

Be sure. **testo**



Praktická příručka Termografie pro fotovoltaická zařízení.

Úvod.

Fotovoltaická zařízení jsou důležitým přínosem k energetické revoluci a k trvale udržitelnému zacházení s přírodními zdroji - v obou posledních desetiletích byla v mnoha zemích světa, za podpůrných opatření států, instalována četná menší a větší fotovoltaická zařízení.

Po této fázi boomu získává na významu především údržba již instalovaných zařízení.

Tato praktická příručka Vám ukáže, jak Vám termografie pomáhá při uvádění do provozu, při dokumentaci a v případech údržby Vám nabídne pomocné tipy a triky při používání termokamery.



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.

Zjištění nedostatečné kvality na trzích.

V letech fotovoltaického boomu byly knihy objednávek zcela naplněny a solární instalatři k zakázkám přicházeli téměř pozdě. To mělo za následek, že zakázky nezpracovávaly jenom vyškolené odborné firmy. Obrovský požadavek pomáhalo pokrývat mnoho lidí přicházejících z jiných oborů a málo kvalifikovaných odborných sil. Důsledky jsou znát ještě dnes: chyby ve zpracování, nedostatečné výnosy zařízení na solární elektřinu až po rizika bezpečnosti a požáru. Nejprve přišli zkrátka provozovatelé zařízení. Nekvalitní provedení však koneckonců také

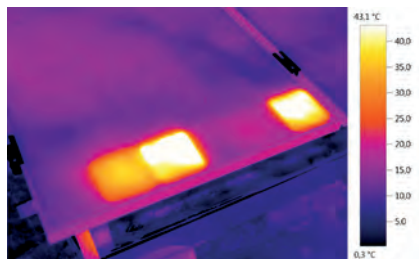
dopadá na realizující podnik, takže na základě termografické analýzy je možné uplatňovat případně regresní nároky.

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 eventuelní garanční nároky vůči dodavateli závčas uplatněny.

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 na základě špatně provedeného zařízení. Použitím termografie lze již při uvedení do provozu vytvořit dokumentaci odběru a prokázat řádnou instalaci. Neexistují tak pro provozovatele zařízení



Markantní rozdíly teplot ukazují na možnou ztrátu výnosu elektřiny.

žádná překvapení a kvalita je prokazatelná. Pro zajištění trvalého výnosu jsou důležité další pravidelné kontroly, poněvadž účinnost solárního zařízení je závislá na teplotě. Jestliže se moduly z důvodu zastínění, vadných článků nebo dílčích řetězců více zahřívají, tzn. že proud spotřebovávají a nevyrábějí, padá účinnost již o 0,5 % na Kelvin. Zahřívání o průměrně 10 °C oproti průměrné normální teplotě znamená již o 5 % nižší proudovou účinnost.

Právě s ohledem na aktuální situaci v oboru jsou následná doporučení důležitým marketingovým nástrojem, jak po odvedené zakázce získat další zákazníky. Totiž pouze spokojený zákazník bude dále doporučovat profesionální a důvěryhodnou firmu.

Efektivní doplňující a následné obchody.

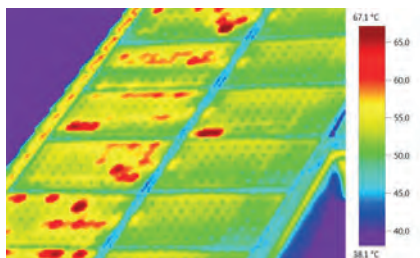
Poté co v letech boomu šlo především o to, instalovat fotovoltaické zařízení tak rychle jak jen to je možné, soustředí se dnes pozornost na to, aby se fotovoltaická zařízení nechala pravidelně kontrolovat a udržovat. Smlouvy o údržbě mohou v klasickém poprodejním obchodě tvořit další zdroje příjmů. Použití termografie umožňuje nabídnout zákazníkům kvalitní poprodejní servis, který dlouhodobě zajistí hodnotu fotovoltaických zařízení.

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 povětnostních podmínek a UV záření vystaveny rychlejšímu stárnutí. Zkorodované nebo volné elektrické kabely vykazují nápadné teplotní rozdíly, které je možno zviditelnit pomocí termokamery.

Výhoda 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.



Vadné moduly po bouřce se zásahem blesku.

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.

Jistota při inspekcích.

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

Chybové snímky a příčiny.

Hledání horkého bodu.

Zastíněné nebo vadné články modulu vytvářejí interní 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. sloupky vysokého napětí nebo stromy) ve fázi plánování zohledněna, jsou články modulů a bypassové diody pod dlouholetým trvalým zatížením.

