

# Geofizička mjerenja temperatura i izrada 3D modela požara rudnika ugljena „Mostar“

## Geophysical measurements temperature and making 3D models of fire coal mine “Mostar”

### Sažetak:

Ugljeni požari u jamama mrkog ugljena rudnika Mostar u toku dugogodišnje eksploatacije su bile česte pojave i nastajali su uglavnom kao posljedica provjetravanja jame odnosno kada je kisik dolazio u kontakt s dubokim ugljenim slojem. Nakon nekontroliranog napuštanja objekata rudnika u ratnim događanjima, kroz duži period došlo je do razvoja oksidativnih procesa te lokalne pojave jamskih požara koji se ekološki nepovoljno odrazio na površini prostora Vihovića i Grada Mostar. To se prije svega manifestiralo u vidu dima, zagrijane površine terena, te neugodnih mirisa kao posljedice oksidativnih procesa. Procesima gorenja došlo je do ugrožavanja stanovništva Grada i prekograničnih problema u samom toku rijeke Neretve prema Jadranskom slivu. Kako su bili ugroženi građani ali i materijalna dobra na tom prostoru neophodno je bilo poduzeti i provesti mjere zaštite i spašavanja prostora na kojem su se odvijali vidljivi procesi požara.

Kako je požar bio jedan od uzročnika onečišćenja nastanjenog prostora Grada preko zraka, vode i tla započet je proces rekonstrukcije cjelokupnog prostora a time i gašenja rudničkih požara. Gašenje rudničkog požara je izvedeno s površine terena i izvršeno je kroz tri faze:

1. Istražno bušenje na prostoru rudnika,
2. Geofizička mjerenja temperatura i izrada 2D i 3D modela požara i
3. Direktno gašenje jamskog požara

Druga faza se odnosili na geofizička istraživanja i mjerenja visokih temperatura u prostoru napuštenih radova. Rezultati geofizičkih mjerenja visokih temperatura na terenu i njihova interpretacija u kabinetu su doveli do procjene područja koja su identificirana kao zone visokih temperatura ili „zone rudničkog požara“. Na bazi identifikacije zona urađen je 2D i 3D model granica jamskog požara. Na bazi ovih modela izrađen je projektni plan i program gašenja jamskog ugljenog požara i to s površine, što je po prvi put izvedeno na prostoru BiH.

**Ključne riječi:** Mostar; 2D model prostora požara, 3D model prostora požara.

### Summary:

Coal fires in coal mine pits brown Mostar during long operation were frequent occurrences and are generally generated as a result of mine ventilation or oxygen when in contact with the deep coal seams. After leaving the uncontrolled objects mines in war events, over a long period there has been a development of oxidation processes and the local occurrence of underground fires that are environmentally adverse impact on surface area Vihovići and the City of Mostar. It is primarily manifested in the form of smoke, heated terrain and odor as a result of oxidation processes. Burning process, there was a threat to the population of the City and cross-border problems in the course of the river Neretva to the Adriatic basin. How were vulnerable citizens but also material goods in this area it was necessary to take and implement measures for the protection and rescue of the area where they took place visible processes of fire.

As the fire was one of the causes of pollution inhabited area of the City over the air, water and soil initiated the process of reconstruction of the entire area and thus extinguishing the fire of mine. Extinguishing fire mining is carried out from the surface and was carried out in three phases:

1. Exploration drilling in the area of the mine,
2. Geophysical measurements of temperature and development of 2D and 3D models of fire and
3. Direct fire extinguisher pit.

The second phase relating to geophysical exploration and measurement of high temperature in the abandoned works. Results of geophysical measurements of high temperatures on the field and their interpretation in the Cabinet led to the assessment of areas that have been identified as areas of high temperature or “zones of mining fire”. Zone-based identification was made 2D and 3D model of the fire pit boundaries. On the basis of these models is made project plan and program shutdowns cave coal fire and that the area, which was first implemented in Bosnia-Herzegovina.

