



VISOKA ŠOLA ZA TRAJNOSTNI RAZVOJ

VISOKA ŠOLA ZA TRAJNOSTNI RAZVOJ

Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija  
Program: Varstvo okolja

**SISTEMI ZA SPREMLJANJE IN  
UGOTAVLJANJE PUŠČANJA VODE NA  
VROČEVODNEM OMREŽJU MESTA  
LJUBLJANA**

Mentor: mag. Muharem Husić, univ. dipl. inž. kem. tehn.  
Somentor: Igor Turk, univ. dipl. inž. str.  
Lektor: Ivan Cepanec, prof. slov. in zgo.

Kandidat: Anže Seifert

Ljubljana, september 2023

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Muharemu Husiću za neprecenljivo pomoč pri izdelavi mojega diplomskega dela. Njegova strokovnost, usmerjenost k učenju in predanost so ključno prispevali k uspešnemu zaključku mojega študija. Hvaležen sem mu tudi za njegovo dostopnost in pripravljenost pomagati, saj mi je bil vedno na voljo za vprašanja in dodatno razlago.

Hvala somentorju g. Igorju Turku iz podjetja JP Energetika Ljubljana, d. o. o., za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela. G. Turk je bil vedno pripravljen deliti svoje bogato strokovno znanje in izkušnje. Njegovo vodenje in smernice so mi pomagali usmeriti mojo raziskavo v pravo smer in osvetliti ključne vidike.

Zahvaljujem se tudi lektorju Ivanu Cepancu, ki je moje diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledal ter poskrbel za izboljšanje kakovosti besedila. Z njegovo pomočjo sem se izognil nepotrebnim napakam ter zagotovil, da je moje sporočilo jasno in razumljivo.

Posebna zahvala pa gre moji družini, predvsem ženi, ki je v času mojega študija skrbela, da sta doma vladala red in harmonija. Brez njene nesebične podpore in razumevanja bi bilo težko usklajevati študijske obveznosti, družinske odgovornosti in službene zahteve. Brez nje ne bi bil sposoben doseči vsega, kar sem dosegel v tem obdobju.

## IZJAVA

Študent Anže Seifert izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Muharema Husića, univ. dipl. inž. kem. tehn.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne \_\_\_\_\_

Podpis: \_\_\_\_\_

## **POVZETEK**

Diplomsko delo obravnava pomembno temo izboljšanja sistemov za ugotavljanje in spremljanje puščanja na vročevodnem omrežju. Preučuje različne tehnične naprave, kot so termovizijske kamere, geofoni in korelatorji, ter njihovo vlogo pri zaznavanju in lokalizaciji puščanj. Ugotovljeno je, da nadgradnja sistema z uporabo sodobnejše tehnologije omogoča zanesljivejšo identifikacijo in lokalizacijo puščanj, kar prispeva k zmanjšanju puščanja omrežne vode in posledično potrebe po obsežnih gradbenih posegih na omrežju. Poleg tega bi takšna nadgradnja pripomogla k zmanjšanju stroškov vzdrževanja ter izboljšanju zanesljivosti in učinkovitosti sistema. Sistem za odkrivanje puščanja bi tako postal ključen dejavnik pri zmanjšanju obremenjevanja okolja in izboljšanju trajnosti vročevodnega omrežja v Ljubljani.

## **KLJUČNE BESEDE**

- vročevodno omrežje
- ugotavljanje puščanja
- termovizija
- geofon
- varovanje okolja

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the important topic of improving systems for identifying and monitoring leaks in the district heating network. It examines various technical devices such as thermal imaging cameras, geophones and correlators and their role in leak detection and localization. It is established that upgrading the system using more modern technology enables more reliable identification and localization of leaks, which contributes to the reduction of network water leaks and, consequently, the need for large-scale construction interventions on the network. In addition, such an upgrade would help reduce maintenance costs and improve system reliability and efficiency. The leak detection system would thus become a key factor in reducing the burden on the environment and improving the sustainability of the district heating network in Ljubljana.

## **KEYWORDS**

- district heating network
- leak detection
- thermal vision
- geophone
- environment protection

## KAZALO

1	UVOD .....	1
1.1	Predstavitev problema .....	1
1.2	Cilji naloge .....	1
1.3	Predpostavke in omejitve .....	2
1.4	Metode dela .....	2
2	EVROPSKA IN SLOVENSKA ZAKONODAJA NA OBRAVNAVANEM PODROČJU .....	3
2.1	EVropska zakonodaja .....	3
2.2	Slovenska zakonodaja .....	3
2.2.1	Zakon o varstvu okolja (ZVO-2) .....	3
2.2.2	Energetski zakon (EZ-1) .....	4
2.2.3	Zakon o oskrbi s toploto iz distribucijskih sistemov (ZOTDS) .....	4
2.2.4	Sistemska obratovalna navodila (SON) .....	4
3	PREDSTAVITEV PODJETJA ENERGETIKA LJUBLJANA .....	5
3.1	Oskrba s plinom .....	5
3.2	Oskrba s toploto .....	6
4	VROČEVODNO OMREŽJE IN SISTEMI ZA SPREMLJANJE IN UGOTAVLJANJE PUŠČANJA NA OBMOČJU LJUBLJANE .....	7
4.1	VRočevodno omrežje .....	7
4.2	Sistemi za spremljanje in ugotavljanje puščanja .....	8
4.2.1	Tlačni preizkusi po območjih .....	9
4.2.2	Termografsko aerosnemanje .....	12
4.3	Določanje mikrolokacij puščanja .....	15
4.3.1	Ročna termovizijska kamera .....	15
4.3.2	Korelator .....	16
4.3.3	Geofon .....	17
4.3.4	Ultrazvočni merilec pretoka .....	18
4.3.5	Merjenje vlažnosti v predizoliranih vročevodih .....	19
4.3.6	Izvedba revizijskih odprtin .....	20
5	PRIMER ISKANJA IN LOCIRANJA PUŠČANJA .....	21
5.1	Analiza letalskih termogramov .....	21
5.2	IR-kontrola .....	22
5.3	Tlačni preizkus .....	23
5.4	Akustično iskanje okvare z geofonom .....	25
5.5	Odkop revizijske odprtine .....	25
6	ZAKLUČEK .....	27
7	LITERATURA IN VIRI .....	29
	PRILOGA .....	30

## KAZALO SLIK

Slika 1: Distribucijsko vročevodno omrežje v Ljubljani .....	9
Slika 2: Zapiralna območja .....	10
Slika 3: Primer zapisnika o tlačnem preizkusu – Ilirska - Trubarjeva.....	11
Slika 4: Primer termografskega posnetka – Poljanski nasip.....	13
Slika 5: Odkrivanje puščanja .....	14
Slika 6: Primer posnetka z IR kamero – Poljanski nasip .....	14
Slika 7: Termovizijska kamera.....	15
Slika 8: Korelator .....	16
Slika 9: Iskanje puščanja s korelatorjem.....	17
Slika 10: Geofon.....	17
Slika 11: Akustično iskanje okvar z geofonom .....	18
Slika 12: Ultrazvočni merilec pretoka.....	18
Slika 13: Predizolirana cev vročevodnega omrežja.....	19
Slika 14: Merjenje upornosti zanke.....	20
Slika 15: Termogram – Trg mladinskih delovnih brigad .....	21
Slika 16: Termogram – Tržaška cesta – Trg MDB 7 .....	22
Slika 17: Potek vročevodne trase T503 .....	23
Slika 18: Zapisnik o tlačnem preizkusu – Tržaška - Tobačna .....	24
Slika 19: Potek gradbenih del in zamenjava poškodovanega dela cevi .....	26

## POJMOVNIK

aerosnemanje	snemanje iz zraka (z letalom)
kolektor	osrednji kanal pod nivojem tal za glavne komunalne vode (voda, kanalizacija, vročevod, elektrika ...)
termografija	ugotavljanje površinske temperature teles z IR-kamero na osnovi energije IR-svetlobe
termogram	barvni prikaz porazdelitve temperature obravnavanega objekta

## KRATICE IN AKRONIMI

ENLJ:	JP Energetika Ljubljana
EU:	Evropska unija
EZ-1:	Energetski zakon
GIS:	geografski informacijski sistem
GWh:	gigavatna ura
IR:	infrardeča
JPE:	Javno podjetje Energetika
MW:	megavat
OVE:	obnovljivi viri energije
PEHD:	polietilen z visoko gostoto (high-density polyethylene)
SAR:	satelitsko radarsko snemanje
SDT:	Služba za distribucijo toplote
SON:	Sistemska obratovalna navodila
SOT:	Sektor za oskrbo s toploto
TDR:	časovni reflektometer (time domain reflectometer)
TE-TOL:	Termoelektrarna toplarna Ljubljana
TOŠ:	Toplarna Šiška
TPG:	toplogredni plini
URE:	učinkovita raba energije
ZOTDS:	Zakon o oskrbi s toploto iz distribucijskih sistemov
ZVO-2:	Zakon o varstvu okolja



# 1 UVOD

Poleg tega, da daljinsko ogrevanje v Ljubljani omogoča učinkovito ogrevanje domov in poslovnih prostorov, ima tudi številne druge pozitivne učinke. Ena izmed ključnih prednosti tega sistema je zmanjšanje individualnih emisij toplogrednih plinov, saj se energija proizvaja na centralnem mestu z večjo učinkovitostjo kot individualni viri ogrevanja. To prispeva k izboljšanju kakovosti zraka in zmanjšanju obremenitve okolja.

## 1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Osnova daljinskega ogrevanja v Ljubljani je vročevodni sistem. To je dvocevni sistem, v katerem je omrežna voda nosilec toplote. Zaradi velikosti samega omrežja pride zaradi različnih vzrokov do puščanja omrežne vode in s tem se zmanjšuje zanesljivost dobave toplotne energije, hkrati pa ima puščanje omrežne vode tudi negativen vpliv na okolje.

Puščanje na vročevodnem omrežju se v Energetiki Ljubljana poskuša v največji možni meri preprečiti najprej z različnimi sistemi zaznavanja anomalij, nato pa se ga s pristopom k sanaciji tudi odpravi.

## 1.2 CILJI NALOGE

Obraavnani problem diplomskega dela je razvoj sistemov za ugotavljanje puščanja na vročevodnem omrežju, sanacija ugotovljenega puščanja, zagotavljanje zanesljive oskrbe ter zmanjševanje porabe in izgub toplote.