Horké body a důsledky.

V zásadě existují dva důsledky horkých bodů:

- 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.

Infračervený snímek ukazuje typické rozdílné chybové snímky u vadných jednotlivých článků a podřetězců. Rozvodné krabice, které jsou vidět na snímku, 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.

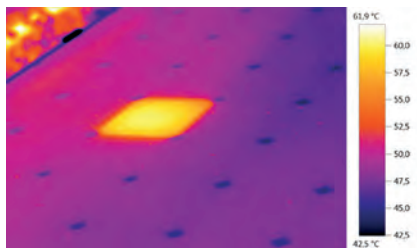
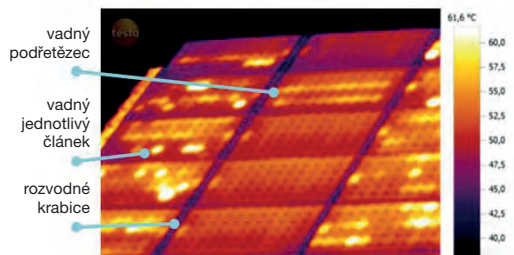
Nezřídka se stává, že moduly běží naprázdno. Příčinou mohou být špatně připojené moduly nebo prodřené nebo překousané kabely. To na sebe

na infrasnímku upozorní rovnoměrně teplejším infračerveným snímkem 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“.

Typické chybové snímky solárních článků a modulů.



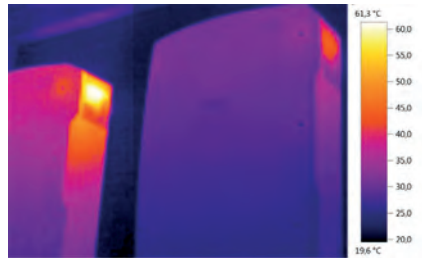
Rozbité články.

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.

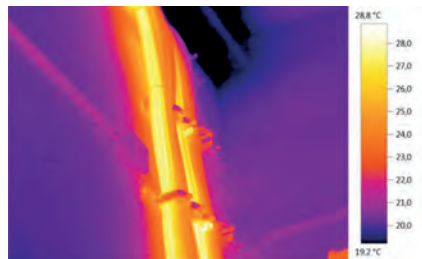
Kontrola elektrických a mechanických komponentů.

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:

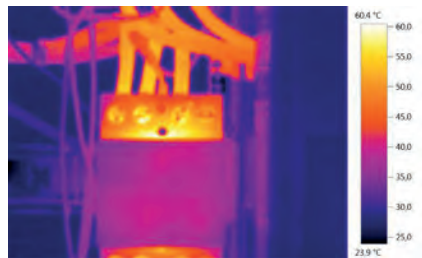
- zkorodované kontakty a konektory
- proudové měniče
- uvolněné kontakty
- přehřáté rozvodné krabice



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: špatné 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: trhlinka článku nebo delaminace. Možná příčina: výrobní závada u laminace článku. Zastínění na základě např. zašpinění (ptačí trus, ...).
	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.

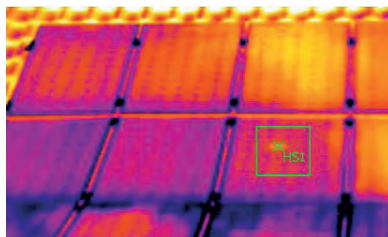
Kontrola by měla proběhnout pokud možno za bezoblačného, suchého dne s intenzivním slunečním zářením (cca 600 W/m^2). Přímé sluneční záření přivede solární panely k plnému výkonu, vadné solární články se na infrasmímku projeví z důvodu přetížení nebo výpadku jako teplejší než zbývající články. Záření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

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 $60-90^\circ$. Fotovoltaický modul by měl být pokud možno orientován kolmo ke směru záření slunce.

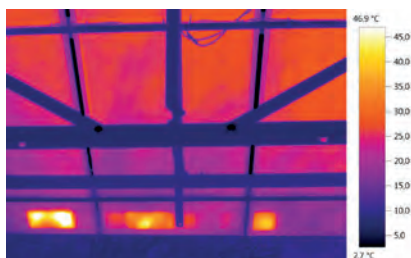
Chyby měření závislé na úhlu vedou například k sugesci teplotních rozdílů a zkrácené reflexi. Kromě toho je třeba dbát na to, aby nebyl měřený snímek narušován odrazy, jako je například samotná kamera, technik měření, slunce nebo blízké budovy. Odražené záření je kamerou rovněž detekováno. Odrazy se dají rozpoznat změnou zorného úhlu, poněvadž se tyto pohybují spolu.



Odrazy mraků jsou viditelné.



Správná orientace k měření modulu.



Snímání modulu zezadu.

U solárních modulů s přístupnou zadní stěnou lze provádět termografii i zezadu, poněvadž 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.

Interpretace a vyhodnocení.

Vyjdou-li při vyhodnocování termogramů na jevo teplotní odchylky, neznamena 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 nezbytné proto, aby se lokalizovala domnělá příčina závady.

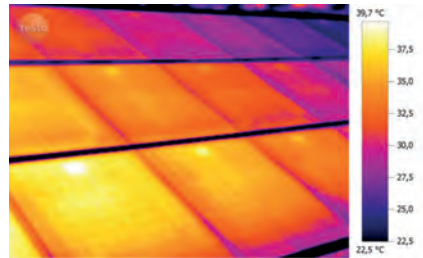
Na termogramech je třeba velmi opatrně interpretovat zobrazené absolutní teploty. Zrcadlení studeného vyzařování oblohy mohou například vést k chybné interpretaci - jasná, modrá letní obloha vyzařuje teplotou až $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zde se doporučuje pracovat s hodnotami ΔT a zvlášť dávat pozor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

Horké body nemusí nutně nasvědčovat vadnému článku.

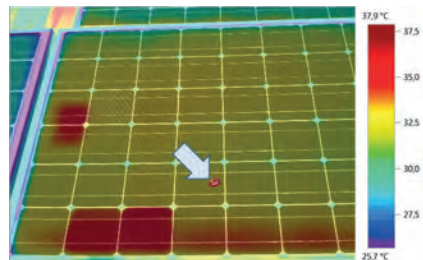
Ne každý termický horký bod musí poukazovat na závadu v solárním článku. Může tak být vidět kvůli přechodu tepla na plochu modulu např. konstrukce nebo rozvodné krabice.

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

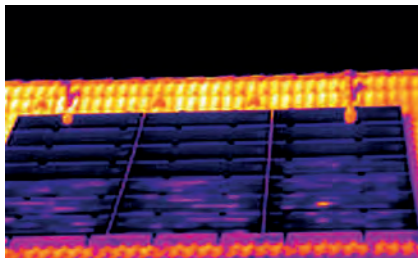
Úroveň a rozpětí. Nastavení tak zvané úrovně a rozpětí je pro rozpoznání chyb mimořádně důležité. Termokamery rozpoznají ve svém automatickém módu nejteplejší a nejstudenější bod a přizpůsobí odstupňování barev napříč celou oblastí. To znamená, že mohou z důvodu širokého rozpětí zaniknout významné teplotní rozdíly.



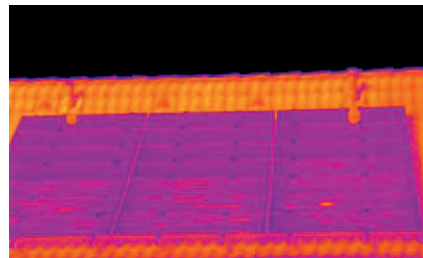
Rozvodné krabice na zadní straně jsou patrné.



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 testo 885 a testo 890 umožňují rychlou výměnu objektivů.



Vysoké geometrické rozlišení usnadňuje inspekci velkých zařízení.

Otočný displej.

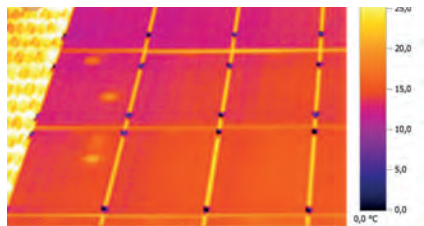
Otočný displej, kterým disponují například termokamery testo 885 a testo 890, pomáhá při správné orientaci termokamery (viz Tipy a triky), aby se zabránilo chybám při měření. Je tím umožněno pořizovat záběry nad hlavou. Měření na zadní straně modulů jsou tím též usnadněna. Termokameru lze otočit do požadované polohy, aniž by si musel někdo lehat na zem.

Solární mód.

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

Videosekvence.

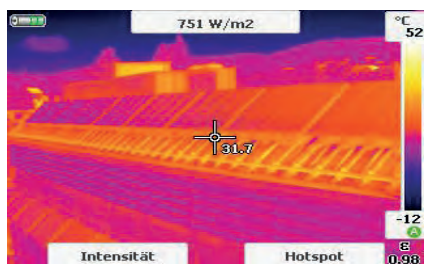
Plně radiometrické videoměření nebo funkce záznamníku dat umožňuje zaznamenávání videosekvencí. S tímto módem snímání integrovaným v kamerách testo 885 a testo 890 se vozidlem objedou jednotlivé řady pozemních panelů, zatím co termokamera zaznamenává videosekvence. Tyto záběry se nakonec s časovou úsporou vyhodnotí na počítači pomocí softwaru.



Záběr střešního zařízení pomocí teleobjektivu z velké vzdálenosti.



testo 885 s otočným displejem pro pořizování záběrů nad hlavou.

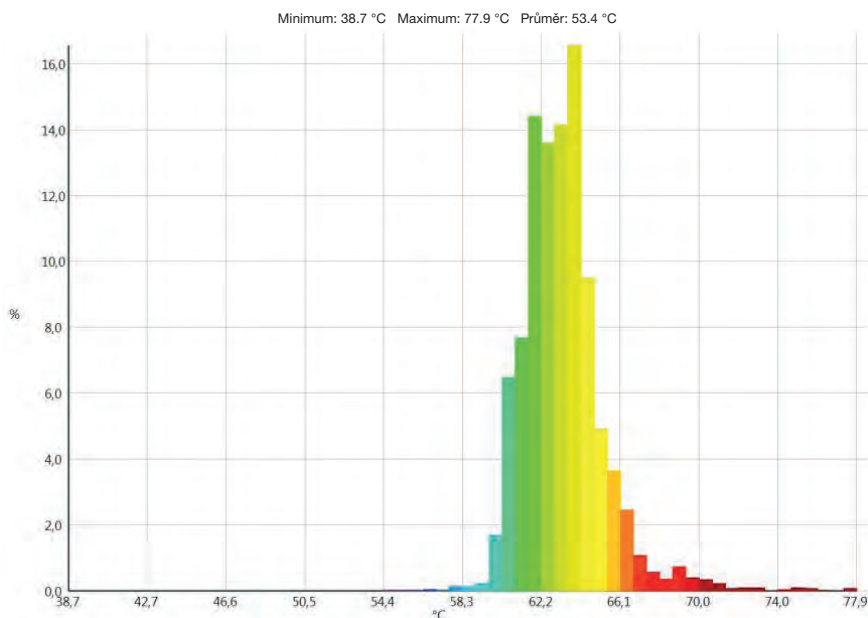


V každém snímku se ukládá sluneční záření ve W/m^2 .

U velkých zařízení musí být dále provedeny jenom nápadné moduly.

Software.

Analyzační software (např. testo IRTSoft) 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 nadmíru uživatelsky příjemný. V IRTSoft se dají pomocí předdefinovaných předloh zpráv vytvořit během několika minut přesvědčivé, profesionální zprávy.



Teplotní histogram solárního módu.

Obrázek nahoře ukazuje teplotní histogram solárního módu. Lze z toho vyčíst různé aspekty. Zatím co 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 než je průměrná hodnota 53,4 °C.

Termokamery testo pro solární termografii.

Porovnání technických dat.

	testo 872	testo 882	testo 885	testo 890
Rozlišení	320 x 240	320 x 240	320 x 240	640 x 480
Rozlišení se SuperResolution	640 x 480	640 x 480	640 x 480	1280 x 960
Teplotní citlivost	0,06 °C	0,05 °C	0,03 °C	0,04 °C
Ostření	pevné	motorické / manuální	automatické / manuální	automatické / manuální
Zorné pole	42° x 30°	32° x 23°	30° x 23°	42° x 32°
Obnovovací frekvence snímku	9 Hz	33 Hz	33 Hz	33 Hz
Přesnost	±2 °C, ±2 % z nam.h.	±2 °C, ±2 % z nam.h.	±2 °C, ±2 % z nam.h.	±2 °C, ±2 % z nam.h.
Výměnné objektivy	Ne	Ne	Teleobjektiv a super-teleobjektiv (volitelně)	Teleobjektiv a super-teleobjektiv (volitelně)
Solární mód	Ano	Ano	Ano	Ano
Ukládání sekvencí a plně radiometrické videoměření	Ne	Ne	Ano	Ano

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 rozvaděcích, aby se např. vyhledala místa se špatnou kabeláží. Navíc se dá pomocí termosnímků 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 instalatéri tím mohou svým zákazníkům nabídnout kvalitní poprodejní služby,

zatímco provozovatelé zařízení získají spolehlivou výpověď o stavu svých solárních zařízení.

Solární termografie: přehled aplikací a použití

- 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, s.r.o.

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

www.testo.cz
www.termokamera.com