



Универзитет у Београду
**ТЕХНИЧКИ
ФАКУЛТЕТ У БОРУ**
tel: +381(0) 30 424 - 555,
faks: 030 421 – 078
PIB: 100629192, MB:
07130210

University of Belgrade
**TECHNICAL
FACULTY IN BOR**
tel: +381 (0)30 424 -
555,
fax: 030 421 – 078
PIB: 100629192, MB:
07130210



Војске Југославије 12, 19210 Бор, п. факс 50

Број: I/1-
Бор, 23.11.2023.

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ Техничког факултета у Бору

Предмет: Покретање поступка за валидацију и верификацију техничког решења

Према Правилнику о стицању истраживачких и научних звања "Службени гласник РС", број 159 од 30. децембра 2020.) обраћам се Наставно-Научном већу Техничког факултета у Бору са молбом да покрене поступак за валидацију и верификацију техничког решења М-85 под називом:

ПЕРМАНЕНТНО ТЕРМОВИЗИЈСКО ПРАЋЕЊЕ СКЛАДИШТА УГЉА И ДРУГИХ ЗАПАЉИВИХ МАТЕРИЈАЛА У ЦИЉУ ПРЕВЕНЦИЈЕ САМОЗАПАЉЕЊА

ТЕХНИЧКО И РАЗВОЈНО РЕШЕЊЕ

(Ново техничко решење у фази реализације)

(М 85)

Установа /Аутори решења:

Технички факултет у Бору, Универзитет у Београду: др Зоран Стевић, редовни професор; Предраг Столић, дипл. инж. индустријске информатике

Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета у Београду, Универзитета у Београду: др Стеван Димитријевић, виши научни сарадник

Институт за рударство и металургију Бор: др Силвана Димитријевић, виши научни сарадник; др Сања Петровић, научни сарадник

Подносилац захтева:

Др Зоран Стевић, редовни професор

Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

Универзитет у Београду

Технички факултет у Бору

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

ННВ Факултета је на једној од претходних седница усвојило предлог ТР аутора под именом **„Термовизијско праћење складишта угља и других запаљивих материјала у циљу детекције самозапаљења“**. Овакав предлог ТР МНО за енергетику, рударство и енергетску ефикасност одбило је уз адекватно Образложење достављено Факултету 14. 11. 2023. године.

Између осталог у наведеном Образложењу о одбијању предлога ТР, наводи се *„Као техничко решење могао би се сматрати наведени крајњи циљ аутора - формирање интегрисаног система за перманентни термовизијски мониторинг већих складишта угља, који би се састојао од термовизијске камере, као централног дела, рачунарске мерно-комуникационе опреме за пренос, складиштење и компарацију података и одговарајућег софтвера“*.

Аутори су поступили у складу са изнетим примедбама у Образложењу са посебним акцентом на претходно поменути навод и уобличио претходни предлог ТР. Сада је централни фокус на детаљном објашњењу главне компоненте предложеног решења у виду интегрисаног система за перманентни термовизијски мониторинг где су објашњене коришћене хардверске и софтверске подкомпонентне и њихова улога у посматраном систему. У приложеном Протоколу о тестирању предметног решења од стране привредног субјекта наведено је да решење задовољава све предвиђене функционалности уз детаљно објашњење начина спровођења тестирања, коришћене мерне опреме, поступака и осталих релевантних чинилаца.

У складу са тим аутори подносе на усвајање нов предлог ТР под називом **„Перманентно термовизијско праћење складишта угља и других запаљивих материјала у циљу превенције самозапаљења.“**

проф. др Зоран Стевић

TEHNIČKO REŠENJE

Novo tehničko rešenje u fazi realizacije

(M 85)

PERMANENTNO TERMOVIZIJSKO PRAĆENJE SKLADIŠTA UGLJA I DRUGIH ZAPALJIVIH MATERIJALA U CILJU PREVENCIJE SAMOZAPALJENJA

U Boru, 21.11.2023.

Autor:

prof. dr Zoran Stević, redovni profesor

Tehnički fakultet u Boru

Prijava tehničkog rešenja sadrži:

- 1) ime i prezime autora rešenja;
- 2) naziv tehničkog rešenja;
- 3) ključne reči;
- 4) za koga je rešenje rađeno (pravno lice ili grana privrede);
- 5) godinu kada je rešenje kompletirano;
- 6) godinu kada je počelo da se primenjuje i od koga;
- 7) oblast i naučnu disciplinu na koju se tehničko rešenje odnosi;
- 8) problem koji se tehničkim rešenjem rešava;
- 9) stanje rešenosti tog problema u svetu;
- 10) opis tehničkog rešenja;
- 11) tehničku dokumentaciju (osim za genske probe gde je potrebno dostaviti dokaze da je proba registrovana na sajtu NCBI, validan dokaz o primeni tehničkog rešenja (potvrda ustanove/kompanije koja ga koristi i dr.), listu ranije prihvaćenih tehničkih rešenja za svakog od autora pojedinačno.

1) Ime i prezime autora rešenja

Dr Zoran Stević, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Tehnički fakultet u Boru
Dr Stevan Dimitrijević, viši naučni saradnik, Inovacioni centar TMF u Beogradu
Dr Silvana Dimitrijević, viši naučni saradnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Sanja Petrović, naučni saradnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Predrag Stolić, dipl. inž. industrijske informatike, Univerzitet u Beogradu - Tehnički fakultet u Boru

2) Naziv tehničkog rešenja;

PERMANENTNO TERMOVIZIJSKO PRAĆENJE SKLADIŠTA UGLJA I DRUGIH ZAPALJIVIH MATERIJALA U CILJU PREVENCIJE SAMOZAPALJENJA

3) Ključne reči;

samozapaljenje, ugalj, deponije, termovizija, prevencija

4) Za koga je rešenje rađeno (pravno lice ili grana privrede);

DOO Admetal
Stevana Mokranjca 40
19210 Bor
PIB: 108650168

Predloženo tehničko rešenje je rezultat realizacije projekta finansijski podržanog od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, ugovor br. 451-03-47/2023-01/200131, 451-03-47/2023-01/200052 i naučno-tehničke saradnje sa DOO Admetal iz Bora.

5) Godina kada je rešenje kompletirano;

2023.

6) Godina kada je počelo da se primenjuje i od koga;

Novo tehničko rešenje testirano u DOO Admetal iz Bora, 2023. godine.

7) Oblast i naučna disciplina na koju se tehničko rešenje odnosi

Tehničko rešenje pripada oblasti:energetika, rudarstvo i energetska efikasnost

Naučna disciplina: energetska efikasnost

8) Problem koji se tehničkim rešenjem rešava

Samozapaljenje uglja na otvorenim skladištima česta je pojava. Pored nastale štete zbog gubitka korisne materije, odnosno toplotne moći, postoje i troškovi gašenja u slučaju da dođe do intenzivnog sagorevanja. U takvoj situaciji nanosi se ogromna šteta okolini emisijom štetnih gasova i čestica. Klasične metode suzbijanja samozapaljenja uglja pokazale su se nedovoljno efikasnim ili skupim i komplikovanim, tako da je neophodno uvesti nove tehnologije i u ovu oblast.

Termovizija se pokazala kao veoma efikasna tehnika za rešavanje problema ranog otkrivanja samozagrevanja naslaga uglja. U kombinaciji sa elementima kontinualnog nadzora i sistema ranog obaveštavanja omogućava stvaranje jednog održivog rešenja za sprečavanje pojava incidentnih situacija, odnosno preventivno delovanje na onim lokacijama koje ispoljavaju tendenciju samozapaljenja na osnovu analiziranih termovizijskih parametara.

9) Stanje rešenosti tog problema u svetu

Velike količine uglja skladište se za potrebe termoelektrana i gradskih toplana. Sami rudnici takođe imaju svoje deponije. Skladištenje uglja vrši se na otvorenom prostoru, tako što se ugalj nasipa na već postojeći i to u obliku kupe ili prizme, sa strmim nagibima stranica. U procesu skladištenja uglja, izuzetno su važne pojave samozagrevanja i samozapaljenja, koje mogu da izazovu pogoršanje kvaliteta uglja i čitav niz problema, pa čak i prekid u radu termoenergetskih postrojenja. Pored proizvodnih i ekonomskih problema, jako je važan i ekološki aspekt [1].

U svetu se intenzivno radi na istraživanjima u ovoj oblasti [2]. Dobijeni rezultati i matematički modeli ohrabruju, ali je ostalo još mnogo nerešenih problema. Praktično je svako skladište problem za sebe, zbog niza parametara koji utiču na samozapaljenje (vrsta i kvalitet uglja, oblik skladišta, provetravanje, vlažnost i drugi). Zato se prate parametri konkretnog skladišta, modifikuju postojeći matematički modeli, ili postavljaju novi i na osnovu rezultata merenja i modelovanja predlažu rešenja za suzbijanje pojave samozapaljenja.

U Srbiji se nedovoljno radi na prevenciji samozapaljenja uglja. Savremene metode, kao što je permanentni termovizijski monitoring, u ove svrhe se ne koriste kod nas. Neophodna su istraživanja na lokalnom nivou i edukacija kadrova korisnika, kako bi se što pre implementirale mogućnosti novih tehnologija.

