

Be sure.



Praktická příručka Termografie pro fotovoltaická zařízení.

Úvod.

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,

kteřá 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 příručce najdete cenné informace o termografii fotovoltaických zařízení a praktické tipy pro provádění kontrol termokamerami.



Obsah:

Motivace a důvody pro použití termografie	4
Chybové snímky a příčiny	7
Tipy & triky při měření a vyhnutí se chybám	11
Jak vypadá ideální termokamera?	14
Termokamery Testo pro solární termografii	17
Termokamery – ideální nástroj pro inspekci fotovoltaických zařízení	18

Motivace a důvody pro použití termografie.

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.

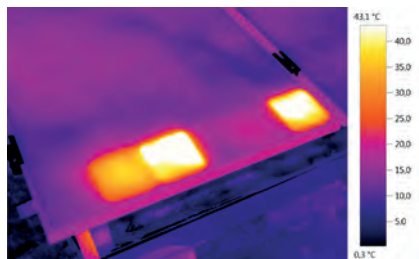
Tyto výpočty ovšem neobsahují žádné výkonové ztráty spojené s problémy modulů, proudovými měniči nebo se špatně provedenou instalací zařízení. Použitím termografie lze již při uvedení do provozu vytvořit dokumentaci odběru a prokázat řádnou instalaci.

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 nevyrobějí, 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 vybrždžovány „horšími“ moduly. Prověřením před uplynutím záruční doby mohou být eventuální garanční nároky vůči dodavateli zavčas uplatněny.



Markantní rozdíly teplot ukazují na možnou ztrátu výkonu elektřiny

Jistota při inspekcích.

Za denního světla jsou fotovoltaická zařízení v zásadě pod napětím.

U moderních modulových řetězců je nezhřídka 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.

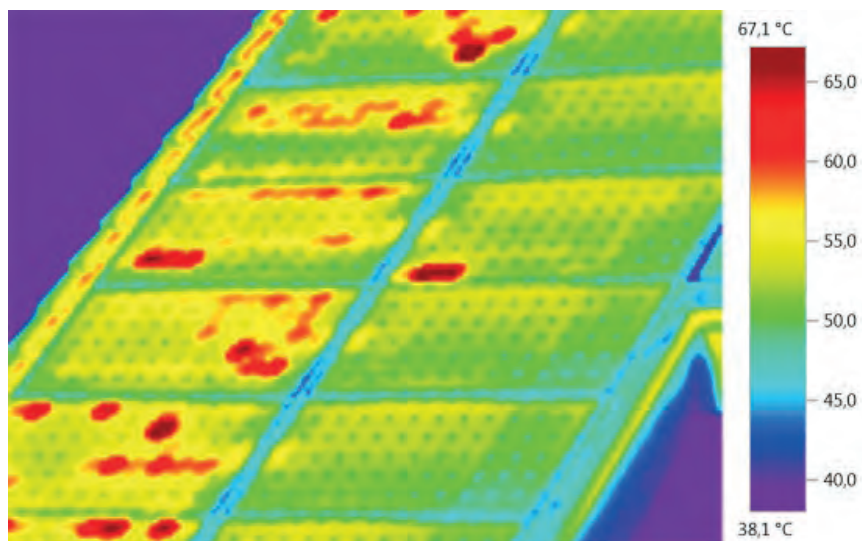
Termografie je bezdotyková, optická metoda měření. Velkoplošné solární moduly je možné během velmi krátké doby „naskenovat“. Teplotní nesrovnalosti, příp. teplotní rozdíly u modulů jsou okamžitě vidět a slouží jako první indikátor možné závady. Jestliže se dříve proměřovaly všechny řetězce modulů, lze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

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/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.

Termografie

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.

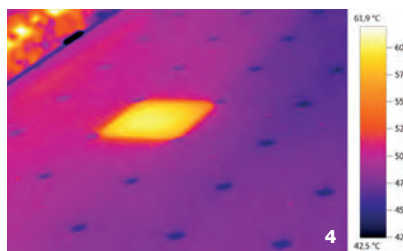
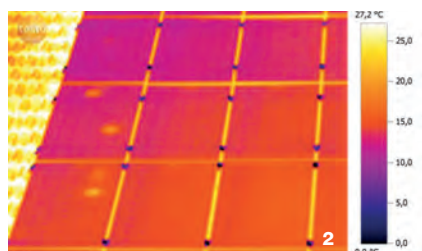
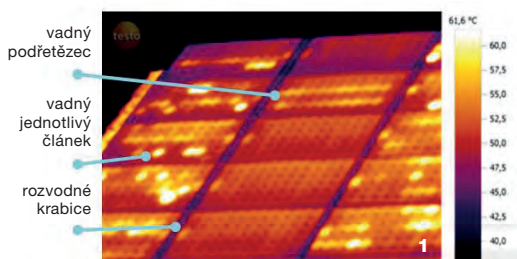
Nezřídka se stává, že moduly běžící naprázdno. Příčinou mohou být špatně připojené moduly nebo prodřené nebo překousané

kabely. To na sebe na infrasnímku upozorní rovnoměrně teplejším infračerveným snímek (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).

Typické chybové snímky solárních článků a modulů.



Rozbité články.

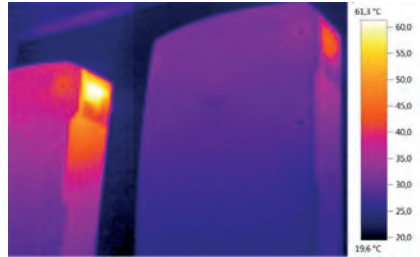
Mikrotrhliny a rozbití článků může vzniknout již během přepravy a při montáži. Také vnější mechanické vlivy mohou být příčinou. Zatímco mikrotrhliny ještě nejsou kritické, rozbité články mohou působit na zhoršení výkonu.

Kontrola elektrických a mechanických komponentů.

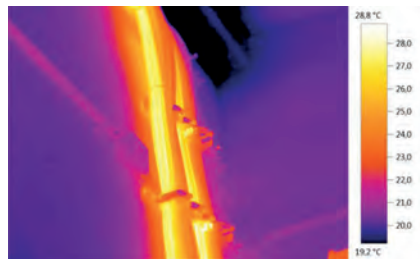
Vedle jednotlivých článků a modulů mohou být pomocí termografie kontrolovány také elektrické komponenty. Koroze na elektrických vodičích, konektorech nebo uvolněné kabely vedou k elektrickým přechodovým odporům, které na sebe upozorní zřetelným zvýšením teploty.

Vedle modulů vyrábějících proud je tak možné zkontrolovat také elektrické komponenty:

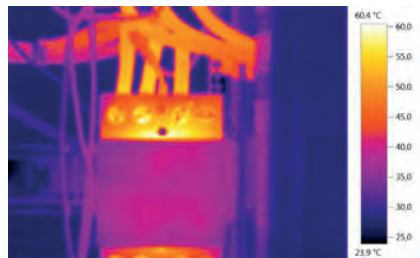
- zkorodované kontakty a konektory
- proudové měniče
- uvolněné kontakty
- přehřáté rozvodné krabice



Levý proudový měnič je výrazně teplejší.



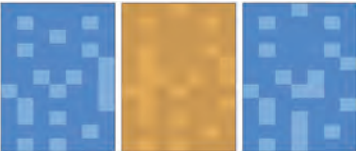
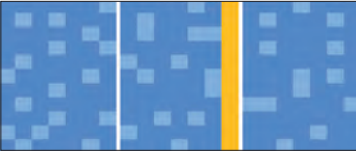
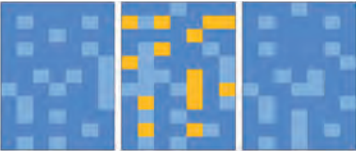
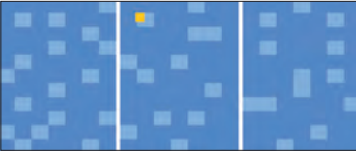
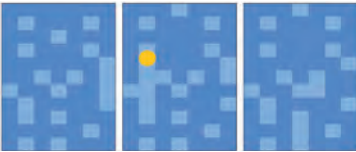
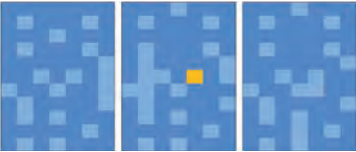
Kabel stejnosměrného proudu bez kritického zahřátí.



Zřetelné zahřátí na elektrických přípojkách.

Přehled chybových snímků a příčin.

