

# Primjena infracrvene termografije u automobilskoj industriji

---

Ramljak, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:449062>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-18**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Preddiplomski sveučilišni studij**

**PRIMJENA INFRACRvene TERMOGRAFIJE U  
AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI**

**Završni rad**

**Tomislav Ramljak**

**Osijek, 2020.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 23.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na  
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Tomislav Ramljak
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	4420, 24.09.2019.
<b>OIB studenta:</b>	24407763961
<b>Mentor:</b>	Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Primjena infracrvene termografije u automobilske industriji
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Predložena ocjena završnog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	23.09.2020.
<b>Datum potvrde ocjene Odbora:</b>	30.09.2020.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 30.09.2020.

**Ime i prezime studenta:**

Tomislav Ramljak

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

4420, 24.09.2019.

**Turnitin podudaranje [%]:**

21

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Primjena infracrvene termografije u automobilske industriji**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.  
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1. Predmet istraživanja.....	1
1.2. Svrha i ciljevi istraživanja.....	1
1.3. Struktura rada .....	1
<b>2. POVIJESNI RAZVOJ INFRACRVENE TERMOGRAFIJE.....</b>	<b>2</b>
<b>3. OSNOVNI POJMOVI U INFRACRVENOJ TERMOGRAFIJI.....</b>	<b>5</b>
3.1. Plankov zakon zračenja.....	6
3.2. Emisivnost.....	7
3.3. Osnovna podjela infracrvene termografije.....	9
3.4. Princip rada infracrvene kamere .....	11
<b>4. PRIMJENA IC TERMOGRAFIJE U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI .....</b>	<b>16</b>
4.1. Primjena infracrvene kamere kao pomoćni sustav pri vožnji .....	21
4.2. Primjena infracrvene kamere u postupku proizvodnje .....	26
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>30</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>31</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>33</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>34</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>35</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>36</b>
<b>ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>38</b>

# 1. UVOD

## 1.1. Predmet istraživanja

Čitava priča vezana za infracrvenu termografiju započinje 1800. godine kada glazbenik Herschel slučajno otkriva da postoji zračenje izvan vidljivog spektra koje je zagrijavalo jače od zračenja vidljive svjetlosti. Nazvao ga je „calorific rays“, a danas to zračenje zovemo infracrveno zračenje. S tim rečenim fizikalna osnova infracrvene termografije je infracrveno zračenje.

Infracrvena termografija je metoda za mjerenje temperature tijela i njene raspodjele po površini tijela, to jest energije zračenja tijela koja se vrši beskontaktno, nedestruktivno po tijelo čija se temperatura mjeri na brz i učinkovit način. Mjerljivo tijelo je ono čija je temperatura viša od apsolutne nule jer ono tek tada zrači nevidljivo infracrveno zračenje (ono postaje vidljivo ljudskom oku kada je temperatura tijela viša od nekih 600°C). Infracrvenim kamerama takvo nevidljivo zračenje pretvaramo u vidljiv prikaz koji je predstavljen infracrvenim termogramom. Danas IC kamere imaju dosta širok spektar primjene, a s razvojem modernih, ergonomskih IC kamera pogodnih za upotrebu kod šire populacije, dolazi do širenja primjene na gotovo sve ljudske djelatnosti. Koristi se za dijagnostiku u medicini, energetici, strojarstvu, veterini, elektrotehnici, restauraciji umjetničkih djela, građevinarstvu i slično. Neizostavni je dio pomorske djelatnosti, vatrogasne i policijske opreme, a koristi se i u zračnim lukama. Jedno od područja gdje IC kamera ima jako veliku upotrebu je zapravo automobilska industrija što će se moći vidjeti kroz ovaj rad.

## 1.2. Svrha i ciljevi istraživanja

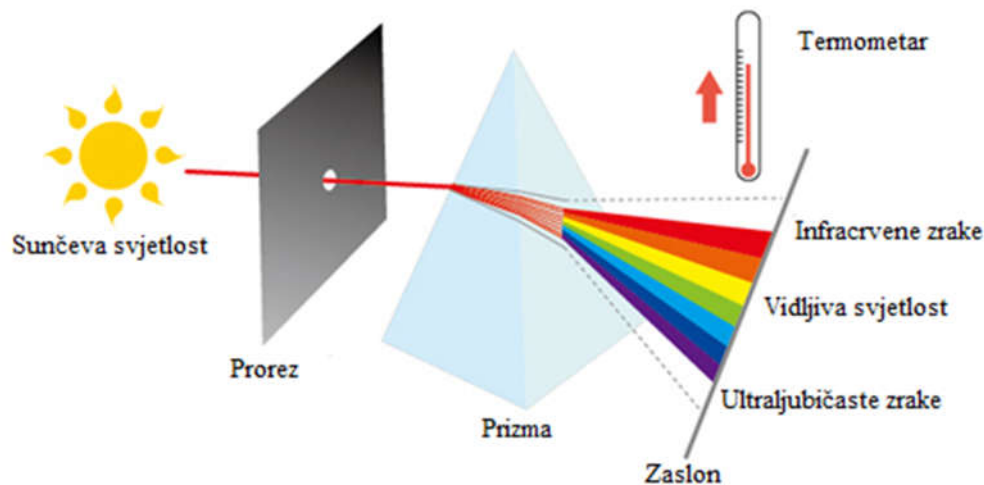
Svrha i cilj ovog rada je naučiti osnovne pojmove vezane za infracrvenu termografiju te pokazati zašto je infracrvena termografija dobra metoda za primjenu konkretno u automobilskoj industriji.

## 1.3. Struktura rada

Rad je podijeljen u četiri glavna poglavlja. Nakon prvog, uvodnog poglavlja, slijedi drugo poglavlje u kojem je prezentiran povijesni razvoj infracrvene termografije. U trećem poglavlju predstavljeni su osnovni zakoni na kojima se zasniva infracrvena termografija, njena podjela i princip rada termografske kamere. U četvrtom poglavlju koje je glavnina ovog rada se osvrnulo na jako dobre mogućnosti primjene infracrvene termografije u automobilskoj industriji te je izvršen praktični dio snimanja IC kamerom. Nakon četvrtog poglavlja slijedi zaključak rada.

## 2. POVIJESNI RAZVOJ INFRACRvene TERMOGRAFIJE

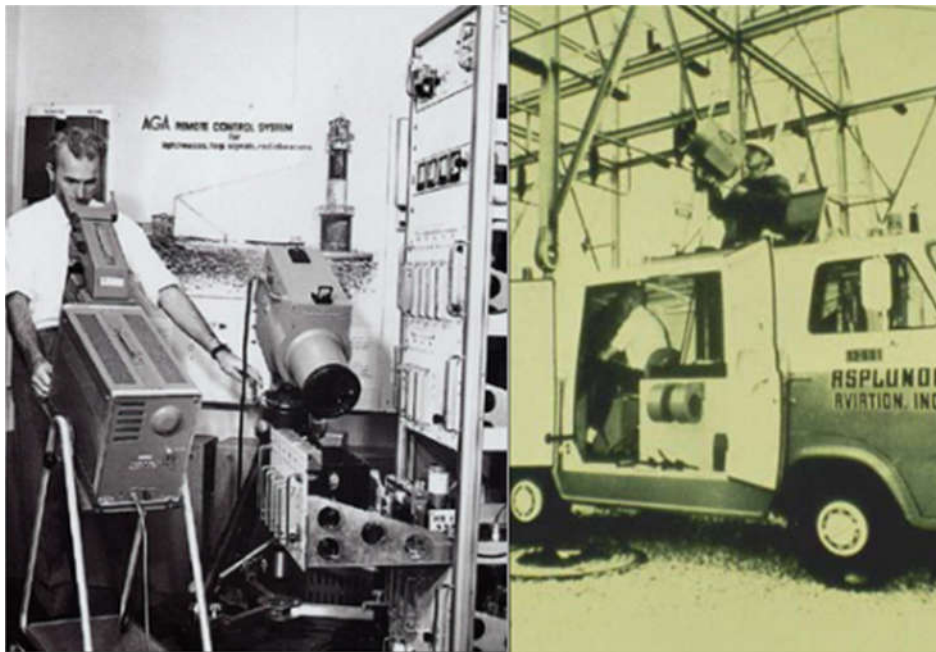
Otkriće infracrvenog zračenja je prilično nevjerojatno. Povijest infracrvene termografije započinje 1800. godine kada glazbenik Herschel slučajno otkriva da postoji zračenje izvan vidljivog spektra koje je zagrijavalo jače od zračenja vidljive svjetlosti. Herschel je znao da je sunčeva svjetlost odnosno vidljivo zračenje mješavina duginih boja. Također je znao da staklena prizma može rastaviti sunčevu svjetlost na boje od kojih se sastoji. Njegov eksperiment je bio izmjeriti temperaturu svake pojedine boje sa termometrom. Tim eksperimentom je otkrio da je ljubičasta boja imala najnižu temperaturu i kako se išlo prema crvenoj boji temperatura je postepeno rasla. Crvena boja je imala najveću temperaturu. Kada je termometar postavio izvan crvene boje gdje nije bilo vidljivog svjetla on je pokazao još višu temperaturu. Tako je Herschel slučajno otkrio da postoji nevidljivo zračenje koje grije više. Nazvao ga je „calorific rays“, a danas to zračenje zovemo infracrveno zračenje [1].



Slika 2. 1 Herschelov model eksperimenta [2]

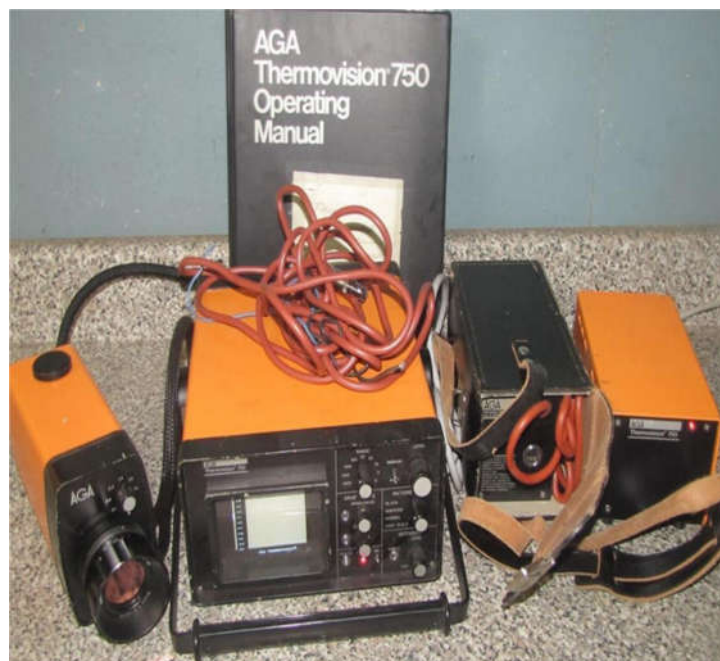
Nakon toga slijedi otkriće termoelektričnog efekta 1821. godine (pojava napona u spoju dva različita vodiča na različitim temperaturama). Nakon otkrića termopara Macedonio Melloni uspijeva formirati seriju termoparova od bizmuta i bakra. Na taj način uspio je povećati osjetljivost za 40 puta i mogao je detektirati zračenje osobe na udaljenosti do 9 m. Sin Herschela

snima prvi termogram 1840 godine. Sljedeći veći korak u termografiji otkriće uređaja koji detektira elektromagnetsko zračenje pomoću povećanja otpora vodiča. Brzo je infracrvena termografija našla primjenu u medicini. 1965. godine švedska AGEMA Infrared Systems napravili su termografsku kameru model 650 (Slika 2.2.) koja je bila prva kamera za preventivno održavanje. Upotreba kamera u boji nije uspjela zaživjeti sve do kasnih 90-tih godina kada se osjetljivost kamera poboljšala. Početkom 70-tih godina pojavili su se prijenosni sustavi koji su se mogli nositi u ruci ali problem tih uređaja je bilo napajanje (Slika 2.3.). Većina kamera do 80-tih godina snimala je u rasponu 3 - 5  $\mu\text{m}$  što je predstavljalo problem jer je Sunčevo zračenje imalo veći utjecaj na snimanje termograma. Rješenje ranije navedenog problema pojavilo se 1980. godine u obliku kamere ISI Videotherm (Slika 2.4.) , koja je mogla detektirati zračenje od 7 – 13  $\mu\text{m}$ , što je danas tipični raspon detekcije infracrvenih kamera [3].



