

## AUTOMATIZOVANI SISTEM ZA DOKUMENTOVANJE SISTEMA DALJINSKOG GREJANJA BAZIRAN NA TERMOVIZIJSKIM SNIMCIMA

Zoran Petrušić, Dragan Mančić, Milan Radmanović, *Elektronski fakultet u Nišu*

**Sadržaj** – U ovom radu prikazan je termovizijski automatizovani sistem za dokumentovanje sistema daljinskog grejanja. Ispitivanje toplovoda lociranog ispod površine zemlje realizovano je primenom modernog, termičkog, optičkog termovizijskog sistema visoke rezolucije Varioscan. Prikazan je način memorisanja termovizijskih slika pronađenih mesta curenja i identifikovanih sakrivenih kvarova u navedenom sistemu. Dobijene termovizijske slike su analizirane primenom softverskog paketa Irbis.

### 1. UVOD

Primena termovizijskog ispitivanja za industrijsku kontrolu proizvoda i kontrolu procesa proizvodnje poslednjih godina ima sve veći značaj [1]. Pored toga, značajna je primena termovizije i u ispitivanju izolacije zgrada kod njihovog renoviranja i održavanja, kao i u preventivnom održavanju industrijske opreme, odnosno otkrivanju i identifikovanju problema koji se odnose na nepravilan rad pojedinih delova uređaja, komponenti i postrojenja. Takođe, od velikog je značaja i termovizijsko preventivno održavanje elektroenergetskih postrojenja i distributivnih mreža, za detektovanje labavih ili korodiranih spojeva koji se mogu pregrejati i dovesti do otkaza, ili prouzrokovati požar [2]. Ipak, jedna od najvažnijih primena termovizijskih ispitivanja u našim uslovima je analiza sistema daljinskog grejanja.

Najvažnije aktivnosti koje se odnose na primenu termovizijskih ispitivanja u sistemima daljinskog grejanja povezane su sa sledećim ciljevima:

- racionalizacijom proizvodnje, distribucije i eksploatacije toplotne energije;
- razvojem sistema i principa za kontrolu postrojenja same toplane, kao i ostalih delova toplovodnog sistema;
- oblikovanjem i razvojem baze podataka na aplikativnom nivou;
- definisanjem i razvojem sistema za merenje isporučene količine toplotne energije;
- definisanjem sistema za stimulaciju potrošača;
- stvaranjem mogućnosti za praćenje tekućih i razvoj novih projekata koji ostvaruju uštedu energije.

U ovom radu prikazan je primer automatizovanog sistema za dokumentovanje sistema daljinskog grejanja, dobijenog na osnovu termovizijskih ispitivanja jednog kompletnog toplovoda radi otkrivanja mesta curenja, kao i mesta sa nedovoljnom izolacijom i slabim spojevima. Analiziran je konkretan primer sistema daljinskog grejanja u Novom Pazaru. Sistemi daljinskog grejanja predstavljaju primer sistema visoke kompleksnosti, zbog složenosti postrojenja neophodnih za proces proizvodnje, prenos i isporuku toplotne energije. Otkazi u ovako složenim sistemima mogu da dovedu do višednevnog prekida u njihovom radu, tako da je formiranje odgovarajućeg automatizovanog sistema početni preduslov za prevazilaženje

ovakvih situacija. Kontinualnim praćenjem i ažuriranjem formiranog automatizovanog sistema za dokumentovanje može se predvideti kada treba izvršiti popravku delova toplovoda, čime se smanjuju troškovi proizvodnje i distribucije toplotne energije i dobija veoma brzo objektivno stanje sistema daljinskog grejanja. Rano otkrivanje ovih problema smanjuje ili eliminiše troškove održavanja ovakvih sistema.

