

Primena termografije u rudarstvu

Stevan Đenadić, Vesna Damnjanović, Predrag Jovančić, Dragan Ignjatović, Dragutin Jovković, Filip Miletić



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

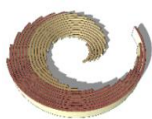
[ДР РГФ]

Primena termografije u rudarstvu | Stevan Đenadić, Vesna Damnjanović, Predrag Jovančić, Dragan Ignjatović, Dragutin Jovković, Filip Miletić | IX Међународна конференција UGALJ 2019, Zlatibor, Србија, 23-26. октобар 2019. | 2019 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0005610>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs



PRIMENA TERMOGRAFIJE U RUDARSTVU

APPLICATION OF THERMOGRAPHY IN MINING

Đenadić S.¹, Damnjanović V.², Jovančić P.³, Ignjatović D.⁴, Jovković D.⁵, Miletić F.⁶

Apstrakt

Danas, gotovo da nema oblasti u nauci i tehnici u kojoj se Infracrvena termografija ne primenjuje kao metoda za lociranje i praćenje zagrejanih objekata ili tela, beskontaktnu procenu temperature površina, i nedestruktivno ispitivanje materijala. U radu su prikazane mogućnosti i perspektive primene ove metode u oblasti rudarstva.

Ključne reči: infracrvena termografija, rudarstvo, monitoring

Abstract

Today, there is almost no field in science and technology in which Infrared thermography is not used as a method for locating and monitoring heated objects or bodies, contactless surface temperature estimation and non-destructive material testing. This paper presents the possibilities and prospects of applying this method in the field of mining.

Key words: infrared thermography, mining, monitoring

1. Uvod

Termografija, kao oblast nauke koja se temelji na zakonima zračenja a koja se bavi vizualizacijom toplotne slike svega što nas okružuje, sve više dobija na značaju [1]. Izuzetno je teško nabrojati sve mogućnosti primene infracrvene termografije (ICT) a da se nešto ne propustiti. Lociranje zagrejanih objekata i tela, kao i beskontaktna kontrola raspodele temperature na površini objekta i tela, koristi se za rešavanje širokog spektra zadataka kako u vojsci i u bezbednosne svrhe, tako i u energetici, građevinarstvu, nauci, medicini, veterini, poljoprivredi, geologiji, ispitivanjima kulturne baštine i u mnogim drugim oblastima industrije i nauke [2-8].

Rudarstvo je industrijska grana koja se bavi iskopavanjem i preradom ruda za korišćenje u

¹ Đenadić Stevan, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

² Prof. Dr Damnjanović Vesna, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

³ Prof. Dr Jovančić Predrag, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

⁴ Prof. Dr Ignjatović Dragan, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

⁵ Jovković Dragutin, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

⁶ Miletić Filip, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

različitim oblastima industrije ili u svakodnevnom životu. Oduvek je bilo i pokretač i pratilac industrijskog razvoja, pa je svako osavremenjavanje načina eksploatacije rude i implementiranje novih tehnologija u procese praćenja proizvodnje od velikog značaja. Međutim, ankete zaposlenih u rudarskim kompanijama pokazuje da se o termografiji ne zna mnogo, izuzev da se njenim korišćenjem mogu detektovati mehaničke i električne komponente koje imaju problem sa pregrevanjem [9], i blagovremeno predvideti potencijalno samozapaljenje uglja [10-13]. U datom radu predstavljene su mogućnosti i perspektive upotreba ICT u izuzetno kompleksnoj i multidisciplinarnoj oblasti kakvo je rudarstvo.

2. Osnove termografije

Infracrveno (IC) talasno područje nalazi se između gornje granice crvene vidljive svetlosti i kratkih radiotalasa, tj. obuhvata spektralno područje talasnih dužina od 0,74 do 1000 μm . IC zračenje zagrejanih objekata ljudska koža percipira kao osećaj toplote, pa se zato često naziva i toplotno zračenje. Veći deo IC talasnog područja je za ljudsko oko nevidljivo, zbog čega je konverzija prostorne raspodele ovog zračenja u vidljivu sliku (termogram) koju omogućavaju savremeni optoelektronski uređaji (termografske kamere) od velikog interesa za bezbednosne i praktične potrebe. U prvom (1,5 – 2 μm), drugom (3 – 5 μm) i trećem atmosferskom prozoru (8 – 14 μm), transmisija ovog zračenja je bolja, pa se pri normalnim atmosferskim uslovima, mogu detektovati objekti i tela čije su temperature respektivno 1100 – 1200°C, 500 – 600°C i 30 – 40°C, što je izuzetno važno kada se termografska razmatranja vrše na rastojanjima koja su reda veličine nekoliko kilometara, što je čest slučaj i na površinskim kopovima.

