



**DEFEKTY
BUDOV
2023**



Diagnostika poruch FV pomocí termokamery

Jan BRŮNA

KUBOUŠEK s.r.o.



Přechod na obnovitelné zdroje je nezbytným krokem ke snížení závislosti na fosilních palivech a k boji proti klimatickým změnám.

Obnovitelné zdroje energie, jako je například solární energie zde hrají důležitou roli. Fotovoltaická zařízení jsou stále oblíbenějším způsobem přeměny solární energie na elektřinu.

Pro maximalizaci účinnosti a výkonu fotovoltaických zařízení je nezbytné pravidelné monitorování a údržba. Nejlepší kontrolní metodou fotovoltaických zařízení je termografie, která používá termokameru k záznamu rozložení teploty u fotovoltaických článků. S touto metodou můžete včas odhalit závady a poruchy, a tím maximalizovat efektivitu zařízení.

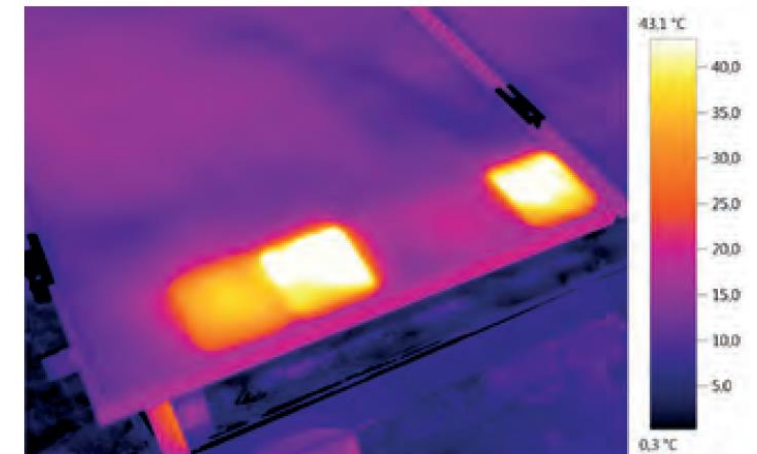
V této prezentaci najdete cenné informace o termografii fotovoltaických zařízení a praktické tipy pro provádění kontrol termokamerami.

Zabránění ztrátě výnosu u zákazníků.

Základem nového fotovoltaického zařízení je rozsáhlá a detailní analýza výnosu a investice. Kalkulace výnosů 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 výnosu 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 závčas uplatněny.



Markantní rozdíly teplot ukazují na možnou ztrátu výnosu elektriny



Motivace a důvody pro použití termografie



Jistota při inspekcích.

Za denního světla jsou fotovoltaická zařízení v zásadě pod napětím. U moderních modulových řetězců je nezdědka 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.

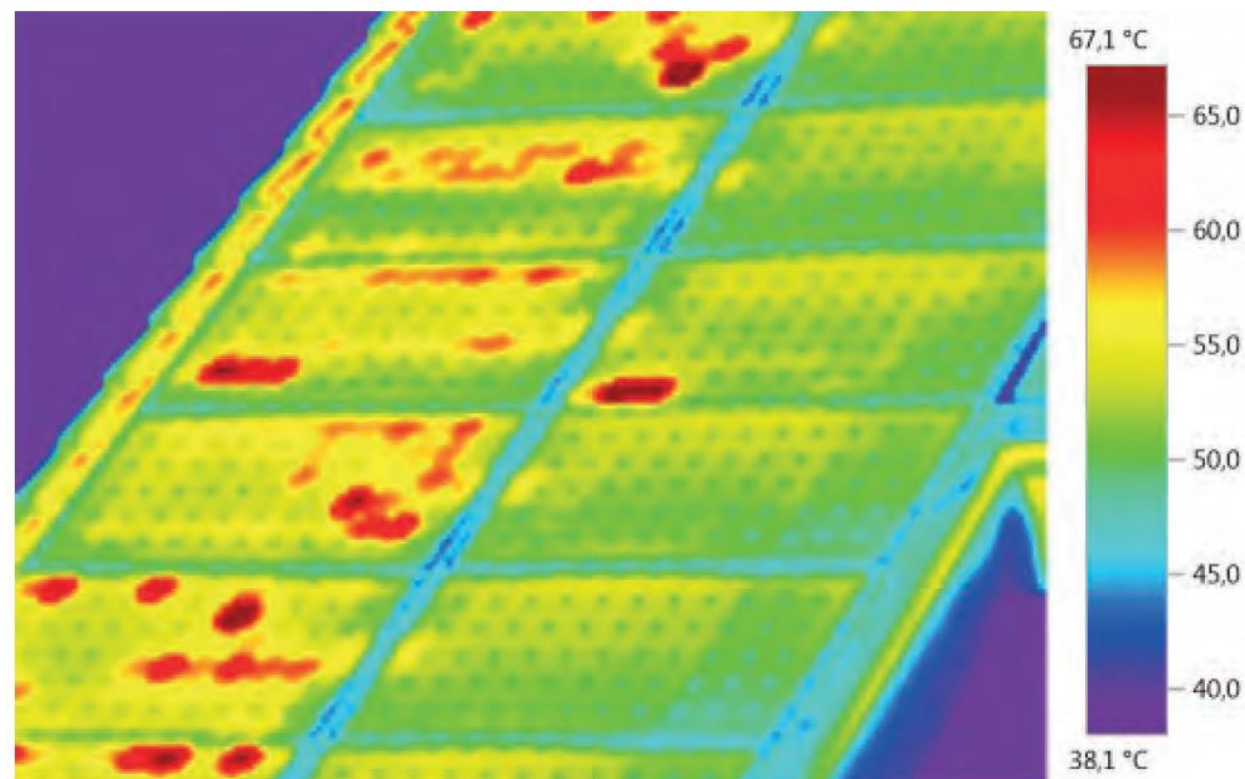
Termografie je bezdotyková, optická metoda měření. Velkoplošné solární moduly je možné během velmi krátké doby „naskenovat“. Teplotní nesrovnalosti, příp. teplotní rozdíly u modulů jsou okamžitě vidět a slouží jako první indikátor možné závady. Jestliže se dříve proměřovaly všechny řetězce modulů, lze 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.

