



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Zaščita in učinkovitost

**TERMOVIZIJSKI NADZOR
ELEKTROENERGETSKIH SISTEMOV
V BOLNIŠNICI**

Mentor: Matjaž Bobnar, univ. dipl. inž. el.
Lektor: Miha Knavs, prof. slov.

Kandidat: Aljaž Malc

Ljubljana, december 2025

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Matjažu Bobnarju, univ. dipl. inž. el.

Zahvaljujem se tudi lektorju Mihi Knavsu, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledal.

Zahvaljujem se svoji ženi Aniti ter hčerkam Tinkari, Marjeti in Zarji za vso podporo, spodbudo in razumevanje med študijem. Njihova prisotnost in podpora sta mi veliko pomenili in mi dali dodatno motivacijo za uspešen zaključek.

IZJAVA

Študent Aljaž Malc izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom Matjaža Bobnarja, univ. dipl. inž. el.

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

Dne: _____

Podpis: _____

POVZETEK

Diplomska naloga obravnava uvedbo termovizijskega nadzora kot metode za preventivno vzdrževanje elektroenergetskih sistemov v bolnišnici, kjer je neprekinjena oskrba z električno energijo ključnega pomena za varnost pacientov. V uvodu so predstavljeni problemi toplotnih anomalij v elektroenergetskih komponentah, ki lahko vodijo do izpadov, ter cilji naloge: raziskati teoretična izhodišča termografije, analizirati izvedljivost v Univerzitetnem kliničnem centru Ljubljana in prikazati praktične primere. Teoretični del pojasnjuje osnove infrardeče termografije, vključno z elektromagnetnim spektrom, emisivnostjo materialov in vplivi okolja, ter njeno uporabnost v elektroenergetiki za zaznavanje pregrevanj zaradi slabih stikov ali preobremenitev. Opisane so značilnosti elektroenergetskega sistema UKC Ljubljana, ki vključuje dvostransko napajanje, transformatorske postaje, dizelske agregate in naprave UPS. Praktični del temelji na termografskih meritvah s kamero Fluke Ti32 v transformatorski postaji TP 0339 in drugih objektih, kjer so bile zaznane manjše anomalije, kot so slabi stiki v varovalkah in okvarjene baterije v sistemu UPS. Rezultati kažejo normalno stanje večine komponent, vendar poudarjajo diagnostično vrednost termovizije za pravočasno odkrivanje napak. Analiza rezultatov potrjuje, da termografija omogoča brezstično zaznavanje brez prekinitve delovanja. V zaključku je ugotovljeno, da je redni termovizijski nadzor (vsaj enkrat letno) nujen za zmanjšanje tveganj in povečanje zanesljivosti sistema. Naloga prispeva k razumevanju termografije kot podpornega orodja v kritičnih objektih, kot so bolnišnice, in predlaga njeno sistematično uvedbo za optimalno preventivno vzdrževanje.

KLJUČNE BESEDE

- termografija
- termovizija
- elektroenergetski sistemi
- bolnišnica
- preventivno vzdrževanje

SUMMARY

This thesis examines the implementation of thermographic monitoring as a method for preventive maintenance of electrical power systems in hospitals, where uninterrupted power supply is crucial for patient safety. The introduction outlines the problem of thermal anomalies in electrical components that can lead to outages, and the objectives: exploring the theoretical foundations of thermography, analyzing its feasibility in the University Medical Centre Ljubljana, and presenting practical examples. The theoretical section explains the basics of infrared thermography, including the electromagnetic spectrum, material emissivity, and environmental influences, as well as its utility in electrical engineering for detecting overheating due to poor contacts or overloads. The characteristics of the UKC Ljubljana's electrical power system are described, including dual medium-voltage supply, transformer stations, diesel generators, and UPS devices. The practical part is based on thermographic measurements using the Fluke Ti32 camera in transformer station TP 0339 and other facilities, where minor anomalies were detected, such as poor contacts in fuses and faulty batteries in the UPS system). The results indicate normal conditions for most components but highlight the diagnostic value of thermography for timely fault detection. The analysis confirms that thermography enables non-contact detection without interrupting operations. The conclusion states that regular thermographic monitoring (at least once a year) is essential for reducing risks and enhancing system reliability. The thesis contributes to understanding thermography as a supportive tool in critical facilities like hospitals and recommends its systematic introduction for optimal preventive maintenance.

KEYWORDS

- thermography
- infrared imaging
- electrical power systems
- hospital
- preventive maintenance

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema	1
1.2	Cilj naloge	1
1.3	Predstavitev okolja	2
1.4	Predpostavke in omejitve.....	2
1.4.1	Predpostavke	2
1.4.2	Omejitve	3
1.5	Metode dela.....	3
1.5.1	Pregled strokovne literature	3
1.5.2	Praktični termografski pregled	3
1.5.3	Analiza pridobljenih termogramov	4
1.5.4	Interpretacija in prikaz rezultatov	4
2	OSNOVE TERMOGRAFIJE	5
2.1	Kaj je termografija	5
2.2	Elektromagnetni spekter in IR-območje.....	5
2.3	Sevanje in emisivnost	6
2.4	Vplivi okolja in ozračja	6
2.5	Termokamera in termogram.....	6
2.6	Uporabnost termografije	7
3	Termovizija v elektroenergetskih sistemih	8
3.1	Vloga termovizije pri vzdrževanju elektroenergetskih naprav.....	8
3.2	Zakonodaja in tehnični standardi	8
3.3	Pregrevanje in njegove značilnosti	8
3.4	Pomembnost pravilne interpretacije	9
3.5	Primeri uporabe v elektroenergetiki	9
3.6	Praktične prednosti termovizije.....	9
4	značilnosti elektroenergetskega sistema bolnišnice	10
4.1	Dvostransko SN-napajanje	10
4.2	Transformatorske postaje in stikališča	11
4.3	Rezervno napajanje	11
4.4	Nadzor, zaščita in vzdrževanje	11
5	PRAKTIČNI DEL	12
5.1	Predstavitev objekta in transformatorske postaje TP 0339	12
5.2	Metodologija termografskega pregleda	20
5.3	Rezultati termografskega pregleda – Ginekološka klinika	21
5.3.1	Transformator 1	21
5.3.2	Transformator 2.....	21
5.3.3	Agregat.....	21
5.3.4	UPS	24
5.3.5	NN-razvod	24
5.4	Rezultati termografskega pregleda – Stara ginekološka klinika	27
5.4.1	UPS	27
5.4.2	NN-razvod	28

5.5	Rezultati termografskega pregleda – Leonišče.....	30
5.6	Analiza rezultatov.....	30
5.7	Posebnosti in ugotovitve na drugih klinikah.....	31
6	ZAKLJUČEK	33
7	LITERATURA IN VIRI.....	34

KAZALO SLIK

Slika 1: Elektromagnetni spekter	5
Slika 2: Termokamera.....	7
Slika 3: Shema SN- napajanja	10
Slika 4: Napisna tablica TR2.....	13
Slika 5: Transformator.....	13
Slika 6: Dizelski električni agregat.....	13
Slika 7: UPS, Ginekološka klinika	14
Slika 8: UPS, Stara ginekološka klinika.....	15
Slika 9: Preklopno polje	16
Slika 10: Razdelilne omare (UPS).....	18
Slika 11: Elektro prostor Stare ginekološke klinike	19
Slika 12: Razvod UPS – Stara ginekološka klinika	19
Slika 13: Razdelilna omara – Leonišče	20
Slika 14: IR-slike, transformator 1	21
Slika 15: IR-slike, transformator 2	21
Slika 16: Slike ohišja motorja	22
Slika 17: Slike hladilnika goriva	23
Slika 18: Slike izpuha.....	23
Slika 19: Slike baterij v baterijskem kabinetu naprave UPS.....	24
Slika 20: Povišana temperatura na prvi fazi	26
Slika 21: UPS – Stara ginekološka klinika	27
Slika 22: Termografska slika slabega spoja	31
Slika 23: Posledica slabih spojev	32
Slika 24: Sanacija okvare.....	32

KAZALO TABEL

Tabela 1: Emisivnost materialov	6
Tabela 2: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/mreža	25
Tabela 3: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/DEA.....	26
Tabela 4: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/UPS.....	27
Tabela 5: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/mreža	28
Tabela 6: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/DEA.....	29
Tabela 7: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/UPS.....	29
Tabela 8: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/mreža in DEA	30

POJMOVNIK

- **Infrardeče sevanje (IR-sevanje):** Elektromagnetno sevanje z valovnimi dolžinami med $0,78\ \mu\text{m}$ in $1000\ \mu\text{m}$, ki ga oddajajo telesa s temperaturo nad absolutno ničlo. Uporablja se za brezstično merjenje temperature v termografiji.
- **Emisivnost:** Sposobnost materiala, da oddaja toplotno sevanje. Vrednost emisivnosti (med 0 in 1) je odvisna od vrste in stanja površine materiala ter vpliva na natančnost termografskih meritev.
- **Toplotna anomalija:** Lokalno odstopanje temperature na površini električne komponente, ki lahko kaže na napake, kot so slabi stiki, preobremenitve ali degradacija materiala.
- **Nizkonapetostni razvod (NN-razvod):** Del elektroenergetskega sistema, ki distribuira električno energijo pri napetostih do 1 kV, običajno za napajanje porabnikov v zgradbah.
- **Dizelski električni agregat (DEA):** Rezervni vir električne energije, ki se samodejno vklopi ob izpadu glavnega napajanja in zagotavlja delovanje kritičnih sistemov.
- **UPS:** Naprava, ki zagotavlja neprekinjeno napajanje z električno energijo kritičnim porabnikom. UPS deluje s pomočjo baterij, ki premostijo časovno vrzel do vklopa rezervnega vira, kot je dizelski agregat.
- **Termografija:** Merilna metoda, ki temelji na zaznavanju infrardečega sevanja, ki ga oddajajo telesa.
- **Termovizija:** Postopek zajemanja termografskih slik s termovizijsko kamero.
- **Termogram:** Toplotna slika, pridobljena s termovizijsko kamero, ki prikazuje temperaturne razlike na površini objekta z barvno lestvico ali sivinskimi odtenki.

KRATICE IN AKRONIMI

- IR: Infrardeče sevanje – del elektromagnetnega spektra, ki se uporablja v termografiji za zaznavanje toplotnega sevanja.
- LWIR: Long-Wave Infrared – dolgovalovno infrardeče območje (8–14 μm), ki je ključno za termografske meritve v elektroenergetiki.
- UKC Ljubljana: Univerzitetni klinični center Ljubljana – zdravstvena ustanova, kjer so bile izvedene termografske meritve.
- UPS: Uninterruptible Power Supply – naprava za zagotavljanje neprekinjenega napajanja kritičnih sistemov.
- DEA: Dizelski električni agregat – rezervni vir električne energije, ki se vklopi ob izpadu glavnega napajanja.
- TP: Transformatorska postaja – postaja, ki pretvarja električno napetost in distribuira energijo v elektroenergetskem sistemu.
- NN: Nizkonapetostni – označuje električni razvod z napetostjo do 1 kV, ki se uporablja za napajanje porabnikov.
- RTP: Razdelilno-transformatorska postaja – postaja, ki povezuje sredjenapetostno omrežje z nizkonapetostnimi porabniki.
- SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition – sistem za daljinski nadzor in upravljanje elektroenergetskih naprav.

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

Zanesljivo in neprekinjeno napajanje z električno energijo je v bolnišničnem okolju ključnega pomena. Medicinske naprave, informacijski sistemi in drugi ključni elementi delovanja ustanove so neposredno odvisni od stabilnosti elektroenergetskega sistema. Vsaka, tudi kratkotrajna prekinitev oskrbe, lahko ogrozi zdravje in življenje pacientov ter povzroči škodo na opremi in motnje v delovnih procesih.

Elektroenergetski sistemi, zlasti v objektih z visoko stopnjo zahtevane zanesljivosti, kot so bolnišnice, morajo zato izpolnjevati najvišje standarde varnosti, vzdrževanja in nadzora. Toplotne nepravilnosti, ki nastanejo zaradi preobremenitev, slabih stikov ali obrabe materiala, so eden od pogostih predhodnih znakov možne okvare elektroenergetskih komponent. Te nepravilnosti lahko pogosto pravočasno zaznamo s termografijo – metodo, ki omogoča brezstično in neinvazivno zaznavanje toplotnih vzorcev na površinah naprav.

Termovizijska tehnologija kljub razpoložljivosti v naši ustanovi ni vključena v sistematičen nadzor elektroenergetskih sistemov. S tem se povečuje verjetnost, da ostanejo toplotne nepravilnosti neopažene, kar povečuje tveganje za izpade in s tem povezane stroške vzdrževanja ter morebitne okvare opreme.

1.2 Cilj naloge

Cilj naloge je raziskati uvedbo termovizijskega nadzora kot metodo za zgodnje zaznavanje napak v bolnišničnih elektroenergetskih sistemih, kjer je zanesljivo napajanje ključnega pomena. Termografija je obravnavana kot orodje preventivnega vzdrževanja, s katerim je mogoče pravočasno zaznati toplotne nepravilnosti in tako zmanjšati tveganje za izpade. V nalogi so predstavljena temeljna teoretična izhodišča infrardeče termografije in njena uporaba v elektroenergetiki s poudarkom na objektih z visoko potrebo po zanesljivem delovanju. Izvedljivost uvedbe rednih termovizijskih pregledov je analizirana na podlagi pregleda trenutnega stanja v bolnišnici. Prikazani so tudi primeri napak z diagnostično vrednostjo, kar omogoča oceno, kako učinkovita je termografija kot podporno orodje pri sistematičnem preventivnem vzdrževanju.

1.3 Predstavitev okolja

Za potrebe diplomske naloge smo izvedli termografijo elektroenergetskih prostorov in naprav, ki z električno energijo oskrbujejo klinike in druge objekte v okviru Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana. Sistem elektroenergetskih naprav je sestavljen iz več energetskega sklopov in objektov, ki zagotavljajo zanesljivo in neprekinjeno napajanje ključne medicinske opreme ter podpornih sistemov.

S termografskimi meritvami smo se osredotočili predvsem na transformatorsko postajo TP 0339, ki napaja Ginekološko kliniko. Posebno pozornost smo namenili nizkonapetostni postaji, dizelskemu električnemu agregatu in napravi UPS, saj ti elementi zagotavljajo stabilno oskrbo tudi med izpadom glavnega napajanja.

1.4 Predpostavke in omejitve

Pri obravnavi teme termovizijskega nadzora elektroenergetskih sistemov v bolnišnici je treba opredeliti nekatere ključne predpostavke in omejitve, ki vplivajo na izvedbo meritev, interpretacijo rezultatov ter širšo uporabnost ugotovitev. Na tem mestu lahko navedemo raziskovalna vprašanja ali hipoteze.

1.4.1 Predpostavke

- Zanesljivo delovanje elektroenergetskega sistema je za bolnišnico ključnega pomena, saj neposredno vpliva na varnost pacientov in delovanje vitalnih medicinskih naprav. Predpostavlja se, da morebitne skrite napake v sistemu (npr. slabi električni stiki, neuravnotežene obremenitve ali termično staranje opreme) lahko vodijo do lokalnih pregretij.
- Termovizijski nadzor omogoča pravočasno zaznavanje tovrstnih napak brez potrebe po zaustavitvi sistema ali prekinitvi napajanja, zato se predpostavlja, da gre za učinkovito in neinvazivno diagnostično metodo.
- Elektroenergetski sistem bolnišnice vsebuje ustrezne dostopne točke, ki omogočajo varno in smiselno izvajanje termovizijskih meritev.
- Pridobljeni termovizijski posnetki in podatki zanesljivo kažejo dejansko termično stanje posameznih komponent elektroenergetskega sistema med izvedbo meritev.

1.4.2 Omejitve

- Dostopnost merilnih mest je lahko omejena zaradi varnostnih in funkcionalnih zahtev, kar pomeni, da termovizije ni mogoče izvesti na vseh pomembnih točkah.
- Zanesljivost interpretacije rezultatov je omejena zaradi pomanjkanja predhodnih meritev, kar onemogoča primerjalno ali dolgoročno analizo trendov pri pregrevanju komponent.
- Meritve se izvajajo v omejenem časovnem obdobju, zato ni mogoče zajeti vpliva dolgoročnih sprememb, kot so sezonska nihanja obremenitev ali postopno staranje opreme.
- Zunanji vplivi (npr. prezračevanje, osvetlitev, vpliv sončne svetlobe v elektroenergetskih prostorih z okni) lahko v določenih primerih vplivajo na točnost in interpretacijo rezultatov termovizije.
- Zanesljivost identifikacije napak je deloma odvisna od izkušenosti osebe, ki izvaja pregled in interpretacijo, zato lahko subjektivnost vpliva na rezultate.
- Uporabljena termovizijska oprema je namenjena interni tehnični uporabi in ni bila laboratorijsko umerjena, zato izmerjene absolutne temperature morda niso povsem točne. Kljub temu pa naprava zanesljivo zaznava temperaturna odstopanja med komponentami, kar je za namen preventivnega vzdrževanja še vedno zelo uporabno.

1.5 Metode dela

Za doseg ciljev diplomske naloge bomo uporabili kombinacijo teoretičnih in praktičnih metod, ki omogočajo celovit pristop k obravnavi uporabe termovizije v elektroenergetskih sistemih bolnišničnega okolja. Delo bo potekalo v več korakih.

1.5.1 Pregled strokovne literature

V prvem koraku bomo pregledali strokovno literaturo s področja uporabe termografije v elektroenergetiki s poudarkom na delovanju infrardečih kamer, zajemu slik in prepoznavanju toplotnih nepravilnosti. Osredotočili se bomo na vire, ki opisujejo principe IR-meritev, emisivnost materialov in na priporočila za interpretacijo termogramov električne opreme. Namen pregleda je oblikovati teoretično podlago za razumevanje praktičnih meritev in omogočiti ustrezno analizo rezultatov termovizijskega pregleda.

1.5.2 Praktični termografski pregled

Sledi izvedba termografskega pregleda izbranih elektroenergetskih naprav v bolnišnici z uporabo infrardeče kamere Fluke Ti32. Meritve bodo potekale na napravah, ki so dostopne in delujejo v običajnih obratovalnih pogojih. Pri zajemu termogramov bomo upoštevali varnostne ukrepe ter obstoječe postopke vzdrževanja

in nadzora. Zajete slike bodo služile kot osnova za analizo temperaturnih razlik in prepoznavanje morebitnih toplotnih nepravilnosti, ki bi lahko kazale na napake v sistemu.

1.5.3 Analiza pridobljenih termogramov

Zajete termografske slike bomo analizirali z uporabo priložene programske opreme in na podlagi strokovnih priporočil za prepoznavanje nepravilnosti v elektroenergetskih sistemih. Posebno pozornost bomo namenili iskanju lokalnih temperaturnih odstopanj, ki lahko kažejo na preobremenitve, oslabele stike ali druge skrite napake. Pri interpretaciji rezultatov se bomo osredotočili predvsem na relativne temperaturne razlike, saj je kamera namenjena interni uporabi in ni umerjena za absolutne meritve. Kljub temu bo omogočala zanesljivo zaznavanje toplotnih anomalij.

1.5.4 Interpretacija in prikaz rezultatov

Dobljene rezultate termografske analize bomo prikazali s pomočjo slikovnega gradiva in opisov. Termogrami bodo dopolnjeni z označbami kritičnih območij in razlago opaženih temperaturnih nepravilnosti. Na podlagi analiziranih podatkov bomo podali oceno stanja posameznih naprav in navedli dele sistema, pri katerih so zaznana odstopanja. Namen tega koraka je prikazati uporabnost termovizije kot orodja za preventivno odkrivanje napak in prispevati k večji zanesljivosti elektroenergetskega sistema v bolnišničnem okolju.

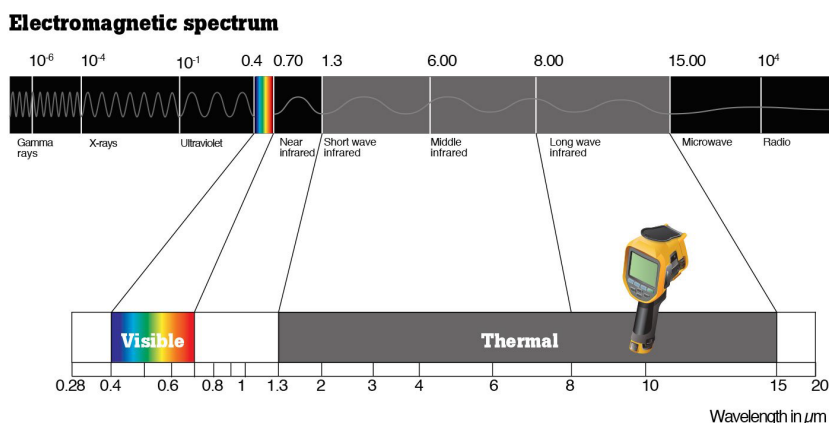
2 OSNOVE TERMOGRAFIJE

2.1 Kaj je termografija

Termografija je merilna metoda, ki omogoča vizualizacijo temperature površin brez neposrednega stika z objektom. Temelji na zaznavanju IR-sevanja, ki ga oddajajo vsa telesa s temperaturo nad absolutno ničlo. Večja kot je temperatura objekta, več IR-sevanja oddaja. S termokamero se to nevidno sevanje pretvori v vidno sliko – termogram, ki prikazuje temperaturne razlike med posameznimi deli opazovane površine. Termografija je posebej uporabna pri ugotavljanju lokalnih pregrevanj ali toplotnih izgub, saj omogoča hitro in varno zaznavanje težav, pogosto že v zgodnjih stopnjah, še preden pride do dejanskih okvar (Tršan in Božič, 2007).

2.2 Elektromagnetni spekter in IR-območje

Infrardeče sevanje je del elektromagnetnega spektra, ki leži med vidno svetlobo in mikrovalovi. Njegova valovna dolžina sega približno od 0,78 μm do 1000 μm . Za potrebe tehnične termografije je ključno predvsem dolgovalovno infrardeče območje (t. i. LWIR), ki obsega valovne dolžine med 8 μm in 14 μm . Prav v tem spektralnem pasu telesa pri temperaturi med 20 °C in 150 °C oddajajo največ toplotnega sevanja, zato je to območje najprimernejše za zaznavanje toplotnih razlik z IR-kamerami. Poleg tega zrak v tem območju dobro prepušča infrardeče valovanje, kar pomeni, da se toplotno sevanje na tej valovni dolžini minimalno izgublja zaradi vpliva atmosfere. Zaradi teh lastnosti večina sodobnih termovizijskih kamer deluje prav v območju od 8 μm do 14 μm , saj to omogoča natančne, zanesljive in brezkontaktne meritve temperature (Fluke Corporation, 2025).



Slika 1: Elektromagnetni spekter
(Vir: Fluke Corporation, 2025)

2.3 Sevanje in emisivnost

Vsa telesa, ki so toplejša od absolutne ničle, oddajajo energijo v obliki elektromagnetnega valovanja. Količina in valovna dolžina tega sevanja sta odvisni od temperature telesa. Zelo vroči predmeti sevajo tudi v vidnem spektru, zato jih lahko vidimo, medtem ko hladnejša telesa sevajo predvsem v infrardečem spektru, ki ga človeško oko ne zazna. Za zaznavo takega sevanja uporabljamo IR-kamere ali brezkontaktne termometre.

Ključen dejavnik pri pravilnem merjenju temperature je emisivnost, ki opisuje sposobnost telesa za sevanje toplotne energije. Emisivnost ni enaka za vse materiale in se lahko spreminja glede na stanje površine, kot so oksidacija, umazanost ali staranje. Neupoštevanje prave vrednosti emisivnosti lahko vodi do napačnih meritev in posledično nepravilne ocene stanja, kar lahko predstavlja tveganje za zanesljivo delovanje sistemov (Terming d.o.o., 2025).

Material	Emisivnost
Aluminij – poliran	0,05
Aluminij – oksidiran	0,25
Baker – poliran	0,02
Baker – oksidiran	0,65
Guma	0,93
Črna plastika	0,90–0,95
Keramika, porcelan	0,85–0,95
Matirane barve	0,80–0,95
Svetleče barve	$\geq 0,40$

Tabela 1: Emisivnost materialov
(Lastni vir)

2.4 Vplivi okolja in ozračja

Med objektom in kamero je običajno plast zraka, ki lahko vpliva na zanesljivost meritve. Prisotnost vlage, prahu, dima ali meglice lahko oslabi IR-sevanje, kar se na termogramu kaže kot zmanjšan kontrast ali dodatni šum. Zato je pri daljših razdaljah (med 10 m in 30 m) ali v slabših vremenskih razmerah treba upoštevati tudi izgube v ozračju. Sodobne termokamere omogočajo korekcijo teh vplivov z vnosom podatkov o razdalji, temperaturi zraka in relativni vlažnosti (Tršan in Božič, 2007).

2.5 Termokamera in termogram

Termokamera zaznava IR-sevanje in ga s pomočjo detektorja, elektronike in prikazovalnika pretvori v toplotno sliko. Na termogramu so temperaturne razlike

prikazane z barvno lestvico ali v sivinskih odtenkih. Bolj kot so barve kontrastne, večje so temperaturne razlike. Iz termograma lahko z ustrezno programsko opremo tudi kvantitativno odčitamo temperaturo v posameznih točkah. Za zanesljivo interpretacijo termogramov je poleg poznavanja principov merjenja potrebna tudi praksa, saj lahko na rezultat vplivajo številni dejavniki – od pravilne izbire emisivnosti do orientacije kamere in vplivov okolja (Tršan in Božič, 2007).



Slika 2: Termokamera
(Vir: Farnell, 2025)

2.6 Uporabnost termografije

Termografija je nepogrešljiva v številnih panogah, kot so elektroenergetika, gradbeništvo, industrijsko vzdrževanje, medicina, varnost, iskanje okvar, nadzor stanja stavb in še mnogo več. V elektroenergetiki se uporablja za pregled stikališč, kablov, transformatorskih postaj, tokovnih vodov in drugih naprav, kjer lahko pregretje pomeni morebitno napako. Termokamera omogoča hitro, varno in učinkovito odkrivanje teh točk brez prekinitve delovanja sistema (Tršan in Božič, 2007).

3 TERMOVIZIJA V ELEKTROENERGETSKIH SISTEMIH

3.1 Vloga termovizije pri vzdrževanju elektroenergetskih naprav

V elektroenergetskih sistemih je zanesljivo delovanje naprav ključno za zagotavljanje neprekinjene oskrbe z električno energijo. Sčasoma lahko zaradi staranja, mehanskih napak ali nepravilnih priključkov pride do pojava lokalnega pregrevanja, ki ga s prostim očesom ali klasičnimi metodami težko zaznamo. Termovizija predstavlja učinkovito diagnostično orodje, ki omogoča pravočasno odkrivanje morebitnih nevarnih mest, še preden pride do resnejših okvar.

Termografski pregled omogoča vizualizacijo temperaturnih razlik v delujočem sistemu brez potrebe po prekinitvi delovanja ali neposrednem stiku s komponentami. S tem je termovizija idealna metoda za preventivno vzdrževanje in nadzor, ki močno prispeva k povečanju zanesljivosti ter zmanjšanju stroškov zaradi nenačrtovanih izpadov (Sajko, 2008).

3.2 Zakonodaja in tehnični standardi

V Sloveniji ni zakona ali predpisa, ki bi izrecno zahteval uporabo termografije za nadzor električnih sistemov v javnih ustanovah, kot so bolnišnice ali šole. Obstajajo pa predpisi in tehnične smernice, kot sta Pravilnik o nizkonapetostnih inštalacijah in TSG-N-002:2021, ki določata, da morajo biti električne inštalacije redno pregledovane in vzdrževane za zagotavljanje varnosti ljudi in opreme.

Ob pregledu teh zahtev sem ugotovil, da infrardeča termografija kot diagnostična metoda zadostuje tem zahtevam, saj omogoča odkrivanje pregrevanja, slabih stikov in drugih nepravilnosti, ki jih standardni vizualni pregledi ali meritve napetosti ne zaznajo. Na ta način lahko sistematično preverimo stanje elektroenergetskih sistemov in izpolnimo zahteve zakonodaje ter tehničnih smernic.

3.3 Pregrevanje in njegove značilnosti

Pregrevanje je pogosto prvi pokazatelj napake v električni napravi. Najpogostejši vzroki so:

- povečani kontaktni upori (npr. zaradi slabo privijačenih spojev),
- oksidacija kontaktnih površin,
- preobremenitve vodnikov ali komponent,
- neenakomerno obremenjene faze,
- toplotno staranje izolacije ali povezovalnih elementov.

Ta mesta se na termogramu običajno pojavijo kot svetlejšje lise, kar pomeni višjo temperaturo v primerjavi z okolico. Zgodnje odkrivanje takšnih odstopanj omogoča pravočasno ukrepanje in preprečitev resnih okvar ali celo požara (Sajko, 2008).

3.4 Pomembnost pravilne interpretacije

Za pravilno interpretacijo termografskih posnetkov je treba razumeti celoten kontekst merjenja. Temperaturno odstopanje samo po sebi še ne pomeni nujno okvare – pomembno je, kje v sistemu se pojavi, kako veliko je odstopanje in ali je v skladu z obremenitvijo komponente.

Poleg tega moramo pri interpretaciji upoštevati emisivnost površin, okoljske pogoje in simetrijo sistema (npr. primerjava faz v trifaznem sistemu). Zato je priporočljivo, da termografske preglede opravlja ali vsaj analizira strokovnjak, ki pozna tako princip delovanja naprav kot fizikalne osnove IR-merjenja (Sajko, 2008).

3.5 Primeri uporabe v elektroenergetiki

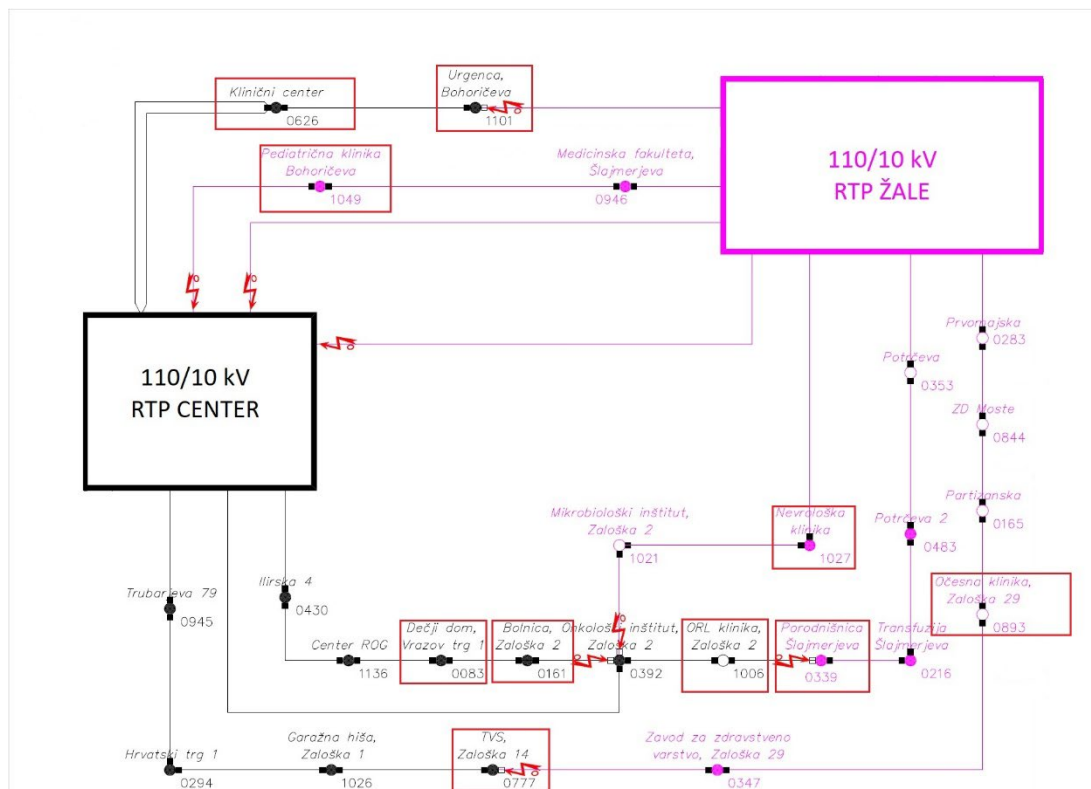
Termovizija se v praksi uporablja za nadzor:

- nizko- in srednjenapetostnih razdelilnikov,
- transformatorjev in njihovih priključkov,
- kablov in kabelskih spojk,
- stikal in odklopnikov,
- varovalk, kontaktorjev, tokovnih vodov,
- ozemljitvenih sistemov.

Zelo pogosto se uporablja tudi pri nadzoru sončnih elektrarn, kjer je treba preverjati delovanje posameznih panelov in povezav, ter v industrijskih objektih in bolnišnicah, kjer je zanesljivo napajanje ključnega pomena (Sajko, 2008).

3.6 Praktične prednosti termovizije

Termografski pregled električnega sistema se lahko izvede hitro, brez prekinitve delovanja in brez stika z opremo. Operaterju omogoča takojšen vpogled v trenutno stanje brez potrebe po razstavljanju komponent. Uporaba termovizije zmanjšuje potrebo po pogostem fizičnem preverjanju naprav in omogoča usmerjeno vzdrževanje, kar povečuje učinkovitost delovanja celotnega sistema (Sajko, 2008).



Slika 3: Shema SN-napajanja
(Lastni vir)

4 ZNAČILNOSTI ELEKTROENERGETSKEGA SISTEMA BOLNIŠNICE

V Univerzitetnem kliničnem centru Ljubljana, ki obsega več kot dvajset medicinskih in podpornih objektov, je zanesljiva in neprekinjena oskrba z električno energijo ključnega pomena za varno in učinkovito delovanje. Elektroenergetski sistem je zasnovan tako, da omogoča stabilno napajanje vseh teh objektov, hkrati pa je prilagodljiv in ima možnost hitrega preklopa na rezervne vire med izpadom javnega omrežja.

Za zanesljivo delovanje in varno oskrbo z električno energijo skrbimo zaposleni v enoti Elektroenergetski viri, saj izvajamo nadzor in upravljanje celotnega energetskega sistema UKC Ljubljana.

4.1 Dvostransko SN-napajanje

Večina objektov UKC Ljubljana je napajanih iz dveh ločenih smeri, kar pomeni, da smo del zazankanega sredjenapetostnega omrežja, ki nudi visoko zanesljivost obratovanja. Vpeti smo med dve razdelilno-transformatorski postaji – RTP Center in

RTP Žale. To pomeni, da lahko objekti med izpadom enega vira še naprej nemoteno delujejo, saj se napajanje preklopi na drugo smer. Napajanje poteka bodisi iz RTP Center bodisi iz RTP Žale, odvisno od trenutne konfiguracije in stanja v omrežju.

4.2 Transformatorske postaje in stikališča

V enoti Elektroenergetski viri upravljamo trinajst transformatorskih postaj, ki so razporejene po celotnem kompleksu. Nekatere transformatorske postaje so namenjene oskrbi več objektov, druge pa napajajo izključno posamezne stavbe. V stikališčih so nameščena mrežna polja, ki v normalnih pogojih omogočajo napajanje porabnikov iz distribucijskega omrežja. Poleg njih so tudi agregatska polja, ki omogočajo prekop na rezervno napajanje med izpadom zunanjega vira.

Preklapljanje med virom iz omrežja in agregatom je avtomatizirano. S tem je omogočeno, da prekop na agregatno napajanje poteka hitro in brez ročnega posega operaterja.

4.3 Rezervno napajanje

Za rezervno napajanje je na voljo petnajst dizelskih agregatov, ki med izpadom zunanjega napajanja zagotavljajo delovanje najpomembnejših sistemov. Zaženejo se samodejno ob zaznavi izpada, običajno v 15 sekundah ali hitreje. Poleg tega so nekateri najkritičnejši sistemi, kot so operacijski oddelki, oddelki intenzivne nege, komunikacijska vozlišča in še nekateri drugi, dodatno podprti z neprekinjenimi napajalniki (UPS), ki zagotavljajo takojšnjo premostitev časovne vrzeli med izpadom in vklopom agregata.

4.4 Nadzor, zaščita in vzdrževanje

Celoten elektroenergetski sistem je pod stalnim nadzorom enote Elektroenergetski viri in je opremljen z zaščitnimi napravami, kot so nadtokovne zaščite, prenapetostne zaščite in temperaturni senzorji. Z izjemo nekaj starejših sistemov je povsod vgrajen tudi daljinski nadzor SCADA, ki omogoča hitro odzivanje na napake.

Redno preventivno vzdrževanje je zaradi kompleksnosti sistema in občutljivosti uporabnikov ključnega pomena. Vizualni pregled posameznih transformatorskih postaj, stikališč, dizelskih agregatov in naprav za neprekinjeno napajanje izvajamo vsakodnevno.

5 PRAKTIČNI DEL

V praktičnem delu diplomske naloge se bom osredotočil na transformatorsko postajo TP 0339, ki z električno energijo oskrbuje Ginekološko kliniko in dva pripadajoča objekta: Staro ginekološko kliniko in Leonišče. Transformatorska postaja je v pritličju ginekološke klinike in zagotavlja zanesljivo oskrbo porabnikov z električno energijo.

TP 0339 je starejša transformatorska postaja. V njej so pretežno starejše elektroomare, ki omogočajo dobre pogoje za termografijo, saj deli pod napetostjo v notranjosti omare niso prekriti z zaščitami pred dotikom. Zato je bila izbrana kot osrednji primer za termografski pregled. Pregled bo zajemal glavne elektroenergetske komponente, kot so transformator, nizkonapetostna razdelilna plošča, sistem UPS in agregat. Na podlagi opravljenih meritev in analiz bo izdelano celovito termografsko poročilo z vizualnimi prikazi in interpretacijo rezultatov.

Termografski pregled bom izvedel tudi v drugih objektih bolnišnice. Če bodo tam zaznane posebnosti, temperaturna odstopanja ali morebitne napake, jih bom vključil v diplomsko nalogo kot dopolnilne primere, ki dodatno poudarijo pomen rednega termografskega nadzora v elektroenergetskih sistemih.

Cilj praktičnega dela je na primeru prikazati uporabnost termografije kot diagnostičnega orodja za zgodnje odkrivanje napak ter prispevati k večji varnosti in zanesljivosti elektroenergetskih sistemov v zdravstvenih ustanovah.

5.1 Predstavitev objekta in transformatorske postaje TP 0339

Transformatorska postaja TP 0339 je v kleti ginekološke klinike, ki sodi v sklop Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana. V SN-omrežju je umeščena med TP 1006, ki napaja kliniko ORL, in TP 0216, ki napaja zavod za transfuzijo.

Postaja z električno energijo oskrbuje Ginekološko kliniko, Staro ginekološko kliniko in Leonišče. V teh objektih so oddelki, kjer se izvajajo diagnostični, terapevtski in operacijski postopki, za katere je zanesljivost napajanja zelo pomembna.

V postaji imamo dva transformatorja nazivne moči 630 kVA, ki zaradi specifičnih okoliščin delujeta ločeno. Če bi bilo potrebno, bi lahko en transformator prevzel celotno breme postaje.



*Slika 4: Napisna tablica TR2
(Lastni vir)*



*Slika 5: Transformator
(Lastni vir)*

Dizelski električni agregat (DEA) moči 400 kVA poskrbi za nujne porabnike med izpadom mrežne energije.



*Slika 6: Dizelski električni agregat
(Lastni vir)*

Najnужnejši porabniki se napajajo z napravo za neprekinjeno napajanje. V kleti Ginekološke klinike je modularni UPS s sedmimi moduli po 20 kVA (skupaj 140 kVA), v objektu Stara ginekološka klinika je modularni UPS z dvema moduloma po 20 kVA (skupaj 40 kVA).



*Slika 7: UPS, Ginekološka klinika
(Lastni vir)*



*Slika 8: UPS, Stara ginekološka klinika
(Lastni vir)*

Na Ginekološki kliniki, ki je glavni objekt, je preklopno polje, ki služi avtomatskemu preklopu iz mrežnega vira na agregatski vir. Omogoča tudi ročno manipulacijo in obvod med servisnimi deli na stikalih, ki jih vodi avtomatika.



*Slika 9: Preklopno polje
(Lastni vir)*

Za razdeljevanje električne energije porabnikom so vgrajene razdelilne omare, ki jih delimo na dva dela. Prvi del je mrežni, drugi pa agregatski. Agregatski del je v normalnih razmerah napajan iz omrežja, med izpadom pa avtomatika preklopi na agregatski vir.



Slika 10: Razdelilne omare (agregat)
(Lastni vir)



Slika 11: Razdelilne omare (mreža)
(Lastni vir)

Porabniki, ki se napajajo prek naprave UPS, imajo ločeno razdelilno omaro v prostoru poleg nje.

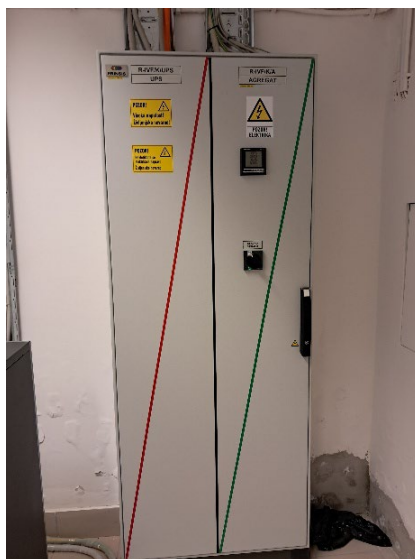


*Slika 10: Razdelilne omare (UPS)
(Lastni vir)*

Na Stari ginekološki kliniki je manjši energetski prostor, v katerem sta mrežni in agregatski razvod, razvod UPS je poleg naprave UPS.

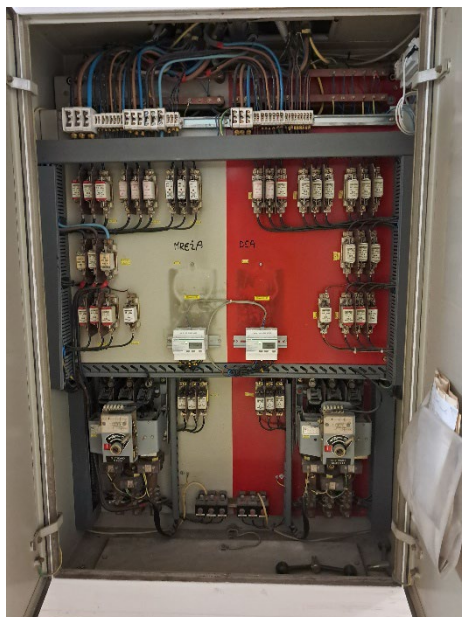


*Slika 12: Razvod UPS – Stara ginekološka klinika
(Lastni vir)*



*Slika 11: Elektro prostor Stare ginekološke klinike
(Lastni vir)*

Leonišče se napaja iz glavne razdelilne omare, kjer sta agregatski in mrežni razvod.



*Slika 13: Razdelilna omara – Leonišče
(Lastni vir)*

5.2 Metodologija termografskega pregleda

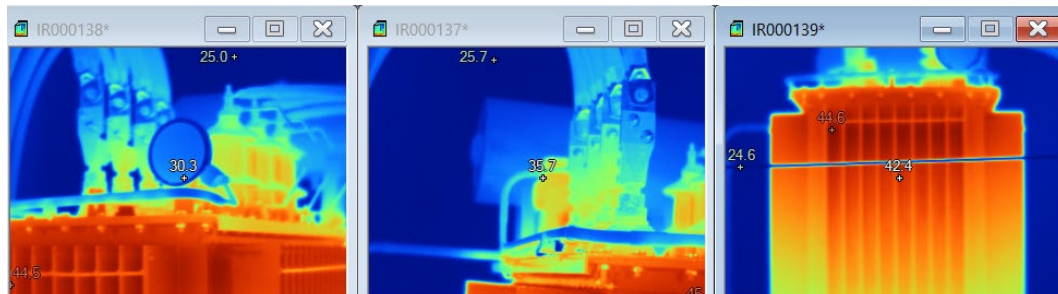
Za termografski pregled je bila uporabljena termokamera Fluke Ti32, ki omogoča zajem termalnih slik z ločljivostjo 320 × 240 pik. Temperaturni razpon kamere je od – 20 °C do +600 °C, kar omogoča spremljanje širokega spektra temperature v elektroenergetskih postrojih. Termografska kamera, uporabljena pri termografskem pregledu, je last podjetja in ni kalibrirana. Kamera je namenjena internemu nadzoru sistema, zato je pomembno le, da zazna temperaturna odstopanja, saj ta nakazujejo morebitne težave v sistemu. Natančna vrednost izmerjene temperature ni bila pomembna, saj je cilj prepoznati relativne razlike in nepravilnosti, ki omogočajo učinkovito spremljanje stanja opreme.

Posnete slike so bile ustrezno obdelane s programsko opremo SmartView. Meritve so bile opravljene julija in avgusta. Temperatura energetskih prostorov je bila približno 24 °C. Objekt je bil med meritvami normalno obremenjen.

Nekateri deli sistema so bili izključeni iz termografskega pregleda zaradi njihove nedostopnosti ali ker so bili zakriti z zaščitami, ki preprečujejo neposredni dotik, kar predstavlja omejitev pri celoviti oceni stanja sistema.

5.3 Rezultati termografskega pregleda – Ginekološka klinika

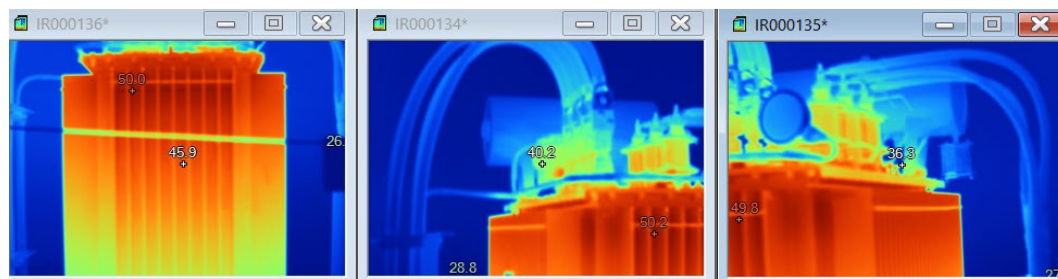
5.3.1 Transformator 1



Slika 14: IR-slike, transformator 1
(Lastni vir)

Na IR-slikah vidimo, da je temperaturna porazdelitev obremenjenega oljno hlajenega transformatorja pri obremenitvi normalna. Najvišje temperature so na zgornjem delu hladilnega sistema (okoli 45 °C), kar ustreza naravnemu gibanju segretega olja. Izrazitih lokalnih pregrevanj, ki bi nakazovala na napake, ni zaznati.

5.3.2 Transformator 2



Slika 15: IR-slike, transformator 2
(Lastni vir)

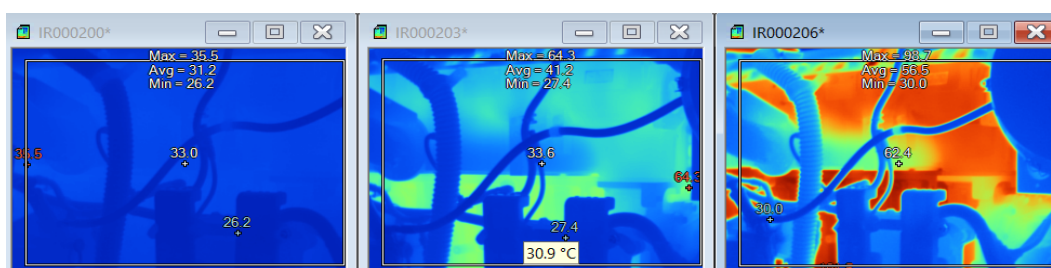
Na IR slikah vidimo, da je temperaturna porazdelitev obremenjenega oljno hlajenega transformatorja normalna. Najvišje temperature so izmerjene na zgornjem delu hladilnega sistema (okoli 50 °C), kar ustreza naravnemu gibanju segretega olja proti vrhu. Lokalnih pregrevanj, ki bi kazala na morebitne napake ali nepravilno delovanje, ni zaznati.

5.3.3 Agregat

Elektroagregat je bil s termovizijskim pregledom posnet v treh različnih obratovalnih stanjih. Prvo slikanje je bilo izvedeno v mirovanju, ko agregat ni bil vključen. Drugo slikanje je bilo opravljeno po desetih minutah delovanja brez bremena, kar je omogočilo opazovanje segrevanja posameznih komponent v prostem teku. Tretje

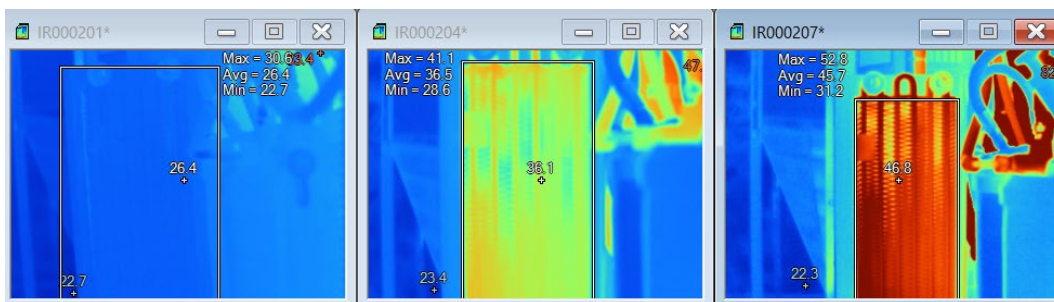
slikanje je bilo opravljeno po desetih minutah delovanja z 22-odstotno obremenitvijo, pri čemer je agregat deloval v paralelnem režimu z elektroenergetsko mrežo. Stopnja obremenjenosti agregata v paralelnem režimu je nastavljena s strani serviserja in je ni mogoče spreminjati.

V nadaljevanju bodo predstavljene temperaturne razlike na izbranih delih agregata, kar omogoča primerjavo toplotnih sprememb glede na obratovalno stanje in obremenitev naprave. Meritve so za boljšo preglednost razdeljene po posameznih delih agregata, pri čemer so za vsak del prikazane termovizijske slike v vseh treh obratovalnih stanjih skupaj z analizo zaznanih temperaturnih razlik.



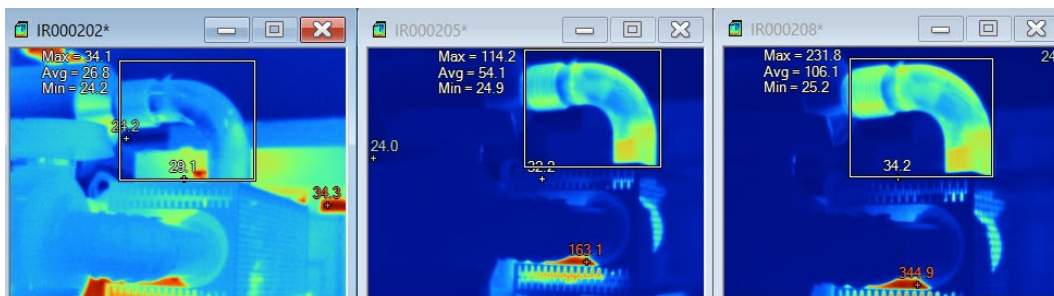
*Slika 16: Slike ohišja motorja
(Lastni vir)*

Na prvem posnetku, ki prikazuje ohišje dizelskega motorja elektroagregata v mirovanju, so temperature razmeroma nizke, saj najvišja izmerjena vrednost znaša 35,5 °C, povprečna 31,2 °C, najnižja pa 26,2 °C. Nizke temperature kažejo, da motor v tem času ni bil v delovanju, zaznana toplota pa izvira iz ogrevalnega sistema, saj je agregat stalno ogrevan. Na drugem posnetku, ki je bil narejen po desetih minutah delovanja brez bremena, so temperature že bistveno višje. Najvišja izmerjena vrednost znaša 64,3 °C, povprečna 41,2 °C, najnižja pa 27,4 °C. Na tretjem posnetku, ki prikazuje motor po desetih minutah delovanja z 22-odstotno obremenitvijo, so temperature najvišje. Najvišja izmerjena vrednost doseže 98,7 °C, povprečna 56,6 °C, najnižja pa 30,0 °C. Segrevanje je v tem stanju izrazito in z lokalnimi toplotnimi vrhovi, kot je točka s temperaturo 87,6 °C, kar kaže na večjo obremenjenost elektroagregata. Temperaturna razlika med minimalno in maksimalno vrednostjo je velika, ker so najnižje temperature izmerjene na plastičnih delih motorja, ki so slabše toplotno prevodni. Primerjava vseh treh stanj jasno potrjuje postopno in izrazito naraščanje temperature ob prehodu iz mirovanja v delovanje brez bremena ter nato v delovanje z obremenitvijo.



Slika 17: Slike hladilnika goriva
(Lastni vir)

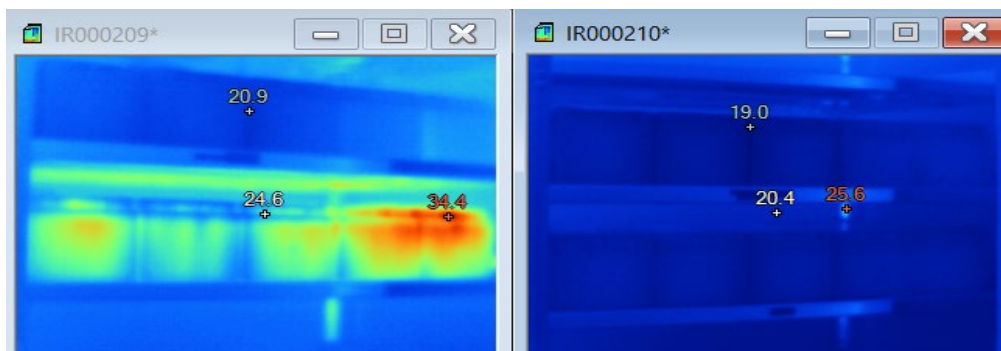
Na prikazani termografiji so trije posnetki hladilnika goriva v različnih obratovalnih stanjih. Hladilnik preprečuje pregrevanje goriva, saj lahko to pri višjih temperaturah spremeni svojo viskoznost in postane preveč tekoče. To lahko vpliva na kakovost vbrizga in izgorevanja. V prvem stanju ima površina toplotnega izmenjevalca nizko temperaturo, povprečno okoli 26,4 °C, z minimalno vrednostjo 22,7 °C, kar kaže na manjšo toplotno obremenitev hladilnika. V drugem stanju se povprečna površinska temperatura zviša na 36,5 °C, z največjo vrednostjo 41,1 °C, kar pomeni, da hladilnik zaradi višje temperature goriva odvaža več toplote. V tretjem stanju površina doseže povprečno temperaturo 45,7 °C in najvišjo izmerjeno vrednost 52,8 °C, pri čemer je toplotni izmenjevalec močno termično obremenjen, kar je razvidno iz izrazite razlike v temperaturi med hladilnimi rebri in okolico.



Slika 18: Slike izpuha
(Lastni vir)

Na termičnih posnetkih so prikazana tri različna obratovalna stanja izpušne cevi dizelskega motorja. Prva slika (najvišja temperatura 34,3 °C) prikazuje stanje pri mirovanju, ko temperatura cevi ostaja nizka in enakomerno porazdeljena. Druga slika (najvišja temperatura 163,1 °C) prikazuje delovanje motorja brez bremena, pri čemer se temperatura cevi občutno poveča zaradi pretoka izpušnih plinov. Tretja slika (najvišja temperatura 344,9 °C) prikazuje delovanje motorja pod obremenitvijo, pri čemer so visoke temperature pričakovane zaradi večje količine in temperature izpušnih plinov.

5.3.4 UPS



*Slika 19: Slike baterij v baterijskem kabinetu naprave UPS
(Lastni vir)*

Na levi termografski sliki je razvidno, da ima spodnji niz baterij dve izrazito toplejši bateriji. Njuna temperatura (do 34,4 °C) odstopa od ostalih baterij v istem nizu, ta se giblje med 20,9 °C in 24,6 °C. Takšno odstopanje je najpogostejše posledica povišane notranje upornosti okvarjenih baterij, kar vodi do večjih izgub toplote pri obratovanju. Na desni sliki so vse baterije v normalnem temperaturnem območju (19,0 °C do 25,6 °C) brez znakov pregrevanja. Iz termovizijske analize lahko sklepamo, da je prišlo do okvare dveh baterij v spodnjem nizu na levi sliki. Takšna okvara lahko negativno vpliva na celoten niz in lahko povzroči zmanjšano avtonomijo sistema. Delovanje v takem stanju ne zagotavlja polne avtonomije, zato je priporočljiva zamenjava poškodovanih baterij.

5.3.5 NN-razvod

Termografski pregled je bil izveden na celotnem NN-razvodu, ki je razdeljen na mrežni, agregatski in razvod UPS. Pregled je zajel vse glavne odcepe ter pripadajoča stikalna mesta. Namen pregleda je bil zaznati morebitna temperaturna odstopanja, ki bi lahko kazala na mehanske okvare, slabe kontakte ali druge anomalije v obratovanju elektroenergetskih elementov.

Med pregledom je bilo pridobljeno večje število termografskih posnetkov. Ker večina pregledanih elementov ni kazala posebnosti, v nadaljevanju niso vključene vse slike, temveč le izbrani primeri. Za celovitost so rezultati vseh pregledanih odcepov povzeti v preglednici, kjer so prikazane izmerjene temperature in ocena stanja (brez posebnosti, zaznano odstopanje, okvara). Na ta način je zagotovljena preglednost rezultatov.

Stikalo/odcep	Najv. t. (°C)	Povpr. t. (°C)	Ocena stanja
1Q1	32,2	28,5	Brez posebnosti
1Q2	34,1	27,9	Brez posebnosti
1Q3	30,6	26,7	Brez posebnosti
1Q4	30,3	26,5	Brez posebnosti
2Q1	29,9	26,6	Brez posebnosti
2Q2	29,6	26,7	Brez posebnosti
2Q3	29,3	26,6	Brez posebnosti
2Q4	30,5	26,0	Brez posebnosti
3Q1	31,3	25,9	Brez posebnosti
4Q1	30,1	26,8	Brez posebnosti
4Q2	30,3	27,4	Brez posebnosti
4Q4	35,7	26,9	Brez posebnosti
5Q1	28,2	25,2	Brez posebnosti
5Q2	30,0	25,3	Brez posebnosti
6Q1	28,6	25,9	Brez posebnosti
6Q2	30,0	26,1	Brez posebnosti
6Q3	30,7	28,9	Brez posebnosti
6Q4	28,2	25,3	Brez posebnosti
7Q2	32,7	26,4	Brez posebnosti
7Q3	30,4	26,5	Brez posebnosti
8Q4	30,3	26,6	Brez posebnosti
8Q1	31,5	26,6	Brez posebnosti
8Q2	29,7	26,2	Brez posebnosti
8Q3	31,5	25,6	Brez posebnosti

*Tabela 2: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/mreža
(Lastni vir)*

Tabela 2 prikazuje najvišje in povprečne temperature posameznih stikal nizkonapetostnega mrežnega razvoda, izmerjene s termografskim pregledom elektroenergetskega sistema. Najvišje vrednosti segajo od 28,2 °C do 35,7 °C, povprečne pa od 25,2 °C do 28,9 °C. Vse izmerjene temperature so razmeroma nizke in so znotraj pričakovanih obratovalnih mej za obravnavane elemente. Najvišja zabeležena temperatura (35,7 °C) pri stikalu 4Q4 nekoliko izstopa glede na druge rezultate, vendar še vedno ne presega vrednosti, ki bi kazale na pregrevanje ali povečano tveganje za okvaro.

Na podlagi opravljenih meritev in vizualne analize termografskih posnetkov so bila vsa stikala ocenjena kot »brez posebnosti«, kar pomeni, da trenutno ni zaznati znakov povečane električne upornosti, slabih kontaktov ali mehanskih poškodb, ki bi se lahko kazali v obliki lokalnega temperaturnega odstopanja. Rezultati potrjujejo, da je stanje

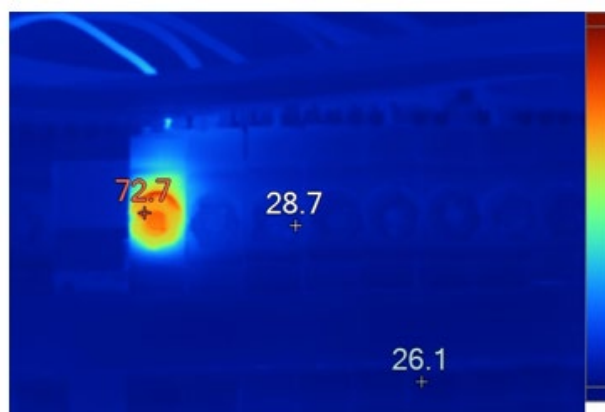
pregledanih stikal zadovoljivo in da med meritvami niso bili prisotni toplotni pojavi, ki bi zahtevali dodatne korektivne ukrepe.

Stikalo/odcep	Najv. t. (°C)	Povpr. t. (°C)	Ocena stanja
VAROVALKE	72,7	28,8	Zaznano odstopanje
9Q1	34,5	26,9	Brez posebnosti
9Q2	34,8	26,8	Brez posebnosti
9Q3	32,0	25,8	Brez posebnosti
9Q4	28,0	25,4	Brez posebnosti
9Q5	28,1	25,1	Brez posebnosti

Tabela 3: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/DEA
(Lastni vir)

Tabela 3 prikazuje najvišje in povprečne temperature posameznih stikal in varovalk nizkonapetostnega agregatskega razvoda, izmerjene s termografskim pregledom elektroenergetskega sistema. V tem razvodu je poleg večjih porabnikov, ki se napajajo prek stikalnih odklopnikov, priključenih več manjših porabnikov, ki so zaščiteni s talilnimi varovalkami D01. Večina izmerjenih temperatur posameznih stikal se giblje med 28,0 °C in 34,8 °C, kar ustreza normalnemu obratovalnemu stanju in ne kaže znakov povišanih izgub ali morebitnih napak.

Posebej pa izstopa meritev na sklopu talilnih varovalk, kjer je bila zabeležena najvišja temperatura 72,7 °C, kar je občutno višje od povprečnih vrednosti drugih elementov. Razlog za povišano temperaturo je bil slab stik na varovalnem podnožju. Navojna kapa varovalnega podnožja, kamor se namesti talilna varovalka, je bila nezadostno privita. Po privitju navojne kape je stik ustrezno zagotovljen in temperatura se giblje v mejah normalnih vrednosti.



Slika 20: Povišana temperatura na prvi fazi
(Lastni vir)

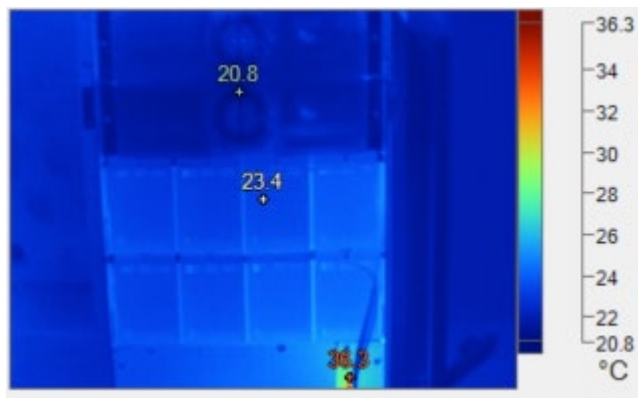
Stikalo/odcep	Najv. t. (°C)	Povpr. t. (°C)	Ocena stanja
Q1	27,4	23,9	Brez posebnosti
Q2	27,2	23,6	Brez posebnosti
Q3	27,2	23,4	Brez posebnosti
Q4	26,4	22,8	Brez posebnosti
Q5	26,1	22,3	Brez posebnosti
Q6	25,9	22,1	Brez posebnosti
Q7	25,2	21,8	Brez posebnosti
F7.1–F7.8	25,8	21,3	Brez posebnosti

Tabela 4: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/UPS
(Lastni vir)

Tabela 4 prikazuje najvišje in povprečne temperature posameznih stikal in varovalk nizkonapetostnega razvoda UPS, izmerjene s termografskim pregledom elektroenergetskega sistema. Izmerjene temperature posameznih stikal in varovalk so v mejah normalnega obratovanja in ne kažejo posebnosti. Opaziti je majhno temperaturno razliko med zgornjim in spodnjim delom omare. Izmerjena temperatura je v zgornjem delu malenkost višja in se niža proti spodnjemu delu. Celoten razvod je glede na nizke absolutne vrednosti in majhne razlike med posameznimi elementi brez posebnosti.

5.4 Rezultati termografskega pregleda – Stara ginekološka klinika

5.4.1 UPS



Slika 21: UPS – Stara ginekološka klinika
(Lastni vir)

Na termografski sliki je prikazana omara UPS z dvema moduloma moči po 20 kVA in sprednja stran dveh baterijskih setov. Izmerjene temperature na površinah modulov in baterijskih enot se gibljejo med 20,8 °C in 23,4 °C, kar je v mejah normalnega obratovanja in ne kaže posebnosti. Najvišja temperatura (36,3 °C) je zaznana na spodnjem desnem delu slike zaradi vpliva indikatorske lučke, ki zaradi lastnega IR-

sevanja povzroča lokalno povišano vrednost na termogramu. Termografija sistema UPS ni pokazala temperaturnih odstopanj.

5.4.2 NN-razvod

Razvod je zasnovan podobno kot na Ginekološki kliniki in je razdeljen na mrežni, agregatski ter razvod UPS. Pregled je obsegal vse glavne odcepe in pripadajoča stikalna mesta, da bi zaznali morebitna temperaturna odstopanja, ki bi lahko nakazovala na mehanske poškodbe, povečane prehodne upore ali druga odstopanja v delovanju elektroenergetskih elementov. Opravljeno je bilo večje število meritev in termografskih posnetkov. Rezultati vseh pregledanih odcepov so predstavljeni v tabelah s prikazom izmerjenih temperatur in oceno stanja (brez posebnosti, zaznana odstopanje, okvara).

Stikalo/odcep	Najv. t. (°C)	Povpr. t. (°C)	Ocena stanja
Q0	31,8	25,2	Brez posebnosti
F11	32,0	26,3	Brez posebnosti
Q2	31,1	26,7	Brez posebnosti
Q3	30,6	26,4	Brez posebnosti
Q4	28,6	25,5	Brez posebnosti
Q8	30,5	25,1	Brez posebnosti
Q7	30,7	25,5	Brez posebnosti
Q9	31,7	25,6	Brez posebnosti

*Tabela 5: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/mreža
(Lastni vir)*

Tabela 5 prikazuje najvišje in povprečne temperature posameznih stikal nizkonapetostnega mrežnega razvoda. Temperature se gibljejo med 28,6 °C in 32,0 °C, povprečne vrednosti so med 25,1 °C in 26,7 °C. Vsi rezultati so v mejah normalnega obratovanja in ne kažejo posebnosti. Rahla odstopanja med najvišjimi temperaturami so zanemarljiva in se lahko pripišejo različnim obremenitvam posameznih odcepov ter vplivom prostorske razporeditve v omari. Na podlagi opravljenih meritev ni zaznanih nepravilnosti.

Stikalo/odcep	Najv. t. (°C)	Povpr. t. (°C)	Ocena stanja
Q0	31,4	25,1	Brez posebnosti
F11	40,5	25,5	Brez posebnosti
F15	31,8	25,4	Brez posebnosti
Q1	30,2	24,7	Brez posebnosti
Q2	33,0	24,9	Brez posebnosti
Q3	34,0	24,9	Brez posebnosti
Q4	33,2	24,8	Brez posebnosti
Q6	34,1	24,6	Brez posebnosti
Q5	31,9	24,8	Brez posebnosti
Q8	32,9	24,6	Brez posebnosti
Q17	32,9	24,5	Brez posebnosti
Q18	30,7	24,4	Brez posebnosti
Q19	33,3	24,4	Brez posebnosti
F16	31,5	25,2	Brez posebnosti

Tabela 6: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/DEA
(Lastni vir)

Tabela 6 prikazuje najvišje in povprečne temperature posameznih stikal in varovalk nizkonapetostnega agregatskega razvoda. Meritve so pokazale vrednosti med 30,2 °C in 34,1 °C s povprečnimi temperaturami med 24 °C in 25 °C, kar je v mejah normalnega obratovanja. Izjema je odcep F11 z zaznano najvišjo temperaturo 40,5 °C. Kljub nekoliko višji vrednosti ta temperatura še vedno ne presega dopustnih obratovalnih mej, zato je element ocenjen kot brez posebnosti. Razlike med posameznimi odcepi so povezane predvsem z obremenitvijo in naravno porazdelitvijo toplote v omari; na podlagi tega ni znakov nepravilnosti.

Stikalo/odcep	Najv. t. (°C)	Povpr. t. (°C)	Ocena stanja
UF7	32,6	21,2	Brez posebnosti
UF7.1–7.8	34,8	21,0	Brez posebnosti
UF2	31,4	20,5	Brez posebnosti
UF3	31,3	21,5	Brez posebnosti

Tabela 7: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/UPS
(Lastni vir)

Tabela 7 prikazuje najvišje in povprečne temperature posameznih stikal in varovalk nizkonapetostnega razvoda UPS. Vsi merjeni elementi so v dobrem stanju. Najvišje temperature nekoliko bolj odstopajo od povprečnih, kar je posledica pritrdjenosti elementov na svetlečo ploščo iz nerjavečega jekla. Nizka emisivnost ozadja v primerjavi s črno plastiko elementov povzroča večji razpon zaznanih temperatur, pri čemer te najvišje vrednosti dejansko ne kažejo resnične temperature elementov. Povprečne temperature bolje prikazujejo resnična temperaturna stanja elementov.

5.5 Rezultati termografskega pregleda – Leonišče

Razvod v Leonišču zajema eno razdelilno omaro, ki je razdeljena na agregatski in mrežni del. Pregled je obsegal dovodni stikali in vse glavne odcepe, da bi zaznali morebitna temperaturna odstopanja, ki bi lahko kazala na odstopanja v delovanju elektroenergetskih elementov. Tudi v tem primeru je bilo opravljeno večje število meritev in termografskih posnetkov. Rezultati obeh delov razdelilne omare so predstavljeni v tabeli, kjer so prikazane izmerjene najvišje in povprečne temperature ter ocena stanja elementov.

Stikalo/odcep	Najv. t. (°C)	Povpr. t. (°C)	Ocena stanja
F4	31,8	29,1	Brez posebnosti
F5	34,3	28,4	Brez posebnosti
F6	33,9	27,9	Brez posebnosti
F1	31,4	27,0	Brez posebnosti
F3	33,6	26,7	Brez posebnosti
Glavno stikalo M.	28,5	25,2	Brez posebnosti
Glavno stikalo A.	28,8	25,4	Brez posebnosti
F10	34,3	27,7	Brez posebnosti
F11	30,5	27,1	Brez posebnosti
F12	36,2	26,8	Brez posebnosti
F13	31,5	26,3	Brez posebnosti
F9	31,9	26,7	Brez posebnosti

*Tabela 8: Rezultati termografskega pregleda NN-razvoda/mreža in DEA
(Lastni vir)*

Tabela 8 prikazuje najvišje in povprečne temperature posameznih stikal in varovalk nizkonapetostnega razvoda v Leonišču. Vsi merjeni elementi razdelilne omare so v dobrem stanju. Najvišje temperature se gibljejo med 28,5 °C in 36,2 °C, povprečne pa med 25,2 °C in 29,1 °C. Na podlagi opravljenih meritev ni zaznanih nepravilnosti.

5.6 Analiza rezultatov

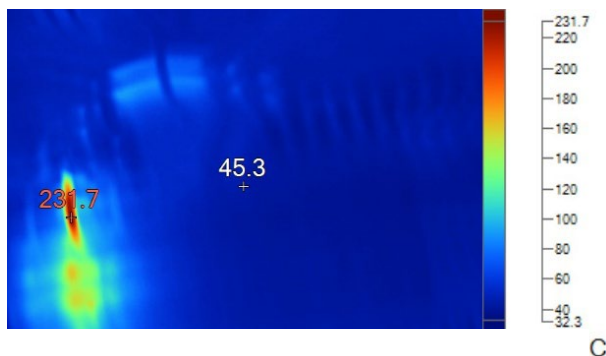
Rezultati izvedenih termografskih pregledov so pokazali, da je večina pregledanih elektroenergetskih naprav v obravnavanih objektih v zadovoljivem tehničnem stanju. Transformatorja na Ginekološki kliniki sta izkazovala pričakovano temperaturno porazdelitev, pri kateri so se najvišje temperature pojavljale na zgornjem delu hladilnih sistemov. To je skladno s principom naravnega kroženja olja in ne kaže na lokalno pregrevanje, ki bi lahko kazalo na mehanske napake ali nepravilnosti v delovanju. Tudi pri nizkonapetostnih razvodih so bile izmerjene temperature v območjih, ki ne predstavljajo tveganja za varno obratovanje, kar potrjuje ustreznost električnih stikov in pravilno obremenjenost posameznih odcepov. Kljub splošno dobremu stanju so bila zaznana tudi nekatera odstopanja, ki potrjujejo diagnostično vrednost termovizije.

Najbolj opazen primer je bil zabeležen pri talilnih varovalkah v agregatskem razvodu Ginekološke klinike, saj je bila temperatura občutno višja od drugih elementov. Ugotovili smo, da je bil vzrok slab stik v varovalnem podnožju, kar je povzročalo povišano upornost in posledično lokalno segrevanje. Po odpravi mehanske pomanjkljivosti so se temperature normalizirale, kar potrjuje, da je bila ugotovitev pravilna.

Drugo pomembno odstopanje je bilo zabeleženo v nizu baterij sistema UPS Ginekološke klinike. Dve baterijski enoti sta imeli v primerjavi z drugimi povišano temperaturo, kar kaže na povečano notranjo upornost in možnost notranje okvare celic. Takšno stanje lahko vodi v zmanjšano kapaciteto celotnega niza in skrajšano avtonomijo sistema. V tem primeru je priporočena čimprejšnja zamenjava baterij, saj lahko okvarjene enote negativno vplivajo na delovanje preostalih enot.

5.7 Posebnosti in ugotovitve na drugih klinikah

Pri izvedbi termovizijskih pregledov na drugih klinikah večjih nepravilnosti nismo zaznali. Odkritih je bilo le nekaj manjših odklonov, ki ne predstavljajo neposredne nevarnosti, vendar jih bomo v prihodnje redno spremljali in po potrebi odpravili. Izjema je le odkritje v eni od razdelilnih omar, kjer je bila zaznana močno povišana temperatura na priključnih sponkah (slika 24).



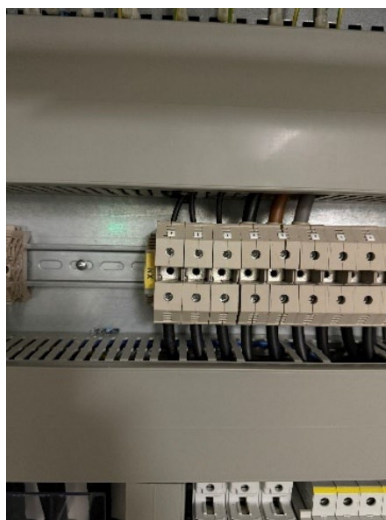
*Slika 22: Termografska slika slabega spoja
(Lastni vir)*

Na sliki je razvidno izrazito temperaturno odstopanje, saj je bila izmerjena temperatura na enem od spojev kar 231,7 °C. Tako visoke vrednosti močno presegajo običajne obratovalne pogoje in predstavljajo neposredno tveganje za varnost uporabnikov ter nemoteno delovanje sistema. Vizualni pregled je potrdil termografske ugotovitve, saj so bile na mestu odkritja jasno vidne ožgane sponke, poškodovana izolacija vodnikov in sledi pregrevanja, kar lahko vidimo na sliki 25.



*Slika 23: Posledica slabih spojev
(Lastni vir)*

Vzrok za nastalo stanje so bili slabo priviti spoji, ki so povzročili povečano električno upornost in s tem čezmerno segrevanje. Napaka je bila odpravljena s takojšnjo sanacijo, pri čemer so bili poškodovani elementi zamenjani in spoji ponovno pravilno priviti. Slika 26 prikazuje stanje po izvedbi ukrepov, ko je bila razdelilna omara ponovno pripravljena za varno obratovanje. Sanacija je odpravila neposredno nevarnost in zagotovila stabilno delovanje sistema, vendar primer opozarja na nujnost rednega nadzora.



*Slika 24: Sanacija okvare
(Lastni vir)*

6 ZAKLJUČEK

Izvedeni pregledi so potrdili, da je termografija izredno učinkovito diagnostično orodje za nadzor elektroenergetskih sistemov v zdravstvenih ustanovah. Omogoča pravočasno odkrivanje skritih napak, ki jih s klasičnimi metodami pogosto ni mogoče zaznati (mehanske pomanjkljivosti, slabi električni stiki in napake na baterijskih sklopih). Rezultati so jasno pokazali, da pravočasna zaznava tovrstnih nepravilnosti pomembno prispeva k zagotavljanju varnosti, zanesljivosti in energetske učinkovitosti obratovanja elektroenergetskih naprav.

Na podlagi izvedenih pregledov lahko ugotovimo, da redna uporaba termovizije predstavlja nujen del preventivnega vzdrževanja. S tem je zagotovljeno, da izvajanje pregledov izpolnjuje zahteve, ki jih določajo predpisi in tehnične smernice za varno obratovanje električnih sistemov. Priporočljivo je, da se termografski pregledi razdelilnih omar izvajajo najmanj enkrat letno in tudi ob vsakem posegu v elektroenergetski sistem, kot so dograditve razdelilnih omar, izvedba novih odcepiov ali priključitev večjih porabnikov. Na ta način je mogoče pravočasno odkriti morebitne napake pri montaži ter preveriti ustreznost obremenitev novih elementov, še preden pride do resnejših okvar ali motenj v obratovanju.

Zaključimo lahko, da je sistematična uporaba termovizije ključnega pomena za dolgoročno zanesljivo delovanje elektroenergetskih sistemov v bolnišnicah in drugih kritičnih objektih. Z upoštevanjem veljavnih predpisov in standardov je mogoče zagotoviti, da redni termografski pregledi ne le izboljšujejo zanesljivost sistema, ampak tudi prispevajo k izpolnjevanju pravnih in tehničnih zahtev. Le s kombinacijo preventivnih ukrepov, rednega nadzora in doslednega dokumentiranja ugotovitev je mogoče zagotoviti optimalno raven varnosti in nemoteno delovanje naprav, kar je še posebej pomembno v okolju, kjer je neprekinjena oskrba z električno energijo življenjskega pomena.

7 LITERATURA IN VIRI

Allied Reliability. (b. l.). *Electrical infrared testing & inspection*. Pridobljeno 29. 6. 2025 z naslova <https://www.alliedreliability.com/electrical-infrared-testing>

Farnell. (b. l.). *FLK-TIS60+ 9HZ*. Pridobljeno 29. 6. 2025 z naslova <https://si.farnell.com/fluke/flk-tis60-9hz/thermal-camera-320x240-9hz-460mm/dp/3290071>

Fluke Corporation. (b. l.). *How thermal cameras use infrared thermography*. Pridobljeno 20. 6. 2025 z naslova <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/thermal-imaging/how-thermal-cameras-use-infrared-thermography>

International Society of Automation (ISA). (b. l.). *Thermal imaging electrical maintenance application*. Pridobljeno 25. 6. 2025 z naslova <https://www.isa.org/intech-home/2016/january-february/features/thermal-imaging-electrical-maintenance-application>

Inženirska zbornica Slovenije. (2021). *Za člane MSE: nova pravilnika in pripadajoči tehnični smernici*. Pridobljeno 22. 6. 2025 z naslova <https://www.izs.si/aktualno/novice/za-clane-mse-nova-pravilnika-in-pripadajoci-tehnicni-smernic>

MFE Enterprises. (2025). *Thermographic inspection: An in-depth guide*. Pridobljeno 26. 6. 2025 z naslova <https://mfe-is.com/thermographic-inspection/>

Ministrstvo za okolje in prostor. (2021). *Tehnična smernica TSG-N-002:2021 nizkonapetostne električne inštalacije*. Pridobljeno 2. 7. 2025 z naslova https://www.gov.si/assets/ministrstva/MNVP/Dokumenti/Graditev/TSG-N-002_2021_nizkonapetostne_instalacije.pdf

Sajko, M. (2008). *Uporaba termografije v električnih napravah*. Pridobljeno 25. 6. 2025 z naslova <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=9123&lang=slv&prip=rul:10909515:d3>

Terming. (b. l.). *Emisivnost*. Pridobljeno 28. 6. 2025 z naslova <https://terming.eu/emisivnost.html>

Thermal imagers Ti32, TiR32, Ti29, TiR29, Ti27, TiR27. Users Manual. Pridobljeno 29. 6. 2025 z naslova <https://www.fluke-direct.com/pdfs/cache/www.fluke-direct.com/ti32-60hz/manual/ti32-60hz-manual.pdf>

Tršan, N., Božič, I. (2007). *IR termokamere – fizikalne osnove*. Pridobljeno 30. 6. 2025 z naslova <https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-78SG38HX>