Termovizija predstavlja gotovo jedini način za analizu termičkih procesa tokom distribucije toplotne energije kroz toplove koji se nalaze na određenoj dubini ispod površine zemlje, i jedini način za optimizaciju ove distribucije na osnovu temperature analize. Ovo zahteva termovizijski sistem koji ima mogućnost merenja širokog temperaturnog opsega u realnom vremenu, sa različitim rastojanja, tako da je za potrebe ovog rada korišćena termovizijska kamera Varioscan 3021 ST, koja je iz familije termovizijskih proizvoda zasnovanih na dvodimenzionalnom skenirajućem sistemu [3]. Kritična mesta curenja ili mesta slabljenja izolacije toplovoda mogu se odrediti na osnovu povećanja temperature površine zemlje, još u ranoj fazi otkaza, i što je najvažnije, pomoću termovizijske kamere ova kritična područja se mogu detektovati bez prekidanja procesa distribucije toplotne energije. Direktni kontakt sa mernim objektom nije neophodan, a termovizijski snimci omogućavaju operateru da klasifikuje oštećenje i da izabere pogodno vreme za intervenciju.

### 2. OSNOVNI POJMOVI O DALJINSKOM GREJANJU

Sistem daljinskog grejanja se sastoji od sledećih osnovnih elemenata: postrojenja za proizvodnju toplotne energije (toplotnog izvora), vrelovodne ili toplovodne mreže, magistralnih, razvodnih i priključnih toplovoda, toplotnih podstanica i kućnih instalacija. Nosilac toplotne energije u sistemu daljinskog grejanja je vrela ili topla voda, koja prenosi toplotu od izvora toplote do korisnika. Vrela ili topla voda se zagreva toplotnim izvorima, a zatim se preko vrelovoda, toplovoda ili neposredno isporučuje korisnicima. Sistem daljinskog grejanja je zatvoren, dvocevni, sa posrednim i neposrednim prenosom toplote potrošačima. Sastoji se iz potisnog i povratnog voda [4].

Sistem daljinskog grejanja radi sa centralnom kvalitativnom regulacijom. Temperatura vode u potisnom vodu reguliše se automatski ili ručno u zavisnosti od spoljašnje projektne temperature vazduha. Pri spoljašnjoj projektnoj temperaturi (15÷16°C), temperatura vrela vode u potisnom vodu načelno je oko 135°C, a u povratnom vodu oko 75°C. Održavanje potrebnog pritiska u sistemu daljinskog grejanja obezbeđuju uređaji u postrojenjima za proizvodnju toplotne energije. Maksimalni radni pritisak u vrelovodnoj mreži je oko 16 bara.

Vrelovodna i toplovodna mreža služe za prenos toplotne energije od izvora toplote do potrošača. Toplovodna (vrelovodna) mreža može da se postavi podzemno ili, u izuzetnim slučajevima, nadzemno, uz poštovanje principa za

projektovanje ovakvih vrsta instalacija. Podzemna toplovodna mreža predizolovanih cevi polaže se kanalno i bezkanalno. Zaštitni sloj zemlje (nasipa) iznad podzemno položene toplovodne ili vrelovodne mreže je najmanje 0.6 m iznad gornje zaštitne ploče ili gornje površine kolovoza bezkanalno postavljenog toplovoda.

Toplovod (vrelod) se postavlja u zemljani rov na posteljici separisanog peska, pri čemu ovo važi za predizolovane cevi na novijim trasama mreže. U izuzetnim prilikama dozvoljeno je polaganje instalacije na sloju separisanog peska u postojećim armirano-betonskim kanalima, i to samo onda kada je reč o rekonstrukciji postojeće instalacije. Minimalno odstojanje cevovoda od površine izgrađenog terena je 60 cm.

Toplovod se projektuje i izvodi od bešavnih cevi sa fabričkom predizolacijom sa ugrađenom detekcijom curenja. Izolacija cevi u kanalima ili šahtama koje nisu u sastavu predizolovanih cevi i armatura vrši se staklenom vunom prošivenom na terisanj hartiji, odnosno Al limom u skladu sa tehničkim propisima.

### 3. KARAKTERISTIKE PRIMENJENE KAMERE

Varioscan high resolution je skenirajući termovizijski merni sistem, za talasne dužine van vidljivog spektra od 8 do 12  $\mu\text{m}$ , odnosno u oblasti infracrvenog zračenja. Signal iz ovog spektra se pojačava, digitalizuje sa 16 bitova i vizualizuje u oblast vidljivog spektra sa rezolucijom od 8 bitova (256 boja), pri čemu svaka boja na prikazanom termogramu (termovizijskom snimku) predstavlja određenu temperaturu. Temperaturna rezolucija sistema Varioscan je veoma visoka i iznosi 0.03K, a opseg merenja temperature je od -40°C do +1200°C. Trenutna generacija Varioscan high resolution kamera ima maksimalnu rezoluciju slike od 360x240 piksela.

Prednosti korišćenja ovakvog termovizijskog sistema se ogledaju u jasnom i tačno definisanom termogramu, poboljšanom kvalitetu slike, objedinjenom kontrolnom softveru, linearnoj temperaturnoj skali, malom utrošku energije, kompaktnosti i mobilnosti ovakvog termovizijskog sistema, lakom rukovanju, pouzdanim rezultatima, brzom istraživanju, tačnoj i jasno uočljivoj interpretaciji rezultata preko odgovarajućih izveštaja.

Razvoj softvera Irbis otvorio je nove mogućnosti za memorisanje termovizijskih slika radi njihovih daljih analiza, odnosno kasniju obradu na PC računaru, pošto je sofisticirana analiza slika zahtevala velike performanse primenjenog softvera [5]. Za naknadnu obradu podataka Varioscan fajlova realizovana je čitava familija softvera Irbis. Za dobijanje svih temperaturnih podataka iz formiranog automatizovanog sistema za dokumentovanje u ovom radu je korišćen softver Irbis basic.

### 4. FORMIRANJE AUTOMATIZOVANOG SISTEMA

Sam automatizovani sistem za dokumentovanje baziran je na termovizijskom merenju sistema daljinskog grejanja u Novom Pazaru. Urađen je primenom softvera Microsoft PowerPoint i sadrži sve rezultate ispitivanja i merenja zagrevanja koje je pomoću termovizijske kamere realizovala ekipa Laboratorije za termoviziju sa Elektronskog fakulteta iz Niša, u cilju blagovremenog otkrivanja svih mesta i delova u sistemu daljinskog grejanja, koji se zagrevaju iznad dozvoljenih vrednosti. Ispitivanje je izvršeno 15.12.2004.

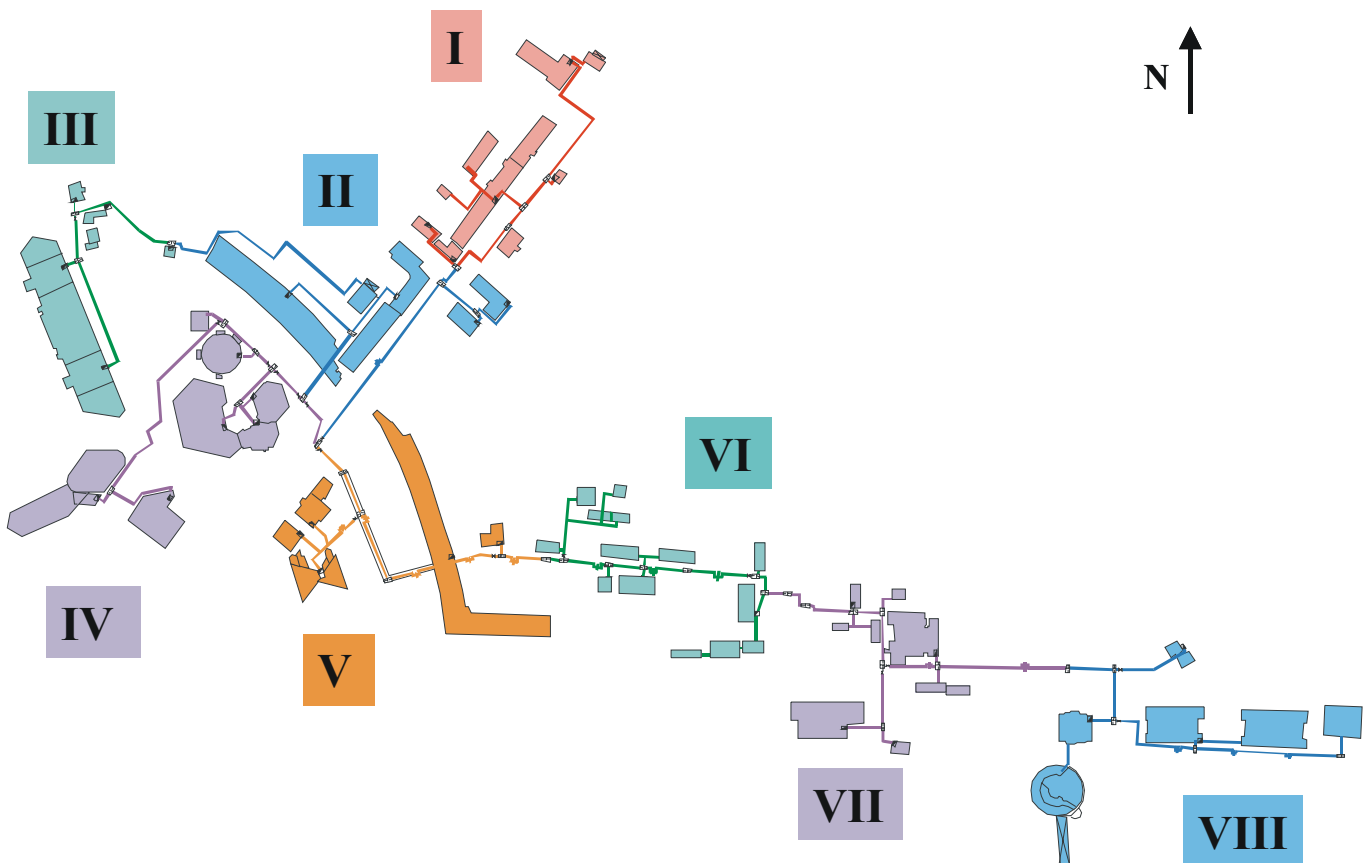
god. na sistemu za distribuciju toplotne energije na području JKP "Gradska toplana" iz Novog Pazara. Termovizijski je pregledana i ispitana kompletna toplovodna mreža u dužini od 4km.

Kontrolom i merenjem bili su obuhvaćeni svi delovi sistema daljinskog grejanja: toplotni izvor, magistralni, razvodni i priključni toplo vodi, standardne i revizione šahte, kao i neke toplotne podstanice. Na osnovu termovizijskih snimaka formiran je automatizovani sistem za dokumentovanje sistema daljinskog grejanja. Korišćenjem tehničkog situacionog plana, realizovana je kompletna termovizijska elektronska verzija plana sistema daljinskog grejanja, pri čemu je, zbog preglednosti, izvršena uslovna podela situacionog plana na 8 sektora (slika 1). Podela na sektore nije urađena na osnovu tehnološko-proizvodnog procesa ili nekog sličnog relevantnog kriterijuma, već na osnovu topološko-prostornog principa. Zbog ograničenog prostora, u ovom radu je na slici 2 prikazan samo I sektor sistema daljinskog grejanja sa slike 1. Zbog preglednosti i lakšeg tumačenja rezultata termovizijskog ispitivanja, zadržane su oznake toplotnih podstanica (PSx) i šahti toplovoda (K0x), koje su sadržane u originalnom tehničkom situacionom planu toplane u Novom Pazaru. U okviru svakog sektora, duž toplovodne trase interno su označene tačke (1, 2, 3, ...), koje su uvedene da bi uspostavila veza mernog mesta sa odgovarajućim termovizijskim snimkom.

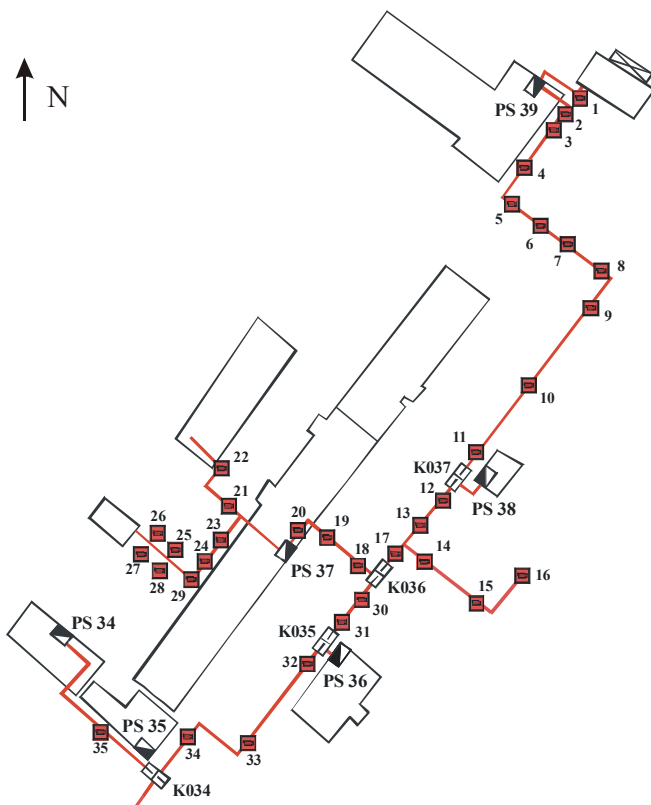
Kontrola svih relevantnih mesta i spojeva kod kojih može doći do prekomernog zagrevanja, a koji su bili dostupni i pristupačni termovizijskoj kameri, izvršena je sa ciljem da se ustanovi da li se međusobno podjednako zagrevaju isti delovi sistema, pri čemu bi sve eventualne razlike ukazivale na to da dolazi do pregrevanja, odnosno do curenja zbog loših spojeva, prskanja cevi ili slabljenja izolacije.

Termovizijski snimci na kojima se uočava znatno povećanje temperature na pojedinim mestima duž podzemne toplovodne trase ukazuju na povećani toplotni gubitak, odnosno na mogućnost curenja toplovoda. Takođe, pregrevanje pojedinih delova sistema ukazuje da je u toku same realizacije toplovoda bilo nekorektnosti: zbog plitko postavljenog potisnog i povratnog voda, nedovoljne izolacije oko cevi toplovoda ili eventualnog vremenskog otkaza zbog neadekvatno upotrebljene hemijski temperaturno nestabilne izolacije.

Kao reprezentativni primer prethodno navedenih nedostataka sistema daljinskog grejanja, na slici 3 je prikazan termovizijski snimak na kome se može uočiti primer curenja toplovoda, dobijen iz formiranog automatizovanog sistema za dokumentovanje. Prikazan je termovizijski snimak mesta curenja označenog brojem 2 na slici 2, gde se jasno uočavaju mesta na kojima je došlo do oštećenja toplovoda. Takođe, u cilju sagledavanja svih mogućnosti koje pruža formirani automatizovani sistem za posmatrano merno mesto, a koje se odnose i na ostala merna mesta prikazana u navedenom automatizovanom sistemu, na slici 4 je prikazan linijski temperaturni profil L01 sa slike 3. Pored toga, na slici 5 je dat histogram zastupljenosti pojedinih temperatura na celoj slici 3, a sadržaj automatizovanog sistema za dokumentovanje za svako merno mesto, pa samim tim i za posmatrano, je i trodimenzionalni termovizijski snimak površine asfaltiranog dvorišta iznad toplovoda, koji je posebno pogodan za isticanje pojedinih temperaturnih detalja kod ovakve analize (slika 6).



Sl.1. Situacioni plan sistema daljinskog grejanja u Novom Pazaru



Sl.2. Detaljniji prikaz I sektora sistema daljinskog grejanja sa slike 1

Termovizijski su pregledane sve kameri pristupačne deonice, podzemne toplovodne mreže i izvršeno je memorisanje velikog broja termovizijskih snimaka u cilju formiranja automatizovanog sistema. Sva nađena mesta sa povećanom temperaturom duž trase toplovoda su detaljno

snimana i smeštena u automatizovani sistem za dokumentovanje podataka. U konkretnom slučaju se dodatno tabelarno mogu izdvojiti iz formiranog automatizovanog sistema svi karakteristični snimci sa maksimalnom temperaturom iznad 5°C.

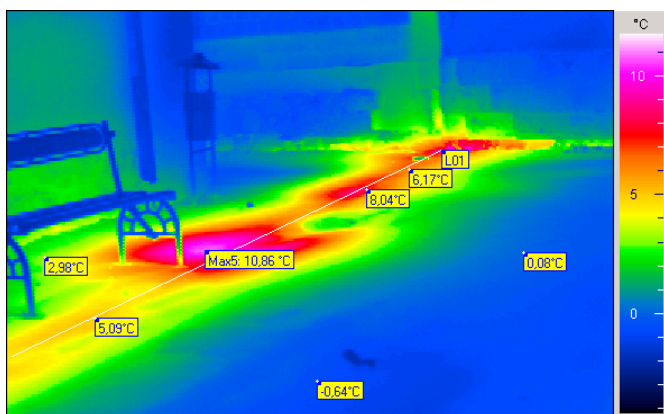
Analiza svih ispitivanih mesta je na osnovu iskustava autora urađena u tri nivoa prioriteta, pri čemu su u prvoj aproksimaciji izdvojene lokacije toplovodne trase na kojima se očekuje većina nekorektnosti (prioritet **A**). U ostalim nivoima prioriteta date su maksimalne temperature onih delova toplovoda na kojima je primenom termovizijske kamere primećeno povećano, ali ne i kritično zagrevanje (prioriteti **B** i **C**).

U automatizovanom sistemu za dokumentovanje je ostvarena jednoznačna veza između broja termovizijske slike i odgovarajuće maksimalne temperature, čime je omogućeno da stručna ekipa detaljno pregleda sve izdvojene snimke i odgovarajuća mesta na trasi. Pretraživanje mernih mesta u realizovanom sistemu ostvareno je kroz više nivoa. Izborom sektora u situacionom planu, može se ostvariti prelaz na niži nivo izborom merne tačke u okviru datog sektora. Posle pregleda i analize mernog mesta (slika, npr. slike 3, 4, 5 i 6) može se odabrati neki drugi sektor, ili najviši nivo (nivo situacionog plana).

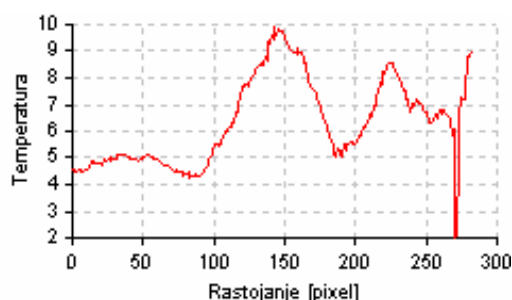
## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu termovizijskih ispitivanja, uočeno je da realizovani sistem daljinskog grejanja ima dosta nedostataka, koji su u realizovanom automatizovanom sistemu za dokumentovanje dati za većinu lokacija sa povećanom temperaturom, zajedno sa odgovarajućim prioritetima. Za najkritičnije slučajeve zagrevanja detaljnije su date i odgovarajuće preporuke za intervenciju stručne ekipe

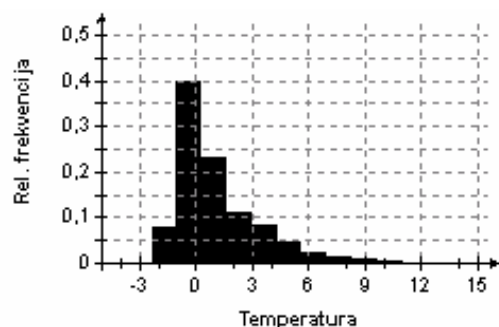
Gradske toplane. Pri tome, u ovom radu je zbog glomaznosti prikazana samo analiza jednog mernog mesta, za jedno od najkritičnijih zagrevanja.



Sl.3. Termovizijski snimak mesta curenja označenog brojem 2 na slici 2



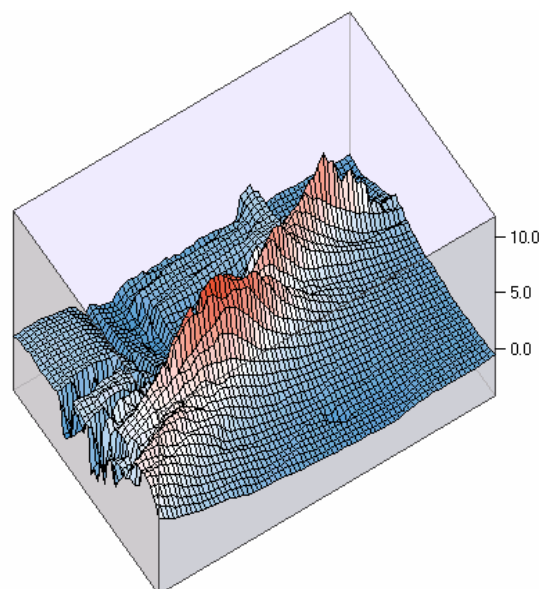
Sl.4. Linijski temperaturni profil L01 sa slike 3



Sl.5. Histogram zastupljenosti pojedinih temperatura na celoj slici 3

Cilj formiranja navedenog automatizovanog sistema za dokumentovanje na osnovu termovizijskih ispitivanja i merenja je da se obezbedi visoka operativnost i ekonomičnost u radu sistema daljinskog grejanja. Primenom termovizije mogu se kontrolisati sva kritična mesta na postrojenjima, kao i kompletna podzemna toplovodna trasa, bez prekida bilo koje faze u radu samog sistema. Analiza termovizijskih snimaka može, u zavisnosti od stepena lokalizovanih kvarova i oštećenja, razrešiti dilemu da li je potrebna trenutna ili naknadna popravka, kao i odgovarajući servis. Realizovana termovizijska ispitivanja omogućavaju da se definišu uslovi i principi za formiranje odgovarajućeg automatizovanog sistema. U ovom radu je prikazan početni automatizovani sistem, koja je formiran na primeru Gradske toplane u Novom Pazaru. Osnovna prednost ovako formiranog sistema je što dozvoljava više tipova proširenja, i to:

- standardno proširenje, uvođenjem standardnih digitalnih foto-snimaka;
- detaljno proširenje, ubacivanjem novih mernih tačaka sa termovizijskim i standardnim digitalnim snimcima;



Sl.6. 3D termovizijski profil mesta curenja sa slike 3

- kontinualno proširenje, vremenskim praćenjem već snimljenih karakterističnih mernih tačaka, ubacivanjem novih termovizijskih snimaka načinjenih posle određenih kontrolnih perioda (godina dana, šest meseci ili mesec dana).

Razvoj postojećeg automatizovanog sistema za dokumentovanje i izrada novih sistema za slične termovizijske primene, izrada kompletnih termovizijskih baza podataka, kao i izrada novih softvera za obradu termovizijske slike, predstavljaće dalju oblast interesovanja autora ovog rada.

## LITERATURA

- [1] S. Schlesinger, *Infrared Technology Fundamentals*, Dekker-Verlag, New York und Basel, 1989.
- [2] *Theoretical and practical aspects of Infrared-Thermography*, Jenoptic L.O.S. GmbH, 2001.
- [3] *Varioscan high resolution*, Users manual, Jenoptic L.O.S. GmbH, July 2000.
- [4] *Centralno grejanje; Ispitivanje grejnog sistema*, Standard JUS.M.E.6.012, 1991.
- [5] *IRBIS – Thermal image processing software*, Software manual, Jenoptic L.O.S. GmbH, December 2000.

**Abstract** –In this paper thermographic automatic system for the heat distribution network documentation is presented. Inspection of heat line below the ground surface is realised by application of modern, thermal and optical high resolution thermographic system Varioscan. Thermogram storage of searched leakage and identification of hidden faults in cited systems is presented. Obtained thermal images are analysed by application of software package Irbis.

## AUTOMATIC SYSTEM FOR DOCUMENTING REMOTE HEATING NETWORK BASED ON THERMOGRAMS

Zoran Petrušić, Dragan Mančić,  
Milan Radmanović