

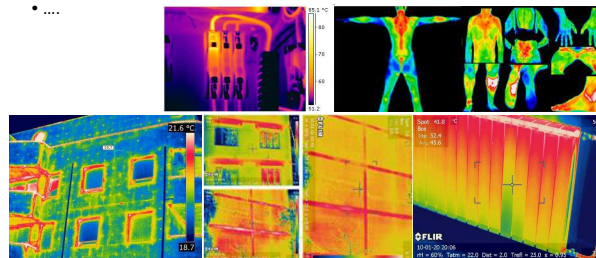
Infracrvena termografija



1

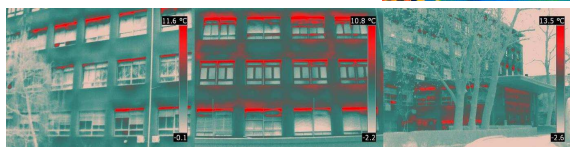
Primjena termografije

- građevinarstvo
- preventivno održavanje
- ispitivanje kvalitete proizvoda
- traganje, spašavanje, vojne svrhe, medicinska dijagnostika,
-



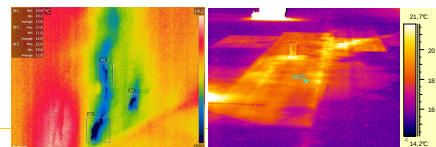
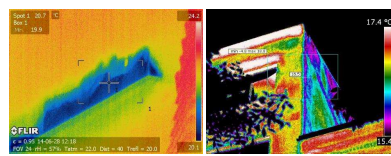
Primjena termografije u zgradarstvu

- IC termografija ima široku upotrebu u građevinarstvu za identifikaciju toplinskih gubitaka kroz vanjsku ovojnicu zgrade.
- Termografija je uspješno primijenjena za različite vrste zgrada i različite izvore gubitaka topline.



Primjena termografije u zgradarstvu

- Termografija je korištena i za pronalaženje mjesta:
 - povećane vlažnosti,
 - delaminacije žbuke
 - Procurivanja itd.

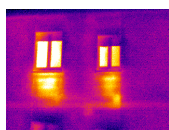
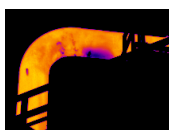


Što je to infracrvena termografija?



IC termografija je znanost prikupljanja i analize toplinskih podataka pomoću bezkontaktnih uređaja koji stvaraju toplinsku sliku.

- Temelji se na mjerenju intenziteta infracrvenog zračenja s promatrane površine.



5

Razlika između vidljivog i infracrvenog

- Fotografija u vidljivom dijelu spektra
 - nastaje zbog **refleksije i razlike u refleksiji** od predmeta



- Termogrami
 - „fotografije“ infracrvenog zračenja koje **dolazi s objekta.**



Primjer

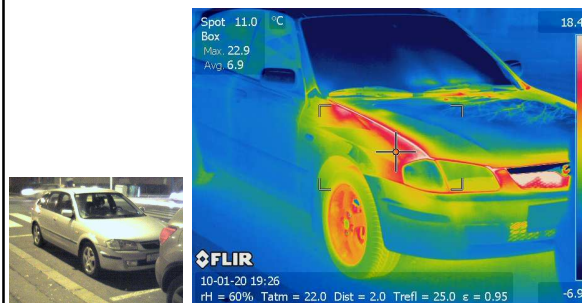
- Što mi sve možete reći o ovom automobilu?



7

Primjer

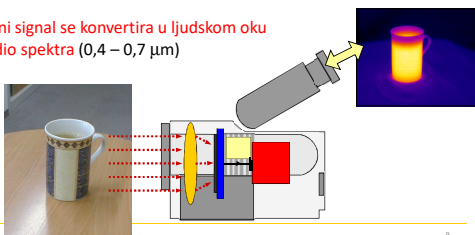
- Što mi sada možete reći o istom automobilu?



8

Infracrvena termografija

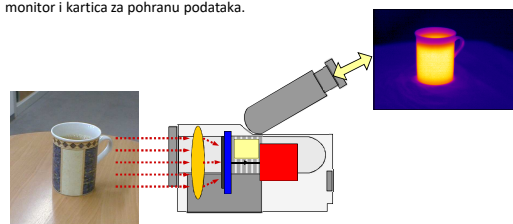
- energija zračenja s površine tijela „sobne“ temperature**
 - se nalazi ljudskom oku nevidljivom dijelu spektra elektromagnetskog zračenja ($\lambda = 8 - 14 \mu\text{m}$)
- IC kamera
 - s pomoću osjetnika (detektora) **PRIMA** zračenje pretvara ga u električni signal
 - Električni signal se konvertira u ljudskom oku vidljivi dio spektra (0,4 – 0,7 μm)**



9

Princip rada termografskog uređaja

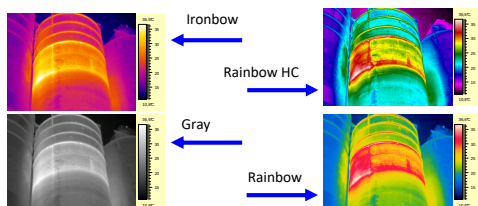
- U samoj kameri integrirana je:
 - IC optika,
 - osjetnik IC zračenja,
 - jedinica za pretvorbu električnog u video signal,
 - monitor i kartica za pohranu podataka.



10

Rezultat termografskog mjerenja

- Rezultat termografskog mjerenja je **termogram**,
 - On u sivim tonovima ili nekom kodu boja daje sliku raspodjele **prividne temperature** na površini promatranog objekta.



11

Termogram

- TERMOGRAM**
 - zapis raspodjele infracrvenog zračenja koje dolazi s površine promatranog objekta



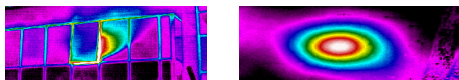
12

Prelasci topline



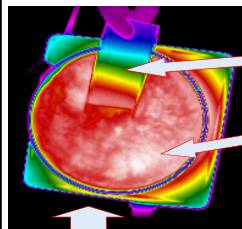
VRLO BITNO!!!

- Razumijevanje prelazaka topline olakšava pravilno čitanje termograma.
- Razumijevanje toplinskih podataka sadržanih u termogramu pomaže uspostavi dosljedne dijagnoze.



Prelasci topline

- Tri oblika prelaska u termogramu



Vođenje iz tople kupke na metalni uzorak

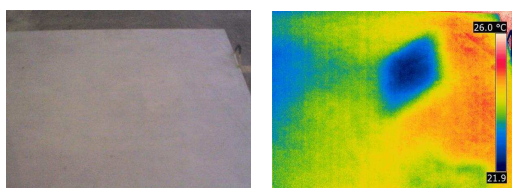
Strujanje u vrućoj kupki.



Termografska kamera „hvata“ zračenje u vidnom polju.

IC termografija

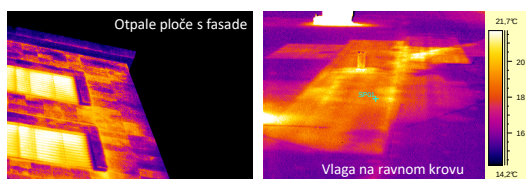
- IC termografija ima svojstva i površinskih i volumetrijskih metoda ispitivanja bez razaranja u smislu da na **površini mjeri posljedice postojanja defekata u unutrašnjosti materijala.**



15

Rezultat termografskog mjerenja

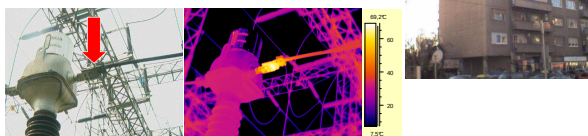
- raspodjela IC zračenja posredno daje informaciju o:
 - različitim stanjima same površine
 - ili je pak odraz strukture i unutrašnjeg stanja promatranog objekta.



