

Primjena termovizije u ispitivanju brodskih električnih sustava i uređaja

Mohorović, Endi

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:101384>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



uniri DIGITALNA
KNJIŽNICA



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

ENDI MOHOROVIĆ

PRIMJENA TERMOVIZIJE U ISPITIVANJU
BRODSKIH ELEKTRIČNIH SUSTAVA I UREĐAJA

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2021.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

**PRIMJENA TERMOVIZIJE U ISPITIVANJU BRODSKIH
ELEKTRIČNIH SUSTAVA I UREĐAJA**
**APPLICATION OF THERMOVISION IN TESTING OF
SHIP'S ELECTRICAL SYSTEMS AND DEVICES**

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Ispitivanje brodskih električnih uređaja

Mentor: Doc. Dr. Sc. Miroslav Bistrović

Student: Endi Mohorović

Studijski smjer: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112069361

Rijeka, rujan 2021.

Student: Endi Mohorović

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112069361

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom "Primjena termovizije u ispitivanju brodskih električnih sustava i uređaja" izradio samostalno pod mentorstvom doc. dr. sc. Miroslavom Bistromićem.

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Suglasan sam s trajnom pohranom diplomskog rada u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci te Nacionalnom repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice.

Za navedeni rad dozvoljavam sljedeće pravo i razinu pristupa mrežnog objavljivanja:

- a) rad u otvorenom pristupu
- b) pristup svim korisnicima sustava znanosti i visokog obrazovanja RH
- c) pristup korisnicima matične ustanove
- d) rad nije dostupan

Student



Ime i prezime studenta: Endi Mohorović

SAŽETAK

Ovaj diplomski rad prikazuje važnost primjene termovizijskog snimanja u pomorstvu. Velika prednost korištenja termovizije na brodu je mogućnost beskontaktno inspekcije brodskih električnih uređaja i sustava, predviđanja opasnosti od požara i korištenje već postojećeg pomorskog CCTV sustava i instaliranja termovizijskih kamera na isti sustav. Također, ako se CCTV sustav nadogradi različitim softverskim aplikacijama tada on vrlo lako postaje sustav vatrodjave. Time se uvelike pridonosi povećanju sigurnosti ljudskih života, opreme, područja, tereta i broda u cjelini.

Ključne riječi: termovizijske kamere, termovizija, primjena u pomorstvu

SUMMARY

This thesis presents the importance of the application of thermal imaging in maritime affairs. A great advantage of using on-board thermal imaging is the possibility of contactless inspections of marine electrical devices and systems, fire risk forecasting and the use of an existing maritime CCTV system and the installation of thermal imaging cameras on the same system. Also, if the CCTV system is upgraded with different software applications then it very easily becomes a fire alarm system. This greatly contributes to increasing the safety of human lives, equipment, areas, cargo and the ship as a whole.

Keywords: thermal imaging cameras, thermal imaging, marine applications

SADRŽAJ

Sadržaj

| | |
|---|-----------|
| SAŽETAK | I |
| SUMMARY | I |
| SADRŽAJ | II |
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA | 1 |
| 1.2. RADNA HIPOTEZA..... | 1 |
| 1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA | 2 |
| 1.4. ZNANSTVENE METODE..... | 2 |
| 1.5. STRUKTURA RADA | 2 |
| 2. ELEKTRTOMAGNETSKI SPEKTAR | 4 |
| 2.1. VIDLJIV DIO SPEKTRA | 5 |
| 2.2. TOPLINSKO ZRAČENJE..... | 6 |
| 2.3. INFRACRVENI DIO SPEKTRA | 7 |
| 2.3.1. RAZLIČITA PODRUČJA INFRACRVENOG ZRAČENJA..... | 7 |
| 2.4. EMISIVNOST MATERIJALA | 8 |
| 3. INFRACRVENA TERMOGRAFIJA | 9 |
| 3.1. TEHNIČKI STANDARDI ZA TUMAČENJE TERMOGRAMA..... | 11 |
| 3.2. VRSTE INFRACRVENIH TERMOMETARA..... | 12 |
| 3.2.1. TOČKASTI INFRACRVENI TERMOMETAR | 12 |
| 3.2.2. SUSTAVI INFRACRVENIH SKENERA | 13 |
| 4. INFRACRVENE TERMOVIZIJSKE KAMERE | 13 |
| 4.1. POVIJEST INFRACRVENE KAMERE I TERMOVIZIJE | 15 |
| 4.2. PRIKAZ RADA IC KAMERE | 16 |
| 4.3. PRIMJENA IC KAMERA U RAZLIČITIM INDUSTRIJAMA | 17 |
| 4.4. VRSTE INFRACRVENIH KAMERA ZA SIGURNOST U POMORSTVU | 19 |
| 4.4.1. FLIR MD – Serija..... | 19 |
| 4.4.2. FLIR M – Serija | 19 |
| 4.4.3. FLIR serija Voyager..... | 20 |
| 4.4.4. FLIR MU/MV serije..... | 21 |
| 5. MJERENJE TEMPERATURE ELEKTRIČNIH SUSTAVA | 22 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.1. | VISOKONAPONSKE INSTALACIJE | 23 |
| 5.2. | NISKONAPONSKE INSTALACIJE | 24 |
| 5.3. | PROCJENA SIGURNOSTI ENERGETSKIH INSTALACIJA | 25 |
| 6. | TEHNIKE ISPITIVANJA INFRACRVENE TERMOGRAFIJE..... | 26 |
| 6.1. | PASIVNA TERMOGRAFIJA | 27 |
| 6.2. | AKTIVNA TERMOGRAFIJA..... | 27 |
| 6.2.1. | <i>PULSNA TERMOGRAFIJA.....</i> | 28 |
| 6.2.2. | <i>STUPNJEVITO ZAGRIJAVANJE.....</i> | 28 |
| 6.2.3. | <i>TERMOGRAFIJA SA ZAKLJUČAVANJEM.....</i> | 28 |
| 6.2.4. | <i>VIBROTERMOGRAFIJA.....</i> | 28 |
| 6.3. | FAKTORI KOJI MOGU UTJECATI NA ISPITIVANJA..... | 29 |
| 7. | IC TERMOGRAFIJA U POMORSKIM PRIMJENAMA..... | 29 |
| 7.1. | UPOTREBA TERMOVIZIJE U DIJAGNOSTICI BRODSKIH MOTORA..... | 31 |
| 7.2. | SUSTAV VATRODOJAVE POMOĆU TERMOVIZIJSKIH KAMERA | 33 |
| 7.3. | UPOTREBA TERMOVIZIJE PRI ANALIZI STANJA CJEVOVODA | 36 |
| 7.4. | OTKRIVANJE KOROZIJE POMOĆU TERMOVIZIJE..... | 38 |
| 7.5. | PRIMJENA TERMOVIZIJE PRI POSTUPKU ZAVARIVANJA | 38 |
| 7.6. | PRIMJENA TERMOVIZIJE U INSPEKCIJI OBOJANIH POVRŠINA | 39 |
| 7.7. | PRIMJENA TERMOVIZIJE U BRODOGRADILIŠTU..... | 40 |
| 7.8. | DETEKCIJA LEDA POMOĆU TERMOVIZIJSKIH KAMERA | 41 |
| 8. | PROGRAMSKA PODRŠKA ZA FLIR KAMERE | 43 |
| 9. | ZAKLJUČAK..... | 49 |
| | LITERATURA..... | 50 |
| | POPIS TABLICA..... | 51 |
| | POPIS SLIKA | 52 |

1. UVOD

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

Ovaj diplomski rad se najviše bavi problematikom brodskih uređaja i sustava koji se redovito moraju održavati i testirati primjenom termovizije, kako bi se očuvala i povećala sigurnost ljudskih života na brodu, te kako bi se pružala mogućnost da se problemi u sustavu vide što je prije moguće. Primjenom termovizijskog snimanja moguće je spriječiti neke od čestih uzroka izbacivanja sustava iz mreže, kao što su: električna preopterećenja, loše ili istrošene sabirnice i strujni prekidači. Osim što je termovizija uvelike korisna u ispitavanju rada električnih uređaja i sustava, ona pomaže u traganju i spašavanju ljudi u moru te je korisna u brodogradilištu prilikom gradnje plovnih objekata. U današnje vrijeme termovizija se koristi u mnogim industrijama kao što su medicina, građevina, automobilska industrija, istraživanje i razvoj, energetska industrija itd. Predmet i objekt istraživanja u ovom radu jesu termovizija, princip rada termovizijskih kamera te njihova primjena u pomorstvu.

1.2. RADNA HIPOTEZA

Na brodu se nalazi veliki broj električnih uređaja i sustava koji su vrlo kompleksni za održavanje, podložni su kvaru zbog svojih komponenti te zato je njihova redovita inspekcija i pregled od velike važnosti. Upotreba termovizijskog snimanja je jednostavna za korištenje i jedna od njenih velikih prednosti je beskontaktno korištenje. Druga prednost je isplativost. Nedavni napredak u proizvodnji infracrvenih senzora i smanjenje cijena su pomogli da se tehnologija infracrvenog gledanja usvoji kao isplativa, neinvazivna metoda mjerenja. Napredna optika i sofisticirana softverska sučelja nastavljaju dodavati raznolikost termalnih IC kamera.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Svrha i cilj ovog diplomskog rada je objasniti osnove infracrvenog zračenja, primjenu termovizije u pomorstvu i raznim industrijama, prikazati rad termovizijske kamere te navesti i opisati nekoliko najčešće korištenih kamera na brodu. Navedene su i neke od najvažnijih značajki koje se koriste u programskoj podršci za FLIR kamere.

1.4. ZNANSTVENE METODE

Prilikom pisanja ovog rada i sastavljanja poglavlja korištene su znanstvene metode koje su pomogle povezati rad, neke od tih metoda jesu: metoda analize i sinteze, metoda specijalizacije i generalizacije, metoda klasifikacije i deskripcije, metoda indukcije i dedukcije i komparativna metoda.

1.5. STRUKTURA RADA

Struktura ovog diplomskog rada je podijeljena na devet poglavlja.

Prvo poglavlje je uvod u kojem se opisuje problem, predmet i objekt istraživanja, radna hipoteza, svrhu i ciljeve istraživanja, znanstvene metode koje su se koristile u pisanju rada te struktura rada.

Drugo poglavlje nosi naslov Elektromagnetski spektar te se u njemu opisuje vidljiv dio spektra, toplinsko zračenje, infracrveni dio spektra te različita područja infracrvenog zračenja. Na kraju poglavlja opisana je i emisivnost različitih vrsta materijala.

U trećem poglavlju je opisana infracrvena termografija, te u kojim se industrijama i aplikacijama koristi. Navedeni su tehnički standardi za tumačenje termograma, gdje se u tablici nalazi razina specijalizacije i zahtjevi za svaku pojedinu razinu specijalizacije. Na kraju poglavlja je opisan točkasti infracrveni termometar i gdje se sve koriste te je kratko spomenut i sustav infracrvenog skenera.

U četvrtom poglavlju je opisana povijest i način rada termovizijske kamere te je i navedena primjena termovizijskih kamera u različitim industrijama. Zatim su prikazane i opisane neke osnovne termovizijske kamere koje se koriste za sigurnost u pomorstvu.

Peto poglavlje nosi naslov Mjerenje električnih instalacija. Navedeni su primjeri kvarova u visokonaponskim i niskonaponskim instalacijama koji se mogu otkriti s termovizijskim snimanjem. Opisana je procjena sigurnosti energetskih instalacija i tablica za sustav klasifikacije električne opreme na temelju iskustva za visoki i niski napon.

U šestom poglavlju navedene su i opisane tehnike ispitivanja infracrvene termografije: aktivna, pasivna, pulsna, stupnjevito zagrijavanje, termografija sa zaključavanjem i vibrotermografija. Navedeni su faktori koji mogu utjecati na ispitivanja.

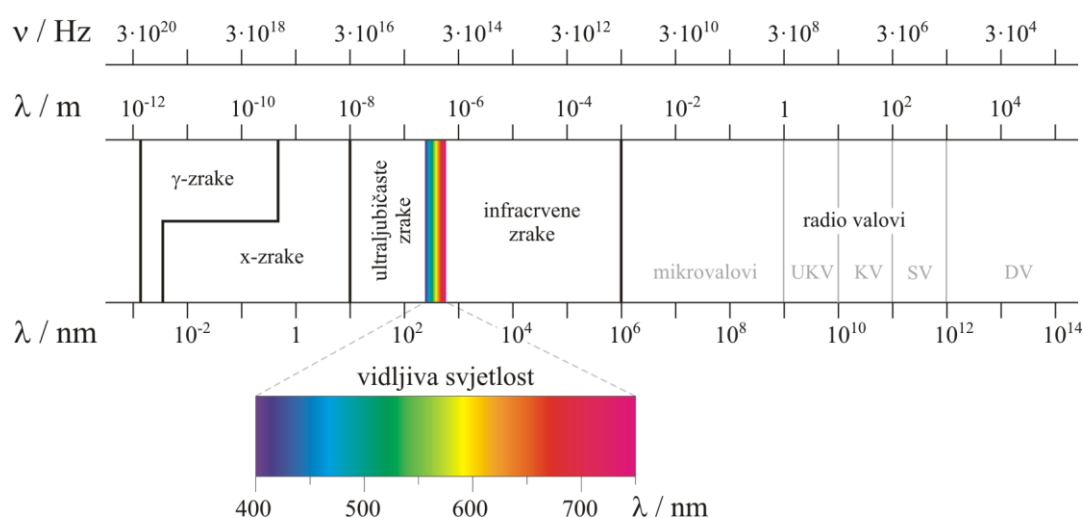
Sedmo poglavlje govori o primjenama termovizije na brodu počevši od dijagnostike brodskih motora, sustava vatrodjave, analiza stanja cijevovoda, otkrivanje korozije, kontrola kvalitete zavarivanja, inspekcija obojanih površina te primjena kod teško dostupnih mjesta u brodogradilištu i kod detekcije leda.

U osmom poglavlju navedene su neke od važnijih značajki koje ima programska podrška za FLIR termovizijske kamere. FLIR programski paket je posebno osmišljen kako bi omogućio jednostavan način ažuriranja fotoaparata i stvaranja izvješća o inspekcijama.

U zadnjem, devetom poglavlju donesen je zaključak i mišljenje o prethodno postavljenoj radnoj hipotezi.

2. ELEKTRTOMAGNETSKI SPEKTAR

Elektromagnetska energija putuje u valovima i obuhvaća širok spektar od vrlo dugih radiovalova do vrlo kratkih gama zraka. Ljudsko oko može otkriti samo mali dio ovog spektra koji se naziva vidljiva svjetlost. Radio detektira drugačiji dio spektra, a rendgenski aparat također detektira drugačiji dio spektra. O elektromagnetskoj energiji ovisimo svakoga dana. Kada se namješta radio, gleda televizija, šalje tekstualna poruka ili peku kokice u mikrovalnoj pećnici, koristi se elektromagnetska energija. Bez toga svijet koji poznajemo ne bi mogao postojati. NASA-ini znanstveni instrumenti koriste cijeli raspon elektromagnetskog spektra za proučavanje Zemlje, Sunčevog sustava i svemira. Naše Sunce je izvor energije u cijelom spektru, a njegovo elektromagnetsko zračenje neprestano dolazi do naše atmosfere. Međutim, Zemljina atmosfera štiti nas od izloženosti nizu valova veće energije koji mogu biti jako štetni za ljudski život. Gama zrake, x-zrake i neki ultraljubičasti valovi "ioniziraju", što znači da ti valovi imaju tako visoku energiju da mogu izbaciti elektrone iz atoma. Izloženost ovim visokoenergetskim valovima može promijeniti atome i molekule te uzrokovati oštećenje stanica. Ove promjene na stanicama ponekad mogu biti korisne, primjerice kada se radijacija koristi za ubijanje stanica raka, a ponekad ne, kao kad se opečemo od sunca.