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/m² 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.

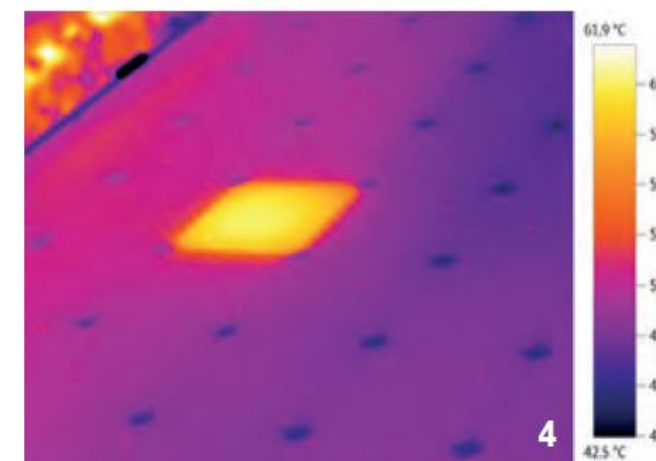
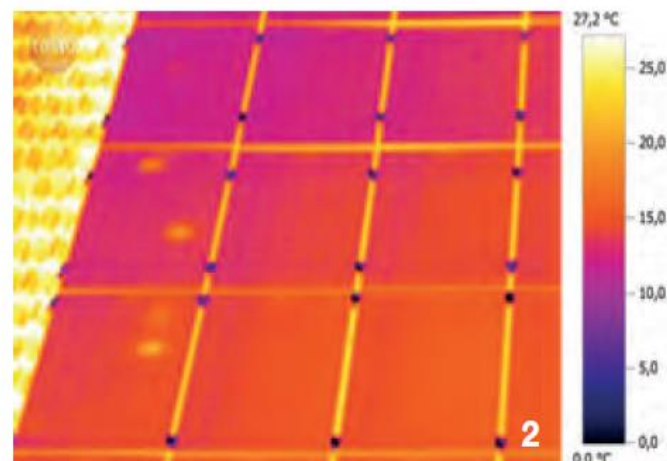
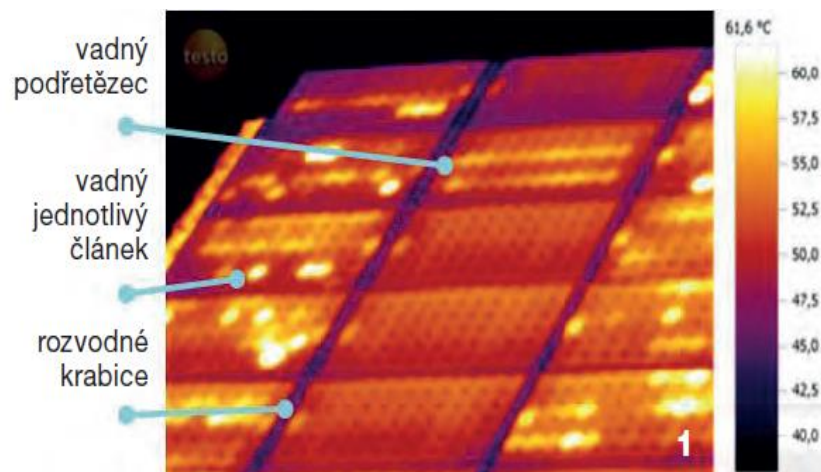
Delaminace.

