

Procena stanja toplovodne mreže tehnologijom bespilotnih letelica

Milan Protić, Zoran Ilić, Miloš Stojanović, Jelena
Bijeljić

Katedra za Informatično komunikacione tehnologije
Akademija tehničko vapsitačkih strukovnih studija
Niš, Srbija

milan.protic@akademijanis.edu.rs
zoran.ilic.ni@akademijanis.edu.rs
milos.stojanovic@akademijanis.edu.rs
jelena.bijeljic@akademijanis.edu.rs

Sažetak—U sistemima centralnog grejanja, usled više desetina godina korišćenja, počinju da se javljaju prsline u cevima usled zamora materijala, radova u neposrednoj blizini, pomeranja tla i dolazi do propadanja termoizolacije. Zbog gubitka energije na takvim mestima neophodno je izvršiti sanaciju, uz prethodno precizno utvrđivanje lokacije kvara, što uobičajenim metodama može da bude komplikovano, a vremenski i finansijski zahtevno. Termalnom kamerom, koja se nalazi na bespilotnoj letelici moguće je snimiti celu trasu toplovoda, na kojoj postoji sumnja na gubitke, i nakon konverzije preciznom metodom, analizom i upoređivanjem sa prethodnim snimcima može se dobiti interaktivna mapa na kojoj se sa mnogo većom sigurnošću može ukazati na moguća mesta na kojima postoje gubici. Time bi vreme i resursi potrošeni na pronalaženje kvara bili znatno manji.

Ključne riječi: centralno grejanje, toplovod, toplana, bespilotne letelice, termovizija, curenje.

I UVOD

Sistemi centralnog grejanja sastoje se od složenih elemenata koji obezbeđuju funkcionisanje sistema – proticanje zagrejanog fluida uz minimalne gubitke toplote na mestima spojeva, račvanja, kontrole i razmene toplote sa korisnicima. S obzirom da su sistemi uvođeni postepeno sredinom prošlog veka i da se, sa izgradnjom objekata, stalno uvode novi korisnici, starosna razlika instalacija može biti i nekoliko desetina godina. Ukoliko se uzme u obzir i to da je tokom raznih vremenskih razdoblja, odnosno različitih materijalnih mogućnosti društva, varirao kvalitet sistema (materijali konstruktivnih elemenata, izolacija, spojevi itd.) i učestalost renoviranja može se zaključiti da su za neophodnu procenu trenutnog stanja svih elemenata sistema potrebne česte i veoma detaljne provjere svih delova. U praksi se pokazalo da je najčešće vremenski jedino moguće vršiti provjere delova na kojima je utvrđeno da postoje određene vrste gubitaka (toplote ili fluida). Gubici toplote ogledaju se u lošoj ili vremenom propaloj toplotnoj izolaciji delova sistema, a gubici fluida u curenjima na mestima spojeva ili pukotinama cevovoda, koje nastaju zbog habanja komponenata sistema.

Neizbežne gubitke toplote moguće je registrovati senzorom infracrvene svetlosti. Termalnom kamerom, čiji se snimak generiše na osnovu registrovane količine i intenziteta infracrvene svetlosti moguće je odrediti oblik, odnosno putanju

kojom se ta toplota prenosi. S obzirom na to da se prenos vrši na većem području, u slučaju centralnog grejanja, za sticanje šire slike pogodno je smanjenje termalnom kamerom obaviti sa veće daljine (visine).

Na konkretnom primeru u Nišu, bespilotnom letelicom sa termalnom kamerom, napravljeni su georeferencirani snimci cele toplovodne mreže na osnovu kojih je generisan precizan plan, sa procenjenim temperaturama (iz kojih je moguće očitati temperature na kritičnim mestima kao što su spojevi, ukrštanja, ventili, šahte). Na tačan i precizan način mogu se, pored otkrivanja sumnjivih mesta u pogledu gubitaka vode i toplote, odrediti i karakteristične pozicije delova toplovoda, korigovati postojeći planovi, izraditi katastarski planovi, proceniti količine gubitaka toplote na pojedinim mestima i lokalizovati gubici koji su posledica trenutnih kvarova na mreži.

