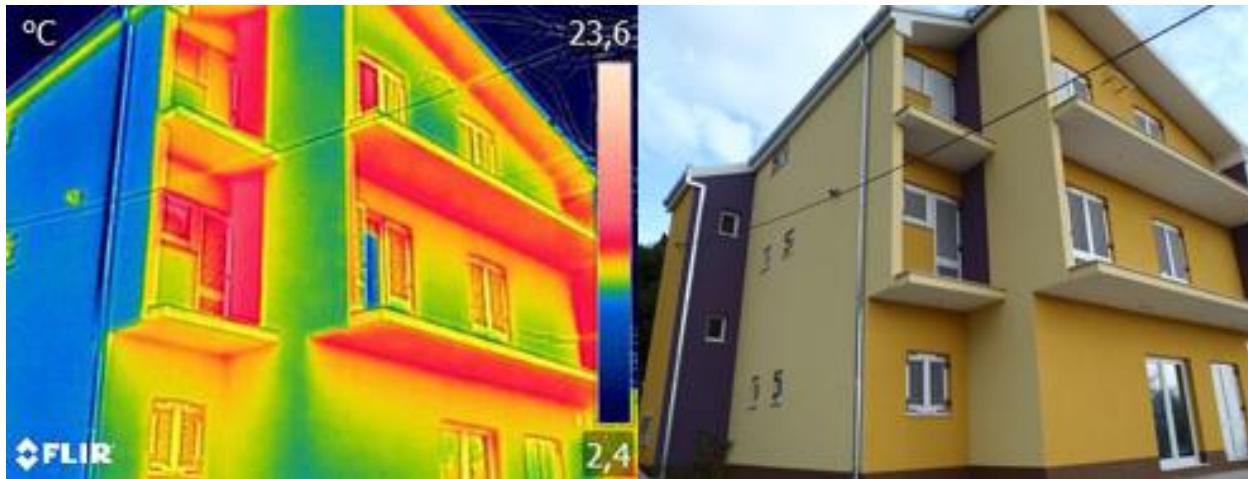


TERMOVIZIJSKI POSTUPAK ZA MONITORING I DIJAGNOSTIKU ELEKTROENERGETSKIH UREDJAJA



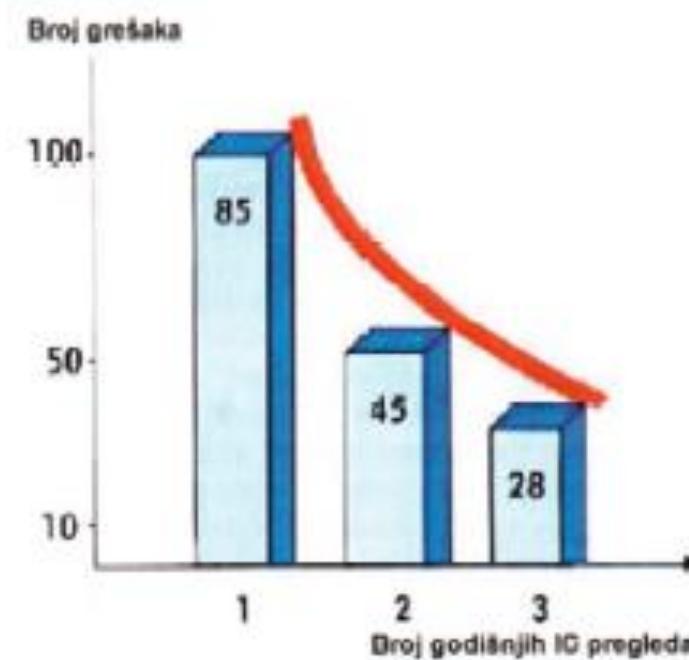
UVOD

- Neprekidnost napajanja potrošača zavisi od stanja elektroenergetskih uredjaja.
- Procena stanja elektroenergetskih uredjaja se može izvršiti na osnovu:
 - metoda koje ne zahtevaju prekid pogona (on-line metode)
 - metoda koje zahtevaju prekid pogona (off-line metode)
- Monitoring (nadgledanje) obuhvata aktivnosti koje se vrše ručno ili automatski (očitavanjem mernih instrumenata i signalizacije) u cilju praćenja stanja elektroenergetskog uredjaja.
- Dijagnostika stanja elektroenergetskog uredjaja obuhvata ispitivanja karakterističnih parametara uredjaja i njihovo uporedjivanje sa specificiranim veličinama.
- Termovizijska (termografska) ispitivanja predstavljaju on-line postupak koji se zasniva na beskontaktnom merenju temperature objekta.