- 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.

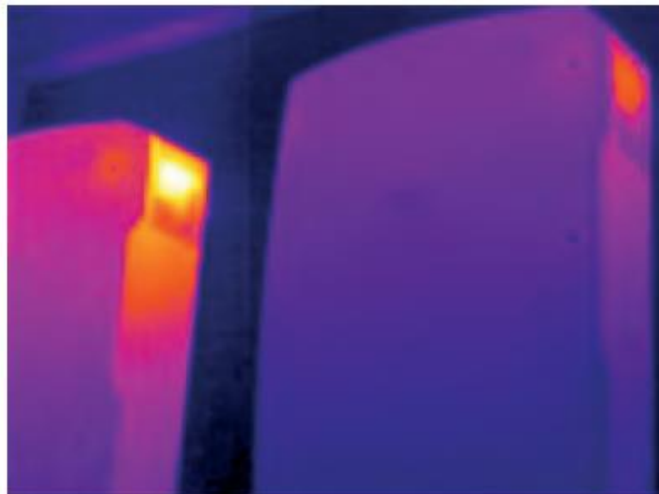


Kontrola elektrických a mechanických komponentů.

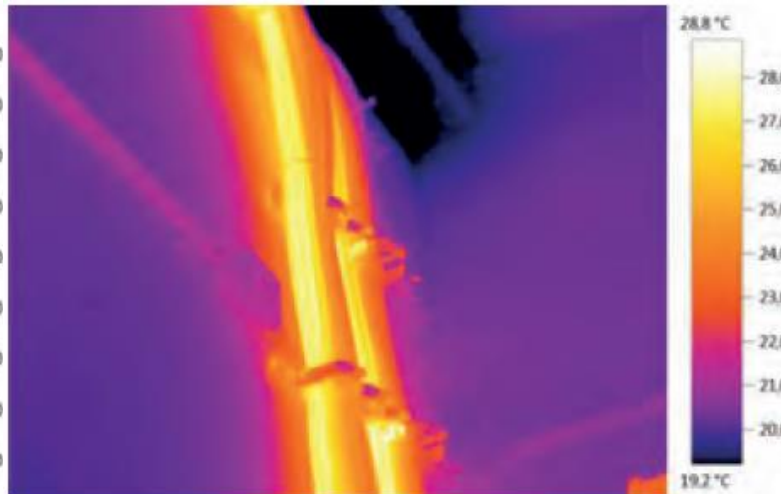
Vedle jednotlivých článků a modulů mohou být pomocí termografie kontrolovány také elektrické komponenty.

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

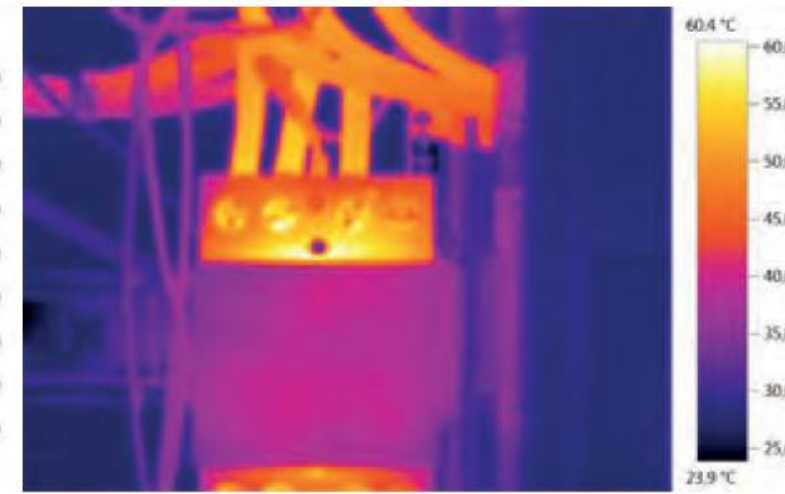
- zkorodované kontakty a konektory
- proudové měniče
- uvolněné kontakty
- přehřáté rozvodné krabice



Levý proudový měnič je výrazně teplejší.