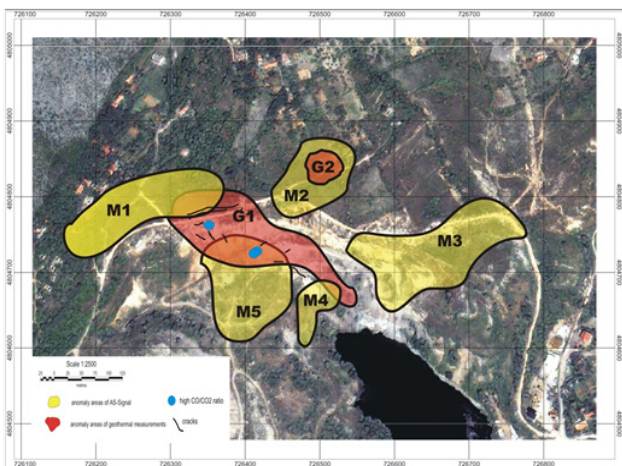
**Key words:** Mostar; 2D model space fire, 3D model space fire.



## UVOD

Prva izvedena geofizička mjerenja na površini terenu iznad napuštenih jamskih prostora (2006.) utvrđena su dva područja anomalije visokih temperatura (područja G1 i G2) i pet regija geomagnetnih anomalija (Područja M1, M2, M3, M4 i M5) kako je prikazano na slici 1.

Cilj novih geofizičkih mjerenja visokih temperatura (2008.) preko ispitnih bušotina je bio otkriti da li su M3 i dijelovi M1, M2, M4 i M5 novi ili stari požari. Ovo saznanje bi poslužilo kao osnova za određivanje konačnog broja i lokacija dodatnih injekcionih bušotina predviđenih za gašenje požara. Na kraju ovih istraživanja preklapljen su mape iz 2006 godine i one iz 2008 godine i izrađen konačan plan gašenja jamskih požara. Istraživanja su se pokazala svrsishodna i požari su lokalizirani u konačnici. Ž



Slika 1: Anomalijske mikro regije dobivene na osnovu geomagnetnog (M1-M5) i temperaturnog mjerenja (G1-G2) [3]

## 1. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA VISOKIH TEMPERATURA

Završeni poslovi na istražnim bušotinama su omogućili da se istraživanja odvijaju kao:

1. Istraživanje na terenu i
2. Kabinetska istraživanja

Oba istraživanja imaju cilj da se kroz interpretacije rezultata dobiju podloge za realizaciju radova koji su vezani za sam proces hlađenje prostora i gašenje ugljena.

## 2. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA NA TERENU

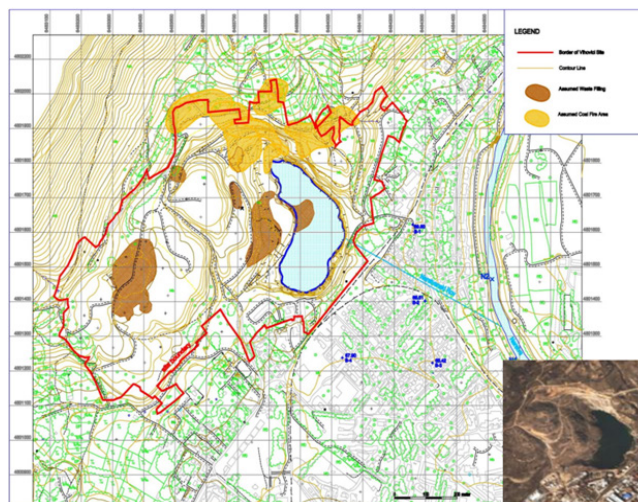
### 2.1. Makro i mikro lokacija prostora za istraživanje

Područje rudarskog kompleksa „Vihovići“ nalazi se sjeverno od Mostara (Slika 1). Od samog središta Grada, prostor je smješten oko 500 metara dok je od rijeke Neretve udaljen oko 300 m. Ukupno područje rudničkog prostora je površine od oko 76 ha, koji je značajnim dijelom degradiran rudničkim kopom površine 43,2 ha i kao neuređen prostor napušten. U krateru kopa nalazi se jezero površine 7 ha, dubine od 10 do 35 m i zapremine oko  $1,1 \times 10^6$  m<sup>3</sup> koje je putem rudarskog rova spojeno s rijekom Neretvom, koja dalje gravitira ka Jadranskom moru.