Slika 2. 2 Kamera model 650 [4]





Slika 2. 3 Aga 750 [5]



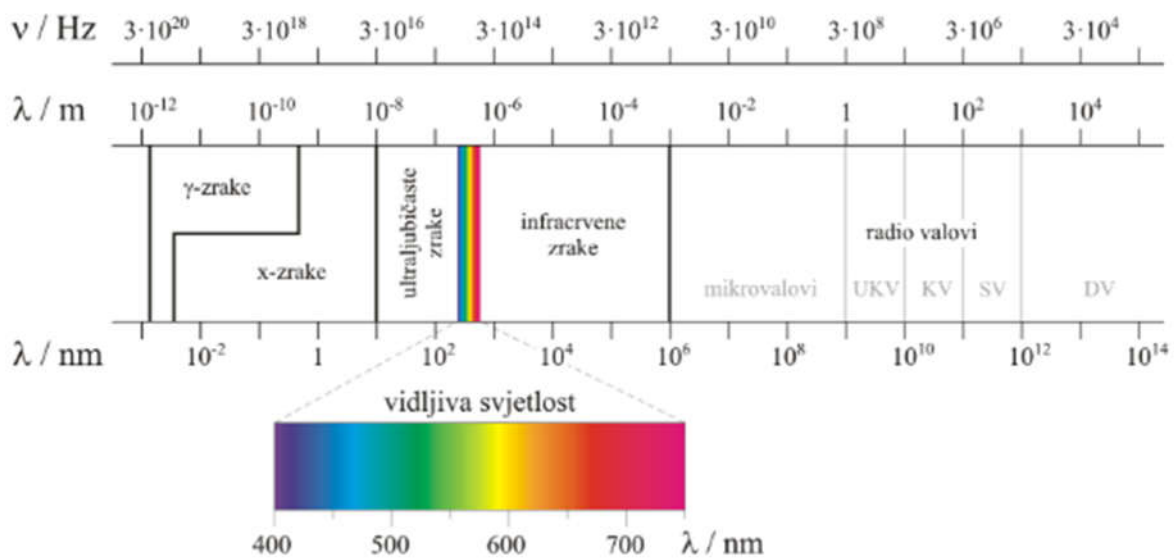
Slika 2. 4 ISI Videotherm kamera [1]

Kamere su bile sve dostupnije, ali najveći preokret bila je pojava malih kamera zbog smanjenja troška senzora 2014. godine .

Nakon 2014. godine infracrvene kamere su postale opće dostupne, razvile su se i neke poznatije tvrtke kao što je FLIR, no bez obzira na pad cijene troškova senzora infracrvene kamere su poprilično velika investicija zbog rasta rezolucije senzora.

### 3. OSNOVNI POJMOVI U INFRACRVENOJ TERMOGRAFIJI

Infracrvena termografija je metoda za mjerenje temperature tijela i njene raspodjele po površini tijela, to jest energije zračenja tijela koja se vrši beskontaktno, nedestruktivno po tijelo čija se temperatura mjeri na brz i učinkovit način. Polazna točka infracrvene termografije je infracrveno zračenje. Infracrveni valovi su dio elektromagnetnog spektra. Nalaze se odmah nakon vidljivog spektra. Elektromagnetni spektar zračenja obuhvaća oblike zračenja koji nisu vidljivi golim okom i one koji jesu. Svi objekti (tekuća, čvrsta, plinovita tijela) emitiraju elektromagnetsko zračenje. Što je objekt zagrijaniji emitira veću količinu zračenja u danom vremenu (što će se moći kasnije vidjeti prema obojanosti na termogramu). Infracrveno zračenje ima mogućnost širenja kroz vakuum.



Slika 3. 1 Spektar elektromagnetskog zračenja [6]

Iz slike (Slika 3.1.) se da vidjeti da infracrveno zračenje nije vidljivo ljudskim okom. Od koje do koje granice se vidljivi spektar proteže nije jasno definirano pa se u različitim literaturama mogu pronaći različite vrijednosti (okvirno bi bilo od 380 do 760 nm). Nakon vidljivog spektra slijedi infracrveni spektar i on obuhvaća valne duljine od 750 do  $10^6$  nm.

Infracrveni spektar ima više različitih podjela koje su odredile međunarodne komisije i organizacije za standardizaciju. Mi ćemo ih podijeliti na tri veća dijela ovisno o detektorima koji se koriste da „uhvate“ takvo zračenje.

Tablica 3. 1 Podjela infracrvenog zračenja

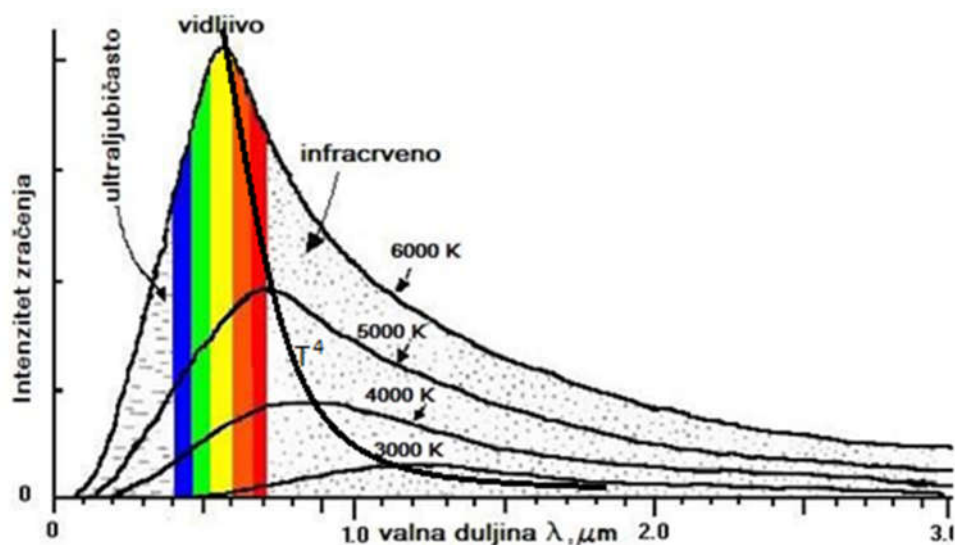
Vidljivi dio spektra	Blisko IC zračenje	Srednje IC zračenje	Daleko IC zračenje
0.35 $\mu\text{m}$ - 0.75 $\mu\text{m}$	0.75 $\mu\text{m}$ – 1.5 $\mu\text{m}$	1.5 $\mu\text{m}$ - 20 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$ - 1000 $\mu\text{m}$

Tako imamo blisko infracrveno zračenje koje se detektira pomoću posebne fotografske emulzije (do 1  $\mu\text{m}$ ), fotootpornicima, fotonaponskim detektorima i foto emisijskim ćelijama koje se još nazivaju i fotocijevi [7]. Slijedi srednje infracrveno zračenje koje se detektira pomoću termičkih fotootpornika i fotonaponskih detektora koji direktno vrše pretvaranje topline u struju preko fotona. Posljednje, daleko infracrveno zračenje se detektira pomoću različitih termičkih detektora.

U elektromagnetskom spektru, osim infracrvenog zračenja postoje i ostala zračenja (Slika 3.1.). S lijeva na desno prema toj slici imamo povećanje valne duljine, a frekvencija valova se smanjuje. Ipak, sva zračenja imaju istu brzinu kretanja tj. kreću se brzinom svjetlosti ( $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$ ). Radio valovi imaju najveću valnu duljinu, ali zato prenose najmanju energiju, dok su gama-zrake vrlo visoke frekvencije i energije.

### 3.1. Plankov zakon zračenja

Teorijska osnova infracrvene termografije je Plankov zakon o zračenju crnog tijela koji daje intenzitet emitiranog zračenja idealnog crnog tijela po jedinici površine u određenom smjeru kao funkciju valne duljine za određenu temperaturu (Slika 3.1.1.).



Slika 3.1. 1 Plankova spektralna raspodjela energije [8]

Intenzitet vlastitog emitiranog zračenja crnog tijela je funkcija apsolutne temperature i valne duljine i izražava se poznatom Plankovom jednadžbom (primjer formule(3.1.1)) [9]:

$$I_{\lambda,c} = \frac{2 \cdot h \cdot c_0^2}{\lambda^5 \cdot [e^{\left(\frac{h \cdot c_0}{\lambda \cdot k \cdot T}\right)} - 1]} \text{ W/m}^3 \quad (3.1.1)$$

u kojoj su  $k = 1,3805 \cdot 10^{-23}$  J/K Boltzmannova konstanta,  $c_0 = 2,998 \cdot 10^8$  m/s brzina svjetlosti u vakuumu,  $\lambda$  – valna duljina,  $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34}$  Js Plankova konstanta, a  $T$  apsolutna ili termodinamička temperatura crnog tijela (K).

Plankova raspodjela energije pokazuje još jednu važnu zakonitost, koja je nešto ranije pokazana Wienovim zakonom. Wienov zakon pomaka tvrdi da je raspored valnih duljina, kod toplinskog zračenja idealnog crnog tijela, vrlo sličnog oblika za sve temperature, osim što se vršna vrijednost pomiče sa povećanjem temperature, prema manjim valnim duljinama i ima veću vrijednost.

### 3.2. Emisivnost

Svi predmeti na temperaturama iznad apsolutne nule emitiraju toplinsko zračenje, međutim za bilo koju određenu valnu duljinu i temperaturu, količina emitiranog toplinskog zračenja ovisi o emisivnosti površine objekta. Emisivnost je definirana kao omjer energije koja zrači s površine materijala i one koja zrači iz savršenog emitera, poznatijeg kao crno tijelo, pri istoj temperaturi i valnoj duljini i pod istim uvjetima gledanja. To je bezdimenzionalan broj između 0 (za savršeni reflektor) i 1 (za savršeni emiter). Emisivnost površine ne ovisi samo o materijalu već i o prirodi površine. Na primjer, čista i polirana metalna površina imat će malu emisivnost, dok će hrapava i oksidirana metalna površina imati visoku emisivnost. Emisivnost također ovisi o temperaturi površine kao i kutu i valnoj duljini. Važno je poznavati emisivnost objekta kako za precizno beskontaktno mjerenje temperature, tako i za proračun prijenosa topline [10].

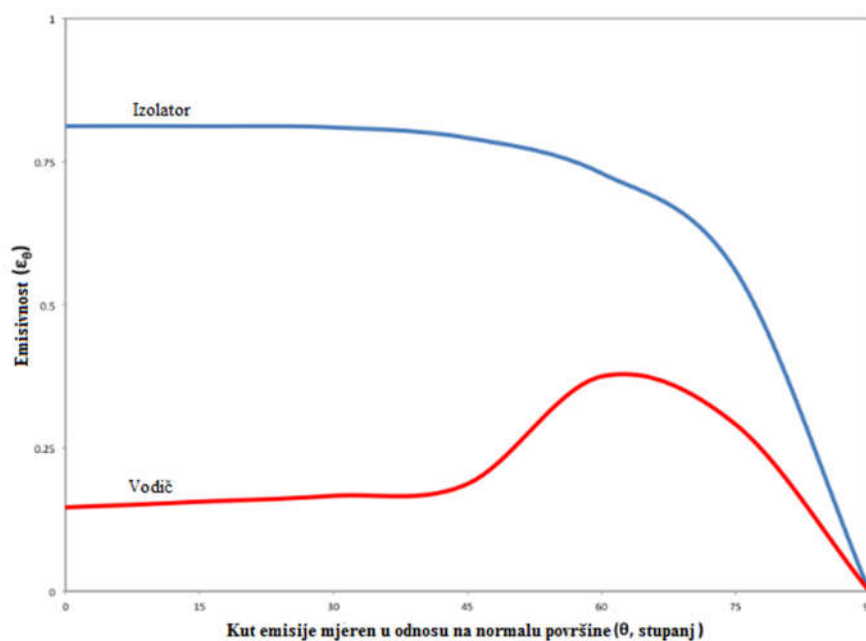
Kod infracrvene termografije, točne vrijednosti koeficijenta emisije promatranog tijela od iznimne su važnosti za točno određivanje temperature tijela iz Stefan-Boltzmannovog zakona za realna tijela (primjer formule (3.2.1)) [9]:

$$Ec = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ W/m}^2 \quad (3.2.1)$$