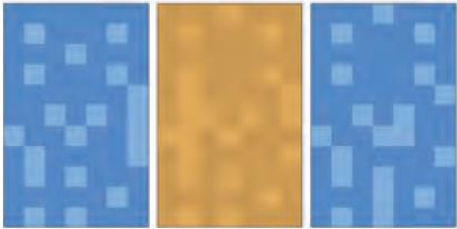
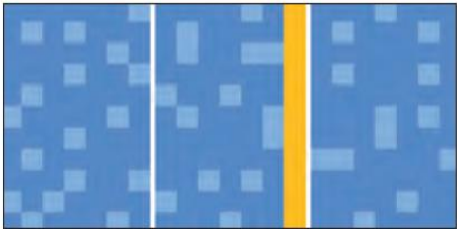
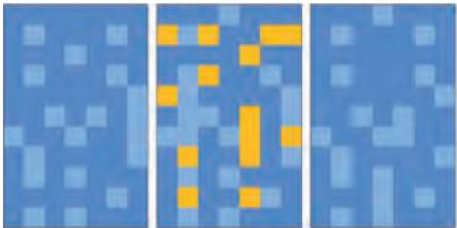
Kabel stejnosměrného proudu bez kritického zahřátí.



Zřetelné zahřátí na elektrických přípojkách.

Přehled chybových snímků a příčin.

V následujícím přehledu jsou systematicky seřazeny typické chybové snímky a jejich možné příčiny.

	<p>Infrasnímek 1 Popis: rovnoměrné zahřívání jednoho modulu v porovnání s ostatními. Možná závada: modul běží naprázdno. Možná příčina: modul není připojen, kabel je překousaný nebo přelomený.</p>
	<p>Infrasnímek 2 Popis: podřetězec modulu je teplejší než zbytek modulu. Možná závada: zkrat podřetězce modulu. Možná příčina: vadné bypassové diody např. po bouřce.</p>
	<p>Infrasnímek 3 Popis: „mozaikový vzor“, při kterém jsou jednotlivé články náhodně rozděleny a jsou zřetelně teplejší. Možná závada: modul ve zkratu. Možná příčina: špatně zapojeno nebo jsou všechny bypassové diody vadné.</p>

	<p>Infrasnímek 4 Popis: pouze část článku je zřetelně teplejší. Možná závada: rozbitý článek. Možná příčina: škoda způsobená při přepravě nebo montáži nebo jiné vnější mechanické působení.</p>
	<p>Infrasnímek 5 Popis: bodové nebo nerovnoměrné zahřívání. Možná závada: trhлина článku nebo delaminace. Možná příčina: výrobní závada u laminace článku, zastínění na základě např. zašpinění (ptačí trus apod.).</p>
	<p>Infrasnímek 6 Popis: zahřátí jednoho jediného článku. Možná závada: nemusí se nutně jednat o závadu. Možná příčina: zastínění nebo vadný článek.</p>

Korektní orientace.



Při termografickém měření je orientace kamery k fotovoltaickému modulu rozhodující.

Vyzařovaná energie je závislá na směru, tzn. že při infračerveném měření teploty by měla být orientace kamery k povrchu modulu $60^\circ - 90^\circ$. Fotovoltaický modul by měl být pokud možno orientován kolmo ke směru záření slunce. Chyby měření závislé na úhlu vedou například k sugesci teplotních rozdílů a zkreslené reflexi. Kromě toho je třeba dbát na to, aby nebyl měřený snímek narušován odrazy, jako je například samotná kamera, technik měření, slunce nebo blízké budovy. Odražené záření je kamerou rovněž detekováno.

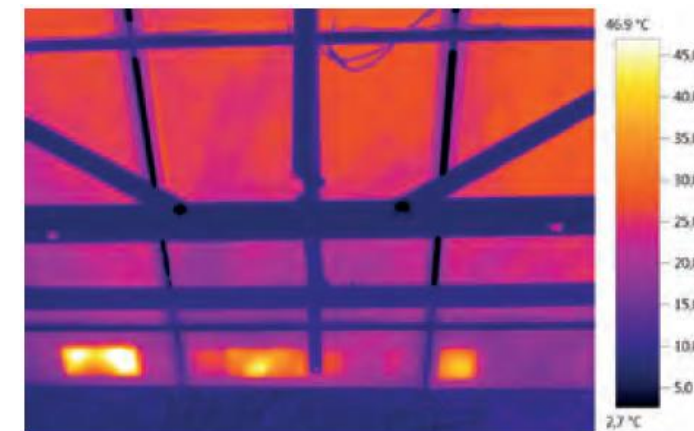
Odrazy se dají rozpoznat změnou zorného úhlu, poněvadž se tyto pohybují spolu.