16

Što termografiju čini tako korisnom?

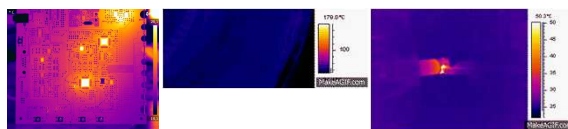
- **Nekontaktna** je - ispitivanje na daljinu
 - Korisnik nije u opasnosti
 - Ne ometa ili uopće ne utječe na metu/predmet
- Termografija je **dvodimenzijaska**
 - Moguća je usporedba područja mete/predmeta
 - Slika omogućuje izvanredan pregled mete/predmeta
 - Toplinske slike mogu se vizualno predočiti radi analize



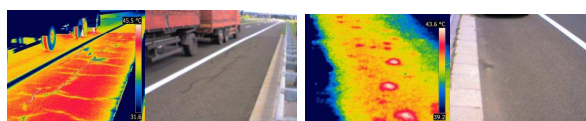
17

Što termografiju čini tako korisnom?

- Termografija djeluje u realnom vremenu
 - Omogućuje brzo skeniranje stacionarnih meta/predmeta
 - Omogućuje snimanje meta/predmeta koji se brzo kreću



- Omogućuje snimanje toplinskih stanja koja se brzo mijenjaju



18

Aktivna i pasivna termografija

- Prema pristupu mjerenjima i obradi rezultata termografija se dijeli na:
 - aktivnu i pasivnu,
 - kvalitativnu i kvantitativnu



19

Aktivna termografija

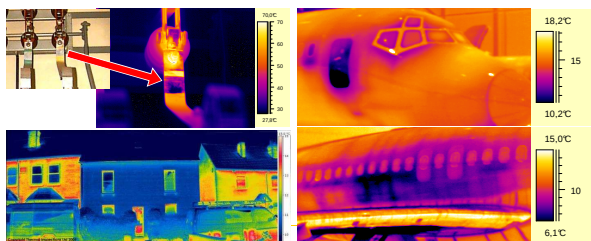
- Aktivna se termografija zasniva na:
 - promatranju dinamičkog ponašanja površine objekta izloženog toplinskoj pobudi.
- Cilj je **poslati** određeni paket **energije** u promatrani objekt i **promatrati njegov odziv** na tu toplinsku pobudu
 - vremenski razvoj površinske temperaturne



20

Pasivna termografija

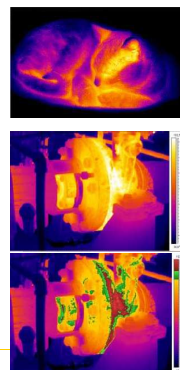
- Pasivna termografija promatra objekte u stacionarnom stanju.
- Razlike u iznosima infracrvenog zračenja koje dolaze s površine objekta su posljedica:
 - razlika u temperaturi ili
 - razlika u svojstvima promatrane površine.



Kvalitativna i kvantitativna termografija

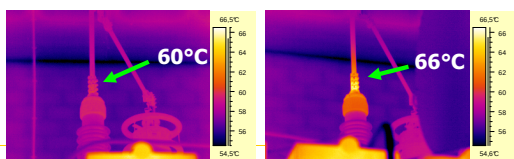
- Naknadna obrada snimljenih termograma na računalu može biti:

- Kvalitativna
 - podrazumijeva samo uočavanje mjesta različitosti
- Kvantitativna
 - uključuje utvrđivanje iznosa temperatura, temperaturnih razlika ili emisijskih faktora po pojedinim lokacijama na termogramu



Kvalitativna i kvantitativna termografija

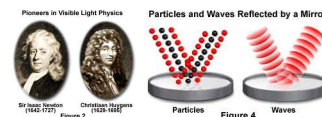
- Kvalitativna termografija
 - zasniva se na analizi toplinskih predložaka kako bi otkrila postojanje i locirala položaj anomalije.
- Kvantitativna termografija
 - rabi mjerenje temperature za određivanje ozbiljnosti anomalije kako bi se utvrdili prioriteti popravka.



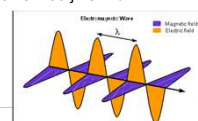
O elektromagnetskom zračenju

- Sva tijela ($T > 0\text{ K}$) kontinuirano** emitiraju elektromagnetsko zračenje, koje kroz vakuum putuje brzinom svjetlosti.
- Elektromagnetski valovi tako imaju dualnu prirodu:

- valnu i**
- korpuskularnu.**



- Elektromagnetski valovi su određeni svojom valnom duljinom λ



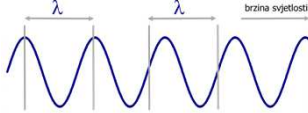
24

Valovi

- "Val je poremećaj ili promjena kojom se energija prenosi progresivno od točke do točke u mediju

- može imati oblik:

- elastične deformacije ili promjene tlaka,
- električnog ili magnetskog intenziteta,
- električnog potencijala ili temperature".



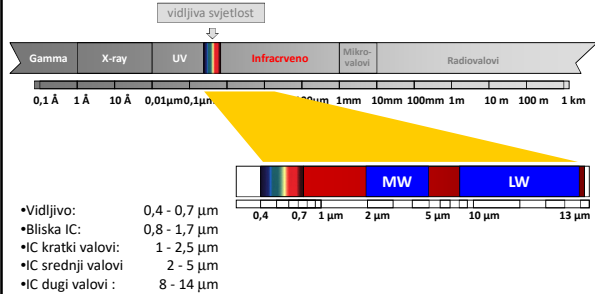
- Val se širi kao oscilacija od mjesta pada kamena
- Stvarno se voda ne kreće od središta prema van

- Elektromagnetski valovi su obično određeni svojom valnom dužinom λ (lambda)
- Najčešća jedinica u IC termografiji je μm (mikrometar)
- ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} = 1/1000 \text{ mm}$)

25

O elektromagnetskom zračenju

- Iako na visokim temperaturama užarena tijela svijetle, vidljiva svjetlost nije jedino zračenje koje ona emitiraju.



