

MAŠINSKI FAKULTET PODGORICA
UNIVERZITET CRNE GORE

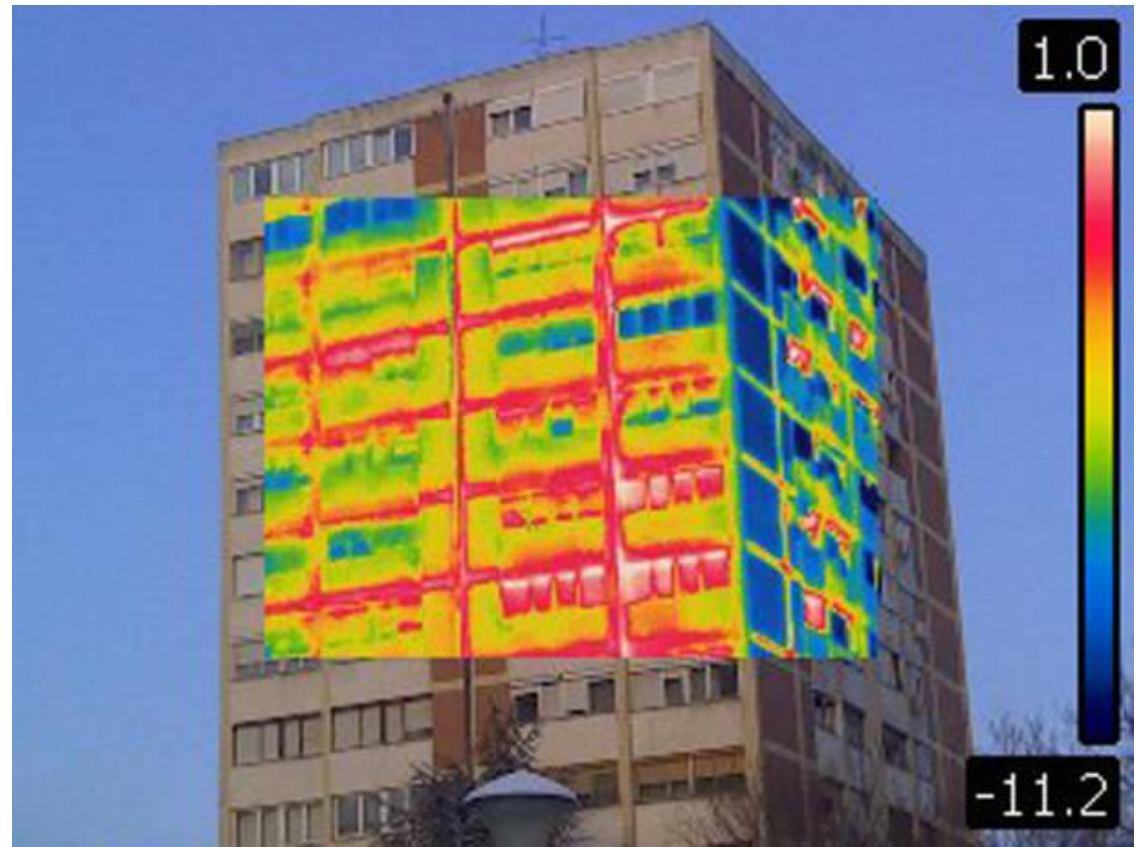
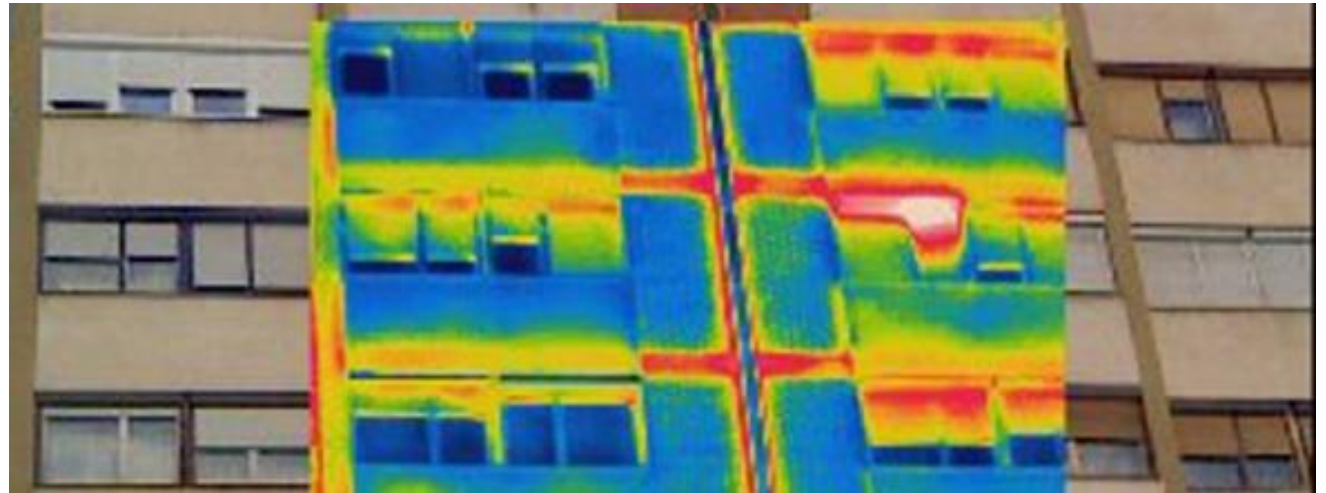
TERMOGRAFIJA

Mjerenje temperature IC kamerom

Prof. dr Milan Šekularac, dipl.maš.ing.

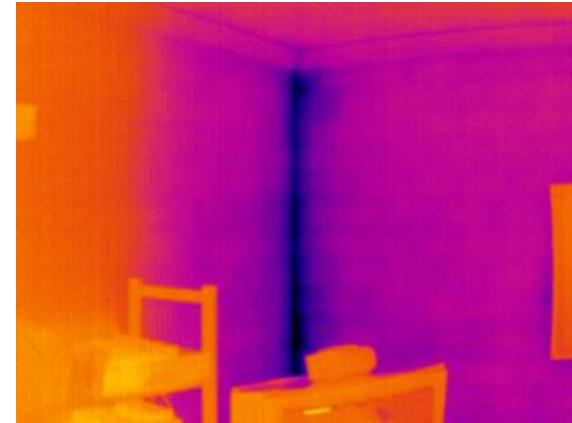
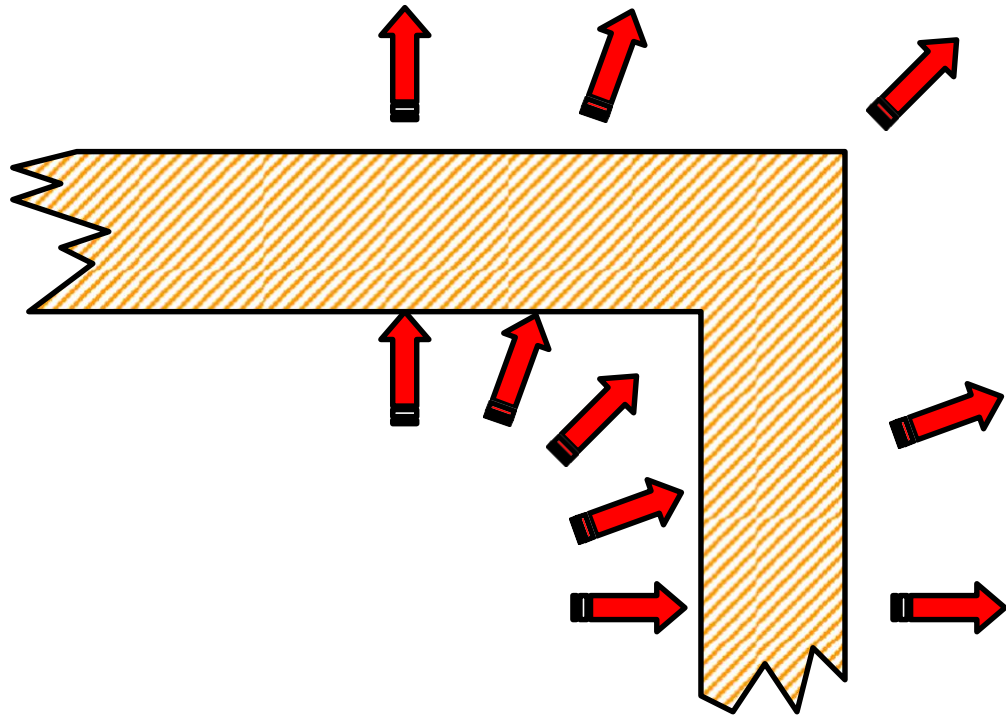
Za koju svrhu nam treba IC kamera..???

1. EE zgrada & KGH



EE zgrada & KGH:

Transmisija toplote - toplotni mostovi kod omotača zgrada...

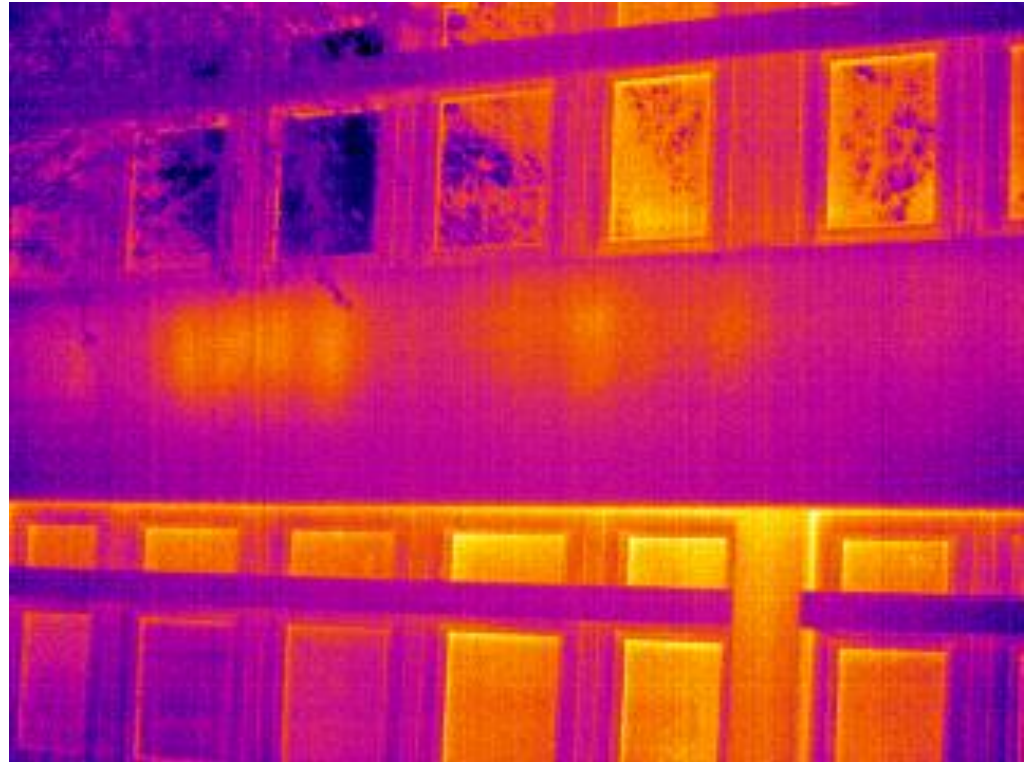
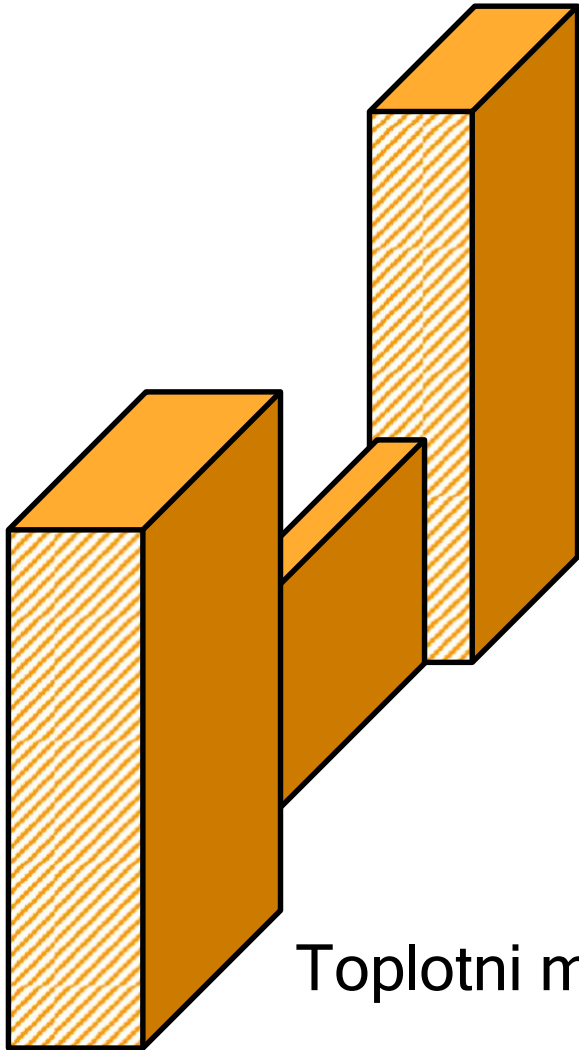


→ Toplotni most usljed geometrije

Dijagnostika opreme



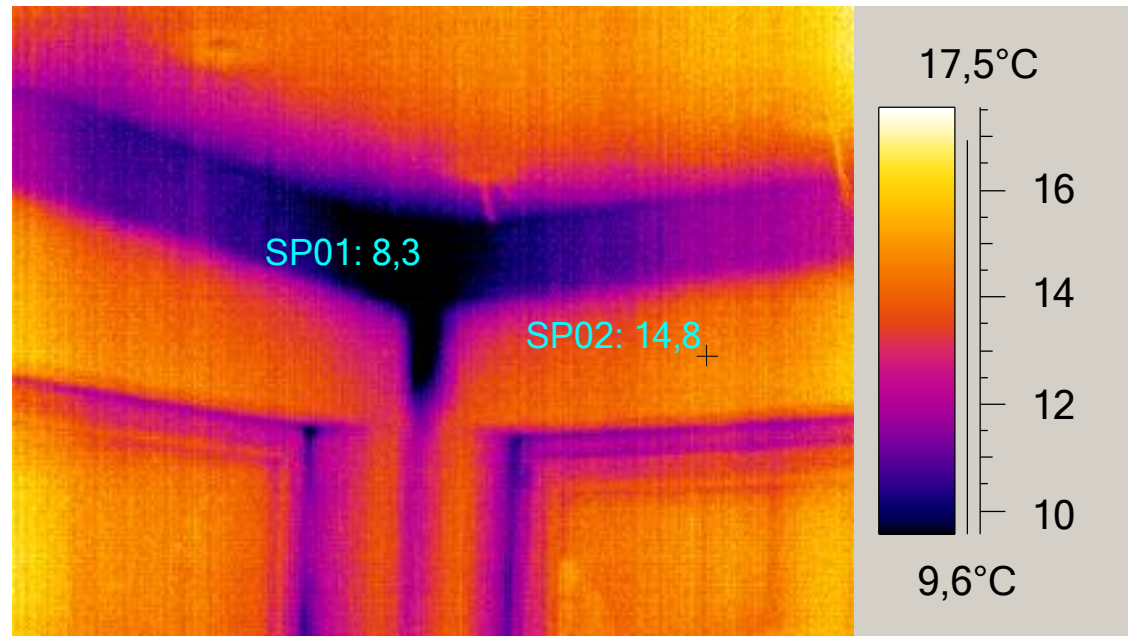
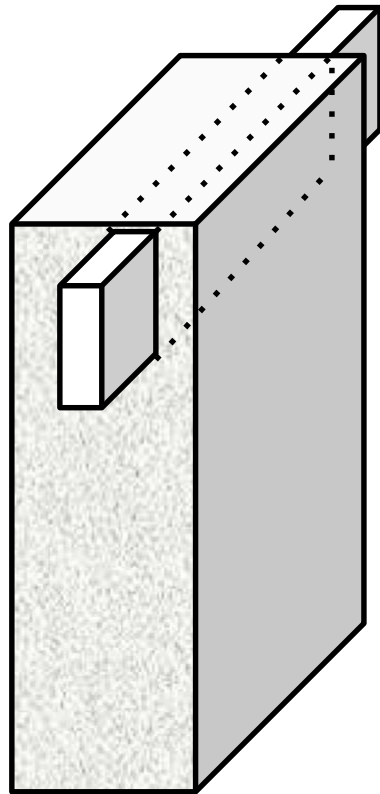
Toplotni mostovi...