Pri čemu je  $\epsilon$  koeficijent emisije površine realnog tijela,  $\sigma = 5,667 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$  Stefan - Boltzmannova konstanta, a  $T$  je apsolutna temperatura u Kelvinima. Idealno crno tijelo ima emisivnost jednaku jedan  $\epsilon = 1$  dok realna tijela imaju emisivnost manju od jedan  $\epsilon < 1$ . Pomoću koeficijenta emisije opisuje se emitivno svojstvo realnog tijela, koji se definira kao omjer vlastitog emitiranog zračenja realnog tijela i emitiranog zračenja crnog tijela pri jednakoj temperaturi (primjer formule (3.2.2)) [9]:

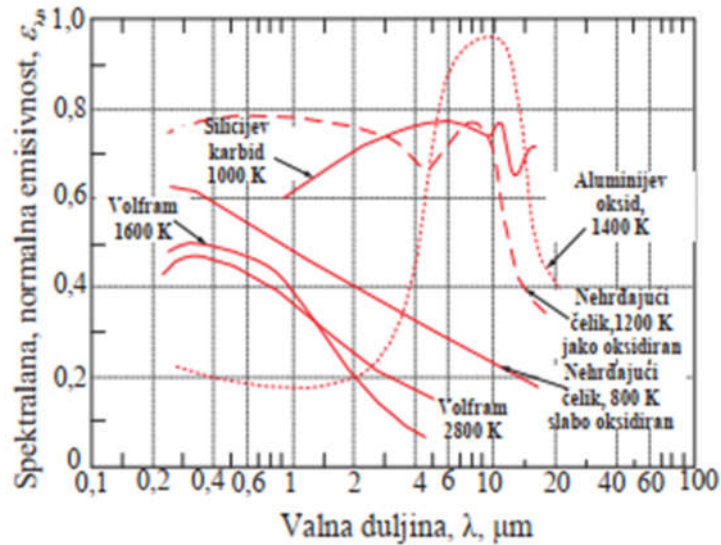
$$\epsilon = \frac{E(T)}{E_c(T)} \quad (3.2.2)$$

Kao što je rečeno emisivnost ovisi o faktorima kao što su kut emisije, valna duljina i temperatura.



Slika 3.2. 1 Ovisnost faktora emisije u ovisnosti kuta promatranja [11]

Na slici (Slika 3.2.1) vidimo kako kod vodljivih materijala nakon kuta od 45 stupnjeva emisivnost raste te nakon 60 stupnjeva počinje opadati dok kod nevodljivih emisivnost je prilično konstantna te nakon 70-ak stupnjeva počinje naglo opadati.



Slika 3.2. 2 Promjena faktora emisije sa promjenom valne duljine [1]

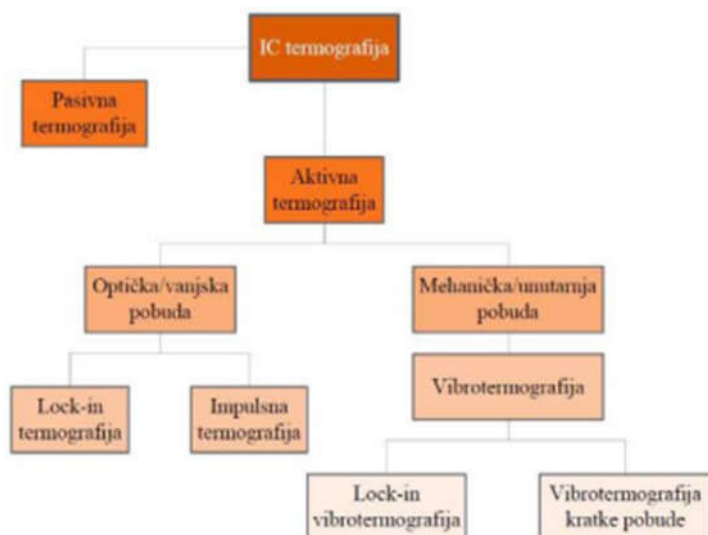
Na slici (Slika 3.2.2) imamo prikazanu ovisnost emisivnosti o valnoj duljini za različite metale.

### 3.3. Osnovna podjela infracrvene termografije

Podjela infracrvene termografije na kvalitativnu i kvantitativnu (na temelju informacija koje daje). Kvalitativna termografija nam daje ograničen broj informacija u kratkom vremenu. Takvo korištenje termografije daje samo okvirne podatke o snimanom objektu u pogledu raspodjele temperature na površini tog objekta. Kvalitativnim promatranjem na termogramu se lako uočavaju promjene u temperaturi gledajući po obojenosti termograma pa se na temelju toga mogu donositi zaključci i potrebnim intervencijama. Naravno da pri takvoj analizi treba biti svjestan da procjena zbog svojstava površine može i zavarati. Kvantitativna termografija daje točne podatke o temperaturama na termogramu. Prema tome potrebno je poznavati emisijska svojstva promatranog objekta, stanje okoline i stanje između atmosfere između objekta i kamere. Pomoću tih podataka potrebno je podatke s termograma preračunati u ispravne vrijednosti.

Dva osnovna načina za provedbu snimanja infracrvenom termografijom su:

- a) Pasivna termografija
- b) Aktivna termografija



Slika 3.3. 1 Podjela infracrvene termografije [12]

Snimajući neki objekt u kvazi stacionarnom stanju (ustaljeno stacionarno stanje koje je normalno za objekt) koje je postignuto duljim boravljenjem objekta u okolini čija se temperatura ne mijenja, tada govorimo o pasivnoj termografiji. Objekt će na termogramu biti vidljiv ako je zračenje sa njegove površine različito zračenju okoline. Najveća prednost pasivne termografije je da se objekt ne mora koristiti da bi ga se moglo pasivno snimiti i pregledati. Pasivna termografija je u većini slučajeva kvalitativna i ima mnogo širi spektar primjene zbog toga što ne zahtijeva dovođenje objekta u stanje pobude nego ga promatramo u njegovom prirodnom stanju.

Ukoliko želimo snimiti termogram objekta koji ima istu temperaturu kao i okolina ili određivati neka svojstva objekta ispod njegove površine tada ćemo primijeniti metodu aktivne termografije. Kao takva aktivna termografija promatra objekt snimanja u stanju pobude. Pobudu dovodimo kako bi se postigla temperaturna razlika čime bi mogli vidjeti pobuđene dijelove objekta ili čitav objekt na termogramu u odnosu na okolinu odnosno nepobuđene dijelove. Aktivna termografija se primjenjuje u kvantitativne svrhe, najčešće u laboratorijskim uvjetima pri istraživačkim i razvojnim disciplinama.

Sa slike (Slika 3.3.1.) vidimo metode za pobudu od kojih možemo navesti:

- Vibrotermografija (VT) eng. Vibrothermography
- Impulsna termografija (PT) eng. Pulsed Thermography
- Lock-in termografija (LT) eng. Lock-in Thermography

Vibrotermografija je metoda aktivne termografije kod koje se koristi efekt oslobađanja topline uslijed trenja uzrokovanog mehaničkim vibracijama (0-25 kHz) induciranim na površini promatranog objekta [12].

Impulsna termografija je vrsta dinamičke termografije koja za eksperimentalni test koristi toplinski izvor, koji se najčešće sastoji od više lampi koje osiguravaju trenutno zagrijavanje ciljnog objekta [13].

Lock-in termografija koristi slične elemente i opremu za eksperimentiranje nad objektima kao i impulsna termografija. Razlika je što generator signala šalje oscilirajuće toplinske valove sinusoidnog oblika (periodično sa stalnom frekvencijom), umjesto jediničnih impulsa [13].

Tablica 3.3. 1 Područja primjene aktivne i pasivne termografije

Aktivna termografija	Pasivna termografija
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nerazorna ispitivanja</li> <li>- Koristi se kod znanstvenih istraživanja u laboratorijima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- praćenje stanja u energetskim postrojenjima</li> <li>- metalurgija</li> <li>- medicina i veterina</li> <li>- kemijski inženjering</li> <li>- strojarstvo</li> <li>- zaštita okoliša</li> <li>- zaštita kulturne baštine</li> <li>- vatrogasci</li> <li>- policija</li> </ul>

### 3.4. Princip rada infracrvene kamere

Infracrvene termalne kamere rade na principu prikupljanja podataka o temperaturi objekata ili tijela koje se snima te obradi prikupljenih podataka i izradi termograma. One uočavaju promjene na objektu koje se ne vide golim okom, te nam omogućuju otkrivanje problema prije nego što isti dovedu do nekakvog kvara. Prednost ovakvih kamera je brzina i učinkovitost mjerenja i sigurno snimanje sa udaljenosti u opasnim okruženjima. Također kao prednost mogu se još navesti brza skeniranja većih površina kao što su zidovi, krovovi i ostale veće površine sve to uz neometano prekidanje proizvodnje ukoliko snimamo u takvom okruženju. Infracrvene kamere su osnovni dio



nekih termografskih sustava. Takav sustav čine uređaji koji služe snimanju, zapisivanju i obradi termograma. Iako su povećale svoj opseg primjene, još uvijek nisu postale uobičajeni dio na svim mjestima na kojima mogu biti korištene.

Svrha infracrvene kamere je da prenese oku nevidljivo infracrveno zračenje u vidljiv prikaz.

Glavni dijelovi infracrvene kamere su :

1. Optičke leće
2. Osjetnik infracrvenog zračenja
3. Pretvarač električnog signala
4. Elektronsko pojačalo
5. Monitor
6. Kartica za pohranu snimka

Infracrvena kamera prvo uhvati val infracrvenog zračenja koji prolazi kroz optičke leće. Leće koje se koriste moraju biti od materijala koji su propusni za infracrveno zračenje a neki od njih su germanij, cink sulfid, cink selenid (za dugovalna zračenja) i silikon, safir, kvarc ili magnezij (za srednjevalna zračenja). Nakon prolaska kroz leće zrake se dovode u paralelan snop fokusiran na osjetnik infracrvenog zračenja koji određuje temperaturu snimanog objekta. Osjetnik infracrvenog zračenja je najvažniji dio infracrvene termografske kamere zbog toga što on vrši pretvaranje infracrvenog zračenja u električne signale. Elektronsko pojačalo kao što sama riječ govori služi za pojačavanje signala, pa nakon njega slijedi pretvarač električnog signala koji taj signal pretvara u video prikazan na monitoru infracrvene kamere. Zasloni monitora su najčešće mali zbog praktične i ergonomске izrade kamere pa često bude teško procijeniti kvalitetu snimljenog termograma bez pristupa računalnom programu za analizu. Kartica za pohranu snimka omogućuje da se snimljeni termogrami mogu pohraniti u različitim formatima, reproducirati i slati putem različitih medija, a mogu se i ispisati.

Termografska kamera različitim faktorima može utjecati na kvalitetu snimljenog termograma, a osnovni parametri koji utječu na kvalitetu i točnost su:

- područje mjerenja temperature,
- razlučivost temperaturne razlike,
- prostorna razlučivost,
- točnost
- i brzina skeniranja [9].

Ovi faktori ovise o termografskom sustavu, o svojstvima koje ima promatrani objekt, te o utjecaju okoline. Tijekom snimanja, infracrvena kamera ne mjeri temperaturu već registrira zračenje koje se manifestira kao prividna temperatura.

Prostorna razlučivost je faktor koji govori o veličini najmanjeg objekta koji je moguće razlučiti na termogramu. Područje mjerenja temperature prvobitno ovisi o vrsti detektora IC kamere tj. njegovom području osjetljivosti. Razlučivost temperaturne razlike pokazuje koja je najmanja temperaturna razlika koju će kamera detektirati. Točnost kamere govori o pouzdanosti kvantifikacije temperature iz termograma uz uvjet da su sva podešavanja sustava optimalna i u skladu sa stvarnim stanjem objekta i okoline. Brzina skeniranja predstavlja brzinu promjene temperature i drugih parametara IC kamere[9].

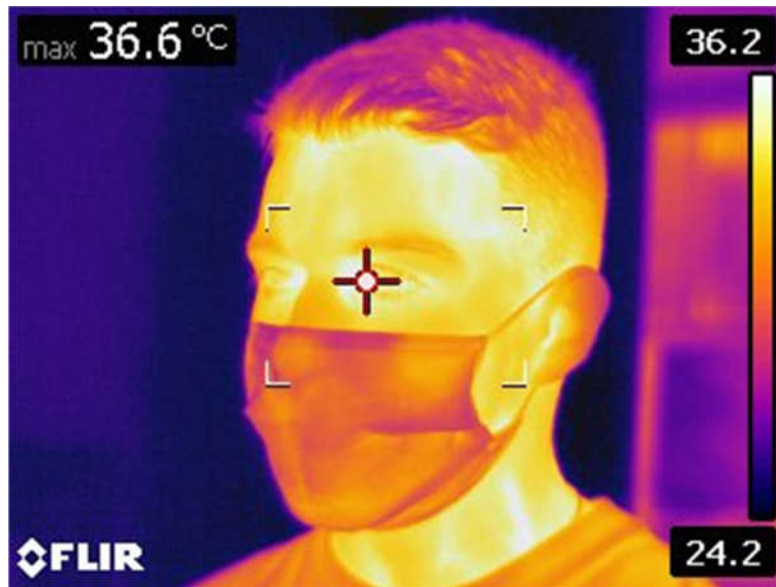
Termogram je trajan zapis dobiven mjerenjem temperature objekta. Snimanje termograma služi za analizu i donošenje zaključaka o strukturi materijala i različitim procesa koji se odvijaju ispod površine objekta. Termogram se obrađuje primjenom određenih programa računalno na jedan od ranije spomenutih načina: kvalitativno i kvantitativno. Kvalitativnim promatranjem na termogramu se lako uočavaju promjene u temperaturi gledajući po obojenosti termograma, a kvantitativna termografija daje točne podatke o temperaturama na termogramu [14]. Termogram se prije svega pohranjuje u memoriju kamere pa se nakon toga može prebacivati na računalo i tamo vršiti analiza različitim računalnim programima.

U ovom radu prilikom izvršavanja praktičnog dijela korištena je infracrvena kamera od tvrtke FLIR modela E60bx (Slika 3.4.1).



Slika 3.4. 1 IC kamera FLIR E60bx

Na slici (Slika 3.4.2.) prikazan je primjer termograma osobe snimljen prilikom izrade praktičnog dijela rada. Na desnoj strani slike se nalazi temperaturna skala pa prema obojenosti termograma (odabirom neke od paleta boja) izoliranjem temperature anomalije možemo zaključiti o tome koji su dijelovi najzagrijaniji odnosno žarište anomalije.



Slika 3.4. 2 Primjer termograma osobe

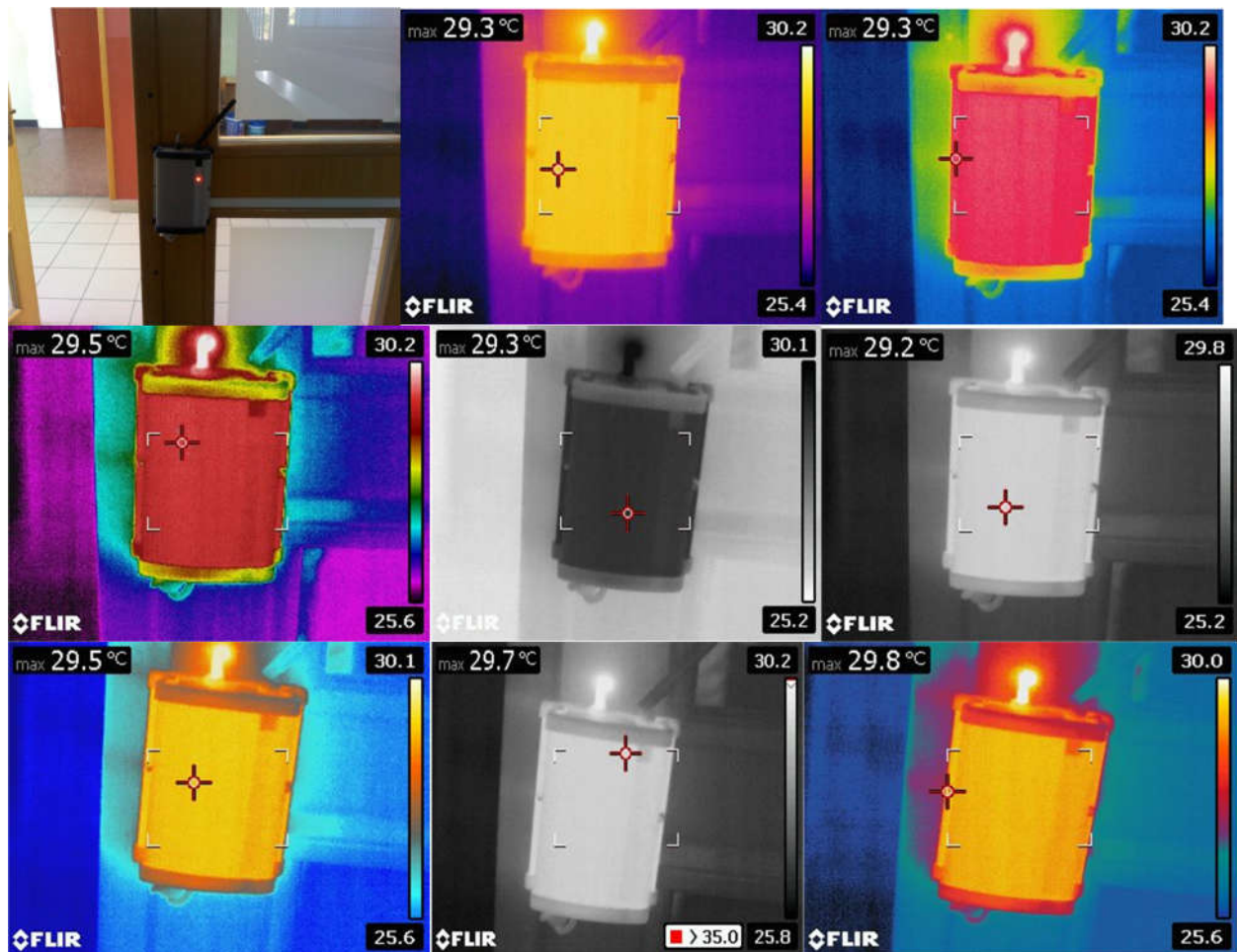


Slika 3.4. 3 Primjer termograma čašice s kavom

Prilikom izvršavanja praktičnog dijela pokazana je praktičnost infracrvene termografije tako što je osim snimljenih dijelova automobila koji će se vidjeti u nastavku rada snimljena i čašica sa kavom koja je bila konzumirana u međuvremenu (Slika 3.4.3).

Termogrami mogu biti u različitim kvalitetama, a na kvalitetu snimka najviše utječu temperatura snimanog objekta i faktor emisije, temperatura okoline i okolnih predmeta, udaljenost snimanog objekta od kamere koja ga snima i stanje atmosfere [15].

Infracrvena termografija je isključivo crno – bijela no radi boljeg uočavanja razlika u temperaturama IC kamere ovisno o modelu omogućuju izbor različitih paleta boja prilikom snimanja termograma pa tako na slici (Slika 3.4.4) prilikom izvršavanja praktičnog dijela je snimljen komunikacijski modul brave u različitim paletama gdje se može vidjeti razlika između svake.

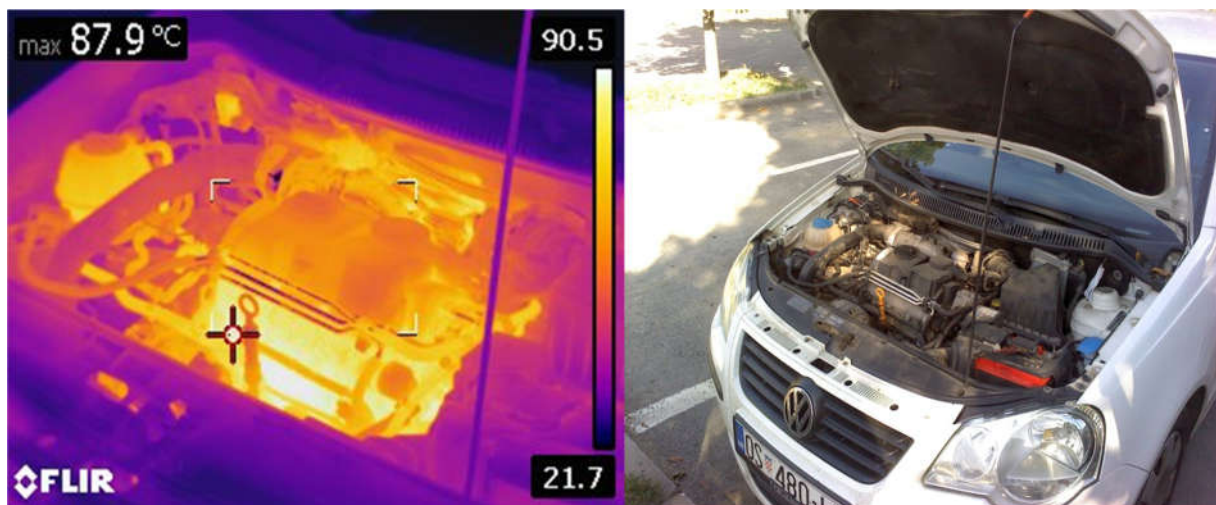


Slika 3.4. 4 Termogrami komunikacijskog modula brave u različitim paletama boja

## 4. PRIMJENA INFRACRVENE TERMOGRAFIJE U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI

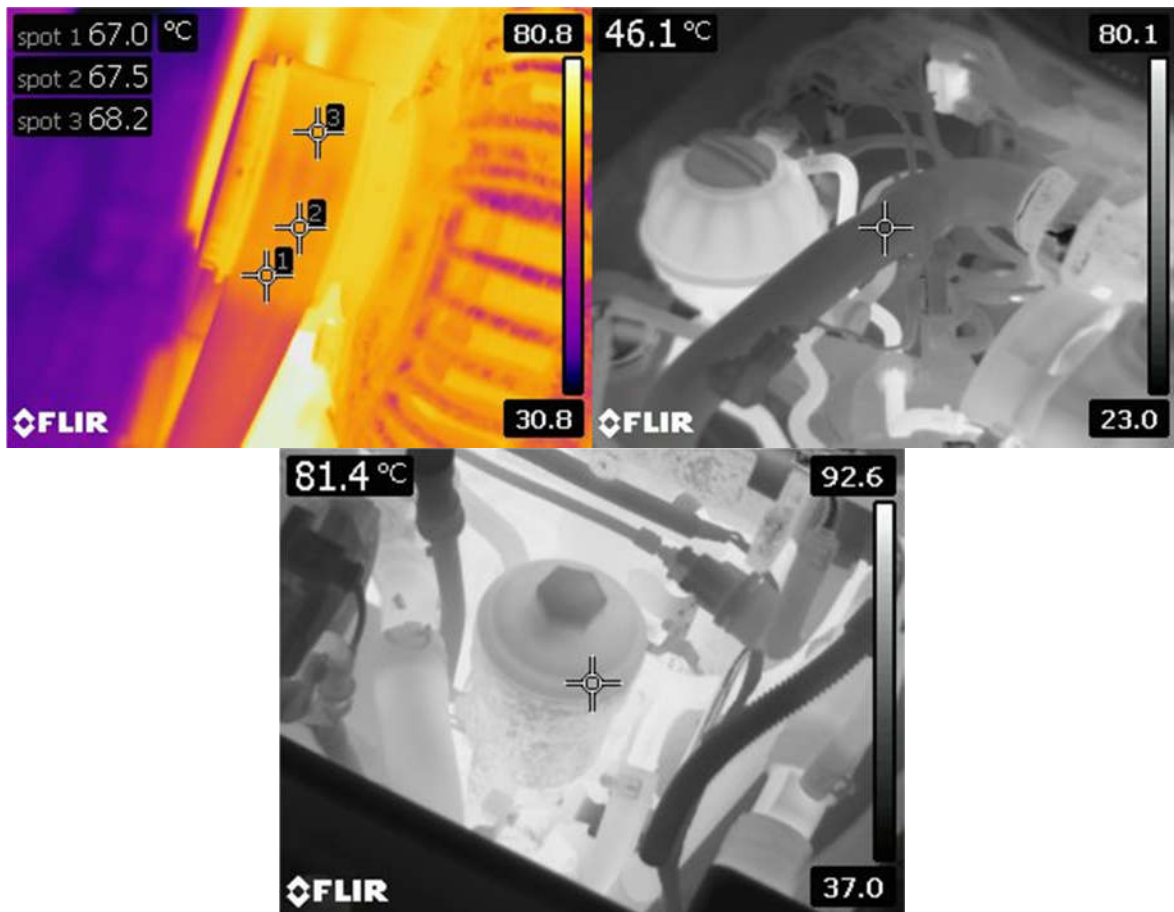
U današnjoj auto industriji postavljaju se sve veći zahtjevi na udobnost i povećanu sigurnost putnika. To zahtijeva jako precizno dizajniranje komponenti koje će biti izdržljive i kvalitetne. Da bi se to osiguralo komponente moraju proći raznorazna testiranja, a jedno od glavnih među njima je testiranje metodom infracrvene termografije. Korištenje ove metode za testiranje komponenti u auto industriji učinkovitiji je način od ostalih jer je ova metoda nerazorna. Za razliku od drugih sigurnosnih testova vozila, poput najpopularnijeg testiranja pri sudaru vozila, infracrvena termografija omogućuje da vozilo i njegove komponente ostanu netaknute i to znači uštedu novca prema proizvodima koji se uništavaju odmah nakon proizvodnje. Neke od komponenti koje se mogu testirati su sljedeće:

**Motorni prostor vozila** – Infracrvene kamere mogu registrirati nepravilnosti u motornom pogonu vozila pokazujući temperaturno stanje komponenti, pa nam ovo pomaže da uvidimo probleme vezane za pregrijavanje.