Proces samozapaljenja uglja tumači se na više načina. Najstarija je piritna teorija. Pirit sadržan u uglju pod uticajem kiseonika i vlage biva oksidisan prelazeći u sulfat gvožđa, uz značajno oslobađanje toplote, što dovodi do samozapaljenja. Bakterijska teorija pripisuje uzroke samozapaljenja fiziološkim aktivnostima bakterija koje imaju osobinu da oksidišu organske supstance u uglju. Oksidaciona teorija koja se bazira na sorpciji kiseonika od strane

uglja ima najjaču naučnu podlogu. Pri tome se razvija toplota i proces se, uz posebne uslove, odvija do samozapaljenja, ako se nastala toplota ne odvodi dovoljno brzo. Kada je reč o nagomilanom uglju, samozapaljenje nastaje samo ako vazduh prodire kroz gomilu i stvara ulaznu i izlaznu vazдушnu struju. Delovanjem kiseonika iz vazduha u nagomilanom uglju stvara se toplota koju izlazna vazдушna struja iznosi. Ako se pri tome narušava toplotni bilans u smislu povećanog zadržavanja toplote unutar sloja, samozapaljenje je neizbežno. Za suzbijanje samozapaljenja značajan je odnos gomile i vazduha koji pristiže. Toplota nastaje unutar nagomilanog uglja, ali se odaje s njegove površine. Zato postoji kritična veličina odnosa između zapremine nagomilanog uglja i njegove bočne - otvorene površine.

Spontano samozapaljenje uglja se javlja u prisustvu kiseonika i kada je toplota koja se proizvodi mala, ali dovoljna da bi došlo do reakcije između uglja i kiseonika, a ne postoji adekvatna disipacija putem kondukcije ili konvekcije, tako da se temperatura povećava unutar ugljene mase [3]. Ukoliko se dostigne dovoljno visoka temperatura, nastaje samozapaljenje za šta je potrebna dovoljna količina uskladištenog uglja i određeni stepen ventilacije.

Pretpostavlja se da postoje tri tipa procesa koji se dešavaju u toku niskotemperaturne oksidacije [3]:

- 1) fizička adsorpcija
- 2) hemijska adsorpcija koja vodi formiranju kompleksa ugalj-kiseonik
- 3) oksidacija u kojoj ugalj i kiseonik reaguju sa oslobađanjem gasnih produkata, obično ugljen monoksida i ugljen dioksida i vodene pare.

U niskotemperaturnoj oksidaciji veliku ulogu ima i vlaga [4-6]. Interakcija između vodene pare i uglja može biti i egzotermna i endotermna zavisno od toga da li se voda kondenzuje ili isparava. Za suvi lignit, temperatura se povećava usled adsorpcije vode sa povećanjem vlažnosti do 20% i zatim se smanjuje. Temperaturna kriva prolazi kroz tačku na kojoj nema dominacije ni mehanizma toplota-vlaga, niti oksidativnog mehanizma. U poslednjoj fazi dominira oksidativni mehanizam.

Praćenjem relevantnih parametara (vlažnost uglja, električne osobine, nagib gomile, spoljašnja temperatura, provetravanje) razradom odgovarajućeg matematičkog modela moguća je predikcija ponašanja skladišta uglja u različitim okolnostima (godišnja doba, meteorološki uslovi, konfiguracija skladišta). Na taj način može se smanjiti pojava samozapaljenja uglja. I u takvoj situaciji, a naročito u slučajevima kada nema praćenja bitnih parametara, treba primeniti termovizijski nadzor. To je veoma efikasan način za ranu detekciju toplih mesta, odnosno predviđanje samozapaljenja uglja.

ZDRAVSTVENO - EKOLOŠKI UTICAJ

Skladišta uglja se ne nalaze u urbanoj sredini, ali s obzirom na to da efekti samozapaljenja uglja imaju najveći uticaj na aerozagađenje, ono se može odraziti i na susedna urbana područja. Daleko veći je uticaj na neposrednu okolinu, s obzirom na to da se u okolini nalaze i poljoprivredne kulture, ali i površinske vode od posebnog značaja. Kod pojave samozapaljenja redovno su prekoračene granice dozvoljene imisije.

Sumpordioksid uzrokuje zdravstvene i ekološke negativne posledice. Posebno su osetljive osobe sa astmom, deca i stari i srčani i plućni bolesnici kod kojih usled povećane koncentracije sumpordioksida u vazduhu dolazi do pogoršavanja osnovne bolesti. Veća

koncentracija sumpordioksida u vazduhu smanjuje vidljivost, a ukoliko dođe do reakcije sumpordioksida i azotnih oksida sa drugim supstancama u vazduhu, nastaju kisele kiše ili čestice mogu dospeti na zemljinu površinu u vidu snega, magle ili suvih čestica koje mogu putem vetra biti raznešene stotinama kilometara daleko. Kisele kiše uništavaju šume i useve, menjaju kiselost zemljišta i površinskih voda, te na taj način utiču i na akvatičnu floru i faunu. Kontinuirana ekspozicija u toku dužeg perioda može promeniti prirodni varijetet biljaka i životinja u ekosistemu.

Čestice pepela pogoršavaju respiratorne i kardiovaskularne bolesti, smanjuju plućnu funkciju i dovode do nastanka respiratornih simptoma. Takođe utiču na klimu i vidljivost.

Azotni oksidi pogoršavaju respiratorne bolesti i povećavaju osetljivost na respiratorne infekcije. Učestvuju i formiranju prizemog ozona i čestica. Utiču na acidifikaciju zemljišta i površinskih voda.

Ugljenmonoksid smanjuje sposobnost krvi da transportuje kiseonik do tkiva i vitalnih organa. Pogoršava kardiovaskularne bolesti.

Zbog svih navedenih posledica nameće se zaključak da je u današnje vreme neophodno uvesti sisteme za permanentni termovizijski monitoring skladišta koji bi se sastojali od podсистema za kontinualno termovizijsko snimanje, akvizicionog podсистema, komunikacionog podсистema, podсистema za primarno procesiranje dobijenih podataka, podсистema za ranu detekciju i uzbunjivanje i podсистema za post-procesiranje podataka.

TERMOVIZIJSKI NADZOR

Termovizija je instrumentalna metoda koja omogućava merenje emisije infracrvenih (toplotnih) zraka koje emituje svako telo čija je temperatura iznad apsolutne nule. Za razliku od ostalih infracrvenih metoda, termovizija ili „infracrvena termografija“ omogućava snimanje emisije toplotnih zraka sa mašina, opreme ili celokupnog procesa u veoma kratkom vremenu. Prednosti termovizije u odnosu na druge metode merenja su: velika brzina određivanja temperature, velika pokretljivost senzora, beskontaktno i neinvazivno merenje. Takođe, termogrami prikazuju temperaturnu raspodelu cele snimljene površine i to u samo jednoj slici [6].

Primena termovizije kao savremene metode za merenje, ali i metoda skladištenja i analize podataka, njihovog poređenja i *on line* monitoringa u oblasti prevencije samozapaljenja uglja na otvorenim skladištima omogućava stvaranje tehničkih, eksploatacionih i organizacionih preduslova za povećanje energetske efikasnosti i smanjenje štetnih uticaja na životnu sredinu.

Monitoring, kao kontinuirani proces, značajan je za identifikaciju i rešavanje sledećih problema:

- a) okruženje oko sistema za praćenje je nesavršeno i interakcija sa spoljnim svetom (posmatrani proces ili udaljena služba za praćenje) unosi dodatnu nepredvidljivost,
- b) pretpostavke postavljene tokom projektovanja mogu se promeniti tokom rada sistema za praćenje usled neočekivanih uslova i
- c) primena formalnih tehnika i algoritama vremenskog planiranja za praćenje zahteva pretpostavke o posmatranom sistemu.

Analizom navedenih problema dolazi se do zaključka da je provera sistema monitoringa u toku njegovog rada neophodna kako bi se dokazalo da ispravno funkcioniše. Ovo se odnosi i na proces projektovanja nakon faze integracije i na eksploataciju sistema kako bi se povećala njegova pouzdanost, kao i njegovo prediktivno ponašanje prema životnoj sredini.

Savremene kamere za termovizijski nadzor zasnovane su na visokoj tehnologiji – nehlađenim matičnim sensorima infracrvenog zračenja. Malih su dimenzija i po ceni prihvatljive za praćenje važnijih objekata. Prilikom snimanja termovizijskom kamerom realizuju se specijalni temperaturni snimci (termogrami) nad kojima se vrši dalja softverska obrada u cilju analize i adekvatne prezentacije dobijenih rezultata. Obrada se može izvršiti na pojedinačnom računaru opremljenim odgovarajućim softverom u slučaju pojedinačnog termovizijskog merenja, ili, kao što je ovde slučaj, kada se zahteva sinteza više pojedinačnih termovizijskih posmatranja, u sklopu većeg namenskog sistema. U slučaju pojedinačnih merenja uglavnom se koristi komercijalni softver obezbeđen od strane samog proizvođača termovizijske kamere. Nasuprot tome, kada se vrši objedinjavanje više pojedinačnih termovizijskih merenja, uglavnom se vrši realizacija namenskih softverskih rešenja bilo da se radi o upodobljavanju postojećeg komercijalnog softverskog rešenja u odgovarajuću zadatu svrhu, ili o razvoju novog namenskog softvera.