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

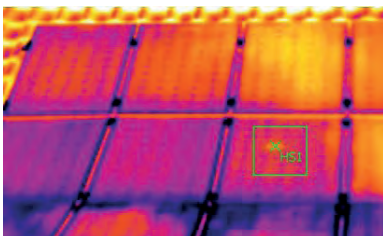
	Infrasnímek 1 Popis: rovnoměrné zahřívání jednoho modulu v porovnání s ostatními. Možná závada: modul běží naprázdno. Možná příčina: modul není připojen, kabel je překousaný nebo přelomený.
	Infrasnímek 2 Popis: podřetězec modulu je teplejší než zbytek modulu. Možná závada: zkrat podřetězce modulu. Možná příčina: vadné bypassové diody např. po bouřce.
	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.
	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.
	Infrasnímek 5 Popis: bodové nebo nerovnoměrné zahřívání. Možná závada: trhlina článku nebo delaminace. Možná příčina: výrobní závada u laminace článku, zastínění na základě např. zašpinění (ptačí trus apod.).
	Infrasnímek 6 Popis: zahřátí jednoho jediného článku. Možná závada: nemusí se nutně jednat o závadu. Možná příčina: zastínění nebo vadný článek.

Tipy & triky při měření a vyhnutí se chybám.

Meteorologické předpoklady.

Kontrola by měla proběhnout pokud možno za bezoblačného, suchého dne s intenzivním slunečním zářením (cca 600 W/m^2). Přímé sluneční záření přivede solární panely k plnému výkonu, vadné solární články se na infrasmítku projeví z důvodu přetížení nebo výpadku jako teplejší než zbývající články. Záření přibližně 600 W/m^2 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 chladicí účinek na panely způsobený závany větru.

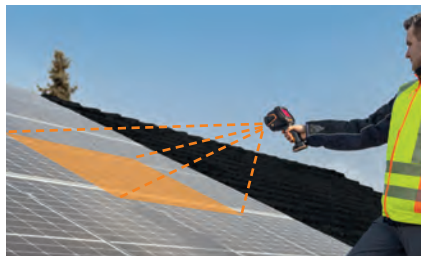


Odrazy mraků jsou viditelné.

Korektní orientace.

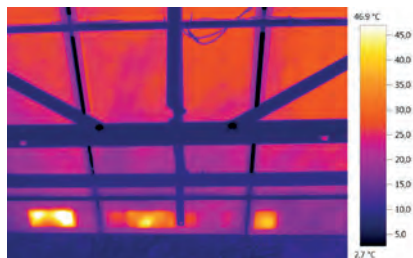
Při termografickém měření je orientace kamery k fotovoltaickému modulu rozhodující. Vyzářovaná energie je závislá na směru, tzn. že při infračerveném měření teploty by měla být orientace kamery k povrchu modulu $60 - 90^\circ$. Fotovoltaický modul by měl být pokud možno orientován kolmo ke směru záření 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.





Správná orientace k měření modulu.

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.



Snímání modulu zezadu.

Interpretace a vyhodnocení.

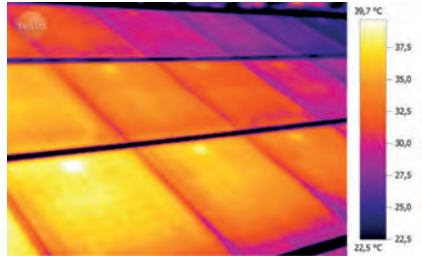
Vyjdou-li při vyhodnocování termogramů najevo teplotní odchylky, neznamená to nutně, že musí být dotyčné moduly vadné. Nápadné termosnímký tak mohou například poukazovat na zastínění díky znečištění. Zároveň nemusí jeden jediný poškozený článek vést bezpodmínečně ke ztrátě výkonu celého panelu. Teprve 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.

Na termogramech je třeba velmi opatrně interpretovat zobrazené absolutní teploty. Zrcadlení studené oblohy mohou například vést k chybné interpretaci - jasná, modrá letní obloha vyzařuje teplotou až -25 °C . Zde se doporučuje pracovat s hodnotami ΔT a zvláště dávat pozor na extrémní rozdíly teplot v rámci jednoho panelu nebo v porovnání se sousedním panelem.

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.

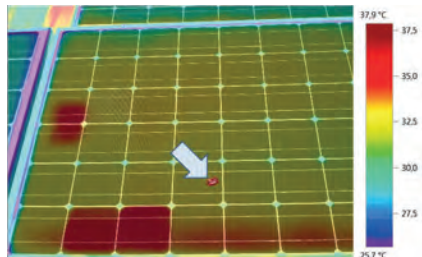


Rozvodné krabice na zadní straně jsou patrné.

