

Termografie ve stavebnictví  
Diagnostika poruch FV zařízení pomocí termokamery

Jan Brůna

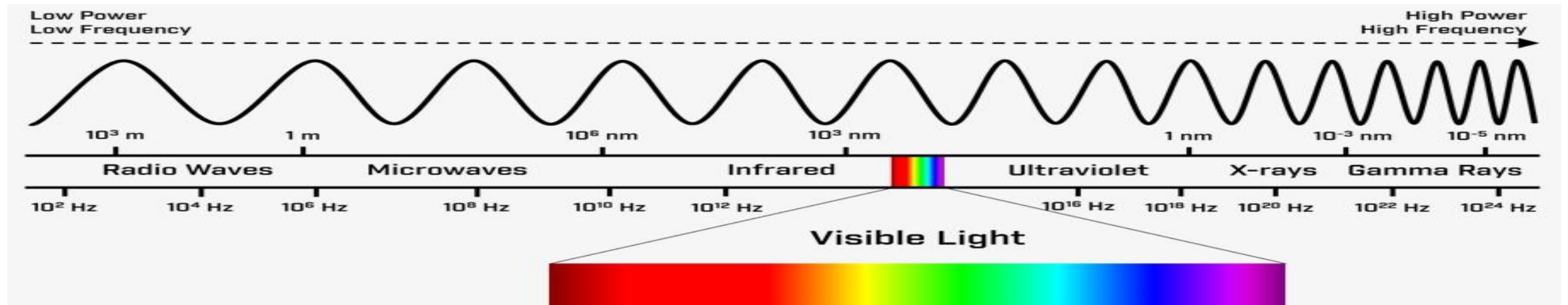
Jak fyzik zjistil Max Planck již v roce 1900, existuje souvislost mezi teplotou tělesa a intenzitou jím vyzářovaného infračerveného záření

Každý objekt s vyšší než absolutní nula (0 Kelvinů = -273,15 °C) vydává infračervené záření.

Toto infračervené záření není lidským okem viditelné.

Na obrázku vidíme jak malé spektrum záření je pro člověka viditelné.

Jedná se o spektrum vlnových délek v rozsahu 390 - 760 nm.



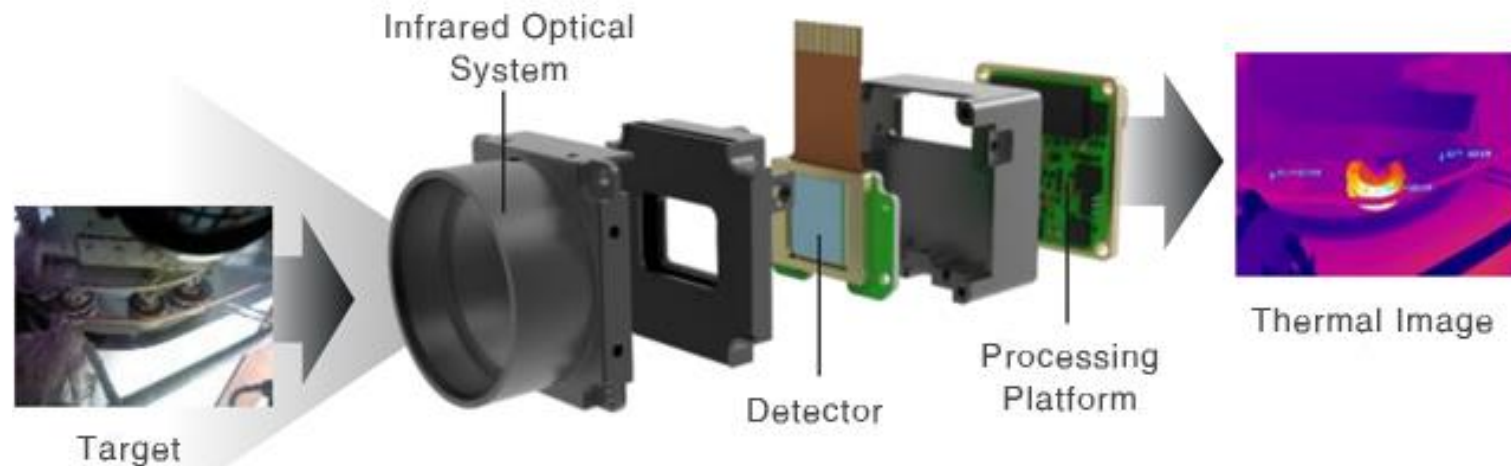
Termokamery fungují na principu detekce a měření infračerveného záření.

Intenzita tohoto záření se zvyšuje s teplotou objektu, což umožňuje termokameře identifikovat různé teploty na povrchu sledovaného objektu.

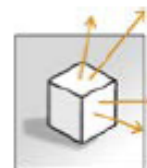
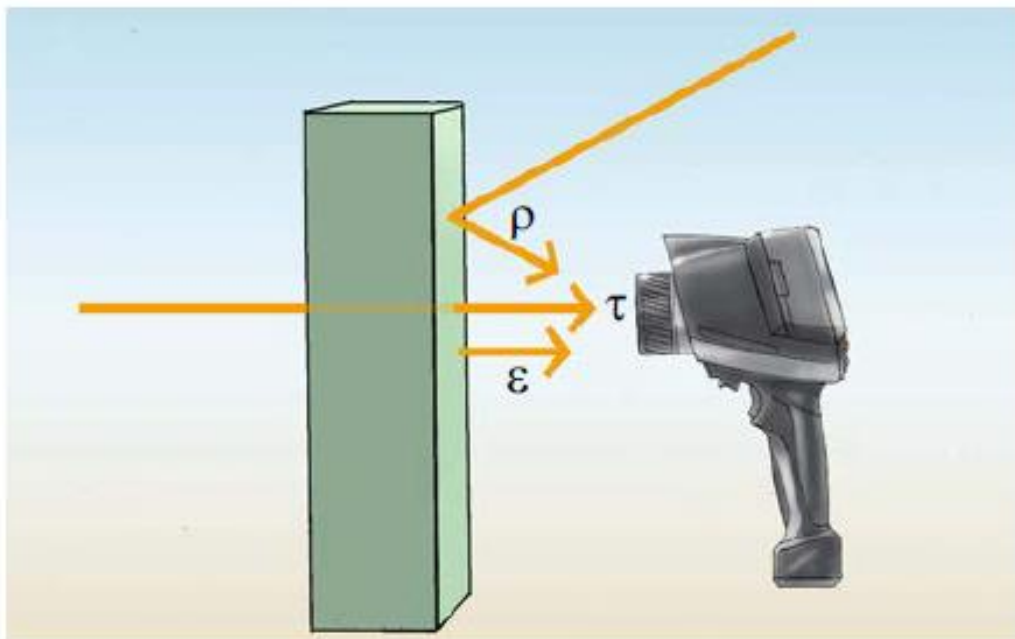
Termokamery operují v oblasti infrared (infračerveného záření) na vlnových délkách 8-14 $\mu$ m

Hlavními komponentami termokamery jsou infračervený detektor a optický systém.

Detektor zachycuje infračervené záření, zatímco optický systém toto záření zaměřuje na detektor. Následně je signál z detektoru převeden na elektronický obraz, který reprezentuje teplotní rozložení sledovaného objektu.



Záření vstupující do termokamery se skládá z více složek - vyzařené, odražené a přenesené složky infračerveného záření, které vychází z objektů v zorném poli termokamery.



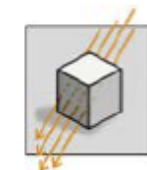
### Emisivita ( $\epsilon$ )

Emisivita ( $\epsilon$ ) je měřítkem schopnosti materiálu pohlcovat a tedy i vyzařovat infračervené záření.



### Hodnota reflexe ( $\rho$ )

Reflexe ( $\rho$ ) je konstanta, specifická pro každý materiál, která udává schopnost tělesa odrážet záření.



### Přenos - transmise ( $\tau$ )

Stupeň přenosu ( $\tau$ ) je měřítkem schopnosti materiálu propouštět infračervené záření.

### Kirchhofův zákon záření

Infračervené záření, pohlcené termokamerou sestává z:

- měřeným objektem vyslaného záření,
- odrazem záření ostatních těles v okolí, a
- prostupu záření tělesem (viz. obr. 1.1, str. 6).

Součet těchto složek je vždy roven 1 ( $\cong 100\%$ ):

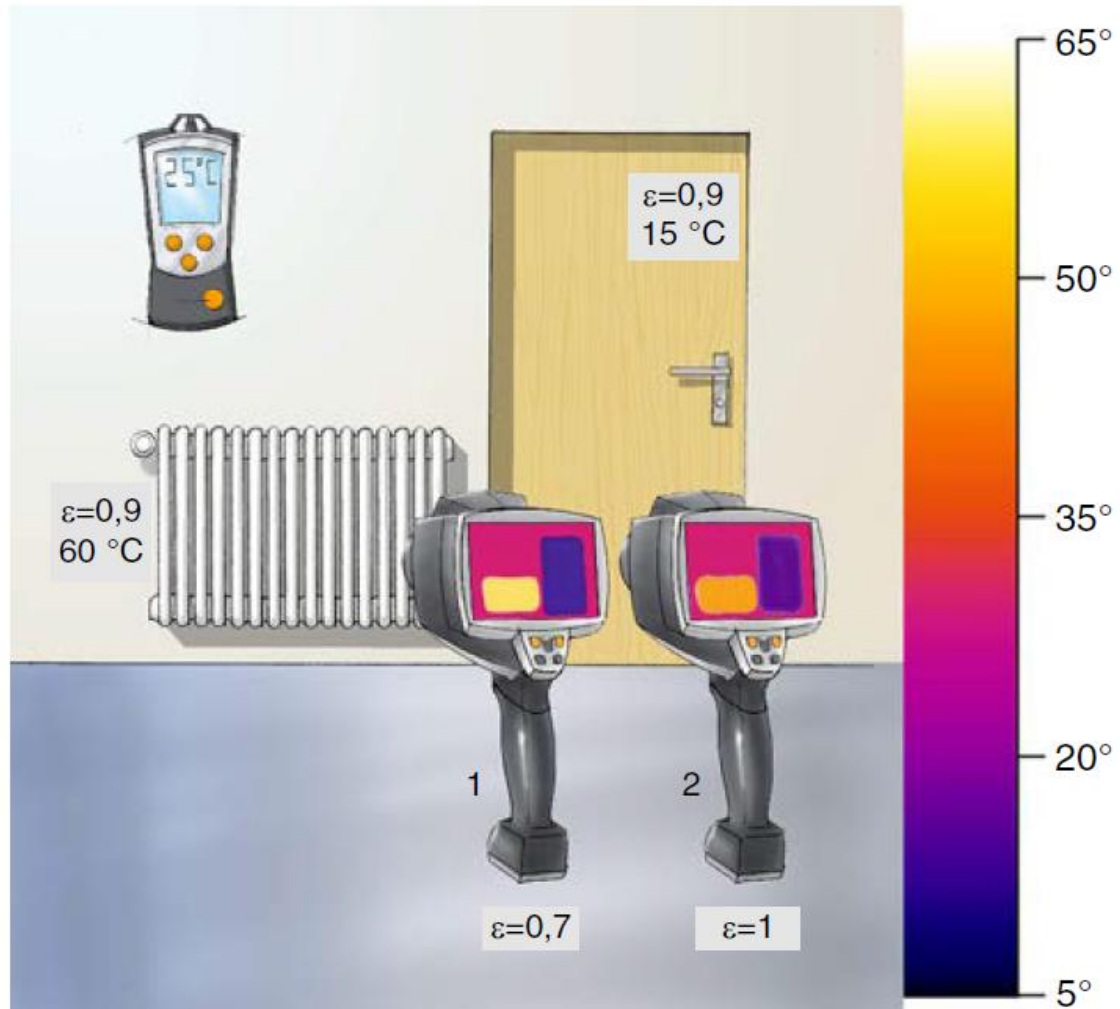
$$\epsilon + \rho + \tau = 1$$

Neboť prostup v praxi nehraje žádnou roli, součinitel prostupu  $\tau$  ve vzorci zanedbáme

