

MAŠINSKI FAKULTET PODGORICA
ARHITEKTONSKI FAKULTET
MINISTARSTVO EKONOMIJE
GTZ

KURS EE - ENERGETSKA EFIKASNOST

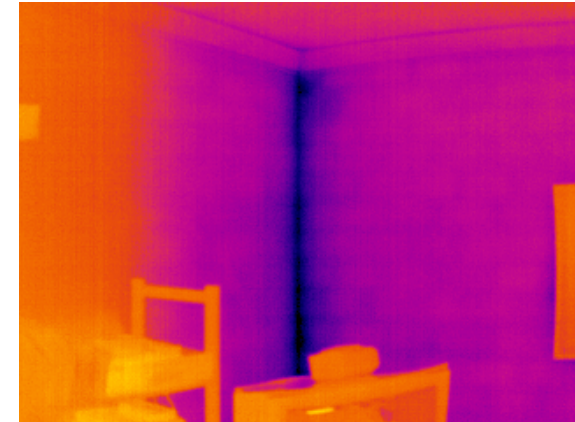
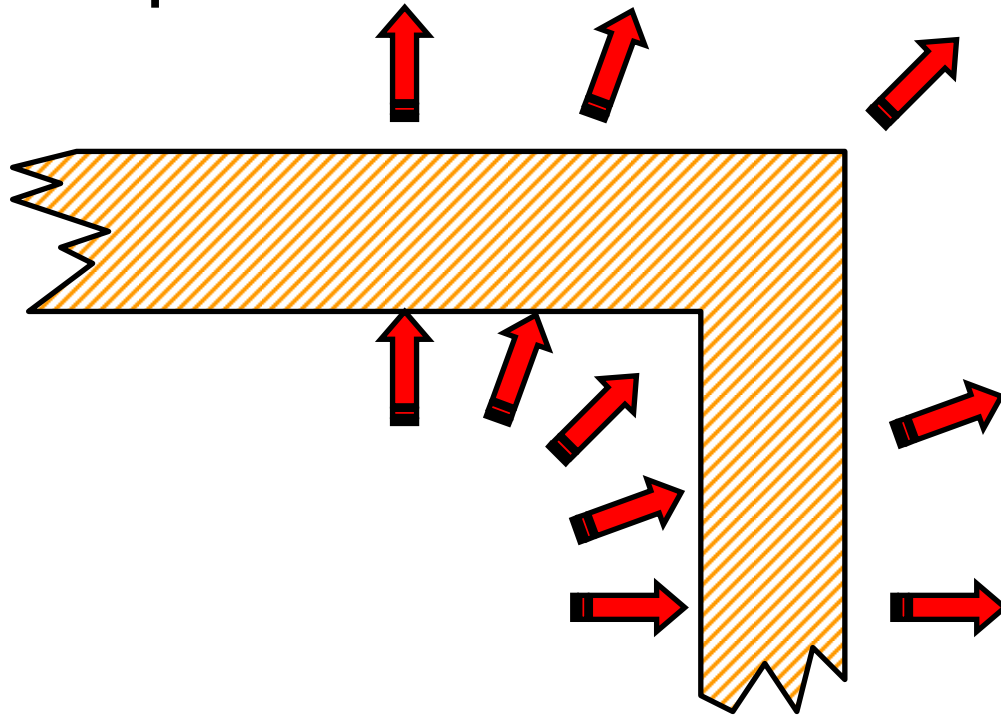
IC KAMERA

mjerenje

Milan Šekularac

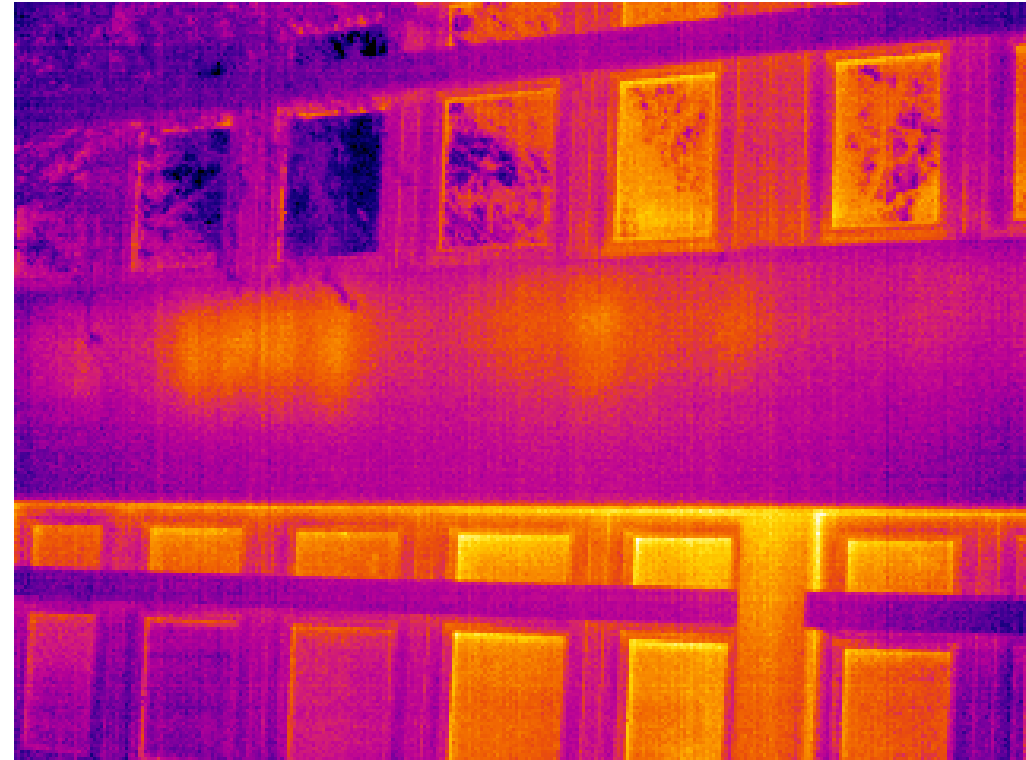
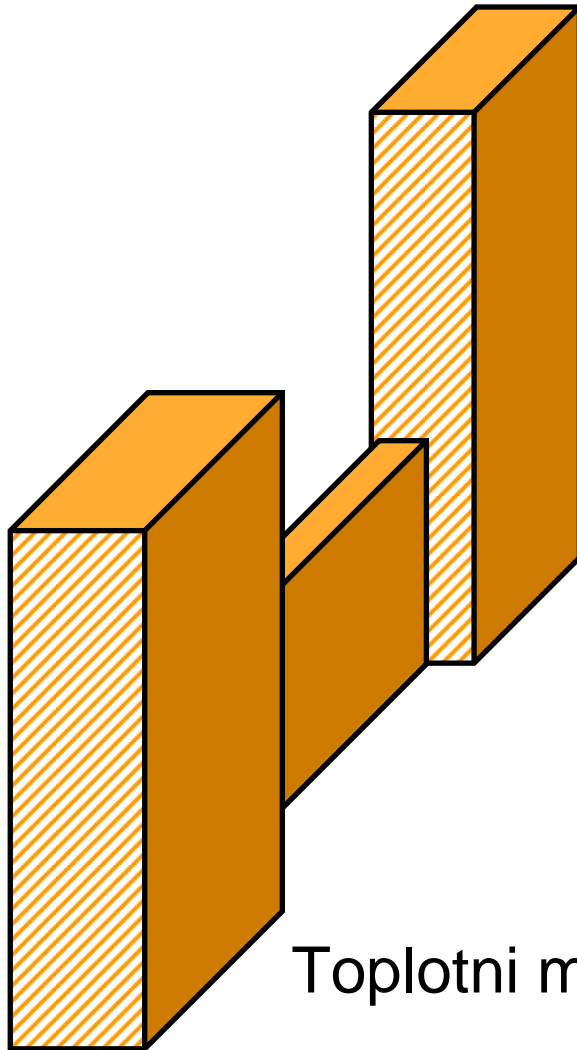
Za koju svrhu nam treba IC kamera..???

Toplotni mostovi kod omotača zgrada...