Slika 4. 1 Termogram motornog prostora vozila

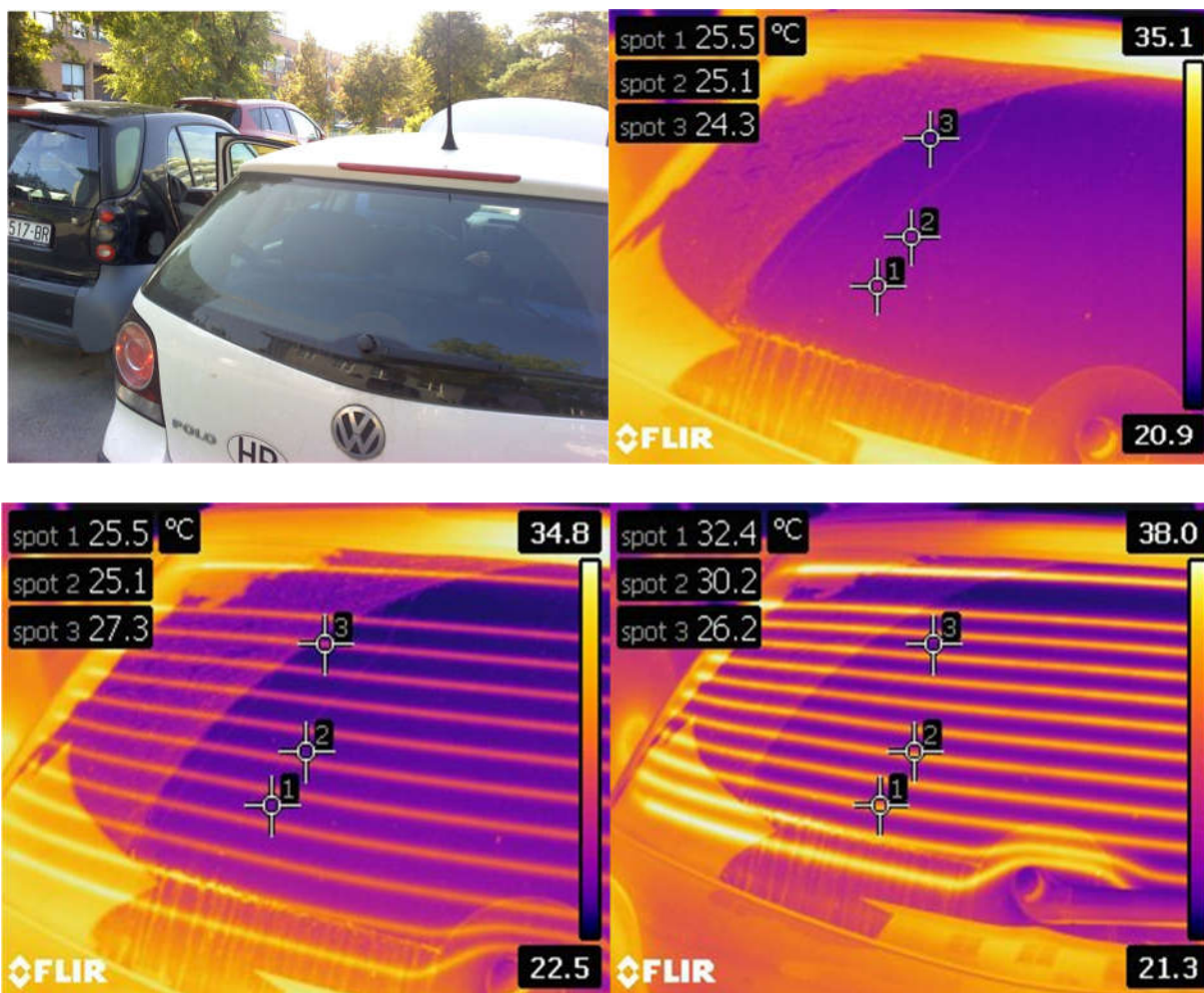
Na slici (Slika 4.1) je prikazan termogram bloka motora gdje je očitana temperatura od 87.9 stupnjeva celzijusa što je prilično točno jer je površina bila oksidirana i nije se morao koristiti korekcijski emisijski faktor za sjajne metalne površine.



Slika 4. 2 Termogram remena, usisne grane i filtera ulja

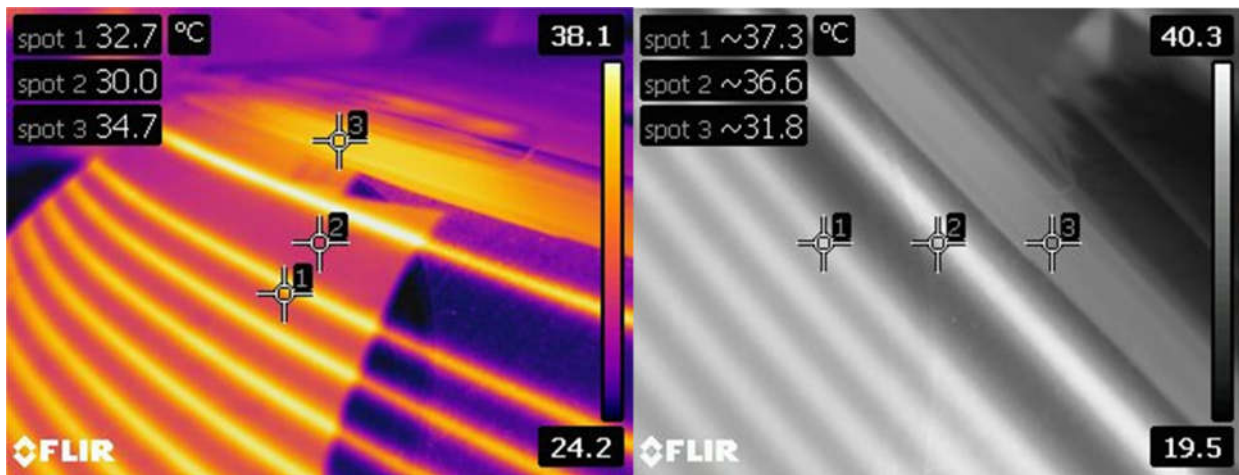
Uz snimanje bloka motora izvršeno je još snimanje komponenti kao što je remen, usisna grana i filter ulja što se može vidjeti na slici (Slika 4.2).

**Grijane komponente** – Mogu se uočiti nepravilnosti na grijanim sjedalima ili stražnjim prozorima pomoću infracrvenih kamera za snimanje topline žica u prozorima i grijača u sjedalima. Ako se otkrije da postoji prekid protoka topline, tada možemo utvrditi da postoji neki problem i intervenirati.



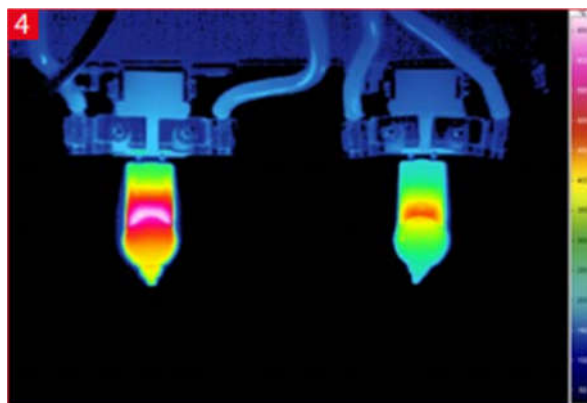
Slika 4. 3 Termogram grijača stražnjeg prozora vozila

Također prilikom provedbe praktičnog rada snimljeni su termogrami u intervalima od 30 sekundi do 1 minute za grijač stražnjeg stakla automobila od trenutka prije uključjenja do poslije uključjenja pa prema očitanjima temperatura na slici (Slika 4.3) je vidljivo da se grijači počinju zagrijavati no isto tako se može uočiti na slici (Slika 4.4) da jedan grijač nije ispravan i to nam daje za dokaz da infracrvena termografija zapravo pomaže pri otkrivanju pogreške.



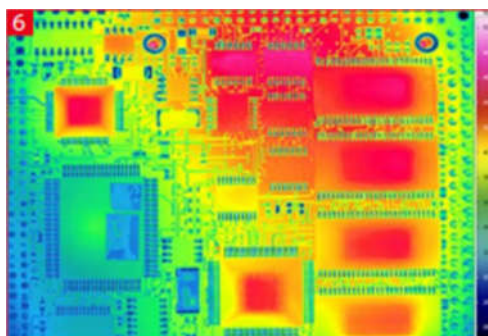
Slika 4. 4 Prikaz pokvarenog grijača na termogramu

**Rasvjetna tehnologija** – Testiranje funkcionalnosti i razvoj komponenti radi optimiziranja performansi za rasvjetnu tehnologiju (Slika 4.5).



Slika 4. 5 Termogram žarulja prednjeg svjetla vozila [16]

**Elektroničke komponente** – Testiranje ponašanja električnih sklopova na tiskanim pločicama.

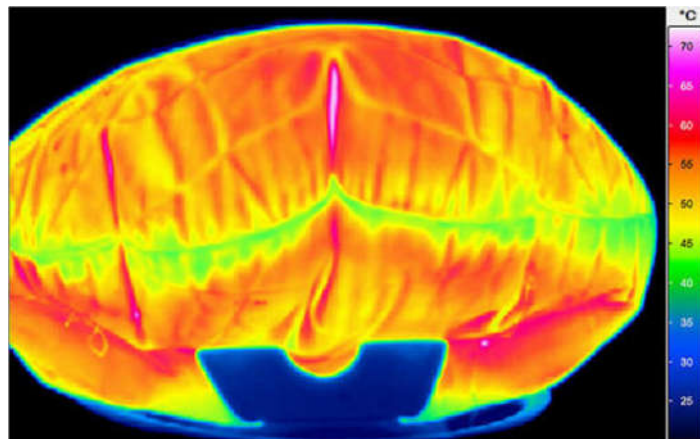


Slika 4. 6 Termogram tiskane pločice vozila [17]



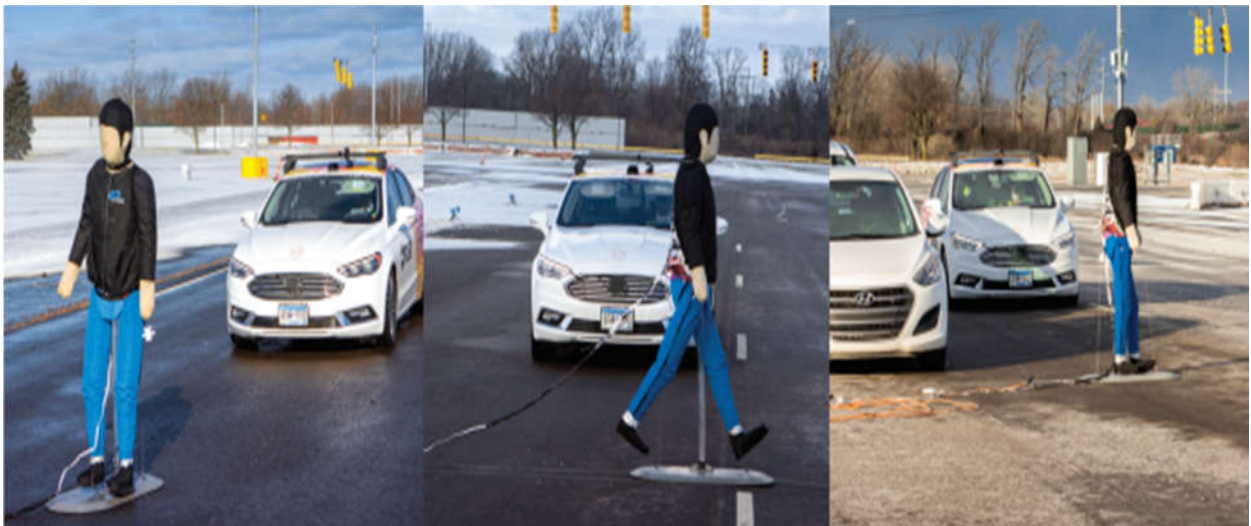
Na slici (Slika 4.6) prikazan je termogram tiskane pločice snimljen prije stavljanja u vozilo jer one budu ukomponirane u kućišta prilikom ugradnje u vozila pa tada snimanje nije moguće.

**Sigurnosne komponente** – Testiranje aktivacije zračnih jastuka raspodjelom topline prilikom eksplozije (Slika 4.7.).



Slika 4. 7 Termogram aktivacije zračnih jastuka [18]

Osim testiranja komponenti mnogo pažnje u današnjoj automobilskoj industriji se stavlja na autonomnu vožnju. Tako da mnoge firme provode testiranja za potpunu autonomnu vožnju za koju je to veliki tehnički izazov kao i testiranja za sigurnosne sisteme kočenja.



Slika 4. 8 Testiranje aktivnog kočenja sustavom infracrvene termografije [19]

#### 4.1. Primjena infracrvene kamere kao pomoćni sustav pri vožnji

Kako se infracrvena termografija sve više razvija tako i svoju primjenu ne samo da je pronašla u testiranju komponenti nego se koristi kao pomoćni sustav pri vožnji. Jedan takav oblik sustava je noćni vid (engl. Night vision). Unatoč tome što se manji broj vozila nalazi na cesti noću, preko 40% nesreća se dešava tada. Vozila posjedujući infracrvene kamere za noćni vid povećavaju osobnu sigurnost i sigurnost putnika u vozilu, što će rezultirati manjim brojem nesreća.

Način na koji infracrvene kamere za noćni vid funkcioniraju može biti aktivnog i pasivnog oblika. Oba ta sustava imaju svojih prednosti i mana. Pasivni sustav odnosi se na način registriranja toplinskog zračenja koje emitiraju ljudi, životinje i drugi objekti na cesti, dok aktivni sustavi osvjetljavaju predmete na udaljenosti pomoću infracrvenih izvora svjetlosti.



Slika 4.1. 1 Infracrvena kamera za noćni vid u vozilu [20]

Na slici (Slika 4.1.1.) vidimo prikaz noćnog vida infracrvenom kamerom koji je pokrenut na monitoru ploče s instrumentima vozila. Ovisno od vozila opcija prikaza noćnog vida može biti još pokrenuta na navigacijskom monitoru ili na displeju vjetrobranskog stakla (engl. head – up display).

Korištenjem ovog sustava se poboljšava vrijeme reakcije i ranije registriranje objekata, ljudi i životinja noću kao i oštih zavoja i prepreka na cesti imajući poboljšanu vidljivost. Smanjuje se rizik od nesreća tako što se brže uočavaju prebrza vozila i pješaci ne morajući se brinuti da osoba

koja nosi tamnu odjeću neće biti uočena i time dobiti dovoljno upozorenja da se vozilo uspori ili zaustavi.

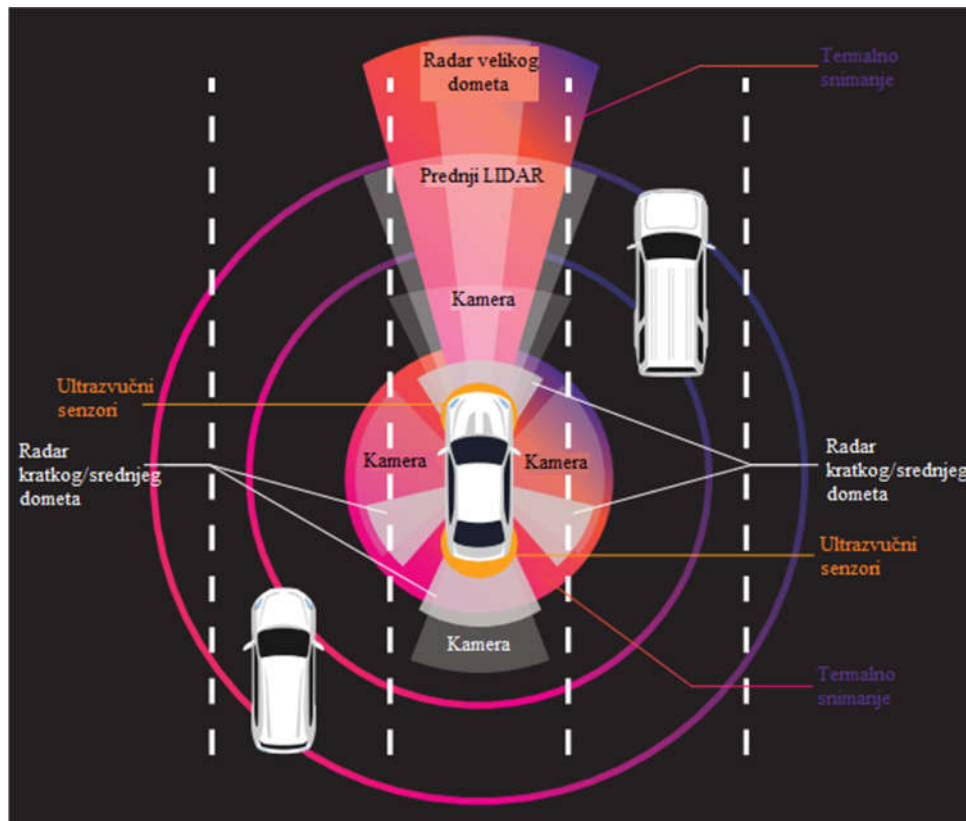
### **3D prostorna termografija**

Velika je doza očekivanja za obećanja potpuno autonomnih vozila, a to očekivanje je i opravdano. Mnoge države i gradovi diljem svijeta danas eksperimentiraju sa samostalno vozećim vozilima na javnim putevima. Stvarnost je takva da su ovi eksperimenti, iako uzbudljivi, događaju u ograničenim situacijama i okruženjima i mogućnost da se ova vozila u bilo kojem trenutku učine zaista autonomnima, bilo gdje, ostaje veliki tehnički izazov. To ne uključuje političke i društvene izazove koje vlada i javni službenici tek počinju rješavati kako se autonomna ispitivanja vozila šire i po opsegu i po broju na javnim cestama.

Na primjer, neobilježena područja te ceste koje nemaju obilježene trake ili uključuju neobičnu infrastrukturu i značajke okoline, još uvijek predstavljaju ogroman izazov inženjerima i programerima za vozila. Moraju izgraditi sustave koji mogu raditi u neograničenim okruženjima uključujući neasfaltirane ceste. Autonomna vozila u budućnosti moraju znati odrediti koja su to područja prikladna za kretanje vozila, danju ili noću i praktički za bilo koje vremensko stanje.

### **Upotreba različitih vrsta senzora**

Da bi se postigao ovaj tehnički podvig, vozila za autonomnu vožnju moraju koristiti razne tipove senzora koji su međusobno povezani kako bi pružili potpunu svjesnost o situaciji, uključujući kamere sa senzorom vidljivog svjetla, radar, LIDAR (senzor koji mjeri udaljenost osvjetljavanjem laserskim svjetlom), sonar i termalno snimanje, zajedno sa podacima izvan automobila, uključujući GPS. Od ovih senzora, termalno snimanje je posebno korisno za pomoć vozilu da „vidi“ u zahtjevnim vremenskim i svjetlosnim uvjetima, gdje drugi senzori mogu zakazati [21].



4.1.1. 1 Područje detekcije različitih vrsta senzora [21]

### Registriranje topline i izbjegavanje sudara

Termalne kamere otkrivaju i mjere potpuno drugačije valne duljine energije u odnosu na druge senzore, poznato kao dugovalno infracrveno zračenje. Termalne kamere jednako dobro detektiraju toplinu pri dnevnom svjetlu, u potpunoj tami ili pri zasljepljujućem odsjaju sunca. Također rade znatno bolje od kamera sa senzorom vidljivog svjetla u dimu ili lošim vremenskim uvjetima kao što je magla. Ono što je najvažnije je to da su termalne kamere posebno sposobne kod detekcije tjelesne topline, posebno razlikovanje pješaka u gužvama ili mračnim cestama.

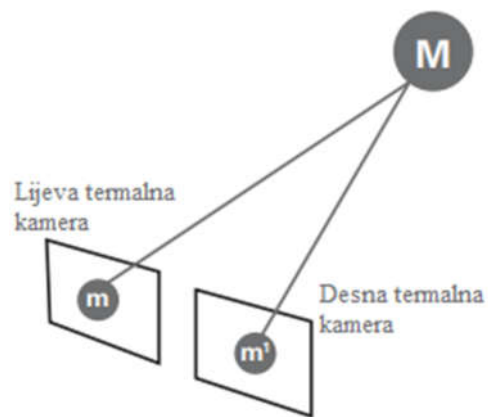
Korištenjem više termalnih kamera može se stvoriti trodimenzionalna (3D) svijest o svom okruženju. U tom kontekstu, termalno snimanje može ne samo odrediti udaljenost i oblik objekta oko vozila, nego mjeri i toplinsko zračenje svakog objekta omogućujući sustavu da karakterizira i potvrdi ako je otkriveni objekt živo biće jer putnici bilo kojeg vozila najmanje žele imati sudar sa istim [21].



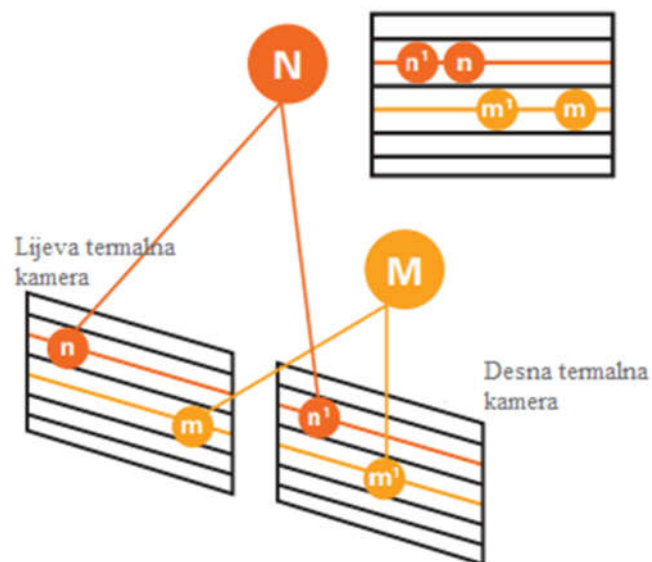
4.1.1. 2 Vožnja pri magli bez korištenog noćnog vida i sa korištenim noćnim vidom [21]

### **Princip rada termalnog 3D prostornog vida**

Termalni 3D prostorni vid funkcioniira slično kao i ljudski vid koji je baziran na triangulaciji (proces određivanja lokacije neke točke formirajući trokut prema toj točki od poznatih točaka) toplinskih zraka, sa dvije ili više točki gledišta, pružajući dubinu percepcije računanjem udaljenosti do različitih predmeta u zadanom području. To se postiže pronalaženjem odgovarajućih piksela između termalnih kamera i trianguliranja udaljenosti mjerenja pomoću algoritama za obradu slike. Ukratko, termalni prostorni vid omogućuje 3D percepciju pod bilo kojim osvjetljenjem i vremenskim uvjetima [21].

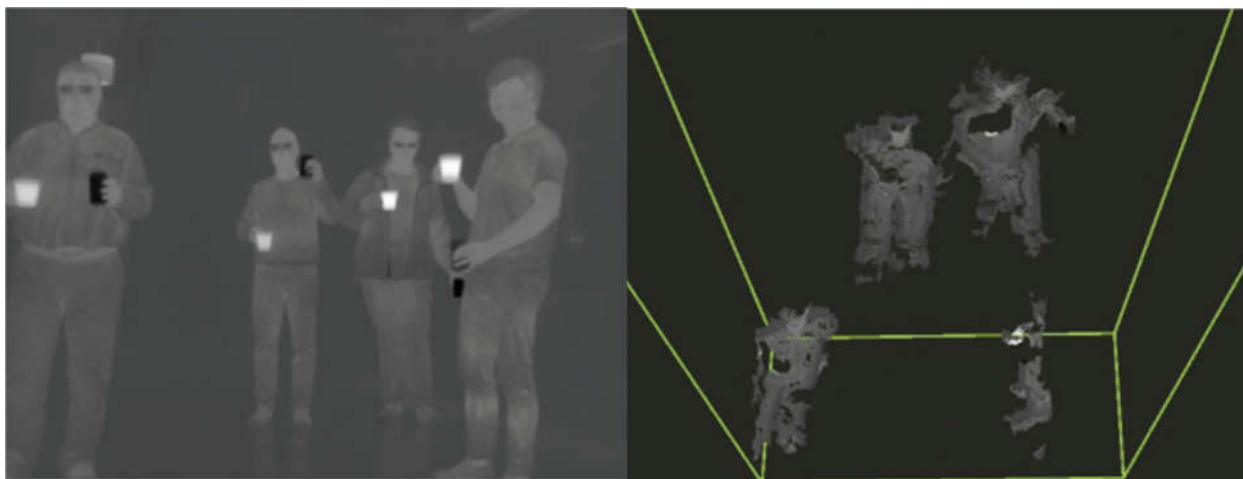


#### 4.1.1. 3 3D lokacija dobivena pomoću pronalaženja odgovarajućih piksela [21]



#### 4.1.1. 4 Ovisnost blizine objekta o nejednakosti lokacije piksela [21]

Objašnjenje slike (Slika 4.1.1.4) je da je razlika udaljenosti piksela ( $n$  ili  $m$ ) veća ako se promatrani objekt ( $N$  ili  $M$ ) nalazi bliže paru termalnih kamera.



4.1.1. 5 Testna situacija sa 3D percepcijom prostornog termalnog vida [21]

Naime glede postavljene testne situacije lijevi dio slike (Slika 4.1.1.5) na osnovu primjene termalnog 3D prostornog vida stvorit će se 3D percepcija ljudi na različitim lokacijama desni dio slike određivanjem razlike udaljenosti piksela između para termalnih kamera.

## 4.2. Primjena infracrvene kamere u postupku proizvodnje

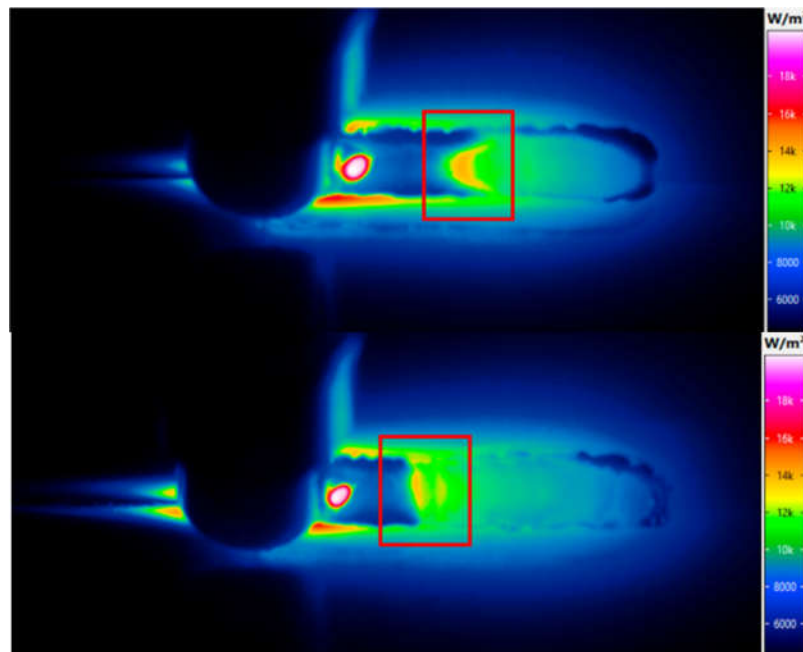
Razni zadatci zavarivanja u automobilskoj industriji još uvijek nemaju visok stupanj automatizacije, što rezultira ručnim zavarivanjem u većoj mjeri te kvaliteta zavara ovisi najviše o zavarivaču, a znamo da je nemoguće stalno praviti isti jednako dobar zavar. Zbog toga je zavare potrebno kontrolirati, a to radimo pomoću infracrvene termografije. Infracrvene kamere otkrivaju promjenu emisivnosti i intenziteta infracrvenog zračenja koje emitira zavar. Intenzitet je specifično zračenje u  $W / m^2$ , što predstavlja snagu topline zračenja po četvornom metru. Mjerenje apsolutne temperature zavara moguće je samo u ograničenoj mjeri zbog svojstva refleksivnosti metalnih materijala i promjenjive emisivnosti povezane s rastaljenom masom zavara. Štoviše, kontrola procesa je moguća, a utjecaj parametara zavarivanja može se utvrditi ispitivanjem relativnog intenziteta promjena pomoću mjernih instrumenata.

Za analizu priložen je primjer sa dvije metalne ploče zavarene u T-spoj, tako da jedna ploča naliježe vertikalno na drugu. Metalne ploče su zavarivane MAG (eng. Metal-active gas) postupkom. Brzina zavarivanja u ovom procesu je 25 cm/min. Tijekom procesa zavarivanja promjene emisivnosti i intenziteta infracrvenog zračenja zavara se analiziraju u realnom vremenu. Uz podatke o infracrvenom zračenju također se prate parametri zavarivanja kao što su

struja i napon zavarivanja koji omogućuju donošenje dodatnih zaključaka u pogledu kvalitete zavara. Promjene oblika i asimetrije zavara mogu se otkriti pomoću raspodjele intenziteta infracrvenog zračenja duž profila zavara [22].

### Promjene emisivnosti

Zavar prikazan na gornjem dijelu slike (Slika 4.2.1) izrađen je s brzinom protoka zaštitnog plina od 12 l/min. Ova je vrijednost definirana kao zadana vrijednost pod kriterijima vizualnog pregleda. Područje na slici unutar crvenog okvira – parabolični oblik u smjeru postupka zavarivanja prikazuje promjenu emisivnosti. U slučaju zavara izrađenog brzinom protoka plina od 4,5 l/min donji dio slike (Slika 4.2.1), promjena emisivnosti ovdje prikazuje ravni oblik unutar crvenog okvira. Iz toga zaključujemo da je karakter parabolične krivulje izravno ovisan o korištenoj brzini protoka plina [22].

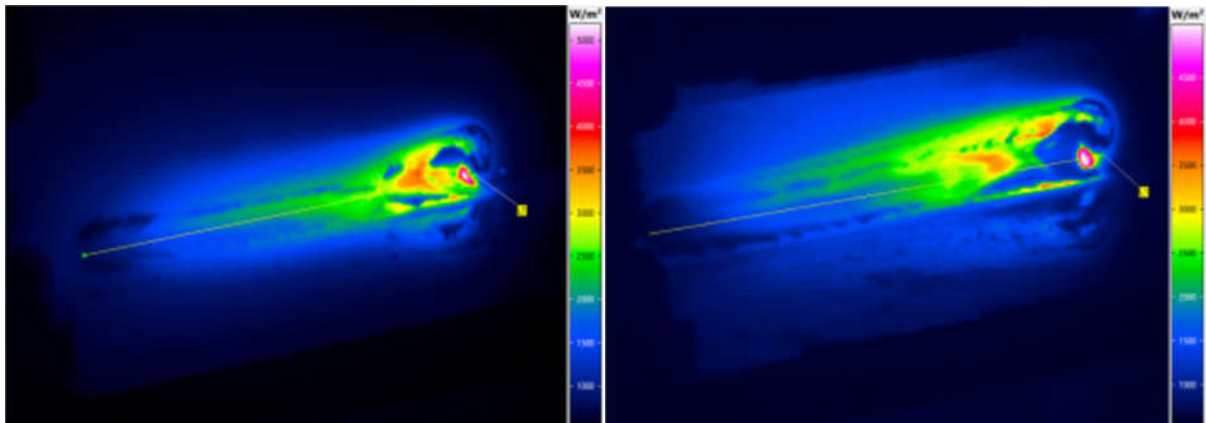


Slika 4.2. 1 Zavari izrađeni s različitim brzinama protoka zaštitnog plina [22]

### Promjene intenziteta infracrvenog zračenja

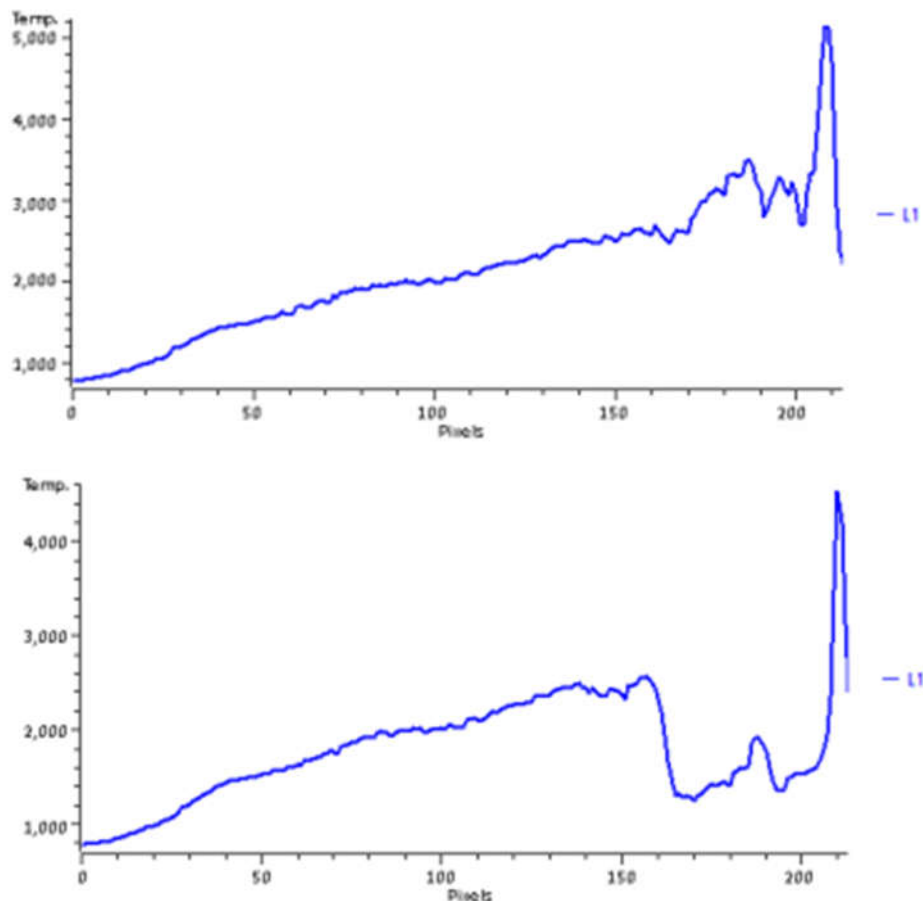
Na slici je prikazana raspodjela intenziteta (Slika 4.2.3. a)) gdje lijeva slika predstavlja raspodjelu intenziteta na zavaru bez defekta, a desna raspodjelu intenziteta na zavaru sa defektom i dijagram odgovarajućih profila intenziteta (Slika 4.2.3. b)) duž zavara. Slike i dijagrami predstavljaju trenutak neposredno nakon završetka područja zavarivanja.





Slika 4.2.3. a) Raspodjela intenziteta zavara [22]

Neusklađenost gorionika za zavarivanje (Pištolj za MIG/MAG zavarivanje osigurava dovođenje struje zavarivanja, zaštitnoga plina te dodatnoga materijala do mjesta zavarivanja) rezultira asimetričnim zavarom. Rezultat ove greške zavarivanja postaje jasan u prikazu raspodjele intenziteta. To se može jasno vidjeti na donjem dijagramu slike (Slika 4.2.3. b)) po snažnom padu intenziteta na početak promjene oblika zavara, dok za usporedbu profil zavara bez defekta prati gotovo linearan trend uspona na gornjem dijagramu slike (Slika 4.2.3. b)) [22].



Slika 4.2.3. b) Dijagram intenziteta profila zavora [22]

Na slici (Slika 4.2.3 c)) prikazani su zavori u stvarnom obliku za ranije spomenuto testiranje gdje lijevi zavar nema defekta, dok je desni zavar onaj sa defektom.



Slika 4.2.3. c) Stvarna slika u boji zavora bez defekta [22]

## **5. ZAKLJUČAK**

Najveća prednost infracrvene termografije za njenu primjenu bi bila njena nedestruktivnost po objekt mjerenja jer su dijelovi za automobile inače jako skupi za proizvodnju i pri njihovom testiranju ovom metodom nebi dolazilo do oštećenja dijelova i samim tim to znači uštedu u proizvodnji. Infracrvene kamere su jako dobar dijagnostički alat kojim se najranije mogu uočiti promjene na promatranim objektima koje bi mogle dovesti do kvara. Kako se industrije nastavljaju mijenjati i rasti, pojavljuju se novi zahtjevi u kojima se može koristiti termalno snimanje, a brojne firme nastavljaju razvijati termografske sustave kako bi udovoljili tom napretku.

S obzirom na sve brži nadolazak budućnosti glede autonomne vožnje sa infracrvenom termografijom koja to pomaže može se reći da infracrvena termografija nije ni približno gotova sa novim otkrićima u tom pogledu primjene.

## LITERATURA

- [1] Jack R. White; Herschel and the Puzzle of Infrared; Dostupno na: [www.americanscientist.org/article/herschel-and-the-puzzle-of-infrared](http://www.americanscientist.org/article/herschel-and-the-puzzle-of-infrared) ; Pristup ostvaren: kolovoz 2020.
- [2] Apiste; Discovery of Infrared waves; Dostupno na: [www.apiste-global.com/fsv/technology\\_fsv/detail/id=1187](http://www.apiste-global.com/fsv/technology_fsv/detail/id=1187) ; Pristup ostvaren: kolovoz 2020.
- [3] H. Glavaš, T. Barić, M. Stojkov, Primjena infracrvene termografije u tehničkim sustavima: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Osijek, 2017.
- [4] Ed Kochanek; Thermal Imaging from the Beginning of the Thermographer's Camera to the Present; Dostupno na: [www.irinfo.org/12-1-2013-kochanek/](http://www.irinfo.org/12-1-2013-kochanek/) ; Pristup ostvaren: kolovoz 2020.
- [5] AGA thermovision; AGA 750; Dostupno na: [www.aga-museum.nl/page/thermovision](http://www.aga-museum.nl/page/thermovision) ; Pristup ostvaren: kolovoz 2020.
- [6] E.Generalic; Spektar elektromagnetskog zračenja; Dostupno na: [www.glossary.periodni.com/preuzimanje\\_slike.php?name=spektar\\_elektromagnetskog\\_zracenja.png&source=spektar+elektromagnetskog+zracenja](http://www.glossary.periodni.com/preuzimanje_slike.php?name=spektar_elektromagnetskog_zracenja.png&source=spektar+elektromagnetskog+zracenja) ; Pristup ostvaren: kolovoz 2020.
- [7] G.Gaussorgues, Infrared Thermography: Springer Netherland, 1994.
- [8] Mladen Andrassy; Plankova spektralna raspodjela energije; Dostupno na: [www.docplayer.gr/70666235-Uporaba-sunceve-energije-za-grijanje-vode-prostora-i-proizvodnju-el-energije-uporaba-sunceve-energije-suncevo-zracenje-prof-dr-sc.html](http://www.docplayer.gr/70666235-Uporaba-sunceve-energije-za-grijanje-vode-prostora-i-proizvodnju-el-energije-uporaba-sunceve-energije-suncevo-zracenje-prof-dr-sc.html) ; Pristup ostvaren: rujan 2020.
- [9] Mladen Andrassy, Ivanka Boras, Srećko Švaić; Osnove termografije s primjenom; Kigen d.o.o.; Zagreb, srpanj 2008.
- [10] NPL; What is emissivity and why is it important; Dostupno na: [www.npl.co.uk/resources/q-a/why-is-emissivity-important](http://www.npl.co.uk/resources/q-a/why-is-emissivity-important) ; Pristup ostvaren: rujan 2020.
- [11] Neutrium; Angle of emission measured from surface normal; Dostupno na: [www.neutrium.net/images/heat-transfer/emissivity-conductors-nonconductors-generalised.png](http://www.neutrium.net/images/heat-transfer/emissivity-conductors-nonconductors-generalised.png) ; Pristup ostvaren: rujan 2020.

- [12] B. Milovanović, *Karakterizacija oštećenja armiranog betona primjenom metode infracrvene termografije, doktorski rad, Građevinski fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2013.*
- [13] E. D'Accardi, D. Palumbo, R. Tamborrino, P. Cavallo, U. Galietti, *Pulsed Thermography: evaluation and quantitative analysis of defects through different post-processing algorithms*, 4 th Quantitative InfraRed Thermography Conference, Berlin, 2018
- [14] Pašagić, V. (2008.), *Primjena termografije u građevinarstvu*, Građevinar
- [15] Blecich, P., Franković, B., Lenić, K. (2009.), *Primjena termovizijske infracrvene kamere u termotehnici*, Eng. Rev.
- [16] InfraTec; Termogram žarulja prednjeg svjetla vozila; Dostupno na: [www.infratec-infrared.com/downloads/en/thermography/flyer/automation/infratec-automotive-b-en-mail-einzeln.pdf](http://www.infratec-infrared.com/downloads/en/thermography/flyer/automation/infratec-automotive-b-en-mail-einzeln.pdf) ; Pristup ostvaren: kolovoz 2020.
- [17] InfraTec; Termogram žarulja tiskane pločice vozila; Dostupno na: [www.infratec-infrared.com/downloads/en/thermography/flyer/automation/infratec-automotive-b-en-mail-einzeln.pdf](http://www.infratec-infrared.com/downloads/en/thermography/flyer/automation/infratec-automotive-b-en-mail-einzeln.pdf) ; Pristup ostvaren: kolovoz 2020.
- [18] InfraTec; Termogram aktivacije zračnog jastuka vozila; Dostupno na: [www.infratec.eu/thermography/industries-applications/high-speed-thermography/](http://www.infratec.eu/thermography/industries-applications/high-speed-thermography/) ; Pristup ostvaren: kolovoz 2020.
- [19] FLIR; Putting thermal AEB to test; Dostupno na: [www.flir.com/oem/adas/](http://www.flir.com/oem/adas/) ; Pristup ostvaren: rujan 2020.
- [20] Eagleeye UK; Infracrvena kamera za noćni vid u vozilu; Dostupno na: [www.eagleeyeuk.com/automotive-night-vision-system/](http://www.eagleeyeuk.com/automotive-night-vision-system/) ; Pristup ostvaren: rujan 2020.
- [21] FLIR; THERMAL STEREO VISION MAKES SAFER CARS; Dostupno na: [www.flir.com/oem/adas/](http://www.flir.com/oem/adas/) ; Pristup ostvaren: rujan 2020.
- [22] InfraTec; Testiranje zavara metodom IC termografije; Dostupno na: [www.infratec.eu/thermography/non-destructive-testing/weld-check/](http://www.infratec.eu/thermography/non-destructive-testing/weld-check/) ; Pristup ostvaren: kolovoz 2020.

## SAŽETAK

Ovaj završni rad opisuje infracrvenu termografiju gdje su objašnjeni osnovni pojmovi vezani za elektromagnetizam: zračenje, valovi, emisivnost, toplina, kao i njihovi zakoni. Prikazan je princip rada IC kamere. Posebna pozornost je obrađena na primjenu infracrvene termografije u automobilske industriji. Dani su primjeri primjene u različitim aspektima automobilske industrije.

**Ključne riječi:** automobilska industrija, infracrveno zračenje, infracrvena termografija, IC kamere

## **ABSTRACT**

This paper describes infrared thermography where the basic concepts related to electromagnetism are explained: radiation, waves, emissivity, heat, as well as their laws. The principle of operation of the IR camera is shown. Special attention is paid to the application of infrared thermography in the automotive industry. Examples of application in various aspects of the automotive industry are given.

**Keywords:** automotive industry, infrared radiation, infrared thermography, IR cameras

## POPIS TABLICA

Tablica 3. 1 Podjela infracrvenog zračenja .....	6
Tablica 3.3. 1 Područja primjene aktivne i pasivne termografije.....	11



## POPIS SLIKA

Slika 2. 1 Herschelov model eksperimenta [2] .....	2
Slika 2. 2 Kamera model 650 [4] .....	3
Slika 2. 3 Aga 750 [5] .....	4
Slika 2. 4 ISI Videotherm kamera [1] .....	4
Slika 3. 1 Spektar elektromagnetskog zračenja [6] .....	5
Slika 3.1. 1 Plankova spektralna raspodjela energije [8] .....	6
Slika 3.2. 1 Ovisnost faktora emisije u ovisnosti kuta promatranja [11] .....	8
Slika 3.2. 2 Promjena faktora emisije sa promjenom valne duljine [1] .....	9
Slika 3.3. 1 Podjela infracrvene termografije [12] .....	10
Slika 3.4. 1 IC kamera FLIR E60bx .....	14
Slika 3.4. 2 Primjer termograma osobe .....	14
Slika 3.4. 3 Primjer termograma čašice s kavom .....	14
Slika 3.4. 4 Termogrami komunikacijskog modula brave u različitim paletama boja.....	15
Slika 4. 1 Termogram motornog prostora vozila .....	16
Slika 4. 2 Termogram remena, usisne grane i filtera ulja .....	17
Slika 4. 3 Termogram grijača stražnjeg prozora vozila .....	18
Slika 4. 4 Prikaz pokvarenog grijača na termogramu .....	19
Slika 4. 5 Termogram žarulja prednjeg svjetla vozila [16] .....	19
Slika 4. 6 Termogram tiskane pločice vozila [17] .....	19
Slika 4. 7 Termogram aktivacije zračnih jastuka [18] .....	20
Slika 4. 8 Testiranje aktivnog kočenja sustavom infracrvene termografije [19] .....	20
Slika 4.1. 1 Infracrvena kamera za noćni vid u vozilu [20] .....	21
4.1.1. 1 Područje detekcije različitih vrsta senzora [21] .....	23
4.1.1. 2 Vožnja pri magli bez korištenog noćnog vida i sa korištenim noćnim vidom [21] .....	24
4.1.1. 3 3D lokacija dobivena pomoću pronalaženja odgovarajućih piksela [21] .....	25
4.1.1. 4 Ovisnost blizine objekta o nejednakosti lokacije piksela [21] .....	25
4.1.1. 5 Testna situacija sa 3D percepcijom prostornog termalnog vida [21].....	26
Slika 4.2. 1 Zavari izrađeni s različitim brzinama protoka zaštitnog plina [22] .....	27

Slika 4.2.3. a) Raspodjela intenziteta zavara [22] .....	28
Slika 4.2.3. b) Dijagram intenziteta profila zavara [22].....	29
Slika 4.2.3. c) Stvarna slika u boji zavara bez defekta [22] .....	29

## **ŽIVOTOPIS**

Tomislav Ramljak, rođen je 13. kolovoza 1998. godine u Žepču, Bosna i Hercegovina. Nakon završene Osnovne škole „Žepče“ u Žepču, upisuje Tehničku srednju školu u Katoličkom školskom centru „Don Bosco“, smjer Tehničar za mehatroniku. Po završetku srednje škole upisuje sveučilišni preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku i trenutno je student treće godine tog studija.