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

zjednoduší se na

$$\epsilon + \rho = 1$$



## Souvislost mezi emisí a reflexí

### 1. Měřené objekty s vysokou emisivitou ( $\varepsilon \geq 0,8$ ):

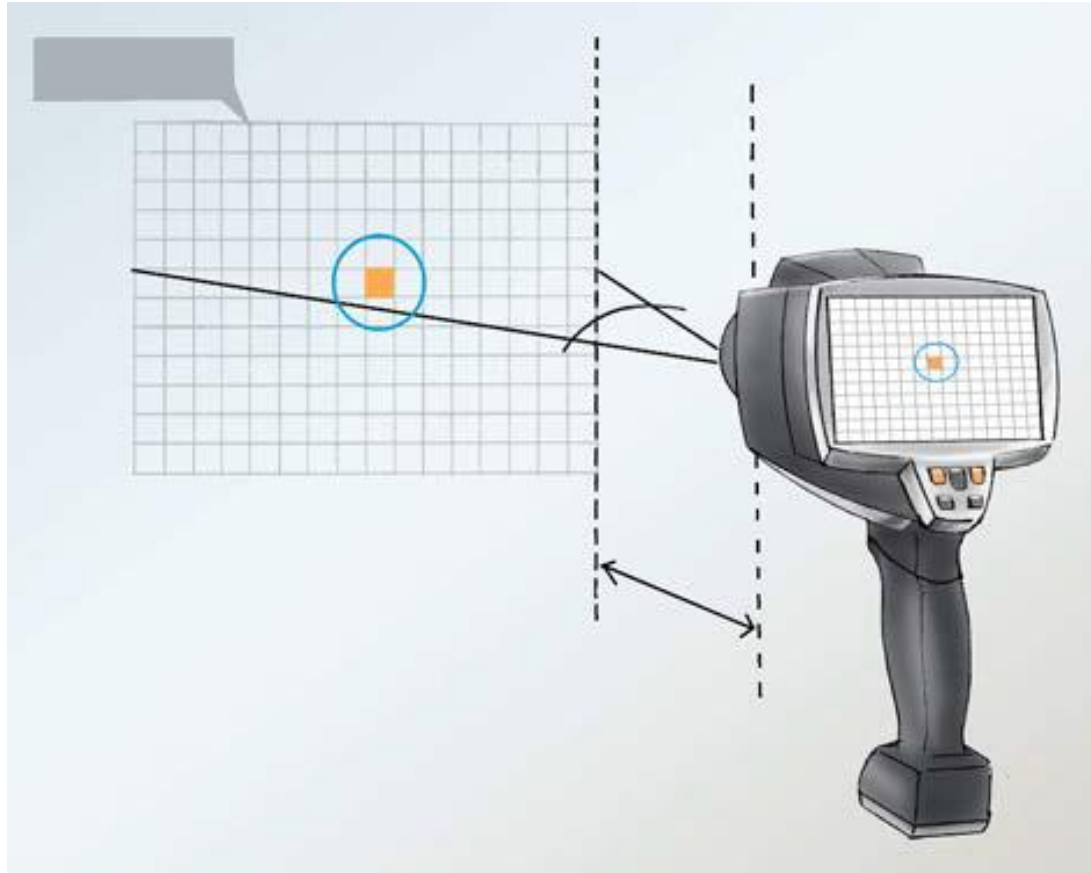
- ⇒ Mají nízkou odraznost ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \varepsilon$ .
- ⇒ Vaši teplotu je možné velice dobře měřit pomocí termokamery.

### 2. Měřené objekty se střední emisivitou ( $0,8 < \varepsilon < 0,6$ ):

- ⇒ Mají střední odraznost ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \varepsilon$ .
- ⇒ Teplotu vašeho objektu je možné dobře měřit pomocí termokamery. Pouze je nutné precizní nastavení emisivity a kompenzace odražené teploty.

### 3. Měřené objekty s nízkou emisivitou ( $\varepsilon \leq 0,6$ ):

- ⇒ Mají vysokou odraznost ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \varepsilon$ .
- ⇒ Měření vašeho objektu je pomocí termokamery možné, ale naměřené hodnoty je potřeba posuzovat kriticky.
- ⇒ Je nezbytné správně nastavit kompenzaci odraženého záření, neboť to má velký vliv na výpočet teploty.



Při určování vhodné vzdálenosti od místa měření je potřeba brát ohled na tři veličiny:

- zorné pole (FOV),
- nejmenší rozpoznatelný objekt ( $IFOV_{geo}$ ), a
- nejmenší měřitelný objekt / místo měření ( $IFOV_{měř}$ ).



Pro velké zorné pole použijte širokoúhlý objektiv.

Rozlišení 640x480 ...  $10m:640 = 1,56$  cm

Při infračerveném měření jsou důležité zejména stabilní okolní podmínky. To znamená klima, objekty v okolí měřeného tělesa, i všechny ostatní ovlivňující faktory by se během měření neměly měnit. Pouze tak je možné vyhodnotit všechny rušivé zdroje a zdokumentovat je pro budoucí analýzu.

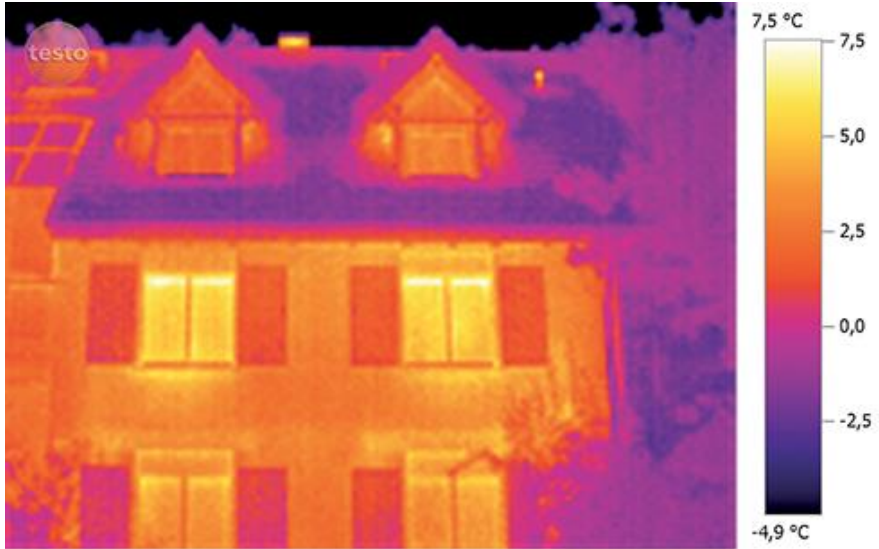
Při měření ve venkovním prostředí by mělo být stabilní počasí a zatažená obloha, aby byl měřený objekt odstíněn od přímého slunečního záření i od „chladného záření oblohy“. Zde je potřeba také dát pozor, aby měřené objekty nebyly zahřáté slunečním zářením.

Při termografii budov je doporučován minimální teplotní rozdíl 15°C mezi vnitřní a vnější teplotou, který musí být dodržen po dobu 24 - 48 hodin před měřením.



Ideální podmínky měření jsou:

- stabilní počasí,
- zatažená obloha před a během měření (při měření ve volném prostředí),
- bez osvětlení přímého slunečního záření během i před měřením,
- žádné srážky,
- suché, termicky volně přístupné plochy měřeného objektu (např. povrch bez listí, bez špon),
- bezvětrí, bez průvanu,
- bez zdrojů rušivého záření v okolí měřeného tělesa a v cestě přenosu,
- povrch měřeného objektu s vysokou, přesně známou emisivitou.



### Vyhledávání stavebních závad a zajišťování kvality staveb

Analýza pomocí **termokamery Testo** je rychlá a efektivní metoda, jak odhalit možné stavební závady. Kromě toho se **termokamery Testo** výborně hodí jako důkaz, zda byla dodržena kvalita a správné provedení stavebních opatření.

Na termogramu jsou vidět vznikající tepelné ztráty, vlhkost a netěsnosti budov. Navíc vyhledáte nedostatky v provedení tepelné izolace a odhalíte poškození stavby – bezkontaktně!

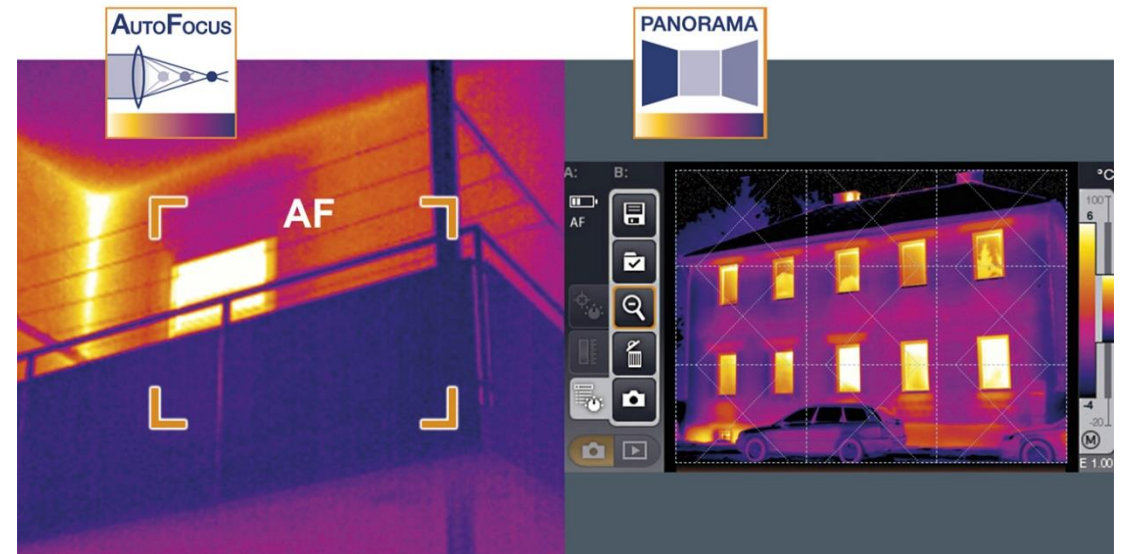
### Přesná lokalizace netěsností střech

Další možností využití **termokamery** je prověřování plochých střech z hlediska provlhání.

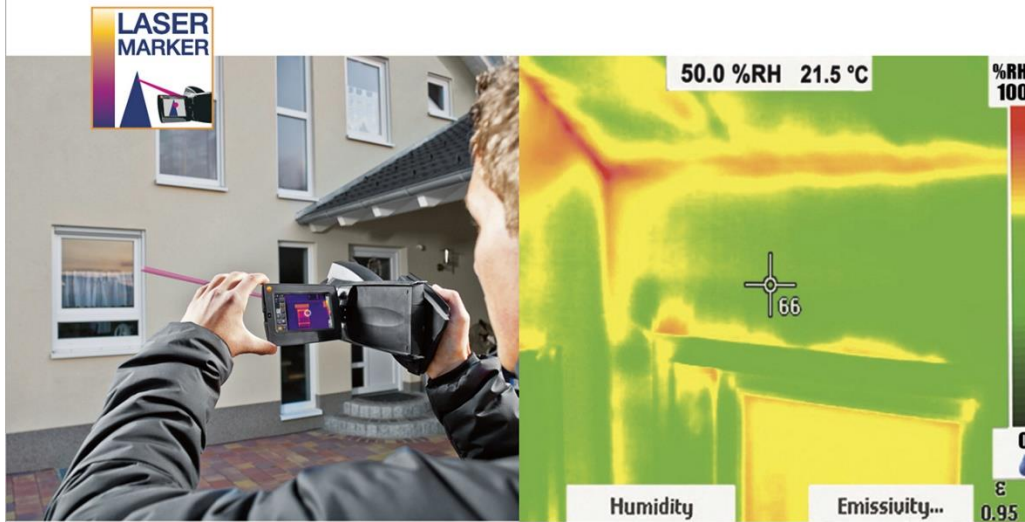
Provlhající oblasti ve střešní konstrukci uchovávají teplo získané slunečním zářením déle než neporušená místa.

Večer se proto střešní konstrukce ochlazuje nerovnoměrně.

Na základě těchto teplotních rozdílů ukáže termokamera Testo na střeše přesně oblasti s uzavřenou vlhkostí nebo poškozenou izolací.







### Analýza pláště budov a detailní energetické poradenství

V **termografii budov** se infračervená technologie výborně hodí pro rychlé a efektivní analyzování energetických ztrát při vytápění nebo klimatizaci budov.

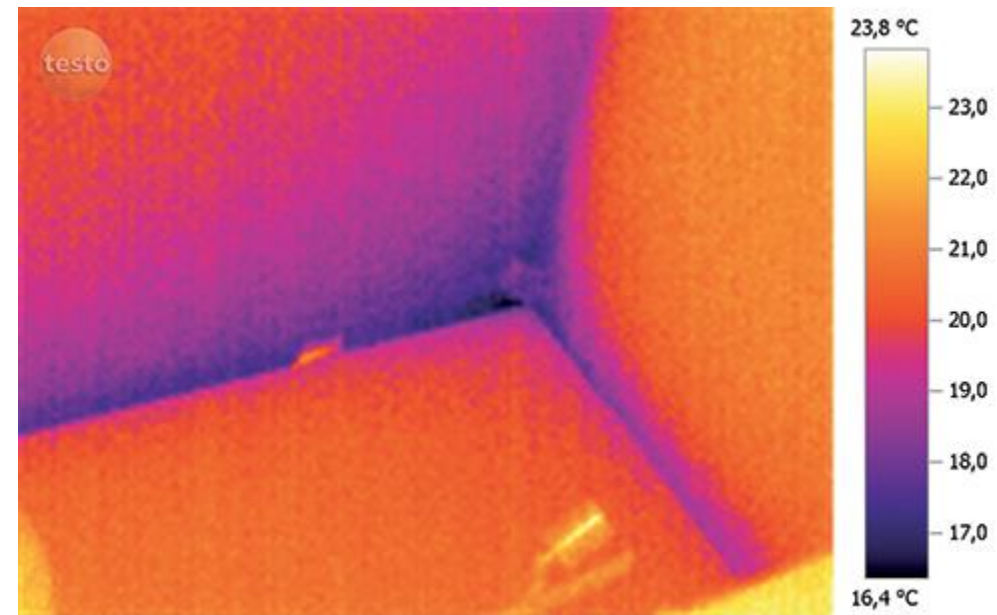
**Termokamery Testo** na základě jejich vysokého teplotního rozlišení detailně zviditelní vadnou izolaci, tepelné mosty, stavební závady a poškození. Jsou ideálně vhodné pro měření a dokumentaci energetických ztrát na vnějších dveřích a oknech, roletách, výklencích radiátorů, na střešních konstrukcích nebo celém plášti budovy.

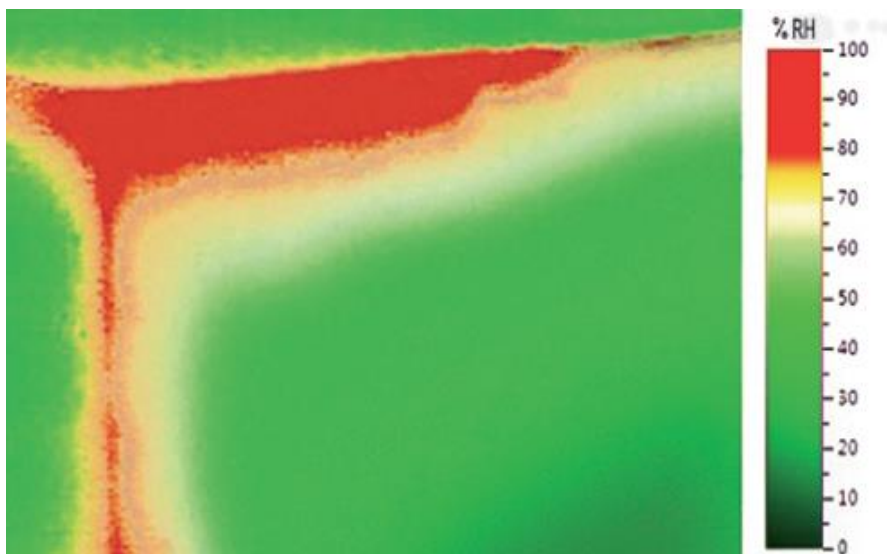
### Prověřování škod způsobených vlhkostí

Ne každá mokrá zeď má za příčinu prasklé vodovodní potrubí. Důvodem mokré zdi může být vztlínající nebo prosakující voda díky špatnému provedení okapů a odpadů.

Také ucpané trativody nebo nedostatečná schopnost vsakování může být původcem škod způsobených vlhkostí.

**Termokamery Testo** najdou příčinu vztlínající zemní vlhkosti nebo prosakujícího kondenzátu přímo, dříve než voda způsobí větší škody.





### Prevence tvorby plísní

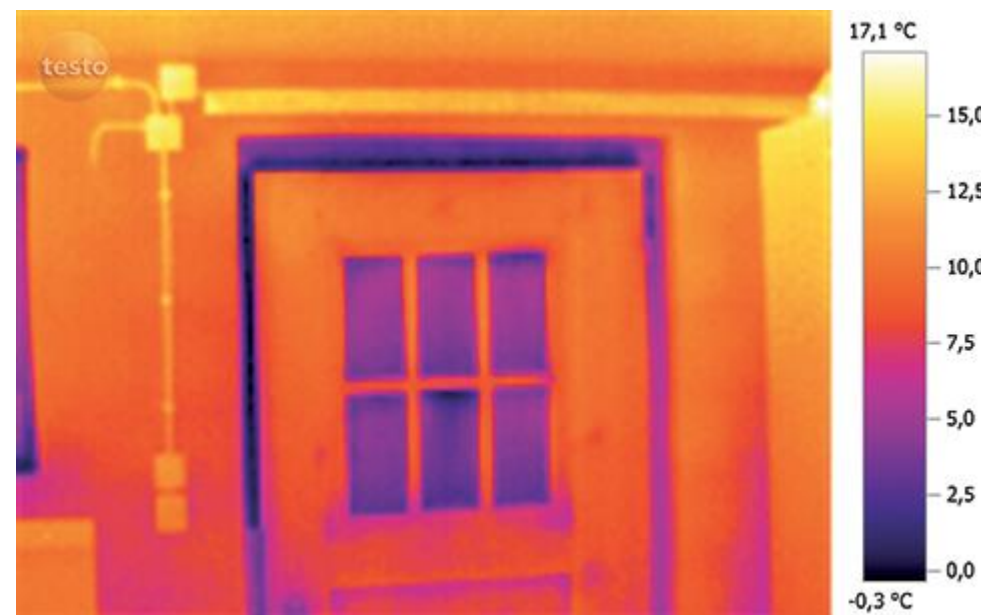
Tepelné mosty jsou energetičtí marnotratníci.

Na takových místech může uvnitř budovy docházet ke kondenzaci vlhkosti z okolního vzduchu. Následně jsou tato místa napadena plísněmi, s nimiž jsou spojena zdravotní rizika obyvatel.

**Termokamery Testo** poskytují potřebná data, aby se dalo zavčas zabránit nebezpečné tvorbě plísní nebo se riziko napadení plísněmi minimalizovalo – a to i ve skrytých koutech a výklencích.

### Kontrola vzduchotěsnosti u novostaveb

Pokud nejsou dveře nebo okna správně namontovány, vniká v zimě dovnitř studený vzduch a teplý vzduch z místnosti uniká ven. Následně se tvoří průvan, zvyšují se ztráty tepla odvětráváním a především se zvyšují náklady na energie. Velmi se osvědčila kombinace **termografie** a testu BlowerDoor. Při tomto postupu se vytvoří v budově podtlak, takže studený venkovní vzduch může dovnitř proudit spárami a štěrbinami. Termokamera přitom výrazně usnadní vysledování netěsných míst. Netěsnosti jsou tak lokalizovány dříve, než různá následná opatření u novostaveb zvýší náklady na odstranění závad a celou stavbu prodraží.



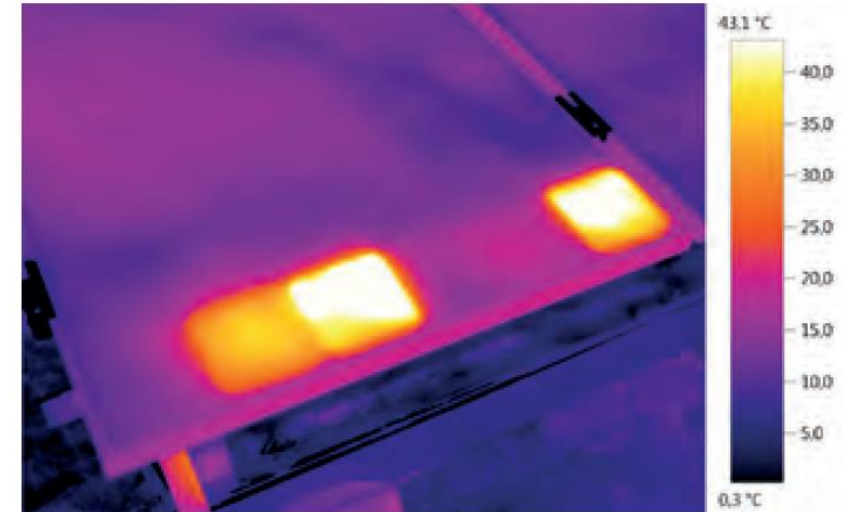


## Zabránění ztrátě výkonu u zákazníků.

Základem nového fotovoltaického zařízení je rozsáhlá a detailní analýza výkonu a investice. Kalkulace výkonů se přitom počítají až na 20 let. Tyto výpočty ovšem neobsahují žádné výkonové ztráty spojené s problémy modulů, proudovými měniči nebo se špatně provedenou instalací zařízení. Použitím termografie lze již při uvedení do provozu vytvořit dokumentaci odběru a prokázat řádnou instalaci. Pro zajištění trvalého výkonu jsou důležité další pravidelné kontroly nových i stávajících zařízení, jelikož účinnost solárního zařízení je závislá na teplotě. Jestliže se moduly z důvodu znečištění, zastínění nebo vadných článků více zahřívají, tzn. že proud spotřebovávají a nevyrábějí, klesá jejich účinnost již o 0,5 % na Kelvin. Zahřívání o 10 °C oproti průměrné normální teplotě znamená již o 5 % nižší proudovou účinnost.

## Zajištění kvality a záruka.

Použitím termografie se dá zjistit, zda odpovídá kvalita modulů článků požadavkům. Správnou kombinací jednotlivých modulů se zabrání tak zvaným nesouladům, ve kterých jsou výkonné moduly vybrždovány „horšími“ moduly. Prověřením před uplynutím záruční doby mohou být eventuální garanční nároky vůči dodavateli zavčas uplatněny.



Markantní rozdíly teplot ukazují na možnou ztrátu výkonu elektriny



# Využití termografie na FV zařízeních



## Jistota při inspekcích.

Za denního světla jsou fotovoltaická zařízení v zásadě pod napětím. U moderních modulových řetězců je nezdědká napětí až 1000 V. To představuje pro osoby značné nebezpečí zásahu elektrickým proudem. Do té míry je termografie velmi bezpečnou metodou inspekce, jelikož pořizování termosnímků probíhá s nezbytným odstupem od měřeného objektu. Předpisy pro bezpečnou vzdálenost tak mohou být bez problému dodržovány.

## Ochrana před požárem.

Ochrana před požárem hraje stále důležitější roli. Sice jsou moderní proudové měniče a elektrické komponenty stále výkonnější (vysoká účinnost), avšak musí se také zohledňovat tím vznikající odpadní teplo. Špatně namontované nebo špatně ochlazované elektrokomponenty mohou rychle vést k nebezpečí zahoření, zvláště je-li podklad z hořlavých materiálů. Elektrokomponenty instalované ve vnějším prostředí jsou na základě povětrnostních podmínek a UV záření vystaveny rychlejšímu stárnutí. Zkorodované nebo volné elektrické kabely vykazují nápadné teplotní rozdíly, které je možno zviditelnit pomocí termokamery.

## Úspora času.

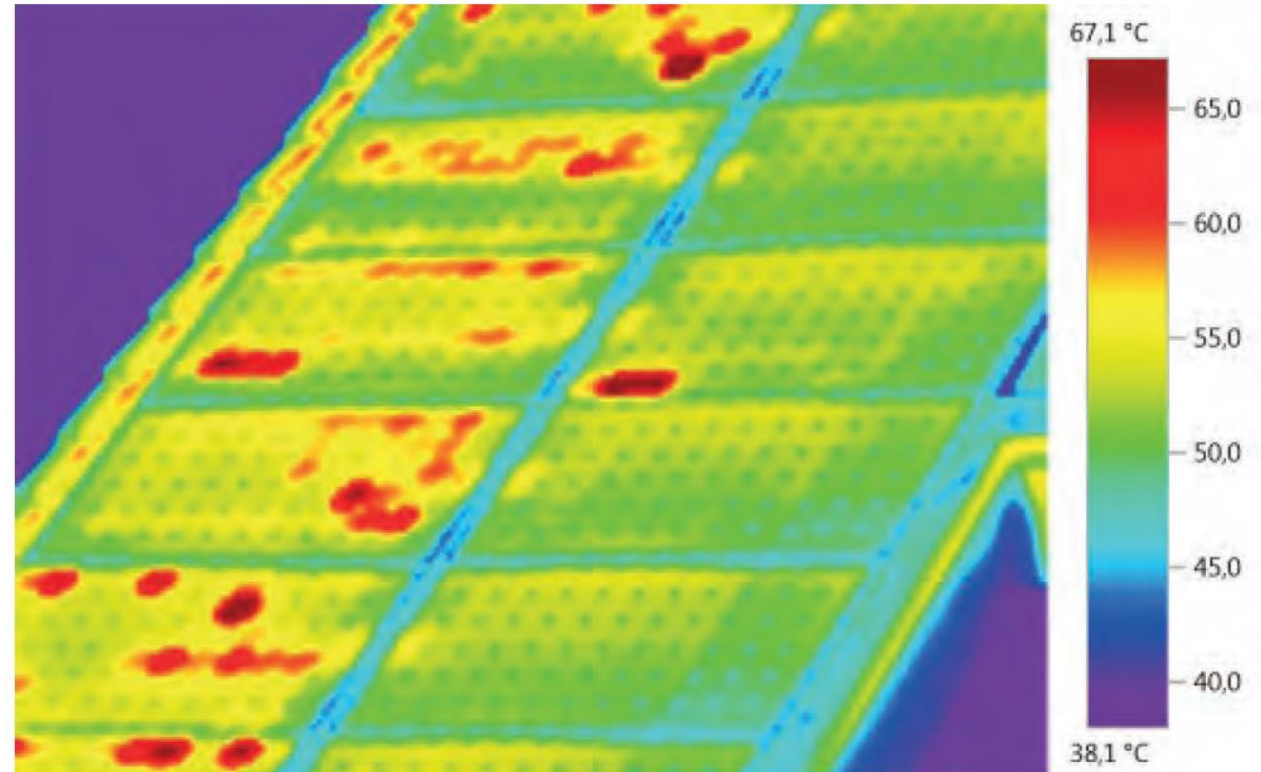
Termografie je bezdotyková, optická metoda měření. Velkoplošné solární moduly je možné během velmi krátké doby „naskenovat“. Teplotní nesrovnalosti, příp. teplotní rozdíly u modulů jsou okamžitě vidět a slouží jako první indikátor možné závady. Jestliže se dříve proměřovaly všechny řetězce modulů, lze se prostřednictvím termografie pro další měření (např. zařízením pro měření voltampérové charakteristiky) koncentrovat pouze na teplotně nápadné moduly a články.

## Efektivní doplňující a následné obchody.

S rostoucím počtem instalací fotovoltaických zařízení roste také potřeba pravidelných kontrol a údržby. Smlouvy o údržbě mohou v klasickém poprodejním obchodě tvořit další zdroje příjmů. Použití termografie umožňuje nabídnout zákazníkům kvalitní poprodejní servis, který dlouhodobě zajistí hodnotu fotovoltaických zařízení. Vadné moduly po zásahu bleskem.

## Výhoda ochrany pojistné události.

Doposud se vadné bypassové diody po bouřkách jen těžko lokalizovaly. Termografie představuje jednoduchý a rychlý nástroj pro odhalení takových škod. Náklady na odstranění závad jsou zpravidla pokryty pojištěním.



Vadné moduly po zásahu bleskem.



# Chybové snímky a příčiny



## Hledání horkého bodu.

Zastíněné nebo vadné články modulu vytvářejí vnitřní elektrický odpor, který může vést k nežádoucímu zahřívání („horký bod“). Článek se přitom může tak silně zahřát, že se poškodí nejenom on sám, ale také zapouzdření (EVA) a dolní vrstva (TPT). Bypassové diody mají tomuto efektu zabránit. Vadné nebo nereagující bypassové diody (při nepatrném zastínění) však dále vedou k nekontrolovatelným horkým bodům. Pokud nebyla zastínění (např. sloupy vysokého napětí nebo stromy) ve fázi plánování zohledněna, jsou články modulů a bypassové diody pod dlouholetým trvalým zatížením.

## Horké body a jejich důsledky.

- Výkon modulu klesá, protože jednotlivé články nebo celé moduly proud spotřebovávají místo aby jej vyráběly.
- Nechtěnou spotřebou proudu se zahřívají články a moduly. Vedle poškození jednotlivých článků a dalšího snižování výnosu to může vést ke konkrétnímu nebezpečí zahoření.

## Rozpoznání horkých bodů pomocí termografie.

Obecně se dají poruchy v provozu fotovoltaických zařízení rychle diagnostikovat termokamerou při slunečním záření od cca 600 W/m<sup>2</sup> díky nápadným změnám v rozložení teploty. Takové změny vznikají například:

- vadnými bypassovými diodami
- špatným kontaktem a zkratem v solárním článku
- vniknutím vlhkosti, nečistotami
- prasklinami v článcích nebo skle modulu
- moduly, které běží naprázdno a nepřipojenými moduly
- tzv. nesoulady, tj. ztrátou výkonu způsobenou různou schopností výkonu jednotlivých modulů
- vadnou kabeláží a uvolněnými kontakty
- jevy stárnutí a zátěže

## Chybové snímky článků a modulů.

- Infračervené snímky (1) a (2) ukazují typické rozdílné chybové snímky u vadných jednotlivých článků a podřetězců. Rozvodné krabice, které jsou vidět na snímku (1), vykazují viditelné zahřátí. To nemusí nutně poukazovat na závadu. Odbočné krabice se však mohou přehřívat, takže je v případě potřeby kontrola vývoje teploty nezbytná.

## Moduly běžící naprázdno.

- Nezřídka se stává, že moduly běží naprázdno. Příčinou mohou být špatně připojené moduly nebo prodřené nebo překousané kabely. To na sebe na infrasnímku upozorní rovnoměrně teplejším infračerveným snímkem (3) v porovnání s ostatními moduly.

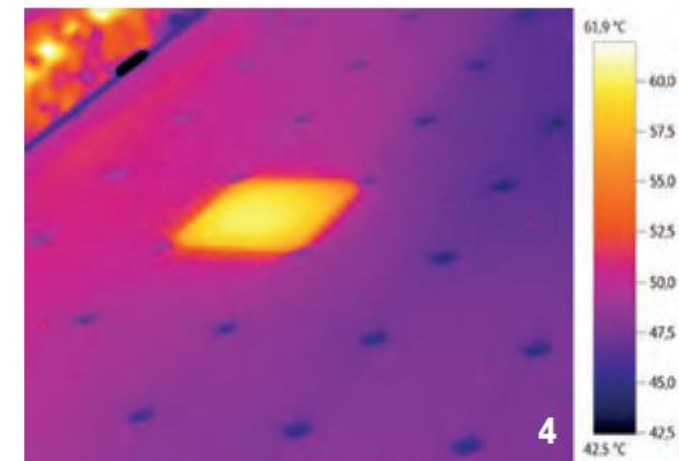
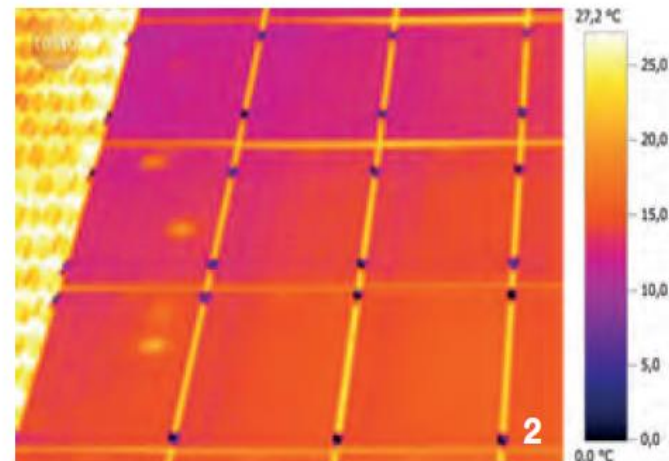
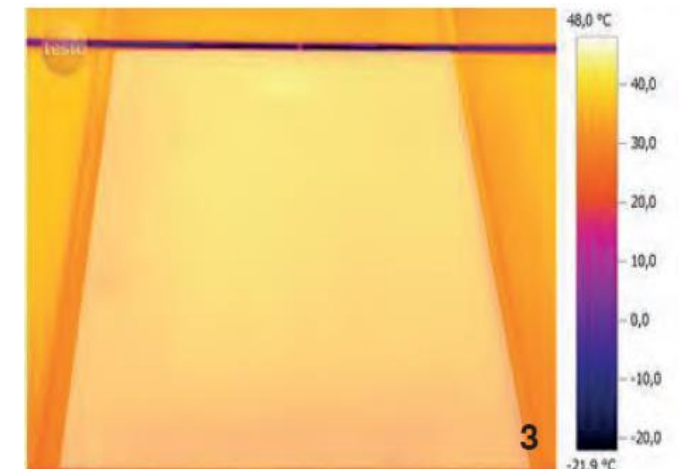
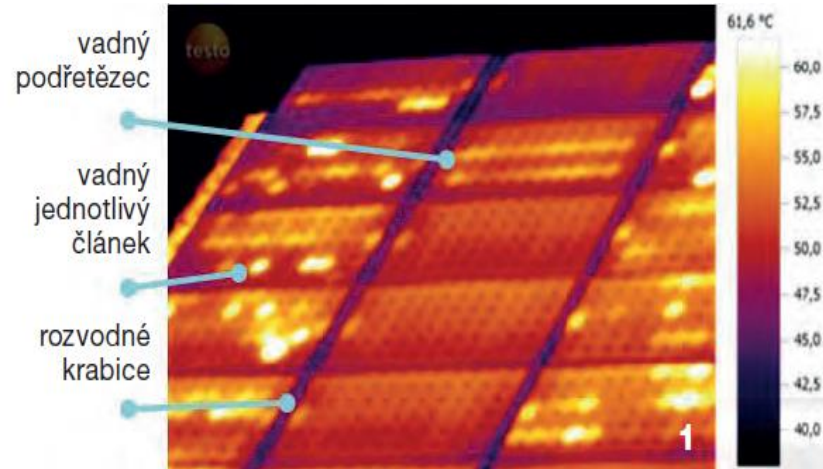
## Delaminace.

- Na základě vnějších vlivů nebo podřadné kvality modulů se může ochranná vrstva EVA uvolňovat. Vnikající vlhkost může vést ke korozi článků a tím ke ztrátě výkonu.
- Pomocí termokamery lze toto rozpoznat dříve, než začnou být vrstvy „mléčné“ (4).

## Rozbité články.

- Mikrotrhliny a rozbití článků může vzniknout již během přepravy a při montáži. Také vnější mechanické vlivy mohou být příčinou. Zatímco mikrotrhliny ještě nejsou kritické, rozbité články mohou působit na zhoršení výkonu.

## Typické chybové snímky solárních článků a modulů.

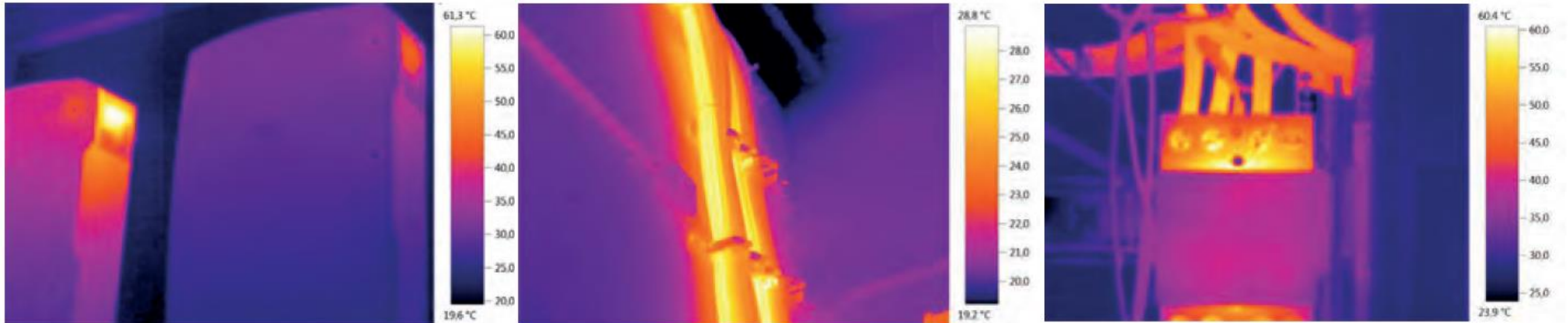


## Kontrola elektrických a mechanických komponentů.

Vedle jednotlivých článků a modulů mohou být pomocí termografie kontrolovány také elektrické komponenty.

Koroze na elektrických vodičích, konektorech nebo volněné kabely vedou k elektrickým přechodovým odporům, které na sebe upozorní zřetelným zvýšením teploty.

- zkorodované kontakty a konektory
- proudové měniče
- uvolněné kontakty
- přehřáté rozvodné krabice



Levý proudový měnič je výrazně teplejší.

Kabel stejnosměrného proudu bez kritického zahřátí.

Zřetelné zahřátí na elektrických přípojkách.





# Ideální termokamera



## testo 883 | Přehled výhod



Nejlepší  
kvalita  
obrazu

320 x 240  
640 x 480

Tepelná  
citlivost  
(NETD)

40 mK

Ruční ostření



Vyměnitelné  
objektivy



Joystickové a  
dotykové  
ovládání



testo  
SiteRecognition



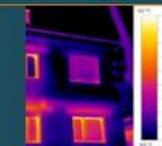
testo IRSoft



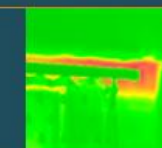
Konektivita



testo  
ScaleAssist



Vlhkostní  
snímek





# Ideální termokamera



Termokamery testo řady 865s-872s



testo 865s



testo 868s

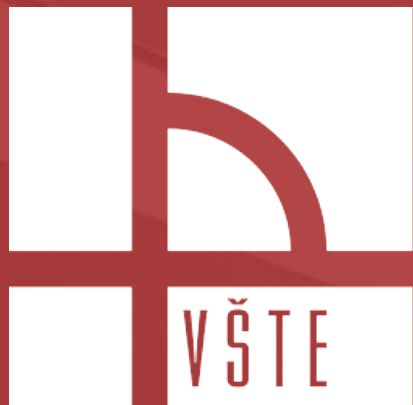


testo 871s



testo 872s





**Thank you for your attention!**  
**Děkuji za pozornost!**

**Jan Brůna**

**bruna@kubousek.cz**

**tel :+420 605499367**

**ČKAIT**



DEFEKTY BUDOV 2024 | 14. 11. 2024 | VŠTE v ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH | ČESKÁ REPUBLIKA