→ Toplotni most usljed geometrije

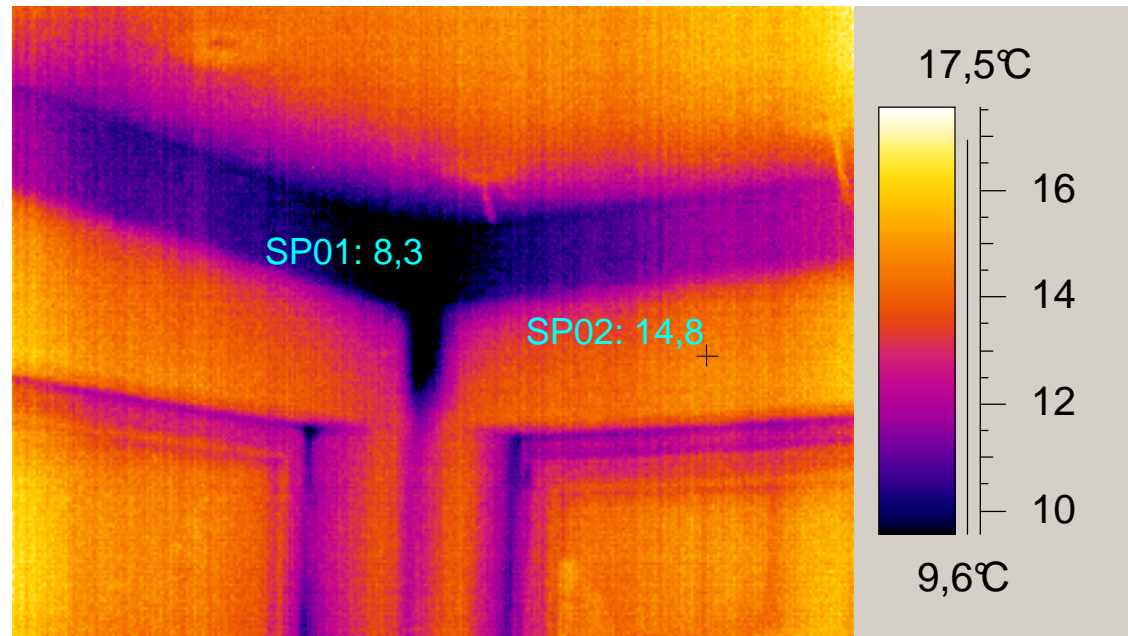
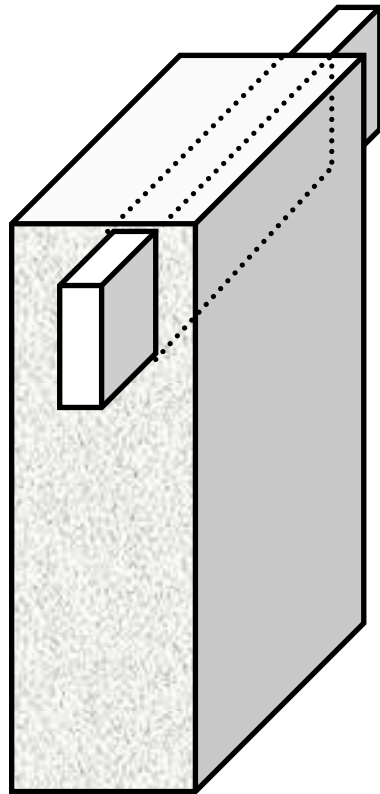
Toplotni mostovi...



Toplotni most kao posledica konstrukcije

Primjer parapeta

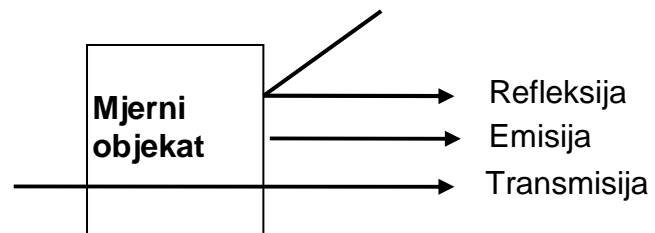
Toplotni mostovi...



Toplotni mostovi usljed konstrukcije
Primjer čeličnih greda

Termokamera (IRC kamera)

Mjerenje *toplotnog zračenja !!!*



„Termokamera“

O svjetlu...

Talasna dužina λ zelenog svjetla je:

$$\lambda = \frac{\text{Brzina svjetla } c}{\text{frekvencija } f} = \frac{300\,000\,000 \text{ m/s}}{600 \cdot 10^{12} \text{ 1/s}}$$
$$= 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 0,5 \text{ Mikrona}$$

Kirchoff-ov zakon zračenja

Emisija = Apsorpcija

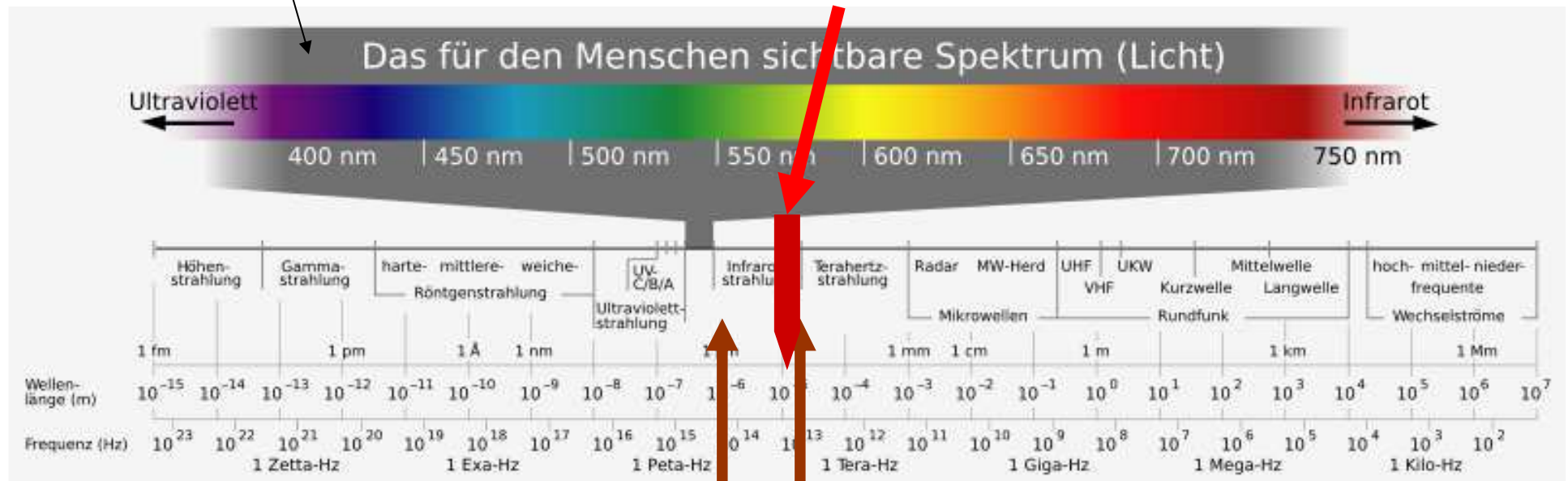
Emisioni koef. ε = α Apsorpcioni koef.