U ovom radu prikazan je deo postupka dobijanja termalnih snimaka i njihove analize.

II KONCEPT ISTRAŽIVANJA I METODOLOGIJA

Za snimanje terene korišćena bespilotna letelica Matrice 300 RTK (slika 1), jedan od vodećih proizvoda kompanije DJI, prilagođena industrijskim i operativnim delatnostima i opremljena senzorima za daljinu u svim pravcima radi bezbednosti.

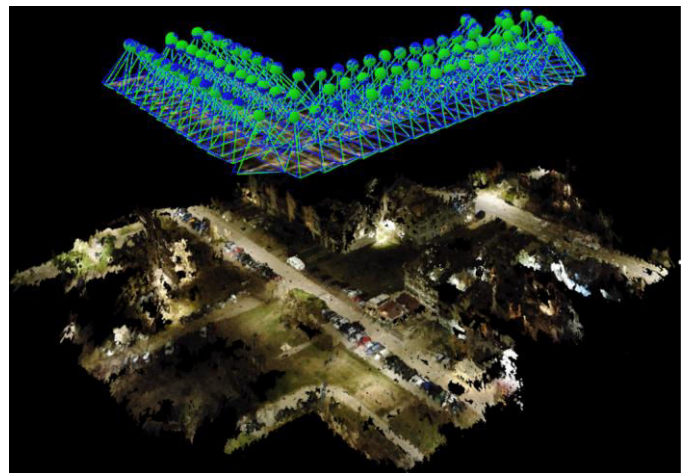
Karakteristike letelice date od proizvođača [1]:

- Maksimalna teorijska udaljenost od kontrolere u uslovima minimalnog elektromagnetnog ometanja drugim talasima je 15 km (u praksi se pokazalo da je u gradskim uslovima oko 700 m);
- Letelicu napajaju dve baterije (jedan set), maksimalno trajanje leta bez tereta je 55 minuta;
- Daljinski pozicioni senzori u svih 6 smerova (3 dimenzije puta 2 smer);
- Težina letelice bez tereta je 7,1 kg;
- Maksimalna brzina vetra 15 m/s;
- Otpornost letelice na prašinu i vodu zadovoljava standard IP45;
- 7,1 kg – 15 m/s otpor vetra (FCC) – IP45 (drone) + IP44 (korisno opterećenje)

- Kamera DJI H20T je karakteristika: RGB širokougaoni senzor 12 MP, ugao 82,9°, senzor sa zumom 20 MP, 23× optički zum, video 4K sa 30 frejmova u sekundi i termalni senzor rezolucije 640×512, ugao 40,6°, otpornost na prašinu i vodu IP44, operativna temperatura od -20°C do 50°C. Laserski daljinomer koji ima mogućnost da meri od 3 do 1200 m sa preciznošću 0,2 m [2].



Slika 1. Matrice 300 RTK sa kamerom H20T



Slika 2. Položaji letelice i orijentacija objektiva prilikom pravljenja fotografija

Radiometrijska termalna kamera, kao što je već rečeno, formira sliku na osnovu registrovane infracrvene svetlosti. Ima posebnu optiku koja omogućuje dugotalasnim infracrvenim talasnim dužinama da budu detektovane. Vreme odziva, tokom kojeg se slika dobija, je obično duže od vremena ekspozicije obične kamere i obično varira u zavisnosti od uslova, tako da je za dobijanje termalne slike u istim uslovima potrebno da se letelica kreće manjom brzinom.

Kamera Zenmuse H20T ima mogućnost istovremenog snimanja sa više senzora, tako da je moguće u isto vreme napraviti termalni, širokougaoni i zum snimak. Neophodno je, pored termalnog snimka, imati i običan, radi tačne orijentacije, zbog toga što su na termalnom snimku boje formirane na osnovu emitovanog infracrvenog zračenja sa površina, tako da se vizualno ne mogu prepoznati svi detalji sa slike (slika 3).

Snimanje željenog područja vrši se pravljenjem niza fotografija iznad površine.

Fotografije se obrađuju u softveru postupkom fotogrametrija da bi se dobila mapa snimljenog područja. Zbog toga je neophodno da postoji određeni preklap između susednih fotografija u oba pravca.

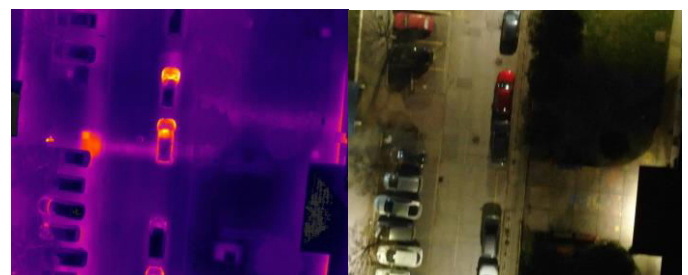
S obzirom da termalni snimci sadrže podatke o procenjenim temperaturama snimljenih površina, na njihove vrednosti utiču razni faktori: emisivnost površine, refleksivnost, vlažnost vazduha, spoljna temperatura, udaljenost kamere od površine, da bi dobijeni podaci bili usaglašeni potrebno je da uslovi snimanja budu nepromenjeni. Zbog toga se snimanje vrši sa konstantne visine, pri konstantnom položaju objektiva (90° u odnosu na horizontalu). Takođe, zbog refleksivnosti neophodno je da podloga bude suva i da nema direktnog sunčevog zračenja – najpovoljniji uslovi su kada je oblačno. Tokom snimanja beleže se podaci o spoljnoj temperaturi, vlažnosti vazduha i udaljenosti letelice od podloge (visini letenja).

Materijal se dalje obrađuje u različitim programskim okruženjima, kako bi se dobila mapa toplovođa sa temperaturama prikazanim bojama, i iz kojih bi se mogle izvući temperature željenih tačaka. Rezultati se dobijaju u različitim formatima, kompatibilnim sa programskim paketima pogodnim za pregled i analizu (Google Earth, QGIS, DJI Thermal Tools...).

Postavljanjem vidljivih (i termalno i obično) markera na površine koje se snimaju, i utvrđivanjem njihovih tačnih geografskih koordinata uz pomoć geodetskih instrumenata u toku obrade preciznost mapa se dovodi na dovoljnu tačnost, da očitavanje koordinata detalja sa mape može poslužiti kao podloga za unošenje plana toplovođa u katastar vodova.

III REZULTATI I ANALIZA

Snimljeni materijal predstavljaju fotografije terena snimljenih objektivom orijentisanim vertikalno na dole.



Slika 3. Snimljene fotografije: levo – termalna, desno – obična

Na slici 3 prikazane su termalna i obična fotografija istog mesta. Zbog najveće toplote narandžaste boje je šahta, u kojoj se ukrštaju toplovođi, koji se vide kao svetlo ljubičaste linije koje polaze od šahte.

Nakon obrade u softveru dobijaju se obična i termalna mapa snimljenog područja.



Slika 4. Mapa snimljenog područja: levo – termalna, desno – obična

Na izvornim termalnim fotografijama jasno je vidljiv deo toplovoda (Slika 3 – svetlo ljubičaste linije) ograničen slikom, dok se na mapi mogu prepoznati kompletni pravci, deonice, i sklopiti šira slika. U zavisnosti od kvaliteta i stanja termoizolacije i vrste podloge zavisi i vidljivost toplovoda na termalnom snimku. Kada je predizolacija dobrog kvaliteta i stanja moguće je da se toplovod ne prepozna na snimku, što je i jedna vrsta pokazatelja da je u dobrom stanju. Kada je podloga zemlja ili trava, prepoznatljivost toplovoda je slabija, a kada je podloga asfalt ili beton, prepoznatljivost je dobra. Na slici 4, toplovod je vidljiv i narandžaste boje, a podloga je asfalt, na običnom snimku vidi se da je u pitanju ulica.

Izvorne fotografije zgodne su za detaljan pregled, procenu temperatura i konstatovanje pozicija na kojima se sumnja na curenje.

Procenjena temperatura na slici snimljenoj termalnom kamerom zavisi od nekoliko parametara koje treba uneti u softver:

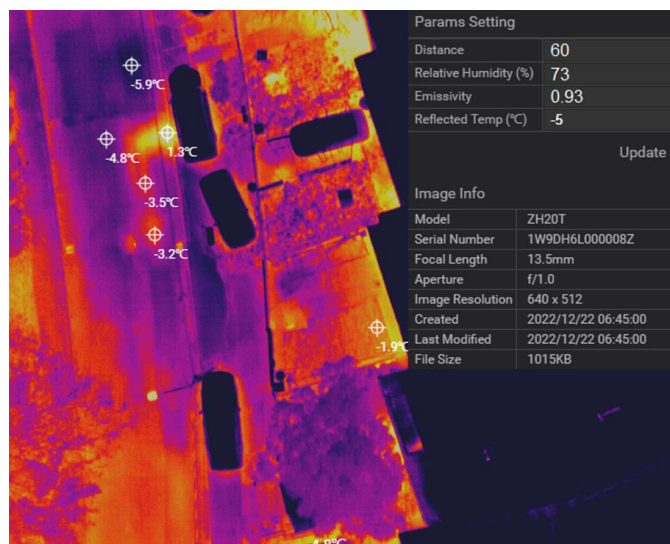
- Emisivnosti površine – efikasnost zračenja toplote sa površine (vrednost infracrvene energije emitovane sa površine) [3]. Emisivnost i tačnost se povećavaju zajedno. Poznavanje emisivnosti objekata je veoma važno, kako za interpretaciju termalnih slika, tako i kod merenja temperatura. Na emisivnost utiče mnogo faktora, tako da, ukoliko je potrebna precizna vrednost, bi je trebalo odrediti na konkretnom materijalu u konkretnom slučaju.
- Refleksivnost površine – svojstvo površine da reflektuje zračenje toplote okolnih objekata [3]. Sjajni materijali sa visokom refleksijom će reflektovati više pozadinskog zračenja i rezultovati manjom tačnošću, dok će materijali sa mat površinama imati veću tačnost.
- Vlažnost vazduha. Povećana vlažnost vazduha smanjuje tačnost.
- Udaljenost od objekta. Veća udaljenost smanjuje tačnost.
- Reflektovana temperatura – zračenje toplote okolnih predmeta koja je reflektovana sa površine. Kod predmeta sa većom emisivnošću ovaj parametar ima manji uticaj, ali kod predmeta sa manjom emisivnošću većina onoga što se izmeri je zapravo refleksija od okolnih objekata i treba je uzeti u obzir da bi u krajnjem rezultatu bila kompenzovana. Ovo je razlog što ovakvo snimanje ne može da se vrši kada su površine mokre [4]. Povećana temperatura okoline smanjuje tačnost.

Emisivnost za asfalt dobijamo iz tabele 1 i ona iznosi 0,93.

TABELA I. EMISIVNOSTI MATERIJALA [5]

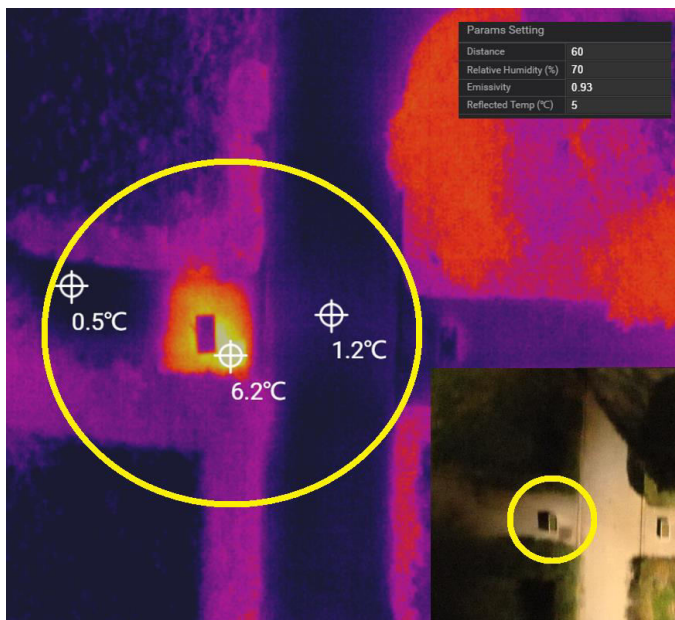
Materijal	Emisivnost
Asfalt	0,93
Polirani aluminijum	0,04-0,06
Beton	0,85
Gladak led	0,97
Zemlja	0,9
Drvo	0,95
Ljudska koža [4]	0,98

Nakon unošenja odgovarajućih parametara u program dobijene su temperature na razmatranom i okolnim mestima. Na osnovu dobijenih parametara, odnosno procenjene temperature od 1,3°C, koja je za skoro 5°C viša od procenjene temperature na ostatku voda predloženo je da se data lokacija ispita. Nakon intervencije utvrđeno je da je na tom mestu bilo curenja na račvi gde je stambeni objekat priključen na toplovodnu mrežu. Ovakav ishod ne mora da bude pravilo, zbog toga što se vrlo često na mestu priključka kratak deo toplovoda može biti sa slabijom izolacijom, usled različitog perioda ugradnje, i korišćenja drugačijih materijala. U procenu odluke o intervenciji ulazi i podatak (ukoliko postoji) o tome od kakvog je materijala izrađen posmatrani deo sistema.



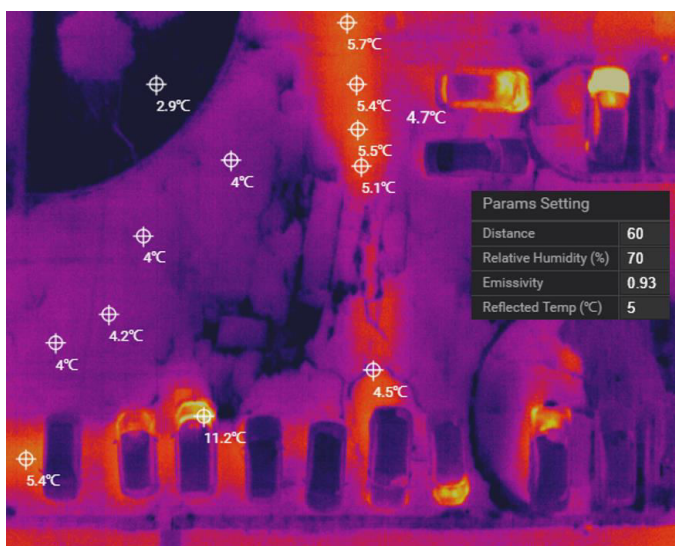
Slika 5. Uočeno mesto sa višom temperaturom programa DJI Thermal Analysis Tool

Zbog uticaja svih ovih parametara na preciznost slike (najviše udaljenosti, koja je kod snimanja bespilotnom letelicom 60 m ili više) ne postoji garancija da je procenjena temperatura tačna, međutim ono što jeste pouzdano je odnos temperatura koji je predstavljen različitim bojama i zbog koga se može doneti opravdan zaključak da jedan deo sistema emituje više toplote od drugog.



Slika 6. Primer vidljivosti šahte sa očitanim temperaturama

Na slici 6 dat je primer termalnog snimka šahte, iznad koje se nalazi betonska žardinjera. Toplovod je u ovom delu predizolovan i na snimku nije vidljiv. Na snimku se vidi da je poklopac šahte za oko 5°C topliji od dela ulice gde prolazi priključak u zgradu (desno, 1,2°C). Ostatak toplovoda na slici prolazi ispod trave (na gore i na dole od šahte na slici).



Slika 7. Primer vidljivosti toplovoda, preko asfalta, koji je u dobrom stanju

Na slici 7 dat je snimak toplovoda i njegova vidljivost preko asfalta. Paleta je podešena tako da se toplovod dobro vidi. Prema procenjenim temperaturama, deo gde prolazi toplovod je za samo oko 1 – 1,5°C viša od ostatka ulice (parkinga). Na slici je namerno procenjena i temperatura parkiranog vozila, koje je još uvek zagrejano, i čija je

temperatura znatno veća (11,2°C) od temperature tla (oko 4°C) i temperature toplovoda (oko 5 – 5,5°C).

IV ZAKLJUČAK

Toplovodni sistemi, čak i uz redovno održavanje, posle nekoliko decenija ne mogu biti u idealnom stanju, odnosno bez gubitaka toplote. Metodologijom procene stanja, predstavljenom u ovom radu, u velikom broju slučajeva moguće je utvrditi mesta gde postoje gubici, bilo da je u pitanju gubitak toplote zbog loše termoizolacije, ili zbog curenja vode. Na primeru procenjena je temperatura na mestu curenja za oko 5°C viša od ostatka toplovoda. Šahte su mesta gde se nalaze ventili i račve, i zbog otvora za ulazak slabije su izolovane od ostatka toplovoda tako da su vidljive i za oko 5°C toplije od ostatka toplovoda, dok je temperatura podloge ispod koje se nalazi toplovod za oko 1 – 1,5°C viša od okoline. Procenjene temperature i razlike temperatura zavise od dosta faktora, s obzirom na veliku udaljenost bespilotne letelice (60 m ili više), ali će i pri drugačijim uslovima razlike postojati i dovoditi do sličnih zaključaka. Ovakva procena stanja je efikasna i ekonomična, s obzirom da isključuje izlazak ekipa na teren i detaljnu inspekciju svih pristupačnih komponenta. Obrada podataka i dobijanje krajnjih rezultata se može dobiti u kratkom vremenskom periodu. Efikasnost ove metode ogleda se i u tome što je, u slučaju iznenadne pojave većih gubitaka, moguće u najkraćem vremenskom roku izvesti snimanje i obradu, pri čemu čak ni loši vremenski uslovi (mokra podloga ili sunce) ne bi ugrozili rezultate jer bi veći gubici čak i u lošim uslovima bili vidljivi.

Treba napomenuti da je termalna vidljivost toplovoda ispod podloge od zemlje ili trave je manja, tako da u tim uslovima ova metoda nije toliko pouzdana. Međutim u praksi je utvrđeno da se najveći deo toplovoda nalazi ispod podloge od asfalta (ulice i trotoari). Takođe vidljivost je mala kada je toplovod predizolovan, ali bi u slučaju pojave gubitaka tečnosti takvo mesto bilo vidljivo.

Uz vršenje geodetskih merenja tačnost koordinata mapa dovoljna je da bi se one mogle koristiti kao podloge za unos plana toplovoda u katastar.

Istraživanja na ovu temu mogla bi ići u pravcu procene obima gubitka na osnovu procene količine toplote koja se gubi u zavisnosti od prečnika cevi.

LITERATURA

- [1] <https://enterprise.dji.com/matrice-300/specs>
- [2] <https://enterprise.dji.com/zenmuse-h20-series/specs>
- [3] M. Schwoegler, „*Infrared Thermography Basics*“, Infrared Training Center
- [4] J. Dravnik, „*Understanding Emissivity and Reflected Temperature*“, Thermography Basics – Emissivity & Reflected Temperature
- [5] [Surface Emissivity Coefficients](#)