

# Usporedba mjerenja temperature senzorima i termovizijskom kamerom

---

Škrobo, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:104136>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-30**

Repository / Repozitorij:

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split - Repository - Faculty of Maritime Studies Split for permanent storage and preservation of digital resources of the institution](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET**

**LUKA ŠKROBO**

**USPOREDBA MJERENJA TEMPERATURE  
SENZORIMA I TERMOVIZIJSKOM KAMEROM**

**DIPLOMSKI RAD**

**SPLIT, 2021.**


**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET**

**LUKA ŠKROBO**

**USPOREDBA MJERENJA TEMPERATURE  
SENZORIMA I TERMOVIZIJSKOM KAMEROM**

**DIPLOMSKI RAD**

**SPLIT, 2021.**

	<b>POMORSKI FAKULTET U SPLITU</b>	Stranica:	3/78
			Šifra:
	<b>DIPLOMSKI ZADATAK</b>	Datum:	08.04.2021.

Split, 08.04.2021

Zavod/studij: Pomorski fakultet, Split, Studij Brodostrojarstva

Predmet: Nove tehnologije u dijagnostici i upravljanju

### ***DIPLOMSKI ZADATAK***

Student/ca: Luka Škrobo

Matični broj: 0265054993

Zavod/studij: Studij Brodostrojarstva

#### **ZADATAK:**

Potrebno je usporediti mjerenja temperature termovizijskom kamerom i temperaturnim senzorima.

#### **OPIS ZADATKA:**

Opisati senzore na testnoj ploči WL 202 te pridružene senzore Pt-100, termoelement tipa K, NTC termistor, termometar, bimetalni termometar i trake za mjerenje temperature. Također opisati karakteristike termovizijske kamere Testo 890. Potrebno je izmjeriti temperaturu prethodno spomenutim senzorima. Napraviti komparativnu analizu mjerenja temperature sa senzorom Pt-100 i termovizijskom kamerom. Za mjerenje koristiti uzorke antifrizna, pumpu vode i servomotor.

#### **CILJ:**

Potrebno je izmjeriti temperaturu s Pt-100 i termovizijskom kamerom. Usporediti mjerenja tim senzorima i kamerom. Zaključiti koji je senzor bolji za mjerenje temperature pri jednakim uvjetima u okolini. Također dokazati koji je senzor bolji u određenoj primjeni.

**Zadatak uručen studentu/ci: 08.04.2021.**

**Potpis studenta/ce:**

**Mentor: dr. sc. Igor Vujović, izv. prof.**

**Komentor: Miro Petković, mag. ing. el.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**POMORSKI FAKULTET**

**STUDIJ: BRODOSTROJARSTVO**

**USPOREDBA MJERENJA TEMPERATURE  
SENZORIMA I TERMOVIZIJSKOM KAMEROM**

**DIPLOMSKI RAD**

**MENTOR:**

**dr. sc. Igor Vujović, izv. prof.**

**STUDENT:**

**KOMENTOR:**

**Miro Petković, mag. ing. el.**

**Luka Škrobo (MB:0275054993)**

**SPLIT, 2021.**

## SAŽETAK

U radu je temperatura definirana kao stupanj zagrijanosti nekog tijela. Mjerenje te iste temperature jedan je, vjerojatno, od najstarijih postupaka koje je čovjek izumio. Postoje razne metode i instrumenti za mjerenje temperature i vrlo je važno odabrati pravi instrument za određenu svrhu, a u radu su opisana dva instrumenta i njihova načela rada. U prvom dijelu rada opisani su osnovni zakoni termodinamike i termografije i jedan od opisanih mjernih instrumenata, a to je termovizijska kamera kao sastavni dio termografije. Drugi dio sadrži princip rada i osnove osjetnika, vrste termootpornika i njihovog predstavnika Pt-100. Treći dio čine sama mjerenja, te opisi provedbe istih. Također su opisani mjereni uzorci i njihovi parametri. Cilj rada je usporediti mjerenja ta dva instrumenta pri istim okolnim uvjetima i dokazati za koju svrhu je najbolje upotrijebiti svaki od njih.

**Ključne riječi:** *temperatura; termografija; termovizijska kamera; osjetnik; termootpornik*

## ABSTRACT

In the paper, temperature is defined as the degree of warming of a body. Measuring that same temperature is probably one of the oldest methods invented by man. There are various methods and instruments for measuring temperature and it is very important to choose the right instrument for a particular purpose, and the paper describes two instruments and their principles of operation. The first part of the paper describes the basic laws of thermodynamics and thermography and one of the described measuring instruments, which is a thermal imaging camera as an integral part of thermography. The second part contains the principle of operation and the basis of sensitivity, types of thermoresistors and their representatives Pt-100. The third part consists of the measurements themselves, and their descriptions. The measured samples and their parameters are also described. The aim of this paper is to compare the measurements of these two instruments under the same environmental conditions and to prove for what purpose it is best to use each of them.

**Keywords:** *temperature; thermography; thermal imaging camera; sensor; thermal resistor*

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. OSNOVE TERMODINAMIKE I TERMOGRAFIJE .....	2
2.1. TERMODINAMIČKI POJMOVI I VELIČINE .....	2
2.1.1. Termodinamički sustav .....	2
2.1.2. Parametri sustava.....	2
2.2. ZAKONI TERMODINAMIKE.....	3
2.2.1. Nulti zakon termodinamike .....	3
2.2.2. Prvi zakon termodinamike.....	3
2.2.2. Drugi zakon termodinamike .....	3
2.3. OBLICI PROSTIRANJA TOPLINE .....	3
2.3.1. Provođenje ili kondukcija.....	3
2.3.2. Prijenos ili konvekcija.....	4
2.3.3. Zračenje ili radijacija.....	5
2.4. ZAKONI TOPLINSKOG ZRAČENJA .....	6
2.4.1. Toplinska ravnoteža .....	6
2.4.2. Kirchhoffov zakon apsorpcije .....	8
2.4.3. Stefan-Boltzmannov zakon zračenja .....	8
2.4.4. Lambertov zakon.....	8
2.4.5. Wienov zakon pomaka .....	9
2.5.ELEKTROMAGNETSKI VALOVI I SPEKTAR.....	10
2.5.1. Neki dijelovi spektra .....	11
2.6. NAČINI PRIMJENE TERMOGRAFIJE.....	12
2.6.1. Praktična primjena termografije.....	13
2.7. NAČELO RADA TERMOVIZIJSKE KAMERE .....	19
3. OPĆENITO O TERMOOTPORNICIMA S OSVRTOM NA Pt – 100.....	21
3.1. TERMOOTPORNICI.....	21
3.2. TERMOOTPORNICI OD PLATINE .....	21
3.2.1. Prednosti i nedostaci termootpornika i termoparova.....	21
3.3. MJERENJE TERMOOTPORNIKA .....	22
3.3.1. Mjerna struja .....	23

3.3.2. Samozagrijavanje .....	23
3.4. RAZLIČITE MEHNIČKE STRUKTURE PRT OSJETNIKA .....	23
3.4.1. Standardni termootpornik od platine .....	24
3.4.2. Djelomični standardni termootpornik od platine.....	24
3.4.3. Industrijski termootpornici od platine .....	24
3.4.4. Osjetnici s tankim filmom platine .....	25
3.5. OSTALE VRSTE TERMOOTPORNIKA.....	25
3.5.1. Ostali termootpornici od platine.....	25
3.5.2. Termootpornici od drugih materijala .....	25
3.6. Pt – 100 SENZOR .....	26
3.6.1. Temperaturni koeficijent .....	26
3.6.2. Pt-100 odnos temperature i otpora .....	27
3.6.3. Standardizacija senzora Pt-100 .....	29
3.6.4. Usklađenost mjernog uređaja i Pt-100 senzora .....	29
3.7. RAZREDI TOČNOSTI Pt-100 OSJETNIKA.....	30
3.8. KOEFICIJENTI .....	32
3.8.1. Callendar-van Dusen .....	33
3.8.2. Međunarodna temperaturna ljestvica .....	33
3.8.3. Steinhart-Hart-ova jednadžba.....	34
3.8.4. Podešavanje senzora.....	34
4. TEHNIČKI OPIS MJERENIH UZORAKA .....	36
4.1. TEHNIČKI OPIS UZORKA BROJ 1 – ANTIFRIZ.....	36
4.2. TEHNIČKI OPIS UZORKA BROJ 2 – PUMPA VODE .....	38
4.3. TEHNIČKI OPIS UZORKA BROJ 3 – SERVO MOTOR .....	40
5. TEHNIČKI OPIS MJERNIH INSTRUMENATA.....	42
5.1. TERMOVIZIJSKA KAMERA .....	42
5.1.1. Program za analizu termografskih snimki .....	44
5.2. WL 202 TESTNA PLOČA ZA MJERENJE TEMPERATURE .....	46
6. IZVEDENA MJERENJA TEMPERATURE.....	49
6.1. GRIJANJE MEDIJA .....	49
6.2. PUMPA VODE.....	57
6.3. SERVO MOTOR .....	59



7. ZAKLJUČAK .....	64
LITERATURA.....	65
POPIS TABLICA.....	66
POPIS SLIKA .....	67
POPIS GRAFIKONA .....	69
POPIS KRATICA .....	70

## 1. UVOD

Znanstveno znanje o toplini je vrlo rašireno i veliko ali mjesta za napredak uvijek ima. Temperatura je najčešće mjeren parametar. Na brojne načine utječe na fizički, kemijski i biološki svijet. Ipak, relativno sporo se razvijalo potpuno uvažavanje složenosti temperature i njezinog mjerenja.

Intuitivno, ljudi već dugo znaju za temperaturu: vatra je vruća, a snijeg hladan. Veće znanje stečeno je dok je čovjek pokušavao raditi s metalima kroz brončano i željezno doba. Neki od tehnoloških procesa zahtijevali su određeni stupanj kontrole nad temperaturom, ali da biste kontrolirali temperaturu, morate znati mjeriti ono što kontrolirate.

U ovom radu se izvode temperaturna mjerenja na tri različita uzorka pomoću termovizijske kamere i Pt-100 osjetnika. Cilj je pokušati dokazati da korištenje instrumenata za mjerenje temperature uvelike ovisi za koju svrhu nam trebaju. Nakon obavljenih mjerenja prikazati rezultate te ih potom usporediti.

Prvi dio rada ( poglavlja 2 i 3) se odnosi na teorijski dio o samoj termografiji i osjetnicima temperature, drugi dio (poglavlja 4 i 5) su opisi mjerenih uzoraka i mjernih instrumenata, treći dio (poglavlje 6) čine sama izvedena mjerenja te četvrti i ujedno zadnji dio je zaključak u kojem se iznose razmatranja.

## 2. OSNOVE TERMODINAMIKE I TERMOGRAFIJE

### 2.1. TERMODINAMIČKI POJMOVI I VELIČINE

#### 2.1.1. Termodinamički sustav

Fizikalni sustav, određene količine materije koja se nalazi u nekoj zatvorenoj površini, u kojem se odvijaju termodinamički procesi. Termodinamički sustav je određen i opisuje se pomoću svojih termodinamičkih veličina ili parametara.

Razlikujemo:

- izolirani,
- zatvoreni i
- otvoreni termodinamički sustav.

U izoliranom sustavu nemamo mogućnost izmjene materije ni energije s okolinom. U zatvorenom termodinamičkom sustavu moguća je izmjena energije s okolinom. S tim se mijenja obujam, tlak i temperatura, ali spomenuta količina materije se ne mijenja. U otvorenom sustavu moguća je izmjena materije i energije s okolinom sustava.

#### 2.1.2. Parametri sustava

Parametri sustava su mjerljive veličine koje nam služe za približno prikazivanje istog.

Razlikuje se:

- obujam
- temperatura
- tlak
- boja
- miris i slično.

Temperatura se može definirati kao stupanj zagrijanosti nekog tijela ili sustava. Termodinamička temperatura  $T$  definirana je zakonima termodinamike. Mjerna jedinica po *SI* sustavu je [K]. U upotrebi je i celzijev stupanj [ $^{\circ}\text{C}$ ], a oznaka za temperaturu je onda  $t$  [1].

$$T = t + 273,14 \quad [\text{K}] \quad (1)$$

## **2.2. ZAKONI TERMODINAMIKE**

### **2.2.1. Nulti zakon termodinamike**

„Toplina uvijek prelazi sa toplijeg tijela na hladnije sve dok ne dođe do temperaturne ravnoteže. Ako su dva tijela u ravnoteži sa trećim tada su i međusobno u ravnoteži“.

### **2.2.2. Prvi zakon termodinamike**

Ako gledamo opći zakon o održanju energije, može se vidjeti da “zbroj svih energija prije procesa mora biti jednak zbroju energija nakon procesa“.

“Količina topline koja se dovede nekom sustavu potroši se na povećanje unutarnje energije sustava i na obavljanje rada“.

### **2.2.2. Drugi zakon termodinamike**

„Toplina nikada ne prelazi sama od sebe s tijela niže temperature na tijelo više temperature.“

## **2.3. OBLICI PROSTIRANJA TOPLINE**

Kako bi se toplina prostirala, prvi uvjet je postojanje razlika temperatura između dva tijela ili sustava.

Postoje tri osnovna načina prostiranja topline:

- provođenje ili kondukcija,
- prijenos ili konvekcija i
- zračenje ili radijacija.

### **2.3.1. Provođenje ili kondukcija**

U prvom slučaju kondukcije toplina se prostire neposrednim dodirrom subatomskih, atomskih i molekularnih čestica, a tijelo je u stanju mirovanja. Čestice sustava ili tijela u njegovim određenim dijelovima s višom temperaturom imaju veću brzinu gibanja, te se u sudaru s tijelom niže temperature odnosno njegovim česticama koje imaju manju brzinu usporavaju dok druge ubrzavaju. Pritom se toplina prostire gibanjem slobodnih elektrona. Sva

tri načina prostiranja topline mogu biti stacionarni i nestacionarni, ali se procesi većinom opisuju stacionarno. Kondukciju je opisao Fourier svojim zakonom [1]:

$$Q = -\lambda \cdot \frac{t_2 - t_1}{\delta} F \cdot \tau \quad [\text{J}] \quad (2)$$

gdje je:

$Q$ - topline prostiranja	[J]
$\lambda$ – koeficijent kondukcije topline	[W/m°C]
$\Delta t$ – temperaturna razlika	[K]
$F$ – površina	[m <sup>2</sup> ]
$\tau$ – vrijeme	[s]
$\delta$ – debljina zida	[m].

### 2.3.2. Prijenos ili konvekcija

U drugom slučaju konvekcije topline se prenosi česticama u pokretu odnosno koje se gibaju. Što znači da je ovaj način prostiranja topline moguć kod tekućina ali ne i krutih tijela. Konvekcija najviše ovisi o jakosti miješanja te o toplinskoj jakosti samih čestica u gibanju. Gibanje fluida može biti izazvano:

- prirodnom konvekcijom ili
- prisilnom konvekcijom.

Ako nema pomoći pri gibanju fluida poput ventilatora ili pumpi to se naziva prirodnom konvekcijom. Što znači da se gibanje odvija zbog različitih gustoća u pojedinim dijelovima prostora koje tekućina zauzima.

Suprotno prethodnome postoji i prisilna konvekcija. U ovom slučaju gibanje tekućine ostvaruje se pomoću pumpi, vjetra i slično.

Prijenos ili konvekcija topline opisuje se po Newtonovom zakonu. Po zakonu ako je površina određene veličine  $F$  [m<sup>2</sup>] u kontaktu sa plinom ili fluidom, razmijenjena topline iznosi [1]:

$$Q = \alpha \cdot (t_z - t_f) \cdot F \cdot \tau \quad [\text{J}] \quad (3)$$

gdje je:

$Q$ -toplina prostiranja	[J]
$t_z, t_f$ , - temperature zida i fluida	[K]
$F$ – površina,	[m <sup>2</sup> ]
$\tau$ – vrijeme	[s].

### 2.3.3. Zračenje ili radijacija

Zračenje ili radijacija je oblik prijenosa topline koji, za razliku od kondukcije i konvekcije, nije posredno vezano za materiju. Toplina se prenosi elektromagnetnim valovima sa tijela koje zrači na tijelo koje prima zračenje. Proces se može odvijati i u stanju vakuuma. Zbog određenih promjena koje se događaju u nekom tijelu fizikalno kemijske prirode nastaje zračenje.

Jedno od značajnijih oblika zračenja je temperaturno zračenje. Ono se sastoji od ultraljubičastog, svjetlosnog i toplinskog zračenja. Glavna karakteristika ovog zračenja je da osim što ovisi o prirodi tijela ovisi i o njegovoj temperaturi, pa se zbog toga ovaj oblik pojavljuje kod svakog tijela temperature veće od 0 K. To zračenje je vlastita emisija ili emitirana energija tijela koje se promatra,  $E$  [W/m<sup>2</sup>].

Kada tijelo emitira temperaturno zračenje i to zračenje dospije do drugog tijela tada će se dio tog zračenja reflektirati, jedan apsorbirati a treći dio će proći kroz tijelo.

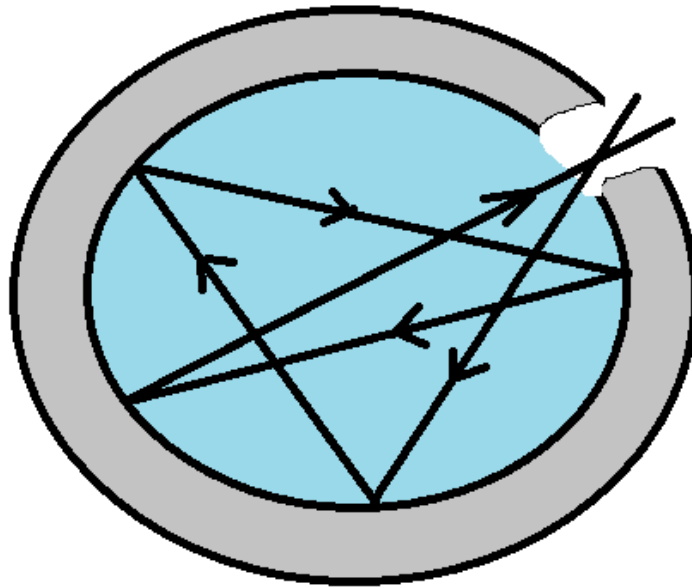
Energija zračenja koja ne pripada promatranom tijelu, odnosno izvor dolazi iz njegove okoline, zove se upadno zračenje,  $G$  [W/m<sup>2</sup>].

A kada se zračenje reflektira i apsorbirani dio krene zračiti tada se govori o svjetloći površine,  $K$  [W/m<sup>2</sup>].

Dio koji se reflektira vidimo kao odsjaj tijela koje zrači na tijelu koje prima zračenje. Dio koji se propusti nastavlja sa zračenjem neometano, onda za tijelo koje je propustilo zračenje kažemo da je prozirno. Apsorbirano zračenje se očitava povećanjem unutarnje energije i temperature tijela koje ga je primilo.

Kada se govori o zračenju moramo spomenuti i crno tijelo. Tijelo koje apsolutno apsorbira upadna zračenja, te tijelo koje najviše emitira zračenje od bilo kojeg drugog tijela pri odabranoj temperaturi i valnoj duljini. U prirodi ono ne postoji iako postoje materije koje mu se približavaju kao što je crno zlato i slično. Eksperimentalno realizirano tijelo možemo

prikazati kao izotermnu šupljinu kojoj su stjenke sivo tijelo. Upadne zrake prolaze kroz maleni otvor i više puta se prelamaju te apsorbiraju. Samim time svojim ponovnim prolaskom kroz ulaz zapravo emitiraju vlastito zračenje stjenke kao što to čini i crno tijelo.

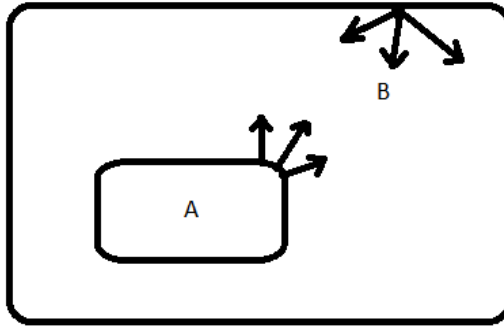


**Slika 1. Eksperimentalna izotermna šupljina kao crno tijelo**

## **2.4. ZAKONI TOPLINSKOG ZRAČENJA**

### **2.4.1. Toplinska ravnoteža**

Na slici su prikazana dva tijela te njihova zračenja. Odnos između ta dva tijela je takav da tijelo B obuhvaća u potpunosti tijelo A.