Slika 2. Avionski snimak makro i mikro lokacije Mostar - Vihovići

Grafički prikaz mikro lokacije Vihovići sa lokacijama mogućeg jamskog požara i prostora odloženog otpad prikazano je na narednoj slici.



Slika 3. Grafički prikaz mikro lokacije Vihovići sa lokacijama mogućeg jamskog požara i prostora odloženog otpada

## 2.2. Instrumentarij za mjerenje visokih temperatura

Mjerenje visokih temperatura je ključan dio detaljnog istraživanja terena iznad požarišta. Stoga je upotrijebljen instrument za mjerenje visokih temperatura HTLS 300 od GGA Hannover. HTLS 300 omogućava mjerenje temperature do 1200 °C s točnosti od 1 Kelvina. Vertikalna brzina uzorkovanja temperature je manja od 0,1 m. Da bi izdržalo visoke temperature, mjerni kabel je izrađen od mineralno izoliranog nehrđajućeg čelika.

Instrument za mjerenje visokih temperatura se sastoji od 4 glavne komponente: Pogonski uređaj (traktor), vitlo s mjernim kablom, daljinski upravljač i uređaj za mjerenje.

### 2.2.1. Pogonski uređaj (traktor)

Da bi pokretao mineralno izoliran kabel, traktor (Slika 3.) ima uređaj za potezanje i guranje, koji se sastoji od dviju suprotnih tekućih traktorskih traka. Glavni razlog za ovaj tip konstrukcije je da se raspriši vučna sila koja se uslijed rada javlja na kablju. Vlačna snaga mineralno izoliranog kabla nije velika. Traktorske trake su izrađene od silikonom obložene staklene tkanine. Rotacioni enkoder nadzire kretanje traktorskih traka. Signali od obaju tragova enkodera se zatim analiziraju za dubinu u uređaju za mjerenje.

Vučna sila na kablju se mjeri kroz pretvarače sile koji se nalaze s donje strane traktora, koji je smješten na aluminijskoj ploči.

### 2.2.2. Vitlo

Vitlo se sastoji od motorno pokretanog kablovskog navoja s mineralno izoliranim kablom. Kada je kabel izmotan, traktor gura kabel u bušotinu i vitlo dostavi samo taj iznos kabla, što je neophodno da bi se izbjegao bilo kakav dodir između traktora i vitla. Kada kabel je namotan, samo traktor preuzme vučnu silu, dok naprotiv vitlo samo namotava kabel. Kabel sam po sebi je temeljen na novoj tehnologiji za mineralno izolirane kablove. Ono se sastoji od 3,0 milimetarske tube od nehrđajućeg čelika. Žice unutar tube su izolirane s puderastom keramikom (Slika 4).



Slika 4. Traktorska jedinica postavljena na aluminijskoj ploči



Slika 5. Vitlo s mineralno izoliranim kablom

### 2.2.3. Daljinski upravljač

Traktorom i vitlom se upravlja daljinskim upravljačem omogućavaju zasebno kontroliranje brzine i smjera namota (Slika 5).

### 2.2.4. Uređaj za mjerenje

Uređaj za mjerenje se sastoji od temperaturnog senzora, kontrolnog uređaja ALADIN i terenskog laptopa. Temperaturni senzori su:

- dTrans T01 PT100 (platina) senzor za temperature do 600 °C
  - termo element (NiCr-Ni) za temperature do 1200 °C
- Oko 10 cm iznad temperaturnog senzora je postavljena dodatna mala težina da podrži kretanje senzora prema dole.

ALADIN kontrola sadržava analogno-digitalni pretvarač, napajanje strujom za sebe kao i napajanje za uređaj za mjerenje, i USB punjač prema laptopu. Svi podaci (dubina, temperatura, vučna sila) su spremljeni i prikazani u stvarnom vremenu na laptopu.



Slika 6. Daljinski upravljač za vitlo i traktor



Slika 7. ALADIN kontrolni uređaj i terenski laptop postavljeni na kutiju u VW Caddy-u.