U solárních modulů s přístupnou zadní stěnou lze provádět termografii i zezadu, jelikož lze téměř vyloučit odrazy a dosahuje se vyššího stupně emisivity

Přechod tepla je dostatečný, aby bylo možné dobře posoudit rozložení teplot na zadní straně. Zabrání se tak chybným měřením a chybným interpretacím.



Správná orientace k měření modulu.



Snímání modulu zezadu.

Meteorologické předpoklady.

Kontrola by měla proběhnout pokud možno za bezoblačného, suchého dne s intenzivním slunečním zářením (cca 600 W/m²).

Přímé sluneční záření přivede solární panely k plnému výkonu, vadné solární články se na infrasnímku projeví z důvodu přetížení nebo výpadku jako teplejší než zbývající články. Záření přibližně 600 W/m² platí jako orientační hodnota. Jestliže se během měření sluneční záření změní například kvůli oblačnosti, není již infračervené snímání použitelné.

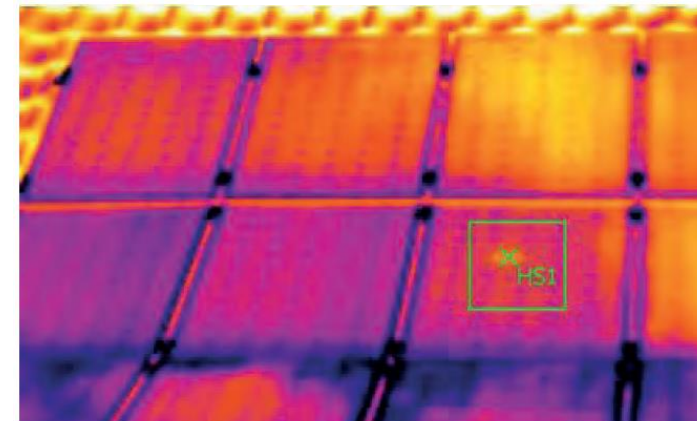
Aby se dosáhlo co možná vysokých a dobře detekovatelných teplotních gradientů, doporučuje se, provádět měření při nízké venkovní teplotě (např. ráno nebo večer).

Eventuelně se musí také zohlednit chladící účinek na panely způsobený závany větru.

Interpretace a vyhodnocení.

Vyjdou-li při vyhodnocování termogramů najevo teplotní odchylky, neznamená to nutně, že musí být dotyčné moduly vadné. Nápadné termosnímky tak mohou například poukazovat na zastínění díky znečištění. Zároveň nemusí jeden jediný poškozený článek vést bezpodmínečně ke ztrátě výkonu celého panelu. Teprve výpadek celé dílčí oblasti panelu má za následek větší výkonové ztráty.

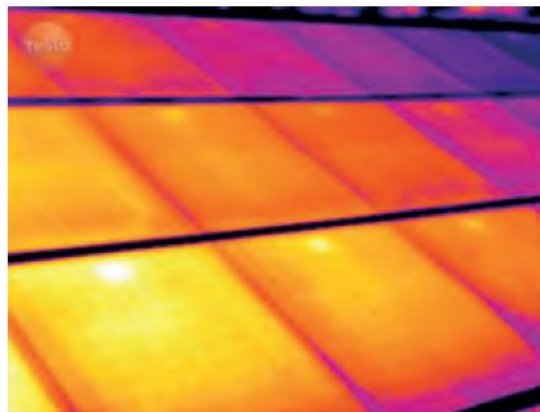
Další prověřování jako je vizuální kontrola, měření výkonových křivek nebo elektroluminiscence jsou nezbytná proto, aby se lokalizovala domnělá příčina závady.



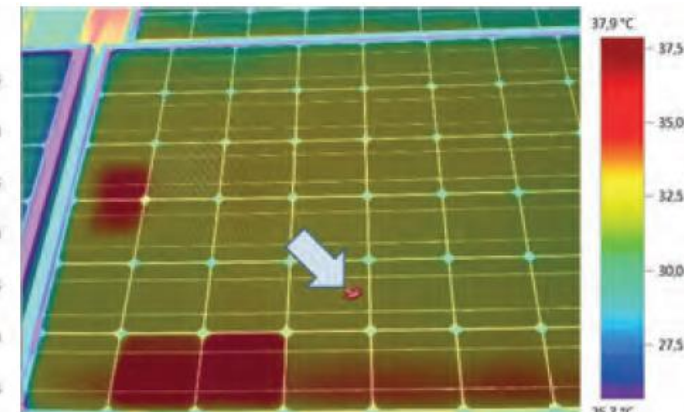
Odrazy mraků jsou viditelné.

Horké body nemusí nutně nasvědčovat vadnému článku.

Ne každý termický horký bod musí poukazovat na závadu v solárním článku. Může tak být vidět kvůli přechodu tepla na plochu modulu např. konstrukce nebo rozvodné krabice. Moduly s intenzivními odchylkami nejsou v zásadě vadné, jsou případně pouze znečištěné a měly by se očistit.



Rozvodné krabice na zadní straně jsou patrné.



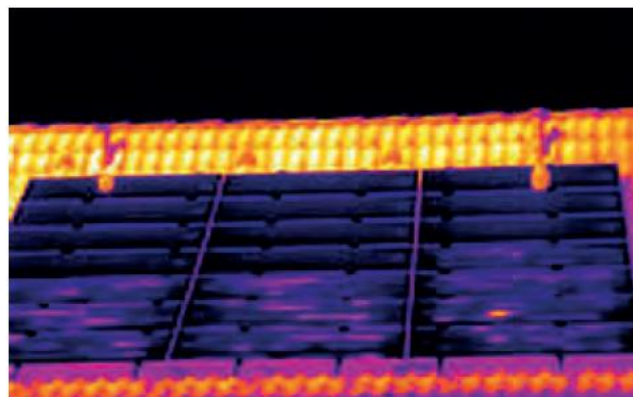
Překrytí snímku ukazuje znečištění ptačím trusem na nejteplejším horkém bodě.

Be sure. **testo**

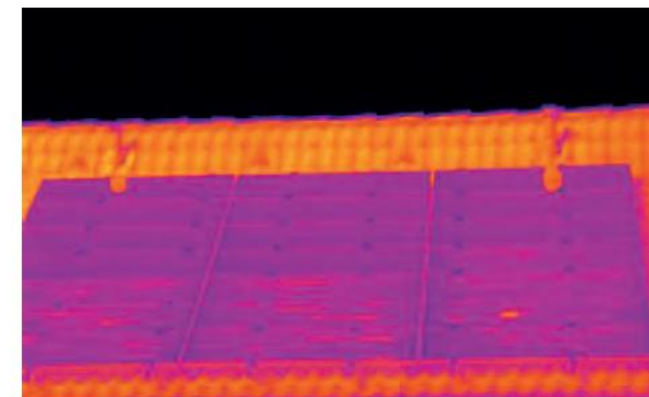
Úroveň a rozpětí.

Nastavení tak zvané úrovně a rozpětí je pro rozpoznání chyb mimořádně důležité.

Termokamery rozpoznají ve svém automatickém módu nejteplejší a nejstudenější bod a přizpůsobí odstupňování barev napříč celou oblastí. To znamená, že mohou z důvodu širokého rozpětí zaniknout významné teplotní rozdíly.



Manuální nastavení.



Automatické nastavení.

Kontrola fotovoltaických zařízení pomocí termografie klade velmi vysoké nároky na použití termokamery.

Pro výběr termokamery, která by k tomuto účelu byla vhodná, musí být zohledněno více kritérií:

- infračervené rozlišení detektoru
- teplotní rozlišení (NETD)
- výměnné objektivy
- funkce kamery
- software



Infračervené rozlišení, případně geometrické rozlišení.

Geometrické rozlišení (udávané v mrad) popisuje možnost termokamery rozpoznat objekty (např. vadné články modulu) z určité vzdálenosti. Protože je geometrické rozlišení mimo jiné závislé na infračerveném rozlišení detektoru, doporučuje se u velkých fotovoltaických zařízení a při měřeních z velké vzdálenosti infračervené rozlišení minimálně 320 x 240 pixelů (76 800 měřených bodů). Při kontrole malých zařízení a při měřeních z menší vzdálenosti mohou být dostačující infračervená rozlišení od 160 x 120 pixelů (19 200 měřených hodnot).

Teplotní rozlišení (NETD).

Teplotní rozlišení popisuje schopnost termokamery moci rozpoznat teplotní rozdíly na povrchu objektu. Teplotní rozlišení např. 0,05 °C (nebo 50 mK) znamená, že termokamera umí tento rozdíl poznat a odstupňovat jej na displeji různou barevnou skladbou. Čím nižší je teplotní rozlišení, tím je lepší vytvořený termosnímek.

Výměnné objektivy.