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

Elektromagnetni spektar

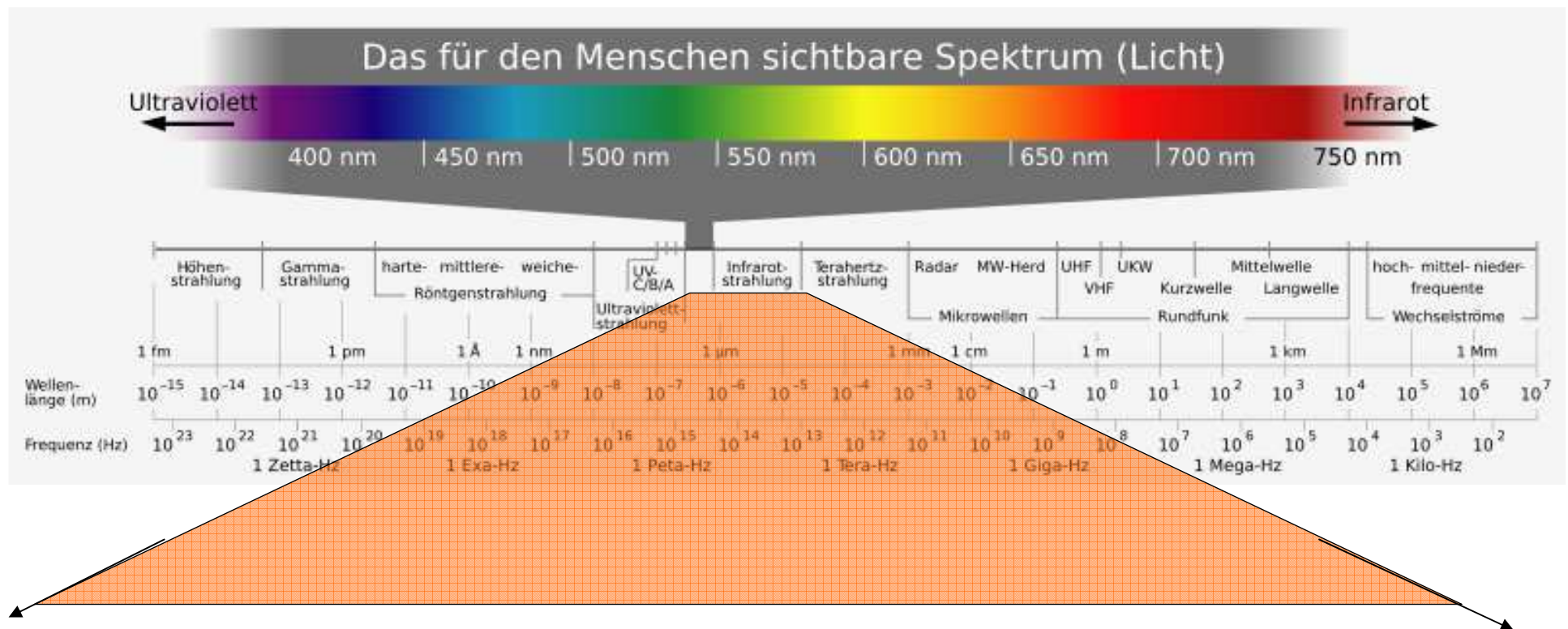
Radni opseg ljudskog oka

Radni opseg LW-IR-Kamera

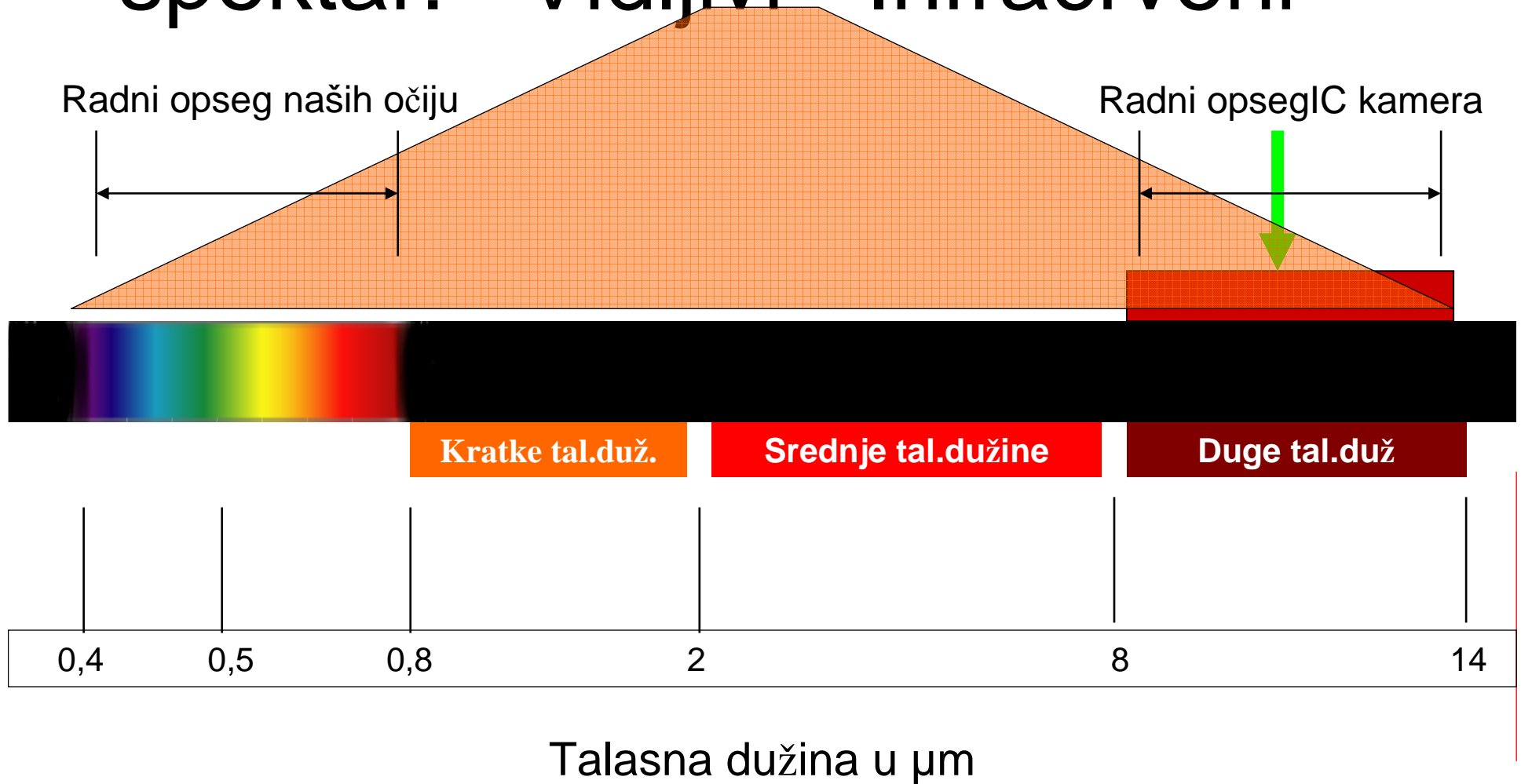


Opseg infracrvenog zračenja

Elektromagnetni spektrum



Elektromagnetni spektar: Vidljivi - Infracrveni



Zračenje i temperatura

Zavisnost između intenziteta zračenja i temperature je:

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

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

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

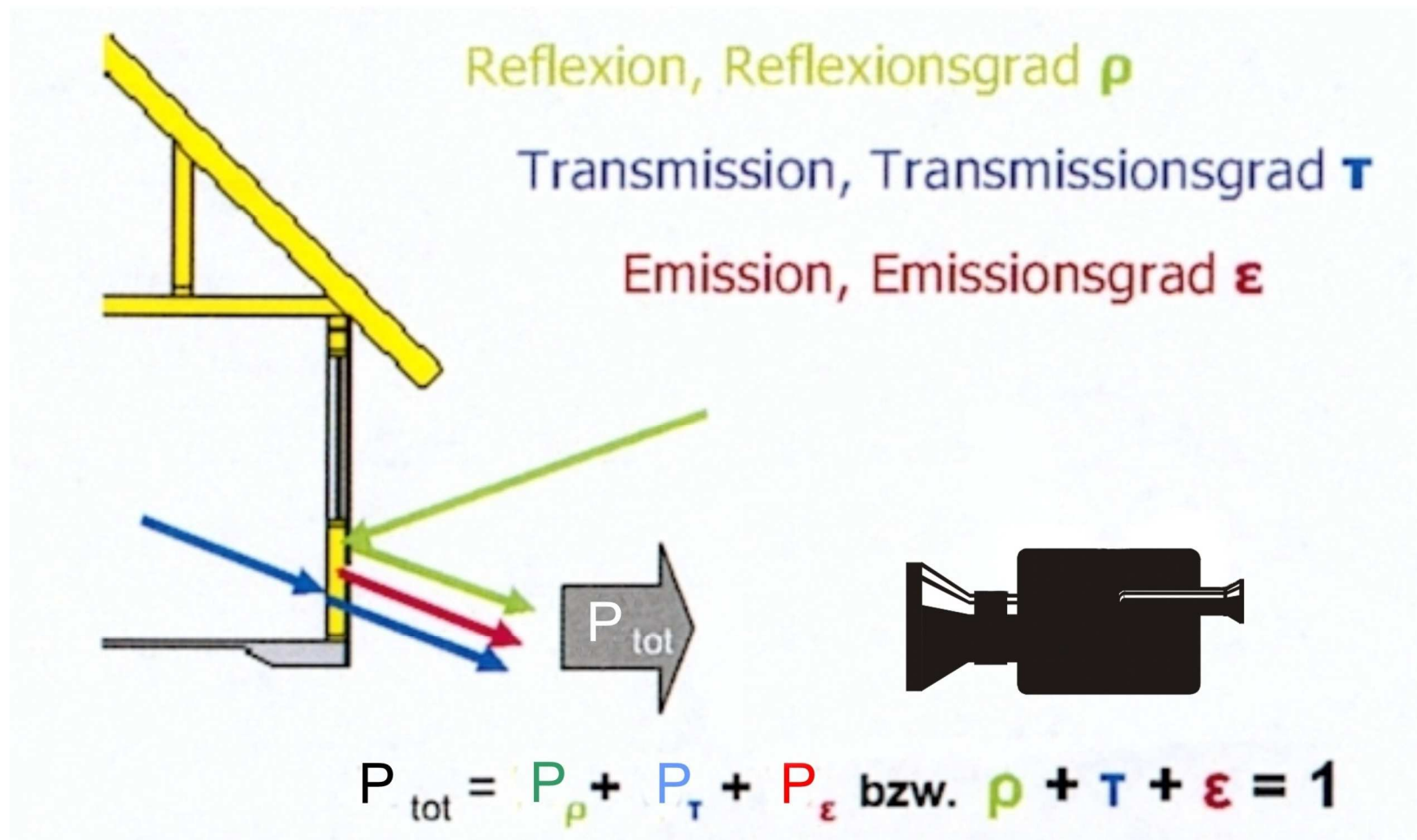
(Stefan-Boltzmannov zakon)

Objekat mjerenja

Parametri mjerenog objekta (površine)

1. Emisioni koef. (emisivnost) ε opisuje sposobnost emitovanja IC zračenja mjerene površine
2. Reflektovana temperatura – temperatura koju “reflektuje” mjereni objekt (površina) iz okoline. To je temperatura koja proizvodi 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

Refleksija, Transmisija, Emisija

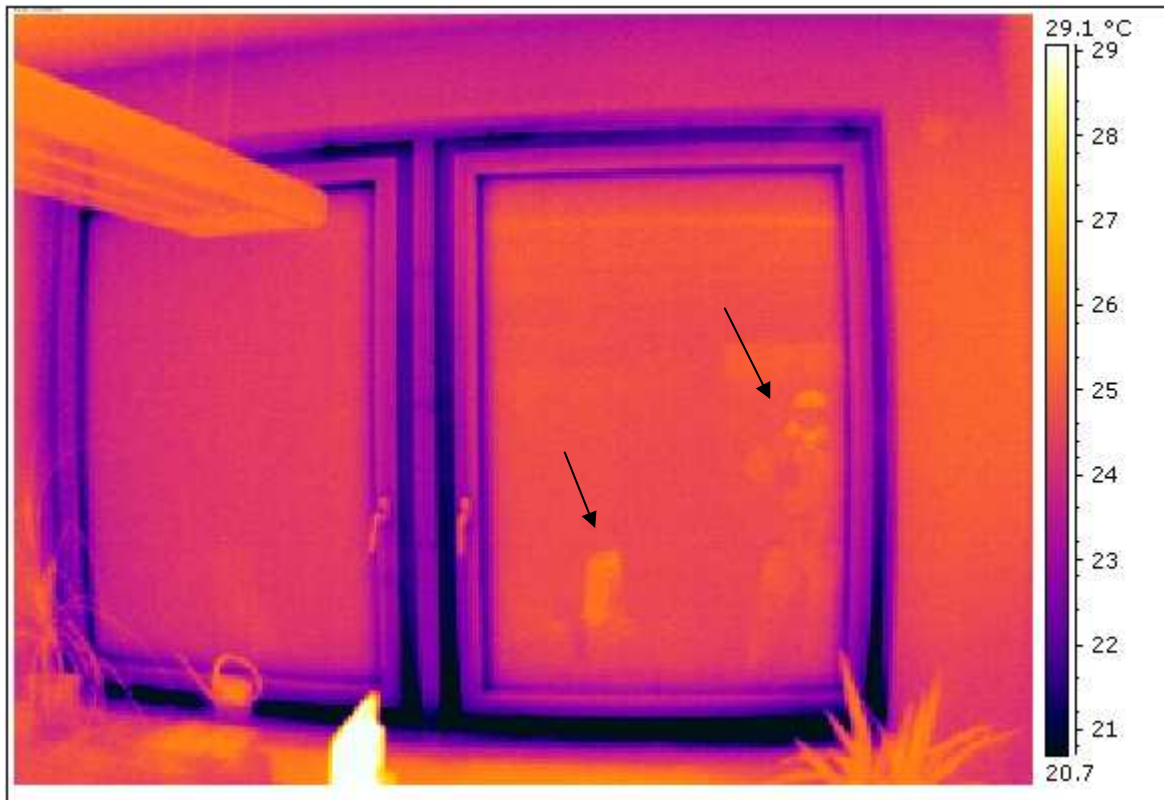
Emisivnost zavisi od površine, materijala i temperature.

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 neprovidno. Koef.emisije je mali → detektuje se reflektovano zračenje!!!

Variranje emisivnosti...

Greška u rezultatu usljed greške u faktoru emisije nije drastična:

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

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

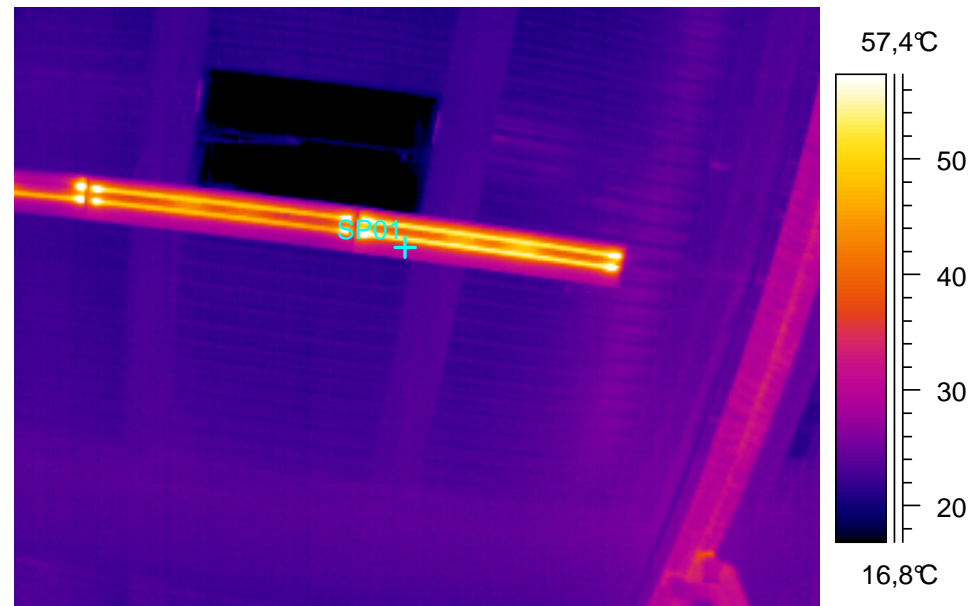
Excel-proračun

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

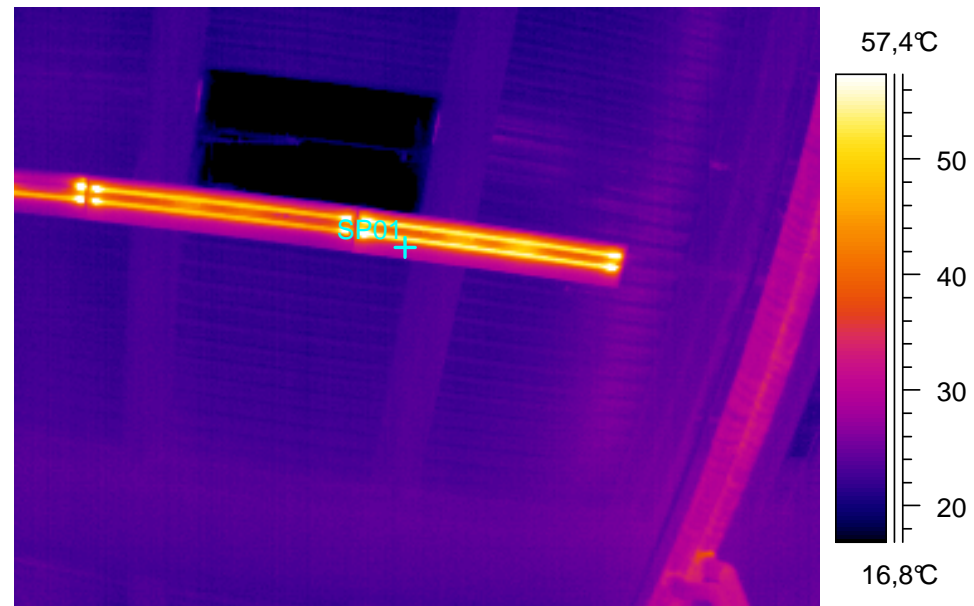
ε	$T_{\text{em}} / \text{ }^\circ\text{C}$
1	33,3
0,95	33,9
0,9	34,7
0,85	35,5
0,8	36,4
0,5	45
0,25	65,3



Greška u rezultatu usljed Trefl

Variranje T_{refl} pri $\varepsilon = 0,9$

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



Funkcije

glavne funkcije

On/off

Fokusiranje

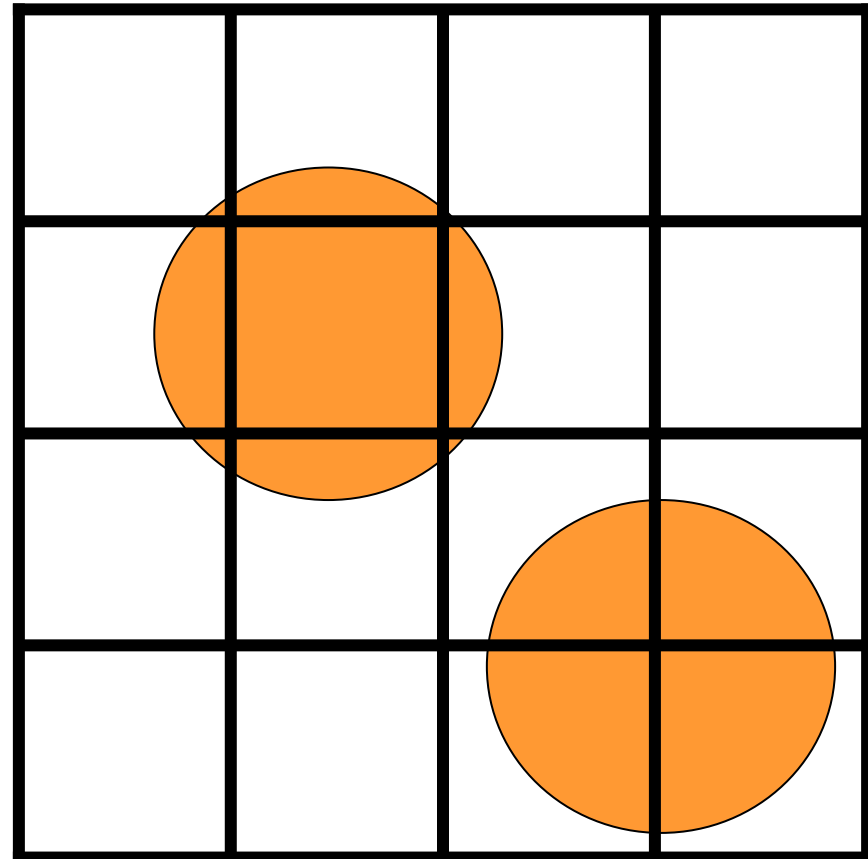
Podešavanje mjernog opsega (Level/
Span)

Fiksiranje slike (fotografisanje)

Čuvanje slike

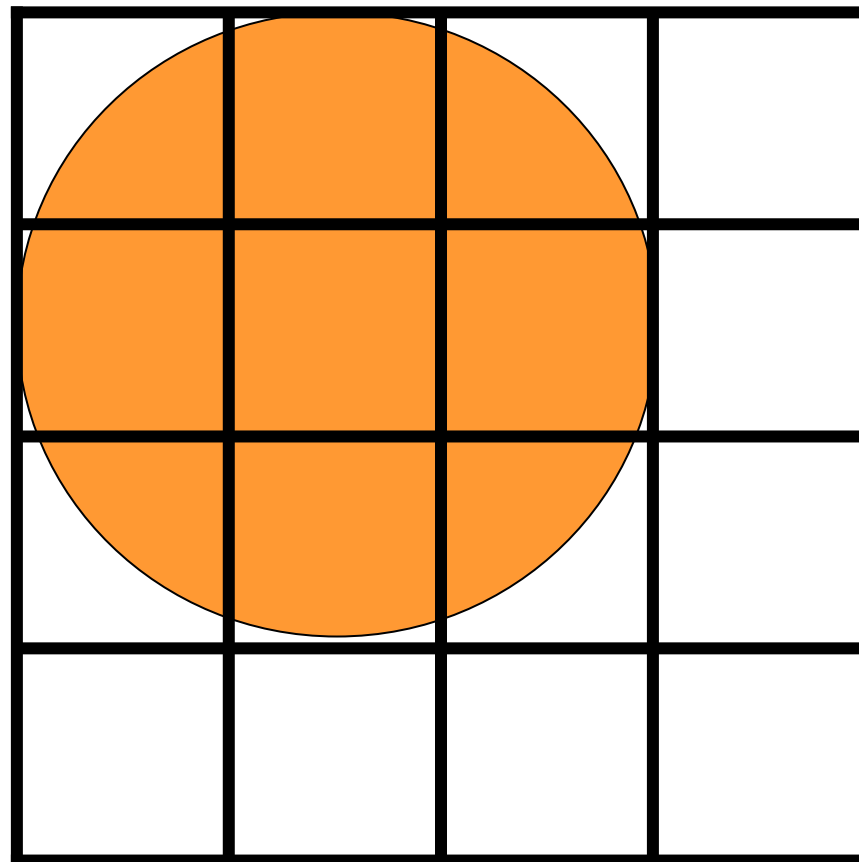
Termička i geometrijska tačnost

- 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



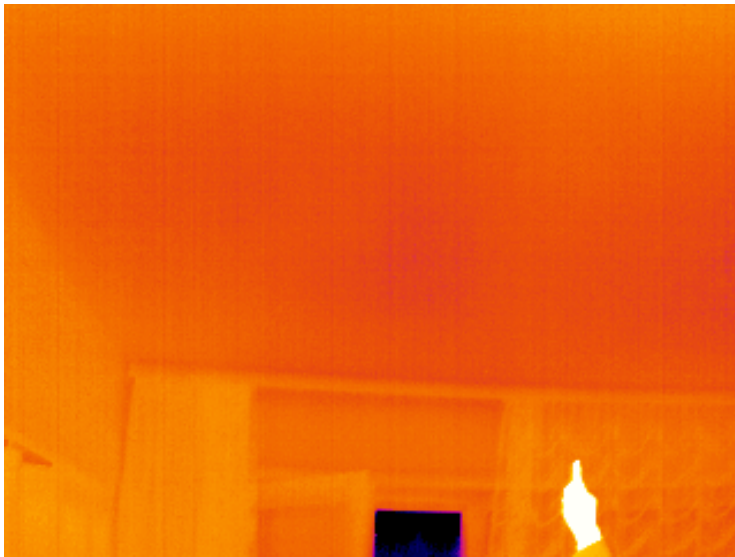
Termička i geometrijska tačnost

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

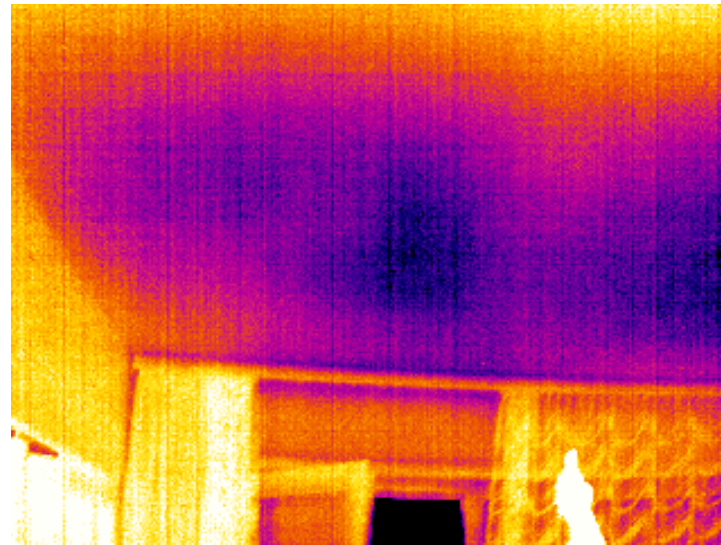


Primjena

- 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

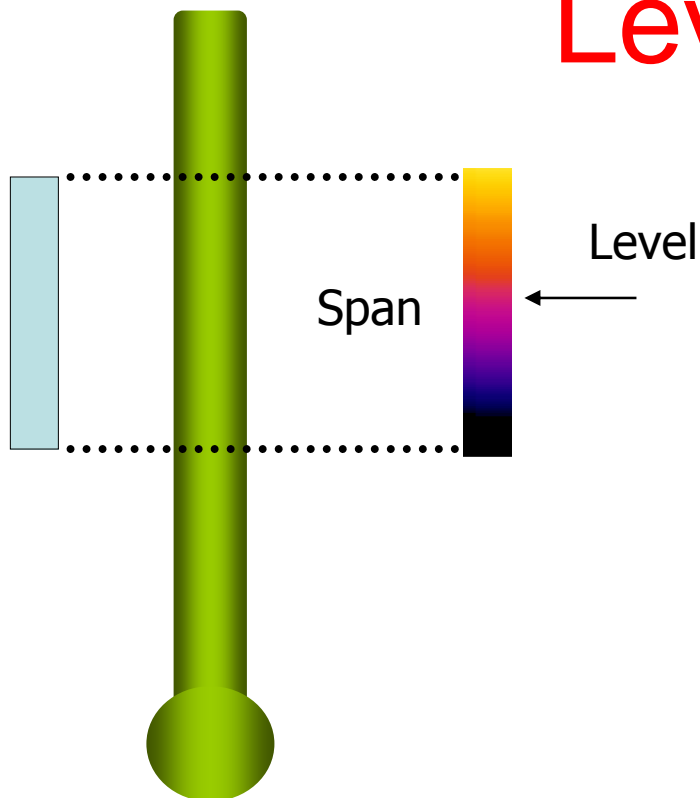


Automatska temp.skala



Manuelno podešena temp. skala

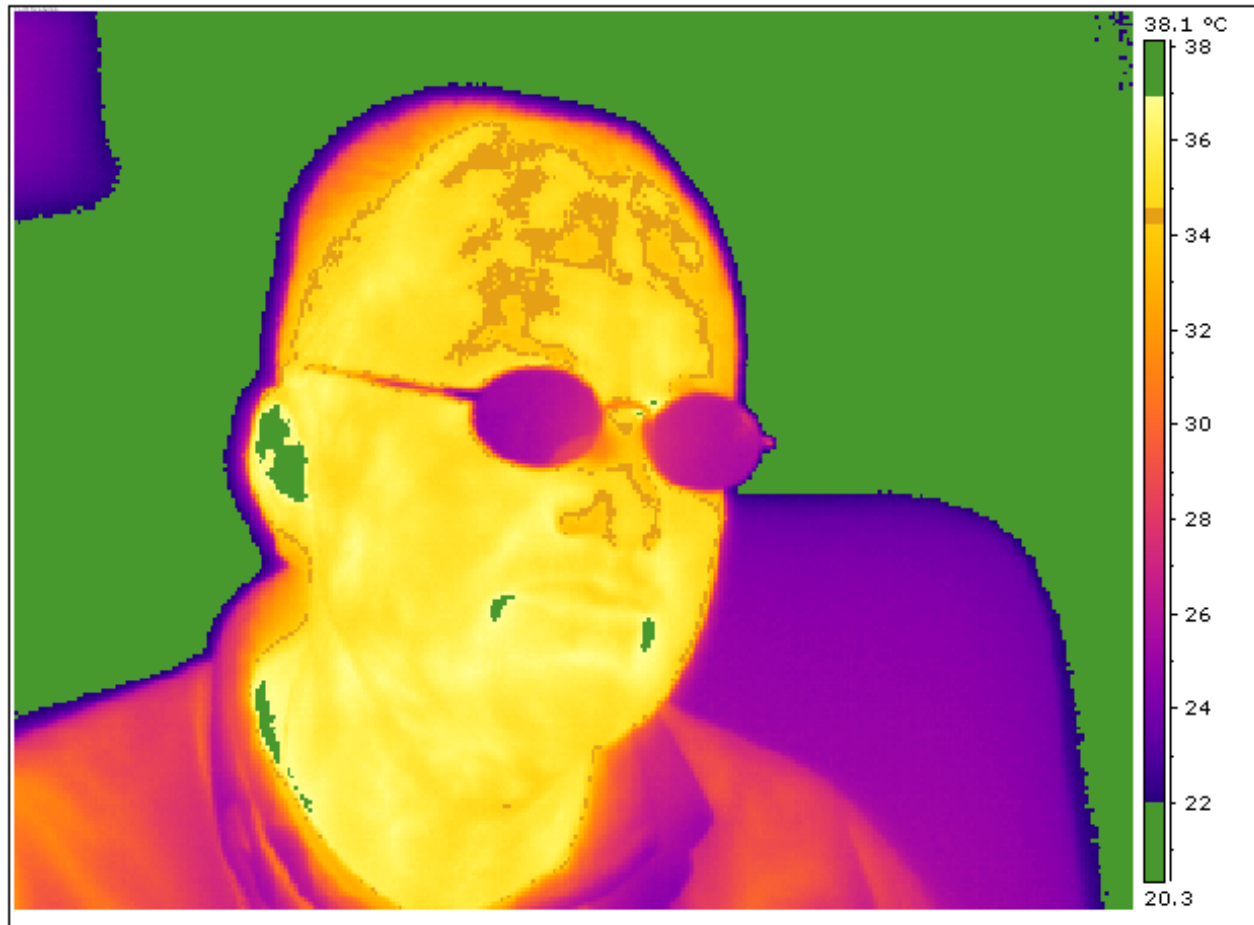
Level, Span



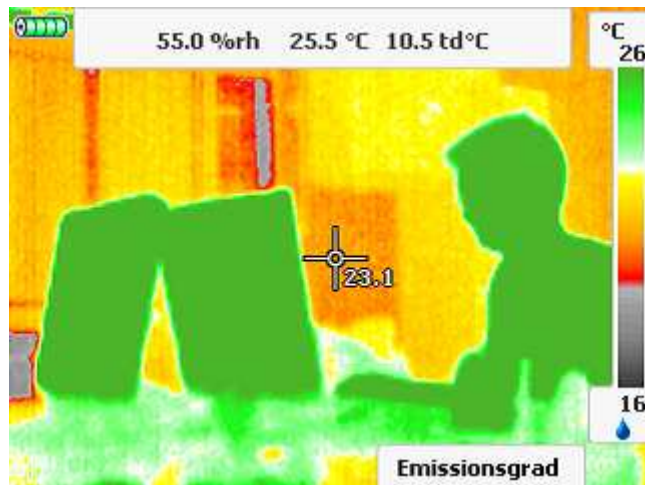
- **Temperaturni opseg** je mjerni opseg kamere.
- **”Span”** je temperaturski interval u kome se nalazi trenutna temp.skala
- **”Level”** je srednja tačka
- Mjerni opseg kamere testo 880:
-20100 °C i
0350 °C

Preporuka (!): ako želite da pojačate kontrast (radi uočavanja /izdvajanja) neke pojave – uđite 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.

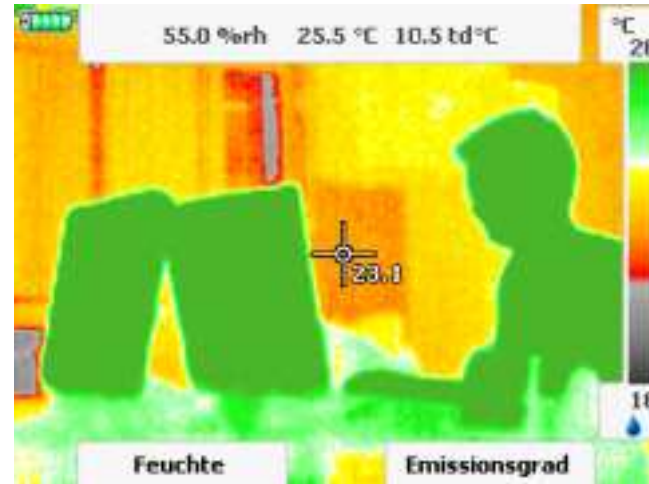
Color alarm (funkcija „Izoterme”)



Detekcija površinske vlage pomoću Testo 880



Dinamičko sa senzorom vlage



Manuelni unos sobne rel.vlažnosti

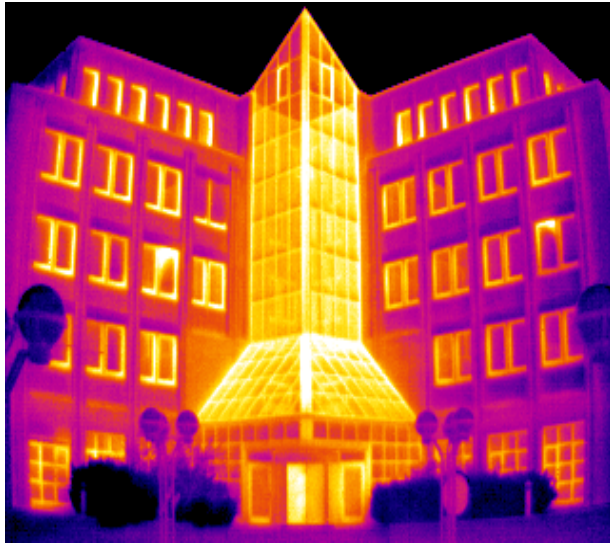
← bezbjedno

← 65%

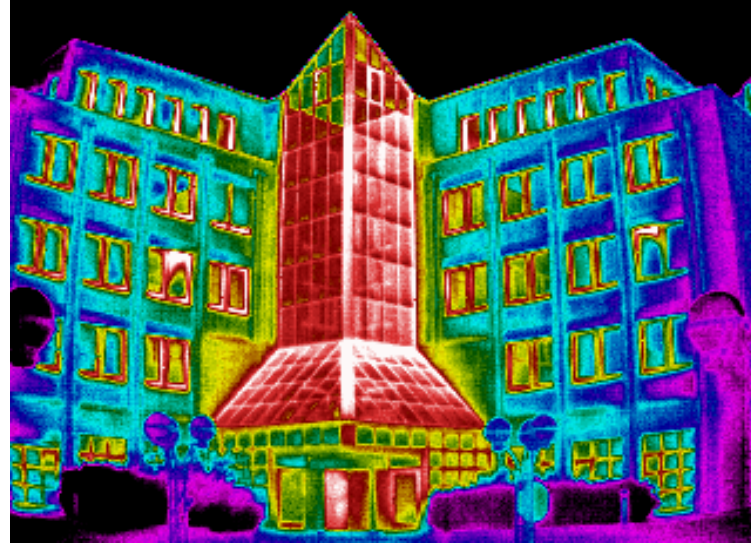
← 80%

← Tačka rose

Paleta



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

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

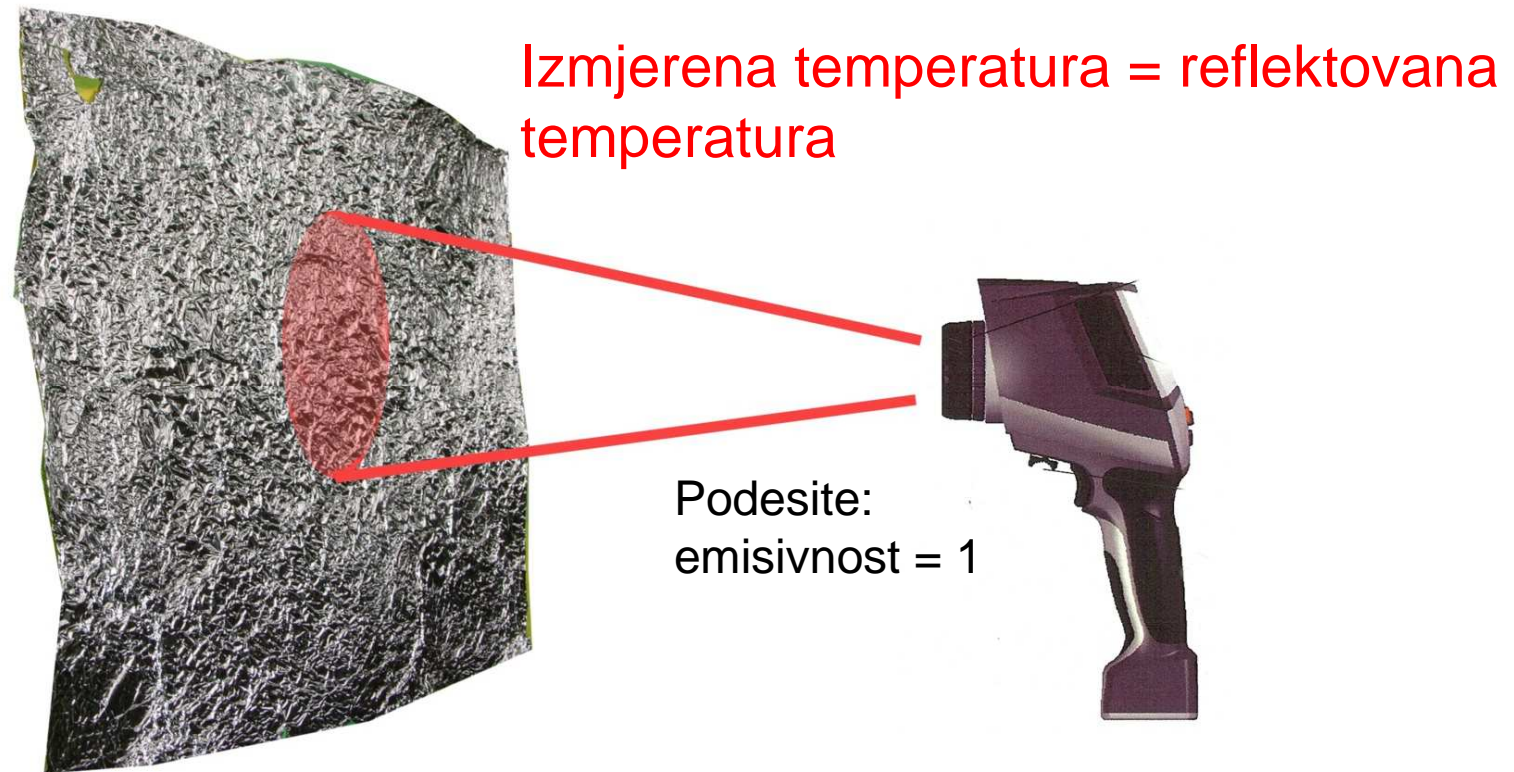
Eloksirani alum. $\varepsilon = 0.4$.

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

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 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

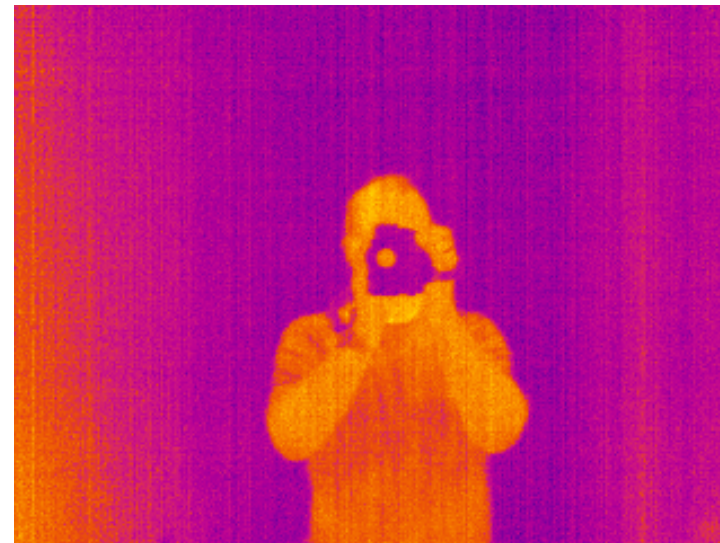
Analiza termograma

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



Izolir traka ima poznato

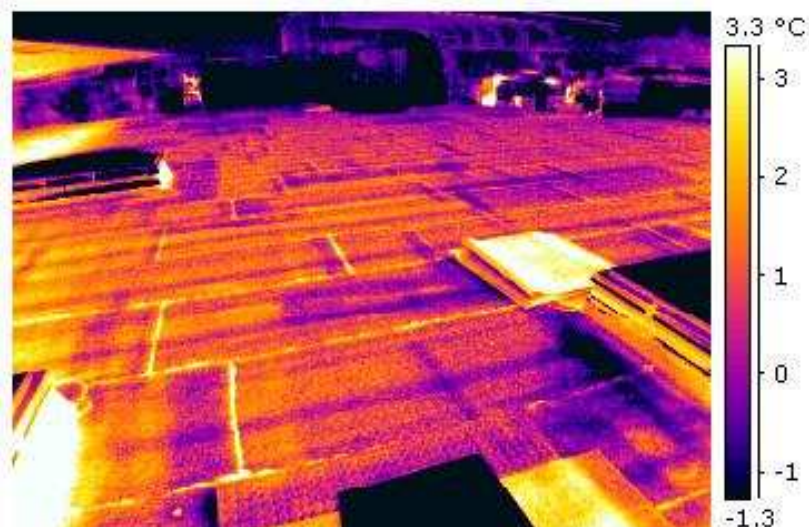
$$\varepsilon = 0.93$$



Oprez

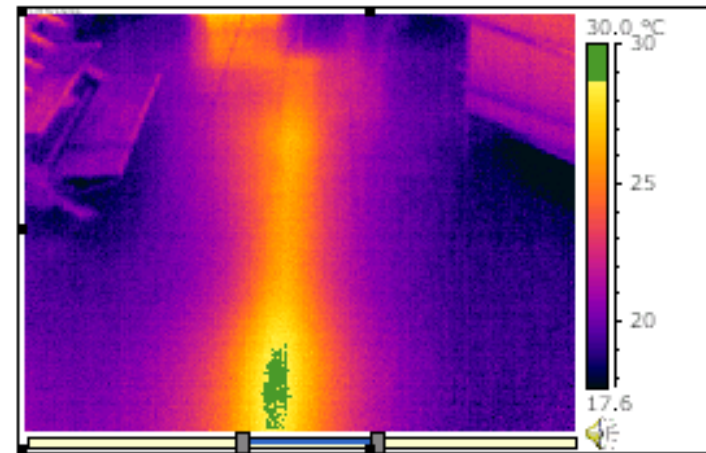
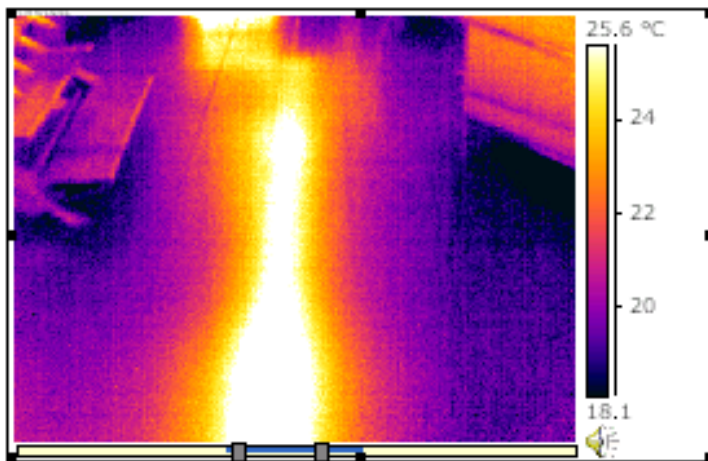
Analiza termograma

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



Color alarm (Izoterme)

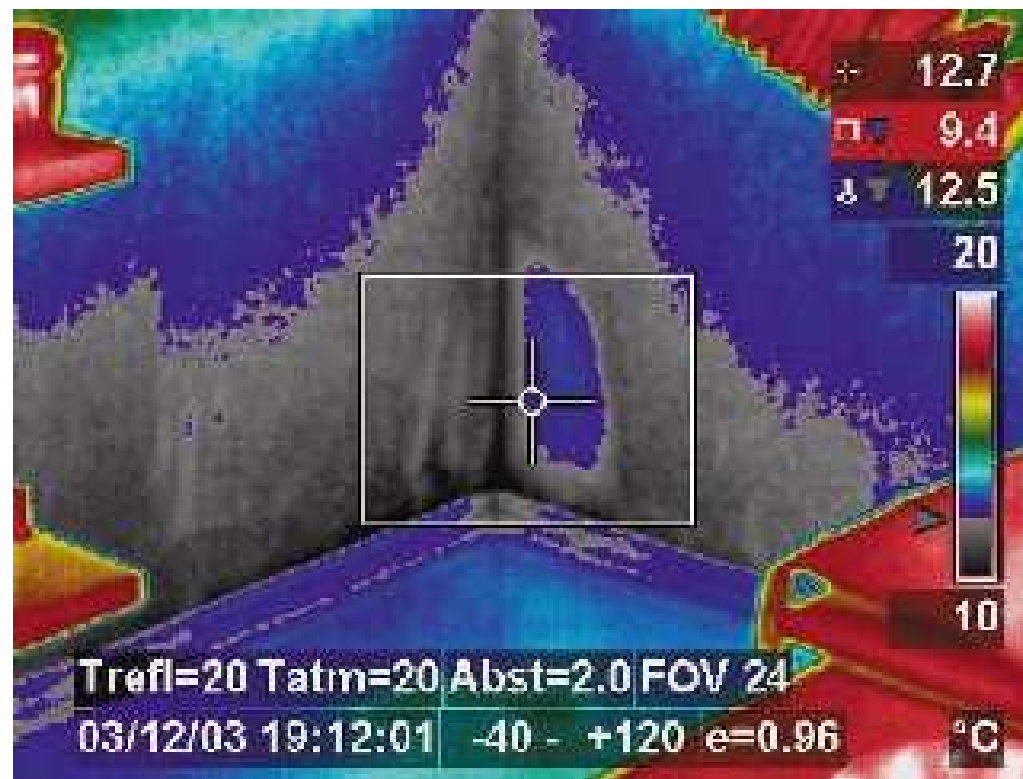
Color alarm markira zone sa temperaturom iznad određene...



Uočavanje curenja

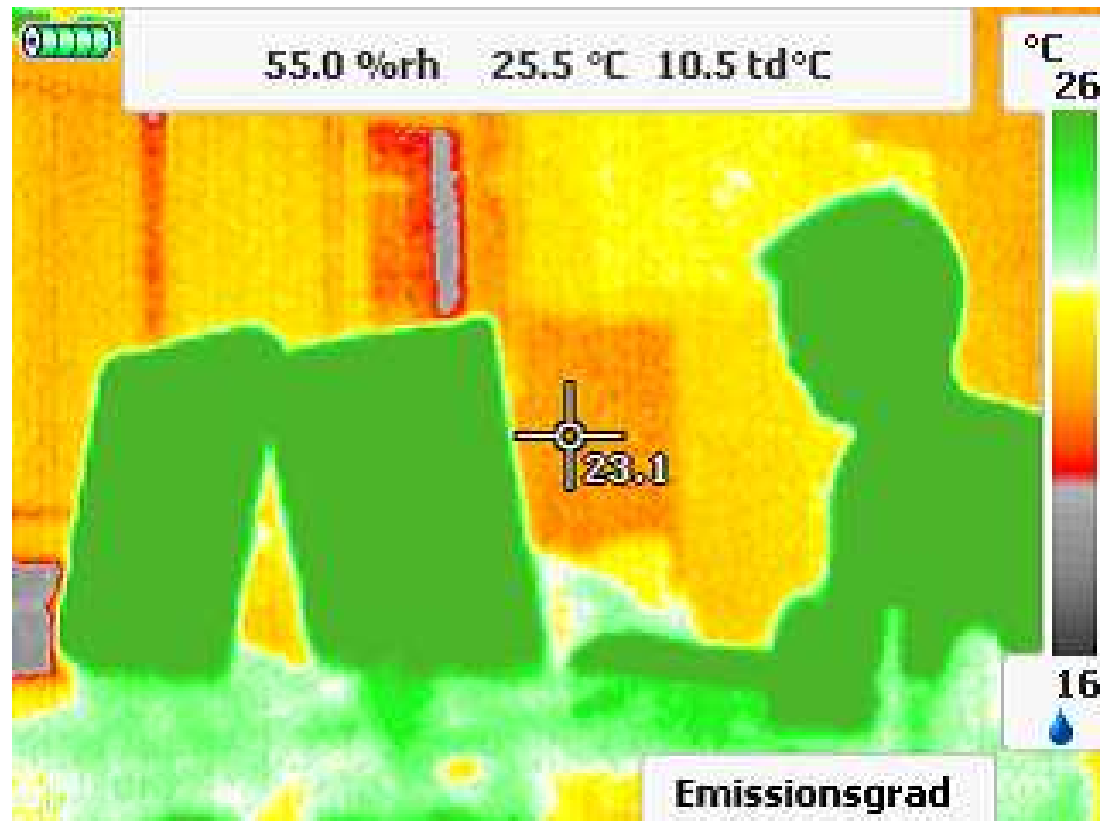
Analiza termograma

tačka rose



Analiza termograma

Tačka rose



Baterije



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

Izmjena baterija

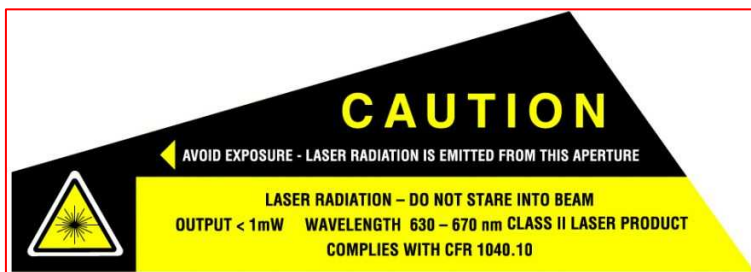



- Baterija leži u rukohvatu

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.

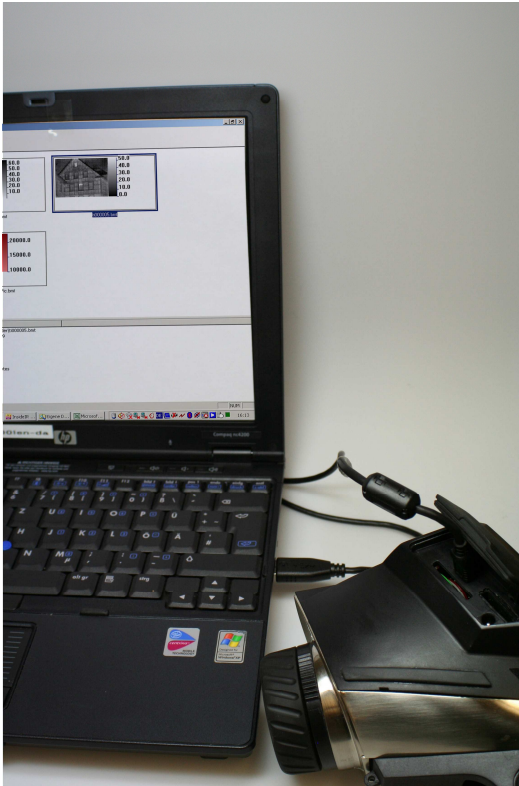
- Objektiv je vrlo osjetljiv na ogrebotine
- Prašina se skida isključivo četkicom (koja se istresa udaranjem, ne prstima)
- Objektiv se čisti isključivo isopropanolom (sprej isopropanol, bez acetona ili etanola) i medicinskom vatom

Rad uz upotrebu senzora vlage

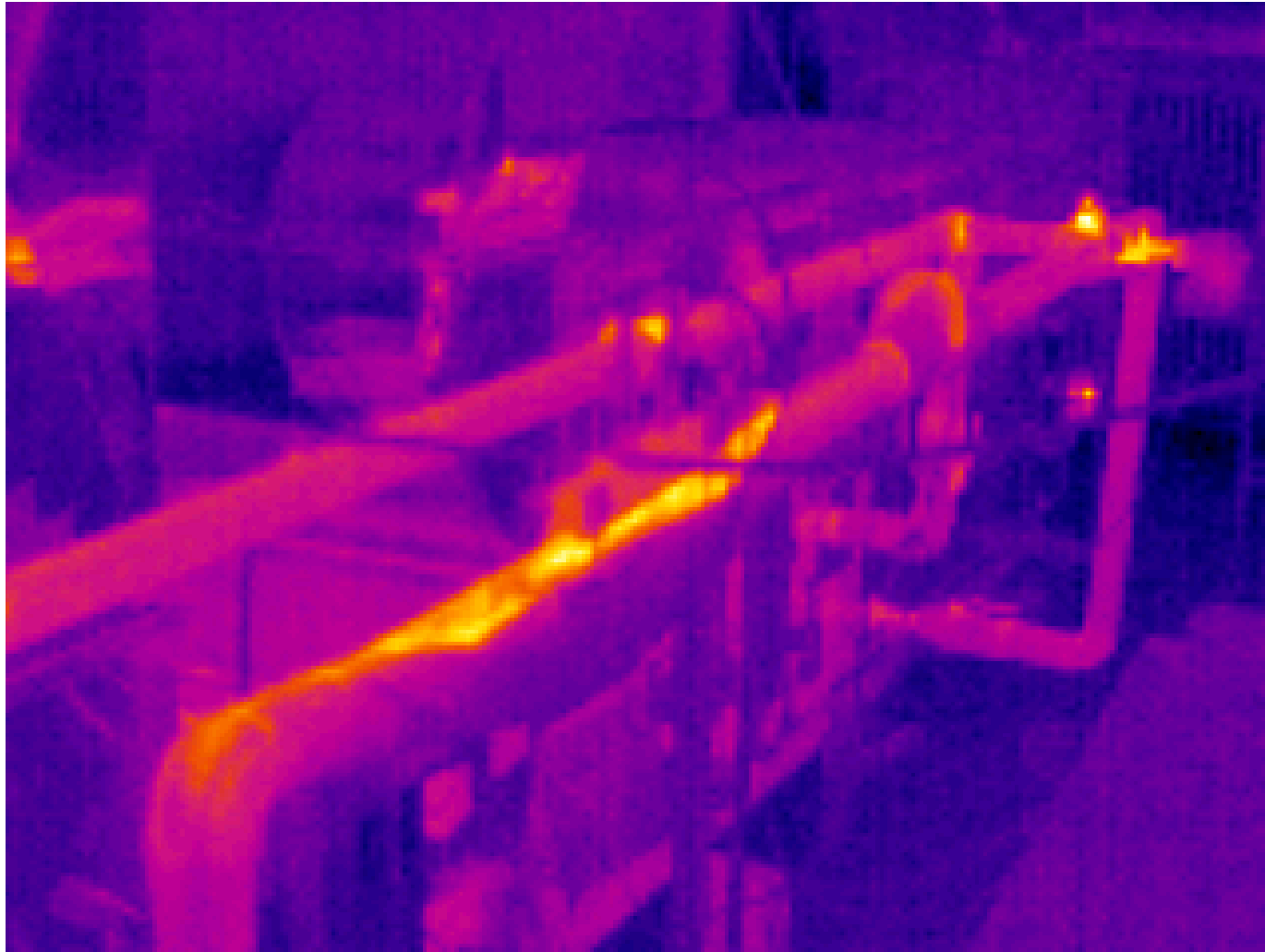


- Kamera se može podesiti da radi uz pomoćni davač vlage u sobi

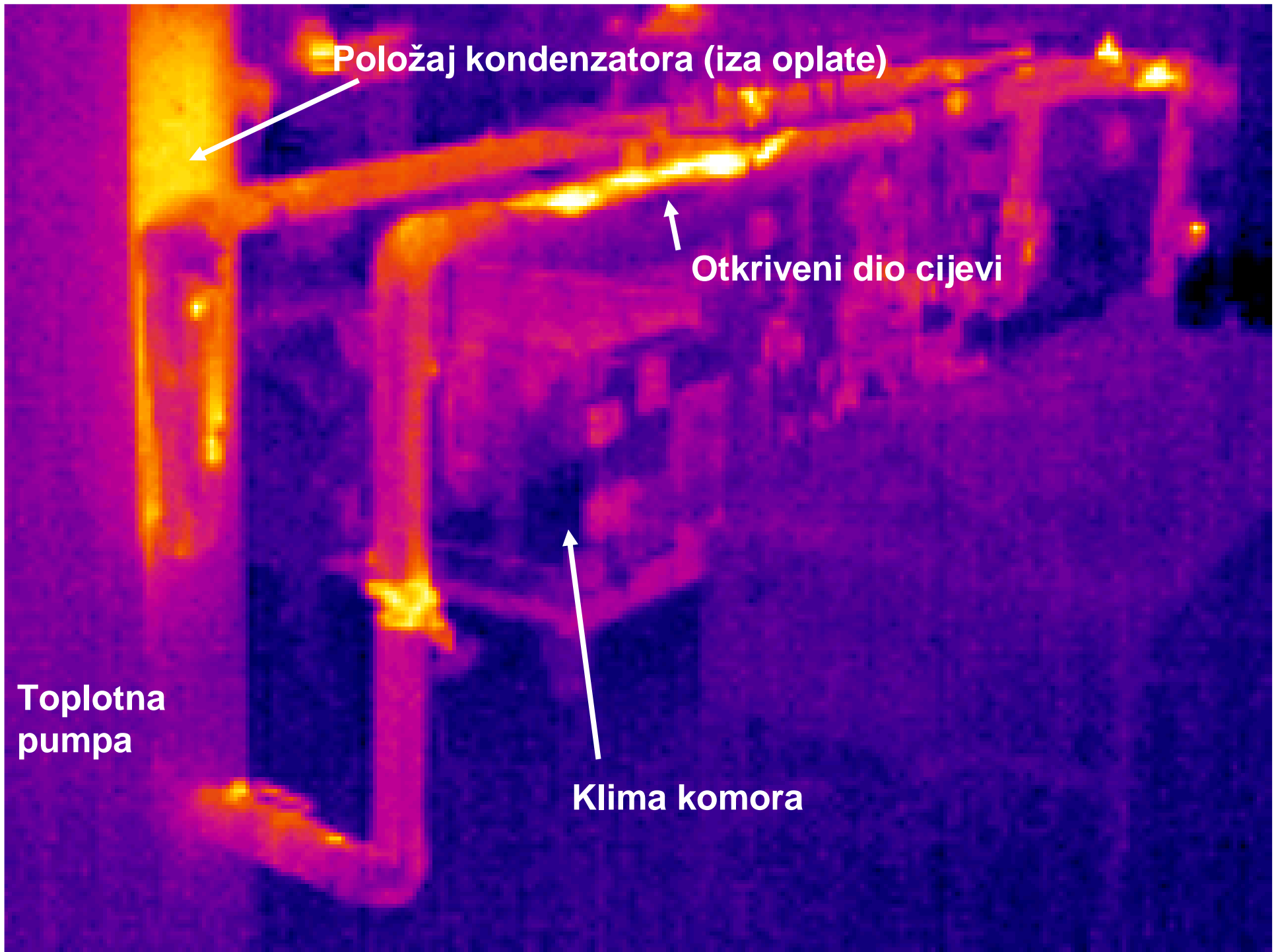
Prenos slika na PC...



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



Termoslika (razvodna i povrtna cijev ka klima komori)



Položaj kondenzatora (iza oplate)

Otkriveni dio cijevi

Toplotna
pumpa

Klima komora



Refleksija sa neonske sijalice na plafonu !!!

Kanal vazduha razmenjivača
freon-vazduh toplotne pumpe
(isparivač u grejnom režimu)



mr Milan Šekularac, dipl.ing.maš
Mašinski fakultet Podgorica
milans@ac.me
+382 (0)69 381 820