26

Pojasevi valnih duljina



27

ZAKONI ZRAČENJA

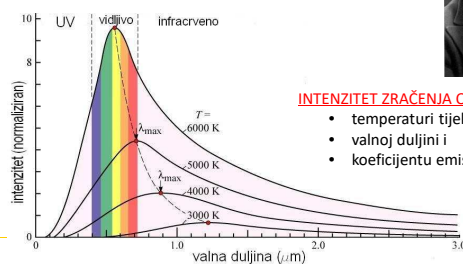
28

Planckovi dijagrami

- sva tijela na $T \neq 0 \text{ K}$ zrače (Pierre Prevost, 1791)

- Planckov zakon

- opisuje intenzitet (specifičnu snagu) zračenja nepolariziranog elektromagnetskog zračenja, kod cijelog raspona valnih duljina, kojeg emitira idealno crno tijelo

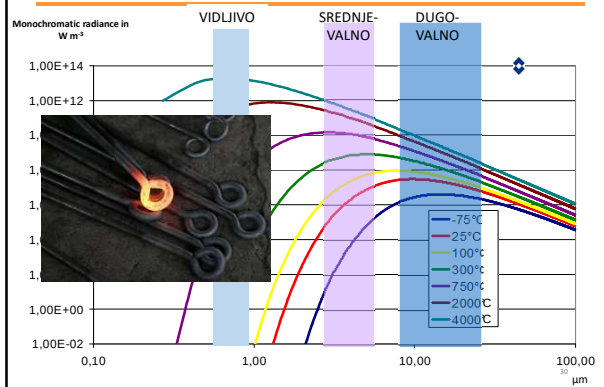


INTENZITET ZRAČENJA OVISI O:

- temperaturi tijela T ,
- valnoj dužini λ i
- koeficijentu emisije ϵ

29

Planck -ove krivulje



Stefan-Boltzmannov zakon

(Josef Stefan 1835 – 1893) (Ludwig Boltzmann 1844 – 1906)

$$W_{uk} = \sigma \cdot T^4 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$



- predstavlja ukupnu energiju koju zrači 1m² površine crnog tijela zadane apsolutne temperature T

W_{uk} ukupna toplinska energija koju zrači jedinična površina crnog tijela

σ konstanta zračenja crnog tijela

$$5,67032 \cdot (1 \pm 1,2 \cdot 10^{-4}) \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$$

31

Toplinsko zračenje

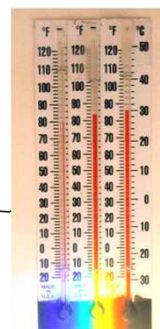
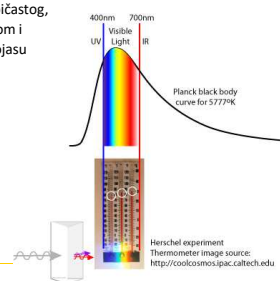
- Prelazak topline emisijom i apsorpcijom zračenja

- Nastaje:

- u dijelu ultraljubičastog,
- u cijelom vidljivom i
- infracrvenom pojasu



Sir William Herschel
(1738–1822)



Herschel experiment
Thermometer image source:
<http://coolcosmos.ipac.caltech.edu>

Zračenje (radijacija)

- Radijacija je prijenos topline emisijom elektromagnetskih valova koji odnose energiju od objekata koji ju emitiraju
- Radijacija **ne treba medij** za prijenos topline
- Crno tijelo:
 - savršeni upijač → savršeni emiter (na svim valnim dužinama)

$$P_r = \sigma A \epsilon T^4 \quad P_a = \sigma A \epsilon T_{env}^4$$

$$P_{net} = P_a - P_r = \sigma A \epsilon (T_{env}^4 - T^4)$$

31

Načini izmjene energije zračenjem

- Koji su načini kojima dolazi do **izmjene energije zračenjem**?

- **Emisija** - otpuštanje zračenja
- **Apsorpcija** - preuzimanje i zadržavanje zračenja
- **Refleksija** - odbijanje zračenja
- **Prijenos** - propuštanje zračenja

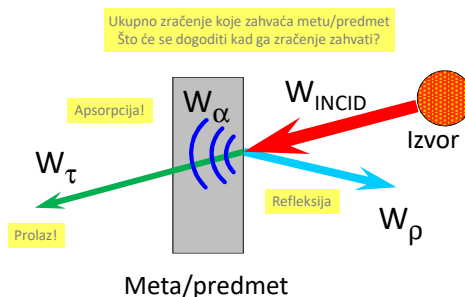
34

Upadno zračenje

Upadno zračenje je sve zračenje koje pogađa (zahvaća) predmet iz njegove okoline.

35

Upadno zračenje – na predmet



36

Upadno zračenje

- Od ukupnog upadnog zračenja na metu/predmet određeni će dio biti:
 - Apsorbiran
 - Reflektiran
 - Prenesen
- Stoga vrijedi:

$$W_{\alpha} + W_{\rho} + W_{\tau} = W_{\text{INCID}} = 100 \%$$

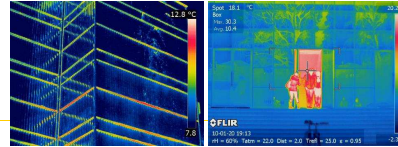
37

Svojstva zračenja - upadno

- Predmet će imati određen kapacitet ili sposobnost da:
 - **Apsorbira** - što se naziva apsorptivnost i izražava **koeficijentom apsorpcije, α**
 - **Reflektira** - što se naziva reflektivnost i izražava **koeficijentom refleksije, ρ**
 - **Prenese/propusti** - što se naziva propuštanjem i izražava **koeficijentom prijenosa/propuštanja, τ**

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

- Zbroj triju koeficijenata je uvijek 1



38

Svojstva zračenja - upadno

- Kako znamo koji dio zračenja je:

- Apsorbiran?
- Reflektiran?
- Prenesen?



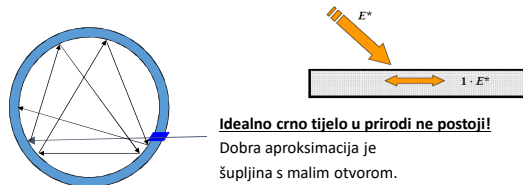
- **To ovisi o svojstvima predmeta!**
- ali da se najprije prisjetimo osnova...

39

Crno tijelo

IDEALNO CRNO TIJELO potpuno apsorbira sve upadno zračenje

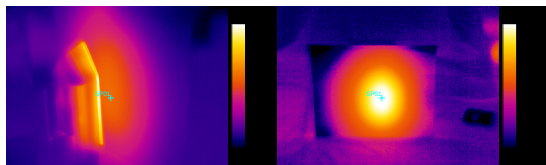
- faktor apsorpcije 1, a faktor refleksije 0.
- bez obzira na valnu duljinu ili kut upada.
- Posljedica ove definicije je da:
 - cjelokupno zračenje koje dolazi s površine crnog tijela emitirano zračenje,
 - nijedno tijelo ne može emitirati više zračenja od crnog tijela pri određenim valnim duljinama i temperaturi.



40

Demonstracija - emisija i apsorpcija

- Emisija od željeza i apsorpcija ploče
- Primjer neizravnog zagrijavanja mete/predmeta (engl. target)



41

Emitirano zračenje

- Zračenje (W_{ϵ}) se emitira u svim smjerovima

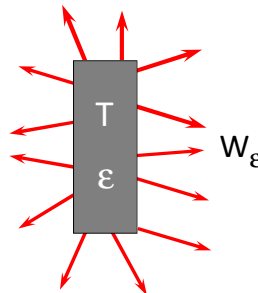
- Koliko?



- Ovisi o temperaturi i koeficijentu emisije
 - Stefan-Boltzmannov zakon za realna tijela

$$W_{\epsilon} = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

- Viša temperatura = više zračenja
- Veći koeficijent emisije = više zračenja



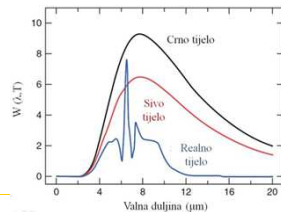
42

Realna tijela

- Zračenje realnih tijela u bitnome odstupa od zračenja crnog tijela,
- Faktor (**KOEFICIJENT**) emisije ϵ
 - definira se kao omjer vlastite emisije **realnog tijela** pri određenoj temperaturi i
 - vlastite emisije **crnog tijela** pri toj istoj temperaturi.