2.1. Različiti uslovi eksploatacije i odabir termografskih kamera za primene u rudarstvu

Savremeno rudarstvo se u velikoj meri oslanja na mehaničke i električne sisteme. U proizvodnim procesima iskopavanja materijala koriste se, kako velike mašine kontinualnog dejstva (rotorni bageri, bageri vedričari, transporter sa trakom, odlagači) tako i mašine diskontinualnog dejstva (bageri kašikari, bageri dreglajni, dozeri, kamioni i sl.). Eksploatacija se često odvija u okruženju sa ekstremnim uslovima rada. Klimatski i radni uslovi su različiti, javljaju se velike hladnoće i visoke temperature, a eksploatacija se vrši površinski, podzemno ili ispod nivoa mora. Postoji stalna, potencijalna opasnost, kako po ljude, tako i po mehanizaciju i energetska postrojenja koja su uključena u neprekidne proizvodne procese u otežanim uslovima rada. U navedenim okolnostima ICT može postati važan faktor za očuvanje procesa proizvodnje i u rudarskoj industriji, jer ima sve potrebne atribute: sigurana je, beskontaktna, nedestruktivna, merenja se mogu vršiti sa značajne udaljenosti u realnom vremenu i oprema koja se koristi je po potrebi prenosna, a može se koristiti i višenamenski.

Pravilan odabir termografskih kamera za potrebe u rudarstvu podrazumeva najpre definisanje njihove namene, a zatim i uslove u kojima će raditi. Što se tiče namene, sve zavisi od toga da li je u pitanju površinski kop ili podzemna eksploatacija i da li se radi o monitoringu na otvorenom ili zatvorenom prostoru (tj. na kojim rastojanjima će se vršiti detekcija). Takođe, važno je da li se radi o monitoringu čvrste (ugalj, građevinski kamen, bakar, olovo, zlato, srebro, cink), tečne (nafta i naftini derivati), ili gasovite (praćenje protoka gasa ili inspekcija curenja štetnih gasova) sirovine. Odabir tipa termografskih kamera vrši se na osnovu sledećih uslova i tipa kontrole:

- Uslova koje diktira ležište koje se eksploatiše. U slučaju površinskog kopa to su meteorološki uslovi tokom godine, površina koju zahvata, brojnost mehanizacije za otkopavanje i transport. Pri tome je bitna je i vrsta mašina na kojima se vrši inspekcija (kontinualnog dejstva ili diskontinualnog dejstva).

- Na osnovu temperature paljenja za datu vrstu uglja po klasama na površinskim kopovima.
- Na osnovu temperature koju treba detektovati, tj. spektralnog opsega u kome treba da radi.
- Na osnovu rastojanja na kojima treba da detektuje.
- Na osnovu toga da li će imati jednu namenu ili će biti višenamenska.
- Da li će se vršiti inspekcija dalekovoda i električnih instalacija koji napajaju kop?
- Da li će se vršiti kontrola visine nafte i njenih derivata u rezervoarima i začepjenja u cevima naftovoda?
- Da li će se vršiti kontrola curenja gasa i nafte duž gasovoda i naftovoda?
- Da li će se vršiti inspeksijski nadzor cevi i cisterni radi utvrđivanja curenja štetnih gasova?
- Da li će se vršiti praćenje pregrevanja rezervnih delova koji se habaju?
- Da li će se oprema koristiti za nalaženje pregrejanih delova mašina, traka, crpnih pumpi usled sprečavanja lomova?
- Da li će se pratiti pregrevanje i pohabanost guma velikih mašina?
- Da li će se vršiti kontrola kvaliteta emisije štetnih gasova u atmosferi na datoj termoelektrani koji nastaju sagorevanjem ugljeva u kotlovima kako bi termalna kamera bila opremljena i specijalnim filterima?
- U slučaju podzemne eksploatacije na osnovu vlažnosti u jami, dubine jame, krivudavosti jame, vrste gasova koji se mogu očekivati u jami.
- Da li će se vršiti utvrđivanje porekla rezervnih delova sumnjivog porekla koji se ugrađuju u mašine istočnoevropskih proizvođača koji više ne postoje (u ovom slučaju je neophodna aktivna ICT)?
- I naravno, odabir na osnovu cene.

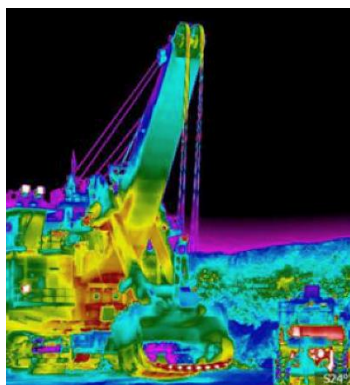
Kvalitet kamera (spektralni opseg u kome mogu da rade; bolometarski detektori ili fotonski; kriogena tehnika ili ne; detektivnost; optika, i dr.), svakako je povezan sa cenom, pa je pre kupovine od izuzetnog značaja da kompanija napravi pravilnu procenu. Kakvo god da je kvaliteta, da bi se postavila pravilna dijagnoza o stanju specifične opreme, termalna kamera mora biti kalibrisana u skladu sa karakteristikama kao što su temperatura, vlažnost, osvetljenje, rastojanje.

3. Primena ICT u rudarstvu

Moderni površinski kop, srednje veličine ili veliki, može se u nekoliko reči opisati kao prostran, složen i izuzetno prometan. Obuhvata hiljade hektara, može biti u prečniku nekoliko kilometara, a često dubok i preko 500 m. Kopovi ove veličine ispresecani su mrežom puteva, a na njima se istovremeno odvija niz aktivnosti kao što su otkopavanje, utovar, transport, deponovanje, prerada. Sve te vrše se uz pomoć mnogobrojne teške mehanizacije, transportera sa trakom, teške opreme i ljudi. Navedene operacije zahtevaju visok stepen koordinacije, pa su termografske kamere, zajedno sa klasičnim kamerama, više nego poželjne za praćenje procesa ove vrste. One dispečerima noću ili u otežanim uslovima vidljivosti, praćenjem snimaka sa više kamera istovremeno, u realnom vremenu omogućuju nadzor svih aktivnosti na kopu, što u slučaju potrebe obezbeđuje blagovremeno reagovanje i sprečavanje potencijalnih smetnji u efikasnosti proizvodnje, prekida proizvodnje ili nesreća. Posebno treba istaći da se proizvodni procesi na velikim površinskim kopovima u znatnoj meri oslanjaju na velike mašine kontinualnog dejstva koja se napajaju električnom energijom. Neplanirano prevremeno održavanje ove mehanizacije može dovesti do povećanja troškova na održavanju, kao i do zastoja i prekida proizvodnog procesa, što indukuje dodatne troškove usled prekida eksploatacije. U zavisnosti od tipa kamere, praćenjem temperature, sa sigurne udaljenosti, ovom neinvazivnom metodom, može se sagledati stanje opreme u celini ili njenih specifičnih tačaka.

Mehanizacija i oprema, radi provere eventualnih oštećenja, može se pratiti i fiksnom i

ručnom termografskom kamerom. Tipični termogrami mašina na površinskom kopu prikazani su na Slici 1 i Slici 2.



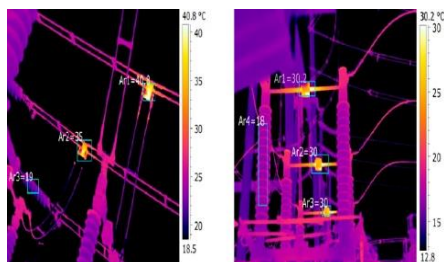
Slika 1. Termogram bagera kašikara na površinskom kopu [14]



Slika 2. Termogram kamiona (kamionski transport) na površinskom kopu [15]

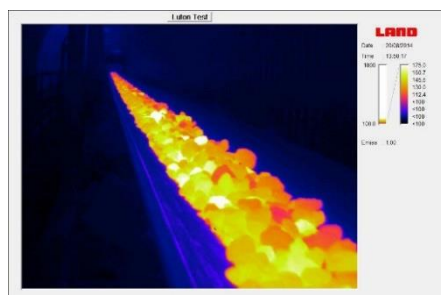
Na mašinama koje se koriste za transport otkopanog materijala (kamioni, skreperi i sl.) često se vrši pregled pregrejanih delova motora da bi se proverilo da li je sve u ispravnom stanju, što se može brzo i lako uraditi pomoću ručne termalne kamere. Ručna termalna kamera nudi trenutnu i preciznu dijagnostiku koja predviđa kvarove i na hidrauličnoj opremi (dizalice i prese) što takođe pomaže u izbegavanju operativnih zastoja. Može se koristiti se i za procenu stepena rizika u oštećenju guma [16], koje su izuzetno velikih gabarita i visokih cena, izazvanog usled preopterećenja tovarom i hrapavosti terena.