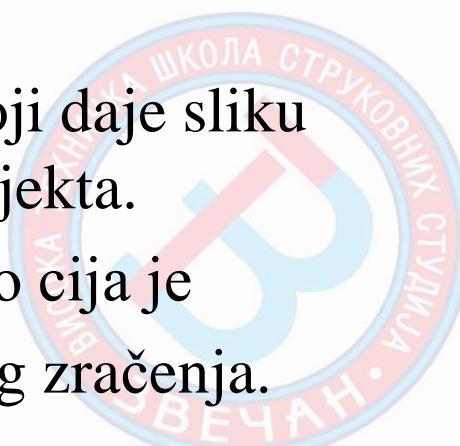
Prednosti termografije u monitoringu i dijagnostici

- Termografija omogućava preventivno održavanje elektroenergetskih uređaja.
- Broj kvarova elektroenergetskog uređaja drastično opada sa povećanje broja termografskih ispitivanja.

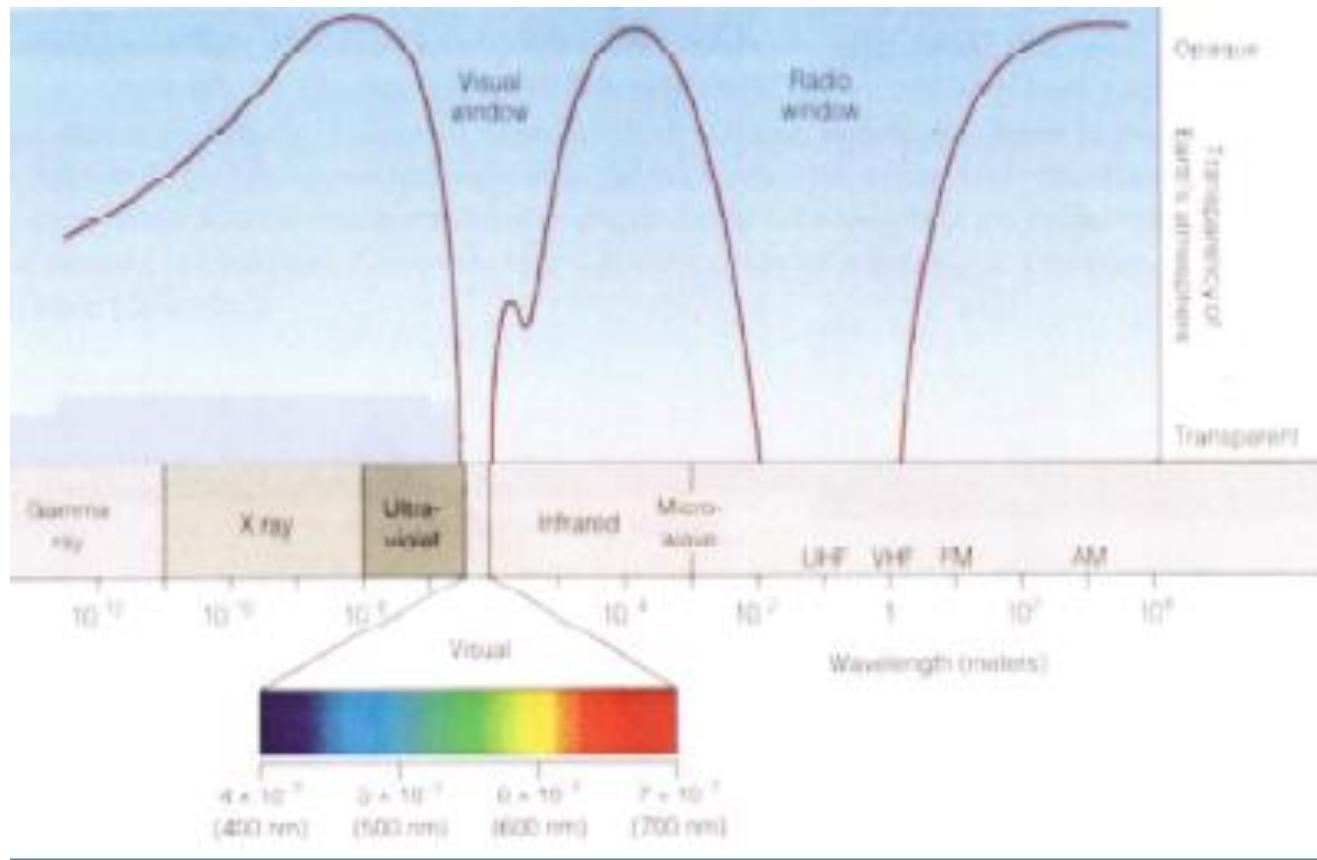


Teorijsko objašnjenje termografije

- Za merenje temperature elektroenergetskog uredjaja korišćeni su:
 - termometri sa termoelementima
 - otpornički termometri
 - uredjaji za merenje padova napona
 - termoindikatori koji menjaju boju ili se tope na određenoj temperaturi
 - beskontaktna metoda merenja temperature na bazi IC zračenja
- IC termografija je beskontaktna metoda merenja temperature i njene raspodele na površini tela.
- Rezultat termografskog ispitivanja je termogram koji daje sliku temperaturne raspodele na površini posmatranog objekta.
- Termografija se zasniva na činjenici da je svako telo cija je temperatura iznad apsolutne nule (0°K) izvor toplotnog zračenja.



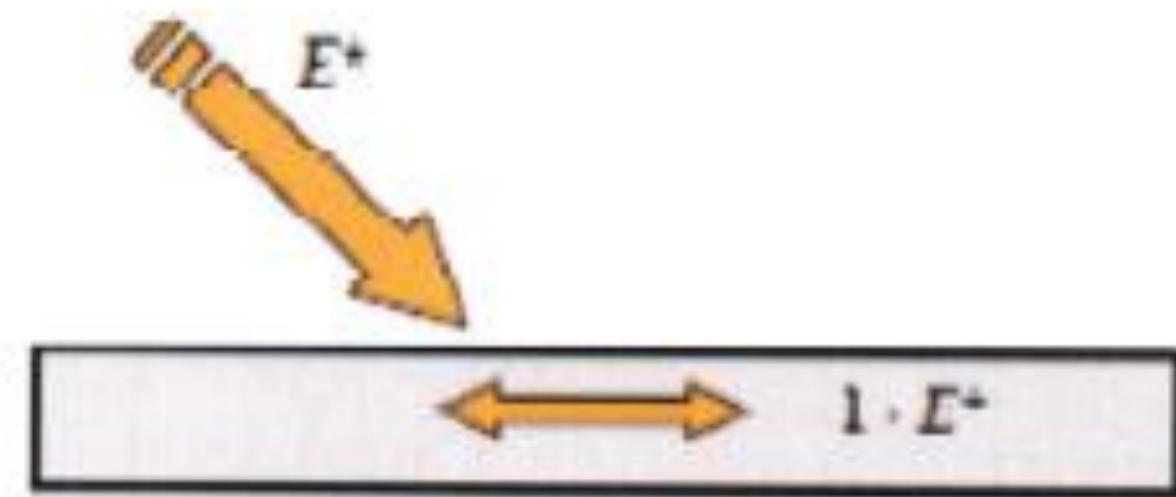
- Toplotni efekti su vezani za zračenje u opsegu od 0.1 do 100 μm (10^{-7} do 10^{-4}m), obuhvata deo ultraljubičastog zračenja, vidljivi deo spektra i infracrveno područje.
- Vidljivi deo spektra obuhvata područje toplotnog zračenja od 0.3 do 0.7 μm .



- Uporedni prikaz u vidljivom i infracrvenom delu spektra



- Crno telo je idealno telo koje apsorbuje celokupno zračenje koje pada na njega bez obzira na talasnu dužinu ili ugao upada i ništa se ne reflektuje.
- Zračenje koje dolazi sa površine crnog tela je emitovano zračenje (nema reflektovanog i propuštenog zračenja)



- Crno telo emituje zračenje u celom spektru talasnih dužina
- Energija jednog kvanta (fotona) elektromagnetskog zračenja:

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} = \frac{1.239}{\lambda} \text{ [eV]}$$

$h=6.624 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ - Plankova konstanta
 $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

- Snaga zračenja sa jedinice površine po jedinici talasne dužine crnog tela (Plankov zakon):

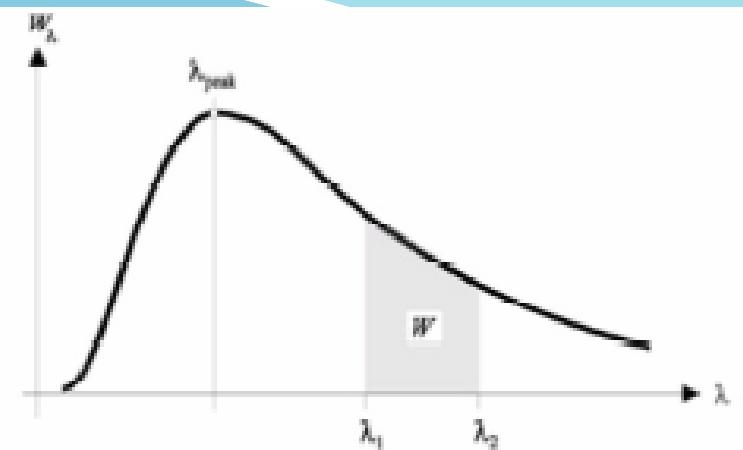
$$W_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1} = \frac{3.74 \cdot 10^5}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{14400}{\lambda T}} - 1}$$

$W_\lambda \text{ [W/(m}^2 \mu\text{m)]}$

$k=1.38 \times 10^{-23} \text{ [J/K]}$ – Boltzman-ova konstanta

$T \text{ [K]}$ - apsolutna temperatura crnog tela





Spektar zracenja crnog tela

- Snaga zračenja crnog tela izmedju dve talasne dužine W
- Ukupna snaga zračenja crnog tela (Stefan-Boltzman-ov zakon):

$$W = \sigma T^4$$

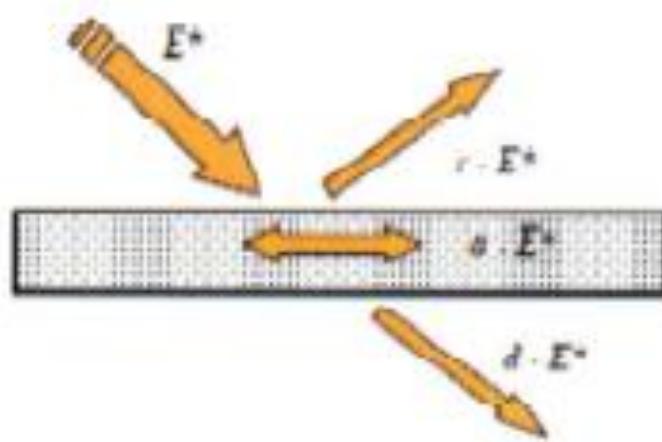
$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} [\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)]$ - Stefan-Bolcmanova konstanta

- Wien-ov zakon pomeranja:

$$\lambda_m = \frac{2898}{T}$$



Zracenje koje dolazi na površinu realnog tela delimično se apsorbuje, delimično reflektuje, a delimično se propusti



$$E^* = a \cdot E^* + r \cdot E^* + d \cdot E^*$$

a – koeficijent apsorpcije, r – koeficijent refleksije, d – koeficijent dijametrije

$$a + r + d = 1$$

- Stefan-Bolcmanov zakon za realna tela uvažava faktor emisije kao odnos vlastite emisije pri određenoj temperaturi i emisije crnog tela pri toj temperaturi

$$W = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$



UREDJAJI ZA TERMOGRAFIJU

- Od sredine 60-tih godina prošlog veka postoje razni tipovi kamera
- Svi tipovi kamera koriste tzv. optomehaničko skeniranje, te se zovu još i IC skeneri.
- Tehnologija rotirajućih prizmi: slika sa objekta se prenosi preko optike na matricu detektora koja se sastoji od stotinu linija, a svaka linija od stotinu detektorskih elemenata koji pokrivaju čitavu površinu na koju se projektuje slika.
- Problem: zahtevalo se posebno hladjenje uređaja tekućim fluidom što je ograničavalo mobilnost uređaja tako da su se IC kamere upotrebljavale laboratorijski.
- Razvoj tehnologije hladjenja omogućilo je da IC kamere budu pokretne poput klasične video kamere.