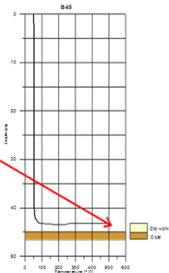
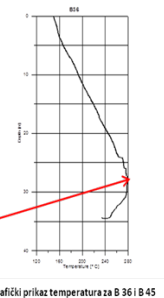
### 3. KABINETSKA ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. Tabelarni prikaz dobivenih terenskih istraživanja

Nakon što su izvršena geofizička mjerenja visokih temperatura na terenu izvršena je i njihova interpretacija u kabinetu. Rezultati dobivenih mjerenja prikazani su u tablici 1. a preuzeti su s iscrtanih grafičkih prikaza za svake bušotine terenskog mjerenja pohranjenog u laptopu.

Tablica 1. Maksimalna temperatura i dubina (od površine) gdje je temperatura izmjerena za sve 34. bušotine

X	Y	Naziv bušotine	T <sub>max</sub> [°C]	Dubina za T <sub>max</sub> [m]
726499.05	4804875.48	2	49	64
726524.09	4804848.84	5	51	62
726500.64	4804849.37	6	57.5	67
726475.06	4804851.50	7	62	36
726525.69	4804824.85	8	42	49.5
726500.64	4804825.39	9	59.5	54
726475.06	4804825.92	10	73.2	57
726374.34	4804825.39	13	73	37.5
726275.75	4804824.85	17	53.5	12
726499.58	4804799.80	20	123.8	62.8
726399.92	4804801.40	24	76.5	40
726349.29	4804799.27	26	77	14
726423.90	4804776.36	34	71.2	34
726375.41	4804775.29	36	280	27.5
726348.23	4804775.82	37	132	18.8
726299.20	4804775.29	39	67.2	28
726200.07	4804775.82	43	20	0.6
726452.68	4804747.04	45	506	43
726426.57	4804748.11	46	101	30.8
726398.85	4804747.04	47	84.5	34
726350.36	4804747.04	49	49	1.5
726472.93	4804724.13	55	60.7	38.4
726420.17	4804725.73	57	76	32.1
726350.89	4804724.66	60	30	37.2
726373.81	4804674.57	66	33.4	26
726484.66	4804689.99	70	20.5	8
726575.25	4804798.74	76	29.2	63
726725.01	4804775.29	85	27.8	0
726724.48	4804725.73	104	22	0.45
726624.28	4804725.73	108	21.5	48
726674.38	4804699.08	113	23	1
726763.43	4804558.42	121	18.2	18
726802.20	4804641.74	122	21.5	0.05
726856.65	4804725.89	123	20.9	0.01



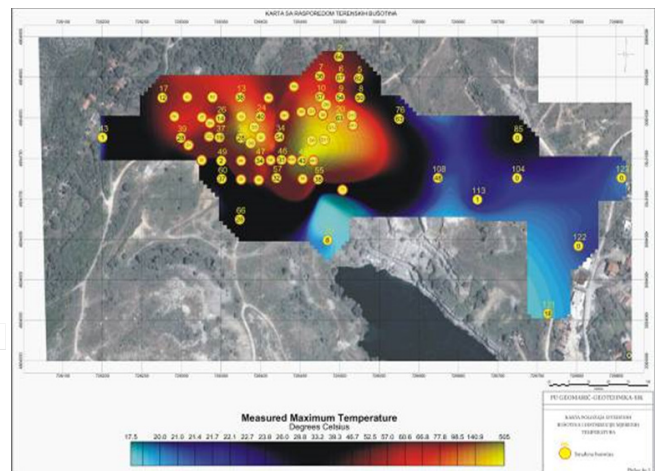
tablici 1. pokazala su da, najviša izmjerena temperatura je očitana na bušotini B-45 i to s temperaturom višom od 506 °C na dubini od 43 m. Druga po vrijednosti temperatura je izmjerena u bušotini B-36 koja je pokazala temperaturu od 280 °C na dubini od 27,5 metara.

#### 3.2. Grafički prikazi u 2D i 3D modelu požarnih mjesta

Grafički prikaz izmjerene dubine i temperature za sve bušotine prikazan je na sljedećoj slici. Navedene dvije bušotine visokih temperatura pripadaju jednoj zoni visokih temperatura (P1). Drugo područje visokih temperatura je locirano na i sjeverno od bušotine broj 20. gdje je na dubini od 62,8 m očitana temperatura blizu 124 °C.