Suštinski, softver treba da omogući sledeće funkcije:

- upravljanje režimom snimanja termograma,
- prenos termograma sa termovizijske kamere,
- obradu termograma,
- odgovarajuće postupke označavanja kako bi se obezbedila jasnoća i nedvosmislenost dobijenih podataka i izvršila minimizacija grešaka u tumačenju dobijenih podataka,
- adekvatnu analizu termograma, odgovarajuću konverziju dobijenih podataka i njihovu sintezu u relevantne skupove podataka,
- postavljanje graničnih vrednosti, odnosno minimalne i maksimalne temperature zona,
- odgovarajuće prezentovanje podataka krajnjem korisniku,
- upozoravanje korisnika na prekoračenje zadatih graničnih vrednosti i mogućnost pojave incidentne situacije,
- razne vrste izveštavanja (trenutno, periodično i drugo),

kao i neke druge potrebne funkcionalnosti.

U našoj zemlji nije dostignut potreban nivo primene termovizijske tehnologije, posebno u oblasti prevencije samozapaljenja. Razlog je, pre svega, u nedostatku obučениh kadrova, pa tek onda u nedostatku sredstava. Cena opreme nije više presudan faktor, jer se i najsloženiji termovizijski monitoring sistem isplati za najviše dve godine (zavisno od veličine skladišta).

10) Opis tehničkog rešenja

Za proveru koncepta korišćene su digitalne termovizijske kamere Wohler IK 21, FLIR E5, FLIR E6 i FLIR T420 [7-8]. Korišćenjem termovizijskih kamera različitih tipova, karakteristika i proizvođača omogućeno je dokazivanje koncepta u uslovima rada u realnom

okruženju koje podrazumeva postojanje odgovarajuće heterogenosti u pogledu korišćene opreme za termovizijsko snimanje. Termovizijske kamere formiraju termalnu sliku merenjem infracrvene radijacije određenog tela ili celokupne scene. Softver, koji kamera sadrži, vrši neophodnu korekciju pri konverziji termalne slike u odgovarajući termogram, koji predstavlja aproksimaciju tačne temperature snimljenog objekta, ili temperaturnu raspodelu u sceni, u širokom temperaturnom opsegu [9-10]. Termogrami se prikazuju u boji na LCD, pri čemu se temperaturna raspodela površine koja se snima prikazuje varijacijom boja [11].

Prilikom razvoja sistema za termovizijski nadzor, kontinualnost termovizijskog snimanja obezbeđena je razvojem posebnog namenskog softvera koji obezbeđuje termovizijsko praćenje u realnom vremenu. Softver je razvijen korišćenjem programskog jezika Python i OpenCV biblioteke (Open Source Computer Vision Library) [12] koja predstavlja biblioteku namenjenu implementaciji funkcionalnosti iz domena računarske vizije upotrebom elemenata mašinskog učenja. Implementirani softver omogućava kreiranje termovizijskog video zapisa sa posmatrane termovizijske kamere pri čemu se iz posmatranog zapisa u svakom trenutku može izdvojiti odgovarajuća termografska slika, odnosno postoji mogućnost izdvajanja parcijalnih termograma koji se podvrgavaju daljim temperaturnim analizama. Softver omogućava dodavanje funkcionalnosti kontinualnog termovizijskog snimanja čak i u slučajevima kada ta funkcionalnost nije originalno implementirana u samoj termovizijskoj kameri, pa u skladu sa tim ne postoje ograničenja koja će se vrsta termovizijske kamere koristiti prilikom realizacije posmatranog tehničkog rešenja. Time se omogućava fleksibilnost posmatranog tehničkog rešenja jer se smanjuje zavisnost posmatranog rešenja od izbora termovizijske kamere kojom će se vršiti snimanje posmatranog objekta, odnosno rešenje ne zahteva primenu kamere sa implementiranim mogućnostima kontinualnog snimanja koje su višeg cenovnog ranga, pa celokupno rešenje postaje ekonomski prihvatljivo čak i za skromnije privredne subjekte. Na ovaj način moguće je ostvariti jednostavnu akviziciju neophodnih termograma sa termovizijskih kamera razmeštenim na odgovarajućim lokacijama gde se nalaze objekti posmatranja u jedinstveni sistem za termovizijski nadzor.

Kontinualno termovizijsko snimanje samo po sebi neće mnogo značiti ako ne postoji mogućnost adekvatne analize dobijenih termograma. U tu svrhu je, takođe, kreiran poseban namenski softver kako bi se izbegla određena ograničenja koja se ispoljavaju u praktičnoj upotrebi prilikom korišćenja komercijalnih rešenja takve vrste. I u ovom slučaju softver je razvijan pisanjem koda u programskom jeziku Python. Budući da termogrami predstavljaju u suštini grafičke prikaze predstavljene u vidu odgovarajućih slika jasno definisane strukture i formata, za manipulaciju istim, iskorišćena je Pillow biblioteka bazirana na PIL (Python Imaging Library) [13], koja omogućava realizaciju svih neophodnih funkcionalnosti vezanih za procesiranje slike. U okviru svakog termograma izvršeno je i inkorporiranje temperaturne skale za zadati termogram. Softver prvo vrši analizu te temperaturne skale i vrši kodiranje zadatih temperatura u odnosu na boju na osnovu minimalne, maksimalne temperature i visine temperaturne skale. Nakon kodiranja temperaturne skale, softver je u mogućnosti da izvrši analizu celokupnog termograma i prevođenje zabeleženog u okviru termograma u broјčane vrednosti koje predstavljaju određene zabeležene temperature pri čemu se prevođenje vrši piksel po piksel. Na ovaj način dobija se jedan konzistentni skup podataka koji predstavlja sve zabeležene temperaturne vrednosti na jednoj lokaciji koju pokriva termovizijska kamera.

Nakon ovog procesa, vrši se transmisija dobijenog skupa podataka na mesto gde će se izvršiti dalje neophodne analize u svrhu detekcije potencijalnog samozapaljenja.

Transmisija podataka vrši se upotrebom odgovarajućeg komunikacionog hardvera i definisanih protokola u okviru posebnog softverskog rešenja namenjenog slanju podataka sa mesta observacije i prihvatu podataka u odgovarajućem komandnom centru. U ove svrhe iskorišćeni su mikrokontroleri zasnovani na ATmega2560 čipu [14]. Povezivost mikrokontrolera sa termovizijskim sistemom na lokaciji snimanja izvršena je upotrebom rešenja zasnovanog na ESP8266 čipu [15] čime se omogućava bežični prenos podataka među uređajima korišćenjem standardne Wi-Fi mreže budući da se prenos podataka ostvaruje na vrlo maloj razdaljini. Prenos podataka sa lokacije snimanja u komandni centar zasnovan je na upotrebi rešenja baziranog na RF96 čipu [16] koji omogućava transmisiju podataka upotrebom LoRa mreže. LoRa mreža je realizovana u ovom slučaju u skladu sa zahtevom prenosa podataka na veće razdaljine, koje u pojedinim slučajevima mogu iznositi i nekoliko kilometara, upotrebom niskih snaga prenosa. U skladu sa evropskim normativima prenosa podataka upotrebom LoRa mreža korišćen je prenos upotrebom 868 MHz Lora mreže koji je dozvoljen za slobodno korišćenje u evropskom radiodifuznom prostoru, uključujući i Republiku Srbiju. Prilikom realizacije LoRa komunikacione infrastrukture korišćene su antene namenjene prenosu LoRa signala na pomenutih 868 MHz dužina 90, 275 i 550 mm koje nisu zahtevale realizaciju posebnih antenskih stubova za montažu istih i koje su omogućile tokom testiranja postizanje maksimalnog dometa signala u proseku od 2 do 2,5 kilometara.

U komandnom centru vrši se prijem dobijenih podataka sa svih lokacija posmatranja i vrši se dalja analiza podataka u realnom vremenu. Zabeležene temperature analiziraju se u odnosu na definisane granične vrednosti. Putem odgovarajućeg interfejsa operater je u stanju da isprati dešavanja na svim lokacijama na kojima se vrši termovizijsko snimanje i da ima uvid u trenutno stanje tih lokacija u realnom vremenu. Ovde razlikujemo tri ključne informacije koje sistem obezbeđuje korisniku. Budući da je prethodno izvršeno jasno i nedvosmisleno mapiranje lokacija termovizijskih posmatranja, operater u svakom trenutku ima uvid u minimalne i maksimalne zabeležene vrednosti temperature za svako od mesta posmatranja. Ovaj uvid se ostvaruje u realnom vremenu, ali se može izvršiti i uvid u minimalne i maksimalne zabeležene temperature u korisnički definisanom periodu. Ukoliko se posmatrane vrednosti približe definisanim graničnim vrednostima izdaje se odgovarajuće obaveštenje operateru. U slučaju izjednačavanja posmatranih vrednosti sa graničnim izdaje se upozorenje operateru da je dostignut kritičan nivo, dok se u slučaju prekoračenja definisanih graničnih vrednosti oglašava odgovarajući alarm i preduzima odgovarajuća unapred definisana akcija. Ova akcija je tokom testiranja rešenja data u vidu alarmiranja odgovarajućih službi na moguću pojavu incidentne situacije u vidu samozapaljenja, dok se u konkretnim slučajevima, u zavisnosti od same lokacije na kojoj se vrši permanentni termovizijski nadzor, instalirane opreme, protokola i ostalih relevantnih činilaca, može implementirati i automatsko pokretanje nekog instaliranog zaštitnog sistema ukoliko takav postoji.

Sve zabeležene temperaturne vrednosti se snimaju u okviru kapaciteta sistema u odgovarajuću relacionu bazu podataka koja je implementirana u okviru odgovarajućeg sistema za upravljanje relacionim bazama podataka. Na ovaj način moguće je sprovesti dalje analize zabeleženih podataka čime se stiče bolje razumevanje procesa koji se dešavaju u okviru same posmatrane lokacije, a samim tim unositi i odgovarajuće korekcije u celokupan pristup čime je

omogućeno da sistem bolje odgovara na kontinuirane promene okoline u kojoj se nalazi. U okviru interfejsa operateru je omogućeno i praćenje parametara rada celokupnog sistema kako bi se adekvatno i pravovremeno reagovalo na moguće probleme u radu delova sistema ili sistema u celosti. U skladu sa tim kreirane su različite log datoteke koje omogućavaju adekvatan uvid u sistem, uočavanje grešaka u sistemu i odgovarajuću reakciju na pojavu tih grešaka (npr. gubitak konekcije sa termovizijskom kamerom, problemi u prenosu podataka, slabljenje signala u LoRa mreži i slično).

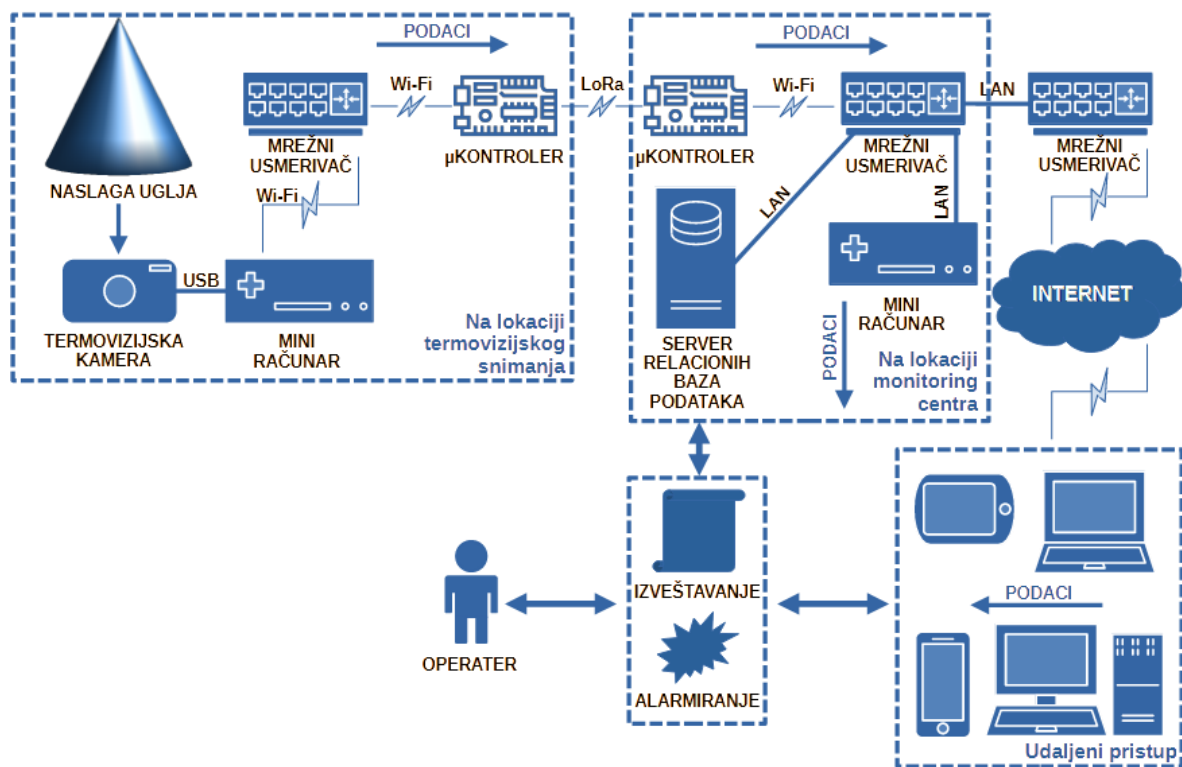
Uprošćeni prikaz glavnih komponenti razmatranog sistema dat je šematski na slici 1.

Probna snimanja su obavljena u zimskom periodu na skladištu uglja Kovin. Ležište uglja "Kovin" predstavlja severni deo jedinstvenog prostora Kostolac-Kovin, koji je rekom Dunav razdvojen. Samo ležište Kovin je podeljeno na dva dela, na zapadno - polje "A" i istočno - polje "B".

Polja su razdvojena prelaznom zonom u kojoj je „I“ sloj uglja erodovan, dok je šljunak kontinuirano razvijen u oba polja. Istražni prostor, za koji su od nadležnih institucija dobijene saglasnosti i dozvole za izvođenje detaljnih geoloških istraživanja uglja i šljunka, nalazi se na krajnjem južnom delu branjenog pojasa polja "A", na levoj obali Dunava.

Na rudniku "Kovin" razvijena je metoda podvodne eksploatacije uglja i pratećih sedimenata koja se realizuje plovnim, refulernim, užetno-pilonskim, rotornim bagerom UCW 450. Podvodna eksploatacija u nebranjenoj zoni Dunava polja "A" ležišta "Kovin" započeta je krajem 1991. godine. Deo ležišta koji se eksploatiše u nebranjenoj zoni, predstavlja vanbilansne rezerve za svaku drugu metodu otkopavanja. Pri radu na pratećim sedimentima eksploatacioni sistem čine: bager i cevovod, a refulisanje se vrši u, za to prethodno pripremljene, kasete ili u unutrašnje odlagalište.

Formirane gomile uglja rudnika Kovin prikazane su na slici 2.



Slika 1. Uprošćeni šematski prikaz glavnih komponenti sistema

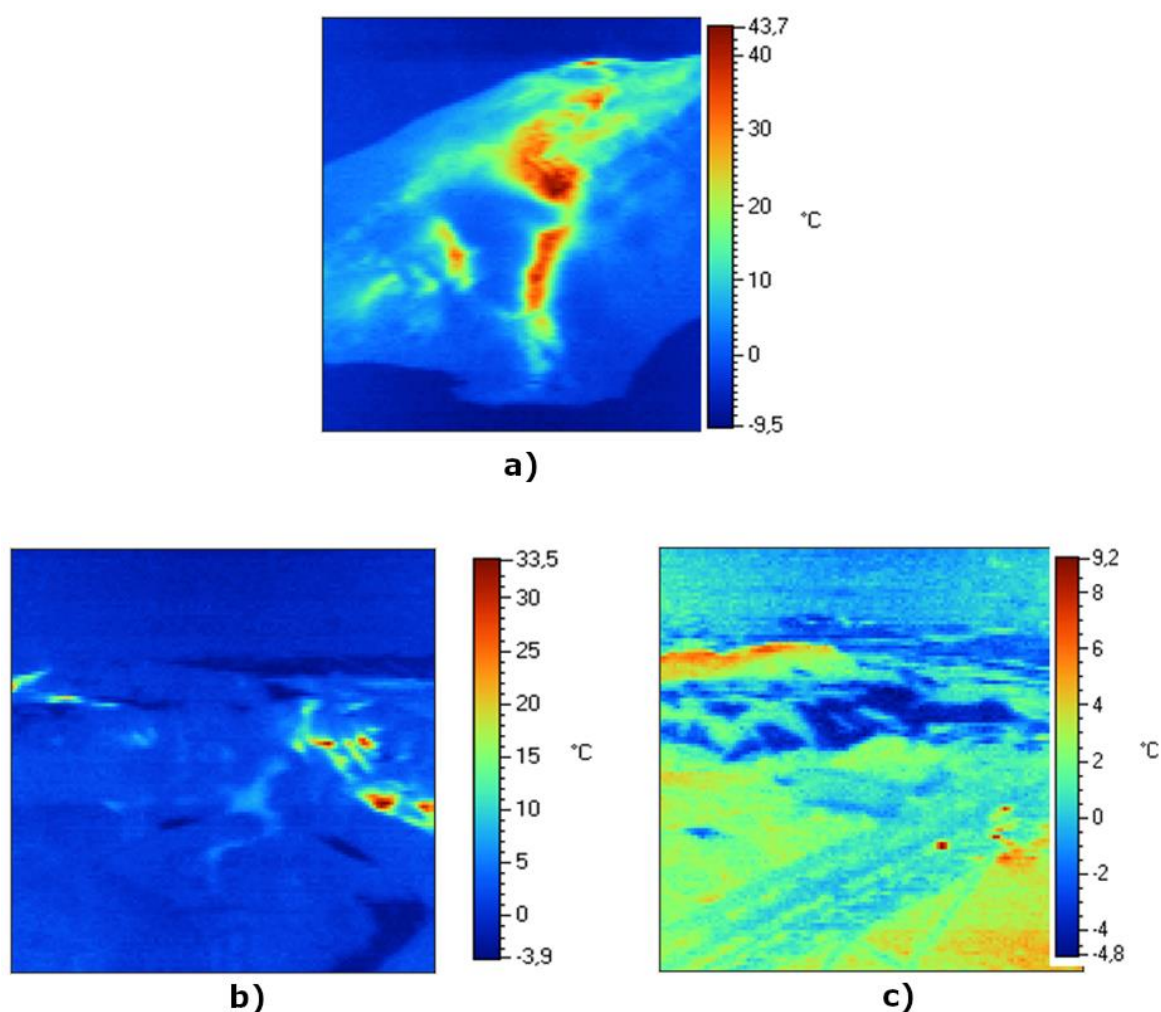


Slika 2. Gomile uglja - Rudnik Kovin

S obzirom da Rudnik ne poseduje postrojenje za čišćenje uglja (uslov je da se moraju ispuniti određeni standardi komercijalnog kvaliteta) osmišljena je tehnologija (selektivan rad na uglju) koja u tom smislu daje zadovoljavajuće rezultate, ali sa značajnim utroškom vremena rada bagera. Sloj uglja bez proslojaka gline se otkopava istovremenim rezanjem i refulisanjem (direktan rad), a zaglinjeni deo ugljenog sloja se prethodno odreže, pa nakon odstojavanja, kada se glina dovoljno dezintegriše, usisava i hidrottransportom, putem cevovoda odvodi na postrojenje za odvodnjavanje i klasiranje uglja.

Postrojenje za odvodnjavanje i klasiranje sastoji se od dvoetažne stacionarne rešetke, dvoetažnog vibracionog (Binder) sita i vibrosita. Postrojenje daje komercijalne asortimane uglja različitih krupnoća.

Utvrđeno je da na svim gomilama, bez obzira na krupnoću uglja, vreme skladištenja i veličinu gomile, ima toplih mesta koja govore o pojavi samozapaljenja. Daljim istraživanjima utvrdiće se kada i kako treba reagovati na otkrivene pojave, čime će se u znatnoj meri smanjiti štete usled samozapaljenja. Kao ilustracija, na slici 3 prikazani su termovizijski snimci na gomili uglja krupnoće 5-15mm (3a); 15-30mm (3b) i 30-300mm (3c). Ovim istraživanjima će posebno doprineti kolekcija snimljenih podataka u realnim uslovima na određenoj lokaciji koji se, kao što je već napred rečeno, strogo strukturirano beleže u okviru odgovarajuće relacione baze podataka i koji poseduju izuzetnu upotrebnu vrednost prilikom sprovođenja kasnijih analiza i razumevanja procesa na samoj posmatranoj lokaciji.



Slika 3. Termovizijski snimci skladišta uglja različite krupnoće

ZAKLJUČAK

Prevenција samozapaljenja uglja na otvorenim skladištima predstavlja značajan doprinos zaštiti životne sredine. Nove tehnologije, pre svega termovizija, omogućavaju svođenje pojave samozapaljenja na najmanju meru, pa je potrebno što više ih primenjivati. Krajnji cilj je uvođenje sistema za permanentni termovizijski monitoring većih skladišta uglja koji bi se sastojali od podсистema za kontinualno termovizijsko snimanje, akvizicionog podсистema, komunikacionog podсистema, podсистema za primarno procesiranje dobijenih podataka, podсистema za ranu detekciju i uzbunjivanje i podсистema za post-procesiranje podataka. Sve se to može instalirati korišćenjem domaćih ljudskih resursa, uz kratak rok isplate uloženi sredstava (ROI (Return of Investment) period od svega nekoliko godina). U skladu sa tim treba naglasiti da konkretna implementacija predviđenog rešenja ne zahteva dodatne troškove u pogledu licenciranja pratećeg softvera i sličnih skrivenih troškova budući da je celokupan razvijeni i upotrebljavani softver zasnovan na besplatnom softveru i softveru otvorenog koda koji se može bez nekih posebnih limitirajućih uslova koristiti u radu i dalje redistribuirati u odnosu na komercijalni softver.

Preliminarni rezultati na konkretnom skladištu potvrdili su i nadmašili očekivanja i pokazali izvanrednu efikasnost termovizijskog nadzora skladišta uglja. Ovde treba naglasiti i izuzetnu visoku održivost predloženog rešenja, jer se upotrebom ovakvog rešenja mogu ostvariti i daleko dugoročnije primene u odnosu na samu primenu na odgovarajućoj lokaciji. Tako na primer se na osnovu prikupljenih istorijskih podataka u okviru sistema mogu razviti odgovarajući prognostičarski sistemi i omogućiti primenu prediktivne analitike i metoda mašinskog učenja nad tim podacima čime se dodatno mogu poboljšati različiti uslovi rada u posmatranom domenu. Takođe, kombinacijom ovih podataka, analiza i dobijenih prediktivnih vrednosti sa niza različitih lokacija može se ostvariti bolji uvid u same procese i uslove koji dovode do samog samozapaljenja čime se mogu omogućiti značajnija unapređenja u ovom polju. Na kraju treba spomeniti i postojanje edukativne crte samog rešenja. Ukoliko se snimljeni skupovi realnih podataka objedine u otvorene skupove podataka iste bi mogli koristiti i obrazovne institucije za obrazovanje budućih inženjera korišćenjem podataka iz realnih uslova rada, zaposleni bi se mogli edukovati takođe kroz realne uslove i podatke, dok bi se istraživači tokom sprovođenja svojih istraživanja mogli koristiti realnim, umesto simuliranim podacima koji mogu uneti veće greške u sam tok istraživačkog postupka. Kao što se iz prethodnog vidi implementacija predloženog rešenja ostvaruje uticaj ne samo u okviru ograničenog prostora na kome se implementira, već se ostvaruje i jedan daleko veći uticaj.

Lista ranije prihvaćenih tehničkih rešenja za svakog od autora pojedinačno.

1. Dr Zoran Stević, redovni profesor Tehničkog fakulteta u Boru, Univerziteta u Beogradu
2. Dr Stevan Dimitrijević, viši naučni saradnik, Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu, Univerziteta u Beogradu
3. Dr Silvana Dimitrijević, viši naučni saradnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
4. Dr Sanja Petrović, naučni saradnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
5. Predrag Stolić, dipl. inž. industrijske informatike, Tehnički fakultet u Boru, Univerziteta u Beogradu

Dr Zoran Stević, redovni profesor Tehničkog fakulteta u Boru, Univerziteta u Beogradu

1. Zoran Stević, Ilija Radovanović, Sistem za merenje, obradu i prikaz biopotencijala u akupunkturnim tačkama, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2013. (M85)
2. Zoran Stević, Ilija Radovanović, Sistem za merenje, obradu i prikaz biopotencijala u akupunkturnim tačkama, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2013. (M85)
3. Zoran Stević, Mirjana Rajčić-Vujasinović, Stevan Dimitrijević, Silvana Dimitrijević, Zoran Stojiljković, Pulsno-reverzni izvor napajanja za primenu u galvanotehnici, Tehnički fakultet u Boru – AD Metal DOO Bor, 2017. (M85)
4. Zoran Stević, Stevan Dimitrijević, **Silvana Dimitrijević**, Sande Lekovski, Razvoj hardvera i softvera za energetske efikasne računarske vođene peći za sinterovanje, Tehnički fakultet u Boru – AD Metal DOO Bor, 2021. (M85)
5. Zoran Stević, Stevan Dimitrijević, **Silvana Dimitrijević**, Miša Stević, Dragan Milenković, Predrag Stolić, Razvoj invertora indukcione peći za kaljenje, Tehnički fakultet u Boru – ELENES D.O.O. Bor, 2022. (M85)

Dr Stevan Dimitrijević, viši naučni saradnik, Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu, Univerziteta u Beogradu

1. Zoran Stević, Mirjana Rajčić-Vujasinović, **Stevan Dimitrijević**, Silvana Dimitrijević, Zoran Stojiljković, Pulsno-reverzni izvor napajanja za primenu u galvanotehnici, Tehnički fakultet u Boru – AD Metal DOO Bor, 2017. (M85)
2. Zoran Stević, **Stevan Dimitrijević**, Silvana Dimitrijević, Sande Lekovski, Razvoj hardvera i softvera za energetske efikasne računarske vođene peći za sinterovanje, Tehnički fakultet u Boru – AD Metal DOO Bor, 2021. (M85)
3. **Stevan Dimitrijević**, Željko Kamberović, Milisav Ranitović, Marija Korać, Silvana Dimitrijević, Побољшање карактеристика сребрног праха микрометарске величине и оптимизација трошкова производње у производном погону Chimet S.p.A., ИЦ ТМФ - Chimet S.p.A. Vicinaggio (AR) – Italy, (M83)

4. Zoran Stević, **Stevan Dimitrijević**, Silvana Dimitrijević, Miša Stević, Dragan Milenković, Predrag Stolić, Razvoj invertora indukcione peći za kaljenje, Tehnički fakultet u Boru – ELENES D.O.O. Bor , 2022. (M85)

Dr Silvana Dimitrijević, viši naučni saradnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

1. Suzana Dragulović, **Silvana Dimitrijević**, Zorica Ljubomirović, Radmila Marković, Biserka Trumić, Dragana Božić, Milan Gorgievski, Dobijanje rodijuma visoke čistoće (min. 99,95%) iz sekundarnih sirovina postupkom solventne ekstrakcije, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2011., TR34024, (M82)
2. Cvetkovski Vladimir, Conić Vesna, Dragulović Suzana, **Dimitrijević Silvana**, Stanojević-Šimšić Zdenka, Nova proizvodna linija za proizvodnju katodnog bakra iz koncentrata biohemijским luženjem, solventnom ekstrakcijom i elektrolizom, 2010., TR34004, (M82)
3. B. Trumić, S.Marjanović, **S. Dimitrijević**, L. Gomidželović, A. Ivanović, Osvajanje tehnologije proizvodnje Pd katalizatora-hvatača, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2011., TR34029, (M82)
4. **S. Dimitrijević**, S. Dragulović, Z. Stanojević-Šimšić, A. Ivanović, V. Gardić, R. Marković, B. Trumić, Elektrolitička rafinacija bakarnih anoda sa nestandardnim oblikom elektroda, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2012., TR34024, (M82)
5. Cvetkovski Vladimir, Conić Vesna, Dragulović Suzana, Stanojević-Šimšić Zdenka, Pešovski Branka, Simonović Danijela, **Dimitrijević Silvana**, Ljubomirović Zorica, Nova proizvodna linija za proizvodnju bakra solventnom ekstrakcijom rudničkih voda, 2012., TR34004, (M82)
6. Aleksandra Ivanović, Biserka Trumić, Vesna Krstić, Svetlana Ivanov, Saša Marjanović, **Silvana Dimitrijević**, Vesna Marjanović, Poboljšanje mehaničkih svojstava legure sastava PdNi5 optimizacijom termomehaničkog režima prerade, Tehničko rešenje, TR 34029, (M82)
7. Biserka Trumić, Draško Stanković, Aleksandra Ivanović, Saša Marjanović, **Silvana Dimitrijević**, Osvajanje tehnologije proizvodnje Pd-Au legure za katalizatore-hvatače, IRM Bor, 2015., TR34029, (M83)
8. Vlastimir Trujić, **Silvana Dimitrijević**, Suzana Dragulović, Dejan Trifunović, Mirjana Rajčić - Vujasinović, Mirko Vukmirović, Dekorativna pozlata iz necijanidnog elektrolita na bazi organskog kompleksa zlata sa merkaptotriazolom, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2010.,TR19036, (M83)
9. Vlastimir Trujić, **Silvana Dimitrijević**, Suzana Dragulović, Dejan Trifunović, Mirjana Rajčić–Vujasinović, Mirko Vukmirović, Tvrda pozlata iz necijanidnog elektrolita na bazi organskog kompleksa zlata sa merkaptotriazolom, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2010., TR19036, (M83)
10. Radmila Marković, **Silvana Dimitrijević**, Suzana Dragulović, Oliver Dimitrijević, Zoran Ilić, Aleksandra Ivanović, Novo poluindustrijsko postrojenje za elektrolitičku preradu bakronih anoda nestandardnog hemijskog sastava, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2011., TR34024, (M83)

11. **S. Dimitrijević**, V. Trujić, S. Dragulović, R. Marković, V. Conić, B. Madić, Z. Stanojević-Šimšić, Reciklaža bakra i srebra iz posrebranih mesinganih kućišta kombinacijom pirometalurških, elektrometalurških i hemijskih postupaka, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2012. , TR34024, **(M83)**
12. **S. Dimitrijević**, R. Marković, M. Bugarin, J. Stevanović, B. Jugović, L. Avramović, S. Dragulović, Uvećano laboratorijsko postrojenje za elektrohemijska istraživanja, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2012., TR34024 i TR37001, **(M83)**
13. Suzana Dragulović, **Silvana Dimitrijević**, Biserka Trumić Mirjana Šteharik, Zdenka Stanojević-Šimšić, Vesna Conić, Aleksandra Ivanović, Suzana Veličković, Dobijanje srebro-jodida iz srebra dobijenog reciklažom sekundarnih sirovina, IRMBor 2015., TR34024, **(M83)**
14. Suzana Dragulović, **Silvana Dimitrijević**, Biserka Trumić, Radmila Marković, Dragana Božić, Milan Gorgievski, Slađana Alagić, Elektrohemijsko dobijanje kalijum zlatnog cijanida, IRMBor 2015., TR34024, **(M83)**
15. Vesna Conić, **Silvana Dimitrijević**, Dragan Milanović, Radmila Marković, Suzana Dragulović, Sanja Bugarinović, Ivana Jovanović, Izdvajanje selena iz procesa elektrolitičke rafinacije bakra, IRMBor 2015. , TR34004, **(M83)**
16. **S. Dimitrijević**, V. Trujić, R. Marković, S. Dragulović, O. Dimitrijević, S. Alagić, B. Trumić, Polindustrijsko postrojenje za elektrolitičku preradu bakra, mesinga i srebra, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2013., TR34024, **(M83)**
17. Zoran Stević, Mirjana Rajčić-Vujasinović, Stevan Dimitrijević, **Silvana Dimitrijević**, Zoran Stojiljković, Pulsno-reverzni izvor napajanja za primenu u galvanotehnici, Tehnički fakultet u Boru – AD Metal DOO Bor, 2017. **(M85)**
18. Zoran Stević, Stevan Dimitrijević, **Silvana Dimitrijević**, Sande Lekovski, Razvoj hardvera i softvera za energetske efikasne računarske vođene peći za sinterovanje, Tehnički fakultet u Boru – AD Metal DOO Bor, 2021. **(M85)**
19. Stevan Dimitrijević, Željko Kamberović, Milisav Ranitović, Marija Korać, **Silvana Dimitrijević**, Побољшање карактеристика сребрног праха микрометарске величине и оптимизација трошкова производње у производном погону Chimet S.p.A., ИЦ ТМФ - Chimet S.p.A. Vicomaggio (AR) – Italy, **(M83)**
20. **Silvana Dimitrijević**, Radmila Marković, Ljiljana Avramović, Mile Bugarin, Aleksandra Ivanović, Vanja Trifinović, Elektrolitičko dobijanje cinka iz otpadne prašine elektrolučne peći, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2022. **(M85)**
21. Zoran Stević, Stevan Dimitrijević, **Silvana Dimitrijević**, Miša Stević, Dragan Milenković, Predrag Stolić, Razvoj invertora indukcione peći za kaljenje, Tehnički fakultet u Boru – ELENES D.O.O. Bor , 2022. **(M85)**

Dr Sanja Petrović, naučni saradnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

1. Milan Čekerevac, **Sanja Bugarinović**, Vojka Gardić, Ljiljana Nikolić-Bujanović, Mladen Zdravković, Postupak uklanjanja jona teskih metala iz voda elektrolitičke rafinacije bakra primenom ferata(VI). Projekat TR 34025 MPNTR Republike Srbije –

bitno poboljšani tehnološki postupak. Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2013. (M84)

2. Ivana Jovanović, **Sanja Petrović**, Dragan Milanović, Bojan Drobnjaković, Miomir Mikić, Daniela Urošević, Lidija Đurđevac-Ignjatović, 2015. Implementacija nove linije osnovnog flotiranja minerala bakra iz ležišta "Cerovo" u flotaciji Veliki Krivelj. Projekat TR 33023 MPNTR Republike Srbije – nova tehnologija uvedena u proizvodnju. Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2015. (M82)
3. Daniel Kržanović, Dragan Milanović, Daniela Urošević, Milenko Ljubojev, Ivana Jovanović, Bojan Drobnjaković, **Sanja Petrović**, Novo tehničko rešenje procesa pripreme (drobljenje i prosejavanje) rude bakra u Rudniku bakra Majdanpek u cilju povećanja kapaciteta prerade. Projekat TR 33021 MPNTR Republike Srbije. Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2018. (M82)
4. Vesna Conić, Silvana Dimitrijević, Dragan Milanović, Radmila Marković, Suzana Dragulović, **Sanja Bugarinović**, Ivana Jovanović, 2016. Izdvajanje selena iz procesa elektrolitičke rafinacije bakra br. T1/2015. Projekat TR 34004 i TR 33023 MPNTR Republike Srbije. Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2016. (M83)
5. Ivana Jovanović, Daniel Kržanović, **Sanja Petrović**, Dragan Milanović, Milenko Ljubojev, Daniela Urošević, Vesna Conić, Bitno poboljšano tehničko rešenje procesa mlevenja i klasiranja u Rudniku bakra Majdanpek u cilju povećanja kapaciteta prerade. Projekat TR 34007 i TR 33023 MPNTR Republike Srbije. Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2019. (M84)
6. Daniel Kržanović, Ivana Jovanović, Radmilo Rajković, Milenko Ljubojev, **Sanja Petrović**, Ljubiša Obradović, Vesna Conić, Bitno poboljšano tehničko rešenje za odvodnjavanje čiste vode, uklanjanje mulja i sedimenta na površinskom kopu Južni revir Rudnika bakra Majdanpek, Projekat TR 33021 MPNTR Republike Srbije. Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2020. (M84)

Predrag Stolić, dipl. inž. industrijske informatike, Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu

1. Zoran Stević, Stevan Dimitrijević, **Silvana Dimitrijević**, Miša Stević, Dragan Milenković, Predrag Stolić, Razvoj invertora indukcione peći za kaljenje, Tehnički fakultet u Boru – ELENES D.O.O. Bor, 2022. (M85)

Reference

- [1] Carras JN, Young BC. Self-heating of coal and related materials: models, application and test methods. *Progress in Energy and Combustion Science* 20 (1994) 1–15.
- [2] Yuan L, Smith AC. Numerical study on effects of coal properties on spontaneous heating in longwall gob areas. *Fuel* 87 (2008) 3409–3419.
- [3] Smith AC, Lazzara CP. Spontaneous combustion studies of US coals. Report of Investigations 9079. US Bureau of Mines; 1987.
- [4] Radovanović M, Razumenić A, Stojiljković D. Model za procenu samopaljenja uglja na skladištu, *Elektroprivreda* 56(4) (2003) 38-49.
- [5] Nuić J, Krsić D, Mikulić A. Samozapaljenje ugljena na otvorenom skladištu, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik* 9 (1997) 77-79.
- [6] Infrared Solutions Inc. <http://www.infraredsolutions.com>
- [7] <https://www.flir.eu/browse/professional-tools/thermography-cameras/>
- [8] <https://www.flir.eu/browse/professional-tools/thermography-software/>
- [9] FLIR: <http://www.flirthermography.com>
- [10] Introduction to Thermography Principles. American Technical Publishers Inc., Fluke Corporation and The Snell Group, Orlando Park, Illinois, USA, 2009.
- [11] Thermography Pocket Guide. Testo SE & Co. KGaA, Lenzkirch, Germany, 2017.
- [12] OpenCV - Open Computer Vision Library: <https://opencv.org>
- [13] Python Pillow: <https://python-pillow.org>
- [14] ATmega2560: <https://www.microchip.com/en-us/product/atmega2560>
- [15] ESP8266: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>
- [16] RF96/97/98: https://microchip.ua/wireless/RF96_97_98.pdf

21.11.2023.

Predmet: Dokaz o verifikaciji tehničkog rešenja pod nazivom:
**„PERMANENTNO TERMOVIZIJSKO PRAĆENJE SKLADIŠTA UGLJA I
DRUGIH ZAPALJIVIH MATERIJALA U CILJU PREVENCIJE
SAMOZAPALJENJA“**

Tehnički fakultet u Boru, za potrebe firme DOO Admetal iz Bora, izradio je tehničko rešenje:

**„PERMANENTNO TERMOVIZIJSKO PRAĆENJE SKLADIŠTA UGLJA I
DRUGIH ZAPALJIVIH MATERIJALA U CILJU PREVENCIJE
SAMOZAPALJENJA“**

Autora:

Dr Zoran Stević, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Tehnički fakultet u Boru
Dr Stevan Dimitrijević, viši naučni saradnik, Inovacioni centar TMF u Beogradu
Dr Silvana Dimitrijević, viši naučni saradnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Sanja Petrović, naučni saradnik, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Predrag Stolić, dipl. inž. industrijske informatike, Univerzitet u Beogradu - Tehnički fakultet u Boru

PROTOKOL O TESTIRANJU
(DOO Admetal iz Bora)

Testiranje koncepta izvršeno je proverom svih realizovanih funkcionalnosti posmatranog sistema u realnim uslovima.

Za proveru koncepta korišćene su digitalne termovizijske kamere Wohler IK 21, FLIR E5, FLIR E6 i FLIR T420. Sve upotrebljene digitalne termovizijske kamere su kao merila sertifikovana od strane ovlašćene laboratorije čime se potvrđuje njihova kalibrisanost i tačnost realizovanih merenja. Provera usklađenosti termovizijskih kamera sa realnim uslovima rada izvršena je u tri tačke. Na svim kamerama prvo je provereno da li podešena emisivnost odgovara datom objektu posmatranja. Budući da se vrši termovizijsko snimanje skladišta uglja, proverom referentnih vrednosti u odgovarajućim tablicama emisivnosti konstatovano je da vrednosti emisivnosti treba da budu podešene u opsegu predviđenom za termovizijsko snimanje uglja koji iznosi $\epsilon = 0,77 - 0,80$. Za procenu udaljenosti objekta snimanja od termovizijske kamere korišćeni su laserski daljinomeri Parkside PLEM 20 A4 i Parkside PMML 5 A1 koji omogućavaju merenje rastojanja do 20 m udaljenosti sa tačnošću merenja od ± 2 mm, čime je dokazana njihova upotrebljivost u ovom konkretnom slučaju. Za detekciju temperaturnih uslova okoline u kojoj se vrši termovizijsko snimanje korišćeni su merač temperature i vlažnosti ST 3 sa odgovarajućom sondom koji omogućava merenje temperature u opsegu od -50 °C do $+70$ °C, kao i univerzalni merni instrument sa sondom K tipa TP-01 koja omogućava merenje temperature u opsegu od -50 °C do $+250$ °C, uz tačnost merenja od

± 1 °C. Nakon potvrde usklađenosti parametara termovizijskih kamera sa definisanim vrednostima i vrednostima dobijenim neposrednim očitavanjem sa pomenutih instrumenata pristupilo se daljim proverama funkcionalnosti sistema.

Prva funkcionalnost koja je proverena jeste mogućnost kontinualnog praćenja signala dobijenog sa termovizijskih kamera. Konstatovano je da je moguće ostvariti povezivost sa termovizijskim kamerama koja je u ovom slučaju ostvarivana putem USB veze. Zatim je testirano da li se u namenskom softveru dobija identičan signal onom koji se emituje na LCD displeju termovizijske kamere. Neposrednim opažanjem konstatovano je da je u svim slučajevima ostvaren identičan prikaz na LCD displeju termovizijske kamere i u odgovarajućem prozoru namenskog softvera. Na kraju provere ove funkcionalnosti vršen je test dobijanja termalnog video zapisa sa termovizijske kamere u trajanju od 5 minuta i njegovog skladištenja na odgovarajuću memorijsku jedinicu. Analizom svih uskladištenih video zapisa konstatovano je da je u svim slučajevima dobijen uskladišteni video zapis odgovarajućeg kvaliteta i odgovarajuće dužine trajanja. Takođe je konstatovano, pregledom snimljenih termovizijskih video snimaka, da ni u jednom slučaju nije zabeležen gubitak signala sa termovizijske kamere niti je zabeležen nijedan prekid u kontinuitetu snimljenog video materijala. Ovime je potvrđena puna ostvarivost kontinualnog termovizijskog snimanja, odnosno potvrđena ova vrsta funkcionalnosti sistema.

Potom se pristupilo proveriti da li se korišćenjem namenski razvijenog softvera tokom kontinualnog termovizijskog snimanja adekvatno izdvajaju termogrami i vrši adekvatna detekcija dobijenih temperatura sa istih na osnovu inkorporiranih temperaturnih skala. U tu svrhu vršen je kontinualni termovizijski nadzor u vremenskom intervalu od 10 minuta sa definisanim izdvajanjem termograma na svakih 30 sekundi. Uvidom u dobijeni materijal konstatovano je uspešno izdvajanje po 19 termograma za svaku od posmatranih termovizijskih kamera. Ovde treba napomenuti, u skladu sa definisanim vremenskim intervalima, da je očekivan broj izdvojenih termograma bio 20, ali uvek postoji određeno vremensko kašnjenje prilikom izdvajanja prvog termograma, odnosno nije moguće ostvariti izdvajanje prvog termograma u vremenskom trenutku $t = 0$ s. U skladu sa prethodno navedenom činjenicom konstatuje se da je broj uspešno izdvojenih termograma odgovarajući i da u potpunosti odgovara zadatim parametrima kontinualnog termovizijskog nadzora. Nakon provere izdvajanja termograma, pristupilo se proveriti tačnosti dobijenih podataka koji predstavljaju zabeležene temperaturne vrednosti ekstrakovane sa odgovarajućih dobijenih termograma. Odgovarajućim softverskim metodama provere izvršena je verifikacija dobijenih skupova podataka i potvrđena uspešna ekstrakcija temperaturnih vrednosti sa termograma bez zabeleženih pojava nedostajućih vrednosti (missing values). Provera tačnosti dobijenih vrednosti izvršena je poređenjem zabeležene vrednosti za odgovarajuću nasumično odabranu tačku iz skupa referentnih tačaka sa očitavanjima za odabranu tačku zabeleženim korišćenjem infracrvenog termometra Parkside PTIA 1 sa mogućnošću merenja temperature u opsegu od od -50 °C do $+380$ °C. Skup referentnih tačaka iz koga se bira tačka za poređenja dat je kao $S = \{ A(0,0), B(\text{širina_termograma}/2,0), C(\text{širina_termograma},0), D(0,\text{visina_termograma}/2), E(\text{širina_termograma}/2, \text{visina_termograma}/2), F(\text{širina_termograma}, \text{visina_termograma}/2), G(0,\text{visina_termograma}), H(\text{širina_termograma}/2, \text{visina_termograma}), I(\text{širina_termograma}, \text{visina_termograma}) \}$. Za svaku od izabranih tačaka poređenja zabeležena su određena odstupanja između vrednosti zabeležene infracrvenim termometrom i vrednosti očitane sa

odgovarajućeg termograma. Međutim, nije zabeleženo nijedno drastičnije odstupanje (maksimalno zabeleženo odstupanje iznosilo je 0,9 °C), odnosno ustanovljeno je da zabeležena odstupanja nisu velika i kritična i smatra se da su nastala kao rezultat različitih postupaka merenja, primene različitih instrumenata i njihovih nesavršenosti i sličnih relevantnih parametara. Imajući u vidu napred navedeno, dolazi se do zaključka, da pored toga što je omogućeno pravilno ekstrakovanje podataka sa dobijenih termograma, dobijene su i validne vrednosti rezultata merenja, odnosno dobijene su vrednosti očitanih temperatura sa kojima se može ići u dalje postupke predviđene radom sistema čime je prethodno navedena funkcionalnost u potpunosti potvrđena.

U sledećem koraku izvršena je provera funkcionalnosti kojom se obezbeđuje prenos podataka od izvorišta, odnosno od lokacija na kojima se vrši termovizijsko snimanje, do odredišta koje predstavlja monitoring centar. Na izvorištima podataka instalirani su određeni mikrokontroleri sa pripadajućim modulima za omogućavanje bežičnog prenosa podataka korićenjem Wi-Fi i LoRa mreža. LoRa moduli na ovim lokacijama koristili su antene dužine 90 mm i 275 mm u zavisnosti od udaljenosti lokacije termovizijskog snimanja od monitoring centra. Na odredištu je, takođe, instaliran mikrokontroler sa pripadajućim modulima za omogućavanje bežičnog prenosa podataka korićenjem Wi-Fi i LoRa mreža, ali sa odgovarajućom LoRa antenom od 550 mm. I na izvorištu i na odredištu povezani su laptopovi sa mikrokontrolerima korišćenjem serijske veze i potom je vršen monitoring nad prenosom podataka u odgovarajućim konzolama namenjenim za poslove ovog tipa. Softverski su ispraćeni parametri prenosa, da li postoji kašnjenje u prenosu, da li postoje prekidi u prenosu i slični aspekti prenosa podataka, a pristupljeno je i odgovarajućim podacima koje generiše sam hardver koji se tiče intenziteta samog signala kako bi se ustanovilo da li postoje kritična slabljenja signala. Ustanovljeno je da se celokupan prenos podataka vrši u skladu sa definisanim parametrima prenosa i da ne postoje gubici u prenosu. Što se tiče parametara koji karakterišu sam signal poput njegovog slabljenja, svi parametri se nalaze u dozvoljenim opsezima i nije zabeležen nijedan slučaj tokom monitoringa veze u kom se neki od parametara približio graničnim vrednostima. Ovde treba napomenuti da je testiranje sprovedeno kako za napajanje mikrokontrolera stalnim izvorom električne energije, tako i za napajanje mikrokontrolera putem baterijskog izvora pri čemu je u oba slučaja na ulaz mikrokontrolera dovođen napon od 5V i struja do 1A i da su u oba slučaja dobijeni identični podaci. Shodno tome ustanovljeno je da se prenos podataka u potpunosti vrši na predviđen način čime je i ova funkcionalnost sistema potvrđena u celosti.

Funkcionalnost skladištenja podataka potvrđena je odgovarajućim dijagnostičkim alatima i opcijama integrisanim u sam sistem za upravljanje relacionim bazama podataka koji je korišćen u ovom slučaju. Nije zabeležen nijedan problem prilikom realizovanja smeštaja podataka u odgovarajuću relacionu bazu podataka. Svi podaci se beleže konzistentno u skladu sa odgovarajućom definisanom strukturom i uz poštovanje integriteta. Ono što se može dati samo kao napomena u ovom slučaju jeste da je server na kome se nalazi sistem za upravljanje relacionim bazama podataka u ovom slučaju bio skromnijih performansi budući da je opsluživao samo četiri lokacije na kojima se vrši kontinuirano termovizijsko praćenje. U slučaju skaliranja predviđenog rešenja za veća skladišta ili u slučajevima kada se vrši centralni monitoring više skladišta mora se povesti računa o obezbeđivanju servera adekvatnih performansi kako bi se sprečila tzv. pojava „uskog grla“ u radu celokupnog sistema. Ovde

takva pojava nije zabeležena, ali treba je istaći kao moguću i ukazati na mogućnost njenog ispoljavanja. U okviru sistema za skladištenje podataka postoji i dodatni sistem za periodično pravljenje rezervne kopije podataka na dnevnom nivou na eksternoj memorijskoj jedinici, pa je u skladu sa tim testiran i izvoz baze podataka i njen uvoz na drugom sistemu za upravljanje relacionim bazama podataka. I u ovom slučaju sve procedure su realizovane bez uočavanja pojave grešaka u radu.

Kao krajnja funkcionalnost koja je potvrđena u realnom radu opisanog sistema navodi se funkcionalnost obaveštavanja i alarmiranja operatera u monitoring centru. Nisu primećeni nikakvi poremećaji prilikom rada u realnom vremenu. Postoji konstantno i objektivno informisanje o svim relevantnim aspektima celokupnog rada sistema. Prikaz relevantnih informacija obavlja se u skladu sa definisanim principima rada sistema. Obaveštenja i alarmi koji su aktivirani tokom perioda posmatranja rada sistema realizovani su u skladu sa definisanim graničnim temperaturnim vrednostima za trenutni rad sistema. Tokom testiranja rada sistema izvršen je niz promena ovih graničnih vrednosti i u svim slučajevima rad sistema se uspešno adaptirao na novo postavljene vrednosti. Ni u jednom slučaju nije zabeležena pojava „lažnog pozitivnog“ (false positive) alarma, niti obaveštenja i trenutnih informacija koje nisu u skladu sa prikupljenim podacima tokom permanentnog termovizijskog nadzora koji se posmatranim sistemom vrši. U razgovoru sa operaterima potvrđene su i još neke dodatne vrednosti samog sistema. Operateri su ocenili da je sistem jednostavan za korišćenje, dobro dokumentovan, pregledan i da su informacije koncizne, jasne, pravovremene i dobro prezentovane. Nije primećena pojava otežanog ili pogrešnog tumačenja pristiglih informacija.

U skladu sa napred navedenim, kroz adekvatna testiranja potvrđene su sve parcijalne funkcionalnosti sistema, čime je potvrđen i rad i upotrebljivost sistema u celosti. Ovde treba dodati i to da su pored ovih aktivnosti sprovedene i neke dodatne aktivnosti prilikom rada sistema koje zbog sažetosti ovde nisu detaljnije razmatrane. Tako su na primer analizirane i log datoteke koje kreira sam sistem, da li se u njima nalaze neke nepravilnosti, da li se ostvaruje adekvatno rukovanje istim, da li postoji adekvatna rotacija log datoteka i slično. Ni u ovim slučajevima nije uočena nijedna nepravilnost u radu sistema.

Na osnovu prethodno navedenog, može se zaključiti da se tehničko rešenje:

**„PERMANENTNO TERMOVIZIJSKO PRAĆENJE SKLADIŠTA UGLJA I
DRUGIH ZAPALJIVIH MATERIJALA U CILJU PREVENCIJE
SAMOZAPALJENJA“**

može svrstati u kategoriji M85 - **novo tehničko rešenje u fazi realizacije**, testirano na određenom objektu (dokaz- protokol o testiranju potpisan od strane korisnika - DOO Admetal iz Bora). u skladu sa zahtevima definisanim u okviru „Pravilnika o sticanju istraživačkih i naučnih zvanja“, ("Sl. glasnik RS", br. 159 od 30. decembra 2020.)

Za DOO Admetal iz Bora,
Stefan Lekovski, direktor,
s.r.