Klasifikacija i karakteristike termografskih uredjaja

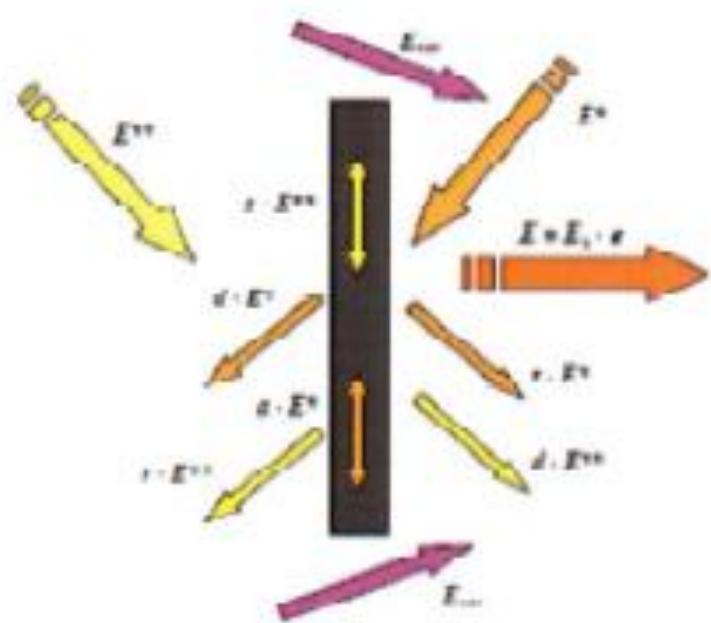
- Podela termografskih (termovizijskih) uredjaja za merenje IC zračenja je definisana vrstom detektora, vrstom optičkih sistema i vidnim poljem kamere.
- Prema vrsti detektori mogu da budu termicki, fotonski i piroelektrični.
- Na tržištu su se izdvojila dva tipa uredjaja za beskontakno merenje temperature: IC pirometri i IC termografi.
- Pirometri imaju jednostavno sočivo koje usmerava zračenja sa male površine, detektor je obično termički.
- IC termografi (termovizijske kamere) velikom brzinom skeniraju objekat koji se nalazi u vidnom polju objektiva i usmeravaju ga na detektore, objekat se posmatra kao matrica, detektori su obično fotonski.

Termovizijski sistem

- Termografski sistem se sastoji od termografske kamere i jedinice za obradu termograma (personalni računar).
- U kameri je integrisana IC optika, detektor IC zračenja, jedinica za pretvaranje električnog u video signal, monitor i kartica za memorisnje podataka.
- Kamera snima izlazno zračenje sa površine objekta zračenje atmosfere i konvertuje IC zračenje u vidljivu sliku: IC zračenje sa objekta prolazi kroz filter i sočivo gde se fokusira na detektor, detektor stvara električni signal koji se digitalizuje i konvertuje u sliku na monitoru.



- Dozračena energija na detektoru dolazi od emisije, refleksije i energije koja prolazi kroz posmatrani objekat i od energije koja dolazi iz okoline.



Snimanje termograma

- Kompenzacija uticaja atmosfere, unošenjem u kameru:
 - rastojanja od objekta do kamere
 - relativne vlažnosti okoline
 - temperature okoline
- Kompenzacija odbijenog zračenja, unošenjem u kameru:
 - položaja izvora odakle dolazi do odbijanja zračenja
 - temperature tog izvora odakle dolazi do obijanja zračenja
- Uvažavanje emisivnosti: kamera izračunava temperaturu na osnovu prenete topote i treba zadati koeficijent emisije ϵ :

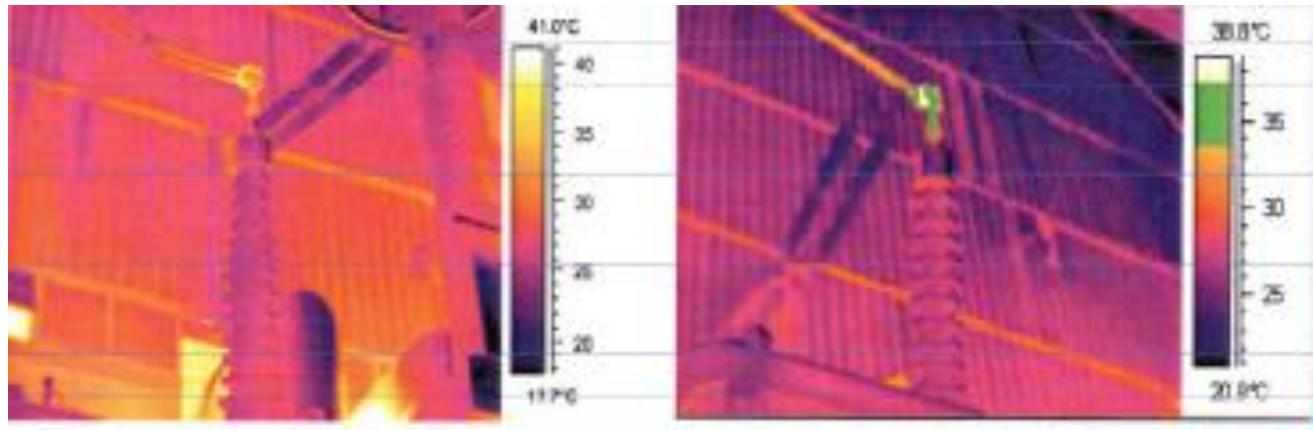
$$T = \left(\frac{E}{\epsilon \cdot \sigma} \right)^{1/4}$$

- Na emisivnost utiču: materijal od koga je napravljen objekat, struktura objekta, geometrija objekta i ugao snimanja.



Tehnike merenja

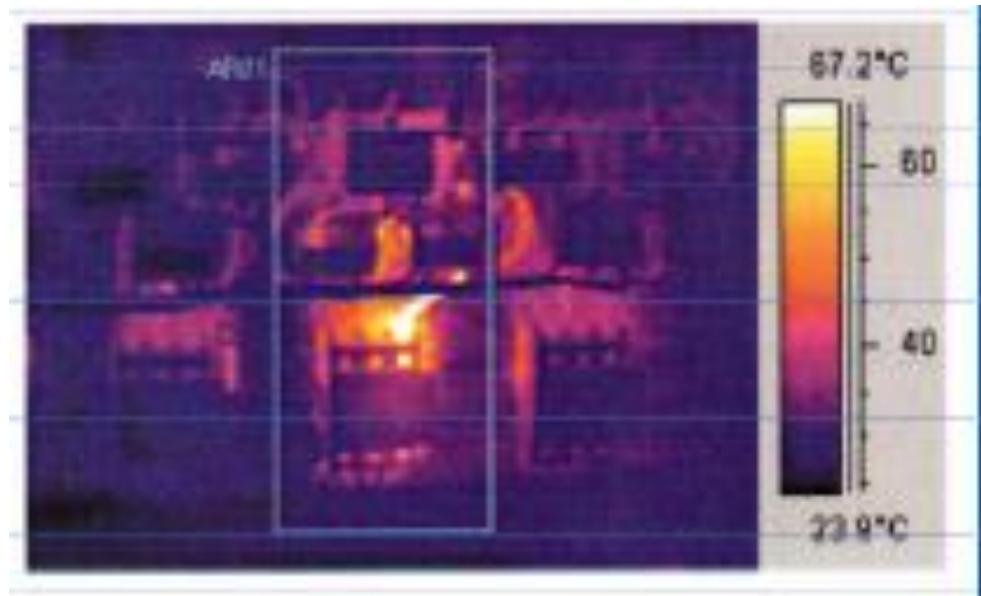
Izoterm: svakoj temperaturi se pridružuje odredjena boja



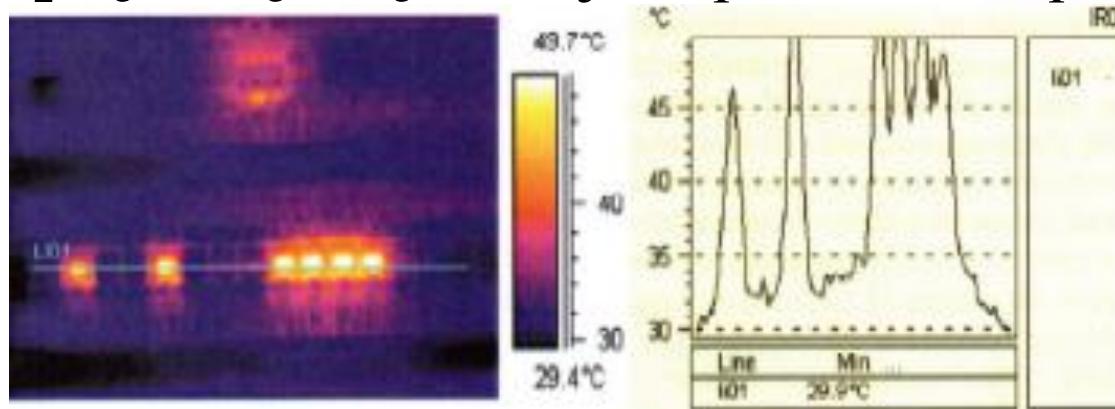
Poziciono merenje: dodaje se pokazivač koji daje vrednost temperature neke tačke



Merenje unutar oblasti: dobijaju se vrednosti temperature unutar neke oblasti



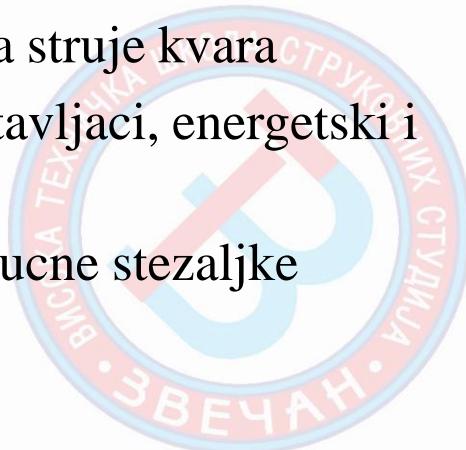
Merenje po jednoj liniji: dobija se promena temperature duž linije