Moguća je inspekcije svih elektroinstalacija - čitave vazdušne mreže dalekovoda, podstanica i transformatora koji napajaju površinski kop ili podzemni rudnik. Moguće je detektovanje potencijalnih kratkih spojeva, oštećenja izlaznih kablova ili oštećenja prekidača (Slika 3). U slučaju identifikovanja problema na osnovu snimljenih termograma, brzom reakcijom moguće je sprečavanje prekida napajanja električnom energijom rudnika koji bi generisao gubitke u svakodnevnoj proizvodnji. U proseku, za rešavanje ovakvih problema potrebno je 4 do 6 h, što na kopu srednje veličine znači da se ne bi otkopalo materijala reda veličine nekoliko 10^4 t. U slučaju blagovremenog otkivanja greške ICT metodom, isti problem može rešiti za manje od 1 h. Nakon sprovedenih mera održavanja opreme, stručnjaci snimaju nove termograme kako bi se uverili da je problem otklonjen. U zavisnosti od potrebe ovakva inspekcija može se vršiti različitom frekvencijom (dnevno, nedeljno ili mesečno).



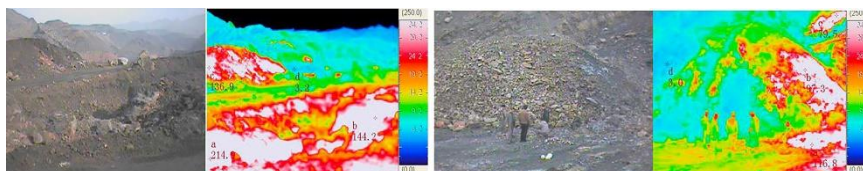
Slika 3. Inspekcija oštećenja elektro instalacije termografskom kamerom [17]

Primer gde se fiksna kamera može koristiti je nadgledanje stanja transportera sa trakom (Slika 4). U slučaju blagog porasta temperature, osoblje može intervenirati regulacijom brzine ili rasporedom radova u redovnom održavanju koje se obavlja.

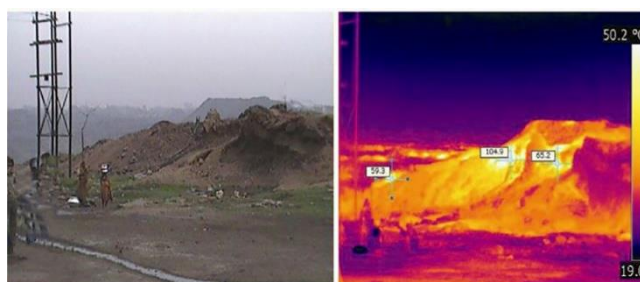


Slika 4. Termogram pri praćenju proizvodnog procesa prenosa materijala transporterom sa trakom [18]

U slučaju eksploatacije uglja (Slika 5 i 6), često se vrši odlaganje velikih količina uglja na deponije ili utovar u specijalizovane kontejnere, što vodi ka visokom riziku od požara.



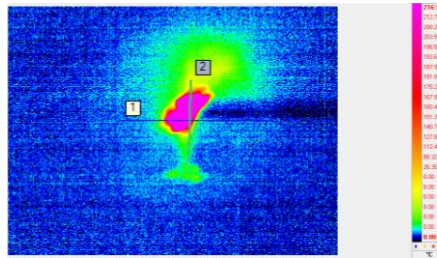
Slika 5. Termogram deponije uglja u Kini [10]



Slika 6. Termogram na površinskom koku u Indiji [11]

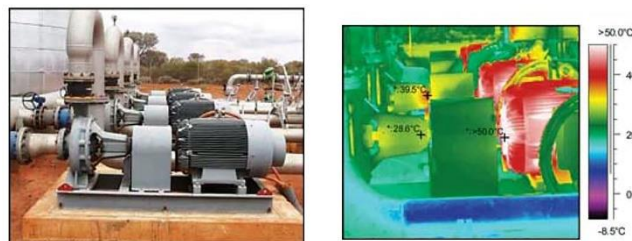
Važno je vršiti termovizijski nadzor dna ovih deponija kako bi se pronašla vruća tačka, jer je to znak da može doći do samozapaljenja rude (Slika 7). U letnjim mesecima, postoji mogućnost samozapaljenja ugljeva niskog kvaliteta na otvorenom prostoru. Upravo je zato na deponijama angažovana mašina (dozer) sa zadatkom stalnog pomeranja i sabijanja uglja, u cilju sprečavanja kontakta kiseonika sa užarenim lokacijama. Požari ovog tipa koji se ne uoče i saniraju odmah mogu

dovesti do katastrofalnih ekoloških posledica i velikih materijalnih gubitaka, pa je termovizijski nadzor više nego poželjan. Najčešća i najzastupljenija primena termografije u rudarstvu je upravo inspekcija radi sprečavanja samozapaljenja uglja [10-13].



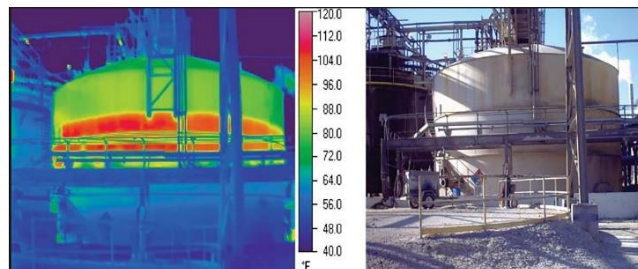
Slika 7. Termogram uglja u procesu paljenja (kamera Capture1454) [19]

U jamama i površinskim kopovima gde je neizbežno odvodnjavanje, ICT se koristi za inspekciju crpnih pumpi (Slika 8).

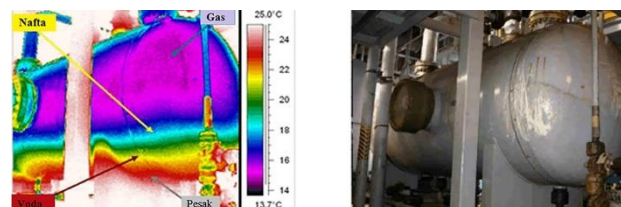


Slika 8. Termogram ležajeva crpne pumpe [20]

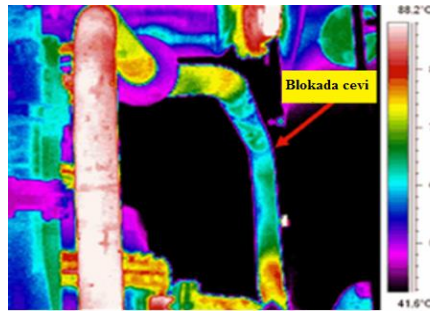
U proizvodnji nafte može se vršiti kontrola visine fluida u rezervoarima i začepljenja u cevima naftovoda (Slike 9, 10 i 11).



Slika 9. Nivo fluida u rezervoaru [21]

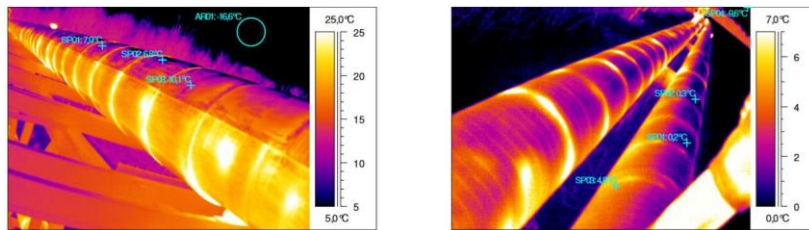


Slika 10. Separator, nivo čestica (peska) i fluida (nafte i vode) [22]



Slika 11. Ograničenje protoka usled začepljenja u cevi [22]

Gasovi u gasovodima su pod pritiskom, tj. na višim su temperaturama u odnosu na ambijent, pa je njihovo curenje lako uočljivo termografskom kamerama. Ovo je posebno pogodno za nadgledanje cevovoda, gasovoda ili naftovoda koji se prostiru na velikim daljinama (Slika 12) [23]. U takvim okolnostima nije retka situacija da se primenjuju termovizijska oprema montirana na helikoptere ili dronove.



Slika 12. Termogrami zagrejanog cevovoda [23]

Takođe, ICT se koriste za otkrivanje curenja u petrohemijskim postrojenjima, rezervoarima, cevovodima i instalacijama. Termografska oprema pruža mogućnost bezbednog praćenja svih curenja, čak i u slučaju curenja iz sitnih pukotina (Slika 13). Posledice curenja mogu biti ozbiljno štetne po zdravlje a korišćenje termografskih kamera je praktičan način da se blagovremeno identifikuju i poprave neispravne komponente.

Termografske inspekcije u naftovodima, gasovodima, rafinerijama i drugim petrohemijskim postrojenjima, pored toga što utiču na bezbednost, mogu da spreče i ozbiljan gubitak profita.



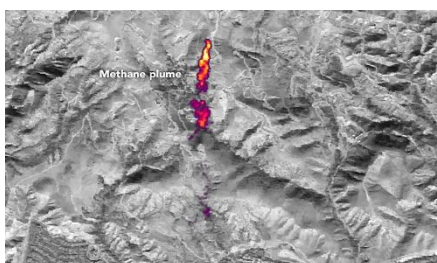
Slika 13. Curenje gasa iz rezervoara
(vidljiva slika, termogram i termogram - High Sensitivity Mode) [24]

Može se vršiti i inspekcija emisije štetnih gasova u atmosferu termalnim kamerama specijalno opremljenim odgovarajućim filterima [25]. Naglasimo da su evropski standardi po pitanjima emisiji štetnih gasova visoki, zbog čega je obustavljena izgradnja novih termoelektrana u Evropi. U ovom slučaju koristi se toplotno zračenje ambijenta i transmisivnost atmosfere (Slika 14). Vibraciono - rotacioni spektri molekula gasa ugljovodonika u bliskoj i srednjoj IC oblasti podesni su za detekciju čak i manjih koncentracija gasova na daljinama do 2 km, jer se apsorpcija koja je od interesa za detekciju pojedine vrste gasova dešava u IC delu spektra.



Slika 14. Emisija štetnih gasova u atmosferu [25]

Prirodno izbijanje ili isparavanje gasova geofizičkog porekla u rudnicima i geotermalnim oblastima takođe su pogodna za termovizijska posmatranja. Na vrlo jednostavan način je moguće i locirati curenje metana (Slika 15).



Slika 15. Termogram curenja metana iz zemlje - NASA [26]

4. Zaključak

Poslednje decenije infracrvena termografija, polako zauzima svoje mesto i u rudarskoj industriji. Konstantan pad cena savremenih termografskih kamera, usvajanje standarda ISO 18436-7: 14 *Infrared Thermography*, kao i formiranje vodećeg australijskog udruženje za profesionalnu termografiju (*Australian Professional Thermography Association - AUSPTA*), doprineli su znatno širem i sve češćem korišćenju termovizijske opreme i u ovoj industriji. Međutim, srazmerno mogućnosti, termografske metode imaju još uvek, više nego skromnu primenu, ne samo u Srbiji, već i u svetu. Jedan od razloga je svakako taj što je nabavka najboljih modela poznatih proizvođača onemogućena ne samo nepristupačnim cenama, već i činjenicom da je za njihovo korišćenje u komercijalne svrhe potrebna posebna dozvola, zbog mogućnosti njihove primene u vojne i bezbednosne svrhe.

Za implementaciju termografskih metoda u oblasti rudarstva neophodno je upoznavanje rudarskih inženjera koji rade kontrolu teške mobilne i druge opreme sa infracrvenim uređajima radi razumevanja njihovog potencijala. Važno je i da ljudi na vodećim pozicijama u rudarskim kompanijama shvate prednosti primene ovih uređaja.

Literatura

- [1] Gaussorgues G., *Infrared Thermography*. English language edition, Berlin, Germany: Springer-Science+Business Media, 1994.
- [2] Maldague X. P. V., *Active Thermography in Nondestructive evaluation of materials by infrared thermography*, New York, USA: John Wiley & Sons, 2001.

- [3] Dikic G., Tomic Lj., Damnjanovic V., Milanovic B., Characterization of periodic cylindrical subsurface defects by pulsed thermography. *Surface Rev. and Lett.*, Vol. 22 (2), pp. 1550032, 2015.
- [4] Meola C., Di Maio R., Roberti N., Giovanni Maria Carlomagno N., Application of infrared thermography and geophysical methods for defect detection in architectural structures, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 12, pp. 875-892, 2005.
- [5] Tomic Lj., Kovacevic A., Damnjanovic V., Osmokrovic P., Probability density function estimation of a temperature field obtained by pulsed radiometric defectoscopy. *Measurement*, Vol. 46, 2263-2268, 2013.
- [6] Lahiri B., Bagavathiappan S., Jayakumar T., Philip J., Medical applications of infrared thermography. *Infrared Phys. And Tech.*, Vol. 55, Issue 4, pp. 221-235, 2012.
- [7] Mineo S., Calcaterra D., Zampelli S. P., Pappalardo G., Application of Infrared Thermography for the survey of intensely jointed rock slopes. *Società Geologica Italiana*, Vol. 35, pp. 212-215, 2015.
- [8] Tattersall G. J., Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. *Comp. Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.*, 202, pp. 78-98, 2016.
- [9] InfraTec., Inspections of Mechanical Components.
URL: <https://www.infratec-infrared.com/thermography/industries-applications/maintenance-of-mechanical-assemblies/>
- [10] Zhai X., Wu S., Wnag K., Drebenstedt C., Zhao J., Environmental influences and extinguish technology of spontaneous combustion of coal gangue heap of Baijigou coal mine in China. 4th International Conference on Energy and Environmental Research, ICEER 2017, *Energy Procedia* 136, pp 66-72, 2017.
- [11] Pandey J., Kumar D., Singh K. V., Mohalik K. N., Environmental and socio-economic impacts of fire in Jharia coalfield, Jharkhand, India: an appraisal. *Current Science*, Vol. 110 (9), pp. 1639-1650, 2016.
- [12] Industrial Monitoring & Control: Coal Stock pile spontaneous combustion early detection.
URL: <https://www.imcontrol.com.au/white-papers/test-white-paper/>
- [13] Emitted Energy - Infrared Thermal Technologies: Thermal Process Monitoring Solutions.
URL: <https://www.emittedenergy.com/applications-by-process.html>
- [14] Australasian Mine Safety Journal: Thermography in Mining
URL: <https://www.amsj.com.au/thermography-in-mining/>
- [15] Vale, Thermography from mines to sports.
URL: <http://www.vale.com/EN/aboutvale/news/Pages/termografia-mina-esportes.aspx>
- [16] Stryjek P, Nikisz T, Omylinski K., Inovative Run Flat System. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 22 (1) 299-306, 2015
- [17] Ulah I., Yang F., Khan R., Liu L., Yang H., Gao B. & Sum K., Predictive Maintenance of Power Substation Equipment by Infrared Thermography Using a Machine-Learning Approach. *Energies*. Vol. 10, 1987, 2017. doi: 10.3390/en10121987
- [18] Mining Review Africa: Thermal imaging camera averts mining conveyor belt disasters.
URL: <https://www.miningreview.com/products-services/thermal-imaging-camera-averts-mining-conveyor-belt-disasters/>

- [19] Damnjanovic V., Savremena primena termografije, VI Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine „Docent dr Milena Dalmacija, 29-30. mart 2018, Novi Sad, Srbija, Zbornik radova
- [20] Machinery Lubrication: Using Thermal Imaging to Solve Lubrication Problems
URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/583/thermal-imaging-lubrication>
- [21] The Definitive Internet Resource for Infrared Thermography: Common Thermography Uses and Applications within the Petrochemical, Offshore Oil and Gas, Chemical, and Power Generation Industries
URL: <https://www.irinfo.org/02-01-2009-james/>
- [22] Snell J., Schwoegler M., Locating Levels in Tanks and Silos Using Infrared Thermal Imaging, Electrophysics Resource Center: Thermal Imaging
URL: <http://www.energymonitoring.ie/uploads/1/2/6/5/12656650/wp-locating-levels-in-tanks.pdf>
- [23] Kruczek T., Particular applications of infrared thermography temperature measurements for diagnostics of overhead heat pipelines. 9th International Conference on Quantitative Infrared Thermography, 2008, pp. 2-5.
- [24] FLIR, Optical Gas Imaging: Infrared Cameras for Gas Leak Detection
URL: <https://flir.netx.net/file/asset/8496/original>
- [25] InfraTec., Thermography in Chemical Industry
URL: <https://www.infratec.co.uk/thermography/industries-applications/chemical-industry/>
- [26] NASA Earth Observatory
URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/88245/imaging-a-methane-leak-from-space>