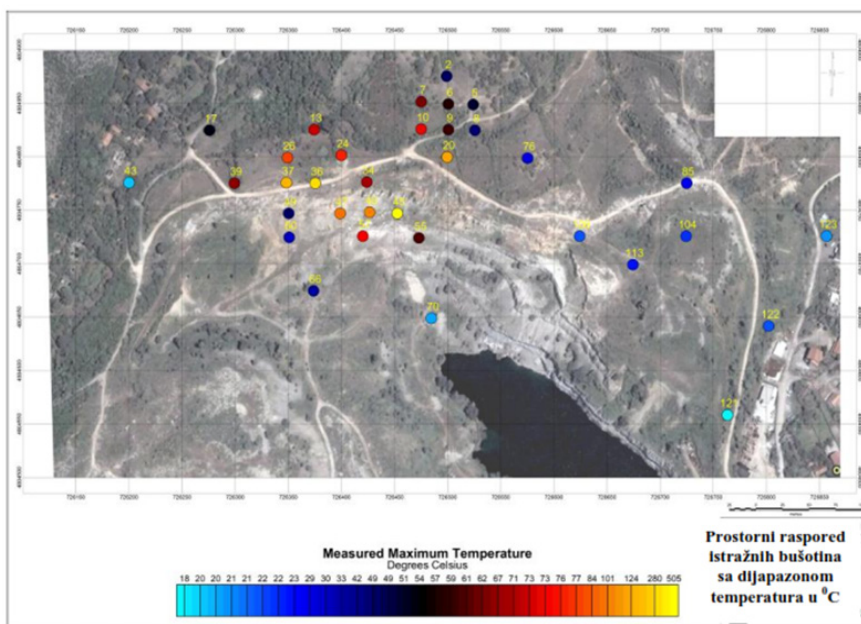
Na bazi kabinetskih istraživanja došlo se do prostora koji je neophodno injektirati vodom u cilju rashlađivanja a potom kada se prostor ohladi na ispod 60 °C [1] izvršiti injektiranje smjesom pepela i vode radi konačnog gašenja požara ali i stabilizacije cjelokupnog terena. Utvrđeno je da požarne zone se nalaze u dvije zone razdvojene ugljenim rasjedom, tako da je prostor podijeljen na P1 i P2 požarište.

Na bazi svih planiranih terenskih i kabinetskih istraživanja moguće je bilo stvoriti dvodimenzionalnu i trodimenzionalnu sliku centra požara, poziciju ugljenog sloja u odnosu na prostor te poziciju požara u odnosu na prostor terena.

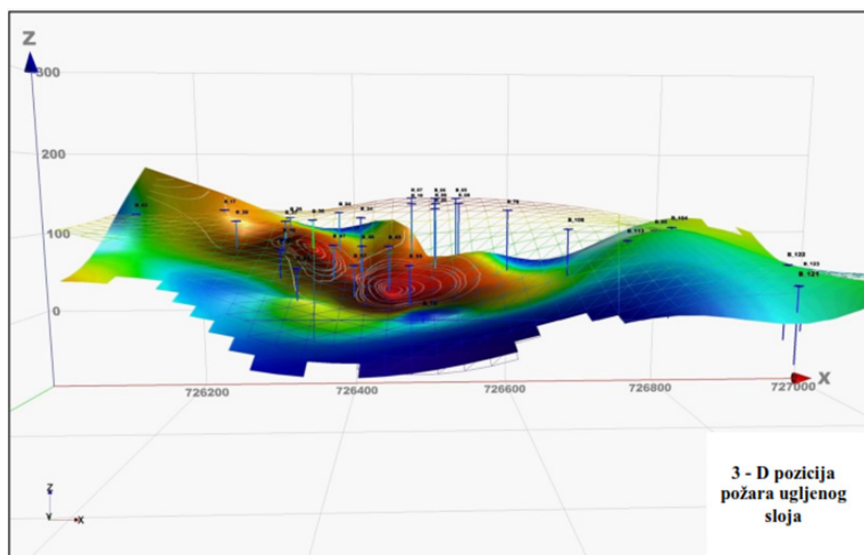


Slika 8. Slika temperaturnih područja prostora napuštenog rudnika Mostar [3]

