

ZBORNIK RADOVA PROCEEDINGS

15. SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI
15th NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

8. MEĐUNARODNI SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI
8th INTERNATIONAL NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

HEP-Group
HEP-Plin Ltd.
HR-31000 Osijek, Cara Hadrijana 7

J. J. Strossmayer University of Osijek
Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod
HR-35000 Slavonski Brod, Trg I. B. Mažuranić 2

University of Pécs
Faculty of Engineering and Information Technology
H-7624 Pécs, Boszorkány u. 2



Suorganizatori
Co-organizers



Uz potporu
Supported by
Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske
Ministry of Science and Education of the Republic of Croatia

Osijek, 27.- 29.09.2017.

PLIN 2017

ZBRONIK RADOVA 8. MEĐUNARODNOG SKUPA O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI

PROCEEDINGS OF 8th INTERNATIONAL NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

Izdavač / Publisher: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu

Email: plin@sfsb.hr

URL: <http://konferencija-plin.sfsb.hr>

All papers are reviewed.

The authors are only responsible for the contents and accuracy of all published material. The Editors do not accept any liability for the contents and accuracy of articles, or responsibility for any mistakes (editorial or typographical), nor for any consequences that may arise from them.

Urednici / Editors:

Pero RAOS, glavni urednik
Tomislav GALETA
Dražan KOZAK
Marija RAOS
Josip STOJŠIĆ
Zlatko TONKOVIĆ

PLIN 2017 Organizacijski odbor / PLIN 2017 Organization committee:

Marija RAOS, Hrvatska, predsjednica organizacijskog odbora
Tomislav GALETA, Hrvatska
Miroslav DUSPARA, Hrvatska
Josip CUMIN, Hrvatska
Renata ĐEKIĆ, Hrvatska
Nada FLANJAK, Hrvatska
Ismeta HASANBEGOVIĆ, BiH
Miroslav MAZUREK, Hrvatska
Ana RADONIĆ, Hrvatska
Pero RAOS, Hrvatska
Josip STOJŠIĆ, Hrvatska
Zlatko TONKOVIĆ, Hrvatska

Sponzori / Sponsors



PLIN 2017 Počasni odbor / PLIN 2017 Honor committee:

Ivan SAMARDŽIĆ, predsjednik, Hrvatska
Bálint BACHMANN, Mađarska
Zvonko ERCEGOVAC, Hrvatska
Perica JUKIĆ, Hrvatska
Tomislav JUREKOVIĆ, Hrvatska
Damir PEĆUŠAK, Hrvatska
Božo UDOVIČIĆ, Hrvatska

PLIN 2017 Znanstveni odbor / PLIN 2017 Scientific committee:

Dražan KOZAK, predsjednik, Hrvatska
Antun STOIĆ zamjenik pred., Hrvatska
Darko BAJIĆ, Crna Gora
Eraldo BANOVAČ, Hrvatska
Károly BELINA, Mađarska
Ivan BOŠNJAK, Hrvatska
Aida BUČO-SMAJIĆ, BiH
Zlatan ČAR, Hrvatska
Robert ČEP, Češka
Majda ČOHODAR, BiH
Ejub DŽAFEROVIĆ, BiH
Tomislav GALETA, Hrvatska
Antun GALOVIĆ, Hrvatska
Hrvoje GLAVAŠ, Hrvatska
Nenad GUBELJAK, Slovenija
Sergej HLOCH, Slovačka
Nedim HODŽIĆ, BiH
Željko IVANDIĆ, Hrvatska
Željka JURKOVIĆ, Hrvatska
Ivica KLADARIĆ, Hrvatska
Milan KLJAJIN, Hrvatska
Janez KOPAČ, Slovenija
Grzegors KROLCZYK, Poljska
Stanislaw LEGUTKO, Poljska
Leon MAGLIĆ, Hrvatska
Damir MILJAČKI, Hrvatska
Ferenc ORBÁN, Mađarska
Branimir PAVKOVIĆ, Hrvatska
Denis PELIN, Hrvatska
Miroslav PLANČAK, Srbija
Dalibor PUDIĆ, Hrvatska
Marijan RAJSMAN, Hrvatska
Marko RAKIN, Srbija
Miomir RAOS, Srbija
Pero RAOS, Hrvatska
Alessandro RUGGIERO, Italija
Aleksandar SEDMAK, Srbija
Marinko STOJKOV, Hrvatska
Josip STOJŠIĆ, Hrvatska
Igor SUTLOVIĆ, Hrvatska

Tomislav ŠARIĆ, Hrvatska
Mladen ŠERCER, Hrvatska
Damir ŠLJIVAC, Hrvatska
Vedran ŠPEHAR, Hrvatska
Zlatko TONKOVIĆ, Hrvatska
Zdravko VIRAG, Hrvatska
Nikola VIŠTICA, Hrvatska
Jurica VRDOLJAK, Hrvatska
Marija ŽIVIĆ, Hrvatska

Sadržaj / Contents

POZVANA PREDAVANJA / INVITED LECTURES

UTJECAJ ZASJENJENJA NA FOTONAPONSKE SUSTAVE	1
D. Topić, G. Knežević, D. Šljivac, M. Žnidarec	

ANALIZA SLOŽENIH TEHNIČKIH GVIK SUSTAVA KORIŠTENJEM DINAMIČKOG MODELIRANJA	12
B. Delač, B. Pavković, K. Lenić	

PRIMJENA INFRACRvene TERMOGRAFIJE U TEHNIČKIM SUSTAVIMA	33
H. Glavaš, T. Barić, M. Stojkov	

PLIN I PLINSKA TEHNIKA / GAS AND GAS TECHNIQUE

PROCJENA RIZIKA PRILIKOM OŠTEĆENJA PLINOVODA UZROKOVANIH ELEMENTARNIM NEPOGODAMA.....	51
M. Rašić, T. Šolić, D. Marić, M. Duspara, S. Aračić, I. Samardžić	

DALJINSKO OČITANJE POTROŠNJE PLINA, UREĐAJI I PRINCIPI RADA	61
K. Pavelić, D. Hećimović, K. Stakor	

PODACI O SUNČEVOM ZRAČENJU I MODELI PREDVIĐANJA SUNČEVOG ZRAČENJA KAO FAKTOR UŠTEDE PRIRODNOG PLINA.....	67
K. Hornung, M. Stojkov, M. Hornung	

MODELIRANJE POTROŠNJE PRIRODNOG PLINA JAVNIH ZGRADA INTELIGENTNOM PODATKOVNOM ANALITIKOM	76
M. Zekić-Sušac	

RAZVOJ PLINOFIKACIJE NA DISTRIBUTIVNOM PODRUČJU TVRTKE „PLIN PROJEKT“ D.O.O. - NOVA GRADIŠKA	86
M. Ivanović, L. Liović	

PRIKAZ ISTRAŽIVANJA RAZVOJA SIMULACIJSKOG MODELA LANCA OPSKRBE PRIRODNIM PLINOM	97
J. Mesarić, D. Dujak, Z. Tonković	

ELEKTROFUZIJSKO SPAJANJE CIJEVI ZA TRANSPORT PLINA IZRAĐENIH OD POLIMERNIH MATERIJALA	110
V. Starčević, I. Baričić, A. Rebronja, I. Samardžić	

BELOW-GRADE NATURAL GAS DISTRIBUTION STATION DESIGN FOR AN URBAN LOCATION.....	120
--	-----

N. Bosković, A. Loge, R. Gomez, J. MacLennan, R. Dawes

TEHNOLOŠKI POSTUPCI IZRADE SPOJEVA VODOOPSKRBNOG SUSTAVA.....	133
---	-----

F. Dako, A. Stoić, I. Samardžić, J. Zima, M. Duspara, D. Marić, V. Starčević, I. Putnik

ENERGETIKA / energetics

UČINKOVITA UPORABA ENERGIJE	139
-----------------------------------	-----

S. Franjić

TERMODINAMIČKA ANALIZA RADA UGRAĐENIH PLINSKIH KONDENZACIJSKIH KOTLOVA.....	146
---	-----

M. Živić, A. Galović, A. Barac, R. Končić

ENERGETSKA OBNOVA OBITELJSKIH KUĆA NA PODRUČJU OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE.....	156
--	-----

D. Hećimović, D. Vidaković, K. Pavelić

INDIKATORI KVARA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI.....	166
--	-----

M. Nađ, S. Kaluđer, K. Fekete

PRIMJENA RAČUNALNOG PROGRAMA THORIUM A+ ZA IZRAČUN UŠTEDE ZAMJENE STANDARDNOG KOTLA S KONDENZACIJSKIM I UGRADNJOM TERMOREGULACIJSKIH VENTILA NA OGRJEVNA TIJELA.....	174
--	-----

M. Rašić, D. I. Rendulić, H. Glavaš, D. Vidaković

SIMULACIJA UTJECAJA ZASJENJENJA NA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE.....	184
--	-----

I. Radmanović, G. Knežević, D. Topić, K. Fekete

HEATING PERFORMANCES ANALYSIS A GHP WORKING WITH DIFFERENT HYDROCARBONS AND HEAT TRANSFER IN A BOREHOLE HEAT EXCHANGER.....	194
---	-----

R. Bedoić, V. Filipan

BIOPLINSKE ELEKTRANE U SLAVONIJI I BARANJI	204
--	-----

M. Ivanović, H. Glavaš, M. Vukobratović

UTJECAJ ATMOSFERSKOG PRAŽNJENJA NA ELEKTRONIKU PLINSKIH BOJLERA	216
---	-----

B. Perković, T. Barić, H. Glavaš

ENERGIJA IZ MULJA.....	226
------------------------	-----

T. Grizelj, E. Kamenjašević

ZAKONSKA I TEHNIČKA REGULATIVA U KORIŠTENJU OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE230

E. Kamenjašević, T. Grizelj

KREMATORIJ – ENERGIJSKA EFIKASNOST I OBNOVLJIVI IZVOR ENERGIJE U ZAŠTITI PRIRODE I OKOLIŠA238

E. Kamenjašević, T. Grizelj

VODENI MULJ ALTERNATIVNI IZVOR ENERGIJE242

T. Grizelj, E. Kamenjašević

VODA / WATER

DISTRIBUTIVNA MREŽA VOĐENA POMOĆU SCADE247

F. Galović, S. Kaluđer, K. Fekete

PARAMETRI MODELIRANJA OBORINSKOG OTJECANJA SA ZELENIH URBANIH POVRŠINA.....257

D. Obradović

O RAZVOJU TEHNIČKIH SUSTAVA NA PRIMJERU VODNE REGULACIJE POBOSUĆA.....267

S. Maričić

VODA NAKON PRANJA VUNE – OTPAD I SIROVINA.....281

A. Tarbuk, B. Vojnović, A. Sutlović

OPTIMIZACIJA VODOOPSKRBE VIŠIH ZONA288

Em.Trožić, E. Smajić, En.Trožić

MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA OBNOVLJIVIH IZVORA U VODOVODNIM SUSTAVIMA...294

E. Smajić, Em.Trožić, En.Trožić

EFEKTI USPOSTAVE DALJINSKOG NADZORA U VODOVODNOM SUSTAVU302

En.Trožić, B. Jakovac, Em.Trožić, E. Smajić

ISKUSTVA U ODRŽAVANJU VODOOPSKRBNOG SUSTAVA GRADA OSIJEKA311

F. Dako, P. Raos, A. Stoić, T. Šarić, G. Šimunović, I. Samardžić, J. Zima

PROIZVODNE TEHNOLOGIJE / PRODUCTION TECHNOLOGIES

RAZVOJNE FAZE I KLJUČNE KARAKTERISTIKE DBAAS CLOUD SERVISA BAZIRANOG NA KONSOLIDIRANOM INFORMACIONOM MODELU KOMPANIJA ENERGETSKOG SEKTORA319

J. Dizdarević

OPTIMUM DESIGN OF FIXED STORAGE TANK ROOF	329
F. Orban, G.C. Nagy	
UNAPRJEĐENJE IZVOĐENJA GRAĐEVINSKIH RADOVA PRIMJENOM LEAN METODOLOGIJE	335
D. Vidaković, Z. Lacković, M. Radman-Funarić	
RECIKLIRANJE ŽARULJA	347
Z. Mrčela, G. Rozing, T. Malijurek	
NUMERIČKA ANALIZA UDARA ZRAČNOG VALA NA PLINSKU BOCU	353
I. Grgić, D. Šotola, Ž. Ivandić	
SILA DUBOKOG VUČENJA	363
B. Grizelj, D. Grizelj, V. Jurić Šolto	
REVIEW OF MODELLING METHODS AND COMPUTER MODELS IMPLEMENTED IN RECENT NOWADAYS CAD SYSTEMS	373
M. Karakašić, H. Glavaš, M. Kljajin	
MENADŽMENT CJEVOVODNIH MREŽA	382
M. Šavar, S. Krizmanić, I. Jovan	
ANALIZA RECIKLIČNOSTI ELEKTRIČNIH KUĆANSKIH APARATA	392
I. Lovrić, G. Rozing, A. Katić	
PRIMJENA INFRACRVE NE TERMOGRAFIJE U ZGRADARSTVU	401
H. Krstić, M. Teni, Ž. Koški	



Primjena infracrvene termografije u tehničkim sustavima

Application of infrared thermography in technical systems

H. Glavaš^{1,*}, T. Barić¹, M. Stojkov²

¹Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Hrvatska

²Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: hrvoje.glavas@ferit.hr

Sažetak

Infracrvena termografija je nerazorna radiometrijska metoda ispitivanja. Podjela infracrvene termografije na kvalitativnu i kvantitativnu razvojem kamera prelazi sve više u pasivnu i aktivnu. Na području termografije nema jedinstvenog standarda pri čemu egzistiraju različite norme za pojedina područja. Fizikalna pozadina objašnjena je početkom prošlog stoljeća, a sama tehnička realizacija kontinuirano se razvija i napreduje. Povijest termografije je opsežna, složena i jednim dijelom nedovoljno publicirana. Cijena opreme pada te je ista opće dostupna. Rad opisuje svojstva infracrvene kamere. Broj korisnika infracrvene kamere bez osnovne edukacije potrebne za pravilno snimanje i tumačenje termograma kontinuirano raste. Edukacija je osnova rada sa termografskom kamerom jer bez nje dolazimo u zabludu koju nam prividno zračenje prikazuje na zaslonu kamere. Primjena termografije je široka što je u radu prikazano kroz šesnaest primjera.

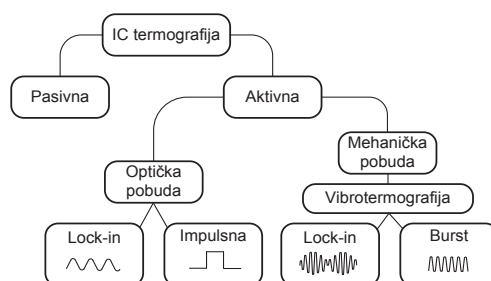
Abstract

Infrared thermography is non destructive radiometric testing method. Basic division of infrared thermography is on to qualitative and quantitative. With development of infrared cameras new division is made onto pasiv and activ. There is no uniform standard in the field of thermography, different norms exist for certain areas. The physical background was explained at the beginning of the last century, and the technical implementation itself is constantly evolving and advancing. The history of thermography is extensive, complex and partially difficult to detect. The price of the equipment is decreases and it is more available. An increasing number of people using the camera but they do not have the basic training needed for taking thermograms and interpretation of records. Education is the basis for operation with a thermal camera. Without proper education misunderstanding of the apparent radiation detected by camera is present. Application of infrared thermography is wide and explained in the paper through 16 examples presented in the paper.

Ključne riječi: Infracrvena termografija, elektrotehnika, strojarstvo, građevina, medicina

1. Uvod

Infracrvena termografija je bezkontaktna metoda određivanja distribucije temperature na površini promatranog objekta mjerenjem intenziteta zračenja u IC području elektromagnetskog spektra. Prema međunarodnim standardima, termografija je klasificirana kao jedna od nerazornih metoda ispitivanja (NDT). Termografija u pogledu informacije koju pruža dijelimo na kvalitativnu i kvantitativnu, a s aspekta pobude na pasivnu i aktivnu. Kvalitativna termografija ima za zadatak pružiti načelne informacije o distribuciji temperature na površini analiziranog objekta. Kvantitativna termografija ima zadatak pružiti točne vrijednosti temperature na površini analiziranog objekta. Za kvantitativnu analizu neophodno je pri snimanju unijeti točne vrijednosti emisivnosti, prividne reflektirane temperature i voditi računa o atmosferskim prilikama. Osnovna podjela infracrvene termografije vidljiva je na slici 1.



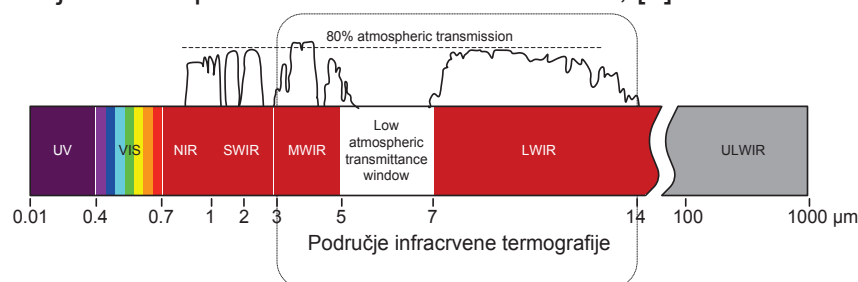
Slika 1. Podjela infracrvene termografije, izvor [1]

Pasivna termografija je postupak termografske analize objekata koji su duže vrijeme u stacionarnom stanju i pri tome je neophodna temperaturna razlika od najmanje 10 °C kako bi se formirao toplinski tok. Pobuda u slučaju aktivne termografije može biti ultrazvučna, električna, toplinska i mehanička. Termografi se snimaju u vremenskim intervalima i na osnovu njih upotrebom programske podrške dobivaju informacije o svojstvima materijala. Postupak kvantitativne termografije iziskuje osobu s iskustvom i znanjem prvog stupnja obuke. Edukacija na području termovizije odvija se u tri stupnja. Sadržaj potrebnih znanja opisuje BS ISO 18436-7:2014 "Condition monitoring and diagnostics of machines - Requirements for qualification and assessment of personnel Part 7: Thermography". Znanja potrebna za analizu u građevinarstvu opisuje ISO 6781-3:2009 "Performance of buildings - Detection of heat, air and moisture irregularities in buildings by infrared methods - Part 3 - Qualifications of equipment operators, data analysts and report writers", Primjenu na području strojarstva definirana je nomom ISO 18434-1:2008 "Condition monitoring and diagnostics of machines - Thermography - Part 1: General procedures".

2. Teorijska osnova termografskog zapisa

Toplinsko zračenje je jedan od oblika elektromagnetskog zračenja (EM) i ne iziskuje medij za propagaciju prostorom. Razlikuje se makroskopski opis EM zračenja od mikroskopskog opisa EM zračenja. Elektromagnetskom teorijom polja, Maxwellovim jednadžbama s velikom točnošću opisane su sve makroskopske pojave EM zračenje. Pojavom kvantne teorije omogućeno je teorijsko proširivanje razumijevanja pojava vezanih uz EM zračenje u

mikro svijetu. Osobine toplinskog zračenja ovise o osobinama površine zagrijanog tijela, temperaturi tijela, spektralnoj apsorptivnosti te spektralnoj emisivnoj snazi. Toplinsko zračenje nije monokromatsko, ne sastoji se od samo jedne frekvencije, već ima kontinuiranu disperziju energija fotona, odnosno karakteristični spektar. Ako su tijelo koje zrači i njegova površina u termodinamičkoj ravnoteži a površina ima savršenu apsorptivnost na svim valnim duljinama, tada se naziva crnim tijelom. Crno tijelo je ujedno i savršeni emiter. Područje infracrvenog zračenja (engl. IR - *Infrared radiation*) prikazano je na slikci 2. Infracrveno EM zračenje proteže se u rasponu od 750 nm do 1 mm, što odgovara frekvencijskom rasponu od 405 THz do 300 GHz, [4]



Slika 2. Podjela infracrvenog područja, izvor [2]

Termografija u skladu s ISO 20473 vrši analizu zračenja u tri područja (NIR 0,78-3 μm, MIR 3-50 μm i FIR 50-1000 μm), ali najčešće se podjela vrši u pet područja: blisko infracrveno područje (0,7 - 1,4 μm), kratkovalno IC područje (1,4 - 3 μm), srednjevalno IC područje (3 - 8 μm), dugovalno IC područje (8 - 15 μm) i daleko infracrveno područje (15 - 1000 μm). Svako tijelo zagrijano na temperaturu iznad apsolutne nule emitira EM zračenje kontinuiranog spektra svih valnih duljina, a kada temperatura tijela pređe 525 °C emitira i vidljivu svjetlost, [3]. Intenzitet i spektralni sastav izračene toplinske energije nekog tijela najizraženije ovisi o temperaturi tijela i tvari kojom je prekrivena njegova površina.

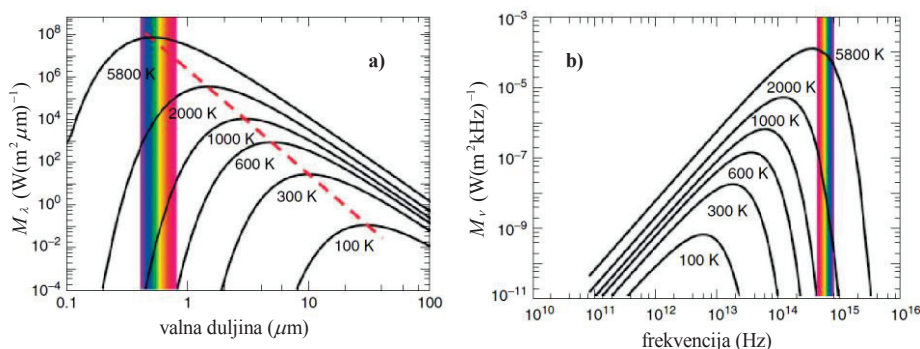
Crno tijelo je idealni model kojim je opisano EM zračenje zagrijanog tijela i služi nam kao standard s kojim se uspoređuju svojstva zračenja realnog (stvarnog) tijela kako bi se odredila maksimalna količina EM zračenja koja može biti emitirana površinom pri danoj temperaturi. Crno tijelo ima sposobnost apsorpiranja svog (100 %) upadnog EM zračenja neovisno o frekvenciji ili kutu upada. Crno tijelo emitira energiju zračenja uniformno (jednoliko) u svim smjerovima po jedinici površine.

Sivo tijelo emitira nekoherentno EM zračenje raspodijeljeno po svim valnim duljinama u omjeru manjem od jedan u odnosu na EM zračenje emitirano crnim tijelom pri istoj temperaturi. Koncept sivog tijela je posebno koristan u određivanju stvarne temperature zagrijanog tijela korištenjem beskontaktnih termometara (pirometri) ili FLIR kamera (FLIR - akronim od: Forward looking infrared).

Selektivni emiter je model EM zračenja zagrijanog tijela kod kojeg je uvaženo svojstvo da emisivnost nije neovisna o frekvenciji emitiranog EM zračenja. U osnovi to je i jedina razlika ovog modela u odnosu na model sivog tijela kod kojeg se smatra da je emisivnost neovisna o valnoj duljini emitiranog zračenja.

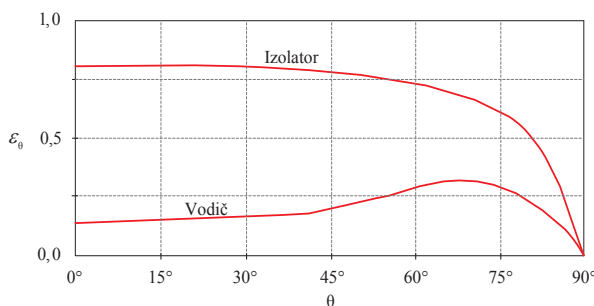
Zračenje crnog tijela matematički je opisao Max Planck 1900.g. poznatom hipotezom o kvantiziranosti energije atoma. Zračenje crnog tijela do Plancka opisivalo se pomoću više

empirijskih zakona: Wienov zakon pomaka, Rayleigh–Jeansov zakon, Stefan-Boltzmannov zakon, Kirchhoffov zakon. Slika 3 prikazuje dvije interpretacije Planckovog zakona.

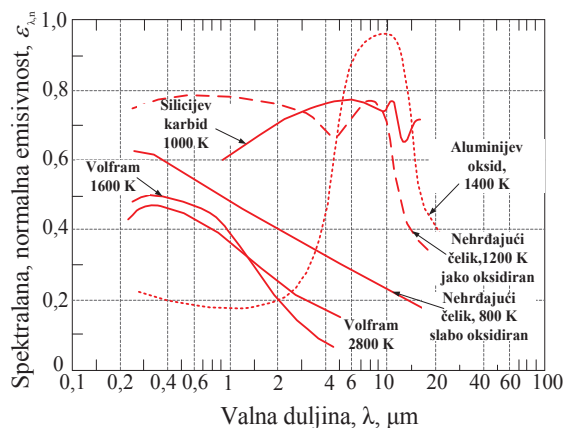


Slika 3. Usporedba dvije reprezentacije Planckova zakona zračenja crnog tijela, izvor [4].

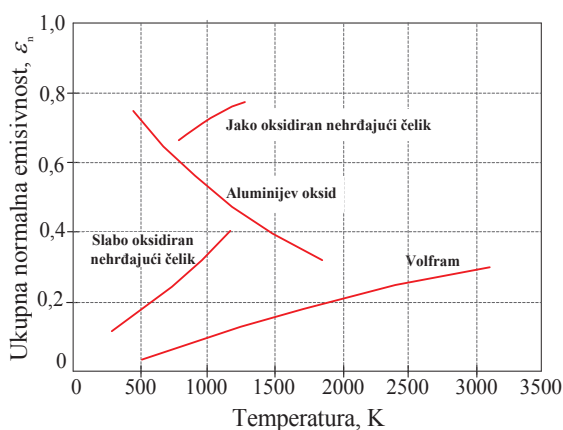
Emisivnost materijala je relativna sposobnost površine da emitira EM energiju zračenjem. Emisivnost je omjer energije EM zračenja nekog određenog materijala i izračene EM energije crnog tijela pri istoj temperaturi. Idealno crno tijelo ima emisivnost jednaku jedan dok realna tijela imaju emisivnost uvijek manju od jedan. Što je materijal reflektivniji tada ima manju emisivnost. Visoko polirano srebro ima emisivnost oko 0,02. Emisivnost ovisi o faktorima kao što su temperatura, kut emisije i valna duljina izračene EM energije. Ovisnost emisivnosti o kutu, valnoj dužini i temperaturi prikazana je na slikama 4, 5 i 6.



Slika 4. Ovisnost emisivnosti u ovisnosti kuta promatranja, izvor [4]



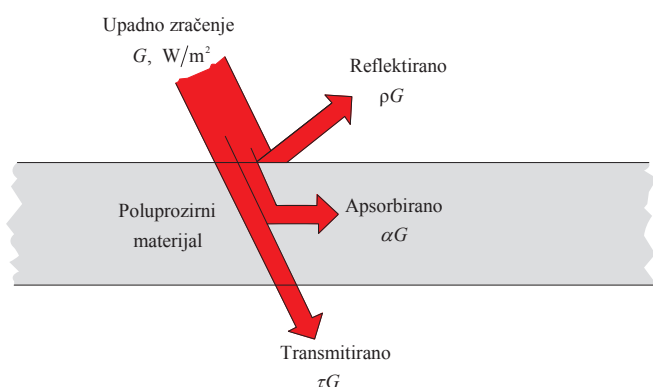
Slika 5. Promjena emisivnosti sa promjenom valne duljine, izvor [4]



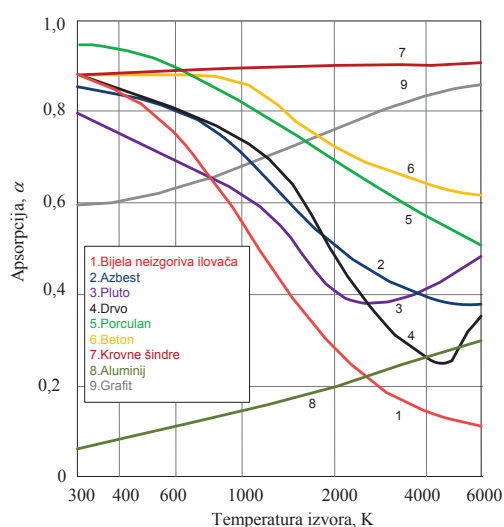
Slika 6. Promjena emisivnosti sa promjenom temperature, izvor [4]

Apsorpcija, refleksija i transmisija

Tok upadnog zračenja na površinu naziva se ozračenje (engl. irradiation) i označava se sa G . Dio zračenja na površini se apsorbira, dio reflektira, a ostatak ukoliko se radi o poluprozirnom tijelu se transmitira. Prvi zakon termodinamike zahtjeva da zbroj apsorbirane, reflektirane i transmitirane energije zračenja mora biti jednak upadnom zračenju. Za razliku od emisivnosti, apsorpcija materijala je neovisna o temperaturi površine. No, apsorpcija ovisi o temperaturi izvora s kojeg upadno zračenje potječe. Refleksija se razlikuje od drugih svojstava po tome što je po prirodi dvosmjerna. To jest, vrijednost refleksije površine ne ovisi samo o smjeru upadnog zračenja nego i o smjeru refleksije. Apsorpcija tijela nije konstantna već se mijenja s temperaturom što je vidljivo na slici 7.



Slika 7. Apsorpcija, refleksija i transmisija upadnog zračenja, izvor [4]

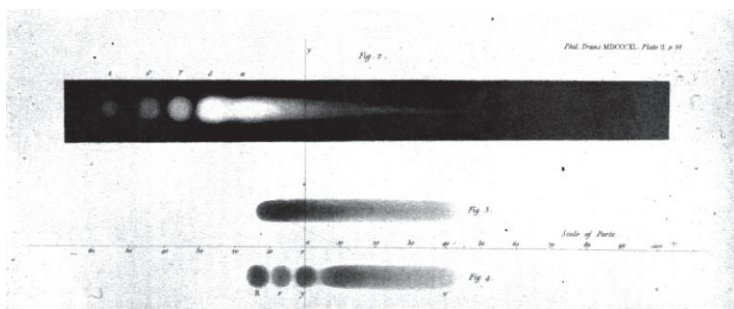


Slika 8. Promjena apsorpcije u ovisnosti temperature izvora za različite uobičajene materijale pri sobnoj temperaturi, izvor [4]

3. Kratka povijest razvoja infracrvene termografije

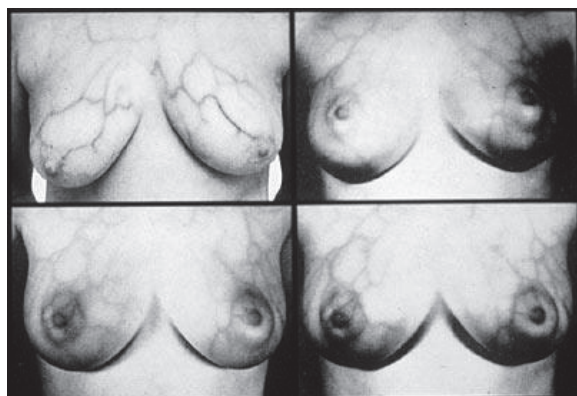
Ljudsko oko može registrirati samo 36% valnih dužina koje emitira Sunce, [5]. Ostatak spektra koji većinom čini infracrveno zračenje nije vidljiv bez upotrebe termografske kamere. Povijest infracrvene termografije započinje 24. travnja 1800. godine, [6]. Navedenog dana Sir John Herschel (1738. Hannover Njemačka - 1822. Slough, Engleska), profesionalni glazbenik i direktor orkestra [6], objavio je zapažanje da postoji zračenje ispod vidljivog crvenog dijela spektra (lat. "infra" - ispod) koje zagrijava jače od zračenja vidljive svjetlosti. Pokus je proveo 11. veljače 1800., a sam naziv je formiran četiri desetljeća poslije otkrića onoga što je Sir John Herschel nazvao tamna toplina "dark heat", točnije "Calorific Rays". Otkriće termo-električnog efekta 1821. godine bio je jedan korak u razvoju termografije. Thomas Johann Seebeck uočava električnu struju koja teče kroz spoj dvaju različitih metala kada su njihovi spojevi na različitim temperaturama. Nakon otkrića termopara Macedonio Melloni dolazi na ideju da formira seriju termoparova od bizmuta i bakra. Na taj način povećao je osjetljivost za 40 puta i mogao je detektirati zračenje osobe na udaljenosti do 9 m, [7]. John Frederick William Herschel (1792. Slough - 1871.

Collingwood), sin Sir John-a, zaljubljenik u fotografiju snima prvi termogram 1840. godine, slika 9. Osim termografa John je utvrdio postojanje različitih spektralnih prozora propusnosti atmosfere za pojedine valne dužine, [8]. Samo za usporedbu, prva fotografija je nastala 1826., a prva osoba snimljena 1832. godine.



Slika 9. Prvi termogram 1840. godina, izvor [6]

Slika 9 je dobivena fokusiranjem sunčevog zračenja pomoću leće na čestice ugljika u alkoholu postupkom isušivanja "evaporography". Slijedeći veći korak u razvoju termografije postavio je Samuel Pierpont Langley (1834. Roxbury, USA - 1906. Aiken, USA) izumom "Langley's bolometera" 1880. godine, uređaja koji detektira elektromagnetsko zračenje pomoću povećanja otpora vodiča. Konstrukcija je napravljena na osnovu Wheatstonovog mosta s tankim trakama platine [9]. Uređaj je razvijao punih 20 godina tijekom kojih je povećao osjetljivost 400 puta u odnosu na prototip. U konačnici mogao je detektirati toplinski trag grla stoke na udaljenosti do 400 m, [9]. Theodore W. Case 1917. provodi detekciju fotona pomoću spoja talijuma i sumpora (Tl₂S) koji mijenja otpor izložen svjetlosti, [10]. Iako je njegov rad omogućio komunikaciju na udaljenost od 29 km kroz atmosferu ispunjenu dimom nije zaživio duže od 1930. godine i predstavlja prvu termalnu foto-detekciju. Razvoj termografije koju poznajemo danas započinje od 40-tih godina prošlog stoljeća. Zanimljivo je uočiti da je izučavanje infracrvenog dijela spektra našao brzo primjenu u medicini. Leo Massopust (1893. - 1970.) 1948. godine objavljuje rad na temu Infracrvena fotografska studija površinskih vena grudnog koša u odnosu na karcinom dojke [11], slika 10.

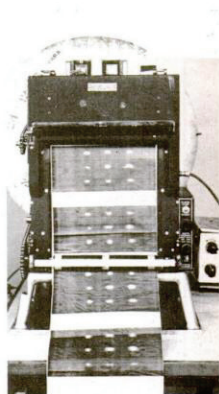


Slika 10. Upotreba infracrvene fotografije za rano otkrivanje karcinoma dojke, izvor [12]

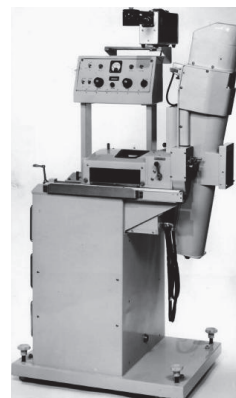


Slika 11. Termogram osobe iz 1949., [13]

Razvoj termografskih kamera prve generacije obilježio je projekt Pyroscan koji je započeo u Kelvin Hughes Istraživačkom laboratoriju (Great Dunmow, Essex) u zimu 1955. kao matematičko istraživanje mogućnosti gledanja kroz maglu. Na slici 12 vidljiv je prvi prototip Mark I Pyroscan kamere slika 12. prikazuje Mark I Pyroscan kameru koja snima jaja nakon 8 dana inkubacije, oplođena toplija i hladnija neoplođena. Slika 13. pokazuje Mark II Pyroscan.

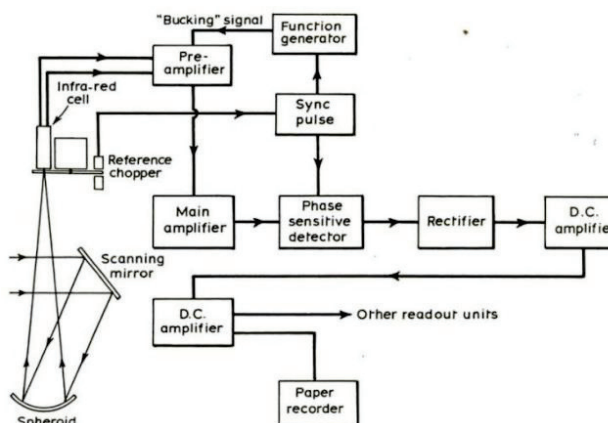


Slika 12. Mark I Pyroscan, izvor [14]

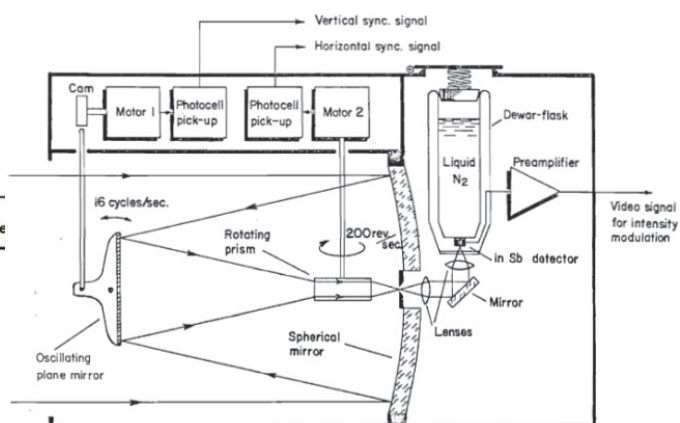


Slika 13. Mark II Pyroscan, izvor [15]

Na slici 14 se vidi Iridium antimon ćelija (koja je u praktičnoj realizaciji uređaja smještena u termos bocu i hlađenu tekućim dušikom) koja se ekspozicija filtriranim dijelom spektra kroz perforirani disk rotiran brzinom 10000 min^{-1} koji propušta upadno zračenje preko sferičnog ogledala promjera 8 cm koje skuplja informaciju na način da oscilirajući mehanizam s ogledalom skenira prostor dajući raster koji sinkronizira u crnobijeli termogram. Mehanička metoda skeniranja je bila spora a za stvaranje slike potrebno je od 2 do 5 minuta. Konačna slika napisana je line-by-line na elektro-osjetljivom papiru, slika 14.



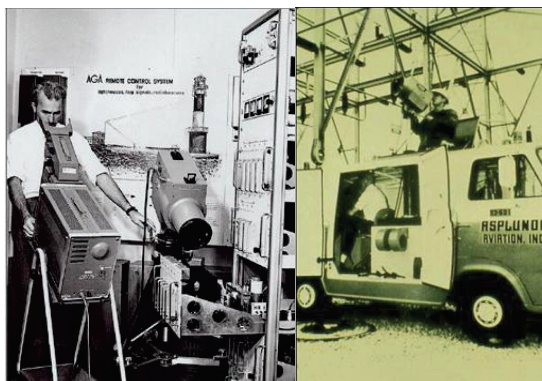
Slika 14. Mark II Pyroscan optički i elektronički sustav, izvor [14]



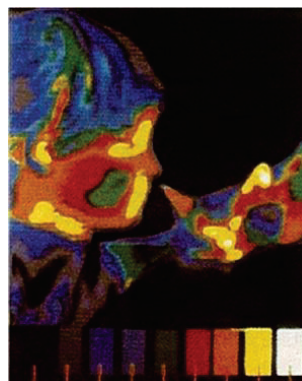
Slika 15. Princip rada AGA IC kamere, izvor [16]

Godine 1965. švedska AGEMA Infrared Systems (AGA Infrared Systems) današnji FLIR napravio je termografsku kameru model 650 koja je ujedno bila prva kamera za preventivno održavanje. Model 650 koristi prilagođeni osciloskop za prikaz infracrvene

slike. Na slici 16. vidljiv je primjer mobilne kamere predviđen za ispitivanje trafostanice. AGA 1966. godine pridružuje boje termogramu, slika 17.



Slika 16. AGA model 650, izvor [17]



Slika 17. Termografija u boji, [17]

Postupak nastajanja termografa u boji je bio tehnički zahtjevan jer je iziskivao spajanje 9 različitih slika. Upotreba kamera u boji nije zaživjela sve do kasnih 90-tih godina kada se osjetljivost kamera poboljšala. Početkom 70-tih godina pojavljuju se prijenosni sustavi koji su se mogli nositi u ruci ali napajanje uređaja je bilo problem do početka novog stoljeća, slika 18 i slika 19.



Slika 18. AGA 750 iz 1973. godine, [18],



Slika 19. Hughes Probeye 1974. godina, [19]

Većina kamera na tržištu do 80-tih godina snimala je u rasponu 3 - 5 μm [17] što je predstavljalo problem jer je Sunčevo zračenje imalo veći utjecaj na sam termogram.



Slika 20. ISI Videotherm 1980, izvor [20]

The diagram illustrates the FLIR Thermal Studio workflow, centered around an 'Automate' cycle. On the left, a screenshot of the FLIR Thermal Studio software interface is shown, displaying various thermal images and data plots. The main workflow is divided into three stages:

- Access:** This stage involves connecting to FLIR hardware (represented by a camera icon), installing software (represented by a database icon), and managing code and applications (represented by a folder icon). It also includes a 'Files' section with a document icon.
- Explore and Discover:** This stage is the core of the automation process, involving:
 - Data Analysis and Modeling:** Represented by a graph icon.
 - Algorithm Development:** Represented by a code editor icon, showing a snippet of MATLAB code:


```
for k=1:imax
    x = fft(dat)
    y = 20*log2
```
 - Application Development:** Represented by a document icon.
- Share:** This stage involves sharing the results, including:
 - Outputs for Design:** Represented by icons of a car, a plane, and a ship.
 - Deployment:** Represented by icons for MATLAB, .NET, C/C++, .EXE, and Java.dll.

Arrows indicate a continuous flow between these stages, with a central 'Automate' label at the bottom of the cycle.

The diagram illustrates the evolution of thermal detectors over time, categorized into three generations:

- 1st Gen, Scan to image:** This generation includes detectors like TiSs , PbS , PbSe , GeX , InSb , HgCdTe , PbSbTe , and SiX . These detectors typically use a scanning mechanism to build up an image.
- 2nd Gen FPA-ROIC:** This generation includes detectors like SiXCCD , PbSbCCD , HgCdTe CCD , HgCdTe SPRITE , InGaAs , QWIP , Bolometer FPAs , $\text{Two-colour HgCdTe FPAs}$, and Pyroelectric FPAs . These detectors use Focal Plane Array (FPA) and Readout Integrated Circuit (ROIC) technology.
- 3rd Gen FPA+ROIC:** This generation includes detectors like $\text{Two-colour QWIP FPAs}$, $\text{Two-colour QWIP FPAs}$, $\text{Two-colour QWIP FPAs}$, MEMS FPAs , Foveon-type FPAs , $\text{Two-colour type-II FPAs}$, $\text{Two-colour QWIP FPAs}$, $\text{Two-colour megapixel FPAs}$, and $\text{147 mega pixel FPAs}$. These detectors use FPA and ROIC technology, with some incorporating MEMS or Foveon-type structures.

The timeline shows the progression from 1940 to 2010, with key milestones marked by arrows indicating the introduction of new detector technologies.

Year	Item	Value in 2010 Euro
1960	Car	10,000
1970	Motorcycle	5,000
1975	Laptop	1,000
1980	Tools	100
1990	Plate	5
2000	Coin	0.5
2010	Coin	0.02

Figure 1: Evolution of the size of the digital output chip. The chart shows a series of stacked rectangles representing different chip generations. The x-axis represents the chip size in millimeters (mm) on a logarithmic scale from 100 to 3000. The y-axis represents the chip size in millimeters (mm) on a linear scale from 0 to 1000. The rectangles are labeled with their dimensions and technology: 64 x 64, 128 x 128, 256 x 256, 640 x 480 (InSb&HCT), 1024 x 1024, 1344 x 1344 InSb, 2052 x 2052 InSb/HgCdTe, 4096 x 4096 8µm, 2560 x 512 25µm, and 4096 x 4096 20µm. A yellow bar at the top is labeled 'Digital Output 8192 x 8192 8µm'.

41

Usprkos padu cijene po jedinici površine, rast rezolucije senzora (slika 24.) čini infracrvene termalne kamere troškovno zahtjevnim investicijama. Na slici 25. vidljive su komercijalno dostupne kamere, njihove karakteristične rezolucije i cijene.

FLIR T640			FLIR E8			FLUKE TiX-1000			FLUKE TiX-560			FLUKE TI-400			TESTO 870-1		
																	
\$26,950			\$3,995			\$54,495			\$15,995			\$8,495			\$2,282		
IMAGER	Max Temp	Price	IMAGER	Max Temp	Price	IMAGER	Max Temp	Price	IMAGER	Max Temp	Price	IMAGER	Max Temp	Price	IMAGER	Max Temp	Price
T640 (640 x 480)	3632°F	\$26,950	TiX-1000 (1024 x 768)	3632°F	\$54,495	890-2 DLX (640 x 480)	662°F	\$26,495									
T620 (640 x 480)	1202°F	\$20,950	TiX-660 (640 x 480)	3632°F	\$39,995	890-2 (640 x 480)	662°F	\$23,995									
T600 (480 x 360)	1202°F	\$16,450	TiX-640 (640 x 480)	2192°F	\$29,995	890-1 (640 x 480)	662°F	\$20,250									
T440 (320 x 240)	2192°F	\$11,750	TiX-560 (320 x 240)	2192°F	\$15,995	885-2 DLX (320 x 240)	662°F	\$12,995									
T420 (320 x 240)	1202°F	\$8,750	TiX-520 (320 x 240)	1562°F	\$11,995	885-2 (320 x 240)	662°F	\$11,895									
E60 (320 x 240)	1202°F	\$7,995	TI-400 (320 x 240)	2192°F	\$8,495	885-1 (320 x 240)	662°F	\$9,195									
E50 (240 x 180)	1202°F	\$5,995	TI-300 (240 x 180)	1202°F	\$6,995.95	882 (320 x 240)	662°F	\$8,295									
E40 (160 x 120)	1202°F	\$3,995	TI-200 (200 x 150)	1202°F	\$6,299.95	875i-2DLX (160 x 120)	662°F	\$5,495									
E8 (320 x 240)	482°F	\$3,995	TI-125 (160 x 120)	662°F	\$5,499.95	875i-2 (160 x 120)	662°F	\$4,295									
E6 (160 x 120)	482°F	\$2,495	TI-110 (160 x 120)	482°F	\$4,499.95	875i-1 (160 x 120)	662°F	\$2,895									
E5 (120 x 90)	482°F	\$1,495	TI-105 (160 x 120)	482°F	\$2,999.95	870-2 (160 x 120)	536°F	\$3,010									
E4 (80 x 60)	482°F	\$995	TI-100 (160 x 120)	482°F	\$2,499.95	870-1 (160 x 120)	536°F	\$2,282									
FLIR Tools + Reporting Software		\$295	TI-95 (80 x 80)	482°F	\$1999.95	High Temp: 890-2 DLX /	2192°F	\$1619									
High Temp Option –T420/620		\$1760	TI-90 (80 x 60)	482°F	\$1499.95	890-2 / 885-2 DLX/ 885-2											

Slika 25. Usporedba komercijalnih IC kamera na tržištu, izvor [26]

Od 2014. godine termografija postaje opće dostupna zahvaljujući modelima koje su tvrtke FLIR, Thermal Seek i Therm App plasirale na tržište. U suštini radi se o trećoj generaciji termografskih kamera koja se razvija od 1995. godine [27]. Slika 26. prikazuje FLIR ONE nadogradnju na mobilni uređaj i FLIR TWO kameru namijenjenu prvenstveno za kvalitativnu termografsku analizu.



Slika 26. FLIR ONE i FLIR TWO

Termovizijsku nadogradnju, kao novost koja je obilježila 2014. godinu karakterizira pojava još dva manja proizvođača, Thermal Seek i Therm App, prikazanu na slici 27. Tijekom 2016. godine pojavio se prvi pametni telefon s IC kamerom rezolucije 80 x 60 piksela, aparat CAT S60, slika 29. Iskustva korisnika s prvim primjercima S60 nisu ugodna jer su zabilježene brojne nepravilnosti u radu programske podrške i slabo upravljanje baterijom.



Slika 27. Thermal Seek



Slika 28. Therm App



Slika 29. CAT S60

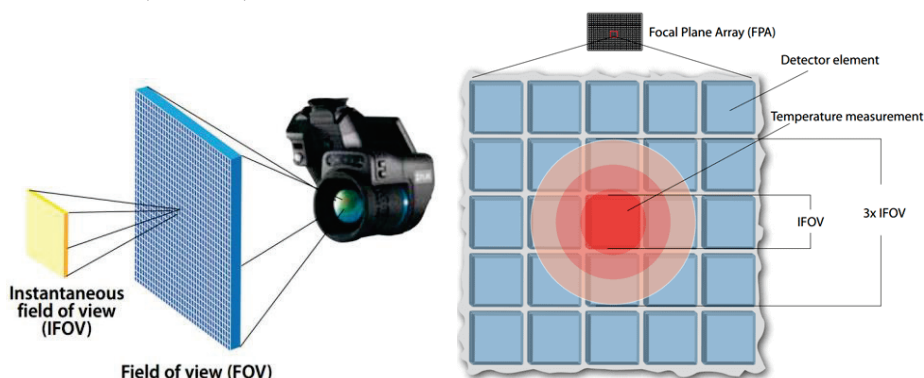
4. Karakteristike termografske kamere

Prilikom odabira infracrvene kamere mora se analizirati više tehničkih karakteristika:

- prostornu razlučivost
- temperaturno područje rada,
- razlučivost temperaturne razlike (Noise Equivalent Temperature Difference - NETD),
- brzina obnove slike (frekvencija) i
- točnost, [28].

Termogrami u radu snimljeni su termografskom kamerom rezolucije 160x120 piksela, vidnog polja $45^\circ \times 34^\circ$, temperaturnog opsega mjerenja od -20°C do 250°C , razlučivosti temperaturne razlike $<0,06^\circ\text{C}$, brzine osvježavanja 9 Hz i točnosti $\pm 2\%$ ili 2°C .

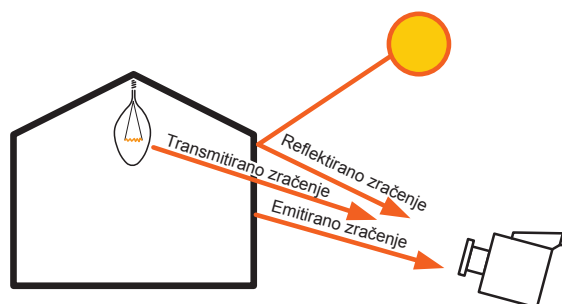
Iako rezolucija igra veliku ulogu prilikom odabira kamere vidimo da ona nije presudna jer prostorna razlučivost ovisi o FOV i IFOV, slika 30. FOV - Field of View ovisi o leći koja je ugrađena u kameru. Ako planiramo snimati dalekovode nužno je uzeti kameru s uskim kutem snimanja, a ako kameru planiramo koristiti u zgradarstvu trebamo široki kut snimanja. IFOV- Instantaneous Field of View ovisan je o rezoluciji jer govori o prostornom kutu pojedinog elementa osjetnika. Da bi mjerenje bilo točno slika objekt na osjetniku mora zauzeti površinu koja je najmanje veličine ili veća od jednog piksela osjetne mreže, slika 30. U slučaju naše kamere piksel bi na udaljenosti 1 m pokrio površinu širine 4,91 mm visine 4,95 mm, a kako bi mjerenje bilo "točno" analizirani predmet na udaljenosti 1 m treba biti veći od 9,82 x 9,9 mm.



Slika 30. FOV i IFOV, izvor [29]

Prilikom snimanja kamerom treba voditi računa da ona ne mjeri temperaturu već registrira zračenje na koje se referenciramo kao prividnu temperaturu. Razlog tome je što

registrirano zračenje ovisi o zračenju samog tijela, transmitiranom zračenju i reflektiranom zračenju, slika 31.

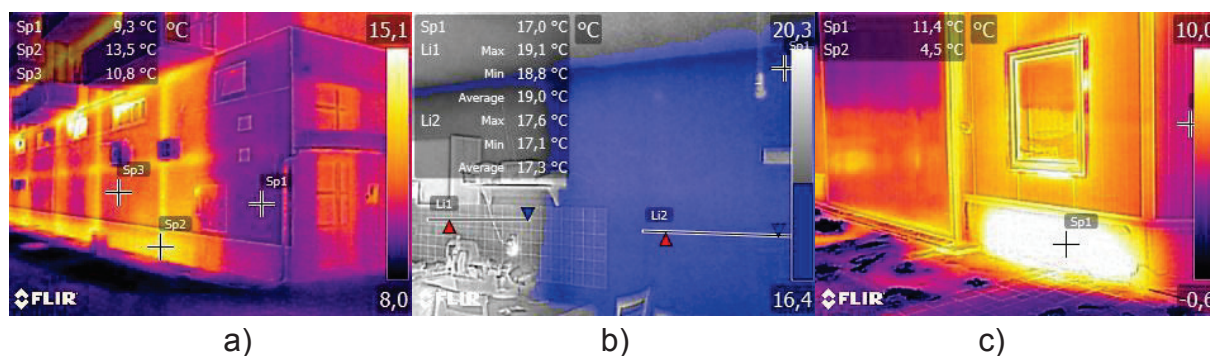


Slika 31. Prividna temperatura koju registrira infracrvena termografska kamera

Ako prilikom snimanja pogriješimo u postavkama parametra snimanja dobijamo termogram koji nije točan. Upotrebom programske podrške za analizu snimljenih termograma možemo izvršiti korekciju određenih parametara kako bi došli do točne vrijednosti temperature na površini objekta, poput: emisivnosti, reflektirane temperature, udaljenosti od objekta snimanja, vanjske atmosferske temperature, temperature optike i relativne vlažnosti. Ono što se ne može ispraviti često se spominje pod akronimom FoRD "Focus, Range and Distance". Ako objekt nije izoštren kamera će prikazati netočnu vrijednost prividne temperature. Ako je sniman objekt temperature 300°C s kamerom koja radi do 250°C očitana vrijednost prividne temperature neće biti točna. Ako smo se udaljili toliko da je promatrani objekt manji od IFOV prostora očitana vrijednost prividne temperature neće biti točna.

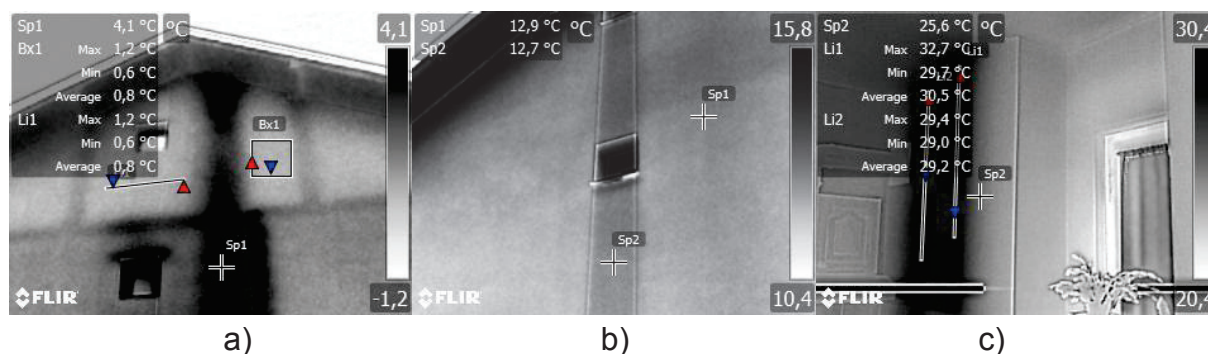
5. Primjena infracrvene termografije

Infracrvena termografija je primjenjiva u svim sferama ljudskog djelovanje jer predstavlja širi pogled na svijet i nepovratno mijenja poimanje prostora koji nas okružuje. **Primjena u građevinarstvu** vidljiva je slici 32 a koja prikazuje stambenu zgradu s poslovnim prostorima u prizemlju na kojoj se jasno vide serklaži i nosivi elementi konstrukcije kao i dio stubišta (donji desni kut objekta) koje nije grijani prostor. Na slici 32 b možemo uočiti plavim alarmom detektiran dio zid koji nije izoliran usprkos tvrdnjama izvođača radova. Na slici 32 c možemo uočiti smještaj radijatora i neizolirani dio parapeta vanjske ovojnice industrijska hale.



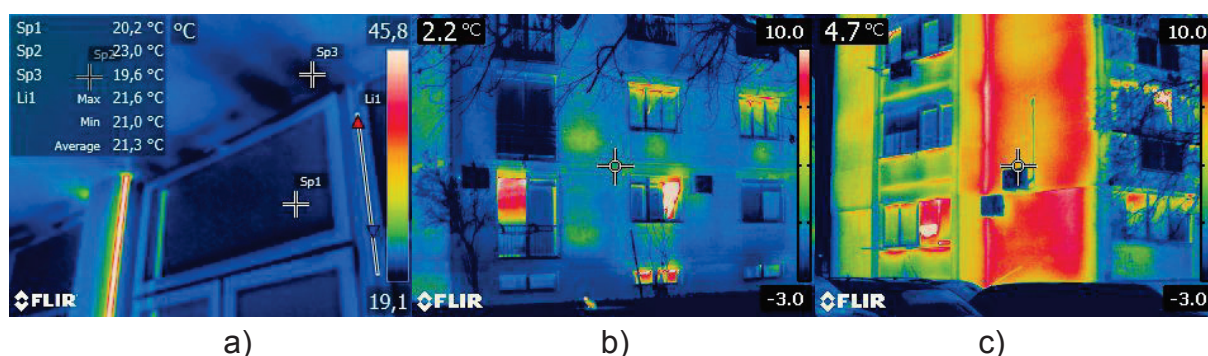
Slika 32. Termogrami zgrade

Postupak pasivne termografske analize objekata potrebno je provoditi u stacionarnom stanju, u okolini u kojoj se temperatura ne mijenja. Pri tome je neophodna temperaturna razlika od najmanje 10 °C između vanjske i unutarnje temperature kako bi se formirao toplinski tok. Slika 33 prikazuje objekt koji je prošao energetske obnovu. Na slici 33 a vidi se sjeverni dio pročelja prije obnove, a na slici 33 b nakon postavljanja ETICS sustava s 8 cm stiropora. Slika 33 c pokazuje smještaj dimnjaka i ventilacije kupaonice koji nakon obnove više nisu vidljivi s vanjske strane ovojnice.



Slika 33. Fasada prije i poslije energetske obnove

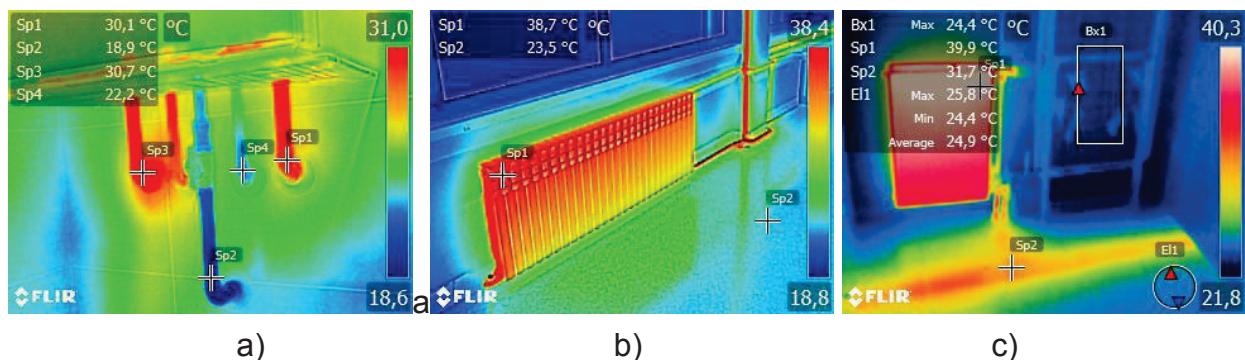
Slika 34 prikazuje termogram otvora na vanjskoj ovojnici. Na slici 34 a temperatura objekta je 23 °C, temperatura dijela stropa pod infiltracijom vanjskog zraka 19°C, a reflektirana temperatura od stakla 20°C, jer je staklo nepropusno za IC zračenje te je na njemu teško izmjeriti temperaturu. Toplinska refleksija najbolje je vidljiva na zrcalnoj slici cijevi centralnog grijanja koja se oslikava na površini stakla. Linijska analiza na PVC dijelu stolarije pokazuje prosječnu temperaturu od 21,3°C. Na slici 34 b vidimo otvorene prozore zgrade koja je spojena na gradsku toplanu. Slika 34 c prikazuje neizoliranu betonsku konstrukciju višestambenog objekta i otvorene prozore.



Slika 34. Termogram otvora vanjske ovojnice

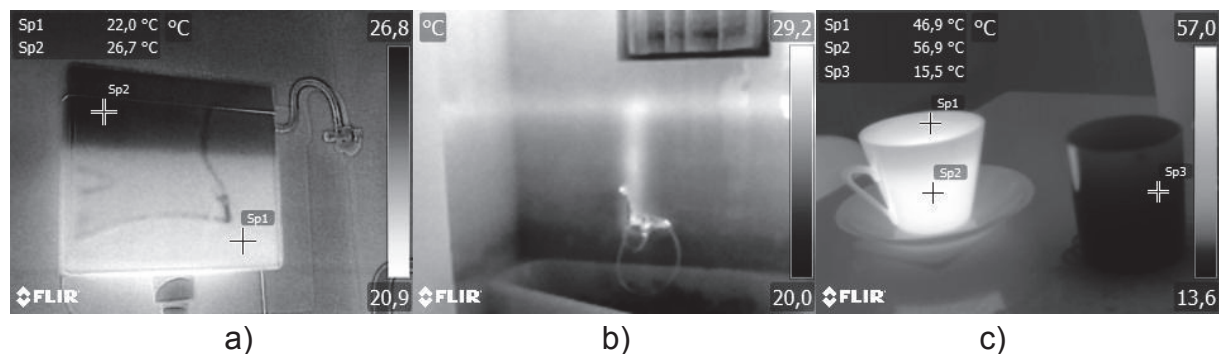
Primjena u strojarstvu vidljiva je na slici 35 a gdje su prikazani izvodi plinskog kombi bojlera i pripadajuće temperature pojedinih izvoda. Iz izmjerenih vrijednosti vidljivo je da je u trenutku snimanja bila aktivna potrošnja tople vode što je zaustavilo rad sustava grijanja. Iako je snimanje obavljeno korektno prostor točkastog mjerenja je mali što dovodi do greške prilikom mjerenja. Na slici 35 b možemo vidjeti sustav centralnog grijanja a iz

temperatura zaključiti da se radi o gradskoj toplani i da nema regulacije temperature. Na slici 35 c može se uočiti podni razvod grijanja i trasa na kojoj se nalazi cjevovod.



Slika 35. Termogrami sustava grijanja

Na slici 36 a vidljiva je količina vode u vodokotliću. Slika 36 b prikazuje toplinski trag razvoda tople vode ispod keramičkih pločica. Na slici 36 c vidljiva je količina kave i vode u čašama te njihove temperature.



Slika 36. Termogrami sustava dobave vode i detekcija nivo tekućine

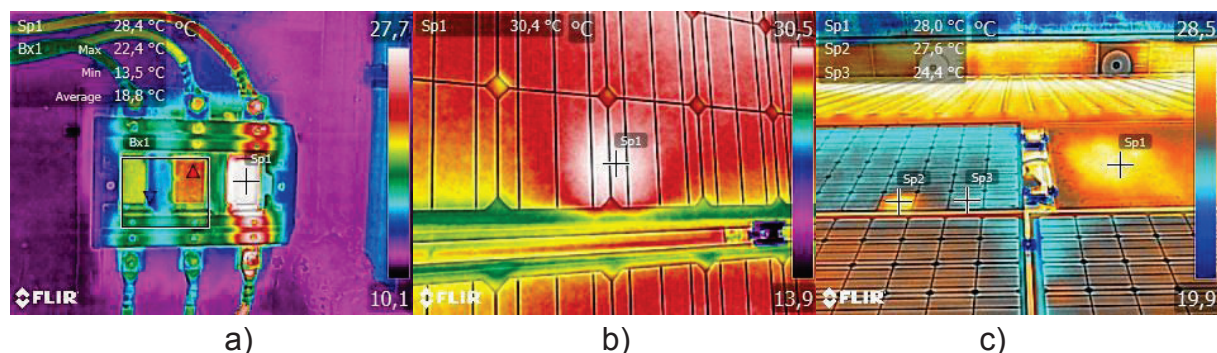
Područje elektrotehnike je relativno zahtjevno jer ne postoji jedinstveni tehnički standard procjene ispravnosti elektroenergetskih instalacija na osnovu termograma. Postoji više organizacija koje su tijekom godina razvile svoju metodologiju održavanja [29]. Iskustvena metoda preporučenog postupka u održavanju na osnovu razlike temperatura između sličnih komponenti sustava koje rade u sličnim uvjetima prikazana je tablicom 1.

Tablica 1. Iskustvena metoda u održavanju na osnovu razlike temperatura

Prioritet	Razlika temperatura sličnih komponenti, sličnog opterećenja	Preporučen postupak
1	> 40°C	Korektivne radnje poduzeti odmah
2	> 20 - 40°C	Korektivne radnje poduzeti što prije moguće

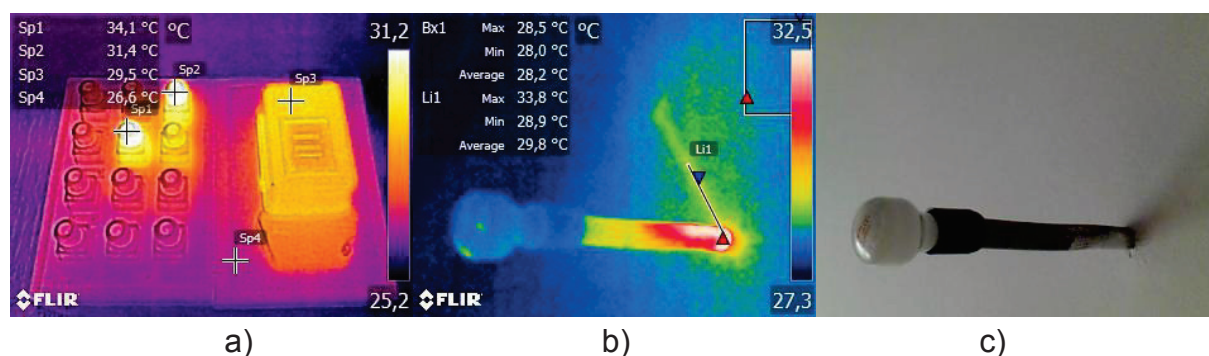
3	> 10- 20°C	Korektivne radnje poduzeti kada raspored dopusti
4	1 - 10°C	Korektivne radnje planirati u slijedećem planu održavanja

Na slici 37 a možemo vidjeti zagrijavanje HRC osigurača. Slika 37 b prikazuje smještaj spojne kutije fotonaponskog panela koja se očituje kao lokalno zagrijavanje. Slika 37 c prikazuje u točki Sp2 neispravan segment fotonaponskog panela.



Slika 37. Termogrami HRC osigurača i fotonaponskih panela

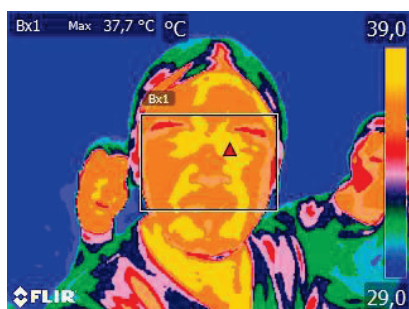
Termografija fonaponskih panela nije jednostavna jer je staklo nezahvalan materijal za termografiju i zbog toga je preporuka vršiti analizu sa stražnje strane panela koji karakterizira plastični pokrov, [3]. Na slici 38 a može se vidjeti još relativno prihvatljivo zagrijavanje klasičnih Siemensovih osigurača. Slika 38 b i 38 c prikazuju primjenu aktivne termografije. Toplinskom pobudom zagrijavan je prostor stropa kako bi se utvrdio položaj napojnog voda da prilikom bušenja rupa za armaturu svjetiljke ne dođe do oštećenja napojnog voda.



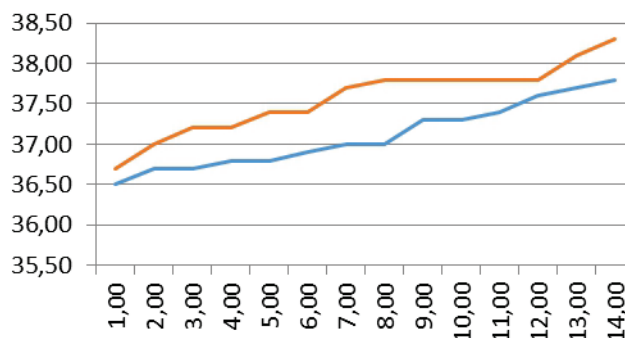
Slika 38. Termogrami Siemens osigurača i određivanje položaja vodiča

Na slici 39 možemo uočiti lice na kojem je izmjerena temperatura. Mjerenje temperature osobe provodi se s emisivnošću 0,98 u slučaju tamne kože ili 0,97 u slučaju svjetlije kože na prostoru oka gdje je oko spojeno suznim kanalom. Slika 40 predstavlja grafičku interpretaciju mjerenja temperature provedene na petnaest osoba. Crvenom bojom označeni su rezultati mjerenja na grupi ljudi u 2016. godini, a plavom bojom rezultati mjerenja na drugoj skupini u 2015. godini. Prosjek temperature je 37,34 °C pri čemu je

izmjerena minimalna vrijednost 36,50 °C, a maksimalna 38,30°C. **Termografija u medicini** je izrazito korisna i primjenjiva jer se karcinom dojke može uočiti veća nakon dvije godine od nastanka dok mamografiji treba od pet do osam godina.

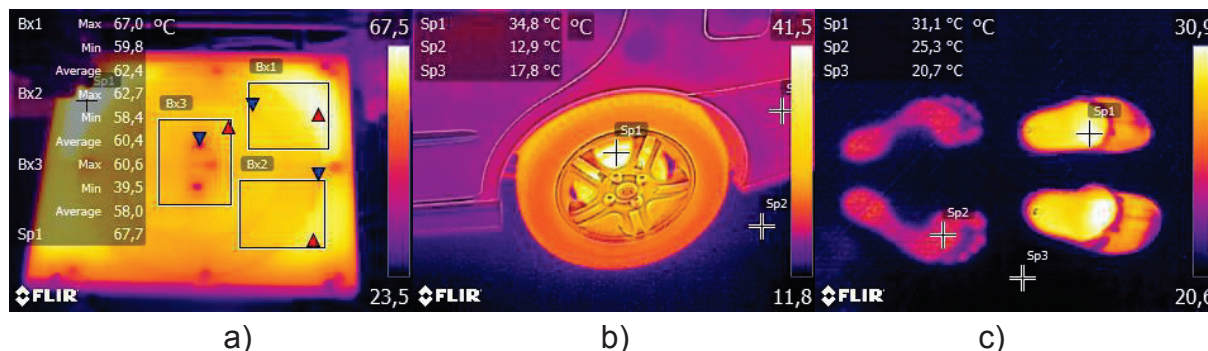


Slika 39. Analiza temperature osobe



Slika 40. Analiza temperature 15 osoba

Istraživanje i razvoj predstavlja izrazito područje na kojem termografska oprema dolazi do izražaja. Na slici 41 a može se vidjeti bazna ploča 3D printera za koju je iznimno važno da bude homogene temperature kako bi ispis bio kvalitetan. Na slici 41 b možemo vidjeti navike vozača kroz upotrebu kočionog sustava ili donijeti zaključke kada je automobil vožen. Isto tako na slici 41 c jasno je vidljiv vremenski trag kada je netko od ukućana napustio prostor.



Slika 41. Termogrami 3D printera, automobila i kućnih papuča

6. Zaključak

Infracrvena termografija je bezkontaktna metoda određivanja distribucije temperature na površini promatranog objekta mjerenjem intenziteta zračenja u IC području elektromagnetskog spektra. Termografija u pogledu informacije koju pruža dijelimo na kvalitativnu i kvantitativnu, a s aspekta pobude na pasivnu i aktivnu. Postupak termografske analize objekata moguć je samo ako su predmeti duže vrijeme u stacionarnom stanju. U analizi građevina neophodna je temperaturna razlika od najmanje 10 °C. Toplinsko zračenje je jedan od oblika elektromagnetskog zračenja (EM) i ne iziskuje medij za propagaciju prostorom. Termografija u skladu s ISO 20473 vrši analizu zračenja u tri područja, ali najčešće se podjela vrši u pet područja. Teorijska osnova infracrvene

termografije je Planckov zakon o zračenju crnog tijela. Prilikom upotrebe kamere mora se voditi računa o emisivnosti materijala i da se emisivnost mijenja s valnom dužinom na kojoj se promatra zračenje ali i ovisno je o temperaturi tijela. Povijest termografije obilježile su mnogobrojne inovacije i tehnička rješenja. Sama kamera je u trećoj generaciji razvoja. Cijena proizvodnje senzora pada, ali raste rezolucija komercijalno dostupnih rješenja. Od 2014. godine pojavom malih jeftinih kamera termografija postaje opće dostupna. Neovisno o tome profesionalnu opremu nije moguće zamijeniti. Najvažnija stvar u termografiji je edukacija. Bez kontinuirane edukacije nije moguće provesti snimanje, kvantitativnu analizu termograma niti tumačenje snimljenog materijala. Za osobu koja se posveti termografiji nije dovoljna samo edukacija na području termografije već mora kontinuirano proučavati i tehničke sustave na kojim se provodi termografska analiza.

7. Literatura

- [1] H. Glavaš, D. Vidaković, T. Barić, "Finding openings with the use of infrared thermography" Proceedings of technical and scientific conference with international participation SFERA 2015 Design and technologies of architectural openings, pp. 93-97, Mostar, 12-13.11.2015 Bosnia and Herzegovina
- [2] H. Glavaš, A. Kvaček, D. Muštran, "Gas Detection Thermography", V International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection 2015 (IIZS 2015), October 15th -16th, 2015, Zrenjanin, Serbia
- [3] Hrvoje Glavaš, Marko Vukobratović, Mario Primorac, Daniel Muštran: "Infrared Thermography in Inspection of Photovoltaic Panels", International Conference on Smart Systems and Technologies, (rad u postupku) SST 2017.
- [4] Marija Engelman, "Zračenje topline i tehničke primjene", Završni rad, mentor doc.dr.sc. Tomislav Barić, sumentor dr.sc. Hrvoje Glavaš, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2012.
- [5] F. Kreith, R.F. Boehm, et. al.: "Heat and Mass Transfer" Mechanical Engineering Handbook, CRC Press LLC, 1999.
- [6] William Herschel: "Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun" Philosophical Transactions of the Royal Society of London Vol. 90, pp. 284-292, 1800.
- [7] E.Scott Barr: "The infrared pioneers – II. Macedonio Melloni", Infrared Physics, Vol. 2, pp. 67–73, Pergamon Press, 1962.
- [8] G. W. A. Dummer, J. Mackenzie Robertson: "Medical electronic laboratory equipment, 1967-68." Pergamon Press 1967.
- [9] E. F. J. Ring, "The historical development of thermometry and thermal imaging in medicine" Journal of Medical Engineering & Technology, Vol. 30, No. 4, July/August, 192 – 198, 2006.
- [10] D.J. Lovell: "Cashman Thallous Sulfide Cell" Applied Optics, Vol. 10, Issue 5, pp. 1003-1008, May 1971.

- [11] Massopust, L. C. "Infrared Photographic Study of the Superficial Veins of the Thorax in Relation to Breast Tumours. " Surgery, Gynaecology and Obstetrics, 8j6, 54-58, 1948.
- [12] Robin Williams, Gigi Williams: "Pioneers of Invisible Radiation Photography" web page http://medicalphotography.com.au/Article_04/08.html
- [13] Priego Quesada, Jose Ignacio (Ed.): "Application of Infrared Thermography in Sports Science" Springer International Publishing AG 2017.
- [14] C. Maxwell Cade: " The industrial potential of the <heat camera>" New Scientist broj. 400, 16. srpanj 1964.
- [15] Mary Diakides, Joseph D. Bronzino, Donald R. Peterson: "Medical Infrared Imaging Principles and Practices" CRC Press 2013
- [16] Clifton Warren, Larry Lepley: "Comparison of the AGA and Bofors Infrared Scanner in Aerial Geophysical Exploration" Water resources Research Center University of Hawaii, 1969.
- [17] Ed Kochanek: "Thermal Imaging from the Beginning of the Thermographer's Camera to the Present" FLIR Systems, Inc., <http://www.irinfo.org/12-1-2013-kochanek>
- [18] <http://www.aga-museum.nl/page/thermovision>
- [19] <http://www.flir.com/legacy/view/?id=51539>
- [20] <http://www.infraredtraining.com/community/boards/thread/3224>
- [21] Andy Thé, David Bursell: "Thermal Analysis with FLIR Cameras and MATLAB" The MathWorks, Inc. 2014.
- [22] Antoni Rogalski: "Infrared detectors, 2nd ed." CRC Press 2011.
- [23] Antoni Rogalski: "History of infrared detectors" Opto-Electron. Rev., 20, no. 3, 279–308, 2012. DOI: 10.2478/s11772-012-0037-7
- [24] C. Corsi: "New frontiers for infrared" Opto-Electron. Rev., 23, no. 1, 2015, DOI: 10.1515/oere-2015-0015
- [25] Angelo Scotty Gilmore, Stefan Baur, James Bangs: "High-Definition Infrared Focal Plane Arrays Enhance and Simplify Space Surveillance Sensors" Raytheon Technology Today, issue 1, 2008.
- [26] Featured products <http://www.tomwblack.com>
- [27] Hrvoje Glavaš, Tomislav Barić, Anita Kvaček: "Termovizija u održavanju elektroenergetskih instalacija", 24. međunarodni znanstveno-stručni skup Organizacija i tehnologija održavanja OTO'2015, Donji Miholjac, Hrvatska, 2015.
- [28] M. Andrassy, I. Boras, S. Švaić: "Osnove termografije s primjenom", Kigen, Zagreb, 2008.
- [29] H. Glavaš, L. Józsa, T. Barić, "Infrared Thermography in Energy Audit of Electrical Installations", Technical Gazette, 23, 5, 1533-1539, 2016. DOI: 10.17559/TV-20150702185559
- [30] FLIR: "Temperature Guns Versus Thermal Imaging Technology", November 5, 2015