**Slika 2. Uzajamno zračenje dva tijela**

Uzmemo li u obzir da su oba tijela nepropusna, tada se zračenje ta dva tijela sastoji od vlastitog i reflektiranog dijela. Tijelo B dozračuje energiju  $E$  [W/m<sup>2</sup>] na tijelo A. Ta se energija na tijelu A dijelom reflektira, a dijelom apsorbira [1].

$$E_{BA} = r \cdot E_{BA} + \alpha \cdot E_{BA} \quad [\text{W/m}^2] \quad (4)$$

gdje su:

$r$ ,  $\alpha$  – koeficijenti refleksije i apsorpcije tijela A.

Nakon dozračivanja tijelo A zrači energiju na tijelo B. Ta energija se sastoji od vlastitog dijela zbog temperature  $t$  i reflektiranog dijela [1].

$$E_{AB} = E_{AA} + r \cdot E_{BA} \quad [\text{W/m}^2] \quad (5)$$

gdje je:

$E_{AA}$  – emitirana energija tijela A zbog vlastite temperature  $t$ .

Po nultom zakonu termodinamike dva tijela su u ravnoteži ako su im temperature izjednačene, a samim time i energije. Stoga dobivamo da je koeficijent apsorpcije, kod toplinske ravnoteže, jednak je omjeru emitirane i dozračene energije [1].

$$\alpha = \frac{E_{AA}}{E_{BA}} \quad (6)$$



#### 2.4.2. Kirchhoffov zakon apsorpcije

Prema prethodnoj slici 2 može se napraviti primjer za Kirchhoffov zakon. Ako se pretpostavi da je tijelo A prirodno sivo tijelo, a tijelo B apsolutno crno tijelo dobiva se da su koeficijenti apsorpcije i koeficijent emisije sivog tijela jednaki [1].

$$\alpha = \varepsilon \quad (7)$$

Prema zakonu ako je tijelo u ravnoteži zračenja emitira jednaku količinu zračenja koliku i apsorpira. To se odnosi i na svaku valnu duljinu zasebno.

#### 2.4.3. Stefan-Boltzmannov zakon zračenja

Zakon o emitiranoj energiji crnog tijela. Zračenje istog ovisi o njegovoj temperaturi. Izraz koji nam поближе objašnjava zakon [1]:

$$E_C = \sigma \cdot T^4 \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (8)$$

Gdje su:

$\sigma = 5,667 \times 10^{-8}$  - Boltzmannova konstanta,  $[\text{W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)]$

$T$  – temperatura crnog tijela koje zrači  $[\text{K}]$ .

#### 2.4.4. Lambertov zakon

Po zakonu tijelo zrači najintenzivnije u smjeru normale  $E_n$  dok se u drugim smjerovima taj intenzitet smanjuje po kosinusnom zakonu[1]:

$$E_\varphi = F_n \cdot \cos\varphi \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (9)$$

gdje je:

$\varphi$  – kut između proizvoljnog pravca i normale na površinu.

Lambertovim zakonom je moguće izračunati ukupno zračenje neke površine u poluloptu iznad nje. Za  $1\text{m}^2$  izraz glasi [1]:

$$E = \pi \cdot E_n \quad [\text{W/m}^2] \quad (10)$$

Ako se strogo gleda zakon, on vrijedi za apsolutno crna tijela, dok za prirodna siva vrijedi na području  $\varphi$  od  $0^\circ$  do  $60^\circ$ .

Stoga je prethodni izraz potrebno korigirati koeficijentom  $\varepsilon_\varphi$  [1]:

$$E = \varepsilon_\varphi \cdot \pi \cdot E_n \quad [\text{W/m}^2] \quad (11)$$

gdje se:

Koeficijent  $\varepsilon_\varphi$  uzima ovisno o vrsti površine. Prema literaturi ono iznosi:

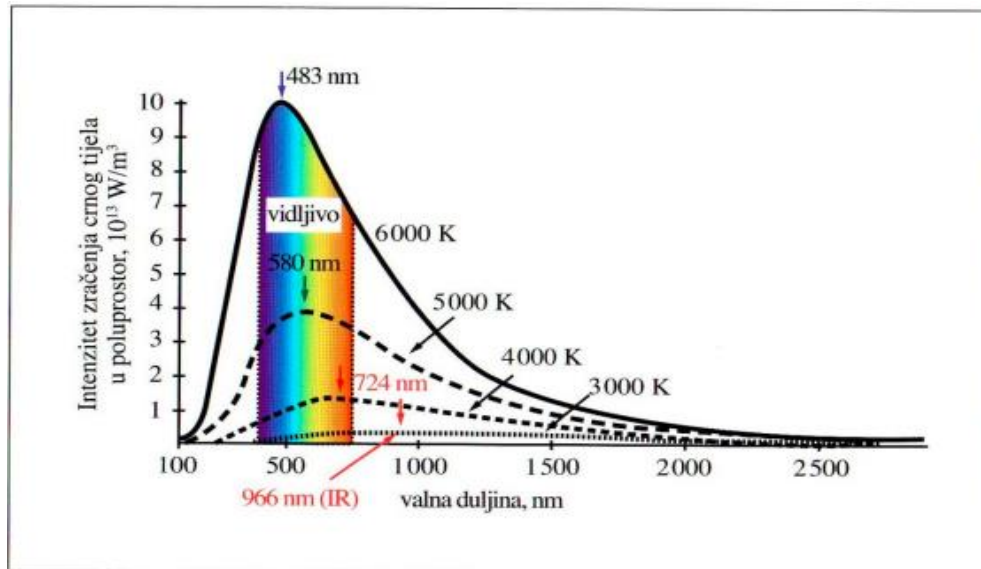
$\varepsilon_\varphi = 1,2$  za sjajne površine metala

$\varepsilon_\varphi = 0,95$  za druga tijela glatke površine

$\varepsilon_\varphi = 0,98$  za hrapave površine.

#### 2.4.5. Wienov zakon pomaka

Temperaturno zračenje sivih tijela sadrži cijeli spektar elektromagnetnih valova. Raspodjela energije u funkciji od valne duljine nije ravnomjerna. U području valnih duljina između  $\lambda = 0,5 \cdot 10^{-3}$  i  $6 \cdot 10^{-3}$  mm se nalazi najjače emitiranje za temperature od 50 do 3000 K koje su tehnički važne temperature. Maksimalne vrijednosti emitiranja ovise o temperaturi tijela koje zrači. Porastom temperature tijela maksimalne vrijednosti se premještaju prema manjim valnim duljinama.



Slika 3. Spektar raspodjele emitiranog zračenja crnog tijela [2]

## 2.5.ELEKTROMAGNETSKI VALOVI I SPEKTAR

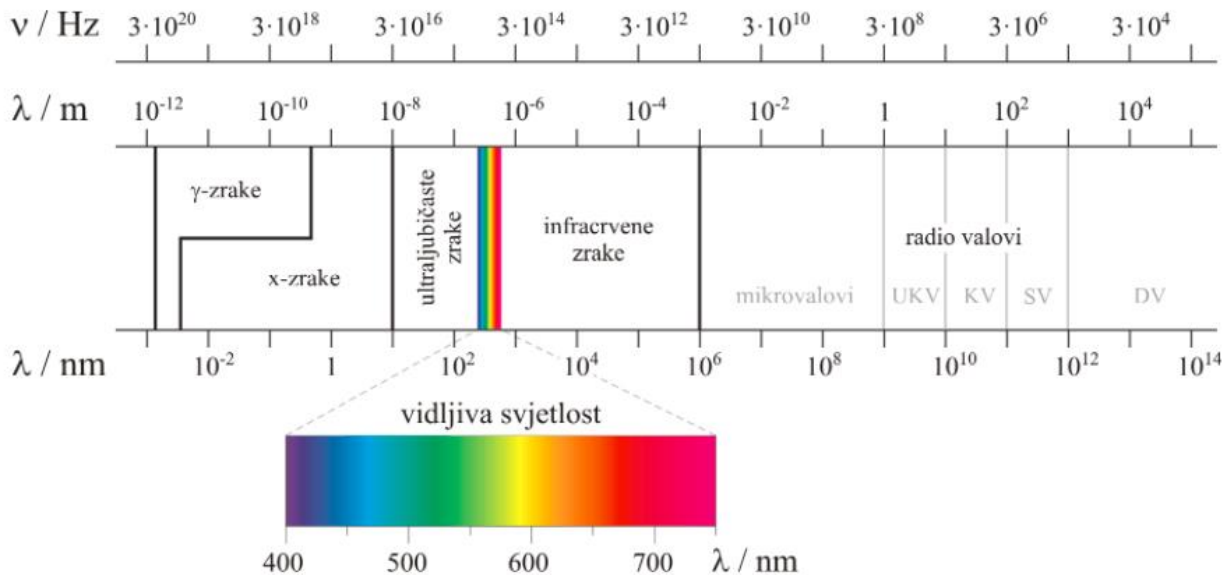
Kao što je prethodno rečeno zračenje nastaje zbog fizikalno kemijskih promjena u tijelu na njegovu okolinu. Zračenje se obavlja fotonima ili svjetlosnim kvantima, to su nam najsitniji oblici energije zračenja.

Od osnovnih karakteristika zračenja možemo izdvojiti učestalost titraja ili frekvencija zračenja  $\nu$  [ $s^{-1}$ ]. Ova karakteristika je dio svakog zračenja. Pored frekvencije, s obzirom da se elektromagnetski valovi gibaju brzinom svjetlosti  $c$  kroz dani medij, imamo i karakteristiku valne duljine  $\lambda$  [m] [1]:

$$c = \lambda \cdot \nu \quad [m/s] \quad (12)$$

Prilikom prolaska valova kroz vakuum, vodu, zrak i druge medije frekvencija zračenja se ne mijenja, ali se zato mijenjaju valna duljina i brzina vala. U inženjerskoj praksi najčešće se uzima  $c = 3 \cdot 10^8$  [m/s].

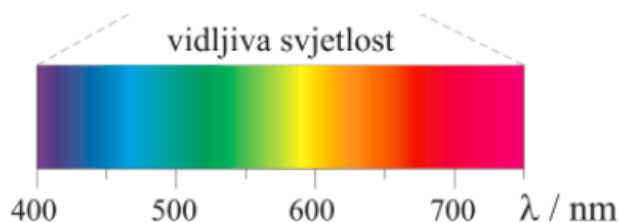
Postoji cijeli spektar elektromagnetnih valova s frekvencijama ( $\nu$ ) od 0 do  $\infty s^{-1}$ , a s time i valnim duljinama ( $\lambda$ ) od  $\infty$  do 0 m. Ovisno o tome koje frekvencije prevladavaju u praksi poznate su različite vrste zračenja.



**Slika 4. Spektar elektromagnetnih valova [6]**

### 2.5.1. Neki dijelovi spektra

Vidljivom svjetlošću se naziva dio spektra koji je vidljiv golim okom. Kako koja svjetlost emitira odnosno svjetlosti različitih frekvencija razlikujemo boje. Taj dio spektra vidljiv golim okom zauzima područje od 0,4 do 0,7  $\mu\text{m}$ . Iz prethodne slike možemo izdvojiti vidljivi spektar elektromagnetnih valova.

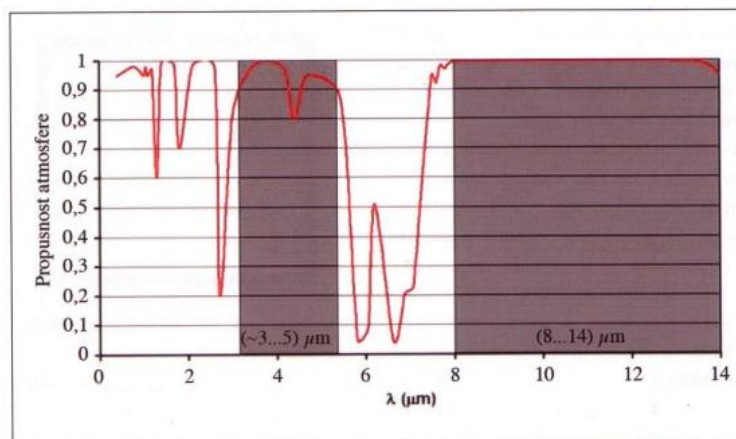


**Slika 5. Vidljivi spektar valova [6]**

Nakon vidljivog dijela spektra slijedi spektar infracrvenog područja. Spektar infracrvenog područja možemo podijeliti na nekoliko dijelova, a u ovom slučaju najčešće se koriste dva područja infracrvenog dijela spektra:

- SW, područje kratkih valova (blisko infracrveno zračenje),
- LW, područje dugih valova (daleko infracrveno zračenje).

Kao što se vidi na slici, u području kratkih i dugih valova propusnost atmosfere je relativno dobra, ali u području između 5 i 8  $\mu\text{m}$  propusnost je jako slaba, stoga kamera u tom području ne bi zabilježila ciljano mjerenje nego ono što se nalazi između objekta i kamere.



**Slika 6. Propusnost atmosfere za IC zračenje u odabranom dijelu [2]**

## 2.6. NAČINI PRIMJENE TERMOGRAFIJE

Nakon termografskog snimanja rezultate možemo koristiti u kvalitativne i kvantitativne svrhe.

Za neke primjene su samo potrebni podaci sa termograma ili IC podaci u obliku vizualne slike kako bi se opisala situacija i pronašao izvor problema ili dio kojeg je potrebno popraviti i u te svrhe možemo koristiti **kvalitativnu metodu**. Iako nam daje podatke koji možda i nisu najpouzdaniji ipak nam omogućuje brzu reakciju.

Dok u drugom slučaju ako rezultate koristimo **kvantitativno** onda se dobiju puno precizniji podaci o temperaturama na snimanom objektu. Odnosno to je situacija kada nam samo podaci sa termograma nisu dovoljni i za razliku od kvalitativne uključuje utjecaj atmosfere, emisiju s promatranog objekta te refleksiju.

Kao što je prethodno rečeno, svako tijelo s temperaturom iznad 0 K emitira energiju. Ako promatrano tijelo emitira više ili manje od svoje okoline, ima različitu temperaturu od okoline, ali se temperatura ne mijenja, onda se govori o **pasivnoj termografiji**. To tijelo daje toplinski kontrast te će se isticati na termogramu. Pasivna termografija u najviše slučaje će biti kvalitativna.

S druge strane, ako tijelo ima istu temperaturu kao i okolina ili se žele поблиže odrediti unutarnja svojstva promatranog tijela tada se koristi jedna od metoda **aktivne termografije**. Pošto se tijelo ne ističe na termogramu potrebno ga je toplinski pobuditi dovođenjem ili odvođenjem iste. Promjenom temperature i snimanjem tijela tijekom određenog vremenskog perioda dobit će se potrebni podatci. Aktivna termografija je najčešće kvantitativna.

### **2.6.1. Praktična primjena termografije**

Postoji mnogo više od onoga što se golim okom može vidjeti. Ljudsko oko može samo vidjeti određeni spektar boja te ne može držati korak sa vrlo brzim kretanjama i nevidljivim plinovima. Sve te prepreke počevši od topline samog ljudskog tijela pa do nevidljivih plinova se mogu premostiti pomoću termografije.

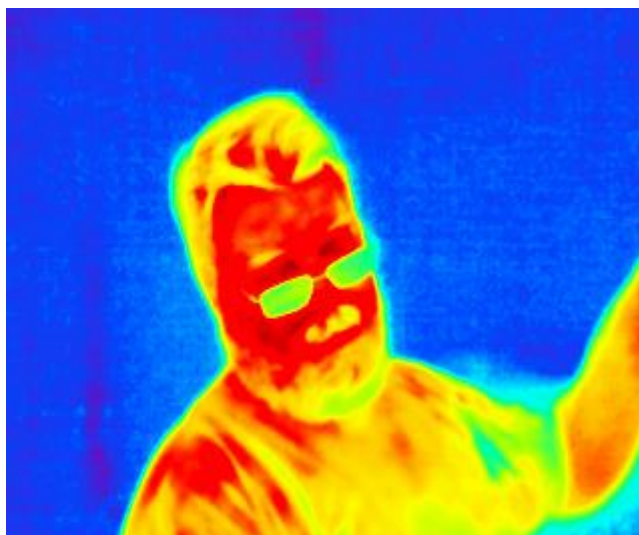
Neke od praktičnih primjena termografije je u medicinske svrhe, zrakoplovnoj industriji, kemijskoj industriji, za noćni vid, u poljoprivredi i hranidbenoj industriji, građevini i mnoge druge, ali i nama najvažnijoj pomorskoj industriji.

#### **a) Medicinske svrhe**

Termografska snimanja u medicinske svrhe nisu invazivna i ne uključuju izlaganje radioaktivnosti. Najčešće se koristi u svrhe:

- ranog otkrivanja raka dojke,
- promatranje promjena u sveukupnom zdravstvenom stanju,
- nadgledanje oporavka ili zarastanja i
- praćenje virusa i zaraza.

Proces se može obaviti na više načina poput skeniranja cijelog tijela ili samo potrebnog dijela ili masovno skeniranje kao na primjer autobusna stajališta ili aerodrome za moguća širenja virusa.



**Slika 7. Termografski snimak dijela tijela**

#### **b) Zrakoplovna industrija**

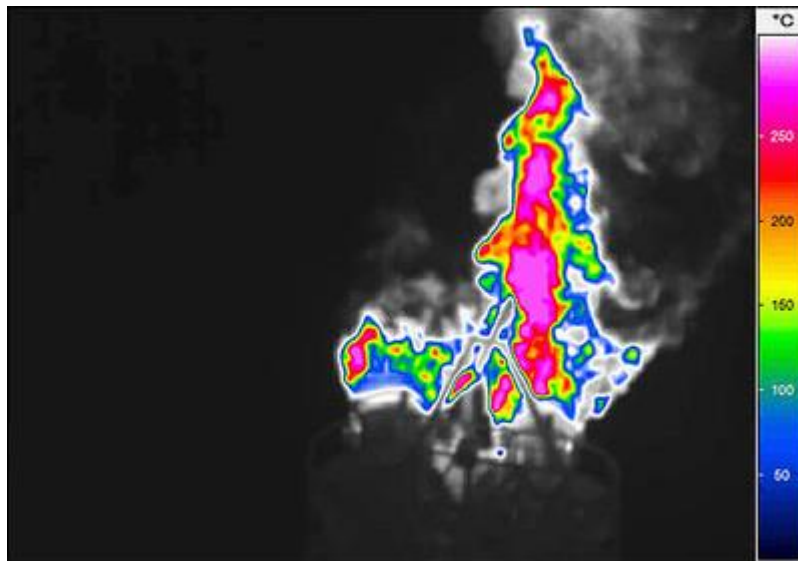
Zrakoplovna industrija postavlja najveće zahtjeve prema sustavima infracrvenih kamera zbog visoko postavljenih ciljeva i zahtjeva za sigurnosti i materijala. Često su potrebne visoke toplinske razlučivosti od 20 mK i/ili velika brzina kadra od 100 Hz i više. Zrakoplovne tvrtke mogu koristiti termografiju za ispitivanje aktivnih toplinskih tokova na novim kompozitnim materijalima kako bi osigurale da sljedeća generacija lakših zrakoplova s većim stupnjem iskoristivosti pri potrošnji goriva ostane sigurna kao i današnji modeli.



**Slika 8. Termografski snimak zrakoplova u letu [6]**

### c) Kemijska industrija

Industrije koje se bave opasnim i neopasnim kemijskim materijalima mogu imati koristi od infracrvenih kamera koje pomažu u otkrivanju toplinskog toka koji je rezultat kemijskih procesa. Toplinsko snimanje olakšava hvatanje i mjerenje distribucije temperature s većom točnošću, a također omogućuje analizu kemijskih reakcija kroz cijeli lanac procesa. Najbolje od svega, neinvazivna i beskontaktna priroda termovizijskog snimanja znači da se ljudi drže na sigurnoj udaljenosti, dok termovizijske kamere rade sve kako bi prikupile relevantne podatke.



Slika 9. Termografski snimak plinske baklje [6]

### d) Noćni vid – Night vision

Termalne kamere su super alat za noćni vid. Uočavaju toplinsku radijaciju i ne treba im izvor osvjetljenja.

Slika se stvara i u najvećem mraku te se može vidjeti kroz laganu maglu, kišu i dim.

Također se koriste kao sigurnosne kamere ili kao poboljšanje ili pomoć postojećem sigurnosnom sustavu. Termalne kamere se koriste za noćni vid i u zrakoplovima.



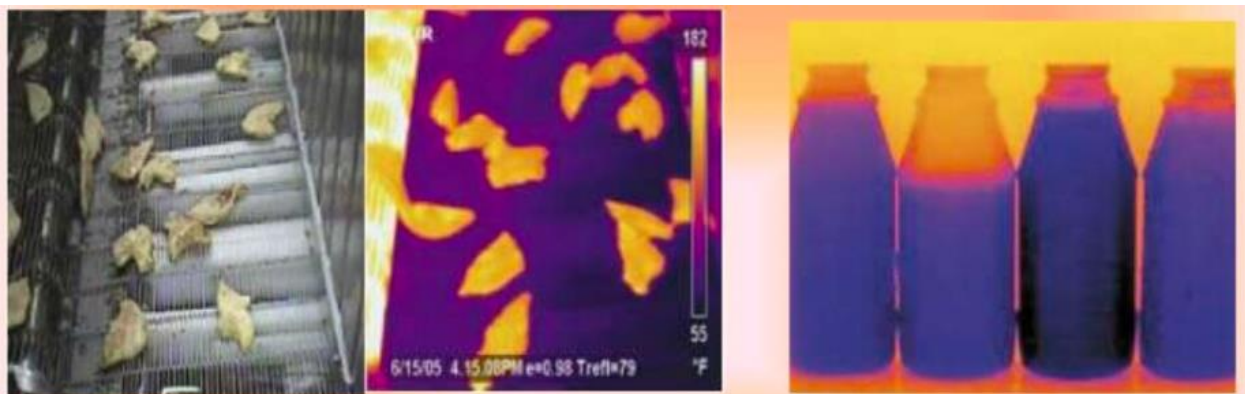


**Slika 10. Primjena termografije za noćni vid i u sigurnosti [6]**

### e) Poljoprivreda i hranidbena industrija

Neke od primjena u ovom tipu industrije su:

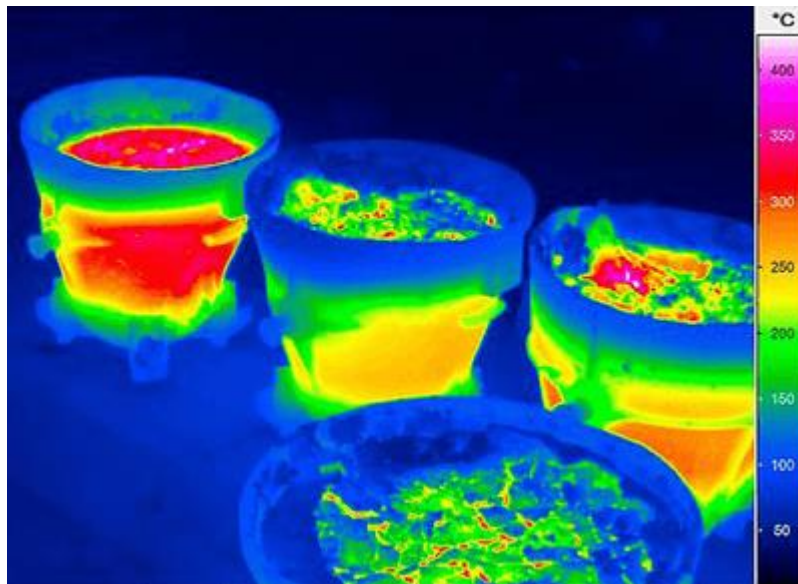
- predviđanje nedostatka vode u usjevima,
- planiranje raspreda navodnjavanja,
- uočavanje bolesti u biljkama,
- predviđanje uroda biljki,
- procjena zrelosti voća i povrća,
- uočavanja trulosti na voću i povrću,
- uočavanje stranih tijela u hrani i
- raspodjela temperature tijekom kuhanja.



**Slika 11. Nedovoljno pečena piletina i nedovoljna količina mlijeka u boci [5]**

### f) Metalurgija

Područje metalurgije u potpunosti ovisi o odgovarajućim materijalima zagrijanim na odgovarajuću temperaturu kako bi se osigurao pravilan ishod. U tom slučaju infracrvene kamere i termovizijske slike nude brojne prednosti. Prije svega, infracrvena termografija u metalurgiji može pomoći u smanjenju potrošnje energije otkrivanjem nedostataka u izolaciji grijaćih komora, pukotina u posudama ili problema sa sličnim uređajima. Brzina i preciznost toplinskog snimanja olakšavaju metalurgiji iskorištavanje infracrvenih kamera.



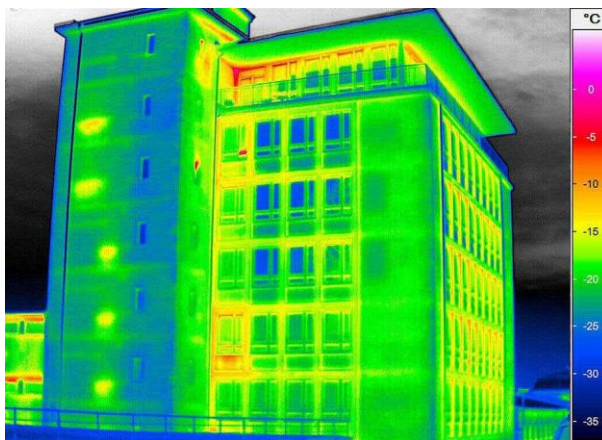
Slika 12. Primjena termografije u metalurgiji [6]

### g) Građevinarstvo

Termalne kamere u građevini pomažu u bržem otkrivanju izvora problema i uočavanju otpadne energije, vlage i problema u električnim instalacijama.

Nadziranje i održavanje električnih, mehaničkih i strukturnih sistema, otkrivanje problema kod istih te daljnjoj akciji za rješavanje istih, a sve to vodi i većoj radnoj sigurnosti.

Omogućuje lako i brzo skeniranje cijelih objekata za otkrivanje položaja ovojnice zgrade koja odvaja unutarnji i vanjski dio i pronalaska vlage u njoj nastale curenjem, kondenzacijom ili nekim drugim problem s vodom, te probleme u cjevovodima.



**Slika 13. Primjena termografije u građevini [8]**

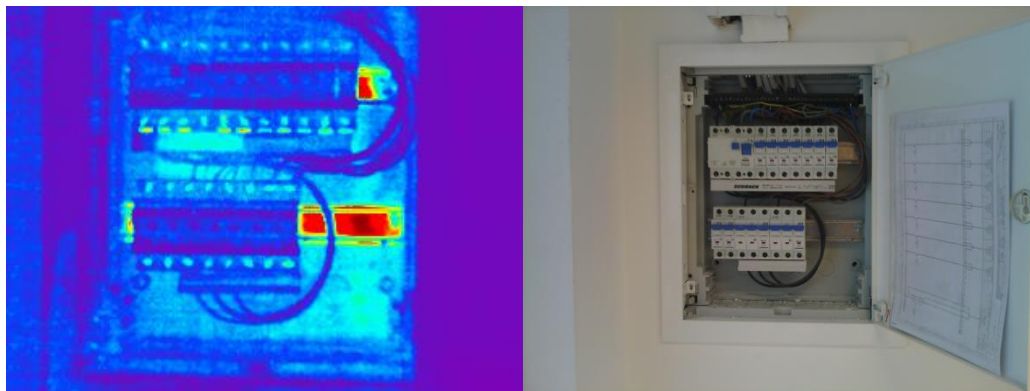
#### **h) Pomorska industrija**

Komercijalni brodovi sve više upotrebljavaju termalne kamere za preglede velikih strojeva, velikih električnih instalacija, prošireni elektronički sustavi koji se teško mogu pregledati vizualnom inspekcijom. Zaštita od požara važno je i relevantno pitanje stoga je stvar jasna. Prema Međunarodnoj konvenciji za sigurnost života na moru (SOLAS), najveća površinska temperatura strojeva, dijelova i komponenti u brodskoj strojarnici se ne smije dizati iznad 220 °C. Kako bi se izbjeglo paljenje i razvoj vatre, sve površine iznad 220 °C moraju biti izolirani ili na drugi način zaštićeni. Prednost termografije je u tome što ne ometa rad broda. Motori moraju raditi pri normalnom opterećenju i temperaturi kako bi stvorili dobre uvjete pregleda. Tri do četiri satno putovanje pri punoj brzini i u stanju punog opterećenja idealno je za dobivanje jasne slike brodskih električnih i pogonskih sustava.

Termografija pronalazi najveću pomorsku primjenu na teretnim brodovima. Tipične primjene termografije na teretnim brodovima nisu puno drugačiji od onih na kopnenim objektima. Najčešća primjena je pregled električnih sustava. Tipično električno istraživanje na brodu obuhvatilo bi takve stavke kao što su razvodne ploče, kontroleri motora, ploče prekidača i glavni spojevi razvodne kutije na motorima i generatorima.

Što se tiče istraživanja tereta, postoje li razlike u površinskim temperaturama, obučeni inspektor može tumačiti toplinske obrasce. To je od velike pomoći pri rješavanju problema s vlagom tereta. Kako vlaga migrira na površinu tereta, stvara se temperaturna razlika ili samo blago isparavanje vode, inspektor će uočiti toplinski uzorak. Pogoršanje u izolaciji može uzrokovati velike probleme brodovima hladnjačama kada operiraju u toplim područjima,

stanje izolacije hladnjaka ili freona i cjevovoda slane vode mogu se provjeriti pomoću termografije. Kada reklamacije nastaju zbog problema s temperaturom tereta tijekom istovara, termograf može biti od velike pomoći. Iz toplinskog uzorka od palete tereta unutar skladišta ili unutar hladnjača, termograf može locirati izvor problema.



**Slika 14. Termografska slika i realna slika osigurača**

## **2.7. NAČELO RADA TERMOVIZIJSKE KAMERE**

Termografska kamera i jedinica za obradu samog termograma poput osobnog računala čine termografski sustav. Termografska kamera se sastoji od:

- infracrvene optike,
- osjetnika ili senzora infracrvenog zračenja,
- pretvornika električnog u video signal,
- monitora i
- pohrane.

Kao što je rečeno termografija je postupak snimanja tijela koja zrače temperaturom većom od apsolutne nule ili 0K. Taj postupak se obavlja pomoću termovizijske kamere koja hvata, odnosno registrira, dozračenu energiju s tijela koje se snima i kao cilj ima odrediti temperaturu površine snimanog objekta ili tijela.

Na kameru pada dozračena energija i pritom prolazi kroz njezin optički sustav, te nakon izoštravanja pada na osjetnik infracrvenog zračenja koji tu istu energiju pretvara u električni signal. Električni signal se potom pojačava i obrađuje u pretvorniku električnog signala u video signal kao termogram i isti se prikazuje na zaslonu monitora. Termogram je snimak raspodjele temperature po površini snimanog tijela i ta se raspodjela prikazuje u

različitim tonovima boje. Postoji niz takvih snimaka koji se kao film pohranjuju u memoriju uređaja točnije kamere.

Kada se koristi termovizijska kamera za mjerenje temperature određenog tijela, koriste se različiti fotodetektori ili osjetnici u odnosu na to koliki se raspon temperature mjeri:

- za mjerenje u kratkom valnom području 1-3  $\mu\text{m}$
- za mjerenje u srednjem valnom području 3-7  $\mu\text{m}$  i
- za mjerenje u dugom valnom području 7-12  $\mu\text{m}$ .

Za zaštitu osjetnika od smetnji koje su uzrokovane zračenjem pojedinih dijelova termovizijske kamere, tijekom rada osjetnik se hladi na vrlo niske temperature. Kod starijih modela to se činilo tekućim dušikom ( $-196^{\circ}\text{C}$ ), dok se u suvremenim uređajima to radi malo drugačije. Osjetnik se hladi rashladnim uređajem koji se zasniva na Peltierovom efektu.

Peltierov efekt se nalazi u skupini termoelektričnih efekata, odražava kroz to da će spojišta dva materijala koja su spojena u zatvorenu petlju poprimiti različite temperature uz uvjet da kroz krug protječe električna struja. Jedno će se spojište ugrijati dok će se drugo ohladiti. Ovisno o smjeru struje jedno od spojišta će imati višu, a drugo nižu temperaturu. Dok o jakosti struje ovisi ravnotežna razlika temperatura.

### **3. OPĆENITO O TERMOOTPORNICIMA S OSVRTOM NA Pt – 100**

#### **3.1. TERMOOTPORNICI**

Pt-100 termootpornik je RTD senzor.

Kratica RTD dolazi od „Resistance Temperature Detector“. Dakle, radi se o temperaturnom senzoru u kojem otpor ovisi o temperaturi; pri promjeni temperature mijenja se otpor osjetnika. Mjerenjem otpora RTD osjetnika, RTD senzor se može koristiti za mjerenje temperature.

RTD senzori najčešće su izrađeni od platine, bakra, legura nikla ili različitih oksida metala. Pt-100 je jedan od najčešćih RTD senzora/sondi.

#### **3.2. TERMOOTPORNICI OD PLATINE**

Platina je najčešći materijal za RTD senzore. Platina ima pouzdan, ponovljiv i linearan odnos temperature i otpora. RTD senzori izrađeni od platine nazivaju se PRT (eng. Platinum Resistance Thermometer). Najčešći platinski PRT osjetnik koji se koristi u procesnoj industriji je Pt – 100 osjetnik. Broj „100“ u nazivu označava otpornost na 100 ohma pri temperaturi od 0 °C (273,14 K).

##### **3.2.1. Prednosti i nedostaci termootpornika i termoparova**

Termoparovi se također koriste kao senzori temperature u mnogim industrijskim primjenama. Neke od usporedbi:

##### **Termopar:**

- može se koristiti za mjerenje mnogo viših temperatura,
- vrlo robustan,
- jeftin,
- na vlastiti pogon, ne treba vanjsko uzbuđenje,
- ne baš točan i
- zahtijeva kompenzaciju hladnog spoja,

- produžne žice moraju biti od primjenjivog materijala za tip termopara i mora se obratiti pozornost na homogenost temperature na svim spojevima u mjernom krugu i
- nehomogenosti u žicama mogu uzrokovati neočekivane pogreške.

**PRT:**

- točniji su, linearni i stabilniji od termoparova,
- ne zahtijeva kompenzaciju hladnog spoja, poput termoparova,
- produžne žice mogu biti bakrene žice,
- skuplji od termoparova,
- trebate poznatu pobudnu struju prikladnu za tip senzora i
- krhkiji.

Ukratko, može se reći da su termoparovi prikladniji za primjene na visokim temperaturama, a PRT za aplikacije koje zahtijevaju bolju točnost.

### **3.3. MJERENJE TERMOOTPORNIKA**

Budući da se otpor RTD osjetnika mijenja pri promjeni temperature, prilično je jasno da pri mjerenju RTD osjetnika morate mjeriti otpor. Otpor možete izmjeriti u Ohmima, a zatim ga ručno pretvoriti u temperaturno mjerenje prema tablici pretvorbe (ili formuli) za tip RTD-a koji se koristi.

U današnje vrijeme najčešće koristite uređaj za mjerenje temperature ili kalibrator koji automatski pretvara izmjereni otpor u temperaturu koja se potom očitava, kada je u uređaju odabrana ispravna vrsta RTD-a (pod pretpostavkom da podržava korištenu vrstu RTD-a). Naravno, ako je u uređaju odabrana pogrešna vrsta RTD osjetnika, to će dovesti do netočnih rezultata mjerenja temperature.

Postoje različiti načini mjerenja otpora. Možete koristiti 2, 3 ili 4 žičane veze. Dvožična veza prikladna je samo za mjerenje vrlo niske točnosti (uglavnom stvara problem) jer će svaki otpor žice ili otpor spoja unijeti pogrešku u mjerenje. Svako uobičajeno mjerenje procesa treba obaviti pomoću 3 ili 4-žičnog mjerenja.

Na primjer, standard međunarodne elektrotehničke komisije (engl. International Electrotechnical Commission - IEC), IEC 60751 propisuje da se svaki senzor bolji od klase točnosti B mora mjeriti trožičnim ili četverožičnim mjerenjem.

Naravno, za neke termistore visoke impedancije, Pt-1000 senzore ili druge senzore visoke impedancije dodatna pogreška uzrokovana dvožičnim mjerenjima možda nije od velikog značaja.

### **3.3.1. Mjerna struja**

Kada uređaj mjeri otpor, šalje malu točno određenu struju kroz otpornik, a zatim mjeri pad napona koji nastaje na njemu. Zatim se otpor može izračunati dijeljenjem pada napona sa strujom prema Ohmovom zakonu.

### **3.3.2. Samozagrijavanje**

Kad mjerna struja prolazi kroz RTD senzor, također uzrokuje da se RTD osjetnik lagano zagrije. Ta se pojava naziva samozagrijavanjem. Što je veća mjerna struja i duže je uključeno, senzor će se više zagrijati. Također, struktura senzora i njegova toplinska otpornost na okolinu imat će veliki utjecaj na samozagrijavanje. Prilično je lako uočiti da će ovakvo samozagrijavanje u temperaturnom osjetniku uzrokovati malu pogrešku mjerenja.

Mjerna struja obično iznosi najviše 1 mA pri mjerenju senzora Pt-100, ali može biti i do 100  $\mu$ A ili čak niža. Prema standardima (poput IEC 60751), samozagrijavanje ne smije prelaziti 25% specifikacije tolerancije senzora.

## **3.4. RAZLIČITE MEHNIČKE STRUKTURE PRT OSJETNIKA**

PRT senzori općenito su vrlo osjetljivi instrumenti i nažalost, točnost senzora je gotovo bez iznimke obrnuto proporcionalna mehaničkoj robusnosti. Kako bi bio točan termometar, platinska žica unutar elementa trebala bi se moći sužavati i širiti s temperaturom što je slobodnije moguće kako bi se izbjeglo naprezanje i deformiranje. Nedostatak je što je ova vrsta senzora vrlo osjetljiva na mehaničke udarce i vibracije.



### **3.4.1. Standardni termootpornik od platine**

Standardni termootpornik od platine (engl. Standard Platinum Resistance Thermometer -SPRT) osjetnici su visoke točnosti instrumenti su za realizaciju međunarodne temperaturne ljestvice (engl. International Temperature Scale - ITS) ITS-90 između fiksnih točaka. Izrađeni su od vrlo čiste ( $\alpha = 3,926 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) platine, a nosač žice dizajniran je tako da žicu drži bez naprezanja što je više moguće. „Vodič za realizaciju ITS-90“ koji je objavio Međunarodni ured za mjere i utege (franc. Bureau International des Poids et Mesures - BIPM) definira kriterije koje SPRT senzor mora ispuniti. Drugi se senzori ne trebaju i ne smiju nazivati SPRT-ovima. Postoje senzori obloženi staklom, kvarcom i metalom za različite primjene. SPRT-ovi su iznimno osjetljivi na bilo koju vrstu ubrzanja, poput minimalnih udara i vibracija, što ograničava njihovu uporabu u laboratorijima pri mjerenjima s najvećom točnošću.

### **3.4.2. Djelomični standardni termootpornik od platine**

Djelomično podržani PRT kompromis su između performansi termometra i mehaničke robusnosti. Najtočniji među njima često se nazivaju sekundarni standardni ili sekundarni referentni senzori. Ti senzori mogu usvojiti neke strukture iz SPRT-a, a žica može biti ista ili vrlo blizu iste. Zbog određene žičane potpore, oni su manje krhki od SPRT-ova. Čak se mogu koristiti i za primjenu na terenu ako se njima pažljivo rukuje, a ipak nude izvrsnu stabilnost i nisku histerezu odnosno kašnjenje.