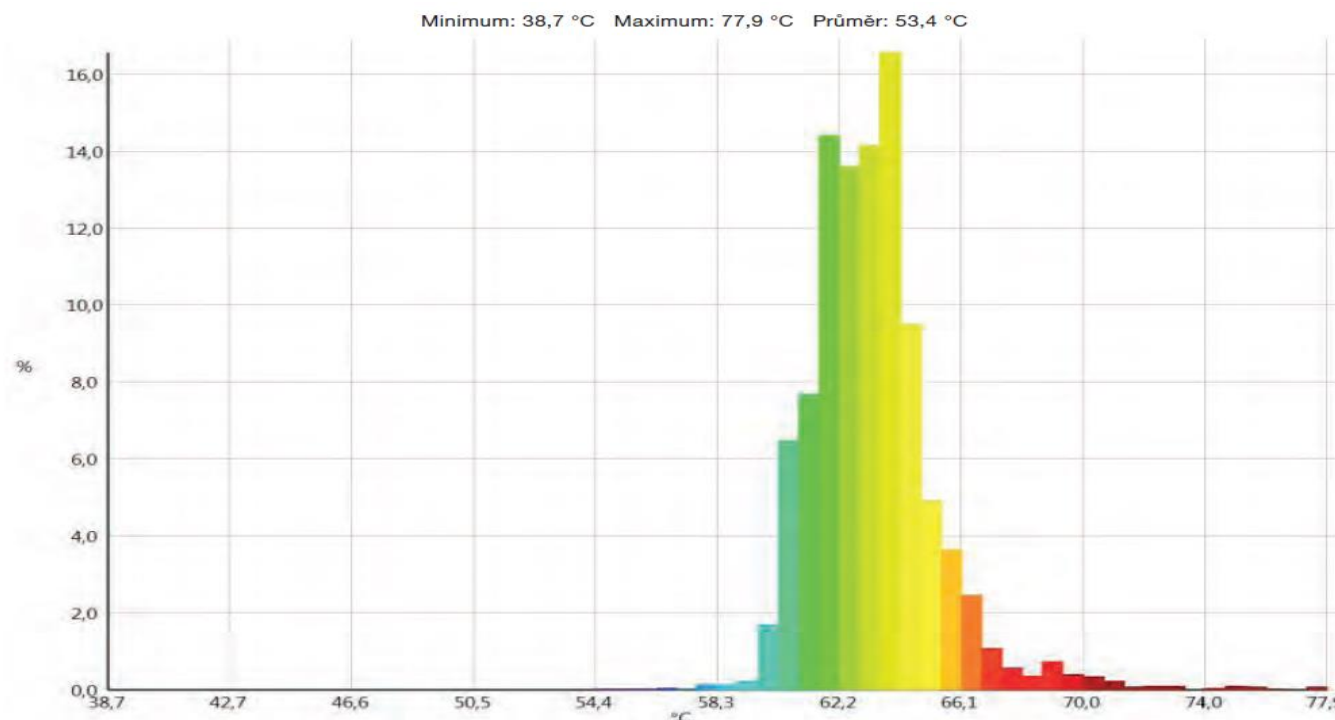
Vedle infračerveného rozlišení detektoru ovlivňuje geometrické rozlišení také zorný úhel objektivu. Aby bylo možné časově úsporně měřit i velká zařízení, např. ze zvedací plošiny, měly by být zvoleny kamery s výměnným teleobjektivem. Termokamery jako je Testo 883 umožňují rychlou výměnu objektivu.



Software.

Analyzační software (např. testo IRSoft) umožňuje optimalizaci a také analýzu termosnímků a zaručuje, že nálezy na snímcích budou jednoznačně zobrazeny a zadokumentovány. Software by se měl intuitivně obsluhovat, měl by být jasně strukturovaný a nadměru uživatelsky příjemný. V IRSoft se dají pomocí předdefinovaných předloh zpráv vytvořit během několika minut přesvědčivé, profesionální zprávy.

Obrázek ukazuje teplotní histogram solárního modulu. Vyčteme z něj různé aspekty. Zatímco průměr teploty se nachází kolem 53,4 °C, jsou maximální hodnoty až 77,9 °C v porovnání k minimálně teplotě 38,7 °C. S údajem o četnosti v procentech se dá učinit výrok o tom, kolik článků je v kritické teplotní oblasti. Na snímku, který máme k dispozici, lze vyčíst, že cca 55 % všech teplot se nachází nad 63 °C a tím vykazují již 10 °C navíc oproti průměrné hodnotě 53,4 °C.



Teplotní histogram solárního modulu.

Termokamery testo řady 865s-872s

Be sure. **testo**



testo 865s



testo 868s



testo 871s



testo 872s



testo 883 | Přehled výhod

Be sure. **testo**

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

testo 883 | Samostatný přístroj a sada

Be sure. **testo**

testo 883 samostatný přístroj v kufru



99.000,- bez DPH

Sada testo 883 v kufru
(Teleobjektiv, náhradní akumulátor a nabíjecí stanice)



125.000,- bez DPH

Výhody:

- S výměnitelnými objektivy jste okamžitě připraveni na všechny situace
- Využíváte výhodnější cenu v porovnání s nákupem jednotlivých položek

Porovnání | Technické vlastnosti



	Model přístroje	Infračervené rozlišení	Tepelná citlivost (NETD)	Zaostření	Objektivy	Externí měřené veličiny	Aplikace	testo SiteRecognition (automatické rozpoznávání míst a správa snímků)	Balíček procesní analýzy (video a časoběrné snímání)	Panoramic ký asistent
	testo 865s CZK 32.000,-	160 x 120 320 x 240	< 120 mK	Fixní		-	-	-	-	-
	testo 868s CZK 32.000,-		< 100 mK			-	✓	-	-	-
	testo 871s CZK 65.100,-	240 x 180 480 x 360	< 90 mK				✓	-	-	-
	testo 872s CZK 72.000,-	320 x 240 640 x 480	< 60 mK				✓	-	-	-
	testo 883 od CZK 99.000,-	320 x 240 640 x 480	< 40 mK	Ruční			✓	✓	-	-
	testo 890 od CZK 270.000,-	640 x 480 1280 x 960	< 40 mK	Ruční + automat.				✓	✓	✓

Příslušenství k termokamerám 883 a 871s/872s

Be sure. **testo**

Náhradní akumulátor
(0554 8831)



Stolní nabíjecí stanice
(0554 8801)



Termohygrometr
testo 605i (0560 2605 02)



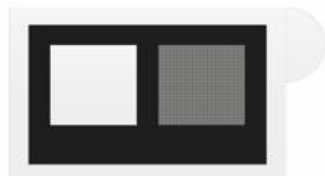
testo 770-3 klešťový multimetr
(0590 7703)



Ochranné sklo objektivu
(0554 8805)



testo ε-markery
(0554 0872)



Emisní páska
(0554 0051)



ISO kalibrační certifikáty

- s měřicími body při 0 / +25 / +50 °C
(0520 0489)
- s měřicími body při 0 / +100 / +200 °C
(0520 0490)
- s volitelnými měřicími body v rozsahu
-18 až +250 °C
(0520 0495)



Termokamera každodenním pomocníkem



Termokamera je každodenním pomocníkem pro profesionály v oboru elektrotechniky.

Jak může posloužit při diagnostice konkrétně u fotovoltaické elektrárny?



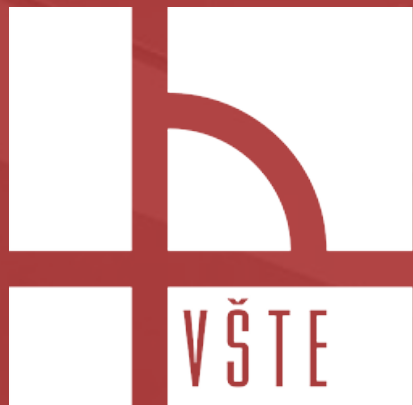
Na to jsme se zeptali Petra Volfa, vedoucího týmu fotovoltaické systémy na UCEEB ČVUT.

Termokameru lze použít jednak pro diagnostiku samotných fotovoltaických panelů. Problémová místa, kde z různých důvodů dochází k zahřívání panelu, lze tak i při zběžné kontrole okamžitě odhalit. Ať už to jsou výrobní vady, špatné zapojení, nebo tzv. hotspots.

Tím ale využití termokamery u fotovoltaiky nekončí. Kameru lze zaměřit i na kabeláž, kontakty, střídač nebo rozvaděč a rychle tak zjistit, zda se nějaké místo nepřehřívá. Takto lze rychle zkontrolovat celou fotovoltaickou elektrárnu hned po instalaci a zapojení a najít tak případná problematická místa, kterým je potřeba věnovat pozornost.

Na co všechno profesionálové termokameru používají, jaké s ní mají zkušenosti a na co si dát pozor? Na jaké aplikace mimo elektrotechniku se dá termokamera použít? A jaké výhody přináší profesionální termokamera testo 883 oproti běžným modelům? Podívejte se na video.





Thank you for your attention!
Děkuji za pozornost!

Jan BRŮNA

bruna@kubousek.cz

+420 605499367



**Sdružení výrobců pro
ploché střechy**



**DEFEKTY
BUDOV
2023**