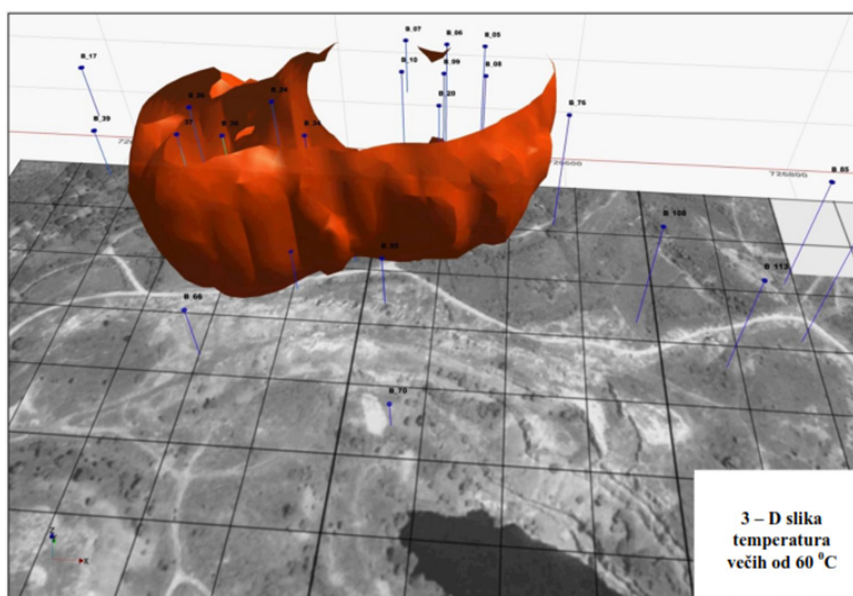
Interpretacija rezultata istraživanja prikazanih u



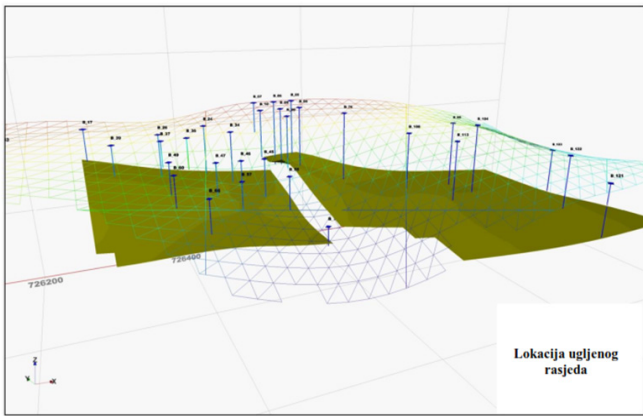
Slika 9. Dvodimenzionalni prikaz rasporeda bušotina i temperatura na prostoru rudnika [3]



Slika 10. Trodimenzionalna slika rudničkog prostora i požarišta [3]

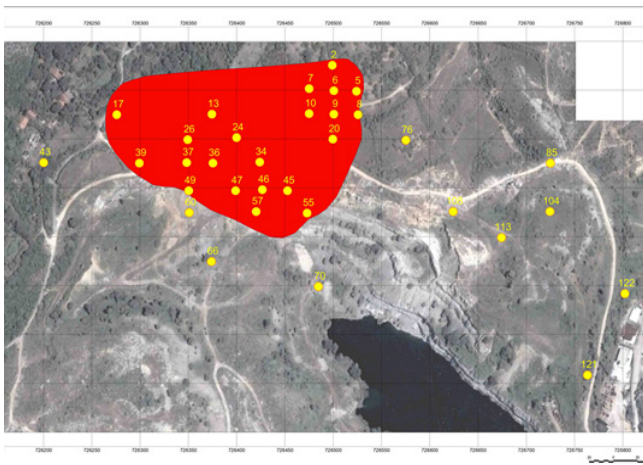


Slika 11. Trodimenzionalna mapa prostora požara u odnosu na teren [3]