TOPLA MESTA NA ELEKTROENERGETSKIM UREDJAJIMA

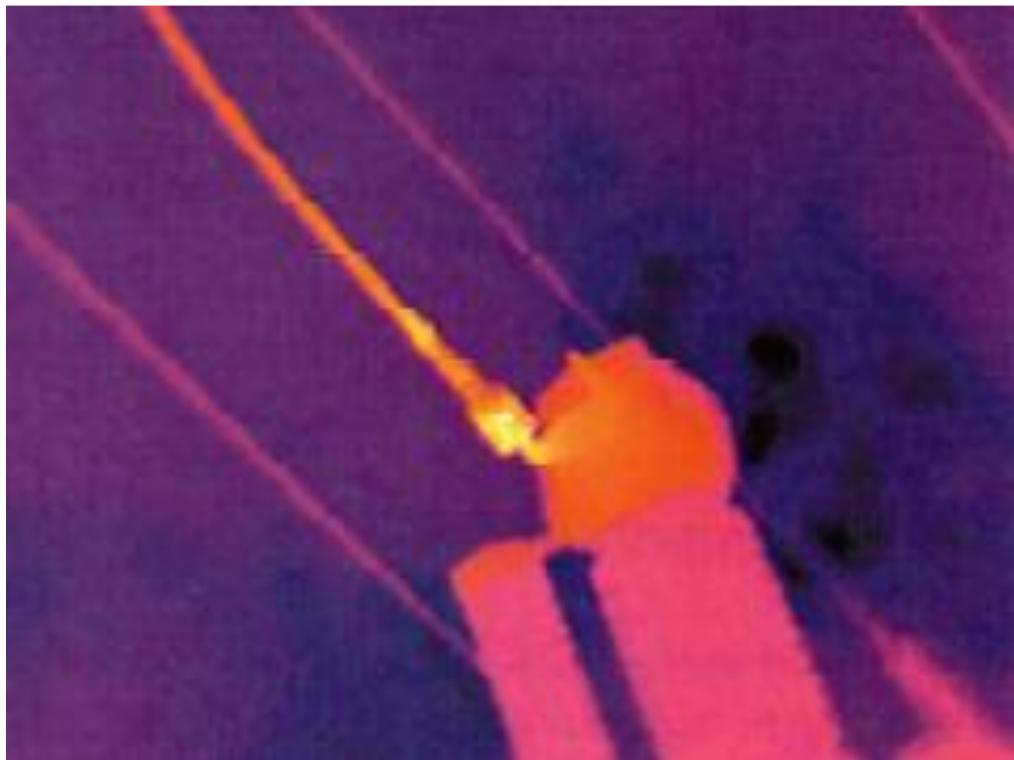
- Topla mesta su mesta koja se greju više od drugih, odnosno mesta koja se pregrevaju.
- Pregrevanja su razvrstana u tri kategorije:
 - pregrevanja do 10°C , mogu se tolerisati duže vreme
 - pregrevanja izmeu 10°C i 30°C , u roku od 60 dana treba obaviti reviziju
 - pregrevanja preko 30°C , revizija je hitna
- Topla mesta mogu da se svrstaju u dve grupe:
 - toplo mesto u rednoj vezi elemenata, pri proticanju ukupne struje kvara, mesto pregrevanja se poklapa sa mestom kvara
 - toplo mesto na aparatima kod kojih može da nastane preraspodela struje kvara
- U okviru termografskih ispitivanja kontrolišu se: prekidaci, rastavljac, energetski i merni transformatori, odvodnici prenapona i izolatori

Posebno treba obratiti pažnju na: strujne stezaljke i spojnice, prikljucne stezaljke aparata, spojeve na šinskim vezama, itd.



Prekidač

- Kontrolišu se:
spoljašnji priključci, kontaktni sistemi, grejači na postolju
prekidača, telo prekidača.



