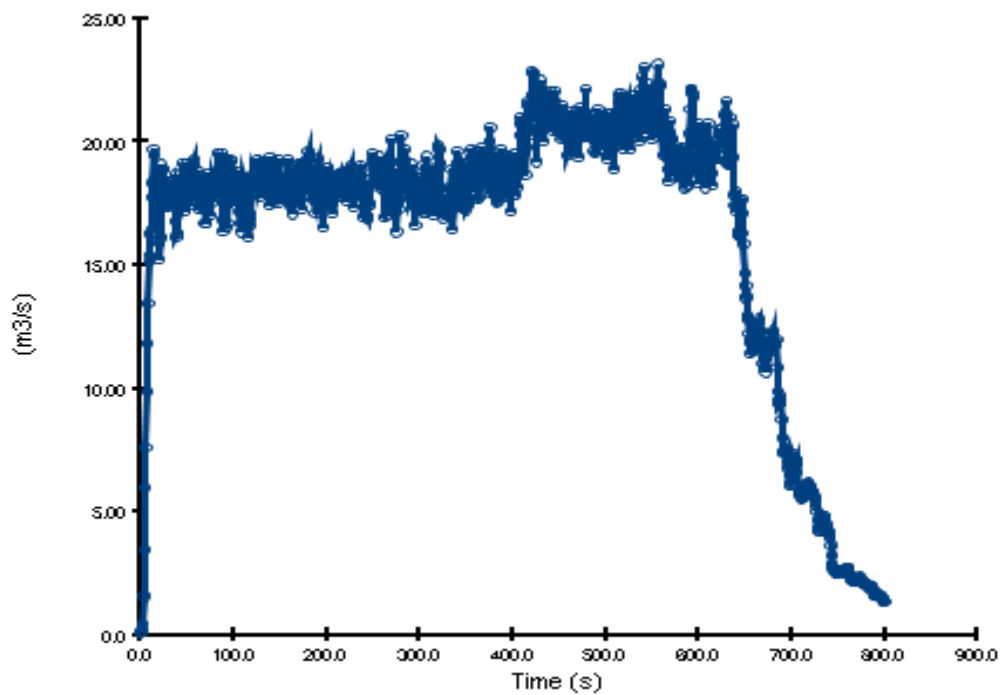
Слика 2.4. Пренос на топлина со конвекција
 Figure 2.4. Heat transfer by convection



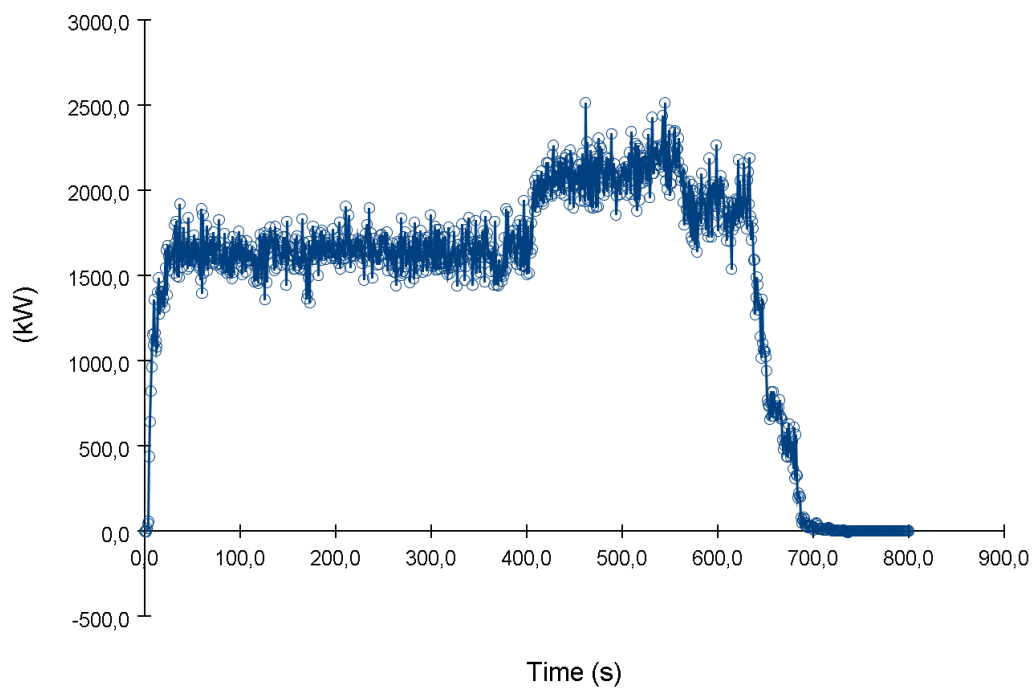
Слика 2.5. Пренос на топлина со кондукција
 Figure 2.5. Heat transfer by conduction



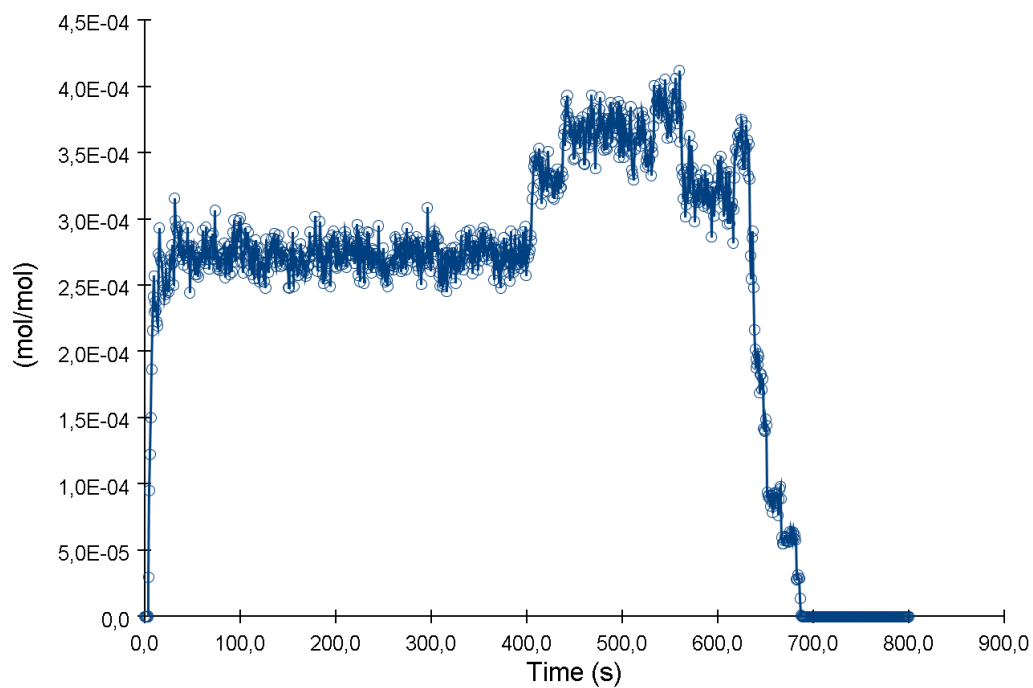
Слика 2.6. Стапка на горење на материјалот (гумата)
 Figure 2.6. Burning rate of material (tire)



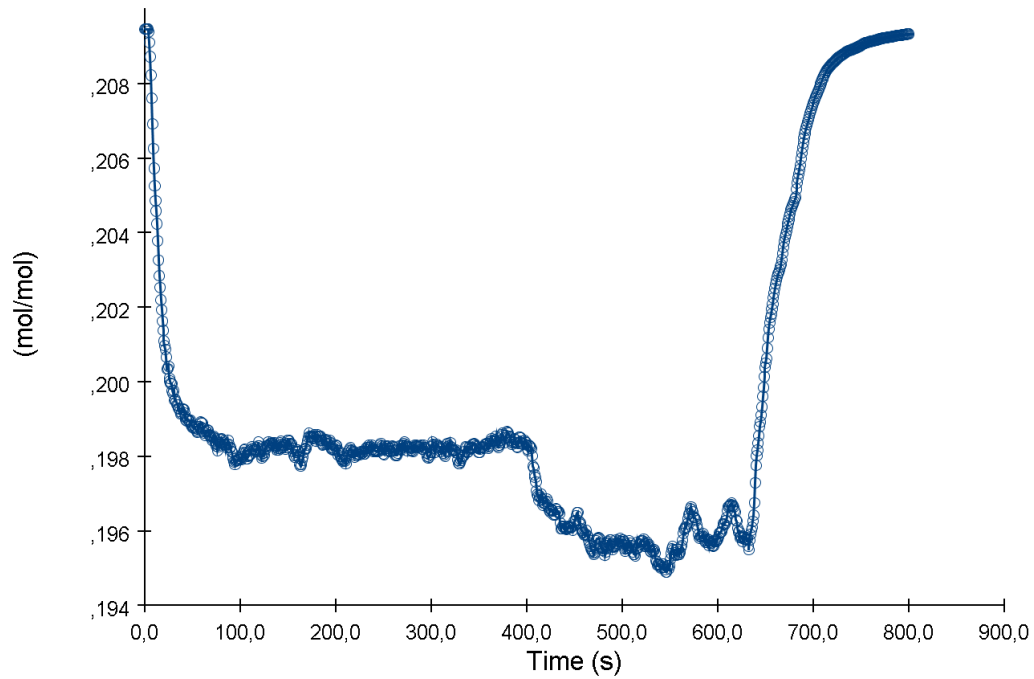
Слика 2.7. Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот
 Figure 2.7. Volume flow of smoke and fire gases generated by the fire



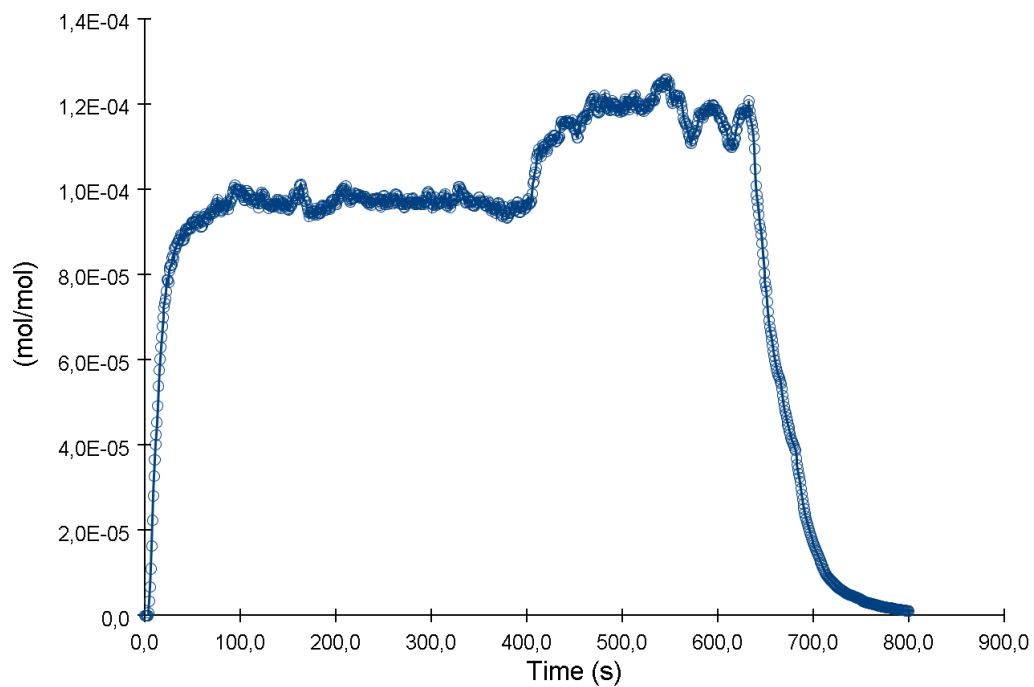
Слика 2.8. Проток на топлина од пожарот
 Figure 2.8. Heat flow from fire



Слика 2.9. Генерирање на јаглерод моноксид - CO од пожарот
 Figure 2.9. Generation of carbon monoxide - CO from fire



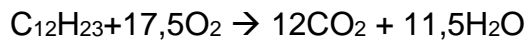
Слика 2.10. Волуменска содржина на кислород во пожарното место
 Figure 2.10. Volume oxygen content in the fire place



Слика 2.11. Генерирање на саѓи од пожарот
 Figure 2.11. Generating soot from fire

➤ **Согорување на дизел гориво од електро-хидраулична дупчалка Voomer 281**

Дизел- топлина на согорување



Моларна маса на $C_{12}H_{23} = 12 * 12,011 + 23 * 1,008 = 167,3 \text{ g/mol}$

Сооднос на горење O_2 :дизел

$$O_2:\text{Дизел} = \frac{17,5 * 2 * 15,9}{167,3} = 3,32 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg Дизел}}$$

$$O_2 \text{ е } 23\% \text{ од масата на воздухот} = \frac{3,32 * 100}{23} = 14,43 \frac{\text{kg воздух}}{\text{kg гориво}}$$

Енталпија на формирање:

$$C_{12}H_{23} = -303,4 \text{ kJ/mol}$$

$$CO_2 = -393 \text{ kJ/mol}$$

$$H_2O = -286 \text{ kJ/mol}$$

$$O_2 = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$11,5 * (-286) + 12(-394) - 17,5 * 0 - (-303,4) = -7.714 \text{ kJ/mol}$$

Конвертирање на -7.714 kJ/mol во $\text{kJ/kg} =$

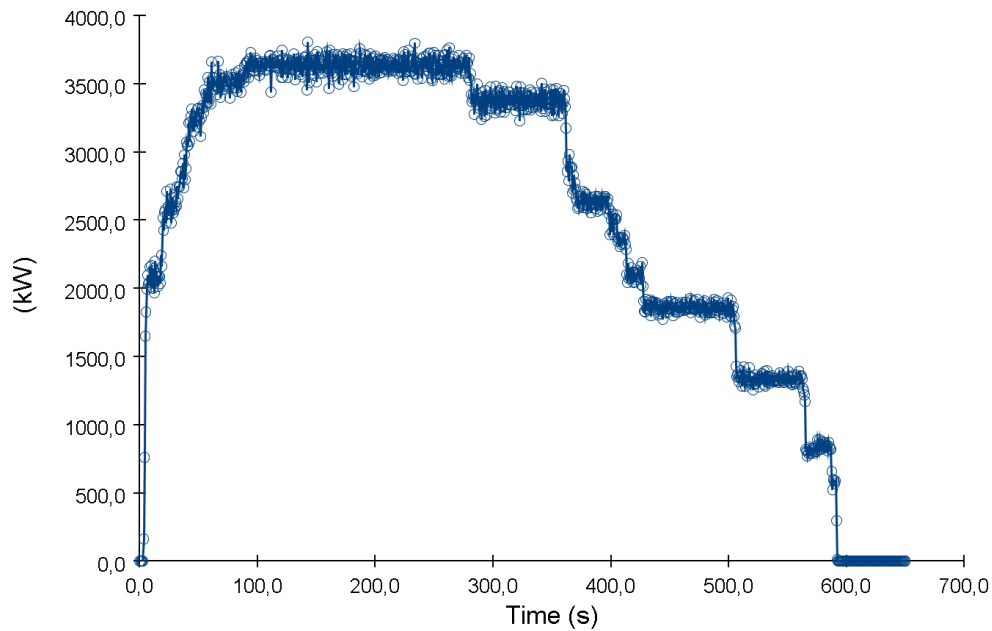
$$= \frac{\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{\text{molar mass}} * 1.000 = \frac{-7.714}{167,3} * 1.000 = -46.108 \text{ kJ/kg}$$

Табела 2.2. Хемиски и физички карактеристики на дизел гориво

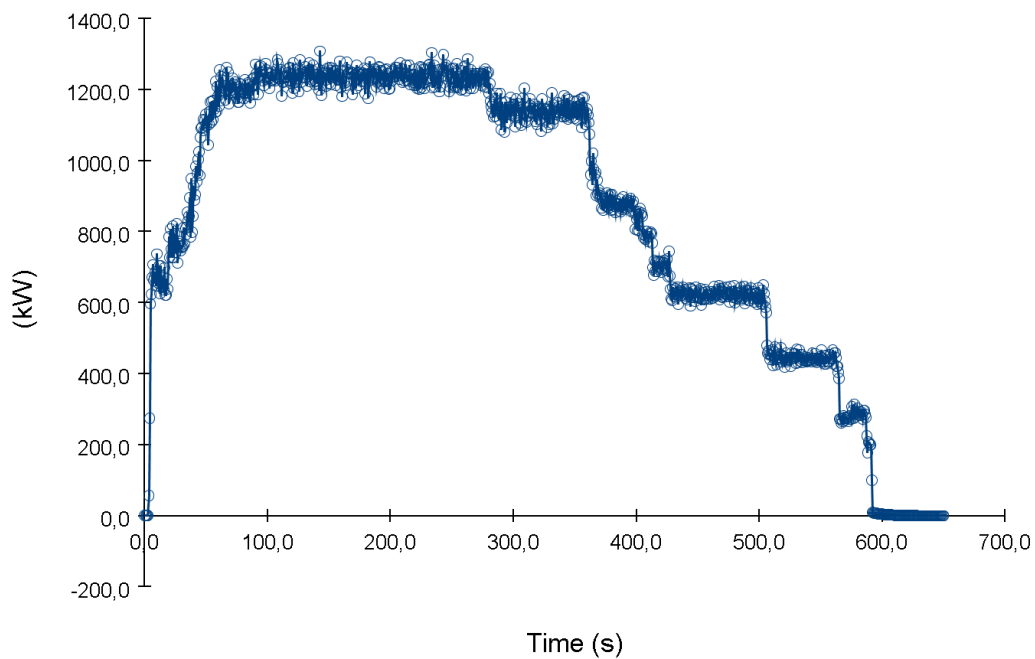
Table 2.2. Chemical and physical characteristics of diesel fuel

Дизел гориво	
Капацитет на резервоар	60 L
Претпоставка на останато дизел гориво во резервоарот	45 L
Густина на дизел гориво	918 kg/m ³
Поедноставена хемиска (hydrocarbon) формула	C ₁₂ H ₂₃
Топлина на согорување	46.108 kJ/kg
Стапка на горење на материјалот kg/m ² *s (експериментален податок) [81]	0,045 kg/m ² *s

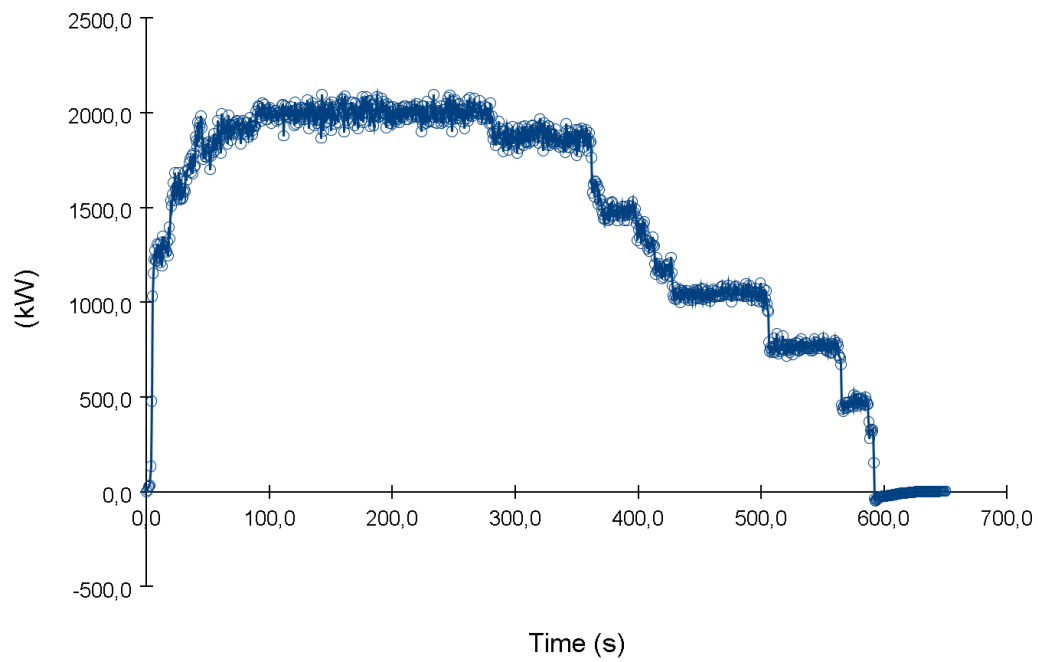
Во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, со согорување на 45 литри на дизел гориво и со погоре споменатите хемиски и физички карактеристики ги добиваме следниве резултати:



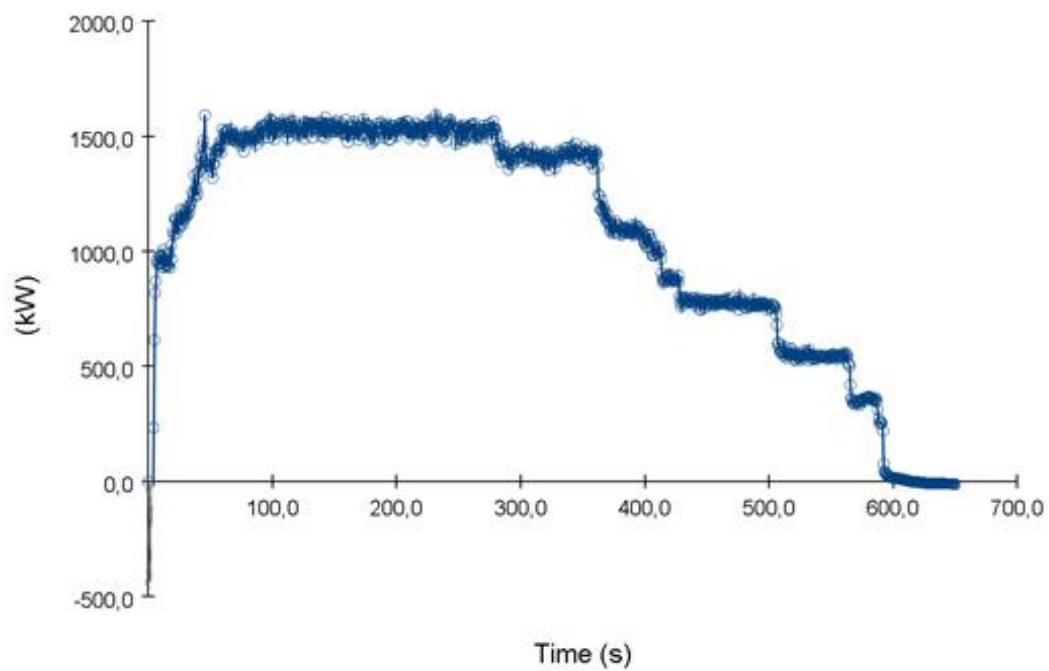
Слика 2.12. Стапка на ослободување на топлина
Figure 2.12. Heat release rate - HRR



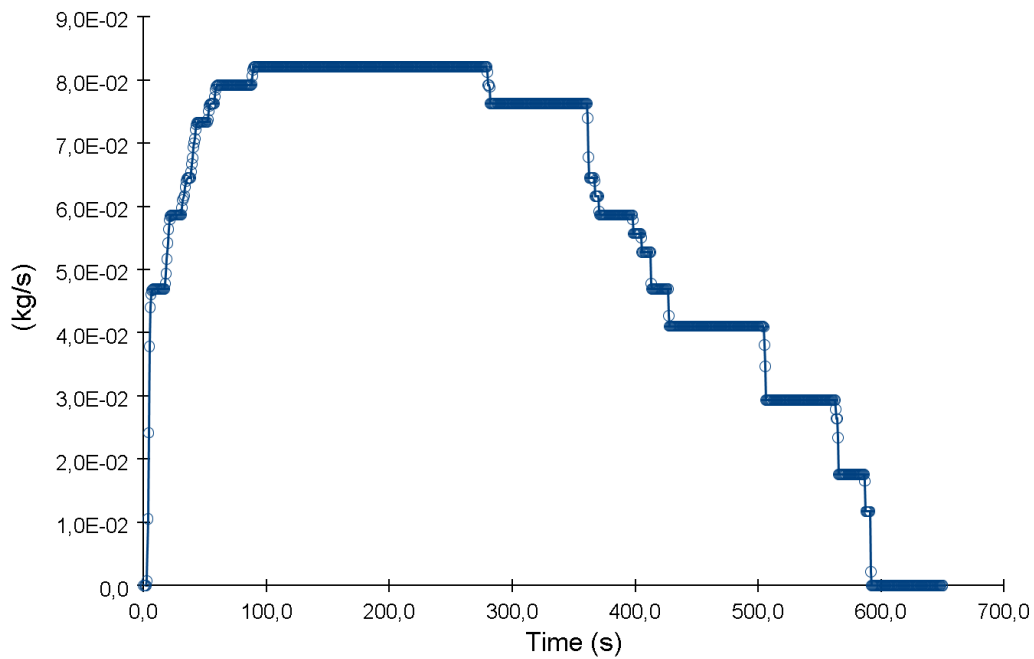
Слика 2.13. Пренос на топлина со радијација
Figure 2.13. Heat transfer by radiation



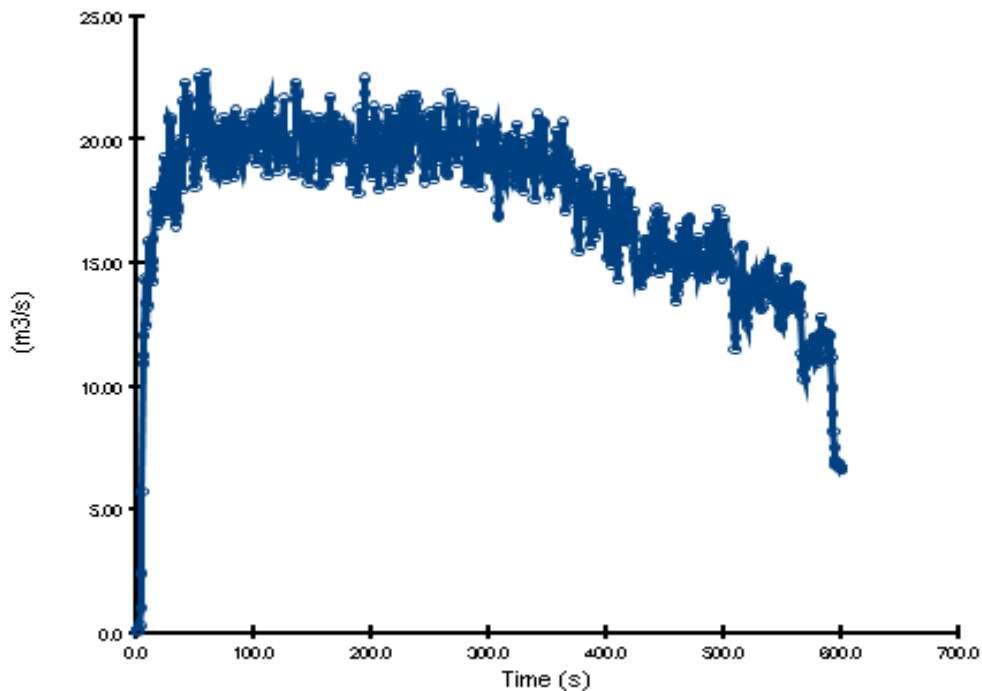
Слика 2.14. Пренос на топлина со конвекција
 Figure 2.14. Heat transfer by convection



Слика 2.15. Пренос на топлина со кондукција
 Figure 2.15. Heat transfer by conduction

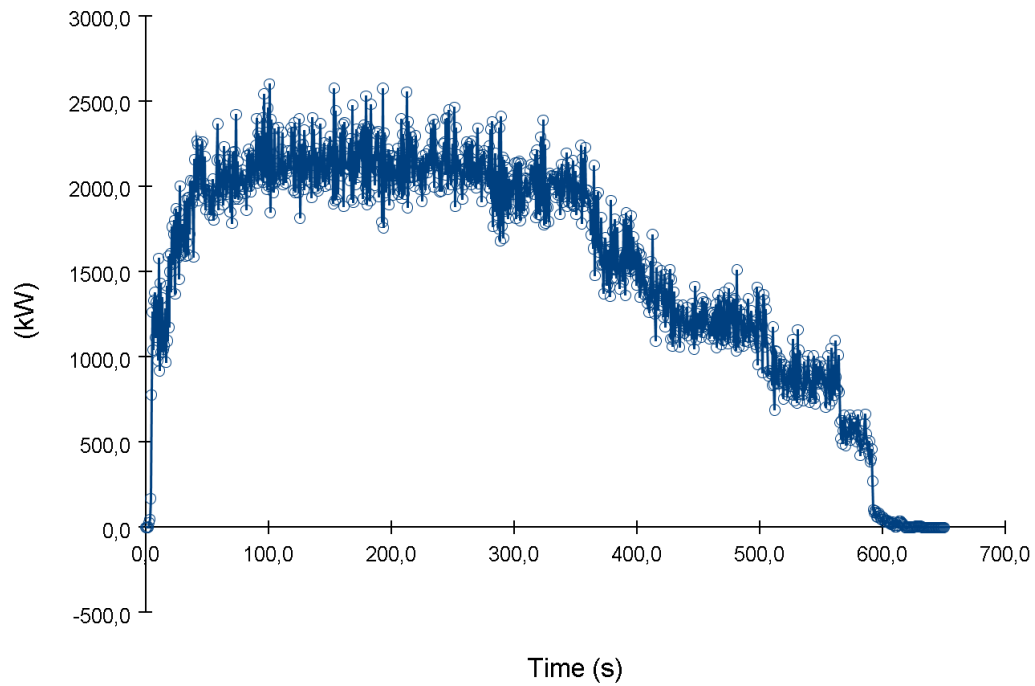


Слика 2.16. Стапка на горење на материјалот (дизел гориво)
 Figure 2.16. Burning rate of material (diesel fuel)

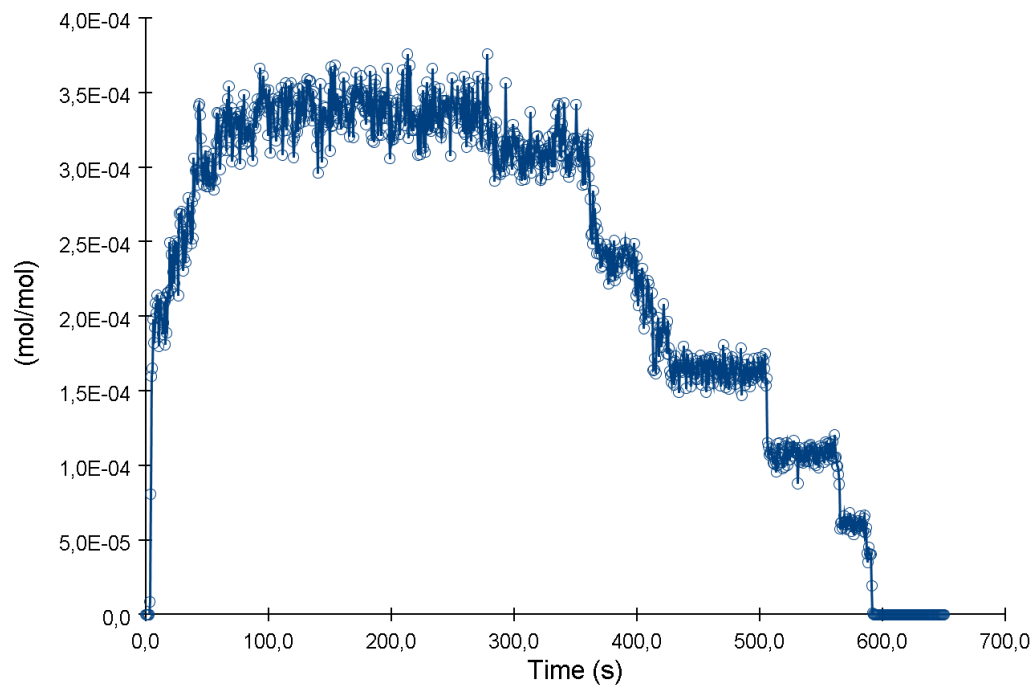


Слика 2.17. Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од
 пожарот

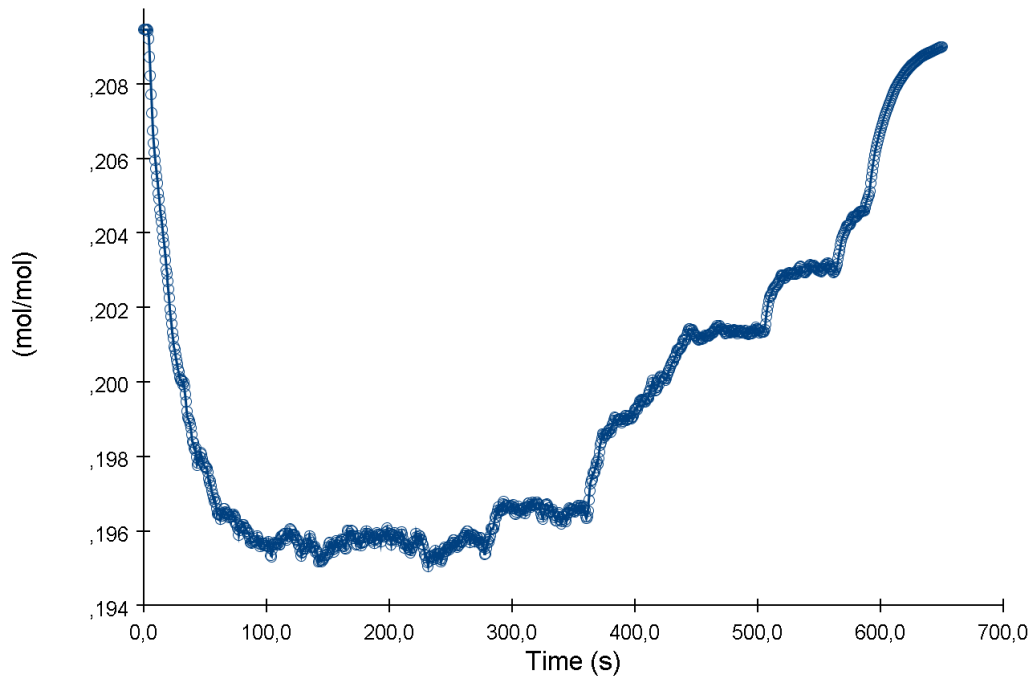
Figure 2.17. Volume flow of smoke and fire gases generated by the fire



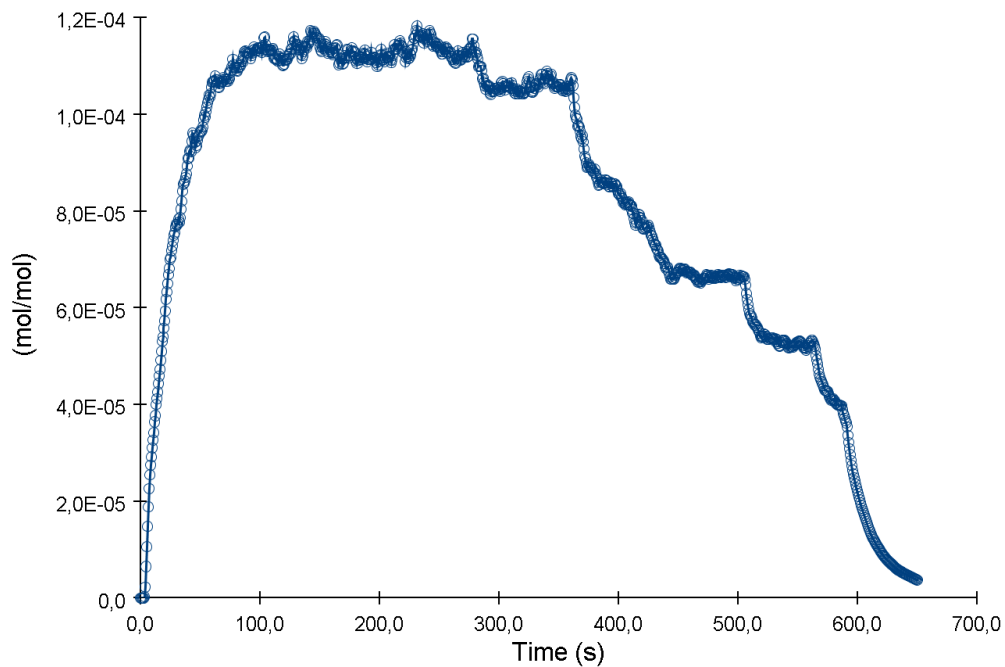
Слика 2.18. Проток на топлина од пожарот
 Figure 2.18. Heat flow from fire



Слика 2.19. Генерирање на јаглерод монооксид - CO од пожарот
 Figure 2.19. Generation of carbon monoxide - CO from fire



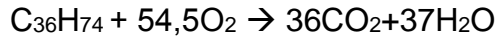
Слика 2.20. Волуменска содржина на кислород во пожарното место
 Figure 2.20. Volume oxygen content in the fire place



Слика 2.21. Генерирање на саѓи од пожарот
 Figure 2.21. Generating soot from fire

➤ **Согорување на Хидраулично масло од електро-хидраулична дупчалка Boomer 281**

Хидраулично масло - топлина на согорување



Моларна маса $C_{36}H_{74} = 36 * 12,001 + 74 * 1,008 = 506,3 \text{ g/mol}$

Сооднос на горење O_2 : Хидраулично масло

$$O_2: \text{Хидраулично масло} = \frac{54,5 * 2 * 15,9}{506,3} = 3,42 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg Хидраулично масло}}$$

$$O_2 \text{ е } 23\% \text{ од масата на воздухот} = \frac{3,42 * 100}{23} = 14,86 \frac{\text{kg воздух}}{\text{kg гориво}}$$

Енталпија на формирање:

$$C_{12}H_{23} = -188,04 \text{ kJ/mol}$$

$$CO_2 = -393 \text{ kJ/mol}$$

$$H_2O = -286 \text{ kJ/mol}$$

$$O_2 = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$37 * (-286) + 36(-394) - 54,5 * 0 - (-188,04) = -24.578 \text{ kJ/mol}$$

Конвертирање на -24.578 kJ/mol во $\text{kJ/kg} =$

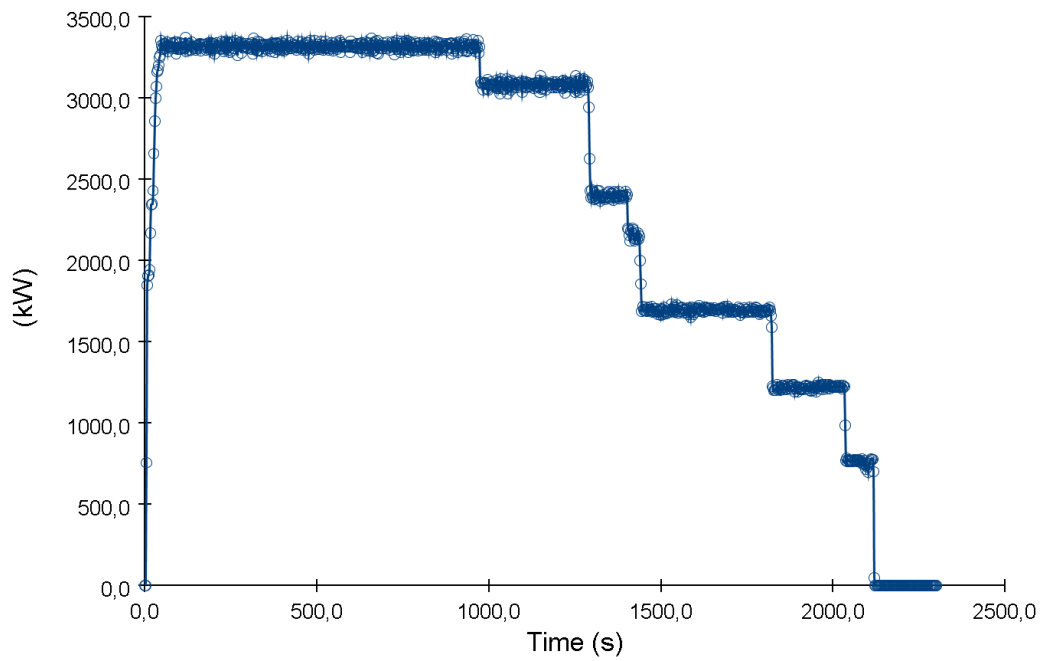
$$= \frac{\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{\text{molar mass}} * 1.000 = \frac{-24.578}{506,3} * 1.000 = -48.544 \text{ kJ/kg}$$

Табела 2.3. Хемиски и физички карактеристики на хидраулично масло

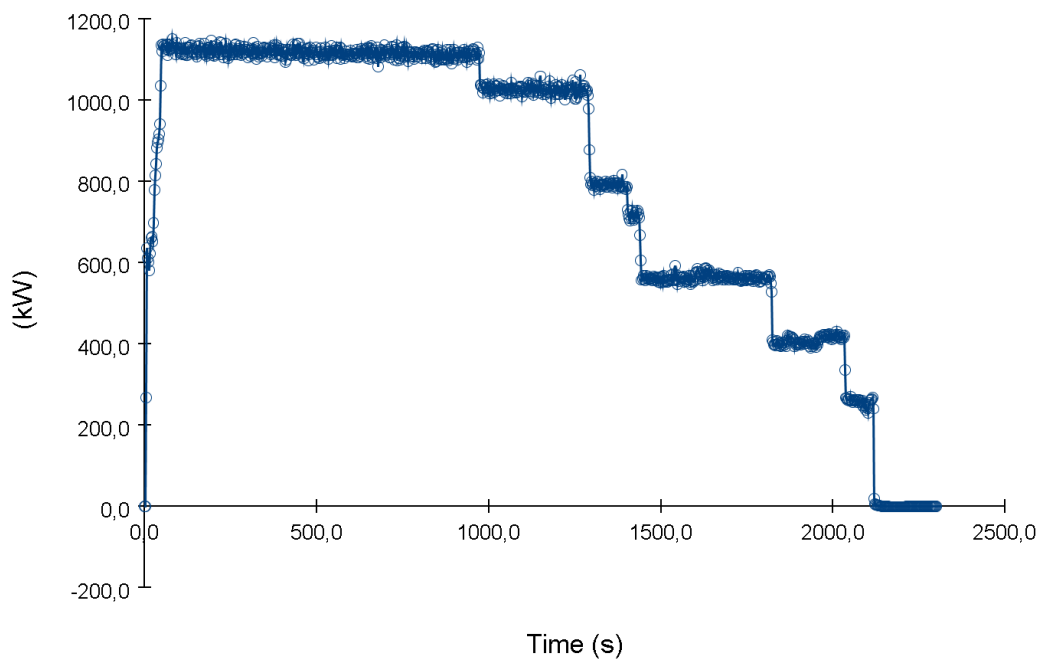
Table 2.3. Chemical and physical characteristics of hydraulic oil

Хидраулично масло	
Капацитет на резервоар	124 л
Густина на хидраулично масло	760 kg/m ³
Поедноставена хемиска (hydrocarbon) формула	C ₃₆ H ₇₄
Топлина на согорување	48.544 kJ/kg
Стапка на горење на материјалот kg/m ² *s (експериментален податок) [81]	0,039 kg/m ² *s

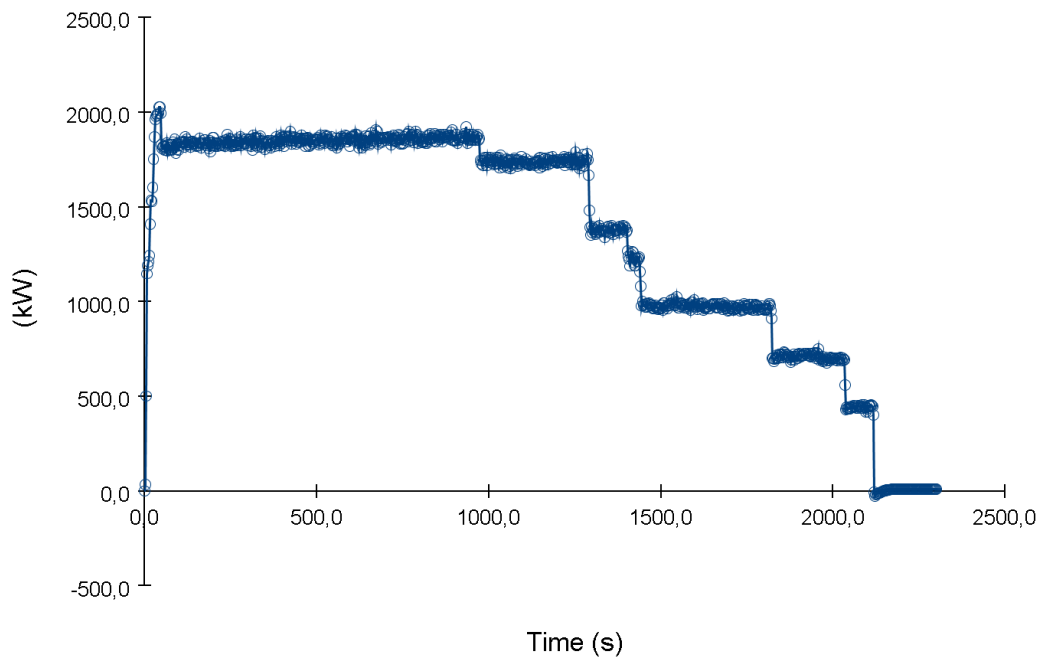
Во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, со согорување на 124 литри на хидраулично масло и со погоре споменатите хемиски и физички карактеристики ги добиваме следниве резултати:



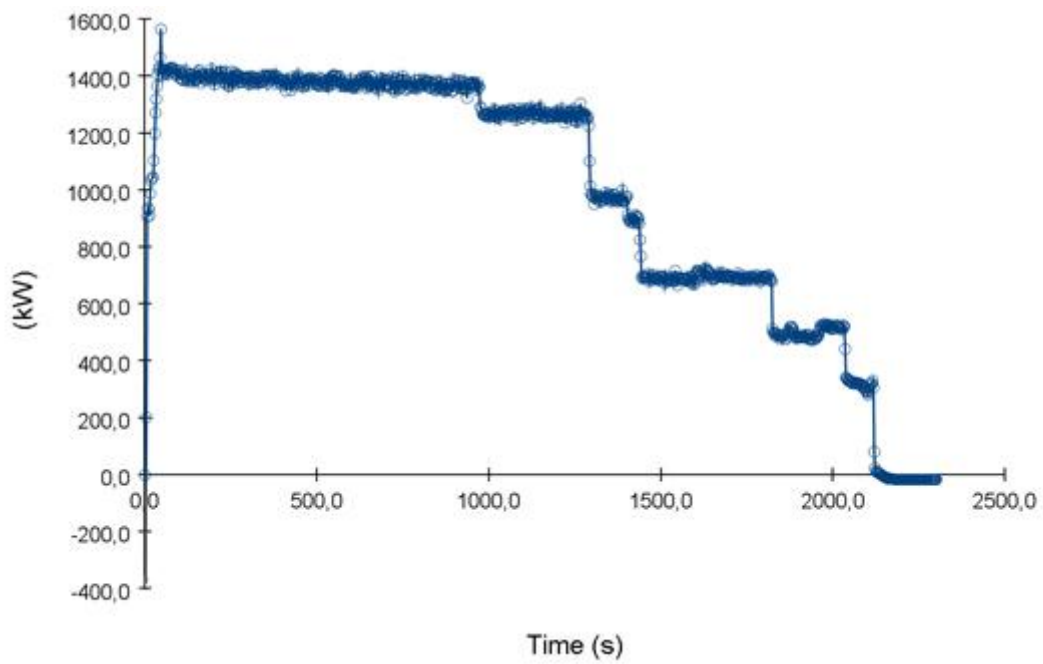
Слика 2.22. Стапка на ослободување на топлина
 Figure 2.22. Heat release rate - HRR



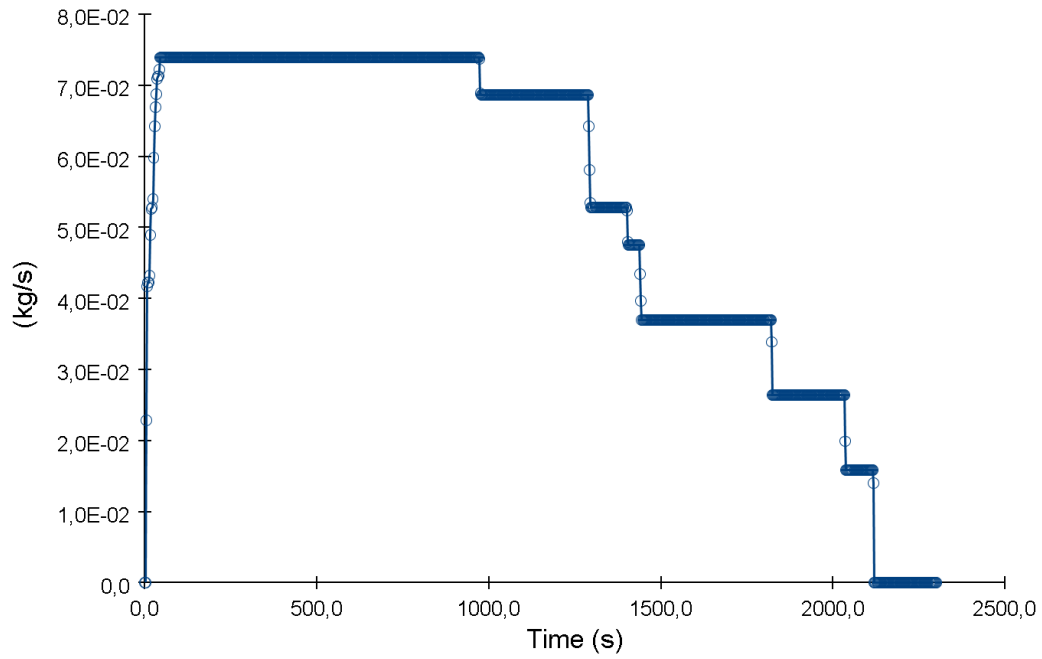
Слика 2.23. Пренос на топлина со радијација
 Figure 2.23. Heat transfer by radiation



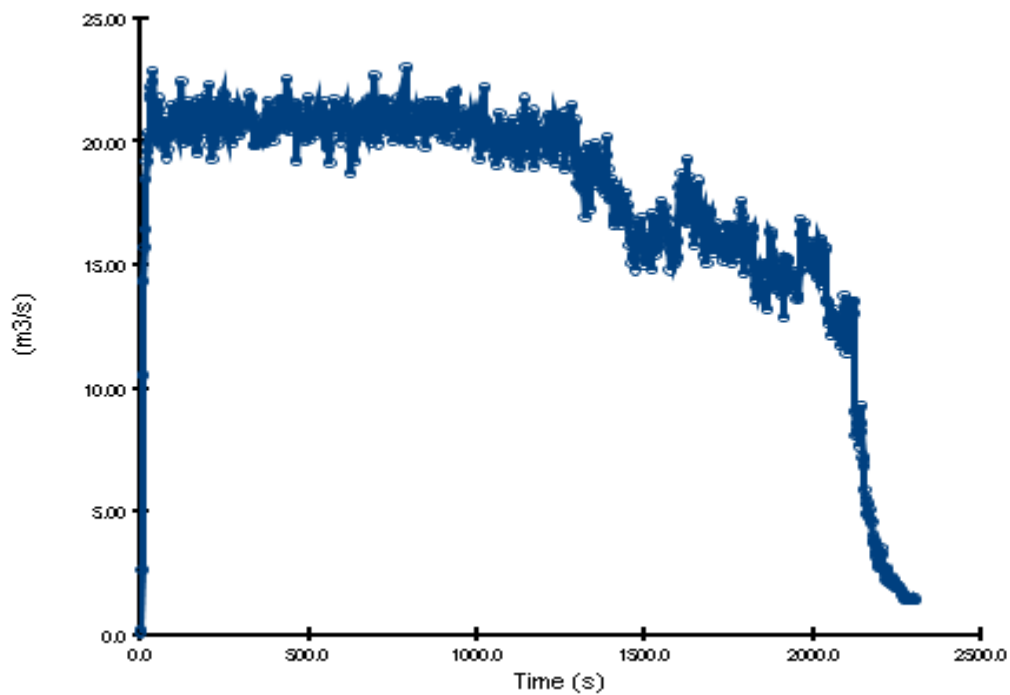
Слика 2.24. Пренос на топлина со конвекција
 Figure 2.24. Heat transfer by convection



Слика 2.25. Пренос на топлина со кондукција
 Figure 2.25. Heat transfer by conduction

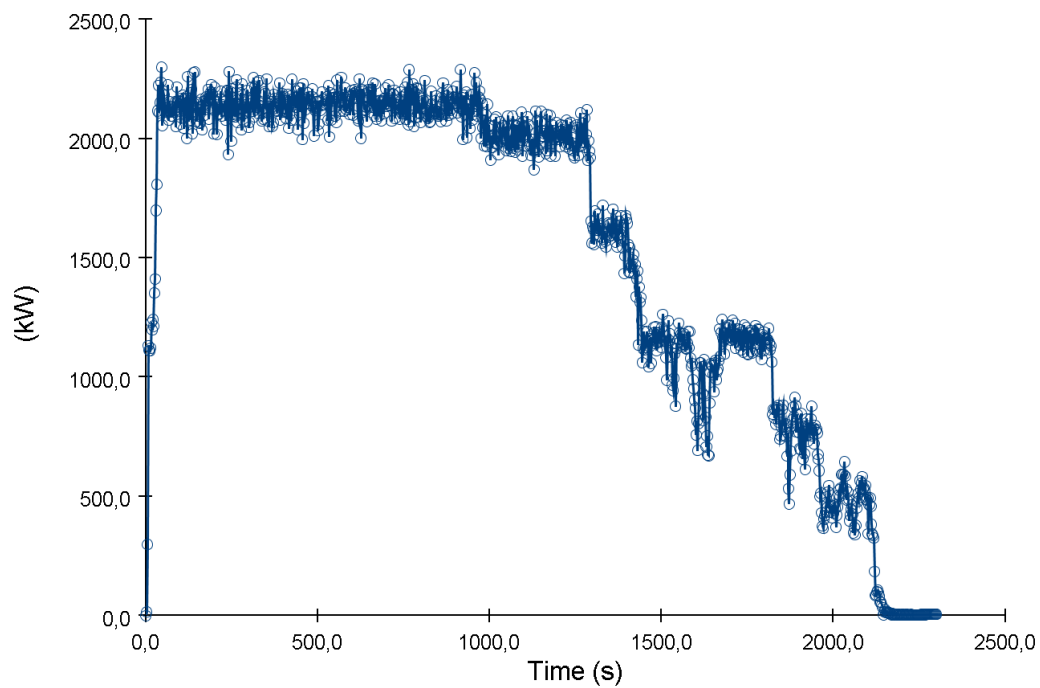


Слика 2.26. Стапка на горење на материјалот (хидраулично масло)
 Figure 2.26. Burning rate of material (hydraulic oil)



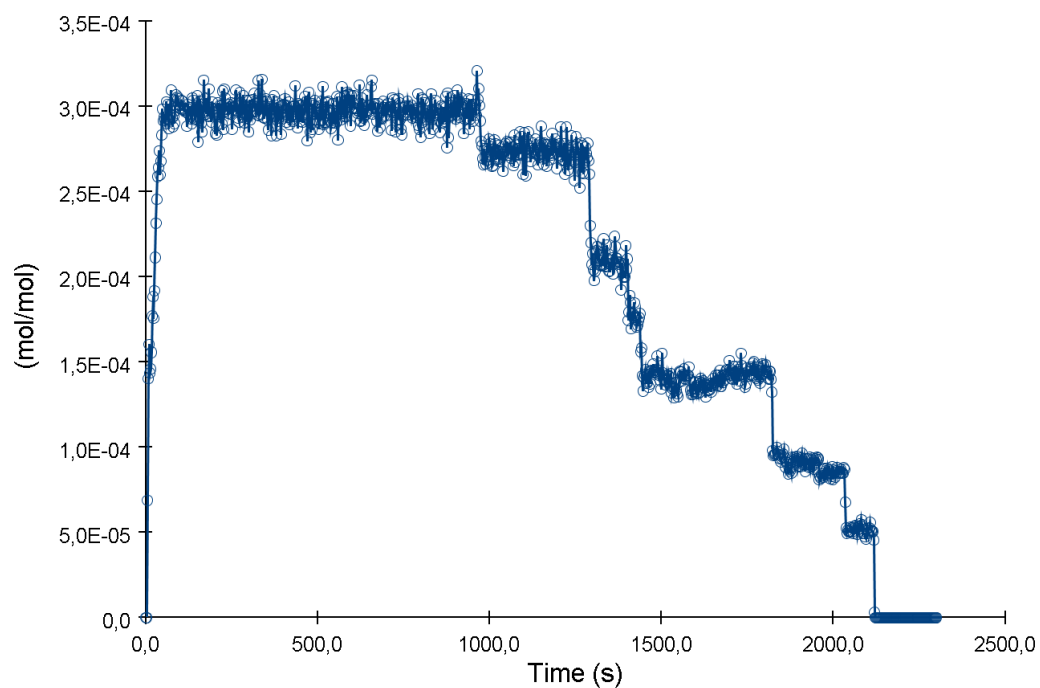
Слика 2.27. Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од
 пожарот

Figure 2.27. Volume flow of smoke and fire gases generated by the fire



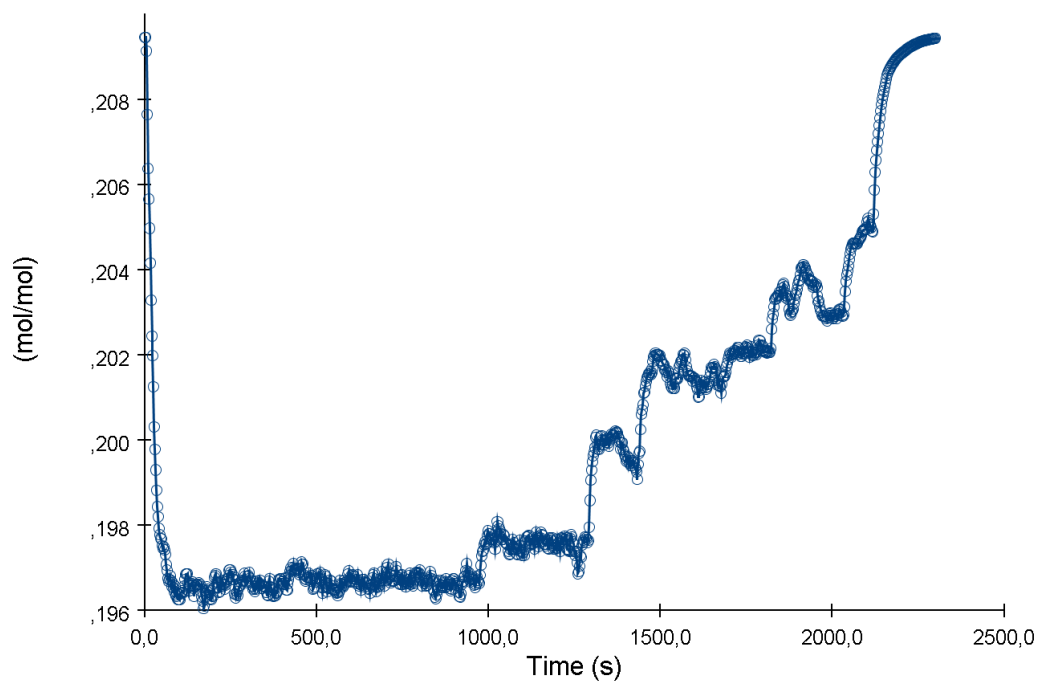
Слика 2.28. Проток на топлина од пожарот

Figure 2.28. Heat flow from fire

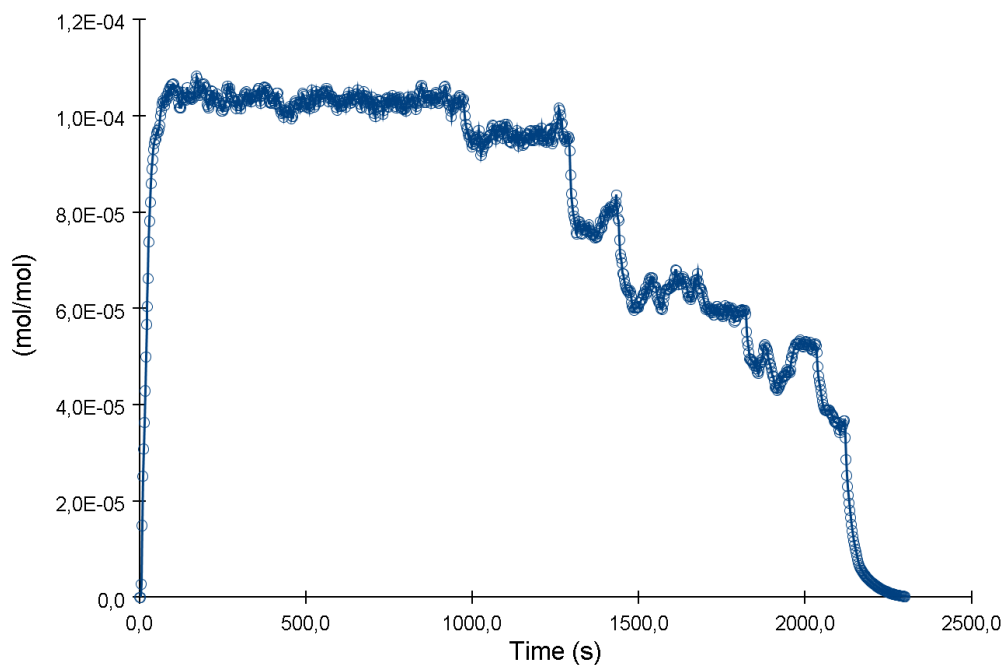


Слика 2.29. Генерирање на јаглерод монооксид - CO од пожарот

Figure 2.29. Generation of carbon monoxide - CO from fire



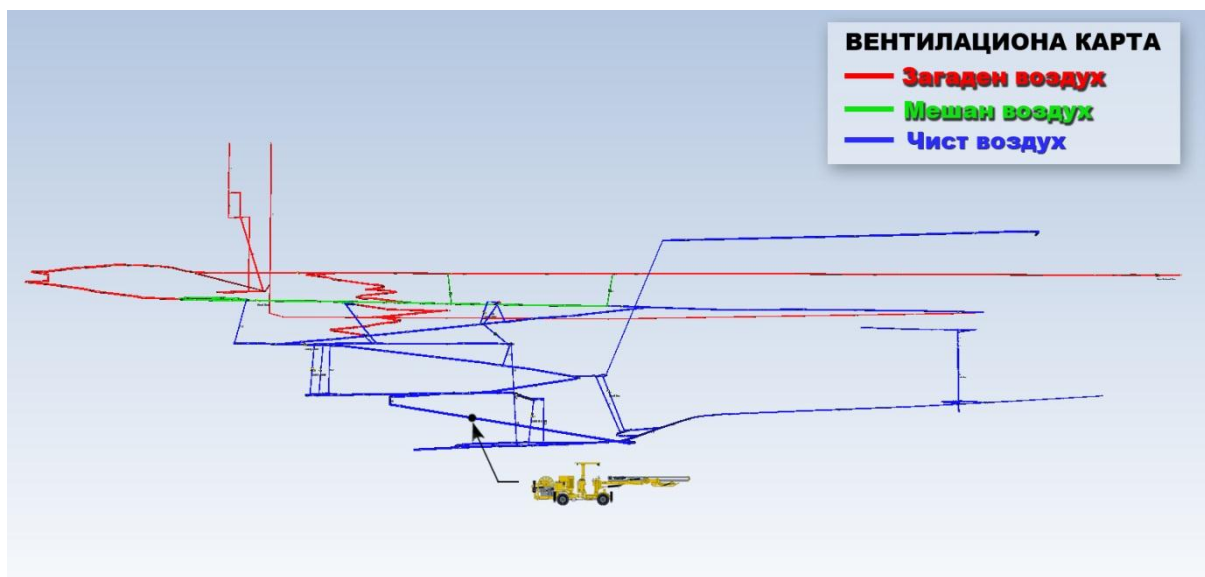
Слика 2.30. Волуменска содржина на кислород во пожарното место
 Figure 2.30. Volume oxygen content in the fire place



Слика 2.31. Генерирање на саѓи од пожарот
 Figure 2.31. Generating soot from fire

2.1 Систем за евакуација и спасување од пожар настанат од електро-хидраулична дупчалка Boomer 281

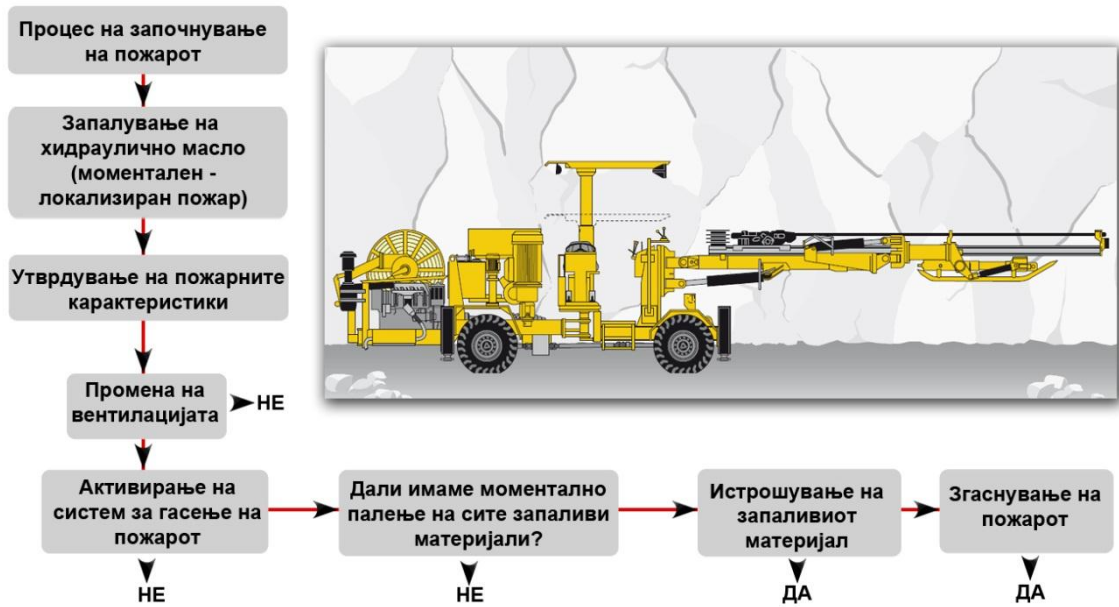
За идентификување на можните пожарни сценарија во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ ги користевме прирачниците за работните процесите и работната можанизација со што беше направена анализа на пожарен ризик со чија помош ги идентификувавме локациите на можните пожарни сценарија од електро-хидраулична дупчалка Boomer 281.



Слика 2.32. Локација на можно пожарно сценарио од електро-хидраулична дупчалка, Boomer 281

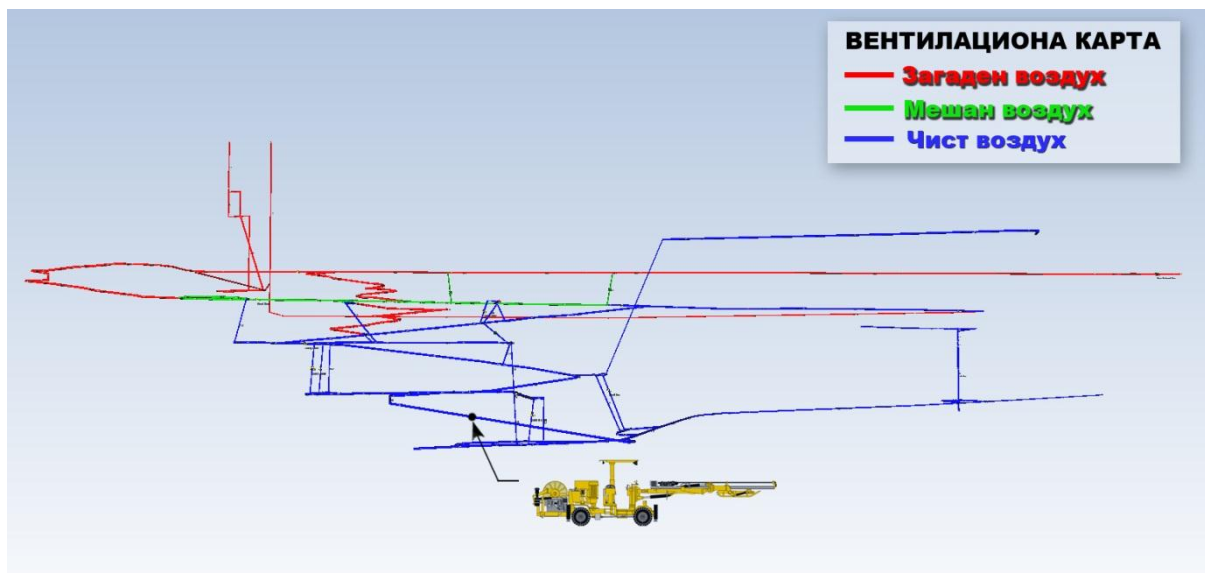
Figure 2.32. Locations of possible fire scenarios from electro hydraulic drill rig, Boomer 281

2.2.1 Пожарно сценарио-7



Слика 2.33. Моделирање на пожарно сценарио-7

Figure 2.33. Modeling of fire scenario-7



Слика 2.34. Локација на моделираното пожарно сценарио-7

Figure 2.34. Location of fire scenario-7

За моделирање на пожарно сценарио-7 ќе претпоставиме механички проблем на електро-хидраулична дупчалка Boomer 281, од кој ќе истече хидрауличното масло од резервоарот и истото ќе се запали. Капацитетот на резервоарот за хидрауличното масло на работната механизација Boomer 281 е 124 литри.

За пресметка на движењето на чадот и пожарните гасови во предходно зададена локација во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „CACA“ ќе го користиме софтверот MINEFIRE PRO+.

Во софтверот MINEFIRE PRO+ ги внесуваме предходно пресметаните пожарни карактеристики од софтверот Pyrosim, за пожар настанат од истекување на 124 литри на хидраулично масло од електро-хидраулична дупчалка Boomer 281.

Табела 2.4. Влезни пожарни параметри во софтверот MINEFIRE PRO+ за пожарно сценарио-7

Table 2.4. Input fire parameters in software MINEFIRE PRO + for fire scenario-7

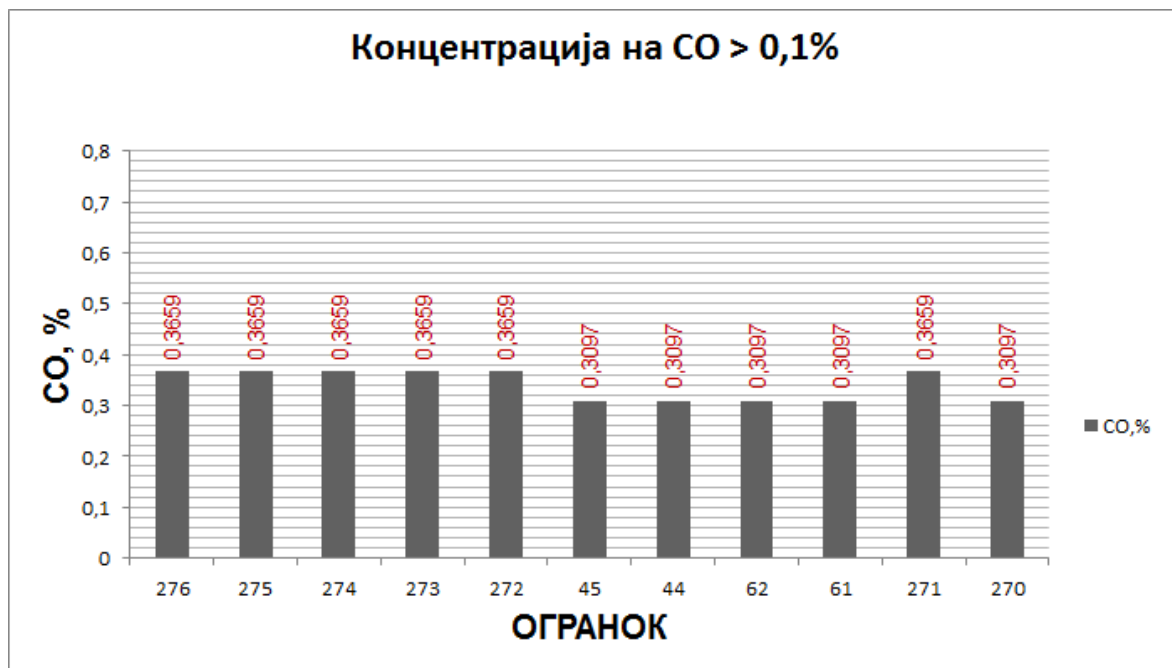
Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот, [m ³ /s]	Концентрација на јаглерод моноксид во волуменскиот проток на чад и пожарни гасови CO, [%]	Проток на топлина од пожарот, [kW]	Концентрација на кислород во пожарното место O ₂ , [%]	Волуменски проток на воздух во огранокот Q, [m ³ /s]	Време на целосно развивање на пожарот [min]
14,9	0,0176	1.446,2	20	9,7	1

Од направената анализа и пресметки на пожарното сценарио за електро-хидраулична дупчалка Boomer 281, со влезни параметри дадени во табела 2.4, за моментален (локализиран) пожар настанат од истекување и запалување на 124 литри на хидраулично масло, ги добивме следниве резултати:

Табела 2.5. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-7, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Table 2.5. Analysis and calculations of fire scenario-7, 90 seconds after fire event

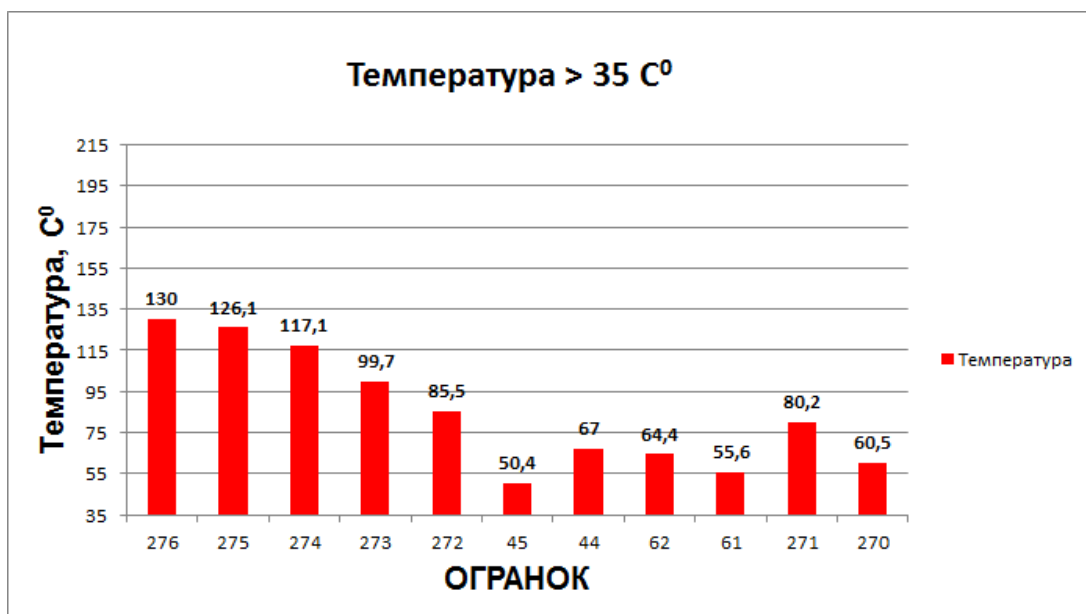
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
276	14,3	130,0	0,3659
275	14,3	126,1	0,3659
274	14,3	117,1	0,3659
273	14,3	99,7	0,3659
272	14,3	85,5	0,3659
45	11,3	50,4	0,3097
44	15,4	67,0	0,3097
62	11,3	64,4	0,3097
61	11,3	55,6	0,3097
271	14,3	80,2	0,3659
270	11,3	60,5	0,3097



Слика 2.35. Критични услови во пожарно сценарио-7, со CO > 0,1%, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 2.35. Critical conditions in fire scenario-7, with CO > 0,1%,

90 seconds after fire event



Слика 2.36. Критични услови во пожарно сценарио-7, со температура >35 C°, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 2.36. Critical conditions in fire scenario-7, with temperature >35 C°, 90 seconds after fire event

Табела 2.6. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-7, на 540 секунди од започнувањето на пожарот

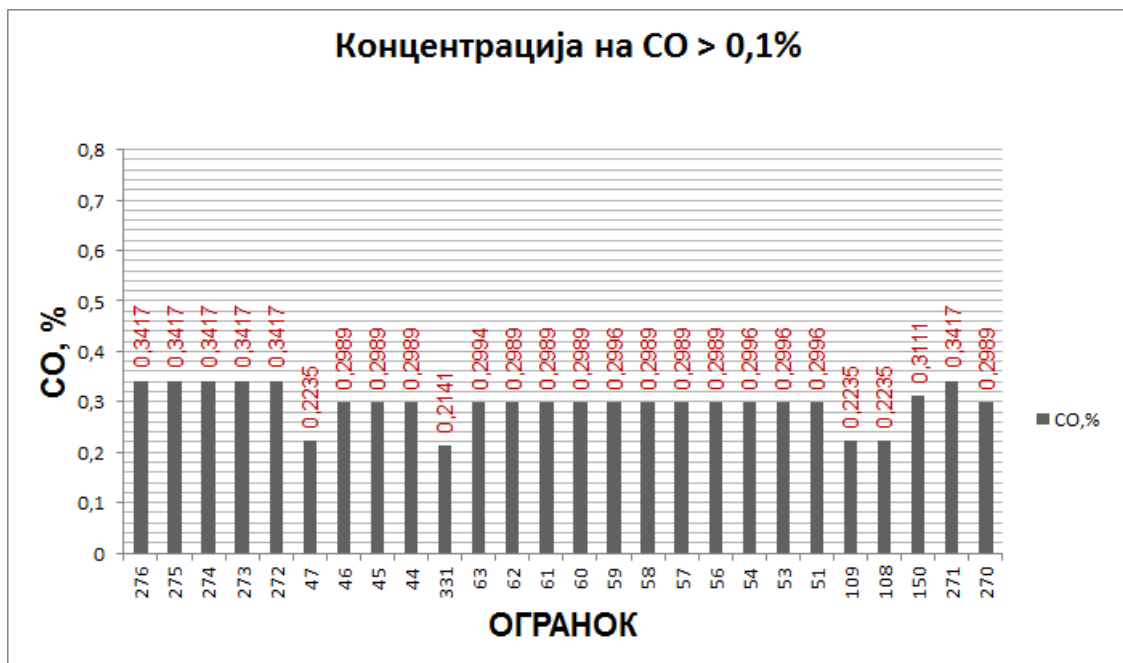
Table 2.6. Analysis and calculations of fire scenario-7, 540 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
287	21,7	20,1	0,0823
286	21,7	20,0	0,0823
285	21,7	20,0	0,0823
281	28,8	20,0	0,0141
276	14,3	115,2	0,3417
275	14,3	111,0	0,3417
274	14,3	101,5	0,3417
273	14,3	84,0	0,3417
272	14,3	70,3	0,3417
302	13,0	19,9	0,0141
301	21,7	20,0	0,0823
300	21,7	20,0	0,0823
299	21,7	20,0	0,0823
298	21,7	20,0	0,0823
297	21,7	20,0	0,0823
296	21,7	20,0	0,0823
295	16,8	20,0	0,0184
294	21,7	20,0	0,0823
293	16,8	19,9	0,0184
292	21,7	20,2	0,0823
291	38,5	19,9	0,0545
290	16,8	20,0	0,0184

289	21,7	20,1	0,0823
288	22,8	20,5	0,0823
316	22,4	20,0	0,0129
314	32,8	20,0	0,0129
47	11,0	24,9	0,2235
46	11,5	35,5	0,2989
45	11,5	39,9	0,2989
44	16,4	55,8	0,2989
36	1,1	20,3	0,0853
35	25,4	20,4	0,0038
34	36,5	20,0	0,0545
33	21,7	20,0	0,0823
32	2,0	20,0	0,0569
331	11,5	22,4	0,2141
329	39,5	20,0	0,0480
328	57,7	20,0	0,0329
63	4,9	48,7	0,2994
62	11,5	53,2	0,2989
61	11,5	44,6	0,2989
60	11,5	33,6	0,2989
59	3,3	27,6	0,2996
58	11,5	31,9	0,2989
57	8,2	30,0	0,2989
56	3,3	30,0	0,2989
54	3,3	26,0	0,2996
53	3,3	26,4	0,2996
51	3,1	25,6	0,2996
346	15,4	20,0	0,0129
345	3,7	20,5	0,0823
344	22,8	20,5	0,0823
75	70,6	20,0	0,0269
367	5,7	20,0	0,0116
366	5,7	20,1	0,0116
95	21,7	20,2	0,0823
81	70,6	20,0	0,0270
80	70,6	20,0	0,0270
379	70,6	21,9	0,0272
371	70,6	20,0	0,0270
109	11,0	22,9	0,2235
108	11,0	23,1	0,2235
106	21,7	20,1	0,0823
105	21,7	20,1	0,0823
104	21,7	20,1	0,0823
103	21,7	20,1	0,0823
102	21,7	20,3	0,0823
101	22,8	20,4	0,0823
100	22,8	20,4	0,0823
99	21,7	20,2	0,0823
98	21,7	20,2	0,0823
97	21,7	20,2	0,0823
96	22,8	20,4	0,0823
126	30,8	20,0	0,0133
125	15,9	20,0	0,0141
124	14,9	20,0	0,0123
123	15,9	20,0	0,0141
122	15,9	19,9	0,0141
121	15,9	19,9	0,0141
120	15,9	19,9	0,0141

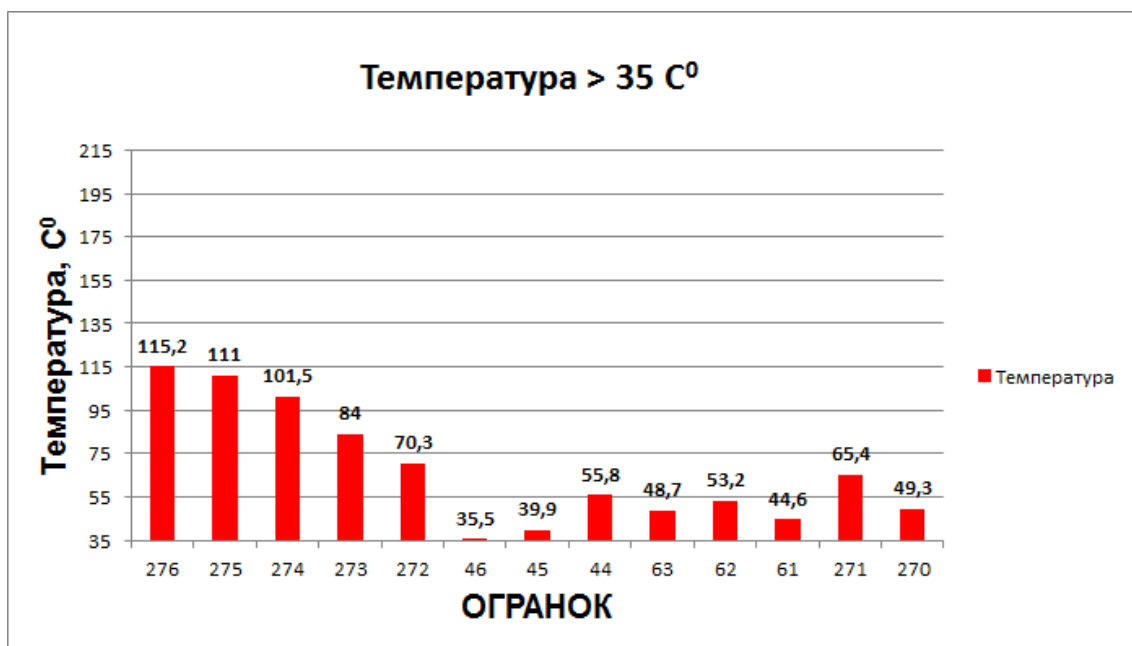
118	57,7	20,0	0,0329
115	28,8	20,2	0,0141
114	28,8	20,2	0,0141
113	28,8	20,2	0,0141
112	28,8	20,2	0,0141
141	38,5	19,9	0,0545
140	36,5	20,0	0,0545
139	21,7	20,0	0,0823
137	30,8	20,0	0,0133
136	30,8	19,9	0,0133
135	30,8	20,0	0,0133
134	30,8	20,0	0,0133
130	2,6	20,0	0,0112
129	4,4	20,0	0,0109
159	3,5	20,4	0,0897
158	3,5	20,4	0,0892
157	3,5	20,6	0,0862
156	3,5	20,8	0,0823
150	4,9	34,3	0,3111
148	26,6	20,7	0,0823
147	30,0	20,8	0,0823
146	26,6	20,6	0,0823
175	41,5	20,0	0,0480
174	41,5	20,0	0,0480
173	41,5	20,0	0,0480
172	41,5	20,0	0,0480
171	41,5	20,0	0,0480
170	41,5	20,0	0,0480
162	25,4	20,3	0,0038
161	25,4	20,3	0,0038
160	25,4	20,2	0,0038
191	41,5	19,9	0,0480
190	41,5	19,9	0,0480
189	41,5	19,9	0,0480
188	41,5	19,9	0,0480
187	41,5	19,9	0,0480
186	41,5	19,9	0,0480
185	41,5	19,9	0,0480
184	41,5	19,9	0,0480
183	41,5	19,9	0,0480
182	41,5	19,9	0,0480
181	41,5	19,9	0,0480
180	41,5	20,0	0,0480
179	41,5	20,0	0,0480
178	41,5	20,0	0,0480
177	41,5	20,0	0,0480
176	41,5	20,0	0,0480
207	30,8	20,0	0,0133
206	30,8	19,9	0,0133
205	30,8	19,9	0,0133
204	30,8	19,9	0,0133
203	30,8	19,9	0,0133
202	14,9	20,0	0,0123
201	14,9	20,0	0,0123
200	14,9	19,9	0,0123
199	2,0	20,0	0,0600
198	36,5	20,0	0,0545

197	36,5	20,0	0,0545
196	36,5	20,0	0,0545
211	32,8	20,0	0,0125
210	32,8	20,0	0,0125
209	32,8	20,0	0,0127
208	30,8	20,0	0,0133
239	30,8	20,0	0,0133
238	30,8	19,9	0,0133
237	30,8	19,9	0,0133
236	30,8	19,9	0,0133
235	30,8	19,9	0,0133
234	30,8	19,9	0,0133
233	30,8	19,9	0,0133
232	30,8	19,9	0,0133
247	30,8	19,9	0,0133
246	30,8	19,9	0,0133
245	30,8	19,9	0,0133
244	30,8	19,9	0,0133
243	30,8	19,9	0,0133
242	30,8	19,9	0,0133
241	30,8	19,9	0,0133
240	30,8	19,9	0,0133
271	14,3	65,4	0,3417
270	11,5	49,3	0,2989



Слика 2.37. Критични услови во пожарно сценарио-7, со CO > 0,1%, на 540 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 2.37. Critical conditions in fire scenario-7, with CO > 0,1%, 540 seconds after fire event



Слика 2.38. Критични услови во пожарно сценарио-7, со температура >35 C°, на 540 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 2.38. Critical conditions in fire scenario-7, with temperature >35 C°, 540 seconds after fire event

Табела 2.7. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-7, на 1.080 секунди од започнувањето на пожарот

Table 2.7. Analysis and calculations of fire scenario-7, 1.080 seconds after fire event

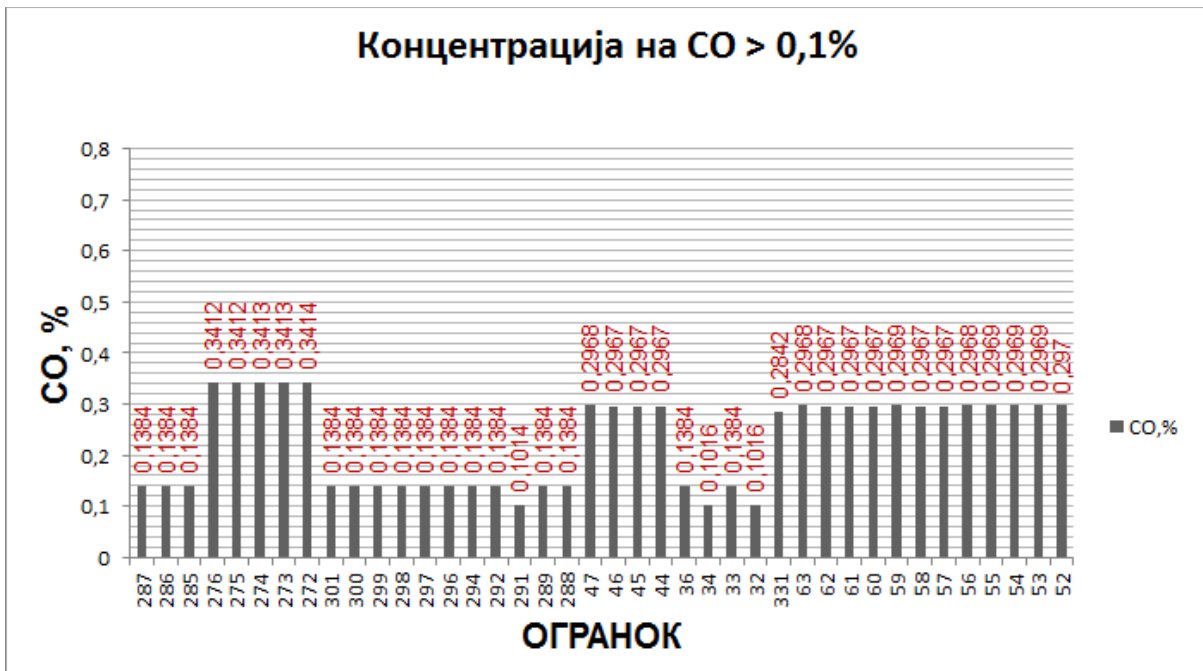
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
287	21,7	20,2	0,1384
286	21,7	20,0	0,1384
285	21,7	20,0	0,1384
281	28,9	20,0	0,0215
276	14,3	114,9	0,3412
275	14,3	110,9	0,3412
274	14,3	101,6	0,3413
273	14,3	84,4	0,3413
272	14,3	70,8	0,3414
303	2,0	20,0	0,0603
302	13,0	19,9	0,0215
301	21,7	20,0	0,1384
300	21,7	20,1	0,1384
299	21,7	20,0	0,1384
298	21,7	20,0	0,1384
297	21,7	20,0	0,1384
296	21,7	20,0	0,1384
295	16,8	20,0	0,0534
294	21,7	20,0	0,1384
293	16,8	19,9	0,0534
292	21,7	20,2	0,1384

291	38,5	20,0	0,1014
290	16,8	20,1	0,0533
289	21,7	20,2	0,1384
288	22,8	20,6	0,1384
316	22,3	20,0	0,0205
315	10,4	19,8	0,0164
314	32,8	20,0	0,0205
313	8,7	19,7	0,0136
312	8,7	19,7	0,0136
311	17,4	19,6	0,0136
310	8,7	19,7	0,0136
309	8,7	19,8	0,0136
308	7,0	19,7	0,0094
307	8,7	19,8	0,0136
306	7,0	19,8	0,0094
305	24,3	20,6	0,0000
304	8,7	20,0	0,0250
47	11,1	26,1	0,2968
46	11,6	35,9	0,2967
45	11,6	40,3	0,2967
44	16,5	56,0	0,2967
39	5,0	20,2	0,0065
38	5,0	20,2	0,0065
36	1,1	20,4	0,1384
35	25,4	20,4	0,0061
34	36,5	20,0	0,1016
33	21,7	20,0	0,1384
32	2,0	20,0	0,1016
334	7,6	20,0	0,0285
333	13,0	20,1	0,0285
332	13,0	20,0	0,0285
331	11,6	23,1	0,2842
329	39,5	20,0	0,0902
328	57,7	20,0	0,0639
325	8,7	19,9	0,0250
324	9,9	20,0	0,0219
323	33,6	20,3	0,0065
322	33,6	20,3	0,0065
63	4,9	49,0	0,2968
62	11,6	53,5	0,2967
61	11,6	45,0	0,2967
60	11,6	34,0	0,2967
59	3,3	27,7	0,2969
58	11,6	32,2	0,2967
57	8,3	30,4	0,2967
56	3,3	30,3	0,2968
55	2,8	24,8	0,2969
54	3,3	25,8	0,2969
53	3,3	26,2	0,2969
52	0,2	25,1	0,2970
51	3,0	25,4	0,2969
50	0,2	24,7	0,2970
347	9,8	19,7	0,0151
346	15,4	20,0	0,0205
345	3,8	20,6	0,1384
344	22,8	20,6	0,1384
79	10,5	20,1	0,0065
78	12,9	20,2	0,0053

76	12,9	20,0	0,0053
75	70,6	20,0	0,0531
74	12,9	20,1	0,0053
71	31,0	20,6	0,0467
70	31,0	20,8	0,0467
367	5,6	20,1	0,0192
366	5,6	20,1	0,0192
95	21,7	20,3	0,1384
94	20,6	20,1	0,0284
81	70,6	20,0	0,0531
80	70,6	20,0	0,0530
379	70,6	21,7	0,0530
374	9,8	20,1	0,0151
372	17,4	19,7	0,0136
371	70,6	20,0	0,0530
109	11,1	23,7	0,2968
108	11,1	24,0	0,2968
106	21,7	20,1	0,1384
105	21,7	20,1	0,1384
104	21,7	20,1	0,1384
103	21,7	20,2	0,1384
102	21,7	20,4	0,1384
101	22,8	20,5	0,1384
100	22,8	20,5	0,1384
99	21,7	20,3	0,1384
98	21,7	20,3	0,1384
97	21,7	20,3	0,1384
96	22,8	20,6	0,1384
127	2,5	20,0	0,0134
126	30,8	20,0	0,0239
125	15,9	20,0	0,0215
124	14,9	20,0	0,0266
123	15,9	20,0	0,0215
122	15,9	19,9	0,0215
121	15,9	19,9	0,0215
120	15,9	19,9	0,0215
119	5,0	20,2	0,0065
118	57,7	20,0	0,0639
117	18,1	20,1	0,0065
116	23,1	20,2	0,0065
115	28,9	20,2	0,0215
114	28,9	20,2	0,0215
113	28,9	20,2	0,0215
112	28,9	20,2	0,0215
143	20,6	20,1	0,0285
142	20,6	20,1	0,0284
141	38,5	20,0	0,1015
140	36,5	20,0	0,1016
139	21,7	20,0	0,1384
138	18,5	20,1	0,0468
137	30,8	20,0	0,0239
136	30,8	19,9	0,0239
135	30,8	20,0	0,0239
134	30,8	20,0	0,0239
133	2,5	20,0	0,0147
132	2,5	20,0	0,0147
131	2,5	20,0	0,0140
130	2,5	20,0	0,0188

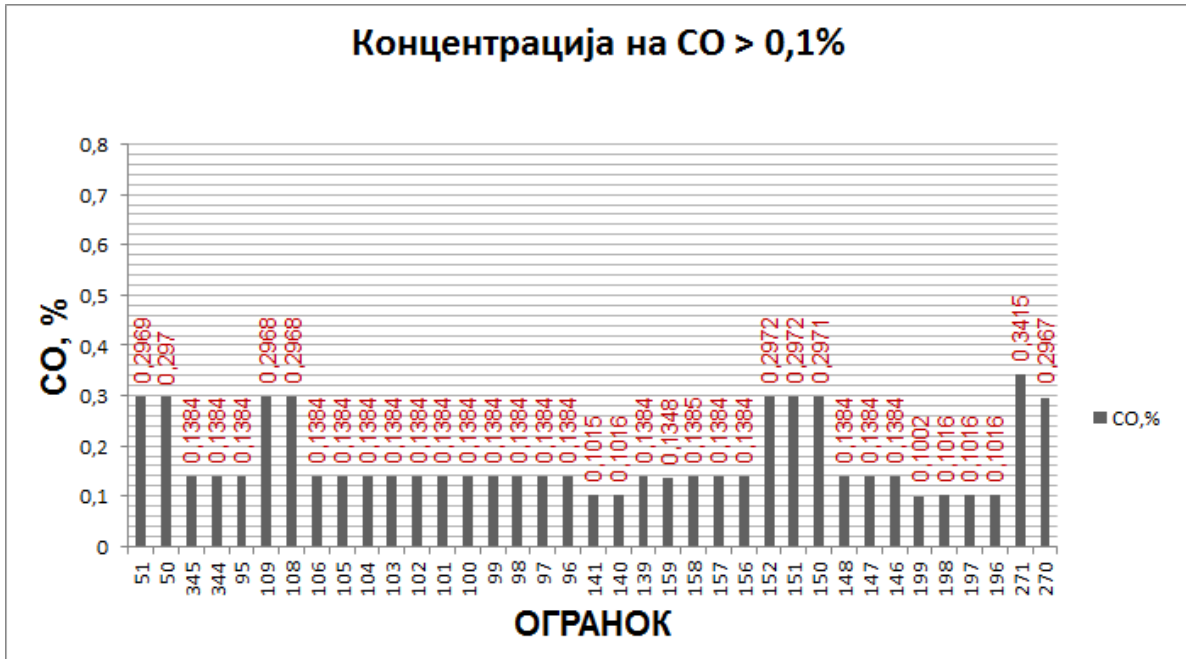
129	4,4	20,0	0,0185
128	2,5	20,0	0,0139
159	3,5	20,4	0,1348
158	3,5	20,5	0,1385
157	3,5	20,8	0,1384
156	3,5	21,0	0,1384
155	18,5	20,2	0,0468
154	18,5	20,3	0,0467
153	18,5	20,5	0,0467
152	4,9	24,8	0,2972
151	4,9	26,0	0,2972
150	4,9	34,7	0,2971
148	26,6	20,9	0,1384
147	30,1	21,1	0,1384
146	26,6	20,7	0,1384
145	13,0	20,0	0,0285
144	12,5	20,4	0,0467
175	41,5	20,0	0,0902
174	41,5	20,0	0,0902
173	41,5	20,0	0,0902
172	41,5	20,0	0,0902
171	41,5	20,0	0,0902
170	41,5	20,0	0,0902
169	5,0	20,2	0,0065
162	25,4	20,3	0,0061
161	25,4	20,3	0,0061
160	25,4	20,2	0,0061
191	41,5	19,9	0,0902
190	41,5	19,9	0,0902
189	41,5	19,9	0,0902
188	41,5	19,9	0,0902
187	41,5	19,9	0,0902
186	41,5	19,9	0,0902
185	41,5	19,9	0,0902
184	41,5	19,9	0,0902
183	41,5	19,9	0,0902
182	41,5	19,9	0,0902
181	41,5	19,9	0,0902
180	41,5	20,0	0,0902
179	41,5	20,0	0,0902
178	41,5	20,0	0,0902
177	41,5	20,0	0,0902
176	41,5	20,0	0,0902
207	30,8	20,0	0,0239
206	30,8	20,0	0,0239
205	30,8	19,9	0,0239
204	30,8	19,9	0,0239
203	30,8	19,9	0,0239
202	14,9	20,0	0,0266
201	14,9	20,0	0,0266
200	14,9	19,9	0,0266
199	2,0	20,0	0,1002
198	36,5	20,0	0,1016
197	36,5	20,0	0,1016
196	36,5	20,0	0,1016
195	5,0	20,2	0,0065
194	23,1	20,3	0,0065

211	32,8	20,0	0,0225
210	32,8	20,0	0,0225
209	32,8	20,0	0,0205
208	30,8	20,0	0,0239
239	30,8	20,0	0,0239
238	30,8	19,9	0,0239
237	30,8	19,9	0,0239
236	30,8	19,9	0,0239
235	30,8	19,9	0,0239
234	30,8	19,9	0,0239
233	30,8	19,9	0,0239
232	30,8	19,9	0,0239
247	30,8	19,9	0,0239
246	30,8	19,9	0,0239
245	30,8	19,9	0,0239
244	30,8	19,9	0,0239
243	30,8	19,9	0,0239
242	30,8	19,9	0,0239
241	30,8	19,9	0,0239
240	30,8	19,9	0,0239
271	14,3	65,9	0,3415
270	11,6	49,6	0,2967

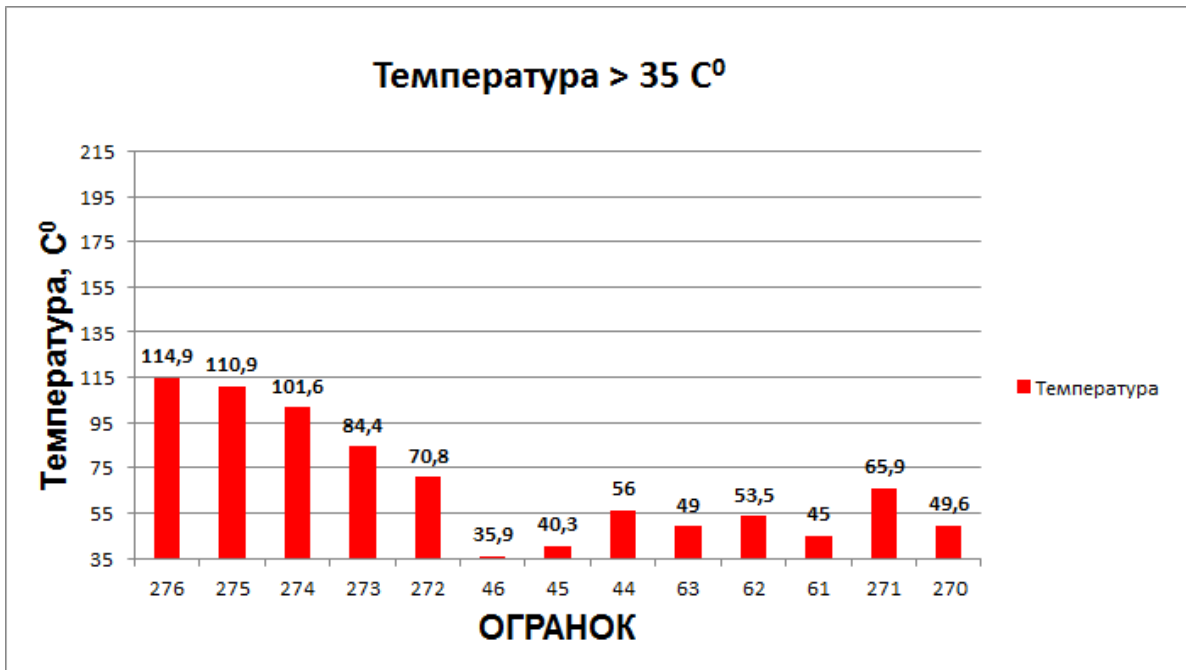


Слика 2.39. Критични услови во пожарно сценарио-7, со CO > 0,1%, на 1.080 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 2.39. Critical conditions in fire scenario-7, with CO > 0,1%, 1.080 seconds after fire event



Слика 2.40. Критични услови во пожарно сценарио-7, со CO > 0,1%, на 1.080 секунди од започнувањето на пожарот
 Figure 2.40. Critical conditions in fire scenario-7, with CO > 0,1%, 1.080 seconds after fire event



Слика 2.41. Критични услови во пожарно сценарио-7, со температура >35 C°, на 1.080 секунди од започнувањето на пожарот
 Figure 2.41. Critical conditions in fire scenario-7, with temperature >35 C°, 1.080 seconds after fire event

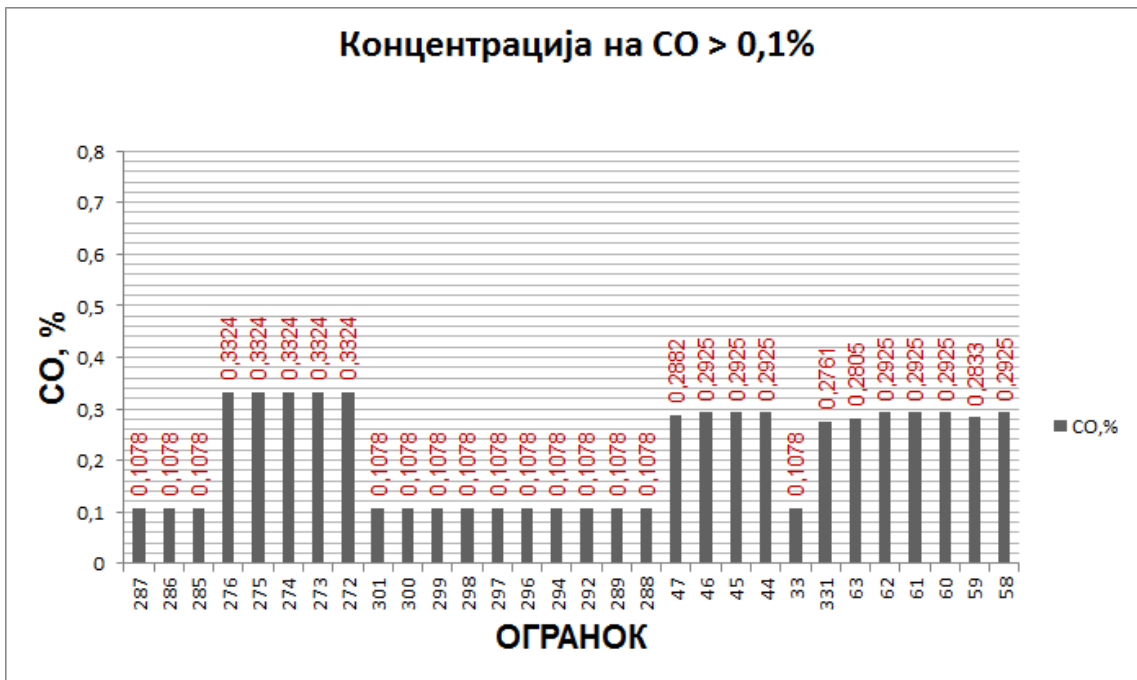
Табела 2.8. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-7, на 1.520 секунди од започнувањето на пожарот

Table 2.8. Analysis and calculations of fire scenario-7, 1.520 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
287	21,7	20,2	0,1078
286	21,7	20,0	0,1078
285	21,7	20,0	0,1078
281	28,8	20,0	0,0118
276	14,1	113,5	0,3324
275	14,1	109,4	0,3324
274	14,1	100,2	0,3324
273	14,1	83,0	0,3324
272	14,1	69,6	0,3324
302	13,0	19,9	0,0118
301	21,7	20,0	0,1078
300	21,7	20,1	0,1078
299	21,7	20,0	0,1078
298	21,7	20,0	0,1078
297	21,7	20,0	0,1078
296	21,7	20,0	0,1078
295	16,8	20,0	0,0241
294	21,7	20,0	0,1078
293	16,8	19,9	0,0241
292	21,7	20,2	0,1078
291	38,5	20,0	0,0714
290	16,8	20,0	0,0241
289	21,7	20,2	0,1078
288	22,8	20,6	0,1078
316	22,4	20,0	0,0096
314	32,8	20,0	0,0096
47	11,3	25,6	0,2882
46	11,7	35,6	0,2925
45	11,7	40,0	0,2925
44	16,0	55,5	0,2925
36	1,1	20,4	0,0868
35	25,4	20,4	0,0038
34	36,5	20,0	0,0714
33	21,7	20,0	0,1078
32	2,0	20,0	0,0548
331	11,7	22,8	0,2761
329	39,5	20,0	0,0628
328	57,7	20,0	0,0430
63	4,3	47,6	0,2805
62	11,7	53,0	0,2925
61	11,7	44,6	0,2925
60	11,7	33,7	0,2925
59	3,3	26,8	0,2833
58	11,7	32,0	0,2925
57	8,5	30,1	0,2925
56	3,3	30,1	0,2921
55	2,8	23,8	0,2751
54	3,3	24,8	0,2833
53	3,3	25,1	0,2833
51	3,0	24,4	0,2833

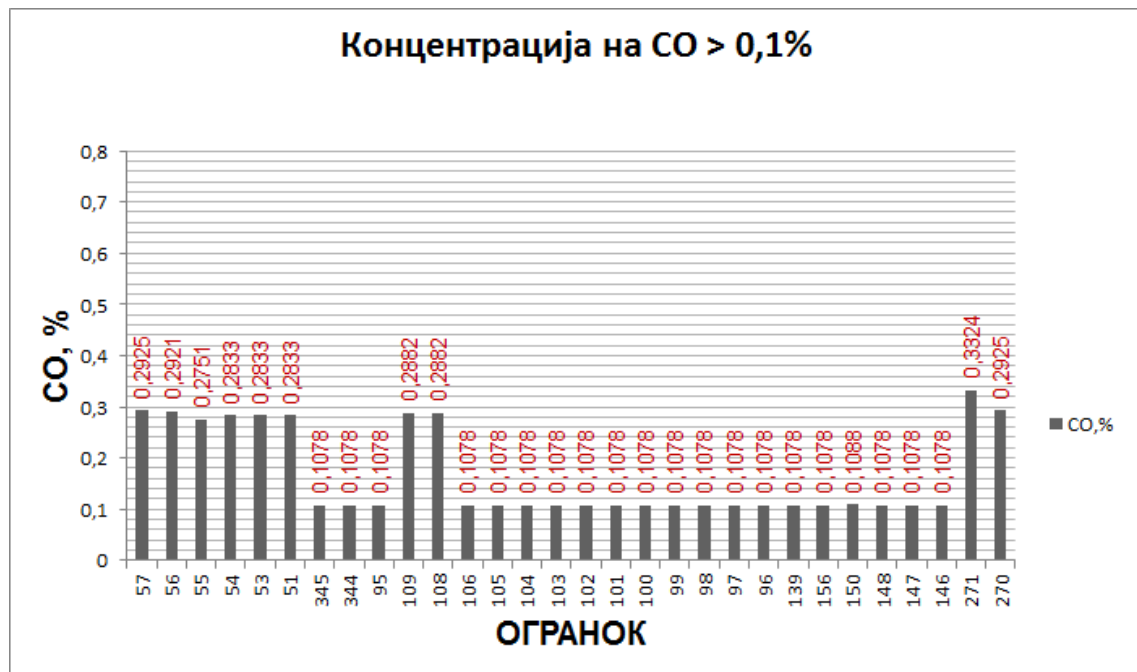
346	15,4	20,0	0,0096
345	3,8	20,6	0,1078
344	22,8	20,6	0,1078
75	70,6	20,0	0,0352
367	5,7	20,0	0,0083
366	5,7	20,1	0,0083
95	21,7	20,3	0,1078
81	70,6	20,0	0,0341
80	70,6	20,0	0,0341
379	70,6	21,8	0,0328
371	70,6	20,0	0,0341
109	11,3	23,4	0,2882
108	11,3	23,6	0,2882
106	21,7	20,1	0,1078
105	21,7	20,1	0,1078
104	21,7	20,1	0,1078
103	21,7	20,1	0,1078
102	21,7	20,4	0,1078
101	22,8	20,4	0,1078
100	22,8	20,5	0,1078
99	21,7	20,3	0,1078
98	21,7	20,3	0,1078
97	21,7	20,3	0,1078
96	22,8	20,5	0,1078
126	30,8	20,0	0,0110
125	15,9	20,0	0,0118
124	14,9	20,0	0,0102
123	15,9	19,9	0,0118
122	15,9	19,9	0,0118
121	15,9	19,9	0,0118
120	15,9	19,9	0,0118
118	57,7	20,0	0,0430
115	28,8	20,2	0,0118
114	28,8	20,2	0,0118
113	28,8	20,2	0,0118
112	28,8	20,2	0,0118
141	38,5	19,9	0,0714
140	36,5	20,0	0,0714
139	21,7	20,0	0,1078
137	30,8	20,0	0,0110
136	30,8	19,9	0,0110
135	30,8	20,0	0,0110
134	30,8	20,0	0,0110
130	2,6	20,0	0,0080
129	4,4	20,0	0,0077
159	3,5	20,3	0,0708
158	3,5	20,4	0,0722
157	3,5	20,7	0,0799
156	3,5	20,9	0,1078
150	4,3	29,3	0,1088
148	26,6	20,9	0,1078
147	30,1	20,9	0,1078
146	26,6	20,7	0,1078
175	41,5	20,0	0,0628
174	41,5	20,0	0,0628
173	41,5	20,0	0,0628
172	41,5	20,0	0,0628
171	41,5	20,0	0,0628

170	41,5	20,0	0,0628
162	25,4	20,3	0,0038
161	25,4	20,3	0,0038
160	25,4	20,2	0,0038
191	41,5	19,9	0,0628
190	41,5	19,9	0,0628
189	41,5	19,9	0,0628
188	41,5	19,9	0,0628
187	41,5	19,9	0,0628
186	41,5	19,9	0,0628
185	41,5	19,9	0,0628
184	41,5	19,9	0,0628
183	41,5	19,9	0,0628
182	41,5	19,9	0,0628
181	41,5	19,9	0,0628
180	41,5	20,0	0,0628
179	41,5	20,0	0,0628
178	41,5	20,0	0,0628
177	41,5	20,0	0,0628
176	41,5	20,0	0,0628
207	30,8	20,0	0,0110
206	30,8	20,0	0,0110
205	30,8	19,9	0,0110
204	30,8	19,9	0,0110
203	30,8	19,9	0,0110
202	14,9	20,0	0,0102
201	14,9	20,0	0,0102
200	14,9	19,9	0,0102
199	2,0	20,0	0,0449
198	36,5	20,0	0,0714
197	36,5	20,0	0,0714
196	36,5	20,0	0,0714
211	32,8	20,0	0,0104
210	32,8	20,0	0,0104
209	32,8	20,0	0,0097
208	30,8	20,0	0,0110
239	30,8	20,0	0,0110
238	30,8	19,9	0,0110
237	30,8	19,9	0,0110
236	30,8	19,9	0,0110
235	30,8	19,9	0,0110
234	30,8	19,9	0,0110
233	30,8	19,9	0,0110
232	30,8	19,9	0,0110
247	30,8	19,9	0,0110
246	30,8	19,9	0,0110
245	30,8	19,9	0,0110
244	30,8	19,9	0,0110
243	30,8	19,9	0,0110
242	30,8	19,9	0,0110
241	30,8	19,9	0,0110
240	30,8	19,9	0,0110
271	14,1	64,8	0,3324
270	11,7	49,2	0,2925



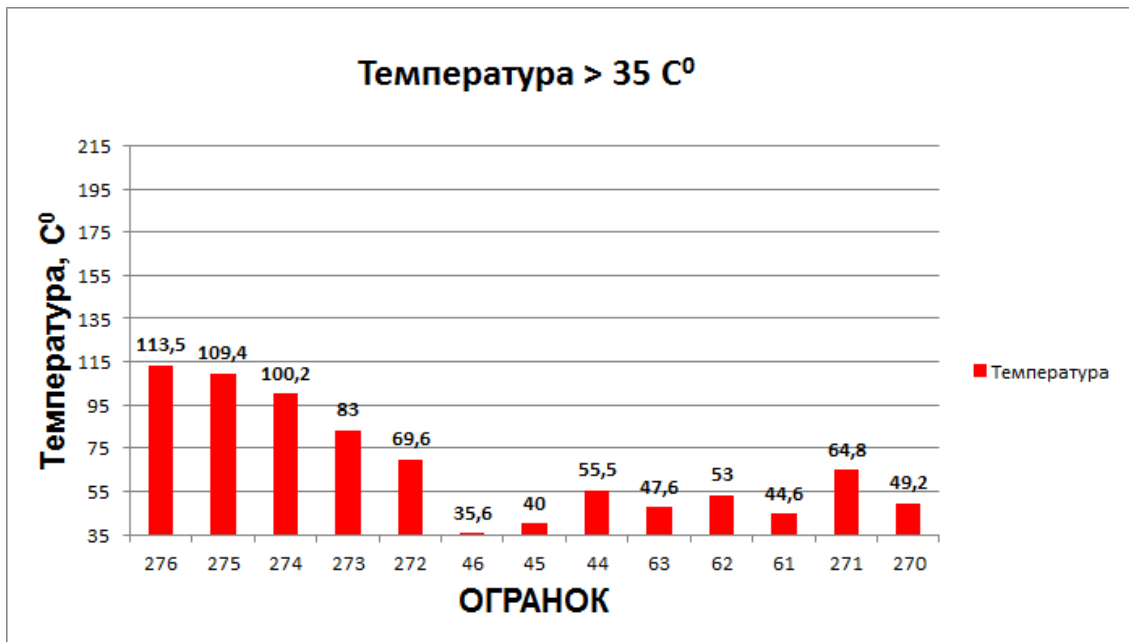
Слика 2.42. Критични услови во пожарно сценарио-7, со CO > 0,1%, на 1.520 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 2.42. Critical conditions in fire scenario-7, with CO > 0,1%, 1.520 seconds after fire event



Слика 2.43. Критични услови во пожарно сценарио-7, со CO > 0,1%, на 1.520 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 2.43. Critical conditions in fire scenario-7, with CO > 0,1%, 1.520 seconds after fire event



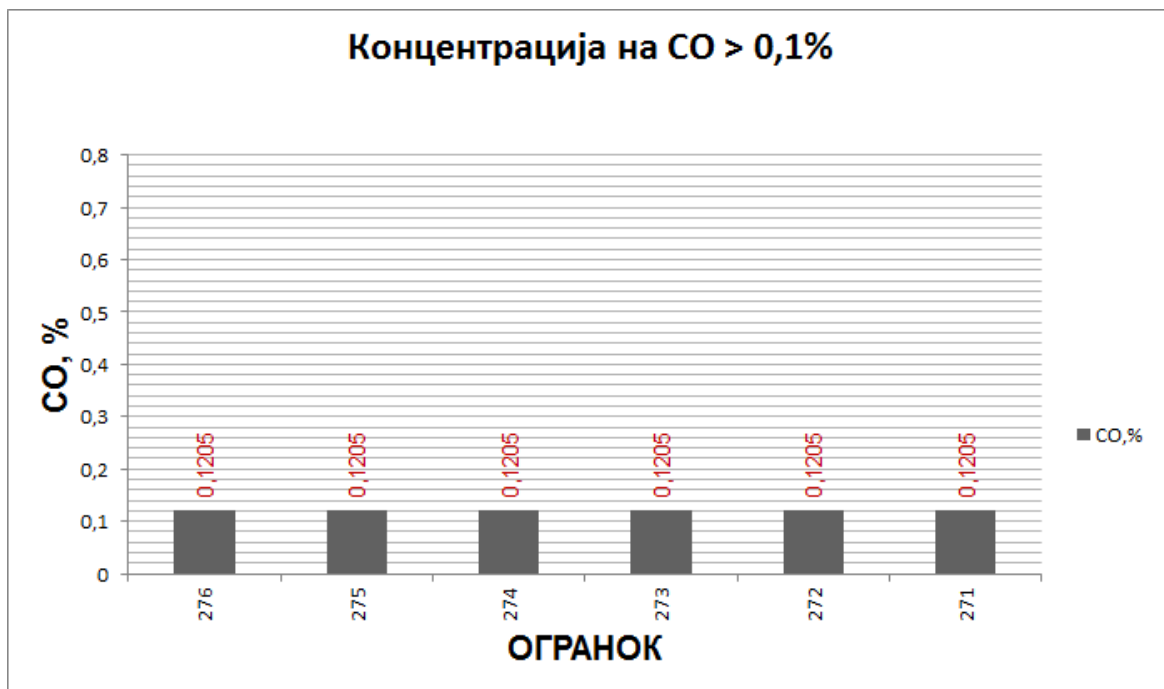
Слика 2.44. Критични услови во пожарно сценарио-7, со температура >35 C°, на 1.520 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 2.44. Critical conditions in fire scenario-7, with temperature >35 C°, 1.520 seconds after fire event

Табела 2.9. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-7, на 2.210 секунди од започнувањето на пожарот

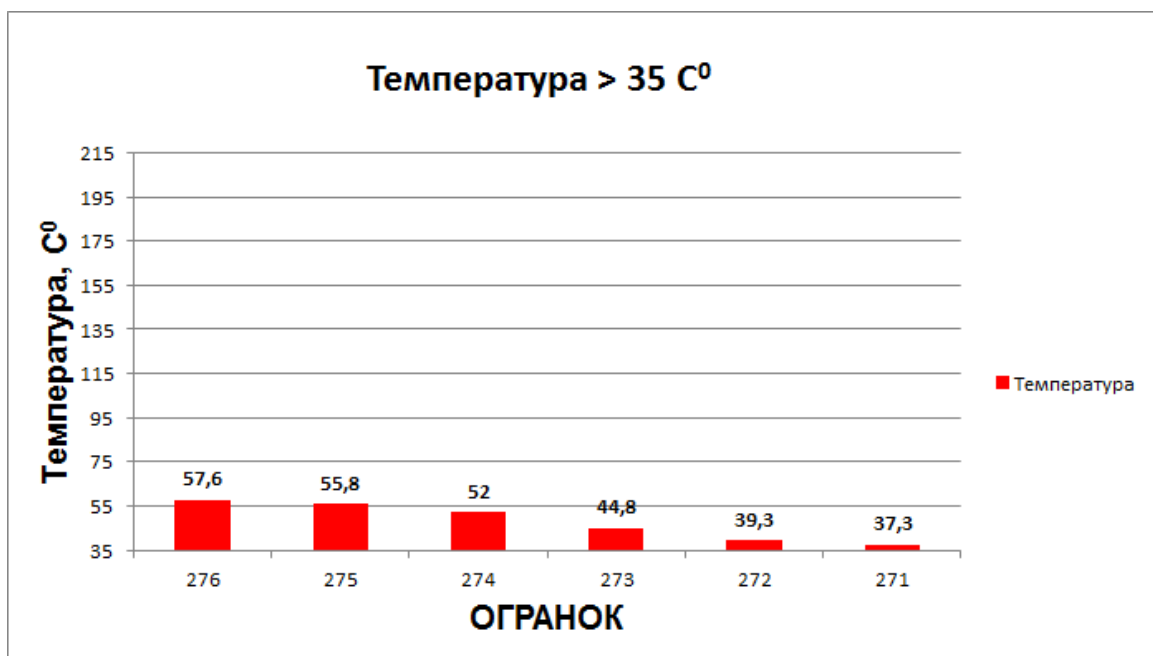
Table 2.9. Analysis and calculations of fire scenario-7, 2.210 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
276	11,9	57,6	0,1205
275	11,9	55,8	0,1205
274	11,9	52,0	0,1205
273	11,9	44,8	0,1205
272	11,9	39,3	0,1205
44	14,4	32,6	0,0981
62	11,3	31,7	0,0981
61	11,3	29,4	0,0981
271	11,9	37,3	0,1205
270	11,3	30,7	0,0981



Слика 2.45. Критични услови во пожарно сценарио-7, со CO > 0,1%, на 2.210 секунди од започнувањето на пожарот

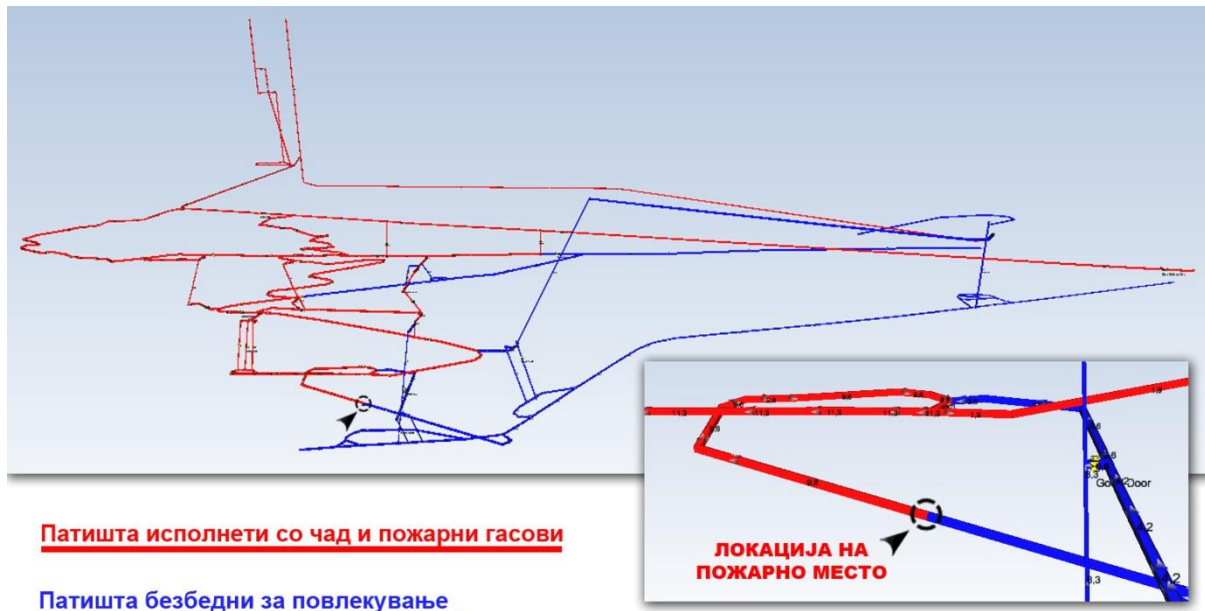
Figure 2.45. Critical conditions in fire scenario-7, with CO > 0,1%, 2.210 seconds after fire event



Слика 2.46. Критични услови во пожарно сценарио-7, со температура >35 C°, на 2.210 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 2.46. Critical conditions in fire scenario-7, with temperature >35 C°, 2.210 seconds after fire event

Со направените анализи и пресметки во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, за пожарното сценарио-7, добивме временска должина на пожарот од 2.210 секунди (36,8 минути), за целосно согорување на 124 литри од истеченото хидраулично масло.



Слика 2.47. Анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-7

Figure 2.47. Calculations for movement of smoke and fire gases made in software MINEFIRE PRO+ for fire scenario-7

По направената анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови, генерирани од пожарното сценарио-7, следува процес за лоцирање на местоположбата на сите луѓе во рудникот (слика 13.54) и издавање на наредби и упаства за нивно повлекување по предходно пресметаните безбедни патишта за спасување и евакуација (слика 2.47).

2.2.1.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-7

За пресметка на безбедните оптимални рути и потребното време за евакуација на сите работени во рудникот, ќе го користиме погоре спомнатиот математички модел за оптимизација. Влијанијата на предходно дефинираните фактори за оптимизација ќе влијаат на брзината за евакуација и истите се

трансформираат во еквивалентна должина на патиштата кои воедно преставуваат и вкупна тежина на рутата за евакуација. Онаа рута за евакуација која ќе има најмала тежина пресметана по предходно спомнатата методологија ќе преставува оптимална рута за евакуација

Според анализата и пресметките за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-7 (слика 2.47), лоцирани се можните патишта за евакуација на сите групи на работници (ќе разгледуваме рути за евакуација до трет ранг). Во табела 2.10, прикажани се само оптималните рути за евакуација на сите вработени во рудникот, пресметани по предходно спомнатиот математички модел за оптимизација.

Табела 2.10. Оптимални рути за евакуација на сите работници во рудникот, генерирани за пожарно сценарио-7

Table 2.10. Optimal routes for evacuation of all workers in the underground mine for fire scenario-7

Евакуација на група работници	Број на работници	Тежина на оптималната рута за евакуација (метри)	Време потребно за евакуација низ оптималната рута (минути)	Активирање на системот за самоспасување (капацитет 30 минути)	Движење низ чад и пожарни гасови (метри)	Време потребно за поминување низ загаденото место (минути)
Група 1	2	1.659	23,2	Да	758	10,6
Група 2	3	1.027	14,3	Да	126	1,7
Група 3	2	810	11,3	Не	0	0
Група 4	3	1.771	24,8	Да	405	5,6
Група 5	2	1.639	22,9	Да	260	3,6
Група 6	2	1.449	20,2	Да	85	1,1
Група 7	2	1.084	15,1	Не	0	0

Група 8	2	1.573	22,0	Да	213	2,9
Група 9	3	1.772	24,8	Да	406	5,6
Група 10	2	1.718	24,0	Да	358	5,0
Група 11	2	1.867	26,1	Да	502	7,0
Група 12	2	2.557	35,8	Да	424	5,9
Група 13	3	2.590	36,2	Да	251	3,5
Група 14	2	2.254	31,5	Не	0	0
Група 15	2	2.280	31,9	Не	0	0
Група 16	2	1.969	27,5	Не	0	0

ПРИЛОГ 3:

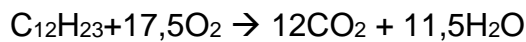
3. Моделирање на пожар настанат од магацин за дизел гориво и масло

Самиот модел на пожар настанат од магацинот за дизел гориво и масло ги опишува претпоставените пожарни карактеристики како што се: стапката на ослободување на топлина (heat release rate), преносот на топлина, стапка на горење на материјалот, генерирање на штетни пожарни гасови, чад итн.

Ќе претпоставиме дека пожарот ги зафатил следниве запаливи материјали:

➤ Согорување на дизел гориво

Дизел- топлина на согорување



$$\text{Моларна маса на } C_{12}H_{23} = 12 * 12,011 + 23 * 1,008 = 167,3 \text{ g/mol}$$

Сооднос на горење O₂:дизел

$$O_2:\text{Дизел} = \frac{17,5 * 2 * 15,9}{167,3} = 3,32 \frac{kg O_2}{kg \text{ Дизел}}$$

$$O_2 \text{ е } 23\% \text{ од масата на воздухот} = \frac{3,32 * 100}{23} = 14,43 \frac{kg \text{ воздух}}{kg \text{ гориво}}$$

Енталпија на формирање:

$$C_{12}H_{23} = -303,4 \text{ kJ/mol}$$

$$CO_2 = -393 \text{ kJ/mol}$$

$$H_2O = -286 \text{ kJ/mol}$$

$$O_2 = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$11,5 * (-286) + 12(-394) - 17,5 * 0 - (-303,4) = -7.714 \text{ kJ/mol}$$

Конвертирање на -7.714 kJ/mol во kJ/kg =

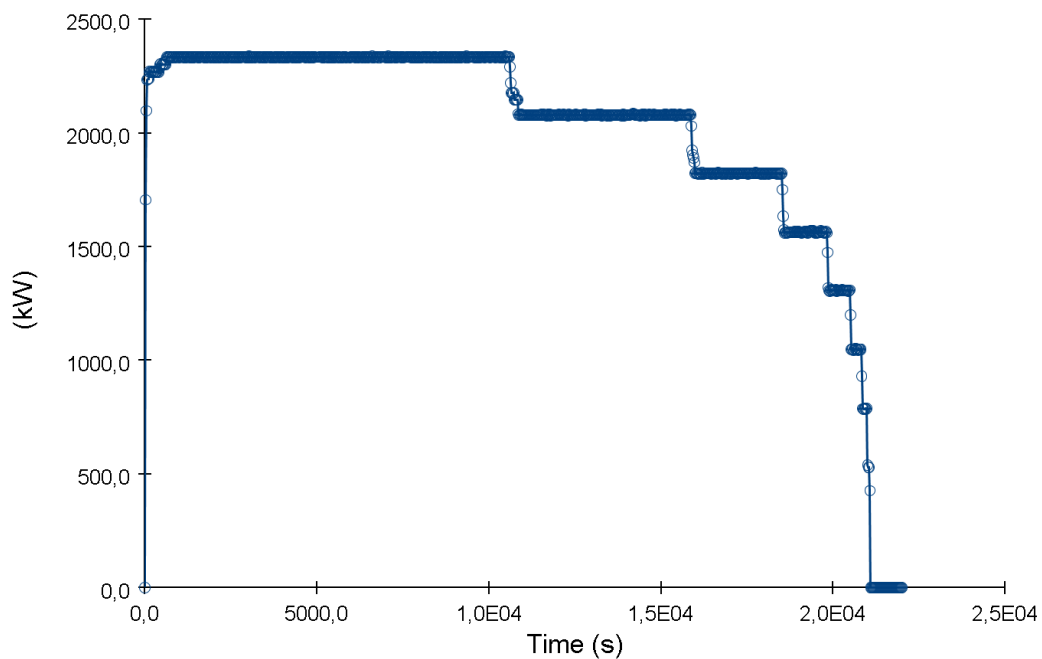
$$= \frac{\frac{kJ}{mol}}{\text{molar mass}} * 1.000 = \frac{-7.714}{167,3} * 1000 = -46.108 \text{ kJ/kg}$$

Табела 3.1. Хемиски и физички карактеристики на дизел гориво

Table 3.1. Chemical and physical characteristics of diesel fuel

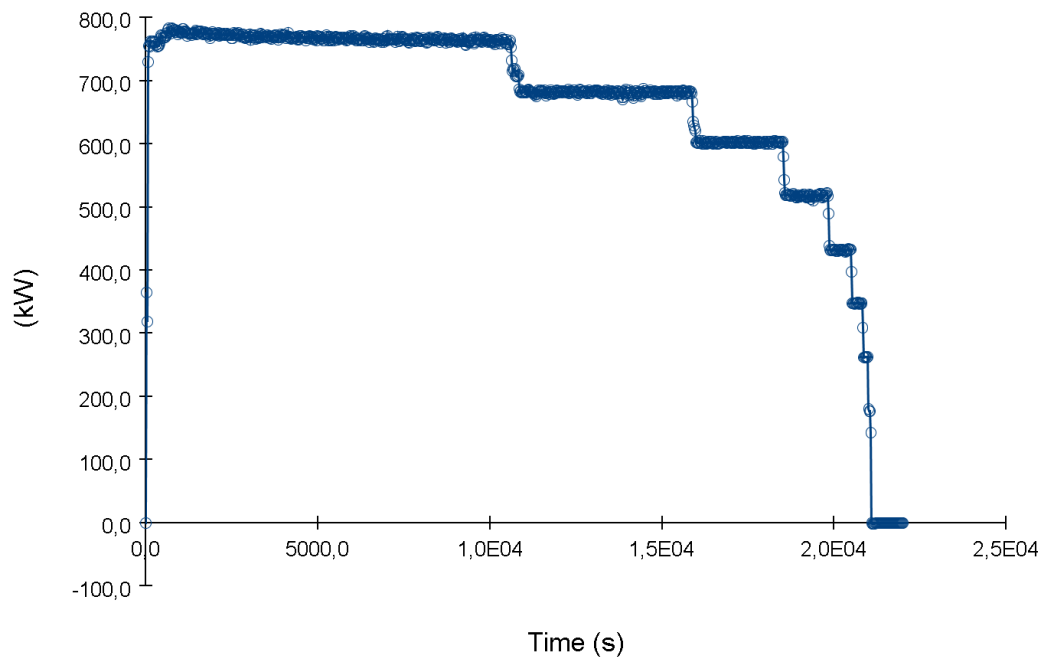
Дизел гориво	
Капацитет на резервоар	1.000 L
Претпоставка на останато дизел гориво во резервоарот	1.000 L
Густина на дизел гориво	918 kg/m ³
Поедноставена хемиска (hydrocarbon) формула	C ₁₂ H ₂₃
Топлина на согорување	46.108 kJ/kg
Стапка на горење на материјалот kg/m ² *s (експериментален податок) [81]	0,045 kg/m ² *s

Во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, со согорување на 1.000 литри на дизел гориво и со погоре споменатите хемиски и физички карактеристики ги добиваме следниве резултати:

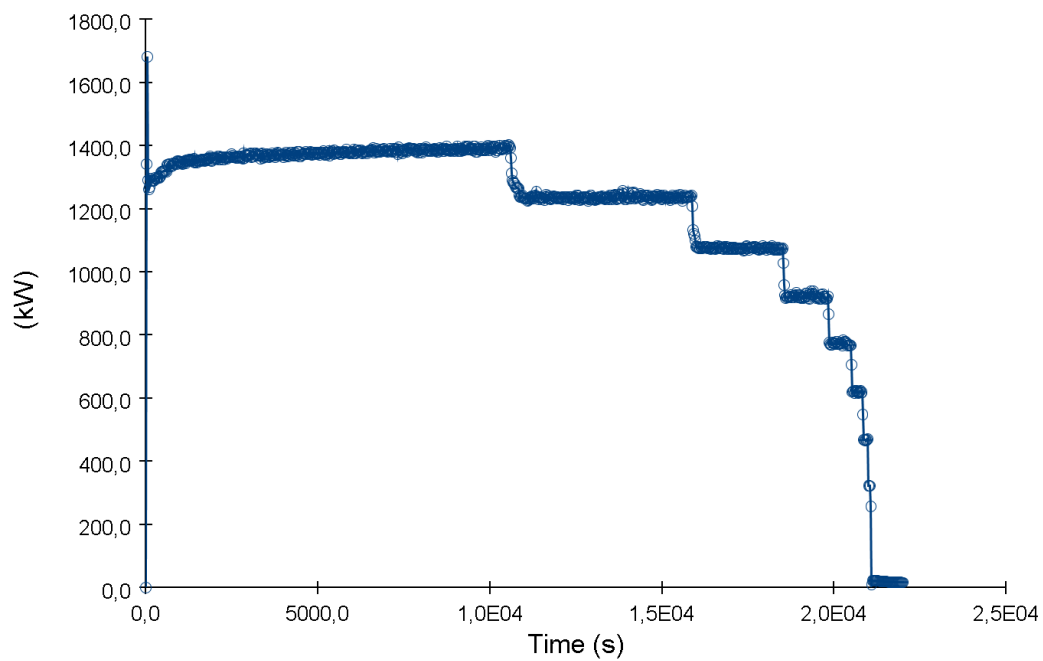


Слика 3.1. Стапка на ослободување на топлина

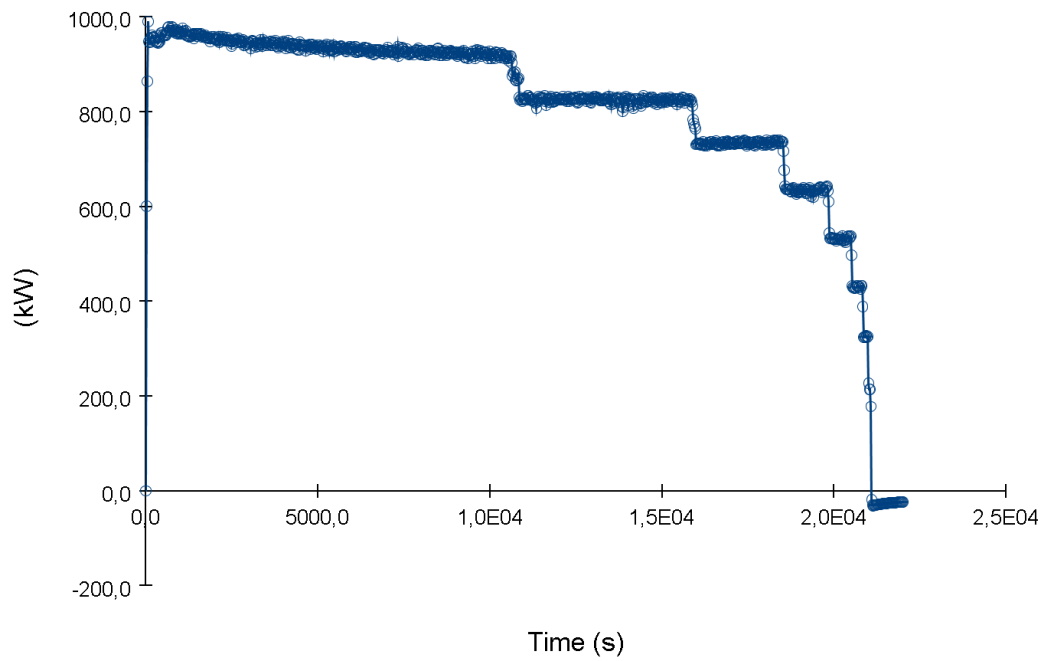
Figure 3.1. Heat release rate - HRR



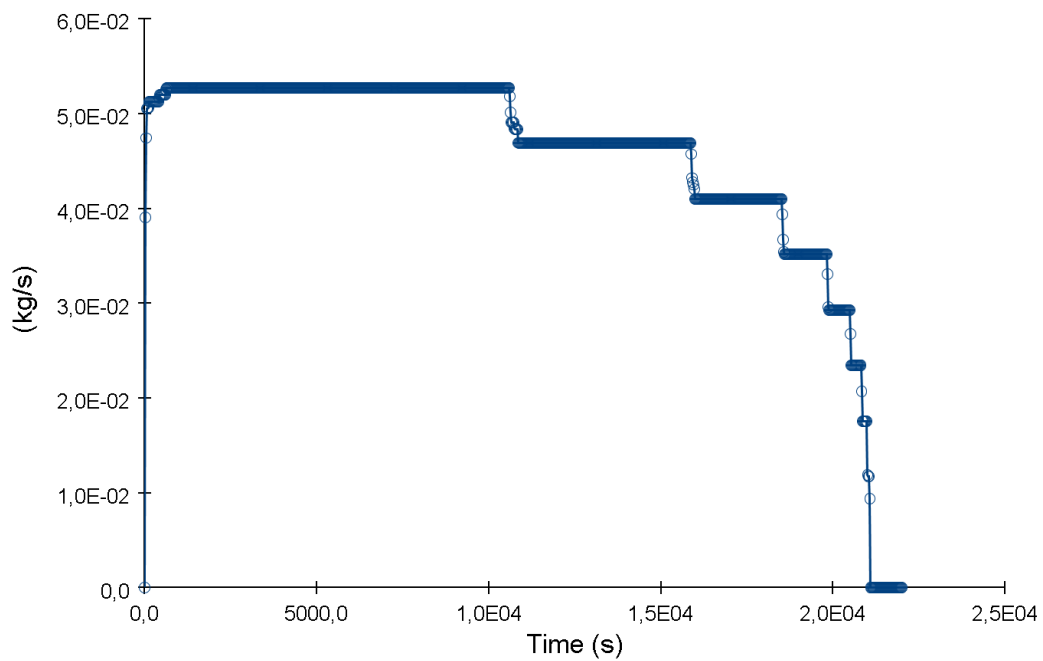
Слика 3.2. Пренос на топлина со радијација
 Figure 3.2. Heat transfer by radiation



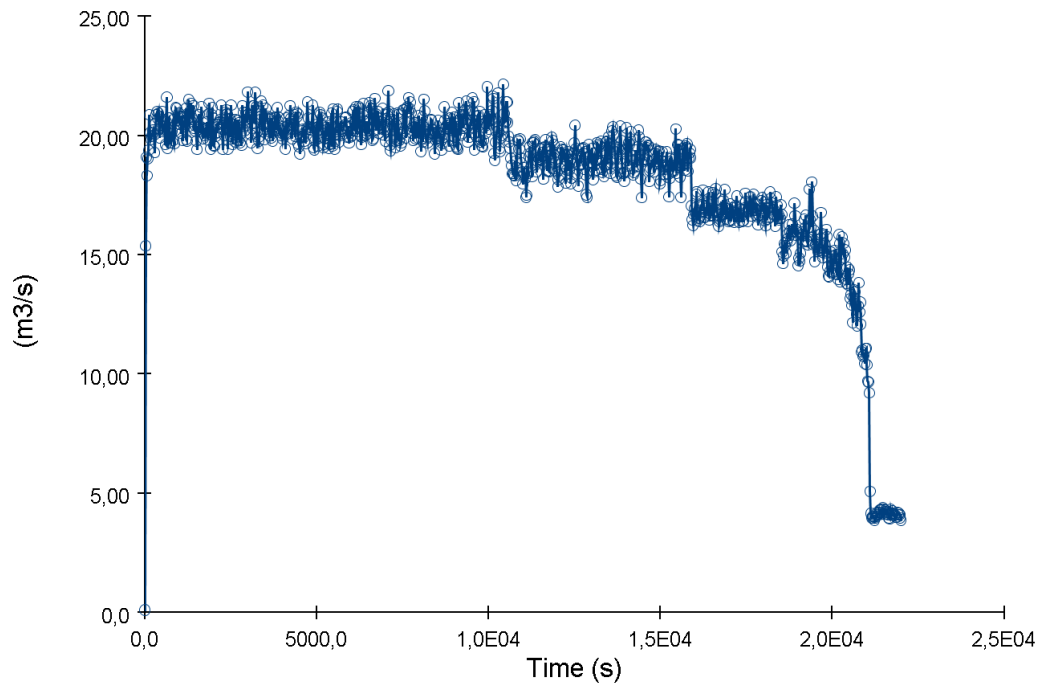
Слика 3.3. Пренос на топлина со конвекција
 Figure 3.3. Heat transfer by convection



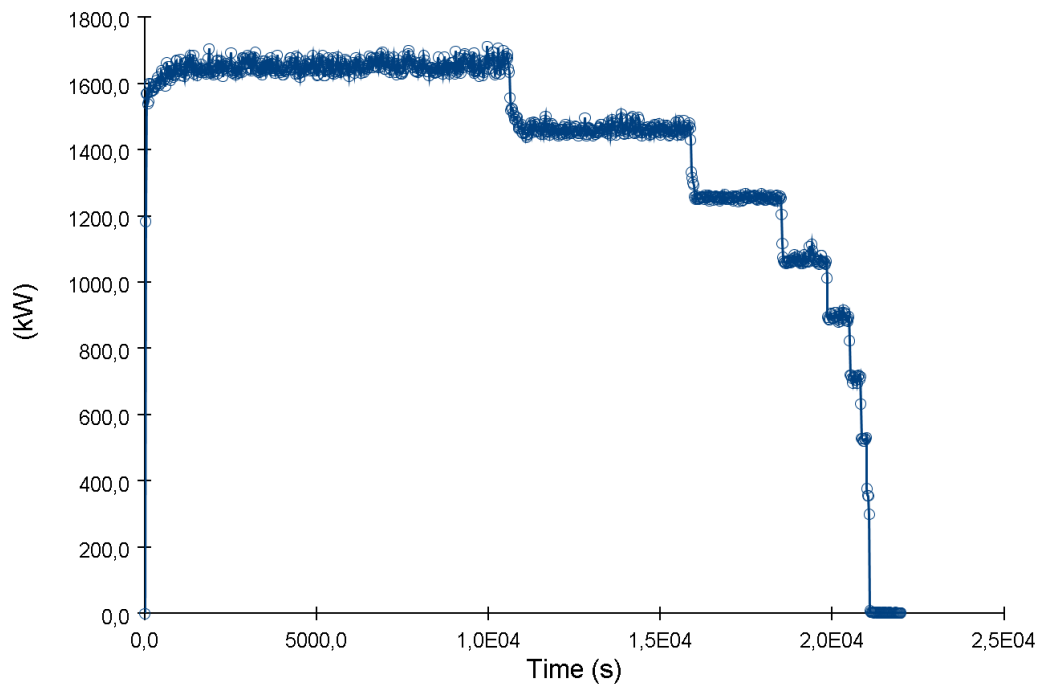
Слика 3.4. Пренос на топлина со кондукција
 Figure 3.4. Heat transfer by conduction



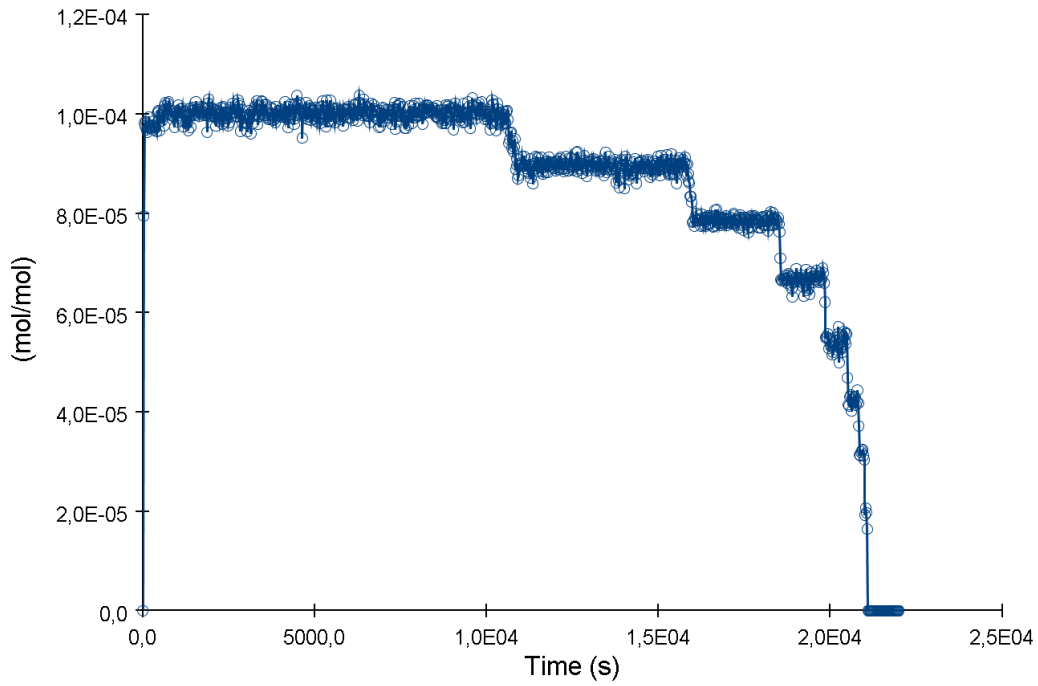
Слика 3.5. Стапка на горење на материјалот (дизел гориво)
 Figure 3.5. Burning rate of material (diesel fuel)



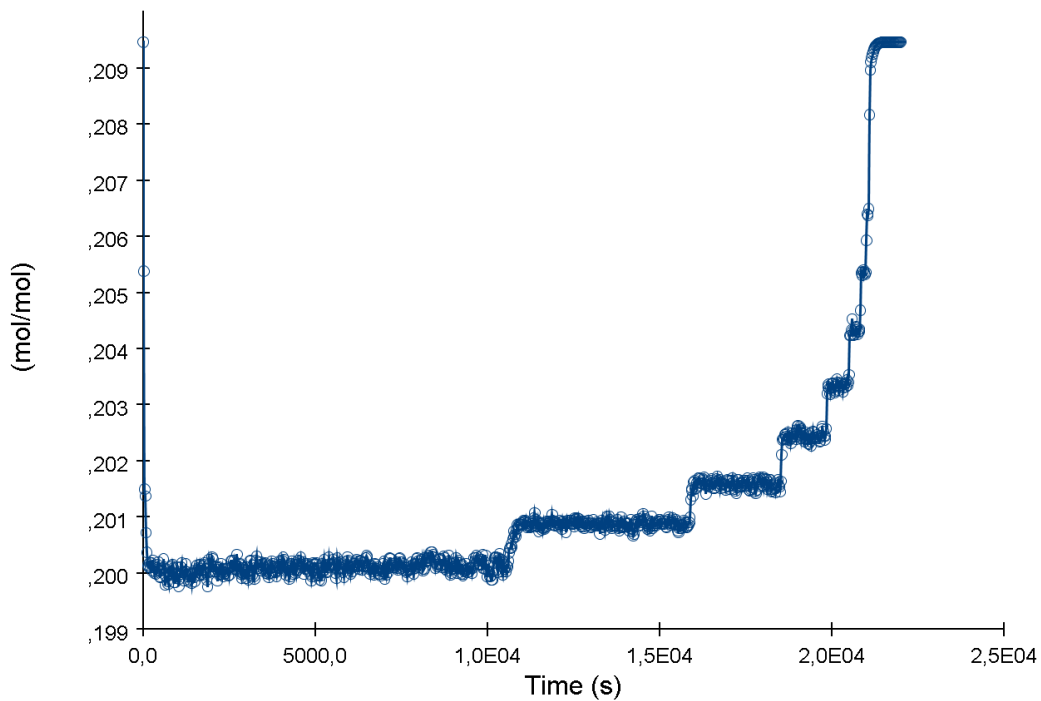
Слика 3.6. Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот
 Figure 3.6. Volume flow of smoke and fire gases generated by the fire



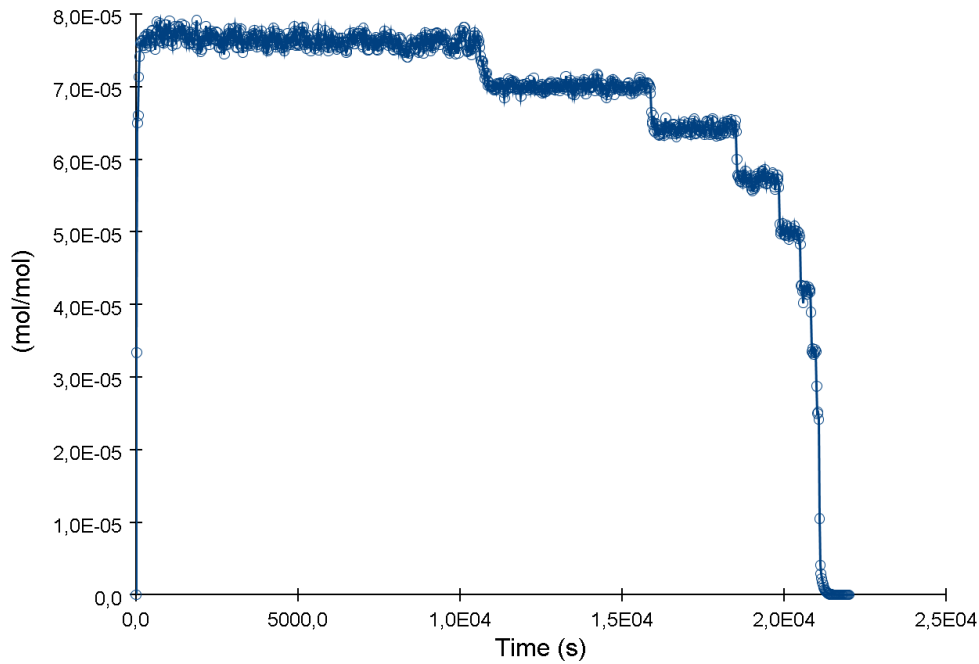
Слика 3.7. Проток на топлина од пожарот
 Figure 3.7. Heat flow from fire



Слика 3.8. Генерирање на јаглерод монооксид - CO од пожарот
 Figure 3.8. Generation of carbon monoxide - CO from fire



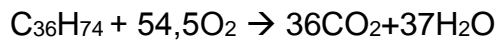
Слика 3.9. Волуменска содржина на кислород во пожарното место
 Figure 3.9. Volume oxygen content in the fire place



Слика 3.10. Генерирање на саѓи од пожарот
Figure 3.10. Generating soot from fire

➤ Согорување на Хидраулично масло

Хидраулично масло - топлина на согорување



Моларна маса $\text{C}_{36}\text{H}_{74} = 36 * 12,001 + 74 * 1,008 = 506,3 \text{ g/mol}$

Сооднос на горење O_2 : Хидраулично масло

$$\text{O}_2: \text{Хидраулично масло} = \frac{54,5 * 2 * 15,9}{506,3} = 3,42 \frac{\text{kg O}_2}{\text{kg Хидраулично масло}}$$

$$\text{O}_2 \text{ е } 23\% \text{ од масата на воздухот} = \frac{3,42 * 100}{23} = 14,86 \frac{\text{kg воздух}}{\text{kg гориво}}$$

Енталпија на формирање:

$$\text{C}_{12}\text{H}_{23} = -188,04 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{CO}_2 = -393 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{H}_2\text{O} = -286 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{O}_2 = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$37 * (-286) + 36(-394) - 54,5 * 0 - (-188,04) = -24.578 \text{ kJ/mol}$$

Конвертирање на -24.578 kJ/mol во kJ/kg =

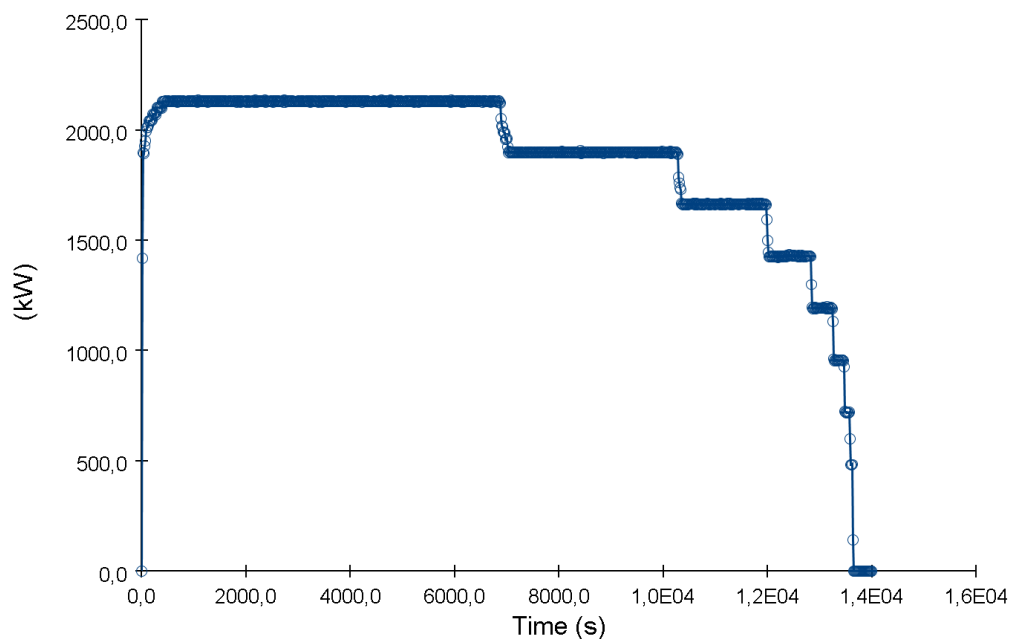
$$= \frac{\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{\text{molar mass}} * 1.000 = \frac{-24.578}{506,3} * 1.000 = -48.544 \text{ kJ/kg}$$

Табела 3.2. Хемиски и физички карактеристики на хидраулично масло

Table 3.2. Chemical and physical characteristics of hydraulic oil

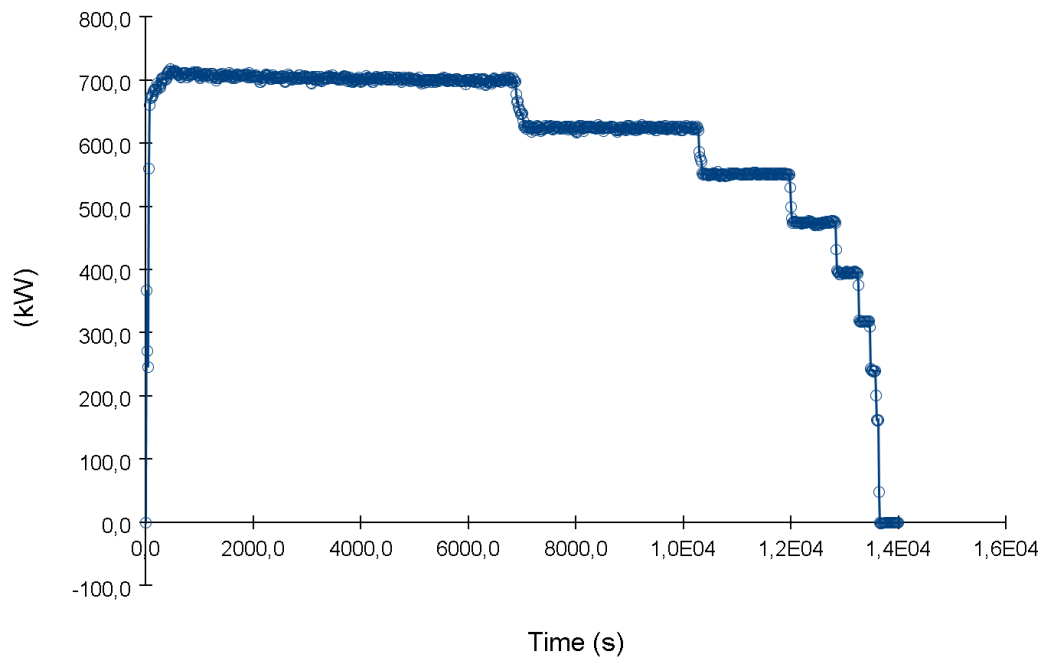
Хидраулично масло	
Капацитет на резервоар	600 L
Претпоставка на останато Хидраулично масло во резервоарот	600 L
Густина на хидраулично масло	760 kg/m ³
Поедноставена хемиска (hydrocarbon) формула	C ₃₆ H ₇₄
Топлина на согорување	48.544 kj/kg
Стапка на горење на материјалот kg/m ² *s (експериментален податок) [81]	0,039 kg/m ² *s

Во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, со согорување на 600 литри на хидраулично масло и со погоре споменатите хемиски и физички карактеристики ги добиваме следниве резултати:

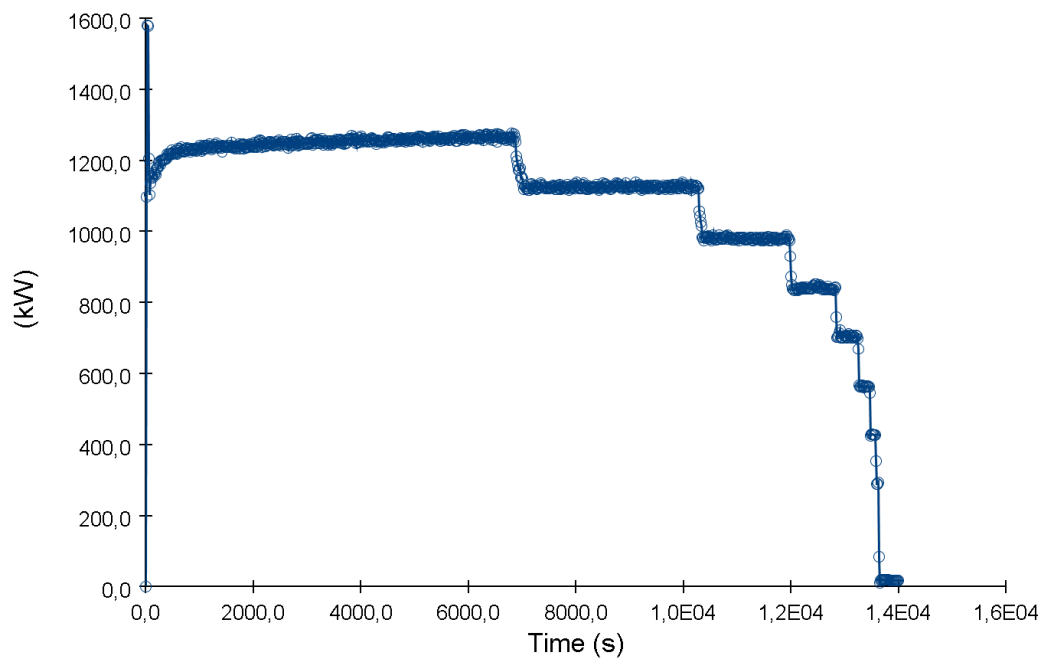


Слика 3.11. Стапка на ослободување на топлина

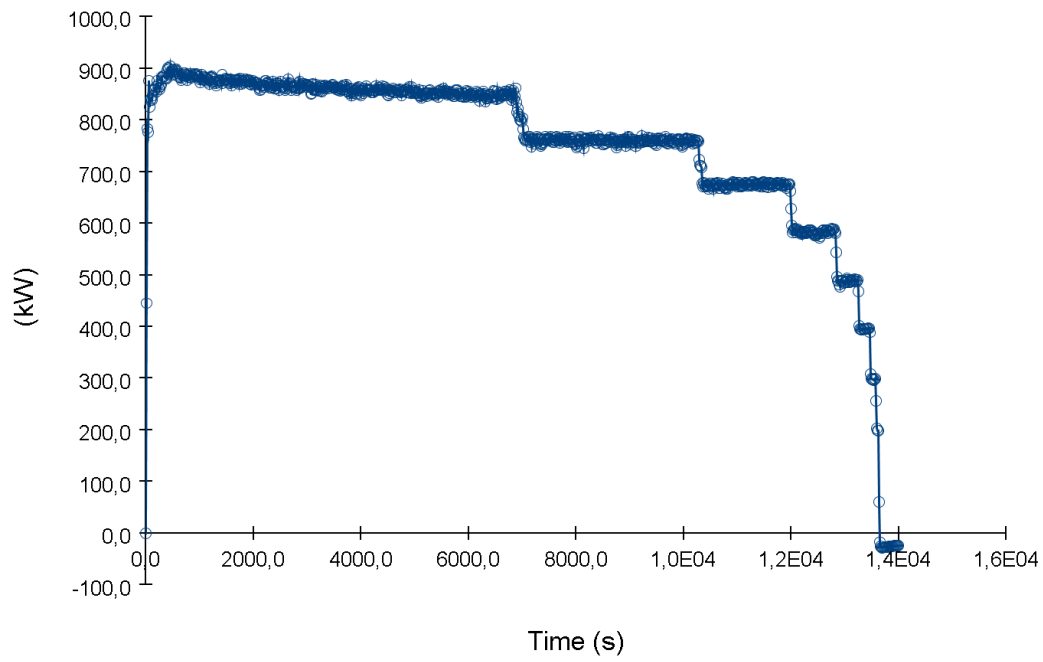
Figure 3.11. Heat release rate - HRR



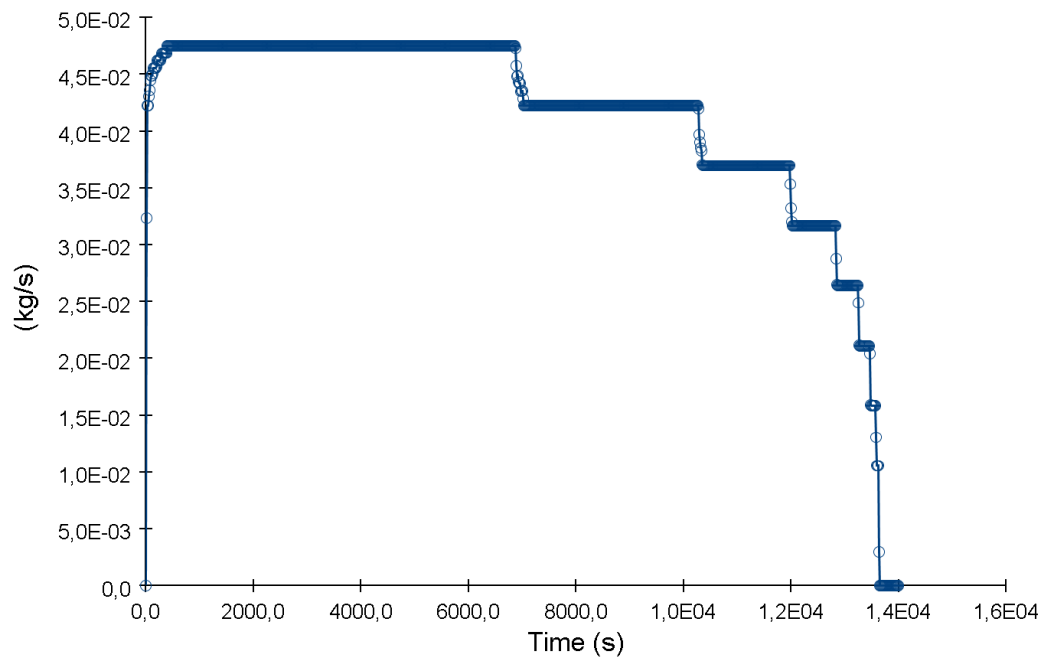
Слика 3.12. Пренос на топлина со радијација
 Figure 3.12. Heat transfer by radiation



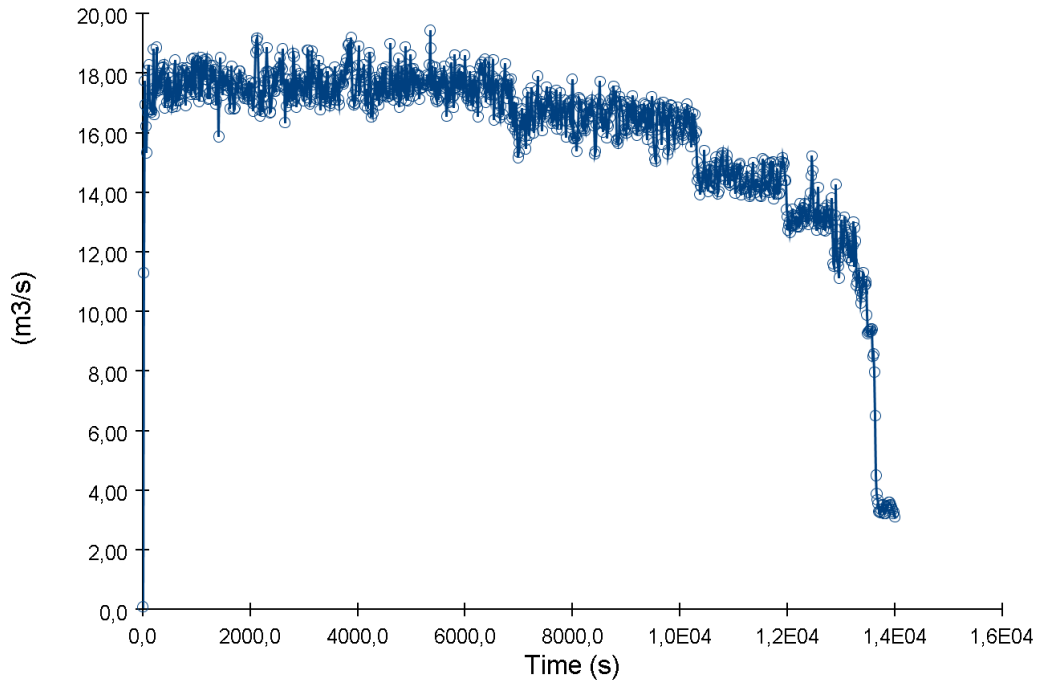
Слика 3.13. Пренос на топлина со конвекција
 Figure 3.13. Heat transfer by convection



Слика 3.14. Пренос на топлина со кондукција
 Figure 3.14. Heat transfer by conduction

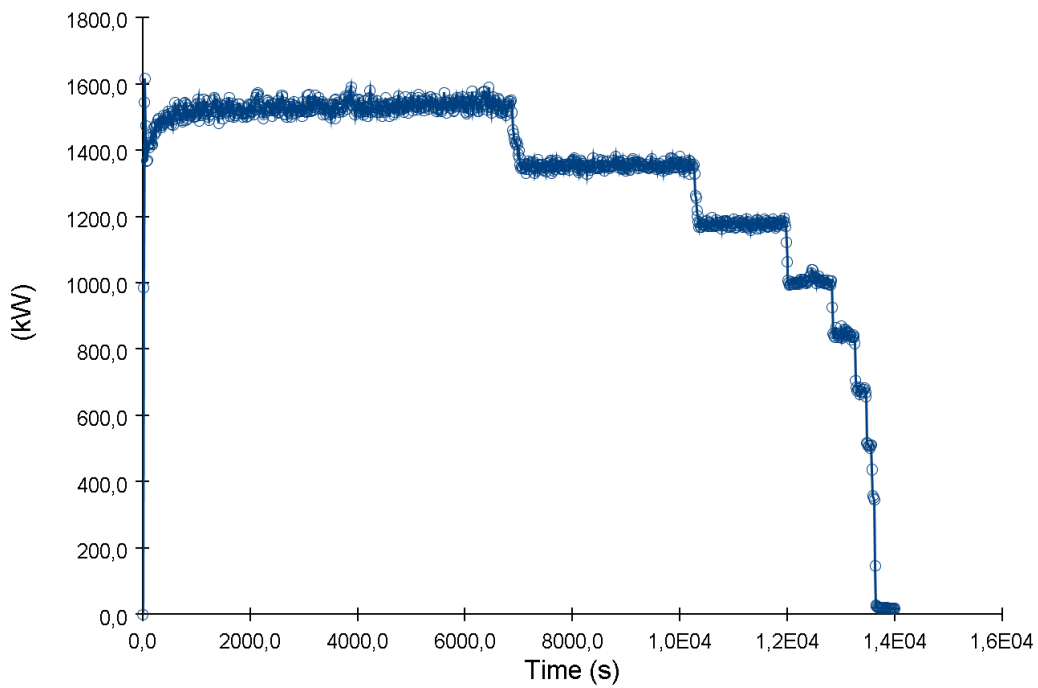


Слика 3.15. Стапка на горење на материјалот (хидраулично масло)
 Figure 3.15. Burning rate of material (hydraulic oil)



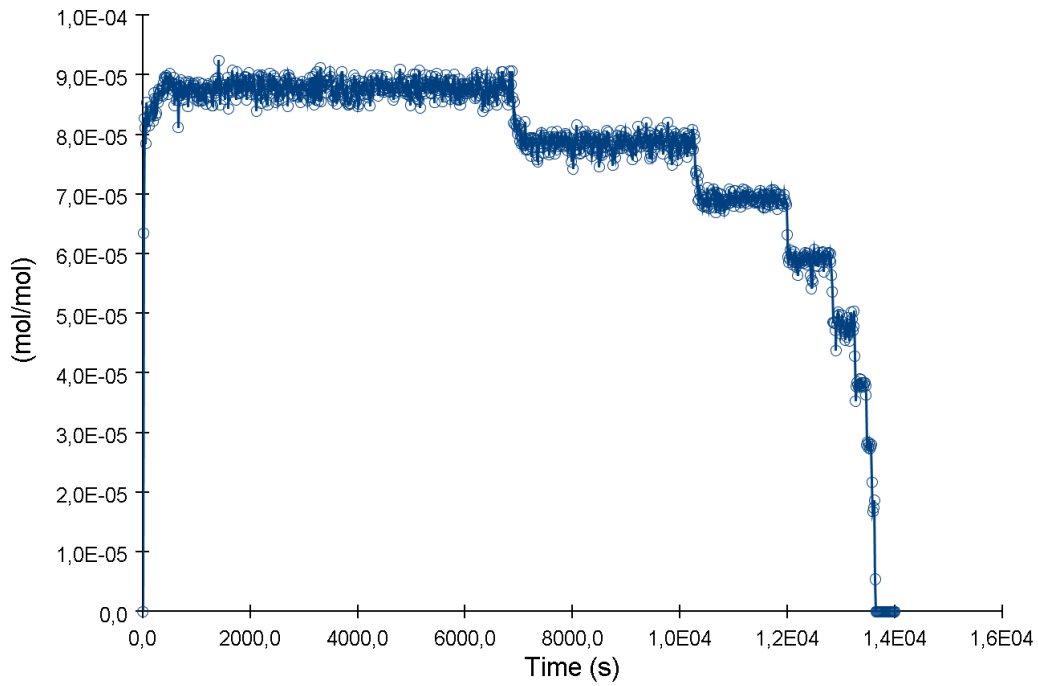
Слика 3.16. Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот

Figure 3.16. Volume flow of smoke and fire gases generated by the fire

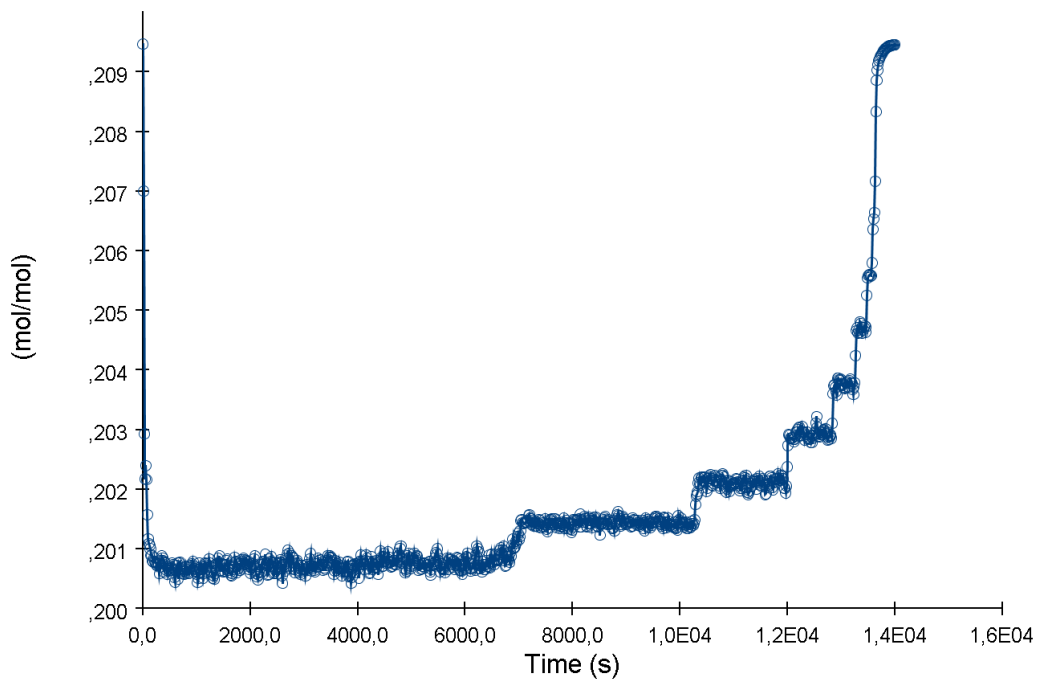


Слика 3.17. Проток на топлина од пожарот

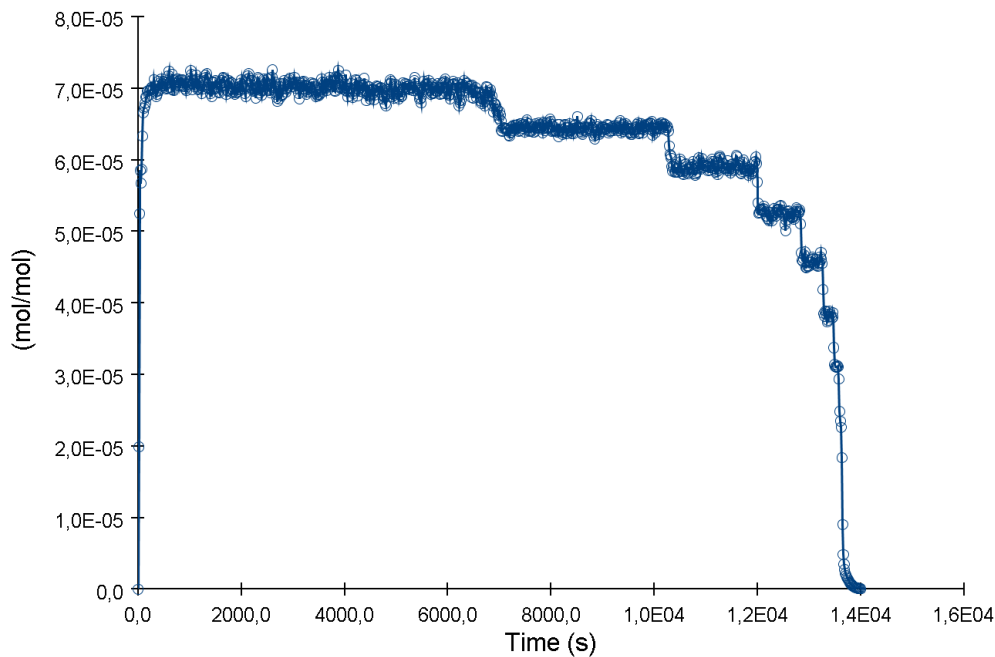
Figure 3.17. Heat flow from fire



Слика 3.18. Генерирање на јаглерод моноксид - CO од пожарот
 Figure 3.18. Generation of carbon monoxide - CO from fire



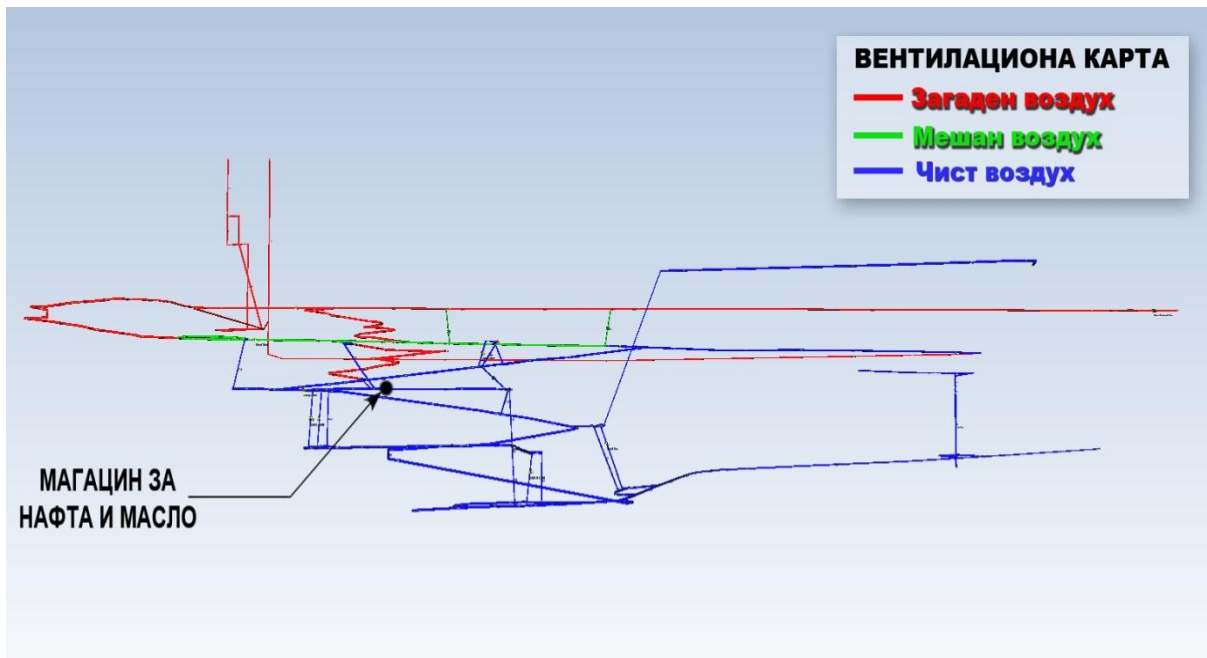
Слика 3.19. Волуменска содржина на кислород во пожарното место
 Figure 3.19. Volume oxygen content in the fire place



Слика 3.20. Генерирање на саѓи од пожарот
 Figure 3.20. Generating soot from fire

3.1 Систем за евакуација и спасување од пожар настанат од магацин за дизел гориво и масло

За идентификување на можните пожарни сценарија, настанати од подземни рударски објекти во кои се чуваат запаливи материјали во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“ ги користевме проектите за изработка на подземни рударски објекти со што беше направена анализа на пожарен ризик со чија помош беше идентификувано можно пожарно сценарио од работни активности во магацинот за дизел гориво и масло.



Слика 3.21. Локација на можно пожарно сценарио од магацинот за дизел гориво и масло

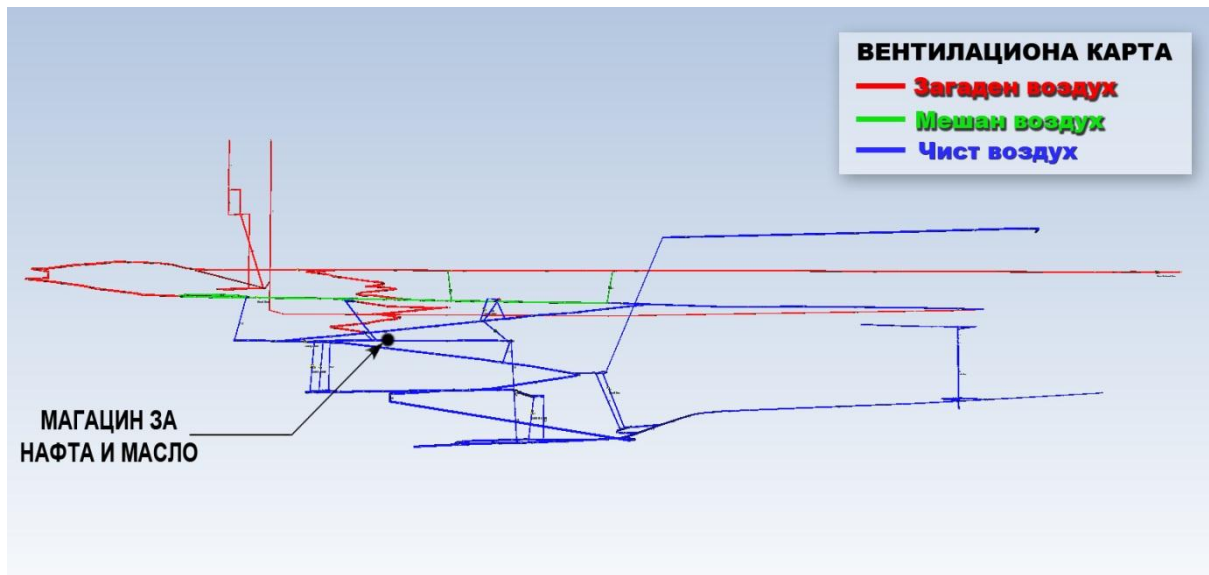
Figure 3.21. Location of possible fire scenario from warehouse of diesel fuel and hydraulic oil

3.1.1 Пожарно сценарио-8



Слика 3.22. Моделирање на пожарно сценарио-8

Figure 3.22. Modeling of fire scenario-8



Слика 3.23. Локација на моделираното пожарно сценарио-8

Figure 3.23. Location of fire scenario-8

За моделирање на пожарно сценарио-8 ќе претпоставиме технички проблем во магацинот за дизел гориво и масло, од кој ќе истече преостанатото дизел гориво од резервоарот и истото ќе се запали. За ова пожарно сценарио ќе претпоставиме дека во резервоарот има преостанато околу 1.000 литри на дизел гориво.

За пресметка на движењето на чадот и пожарните гасови во предходно зададена локација во Рудникот за подземна експлоатација на олово и цинк „САСА“, ќе го користиме софтверот MINEFIRE PRO+.

Во софтверот MINEFIRE PRO+ ги внесуваме предходно пресметаните пожарни карактеристики од софтверот Pyrosim, за пожар настанат од истекување на 1.000 литри на дизел гориво од магацинот за дизел гориво и масло.

Табела 3.3. Влезни пожарни параметри во софтверот MINEFIRE PRO+ за пожарно сценарио-8

Table 3.3. Input fire parameters in software MINEFIRE PRO + for fire scenario-8

Волуменски проток на чад и пожарни гасови генерирани од пожарот, [m ³ /s]	Концентрација на јаглерод моноксид во волуменскиот проток на чад и пожарни гасови CO, [%]	Проток на топлина од пожарот, [kW]	Концентрација на кислород во пожарното место O ₂ , [%]	Волуменски проток на воздух во огранокот Q, [m ³ /s]	Време на целосно развивање на пожарот [min]
14,42	0,0077	1.053,3	20	13	1

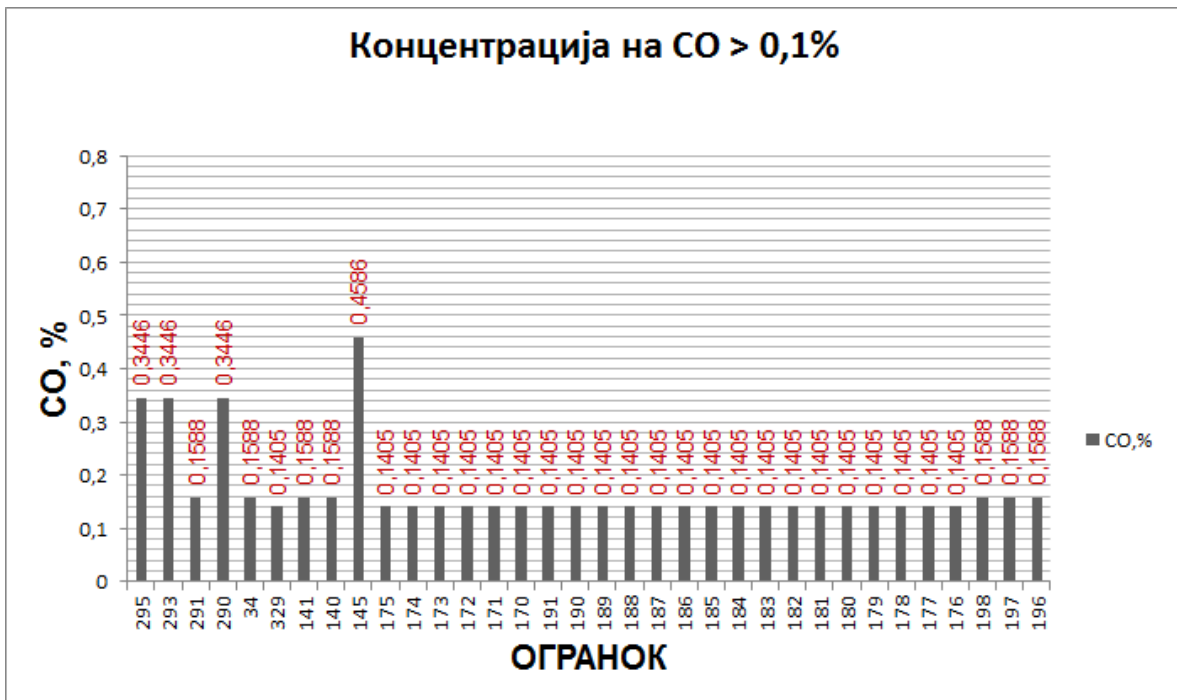
Од направената анализа и пресметки на пожарното сценарио-8 за настанување на пожар од магацинот за дизел гориво и масло, со влезни параметри дадени во табела 3.3, за моментален (локализиран) пожар настанат од истекување и запалување на 1.000 литри на дизел гориво, ги добивме следниве резултати:

Табела 3.4. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-8, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Table 3.4. Analysis and calculations of fire scenario-8, 90 seconds after fire event

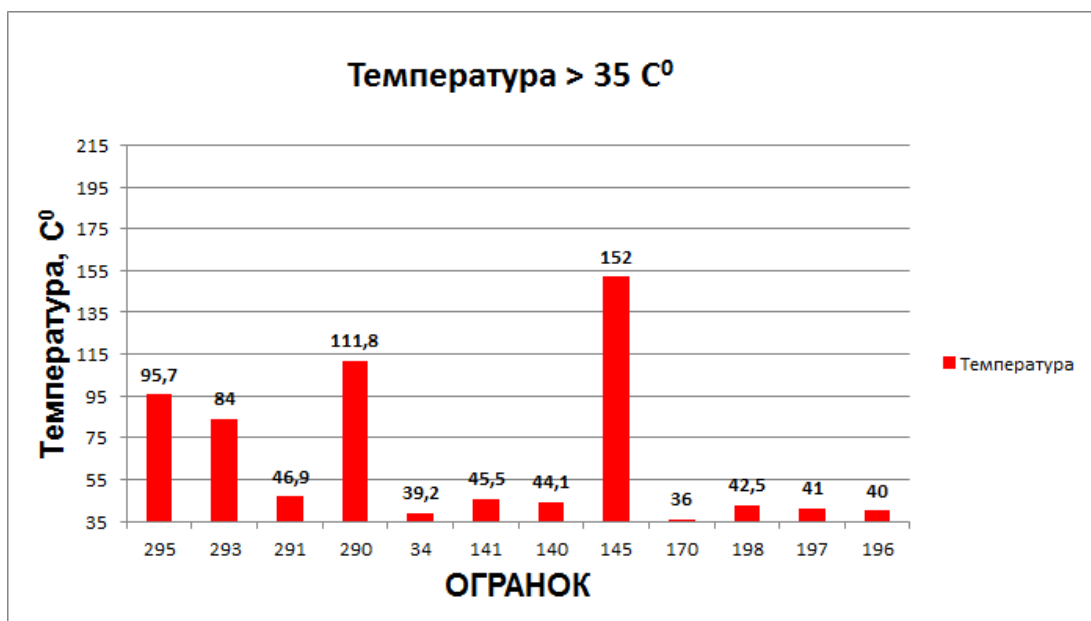
Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
295	18,7	95,7	0,3446
293	18,7	84,0	0,3446
291	38,7	46,9	0,1588
290	18,7	111,8	0,3446
34	36,7	39,2	0,1588
329	39,3	24,1	0,1405
328	57,4	21,7	0,0962
75	70,4	21,1	0,0785
118	57,4	22,2	0,0962
141	38,7	45,5	0,1588
140	36,7	44,1	0,1588
145	13,3	152,0	0,4586
175	41,3	32,3	0,1405
174	41,3	32,8	0,1405
173	41,3	33,2	0,1405
172	41,3	33,8	0,1405
171	41,3	34,8	0,1405
170	41,3	36,0	0,1405
191	41,3	25,2	0,1405
190	41,3	25,4	0,1405

189	41,3	25,9	0,1405
188	41,3	26,4	0,1405
187	41,3	26,7	0,1405
186	41,3	26,9	0,1405
185	41,3	27,2	0,1405
184	41,3	27,7	0,1405
183	41,3	28,2	0,1405
182	41,3	28,5	0,1405
181	41,3	28,8	0,1405
180	41,3	29,1	0,1405
179	41,3	29,5	0,1405
178	41,3	30,0	0,1405
177	41,3	30,7	0,1405
176	41,3	31,5	0,1405
198	36,7	42,5	0,1588
197	36,7	41,0	0,1588
196	36,7	40,0	0,1588



Слика 3.24. Критични услови во пожарно сценарио-8, со CO > 0,1%, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 3.24. Critical conditions in fire scenario-8, with CO > 0,1%, 90 seconds after fire event



Слика 3.25. Критични услови во пожарно сценарио-8, со температура >35 C°, на 90 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 3.25. Critical conditions in fire scenario-8, with temperature >35 C°, 90 seconds after fire event

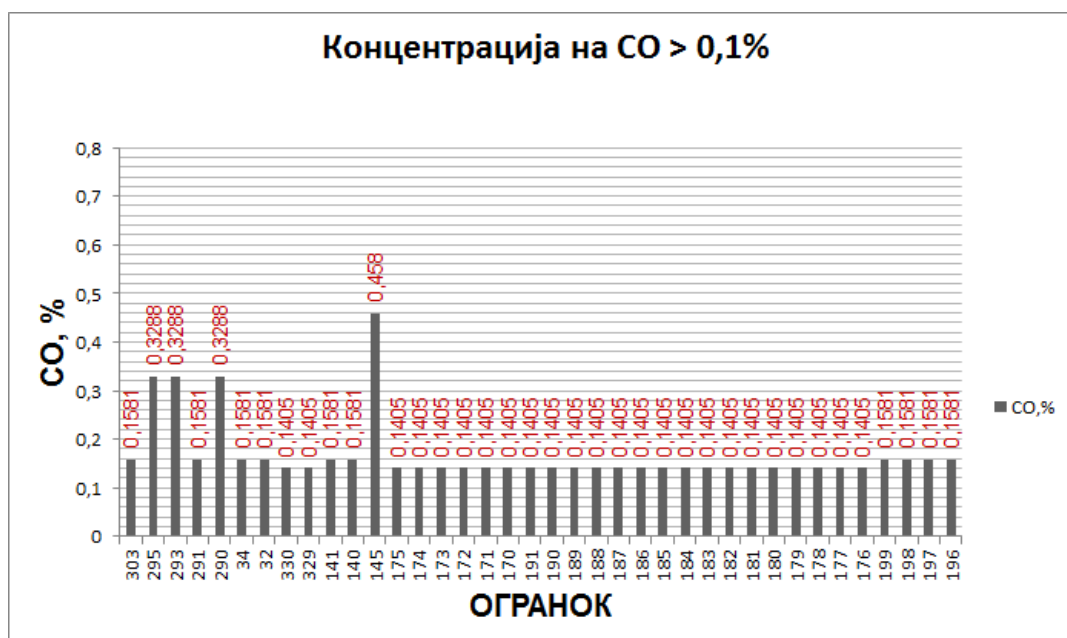
Табела 3.5. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-8, на 4.860 секунди од започнувањето на пожарот

Table 3.5. Analysis and calculations of fire scenario-8, 4.860 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
303	1,9	27,6	0,1581
295	18,6	82,0	0,3288
293	18,6	68,3	0,3288
291	38,8	40,4	0,1581
290	18,6	103,7	0,3288
316	22,4	20,0	0,0177
315	10,3	19,8	0,0177
314	32,7	20,0	0,0177
313	8,5	19,7	0,0177
312	8,5	19,7	0,0177
311	17,1	19,6	0,0177
310	8,5	19,7	0,0177
309	8,6	19,7	0,0177
308	6,8	19,7	0,0177
307	8,6	19,7	0,0177
306	6,8	19,8	0,0177
34	36,8	32,1	0,1581
32	1,9	36,2	0,1581
330	2,0	20,5	0,1405
329	39,5	21,0	0,1405
328	57,6	20,3	0,0963
347	9,3	19,7	0,0177

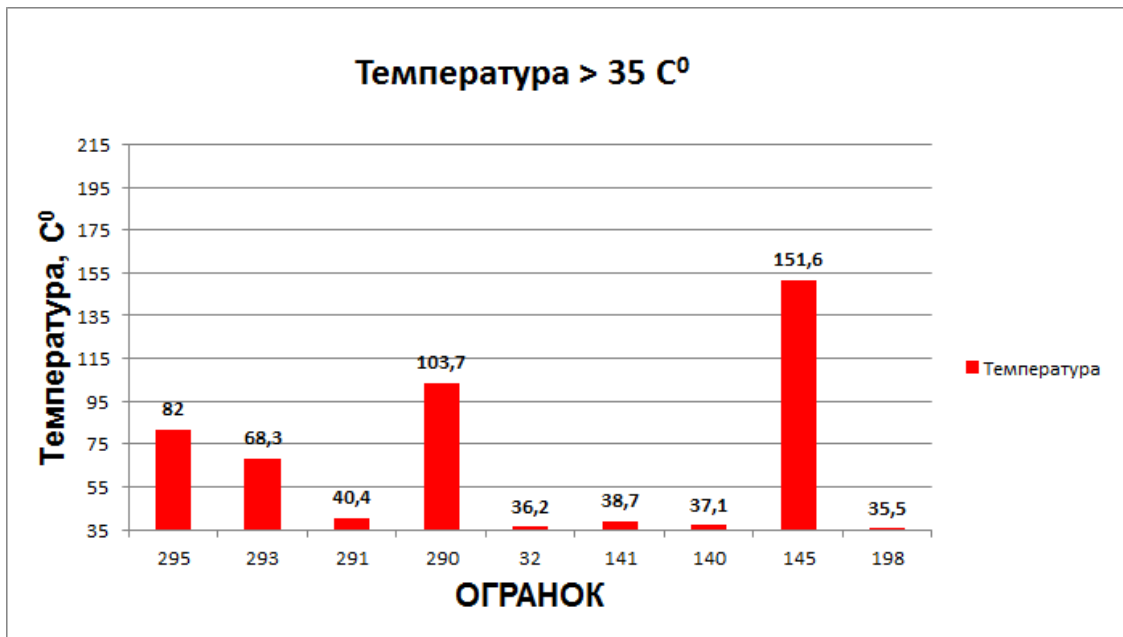
346	15,6	20,0	0,0177
75	70,6	20,1	0,0786
367	6,3	20,0	0,0177
366	6,3	20,1	0,0177
365	6,3	20,0	0,0177
81	70,6	20,1	0,0786
80	70,6	20,0	0,0786
379	70,6	21,4	0,0786
378	6,3	22,7	0,0178
374	9,3	20,0	0,0177
372	17,1	19,7	0,0177
371	70,6	20,0	0,0786
370	6,3	20,0	0,0177
369	6,3	20,0	0,0177
368	6,3	20,0	0,0177
127	2,5	20,0	0,0177
126	30,8	20,1	0,0099
124	14,9	20,3	0,0204
118	57,6	20,4	0,0963
141	38,8	38,7	0,1581
140	36,8	37,1	0,1581
137	30,8	20,1	0,0099
136	30,8	19,9	0,0099
135	30,8	20,1	0,0099
134	30,8	20,1	0,0099
133	2,5	20,0	0,0177
132	2,5	20,0	0,0177
131	2,5	20,0	0,0177
130	2,5	20,0	0,0177
129	4,3	20,0	0,0177
128	2,5	20,0	0,0177
145	13,4	151,6	0,4580
175	41,4	26,3	0,1405
174	41,4	26,8	0,1405
173	41,4	27,2	0,1405
172	41,4	27,7	0,1405
171	41,4	28,6	0,1405
170	41,4	29,8	0,1405
191	41,4	21,4	0,1405
190	41,4	21,6	0,1405
189	41,4	21,8	0,1405
188	41,4	22,1	0,1405
187	41,4	22,3	0,1405
186	41,4	22,4	0,1405
185	41,4	22,6	0,1405
184	41,4	22,9	0,1405
183	41,4	23,2	0,1405
182	41,4	23,4	0,1405
181	41,4	23,6	0,1405
180	41,4	23,9	0,1405
179	41,4	24,1	0,1405
178	41,4	24,5	0,1405
177	41,4	25,1	0,1405
176	41,4	25,7	0,1405
207	30,8	20,0	0,0099
206	30,8	20,0	0,0099
205	30,8	19,9	0,0099

204	30,8	19,9	0,0099
203	30,8	19,9	0,0099
202	14,9	20,4	0,0204
201	14,9	20,4	0,0204
200	14,9	20,5	0,0204
199	1,9	33,1	0,1581
198	36,8	35,5	0,1581
197	36,8	33,9	0,1581
196	36,8	32,9	0,1581
211	32,7	20,0	0,0177
210	32,7	20,0	0,0177
209	32,7	20,0	0,0177
208	30,8	20,0	0,0099
239	30,8	20,1	0,0099
238	30,8	20,0	0,0099
237	30,8	20,0	0,0099
236	30,8	20,0	0,0099
235	30,8	19,9	0,0099
234	30,8	19,9	0,0099
233	30,8	19,9	0,0099
232	30,8	19,9	0,0099
247	30,8	20,0	0,0099
246	30,8	20,0	0,0099
245	30,8	20,0	0,0099
244	30,8	20,0	0,0099
243	30,8	20,0	0,0099
242	30,8	20,0	0,0099
241	30,8	20,0	0,0099
240	30,8	20,0	0,0099



Слика 3.26. Критични услови во пожарно сценарио-8, со CO > 0,1%, на 4.860 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 3.26. Critical conditions in fire scenario-8, with CO > 0,1%, 4.860 seconds after fire event



Слика 3.27. Критични услови во пожарно сценарио-8, со температура >35 C⁰, на 4.860 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 3.27. Critical conditions in fire scenario-8, with temperature >35 C⁰, 4.860 seconds after fire event

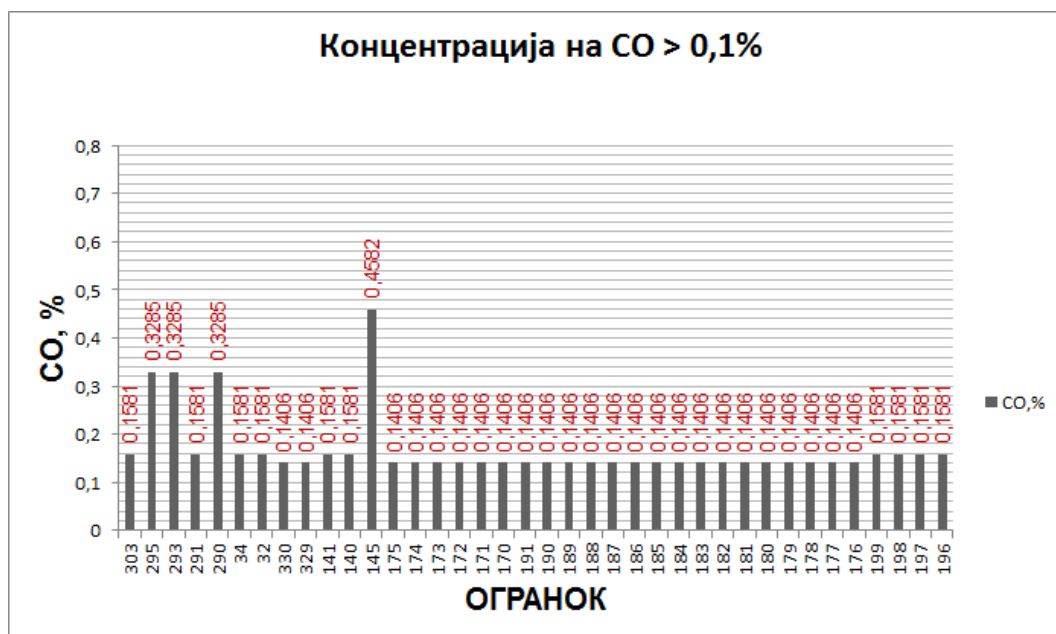
Табела 3.6. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-8, на 9.180 секунди од започнувањето на пожарот

Table 3.6. Analysis and calculations of fire scenario-8, 9.180 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C ⁰]	Концентрација на CO, [%]
303	1,9	28,6	0,1581
295	18,6	85,4	0,3285
293	18,6	72,4	0,3285
291	38,7	42,4	0,1581
290	18,6	105,0	0,3285
316	22,4	20,0	0,0177
315	10,3	19,8	0,0177
314	32,7	20,0	0,0177
313	8,5	19,6	0,0177
312	8,5	19,7	0,0177
311	17,1	19,6	0,0177
310	8,5	19,7	0,0177
309	8,6	19,7	0,0177
308	6,8	19,7	0,0177
307	8,6	19,7	0,0177
306	6,8	19,8	0,0177
34	36,8	34,1	0,1581
32	1,9	38,0	0,1581
330	2,0	20,7	0,1406
329	39,5	21,6	0,1406
328	57,6	20,5	0,0963
347	9,3	19,7	0,0177

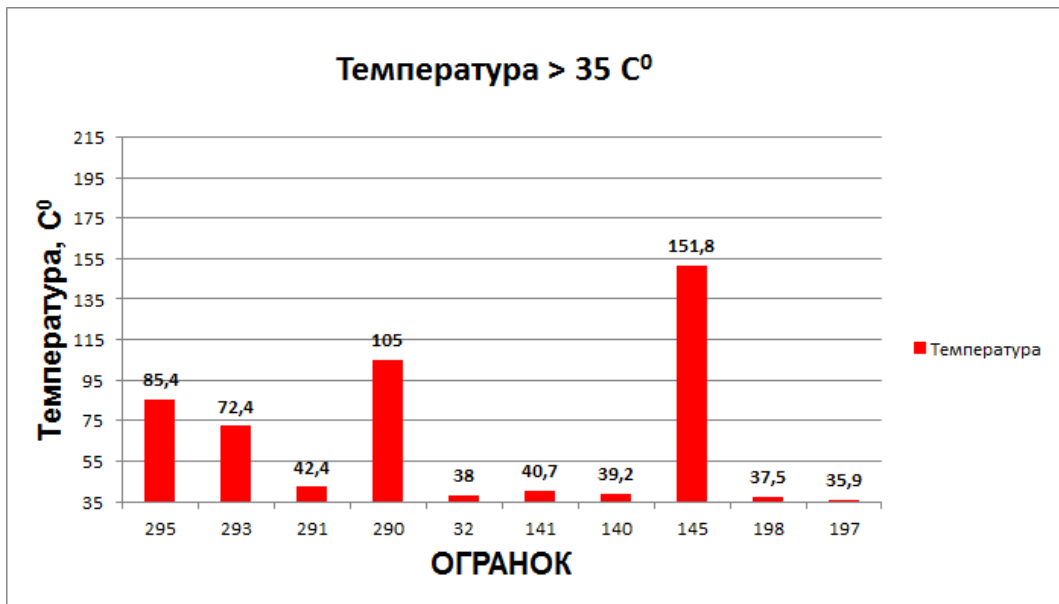
346	15,6	20,0	0,0177
75	70,5	20,3	0,0786
367	6,3	20,0	0,0177
366	6,3	20,1	0,0177
365	6,3	20,0	0,0177
81	70,5	20,1	0,0786
80	70,5	20,1	0,0786
379	70,5	21,3	0,0786
378	6,3	22,7	0,0177
374	9,3	20,0	0,0177
372	17,1	19,6	0,0177
371	70,5	20,0	0,0786
370	6,3	20,0	0,0177
369	6,3	20,0	0,0177
368	6,3	20,0	0,0177
127	2,5	20,0	0,0177
126	30,8	20,1	0,0099
124	14,9	20,4	0,0204
118	57,6	20,7	0,0963
141	38,7	40,7	0,1581
140	36,8	39,2	0,1581
137	30,8	20,2	0,0099
136	30,8	19,9	0,0099
135	30,8	20,1	0,0099
134	30,8	20,1	0,0099
133	2,5	20,0	0,0177
132	2,5	20,0	0,0177
131	2,5	20,0	0,0177
130	2,5	20,0	0,0177
129	4,3	20,0	0,0177
128	2,5	20,0	0,0177
145	13,4	151,8	0,4582
175	41,4	27,9	0,1406
174	41,4	28,3	0,1406
173	41,4	28,7	0,1406
172	41,4	29,3	0,1406
171	41,4	30,3	0,1406
170	41,4	31,5	0,1406
191	41,4	22,2	0,1406
190	41,4	22,4	0,1406
189	41,4	22,6	0,1406
188	41,4	23,0	0,1406
187	41,4	23,2	0,1406
186	41,4	23,4	0,1406
185	41,4	23,6	0,1406
184	41,4	24,0	0,1406
183	41,4	24,3	0,1406
182	41,4	24,6	0,1406
181	41,4	24,8	0,1406
180	41,4	25,1	0,1406
179	41,4	25,4	0,1406
178	41,4	25,8	0,1406
177	41,4	26,4	0,1406
176	41,4	27,1	0,1406
207	30,8	20,0	0,0099
206	30,8	20,0	0,0099
205	30,8	20,0	0,0099

204	30,8	19,9	0,0099
203	30,8	19,9	0,0099
202	14,9	20,4	0,0204
201	14,9	20,5	0,0204
200	14,9	20,6	0,0204
199	1,9	34,7	0,1581
198	36,8	37,5	0,1581
197	36,8	35,9	0,1581
196	36,8	34,8	0,1581
211	32,7	20,0	0,0177
210	32,7	20,0	0,0177
209	32,7	20,0	0,0177
208	30,8	20,0	0,0099
239	30,8	20,1	0,0099
238	30,8	20,0	0,0099
237	30,8	20,0	0,0099
236	30,8	20,0	0,0099
235	30,8	20,0	0,0099
234	30,8	19,9	0,0099
233	30,8	19,9	0,0099
232	30,8	19,9	0,0099
247	30,8	20,0	0,0099
246	30,8	20,0	0,0099
245	30,8	20,0	0,0099
244	30,8	20,0	0,0099
243	30,8	20,0	0,0099
242	30,8	20,0	0,0099
241	30,8	20,0	0,0099
240	30,8	20,1	0,0099



Слика 3.28. Критични услови во пожарно сценарио-8, со CO > 0,1%, на 9.180 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 3.28. Critical conditions in fire scenario-8, with CO > 0,1%, 9.180 seconds after fire event



Слика 3.29. Критични услови во пожарно сценарио-8, со температура >35 C°, на 9.180 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 3.29. Critical conditions in fire scenario-8, with temperature >35 C°, 9.180 seconds after fire event

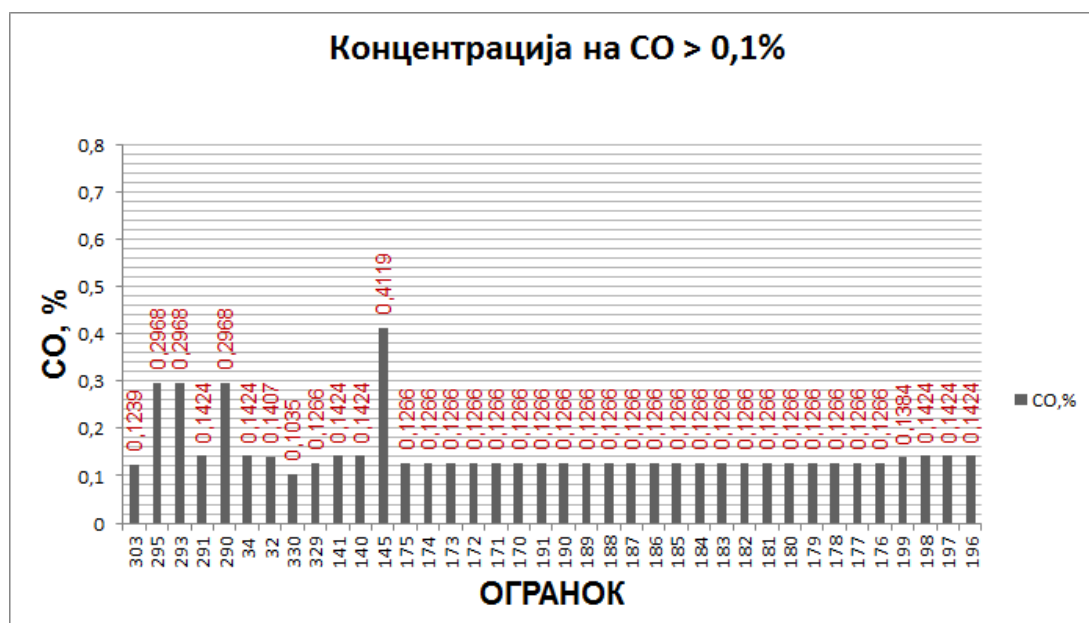
Табела 3.7. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-8, на 10.620 секунди од започнувањето на пожарот

Table 3.7. Analysis and calculations of fire scenario-8, 10.620 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
303	1,9	25,4	0,1239
295	18,6	76,5	0,2968
293	18,6	64,3	0,2968
291	38,8	38,8	0,1424
290	18,6	95,8	0,2968
316	22,4	20,0	0,0132
315	10,3	19,8	0,0129
314	32,8	20,0	0,0132
313	8,5	19,6	0,0125
312	8,5	19,7	0,0125
311	17,1	19,6	0,0125
310	8,5	19,7	0,0125
309	8,6	19,7	0,0125
308	6,7	19,8	0,0121
307	8,6	19,7	0,0125
306	6,7	19,8	0,0121
34	36,8	31,5	0,1424
32	1,9	34,8	0,1407
330	2,0	20,5	0,1035
329	39,5	21,2	0,1266
328	57,6	20,3	0,0867
347	9,3	19,7	0,0126
346	15,7	20,0	0,0132

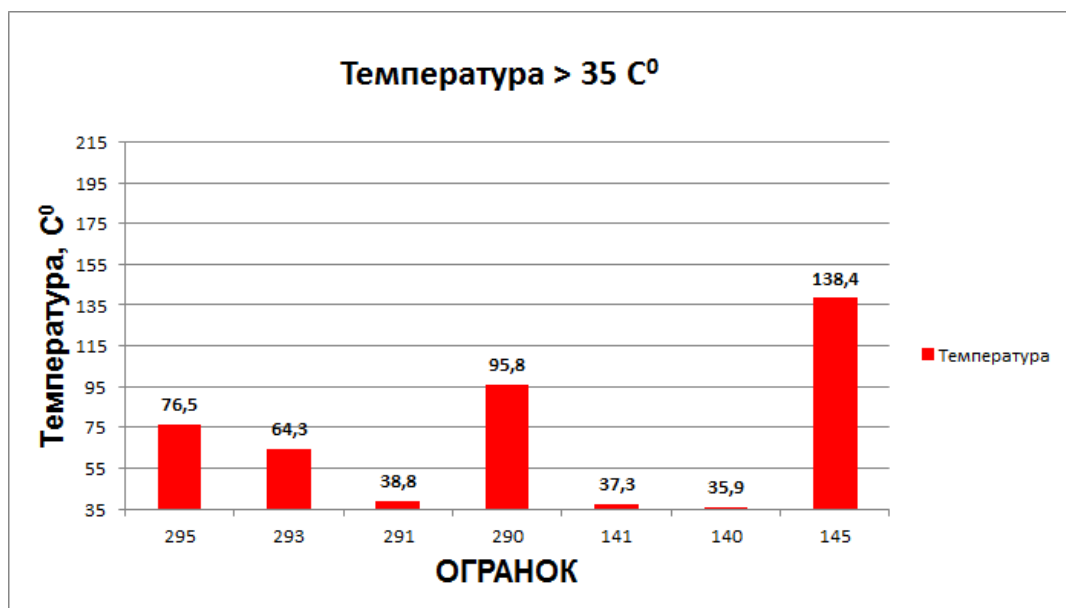
75	70,6	20,2	0,0708
367	6,4	20,0	0,0132
366	6,4	20,1	0,0131
365	6,4	20,0	0,0072
81	70,6	20,1	0,0707
80	70,6	20,0	0,0707
379	70,6	21,5	0,0706
378	6,4	22,8	0,0039
374	9,3	20,0	0,0126
372	17,1	19,7	0,0125
371	70,6	20,0	0,0707
370	6,4	20,0	0,0100
369	6,4	20,0	0,0102
368	6,4	20,0	0,0067
127	2,5	20,0	0,0121
126	30,8	20,1	0,0078
124	14,9	20,2	0,0161
118	57,6	20,5	0,0867
141	38,8	37,3	0,1424
140	36,8	35,9	0,1424
137	30,8	20,1	0,0078
136	30,8	19,9	0,0078
135	30,8	20,0	0,0078
134	30,8	20,1	0,0078
133	2,5	20,0	0,0124
132	2,5	20,0	0,0123
131	2,5	20,0	0,0123
130	2,5	20,0	0,0131
129	4,2	20,0	0,0131
128	2,5	20,0	0,0123
145	13,4	138,4	0,4119
175	41,4	26,2	0,1266
174	41,4	26,6	0,1266
173	41,4	27,0	0,1266
172	41,4	27,4	0,1266
171	41,4	28,3	0,1266
170	41,4	29,3	0,1266
191	41,4	21,7	0,1266
190	41,4	21,8	0,1266
189	41,4	22,0	0,1266
188	41,4	22,3	0,1266
187	41,4	22,5	0,1266
186	41,4	22,6	0,1266
185	41,4	22,8	0,1266
184	41,4	23,1	0,1266
183	41,4	23,4	0,1266
182	41,4	23,6	0,1266
181	41,4	23,8	0,1266
180	41,4	24,0	0,1266
179	41,4	24,2	0,1266
178	41,4	24,6	0,1266
177	41,4	25,1	0,1266
176	41,4	25,6	0,1266
207	30,8	20,0	0,0078
206	30,8	19,9	0,0078
205	30,8	19,9	0,0078
204	30,8	19,9	0,0078
203	30,8	19,9	0,0078

202	14,9	20,2	0,0161
201	14,9	20,3	0,0161
200	14,9	20,3	0,0161
199	1,9	30,9	0,1384
198	36,8	34,4	0,1424
197	36,8	33,0	0,1424
196	36,8	32,1	0,1424
211	32,8	20,0	0,0135
210	32,8	20,0	0,0135
209	32,8	20,0	0,0134
208	30,8	20,0	0,0078
239	30,8	20,0	0,0078
238	30,8	20,0	0,0078
237	30,8	20,0	0,0078
236	30,8	19,9	0,0078
235	30,8	19,9	0,0078
234	30,8	19,9	0,0078
233	30,8	19,9	0,0078
232	30,8	19,9	0,0078
247	30,8	20,0	0,0078
246	30,8	20,0	0,0078
245	30,8	20,0	0,0078
244	30,8	20,0	0,0078
243	30,8	20,0	0,0078
242	30,8	20,0	0,0078
241	30,8	20,0	0,0078
240	30,8	20,0	0,0078



Слика 3.30. Критични услови во пожарно сценарио-8, со CO > 0,1%, на 10.620 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 3.30. Critical conditions in fire scenario-8, with CO > 0,1%, 10.620 seconds after fire event



Слика 3.31. Критични услови во пожарно сценарио-8, со температура >35 C°, на 10.620 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 3.31. Critical conditions in fire scenario-8, with temperature >35 C°, 10.620 seconds after fire event

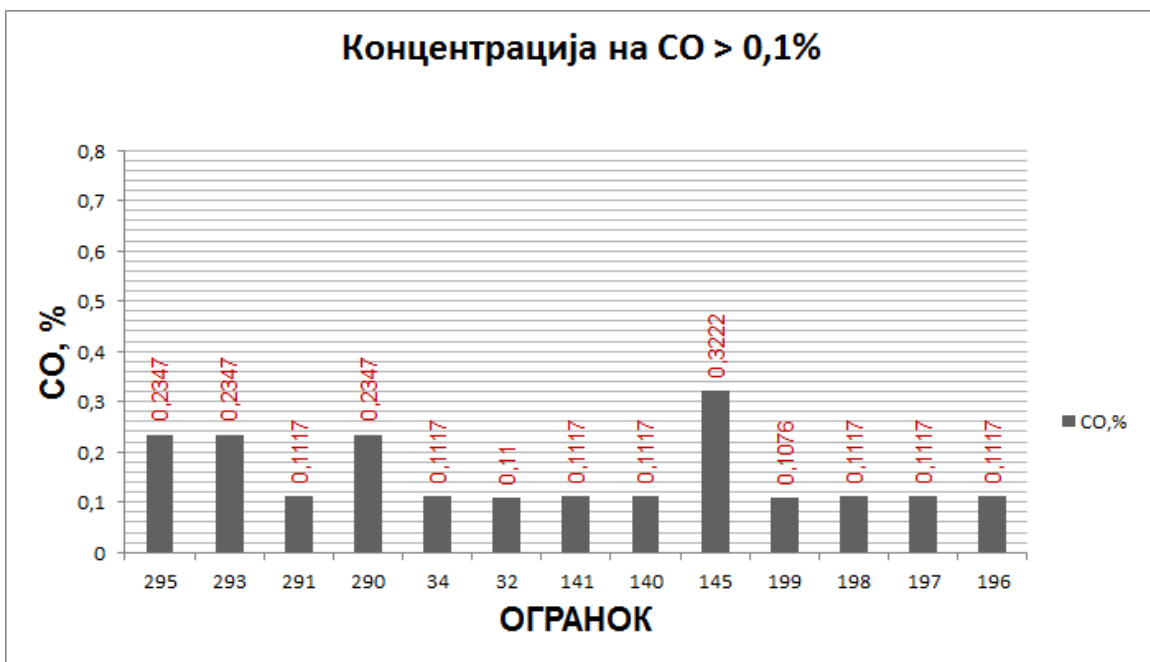
Табела 3.8. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-8, на 16.120 секунди од започнувањето на пожарот

Table 3.8. Analysis and calculations of fire scenario-8, 16.120 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
303	1,9	24,2	0,0931
295	18,5	63,9	0,2347
293	18,5	54,0	0,2347
291	38,8	34,2	0,1117
290	18,5	79,6	0,2347
316	22,4	20,0	0,0098
315	10,3	19,8	0,0095
314	32,8	20,0	0,0098
313	8,5	19,7	0,0090
312	8,5	19,7	0,0090
311	17,1	19,6	0,0090
310	8,5	19,7	0,0090
309	8,6	19,7	0,0090
308	6,7	19,7	0,0086
307	8,6	19,7	0,0090
306	6,7	19,8	0,0086
34	36,8	28,6	0,1117
32	1,9	31,2	0,1100
330	2,0	20,3	0,0760
329	39,5	20,8	0,0992
328	57,6	20,2	0,0680
347	9,4	19,7	0,0091
346	15,7	20,0	0,0098

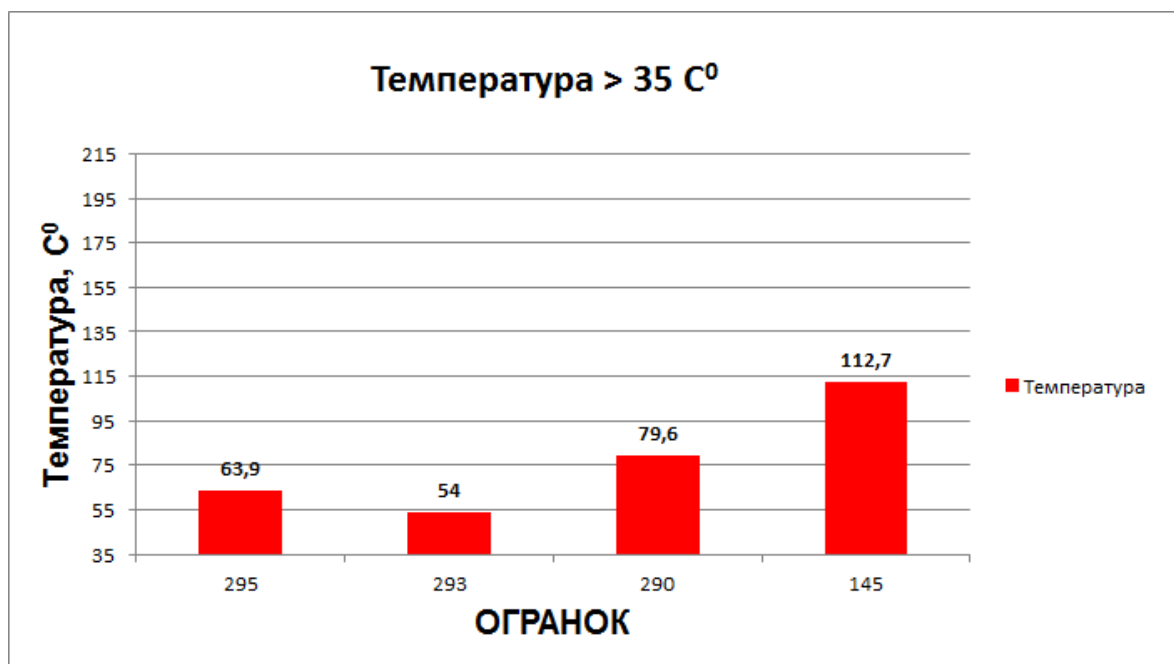
75	70,6	20,1	0,0555
367	6,3	20,0	0,0097
366	6,3	20,1	0,0097
365	6,3	20,0	0,0032
81	70,6	20,0	0,0554
80	70,6	20,0	0,0554
379	70,6	21,5	0,0553
374	9,4	20,0	0,0091
372	17,1	19,7	0,0090
371	70,6	20,0	0,0554
370	6,3	20,0	0,0064
369	6,3	20,0	0,0064
368	6,3	20,0	0,0029
127	2,5	20,0	0,0086
126	30,8	20,0	0,0059
124	14,9	20,2	0,0121
118	57,6	20,3	0,0680
141	38,8	33,1	0,1117
140	36,8	32,0	0,1117
137	30,8	20,1	0,0059
136	30,8	19,9	0,0059
135	30,8	20,0	0,0059
134	30,8	20,0	0,0059
133	2,5	20,0	0,0089
132	2,5	20,0	0,0089
131	2,5	20,0	0,0089
130	2,5	20,0	0,0097
129	4,3	20,0	0,0096
128	2,5	20,0	0,0088
145	13,4	112,7	0,3222
175	41,5	24,6	0,0992
174	41,5	24,8	0,0992
173	41,5	25,1	0,0992
172	41,5	25,5	0,0992
171	41,5	26,1	0,0992
170	41,5	26,9	0,0992
191	41,5	21,1	0,0992
190	41,5	21,2	0,0992
189	41,5	21,4	0,0992
188	41,5	21,6	0,0992
187	41,5	21,8	0,0992
186	41,5	21,8	0,0992
185	41,5	22,0	0,0992
184	41,5	22,2	0,0992
183	41,5	22,4	0,0992
182	41,5	22,6	0,0992
181	41,5	22,7	0,0992
180	41,5	22,9	0,0992
179	41,5	23,0	0,0992
178	41,5	23,3	0,0992
177	41,5	23,7	0,0992
176	41,5	24,1	0,0992
207	30,8	20,0	0,0059
206	30,8	20,0	0,0059
205	30,8	19,9	0,0059
204	30,8	19,9	0,0059
203	30,8	19,9	0,0059

202	14,9	20,2	0,0121
201	14,9	20,2	0,0121
200	14,9	20,2	0,0121
199	1,9	28,5	0,1076
198	36,8	30,8	0,1117
197	36,8	29,8	0,1117
196	36,8	29,0	0,1117
211	32,8	20,0	0,0101
210	32,8	20,0	0,0101
209	32,8	20,0	0,0100
208	30,8	20,0	0,0059
239	30,8	20,0	0,0059
238	30,8	19,9	0,0059
237	30,8	19,9	0,0059
236	30,8	19,9	0,0059
235	30,8	19,9	0,0059
234	30,8	19,9	0,0059
233	30,8	19,9	0,0059
232	30,8	19,9	0,0059
247	30,8	20,0	0,0059
246	30,8	20,0	0,0059
245	30,8	20,0	0,0059
244	30,8	20,0	0,0059
243	30,8	20,0	0,0059
242	30,8	20,0	0,0059
241	30,8	20,0	0,0059
240	30,8	20,0	0,0059



Слика 3.32. Критични услови во пожарно сценарио-8, со CO > 0,1%, на 16.120 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 3.32. Critical conditions in fire scenario-8, with CO > 0,1%, 16.120 seconds after fire event



Слика 3.33. Критични услови во пожарно сценарио-8, со температура >35 C°, на 16.120 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 3.33. Critical conditions in fire scenario-8, with temperature >35 C°, 16.120 seconds after fire event

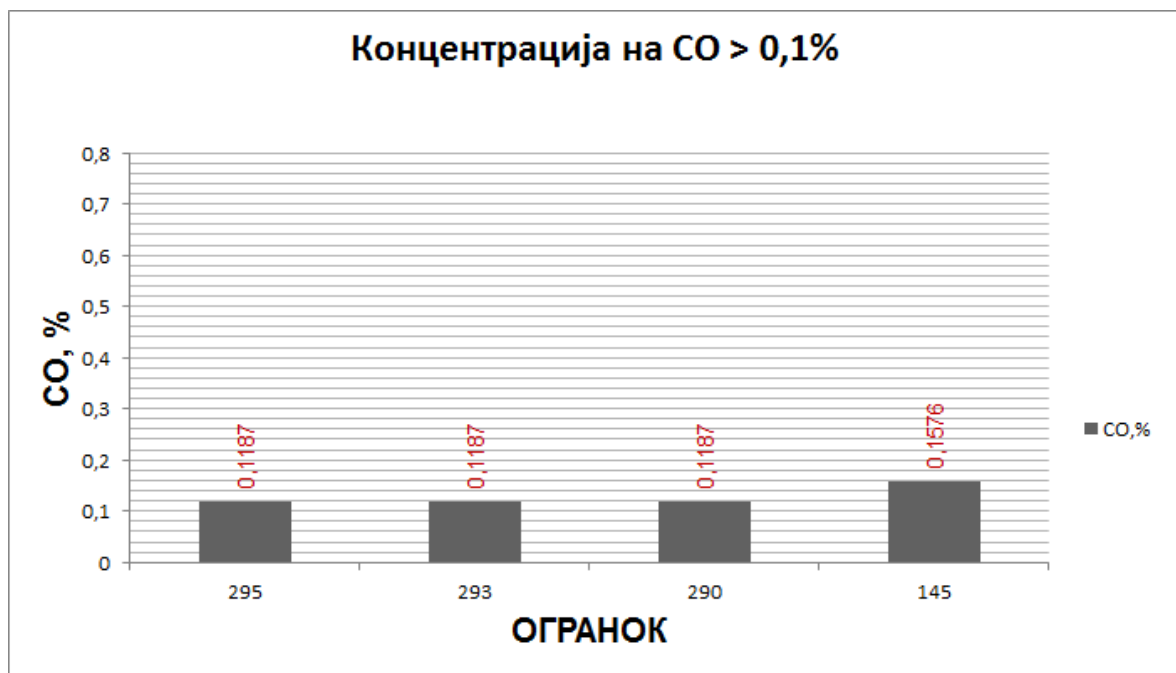
Табела 3.9. Анализа и пресметки за пожарно сценарио-8, на 21.510 секунди од започнувањето на пожарот

Table 3.9. Analysis and calculations of fire scenario-8, 21.510 seconds after fire event

Огранок	Волуменски воздушен проток, [m ³ /s]	Средна температура, [C°]	Концентрација на CO, [%]
303	2,0	21,6	0,0359
295	17,9	41,1	0,1187
293	17,9	35,9	0,1187
291	38,7	26,4	0,0548
290	17,9	49,7	0,1187
316	22,3	20,0	0,0034
315	10,4	19,8	0,0030
314	32,8	20,0	0,0034
313	8,6	19,7	0,0027
312	8,6	19,7	0,0027
311	17,4	19,6	0,0027
310	8,6	19,7	0,0027
309	8,7	19,7	0,0027
308	6,9	19,7	0,0023
307	8,7	19,7	0,0027
306	6,9	19,8	0,0023
34	36,7	23,7	0,0548
32	2,0	24,9	0,0530
330	2,0	20,1	0,0253

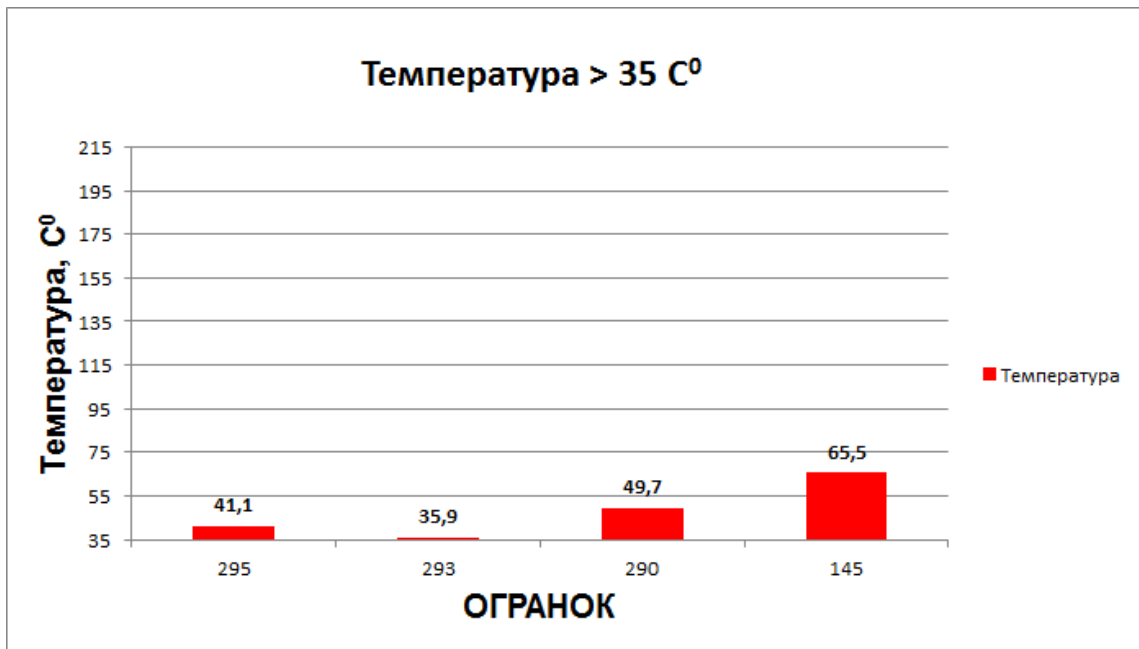
329	39,5	20,2	0,0485
328	57,7	20,1	0,0333
347	9,8	19,7	0,0028
346	15,4	20,0	0,0034
75	70,6	20,0	0,0272
367	5,6	20,1	0,0033
366	5,6	20,1	0,0032
81	70,6	20,0	0,0270
80	70,6	20,0	0,0270
379	70,6	21,7	0,0269
374	9,8	20,0	0,0028
372	17,4	19,7	0,0027
371	70,6	20,0	0,0270
127	2,5	20,0	0,0022
126	30,8	20,0	0,0023
124	14,9	20,0	0,0047
118	57,7	20,1	0,0333
141	38,7	25,8	0,0548
140	36,7	25,3	0,0548
137	30,8	20,0	0,0023
136	30,8	19,9	0,0023
135	30,8	20,0	0,0023
134	30,8	20,0	0,0023
133	2,5	20,0	0,0025
132	2,5	20,0	0,0025
131	2,5	20,0	0,0024
130	2,5	20,0	0,0033
129	4,4	20,0	0,0032
128	2,5	20,0	0,0023
145	13,5	65,5	0,1576
175	41,5	21,9	0,0485
174	41,5	22,0	0,0485
173	41,5	22,1	0,0485
172	41,5	22,3	0,0485
171	41,5	22,6	0,0485
170	41,5	22,9	0,0485
191	41,5	20,4	0,0485
190	41,5	20,4	0,0485
189	41,5	20,5	0,0485
188	41,5	20,6	0,0485
187	41,5	20,6	0,0485
186	41,5	20,7	0,0485
185	41,5	20,7	0,0485
184	41,5	20,8	0,0485
183	41,5	20,9	0,0485
182	41,5	21,0	0,0485
181	41,5	21,0	0,0485
180	41,5	21,1	0,0485
179	41,5	21,2	0,0485
178	41,5	21,3	0,0485
177	41,5	21,5	0,0485
176	41,5	21,6	0,0485
207	30,8	20,0	0,0023
206	30,8	20,0	0,0023
205	30,8	19,9	0,0023
204	30,8	19,9	0,0023
203	30,8	19,9	0,0023
202	14,9	20,0	0,0047

201	14,9	20,0	0,0047
200	14,9	20,1	0,0047
199	2,0	23,5	0,0506
198	36,7	24,7	0,0548
197	36,7	24,2	0,0548
196	36,7	23,9	0,0548
211	32,8	20,0	0,0037
210	32,8	20,0	0,0037
209	32,8	20,0	0,0036
208	30,8	20,0	0,0023
239	30,8	20,0	0,0023
238	30,8	19,9	0,0023
237	30,8	19,9	0,0023
236	30,8	19,9	0,0023
235	30,8	19,9	0,0023
234	30,8	19,9	0,0023
233	30,8	19,9	0,0023
232	30,8	19,9	0,0023
247	30,8	19,9	0,0023
246	30,8	20,0	0,0023
245	30,8	20,0	0,0023
244	30,8	20,0	0,0023
243	30,8	20,0	0,0023
242	30,8	20,0	0,0023
241	30,8	20,0	0,0023
240	30,8	20,0	0,0023



Слика 3.34. Критични услови во пожарно сценарио-8, со CO > 0,1%, на 21.510 секунди од започнувањето на пожарот

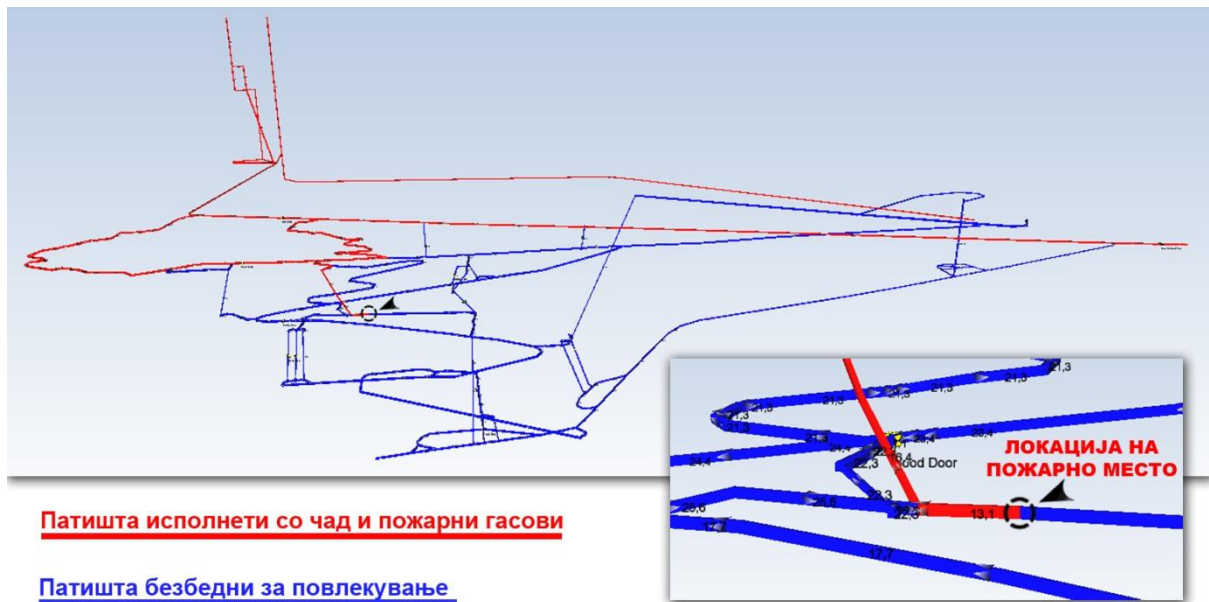
Figure 3.34. Critical conditions in fire scenario-8, with CO > 0,1%, 21.510 seconds after fire event



Слика 3.35. Критични услови во пожарно сценарио-8, со температура $>35\text{ C}^{\circ}$, на 21.510 секунди од започнувањето на пожарот

Figure 3.35. Critical conditions in fire scenario-8, with temperature $>35\text{ C}^{\circ}$, 21.510 seconds after fire event

Со направените анализи и пресметки во софтверот за моделирање на пожари Pyrosim, за пожарното сценарио-8, добивме временска должина на пожарот од 21.510 секунди (358,5 минути), за целосно согорување на истечените 1.000 литри на дизел гориво.



Слика 3.36. Анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-8

Figure 3.36. Calculations for movement of smoke and fire gases made in software MINEFIRE PRO+ for fire scenario-8

По направената анализа и пресметки за движењето на чадот и пожарните гасови, генерирани од пожарното сценарио-8, следува процес за лоцирање на местоположбата на сите луѓе во рудникот (слика 13.54) и издавање на наредби и упаства за нивно повлекување по предходно пресметаните безбедни патишта за спасување и евакуација (слика 3.36).

3.1.1.1 Оптимизација на рутите за евакуација за пожарно сценарио-8

За пресметка на безбедните оптимални рути и потребното време за евакуација на сите работени во рудникот, ќе го користиме погоре спомнатиот математички модел за оптимизација. Влијанијата на предходно дефинираните фактори за оптимизација ќе влијаат на брзината за евакуација и истите се трансформираат во еквивалентна должина на патиштата кои воедно преставуваат и вкупна тежина на рутата за евакуација. Онаа рута за евакуација која ќе има најмала тежина пресметана по предходно спомнатата методологија ќе преставува оптимална рута за евакуација

Според анализата и пресметките за движењето на чадот и пожарните гасови направени во софтверот MINEFIRE PRO+, за пожарно сценарио-8 (слика 3.36), лоцирани се можните патишта за евакуација на сите групи на работници (ќе разгледуваме рути за евакуација до трет ранг). Во табела 3.10, прикажани се само оптималните рути за евакуација на сите вработени во рудникот, пресметани по предходно спомнатиот математички модел за оптимизација.

Табела 3.10. Оптимални рути за евакуација на сите работници во рудникот, генерирани за пожарно сценарио-8

Table 3.10. Optimal routes for evacuation of all workers in the underground mine for fire scenario-8

Евакуација на група работници	Број на работници	Тежина на оптималната рута за евакуација (метри)	Време потребно за евакуација низ оптималната рута (минути)	Активирање на системот за самоспасување (капацитет 30 минути)	Движење низ чад и пожарни гасови (метри)	Време потребно за поминување низ загаденото место (минути)
Група 1	2	1.810	25,3	Не	0	0
Група 2	3	1.027	14,3	Не	0	0
Група 3	2	810	11,3	Не	0	0
Група 4	3	1.771	24,8	Не	0	0
Група 5	2	1.639	22,9	Не	0	0
Група 6	2	1.449	20,2	Не	0	0
Група 7	2	1.084	15,1	Не	0	0

Група 8	2	1.573	22,0	He	0	0
Група 9	3	2.459	34,4	He	0	0
Група 10	2	1.718	24,0	He	0	0
Група 11	2	1.867	26,1	He	0	0
Група 12	2	2.557	35,8	He	0	0
Група 13	3	2.590	36,2	He	0	0
Група 14	2	2.254	31,5	He	0	0
Група 15	2	2.280	31,9	He	0	0
Група 16	2	1.969	27,5	He	0	0

м-р Ванчо Аџиски

**СОВРЕМЕН ПРИСТАП ПРИ ПЛАНИРАЊЕ НА СИСТЕМОТ ЗА
ЕВАКУАЦИЈА И СПАСУВАЊЕ ВО СЛУЧАЈ НА ПОЖАР ВО
РУДНИЦИТЕ ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА**

- ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА -