



TERMALNO MAPIRANJE KAO ALAT RAZVOJA PAMETNIH GRADOVA

Dejan BLAGOJEVIĆ¹, Milan PROTIĆ², Aleksandra BORIČIĆ³

Sažetak: Monitoring stanja toplovodne infrastrukture, predstavlja ozbiljan izazov koji može značajno uticati na životnu sredinu i održivost modernih gradova. U urbanim sredinama, gde je infrastruktura, često složena i preopterećena, od suštinskog je značaja preduzeti mere za smanjenje rizika od oštećenja. Analiza termalne raspodele na toplovodnoj infrastrukturi, podrazumeva proučavanje temperaturnih „obrazaca“, i raspodele oko oblasti gde je došlo do curenja ili stvaranja „hot spot - vrućih mesta...“ Ova analiza je ključna za identifikaciju i ublažavanje potencijalnih rizika, kao što su strukturna oštećenja, bezbednosne opasnosti ili negativni uticaji na životnu sredinu, što je od velike važnosti za održivu urbanu infrastrukturu. Cilj ovog rada je analiza termalne raspodele na toplovodnim instalacijama, koja ima za cilj kreiranje platforme za predikciju kvarova izazvanih oštećenjem cevi, s posebnim osvrtom na urbane sredine. Snimanje je obavljeno pomoću kamere ZENMUSE 20HT, montirane na bespilotnu letelicu MATRICE 300 RTK, dok je analiza sprovedena u programskom okruženju Dji Thermal Tools 3. Dobijeni rezultati jasno pokazuju korelaciju između analize termalne raspodele duž infrastrukture sa stanjem infrastrukture, doprinoseći efikasnijem upravljanju istom i smanjenju potencijalnih rizika u pametnim gradovima.

Ključne reči: bespilotna letilica, korelacije, predikcija Termalna distribucija, termovizija, toplovodna infrastruktura sistem

1. UVOD

Termalno mapiranje je inovativna i efikasna tehnika, koja se široko primenjuje u različitim industrijama, uključujući energetiku, građevinarstvo, poljoprivredu i urbanizam. Ova tehnika donosi brojne prednosti koje značajno doprinose efikasnosti i sigurnosti operacija. Termalno mapiranje omogućava brzu i preciznu detekciju problema kao što su curenja na toplovodnoj mreži, pregrevanje opreme i slabosti u izolaciji, detekciju urbanih toplotnih ostrva i sl. Takođe, ova metoda poboljšava energetska efikasnost u zgradama, omogućavajući identifikaciju mesta gde dolazi do gubitka toplote, čime se ostvaruju značajna uštede u troškovima grejanja i hlađenja i sl [1].

Sa stanovišta razvoja pametnih gradova, termalno mapiranje predstavlja nezaobilaznu tehnologiju koja doprinosi održivosti, efikasnosti i unapređenju životnog standarda građana. Ova tehnika omogućava preciznu analizu temperaturnih „obrazaca“, u urbanim sredinama, što pomaže u identifikaciji i rešenju problema vezanih za energiju, infrastrukturu i životnu sredinu [2]. U kontekstu pametnih gradova, termalno mapiranje se koristi za optimizaciju potrošnje energije, smanjenje emisije CO₂ i unapređenje urbanog planiranja, čime se doprinosi opštem cilju stvaranja održivih i „zelenijih“, gradova [3].

Geografski informacioni sistemi (GIS) igraju ključnu ulogu u razvoju pametnih gradova tako što omogućavaju analizu i vizualizaciju podataka koji su od suštinskog značaja za upravljanje infrastrukturom, planiranje urbanog razvoja i održivu mobilnost. Korišćenjem GIS-a, lokalne samouprave mogu pratiti stanje putne infrastrukture, vodovodnih sistema, toplovodnog sistema i kvaliteta vazduha, što pomaže u donošenju bitnih upravljačkih odluka [4].