### **3.4.3. Industrijski termootpornici od platine**

Kad se poveća podrška točnije pojača nosač žice, povećava se mehanička robusnost, ali raste i naprezanje povezano s problemima zanošenja i histereze. Ti se senzori nazivaju industrijski termootpornici od platine (engl. industrial platinum resistance thermometer - IPRT). Potpuno podržani IPRT –ovi imaju još više žičane potpore i mehanički su vrlo robusniji. Žica je u potpunosti unutar kapsule od keramike ili stakla, što je čini vrlo neosjetljivom na vibracije i mehaničke udarce. Nedostatak je znatno lošija dugoročna stabilnost i velika histereza jer je osjetljiva platina vezana za podlogu koja ima različite karakteristike toplinskog širenja.

#### **3.4.4. Osjetnici s tankim filmom platine**

Film PRT –ovi posljednjih su se godina jako razvili i sada su dostupne puno bolje verzije od početnih starih. Dolaze u različitim oblicima za različite primjene.

Platinska folija se raspršuje na odabranu podlogu, otpor elementa se često laserski obrezuje na željenu vrijednost otpora i na kraju se zatvara u kapsulu radi zaštite. Za razliku od žičanih elemenata, tankoslojni elementi filma znatno su pogodniji za automatizaciju proizvodnog procesa što ih čini često jeftinijima od žičanih elemenata.

Prednosti i nedostaci tipično su isti kao kod potpuno žičanih elemenata, osim što filmski elementi često imaju vrlo nisku vremensku konstantu, što znači da vrlo brzo reagiraju na promjene temperature.

Kao što je ranije spomenuto, neki su proizvođači razvili tehnike koje bolje kombiniraju performanse i robusnost.

### **3.5. OSTALE VRSTE TERMOOTPORNIKA**

#### **3.5.1. Ostali termootpornici od platine**

Iako je Pt-100 najčešći platinasti RTD/PRT senzor, postoji nekoliko drugih, poput Pt-25, Pt-50, Pt-200, Pt-500 i Pt-1000.

Glavnu razliku između ovih senzora prilično je lako pogoditi, to je otpor pri 0 °C, koji se spominje u nazivu senzora. Na primjer, senzor Pt-1000 ima otpor od 1000 oma pri 0 °C. Koeficijent temperature također je važno znati jer utječe na otpor pri drugim temperaturama. Ako se radi o Pt-1000 (385), to znači da ima temperaturni koeficijent od 0,00385 °C.

#### **3.5.2. Termootpornici od drugih materijala**

Iako su platinski senzori najčešći RTD senzori, postoje i senzori izrađeni od drugih materijala, uključujući senzore od nikla, nikla-željeza i bakra. Uobičajeni senzori od nikla uključuju Ni-100 i Ni-120, osjetnik nikla i željeza Ni-Fe 604-ohm i bakreni osjetnik Cu-10. Svaki od ovih materijala ima svoje prednosti u određenim primjenama. Uobičajeni nedostaci ovih su prilično uski rasponi temperatura i osjetljivost na koroziju u usporedbi s plemenitim metalom platinom.

RTD senzori mogu se izrađivati i od drugih materijala poput zlata, srebra, volframa, rodij-željeza ili germanija. Ističu se u nekim primjenama, ali su vrlo rijetki u normalnim industrijskim operacijama.

Budući da otpor RTD osjetnika ovisi o temperaturi, u ovu bismo kategoriju mogli uključiti i sve generičke PTC (pozitivni temperaturni koeficijent) i NTC (negativni koeficijent temperature). Primjeri za to su termistori i poluvodiči koji se koriste za mjerenje temperature. NTC tipovi su osobito uobičajeni za mjerenje temperature.

### 3.6. Pt – 100 SENZOR

#### 3.6.1. Temperaturni koeficijent

Najčešći RTD senzor u procesnoj industriji je Pt-100 osjetnik, koji ima otpor od 100 oma pri 0 °C (273,14 K).

Uz istu logičku konvenciju imenovanja, senzor Pt-200 ima otpor od 200 oma, a Pt-1000 ima 1000 oma pri 0 °C (273,14 K).

Otpor osjetnika Pt-100 (i drugih Pt senzora) pri višim temperaturama ovisi o verziji senzora Pt-100, jer postoji nekoliko različitih verzija osjetnika Pt-100, koje imaju malo različite temperaturne koeficijente. Globalno, najčešća je verzija „385“. Ako se koeficijent ne spominje, obično je to 385.

Temperaturni koeficijent (označen grčkim simbolom Alpha =>  $\alpha$ ) osjetnika Pt-100 označen je kao razlika otpora pri 100 °C i 0 °C, podijeljena s otporom pri 0 °C pomnoženim sa 100 °C.

Formula je prilično jednostavna, ali zvuči pomalo komplicirano kada je napisana, pa pogledajmo to kao formulu [3]:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \cdot 100^{\circ}\text{C}} \quad [^{\circ}\text{C}^{-1}] \quad (13)$$

gdje je:

$\alpha$  – temperaturni koeficijent

$R_{100}$  – otpor pri 100 °C

R0 – otpor pri 0 °C

Za primjer se može izračunati koeficijent za Pt – 100 osjetnik.

Pt100 ima otpor od 100,00 oma na 0 °C i otpor od 138,51 ohma na 100 °C.

$$\alpha = \frac{138,51\Omega - 100\Omega}{100\Omega \cdot 100^{\circ}\text{C}} = 0,003851\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Dobivamo rezultat od 0,003851 /°C.

Ili kako se često piše: 3,851 x 10<sup>-3</sup> °C<sup>-1</sup>. Često se to naziva i zaokružuje kao „385“ Pt-100 senzor. Ovo je ujedno i temperaturni koeficijent naveden u standardu IEC 60751: 2008.

Koeficijent temperature senzorskog elementa uglavnom ovisi o čistoći platine koja se koristi za izradu žice. Što je platina više čistoće, alfa vrijednost je veća. Danas nije problem nabaviti vrlo čist platinski materijal. Da bi proizvodni senzori zadovoljili IEC 60751 krivulju temperature/otpora, čista platina mora biti dopirana odgovarajućim nečistoćama kako bi se vrijednost alfa spustila na 3,851 x 10<sup>-3</sup> °C<sup>-1</sup>.

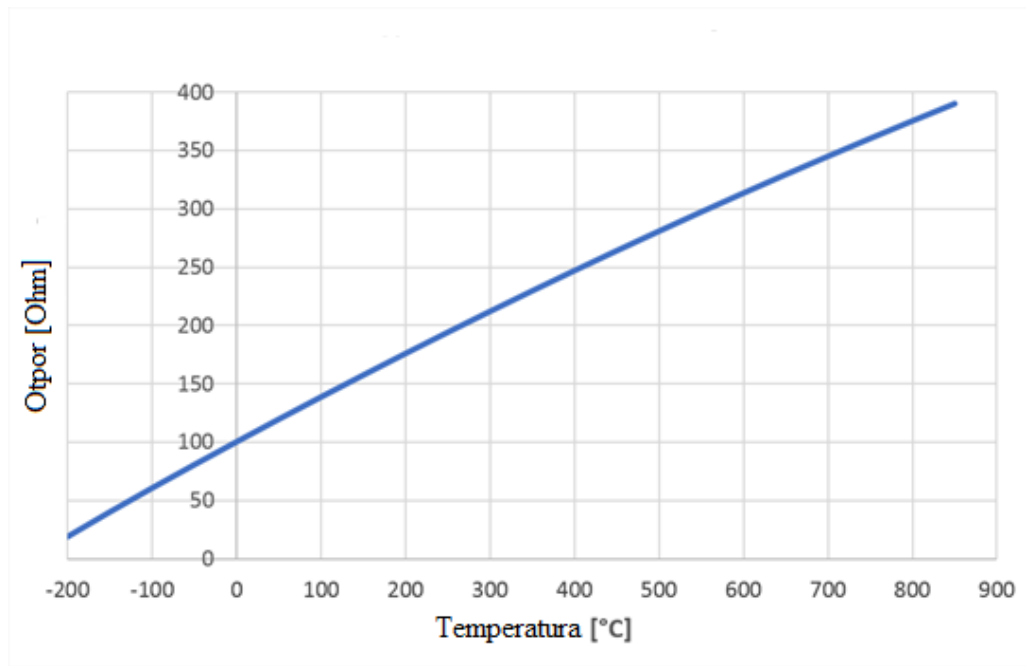
Alfa vrijednost pada od vremena kada su se točka smrzavanja (≈0 °C) i vrelište (≈100 °C) vode koristile kao referentne temperaturne točke, ali se još uvijek koriste za definiranje razreda platinske žice. Budući da je vrelište vode zapravo bolji visinomjer od referentne temperature, drugi način definiranja čistoće žice je omjer otpora pri točki galija (29,7646 °C), što je definirana fiksna točka na temperaturnoj skali ITS-90. Ovaj omjer otpora opisan je grčkim malim slovom ρ [3].

$$\rho = \frac{R(29.7646^{\circ}\text{C})}{R(0^{\circ}\text{C})} \quad (14)$$

Tipična vrijednost ρ za senzor „385“ je 1,115817, a za SPRT 1,11814. U praksi je alfa u mnogim slučajevima najprikladnija, ali se može koristiti i rho.

### 3.6.2. Pt-100 odnos temperature i otpora

Na donjoj slici možete vidjeti kako otpor osjetnika Pt100 (385) ovisi o temperaturi.



**Slika 15. Graf ovisnosti otpora o temperaturi [3]**

Kada se pogleda u graf može se uočiti da odnos između temperature i otpora nije savršeno linearan već blago zakrivljen.

Sljedeća tablica prikazuje njihov odnos u brojkama za par točaka.

**Tablica 1. Odnos otpora i temperature u brojkama [3]**

TEMPERATURA [°C]	TEMPERATURA [K]	OTPOR [Ω]
-200,00	73,14	18,5201
-100,00	173,14	60,2558
0,00	273,14	100,0000
100,00	373,14	138,5055
200,00	473,14	175,8560
300,00	573,14	212,0515
400,00	673,14	247,0920
500,00	773,14	280,9775
600,00	873,14	313,7080
700,00	973,14	345,2835

800,00	1073,14	375,7040
850,00	1123,14	390,4811

### 3.6.3. Standardizacija senzora Pt-100

Većina senzora je standardizirana, ali u svijetu postoje različiti standardi. To je također slučaj s Pt-100 sensorima. S vremenom je postavljeno nekoliko različitih standarda. U većini slučajeva postoji samo relativno mala razlika u temperaturnom koeficijentu. Neki od standarda postavljenih za kalibriranje Pt-100 senzora su:

- IEC 60751,
- DIN 43760,
- ASTM E 1137,
- JIS C1604-1989 alpha 3916, JIS C 1604-1997,
- SAMA RC21-4-1966,
- GOCT 6651-84, GOST 6651-94.

### 3.6.4. Usklađenost mjernog uređaja i Pt-100 senzora

Dobra stvar kod standardnih sonde Pt-100 je da svaki senzor treba ispuniti specifikacije, a vi ga jednostavno priključite u svoj mjerni uređaj (ili kalibrator) i on će mjeriti vlastitu temperaturu točno onoliko koliko specifikacije (senzor + mjerni uređaj) definiraju. Također, senzori u procesu trebaju biti zamjenjivi bez kalibracije, barem za manje kritična mjerenja. Ipak, bi bila dobra praksa provjeriti senzor na poznatoj temperaturi prije uporabe.

U svakom slučaju, budući da različiti standardi imaju malo drugačije specifikacije za senzor Pt-100, važno je da se uređaj koji se koristi za mjerenje senzora Pt-100 podržava ispravan senzor (temperaturni koeficijent). Na primjer, ako vaš mjerni uređaj podržava samo Alpha 385, a koristite senzor s Alpha 391, doći će do neke pogreške u mjerenju. Postavlja se pitanje je li greška značajna. U ovom slučaju, 385 u odnosu na 391, pogreška bi bila otprilike 1,5 °C na 100 °C. Dakle, značajno utječe. Naravno, što je razlika između temperaturnih koeficijenata manja, greška će biti manja.

Stoga je vrlo važno provjeriti podržava li RTD mjerni uređaj Pt-100 sondu koja se koristi. Najčešće, ako Pt-100 nema naznaku temperaturnog koeficijenta, to je senzor 385.

### 3.7. RAZREDI TOČNOSTI Pt-100 OSJETNIKA

Senzori Pt-100 dostupni su u različitim klasama točnosti. Najčešće klase točnosti su AA, A, B i C koje su definirane standardom IEC 60751. Standardi definiraju neku vrstu idealnog Pt-100 senzora na koji proizvođači trebaju ciljati. Da je moguće izgraditi idealan senzor, klase tolerancije bile bi nevažne.

Budući da se senzori Pt-100 ne mogu podesiti da kompenziraju pogreške, treba se kupiti senzor odgovarajuće točnosti za određenu primjenu. Mada se pogreške senzora mogu se ispraviti u nekim mjernim uređajima s određenim koeficijentima.

Točnosti različitih klasa točnosti (prema IEC 60751: 2008):

- **AA** -  $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C} + 0,17 \%$  od temperature
- **A** -  $\pm 0,15 \text{ }^\circ\text{C} + 0,2 \%$
- **B** -  $\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C} + 0,5 \%$
- **C** -  $\pm 0,6 \text{ }^\circ\text{C} + 1 \%$

Kada se priča o standardima postoje i tzv. 1/3 DIN i 1/10 DIN Pt-100 klase točnosti. To su bile standardizirane klase u, na primjer, DIN 43760: 1980-10 koji je povučen 1987. Godine, ali nisu definirane u kasnijem standardu IEC 60751 ili njemu sličnom iz njemačkog jezika DIN EN 60751.

Tolerancija ovih senzora temelji se na točnosti osjetnika klase B, ali je fiksni dio pogreške ( $0,3^\circ\text{C}$ ) podijeljen zadanim brojem (3 ili 10). Međutim, pojmovi su postavljena fraza kada govorimo o Pt-100 i koriste se često. Klase točnosti ovih senzora su sljedeće:

- **1/3 DIN**  $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C} + 0,5 \%$
- **1/10 DIN**  $\pm 0,03 \text{ }^\circ\text{C} + 0,5 \%$

I naravno, proizvođač senzora može proizvesti senzore s vlastitim prilagođenim razredima točnosti. Standardni odjeljak 5.1.4 standarda IEC 60751 definira način na koji se te posebne tolerancijske klase trebaju izraziti.

U sljedećoj tablici su izračunate tolerancije u  $^\circ\text{C}$ .

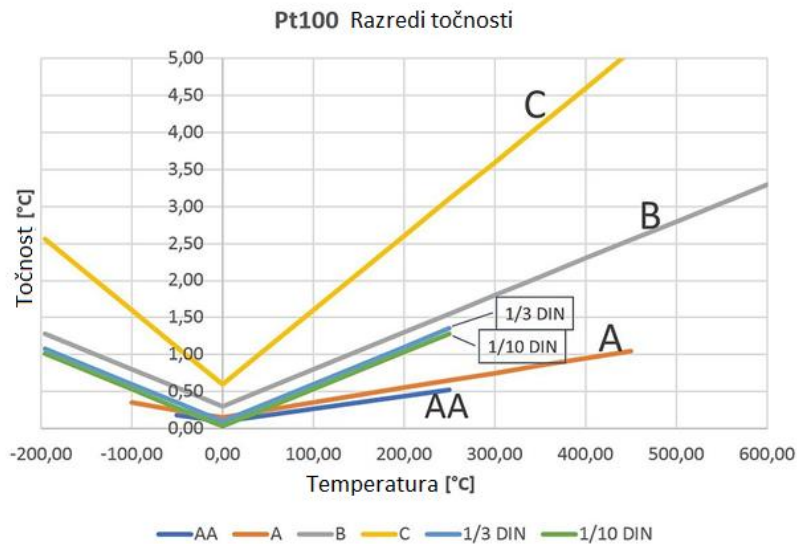
**Tablica 2. Razredi točnosti [3]**

TEMPERATURA [°C]	AA	A	B	C	1/3 DIN	1/10 DIN
-196			1,28	2,56	1,08	1,,01
-100		0,35	0,8	1,6	0,6	0,53
-50	0,19	0,25	0,55	1,1	0,35	0,28
0	0,1	0,15	0,3	0,6	0,1	0,03
100	0,27	0,35	0,8	1,6	0,6	0,53
200	0,44	0,55	1,3	2,6	1,1	1,03
250	0,53	0,65	1,55	3,1	1,35	1,28
300		0,75	1,8	3,6		
350		0,85	2,05	4,1		
400		0,95	2,3	4,6		
450		1,05	2,55	5,1		
500			2,8	5,6		
600			3,3	6,6		

Jedna je značajna stvar u ovoj tablici da čak iako „1/10 DIN“ zvuči atraktivno s niskim tolerancijama od 0,03 ° C pri 0 ° C, zapravo je bolje od klase A samo u uskom rasponu od -40 do +40 ° C.

Donja slika prikazuje razliku između ovih klasa točnosti.





Slika 16. Graf prikaza razreda točnosti [3]

### 3.8. KOEFICIJENTI

Razredi točnosti obično se koriste u industrijskim RTD sensorima, ali što se tiče najtočnijih referentnih senzora PRT (SPRT, sekundarni standardi, ...) te klase točnosti više ne vrijede. Ti su senzori za tu svrhu napravljeni što je moguće bolje termometrom, a ne odgovaraju bilo kojoj standardiziranoj krivulji. To su vrlo precizni senzori s vrlo dobrom dugoročnom stabilnošću i vrlo niskom histerezom, ali ti su senzori pojedinci, pa svaki senzor ima malo drugačiji odnos temperature/otpora.

Ti se senzori ne smiju koristiti bez korištenja pojedinačnih koeficijenata za svaki senzor. Možete čak pronaći opće koeficijente Callendar-van Dusen ( $CvD -a$ ) za SPRT -ove, ali to će pokvariti njegove performanse. Ako samo priključite sekundarni PRT osjetnik od 100 ohma u uređaj koji mjeri standardni Pt-100 senzor, možda ćete dobiti rezultat koji je nekoliko stupnjeva ili možda čak deset stupnjeva netočan. U nekim slučajevima to nije nužno važno, ali u drugim slučajevima to može biti ogromna razlika.

Kao što je već spomenuto, RTD senzori se ne mogu „prilagoditi“ za pravilno mjerenje. Dakle, ispravak je potrebno izvršiti u uređaju (npr. kalibrator temperature) koji se koristi za mjerenje RTD senzora.

Kako bi se saznali koeficijenti, senzor treba najprije vrlo točno kalibrirati. Zatim se iz rezultata kalibracije koeficijent za željenu jednadžbu može se napisati tako da predstavlja karakteristični odnos otpora/temperature senzora. Korištenje koeficijenata ispravit će mjerenje senzora i učinit će ga vrlo preciznim. Postoji nekoliko različitih jednadžbi i koeficijenata za izračunavanje otpornosti senzora na temperaturu. Navedeni su koeficijenti vjerojatno najrašireniji.

### **3.8.1. Callendar-van Dusen**

Krajem 19. Stoljeća Callendar je uveo jednostavnu kvadratnu jednadžbu koja opisuje ponašanje otpora/temperature platine. Kasnije je van Dusen otkrio da je potreban dodatni koeficijent ispod nule. Poznata je kao Callendar-van Dusenova jednadžba, CvD.

Za alfa 385 senzore često je otprilike jednako dobar kao ITS-90, pogotovo kada temperaturni raspon nije jako širok. Ako vaš certifikat navodi koeficijente  $R_0$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , oni su koeficijenti za IEC 60751 standardni oblik CvD jednadžbe. Koeficijent  $C$  koristi se samo ispod  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pa može postojati ako senzor nije kalibriran ispod  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Koeficijenti također mogu biti  $R_0$ ,  $\alpha$ ,  $\delta$  i  $\beta$ . Odgovaraju povijesno korištenom obliku CvD jednadžbe koja se još uvijek koristi. Bez obzira što su u biti ista jednadžba, njihov pisani oblik i koeficijenti su različiti.

### **3.8.2. Međunarodna temperaturna ljestvica**

ITS-90 je temperaturna ljestvica, a ne standard. Callendar-van Dusenova jednadžba bila je osnova prethodnih ljestvica 1927., 1948. i 1968. godine, ali je ITS-90 donio značajno drugačiju matematiku.

Funkcije ITS-90 moraju se koristiti pri ostvarivanju temperaturne ljestvice pomoću SRPT-a, ali i mnogi niži alfa PRT-i imaju koristi od toga u usporedbi s CvD-om, posebno kada je temperaturni raspon širok (stotine stupnjeva).

Ako vaš certifikat navodi koeficijente poput otpora pri trojnoj točki vode (engl. Resistance at the Triple Point of Water - RTPW) ili  $R(0,01)$ ,  $a_4$ ,  $b_4$ ,  $a_7$ ,  $b_7$ ,  $c_7$ , oni su koeficijenti za funkcije odstupanja od ITS-90.

Dokument ITS-90 ne označava numeričke oznake za koeficijente ili podraspone. Oni su predstavljeni u nacionalnom institutu za standard i tehnologiju SAD-a (engl. National Institute of Standard and Technology – NIST) tehničkoj bilješci 1265 „Smjernice za

ostvarivanje međunarodne temperaturne ljestvice 1990“ i široko prihvaćeni za uporabu. Broj koeficijenata može varirati, a podrasponi su numerirani od 1 do 11.

- RTPW, R (0,01 °C) ili R (273,16 K) je otpor senzora u trostrukoj točki vode 0,01 °C
- $a_4$  i  $b_4$  su koeficijenti ispod nule, mogu biti i  $a_{bz}$  i  $b_{bz}$  što znači „ispod nule“ ili samo a i b,
- $a_7$ ,  $b_7$ ,  $c_7$  su koeficijenti iznad nule, mogu biti i  $a_{az}$ ,  $b_{az}$  i  $c_{az}$  što znači „iznad nule“, ili samo a, b i c.

### 3.8.3. Steinhart-Hart-ova jednadžba

U slučaju da je vaš senzor termistor, u certifikatu možete imati koeficijente za Steinhart-Hartovu jednadžbu. Jednadžba se često koristi za izvođenje točne temperature termistora, jer daje bližu procjenu stvarne temperature od jednostavnijih jednadžbi, a korisna je u cijelom rasponu radnih temperatura senzora. Termistori su vrlo nelinearni, a jednadžba je logaritamska. Steinhart-Hart jednadžba uvelike je zamijenila raniju Beta-jednadžbu. Obično su koeficijenti A, B i C, ali mogu postojati i koeficijenti D ili drugi, ovisno o varijanti jednadžbe. Koeficijente obično objavljuju proizvođači, ali se mogu i ugraditi [3].

$$\frac{1}{T} = A + B \ln R + C(\ln R)^3 \quad (15)$$

gdje su:

T – temperatura [K]

A, B, C – koeficijenti jednadžbe koji ovise o vrsti i modelu osjetnika koji se koristi

R – otpor pri temperaturi T [Ω].

### 3.8.4. Podešavanje senzora

Kad se senzor Pt-100 pošalje u laboratorij radi kalibracije i ugradnje, točke kalibracije moraju biti pravilno odabrane. Uvijek je potrebna točka od 0 °C ili 0,01 °C. Sama vrijednost je potrebna za uklapanje, ali obično se ledena točka (0 °C) ili trostruka točka vodene ćelije (0,01 °C) također koristi za praćenje stabilnosti senzora i mjeri se nekoliko puta tijekom kalibracije.

Minimalni broj točaka kalibracije jednak je broju koeficijenata koje treba ugraditi. Na primjer, za uklapanje ITS-90 koeficijenata  $a_4$  i  $b_4$  ispod nule, potrebne su najmanje dvije poznate negativne kalibracijske točke za rješavanje dva nepoznata koeficijenta. Ako je ponašanje senzora dobro poznato u laboratoriju, u ovom bi slučaju mogle biti dovoljne dvije točke. Ipak, dobra je praksa mjeriti više točaka nego što je apsolutno potrebno, jer ne postoji drugi način na koji certifikat može reći kako se senzor ponaša između točaka kalibracije.

Na primjer, CvD podešavanje za široki raspon temperatura može izgledati prilično dobro ako imate samo dvije ili tri kalibracijske točke iznad nule, ali može postojati sustavna zaostala pogreška od nekoliko stotinskih dijelova stupnja između kalibracijskih točaka koje se neće vidjeti uopće. Ovo također objašnjava zašto se mogu pronaći različite kalibracijske nesigurnosti za ugradnju CvD i ITS-90 za isti senzor i potpuno iste kalibracijske točke. Nesigurnosti mjernih točaka se ne razlikuju, ali se zaostale pogreške različitih okova obično dodaju ukupnoj nesigurnosti.

## 4. TEHNIČKI OPIS MJERENIH UZORAKA


### 4.1. TEHNIČKI OPIS UZORKA BROJ 1 – ANTIFRIZ

Antifriz služi za snižavanje točke ledišta rashladne tekućine uređaja kori rade pri niskim temperaturama. Antifriz se usuo u inox posudu volmena 0,001 m<sup>3</sup>. Uzorak koji se koristio je proizvod tvrtke INA naziva INA ANTIFRIZ SUPER.

Osnovne karakteristike uzorka su:

- gustoća pri 20 °C, g/cm<sup>3</sup> 1,114,
- tečište, °C -36 (1:1),
- vrelište, °C 164 ,
- boja bistro do žuta.

Sigurnosno tehnički list mjernog uzorka:

 ČLAN INA GRUPE	<b>SIGURNOSNO – TEHNIČKI LIST</b> sukladan Uredbi (EZ) br. 1907/2006	Datum izrade: 12.08.2016. 6. izdanje
	<b>INA Antifriz Super</b>	Stranica 1 od 11

**ODJELJAK 1. IDENTIFIKACIJA TVARI/SMJESE I PODACI O TVRTKI / PODUZEĆU**
**1.1. Identifikacija proizvoda**

- Naziv proizvoda: **INA Antifriz Super**
- Kemijski naziv proizvoda: -
- Broj registracije: -
- Šifra proizvoda: -

**1.2. Odgovarajuće identificirane namjene tvari ili smjese i namjene koje se ne preporučuju**

- Upotreba proizvoda: Sredstvo koje pomiješano s vodom služi za hlađenje motora.
- Upotrebe koje se ne preporučuju: Drugi načini upotrebe se ne preporučuju osim ako je prethodno izvršeno testiranje kojim je dokazano da je provedena kontrola rizika.

**1.3. Podaci o dobavljaču koji isporučuje sigurnosno-tehnički list**

- Proizvođač/ ČLAN INA GRUPE
- uvoznik/ distributer: -/-
- Adresa: Radnička cesta 175  
10000 Zagreb
- Tel. 00-385-1-24-12-200
- Faks 00-385-1-24-12-250
- e-mail: [biserka.sagovaclazar@ina.hr](mailto:biserka.sagovaclazar@ina.hr)
- Odgovorna osoba za STL: Voditelj poslova ekologije proizvoda


**1.4. Telefon za izvanredna stanja**


- Broj telefona službe za izvanredna stanja: **112**
- Broj telefona za medicinske informacije: **00-385-1-23-48-342**

**ODJELJAK 2. IDENTIFIKACIJA OPASNOSTI**

<b>2.1.</b>	<b>Razvrstavanje tvari ili smjese</b>	
2.1.1.	Razvrstavanje prema uredbi (EZ-a) br. 1272/2008 (CLP)	
	Razred (klasa) opasnosti i kod kategorije:	Oznaka upozorenja*:
	Ak. toks. 4 (oralno) TCOP 2	H302 H373
2.1.2.	Dodatne obavijesti	
*Puni tekst H i EUH oznaka dan je u Odjeljku 16.		
<b>2.2.</b>	<b>Elementi označavanja prema uredbi (EZ-a) br. 1272/2008 (CLP)</b>	
	Identifikacija proizvoda:	<b>INA Antifriz Super</b>
	Indeksni broj:	Nema podataka.
	Broj autorizacije:	Nema podataka.

Slika 17. Sigurnosno tehnički list za INA antifriz Super odjeljak 1. i 2.

	<b>SIGURNOSNO – TEHNIČKI LIST</b> sukladan Uredbi (EZ) br. 1907/2006	Datum izrade : 12.08.2016. 6. izdanje
	<b>INA Antifriz Super</b>	Stranica 2 od 11

Piktogrami:				
Oznaka opasnosti:	Upozorenje			
Oznake upozorenja:	H302 – Štetno ako se proguta. H373 – Može uzrokovati oštećenje organa (bubrega) tijekom produljene ili ponavljane izloženosti.			
Oznake obavijesti:	P102 Čuvati izvan dohvata djece P260 Ne udisati prašinu/dim /maglu/pare. P270 Pri rukovanju proizvodom ne jesti, piti niti pušiti. P264 Nakon uporabe temeljito oprati s vodom i sapunom. P301 + P310 AKO SE PROGUTA: odmah nazvati CENTAR ZA KONTROLU OTROVANJA ili liječnika. P330 Isprati usta. P501 Odložiti sadržaj/spremnik u skladu s nacionalnim propisima.			
2.3. Ostale opasnosti	Nema podataka.			
ODJELJAK 3. SASTAV/INFORMACIJE O SASTOJCIMA				
Tvar:		Smjesa:	X	
- Sastojci koji pridonose opasnosti proizvoda:				
Naziv tvari	%	EC/ CAS broj	Razvrstavanje prema Uredbi (EC) br. 1272/2008 (CLP/GHS)	Broj registracije (REACH)
Etilen-glikol	60 - 98	203-473-3 / 107-21-1	Ak. toks. 4 (oralno) H302 TCOP 2 H373	01- 2119456816- 28-xxxx
Natrijev 2- etilheksanoat	<3	243-283-8/ 19766-89-3	Repr. 2 H361d	-

Slika 18. Sigurnosno tehnički list za INA antifriz Super odjeljak 3.

#### 4.2. TEHNIČKI OPIS UZORKA BROJ 2 – PUMPA VODE

RT 674 proizvođača GUNT pokusna je jedinica za kontrolu protoka / razine vode.

Eksperimentalna jedinica pruža sveobuhvatan eksperimentalni uvod u osnove inženjeringa upravljanja primjerom kombiniranog upravljanja protokom i razinom. Razina i brzina protoka mogu se kontrolirati pojedinačno i kaskadno.

Jedan od sastavnih dijelova jedinice je i pumpa vode koja je prikazana na idućoj slici.



**Slika 19. Pumpa vode**

Opis pumpe:

- primjena - cirkulacija pitke vode,
- cirkulacijske pumpe serije BUPA (N) su cirkulacijske jedinice s mokrim rotorom namijenjene za uporabu u sustavima pitke vode s konstantnim ili niskim promjenjivim protokom,
- materijali
  - kućište pumpe - nehrđajući čelik
  - impeler - termoplastika
  - vratilo – keramičko
  - ležaj – keramički
  - ležajna ploča - nehrđajući čelik,
- konfiguracija - ručno pokretanje, tri kontrole brzine,
- raspon radnih karakteristika do 4.0m<sup>3</sup>/h  
do 6 m vertikalno,
- temperatura maksimalna temperatura okoline +40 ° C  
maksimalna temp. tekućine +110 ° C.



- veličina                                      navojni spojevi veličine 1 ", 1 1/4" i 1 1/2 "  
instalacijske duljine 130 mm, 150 mm i 180 mm.

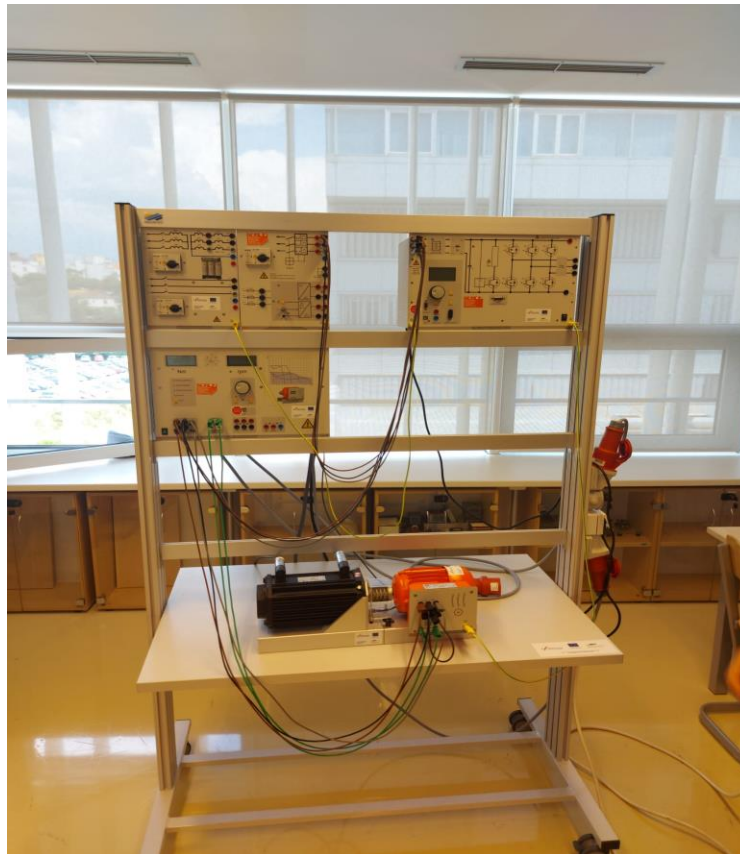
### 4.3. TEHNIČKI OPIS UZORKA BROJ 3 – SERVO MOTOR

Testna ploča servo-stroja potpuni je sustav za ispitivanje električnih strojeva i pogona. Sastoji se od digitalnog kontrolera, kočnice i softvera ActiveServo. ActiveServo je program za snimanje karakteristika strojeva i za određivanje dinamičkih i statičkih radnih točaka. Oponaša par različitih opterećenja (zamašnjak, crpka, ventilator, pogon za podizanje, kompresor, zupčanik s namotom, proizvoljno podesivo opterećenje ovisno o vremenu) za koje se parametri mogu individualno konfigurirati.

Kablovi motora i senzora spojeni su utičnicama sigurnim za polaritet. Stroj ima toplinski nadzor i zajedno s regulatorom čini sustav vožnje i kočenja koji nema zanošenja i ne zahtijeva kalibraciju.

Karakteristike servo motora:

- maksimalna brzina:                      4000 o / min,
- najveći okretni moment:              30 Nm,
- razlučivost:                              65536 impulsa/okretaj,
- dimenzije:                                 275 x 210 x 210 mm (ŠxVxD),
- težina:                                      9 kg.



**Slika 20. Testna ploča servo-motora**

## 5. TEHNIČKI OPIS MJERNIH INSTRUMENATA

### 5.1. TERMOVIZIJSKA KAMERA

Toplinske kamere su ručni elektronički uređaji s integriranim vizualnim zaslonom, dizajnirani za uočavanje toplinske energije. Termovizijska kamera korištena u radu je proizvođača Testo oznake Testo 890 sa sljedećim podacima:

Stanje okoline:

- radna temperatura -15 do +50 °C,
- temperatura skladištenja -30 do +60 °C,
- vlažnost zraka 20 do 80 % relativna vlažnost bez kondenzacije,
- klasa zaštite stanovanja IP54,
- vibracija 2G.

Vizualni izlaz slike:

- veličina slike 3,1 MP,
- minimalna udaljenost fokusa 0,5 m.

Prezentacija slike:

- vrsta prikaza 4,3 -inčni LCD zaslon osjetljiv na dodir s 480 x 272 px,
- digitalni zoom 1-; Trostruko,
- opcija prikaza IC slika / prava slika,
- boje 9 (željezo, duga, dugina HC, hladno vruće, plavo-crveno, sivo, obrnuto sivo, sepija, Testo),
- video izlaz USB 2.0, mikro HDMI.

Infracrveni izlaz slike:

- spektralni raspon 7,5 do 14  $\mu\text{m}$ ,
- infracrvena rezolucija 640 x 480 px,
- toplinska osjetljivost < 40 mK na +30 °C,
- vidno polje 42° x 32° (standardni objektiv),  
25° x 19° (objektiv 25°),  
15° x 11°(telefoto objektiv), 6,6° x 5° (Supertele)
- minimalna udaljenost fokusa 0,1 m (standardni objektiv),

- 0,2 m (25° objektiv),  
0,5 m (telefoto objektiv), 2 m (Supertele),
- gometrijska rezolucija (IFOV) 1,13 mrad (standardni objektiv),  
0,68 mrad (objektiv 25°),  
0,42 (telefoto objektiv), 0,18 (Supertele),
- super Resolution (piksel) 1280 x 960 piksela,
- super Resolution (IFOV) 0,71 mrad (standardni objektiv),  
0,43 mrad (objektiv 25 °),  
0,26 mrad (telefoto objektiv) ,  
0,11 mrad (Supertele),
- brzina osvježavanja slike 33 Hz,
- usredotočenost auto / ručno.

#### Mjerenje:

- mjerni raspon -30 do +100 °C; 0 do +350 °C (uključeno); 0 do +650 °C (promjenjivo),
- mjerenje visoke temperature +350 do +1200 °C (nije povezano s telefoto objektivom),
- točnost  $\pm 2$  °C,  $\pm 2$  % m.v.,
- emisivnost 0,01; 1,
- reflektirana temperatura priručnik,
- ispravak prijenosa Uključeno,
- točnost visoke temperature  $\pm 2$  °C,  $\pm 2$  % m.v.

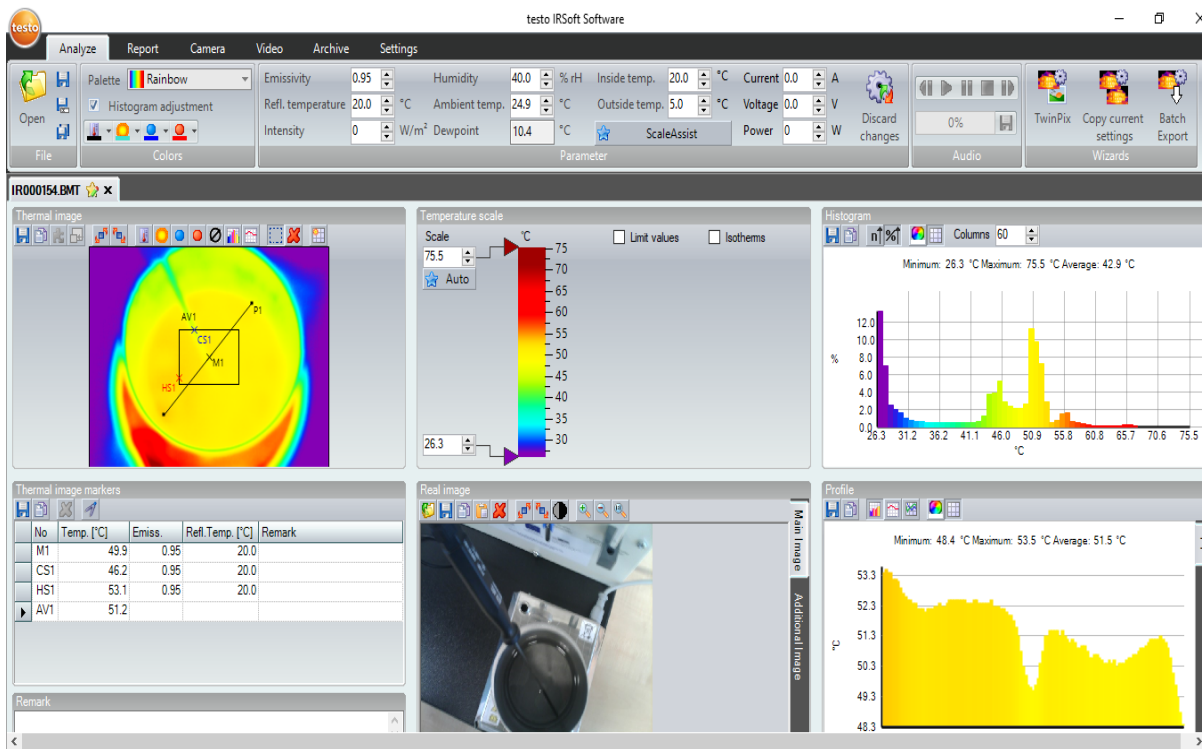
#### Fizičke specifikacije:

- dimenzije 253 x 132 x 111 mm,
- težina 1630 g,
- montaža na stativ 1/4 " - 20UNC,
- materijal proizvoda/kućišta ABS,
- težina (bez pakiranja) 1,630 g.

### **5.1.1. Program za analizu termografskih snimki**

Računalni program za obradu i analizu termografskih snimku korišten za potrebe rada je Testo IRsoft. IRSoft-računalni softver visokih performansi za profesionalnu termografsku analiza proizvođača Testo. IRSoft omogućuje opsežnu analizu termografskih snimki na računalu. Ističe se svojom jasnom strukturom i visokom lakoćom upotrebe. Sve funkcije analize objašnjene su lako razumljivim simbolima. Takozvani savjeti za alate dodatno daju objašnjenja svake funkcije prelaskom miša. Ova pomoć pojednostavljuje obradu slike i omogućuje intuitivni rad.

Opsežne funkcije dostupne su za profesionalnu analizu snimke. Na primjer, različita emisivnost različitih materijala za određena područja na snimci može biti naknadno ispravljena, sve do pojedinačnih piksela. Također postoji funkcija histograma koja prikazuje raspodjelu temperature na različitim područjima snimke. Za analizu se može koristiti do pet linija profila temperaturne krivulje. Kako bi se vizualizirale kritične temperature na slici, granične vrijednosti istih, kao i pikseli u određenim temperaturnim rasponima se mogu naglasiti. Osim ovoga, mogu se postaviti neograničene mjerne točke, vruće/hladne točke, prosječne temperature, birati palete boja i dati komentari na analizu. Grafičko korisničko sučelje programa je vidljivo na slici 22.



**Slika 21. Grafičko korisničko sučelje programa Testo IRsoft**

U gornjoj traci grafičkog korisničkog sučelja za potrebe analize termografskog snimka moguće je izabrati paletu boja, mijenjati parametre objekta i okoline ukoliko je potrebno. U trećem dijelu gornje trake imamo alate za preklapanje termografskog snimka sa realnom slikom te alat za kopiranje postavki na sve termografske snimke. Prikaz gornje trake grafičkog korisničkog sučelja se nalazi na slici 23 i to prvi i treći dio dok se drugi dio gornje trake sučelja nalazi ispod njih.



**Slika 22. Gornja traka grafičkog korisničkog sučelja**

U drugom dijelu sučelja na lijevoj strani, koje se može vidjeti na slici 22, se nalazi termografski snimak, a u srednjem dijelu realni snimak i temperaturna skala te u desnom dijelu područje za histogram i područje za temperaturni profil.

Iznad termografskog snimka se nalazi izbornik. Osnovne stavke izbornika su:

- HS - vruća točka (eng. hot spot),
- CS – hladna točka (eng. cold spot) ,
- AV – prosječna temperatura (eng. average),
- M – mjerna točka (eng. metered spot),
- histogram i
- temperaturni profil.

Sve prethodno navedene stavke mogu se prikazati za različita područja i to:

- za područje cijelog snimka ili
- za odabrano područje.

## **5.2. WL 202 TESTNA PLOČA ZA MJERENJE TEMPERATURE**

Mjerenje temperature jedan je od osnovnih zadataka u mjeriteljstvu. Električni temperaturni senzori najčešće se koriste u automatizaciji, ali se konvencionalni termometri još

uvijek široko primjenjuju u mnogim područjima. Eksperimentalni uređaj WL 202 pokriva cijeli raspon metoda mjerenja temperature.

Za kalibraciju električnih mjernih uređaja koristi se digitalni multimeter s preciznim otpornicima. Razni izvori topline ili skladišne jedinice (uronjeni grijač, vakuumska tikvica i laboratorijski grijač) omogućuju postizanje relevantnih temperaturnih raspona za senzore koji se testiraju. U kutiji za alate nalaze se senzori, kabeli, trake za mjerenje temperature i uronjeni grijač.

#### Utopljeni grijač

- izlazna snaga 300 W,
- podešavanje napajanja putem utičnice s regulacijom snage.

#### Laboratorijski grijač s termostatom

- izlazna snaga 450 W,
- maks. temperatura 425 °C.

#### Vakuumska tikvica:

- 1L.

#### Mjerni rasponi

- otpornik temperature detektor Pt100: 0 do 100 °C,
- termoelement tip K 0 do 1000 °C,
- termistor (NTC) 20 do 55 °C,
- termometar za tekućinu -10 do 250 °C,
- bimetalni, termometar za tlak plina 0 do 200 °C,
- trake za mjerenje temperature 29 do 290 °C.

#### Precizni otpornici:

- 10 Ω, 100 Ω, 1000 Ω.

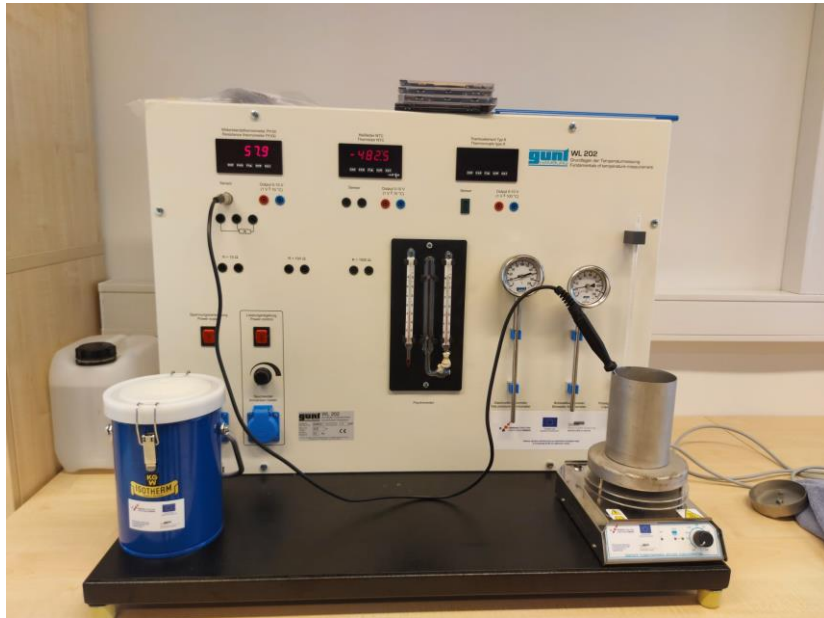
#### Psihrometar

- 2x temperatura 0 do 60 °C,
- rel. vlažnost 3 do 96%.

#### Dimenzije i težina

- D<sub>x</sub>Š<sub>x</sub>V 800x450x650mm (eksperimentalna jedinica),
- ukupna težina cca 45 kg.





**Slika 23. Eksperimentalni uredaj GUNT WL 202**

## 6. IZVEDENA MJERENJA TEMPERATURE

### 6.1. GRIJANJE MEDIJA

Prvo izvedeno mjerenje je bilo na tehničkom uzorku broj 1. Antifriz se zagrijavao u posudi od nehrđajućeg čelika volumena 1L. Laboratorijski grijač se namjestio na početnu temperaturu od 50 °C. Mjerenje je počelo nakon 20 minuta zagrijavanja.

Prosječna temperatura okoline tijekom čitavog mjerenja je iznosila 25,4 °C.

Mjerenja su izvedena na temperaturama 50 °C, 60 °C, 70° C, 80 °C, 90 °C, 100 °C, 110 °C.

Emisijski faktor uređaja iznosio je  $\epsilon = 0,95$ .

Udaljenost od objekta 0,7 m.

Emisijski faktor antifrizu  $\epsilon = 0,98$ .

#### **Mjerenje broj 1 - Grijanje medija na 50 °C**

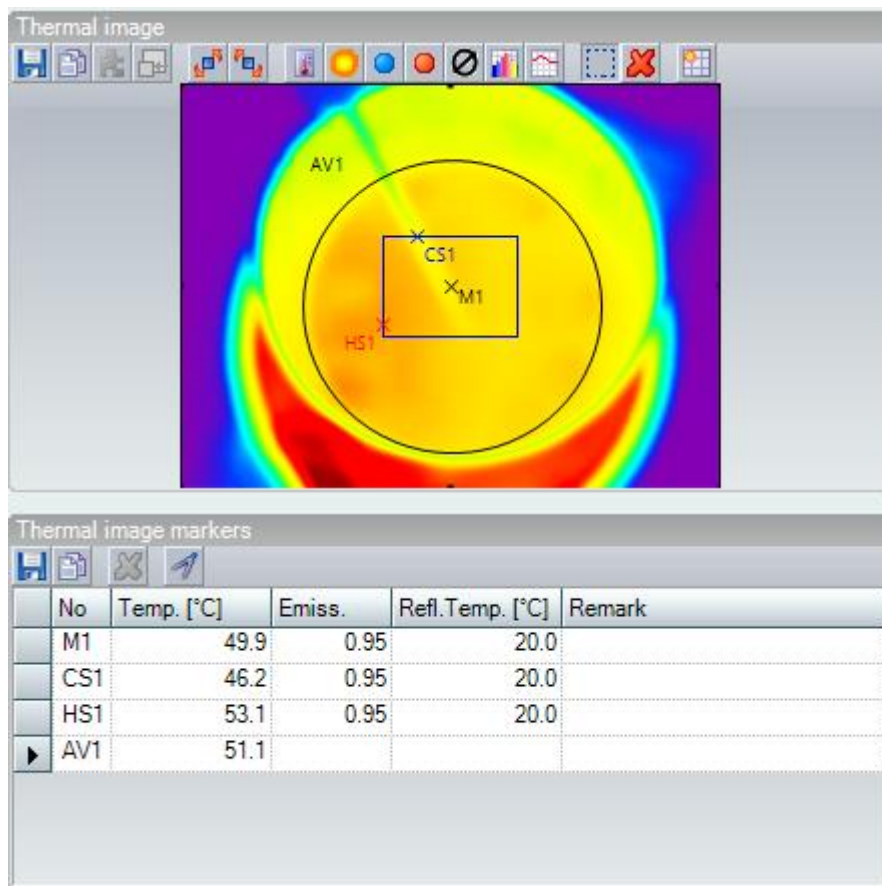
Na sljedećoj slici vidimo očitavanje temperature snimane termovizijskom kamerom. Nakon miješanja tekućine i očitavanja temperature, Pt – 100 senzora koji se držao na srednjoj razini tekućine, od 50 °C termovizijska kamera je zabilježila na mjernoj točki temperaturu od 49,9 °C.

Najhladnija točka iznosi 46,2 °C.

Najtoplija točka iznosi 53,1 °C.

Prosječna temperatura iznosi 51,1 °C.

Odabran je temperaturni raspon od 26,2°C do 72,5°C, a iz palete boja izabran je RAINBOW.



**Slika 24. Mjerenje br.1 – Grijanje medija na 50 °C**

### **Mjerenje broj 2 – Grijanje medija na 60 °C**

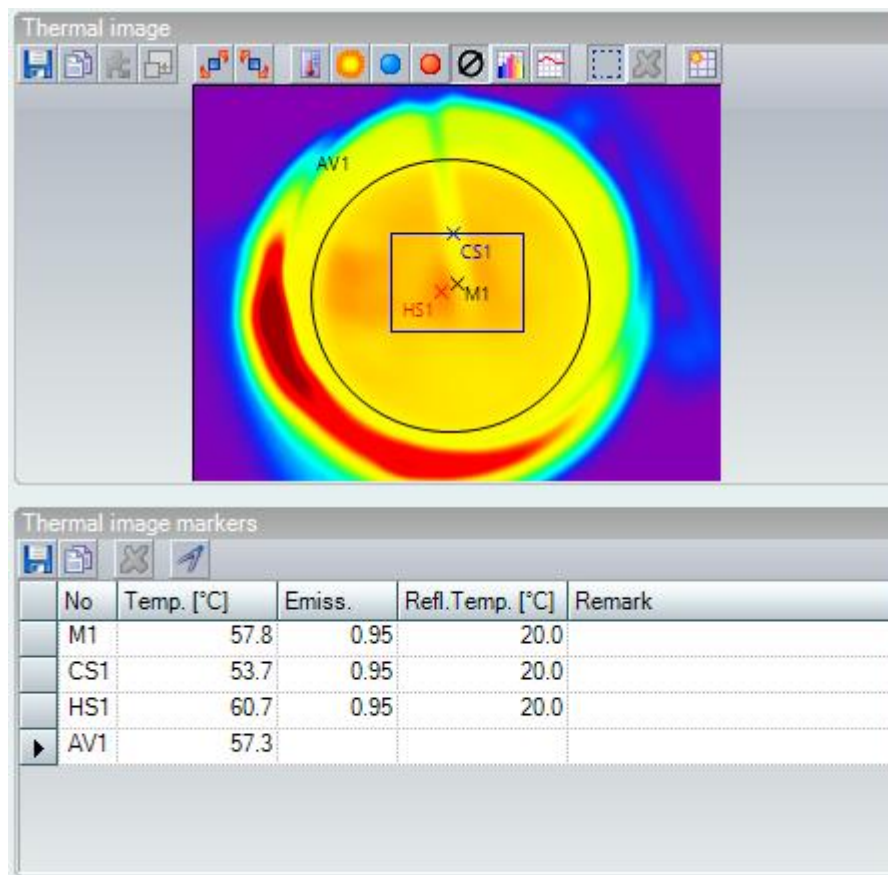
Na sljedećoj slici vidimo očitavanje temperature snimane termovizijskom kamerom. Nakon miješanja tekućine i očitavanja temperature, Pt – 100 senzora koji se držao na srednjoj razini tekućine, od 60 °C termovizijska kamera je zabilježila na mjernoj točki temperaturu od 57,8 °C.

Najhladnija točka iznosi 53,7 °C.

Najtoplija točka iznosi 60,7 °C.

Prosječna temperatura iznosi 57,3 °C.

Odabran je temperaturni raspon od 26,3 °C do 82 °C, a iz palete boja izabran je RAINBOW.



**Slika 25. Mjerenje br.2 – Grijanje medija na 60 °C**

### **Mjerenje broj 3 – Grijanje medija na 70 °C**

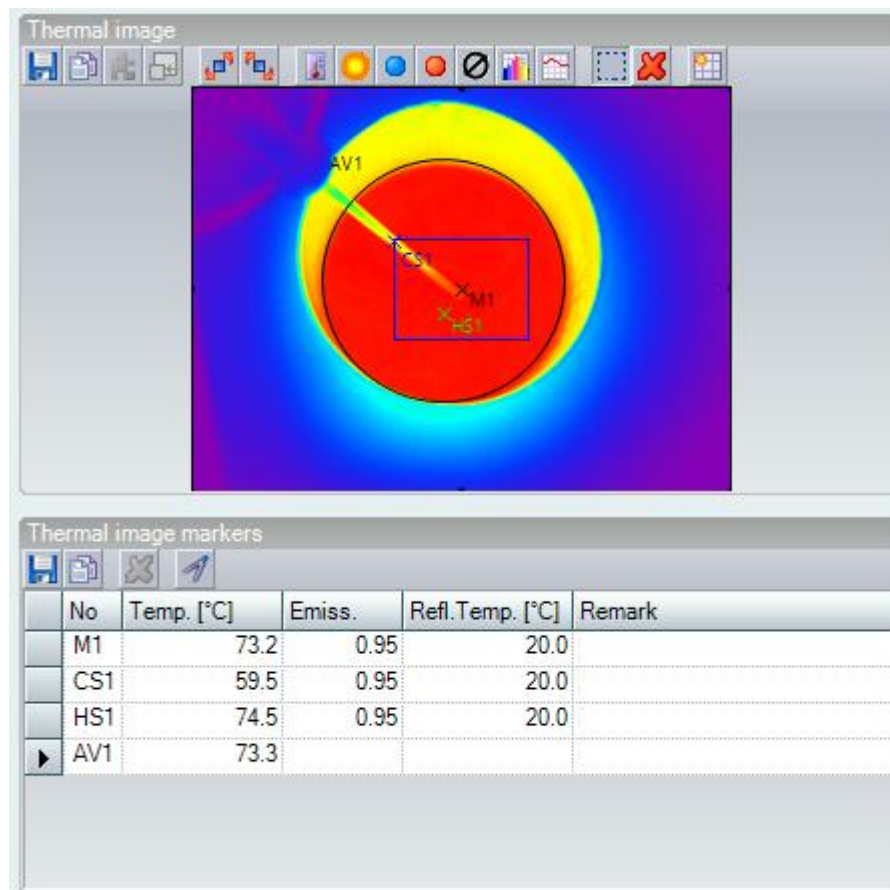
Na sljedećoj slici vidimo očitavanje temperature snimane termovizijskom kamerom. Nakon miješanja tekućine i očitavanja temperature, Pt – 100 senzora koji se držao na srednjoj razini tekućine, od 70 °C termovizijska kamera je zabilježila na mjernoj točki temperaturu od 73,2 °C.

Najhladnija točka iznosi 59,5 °C.

Najtoplija točka iznosi 74,5 °C.

Prosječna temperatura iznosi 73,3 °C.

Odaбран je temperaturni raspon od 27,2 °C do 94,5 °C, a iz palete boja izabran je RAINBOW.



**Slika 26. Mjerenje br.3 – Grijanje medija na 70 °C**

#### **Mjerenje broj 4 – Grijanje medija na 80 °C**

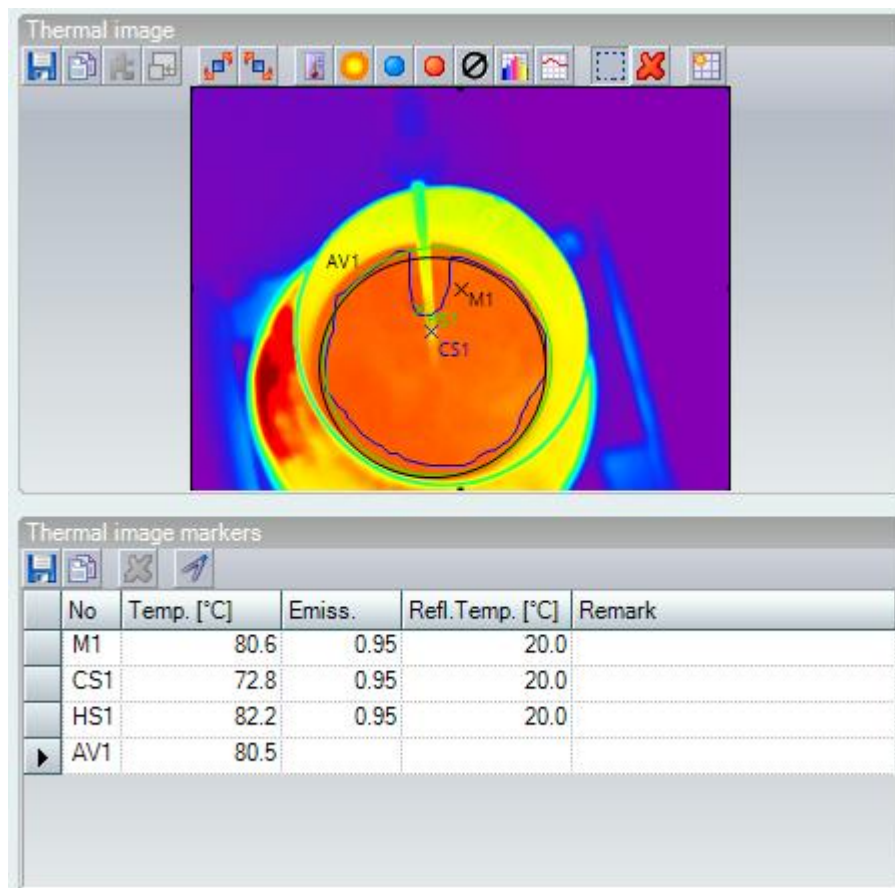
Na sljedećoj slici vidimo očitavanje temperature snimane termovizijskom kamerom. Nakon miješanja tekućine i očitavanja temperature, Pt – 100 senzora koji se držao na srednjoj razini tekućine, od 80 °C termovizijska kamera je zabilježila na mjernoj točki temperaturu od 80,6 °C.

Najhladnija točka iznosi 72,8 °C.

Najtoplija točka iznosi 82,2 °C.

Prosječna temperatura iznosi 80,5 °C.

Odabran je temperaturni raspon od 26,9°C do 113,3°C, a iz palete boja izabran je RAINBOW.



**Slika 27. Mjerenje br.4 – Grijanje medija na 80 °C**

### **Mjerenje broj 5 – Grijanje medija na 90 °C**

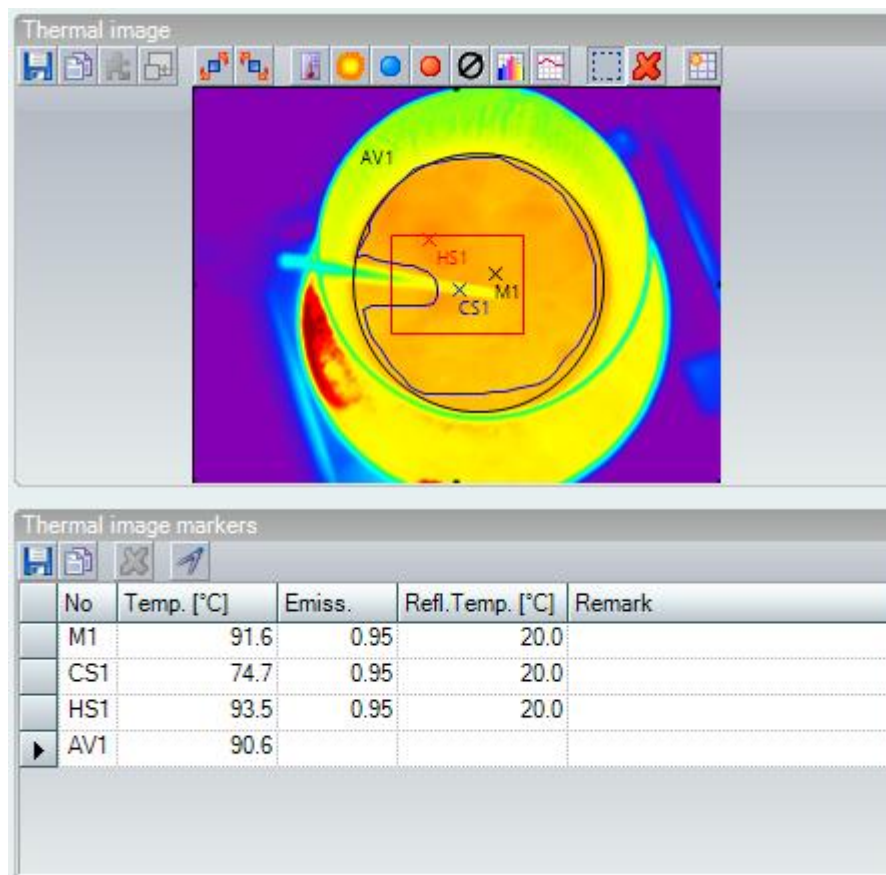
Na sljedećoj slici vidimo očitavanje temperature snimane termovizijskom kamerom. Nakon miješanja tekućine i očitavanja temperature, Pt – 100 senzora koji se držao na srednjoj razini tekućine, od 90 °C termovizijska kamera je zabilježila na mjernoj točki temperaturu od 91,6 °C.

Najhladnija točka iznosi 74,7 °C.

Najtoplija točka iznosi 93,5 °C.

Prosječna temperatura iznosi 90,6 °C.

Odabran je temperaturni raspon od 27,3°C do 137,1°C, a iz palete boja izabran je RAINBOW.



**Slika 28. Mjerenje br.5 – Grijanje medija na 90 °C**

### **Mjerenje broj 6 – Grijanje medija na 100 °C**

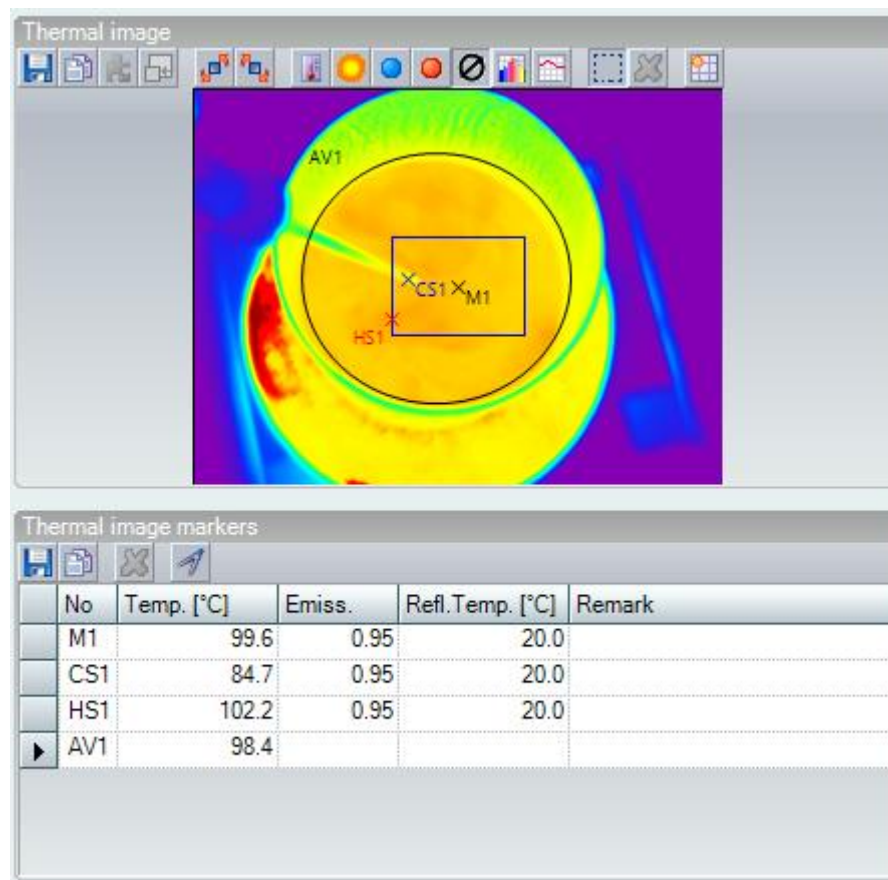
Na sljedećoj slici vidimo očitavanje temperature snimane termovizijskom kamerom. Nakon miješanja tekućine i očitavanja temperature, Pt – 100 senzora koji se držao na srednjoj razini tekućine, od 100 °C termovizijska kamera je zabilježila na mjernoj točki temperaturu od 99,6 °C.

Najhladnija točka iznosi 84,7 °C.

Najtoplija točka iznosi 102,2 °C.

Prosječna temperatura iznosi 98,4 °C.

Odabran je temperaturni raspon od 27,3°C do 152,1°C, a iz palete boja izabran je RAINBOW.



**Slika 29. Mjerenje br.6 – Grijanje medija na 100 °C**

### **Mjerenje broj 7 – Grijanje medija na 110 °C**

Na sljedećoj slici vidimo očitavanje temperature snimane termovizijskom kamerom. Nakon miješanja tekućine i očitavanja temperature, Pt – 100 senzora koji se držao na srednjoj razini tekućine, od 110 °C termovizijska kamera je zabilježila na mjernoj točki temperaturu od 112,0 °C.

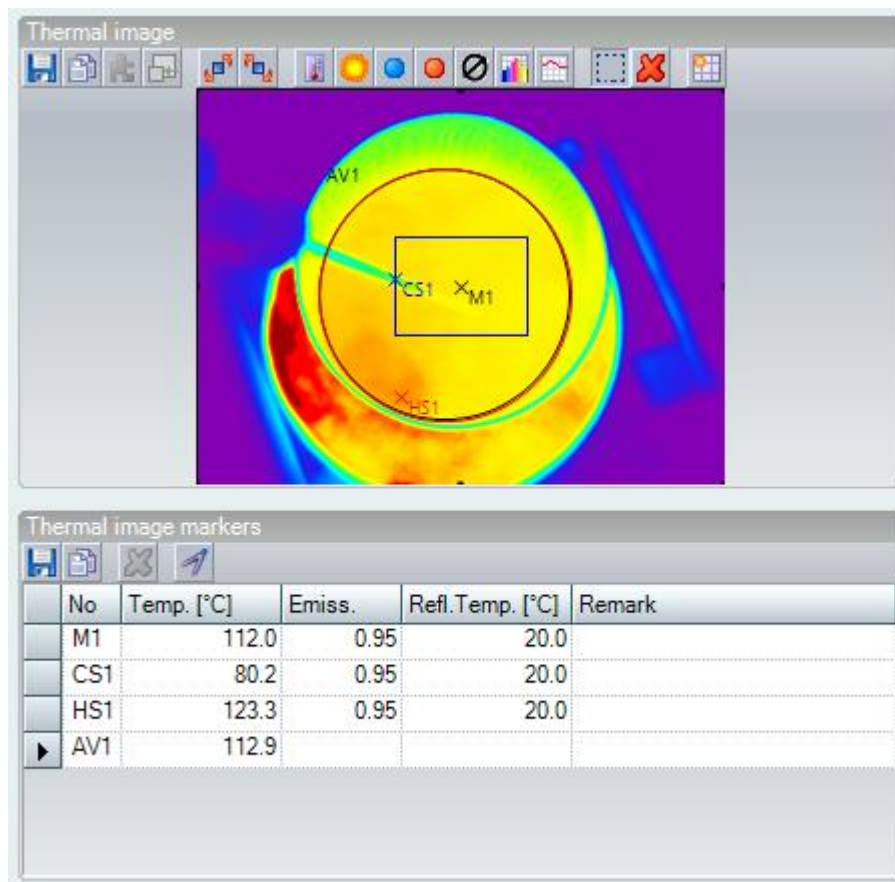
Najhladnija točka iznosi 80,2 °C.

Najtoplija točka iznosi 123,3 °C.

Prosječna temperatura iznosi 112,9 °C.

Odabran je temperaturni raspon od 27,3°C do 182°C, a iz palete boja izabran je RAINBOW.





Slika 30. Mjerenje br.7 – Grijanje medija na 110 °C

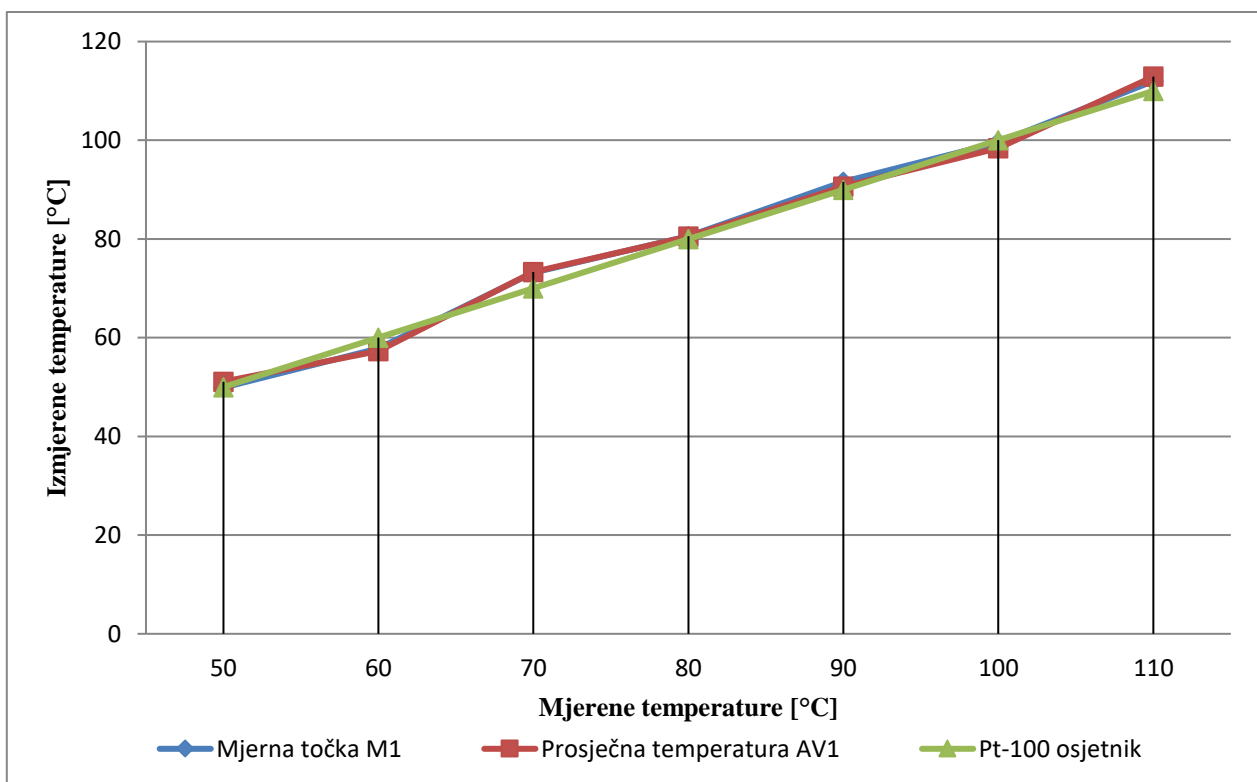
Nakon provedenih mjerenja podaci su obrađeni i napravljena je iduća tablica za usporedbu izmjerenih temperatura.

Tablica 3. Odnos izmjerenih temperatura za uzorak br.1

Mjerena temperatura [°C]	Izmjerena temperatura [°C]		
	Termovizijska kamera		Pt-100 osjetnik
	Mjerna točka (M1)	Prosječna temperatura (AV1)	Mjerna točka
50	49,9	51,1	50
60	57,8	57,3	60
70	73,2	73,3	70

80	80,6	80,5	80
90	91,6	90,6	90
100	99,6	98,4	100
110	112	112,9	110

Podaci iz prethodne tablice su iskorišteni za dobivanje sljedećeg grafikona koji prikazuje odnos izmjerenih temperatura.



**Grafikon 1. Odnos izmjerenih temperatura za uorak br. 1**

## 6.2. PUMPA VODE

Nakon pokretanja eksperimentalne jedinice za kontrolu razine i protoka vode smanjen je maseni protok vode kroz ventile te se time povećao rad pumpe i sama temperatura iste.

Nakon vremenskog razmaka od 25 min počelo je mjerenje.

Kao u prethodnom primjeru okolni uvjeti su isti kao i emisijski faktori.

Prosječna temperatura okoline tijekom čitavog mjerenja je iznosila 25,4 °C.

Emisijski faktor uređaja iznosio je  $\varepsilon = 0,95$ .

Udaljenost od objekta 0,7 m.

Emisijski faktor objekta  $\varepsilon = 0,98$ .

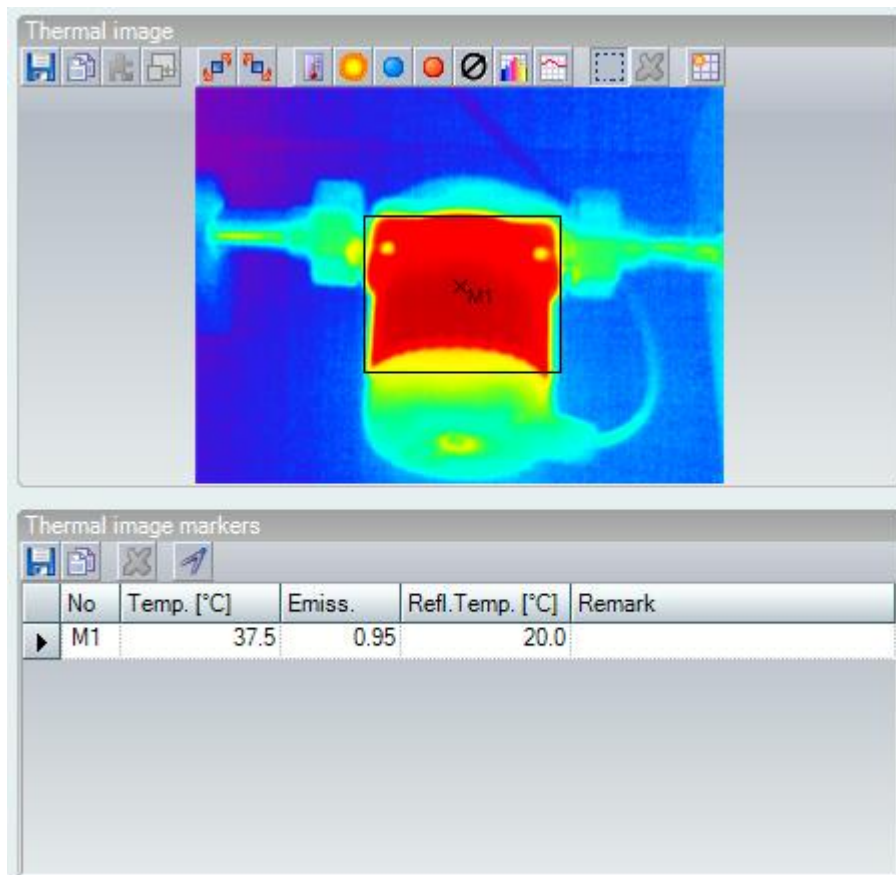
Nakon mjerenja Pt – 100 senzorom postavljenim na srednjem dijelu pumpe radna temperatura površine pumpe iznosila je 35 °C, dok je najviša temperatura površine pumpe izmjerena termovizijskom kamerom iznosila 37,7 °C što očitavamo sa histograma kao i najnižu i prosječnu temperaturu.

Mjerna točka 37,5 °C

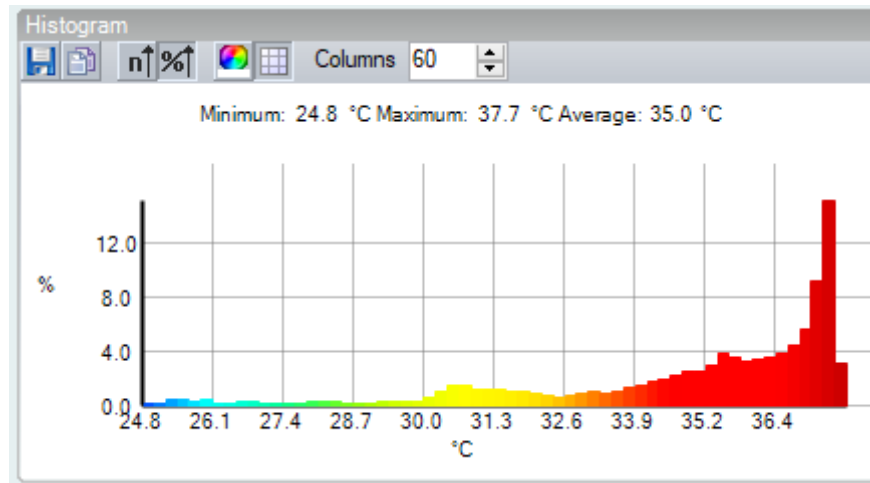
Najniža temperatura je iznosila 24,8 °C.

Prosječna temperatura je iznosila 35 °C.

Odabran je temperaturni raspon od 23,7 °C do 39,7 °C, a iz palete boja izabran je RAINBOW.



**Slika 31. Termografski snimak pumpe vode**



Slika 32. Histogram termografskom snimka pumpe vode

### 6.3. SERVO MOTOR

Testni stol je upaljen i moment sile je namješten na 2,30 Nm pri 1348 o/min. Servo motor je radio 20 min u tom režimu rada.

Kao u prethodnim primjerima okolni uvjeti su isti kao i emisijski faktori.

Prosječna temperatura okoline tijekom čitavog mjerenja je iznosila 25,4 °C.

Emisijski faktor uređaja iznosio je  $\epsilon = 0,95$ .

Udaljenost od objekta 0,7 m.

Pt – 100 senzor se postavio na servo motor između rebara.

Emisijski faktor objekta  $\epsilon = 0,98$ .

#### Mjerenje broj 1 – Nakon 20 minuta rada

Nakon 20 min rada servo motora počelo je mjerenje temperature.

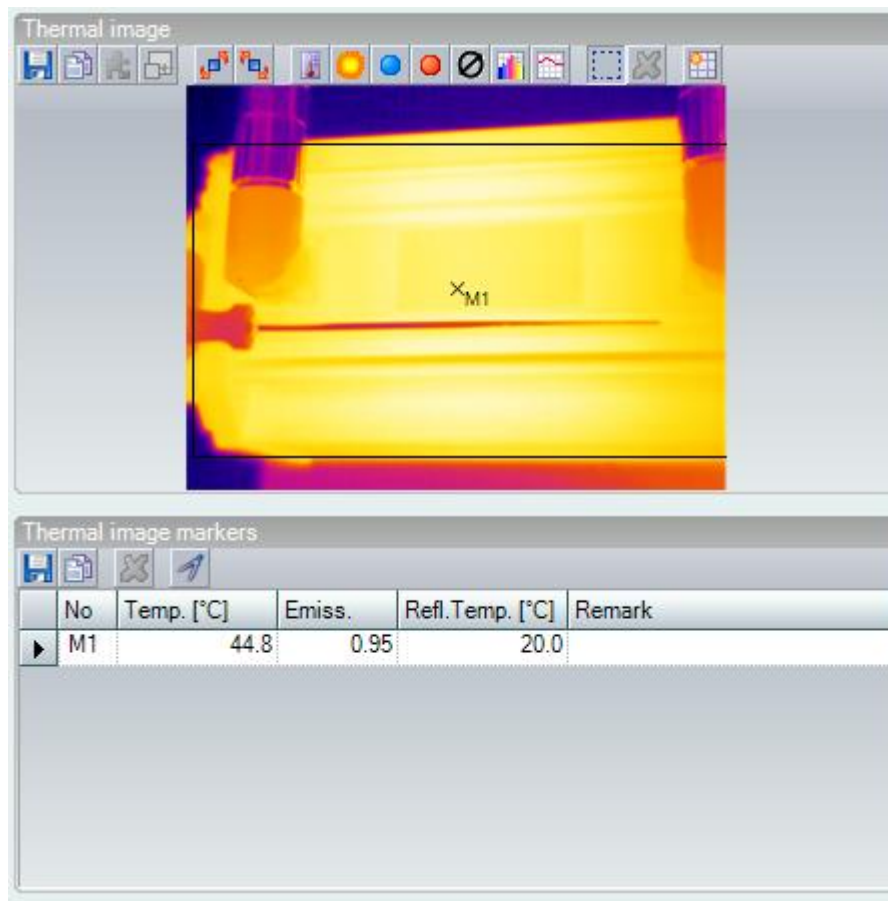
Temperatura očitana Pt -100 senzorom 45°C, dok je najviša temperatura zabilježena termovizijskom kamerom iznosila 46,4°C što očitavamo sa histograma kao i najnižu i prosječnu temperaturu.

Mjerna točka 44,8 °C

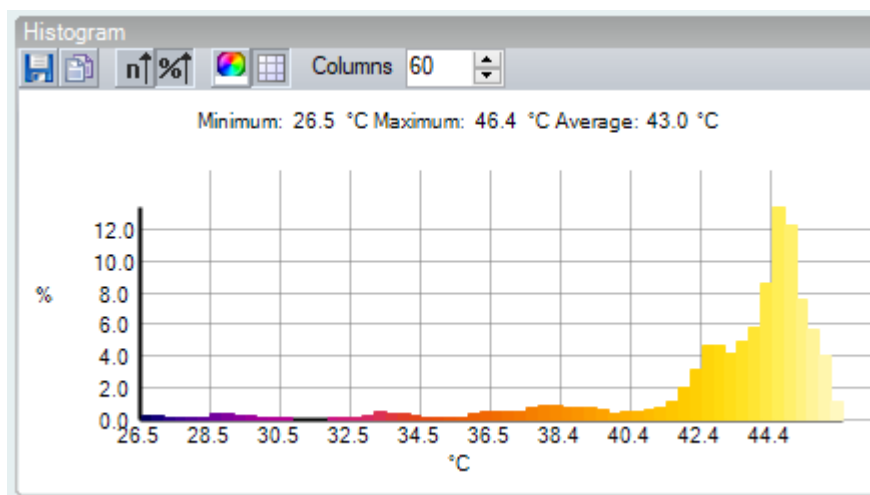
Najniža temperatura je iznosila 26,5 °C.

Prosječna temperatura je iznosila 43,3 °C.

Odabran je temperaturni raspon od 26,2°C do 47,4°C, a iz palete boja izabran je IRON.



Slika 33. Termografski snimak servo motora - mjerenje br.1



Slika 34. Histogram termografskog snimka servo motora za mjerenje br. 1

## Mjerenje broj 2 – Nakon 40 minuta rada

Nakon prvog mjerenja, postavke se mijenjaju. Moment sile se postavlja na optimalan broj od 2,41 Nm pri 1412 o/min. Servo motor je radio još 20 min u tom režimu rada, gdje ujedno i doseže maksimalnu radnu temperaturu.

Prosječna temperatura okoline tijekom čitavog mjerenja je iznosila 25,4 °C.

Emisijski faktor uređaja iznosio je  $\varepsilon = 0,95$ .

Udaljenost od objekta 0,7 m.

Pt – 100 senzor se postavio na servo motor između rebara.

Emisijski faktor objekta  $\varepsilon = 0,98$ .

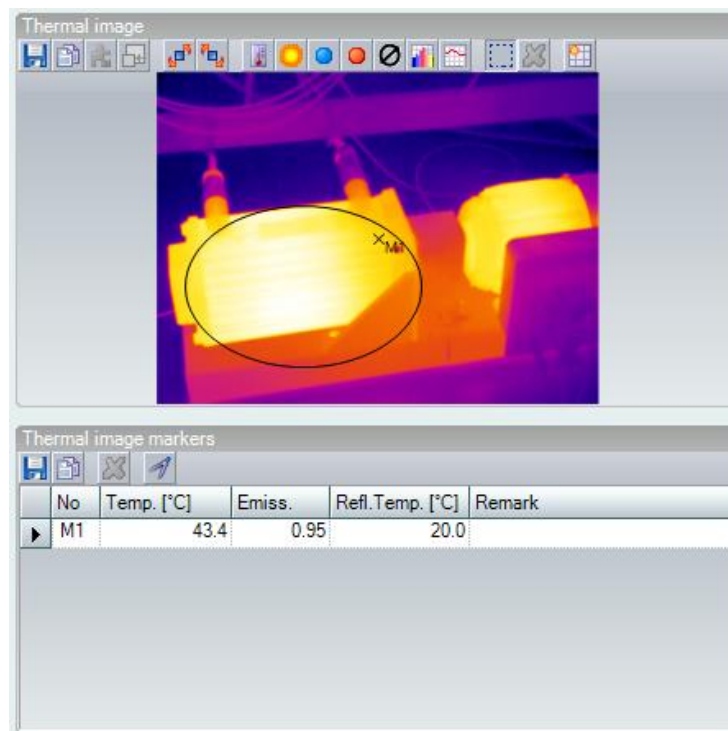
Temperatura očitana Pt -100 senzorom 47,1 °C, dok je najviša temperatura zabilježena termovizijskom kamerom iznosila 49 °C što očitavamo sa histograma kao i najnižu i prosječnu temperaturu.

Mjerna točka 43,4 °C

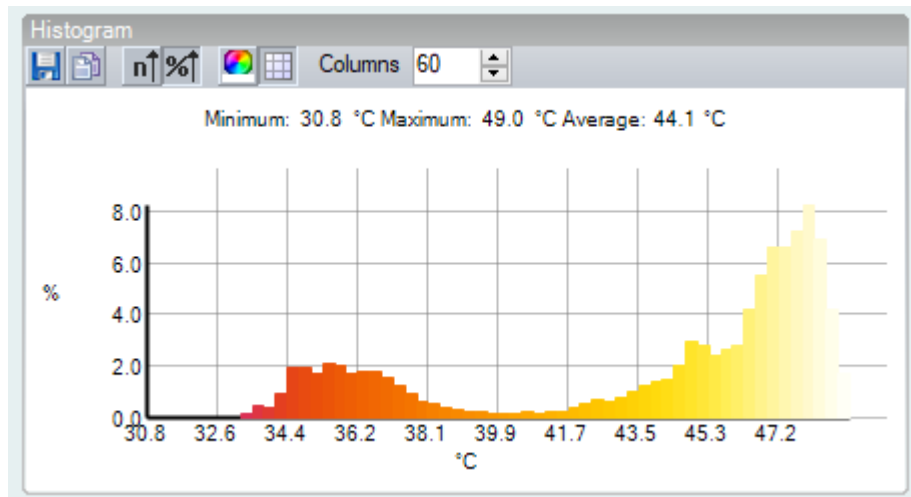
Najniža temperatura je iznosila 30,8 °C.

Prosječna temperatura je iznosila 44,1 °C.

Odabran je temperaturni raspon od 25,5°C do 50,1°C, a iz palete boja izabran je IRON.



Slika 35. Termografski snimak servo motora - mjerenje br. 2



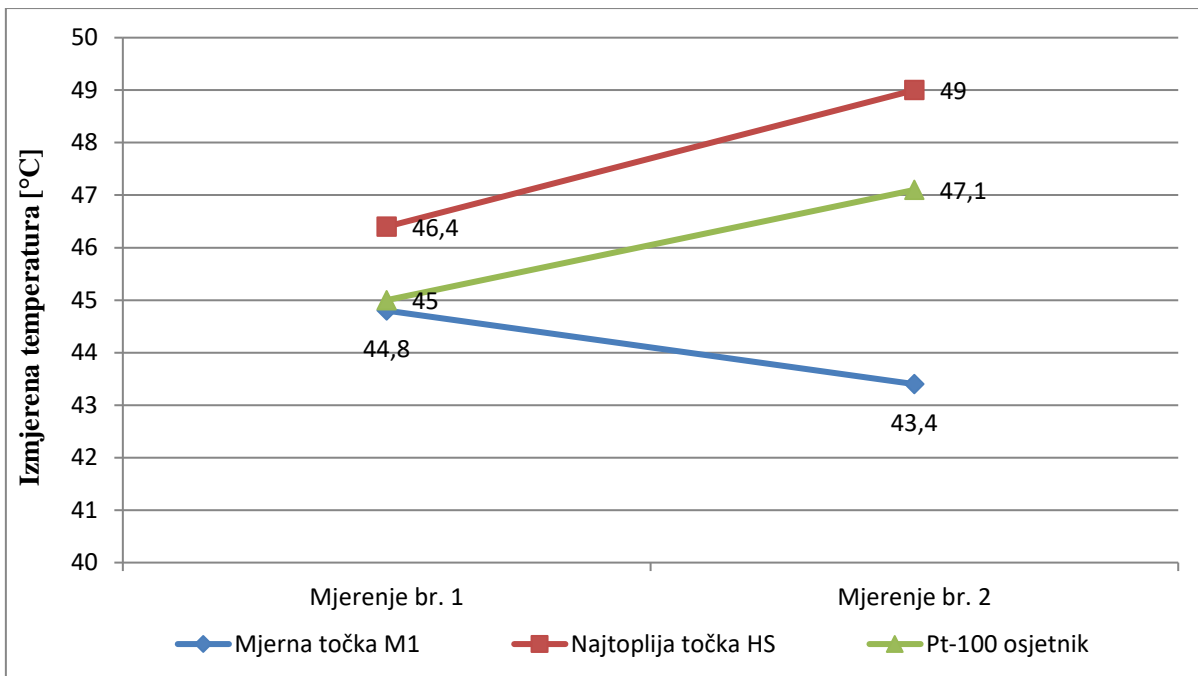
**Slika 36. Histogram termografskog snimka servo motora za mjerenje br. 2**

Sljedeća tablica, po uzoru na prethodni primjer gdje se grijao medij, prikazuje usporedbu izmjerenih temperatura termovizijskom kamerom i Pt-100 osjetnikom.

**Tabela 4. Odnos izmjerenih temperatura za uzorak br. 3**

	Izmjerena temperatura [°C]		
	Termovizijska kamera		Pt-100 osjetnik
	Mjerna točka (M1)	Najtoplija točka HS	Mjerna točka
<b>Mjerenje broj 1</b>	44,8	46,4	45
<b>Mjerenje broj 2</b>	43,4	49	47,1

Navedeni podaci u tablici su se iskoristili za izradu sljedećeg grafikona koji također prikazuje odnos izmjerenih temperatura.



**Grafikon 2. Odnos izmjerenih temperatura za uzorak br. 3**



## 7. ZAKLJUČAK

Ključna komponenta toplinske kamere je osjetnik topline pričvršćen na posebnu vrstu objektiva, koji je zatim prilagođen za rad zajedno sa standardnim tehnologijama za snimanje slika, stoga je vrlo važno odabrati pravi uređaj za potrebnu svrhu. Kamera omogućuje brzu identifikaciju područja prekomjerne temperature ili izvore izgubljene toplinske energije, kao što su pregrijavanje komponenti ili potencijalne toplinsko – izolacijske praznine odnosno propuštanja.

Kao što je već rečeno senzori Pt-100 najčešći su tip otpornog platinskog termometra. Broj 100 se odnosi na to da senzor pri 0 °C ima otpor od 100 Ω. Otporni termometar je vrsta osjetnika temperature. Sastoji se od elementa koji koristi otpor za mjerenje temperature.

Nakon provedenih temperaturnih mjerenja s Pt-100 osjetnikom i termovizijskom kamerom vidimo da cilj koji je ovaj rad imao je ispunjen. Postoje određena odstupanja pri mjerenjima u istim uvjetima te dolazimo do zaključka da je vrlo važno gledati iz perspektive svrhe mjerenja temperature. Termovizijska kamera se pokazala puno bolja pri mjerenjima površina mjerenih uzoraka dok je Pt-100 senzor učinkovitiji ukoliko je ugrađen ili uronjen u mjereni uzorak. Ta razlika je najočitija pri mjerenju temperature grijanog medija kada je u određenom trenutku postalo nemoguće izvoditi mjerenje termovizijskom kamerom zbog isparavanja medija koje se pojavilo između objekta i objektiva, dok je Pt -100 senzor nastavio sa sasvim normalnim radom.

Pri mjerenju temperature na pumpi vode nije poznata zračnost između Pt-100 senzora i same pumpe, pa postoje određena odstupanja. Pri mjerenju temperature na pumpi vode nije se izvodilo više mjerenja zbog toga što je pumpa dosegla svoju najvišu radnu temperaturu već pri prvom mjerenju.

Kod mjerenja temperature na servo motoru imamo isti problem zračnosti kao i kod pumpe vode, unatoč tome termovizijska se kamera dokazala nakon više mjerenja puno bolja pri mjerenju temperature površine objekta.

## LITERATURA

- [1] Fabris Orest, *Osnove inženjerske termodinamike III*, Pomorski fakultet, Dubrovnik, 1994.
- [2] Fridel Zoran, *Kontrola termografskih uzoraka i postupnici za provedbu termografskih mjerenja*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009.
- [3] Heikki Laurila, *Pt100 temperature sensor – useful things to know*, travanj 2018., URL: <https://blog.beamex.com/pt100-temperature-sensor>, (zadnji put pristupljeno 20.09.2021.)
- [4] Piljac Ivan, *Senzori fizikalnih veličina i elektroanalitičke metode*, Mediaprint – TISKARA HRASTIĆ d.o.o., Zagreb, 2010.
- [5] Priyanka Goswami, *Thermal Imaging and its Applications*, prosinac 2012., URL: <https://www.slideshare.net/priyanka1194/thermal-imaging-and-its-applications>, (zadnji put pristupljeno 20.09.2021.)
- [6] <https://www.techimaging.com/applications/infrared-thermal-imaging-applications>, (zadnji put pristupljeno 20.09.2021.)
- [7] [https://glossary.periodni.com/preuzimanje\\_slike.php?name=spektar\\_elektromagnetskog\\_zracenja.png&source=spektar+elektromagnetskog+zra%C4%8Denja](https://glossary.periodni.com/preuzimanje_slike.php?name=spektar_elektromagnetskog_zracenja.png&source=spektar+elektromagnetskog+zra%C4%8Denja), (zadnji put pristupljeno 20.09.2021.)
- [8] <https://www.infratec.eu/thermography/industries-applications/building-thermography/>, (zadnji put pristupljeno 20.09.2021.)

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Odnos otpora i temperature u brojkama [3] .....	28
Tablica 2. Razredi točnosti [3] .....	31
Tablica 3. Odnos izmjerenih temperatura za uzorak br.1 .....	56
Tablica 4. Odnos izmjerenih temperatura za uzorak br. 3.....	62

## POPIS SLIKA

Slika 1. Eksperimentalna izotermna šupljina kao crno tijelo .....	6
Slika 2. Uzajamno zračenje dva tijela .....	7
Slika 3. Spektar raspodjele emitiranog zračenja crnog tijela [2].....	10
Slika 4. Spektar elektromagnetnih valova [6] .....	11
Slika 5. Vidljivi spektar valova [6].....	11
Slika 6. Propusnost atmosfere za IC zračenje u odabranom dijelu [2].....	12
Slika 7. Termografski snimak dijela tijela.....	14
Slika 8. Termografski snimak zrakoplova u letu [6].....	14
Slika 9. Termografski snimak plinske baklje [6].....	15
Slika 10. Primjena termografije za noćni vid i u sigurnosti [6].....	16
Slika 11. Nedovoljno pečena piletina i nedovoljna količina mlijeka u boci [5].....	16
Slika 12. Primjena termografije u metalurgiji [6].....	17
Slika 13. Primjena termografije u građevini [8].....	18
Slika 14. Termografska slika i realna slika osigurača .....	19
Slika 15. Graf ovisnosti otpora o temperaturi [3].....	28
Slika 16. Graf prikaza razreda točnosti [3].....	32
Slika 17. Sigurnosno tehnički list za INA antifriz Super odjeljak 1. i 2. ....	37
Slika 18. Sigurnosno tehnički list za INA antifriz Super odjeljak 3.....	38
Slika 19. Pumpa vode .....	39
Slika 20. Testna ploča servo-motora .....	41
Slika 21. Grafičko korisničko sučelje programa Testo IRsoft .....	45
Slika 22. Gornja traka grafičkog korisničkog sučelja.....	46
Slika 23. Eksperimentalni uređaj GUNT WL 202 .....	48
Slika 24. Mjerenje br.1 – Grijanje medija na 50 °C .....	50
Slika 25. Mjerenje br.2 – Grijanje medija na 60 °C .....	51
Slika 26. Mjerenje br.3 – Grijanje medija na 70 °C .....	52
Slika 27. Mjerenje br.4 – Grijanje medija na 80 °C .....	53
Slika 28. Mjerenje br.5 – Grijanje medija na 90 °C .....	54
Slika 29. Mjerenje br.6 – Grijanje medija na 100 °C .....	55

Slika 30. Mjerenje br.7 – Grijanje medija na 110 °C .....	56
Slika 31. Termografski snimak pumpe vode .....	58
Slika 32. Histogram termografskom snimka pumpe vode .....	59
Slika 33. Termografski snimak servo motora - mjerenje br.1 .....	60
Slika 34. Histogram termografskog snimka servo motora za mjerenje br. 1 .....	60
Slika 35. Termografski snimak servo motora - mjerenje br. 2.....	61
Slika 36. Histogram termografskog snimka servo motora za mjerenje br. 2 .....	62

## POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Odnos izmjerenih temperatura za uorak br. 1 .....	57
Grafikon 2. Odnos izmjerenih temperatura za uzorak br. 3 .....	63

## POPIS KRATICA

ASTM (engl. <i>American Society for Testing and Materials</i> )	američko društvo za ispitivanje i materijale
BIPM (franc. <i>Bureau international des poids et mesures</i> )	međunarodni ured za mjere i utege
CvD ( <i>Callendar-Van Dusen</i> )	Callendar-Van Dusen
DIN (njem. <i>Deutsches Institut für Normung</i> )	njemački institut za standardizaciju
GOST (rus. <i>Gosudarstvennyy Standart</i> )	državni standard
IEC (engl. <i>International Electrotechnical Commission</i> )	međunarodna elektrotehnička komisija
IFOV (engl. <i>Instantaneous field of view</i> )	trenutno vidno polje
IPRT (engl. <i>Industrial Platinum Resistance Thermometer</i> )	industrijski termootpornik od platine
ITS (engl. <i>International Temperature Scale</i> )	međunarodna temperaturna ljestvica
JIS (engl. <i>Japanese Industrial Standards</i> )	japanski industrijski standardi
NIST (engl. <i>National Institute of Standards and Technology</i> )	nacionalni institut za standardizaciju i tehnologiju
NTC (engl. <i>Negative Temperature Coefficient</i> )	negativni temperaturni koeficijent
PRT (engl. <i>Platinum Resistance Thermometer</i> )	termootpornik od platine
Pt	platina
PTC (engl. <i>Positive Temperature Coefficient</i> )	pozitivni temperaturni koeficijent
RTD (engl. <i>Resistance Temperature Detector</i> )	termootpornik
RTPW (engl. <i>Resistance at the Triple Point of Water</i> )	otpor pri trojnoj točki vode
SAMA (engl. <i>Scientific Apparatus Makers Association</i> )	udruženje proizvođača znanstvenih naprava
SOLAS (engl. <i>Safety Of Life At Sea</i> )	sigurnost života na moru
SPRT (engl. <i>Standard Platinum Resistance Thermometer</i> )	standardni termootpornik od platine