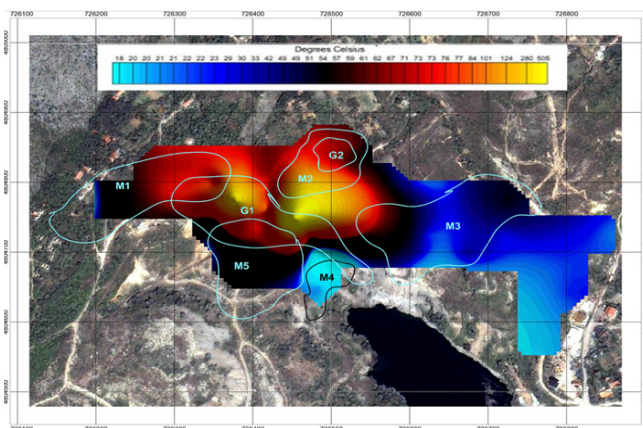
Slika 12. Trodimenzionalna mapa ugljenog sloja stvorena na osnovu litoloških podataka sakupljenim iz istraživačkih bušotina [3]

Rezultati geofizičkih mjerenja visokih temperatura su dovela do nove procjene područja koja su identificirana kao zona požara ili vruća zona. Naredna slika pokazuje područje određeno kao zona zagrijanih stijena i gdje ugljeni požari gore ispod površine.



Slika 13. Područje određeno kao zona zagrijanih stijena i gdje ugljeni požari gore ispod površine [3]

Na preklapljenoj mapi naredne slike prikazane su lokacije M1, M2, M3, M4 i M5 u kombinaciji s prikazom slikom temperatura izmjenjenih tijekom novih mjerenja visokih temperatura iz 34 bušotine.



Slika 14. Preklapljena mapa starih i novih geofizičkih ispitivanja [3]

## 4. ZAKLJUČAK

Požari u jami rudnika ugljena Mostar su nastali kao posljedica prestanka proizvodnih aktivnosti rudnika i imali su značajan utjecaj kako na lokalni tako i na prekogranični okoliš. Prva izvedena geofizička mjerenja na površini terenu iznad napuštenih jamskih prostora utvrdila su dva područja anomalije visokih temperatura i pet regija geomagnetnih anomalija. Nova istraživanja putem suvremene opreme i softverskih alata, geofizičkim mjerenjima provedenim na 34 ispitne bušotine, bio je utvrditi da li su dijelovi prostori M1, M2, M3, M4 i M5 u požarnoj fazi u trenutku mjerenja. Oni su poslužili kao osnova za određivanje konačnog broja i lokacija bušotina predviđenih za gašenje požara.

Iz ovih mjerenja izvodi se zaključak da područje M4 otpada kao područje požara kao i dijelovi M5 (južni i srednji dio), svi dijelovi M3 i dijelovi M1 (istočni i srednji dio).

Preostali istočni dio područja M1, M2, i sjeverni dio M5 u kombinaciji s već identificiranim geotermalnim regijama G1 i G2 čine dvije požarne zone koje su razdvojene rasjedom i koje treba metodom rashlađivanja dovesti na temperaturu do 60 0C. Nakon toga emulzijom koji čine elektrofilterski pepeo i voda zapuniti trajno bušotine i eliminirati požar. Pored toga neophodno je na monitoring bušotinama pratiti planski eventualne nove pojave povišenih temperatura te izvršiti konačno uređenje rudničkog prostora u cilju dobivanja visoko vrijednog prostora (vidikovci, šetnice, botanička bašta, biciklističke staze, prostor za rekreaciju i sl).

## 5. LITERATURA

1. Uljić H., 1998. Sigurnost i zaštita u rudarstvu, Univerzitet u Tuzli, Tuzla.
2. Knežiček, Ž., Uljić, H., Husagić, R., 2006. Oblikovanje i prenamjena prostora površinskih kopova lignita, Rudarski institut Tuzla.
3. Knežiček, Ž., et. Al. 2008. Projekt geofizičkih istraživanja sa interpolacijom mjerenih temperatura, Köln/Tuzla.