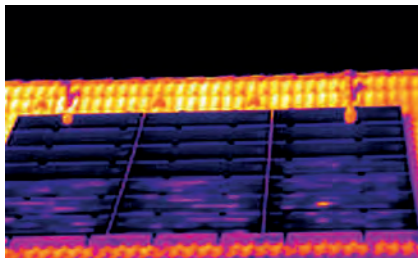
Moduly s intenzivními odchytkami nejsou v zásadě vadné, jsou případně pouze znečištěné a měly by se očistit.

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

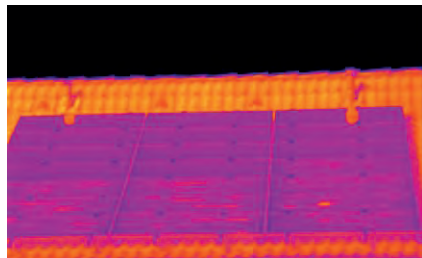
Termokamery rozpoznají ve svém automatickém módu nejteplejší a nejstudenější bod a přizpůsobí odstupňování barev napříč celou oblastí. To znamená, že mohou z důvodu širokého rozpětí zaniknout významné teplotní rozdíly.



Překrytí snímku ukazuje znečištění ptačím trusem na nejteplejším horkém bodě.



Manuální nastavení.



Automatické nastavení.

Jak vypadá ideální termokamera?

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.



Vysoké geometrické rozlišení usnadňuje inspekci velkých zařízení.

Solární mód.

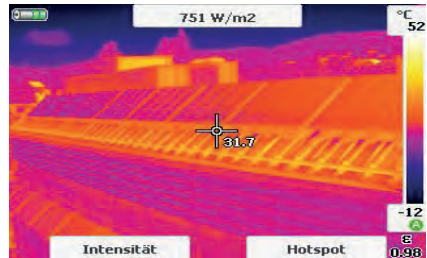
Tento mód snímání je pro solární termografii velmi užitečnou funkcí. Solární mód umí s každým snímkem ukládat sluneční záření ve W/m^2 , aby tak byly zadokumentovány příslušné okolní podmínky.

Otočný displej.

Otočný displej, kterým disponují například termokamery Testo 890, pomáhá k správné orientaci termokamery (viz Tipy a triky), aby se zabránilo chybám při měření. Je tím umožněno pořizovat záběry nad hlavou. Měření na zadní straně modulů jsou tím též usnadněna. Termokameru lze otočit do požadované polohy, aniž by si musel někdo lehat na zem.

Videosekvence.

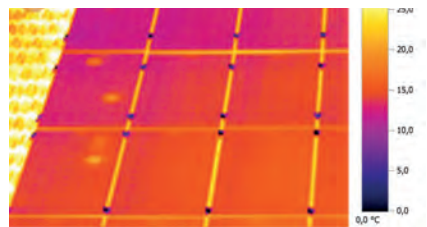
Plně radiometrické videoměření nebo funkce záznamníku dat umožňuje zaznamenávání videosekvencí. S tímto módem snímání integrovaným v kamerách Testo 890 se vozidlem objedou jednotlivé řady pozemních panelů, zatímco termokamera zaznamenává videosekvence. Tyto záběry se nakonec s časovou úsporou vyhodnotí na počítači pomocí softwaru.



V každém snímku se ukládá sluneční záření ve W/m^2 .



Testo 890 s otočným displejem pro pořizování záběrů nad hlavou.

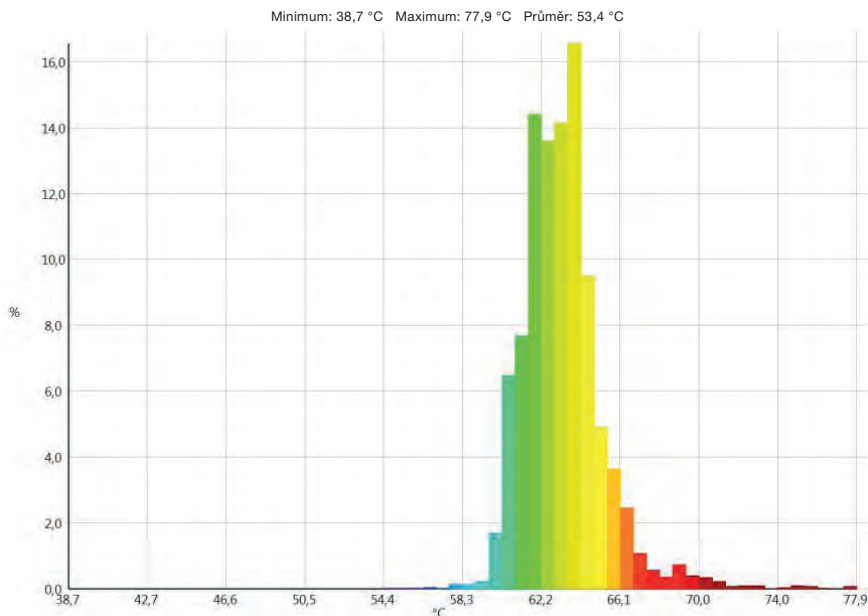


Záběr střešního zařízení pomocí teleobjektivu z velké vzdálenosti.

U velkých zařízení musí být dále prověřeny jenom nápadné moduly.

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.



Teplotní histogram solárního modulu.

Obrázek nahoře 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.

Termokamery Testo pro solární termografii.

Porovnání technických dat.

	testo 872s / testo 872	testo 883	testo 890
Rozlišení	320 x 240	320 x 240	640 x 480
Rozlišení se SuperResolution	640 x 480	640 x 480	1280 x 960
Teplotní citlivost	<0,05 °C (50 mK)	<0,04 °C (40 mK)	<0,04 °C (40 mK)
Ostření	pevné	manuální	automatické / manuální
Zorné pole	42° x 30°	30° x 23°	42° x 32°
Obnovovací frekvence snímku	9 Hz	27 Hz	33 Hz
Přesnost	±2 °C, ±2 % z nam.h.	±2 °C, ±2 % z nam.h.	±2 °C, ±2 % z nam.h.
Výměnné objektivy	–	Teleobjektiv (volitelně)	Teleobjektiv a superteleobjektiv (volitelně)
Solární mód	✓	✓	✓
Ukládání sekvencí a plně radiometrické videoměření	–	–	✓
Aplikace testo Thermography (např. jako druhá)	✓	✓	–
Otočný displej	–	–	✓

Termokamery – ideální nástroj pro inspekci fotovoltaických zařízení.

Již malá technická závada stačí, aby solární výtěžek - a tím hospodárnost fotovoltaického zařízení - byl značně omezen. Příčiny jsou různé: nedbalost při instalaci, degenerace laminátů nebo postupné ztráty v důsledku dlouholetého UV záření a vlivu počasí. Použití termokamery pomáhá rychle a spolehlivě zjistit příčiny závad a odstranit je.

V popředí termografické analýzy stojí rozpoznání horkých bodů, které způsobují nejenom ztráty výtěžnosti, ale mohou představovat také nebezpečná místa. Tento důkaz hraje také důležitou roli v otázkách garančních nároků.

Dále se provádějí zkoušky kamerou na elektrických rozvaděčích, aby se např. vyhledala místa se špatnou kabeláží. Navíc se dá pomoci termosnímky zjistit, zda se součásti pod proudem nepřehřívají a zda chlazení řádně funguje.

Termokamery od firmy Testo jsou konstruovány speciálně na míru

požadavkům solární termografie. Solární technici tím mohou svým zákazníkům nabídnout kvalitní poprodejní služby, zatímco provozovatelé zařízení získají spolehlivou výpověď o stavu svých solárních zařízení.

Solární termografie: přehled aplikací a výhod

- Včasné rozpoznání závad, zabránění ztrátám na výnosu
- Zvýšení provozní bezpečnosti, prevence nebezpečí požáru
- Rychlejší a bezpečnější inspekce
- Rozpoznání horkých bodů, modulů běžících naprázdno, zkratů, delaminací, prasklých článků, zkorodovaných a uvolněných kontaktů, přehřátí rozvodných krabic
- Vytváření přidané hodnoty pro solární instalatéry a pro provozovatele solárních zařízení

Praktické tipy pro používání

- Měřit za slunečního záření a nízké venkovní teploty
- Termokameru správně orientovat, dát pozor na odrazy
- Pokud možno provádět měření na zadní straně
- Pečlivě analyzovat příčiny teplotních odchylek

Výběr správné termokamery

- Dbejte na geometrické a teplotní rozlišení vhodné pro aplikaci
- Kamery s výměnným objektivem a otočným displejem nabízejí větší flexibilitu
- Užitečné funkce jako solární mód a zaznamenávání videosekvencí a rovněž všestranný analyzační software usnadňují měření a vyhodnocování



Testo Česká republika

Jinonická 80
158 00 Praha 5
tel.: 222 266 700
e-mail: info@testo.cz

www.testo.cz