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

Spektralna gustoća zračenja realne površine razlikuje se od Planckove distribucije za crno tijelo



Realna tijela

- Stefan - Boltzmannov zakon za **realna tijela** tako dobiva oblik:

$$E_b = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ [W / m}^2\text{]}$$

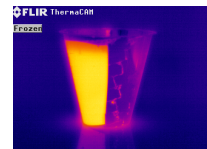
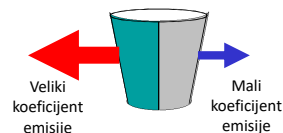
Izlazno zračenje sa predmeta

Izlazno zračenje je sve zračenje koje napušta površinu predmeta neovisno o izvorima toga zračenja.

- Izlazno zračenje potječe iz više izvora

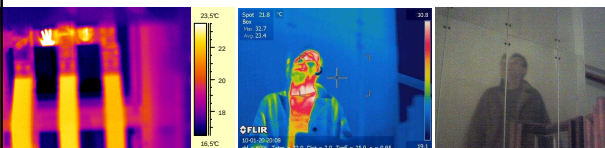
Izlazno zračenje

- Prvi dio izlaznog zračenja koji promatramo je dio koji potječe iz samog predmeta
- Predmet ima određeni kapacitet ili sposobnost emisije:
 - što se naziva **emisivnost**, a izražava
 - **koeficijentom emisije, ϵ**



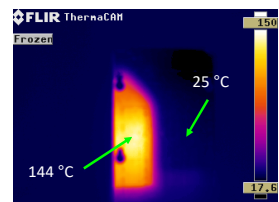
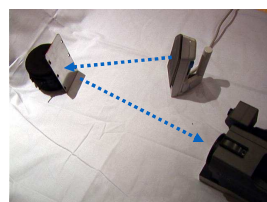
Ostali izvori zračenja...

- **Izlazno zračenje** je sva energija zračenja koja napušta površinu predmeta, neovisno o njezinu izvoru
- Osim energije koju **emitira** sam predmet postoji i **reflektirana i propuštena** energija iz drugih izvora

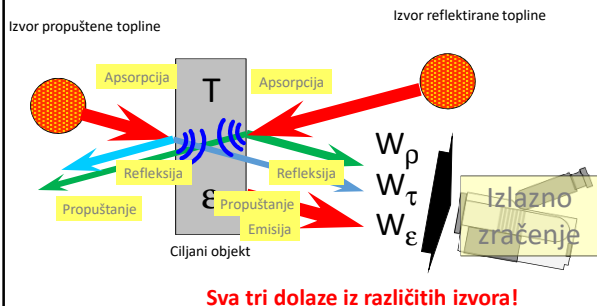


Demonstracija - refleksija

- Kamera prikazuje temperaturu od 144 °C na aluminijskoj pločici zbog refleksije.
- Stvarna temperatura je blizu sobne temperature, a reflektira se pegla!



Izlazno zračenje



49

Izlazno zračenje

- Od ukupnog izlaznog zračenja iz predmeta određen dio će biti:

- **Emitiran** od samog predmeta
- **Reflektiran** iz izvora ispred predmeta
- **Prenešen** iz izvora iza predmeta

- Stoga je:

$$W_{\epsilon} + W_{\rho} + W_{\tau} = W_{\text{EXIT}} = 100 \%$$

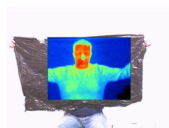
50

Svojstva zračenja - izlazno

- Predmet će imati određen kapacitet ili sposobnost da:
 - **Emitira** - što se naziva emisivnost i izražava koeficijentom emisije, ϵ
 - **Reflektira** - što se naziva reflektivnost i izražava koeficijentom refleksije, ρ
 - **Preneše/propusti** - što se naziva propuštanje i izražava koeficijentom prijenosa/propuštanja, τ

$$\epsilon + \rho + \tau = 1$$

- Zbroj triju koeficijenata je uvijek 1



51

Koeficijenti emisije i apsorpcije

Kirchoffov zakon elektromagnetskog zračenja:

Kapacitet ili sposobnost predmeta da apsorbira energiju upadnog zračenja uvijek je jednaka kapacitetu predmeta da emitira vlastitu energiju kao zračenje.

$$\alpha = \epsilon$$



Gustav Robert Kirchhoff (1824. – 1887.)

52

Formule za zračenje

- Vrijede sljedeće opće formule:

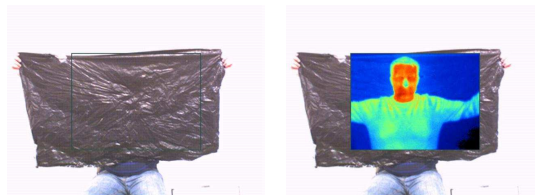
$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

$$\epsilon + \rho + \tau = 1$$

53

Demonstracija - prijenos

- Prijenos toplinske energije kroz materijal koji je u vidljivom spektru netransparentan.



54

Demonstracija - prijenos

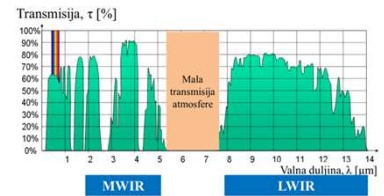
- Nema prijenosa zračenja kroz materijal koji je u vidljivom spektru transparentan



55

Transmisija kroz atmosferu

- Dva intervala spektra zračenja imaju **vrlo veliku transmisiju (1-5 μm i 8-14 μm)**
 - poznati su pod nazivom atmosferski prozori,
 - njihovo je značenje izraženo time da su gotovo sve IC kamere izrađene na način da funkcioniraju u jednom od navedena dva spektra



Transmisija zračenja kroz sloj atmosfere debljine 1800m, na visini od 10 m iznad tla

Najveći utjecaj na apsorpciju zračenja atmosfere imaju voda, ugljični dioksid i ozon

56

U stvarnom životu...

- Naši predmeti/mete **neće biti crna tijela već realna tijela**
- Većina predmeta su neprozirna tj. $\tau = 0$
 - Ipak OPREZNO!!!**

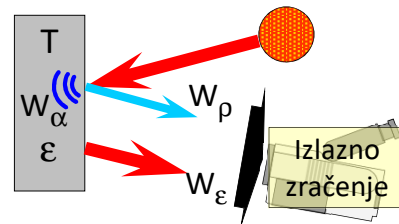
- Kad su ti uvjeti ispunjeni vrijedi:

$$\varepsilon + \rho = 1$$

57

U stvarnom životu...

- Neprozirni predmet nije crno tijelo...

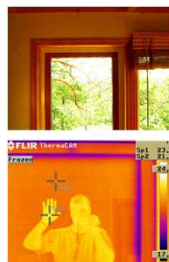


58

U stvarnom životu...

- Za **realne predmete** moramo uvijek razmotriti da zračenje izlazi iz **dva**ju izvora:
 - Emitirano** iz samog predmeta
 - Reflektirano** iz okoline

$$W_\varepsilon + W_\rho = W_{\text{EXIT}} = 100 \%$$



59

Realna tijela

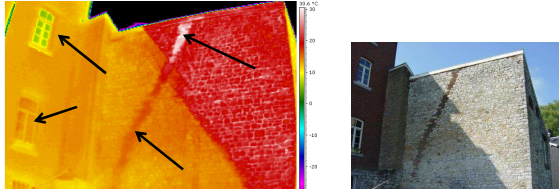
- Udio prispjelog zračenja koji će se apsorbirati, odnosno reflektirati, ovisi o:
 - materijalu i stanju površine,
 - valnoj duljini prispjelog zračenja
 - kutu udara
 - temperaturi.