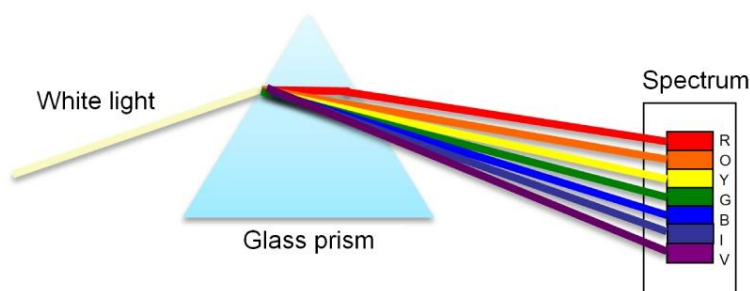
Slika 1. Elektromagnetski spektar

Izvor: <https://glossary.periodni.com/rjecnik.php?hr=elektromagnetski+spektar>

Valne duljine elektromagnetskih valova možemo prikazati pomoću spektra elektromagnetskih zračenja, kao što je prikazano na slici 1. Spekatar elektromagnetskog zračenja podijeljen je na nekoliko područja od γ -zračenja vrlo kratkih valnih duljina i velike energije do radiovalova valnih duljina i preko 1 000 m. Ljudsko oko vidi samo uski dio elektromagnetskog spektra koje se naziva vidljivo zračenje.

2.1. VIDLJIV DIO SPEKTRA

Iako elektromagnetski valovi postoje u velikom rasponu valnih duljina, naše oči su osjetljive samo na vrlo uski pojas. Budući da je ovaj uski pojas valnih duljina način na koji ljudi vide, nazivamo ga spektrom vidljive svjetlosti. Kada koristimo izraz "svjetlo", mislimo na vrstu elektromagnetskog vala koji stimulira mrežnicu naših očiju. U tom smislu govorimo o vidljivoj svjetlosti, malom spektru iz ogromnog raspona frekvencija elektromagnetskog zračenja. Ovo područje vidljive svjetlosti sastoji se od spektra valnih duljina koje se kreću od približno 700 nanometara (skraćeno nm) do približno 400 nm. Ovaj uski pojas vidljive svjetlosti od milja je poznat kao ROYGBIV. Svaka pojedinačna valna duljina unutar spektra valnih duljina vidljive svjetlosti reprezentativna je za određenu boju. Odnosno, kada svjetlost te određene valne duljine udari u mrežnicu našeg oka, opažamo taj specifični osjećaj boje. Isaac Newton pokazao je da će svjetlost koja svijetli kroz prizmu biti razdvojena na različite valne duljine i tako će pokazati različite boje od kojih se sastoji vidljiva svjetlost. Odvajanje vidljive svjetlosti u različite boje poznato je kao disperzija.



Slika 2. Disperzija

Izvor: <https://www.bestfunquiz.com/q/dispersion-of-light-quiz-questions-and-answers>

Svjetlost mijenja brzinu dok se kreće iz jednog medija u drugi i zbog te promjene brzine, svjetlost se lomi pod različitim kutovima te ulazi u novi mediji pod drugim kutom, što se naziva Huygensov princip. Disperzija vidljivog svjetla proizvodi crvenu (R), narančastu (O), žutu (Y), zelenu (G), plavu (B) i ljubičastu (V). Zbog toga se vidljiva svjetlost ponekad naziva ROY G. BIV. Indigo se zapravo ne opaža u spektru, već se tradicionalno dodaje na popis tako da postoji samoglasnik u Royevu nazivu. Crvene valne duljine svjetlosti su duže valne duljine, a ljubičaste valne duljine svjetlosti su kraće valne duljine. Između crvene i ljubičaste postoji neprekidni raspon ili spektar valnih duljina.

2.2. TOPLINSKO ZRAČENJE

Toplinsko zračenje je elektromagnetsko zračenje koje se emitira iz sve materije koja je na temperaturi koja nije nulta u rasponu valnih duljina od 0,1 μm do 100 μm . Uključuje dio ultraljubičastog (UV), te sve vidljivo i infracrveno (IC) zračenje. Zove se toplinsko zračenje jer je uzrokovano i utječe na toplinsko stanje tvari. Brzina kojom tijelo zrači ili apsorbira toplinsko zračenje ovisi i o prirodi površine. Objekti koji dobro emitiraju također i dobro apsorbiraju toplinu. Crna površina izvrstan je odašiljač, ali i izvrstan apsorber topline. Ako je ista površina posrebrana, postaje loš odašiljač i loš apsorber topline. Zagrijavanje Zemlje pomoću Sunca primjer je prijenosa energije zračenjem ili zagrijavanje prostorije kaminom. Plamen, ugljen i vruća opeka zrače toplinu izravno na objekte u prostoriji. Budući da je toplinsko zračenje elektromagnetsko zračenje, mogu se primijeniti svojstva širenja elektromagnetskih valova. Najvažniji su frekvencija ν i valna duljina λ , koji su povezani kroz $\lambda = c/\nu$, gdje je c brzina svjetlosti u mediju. U slučaju širenja u vakuumu, $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$. Da izračunamo temperaturu predmeta, možemo se poslužiti zakonom prema kojem svi predmeti ili objekti emitiraju toplinsku energiju: $W = f(\varepsilon, T)$. W predstavlja rad, ε predstavlja koeficijent emisije koji ovisi o strukturi materijala. T je temperature u Kelvinima.

2.3. INFRACRVENI DIO SPEKTRA

Infracrveno (IC) zračenje ili infracrveno svjetlo je vrsta zračenja koja je nevidljiva ljudskim očima, ali koju možemo osjetiti kao toplinu. Svi objekti u svemiru emitiraju određenu razinu infracrvenog zračenja, ali dva najočitija izvora su sunce i vatra. Britanski astronom William Herschel otkrio je infracrveno svjetlo 1800. godine, prema NASA -i. U eksperimentu za mjerenje razlike u temperaturi između boja u vidljivom spektru, postavio je termometre na putu svjetlosti unutar svake boje vidljivog spektra. Uočio je porast temperature sa plave na crvenu, te je pronašao još toplije mjerenje temperature odmah iza crvenog kraja vidljivog spektra. Unutar elektromagnetskog spektra infracrveni valovi javljaju se na frekvencijama iznad frekvencija mikrovalova i neposredno ispod frekvencija vidljivog crvenog svjetla, pa otuda i naziv „infracrveni“. Valovi infracrvenog zračenja duži su od valova vidljive svjetlosti. Infracrvene frekvencije se kreću od oko 300 gigaherca (GHz) do oko 400 teraherca (THz), a procjenjuje se da se valne duljine kreću između 1.000 mikrometara (μm) i 760 nanometara (nm). Slično spektru vidljive svjetlosti, koji se kreće od ljubičaste (najkraća valna duljina vidljive svjetlosti) do crvene (najduža valna duljina), infracrveno zračenje ima svoj raspon valnih duljina. Kraći infracrveni valovi, koji su bliže vidljivoj svjetlosti na elektromagnetskom spektru, ne emitiraju nikakvu detektibilnu toplinu i ti su valovi ono što se ispušta iz daljinskog upravljača televizora za promjenu kanala. Duži infracrveni valovi, koji su bliže mikrovalnom dijelu na elektromagnetskom spektru, mogu se osjetiti kao intenzivna toplina, poput topline sunčeve svjetlosti ili vatre. Infracrveno zračenje jedan je od tri načina prijenosa topline s jednog mjesta na drugo, a druga dva su konvekcija i vodljivost. Sve s temperaturom iznad 5 kelvina (minus 268 stupnjeva Celzijusa) emitira infracrveno zračenje.

2.3.1. RAZLIČITA PODRUČJA INFRACRVENOG ZRAČENJA

Infracrveno zračenje obuhvaća širok raspon elektromagnetskog zračenja, a kako osjetila pokrivaju samo određena područja IC spektra, postoje razne podjele koje detaljnije određuju područja. Postoji podjela prema međunarodnoj komisiji za rasvjetu, međunarodnoj organizaciji za standardizaciju, astronomska podjela, podjela prema elektronskim osjetilima te podjela prema telekomunikacijskim područjima. Ipak, najčešće se infracrveno zračenje dijeli na 5 područja.

Tablica 1. Područja infracrvenog zračenja

| PODRUČJE | VALNA DULJINA | PRIMJENA |
|--------------------------|---------------------------------------|---|
| Blisko IC područje | 0,7 μm – 1,4 μm | Za optička vlakna u telekomunikacijama, otkrivanje ciljeva u mraku. |
| Kratkovalno IC područje | 1,4 μm – 3 μm | Telekomunikacija na velikim udaljenostima. |
| Srednjevalno IC područje | 3 μm – 8 μm | Niti jedan staklenički plin ne upija Sunčevo toplinsko zračenje. |
| Dugovalno IC zračenje | 8 μm – 15 μm | Područje termalnog snimanja, dobivaju se najbolje IC slike. |
| Daleko IC zračenje | 15 μm – 1000 μm | Područje značajno za daleki infracrveni laser. |

Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Infracrveno_zra%C4%8Denje

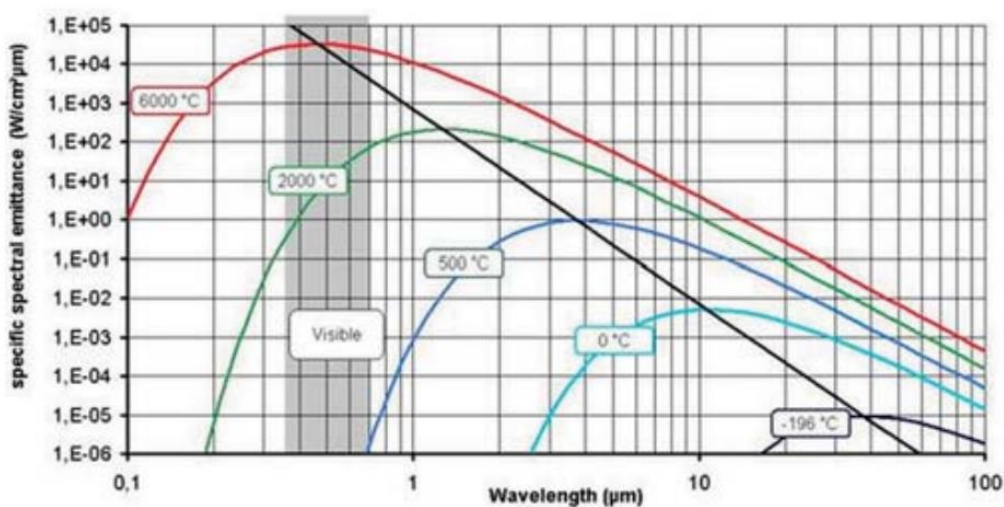
2.4. EMISIVNOST MATERIJALA

Infracrvena energija putuje ravnim linijama od izvora i može se reflektirati i apsorbirati na površini materijala na svom putu. U slučaju većine čvrstih objekata koji su neprozirni za ljudsko oko, dio infracrvene energije koji udari u površinu objekta će se apsorbirati, a dio će se reflektirati. Određena količina energije koju objekt apsorbira ponovno će se emitirati, a određena će se količina reflektirati iznutra. To će se također odnositi na materijale koji su prozirni za oko, poput stakla, plinova i tanke, prozirne plastike, ali ovdje će dio IR energije također proći kroz objekt. Ti fenomeni zajedno doprinose onome što se naziva emisivnošću (ϵ) optičkih svojstava objekta ili materijala. Različite vrste materijala i plinova imaju različitu emisivnost, pa će stoga emitirati IC energiju različitog intenziteta za datu temperaturu. Emisivna sposobnost materijala ili plina ovisi o njegovoj molekularnoj strukturi i površinskim karakteristikama. Što su neke površine visoko uglačane, više će se IC energija reflektirati s površine.

U mjerenju temperature to je najznačajnije u slučaju infracrvenih neprozirnih materijala koji imaju inherentno nisku emisiju. Tako će visoko polirani komad nehrđajućeg čelika imati znatno nižu emisiju od istog komada s hrapavom površinom. To je zato što utori nastali strojnom obradom sprječavaju odbijanje velike količine IC energije. Osim

molekularne strukture i stanja površine, treći faktor koji utječe na prividnu emisivnost materijala ili plina je osjetljivost osjetnika na valnu duljinu, poznata kao spektralni odziv senzora. Samo se IC valne duljine između 0,7 μm i 20 μm koriste za praktično mjerenje temperature.

Wienov zakon pomaka kaže da valna duljina na kojoj se emitira najveća količina energije postaje sve kraća kako temperatura raste. $\lambda_{max} \cdot T = 2898 (\mu\text{mK})$. Na primjer, sunce ($\approx 6000 \text{ }^\circ\text{K}$) emitira žutu svjetlost, dosežući vrhunac od oko 0,5 μm u sredini spektra vidljive svjetlosti. Pri temperaturi od $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\approx 293 \text{ }^\circ\text{K}$) vrh emisije zračenja iznosi 9,9 μm , dok je pri temperaturi $T = 473 \text{ }^\circ\text{K}$ ($\approx 200 \text{ }^\circ\text{C}$) vrh $\lambda_{max} = 6,1 \mu\text{m}$ [3].



Slika 3. Raspodjela energije zračenja i maksimuma s objekta različitih temperature

Izvor: file:///C:/Users/Randi/Downloads/B2008V59NO2C3%20(1).pdf

3. INFRACRVENA TERMOGRAFIJA

Infracrvena termografija je postupak korištenja termovizijske kamere za detekciju zračenja nekog objekta. U nastavku će se objasniti o tome kako radi infracrvena termografija i kako je koristiti u preventivnom održavanju. Infracrvena termografija je postupak korištenja termovizijske kamere za otkrivanje zračenja (topline) koje dolazi od objekta, pretvaranje u temperaturu i prikaz slike koja prikazuje raspodjelu temperature. Slike koja prikazuju raspodjelu temperature se nazivaju termogrami i omogućuju gledanje objekata koji proizvode toplinu nevidljivim golim okom. Široko se koristi za prediktivno održavanje i praćenje stanja. Budući da svi objekti iznad apsolutne nule emitiraju toplinsku infracrvenu

energiju, termovizori mogu lako detektirati i prikazati infracrvene valne duljine bez obzira na svjetlost okoline. Uobičajen primjer za to je korištenje naočala za noćno osmatranje za otkrivanje objekata u mraku. Infracrvena termografija obično se koristi u raznim industrijama i aplikacijama, uključujući[12]:

- Praćenje rada stroja
- Građevinska dijagnostika kao što su pregledi vlage, krova i gubitka energije
- Medicinsko snimanje uključujući vaskularne bolesti i upalnih stanja
- Provođenje zakona i sigurnosne slike
- Kemijsko snimanje
- Snimanje znanosti o Zemlji
- Nadzor električnih sustava
- Nadzor sustava tekućina

Specifično za održavanje postrojenja i praćenja stanja, infracrvena termografija koristi se u aplikacijama kao što su[12]:

- Praćenje električnih i mehaničkih stanja motora
- Pregledi ležajeva
- Praćenje izolacije
- Lociranje razina plina, tekućina i mrlja

Primarni cilj infracrvene termografije je potvrditi da strojevi rade normalno i otkriti abnormalne toplinske obrasce unutar stroja, što ukazuje na neučinkovitost i nedostatke. Pregled mehaničke opreme pomoću infracrvene termografije velika je prednost za upravitelje imovine zadužene za praćenje stanja. Iako su infracrvene slike jednostavne za korištenje, tumačenje tih slika i podataka može biti malo složenije. Važno je ne samo imati radno znanje o načinu rada infracrvenih slika, već i osnovno znanje o radiometriji i procesima prijenosa topline. Infracrvena termografija je beskontaktna metoda za određivanje raspodjele temperature na površini promatranog objekta mjerenjem intenziteta zračenja u infracrvenom području elektromagnetskog spektra. Termografija se često koristi kao alat za održavanje. U području elektroenergetike, termografija je nezaobilazna metoda ispitivanja usko povezana s mjerenjem električnih veličina. Prema međunarodnim standardima, termografija je klasificirana kao jedna od metoda ispitivanja bez razaranja (eng. NDT – Non destructive testing methods). Standardi u području termovizijskog snimanja nisu jedinstveni

i predstavljaju nekoliko različitih normi koje se uglavnom odnose na određena tehnička područja. Kriteriji valjanosti i sigurnosti električnih instalacija temeljeni na podacima iz termograma svode se na analizu apsolutne i relativne temperature promatranih elemenata sustava, u usporedbi sa sličnim komponentama pod sličnim opterećenjem. Tumačenje termograma prvenstveno ovisi o znanju i iskustvu korisnika.

3.1. TEHNIČKI STANDARDI ZA TUMAČENJE TERMOGRAMA

Obrazovanje u području ispitivanja bez razaranja definirano je standardom ISO (eng. International Organization for Standardization) 9712: 2012 ispitivanje bez razaranja-kvalifikacija i certificiranje osoblja za ispitivanja bez razaranja. ISO 9712: 2012 definira tri razine obrazovanja[13]:

Tablica 2. Zahtjevi termografskih operatera za svaku razinu specijalizacije

| Razina specijalizacije | Zahtjevi za specijalizaciju |
|-------------------------------|--|
| Prva razina | Profesionalni operater može provesti termografsku reviziju koristeći dobro definirane postupke, ocijeniti rezultate analize i za obradu elementarne post-elaboracijske aktivnosti toplinskih slika. Treba mu 32 sata obuke i 12 certificiranih mjeseci (ili 400 sati) profesionalne aktivnosti. |
| Druga razina | Profesionalni operater može provesti naprednu termografsku reviziju korištenjem mnogih operativnih instrumenata i identificirati ispravne korektivne mjere za uočeni problem. Treba mu 64 sata obuke i 24 certificirana mjeseca (ili 1.200 sati) profesionalne aktivnosti. |
| Treća razina | Profesionalni operater u stanju je razviti postupke, softver i napredne upute za ispravnu uporabu termografije. Također je sposoban identificirati složene uvjete i preporučiti korektivne radnje termodinamike. Potrebno mu je 96 sati obuke i 48 certificiranih mjeseci (ili 1.920 sati) profesionalne aktivnosti. |

Izvor: https://www.researchgate.net/publication/252645275_Thermal_Modeling_and_Imaging_of_As-built_Vehicle_Components

3.2. VRSTE INFRACRVENIH TERMOMETARA

Infracrveni termometar u svom najosnovnijem obliku sastoji se od leće koja fokusira infracrveno toplinsko zračenje na detektor, koji energiju zračenja pretvara u signal kodiran bojom. Infracrveni termometar dizajniran je za mjerenje temperature s udaljenosti, sprječavajući potrebu za kontaktom s objektom koji se mjeri. Danas postoje razne konfiguracije infracrvenog termometra za određene primjene. U nastavku će se objasniti tri od najčešćih vrsta infracrvenih termometara.

3.2.1. TOČKASTI INFRACRVENI TERMOMETAR

Točkasti infracrveni termometar, poznat i kao pirometar podsjeća na ručni radarski pištolj i koristi se za otkrivanje i mjerenje temperature na određenom mjestu na površini. Točkasti infracrveni termometri idealni su za mjerenje toplinskog zračenja na teško dostupnih sredstvima ili sredstvima koja rade u ekstremnim uvjetima. Uobičajene primjene za korištenje točkastog infracrvenog termometra za preventivno održavanje uključuju:

- Nadzor električnih prostorija
- Curenje vode
- Panelne ploče
- Sustavi za rukovanje tekućinom
- Provjera ležajeva i remena



Slika 4. Točkasti infracrveni termometar

Izvor: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Pirometar>

Točkasti IC termometri rade pomoću vidnog polja (eng. FOV – Field of view) i omjera udaljenosti do točke (eng. Distance to spot ratio). Prilikom mjerenja temperature s točkastim termometrom, treba provjeriti je li meta potpuno u vidnom polju termometra. Omjer udaljenosti do točke je omjer udaljenosti do objekta koji se mjeri i promjera područja mjerenja temperature. Što je veći omjer, to je bolja razlučivost instrumenta i manja je površina koja se može mjeriti. Na primjer, točkasti termometar s omjerom 40 prema 1 točnije mjeri manji objekt od onog s omjerom 10 prema 1.

3.2.2. SUSTAVI INFRACRVENIH SKENERA

Infracrveni termometri skeniraju veće površine i često se koriste u proizvodnim pogonima s transporterima. Uobičajena primjena za sustave infracrvenih skenera su skeniranje predmeta na pokretnoj traci koja se koriste u zračnim lukama.

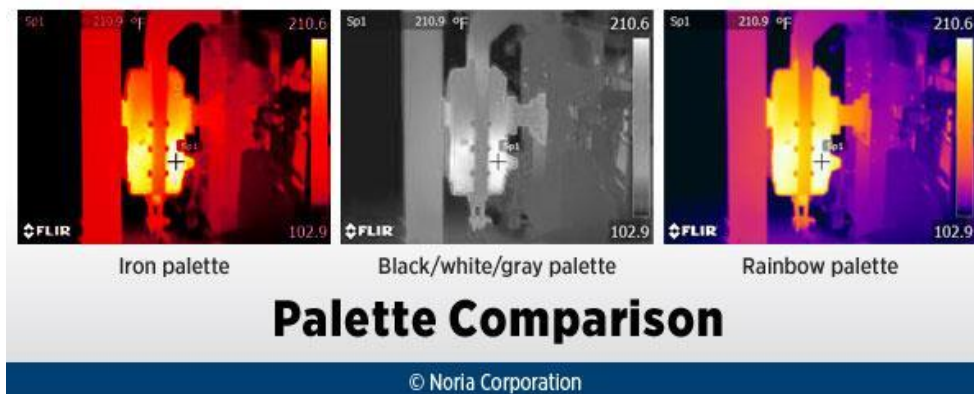
4. INFRACRVENE TERMOVIZIJSKE KAMERE

Termovizijska kamera napredna je vrsta radijacijskog termometra koja se koristi za mjerenje temperature u više točaka na velikoj površini i stvaranje dvodimenzionalnih termografskih slika. Kamere za toplinsko snimanje znatno se više temelje na softveru i hardveru od točkastog termometra. Većina kamera prikazuje slike u stvarnom vremenu i može se spojiti na specijalizirani softver za dublju procjenu, točnost i generiranje izvješća. Suvremene termovizijske kamere su ručne. IC termovizijske kamere omogućuju korisnicima prebacivanje između više paleta boja radi lakšeg dešifriranja različitih temperaturnih razlika.

Paleta željeza je najčešća. Prikazuje najhladnija područja u crnoj boji, malo toplija područja u plavo/ljubičastoj boji, temperature srednjeg raspona u crvenoj/narančastoj/žutoj i bijeloj boji za najtoplije temperature.

Crno-bijela paleta, koja se ponekad naziva siva, vrlo dobro prikazuje pojedinosti prikazujući samo crne do bijele boje koje prolaze kroz više razina sive boje. Najčešća primjena za sive nijanse su noćne kamere ili sigurnosne kamere. Rijetko se koristi u slikanju strojeva jer je teže razlikovati varijacije temperature kada se koriste samo dvije boje.

Paleta duginih boja najbolje pokazuje toplinsku osjetljivost prikazujući temperaturne razlike kroz više boja. Slično kao i željezna paleta, duga paleta koristi više boja za označavanje veće varijacije temperature.



Slika 5. Usporedba paleta boja

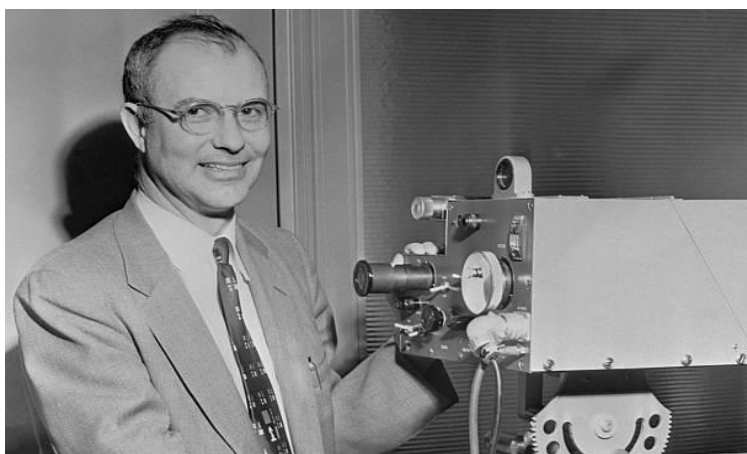
Izvor: <https://www.reliableplant.com/infrared-thermography-31572>

Ostale značajke IC kamere uključuju alarm za boju, sliku u slici i mješanje fuzije. Alarm u boji omogućuje odabir temperature, pa će kamera prikazati samo termalnu sliku u boji objekta ispod ili iznad odabrane temperature. Fuzijsko mješanje omogućuje miješanje minimalne ili maksimalne prosječne temperature toplinske slike sa standardnom digitalnom slikom. Te značajke nam nude vrijedne informacije, te dvije značajke koje se trebaju uzeti u obzir su razlučivost detektora i toplinska osjetljivost. Rezolucija detektora govori o broju piksela prikazanim na ekranu. Kamere bi trebale uključivati najčešće rezolucije 160x120, 320x240 i 640x480. Toplinska osjetljivost se odnosi na najmanju temperaturnu razliku koju termovizijska kamera može otkriti. Na primjer, kamera koja pokazuje osjetljivost od 0,05 stupnjeva znači da može razlikovati dvije površine s temperaturnom razlikom od 0,05 Celzijevih stupnjeva. Treba uzeti u obzir i temperaturni raspon termovizijske kamere, koji je minimalna i maksimalna temperatura koju kamera može izmjeriti. Tipični raspon je minus 4 stupnja Fahrenheita (minus 15 Celzijevih stupnjeva) do 2.200 stupnjeva Fahrenheita (1.204 Celzijevih stupnjeva). Neke termovizijske kamere imaju ugrađeni laser pokazivač. Postoji nekoliko razloga zašto je to važno. Laserski pokazivač omogućuje da vidimo točno gdje je objektiv termovizijske kamere fokusiran. Jednim pritiskom tipke omogućuje da se vidi gdje je toplinska kamera usjmerena tako da se može indetificirati mjereni cilj bez nagađanja.

Drugi razlog je sigurnost. Laserski pokazivač eliminira sklonost uperivanja prstiju u objekte, što može biti opasno u industrijskim okruženjima.

4.1. POVIJEST INFRACRVENE KAMERE I TERMOVIZIJE

Proučavanje infracrvenog zračenja započeo je astronom Sir William Herschel, koji je 1800. godine pokušao smisliti filter kroz koji bi mogao smanjiti odsjaj Sunca promatrajući ga kroz teleskop. Prvenstveno mu je cilj bio moći gledati i proučavati Sunce kroz teleskop. Bez odgovarajućih filtera bilo je moguće ozbiljno oštećenje oka, čak i nakon samo nekoliko sekundi izlaganja. U eksperimentu je koristio crveni filter za koji se činilo da proizvodi mnogo topline. Namjestio je da sunčeva svjetlost prolazi kroz prizmu i izmjerio je toplinu tako da je držao termometar odmah iza crvenog kraja vidljivog spektra. Primijetio je da termometar u vidljivom spektru bilježi temperaturu koja je viša od okolnog zraka, te je zaključio da postoji još jedan oblik svjetlosti izvan onoga što se moglo vidjeti golim okom. Herschel je svoje otkriće nazvao "termometrijskim spektrom", no ponekad ga je nazivao "nevidljivim zrakama", a povremeno "tamnom toplinom". Tek početkom 1900 -ih počeli su ga nazivati infracrvenim. Daljnji napredak postignut je 1840. godine kada su najranije proizvedene toplinske slike tiskane na papiru. Herschel je to nazvao termografom. Sljedeći je došao bolometar. Bolometar je izumio američki astronom i fizičar Samuel Langley, precizni instrument koji bi mogao mjeriti precizno mjerenje infracrvenog zračenja do 1/100 000 stupnjeva, a mogao bi to činiti i na velikim udaljenostima. Ovo otkriće otvorilo je put modernoj termoviziji.



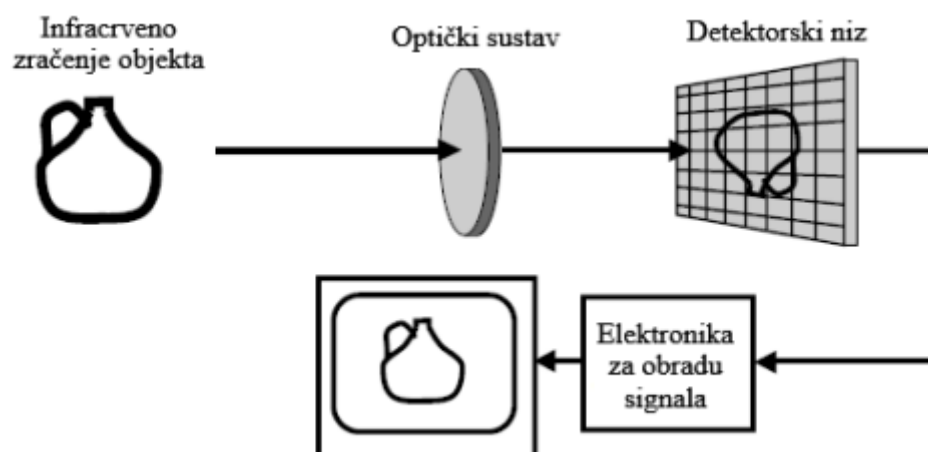
Slika 6. Kálmán Tihanyi i prva IC kamera

Izvor: <https://www.thermascan.co.uk/blog/evolution-thermal-imaging>

Prva infracrvenu kameru izgradio je Kálmán Tihanyi 1929. godine. Bila je to kamera za kretanje koju je britanska vojska koristila za protuzračne operacije nakon Prvog svjetskog rata. Vojska je brzo usvojila kamere, a uskoro je tehnologija postala vitalni dio obrambene strategije s obje strane Atlantika. Toplinsko snimanje dalo je vojnim mogućnostima noćnog vida, ali tek 1947. izumljena je kamera koja će snimati fotografije. Postupak je, međutim, bio iznimno težak i trebalo je sat vremena za izradu samo jedne slike. Kad se brzina snimanja poboljšala, kamere su stavljene na korištenje kako bi se olakšale operacije spašavanja. Vatrogasci su ih, na primjer, koristili za gledanje kroz dim pri pokušaju lociranja ljudi zarobljenih u zapaljenim zgradama. Policija ih koristi za nadzor ili traženje bjegunaca u uvjetima slabog osvjetljenja i za pronalaženje nestalih osoba na udaljenim lokacijama.

4.2. PRIKAZ RADA IC KAMERE

Infracrvena kamera sadrži optički sustav koji fokusira infracrvenu energiju na poseban detektorski čip (niz senzora) koji sadrži tisuće detektorskih piksela poredanih u mrežu. Svaki piksel u nizu senzora reagira na infracrvenu energiju fokusiranu na njega i proizvodi elektronički signal. Procesor kamere uzima signal iz svakog piksela i na njega primjenjuje matematički izračun kako bi stvorio kartu boja prividne temperature objekta. Svakoj vrijednosti temperature dodjeljuje se druga boja. Rezultirajuća matrica boja šalje se u memoriju i na zaslon fotoaparata kao temperaturna slika (toplinska slika) tog objekta.



Slika 7. Shematski prikaz rada IR kamere

Izvor: <https://repository.pfri.uniri.hr/islandora/search/termovizija?type=dismax>

Detektorski niz omogućava izračun toplinske razlike između objekta kojeg mjerimo i okoline, na način da pretvori primljeno infracrveno zračenje u električne signale uz pomoć elektronike. Detektor je ujedno i najvažniji dio IC kamere. Razlikujemo toplinski i fotonski detektor. Toplinski detektori radi na način da infracrvena energija zagrijava detektorski element te se ta promjena temperature širi i stvara podražaj na mehanizmu koji služi za izračun zračene temperature. Kako bi radili u optimalnim uvjetima, nekim toplinskim detektorima treba stalno kontrolirati temperaturu ali u principu njihova je prednost u tome da ne zahtijevaju hlađenje, dok fotonski detektori se jako zagrijevaju pa se konstantno trebaju hladiti. Još jedna prednost toplinskih detektora je u tome da imaju puno brži odziv u odnosu na fotonske detektore. Električne signale koje šalje detektor treba pojačati i obraditi analogno – digitalnom pretvorbom. To sve radi jedinica za obradu signala koja obrađuje sliku u sive ili obojene tonove, te korisnik proizvoljno bira boju termograma.

4.3. PRIMJENA IC KAMERA U RAZLIČITIM INDUSTRIJAMA

Osim osnovnih inženjerskih aplikacija, hitne službe danas su među poznatijim korisnicima kamera za toplinsku detekciju. Tehnologija se redovito primjenjuje u scenarijima, uključujući gašenje požara, noćne policijske potrage te traženje i spašavanje odgovora na katastrofe. Postoje neke vrlo važne pomorske primjene termovizijskog snimanja, ne samo kao sustavi za otkrivanje sudara pri plovidbi noću, po magli ili za vrijeme lošeg vremena. O primjeni kamera u pomorstvu će biti rečeno u kasnijem dijelu rada.

Termovizijske kamere za bespilotne letjelice. Toplinsko snimanje često se koristi u bespilotnim letjelicama s daljinskim upravljanjem, uvelike poboljšavajući opće izvidničke sposobnosti u opasnim ili teško uočljivim uvjetima. U bespilotnim letjelicama toplinsko snimanje može biti velika prednost fotografima u širokom rasponu svrha, dok je termalno snimanje bespilotnih letjelica također vrlo korisno za jedinice za hitne slučajeve, timove za traženje i spašavanje te u taktičkim vojnim primjenama.

Termovizijske kamere za detekciju požara. Toplinsko snimanje ne samo da pomaže vatrogascima u lociranju preživjelih u uvjetima slabe vidljivosti gdje prašina, magla, pepeo i drugi zagađivači onemogućuju vidljivost, nego također može pomoći u otkrivanju žarišta, daljnjih potencijalnih izvora paljenja ili ukazati na prisutnost još uvijek gorućih požara koji mogu potjeći s neočekivanih lokacija (poput podzemne ili unutar zidova šupljine, na primjer).

Termovizijske sigurnosne kamere. Gotovo svi poslovni prostori danas primjenjuju tehnologije sigurnosnih kamera u ovom ili onom obliku. Posljednjih godina sve je standardnija praksa oslanjati se na opremu za nadzor termovizijskog nadzora za najbolje moguće rezultate u smislu zaštite, identifikacije i povrata ulaganja. Toplinske sigurnosne kamere pouzdano se vrlo dobro ponašaju u područjima sa slabim osvjetljenjem i slabom vidljivošću, te pružaju mogućnost uklanjanja većeg dijela vizualne kamuflaže poput gustog lišća koje se često nalazi u blizini ureda i skladišta. Osim toga, kamere s termovizijskim snimkama obično su povezane sa pametnim sensorima i naprednom tehnologijom analize, što pomaže u smanjenju broja lažnih alarma. Konačno, sustavi koji se temelje na otkrivanju topline često su jeftiniji za ugradnju i dugoročno instaliranje od standardnih sustava, koje je potrebno postaviti uz svaku raspoloživu liniju vidljivosti kako bi bile potpuno učinkovite i za koje je često potrebno skupo dodatno opremanje rasvjetom u blizini kako bi se osigurala čak i osnovna funkcionalnost.

Kamere za noćno osmatranje. Iako se i termovizijske IC kamere i standardne jedinice za noćni vid mogu koristiti za povećanje vidljivosti pri slabom osvjetljenju, to su zapravo dva različita proizvoda koja se oslanjaju na različite tehnologije. Ključna razlika je u tome što se kamere za noćno osmatranje, kakve se mogu vidjeti u desetinama filmova (obično karakterizirane zrnatim zeleno-bijelim noćnim prikazom), oslanjaju na prisutnost odgovarajuće količine ambijentalnog svjetla za pojačavanje ono što otkriva. Iz očiglednih razloga, senzor se ne može nositi s previše svjetla ali mnogi ljudi ne shvaćaju da u potpuno mračnom okruženju ni tehnologije noćnog vida ne mogu nadmašiti ljudsko oko. Mnoge su kamere za noćno osvjetljenje stoga opremljene dodatnom funkcijom infracrvenog osvjetljenja, kako bi se osigurala veća valna duljina pojačanih elektromagnetskih signala kako bi se senzor pomagao u vrlo mračnim uvjetima. Oni su nevidljivi golim okom, ali ih lako može otkriti bilo tko drugi koji koristi noćni vid, nije problem u mnogim aplikacijama, ali daleko od idealnog u mnogim vojnim ili nadzornim namjenama. Iako noćni vid često daje prirodniiju sliku u pravim uvjetima, također je znatno manje učinkovit od termalnog snimanja u otkrivanju ciljeva zaklonjenih maglom, dimom, prašinom ili kamuflažom.

Industrijske infracrvene kamere. Mnoge trenutne termovizijske kamere certificirane su posebno za industrijsku uporabu, s različitim konfiguracijama i proizvodnim standardima dostupnim na tržištu kako bi odgovarali nizu posebno zahtjevnih aplikacija i okruženja. Primjeri uključuju kamere certificirane za uporabu u područjima podložnim eksplozivnim plinovima (npr. Petrokemijska industrija), u podzemnim aplikacijama kao što je rudarstvo.

4.4. VRSTE INFRACRVENIH KAMERA ZA SIGURNOST U POMORSTVU

4.4.1. FLIR MD – Serija

Ovaj pristupačni, termalni sustav za noćno osvjetljenje s fiksnim nosačem pomaže u zaobilazanju prepreka, izbjegavanje sudara i pronalaženje ljudi koji se nalaze u vodi noću. Jednostavno se integrira u postojeću elektroniku i ova MD serija kamera ima standardni izlazni analogni video koji se lako prikaže na bilo kojem monitoru na plovilu. Dostupne su u rezolucijama 320 x 240 i 640 x 480. Ima dva standardna e-zoom-a, Ethernet koji omogućuje kontrolu za integraciju, kompaktno kućište za sve vremenske uvjete i jednostavan je za ugradnju.



Slika 8. FLIR MD625

Izvor: <https://www.thegpsstore.com/Marine-Electronics/Safety-Equipment/FLIR-MD625-Fixed-Thermal-Night-Vision-Camera>

4.4.2. FLIR M – Serija

Snažna, fleksibilna i izgrađena da traje, nagrađivana serija M vrhunska je linija pomorskog toplinskog noćnog vida tvrtke FLIR sustava. Dostupno s raznim sensorima i rezolucijama za zadovoljavanje širokog raspona pomorske plovidbe, izbjegavanje sudara, sigurnosti, potreba za traženjem i spašavanjem. M Seriju je lako instalirati, integrirati i rukovati. Isto kao i MD Serija koristi Ethernet povezivanje za jednostavnu instalaciju, kontrolu i povezivanje s drugom ugrađenom elektronikom. Robusno i vodootporno kućište osigurava neprekidno okretanje od 360 stupnjeva i nagib +/- 90 stupnjeva.



Slika 9. FLIR M – Serija

Izvor: <https://www.boatingmag.com/flir-m-series-next-generation/>

4.4.3. FLIR serija Voyager

Ova kamera predstavlja sustav toplinskog noćnog vida s više senzora dugog dometa. Širokutna termalna kamera Voyager II i Voyager III omogućuju otkrivanje drugih brodova ili opasnosti lako, dok njihova toplinska kamera dugog dometa od 140 nm omogućuje zumiranje kako bi dobili vrijedne informacije kada treba reagirati na vrijeme. Glavne značajke ove kamere jesu[7]:

- 4 x optički zum i 15 x ukupni zum.
- Moćna, dalekometna kamera s dnevnim osvjetljenjem u boji.
- Aktivna žiro stabilizacija pruža stabilne slike, čak i na nemirnom moru.
- Radar za praćenje, povećava sigurnost plovidbe u uvjetima slabe vidljivosti.
- Daljinsko upravljanje internetom omogućuje upravljanje kamerom s bilo kojeg mjesta u svijetu s odgovarajućom internetskom vezom.
- Proširene mogućnosti sučelja, omogućuju lako povezivanje s ostalom elektronikom na brodu.
- Video tragač, automatski ostaje zaključan na objekt kako bi pratio svaki njegov pokret.
- Skala indikacije temperature određuje temperaturu objekta na slici.



Slika 10. FLIR Voyager

Izvor: <https://yddodenizcilik.com/product/flir-voyager-ii-iii-professional-marine-series/>

4.4.4. FLIR MU/MV serije

FLIR MU serija tehnološki je najnapredniji toplinski sustav noćnog vida koji je dostupan pomorskoj industriji. To je snažan, žiroskopski stabiliziran multi-senzor, dalekometni, termalni sustav noćnog vida. Sve verzije ovih vrsta kamera nude neprekidno okretanje od 360 stupnjeva i nagibom +/- 90 stupnjeva. Serija MV koristi nahlađeni detektor koji proizvodi toplinske slike od 640 x 480 piksela koji mogu zumirati između 4 i 24,5 stupnjeva vidnog polja. Osim što ima aktivnu žiro stabilnost, praćenje radarom, video praćenje, ima i način rada slika u slici s dva senzora, digitalno poboljšanje detalja koje osigurava oštru toplinsku sliku čak i u uvjetima s ekstremnom temperaturnom dinamikom. Također, ima i kontinuirani optički zum na toplinskoj slici koja omogućuje bliži pogled na udaljene objekte, napaja se s 12-24 volta istosmjernog napona, radna temperatura od -32 do +55 Celzijevih stupnjeva, automatsko odmrzavanje i odmagljivanje kamere kao standard, IP (Ingress Protection) 66 zaštita označuje da kamera ne propušta prašinu i da potpuno zaštićena od snažnog mlaza vode.



Slika 11. FLIR MU/MV serije

Izvor: <https://www.dupremarine.co.uk/wp-content/uploads/2017/05/FLIR-MU-LV-Series-thermal-imager.jpg>

5. MJERENJE TEMPERATURE ELEKTRIČNIH SUSTAVA

Termovizijske kamere se obično koriste za preglede električnih sustava i komponenti različitih veličina i oblika. Mnoštvo mogućih primjena za termovizijske kamere unutar raspona električnih sustava mogu se podijeliti na dvije kategorije: visokonaponske i niskonaponske. Problemi koje detektira infracrvena kamera mogu se vidjeti samo dok je oprema u radnom stanju. Primjena toplinske slike u elektroenergetici usko je povezana s mjerenjem električnih veličina, prvenstveno količine struje, što podrazumijeva rasipanje u pojedinim elementima sustava. Sami termogrami bez mjerenja električnih veličina mogu dovesti do zablude o sigurnosti instalacije. Postoji mnogo izazova koji se mogu pojaviti tijekom pregleda. Naizgled problem žarišne točke može se vidjeti tijekom IC pregleda, ali zapravo to može biti odraz tjelesne topline, varijacija emisije, solarni dobitak ili u nekim slučajevima manifestacije topline vrtložne struje. Vrijeme također može utjecati na IC sliku, stoga vjetar, kiša, magla, snijeg mogu promijeniti IC čitanja.

Prvi i najveći izazov je postavljanje emisije. Emisija kao omjer toplinskog zračenja s površine prema zračenju iz crnog tijela na istoj temperaturi postavljena je u vrijeme revizije na 0,8 kako bi se uzela u obzir velika raznolikost emisije za veliki broj različitih materijala i u skladu s preporukama

5.1. VISOKONAPONSKE INSTALACIJE

Toplina je važan čimbenik u visokonaponskim instalacijama. Kada električna struja prolazi kroz otporni element, stvara toplinu. Povećani otpor rezultira povećanjem topline. S vremenom će se otpor električnih veza povećati na primjer, na otpuštanje ili koroziju. Odgovarajući porast u temperaturama može uzrokovati kvar komponenti, što rezultira neplaniranim ispadima, pa čak i ozljede. Osim toga, energija utrošena na stvaranje topline uzrokuje nepotrebne gubitke energije. Ako se ne kontrolira, toplina čak se može popeti do točke gdje se veze otapaju i pucaju, i kao rezultat toga mogu izbiti veliki požari. Primjeri kvarova u visokonaponskim instalacijama koji se mogu otkriti s termovizijom[9]:

- Oksidacija visokonaponskih sklopki
- Pregrijani spojevi
- Neispravno osigurani spojevi
- Kvarovi izolatora

Ovi i drugi problemi mogu se otkriti u ranoj fazi pomoću termalnih kamera za snimanje stanja sustava. Toplinska kamera pomaže u preciznosti locirati problem i utvrdi vremenski okvir u kojemu bi se oprema trebala popraviti.



Slika 12. Prikaz visoke temperature na trafostanici pomoću termovizije

Izvor: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_EN.pdf

Širok pogled na trafostanicu može brzo pokazati područja gdje je neželjena visoka temperatura. Nema drugih tehnologija predviđanja održavanja jednako učinkovitih za električne preglede kao termovizija

Jedan od mnogih prednosti termovizijske slike je sposobnost izvođenja inspekcije dok su električni sustavi pod opterećenjem. Zato jer je termičko snimanje beskontaktna dijagnostička metoda, operater može brzo skenirati određeni dio opreme sa sigurnosne

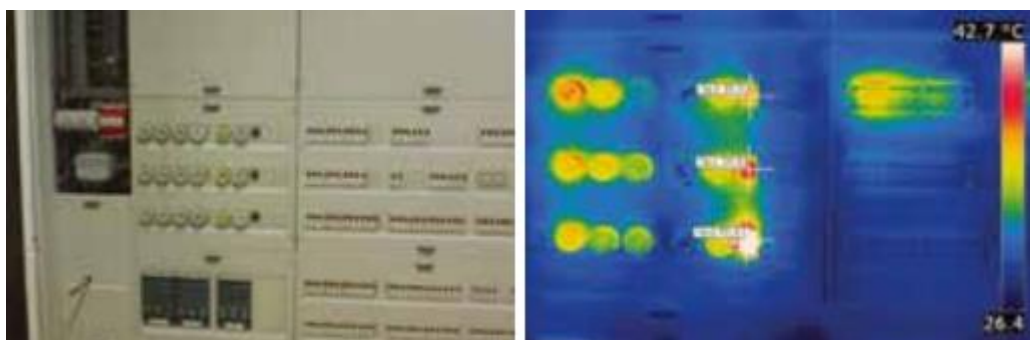
udaljenosti, napustiti opasno područje te analizirati podatke, a da se pritom nije stavio u opasnu situaciju.

5.2. NISKONAPONSKE INSTALACIJE

Kamere za toplinsko snimanje koriste se za preglede električnih sustava i komponenti svih veličina i oblika, a njihova upotreba ni u kom slučaju nije ograničena samo na velike visokonaponske aplikacije. Električni ormarići i upravljački centri redovito se skeniraju termovizijskom kamerom. Ako se ne kontrolira, toplina može porasti do točke da se veze rastope i puknu, kao posljedica toga mogu izbiti požari. Osim labavih veza, električni sustavi pate od neravnoteže opterećenja, korozije i povećanja impedancije prema struji. Toplinski pregledi mogu brzo locirati žarišta, odrediti ozbiljnost problema i pomoći u utvrđivanju vremenskog okvira u kojem bi se oprema trebala popraviti. Primjeri kvarova u niskonaponskoj opremi koji se mogu otkriti toplinskim snimanjem[9]:

- Priključci visokog otpora
- Korodirani spojevi
- Oštećenje unutarnjih osigurača
- Greške unutarnjeg prekidača
- Loši spojevi i unutarnja oštećenja

Ti i drugi problemi mogu se u ranoj fazi uočiti pomoću termovizijske kamere. To će pomoći da se spriječe skupe štete i izbjegnu opasne situacije.



Slika 13. Neravnomjerna podjela opterećenja na osiguračima

Izvor: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_EN.pdf

5.3. PROCJENA SIGURNOSTI ENERGETSKIH INSTALACIJA

U području elektrotehnike ne postoji sporazumni standard procjena sigurnosti temeljen na infracrvenom snimanju. U praksi za ocjenu stanja električne opreme koristi se delta-T kriterij. Koristi se veliki broj različitih delta-T kriterija. Radnje održavanja temeljene na iskustvu povezane s temperaturnom razlikom prikazane su u tablici[4].

Tablica 3. Sustav klasifikacije električne opreme na temelju iskustva za visoki napon

| Prioritet | Delta-T/°C | Preporučene radnje |
|-----------|------------|---|
| 1 | > 40 | Potrebne su korektivne mjere odmah. |
| 2 | 20 ÷ 40 | Potrebne su korektivne mjere što je prije moguće. |
| 3 | 10 ÷ 20 | Potrebne su korektivne mjere kada raspored to dopusti. |
| 4 | 1 ÷ 10 | Korektivne mjere treba poduzeti u sljedećem razdoblju održavanja. |

Izvor: <https://hrcak.srce.hr/file/247048>

Uobičajeno korišteni delta-T kriterij predstavljen u tablici 3. klasificiran je kao kriterij za visokonaponsku distribucijsku opremu i dijeli uobičajeno korištene karte na dvije razine napona, visoku i nisku infracrvenu termografiju u energetske pregledu električnih instalacija. Kriteriji temperature delta-T temeljen na porastu temperature komponente u odnosu na temperaturu okoline za niskonaponsku distribucijsku i upravljačku opremu prikazan je tablici 4[4]. Glavni problem kriterija delta-T je taj što ne uzima u obzir opterećenje komponente. Zato trenutno postoji više od 30 organizacija koje su razvile vlastitu metodologiju održavanja. Najpoznatija je Međunarodno udruženje za električna ispitivanja, NETA (engl. International Electrical Testing Association). NETA predlaže radnje temeljene na temperaturnoj razlici među sličnim komponentama i na temelju usporedbe između komponente i temperature okolnog zraka.

Tablica 4. Sustav klasifikacije električne opreme na temelju iskustva za niski napon

| Prioritet | Delta-T/°C | Preporučene radnje |
|-----------|------------|---|
| 1 | > 30 | Potrebne su korektivne mjere odmah. |
| 2 | 20 ÷ 30 | Potrebne su korektivne mjere što je prije moguće. |
| 3 | 10 ÷ 20 | Potrebne su korektivne mjere kada raspored to dopusti. |
| 4 | 0 ÷ 10 | Korektivne mjere treba poduzeti u sljedećem razdoblju održavanja. |

Izvor: <https://hrcak.srce.hr/file/247048>

U Hrvatskoj je Hrvatska nacionalna elektroenergetska tvrtka HEP najiskusnija u području termografske analize elektrodistribucijskih sustava. Infracrveni pregled koristan je kada je oprema pod nazivnim opterećenjem jer su neke žarišne točke slabo uočljive ako je struja mala. Kriteriji temperaturne razlike odnose se na porast temperature komponenata koje su pod nominalnim opterećenjem. U stvarnom smislu, na temperaturu (temperaturu registriranu kamerom) svake komponente sustava utječu nazivna struja, stvarna struja izmjerena u stvarnom vremenu, temperatura okoline i kriterij temperaturnih razlika (delta-T).

6. TEHNIKE ISPITIVANJA INFRACRvene TERMOGRAFIJE

Kada je riječ o tehnikama ispitivanja infracrvene termografije, postoji nekoliko mogućnosti među kojima se može birati. Izbor ovisi o skupu podataka koji nam je potreban i što se nadzire. U nastavku su opisane neke od najčešćih tehnika ispitivanja infracrvene termografije.

6.1. PASIVNA TERMOGRAFIJA

Tehnika pasivne termografije ispitivanja uključuje snimanje toplinskih snimaka dok stroj radi ili neposredno nakon rada. To uvelike pomaže pri prikupljanju podataka bez vanjskog izvora energije ili isključivanje stroja. U pasivnoj termografiji prirodno su prisutni temperaturni gradijenti u materijalima i strukturama koje se ispituju. Pasivna metoda široko se primjenjuje u različitim područjima kao što su proizvodnja, predviđanje održavanja, medicina, otkrivanje šumskih požara, ispitivanje toplinske učinkovitosti zgrada, praćenje cestovnog prometa, poljoprivrede i biologije, detekcije plina i u metodama ispitivanja bez razaranja. U mnogim primjenama pasivna termografija primjenjuje relativnu temperaturu sličnog objekta ili temperaturu okoline. Jedna od primjena pasivne termografije je za preventivno i prediktivno održavanje. U građevinarstvu, na primjer, pasivna termografija može se koristiti za traženje skrivenih nedostataka ili oštećenja u konstrukciji kolnika ili mosta, zajedno s podacima o mehanizmu degradacije, služi kao alat za ranu dijagnostiku koji upotpunjuje metodologije korištene za ispitivanje stanje popločavanja.

6.2. AKTIVNA TERMOGRAFIJA

Aktivna termografija mora koristiti vanjski izvor energije kako bi se stvorila temperaturnih razlika u komponenti na koje mogu imati utjecaj unutarnji materijali i nedostaci. Koristi se za pokazivanje protoka topline kroz komponentu i za lociranje abnormalnosti u komponentama tijekom uporabe. U aktivnoj termografiji relevantni toplinski kontrasti inducirani su vanjskim podražajem. U aktivnoj infracrvenoj termografiji uzorak se zagrijava vanjskim kontroliranim izvorom topline, a njegova se površinska temperatura prati u ovisnosti o vremenu kroz promjene emitiranog infracrvenog zračenja. Specifična toplinska svojstva materijala koji se ispituje utječu na prijenos topline i uzrokuju promjenu površinske temperature u odnosu na područja s različitim toplinskim svojstvima. Aktivna termografija vrlo je popularna metoda u metodama ispitivanja bez razaranja, poput otkrivanja pukotina u strukturi. Mnogo je metoda korišteno u aktivnoj termografiji.

6.2.1. PULSNA TERMOGRAFIJA

Pulsna termografija (engl. Pulse Thermography). Karakteristike ove vrste aktivne termografije je da ima mogućnost brzog pregleda koji se oslanja na impuls toplinske stimulacije, s trajanjem od nekoliko milisekundi za pregled materijala visoke toplinske vodljivosti (poput metalnih dijelova) do nekoliko sekundi za uzorke niske toplinske vodljivosti (kao što su plastika, grafitne epoksidne komponente).

6.2.2. STUPNJEVITO ZAGRIJAVANJE

Suprotno shemi pulsne termografije za koju je od interesa pad temperature (nakon toplinskog impulsa), povećanje površinske temperature prati se primjenom stupnjevito zagrijavanja ('dugi impuls'). Varijacije površinske temperature s vremenom povezane su sa značajkama uzorka.

6.2.3. TERMOGRAFIJA SA ZAKLJUČAVANJEM

Na temelju toplinskih valova nastalih unutar uzorka koji se proučava u stalnom režimu. Ovdje se na frekvenciji uzorak podvrgava grijanju s sinusnom modulacijom, koje uvodi jako oslabljene disperzivne toplinske valove frekvencije unutar materijala (u blizini površinskog područja).

6.2.4. VIBROTERMOGRAFIJA

Mehaničke vibracije su izazvane izvana na konstrukciju te izravno dolazi do pretvorbe mehaničke energije u toplinsku i toplina se oslobađa trenjem upravo na mjestima gdje se nalaze nedostaci poput pukotina i desalinizacija.

6.3. FAKTORI KOJI MOGU UTJECATI NA ISPITIVANJA

Tablica 5. Utjecaj okolišnih čimbenika na IC inspekciju

| FAKTOR OKOLIŠA | UČINAK NA MJERENJE |
|----------------------------|--|
| Temperatura vanjskog zraka | Povećanje temperature zraka rezultirat će povećanjem izmjerena komponenta temperature. Pri vrlo visokim ili vrlo niskim temperaturama, IC sustav postaje manje stabilan. |
| Oborine/Vlaga | To može dovesti do hlađenja isparavanjem. Temperaturne razlike mogu biti dramatično smanjene, što dovodi do pogrešnog tumačenja podataka. Uvjeti da je samo blago toplo može se ohladiti ispod točke na kojoj se mogu otkriti. |
| Vjetar | Brzine vjetra manje od 5 km / h mogu pridonijeti značajnom utjecaju hlađenja na okov s visokim otporom. Brzina vjetra iznad 5 km / h može smanjiti temperaturnu razliku između komponenti i ambijenta na nekoliko stupnjeva iznad ambijenta. |
| Sunce | Solarno zagrijavanje komponenti, osobito onih s visokom apsorpcijom sunčeve energije (kao što su ostarjeli vodiči), maskirat će male toplinske razlike. |

Izvor: <https://hrcak.srce.hr/file/247048>

7. IC TERMOGRAFIJA U POMORSKIM PRIMJENAMA

Godine 2004., Loyd's Register, najvažnije svjetsko tijelo za klasifikaciju i certifikaciju brodova, donijelo je sljedeće predviđanje: „U bliskoj budućnosti, mehanička mehanizacija na plovilima također će imati koristi od termičkog snimanja, posebno kao strategija za identifikaciju opreme i sustave na koje treba obratiti pozornost, kao i na uklanjanje potrebnog rada.”[6]. Sada IC termografija može učiniti mnogo više, a na tržištu postoje brojne tvrtke koje nude usluge IC termografije za pomorsku primjenu.

Na komercijalnim brodovima vrlo je važan termografski pregled velikih strojeva, velikih električnih instalacija te proširenih elektroničkih sustava koji se teško mogu pregledati vizualno. Zaštita od požara važno je i relevantno pitanje. Prema Međunarodnoj konvenciji o zaštiti života na moru (eng. SOLAS – International Convention of the Safety of Life at Sea), maksimalna površinska temperatura strojeva, dijelova i komponenata u strojarnici plovila ne smije se popeti iznad 220° C. Kako bi se izbjeglo paljenje i razvoj požara, sve površine iznad 220° C moraju biti izolirane ili na drugi način zaštićene. Statistike pokazuju da je većina požara u strojarnici uzrokovana puknućem cijevi za gorivo ili ulje koje na kraju prskaju gorivo/ulje na susjedne vruće površine. To se ne događa često, ali požar strojarnice imaće ozbiljne i skupe posljedice za brod i njegov teret, njegovu posadu i brodarsku tvrtku. Manji nedostaci su brojni, a izgleda da izolacija cjevovoda ili kabela, kako to zahtijevaju pravila SOLAS -a, često nedostaje. Kako motori postaju složeniji i upravljaju sve većim brojem električnih ili elektroničkih komponenti, potreba za redovitim pregledima i održavanjem raste. IC termografija ima prednost što je beskontaktni alat za pregled i mjerenje koji može prikazati i pohraniti točne vrijednosti temperature, kao i vizualne dokaze. Štoviše, ušteda vremena postaje važno sredstvo u brodskom poslovanju jer se potrebne inspekcije moraju obaviti brzim tempom. Kad se nešto dogodi motorima ili drugim vitalnim instalacijama, gubici daleko nadmašuju ulaganje u tako uvjerljiv alat koji štedi vrijeme i stoga je pristupačan za pregled, poput infracrvene kamere. Termografski pregledi infracrvenom kamerom odmah će pokazati toplinsko stanje električnih krugova, elektroničkih sustava i drugih instalacija i dijelova na brodu. Općenito govoreći, infracrvene kamere omogućuju brze i sigurne preglede u skladu s strogim rasporedom u pomorskoj trgovini. Prije ili kasnije, sve će električne instalacije po prirodi razvijati greške. Na brodovima se ti kvarovi mogu pripisati vibracijama i lošem održavanju od strane posade i/ili popravka brodogradilišta, ali se mogu pripisati i pogrešnoj instalaciji. Korištenjem procesa termografskog skeniranja ta se potencijalna područja kvarova mogu otkriti prije nego što postanu opasnost. Termografija se može koristiti u svim vrstama električnih instalacija, tj. osiguračima, kontaktima, pločama, kabelskim vodovima i drugim električnim komponentama. Tipična područja za skeniranje su: sklopne ploče u upravljačkim prostorijama motora, generatori u nuždi, kuhinje, praonice rublja, ventilatori za smještaj klima uređaji, dizala, konzole mostova, potisnici, razdjelnici svjetla i energije itd. Moguća su termografska skeniranja električnih instalacija dok su sustavi u pogonu, bez izazivanja skupih zastoja. U gotovo svim slučajevima ovaj oblik rješavanja problema izuzetno je isplativ, a u nekim kritičnim situacijama i jedina dostupna metoda. Za komercijalne i

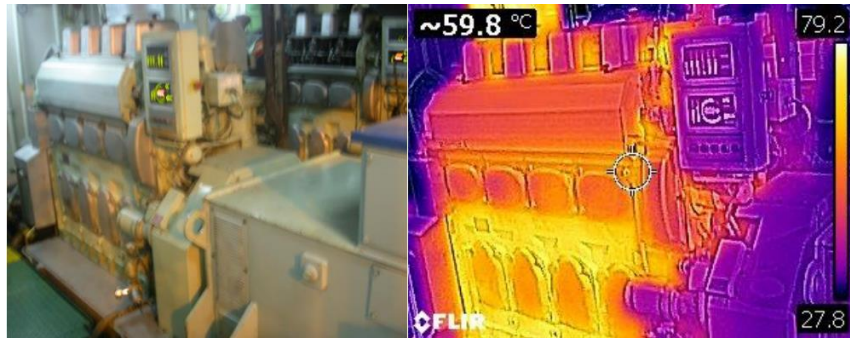
tehničke menadžere to će izbjeći dodatne troškove povezane s potencijalnim požarima i/ili gašenjem velikog električnog sustava.

Termografija nudi prednost što ne ometa rad plovila. Motori moraju raditi pri normalnim opterećenjima i temperaturama radi dobrih uvjeta pregleda. Putovanje od tri do četiri sata pri punoj brzini i pri punom opterećenju idealno je za dobivanje jasne slike o brodskim električnim i pogonskim sustavima. Kriteriji ozbiljnosti jasno definiraju maksimalnu temperaturu brodske strojnice na 220 ° C. Na temelju ovog praga, termografi koriste skup kriterija ozbiljnosti[4]:

- Ozbiljnost 0: U redu (izmjerena temperatura < 210,0° C)
- Ozbiljnost 1: Treba se pratiti (210,0 ° C < [izmjerena temp.] < 220,0° C)
- Ozbiljnost 2: Neprihvatljivo odstupanje (izmjerena temperatura > 220,0° C)

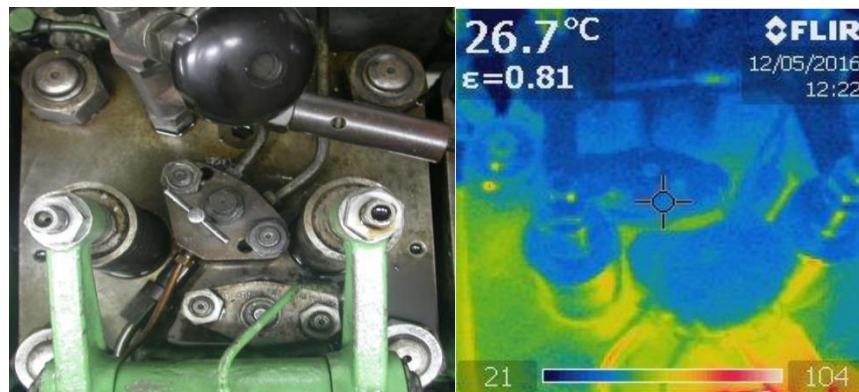
7.1. UPOTREBA TERMOVIZIJE U DIJAGNOSTICI BRODSKIH MOTORA

Intenzitet infracrvenog zračenja koje emitiraju objekti uglavnom je funkcija njihove temperature. U infracrvenoj termografiji ova se značajka koristi u više svrha: kao pokazatelj zdravlja u medicini, nadzor procesa, inspekcija proizvodnje i ispitivanje bez razaranja, kao znak kvara u mehaničkom i električnom održavanju ili kao pokazatelj gubitka topline u objektima. U modernim motorima s unutarnjim izgaranjem nastoji se smanjiti toksičnost ispušnih plinova, uštedu goriva i najbolja kohezivna svojstva. U radu motora s unutarnjim izgaranjem važan je element stalna kontrola njegovog tehničkog stanja. Bit aktivnosti usmjerena je na maksimalno korištenje vremena rada motora i njegovu dijagnozu. To omogućuje dijagnosticiranje potrošnje kvara. Postoji mnogo dijagnostičkih metoda. Na sljedećim slikama je prikazan termografski prikaz motor s generatorom i glava motora.



Slika 14. Motor u vidljivom svjetlu s generatorom i termografska slika

Izvor:https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/41/mateconf_diagnostyka2018_01027.pdf



Slika 15. Glava motora u vidljivom svjetlu i termografska slika

Izvor:https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/41/mateconf_diagnostyka2018_01027.pdf

U pravilu, kada se mehaničke komponente istroše i postanu manje učinkovite, toplina će se rasipati. Posljedično, temperatura neispravne opreme ili sustava brzo će se povećati prije kvara. Povremenom usporedbom očitavanja s termovizijske kamere s temperaturnim potpisom stroja u normalnim radnim uvjetima, možete otkriti mnoštvo različitih kvarova. Kvarovi motora, poput trošenja kontakta četkom, obično stvaraju višak topline prije kvara, ali ostaju neotkriveni analizom vibracija, jer često uzrokuju malo ili nimalo dodatnih vibracija. Toplinska slika daje potpuni pregled i omogućuje vam usporedbu temperature različitih motora. Ostali mehanički sustavi nadzirani termovizijskim kamerama uključuju spojnice, mjenjače, ležajeve, pumpe, kompresore, remene, puhalu i transportne sustave. Primjeri mehaničkih grešaka koje se mogu otkriti toplinskim snimanjem su[10]:

- Problemi s podmazivanjem
- Odstupanja
- Pregrijani motori
- Sumnjivi valjci
- Preopterećene crpke
- Pregrijane osovine motora
- Vrući ležajevi

Ti i drugi problemi mogu se u ranoj fazi uočiti pomoću termovizijske kamere. To će pomoći spriječiti skupe štete i osigurati kontinuitet proizvodnje.

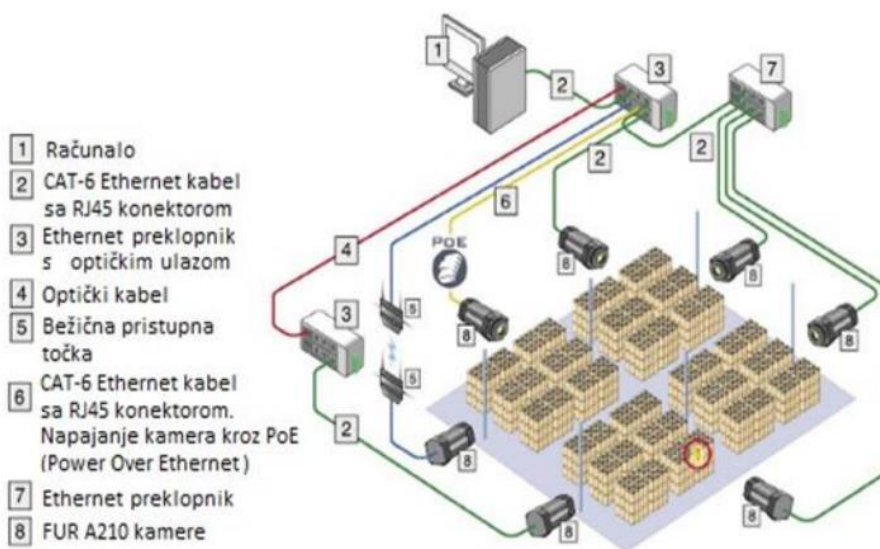
7.2. SUSTAV VATRODOJAVE POMOĆU TERMOVIZIJSKIH KAMERA

Možda i najvažnija prednost termovizijskih kamera i termovizijske inspekcije je pravovremeno otkrivanje požara na brodu i na brodskim sustavima. Najbolji način rješavanja požara na brodovima je spriječiti ih, a ne dopustiti da se dogode. Požari na brodovima mogu se spriječiti pronalaženjem i otklanjanjem istjecanja loživog ulja, ulja za podmazivanje i ispušnih plinova. U brodskoj generatorskoj prostoriji najveća opasnost od požara je propusna cijev za gorivo pod visokim tlakom. Ulje koje curi iz takve cijevi može pasti na ispušni razvodnik visoke temperature koji je osjetljiva točka za paljenje. Važne točke koje treba uzeti u obzir pri sprječavanju požara na brodovima:

- U strojarnici kante za otpad koje se koriste za skladištenje uljnih krpa moraju imati poklopce.
- Cijevi loživog ulja pod visokim tlakom ne smiju se zatezati radi kontrole curenja dok motor radi.
- Treba odmah pristupiti istjecanju ispušnih plinova i istjecanju pare.
- Jedna od patentnih metoda zaštite od požara je učinkovita i redovita vatrogasna ophodnja. Ne postoji metoda koja može nadmašiti fizičko praćenje.
- Požar izazvan cigaretama i dalje je jedan od najčešćih uzroka požara.
- Požari su također uzrokovani tijekom utovara i istovara tereta, poput ugljena. Iz tog razloga, brodsko osoblje mora uvijek razgovarati o karakteristikama tereta i preventivnim metodama koje treba poduzeti tijekom sigurnosnih sastanaka i tjednih vježbi.

Statistički gledano, za 80% požara na brodu je krivi ljudski faktor i najviše se požara dogodi u strojarnici. Kako bise smanjili gubici ljudskih i života i višemilijunski popravci, SOLAS konvencija je donijela odluku da maksimalna temperature na površini strojeva ne prelazi 220 °C te da se površine moraju izolirati.

CCTV (eng. Closed-circuit Television) je općenito je poznat kao video nadzor. “Zatvoreni krug” znači da se emitiranje obično prenosi na ograničen (zatvoren) broj monitora, za razliku od “obične” televizije, koja se emitira u javnosti. Tradicionalni CCTV sustav sastoji se od: Jedna ili više kamera (analognih ili digitalnih), svaka s objektivom opremljenim senzorom slike. Snimač ili standardni video snimač za analogne sustave ili izravni video rekorder (DVR) ili mrežni video rekorder (NVR) za digitalne sustave. Kablovi - RJ45 za digitalne ili koaksijalne za analogne. Jedan ili više monitora na koje se slike prenose. CCTV sustav prikazuje vizualnu sliku svakog prostora na brodu te se na takav sustav vrlo jednostavno mogu nadograditi različite softverske aplikacije, tako da CCTV sustav vrlo lako može postati sustav vatrodjave. Sustav pomoću termovizijskih kamera vrši nadzor te prikuplja podatke u realnom vremenu te se pomoću algoritama ti podaci obrađuju. Ako sustav prepozna da je temperature porasla iznad propisa, javlja se signal upozorenja pa zatim i alarm. Sljedeća slika prikazuje shemu sustava vatrodjave pomoću FUR A210 termovizijske kamere.



Slika 16. Shema sustava vatrodjave pomoću termovizijskih kamera

Izvor:file:///C:/Users/Randi/Downloads/bistrovic_miroslav_pfri_2016_diser_sveuc.pdf

Toplinska slika u kombinaciji sa sustavom za dojavu požara uvelike doprinosi sigurnosti i brzini u sprječavanju mogućih požarnih situacija, korištenjem monitora s kojim se moguće točno i brzo locirati potencijalno podrijetlo požara. Komponente i funkcionalnost predloženog modela zadovoljavaju određene uvjete kao što su: softver, zahtjev za brzo otkrivanje porasta temperatura, vizualizacija i funkcionalnost. Ključne značajke sustava temeljene na termičkoj[6]:

- Uz toplinsku obradu slika infracrvenih kamera, alarmni sustavi mogu pružiti zvučni ili vizualni signal.
- U kombinaciji s PLC ili PC kontrolerom, stvoren je napredniji sustav upravljanja temeljen na termičkoj obradi slike.
- Sustav omogućuje definiranje razine alarma temperature za kontrolirani objekt ili površinu.
- Dopušta mogućnost kontrole više ciljnih točaka.
- Sustav pruža analizu trendova porasta temperature sa svrhom identificiranja postojećih problema prije aktiviranja definirane alarmne razine.
- Reprodukcijska video zapisa i brza pretraga po datumu kako bi se otkrio uzrok i mjesto požara.

Položaj IC kamere od velike je važnosti za dobar pregled ciljanog kontroliranog objekta. Osim glavnog sustava za dojavu požara, predloženi model služi kao značajna dodatna pomoć. U današnje vrijeme veliki je zahtjev vlasnika brodova da se smanji rizik i da se poveća sigurnost te je to potaknulo znanstvenu zajednicu i proizvođače brodske opreme na razvoj i implementaciju novih rješenja. Zbog toga je današnja zaštita od požara glavni prioritet pri projektiranju brodova, osobito putničkih. Pravila i propisi IMO -a o zaštiti ljudskih života na moru (Konvencija SOLAS) pružaju okvir zaštite od požara. Uvođenjem automatizacije brodova pokušava se povećati pouzdanost, sigurnost i funkcionalnost brodskih sustava, uključujući sustav detekcije požara.

U tablici je prikazan odnos boje plamena i temperature. Intenzitet boje i plamena će ovisiti o raznim stvarima, kao o materijalu koji gori, zračnim strujama, količini zraka itd. Toplija mjesta će biti označena toplijim i svijetlijim bojama (crvena, žuta i bijela), dok će hladnija mjesta biti označena sa plavom i ljubičastom bojom[6].

Tablica 6. Procjena temperature požara na temelju boje plamena

| BOJA PLAMENA | TEMPERATURA (°C) |
|----------------------|-------------------------|
| Svjetlo crvena | 480 - 530 |
| Tamno crvena | 530 - 600 |
| Trula višnja - tamna | 600- 650 |
| - srednja | 600- 700 |
| - svjetla | 700 - 760 |
| Žarko crvena | 760 - 815 |
| Losos crvena | 870 - 930 |
| narančasta | 930 - 980 |
| žuta | 980 - 1050 |
| Svijetlo žuta | 1050 - 1150 |
| bijela | 1150 - 1250 |
| Jasno bijela | 1350 - |

Izvor: file:///C:/Users/Randi/Downloads/02-zn-am-50-122-bistrovic-panco-domagoj.pdf

7.3. UPOTREBA TERMOVIZIJE PRI ANALIZI STANJA CJEVOVODA

Toplinska slika također daje vrijedne informacije o stanju izolacije cijevi, cijevi i ventila. Provjera stanja izolacijskog materijala koji okružuje cijevi može biti ključna. Gubici topline zbog izolirane izolacije prikazat će se vrlo jasno na toplinskoj slici, omogućujući da se brzo popravi nedostajuća izolacija i spriječe značajni gubitci energije ili druga oštećenja. Procesni ventili su još jedan dobar primjer opreme povezane s cjevovodima koja se često pregledava pomoću termovizijskih kamera. Osim otkrivanja propuštanja, termovizijska

kamera također se može koristiti za utvrđivanje je li ventil otvoren ili zatvoren, čak i iz daljine. Primjeri grešaka u cjevovodima koji se mogu otkriti pomoću termovizije jesu[8]:

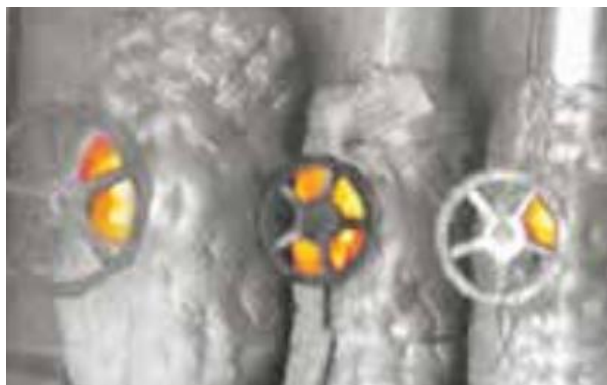
- Propuštanje u crpkama, cijevima i ventilima
- Kvarovi izolacije
- Začepljenje cijev

Sve vrste curenja, začepljene cijevi i neispravna izolacija će jasno prikazati na termalnoj slici. A budući da vam toplinska slika može brzo dati pregled cijele instalacije, nema potrebe provjeravati svaku cijev zasebno.



Slika 17. Oštećenje izolacije

Izvor: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_EN.pdf

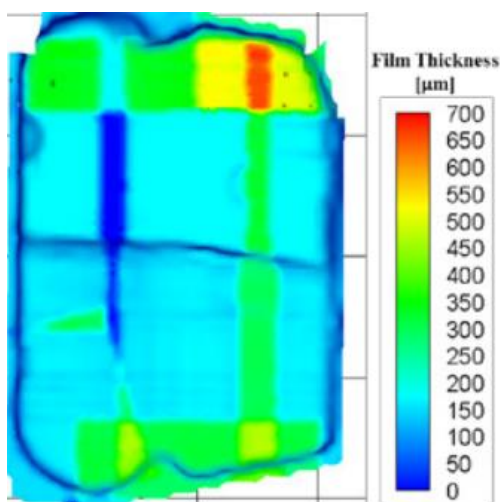


Slika 18. Propuštanje topline zbog nedovoljne izolacije

Izvor: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_EN.pdf

7.4. OTKRIVANJE KOROZIJE POMOĆU TERMOVIZIJE

Dodatne prednosti korištenja slika na toplinskoj osnovi za pregled obojenih površina proizlaze iz činjenice da su određene formulacije boja prozirne u infracrvenom pojasu 2-5 μm . To omogućuje da termalno skeniranje podloge trupa broda radi oštećenja ili korozije bez uklanjanja boje. Koriste se FLIR termalne kamere koje služe za održavanje održavanja balastnih spremnika. Tankeri ponekad imaju balastne spremnike pune nafte pri povratku s Bliskog istoka. No, kad se kreću prema tom odredištu, ti se isti spremnici pune slanom vodom, samo da bi plovilo održalo ravnotežu tijekom svog putovanja. Problem je u tome što je slana voda jako korozivna i može oštetiti boju. S termovizijskim kamerama možemo vidjeti gdje su korozijske mrlje bez uklanjanja boje.



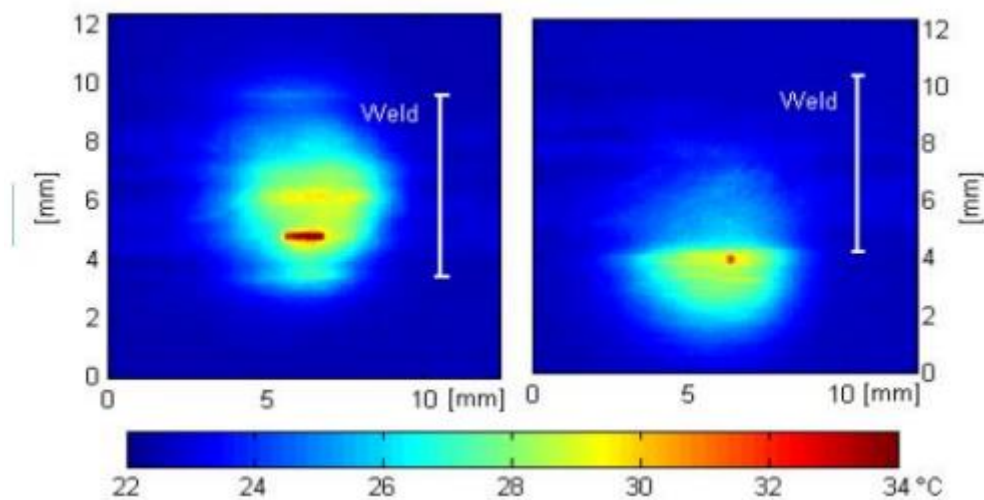
Slika 19. Debljina sloja boje

Izvor: https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/RND_006/RND_006_EN.pdf

7.5. PRIMJENA TERMOVIZIJE PRI POSTUPKU ZAVARIVANJA

Prva primjena koja je relevantna na području izgradnje plovila je kontrola kvalitete zavarivanja. Bilo da se radi o točkovnom zavarivanju, elektrolučnom zavarivanju ili zavarivanju trenjem uz miješanje. U vrlo kritičnim primjenama poput gradnje plovila stroga kontrola kvalitete zavara bitna je. Tradicionalno se zavar ispituje vizualnim pregledom i lupkanjem čekićem kako bi se provjerilo jesu li dva metalna ruba pravilno spojena. Međutim, ovaj način testiranja je subjektivan.

Termografsko snimanje je puno bolje i objektivnije rješenje. U osnovi, dobar zavar zahtijeva da se metal ravnomjerno zagrijava do temperature taljenja. Zato praćenje temperature zavara može biti dobar pokazatelj čvrstoće zavara. Snimanjem toplinske slike zavara može se generirati termograf koja prikazuje kako temperatura varira po zavaru i uz njega. Zato što metali imaju vrlo slabu emisivnost i apsorpciju, oni reflektiraju veliku količinu svjetlosti. Iako je apsorpcija mala, ona zagrijava površinu metala. Svjetlost koja uđe u pukotinu zagrijava tu pukotinu zato što se dešava višestruka refleksija unutar pukotine i tako će temperature pukotine biti puno veća od temperature okoline.



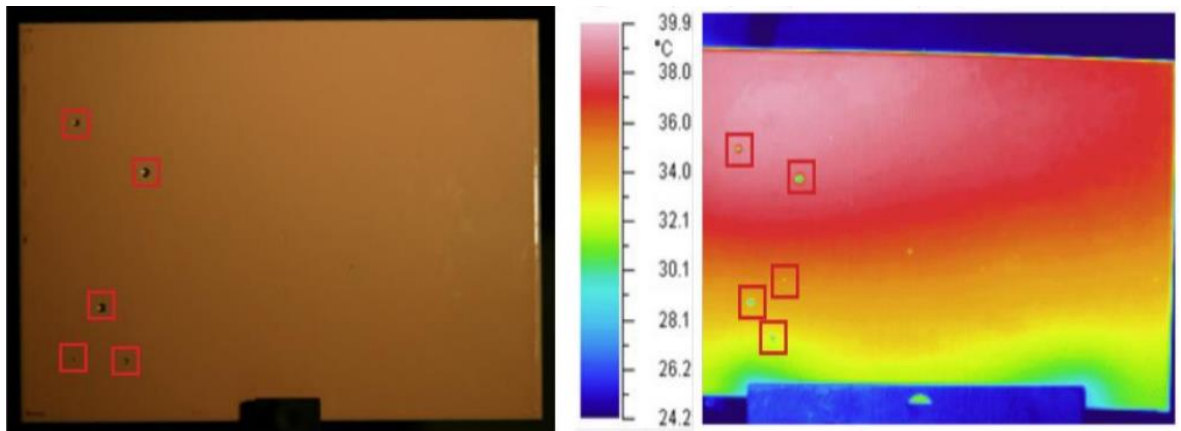
Slika 20. Pukotina osvjetljena jakom svjetlošću

Izvor: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096386951300056X>

7.6. PRIMJENA TERMOVIZIJE U INSPEKCIJI OBOJANIH POVRŠINA

Velika prednost termovizijskog snimanja je ta što može prikazati temperaturu profila velikih brodskih područja. Korištenje toplinske slike za površinski pregled već je uspješno primijenjeno u sektoru automobilske industrije. Tamo termalne kamere nadziru robotski postupak slikanja namijenjen premazivanju spremnika goriva za automobile zaštitnim filmovima. Također, u izgradnji brodova korištena je termografija za otkrivanje nebojenih mjesta u balastnim spremnicima. U ovoj primjeni termografija detektira nebojena mjesta u različitim veličinama zbog njihove različite emisivnosti i toplinskih svojstava. Termografija se također može koristiti za nadopunu drugih tehnika temeljenih na slikanju, poput fluorescentnog snimanja, gdje formulacija materijala za boje sadrži fluorescentne pigmente

koji sjaje pod ultraljubičastim svjetlom. Na slici je prikazan zaštitni premaz te dijelovi koji nisu premazani te termografski obrađena slika.



Slika 21. Prikaz rupica u zaštitnom premazu broad

Izvor:https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/RND_006/RND_006_EN.pdf

7.7. PRIMJENA TERMOVIZIJE U BRODOGRADILIŠTU

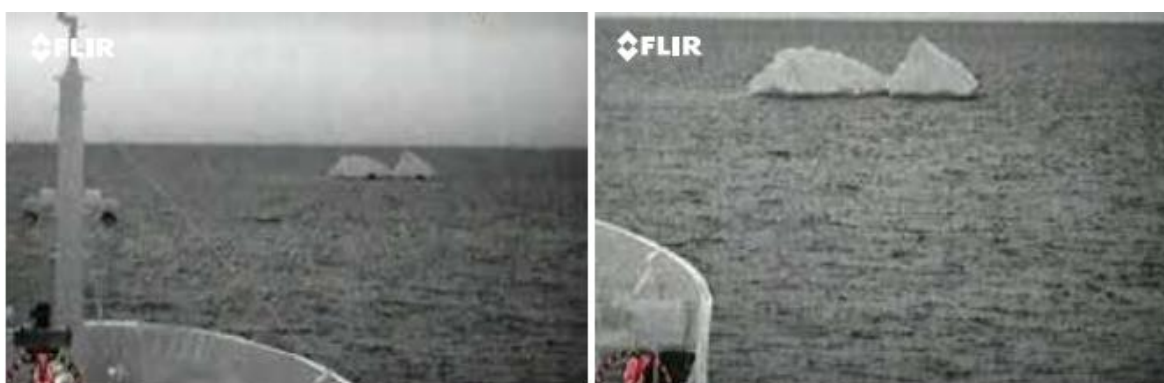
Vrlo često se inspekcije na brodogradilištima moraju obavljati na loše osvijetljenim i teško dostupnim mjestima. Toplinska slika idealna je za to, jer se može primijeniti na beskontaktni način i omogućuje vrlo učinkovit pregled teško dostupnih područja i struktura. Dvodimenzionalna karakteristika skeniranja iznimno je povoljna na morskim plovilima i struktura zbog velike veličine. Osim toga, ispitivanje termografijom ne zahtijeva pripremu površine i uzorka, a može se primijeniti na mnoge vrste materijala i formulacija boja, pa nije ograničeno određenim svojstvima rasutog materijala, poput elektromagnetske propusnosti.

Još jedna prednost termografije je mogućnost kontrole razlučivosti detekcije kontrolom leća i prostornim dimenzijama polja žarišne ravnine, pa postoji rješenje kamere za mnoge različite poslove pregleda plovila. Postoji mnogo vrsta FLIR kamera, od termičkih jezgri integriranih u pištolj za raspršivanje do FLIR-ove serije za znanstvene i istraživačko razvojne aplikacije.

7.8. DETEKCIJA LEDA POMOĆU TERMOVIZIJSKIH KAMERA

Kombinacija iznimno dugih noći, surovog vremena i santi leda može učiniti putovanje arktičkim i antarktičkim vodama opasnim. Danas se ova putovanja mogu učiniti sigurnijima pomoću termovizijske kamere tvrtke FLIR Systems. Toplinsko snimanje može pomoći pomorcima da pronađu najsigurniji put kroz led. Led je teško pratiti pomorskim radarom jer se radarski signal raspršuje u mjehurićima zraka i drugim nedostacima u ledu. Mnogi iskusni pomorci mogu potvrditi poteškoće u otkrivanju leda pomoću radara. Čak je i povrat radarskog signala s velikih ledenih santi mnogo manji nego s brodskih objekata zbog niže refleksije radara leda (a osobito snijega) u usporedbi s čelikom. Stoga je otkrivanje ledenih ciljeva prilično teško, osobito ako imaju niske ili glatke profile. Tijekom dnevnih sati nemogućnost radara da otkrije led u određenim uvjetima može se nadoknaditi vizualnim pregledom. To zahtijeva dobru vidljivost. Međutim, u dugim polarnim noćima ovaj zadatak postaje vrlo težak zbog nedostatka svjetla, pa čak i tijekom dana vidljivost može biti ograničena maglom ili snijegom. Magla je uobičajena na Arktiku tijekom razdoblja otvorenih voda, a tijekom zime redovito se javljaju snježne oluje. Noću kombinacija mraka i magle ili snijega može ograničiti sposobnost vida da još više otkrije opasnosti od leda.

Termovizijske kamere se mogu koristiti za otkrivanje leda jer je led općenito mnogo hladniji od okolnog oceana. Ne samo da se razlikuju temperature leda i morske vode, već u većini slučajeva postoji i razlika u emisivnosti. Dva objekta na istoj temperaturi, ali s različitom emisijom emitirat će različite razine toplinskog zračenja na termalnoj kameri. Drugi faktor je kretanje površine. Površina morske vode se stalno pomiče, talasa i usitnjava, dok je površina leda čvrsta, mirna. Čak i kada je količina toplinskog zračenja koja se emitira na termovizijsku kameru manje više ista, što znači da led i voda imaju više manje istu boju na toplinskoj slici, led će se istaknuti na toplinskoj slici zbog faktora kretanja površine. Najbolji modeli termalnih kamera su kamere FLIR – M serije koje su ranije opisane u radu. Termovizijska kamera FLIR serije M dostupna je s raznim senzorima i rezolucijama kako bi zadovoljila širok raspon pomorskih potreba[14].



Slika 22. Otkrivanje leda pomoću termovizijskih kamera

Izvor: http://www.flirmedia.com/MMC/CVS/Maritime/MA_0018_EN.pdf

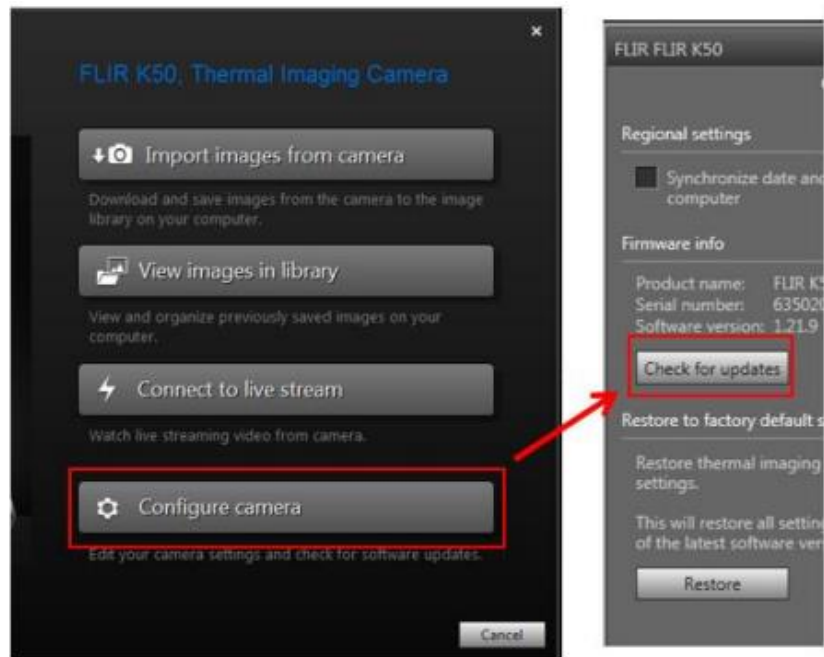
Na oštrim termalnim slikama visokog kontrasta prikazani su najmanji detalji, bez obzira na osvjetljenje. To ne samo da omogućuje ovim termovizijskim kamerama pomoć kapetanu i navigatorima u otkrivanju leda, već se može pokazati i neprocjenjivim u situacijama kad je čovjek u moru. U ovim hladnim vodama hipotermija se može pokazati smrtonosnom u roku od nekoliko minuta, pa ako dođe do situacije u kojoj je čovjek u moru, brzo pronalaženje palog člana posade od iznimne je važnosti. Toplinske kamere pokazale su svoju vrijednost u takvim operacijama pretraživanja i spašavanja diljem svijeta, ali u hladnim vodama i dugim tamnim noćima na Arktiku pomoću termoviziranja može se napraviti još veća razlika koja uvelike pomaže tragačima. Veliki temperaturni kontrast između hladne vode i tople osobe omogućuje operateru kamere da brzo locira osobu u vodi bez obzira na osvjetljenje. Zbog niskih temperatura u arktičkim vodama vrijeme uštede pomoću termovizijske kamere može lako napraviti razliku između života i smrti. Postavljanje FLIR termovizijske kamere na plovila koja prelaze arktičke vode pomoći će u izbjegavanju sudara, povećanju učinkovitosti i pomoći u očuvanju sigurnosti posade u situacijama kad je čovjek u moru, bez obzira na uvjete osvjetljenja.

8. PROGRAMSKA PODRŠKA ZA FLIR KAMERE

FLIR Tools/Tools+ je programski paket posebno osmišljen kako bi omogućio jednostavan način ažuriranja fotoaparata i stvaranja izvješća o inspekcijama. Korisnik mora imati odgovarajuću licencu kako bi mogao instalirati i pristupiti softveru. FLIR Systems osnovan je 1978. godine kao pionir u razvoju infracrvenih sustava za snimanje visokih performansi, a vodeći je u svijetu u dizajnu, proizvodnji i marketingu sustava za snimanje topline za širok raspon komercijalnih, industrijskih i državnih aplikacija. Primjeri onoga što možete učiniti u FLIR programskim paketom uključuju sljedeće[11]:

- Prebacivanje slika s fotoaparata na računalo
- Primjena filtera pri traženju slika
- Postavljanje i mijenjanje veličine mjernih alata na infracrvenoj slici
- Grupiranje i razgrupiranje datoteka
- Stvaranje panoramskih slika
- Stvaranje PDF slikovnih tablica i izvještaja po izboru
- Dodavanje zaglavlja i podnožja na termografskim slikama
- Ažuriranje termografske kamere s najnovijim softverom
- Konvertiranje termografskih formata datoteka (.csv i seq) u video formate kao što su .mp4, .avi, itd.

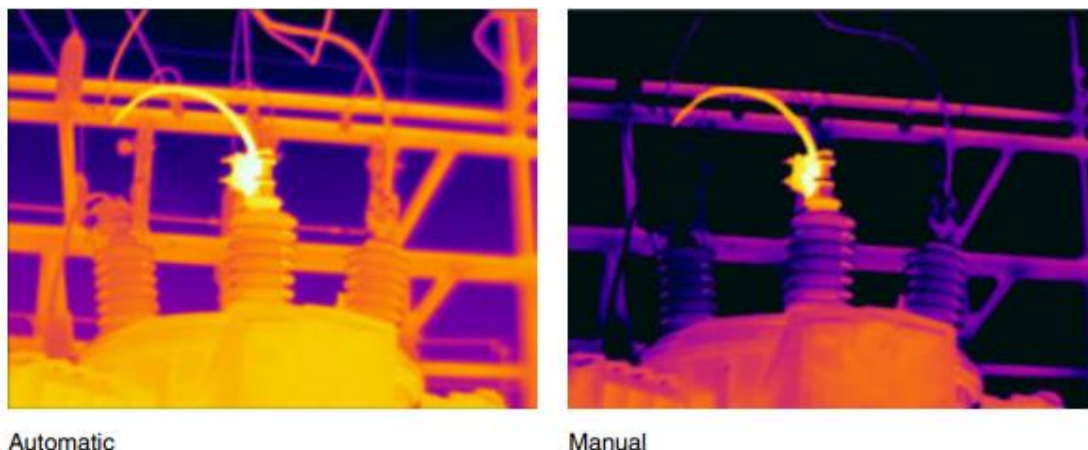
FLIR programski paket je besplatan i moćan alat koji se jednostavno instalira preko web stranice FLIR Systems. Kameru se može se povezati preko USB-a ili WiFi-a, nakon toga pokrene se alat te nam se prikažu funkcije. Pomoću prve funkcije mogu se prikazati sve slike na korištenoj kamere i mogu se prenijeti na računalo. Druga funkcija služi za grupiranje prema veličini, vrstu datoteke, imenu ili datumu snimanja. Sa trećom funkcijom se može pokrenuti prijenos uživo na termovizijskoj kameri te se taj prijenos može pratiti na pametnom telefonu ili računalu. Ako je verzija FLIR alata zastarjela, to se može riješiti sa četvrtom funkcijom koja provjerava ažuriranja.



Slika 23. FLIR Tools dijaloški okvir

Izvor:http://www.nbn.at/fileadmin/user_upload/Vertretungen/FLIR/Software/FlirTools/FLIR_Tools-Tools-Plus_6.0_Manual_t810209-en-us_a4-1702-nbn-mobile.pdf

Infracrvena slika može se podesiti ručno ili automatski. U uređivaču slika se može ručno promijeniti gornju i donju razinu na ljestvici temperatura. To olakšava analizu slike. Na primjer, može se promijeniti temperaturnu ljestvicu na vrijednosti bliske temperaturi određenog objekta na slici. To će omogućiti otkrivanje anomalija i manjih temperaturnih razlika u dijelu slike od interesa. Prilikom automatskog podešavanja slike, uređivač slika prilagođava sliku za najbolju svjetlinu i kontrast slike. To znači da se informacije o boji distribuiraju po postojećim temperaturama slike. U nekim situacijama slika može sadržavati vrlo topla ili hladna područja izvan područja interesa. U takvim slučajevima treba se isključiti ta područja pri automatskom podešavanju slike i upotrijebiti podatke o boji samo za temperature u području interesa. To se može učiniti definiranjem područja automatskog prilagođavanja. Na sljedećoj slici se nalaze infracrvene slike izolatora u dalekovodu. Radi lakše analize temperaturnih varijacija u izolatoru, temperaturna ljestvica na desnoj slici promijenjena je u vrijednosti blizu temperature izolatora.



Slika 24. Promjena razine temperature

Izvor:

http://www.nbn.at/fileadmin/user_upload/Vertretungen/FLIR/Software/FlirTools/FLIR_Tools-Tools-Plus_6.0_Manual_t810209-en-us_a4-1702-nbn-mobile.pdf

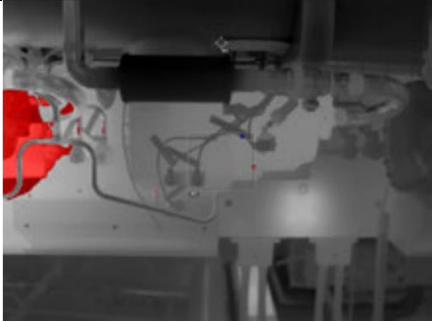
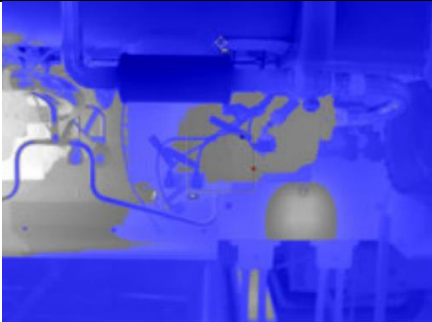
Može se promijeniti raspodjelu boja na slici. Drugačija raspodjela boja može olakšati temeljitiju analizu slike. Moguće je birati između tri različite distribucije boja[11]:


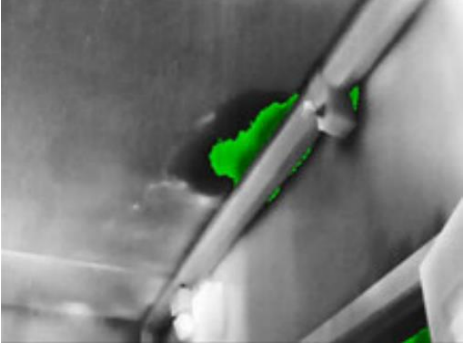
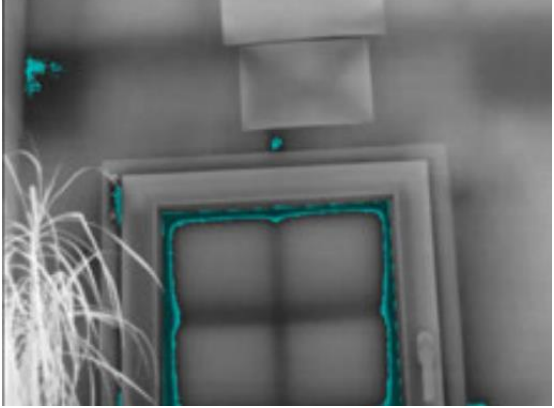
- Izjednačavanje histograma: Ovo je metoda prikaza slike koja distribuira informacije o boji po postojećim temperaturama slike. Ova metoda distribucije informacija može biti osobito uspješna ako slika sadrži nekoliko vrhova pri vrlo visokim temperaturama.
- Signal linearni: Ovo je metoda prikaza slike u kojoj se informacije o boji na slici linearno distribuiraju prema vrijednostima signala piksela.
- Temperaturno linearno: Ovo je metoda prikaza slike u kojoj se informacije o boji na slici linearno distribuiraju prema temperaturnim vrijednostima piksela.

Rad s alarmima u boji i izotermama. Korištenjem alarma u boji (izoterme), anomalije se lako mogu otkriti na infracrvenoj slici. Naredba "isotherm" primjenjuje kontrastnu boju na sve piksele s temperaturom iznad, ispod ili između postavljenih razina temperature. Postoje i druge vrste alarma koje su specifične za zgrade: alarmi za vlagu i izolaciju. Može se odabrati sljedeće vrste alarma u boji[11]:

- Alarm "iznad": Ovo će primijeniti kontrastnu boju na sve piksele s temperaturom iznad navedene razine temperature.
- Alarm "ispod": Ovo će primijeniti kontrastnu boju na sve piksele s temperaturom ispod navedene razine temperature.
- Intervalni alarm: Ovo će primijeniti kontrastnu boju na sve piksele s temperaturom između dvije navedene razine temperature.
- Alarm vlažnosti: Pokreće se kada se detektira površina na kojoj relativna vlažnost premašuje unaprijed postavljenu vrijednost.
- Izolacijski alarm: Aktivira se ako postoji nedostatak izolacije u zidu.
- Prilagođeni alarm: Ova vrsta alarma omogućuje ručno mijenjanje postavki standardnog alarma.

Sljedeća tablica objašnjava različite alarme u boji.

| BOJA ALARMA | SLIKA |
|--------------------|--|
| Alarm "iznad" |  |
| Alarm "ispod" |  |

| | |
|-------------------|---|
| Intervalni alarm |  |
| Alarm vlažnosti |  |
| Prilagođeni alarm |  |

Izvor:http://www.nbn.at/fileadmin/user_upload/Vertretungen/FLIR/Software/FlirTools/FLIR_Tools-Tools-Plus_6.0_Manual_t810209-en-us_a4-1702-nbn-mobile.pdf

U posebnom dijaloškom okviru možemo analizirati sve slike koje zabilježimo sa termalnom FLIR kamerom. Neke od radnji koje možemo izvesti jesu: Sakriti ili izbrisati prenesene datoteke na računalo, spajati fotografije (Fusion), poboljšati razlučivost slike (UltraMax) i napraviti sigurnosnu kopiju svih slika i videozapisa prije poboljšanja.

Pomoću UltraMax značajke možemo smanjiti smetnje te tako olakšamo mjerenje i promatranje manjih predmeta. UltraMax slika dvostruko je šira i viša od obične slike. Kad operater snima UltraMax sliku, nekoliko običnih slika sprema se u istu datoteku. Snimanje svih slika može potrajati do 1 sekunde. Da se u potpunosti iskoristili UltraMax, slike se moraju malo razlikovati, što se može postići laganim kretanje kamere. Ispravno izoštravanje,

prizor s visokim kontrastom i nepomična meta drugi su uvjeti koji pomažu u postizanju ultra kvalitetne UltraMax slike.

Tekstualna napomena tekstualni je podatak o nečemu na slici i izgrađen je od skupine informacijskih parova, oznake i vrijednosti. Razlog korištenja tekstualnih napomena je učiniti izvješćivanje i naknadnu obradu učinkovitijima pružanjem bitnih informacija o slici, npr, uvjetima, fotografijama, i podacima o tome gdje je slika snimljena. U kameri korisnik može odabrati jednu od nekoliko vrijednosti za svaku oznaku. Korisnik također može unijeti numeričke vrijednosti i učiniti da tekstualna napomena bilježi mjerne vrijednosti s zaslona. U nekim fotoaparatima i softveru tekstualna napomena naziva se tekstualni komentar ili tablica.

U FLIR programskoj podršci se mogu stvoriti panorame spajanjem nekoliko manjih slika u veću. Analizira se svaka slika kako bi se otkrio uzorak piksela koji odgovara uzorcima piksela na drugim slikama. Zatim se može izrezati panoramu i izvršiti različite korekcije perspektive.

Iz programa se mogu stvoriti sljedeće vrste izvješća[11]:

- Adobe PDF slikovna tablica: Ovo je jednostavan format izvješća koji sadrži samo infracrvenu vezu i sve povezane vizualne slike. Izvješće se ne može dalje uređivati, a radiometrijski podaci nisu uključeni.
- Adobe PDF izvješće: Ovo je jednostavan format izvješća koji sadrži infracrvene slike, sve povezane vizualne slike i tablice rezultata. Izvješće se ne može dalje uređivati, a radiometrijski podaci nisu uključeni.
- Radiometrijsko izvješće Microsoft Word: Ovo je najnapredniji format izvješća i zahtijeva instalaciju FLIR Report Studija i aktivni FLIR Tools+. Generira se izvješće u formatu datoteke Microsoft Word *.docx. Napredna radiometrijska analiza može se provesti pomoću dodatka FLIR Word u programu Microsoft Word.

9. ZAKLJUČAK

Infracrvena termografija je danas široko prihvaćena tehnologija održavanja. Termografija se sve više koristi u pomorskim aplikacijama za inženjerske preglede električnih i mehaničkih sustava brodova te stacionarnih i pokretnih pomorskih sustava. Prednosti korištenja termovizijskog snimanja su mogućnost predviđanja mogućih opasnosti od požara uzrokovanih rastom temperature i katastrofalnim zastojsima u kontroliranim područjima u posebnim morskim objektima ili sustavima. Osim toga, IC termografija može se koristiti za praćenje kvalitete površine morske vode i za otkrivanje zagađenja ili opasnih materijala.

U ovom diplomskom radu je dokazano da je termovizijsko snimanje vrlo koristan alat ne samo u pregledu rada brodskih električnih uređaja i sustava, nego i prilikom traganja i spašavanja zbog visoke kvalitete termovizijskih kamera. Osim što termografija igra važnu ulogu u održavanju sigurnosti i pouzdanosti pomorskih objekata, ona štedi novac i povećava vrijeme neprekidnog rada. U današnje vrijeme primjenu termovizije i termovizijskog snimanja možemo vidjeti u mnogim industrijama kao što su medicina, energetska industrija, vojna industrija, istraživanje i razvoj, automobilska industrija itd.

LITERATURA

- [1] <https://dabar.srce.hr/islandora/object/etfos%3A809>
- [2] <https://dabar.srce.hr/islandora/object/etfos%3A2508>
- [3] <https://hrcak.srce.hr/file/39840>
- [4] <https://hrcak.srce.hr/file/247048>
- [5] https://hr.wikipedia.org/wiki/Infracrveno_zra%C4%8Denje
- [6] <https://www.bib.irb.hr/880209?rad=880209>
- [7] http://www.flirmedia.com/MMC/CVS/Maritime/MA_0018_EN.pdf
- [8] https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/RND_006/RND_006_EN.pdf
- [9] http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_EN.pdf
- [10] https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/41/mateconf_diagnostyka2018_01027.pdf
- [11] http://www.nbn.at/fileadmin/user_upload/Vertretungen/FLIR/Software/FlirTools/FLIR_Tools-Tools-Plus_6.0_Manual_t810209-en-us_a4-1702-nbn-mobile.pdf
- [12] <https://www.reliableplant.com/infrared-thermography-31572>
- [13] https://www.researchgate.net/publication/252645275_Thermal_Modeling_and_Imaging_of_As-built_Vehicle_Components
- [14] <https://www.sail-world.com/Australia/Ice-detection-with-thermal-imaging-cameras/-122745?source=google>

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| 1. Tablica 1. Područja infracrvenog zračenja | 8 |
| 2. Tablica 2. Zahtjevi termografskih operatera za svaku razinu specijalizacije . | 11 |
| 3. Tablica 3. Sustav klasifikacije električne opreme na temelju iskustva za visoki napon | 25 |
| 4. Tablica 4. Sustav klasifikacije električne opreme na temelju iskustva za niski napon | 26 |
| 5. Tablica 5. Utjecaj okolišnih čimbenika na IC inspekciju | 29 |
| 6. Tablica 6. Procjena temperature požara na temelju boje plamena..... | 36 |

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Elektromagnetski spektar | 4 |
| Slika 2. Disperzija..... | 5 |
| Slika 3. Raspodjela energije zračenja i maksimuma s objekta različitih temperature.. | 9 |
| Slika 4. Točkasti infracrveni termometar | 12 |
| Slika 5. Usporedba paleta boja | 14 |
| Slika 6. Kálmán Tihanyi i prva IC kamera..... | 15 |
| Slika 7. Shematski prikaz rada IR kamere | 16 |
| Slika 8. FLIR MD625 | 19 |
| Slika 9. FLIR M – Serija | 20 |
| Slika 10. FLIR Voyager | 21 |
| Slika 11. FLIR MU/MV serije..... | 22 |
| Slika 12. Prikaz visoke temperature na trafostanici pomoću termovizije | 23 |
| Slika 13. Neravnomjerna podjela opterećenja na osiguračima | 24 |
| Slika 14. Motor u vidljivom svjetlu s generatorom i termografska slika..... | 32 |
| Slika 15. Glava motora u vidljivom svjetlu i termografska slika | 32 |
| Slika 16. Shema sustava vatrodjave pomoću termovizijskih kamera | 34 |
| Slika 17. Oštećenje izolacije | 37 |
| Slika 18. Propuštanje topline zbog nedovoljne izolacije | 37 |
| Slika 19. Debljina sloja boje..... | 38 |
| Slika 20. Pukotina osvijetljena jakim svjetlošću | 39 |
| Slika 21. Prikaz rupica u zaštitnom premazu broad | 40 |
| Slika 22. Otkrivanje leda pomoću termovizijskih kamera | 42 |
| Slika 23. FLIR Tools dijaloški okvir | 44 |
| Slika 24. Promjena razine temperature | 45 |