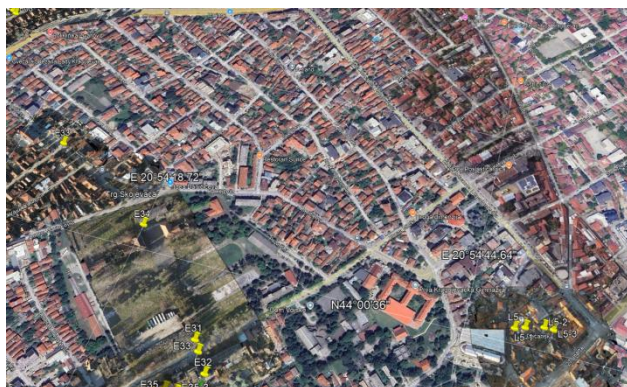
Takođe, GIS olakšava participaciju građana u procesu planiranja, omogućava efikasnije upravljanje resursima i poboljšava kvalitet života, čime doprinosi razvoju otpornijih i održivijih urbanih sredina [4].

U ovom radu predstavljeni su rezultati termalnog mapiranja odabranih lokacija u Gradu Kragujevcu, s ciljem monitoringa stanja toplovodne infrastrukture i detekcije kvarova na mreži. Snimanja su realizovana tokom decembra 2023. godine i februara 2024. godine, a obuhvatio je ukupno 18 km mreže raspoređene u šest različitih delova grada.

Mapiranje je realizovano pomoću bespilotne letelice *Matrice 300 RTK*, opremljene hibridnom kamerom *DJI Zenmuse H20t*, koja je omogućila visoku preciznost i kvalitet snimaka. Ovaj pristup omogućava efikasno prikupljanje podataka iz vazduha, što je posebno korisno za pristup teško dostupnim mestima i detaljno mapiranje.

Nakon prikupljanja podataka, rezultati su obrađivani u okruženju *DJI Thermal Tools Analysis 3*, gde je izvršena analiza termalnih svojstava terena. Ovaj korak je od suštinske važnosti za identifikaciju potencijalnih problema u infrastrukturi, kao što su curenja ili oštećenja na cevima, što može pomoći u sprečavanju većih kvarova i optimizaciji održavanja.

Dalje, proces analize nastavio se korišćenjem PIX4D sistema, kojim su izrađeni ortofoto snimci i 2D prikazi terena. Ovi podaci su pružili vizuelne informacije o stanju mreže, omogućavajući jasniji uvid u eventualne probleme. Na kraju, svi rezultati su isporučeni u *Google Earth Pro* okruženje, što omogućava dodatnu analizu i vizualizaciju podataka, čineći ih dostupnim za dalje istraživanje i planiranje.

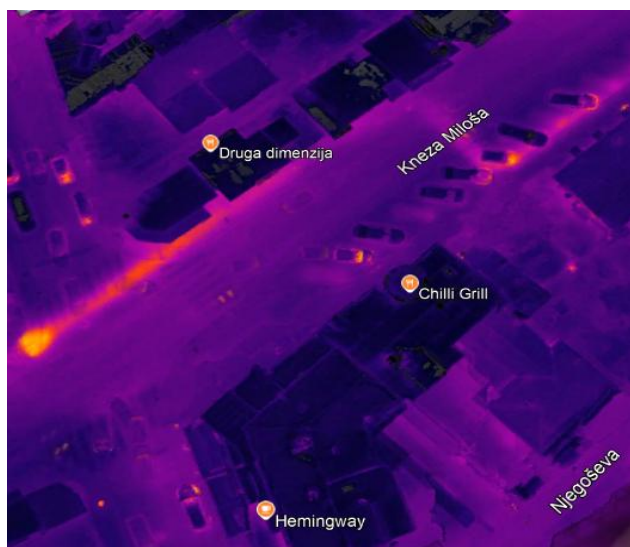


Slika 1 Prikaz mapa urbanog područja grada Kragujevca

2 PROCES TERMALNOG MAPIRANJA

Postupak termalnog mapiranja, obuhvata nekoliko ključnih koraka koji su od suštinskog značaja za njegovu efikasnost. Prvi korak je definisanje područja koje će se snimati, kao i identifikacija potencijalnih problema ili mesta od interesa. Ovaj korak uključuje i analizu prethodnih podataka, kao i konsultacije sa stručnjacima kako bi se odredile oblasti sa najvećim rizicima ili potrebama za inspekcijom. U ovom koraku takođe odabiraju se odgovarajući uređaji i oprema, uključujući termalne kamere i analitički softver za obradu podataka. Prikupljanje podataka obuhvata korišćenje pomenutih kamera koje generišu termalne slike objekata, i prostora, detektujući termalno zračenje koje isti emituju.

Nakon obavljenog snimanja, slike se obrađuju u analitičkom softveru, što omogućava generisanje termalnih mapa i analizu temperaturnih anomalija. Ove mape služe kao vizuelni prikaz temperaturnih „obrazaca“, što pomaže u brzem prepoznavanju problema. Analiza rezultata je ključna za identifikaciju temperaturnih anomalija i vrućih tačaka; rezultati se vizualizuju kako bi se olakšalo donošenje odluka. Na kraju, na osnovu dobijenih rezultata, implementiraju se potrebne mere za rešavanje identifikovanih problema, optimizaciju efikasnosti [6].



Slika 2 Termalni prikaz dela toplovodne infrastrukture

2.1 Alati analize

DJI Matrice 300 RTK je napredan industrijski dron, dizajniran za složene zadatke u oblastima poput inspekcije,

mapiranja i javne bezbednosti. Ovaj dron ističe se svojom robusnošću, izdržljivošću i mogućnošću letenja u teškim vremenskim uslovima, sa maksimalnim vremenom leta do 55 minuta, što omogućava dugotrajne misije. Posebna karakteristika Matrice 300 RTK modela je ugrađeni RTK (Real-Time Kinematic) sistem koji obezbeđuje centimetarsku preciznost pozicioniranja, što je ključno za zadatke koji zahtevaju izuzetnu tačnost, kao što su geodetsko mapiranje i fotogrametrija. RTK tehnologija omogućava dronu da prilagođava svoje pozicioniranje u realnom vremenu, korigujući GPS podatke kako bi minimizovala greške u poziciji, što rezultira tačnijim i stabilnijim podacima. Pored toga, RTK je značajan za operacije u blizini prepreka i u urbanim sredinama, gde su tradicionalni GPS signali često narušeni [6].

DJI Zenmuse H20t je hibridni sistem koji je se pokazao kao efikasan za upotrebu u pametnim gradovima. Opremljen RGB kamerom od 20 megapiksela i termalnom kamerom od 12 megapiksela, ovaj sistem omogućava precizno snimanje i analizu termalne energije. H20t kamera integriše četiri senzora – termalni, RGB, laser za daljinsko merenje (LiDAR), i optički zum – što omogućava istovremeno prikupljanje termalnih i vizuelnih podataka. Termalni senzor kamere detektuje i najmanje promene u temperaturi, što je ključno za identifikaciju toplotnih gubitaka i potencijalnih curenja u toplovodima. Ova vrsta podataka pomaže tehničkim timovima da brzo lociraju problematične tačke, čak i kada su cevi duboko pod zemljom ili pokrivene vegetacijom [7, 8].

PIX4D softver predstavlja napredno okruženje za fotogrametrijsku analizu, obradu i vizualizaciju podataka prikupljenih pomoću dronova i drugih uređaja. Njegove opšte karakteristike uključuju visok nivo preciznosti, prilagodljivost za različite industrije i mogućnost automatizacije, što omogućava brzu obradu velikih setova podataka. PIX4D može generisati 2D ortofoto snimke, 3D modele, kao i digitalne površinske i terenske modele, pružajući korisnicima sveobuhvatne prikaze za različite primene. Jedna od ključnih prednosti je mogućnost georeferenciranja uz pomoć kontrolnih tačaka (GCPs), čime se postiže centimetarska tačnost, što je posebno važno u geodeziji i građevinarstvu. Takođe, PIX4D omogućava korisnicima jednostavnu integraciju sa GIS i CAD alatima, čime se olakšava upotreba podataka u različitim okruženjima i sektorima. Prednosti uključuju efikasnost, jer korisnicima štedi vreme i resurse kroz automatizovanu obradu, kao i podršku za različite vrste kamera, uključujući termalne [9, 10].

3. METODOLOGIJA

Postupak letenja i snimanja toplovodnih instalacija dronom DJI Matrice 300 RTK sa kamerom H20t obuhvatao je nekoliko ključnih koraka za precizno prikupljanje podataka. Prvo, je definisana ruta leta koristeći softver za planiranje misije. Ova priprema uključivala je postavljanje tačaka interesovanja (POI) i određivanje visine leta, brzine i preklapanja slika, kako bi se osiguralo potpuno pokrivanje toplovodnog sistema. Nakon što je plan leta bio finalizovan, letilica je bio postavljen na početnu poziciju, a tim je proverio sve komponente – uključujući status baterije, funkcionalnost RTK sistema i stabilnost GPS signala – da bi se obezbedila bezbednost i preciznost tokom misije. Tokom leta, termalna kamera H20t beležila je temperature površine tla, dok je RGB kamera prikupljala vizuelne podatke za dodatnu referencu. Senzor termalne kamere detektovao je promene u temperaturi, što je omogućilo identifikaciju toplotnih

anomalija koje bi mogle ukazivati na curenje ili druge probleme u toplovodnim sistemima.

RTK sistem bespilotne letilice obezbedio je visok nivo preciznosti u pozicioniranju, čak i u urbanim oblastima sa slabijim GPS signalom. Tokom leta, prikupljeni podaci su automatski bili skladišteni na SD karticu u kameri, a „uživo“, su praćene termalne slike preko ekrana kontrolera, identifikujući oblasti od posebnog interesa u realnom vremenu. Na kraju misije, letilica je sletela na definisanu lokaciju je a prikupljeni podaci su bili prebačeni na računar za dalju analizu i izradu detaljnog izveštaja o stanju toplovodnog sistema.

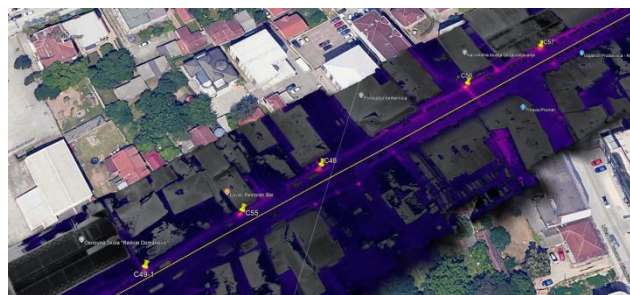
U narednom koraku, termalne slike su bile uvezene u *DJI Thermal Analysis Tool*, gde su prikazane u visokoj rezoluciji, a svaki piksel je bio povezan sa informacijom o temperaturi. Korišćenje su različite temperaturne palete kako bi vizualizovali razlike u temperaturi na jasniji način, ističući toplotne izvore i oblasti sa povećanim gubicima.

Zatim su korišćeni alati za tačno merenje temperature u odabranim tačkama slike ili duž linija koje su obuhvatale određene segmente toplovoda. Analiza ovih merenja omogućila je identifikaciju tačaka sa neuobičajenim temperaturama koje su mogle ukazivati na potencijalne kvarove. Takođe, *DJI Thermal Analysis Tool* pružio je mogućnost primene izotermnih filtera, čime su određeni temperaturni opsezi vizuelno istaknuti, omogućavajući timu da brzo identifikuje oblasti koje zahtevaju dodatnu pažnju.

Nakon identifikacije problematičnih tačaka, izveštaji su generisani direktno iz softvera, uključujući slike sa temperaturnim oznakama i podatke o temperaturama za svaku označenu oblast. Ovi izveštaji su kasnije korišćeni za dalju procenu stanja toplovodnog sistema i planiranje održavanja. *DJI Thermal Analysis Tool* je značajno pojednostavio analizu, omogućivši timu preciznu obradu podataka bez potrebe za dodatnim alatima ili softverom.

U završnoj fazi pristupilo se izradi termalnog i običnog ortofoto prikaza u *PIX4D* programu zahtevala je obradu podataka snimljenih bespilotnom letilicom sa RGB i termalnim kamerama. Postupak je započet unosom svih slika u *PIX4D* i definisanjem parametara projekta, pri čemu su slike automatski georeferencirane pomoću RTK podataka s letilice za maksimalnu preciznost.

Praćenje tačnosti RTK (Real-Time Kinematic) sistema predstavljalo je ključni aspekt za obezbeđivanje visoke preciznosti u geodetskim merenjima i aplikacijama kao što su dronovi i GPS uređaji. Osnovni faktor koji je uticao na tačnost RTK sistema bio je kvalitet signala, koji je zavisio od broja dostupnih GPS satelita. Sve vreme snimanja, letilica je bila povezana na 12 satelita. Takođe, kvalitet veze između mobilnog i baznog RTK prijemnika igrao je značajnu ulogu; bio je obezbeđen jak signal uz minimalne smetnje



Slika 3 Prikaz integrisane termalne mape u Google earth Pro okruženju

Nakon unosa podataka, softver je pokrenuo korake obrade, Initial Processing za orijentaciju slika i određivanje tačaka, zatim Point Cloud and Mesh za generisanje oblaka tačaka i 3D modela, i na kraju DSM, Orthomosaic and Index za kreiranje ortofoto prikaza. Prvi korak generisao je 2D ortofoto mapu iz RGB slika, dok je za termalni prikaz softver koristio podatke termalne kamere, omogućavajući upoređivanje vizuelnog i termalnog stanja površine.

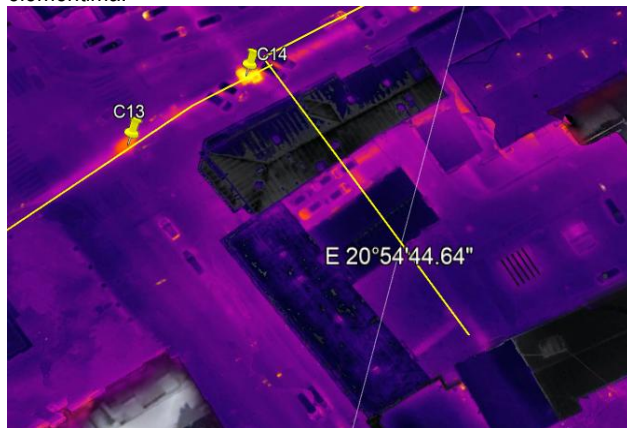
Integracija *PIX4D* ortofoto mozaika u Google Earth Pro predstavljala je koristan postupak za vizualizaciju i analizu geoinformacija. Prvo je u *PIX4D*-u završena obrada podataka kako bi generisao ortofoto mozaik, a zatim je georeferencirana TIFF datoteka izvežena. Nakon toga, u Google Earth Pro, aktivirana je opcija „Add“ i izabran „Image Overlay“ kako bi učitao ortofoto. Postavljen je naziv sloja i izabrana datoteka, a zatim je pomoću alata za pomeranje i prilagođavanje veličine postavljena je slika na odgovarajuću lokaciju na karti. Važno je bilo da se proverí da li je ortofoto pravilno georeferenciran i da li je usklađuje s drugim slojevima u Google Earth-u. Kada su postavke završene, sloj se mogao sačuvati i deliti kao KML ili KMZ datoteka, čime je omogućeno laka razmena informacija s drugim korisnicima. Ovaj proces ne samo da je poboljšao analizu prostornih podataka, već je i olakšao donošenje informisanih odluka i razumevanje složenih urbanih i prirodnih okruženja.

4. ANALIZA REZULTATA

Termalni sloj importovan u Google Earth Pro predstavlja vizuelizaciju inteziteta termalnog zračenja unutar toplovodne mreže, omogućavajući efikasno praćenje stanja podzemne infrastrukture. Ova vizualizacija je pomogla operaterima da brzo identifikuju potencijalne probleme, što je bio ključno za dalje korake analize.

Na slikama su označene kritičke tačke, poput C13, C14 i drugih, koje označavaju mesta povećanog inteziteta termalnog zračenja, u bitnim delovima sistema. Te tačke su posebno analizirane u *DJI Thermal Analysis Tool* okruženju, sa više aspekata.

Na taj način, integracija termalnog sloja u geoinformacione alate kao što je Google Earth Pro omogućava unapređenje nadzora i održavanja podzemne infrastrukture, doprinosi održivosti i smanjuje operativne troškove i predstavlja dobru osnovu za dalju kontrolu mreže putem integracije sa IOT elementima.



Slika 4 Termalni prikaz mape sa izdvojenim tačkama od posebnog interesa analize C13, C14

Ljubičaste i žute nijanse na termalnom sloju prikazuju temperaturne razlike; ljubičasta označava hladnija područja,

dok žuta predstavlja toplije tačke koje ukazuju na potencijalne izvore gubitaka energije ili curenja toplote u toplovodnom sistemu. Analizom ovog sloja u *DJI Thermal Analysis Tool* okruženju i analizom *Google earth pro* mape, identifikovane su kritične tačke u mreži. Korišćenje ovakvog sloja u okruženju kao što je *Google Earth Pro*, omogućava jednostavnije praćenje i analizu podataka u kontekstu stvarnog geografskog okruženja, čime se poboljšava celokupno upravljanje toplovodnim sistemom.

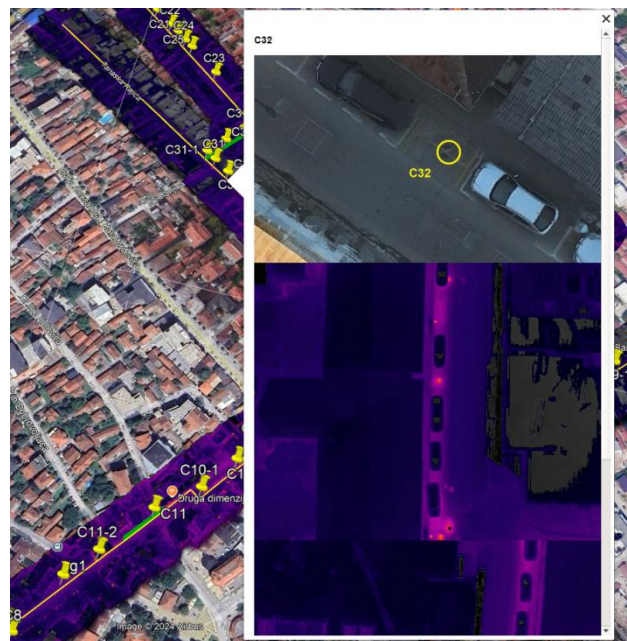


Figure 5 Google earth pro prikaz sloja sa naznačenim kritičnim tačkama analize

Kritične tačke detektovane tokom snimanja, „hot spot“, predstavljaju potencijalnu opasnost, jer mogu povećati rizik od korozije ili drugih oštećenja cevovoda. Takođe, modeliranjem raspodele toplote možemo odrediti optimalnu debljinu izolacije za cevovod, što može pomoći u smanjenju gubitaka toplote i poboljšanju efikasnosti cevovoda. Predikcijom životnog veka cevovoda možemo identifikovati delove koji će verovatno zahtevati popravke ili zamenu pre nego što drug. Ovaj pristup može pomoći u planiranju održavanja i popravki cevovoda, što može minimizovati prekid usluga i osigurati da cevovod funkcioniše sigurno i efikasno. Pored brojnih prednosti ovog pristupa, modeliranje raspodele toplote na podzemnom toplovodu, takođe može pomoći da se razume uticaj različitih faktora na raspodelu toplote, kao što su vrsta izolacije, ambijentalna temperatura i protok fluida unutar cevovoda. Ovo razumevanje se može iskoristiti za unapređenje dizajna i operacija podzemnih cevovoda, čineći ih sigurnijim i efikasnijim.



Slika 6 Google earth pro prikaz dva sloja naznačenim rutama analize



Slika 7 Prikaz funkcionalnosti opcije za dodatni opis lokacije od interesa.

Georeferenciranje toplovodne infrastrukture igra ključnu ulogu u efikasnom upravljanju urbanim sistemima. Omogućava preciznu lokaciju cevovoda i drugih komponenti, što je od suštinskog značaja za analizu temperaturnih obrazaca i identifikaciju curenja. Ova tehnologija takođe poboljšava planiranje novih instalacija i optimizaciju postojećih mreža, omogućavajući inženjerima da donesu informisane odluke o rasporedu i materijalima. U slučaju kvarova, geo-referenciranje omogućava brzo reagovanje timova za održavanje, čime se smanjuje vreme zastoja. Integracija sa geoinformacionim sistemima (GIS) olakšava vizuelizaciju složenih podataka i analizu interakcija između različitih infrastrukture.

Osim toga, georeferenciranje pomaže u smanjenju rizika od oštećenja i curenja kroz praćenje promena tokom vremena, što je ključno za očuvanje životne sredine. Povezivanje sa drugim sistemima, kao što su vodovod i kanalizacija, unapređuje celokupno upravljanje infrastrukturom, dok povećava transparentnost prema građanima i donosiocima odluka. U savremenim pametnim gradovima, georeferenciranje je od suštinskog značaja za održivost i efikasnost urbanih sistema.



Slika 8 Georeferencirani „streetview“, prikaz lokacije od interesa

Georeferenciranje podzemne toplovodne infrastrukture ima izuzetno važnu ulogu iz više razloga. Prvenstveno, omogućava tačno lociranje toplovodnih cevi i drugih infrastrukturnih elemenata na kartama, što olakšava njihovu identifikaciju i

upravljanje, naročito prilikom planiranja održavanja i intervencija u slučaju problema. Pored toga, georeferencirani podaci unapređuju upravljanje informacijama, jer omogućavaju analizu stanja infrastrukture u odnosu na različite faktore, poput korišćenja zemljišta i urbanih naselja. Takođe, olakšavaju efikasno praćenje i inspekciju, što je od suštinskog značaja za održavanje sistema i sprečavanje potencijalnih oštećenja.

S obzirom na napredak u tehnologiji, postoji i mogućnost upravljanja ovom infrastrukturom putem *Internet of things* (IoT). Integracija IoT senzora može omogućiti praćenje temperatura u, pritisaka i drugih relevantnih parametara u realnom vremenu, što dodatno poboljšava efikasnost upravljanja. Ovi podaci pomažu donosiocima odluka da bolje razumeju trenutno stanje i planiraju buduće projekte, što vodi ka efikasnijem upravljanju resursima i unapređenju usluga. Na kraju, georeferenciranje omogućava identifikaciju područja koja su pod većim rizikom od oštećenja ili gubitka toplote, što omogućava proaktivne mere za očuvanje i povećanje efikasnosti sistema. U celini, geo-referenciranje, u kombinaciji s IoT tehnologijama, značajno poboljšava upravljanje, inspekciju i planiranje podzemne toplovodne infrastrukture, čime doprinosi njenoj održivosti i efikasnosti.

5 ZAKLJUČAK

Učestalost oštećenja podzemnih toplovoda varira u zavisnosti od niza faktora, uključujući starost cevi, radnog režima, materijala. Monitoring integriteta termalnog zračenja na podzemnim toplovodima sistema predstavlja izazovan problem zbog niza faktora. Integritet termalnog zračenja koja se emituje iz podzemnih toplinskih sistema se smanjuje prolaskom kroz okolno, tlo što otežava detekciju. Drugi problem predstavlja i kompleksnost strukture podzemnih toplinskih sistema.

Da bi se procenio intenzitet termalnog zračenja na podzemnoj toplovodnoj infrastrukturi u određenom scenariju, pored već pomenutih problema, potrebno je razmotriti radnu temperaturu toplovoda, osobine tla, okruženje i prisustvo obližnjih izvora toplote.

Precizna procena ovih uslova je od suštinskog značaja za identifikaciju i upravljanje energetskim resursima, posebno u svetlu aktuelne energetske situacije. Izvori toplote, bilo da su prirodni ili veštački, značajno utiču na merenje termalne radijacije. Razumevanje njihovog uticaja, zajedno s analizom površinskih uslova, omogućava razvoj strategija za optimizaciju termalne efikasnosti i smanjenje gubitaka. Ova sveobuhvatna analiza omogućava bolje planiranje i upravljanje sistemima, što doprinosi održivosti i efikasnosti u urbanim sredinama.

Doprinos termovizijskih ispitivanja u razvoju pametnih gradova ogleda se u sposobnosti identifikacije i kreiranje mape termalnih anomalija na podzemnom toplovodnom sistemu. Precizne mape toplovoda, pored karakterizacije stanja, obezbeđuju i njihovo georeferenciranje. Ovakvo prikupljanje velikih količina podataka na jednom mestu i upravljanje njima u realnom vremenu, jeste jedan od prioriteta za razvoj gradova i preduslov za sticanje prefiksa „smart“.

Literatura

- [1] Kaja Czarnecka, Magdalena Kuchcik, Jarosław Baranowska. *Spatial development indicators as a tool to determine thermal conditions in an urban environment*, Sustainable Cities and Society, Volume 100, January 2024, 105014
- [2] Alcoforado, M. J., Andrade, H., Lopes, A., & Vasconcelos, J. (2009). *Application of climatic guidelines to urban planning. The example of Lisbon (Portugal)*. Landscape and Urban

Planning, 90, 56–65. <https://doi.org/10.1016/2Fj.landurbplan.2008.10.006>

- [3] Rikke Gade; Thomas B. Moeslund; Søren Zebitz Nielsen; Hans Skov-Petersen; Hans Jørgen Andersen; Kent Basselbjerg; Hans Thorhauge Dam; Ole B. Jensen; Anders Jørgensen; Harry Lahrmann; Tanja Kidholm Osmann Madsen; Esben Skouboe Bala; Bo Ø. Povey, *Thermal imaging systems for real-time applications in smart cities*, Int. J. Computer Applications in Technology, Vol. 53, No. 4, 2016, DOI: 10.1504/IJCAT.2016.07679
- [4] At Nay Pyi Taw, *UAV-based gas pipeline leak detection* Myanmar, 15th European Radar Conference, EuRAD 2018, Article [5] Bretschneider TR, Shetti K (2015). Asian Conference on Remote Sensing, 27–31, October 2014. <https://www.researchgate.net/publication/275035983>
- [5] Zhang, Junjie, et al. "Thermal infrared inspection of roof insulation using unmanned aerial vehicles," The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 40.1 (2015): 381.
- [6] Szymon Czyz, Karol Szuniewicz, Kamil Kowalczyk, Andrzej Dumalski, Michał Ogródniczak and Łukasz Zieleniewicz, *Assessment of Accuracy in Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Pose Estimation with the REAL-Time Kinematic (RTK) Method on the Example of DJI Matrice 300 RTK*, February 2023 *Sensors*23(4):2092
- [7] Ryan M. Turner, Mary M. MacLaughlin, Stephen R. Iverson *Identifying and mapping potentially adverse discontinuities in underground excavations using thermal and multispectral UAV imagery*, *Engineering Geology* Volume266, 5 March 2020, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105470>
- [8] D. Turton, "Aerial thermography—Applications in mining," AAMHatch Pty Limited, Hawthorn, Australia, Tech. Rep., 2008.
- [9] K. McManus, "Airborne thermography and ground geophysical investigation for detecting shallow ground disturbance under vegetation," Ph.D.dissertation, Durham University, Durham, U.K., 2004.
- [10] D. Allinson, "Evaluation of aerial thermography to discriminate loft insulation in residential housing," Ph.D. dissertation, University of Nottingham, Nottingham, U.K., 2007

Contact information:

Dejan BLAGOJEVIĆ 1, prof.struk.studija

1970

Akademija tehničko vaspitačkih strukovnih studija Niš

Beogradska 18 Niš

F-Mail: dejan.blagojevic@akademijanis.edu.rs

<https://orcid.org/0000-0002-9524-XXXX>

Milan PROTIĆ 2, predava; struk.studija

1981

Akademija tehničko vaspitačkih strukovnih studija Niš

Beogradska 18 Niš

E-mail: milan.protic@akadmeijanis.edu.rs

Aleksandra BORIČIĆ 3, prof.struk.studija

1967

Akademija tehničko vaspitačkih strukovnih studija Niš

Beogradska 18 Niš

E-Mail: aleksandra.boricic@akademijanis.edu.rs