60

False positive...

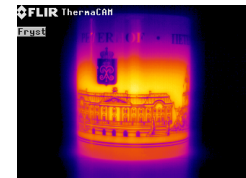
- Već je spomenuto da se primjenom IC termografije mogu izmjeriti samo površinske temperature ...
- Površinska temperatura objekta koji se mjeri ovisi o:
 - Stanju ispod površine (defekti, materijali...)
 - Stanju na površini (koeficijent emisije, obliku površine...)
 - Okolišu



61

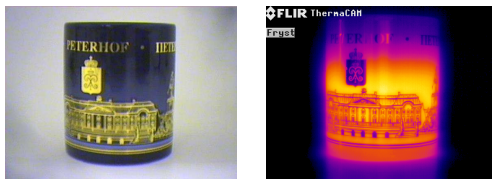
Prividna temperatura

- **Prividna temperatura** je
 - nekompenzirano očitavanje na IC instrumentu koje sadrži sve upadno zračenje na instrument neovisno o njegovu izvoru.



62

Prividna temperatura

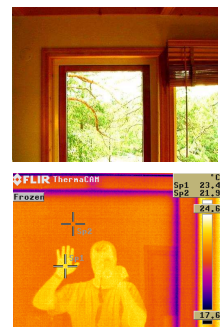


- Plava šalica zrači više od zlatnog natpisa
- Temperatura je vrlo slična ali se čini različitom
- To je slika intenziteta zračenja, a ne temperature!

63

Prividna temperatura

- Prozor je prividno topliji na mjestu gdje je postoji refleksija od čovjeka
- To ne predstavlja višu temperaturu nego je tamo doista veće zračenje koja dolazi od područja refleksije!



64

Prividna temperatura

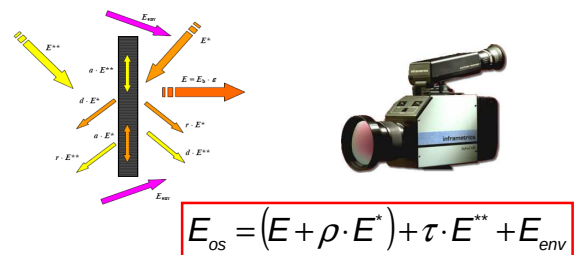
Prividna temperatura je nekompenzirano očitavanje temperature baš kako ga kamera „vidi”

- Stvarno očitavanje temperature mora se **kompenzirati za utjecaje**
 - svojstva površine objekta,
 - temperaturu okolnih objekata,
 - udaljenost kamere od promatranog objekta,
 - temperaturu i relativnu vlažnost zraka.

65

Princip rada termografskog uređaja

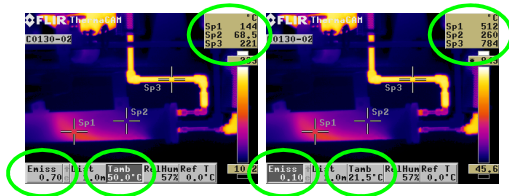
- Dozračena energija na osjetnik E_{os} jednaka je sumi energija koje dolaze od promatranog tijela - vlastita emisija i refleksija ($E + \rho E^*$), energije koja prolazi kroz tijelo τE^{**} i energije koja dolazi od okoline E_{env} .



66

Prividna temperatura

- Slika se ne mijenja ako se promijene ulazni podaci mjerenja!
- Ona još uvijek pokazuje prividnu temperaturu!
- Sliku treba kompenzirati, a za to je potrebno poznavati osnovne fizikalne zakone!



67

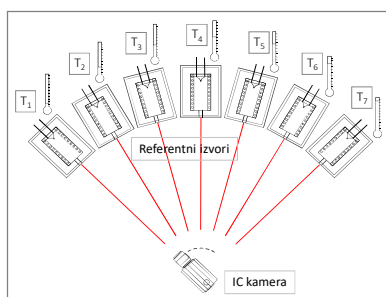
Umjeravanje IC kamere

Prostorija za umjeravanje



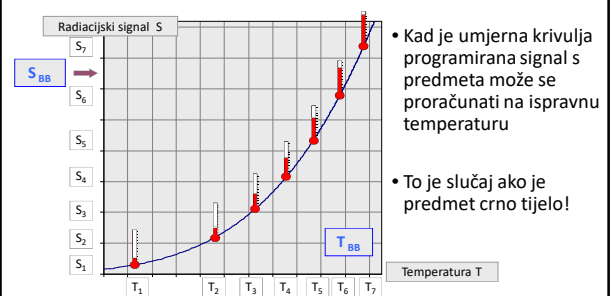
68

Umjeravanje IC kamere



69

Umjeravanje IC kamere



70

Koji faktori utječu na koeficijent emisije?



71

Faktori koji utječu na koeficijent emisije

- Materijal



- Različiti materijali imaju različit koeficijent emisije

72

Faktori koji utječu na koeficijent emisije

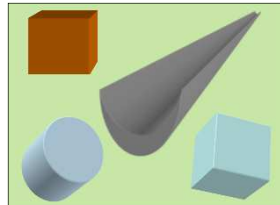


- Materijal
- Struktura površine

- Struktura površine utječe na koeficijent emisije

73

Faktori koji utječu na koeficijent emisije

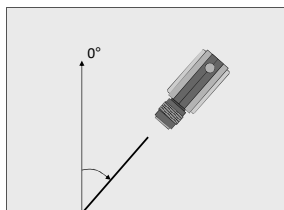


- Materijal
- Struktura površine
- Geometrijski oblik

- Geometrijski oblik mete/predmeta ponekad je vrlo važan faktor

74

Faktori koji utječu na koeficijent emisije



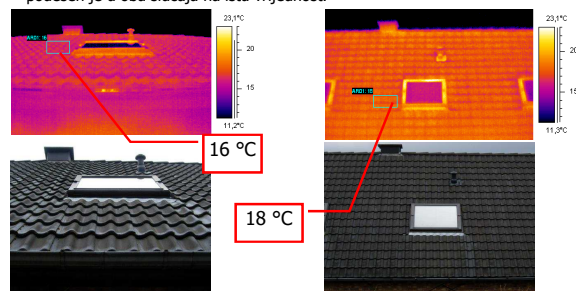
- Materijal
- Struktura površine
- Geometrijski oblik
- Kut

- Kut gledanja (kamere) utječe na efektivni koeficijent emisije površine

75

Koeficijent emisije – utjecaj kuta

- Primjer dvaju mjerenja za isti krov iz dvaju kutova. Koeficijent emisije podešen je u oba slučaja na istu vrijednost.



Faktori koji utječu na koeficijent emisije

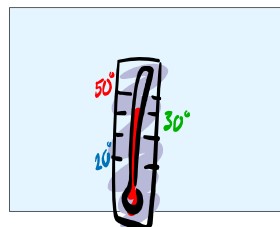


- Materijal
- Struktura površine
- Geometrijski oblik
- Kut
- Valna duljina

- Koeficijent emisije na istoj površini možda neće biti isti za dugovalne i kratkovalne kamere

77

Faktori koji utječu na koeficijent emisije



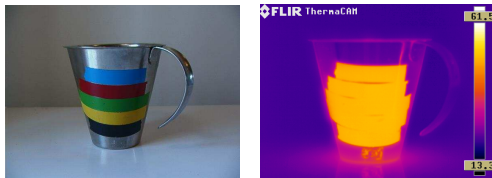
- Materijal
- Struktura površine
- Geometrijski oblik
- Kut
- Valna duljina
- Temperatura

- Velike varijacije temperature mogu utjecati na koeficijent emisije površine

78

Demonstracija - boja i koeficijent emisije

- Kako boja utječe na koeficijent emisije ... ?