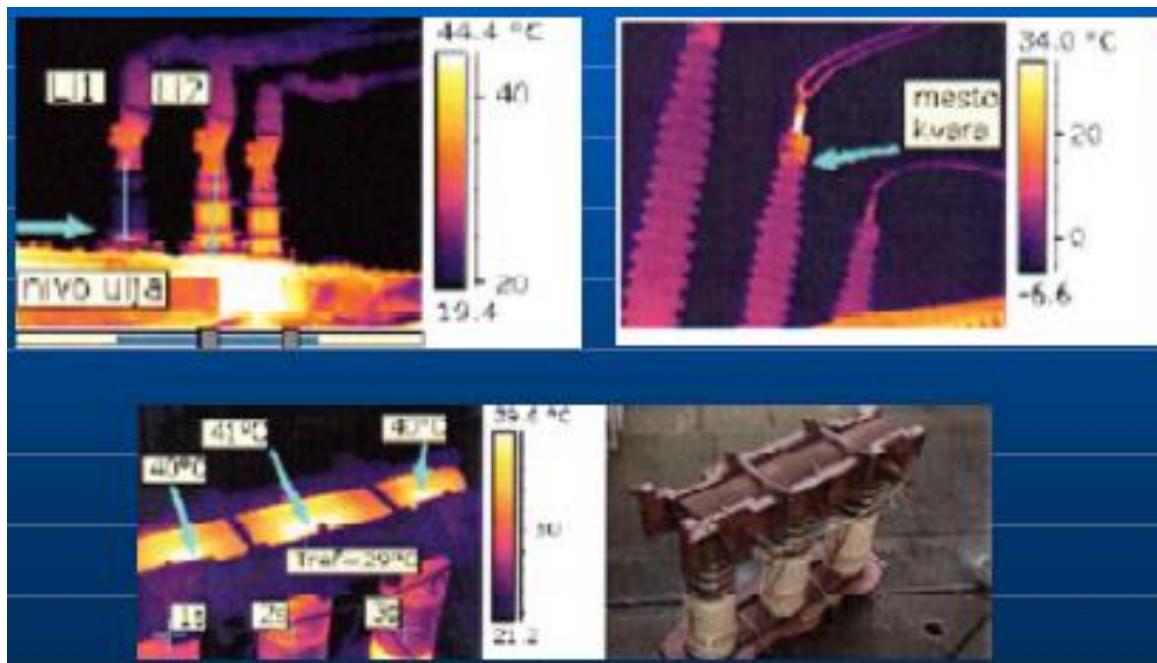
Rastavljač

- Kontrolišu se: priključne stezaljke i čeljusti unutar glave rastavljača



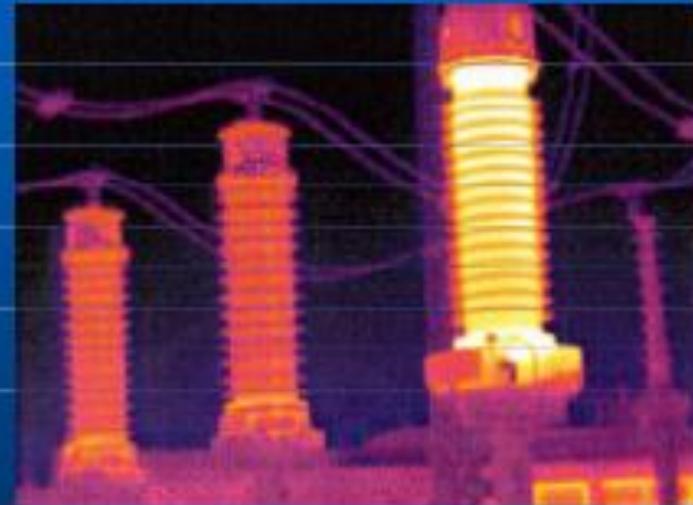
Energetski transformator

- Kontrolišu se: priključci provodnih izolatora, nivo ulja u provodnim izolatorima, protok ulja kroz radijatore za hladjenje, magnetno kolo, trasformatorski sud i prateća oprema

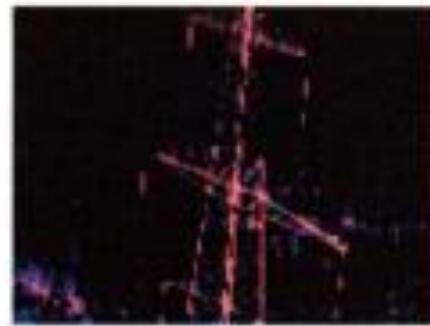


Merni transformatori

- Kontrolišu se: priključne stezaljke, priključci pločica za promenu prenosnih odnosa, glava i telo transformatora



Stub sa nadzemnim vodom



Osiguraci u transformatoru



Akumulator i spojnica