Toplotni most kao posledica konstrukcije

Primjer parapeta

Toplotni mostovi...



Toplotni mostovi usljed konstrukcije
Primjer čeličnih greda

Pojmovi iz fizike termalnog zračenja

ZRAČENJE CRNOG TIJELA

- Različita tijela emituju termalno zračenje različitim intenzitetom po jedinici površine
- **Crno tijelo** emituje *maksimalnim* mogućim intenzitetom kojim može emitovati termalno zračenje površina date temperature.
- To je *idealizovano tijelo* koje služi kao referentna vrijednost na osnovu koje se termička svojstva stvarnih površina u pogledu razmjene toplote zračenjem mogu upoređivati.
- Crno tijelo je *savršeni emitter i apsorber termalnog zračenja*.
- Crno tijelo apsorbuje *svo* upadno zračenje, nezavisno od njegovog pravca i talasne dužine.

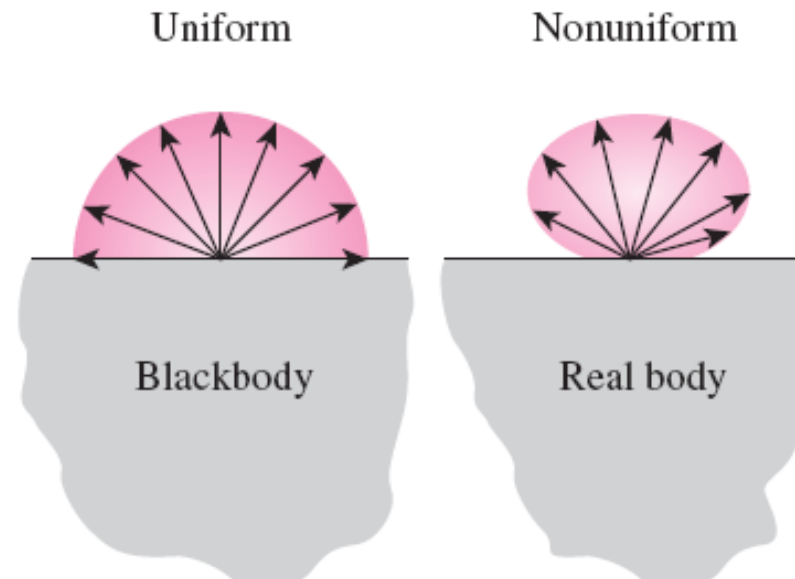
Energija termalnog zračenja crnog tijela:

$$E_b(T) = \sigma T^4 \quad (\text{W/m}^2)$$

Emisiona moć crnog tijela

$$\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Stefan–Boltzmann konstanta



Crno tijelo je difuzni emitter jer emituje zračenje uniformno u svim pravcima

Stvarno tijelo ima raspodjelu intenziteta emisije zračenja u funkciji od pravca

Spektralna emisiona moć crnog tijela:

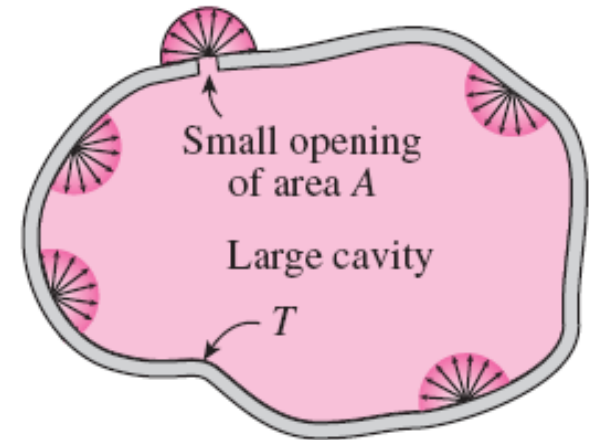
To je količina termalnog zračenja emitovanog sa površine crnog tijela temperature T u jedinici vremena, po jedinici površine i po jedinici talasne dužine u okolini talasne dužine λ .

$$E_{b\lambda}(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]}$$

$$C_1 = 2\pi hc_0^2 = 3.74177 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4/\text{m}^2$$

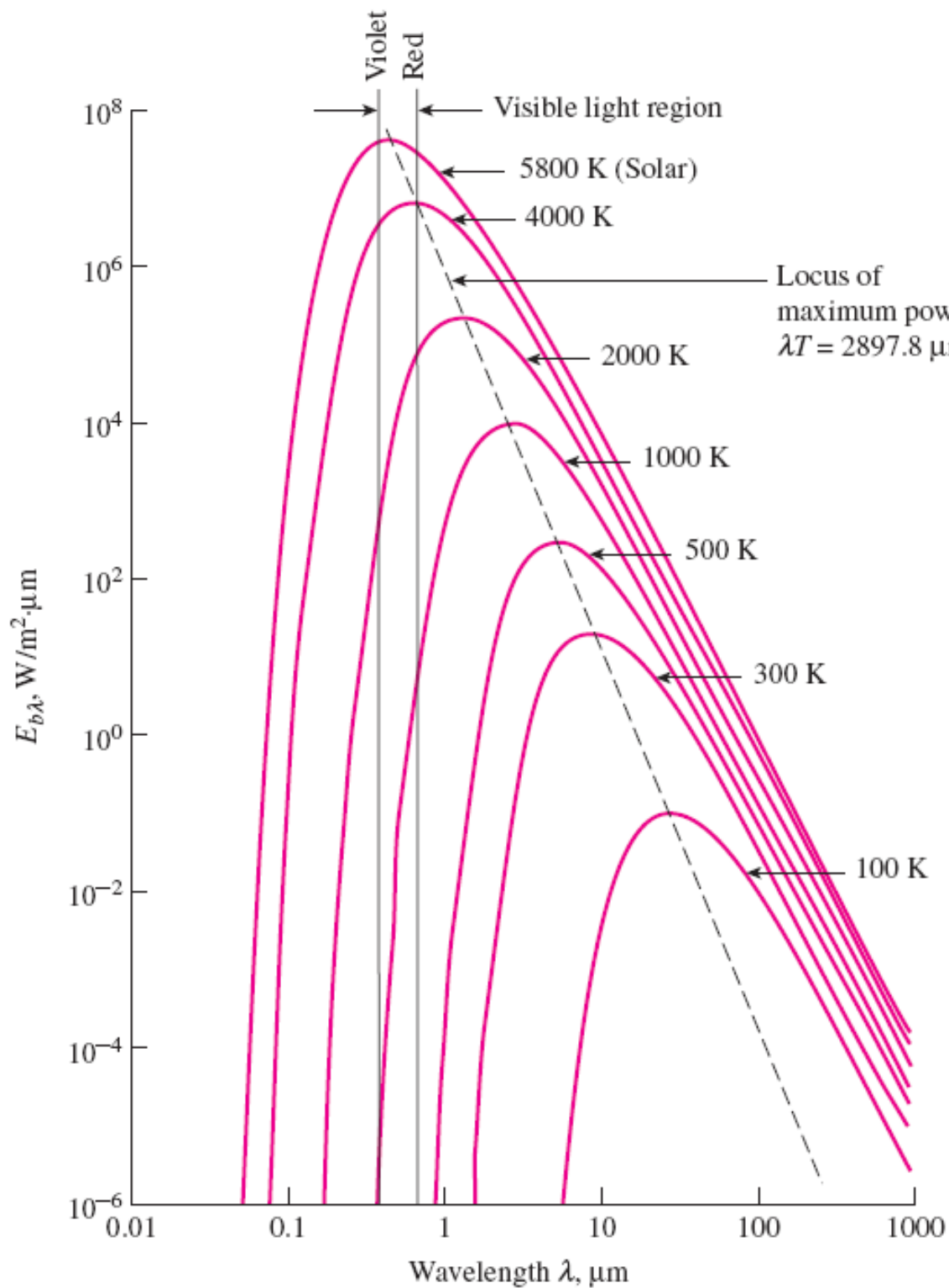
$$C_2 = hc_0/k = 1.43878 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

$$k = 1.38065 \times 10^{-23} \text{ J/K} \text{ Boltzmann's konstanta}$$



Velika izotermna šupljina na temperaturi T , sa malim otvorom površine A , blisko aproksimira crno tijelo površine A na istoj temperature

(W/m² · μm) Plankov zakon



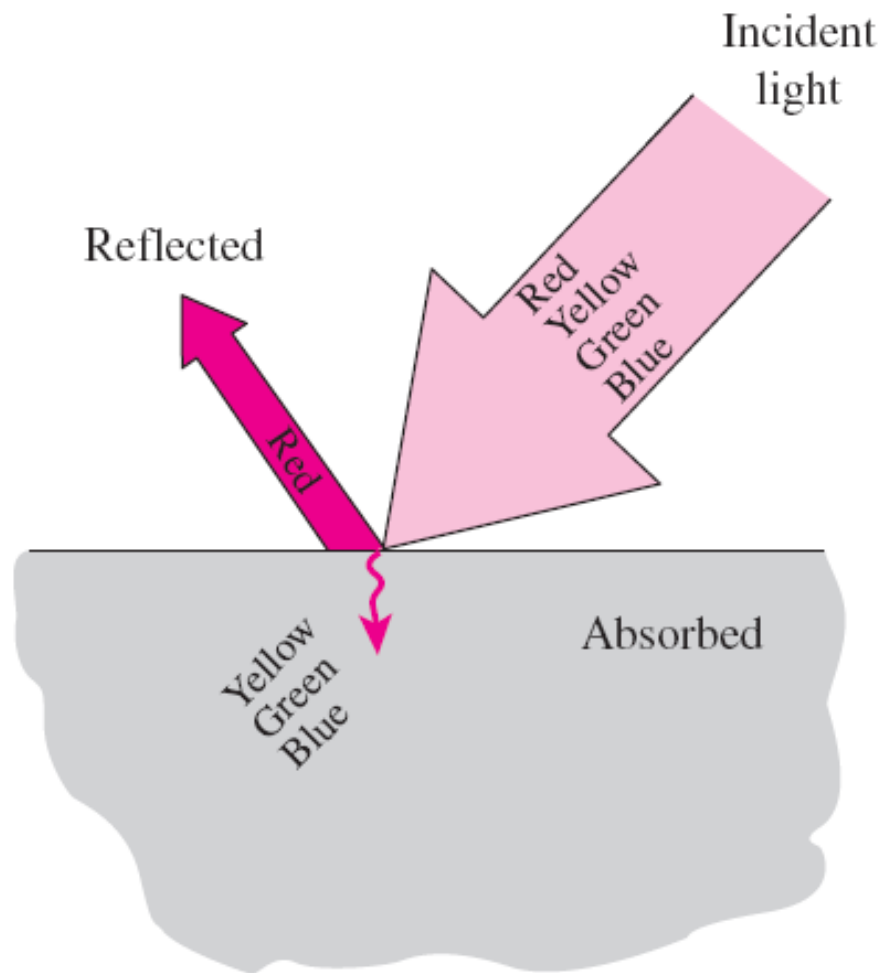
Talasna dužina na kojoj se javlja maksimum spektralne emisije moći definisana je tzv. **Wien-ovim zakonom pomjeranja**:

$$(\lambda T)_{\text{max power}} = 2897.8 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

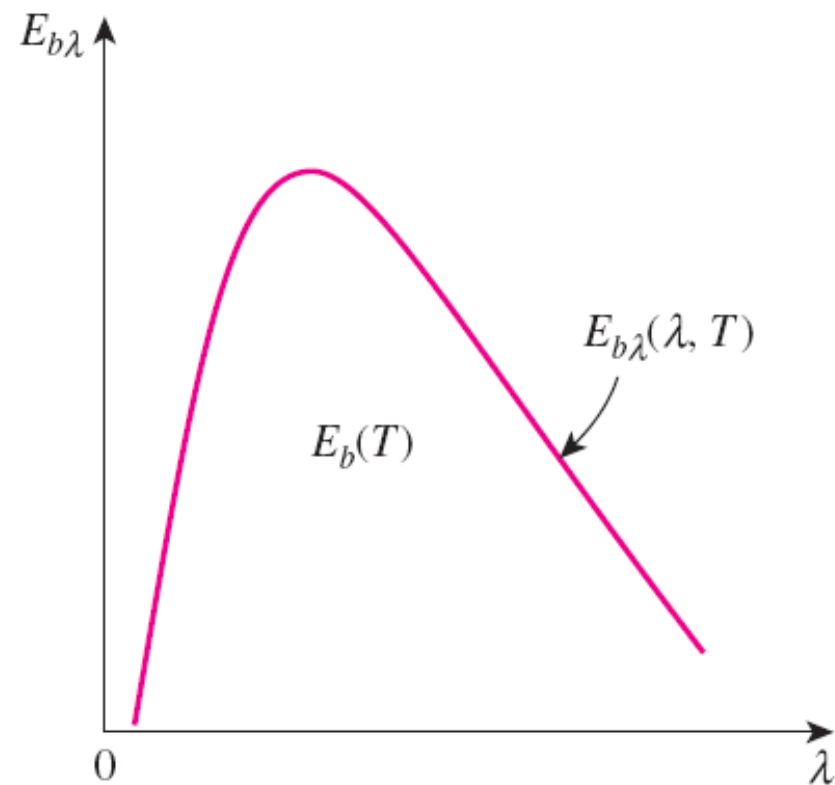
Zapažanja sa prethodne slike

- Emitovano zračenje je kontinualna funkcija *talasne dužine*. Pri bilo kojoj zadatoj temperature T , ono raste sa porastom talasne dužine, dostiže lokalni maksimum, a zatim opada sa daljim porastom talasne dužine
- Pri bilo kojoj zadatoj talasnoj dužini, intenzitet emitovanog zračenja *raste* sa porastom temperature.
- Sa porastom temperature, kriva emitovanog zračenja pomjera se u lijevo u smjeru kraćih talasnih dužina. Shodno tome, veći dio zračenja biva emitovan pri *kraćim talasnim dužinama* na višim temperaturama.
- Zračenje emitovano od *Sunca*, za koje se smatra da je crno tijelo temperature 5780 K (cca 5800 K), dostiže maksimum u vidljivom dijelu spektra. Drugim riječima, Sunce je 'usklađeno' s našim očima.
- S druge strane, površine na $T < 800 \text{ K}$ emituju gotovo u potpunosti u infracrvenom dijelu spektra te samim tim nisu vidljive za naše oči, osim kada reflektuju svjetlo poteklo od drugih izvora.

$$E_b(T) = \int_0^{\infty} E_{b\lambda}(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4 \quad (\text{W/m}^2)$$



Površina koja reflektuje crveno apsorbujući ostatak spektra upadnog svjetla, ljudskom oku izgleda crvena



Na dijagramu spektralne emisije moći, površina ispod krive za određenu temperaturu tijela, predstavlja ukupnu emitovanu energiju crnog tijela te temperature

TERMORADIJATIVNA SVOJSTVA

Većina materijala koji se srijeću u praksi, kao što su metali, drvo, cigla, su *neprovidni* za termalno zračenje, te se zračenje može smatrati da je *površinski fenomen* za takve materijale.

Zračenje kroz *poluprovidne* materijale kao što su staklo ili voda se ne može smatrati da je površinski fenomen jer zapremina materijala (supstance) u cjelini interaguje sa zračenjem.

Crno tijelo služi kao pogodan *reper* u opisu emisionih i apsorpcionih svojstava realnih površina materijala.

Emisivnost

- **Emisivnost:** *Odnos zračenja koje emituje površina date temperature spram zračenja koje emituje crno tijelo iste temperature* $0 \leq \varepsilon \leq 1$.
- Emisivnost je mjera koliko blizu data površina odstupa od crnog tijela ($\varepsilon = 1$).
- Emisivnost stvarnih površina zavisi od *temperature* površine kao i od *talasne dužine* ali i *pravca pružanja* emitovanog zračenja.
- Emisivnost površine pri određenoj talasnoj dužini zračenja je tzv. *spektralna emisivnost* ε_λ . Emisivnost u određenom pravcu *emisivnost po pravcu* ε_θ gdje je sa θ ugao između pravca o kojem je riječ i normalne na predmetnu površ.

$$\varepsilon_{\lambda, \theta}(\lambda, \theta, \phi, T) = \frac{I_{\lambda, e}(\lambda, \theta, \phi, T)}{I_{b\lambda}(\lambda, T)}$$

**Spektralna
emisivnost
po pravcu**

$$\varepsilon_{\theta}(\theta, \phi, T) = \frac{I_e(\theta, \phi, T)}{I_b(T)}$$

**Ukupna
emisivnost po
pravcu**

$$\varepsilon_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{E_{\lambda}(\lambda, T)}{E_{b\lambda}(\lambda, T)}$$

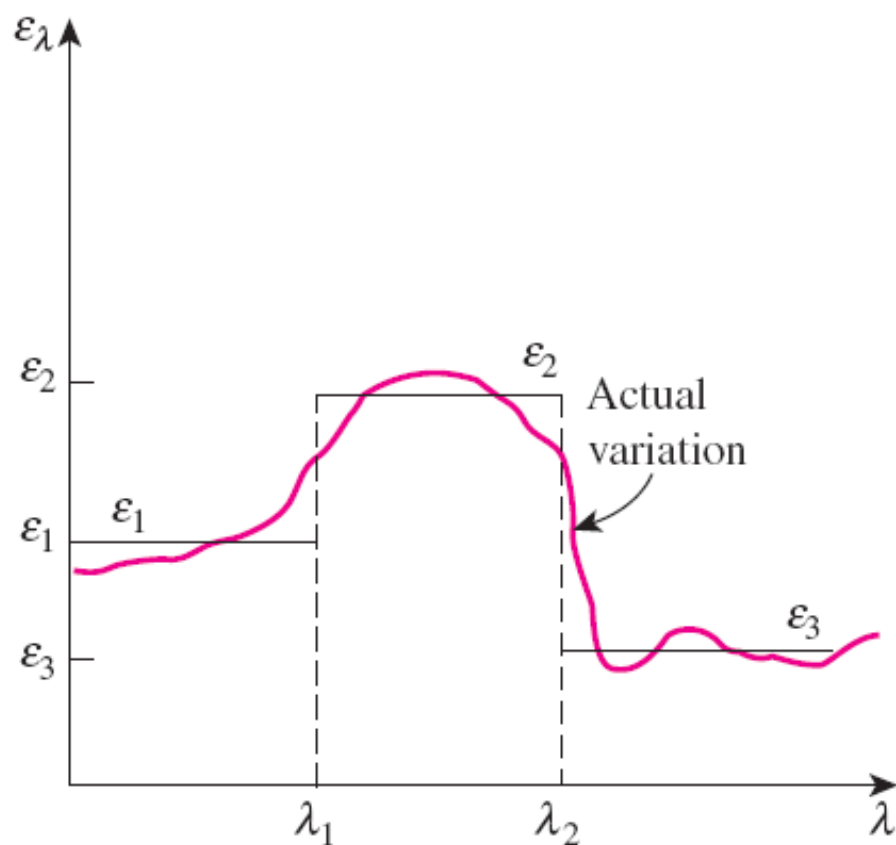
**Spektralna
emisivnost nad
hemisferom**

$$\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_b(T)}$$

**Ukupna
emisivnost nad
hemisferom**

$$\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_b(T)} = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda}(\lambda, T) E_{b\lambda}(\lambda, T) d\lambda}{\sigma T^4}$$

Odnos između ukupne energije emitovane sa površi i energije koju emituje crno tijelo iste površine i iste temperature



$$\varepsilon_\lambda = \begin{cases} \varepsilon_1 = \text{constant}, & 0 \leq \lambda < \lambda_1 \\ \varepsilon_2 = \text{constant}, & \lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2 \\ \varepsilon_3 = \text{constant}, & \lambda_2 \leq \lambda < \infty \end{cases}$$

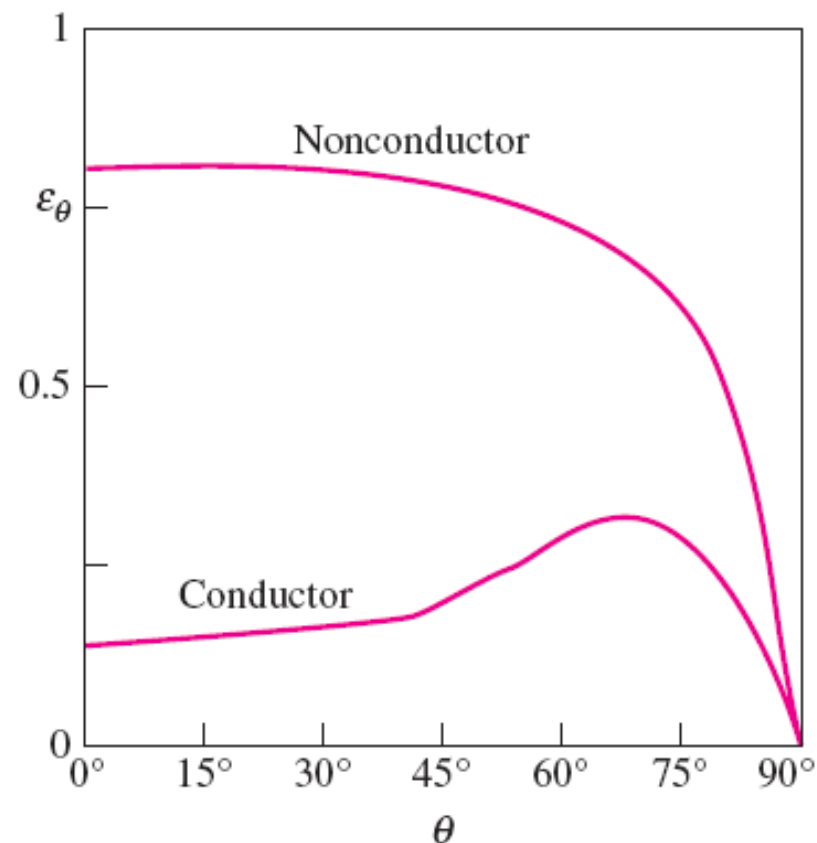
$$\begin{aligned} \varepsilon(T) &= \frac{\varepsilon_1 \int_0^{\lambda_1} E_{b\lambda} d\lambda}{E_b} + \frac{\varepsilon_2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{b\lambda} d\lambda}{E_b} + \frac{\varepsilon_3 \int_{\lambda_2}^{\infty} E_{b\lambda} d\lambda}{E_b} \\ &= \varepsilon_1 f_{0-\lambda_1}(T) + \varepsilon_2 f_{\lambda_1-\lambda_2}(T) + \varepsilon_3 f_{\lambda_2-\infty}(T) \end{aligned}$$

Aproksimacija stvarne zavisnosti emisivnosti od talasne dužine, stepenastom funkcijom

Za površinu se kaže da je **difuzni** (emiter) ako su njene termoradijativne osobine **nezavisne od pravca**, a da je **siva** ako njene termoradijativne osobine su nezavisne od talasne dužine.

Siva i **difuzna** su aproksimacije koje se najčešće koriste u praksi u svrhu inženjerskih proračuna.

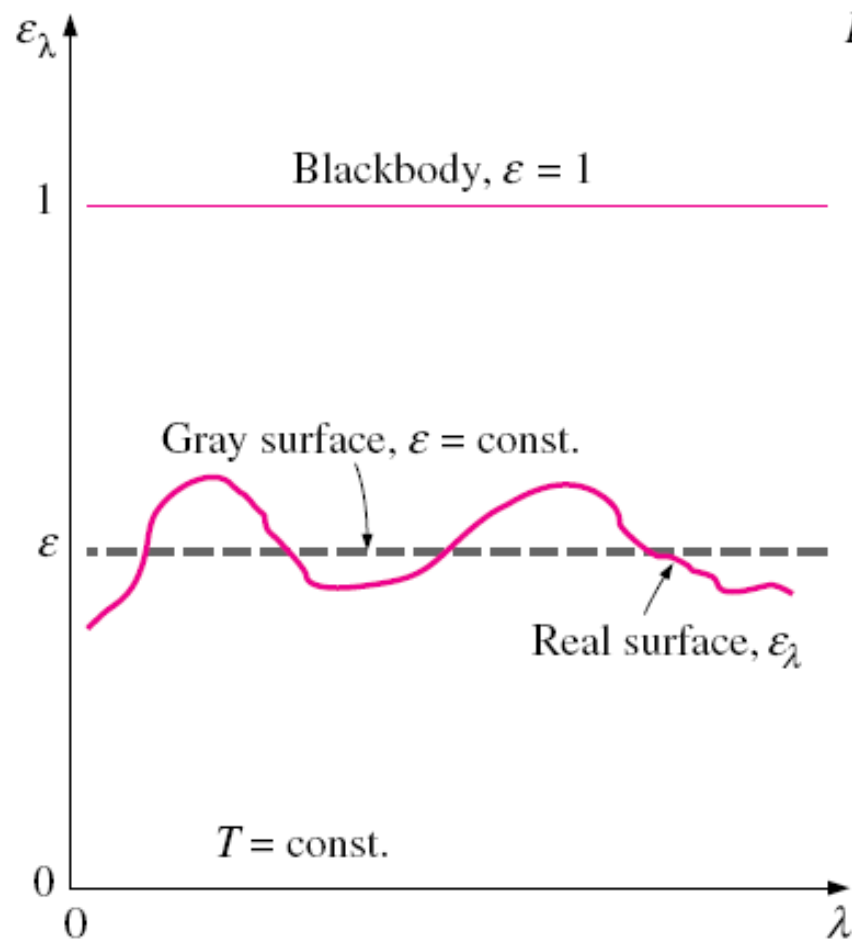
<i>Real surface:</i>	$\varepsilon_{\theta} \neq \text{constant}$ $\varepsilon_{\lambda} \neq \text{constant}$
<i>Diffuse surface:</i>	$\varepsilon_{\theta} = \text{constant}$
<i>Gray surface:</i>	$\varepsilon_{\lambda} = \text{constant}$
<i>Diffuse, gray surface:</i>	$\varepsilon = \varepsilon_{\lambda} = \varepsilon_{\theta} = \text{constant}$



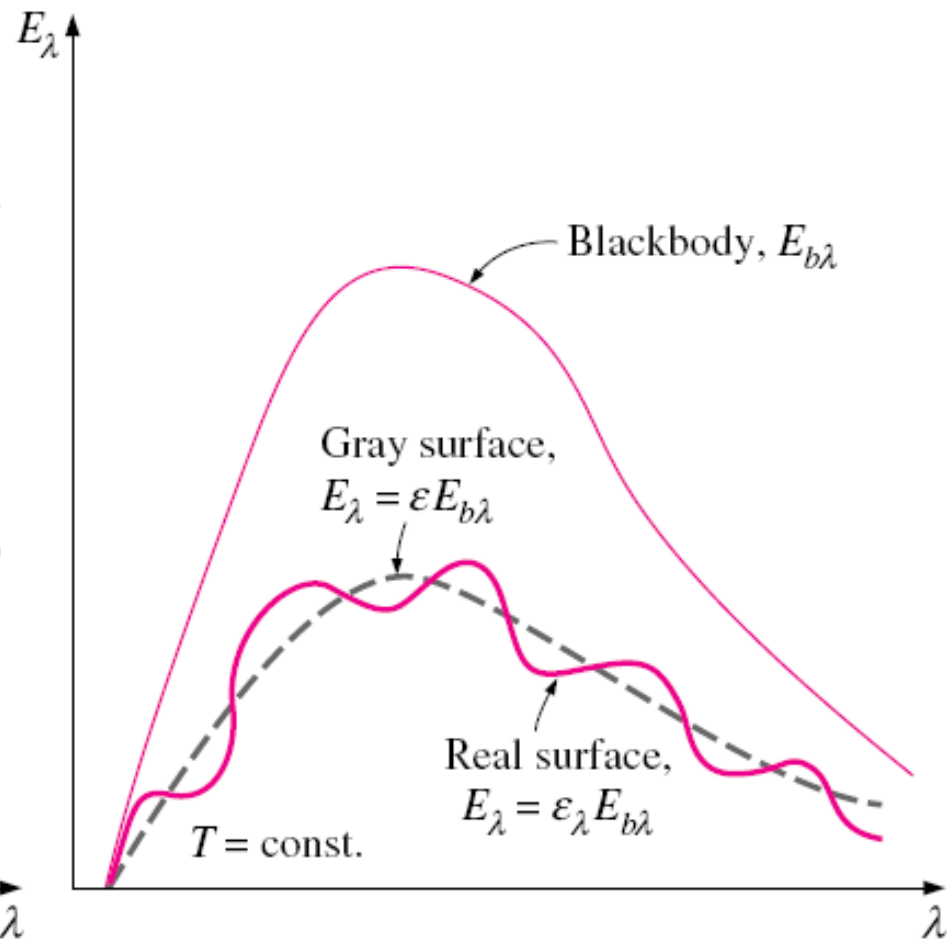
θ je ugao mjeran od normale na površinu

Efekte difuzne i sive aproksimacije na emisivnost površine

Tipične zavisnosti emisivnosti pravca za električne provodnike i za izolatore

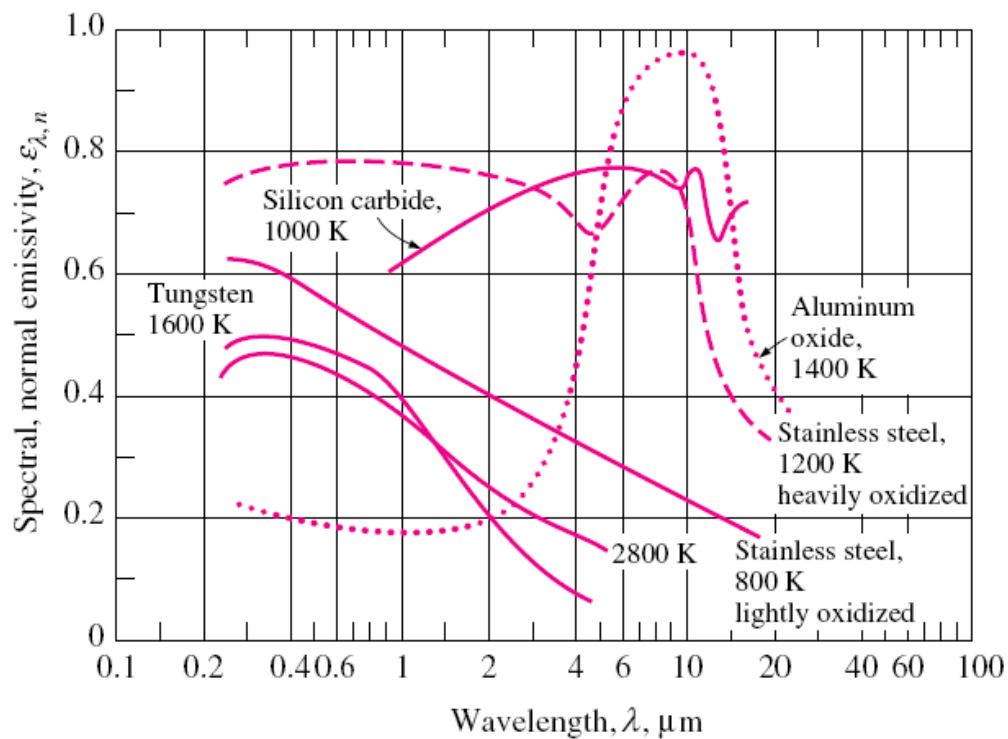


(a)

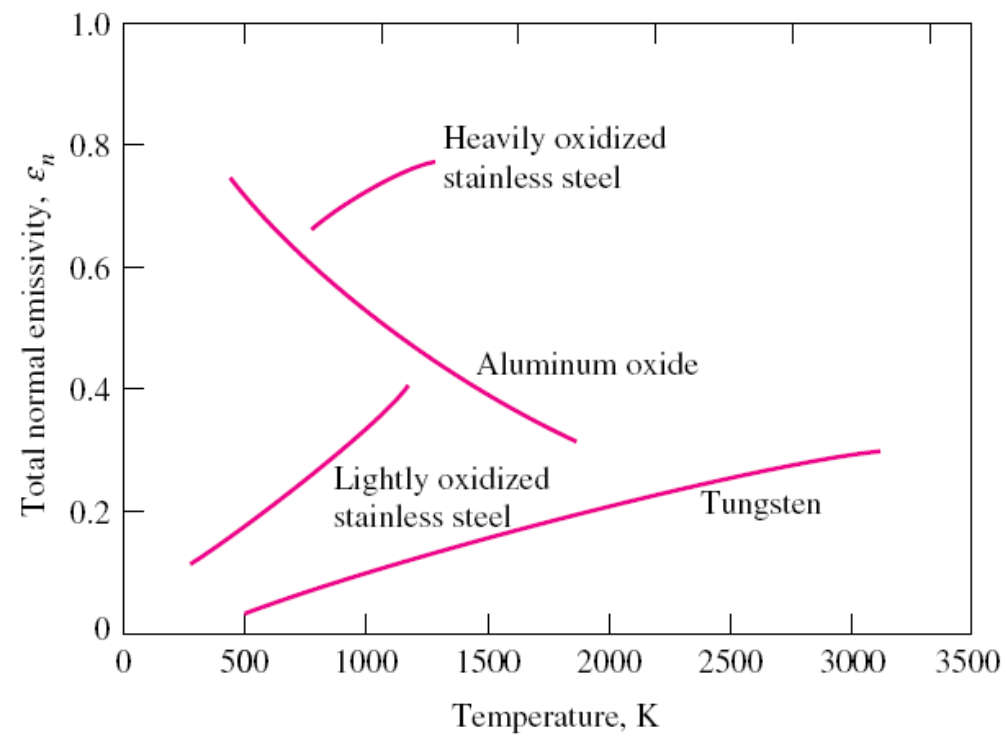


(b)

Upoređenje emisivnosti (a) i emisione moći (b) stvarne površine sa sivom površinom i sa crnim tijelom, istih temperatura.



(a)

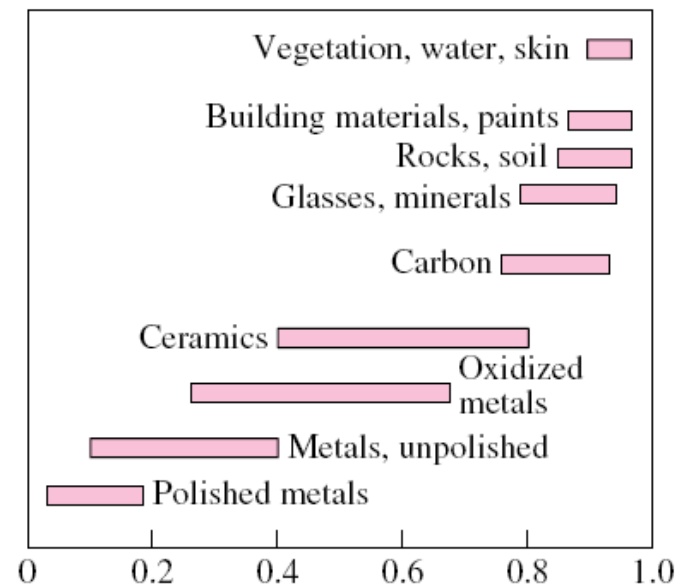


(b)

Zavisnost emisivnosti u pravcu normale od (a) talasne dužine, (b) temperature, za razne materijale.

U analizi razmjene toplote zračenjem, uobičajena je praksa da se površine smatraju difuznim emiterima sa emisivnošću jednakom vrijednošću u pravcu normale ($\theta = 0$)

Tipični opseg vrijednosti emisivnosti za različite materijale.



Absorptivity: $\alpha = \frac{\text{Absorbed radiation}}{\text{Incident radiation}} = \frac{G_{\text{abs}}}{G}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1$

Reflectivity: $\rho = \frac{\text{Reflected radiation}}{\text{Incident radiation}} = \frac{G_{\text{ref}}}{G}, \quad 0 \leq \rho \leq 1$

Transmissivity: $\tau = \frac{\text{Transmitted radiation}}{\text{Incident radiation}} = \frac{G_{\text{tr}}}{G}, \quad 0 \leq \tau \leq 1$

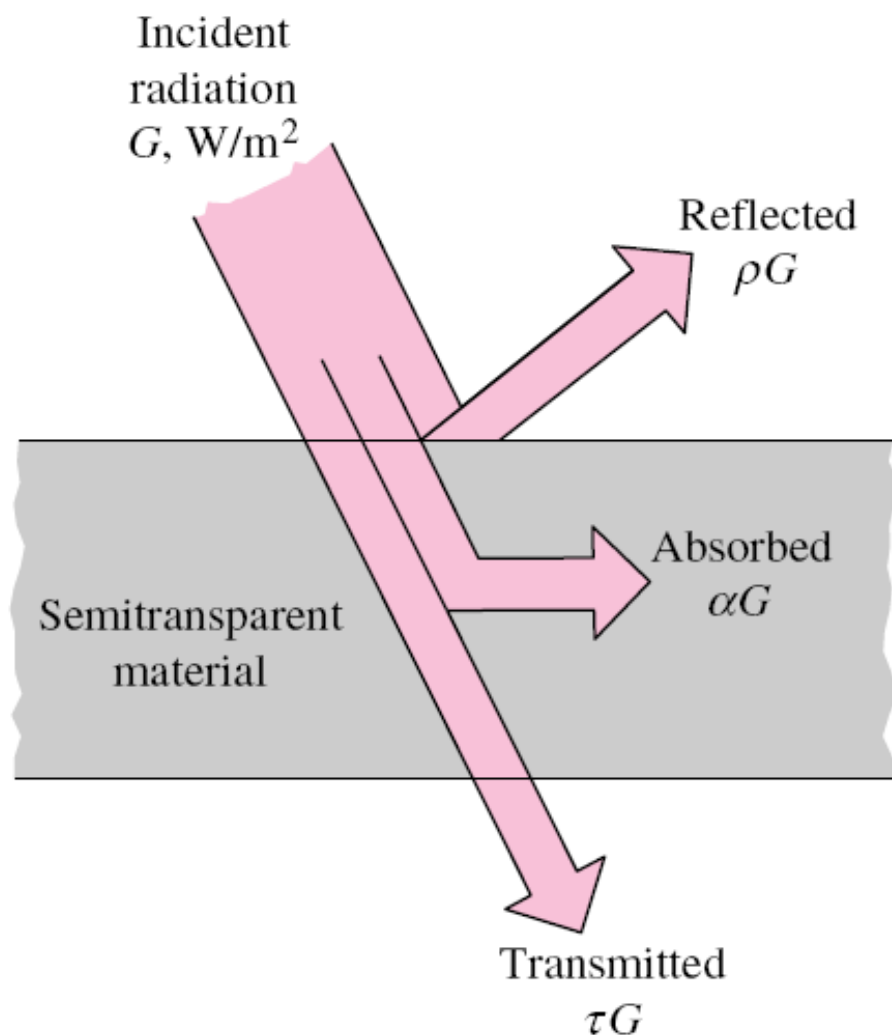
Ozračenje, G :
(upadno zračenje)
Fluks termalnog zračenja koji pogađa neku površ.

Koef. Apsorpcije, refleksija, transmisije

$$G_{\text{abs}} + G_{\text{ref}} + G_{\text{tr}} = G$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

$$\alpha + \rho = 1 \text{ za nepravidne površine}$$

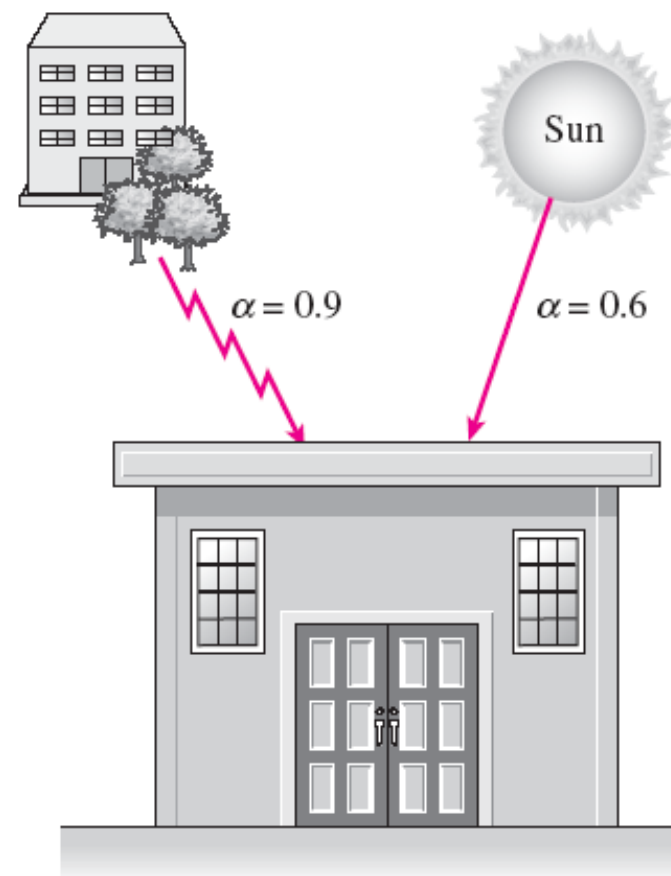
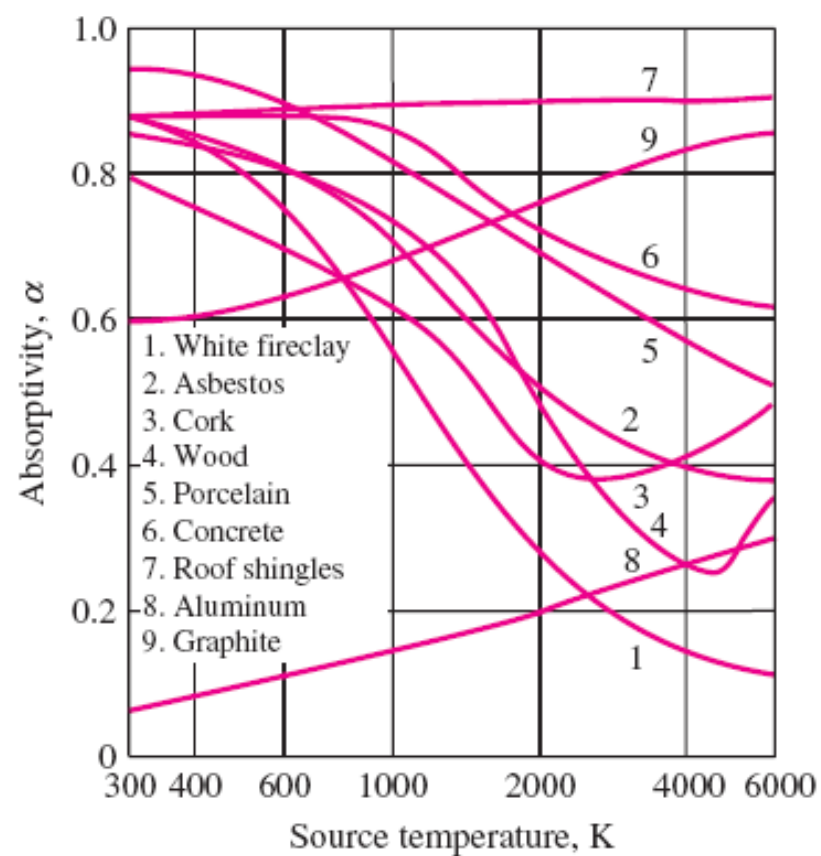


Apsorpcija, refleksija, transmisija upadnog zračenja na poluprovodni materijal

U praksi, smatra se da površine reflektuju kao savršeno *ogledalo* ili *difuzno*.

Reflektor-ogledalo: *Ugao refleksije isti je kao ugao upadnog zračenja*

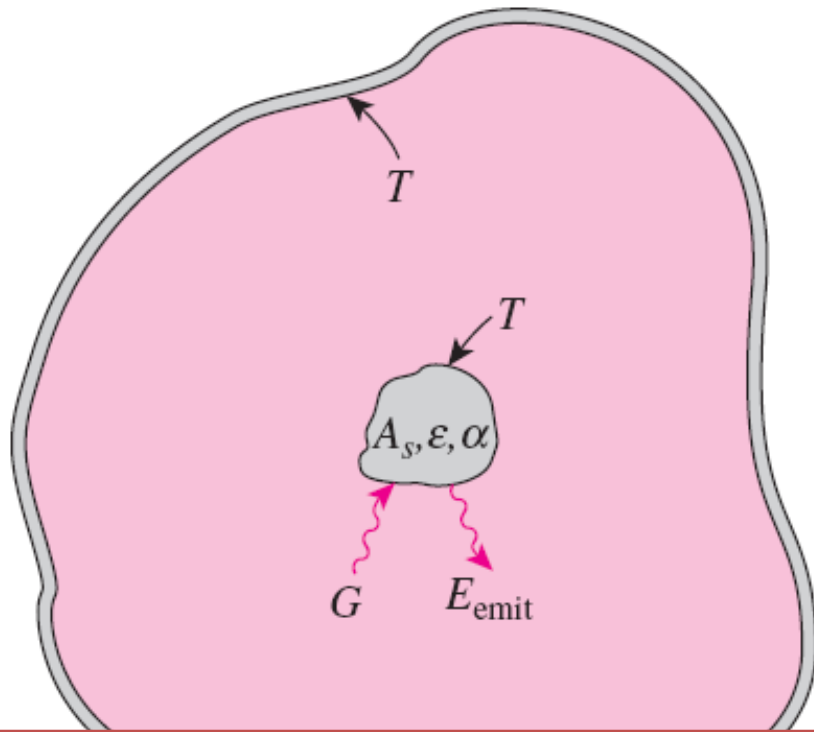
Difuzna refleksija: *Zračenje se reflektuje jednako po svim pravcima (pod hemisferom)*



Zavisnost apsorpcije od temperature izvora ozračenja, za različite materijale na sobnoj temperaturi

Apsorpcija materijala može se razlikovati značajno za zračenje čiji su izvori različitih temperatura

Kirchhoff-ov zakon



Malo tijelo okruženo većom izotermnom površinom u svrhu formulisanja Kirchofovog zakona

$$G_{\text{abs}} = \alpha G = \alpha \sigma T^4$$

$$E_{\text{emit}} = \epsilon \sigma T^4$$

$$A_s \epsilon \sigma T^4 = A_s \alpha \sigma T^4$$

$$\epsilon(T) = \alpha(T) \quad \text{Kirchhoff-ov zakon}$$

Ukupna emisivnost nad hemisferom površine temperature T jednaka je ukupnom koef. Apsorpcije površine nad hemisferom za zračenje koje dolazi od crnog tijela na istoj temperature

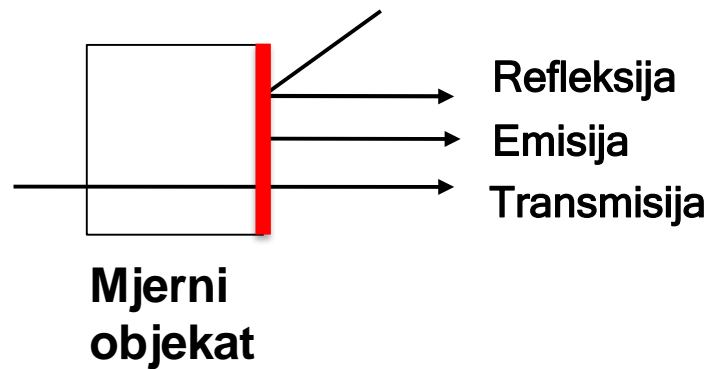
$$\epsilon_{\lambda}(T) = \alpha_{\lambda}(T) \quad \text{Spektralna forma Kirchhoff-ovog zakona}$$

$$\epsilon_{\lambda, \theta}(T) = \alpha_{\lambda, \theta}(T).$$

Emisivnost površine na određenoj talasnoj dužini, pravcu, temperature, je uvijek jednaka apsorpciji površine na istoj talasnoj dužini, pravcu, temperaturi

Termokamera (IRC kamera)

Mjerenje *toplotnog zračenja !!!*



„Termokamera“



O svjetlu...

Talasna dužina λ zelenog svjetla je:

$$\lambda = \frac{\text{Brzina svjetla}}{\text{frekvencija}} = \frac{c}{f} = \frac{300\,000\,000 \text{ m/s}}{600 \cdot 10^{12} \text{ 1/s}}$$

Opseg talasnih
dužina različitih boja

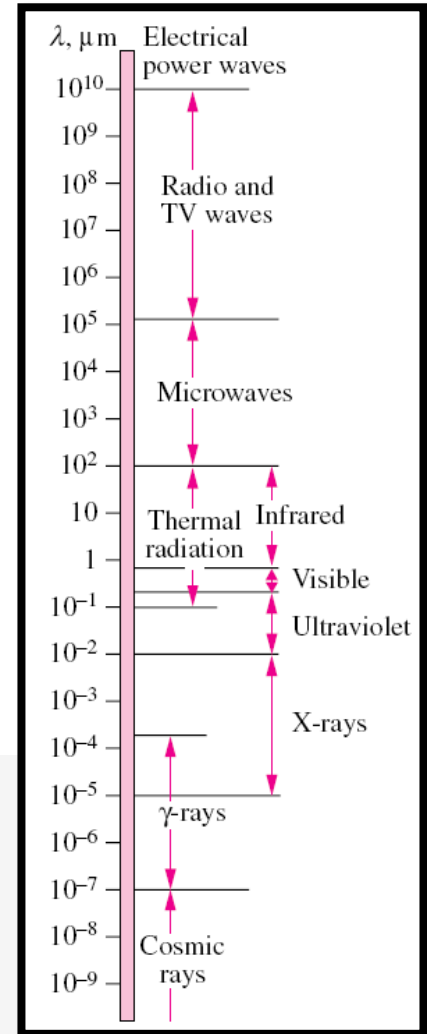
$$= 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 0,5 \text{ Mikrona}$$

Color	Wavelength band
Violet	0.40–0.44 μm
Blue	0.44–0.49 μm
Green	0.49–0.54 μm
Yellow	0.54–0.60 μm
Orange	0.60–0.67 μm
Red	0.63–0.76 μm

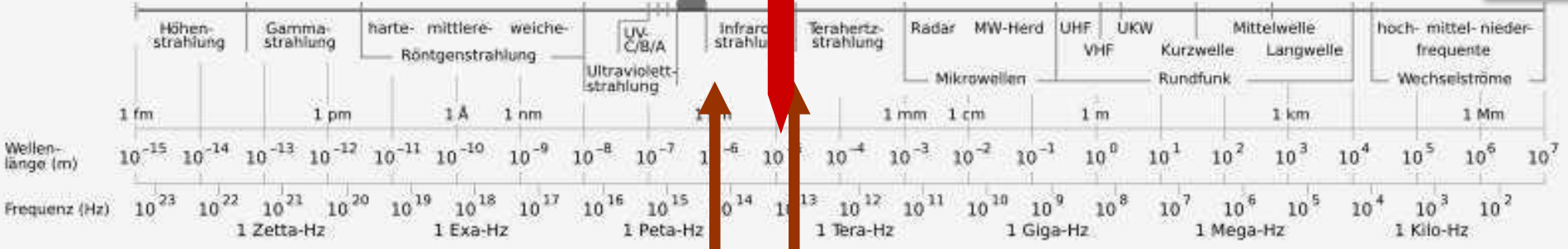
Elektromagnetni spektar

Radni opseg ljudskog oka

Radni opseg LW-IR-Kamera

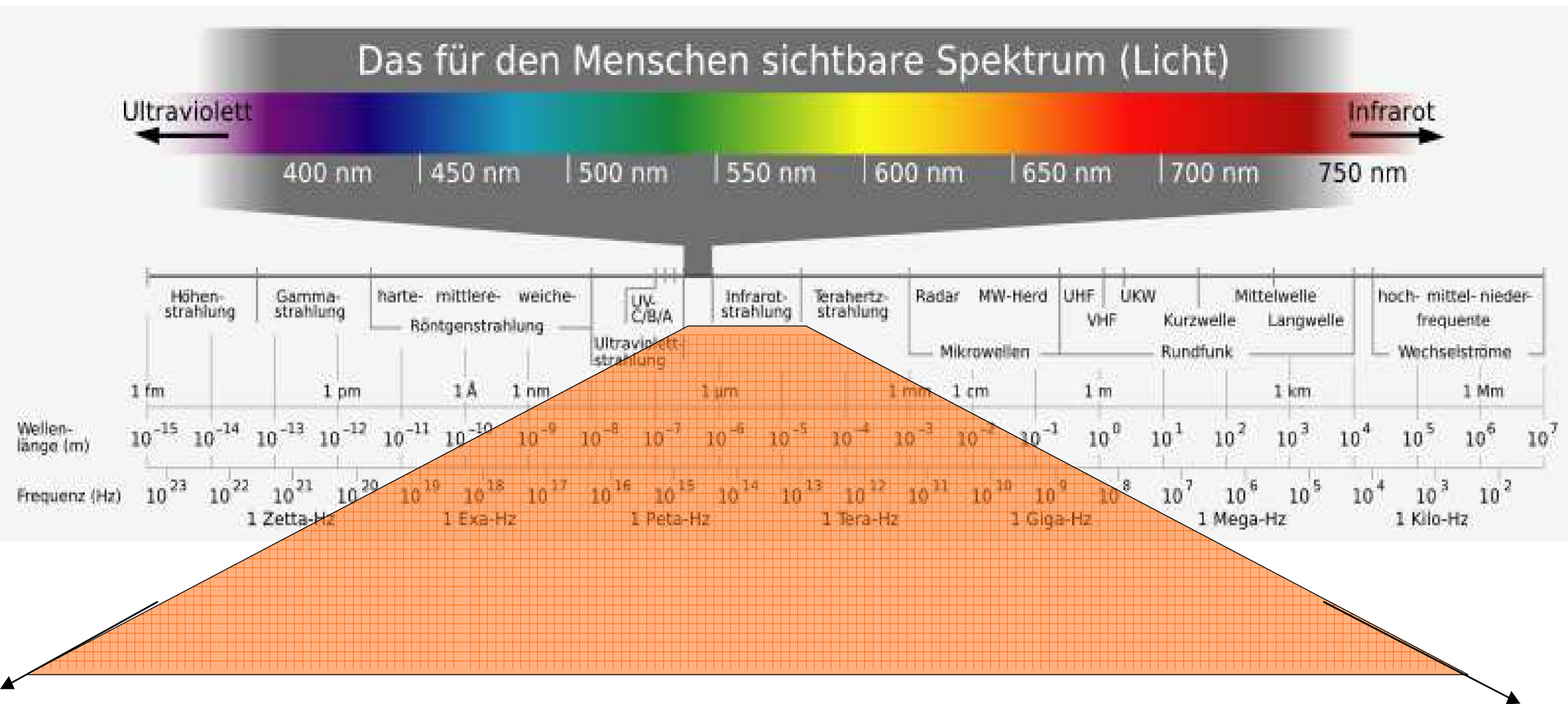


Das für den Menschen sichtbare Spektrum (Licht)



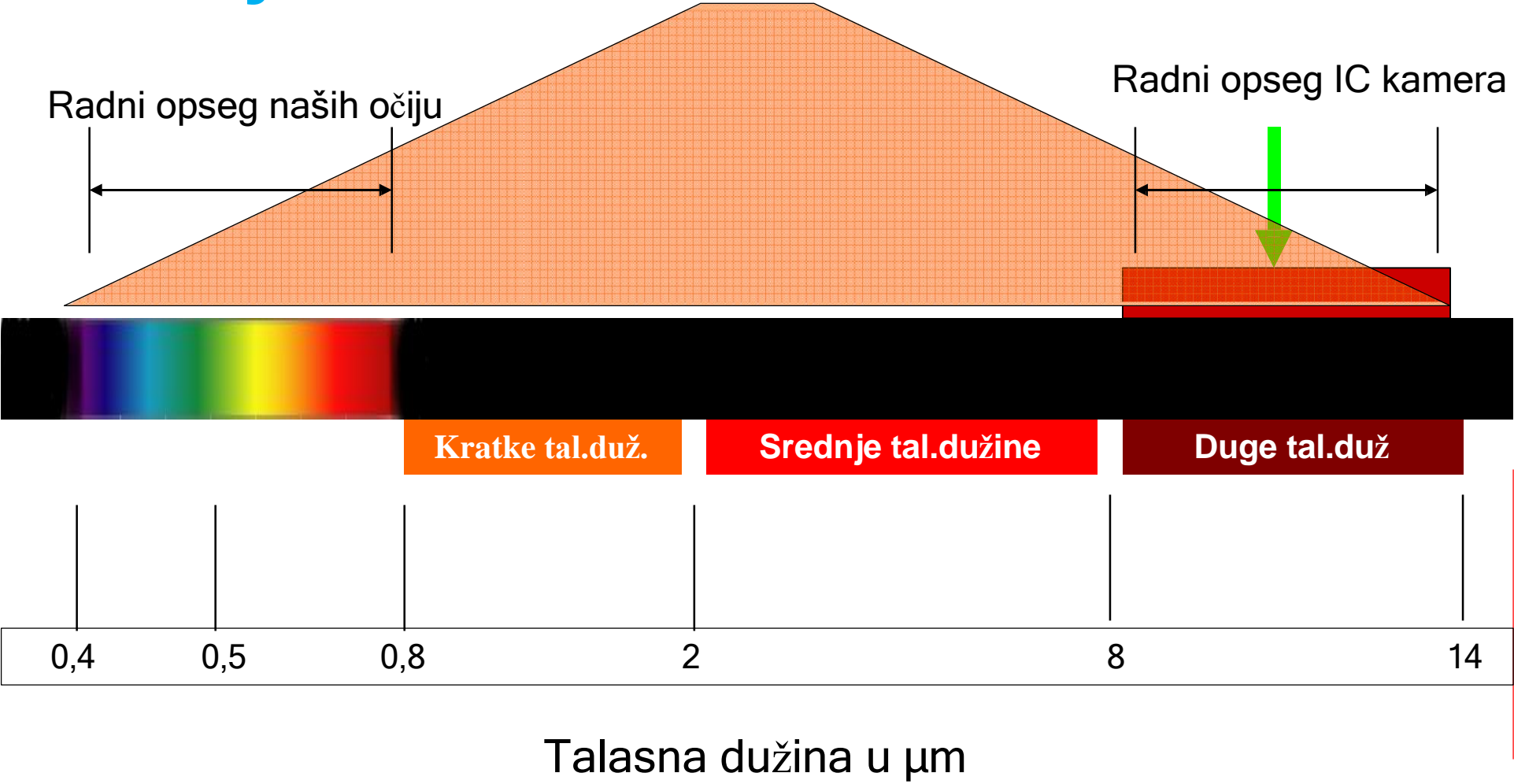
Opseg infracrvenog zračenja

Elektromagnetni spektrum



Elektromagnetni spektar

Vidljivi + Infracrveni



Zračenje i temperatura

Zavisnost između intenziteta zračenja i temperature je:

$$P = \varepsilon \sigma A T^4$$

Gdje je: $\sigma = 5,670\,400 \pm 0,000\,040 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$

Sračunavanje temperature na osnovu detektovanog intenziteta fluksa zračenja, se u kameri obavlja na osnovu gornje relacije.

(Stefan-Boltzmannov zakon)

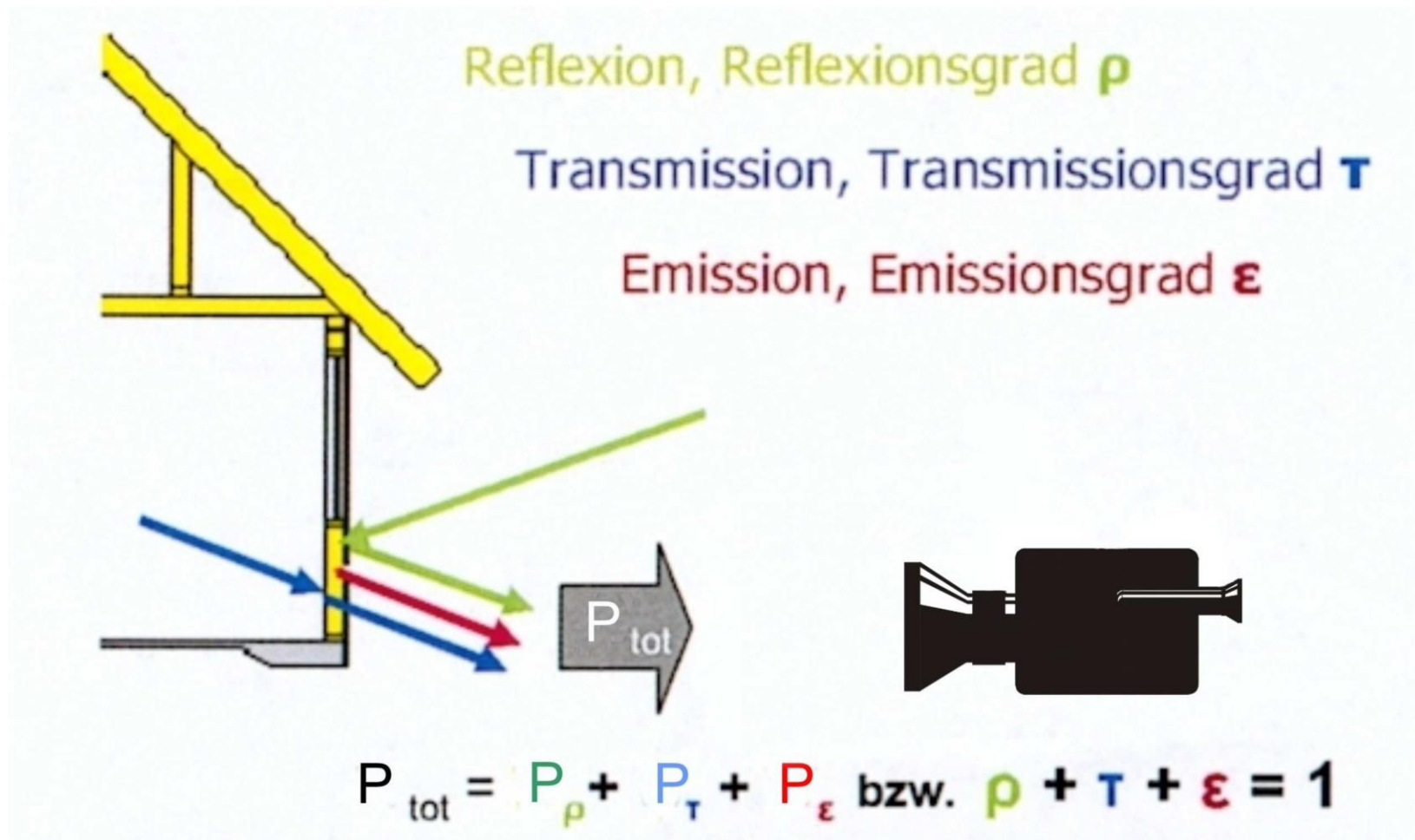
Objekat mjerenja

Parametri mjenenog objekta (površine)

1. Emisivnost ϵ opisuje sposobnost emitovanja IC zračenja mjerene površine

2. Reflektovana temperatura – temperatura koju “reflektuje” mjereni objekt (površina) iz okoline. To je sr.ekvivalentna temperatura koja proizvodi IC zračenje isto kao i reflektovano zračenje

Refleksija, Transmisija, Emisija



Refleksija, Transmisija, Emisija

U praksi većina materijala nije propusna za IC zračenje.

Pošto otpada τ slijedi iz:

$$\rho + \tau + \varepsilon = 1$$

konačna veza:

$$\rho + \varepsilon = 1$$

Za termografiju ovo znači:

Što je niži koef.emisije, veći je udio reflektovanog zračenja, odn. teže je precizno mjeriti temperaturu

Kirchoff-ov zakon zračenja

Emisija = Apsorpcija

Emisioni koef. $\varepsilon = \alpha$ Apsorpcioni koef.

Kirchoff zakon zračenja opisuje vezu između apsorpcije i emisije zračenja realnih tijela u termičkoj ravnoteži.

Refleksija, Transmisija, Emisija

Emisivnost zavisi od površine, materijala i temperature.

Za kamere u dugotalasnom IC spektru emisivnost ne zavisi od boje površine objekta.

Većina građevinskih materijala ima emisivnost između 0.85 i 0.96.

Mogu se koristiti tabele koef. Emisije, ali sa oprezom !

Refleksija, Transmisija, Emisija



Staklo je u infracrvenom spektru dugotalasne IC kamere neprovidno.
=> Koef.emisije je mali, odn. detektuje se reflektovano zračenje!!!

Variranje emisivnosti...

Greška u rezultatu usljed greške u faktoru emisije nije drastična:

$$T = \sqrt[4]{\frac{P}{(\varepsilon + \Delta\varepsilon) \cdot \sigma \cdot A}}$$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W/ m}^2\cdot\text{K}^4)$ Stephan-Boltzmannova konstanta

Princip rada IC kamere

$$P_{\text{detektovano}} = P_{\text{emitovano}} + P_{\text{reflektovano}}$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{det}}}{\varepsilon \cdot \sigma \cdot A} - \frac{(1 - \varepsilon) \cdot T_{\text{refl}}^4}{\varepsilon}}$$

Variranje emisivnosti...

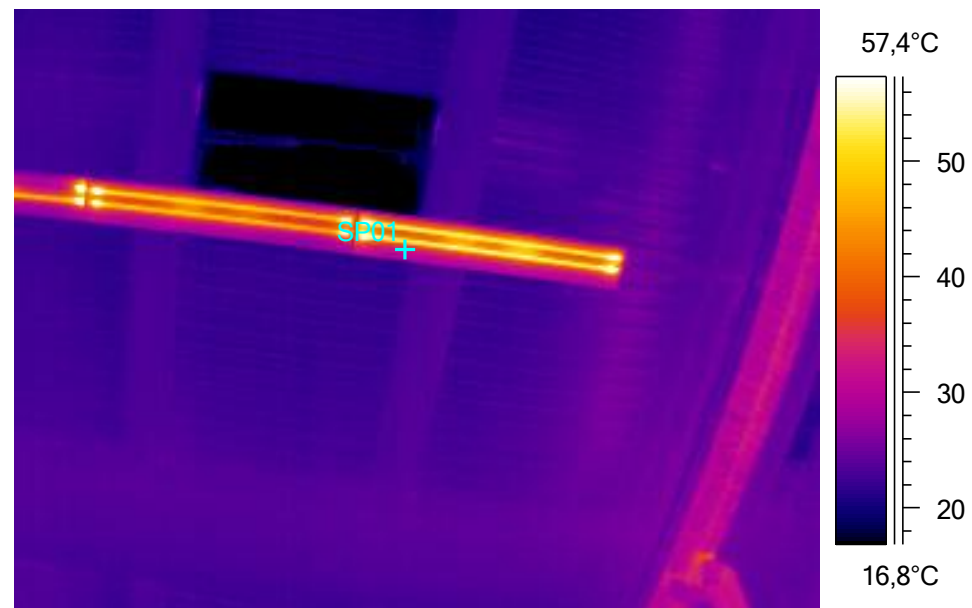
Excel-proračun

isijano zračenje	500	W/m ²		
epsilon =	0,9			
Refl. Temp. =	20	°C =	293,2	K
Stefan-Boltzmannova konst.	5,6704E-08			
površina mjernog objekta A	1	m ²		
emisiona temperatura	307,8	K =	34,7	°C

Greška u rezultatu usljed koef.emisije

Variranje ϵ pri $T_{\text{refl}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

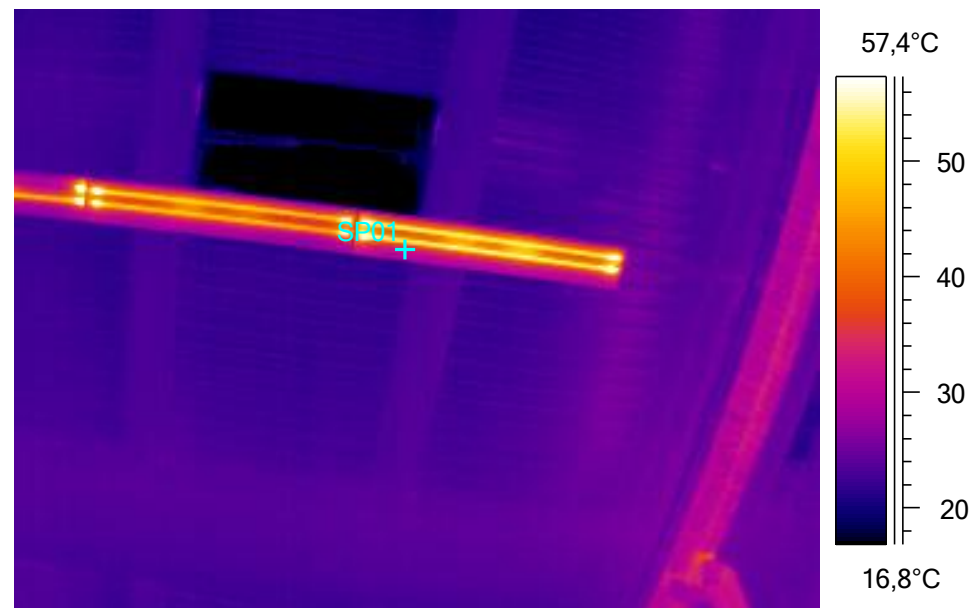
ϵ	$T_{\text{em}} \text{ }^\circ\text{C}$
1	33,3
0,95	33,9
0,9	34,7
0,85	35,5
0,8	36,4
0,5	45
0,25	65,3



Greška u rezultatu usljed Trefl

Variranje T_{refl} pri $e = 0,9$

$T_{refl} / ^\circ C$	$T_{em} / ^\circ C$
100	22,5
50	31,3
25	34,2
20	34,7
0	36,4
-10	37,1
-40	38,8



Funkcije kamere

glavne funkcije

On/off

Fokusiranje

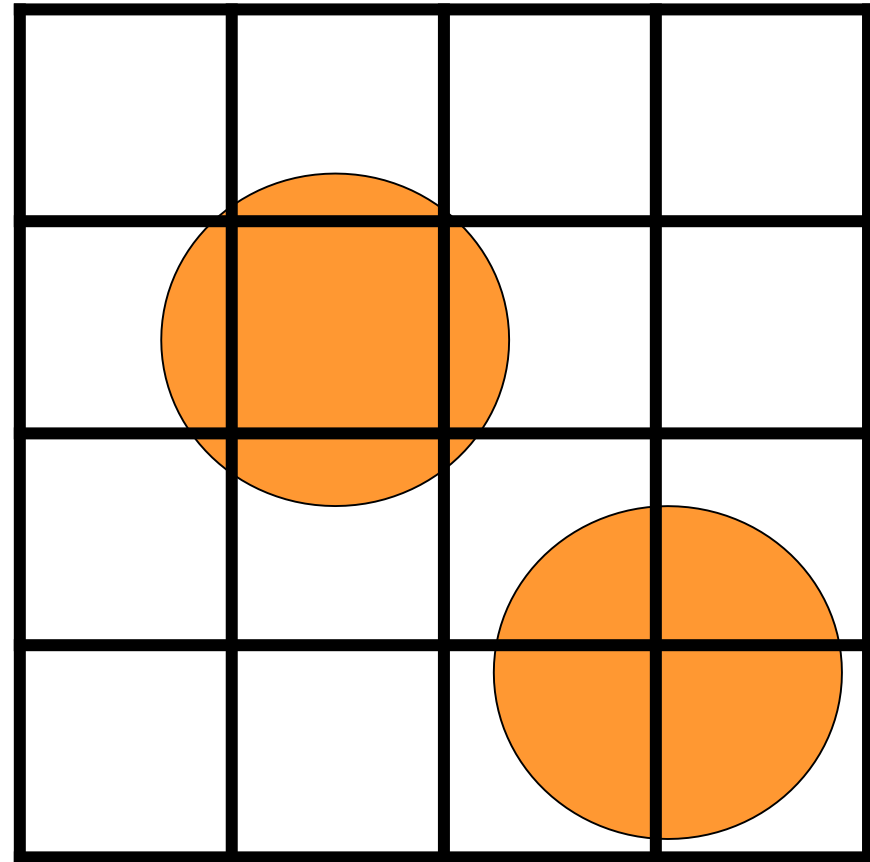
Podešavanje mjernog opsega (Level/
Span)

Fiksiranje slike (fotografisanje)

Čuvanje slike

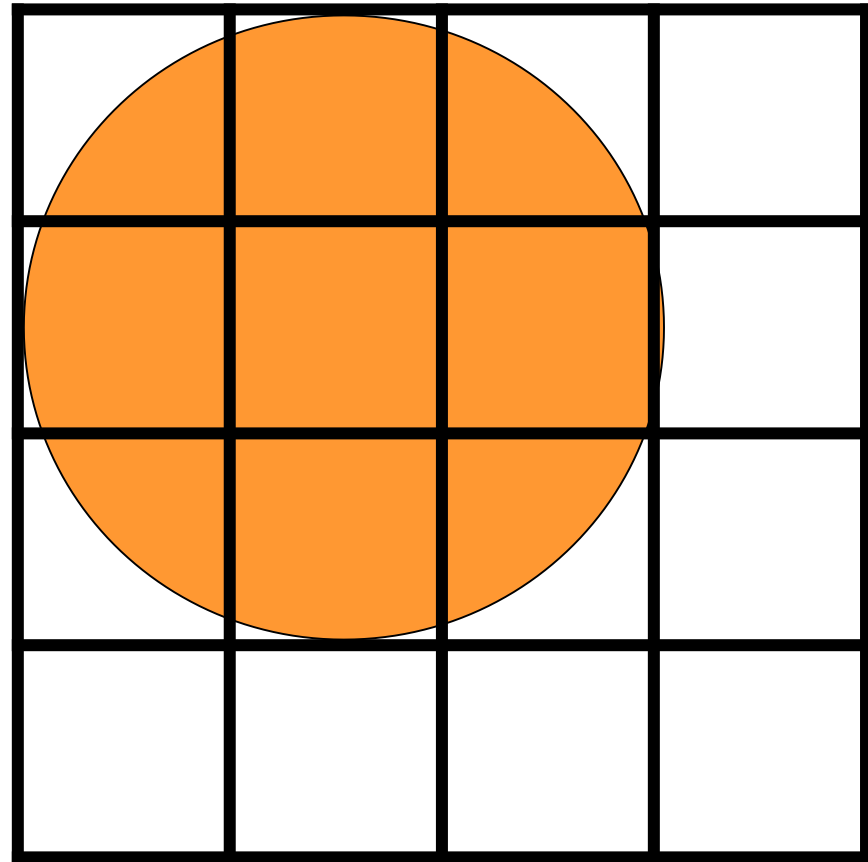
Termička i geometrijska tačnost

- Termička tačnost
 - ~ +/- 0,1 K pri 30°C
- Geometrijska tačnost
 - FOV: vidno polje kamere
 - IFOV: vidno polje pixela
 - U idealizovanom slučaju je najmanja veličina objekta = IFOV.
 - U realnosti jenajmanja veličina objekta = 3*IFOV
 - Polje regulišemo rastojanjem i podeš.objektiva



Termička i geometrijska tačnost

- geometrijska tačnost
 - Najmanja veličina objekta = $3 \cdot \text{IFOV}$
 - Za predmetnu kameru:
IFOV = 3.2mm, tj
najmanja veličina je
3IFOV:
Na 1m ~ 10mm

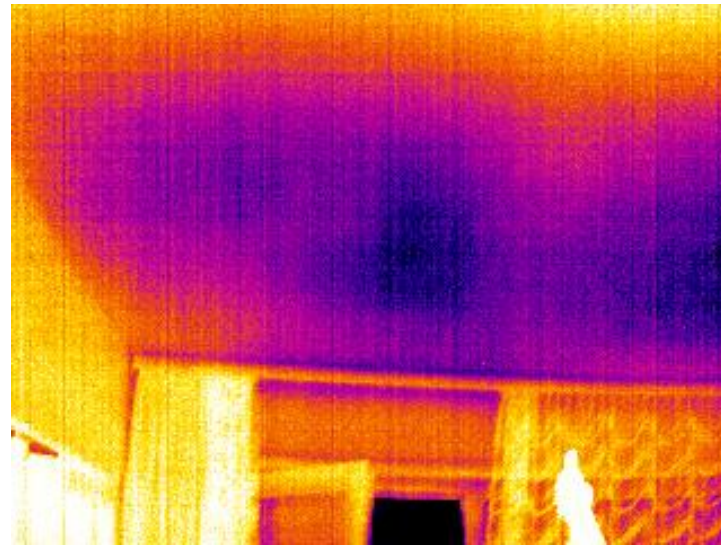


Primjena

- Pri automatskom podešenju, temperaturska skala se automatski podešava prema najtoplijem i najhladnijem mjestu u trenutnom vidnom polju kamere
- Birate između automatskog i manualnog podešavanja Level i Span

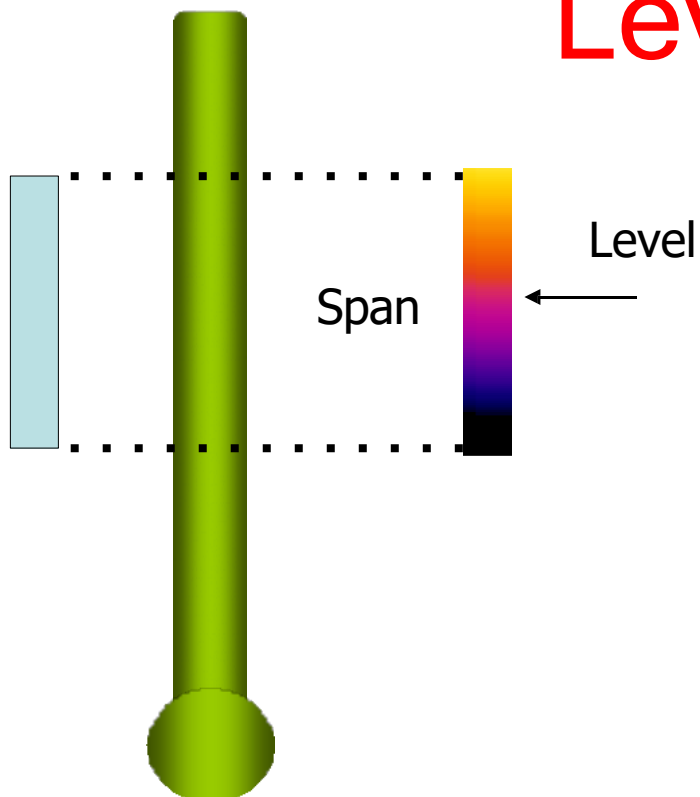


Automatska temp.skala



Manuelno podešena temp. skala

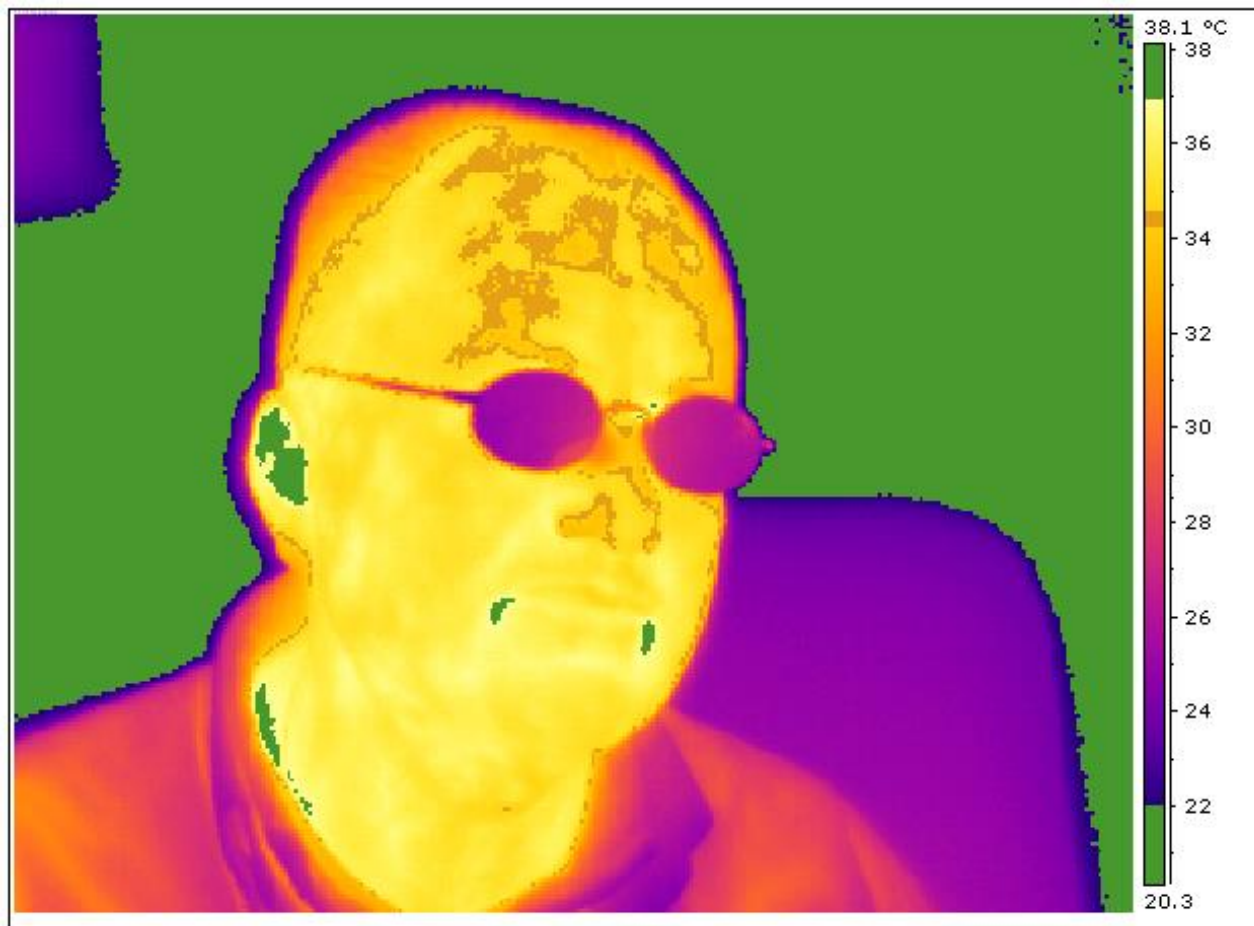
Level, Span



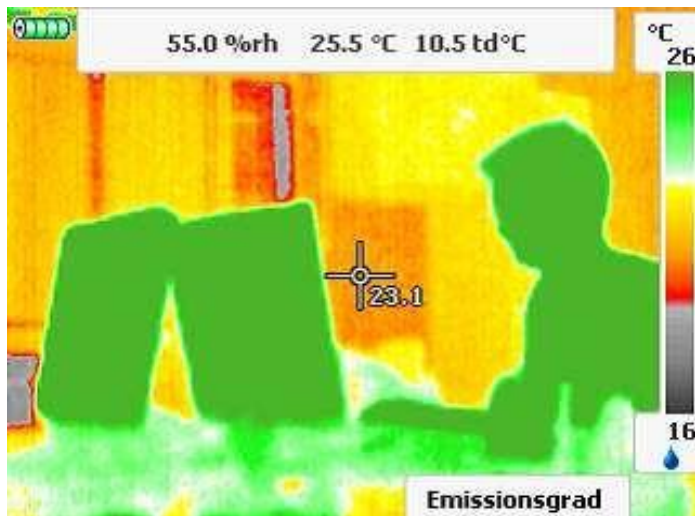
- **Temperaturni opseg** je mjerni opseg kamere.
- **”Span”** je temperaturski interval u kome se nalazi trenutna temp.skala
- **”Level”** je srednja tačka
- Mjerni opseg kamere testo 880:
-20100 °C i
0350 °C

Preporuka (!): ako želite da pojačate kontrast (radi uočavanja /izdvajanja) neke pojave – uñite u “Scale”, smanjite “span” ručno (tj. razliku između donje i gornje vrijednosti, npr. na svega 2-3 °C) i “pod izanjem” ili “spuštanjem” intervala podesite željeni intenzitet boje.

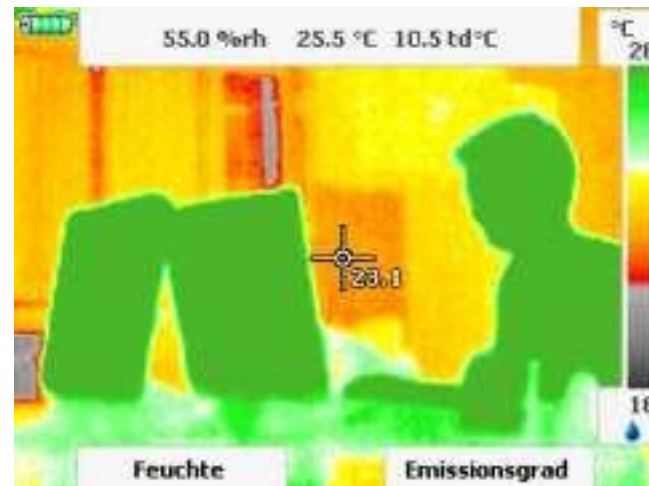
Color alarm (funkcija „Izoterme”)



Detekcija površinske vlage pomoću Testo 880

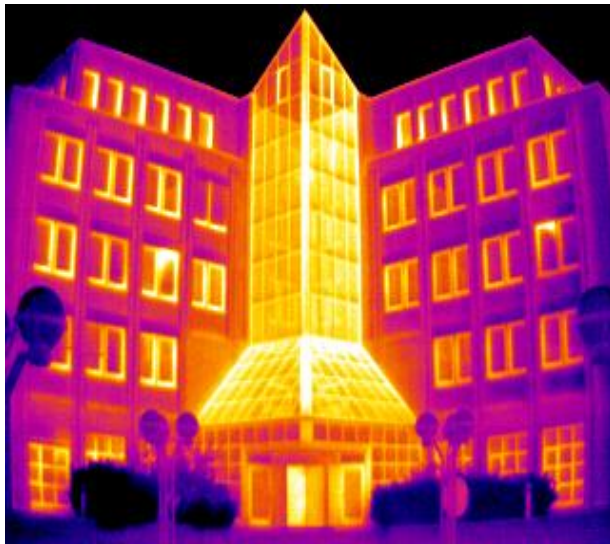


Dinamičko sa senzorom vlage

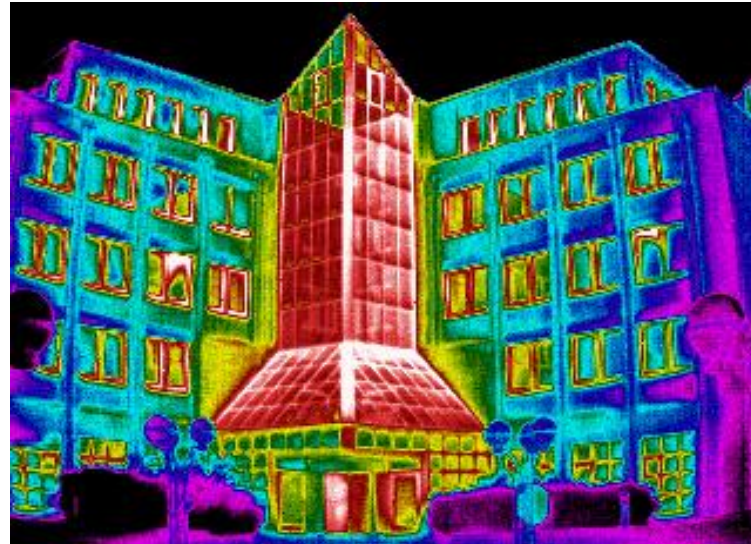


Manuelni unos sobne rel.vlažnosti

Palete



Iron



Rainbow

Osobine mjernog objekta

Emisivnost površine je neophodna za IC mjerenja

Kako procijeniti emisivnost površine?

- **Pomoću tabela (nesigurno)**
- **referentnim mjerenjem pomoću kontaktnog termometra ili površine sa poznatim ϵ (izolir traka, 0.94)**

Tabele emisivnosti ϵ

Emisivnosti pri 20 °C

Materijal	Emisivnost
Metal polirani	0,03
Aluminijum čiste površine	0,07
Nickal mat površine	0,11
Mesing mat površine	0,22
Čelik čiste površine	0,24
Korodirani čelik	0,85
Voda, led	0,96

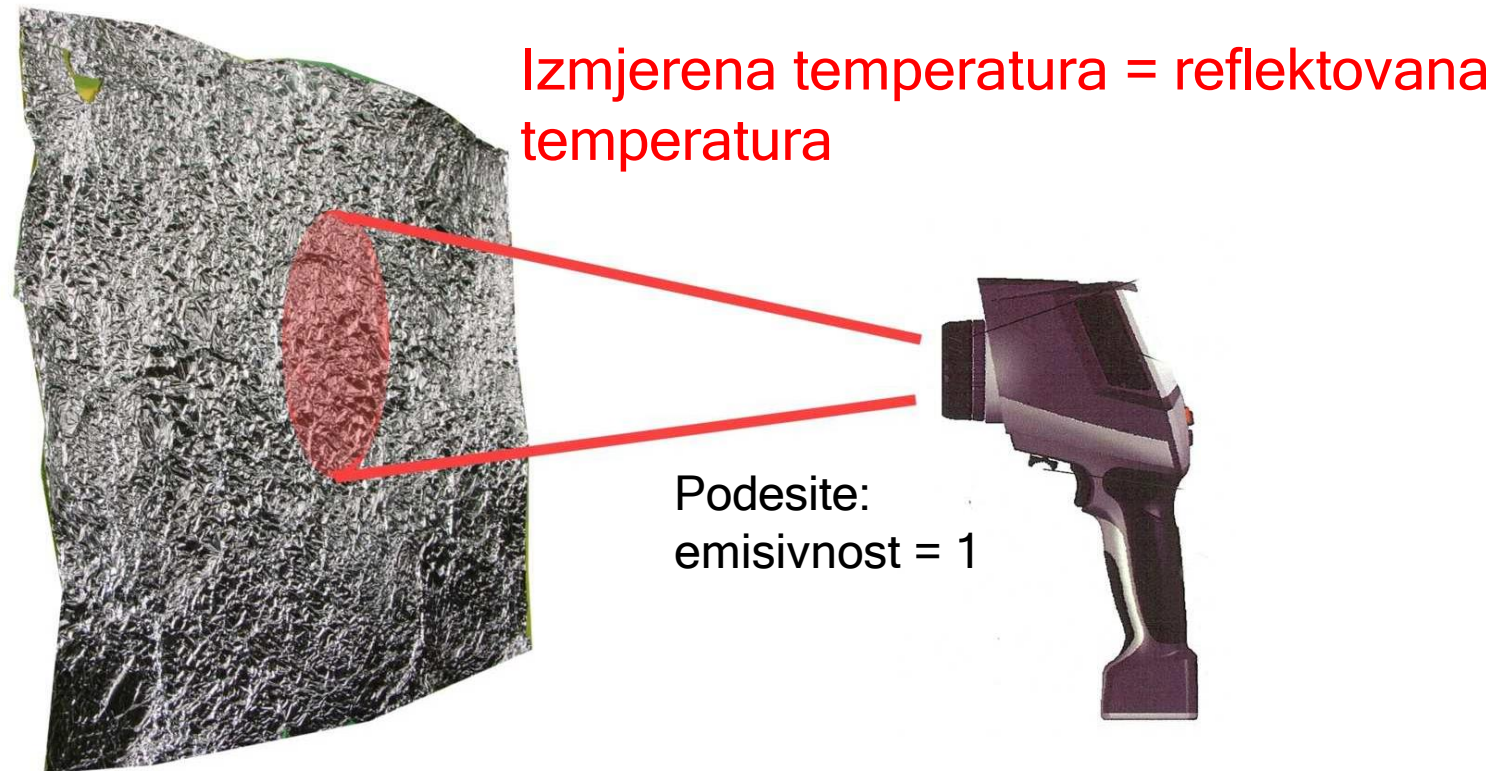
Eloksirani alum. $\epsilon = 0.4$.

Eloksirani sloj debljine 20-25 μm površina je poput keramike: $\epsilon = 0.8-0.85$

Objekat snimanja - mjerenje T_{refl}

(A) Mjerenje na površini sa malim ϵ :

zgužvana Al folija $\epsilon = 0.04$ (oksidisana folija $\epsilon = 0.07$)



Objekat snimanja - mjerenje temperature reflektovanog zračenja T_{refl}

(B) T_{refl} - aproksimacija:

- Za mjerenje u prostorijama: T_{refl} = aritmetička sredina temperature zidova
- Za mjerenje napolju, po oblačnom danu: T_{refl} = spoljašnja temperatura
- Za mjerenje napolju, pri vedrom nebu: $T_{refl} = - 15 \text{ } ^\circ\text{C}$

Udaljenost i minimalni objekat mjerjenja

Udaljenost	Najmanji objekat Standardni objektiv (32°)	Najmanji objekat teleobjektiv (12°)
0,1 m	1,0 mm	-
0,3 m	3,1 mm	-
0,6 m	6,3 mm	2,4 mm
1 m	10 mm	4 mm
2 m	21 mm	8 mm
10 m	105 mm	39 mm

Analiza termograma

- *Kamera mjeri intenzitet zračenja, ne temperaturu....*



Izolir traka ima poznato

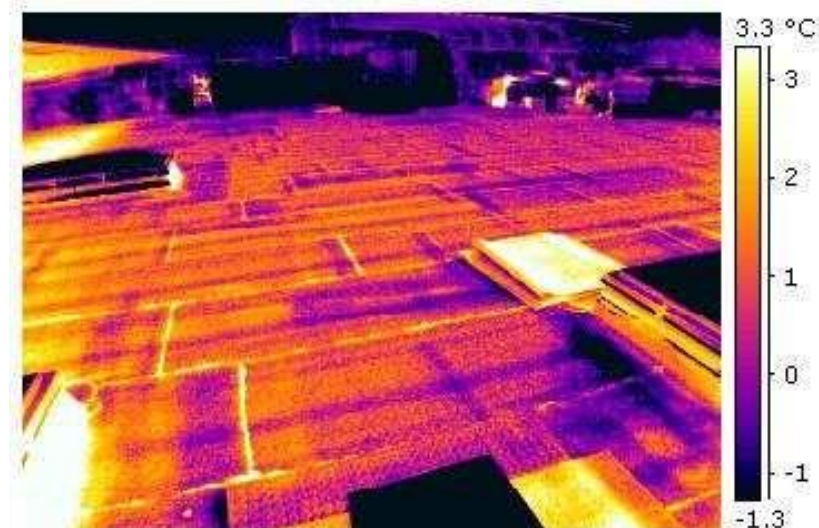
$$\epsilon = 0.93$$



Oprez

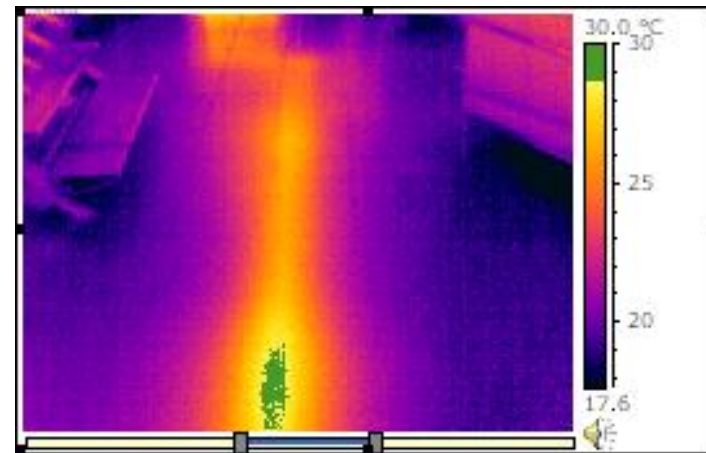
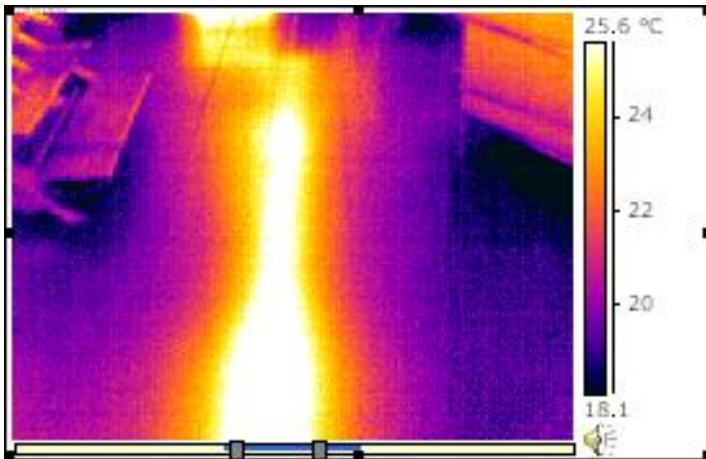
Analiza termograma

Pogodnim podešavanjem kamere može se pojačati kontrast na mjerenom objektu i uošiti ono što se želi. **Level & Span**



Color alarm (Izoterme)

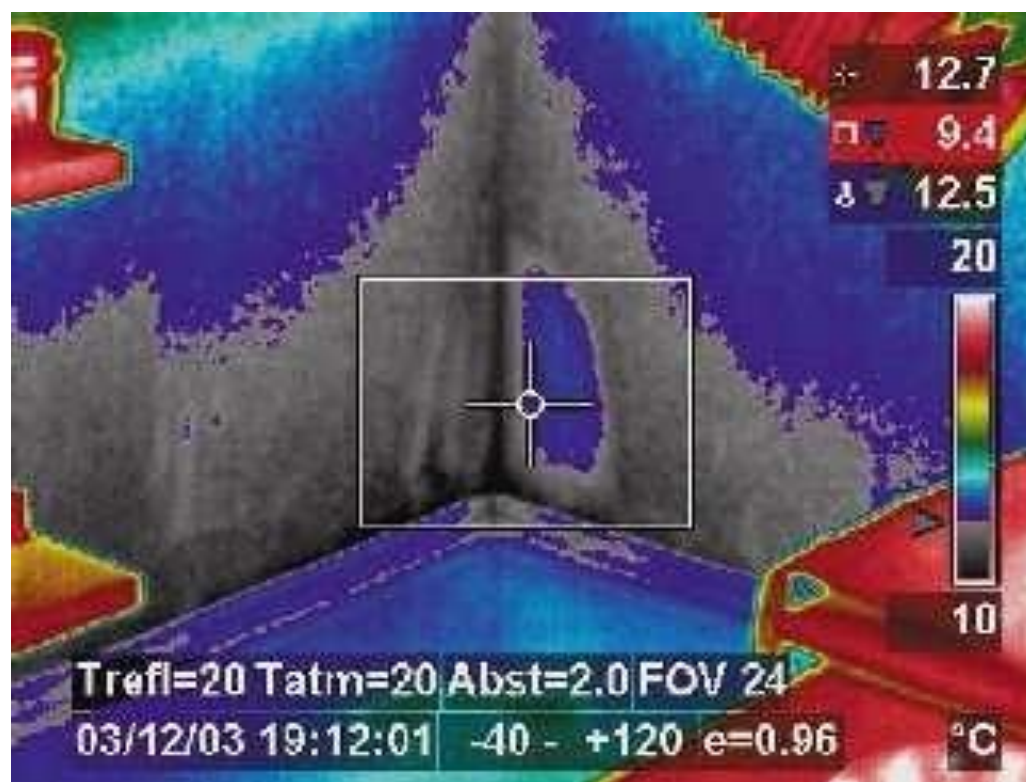
Color alarm markira zone sa temperaturom iznad određene...



Uočavanje curenja

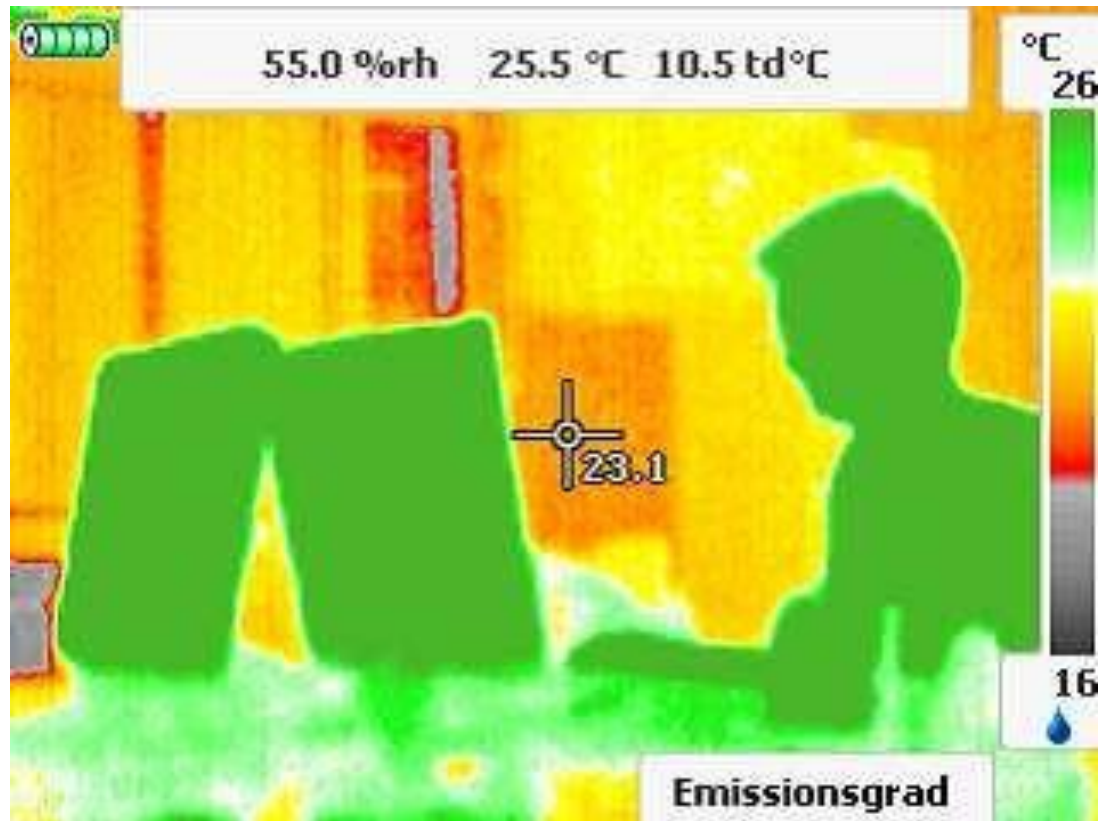
Analiza termograma

tačka rose



Analiza termograma

Tačka rose



Praktične napomene

Baterije



- trajanje oko 5h
- punjenje
 - u kameri: 4h
 - Na punjaču: 3h

Izmjena baterija




- Baterija leži u rukohvatu

Memorijska kartica



Pomoćni laser



- Pritiskom na taster može se naciijati željeni objekat
- Simbol „Laser” će da blinka
- **Ne usmjeravati u oči** 

Zaštitno staklo



- Za rad na gradilištima i gdje ima dosta prašine
- Treba konfigurirati kameru za rad sa zaštitnim staklom, jer proizvodi gubitak od oko 2% zračenja.

- Objektiv je vrlo osjetljiv na ogrebotine
- Prašina se skida isključivo četkicom (koja se istresa udaranjem, ne prstima)
- Objektiv se čisti isključivo isopropanolom (sprej isopropanol, bez acetona ili etanola) i medicinskom vatom

Rad uz upotrebu senzora vlage

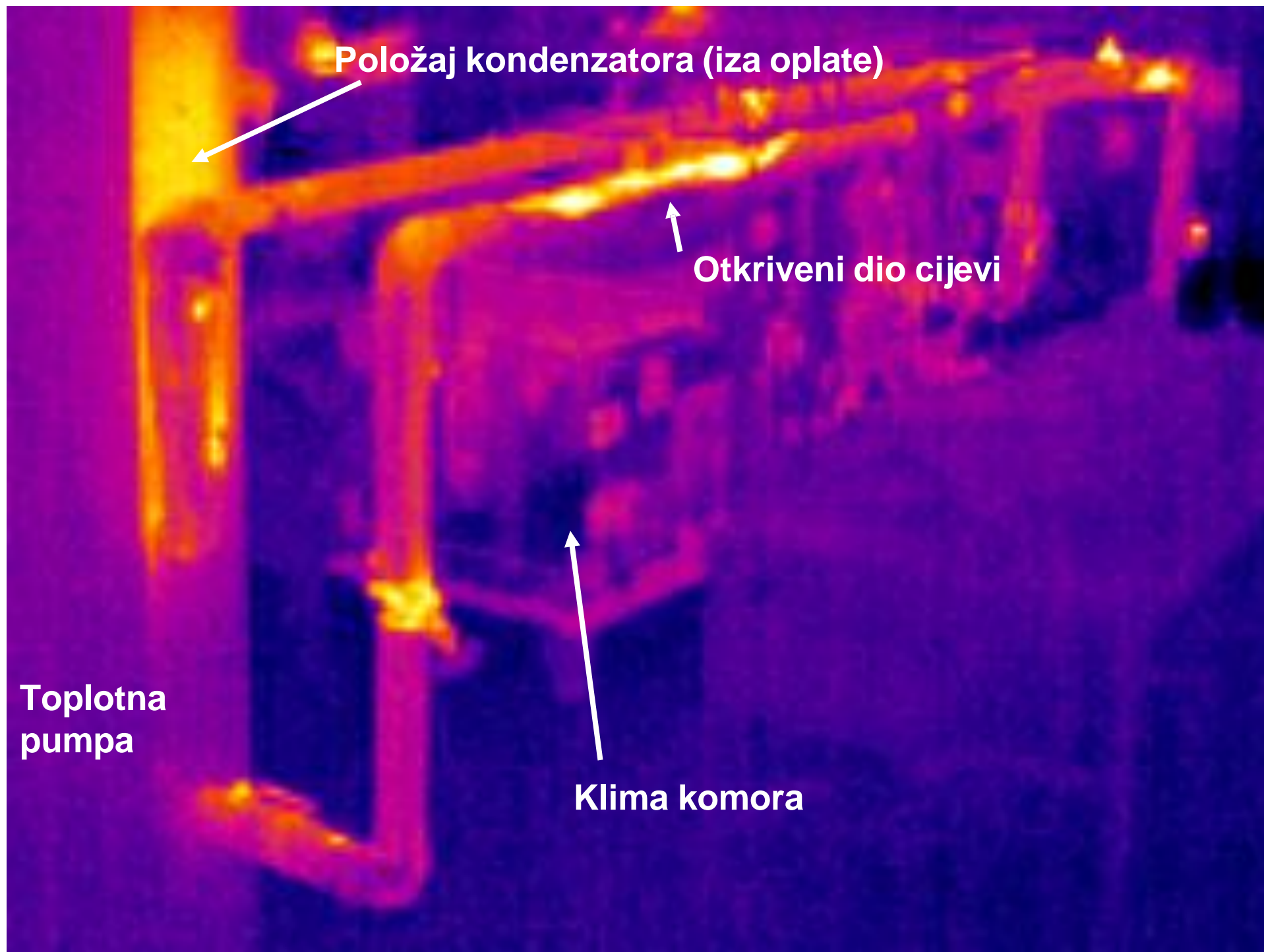


- Kamera se može podesiti da radi uz pomoćni davač vlage u sobi

Prenos slika na PC...



- Uz kameru po pravilu dolazi softver
- Uključite kameru...Priključite kameru preko USB kabla na računar
- Pokrenete softver
- Kamera će se automatski prepoznati
- Import-Asistent će se pokrenuti i moći ćete da prebacite snimljene slike na PC



Položaj kondenzatora (iza oplate)

Otkriveni dio cijevi

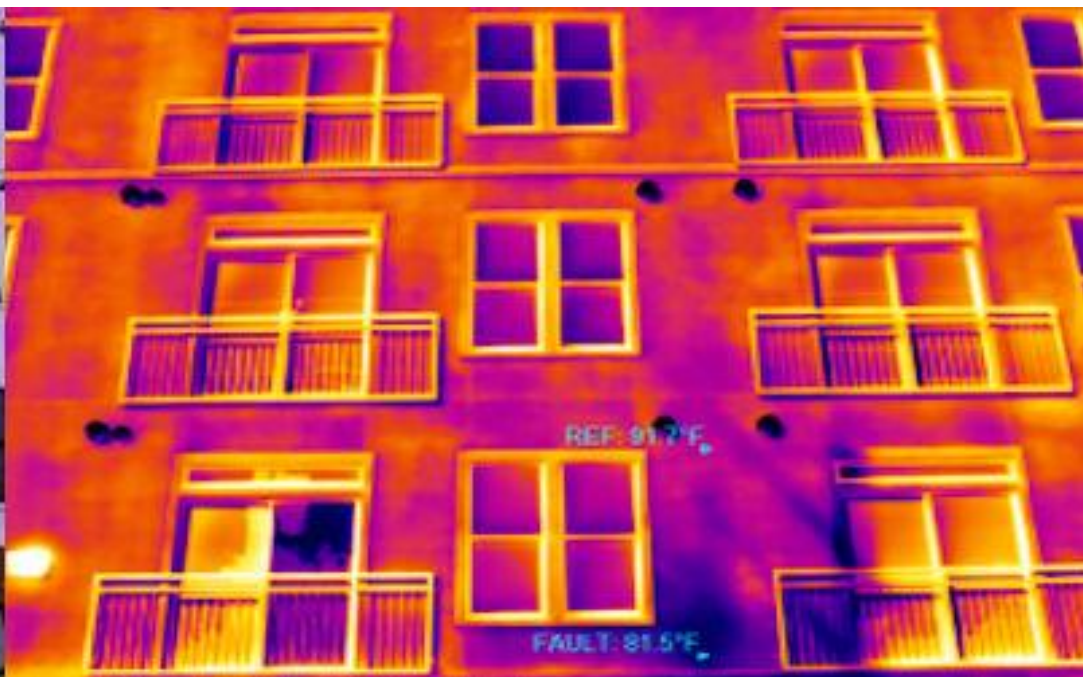
Toplotna
pumpa

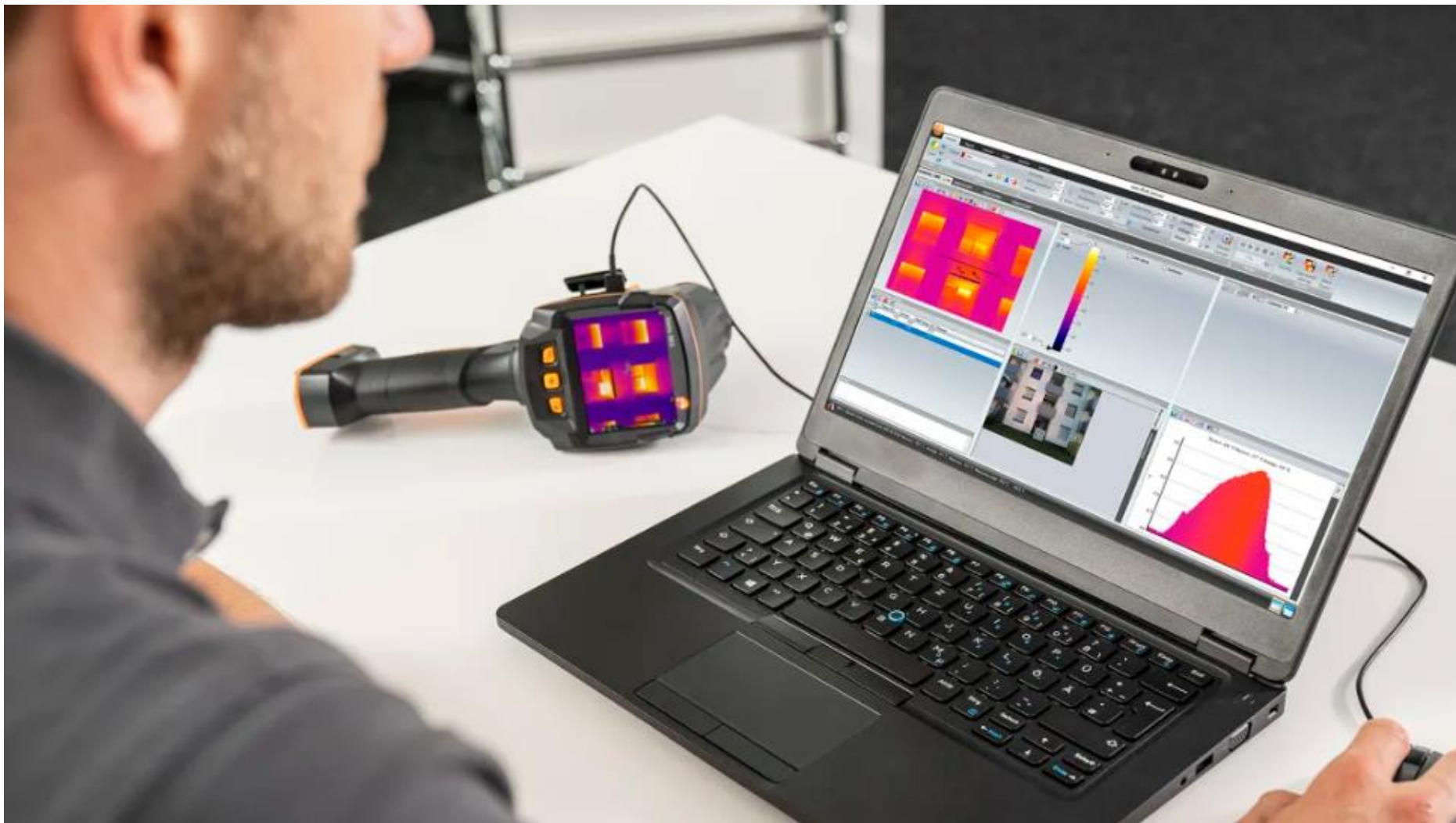
Klima komora



Refleksija sa neonske sijalice na plafonu !!!

**Kanal za distribuciju vazduha
ka KGH sitemu**





Prof. dr Milan Šekularac, dipl.ing.maš
Mašinski fakultet Podgorica
Univerzitet Crne Gore
milans@ucg.ac.me
+382 69 204 946