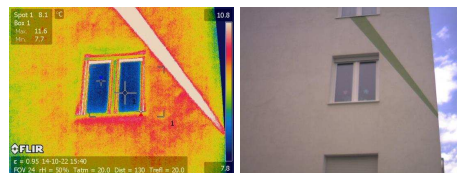


79

Boja i koeficijent emisije



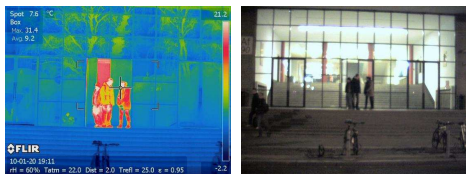
- Vidljiva boja nije faktor koji utječe na koeficijent emisije
- Boja može, međutim, utjecati na apsorpciju vidljive svjetlosti - **albedo**
 - crni auto će postati, primjerice, topliji na suncu od žutoga



80

Snimanje

- Sve te podatke potrebno je prethodno podesiti kao ulazne parametre u software-u kamere.
- Utjecaj zračenja iz okoliša treba svesti na minimum, osobito ako se radi o objektu koji je:
 - na temperaturi bliskoj temperaturi okoliša ili
 - ima nisku vrijednost koeficijenta emisije.



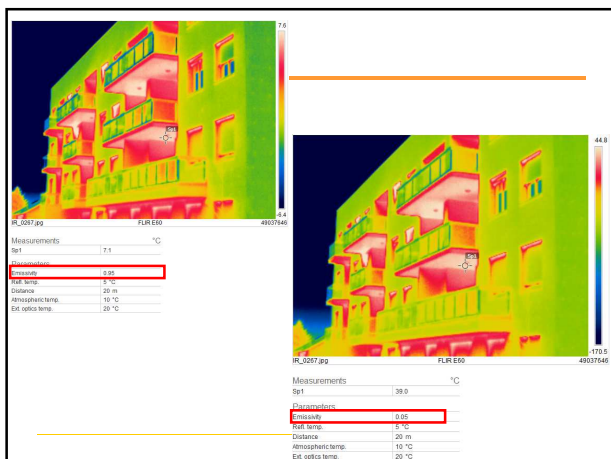
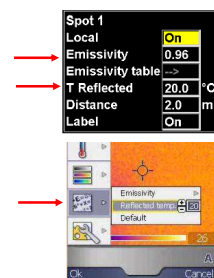
81

Koeficijent emisije i Refl. Temp.

**RUKOVATELJ (OPERATER)
ODREĐUJE KOEFICIJENT
EMISIJE I Refl. Temp. I
ZATIM UNOSI TE
VRIJEDNOSTI U KAMERU.**

**TO SE NE DOGAĐA
AUTOMATSKI.**

**UNOS POGREŠNIH
VRIJEDNOSTI MOŽE
DOVESTI DO ZNAČAJNE
POGREŠKE.**



Određivanje koeficijenta emisije i reflektiranu temperaturu

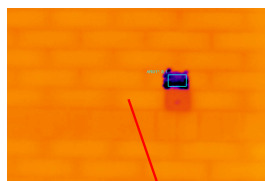
- KAKO NA TERENU ODREDITI REFLEKTIRANU TEMP. I KOEFICIJENT EMISIJE

- Refl. Temp -> **ISO – normirana metoda**
- Koef. Em. -> **ISO – normirana metoda**
- Koef. Em. -> iz tablice
- Koef. Em. -> iskustveno



ODREĐIVANJE Refl. Temp. je UVIJEK prvi zadatak!

Prividna reflektirana temperatura



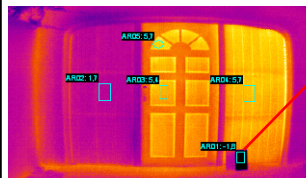
8,1 °C

Određivanje vani: primjer



Prividna reflektirana temperatura

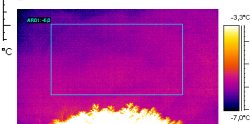
Određivanje vani: primjer 2a.
O važnosti utjecaja vremena na mjerenje.



-1,8 °C



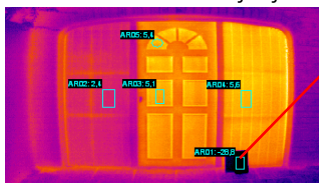
Sivo oblačno nebo



Izravno mjerenje na nebo: -6 °C

Prividna reflektirana temperatura

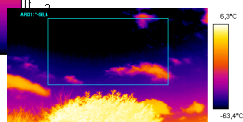
Određivanje vani: primjer 2b.
O važnosti utjecaja vremena na mjerenje



-28,8 °C



Sivo oblačno nebo



Izravno mjerenje na nebo: -58,4 °C

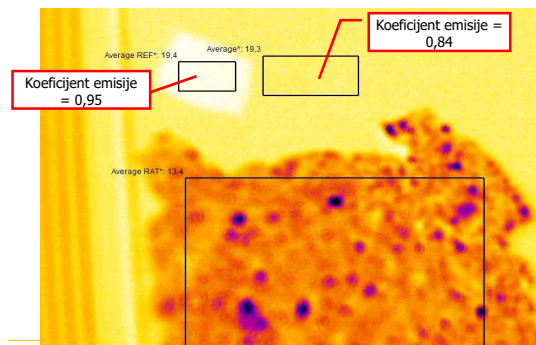
Koeficijent emisije – određivanje na terenu

Ovdje je reflektor



Određivanje vani: 2. primjer

Koeficijent emisije – određivanje na terenu



Koeficijent emisije = 0,95

Koeficijent emisije = 0,84

Koeficijent emisije

- Primjer popisa za koeficijent emisije

Pažnja kod uvjeta mjerenja:

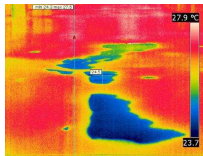
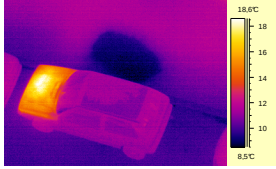
- Temperature
- Valne duljine
- itd.

AKO JE MOGUĆE, UVIJEK
IMA PREDNOST
ODREĐIVANJE POMOĆU
VLASTITE OPREME.