Pregledali bomo veljavno zakonodajo in druge predpise, ki se uporabljajo na tem področju. Osnovni cilj diplomskega dela je proučiti obstoječe metode in tehnologije za zgodnje zaznavanje in lociranje puščanj na vročevodnem omrežju ter razviti učinkovitejši sistem za njihovo preprečevanje in obvladovanje. S tem se preprečuje nepotreben izpust tople vode, kar bi prispevalo k zmanjšanju porabe fosilnih goriv, ki se v Termoelektrarni toplarni Ljubljana (TE-TOL) uporabljajo za ogrevanje omrežne vode, kot tudi vode za namen dopolnjevanja sistema. To bi prispevalo tudi k zmanjšanju emisij ogljikovega dioksida (CO<sub>2</sub>) in drugih toplogrednih plinov (TPG).

Za doseg te ciljev bo potrebno tesno sodelovanje s strokovnjaki s področja hidravlike, termotehnike, merilne tehnike ter upravljanja vročevodnih omrežij. Prav tako bomo izvedli analizo obstoječih sistemov in tehnologij na trgu ter predlagali ustrezne izboljšave in inovacije za bolj učinkovito upravljanje vročevodnega omrežja in zmanjšanje puščanj.

### **1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE**

Omejitev pri obravnavi problema sistema za ugotavljanje puščanja na vročevodnem omrežju je omejen dostop do vseh podatkov o puščanjih. Ker vsi podatki JP Energetika Ljubljana (ENLJ) niso javni, bomo zaradi varnostnih in zaupnih razlogov uporabili le nekatere. To omejitev je treba upoštevati pri analizi puščanj in razvoju strategij za njihovo obvladovanje. Kljub temu bomo izkoristili razpoložljive interne vire in podatke, ki so na voljo, da bi pridobili dragocene informacije in podlage za raziskavo.

### **1.4 METODE DELA**

V diplomskem delu bomo uporabili deskriptivno metodo zbiranja podatkov. Iz strokovne literature bomo pridobili podatke, kot so okoljevarstvena zakonodaja, članki, izsledki raziskav, prav tako pa bomo podatke pridobili tudi iz primarnih in sekundarnih virov, kot so interne informacije in meritve ENLJ ter javno dostopni viri na spletu. Analitsko metodo bomo uporabili pri primerjavi in analizi zbranih podatkov, da bi odkrili vzroke puščanj, preučili njihove učinke ter predlagali ustrezne ukrepe za njihovo obvladovanje.

## 2 EVROPSKA IN SLOVENSKA ZAKONODAJA NA OBRAVNAVANEM PODROČJU

V naslednjih odstavkih bomo pregledali ključne vidike evropske in slovenske zakonodaje, ki se nanašajo na področje daljinskega ogrevanja. Slovenska zakonodaja mora slediti evropski zakonodaji s strogim upoštevanjem smernic, direktiv in standardov, ki jih določa Evropska unija (EU). Pomembno je, da se nacionalni zakoni in predpisi oblikujejo tako, da omogočajo enakovredno raven varstva okolja, energetske učinkovitosti ter spodbujanja trajnostne rasti, kot jo zahteva evropski okvir.

### 2.1 EVROPSKA ZAKONODAJA

Ker trajnost in energetske prihranke in s tem zmanjševanje emisij toplogrednih plinov dosegamo z energetske učinkovitostjo, sta eni od najpomembnejših evropskih direktiv, ki urejata vročevodna omrežja, Direktiva 2012/27/EU Evropskega parlamenta in Sveta o energetske učinkovitosti ter Direktiva (EU) 2018/2002 Evropskega parlamenta in Sveta o spremembi Direktive 2012/27/EU o energetske učinkovitosti

Prav tako zelo pomembna je tudi Uredba Evropskega parlamenta in Sveta o smernicah za vseevropsko energetske infrastrukturo (EU, 2022/869), ki zagotavlja delovanje notranjega energetskega trga, zanesljivost oskrbe in konkurenčne energetske trge v EU, spodbuja energijsko učinkovitost, ohranjanje energije ter razvoj novih in obnovljivih virov energije ter spodbuja povezovanje energetske omrežij. V zvezi s sistemi za ugotavljanje puščanja omrežne vode na vročevodnih sistemih je zelo pomemben 11. člen te uredbe, ki navaja, da bi bilo potrebno energetske infrastrukturo Unije »nadgraditi, da bi se preprečile tehnične okvare in povečala odpornost na takšne okvare«.

### 2.2 SLOVENSKA ZAKONODAJA

V Sloveniji področje daljinskega ogrevanja urejata Energetske zakon in Zakon o oskrbi s toploto iz distribucijskih sistemov, navodila za upravljanje in uporabo dotičnega distribucijskega sistema mesta Ljubljana pa so zapisana v Sistemskih obratovalnih navodilih. Nikakor pa ne moremo mimo Zakona o varstvu okolja, ki v slovensko zakonodajo prenaša pomembne evropske smernice v zvezi s preprečevanjem onesnaževanja okolja.

#### 2.2.1 Zakon o varstvu okolja (ZVO-2)

Na področje daljinskega ogrevanja močno vpliva Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 44/22). Opredeljuje številne okoljske zahteve in predpise, ki jih morajo upoštevati podjetja, ki se ukvarjajo z daljinskim ogrevanjem. Ena od ključnih točk, ki

jo obravnava ZVO-2, je omejevanje emisij toplogrednih plinov in drugih onesnaževal, ki nastajajo pri proizvodnji toplote za daljinsko ogrevanje. To je pomembno z vidika zmanjševanja vpliva na podnebne spremembe in ohranjanja čistega okolja.

### **2.2.2 Energetski zakon (EZ-1)**

Ta zakon (Ur. l. RS št. 60/19) določa načela energetske politike, pravila delovanja trga z energijo, oblike izvajanja gospodarskih javnih služb na področju energetike, ukrepe za doseganje zanesljive oskrbe z energijo, za povečanje energetske učinkovitosti in varčevanja z energijo ter večjo rabo obnovljivih virov energije (OVE), določa pogoje za obratovanje energetskih naprav, ureja pristojnosti, organizacijo in delovanje Agencije za energijo, ipd.

Na podlagi EZ-1 vrste in načine izvajanja vzdrževalnih del na omrežjih za distribucijo toplote ureja Uredba o vzdrževalnih delih v javno korist na področju energetike (Ur. l. RS št. 37/18).

### **2.2.3 Zakon o oskrbi s toploto iz distribucijskih sistemov (ZOTDS)**

Prav tako na podlagi EZ-1, Zakon o oskrbi s toploto iz distribucijskih sistemov (Ur. l. RS, št. 44/2022) opredeljuje temeljna načela energetske politike, pravila delovanja energetskega trga, različne načine in oblike izvajanja gospodarskih javnih služb na področju energetike, kot tudi usmeritve in ukrepe za doseg zanesljive oskrbe z energijo. Namen teh zakonodajnih aktov je spodbujanje večje energetske učinkovitosti, varčevanja z energijo ter povečanja uporabe obnovljivih virov energije. ZOTDS med drugim določa, da mora distributer izdati sistemska obratovalna navodila, ki urejajo obratovanje in način vodenja distribucijskega sistema.

### **2.2.4 Sistemska obratovalna navodila (SON)**

Sistemska obratovalna navodila (Uradni list RS, št. 85/2016) so akt, s katerim »se ureja obratovanje in način vodenja distribucijskega sistema toplote /.../, tehnični in drugi pogoji za varno obratovanje distribucijskega sistema, pogoji in način izvajanja priključitev na distribucijski sistem ter druga vprašanja v zvezi z zanesljivo in kvalitetno oskrbo s toploto«. Dopolnjuje in spreminja jih Akt o spremembah in dopolnitvah Sistemskih obratovalnih navodil za distribucijski sistem toplote za geografsko območje Mestne občine Ljubljana (Uradni list RS, št. 82/19). SON med tehničnimi pogoji vsebujejo tudi člen o sistemski kontroli distribucijskega omrežja. Ta določa, da je potrebno za namen odkrivanja puščanja omrežne vode redno enkrat letno izvajati preglede vseh vročevodnih in parovodnih jaškov, preglede zapornih armatur na distribucijskih vodih, preglede inštalacijskih kolektorjev, pregled nadzemno vodenih distribucijskih vodov in pregled celotnega distribucijskega sistema na osnovi termografije ali druge ustrezne metode.

### **3 PREDSTAVITEV                    PODJETJA                    ENERGETIKA LJUBLJANA**

Javno podjetje Energetika Ljubljana, d. o. o. (ENLJ), je v 100-odstotni lasti družbe Javni holding Ljubljana, d. o. o., in je vključena v skupino javnih podjetij, ki ga sestavljajo poleg Energetike Ljubljana še JP VOKA Snaga in JP Ljubljanski potniški promet. Vsa ta tri podjetja v mestu in njegovi okolici skrbijo za izvajanje gospodarskih javnih služb, ki prebivalcem zagotavljajo nekatere osnovne dobrine, kot so oskrba s pitno vodo, odvajanje odpadnih vod, zbiranje in odvoz komunalnih odpadkov ter mestni linijski prevoz potnikov, prav tako pa skrbijo tudi za izvajanje izbirnih gospodarskih javnih služb, kot so distribucija toplote in pare ter dobava zemeljskega plina. In s slednjimi se ukvarja ENLJ.

ENLJ ima sprejeto okoljevarstveno politiko, cilje ter programe za uspešno delovanje. S celovitim sistemskim pristopom družba trajnostno prilagaja proizvodnjo okoljskim zahtevam. Za doseg visokih okoljskih standardov so potrebna vlaganja v posodobitve obstoječih naprav ter dograditev naprav za zmanjšanje emisij, večjo varnost pri obvladovanju nesreč in učinkovitejšo rabo energije. ENLJ deluje v skladu s standardoma SIST EN ISO 14001:2015 in SIST EN ISO 9001:2015.

#### **3.1 OSKRBA S PLINOM**

ENLJ je torej razdeljena na dve področji: plinsko in vročevodno. Področje plina zagotavlja mestnim in primestnim občinam dobavo zemeljskega plina. Plinovodno omrežje je napajano iz magistralnega plinovodnega omrežja preko dveh glavnih merilno regulacijskih postaj na Poljanah in v Kozarjah. Nadaljnja oskrba posameznih mestnih in primestnih območij z zemeljskim plinom poteka preko 25 regulacijskih postaj, ki znižajo tlak plina na stopnjo, ki ustreza mestnemu plinovodnemu omrežju.

Po podatkih v Letnem poročilu 2022 skupna dolžina celotnega plinovodnega omrežja znaša 1.283 km, nanj je priključenih več kot 57.000 plinomerov, uporablja pa ga skoraj 44.000 odjemalcev. Skupna priključna moč vseh plinskih naprav znaša 1.709 MW.

Zemeljski plin se uporablja za naslednje namene: v gospodinjstvih za kuhanje, pripravo sanitarne tople vode, za ogrevanje in hlajenje stanovanj, poslovnih ter javnih stavb, v gospodarstvu za različne tehnološke postopke ter v prometu za pogon avtobusov mestnega potniškega prometa in drugih vozil, ki kot gorivo uporabljajo stisnjen zemeljski plin.

## 3.2 OSKRBA S TOPLOTO

Področje oskrbe s toploto v ENLJ zajema TE-TOL in Energetiko Ljubljana, ki skupaj predstavljata soodvisen, tehnološko enovit sistem proizvodnje in distribucije ogrevne toplote in tehnološke pare, ki Mestni občini Ljubljana zagotavlja zanesljivo, varno in učinkovito oskrbo z energijo. Sistem daljinskega ogrevanja v ožjem središču mesta zagotavlja okoli 80 % vse potrebne toplote za ogrevanje stavb, na celotnem območju mesta pa približno 43 odstotkov vse potrebne toplote.

Po podatkih v Letnem poročilu 2022 skupna dolžina celotnega vročevodnega omrežja znaša 275 km, v njem je približno 27.000 m<sup>3</sup> vode, iz njega pa se napaja 4.642 toplotnih postaj s skupno močjo skoraj 1.200 MW. Proizvodnja toplote in pare je bila v letu 2022 1.292,7 GWh.

Ekonomičnost delovanja celotnega vročevodnega in parovodnega omrežja se najbolje odraža v dobrem izkoriščanju primarnih goriv. Izkoristek goriv je povezan z vsemi drugimi dobrobitmi za človeka in okolje: nizko ceno toplote, manjšo potrebno proizvodnjo električne energije iz drugih, slabših proizvodnih virov, manj transporta goriv in pepela po cestah in železnici, z manj izpusti škodljivih snovi v ozračje in tudi manj izpusti toplogrednih plinov.

## 4 VROČEVODNO OMREŽJE IN SISTEMI ZA SPREMLJANJE IN UGOTAVLJANJE PUŠČANJA NA OBMOČJU LJUBLJANE

Sledeče poglavje vsebuje opis vročevodnega omrežja, njegov namen in vire napajanja, v drugem delu pa so predstavljene metode za ugotavljanje puščanja, ki jih ENLJ uporablja pri iskanju in lociranju puščanja. Vse te metode so med seboj različne in delujejo na različnih principih, vendar skupaj tvorijo sistem puščanja vode na vročevodnem omrežju mesta Ljubljane.

### 4.1 VROČEVODNO OMREŽJE

Vročevodno omrežje je sistem cevi in naprav, ki se uporabljajo za prenos toplote iz enega mesta na drugo. Glavni namen je distribucija toplote od vira, kot sta TE-TOL ali Toplarna Šiška (TOŠ), do različnih uporabnikov, kot so stanovanjske stavbe, poslovni objekti ali industrijske enote. Vroča voda ali para predstavlja učinkovit prenos toplote in zmanjševanje izgub.

Začetki vročevodnega omrežja v Ljubljani segajo v leto 1961, ko so staro mestno termoelektrarno na Slomškovi ulici preuredili v kotlarno, ki je nato prevzela začasno vlogo toplotnega proizvodnega vira. Prve porabnike toplote iz vročevodnega omrežja je pričela ogrevati že v kurilni sezoni 1961/1962 (Osnovna šola Toneta Čufarja in Radio Ljubljana). Tako je bil že pred dokončanjem gradnje glavnega energetskega objekta v Mostah omogočen začetek daljinskega ogrevanja.

Danes se vročevodno omrežje v Ljubljani napaja iz dveh virov:

- TE-TOL, ki se nahaja na območju Ljubljane in predstavlja enega od glavnih virov toplote za vročevodno omrežje. S pomočjo procesa zgorevanja fosilnih goriv, kot so premog in plin ter lesne biomase, se proizvaja toplota, ki se nato prenaša po ceveh do uporabnikov;
- vršna kotlovnica TOŠ, ki deluje kot rezervni vir toplote, ki se uporablja predvsem v obdobjih, ko je povpraševanje po toploti višje ali ko pride do kakršnih koli motenj pri delovanju (TE-TOL). TOŠ lahko deluje na različne načine, vključno z izgorevanjem različnih vrst goriv, kar omogoča prilagodljivost in zanesljivost v oskrbi s toploto za mesto Ljubljana ali celotno območje Ljubljane.

Vročevodno omrežje v Ljubljani je dvocevni sistem, po katerem se kot medij pretaka ogrewna voda. Cevi so jeklene in so bile v preteklosti položene v betonske kinete in izolirane s stekleno ali kameno volno, ovite s strešno lepenko ter v nekaterih primerih zaščitene z aluminijastim plaščem. Od leta 1980 pa se v zemljo polagajo le še

predizolirane cevi. To so prav tako jeklene cevi, ki pa so izolirane s poliuretansko izolacijo in vodoodpornim plastičnim ovojem.

Vročevodno omrežje daljinskega ogrevanja v Ljubljani je že sorazmerno staro, saj najstarejši deli že presegajo 60 let. S starostjo se zmanjšuje tudi njegova zanesljivost, povečujejo pa se nevarnosti okvare oziroma prepuščanja. Okvare oziroma prepuščanja na vročevodnem omrežju v zadnjih letih postajajo čedalje bolj pereč problem, kar potrjuje tudi dejstvo, da se iz leta v leto povečuje število opravljenih intervencijskih posegov za odpravo okvar.

Ker je velik del vročevodnega omrežja izveden pod zemljo, se okvare težko odkrijejo oziroma locirajo. Zato je bil v ENLJ opredeljen akcijski načrt odkrivanja puščanja, s katerim naj bi se z uporabo različnih metod v največji meri odkrila novonastala in mogoča mesta puščanj.

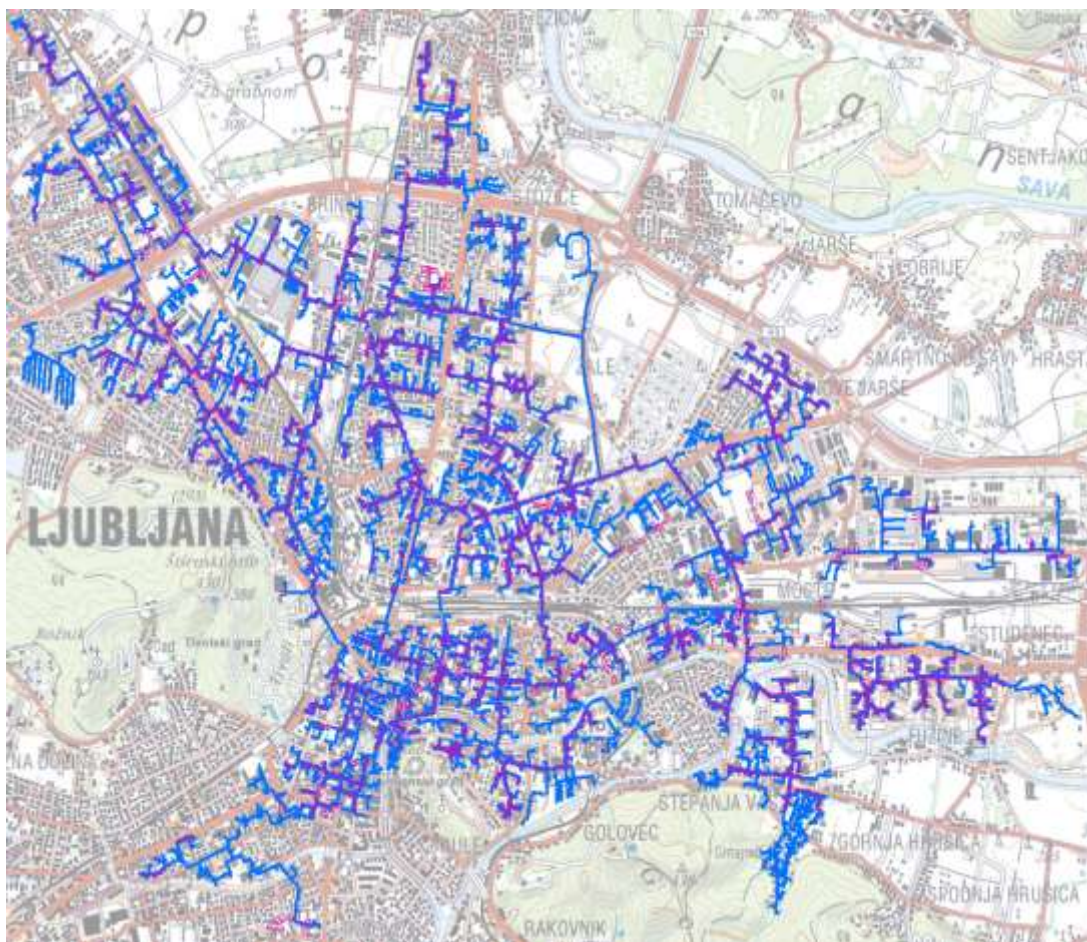
Tako sta se za odkrivanje puščanja v prakso uvedli metoda termografskega aerosnemanja in metoda preizkusov tesnosti po zapiralnih območjih, za določitev mikrolokacij puščanja pa se uporabljajo različne metode, kot so: presnemavanje omrežja z ročno termovizijsko kamero, uporaba korelatorja, geofona in prenosnega dvokanalnega ultrazvočnega merilnika pretoka, izvedba revizijskih odprtin, v primeru predizoliranih cevi pa kontrola prisotnosti vlage v izolaciji. Prav tako se vsako leto izvajajo redni letni pregledi jaškov in pregledi inštalacijskih kolektorjev.

Vse te metode skrbijo za nemoteno delovanje vročevodnega omrežja, varovanje okolja in nemoteno oskrbo odjemalcev

## **4.2 SISTEMI ZA SPREMLJANJE IN UGOTAVLJANJE PUŠČANJA**

Slika 1 prikazuje distribucijsko vročevodno omrežje v Ljubljani, ki obsega 275 km cevi (Letno poročilo ENLJ, 2022). Te so v največji meri izvedene pod nivojem tal. Do poškodb vročevoda prihaja večinoma zaradi starosti in dotrajanosti cevi, saj nekatere štejejo tudi več kot 60 let, možni pa so tudi drugi vzroki, kot so npr. zunanje, fizične poškodbe ali pa napake gradnje, projektiranja ali materiala. Posledica vseh teh poškodb je puščanje, ki ga mora ENLJ po zakonodaji odkrivati in odpravljati.



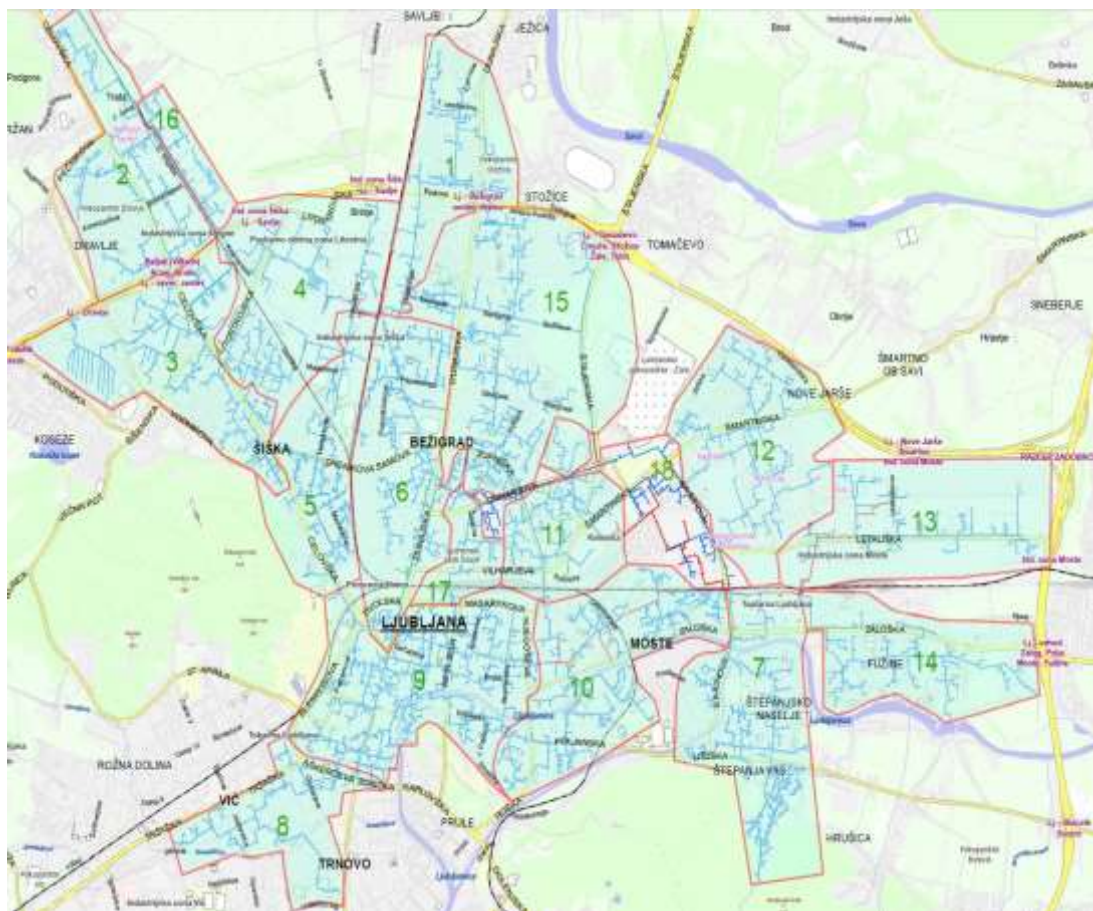


Ž

Slika 1: Distribucijsko vročevodno omrežje v Ljubljani  
(Vir: GIS ENLJ, 2023)

#### 4.2.1 Tlačni preizkusi po območjih

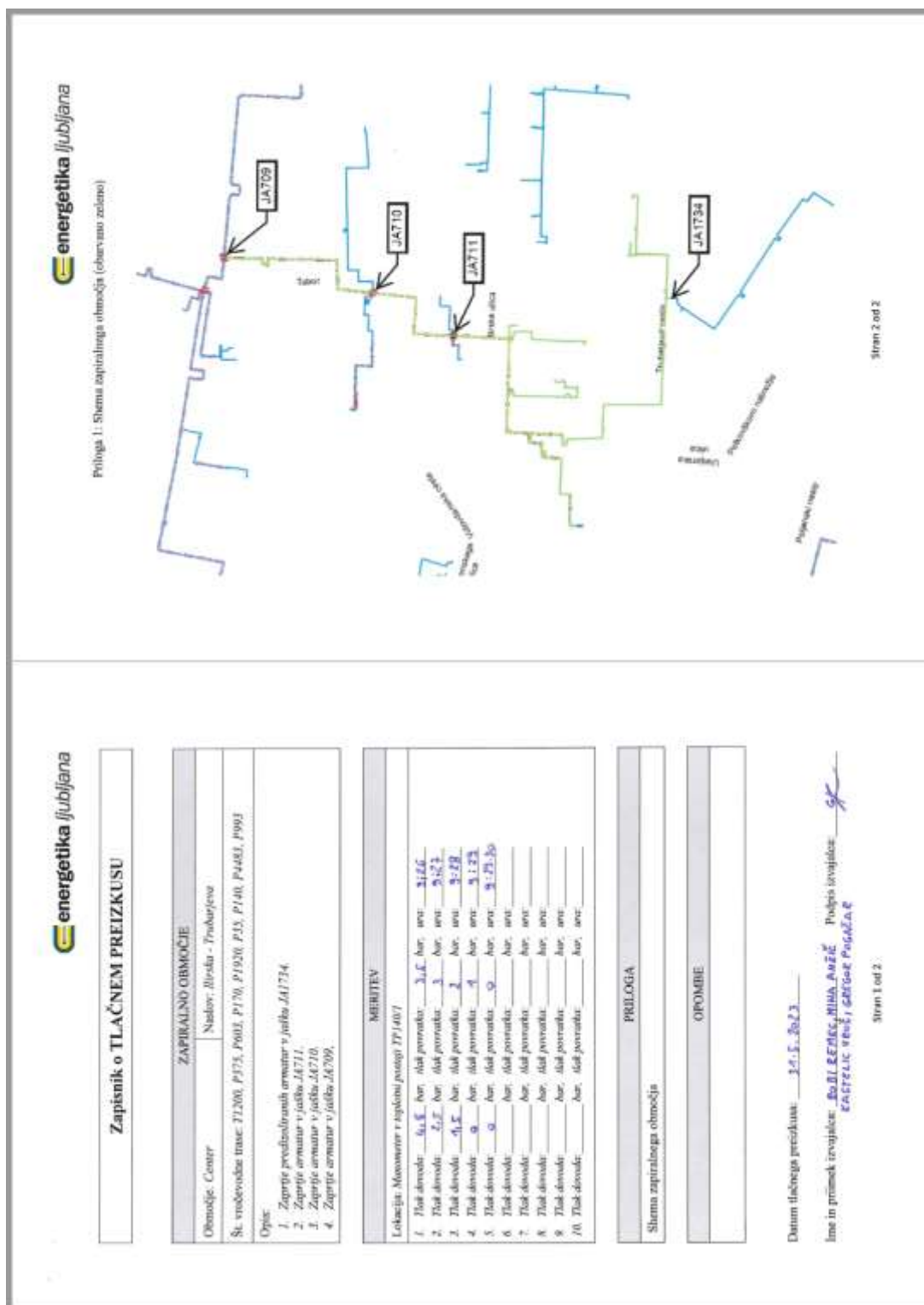
Najstarejši način odkrivanja puščanja v ENLJ na določenem območju je tlačni preizkus. Tlačni preizkusi se izvajajo na 16 zapiralnih območjih (slika 2), ki zajemajo celotno vročevodno omrežje v Ljubljani. Z zaprtjem določenih zapornih armatur na omrežju se poskrbi, da se omrežje na nekem območju izloči. Po potrebi se zaprejo tudi predhodno določene toplotne postaje, v katerih je kakršna koli možnost vdiranja sanitarne vode v primarno vročevodno omrežje in s tem vplivanja na meritve. V ostalih toplotnih postajah so bodisi analogni ali digitalni merilniki tlaka, s katerih se odčitava podatke.



Slika 2: Zapiralna območja

Vir: GIS ENLJ, 2023

Kot prikazuje slika 3, se rezultate meritev vpisuje v tabelo Zapisnika o tlačnem preizkusu. Metoda deluje na principu ohranjanja tlaka v ceveh. Ta se po zaprtju dovoda in povratka skozi prenosnike toplote najprej izenači, potem pa v primeru, da se skozi ves čas trajanja preizkusa ohranja, pomeni, da puščanja vročevodnega omrežja na tem območju ni, v primeru, da pa tlak pade, pa pomeni, da puščanje je. Iz primera zapisnika o tlačnem preizkusu je razvidno, da je šlo za manjše puščanje, saj je tlak padel na 0 bar v štirih minutah. Pri večjih puščanjih se to zgodi v eni minuti ali včasih še prej.



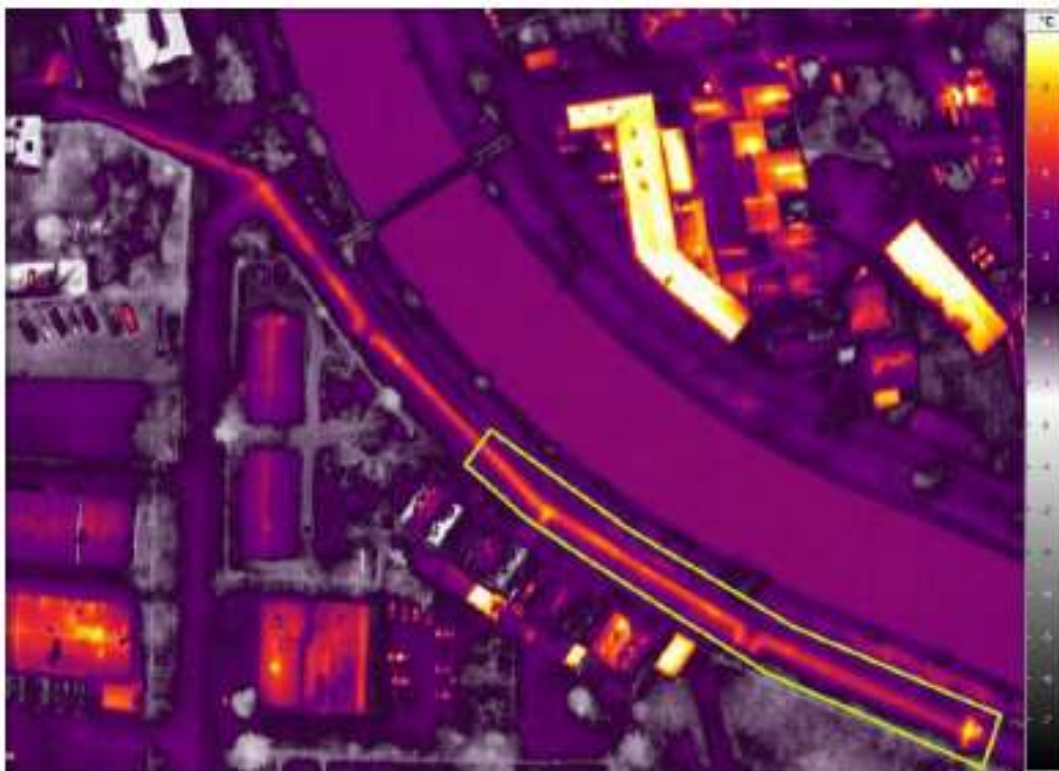
Slika 3: Primer zapisnika o tlačnem preizkusu – Ilirska - Trubarjeva (Vir: Interni dokument SOT/ENLJ, 2023)

Tlačni preizkusi se na vseh 16 območjih izvajajo vsako leto. Zaradi obsežnosti območij in velikega števila možnosti vpliva zunanjih delavnikov, kot je vdor sanitarne vode v primarno omrežje, metoda odkrivanja puščanja s tlačnimi preizkusi ni popolnoma zanesljiva, pa vendar je dober pokazatelj netesnosti nekega območja. Tlačni preizkusi se v manjšem obsegu uporabljajo tudi kot sekundarna metoda za dokazovanje puščanja, odkritega z drugimi načini sistemskih kontrol.

#### 4.2.2 Termografsko aerosnemanje

Za sistemsko kontrolo in odkrivanje puščanja vročevodnega omrežja se je v Energetiki Ljubljana kot najučinkovitejša metoda izkazalo snemanje omrežja s termografsko kamero. Sprva se je snemanje omrežja izvajalo z ročno termovizijsko kamero, vendar se je zaradi velikosti omrežja pokazalo za preobsežno nalogo. Termografsko snemanje se namreč lahko izvaja le ob primernih meteoroloških razmerah, ki so zagotovljene le kratek čas v letu. Prav tako se ga izvaja ponoči oziroma zgodaj zjutraj, pri tem pa je treba prehoditi velika območja, ki so na določenih lokacijah na težko dostopnih ali celo nedostopnih mestih (zasebna zemljišča). Zato je bilo treba uvesti novo metodo, s katero bi bilo možno v kratkem časovnem obdobju pridobiti termografsko sliko celotnega vročevodnega omrežja.

Kot možna metoda se je kazalo termografsko aerosnemanje vročevodnega omrežja. Zato se je, kot je navedeno v Oceni uporabnosti metode letalskega termografskega snemanja vročevodnega omrežja JPE (ENLJ, 2014) v marcu 2013 izvedlo pilotno termografsko aerosnemanje za dve različni tipični območji, katerega namen je bil ocenitev tovrstne metode. Termografsko aerosnemanje se je izkazalo za zelo uspešno, saj se je na osnovi analize posnetkov odkrilo oziroma potrdilo dve simulirani in tri dejanska puščanja vročevodnega omrežja, kar je tudi tehnično upravičilo uvedbo tovrstne metode, ki je sedaj po SON (URL, št.85/2016) ena od metod monitoringa distribucijskega sistema za namen odkrivanja poškodb vročevoda. Slika 4 prikazuje aero-termografski posnetek dela Ljubljane, kjer poteka vročevod.



Slika 4: Primer termografskega posnetka – Poljanski nasip  
(Vir: Arhiv SOT/ENLJ, 2023)

Pri izvajanju termografskega aerosnemanja je treba upoštevati in zagotoviti številne pogoje. Ti pogoji vključujejo tako meteorološke razmere kot tudi stanje letala, snemalne opreme in omrežja. Zato se skrbno izbirajo in usklajujejo termini za snemanje, v sodelovanju med izvajalcem snemanja (piloti) in distributerja toplote. Optimalni pogoji se običajno pojavljajo ponoči ali proti jutru, ko ni megle, vetra, listja na drevesih in snega. Temperatura zraka mora biti dovolj nizka, idealno nekaj dni zapored pod lediščem. V tem času je vročevodno omrežje že v osnovi segreto, vendar ga dodatno pregrevajo, da zagotovijo višje temperature povratka. To omogoča, da se pridobi jasna termografska slika omrežja v prostoru. Po snemanju sledi zahtevna analiza, ki jo izvede izkušen strokovnjak za termografijo s poznavanjem posebnosti vročevodnega omrežja.



Slika 5: Odkrivanje puščanja  
(Vir: Megavat 49/2016)

Po izvedbi termografskega aerosnemanja termografist najprej pregleda in analizira posnetke, ki so bili narejeni iz zraka in jih nato primerja z digitalnimi ortofoto posnetki omrežja na geografskem informacijskem sistemu (GIS) (slika 5). Prav tako izvajalec letalske termografije izdelava termograme za GIS, ki jih Služba za distribucijo toplote (SDT), ki v ENLJ deluje kot upravljalec in vzdrževalec vročevodnega omrežja v Sektorju za oskrbo s toploto (SOT) lahko v primeru suma puščanja pregleduje za več let nazaj. Vsakršne sumljive anomalije na letalskih posnetkih se na terenu preverijo še z ročno infrardečo (IR) kamero (slika 6).



Slika 6: Primer posnetka z IR-kamero – Poljanski nasip  
(Vir: Arhiv SOT/ENLJ, 2023)

Termografsko aerosnemanje se izkazuje za zelo uspešno, saj se v ENLJ na osnovi analize posnetkov vsako leto odkrije oziroma potrdi veliko število puščanj vročevodnega omrežja, ki se jih uspešno sanira, s čimer se puščanje omrežja znatno zmanjša. Prav tako se pri snemanju upoštevajo okoljski vidiki. Termografsko aerosnemanje se izvaja z ultralahkim letalom, ki znatno manj onesnažuje okolje z izpušnimi plini in hrupom. S tem pa je znatno manjši tudi vpliv na prebivalce, glede na to, da se snemanje izvaja v nočnih ali zgodnjih jutranjih urah.

### 4.3 DOLOČANJE MIKROLOKACIJ PUŠČANJA

Po ugotovitvi puščanja omrežne vode na določenem odseku ali delu vročevodnega omrežja z metodami monitoringa je pred izvedbo revizijske odprtine treba določiti še mikrolokacijo puščanja. Izkušeni sodelavci SOT z različnimi metodami, pripomočki in preteklimi spoznanji v večini primerov mikrolokacijo puščanja in s tem mesto gradbenega odkopa določijo popolnoma natančno.

#### 4.3.1 Ročna termovizijska kamera

Termovizijska oziroma IR-kamera, kakršna je na sliki 7, je naprava, ki se uporablja za zaznavanje in vizualizacijo IR-sevanja, ki ga oddajajo telesa in objekti zaradi njihove temperature. Takšna kamera omogoča uporabniku, da vidi vzorce segrevanja in ohlajanja na površinah.



Slika 7: Termovizijska kamera

Vir: (Teledyne Flir, 2023)





Signal, ki ga sprejme korelator, ta najprej ojača in ga potem pošlje preko radijskih valov na kontrolno enoto. »Z nadaljnjo obdelavo se iz tega zgradi koherenca-korelacija, ki se prikaže na monitorju in točno odmero, kje se defekt nahaja« (Andotehna, 2022). Novejši korelatorji lahko zaznajo puščanje tudi pri iskanju puščanja na cevovodih, ki so sestavljeni iz različnih materialov. Slika 9 prikazuje iskanje puščanja s korelatorjem, ki se ga istočasno, po prejemu podatka o lokaciji puščanja preveri še z geofonom.



Slika 9: Iskanje puščanja s korelatorjem

(Vir: Andotehna d. o. o., 2023)

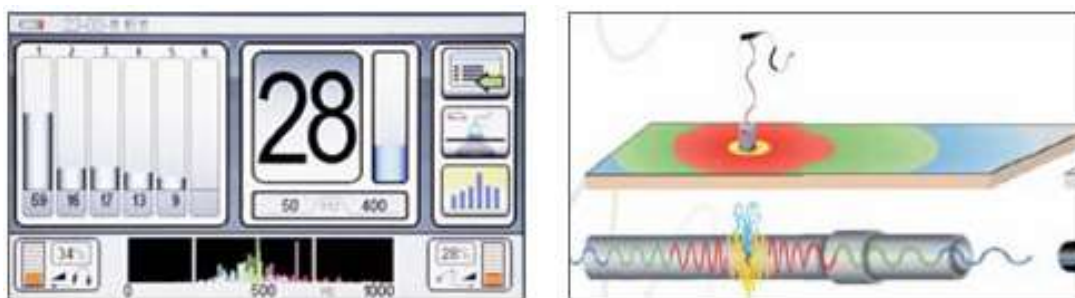
#### 4.3.3 Geofon

Še eno od osnovnih orodij pri odkrivanju puščanj na vročevodu mesta Ljubljana je geofon (slika 10). To je naprava, ki se uporablja za poslušanje in zaznavanje vibracij ter zvokov, ki nastanejo zaradi uhajanja vode iz cevovoda. Gre za občutljiv senzor, ki je nameščen na tleh ali površinah, povezanih s cevovodom. Geofon omogoča, da prepoznajo specifične vzorce vibracij, ki jih povzročata puščanje vode, in na podlagi teh vzorcev določijo približno lokacijo puščanja na cevovodu. Vsak zvok puščanja ima svojo frekvenco, ki pa je vse nižja z večanjem razdalje od izvora. Šum ima na mestu puščanja torej najvišjo frekvenco (slika 11).



Slika 10: Geofon

(Lastni vir)



Slika 11: Akustično iskanje okvar z geofonom  
(Vir: Andotehna d. o. o., 2023)

#### 4.3.4 Ultrazvočni merilec pretoka

Ultrazvočni merilec pretoka (slika 12) je naprava, ki se v ENLJ uporablja za merjenje količine tekočine, ki teče skozi cev. Takšen merilec se lahko uporablja tudi za merjenje količine plinov. Deluje na osnovi ultrazvoka, kjer se uporabljajo zvočni valovi frekvence zunaj območja, ki je zaznavno za človeško uho. Ti valovi se pošljejo skozi tekočino v cevi in se odražajo nazaj. Na podlagi časa, ki ga zvočni val potrebuje, da potuje naprej in nazaj, se izračuna hitrost tekočine. S pomočjo prečnih presekov cevi se nato izračuna celotni pretok. Pretok vode v cevi se torej izmeri brez posega v notranjost cevi.

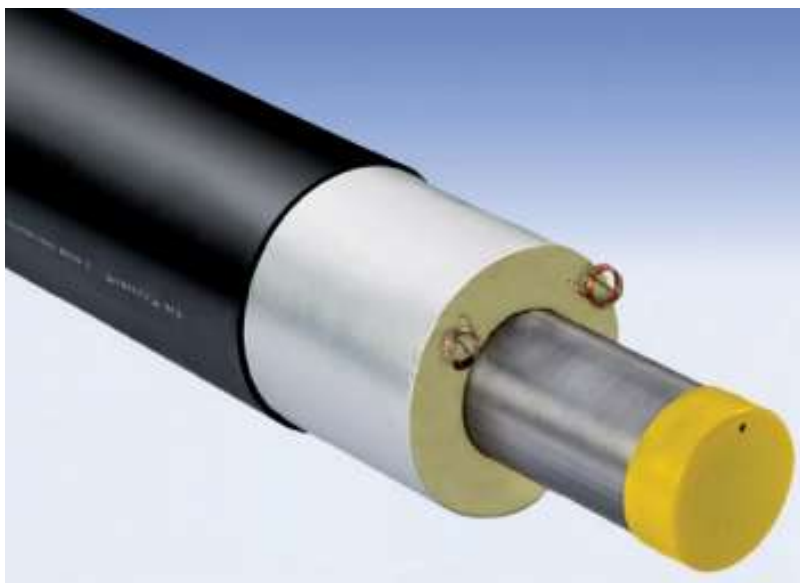


Slika 12: Ultrazvočni merilec pretoka  
(Vir: Andotehna d. o. o., 2023)

»Ultrazvočni merilec pretoka lahko deluje z različnimi senzorskimi seti, odvisno kakšne imamo na razpolago« (Andotehna, 2022). Vsak senzor ima sponko, s katero se ga za namen meritve pritrdi na cev. S temi sponkami so senzori lahko pritrjeni na cevi v vseh položajih za različne načine merjenja ter na vseh premerih cevi.

#### 4.3.5 Merjenje vlažnosti v predizoliranih vročevodih

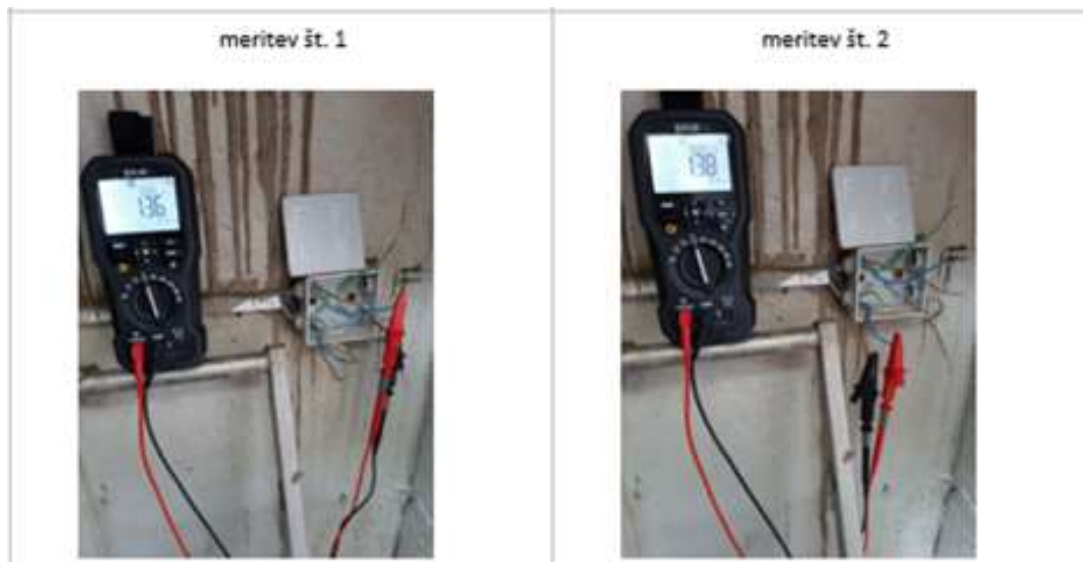
Od leta 1980 se v Ljubljani za namen daljinskega ogrevanja v zemljo polagajo le še predizolirane cevi (slika 13). Te so sestavljene iz jeklene cevi, po kateri se pretaka ogrevena voda, zunanjsa zaščitna plašča iz polietilena, med njima pa je izolativni material. V preteklosti so bile te cevi in izolacija slabše kvalitete, danes pa so to po navedbah proizvajalca Isoplus (2012), čigar predizolirane cevi uporabljajo v ENLJ, jeklene cevi najvišje kvalitete, izolirane z visokokakovostno izolacijo iz PUR-pene, ki ne vsebuje freonov. Ta zagotavlja trajno učinkovite izolacijske lastnosti, okrog nje pa je zaščitna cev iz polietilena z visoko gostoto (PEHD), ki vročevodne cevi ščiti pred zunanjimi vplivi.



Slika 13: Predizolirana cev vročevodnega omrežja  
(Vir: Isoplus, 2016)

Ker na predizolirani cevi, tako kot na vsaki drugi, lahko pride do puščanja omrežne vode, sta v sredinski izolaciji žici za detekcijo vlage, s katerima se meri upornost v izolaciji. »Ena žica je galvansko pocinkana, da se vizualno ločita med seboj« (Jamnik, 2017, str. 11). V principu obstajata dva sistema merjenja vlažnosti v predizoliranih cevovodih: »nordijski sistem« in »sistem Brandes«. V ENLJ se za namen detekcije vlage uporablja nordijski sistem. »Ta temelji na analizi merjenja upornosti in uporabi TDR (ang. Time Domain Reflectometer). S tema dvema tehnikama lahko uspešno

zaznavajo in locirajo puščanje, vlago ob izgradnji ter fizično poškodbo plašča« (Jamnik, 2017, str. 11).



*Slika 14: Merjenje upornosti zanke  
(Lastni vir)*

TDR pošlje v žico impulz, ki generira elektromagnetno valovanje in poteka skozi žico z znano hitrostjo nemoteno. V primeru, da je v izolaciji prisotna vlaga, se impedanca žice spremeni in ta povzroči odboj impulza proti viru. Lokacijo napake si izračuna iz izmerjenega časa med oddajo impulza in sprejemom odboja. Meritve se izvedejo posebej za dovod in posebej za povratek (slika 14).

#### **4.3.6 Izvedba revizijskih odprtin**

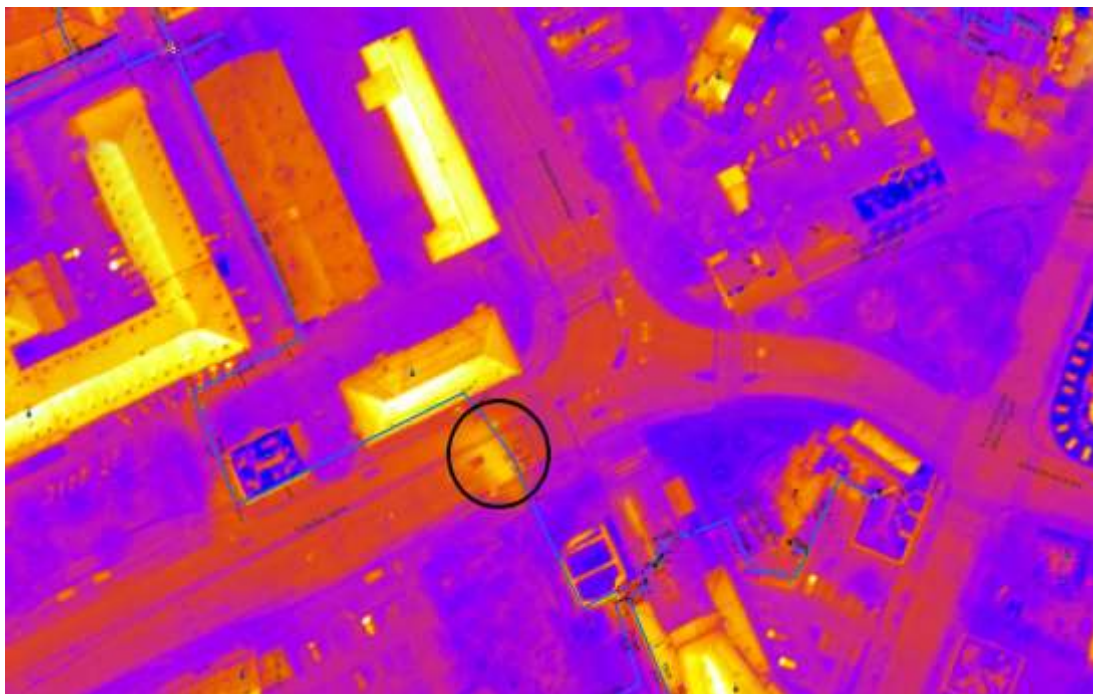
Izvedba revizijskih odprtin pride v poštev, ko je puščanje najprej odkrito s katero od zgoraj naštetih metod, sistemom detekcije vlage v predizoliranih ceveh ali pa med rednimi letnimi pregledi vseh vročevodnih in parovodnih jaškov, pregledi zapornih armatur na distribucijskih vodih, pregledi inštalacijskih kolektorjev in pregledi nadzemno vodenih distribucijskih vodov. Na dogovorjenem mestu se vročevod odkoplje in tako se odkrije puščanje.

## 5 PRIMER ISKANJA IN LOCIRANJA PUŠČANJA

Na podlagi pregledovanja posnetkov termografskega aerosnemanja 2023 je bila na vročevodnem omrežju zaznana in označena možna lokacija puščanja v bližini križišča Tržaške, Aškerčeve in Bleiweisove ceste na mestu, kjer vročevodna trasa prečka Tržaško cesto. Pri kontroli območja z IR-kamero v aprilu 2023 je bil ugotovljen sum puščanja. Kasneje je bil izveden še tlačni preizkus, ki je puščanje vročevoda potrdil. Sprva je bilo mišljeno revizijsko odprtino izvesti zunaj cestišča, vendar je bila kasneje opravljena še meritev z geofonom, ki pa je puščanje izkazovala na prvem voznem pasu.

### 5.1 ANALIZA LETALSKIH TERMOGRAMOV

Kot vsako leto je bilo tudi v 2023 izvedeno termografsko aerosnemanje. Termografist SOT, ki je pregledal in analiziral posnetke ter jih primerjal z digitalnimi ortofoto posnetki omrežja, je na območju, kjer vročevodna trasa prečka Tržaško cesto, opazil anomalijo, ki je nakazovala na puščanje vročevoda. To se na termogramu izkazuje kot površina pod traso vročevoda, obarvana v rumenkasto barvo (slika 15). Za vsak primer se anomalijo vedno primerja tudi s posnetki prejšnjih let, kar je razvidno iz Poročila IR-kontrole vročevodne trase T503, Tržaška cesta (Trg MDB 7) (priloga 1), ko anomalije na tem mestu še ni bilo zaznati.



Slika 15: Termogram – Trg mladinskih delovnih brigad  
(Vir: GIS ENLJ, 2023)

## 5.2 IR-KONTROLA

Po odkritju potencialnega puščanja vročevoda je bilo treba dodatno preveriti stanje na lokaciji. Za izvedbo snemanja je bila uporabljena visoko zmogljiva kamera FLIR T640 bx. Gre za vrhunsko IR-kamero, ki je specializirana za natančno slikanje temperaturnih razlik na površinah. S svojo visoko ločljivostjo in občutljivostjo je kamera FLIR T640 bx omogočila izjemno podrobno analizo terena in hitro identifikacijo morebitnih nepravilnosti. Akcija je bila izvedena zgodaj zjutraj, ko sonce še ni imelo priložnosti segreti zemlje in okolice.

Zabeleženo IR-sevanje je odražalo temperaturne razlike na površini terena. Na pridobljenem termogramu (slika 16) je bilo jasno razvidno, da obstajajo razlike na površini raziskovanega terena. Še posebej je bila izrazita razlika v temperaturi med kolesarsko stezo in sredino vozišča, kjer pa se nahaja tudi meteorni jašek, iz katerega se je ob IR-kontroli malo kadilo. To je potrdilo domnevo, da je potencialno puščanje koncentrirano prav na tej lokaciji.



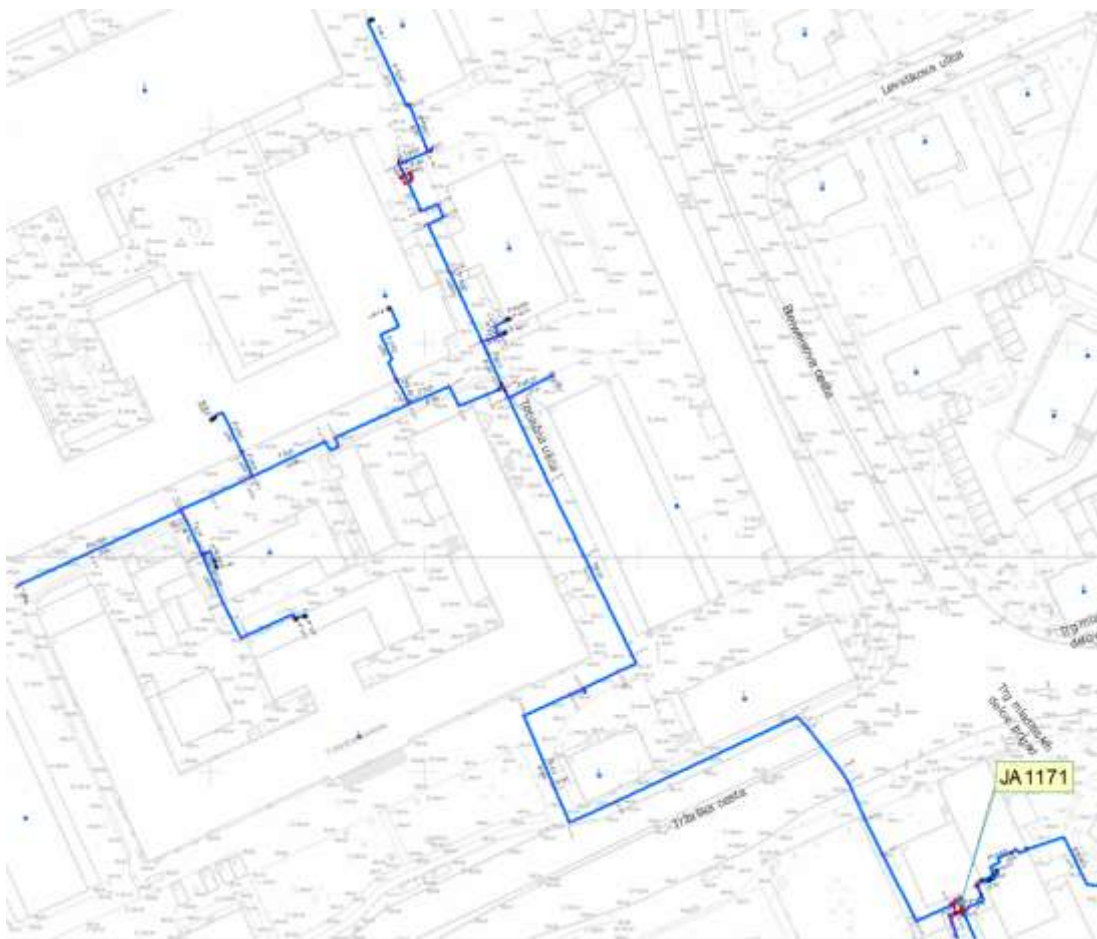
Slika 16: Termogram – Tržaška cesta – Trg MDB 7  
(Vir: Arhiv SOT/ENLJ, 2023)

Zaradi precejšnje globine vročevoda na tem mestu, ki poteka približno 2 metra pod nivojem terena, je bila površina nad njim le rahlo toplejša, zato je bilo mesto anomalije

sprva težko natančno določiti. Poleg tega je zaradi velike globine cevi tudi segreti večja površina tal, kar otežuje natančno določitev.

### 5.3 TLAČNI PREIZKUS

Z namenom izključitve morebitnih drugih virov toplote in z zagotovitvijo neposredne potrditve o obstoju puščanja vročevodnega sistema je bil na lokaciji izveden še tlačni preizkus. Kot je razvidno s slike 17, vročevodna trasa T503 poteka od objekta Trg Mladinskih delovnih brigad 7, kjer je tudi jašek ID1171. V omenjenem jašku je zaporna armatura za zaprtje T503 proti Tobačni ulici 5, kjer se trasa konča. Na vročevodu od zaporne armature naprej je sedem toplotnih postaj, od katerih imata poleg centralnega ogrevanja tudi pripravo sanitarne tople vode le dve. Ker lahko v boilerju pride do vdora vodovodne vode v vročevodni sistem in s tem nepravilnih meritev, sta bili obe postaji v času tlačnega preizkusa zaprti.



Slika 17: Potek vročevodne trase T503  
(Vir: GIS ENLJ, 2023)

Rezultati tlačnega preizkusa so bili, kot je razvidno s slike 18, jasni in nedvoumni. Zaznan je bil padec tlaka v sistemu, kar je nedvoumno potrdilo, da resnično obstaja puščanje vročevoda. Ta potrditev je bila ključna za nadaljnje korake popravila in vzdrževanja.

**Zapisknik o TLAČNEM PREIZKUSU**

**ZAPRAVILNO OBMOČJE**

Oblastje: FV Sualon Tržička - Tobačna

Št. vseh vodovodnih inženjerskih inženjerskih: P421, P428, P435, P382, P429, P442, P420, P420

Opis:

1. Zaprtje ormanov v juliju J1171.

**MERITEV**

Lokacija: Manometer v ispostavi pomeni TP120	
1. Tlak dovoda	Ar: 0,0 Bar; rtd porazlo: 2,1 Bar; nrc: 41,1 kPa
2. Tlak dovoda	Ar: 0 Bar; rtd porazlo: 0 Bar; nrc: 40,3 kPa
3. Tlak dovoda	Ar: rtd porazlo: 0 Bar; nrc: 0
4. Tlak dovoda	Ar: rtd porazlo: 0 Bar; nrc: 0
5. Tlak dovoda	Ar: rtd porazlo: 0 Bar; nrc: 0
6. Tlak dovoda	Ar: rtd porazlo: 0 Bar; nrc: 0
7. Tlak dovoda	Ar: rtd porazlo: 0 Bar; nrc: 0
8. Tlak dovoda	Ar: rtd porazlo: 0 Bar; nrc: 0
9. Tlak dovoda	Ar: rtd porazlo: 0 Bar; nrc: 0
10. Tlak dovoda	Ar: rtd porazlo: 0 Bar; nrc: 0

**PRELOGA**

**OPOMBE**

Datum tlačnega preizkusa: 13.6.2023

Ist in primnik izvajalca: J. Javša, Z. Erceg

6. Poptičar, B. Javnik

Podpis izvajalca: *[Signature]*

Stran 1 od 2

Priloga 1: Shema zaprtega območja (obravnavano območje)

Stran 2 od 2

Slika 18: Zapisknik o tlačnem preizkusu – Tržaška - Tobačna  
(Vir: Interni dokument SOT/ENLJ, 2023)



## 5.4 AKUSTIČNO ISKANJE OKVARE Z GEOFONOM

Ker je vročevod na obravnavani lokaciji zakopan globoko in je zaradi tega na površini pregreto večje območje, je bilo treba mikrolokacijo puščanja določiti bolj natančno. Zaradi starosti trase T503 na tem območju še ni vgrajenega sistema za merjenje vlažnosti izolacije predizoliranega vročevoda, zato se je bilo treba poslužiti drugih metod mikrolociranja. Prvotna ideja je bila, da bi meritev izvedli s korelatorjem, vendar na trasi ni bilo primernih mest za namestitev senzorjev, zato so se iskali drugi načini. Kot najprimernejša se je kazala metoda akustičnega iskanja okvare z geofonom, ki pa ima slabost, da jo zmoti vsak zvok, zato je bilo meritev treba izvajati ponoči, ko na lokaciji skoraj ni prometa. Pregledalo se je območje na razdalji 13 metrov, med začetkom kolesarske steze in sredino cestišča.

Za precizno določitev mikrolokacije puščanja je bil uporabljen geofon Primayer Mikron. Gre za visoko specializirano napravo, namenjeno zaznavanju in natančni lokalizaciji puščanj v vodovodnih in vročevodnih sistemih.

Geofon Primayer Mikron deluje na osnovi zvočnih valov, ki se širijo skozi cevovodno infrastrukturo. Naprava zazna nihanja v zvočnih frekvencah, ki nastanejo zaradi puščanja tekočine skozi stene cevi. S tem geofon natančno določi smer in oddaljenost puščanja ter tako omogoča ciljno usmerjenost pri izkopu in popravilu. Ker je bil šum najmočnejši na prvem voznem pasu, se je mesto odkopa določilo prav tam.

## 5.5 ODKOP REVIZIJSKE ODPRTINE

Pred odkopom revizijske odprtine je treba izvesti še nekaj zadev. Prva je geodetska zakoličba vročevodne trase in ostalih komunalnih vodov na območju odkopa za namen varnega in natančnega odkopa. Ker vročevodna trasa T503 poteka pod Tržaško cesto v bližini križišča z Aškerčevo in Bleiweisovo cesto, kjer je promet v večini dneva precej gost, poleg tega pa je v neposredni bližini še avtobusno postajališče, je bilo treba pred pričetkom odkopa zagotoviti tudi netipsko zaporo cestišča in izdelavo elaborata začasne prometne ureditve. Sprva je bil prav iz teh razlogov namen izvedbe revizijske odprtine v zelenici ob cestišču, vendar so rezultati meritev z geofonom spremenili potek in s tem razplet. Te meritve so omogočile precizno izolacijo lokacije, kjer se je puščanje dejansko pojavljalo. To je bila ključna informacija za učinkovito in usmerjeno ukrepanje pri popravilu ter zagotavljanje minimalnih posegov v infrastrukturo. Slika 19 prikazuje potek gradbenih del in zamenjavo poškodovanega dela cevi trase T503 na lokaciji Tržaška cesta (Trg Mladinskih delovnih brigad 7).



*Slika 19: Potek gradbenih del in zamenjava poškodovanega dela cevi  
(Lastni vir)*

## 6 ZAKLUČEK

Na podlagi izvedenih analiz in meritev puščanja na vročevodnem omrežju je mogoče zaključiti, da bi nadgradnja sistema za odkrivanje puščanja omrežne vode z uporabo novejših tehničnih naprav predstavljala smiselno naložbo. Ugotovljeno je bilo, da sama sistemska metoda odkrivanja puščanja deluje učinkovito, vendar bi uporaba sodobnejše tehnologije omogočila še zanesljivejšo lokalizacijo puščanj. To bi lahko v prihodnosti pomembno prispevalo k zmanjšanju potrebe po večjih gradbenih posegih na vročevodnem omrežju, kar bi privedlo do zmanjšanja stroškov vzdrževanja ter izboljšanja zanesljivosti in učinkovitosti celotnega sistema.

V ta namen predlagamo posodobitev opreme za odkrivanje puščanja, kot na primer:

- **boljša termovizijska kamera:** z nakupom boljše termovizijske kamere bi lahko povečali natančnost in občutljivost pri zaznavanju temperaturnih razlik na površinah, pod katerimi potekajo vročevodi, kar bi omogočilo hitrejše odkrivanje morebitnih puščanj. Boljša kamera bi omogočila tudi boljše detekcijo puščanj v zahtevnih okoliščinah, kot so slabe vremenske razmere ali neugodna svetloba. Dolgoročno bi zmanjšala stroške vzdrževanja in popravil sistema, saj bi omogočila hitrejše in ciljno usmerjene intervencije pri morebitnih puščanjih;
- **natančnejši geofon:** investicija v natančnejši geofon bi omogočila bolj zanesljivo zaznavanje vibracij in premikov tal, kar bi izboljšalo sposobnost lokalizacije puščanj. S pomočjo natančnejšega geofona bi se lahko izognili nepotrebnim gradbenim delom in s tem zmanjšali materialne izgube in stroške ob popravilih. Zmanjšanje potrebe po večjih popravilih in gradbenih posegih bi prispevalo tudi k zmanjšanju obremenitve okolja;
- **novejši korelator:** nadgradnja korelatorja bi povečala natančnost pri zaznavanju zvokov, kar bi olajšalo identifikacijo puščanj na omrežju. Novi korelatorji so običajno opremljeni z izboljšanimi algoritmi in senzorji, kar omogoča hitrejše in še bolj zanesljivo zaznavanje puščanj na vročevodnem omrežju. Nakup novejšega korelatorja bi prav tako pripomogel k izboljšanju učinkovitosti sistema za odkrivanje puščanja in zmanjšal stroške ter negativni vpliv na okolje.

Poleg tega se v ENLJ razmišlja tudi o uvedbi dodatnih sistemov za odkrivanje puščanja na vročevodnem omrežju, kot je na primer uporaba satelitskega radarskega snemanja (SAR). Pri tej metodi radar, ki je nameščen na satelit, poslika določeno območje. Nato se naredi analiza pridobljenih podatkov in rezultat so potencialne lokacije puščanja. Lokacije, ki so bile zaznane kot potencialna puščanja, je treba na terenu potrditi še z drugimi metodami. V letu 2021 se je poizkusno že izvedlo takšno

snemanje, vendar uspešnosti metode zaenkrat še ni mogoče povsem enoznačno določiti. »Glede na količino pregledanih lokacij in od tega odkritih puščanj, se ocenjuje uspešnost te metode zaenkrat zgolj 8 %« (Jamnik, 2022, str. 14). Metoda je še zelo mlada in se še razvija. Rezultati so spodbudni, vendar zaenkrat presplošni in premalo specificirani. Ta tehnologija bi omogočila daljinsko spremljanje vročevodov iz vesolja, kar bi omogočilo zaznavanje puščanj na težje dostopnih območjih in povečalo celotno učinkovitost sistema za odkrivanje puščanja omrežne vode.

Celotna nadgradnja sistema za odkrivanje puščanja bi predstavljala pomemben korak naprej v smislu izboljšanja zanesljivosti in učinkovitosti ljubljanskega vročevodnega omrežja ter bi pripomogla tudi k zmanjšanju potencialnih stroškov vzdrževanja in popravil v prihodnosti. Poleg tega bi nadgradnja sistema za odkrivanje puščanja igrala ključno vlogo pri zmanjšanju obremenjevanja okolja.

## 7 LITERATURA IN VIRI

Andoljšek A. (2018). *Sodobne tehnologije in metode lociranja okvar na vodovodih, predstavitev najsodobnejših tehnologij odkrivanja okvar na vodovodih*. Pridobljeno 1.10.2022 z naslova [https://hugepdf.com/download/andoljekrecek-final-e\\_pdf](https://hugepdf.com/download/andoljekrecek-final-e_pdf)

Andotehna. (2022). *Merilna tehnika*. Pridobljeno 11.08.2023 z naslova <http://www.andotehna.si/proizvodi/main-instrumenti-za-analizo>

Energetika Ljubljana. (2023). *Letno poročilo 2022*. Pridobljeno 09.08.2023 z naslova [https://www.energetika.si/sites/www.jhl.si/files/dokumenti/energetika\\_ljubljana\\_letno\\_porocilo\\_2022.pdf](https://www.energetika.si/sites/www.jhl.si/files/dokumenti/energetika_ljubljana_letno_porocilo_2022.pdf)

isoplus Fernwärmetechnik. (2012). *Design maual*. Interno gradivo. Arhiv SOT/ENLJ

Jamnik B. (2017). *Detekcija vlage v predizoliranem vročevodu*. Megavat – interna revija Energetike Ljubljana, št. 54, stran 11. Pridobljeno 23.08.2023 z naslova <https://www.energetika.si/o-druzbi/interna-revija-megavat>

Jamnik B. (2022). *Ocena uporabnosti metode satelitske radarske detekcije puščanj na vročevodnem omrežju ENLJ*. Interno gradivo. Arhiv SOT/ENLJ

Matičič P. (2016). *Puščanje omrežja se vidi iz aviona*. Megavat – interna revija Energetike Ljubljana, št. 49, stran 8. Pridobljeno 14.08.2023 z naslova <https://www.energetika.si/o-druzbi/interna-revija-megavat>


Matičič P., Cimerman M. (2014). *Ocena uporabnosti metode letalskega termografskega snemanja vročevodnega omrežja JPE*. Interno gradivo. Arhiv SOT/ENLJ

Matičič P., Cimerman M., Jamnik B., Lenarčič M., Grauf D., (2016). *Letalska termografija – uspešen način systemske kontrole vročevodnega omrežja Energetike Ljubljana*. Prispevek SDDE – Mednarodna konferenca daljinske energetike. Arhiv SOT/ENLJ

Teledyne Flir. (2022). *Flir T640*. Pridobljeno 30.10.2022 z naslova <https://www.flir.eu/support/products/t640/#Overview>

## PRILOGA

Priloga 1: Poročilo IR kontrole vročevodne trase T503, Tržaška cesta (Trg MDB 7)




**Energetika Ljubljana, d.o.o.**  
Verovškova 62, Ljubljana, SI - 1001 Ljubljana

Telefon (v): +386 1 588 90 00  
Faks: +386 1 588 91 09  
FAX: 02924-0253764022  
E-mail: posta@energetika.si

### POROČILO IR KONTROLE VROČEVODNE TRASE T503, TRŽAŠKA CESTA (Trg MDB 7)


**DATUM POROČILA:** 14. 6. 2023  
**TERMOGRAFIŠT:** Blaž Jamnik  
**KAMERA:** FLIR T640 bx  
**POROČILO IZDELAL:** Blaž Jamnik



**Slika 1:** IR in foto posnetek vročevodne trase T503.

**OPIS:** Na termografskem aeroposnetku 2023 je bila zaznana anomalija. Pri kontroli vročevodne trase T503 z IR kamero 5. 4. 2023 je bil ugotovljen sum puščanja. Mesto anomalije je težko natančno določiti, ker je vročevod na globini 2 metrov in je površina nad njim rahlo toplejša kot okolica. V bližini je meteorni jašek (slika 5), iz katerega se je ob IR kontroli malo kadilo. Naredil se je tudi tlačni preizkus, ki potrjuje puščanje. Predlagam, da se naredi revizijska odprtina na zelenici oziroma pločniku.

Številka registrskega vložka v sodnem registru pri Okrožnem sodišču v Ljubljani: 1101757/00 | Osnovni kapital: 57.602.057,00 EUR  
Identifikacijska št. za DDV: SI23034033 | Matična št.: 5226406 | Bilna dejavnost: 35.300



**Primerjava letalski aeroposnetek 2023 / 2022**



Slika 2: Termografski aeroposnetek 2023.



Slika 3: Termografski aeroposnetek 2022.



Slika 4: IR in foto posnetek vročevodne trase T503.



Slika 5: IR in foto posnetek meteornege jaška.



 energetika ljubljana



Slika 6: Mesto anomalije na vročevodni trasi T503.