Brick	bricklay	1000	T	0.75	1
Brick	bricklay	1200	T	0.58	1
Brick	masonry	30	SW	0.94	7
Brick	masonry, white	30	T	0.94	1
Brick	red, common	30	T	0.93	2
Brick	red, rough	30	T	0.88-0.93	1
Paint	8 different colors and finishes	70	LW	0.92-0.94	9
Paint	8 different colors and finishes	70	SW	0.88-0.96	9
Paint	aluminum, various	50-100	T	0.27-0.67	1
Paint	cadmium yellow	T	T	0.28-0.33	1
Paint	chromium green	T	T	0.28-0.70	1
Paint	cobalt blue	T	T	0.7-0.93	1
Paint	oil	17	SW	0.87	5
Paint	oil, black flat	30	SW	0.94	6
Paint	oil, black gloss	30	SW	0.82	6
Paint	oil, grey flat	30	SW	0.97	6

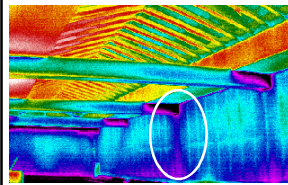
Važni fizikalni parametri

Kondenzacija/Isparivanje



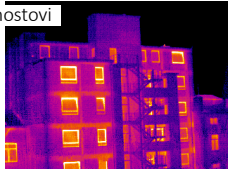
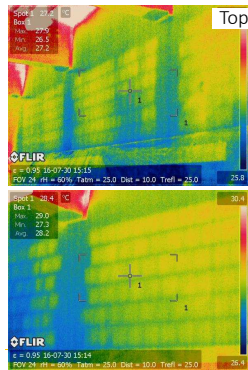
Interpretirajte termogram

- Toplinski most, gledan iznutra

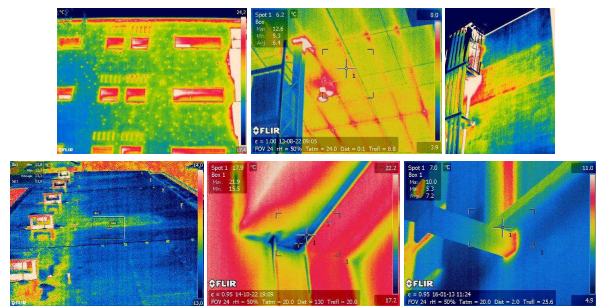


Interpretirajte termograme

Toplinski mostovi



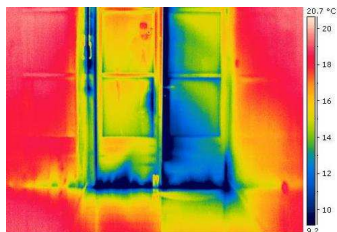
Interpretirajte termograme



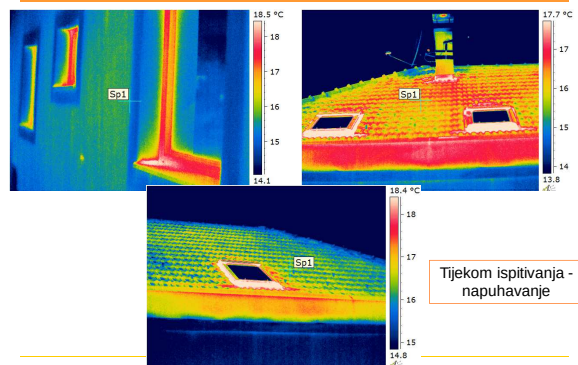
Gubici topline kroz prozore

- Infiltracija hladnog zraka zbog loše ugradnje i lošeg brtvljenja

Bez korištenja
blower door-a

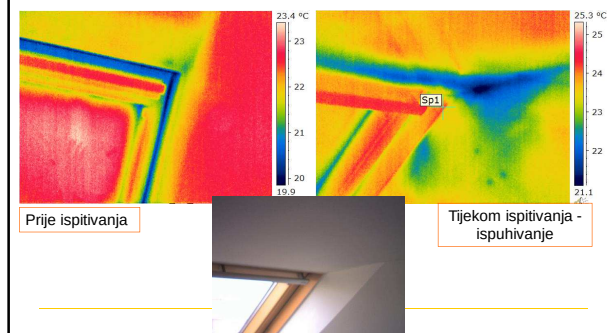


Prozori tijekom napuhavanja

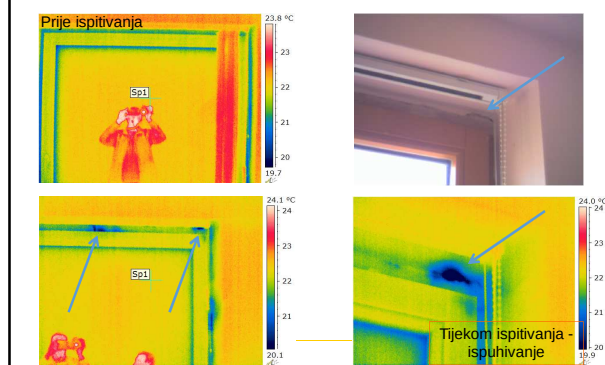


Tijekom ispitivanja -
napuhavanje

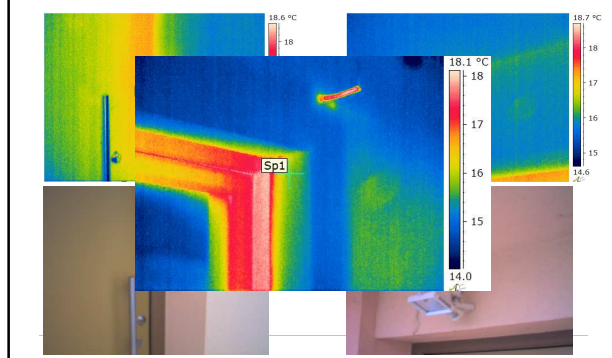
Krovni prozor – kupaoonica u potkrovlju



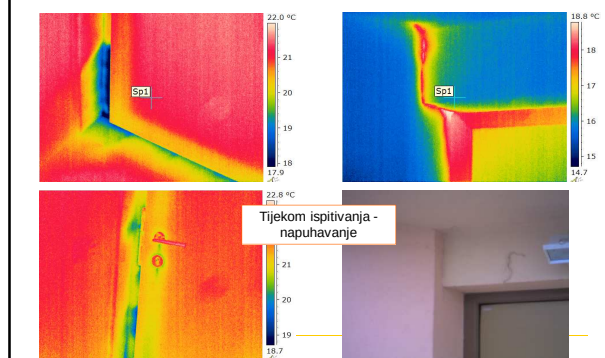
Prozor u sobi u prizemlju



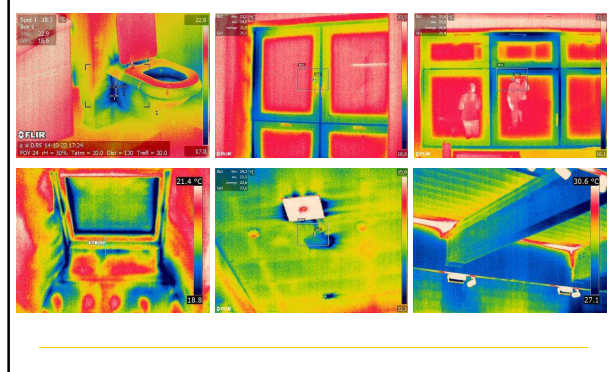
Instalacije



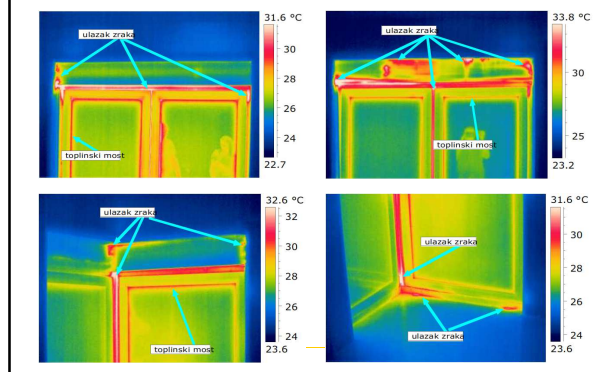
Ulazna vrata



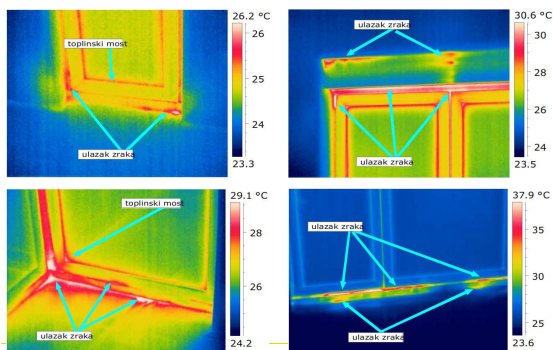
Interpretirajte termograme



Interpretirajte termograme



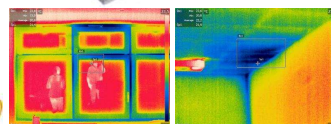
Interpretirajte termograme



Primjer ispitivanja

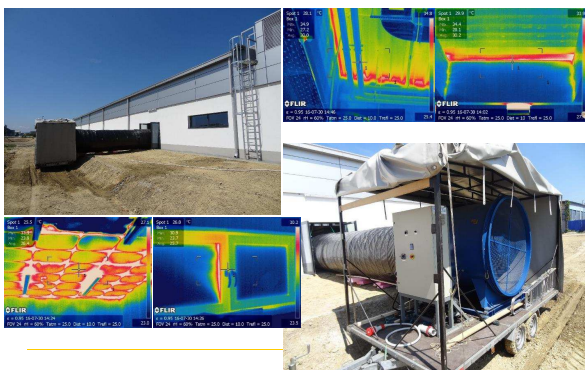
- **Projektirano:**
 - $n_{50} \approx 0,5 \text{ h}^{-1}$
- **Rezultat simulacije:**
 - 94 MWh
- **Izmjereno:**
 - $n_{50} \approx 3,7 \text{ h}^{-1}$
- **Rezultat simulacije:**
 - 290,72 MWh

Razlika 310% !!!



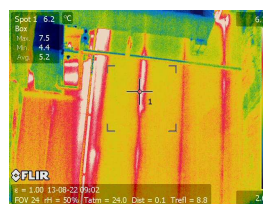
Izvor: Mario Vašak, Anita Martinčević, Antonio Starčić, Bojan Milovanović, Ninoslav Kurtalj, Nedjeljko Perić

Trgovački centri...

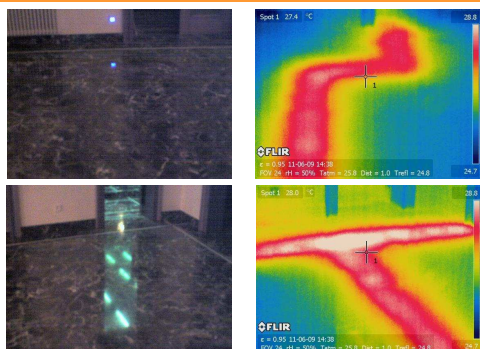


Interpretirajte termograme

- Topli zrak ulazi u prostoriju s +5 °C

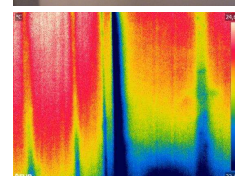
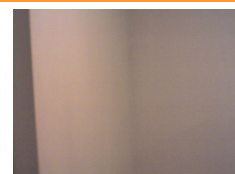
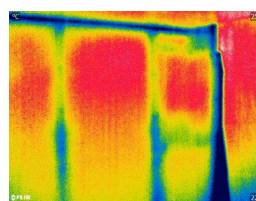


Utvrđivanje mjesta cijevi



Interpretirajte termograme

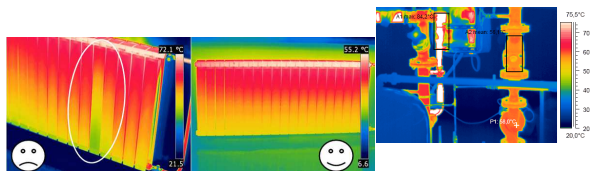
- Obloga GK pločama iznutra...
potkonstrukcija



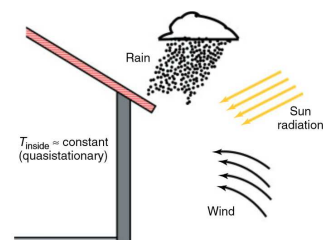
Primjena termografskih mjerenja kod energetskih pregleda

• Moguće proširenje primjene:

- prikupljanje podataka za pojašnjenje uvjeta rada teško dostupnih i nedostupnih instalacija grijanja
- ventilacije i klimatizacije
- identifikiranje problema s električnim i strojarskim instalacijama pod punim radnim opterećenjem



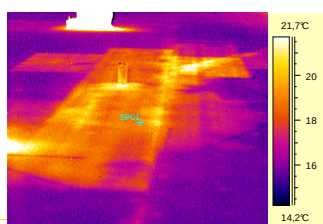
Bitan je i „kontekst” mjerjenja



Rezultat termografskog mjerenja

• Vлага na ravnom krovu ili samo zrak ispod hidroizolacijske membrane

- Kada je snimanje provedeno (ujutro ili na večer)?
- Kakva su toplinska svojstva materijala?



Obrada termograma

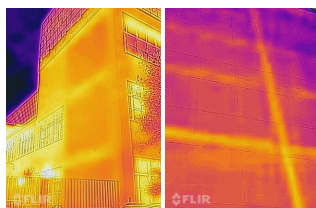
- Obrada termograma - u odgovarajućem programskom paketu.
- Ta obrada može biti:
 - **Kvalitativna** - podrazumijeva samo uočavanje mjesta različitosti, ili
 - **Kvantitativna** - uključuje utvrđivanje iznosa temperatura, temperaturnih razlika ili emisijskih faktora po pojedinim lokacijama.
- **OPREZ!**
 - Mogućnost manipulacije rezultatima mjerenja

FLIR TOOLS / FLIR TOOLS+

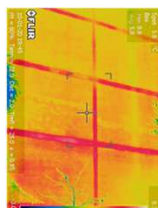


Usporedba

- Kamera loše temperaturne i geometrijske rezolucije
- Needucirana osoba provodi ispitivanje

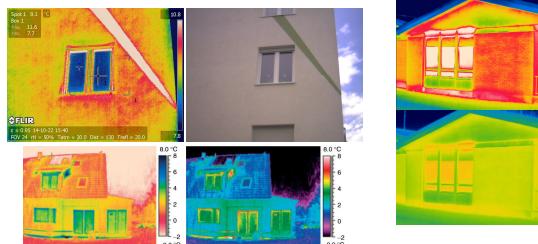


ili



OPREZ!

- Termogram *nije jednostavno* interpretirati...
 - Crvena boja nije nužno loše područje
- ... ali je na žalost moguće *vrlo jednostavno* manipulirati termogramima





Zaključak

- Za kvalitativnu i kvantitativnu analizu termograma
 - **potrebno je osposobiti osoblje** koje za traženu primjenu mora ovladati termografskim sustavom i poznavati problematiku koja se rješava.



115

Pogledajmo svijet oko sebe drugim očima...



Hvala na pažnji!

Bojan Milovanović

bmilovanovic@grad.hr



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING