

Kontrola elektrických instalací během plného provozu pomocí termokamery

Požáry elektrických instalací jsou v průmyslu poměrně častým, ale podceňovaným jevem. Mohou vést jen ke krátké odstávce bez vážnějšího finančního dopadu a újmě na zdraví, ale také k rozsáhlému požáru se ztrátami na životech. Přitom lze většinu problémů předejít pravidelnou kontrolou elektrických instalací a jejich případnou opravou. Termografie je pro účely kontroly elektrických instalací při plném provozu využívána již několik desítek let, a dnes je považována za ověřenou metodu. Její princip, který je v článku podrobně rozebírán, je založen na stanovení intenzity tepelného záření z povrchu měřeného objektu s pomocí termokamery s následným výpočtem povrchových teplot (kvantitativní metoda). Závažnost poruchy je určena z velikosti stanoveného oteplení. V rámci systému pravidelné údržby je většinou kontrolováno větší množství zařízení a o celém měření je vypracována finální zpráva, jejíž náležitosti jsou v článku diskutovány.

Úvod

Prakticky všichni, kteří pracují v elektrotechnice, se již někdy setkali s roztaveným spojem v důsledku velkého přechodového odporu, který vedl k následnému nárůstu teplot. Tato situace nezdědká končí odstávkou technologie či požárem. Jen v České republice jsou v důsledku požárů elektrických instalací ročně zaznamenány finanční ztráty minimálně v desítkách milionů korun. Daleko závažnější a nevyčíslitelná jsou však vážná zranění a dokonce i oběti na životech. Ani ty bohužel nejsou výjimkou.

Požár může v elektrických instalacích vzniknout kdykoliv a kdekoliv. Statistiky však ukazují, že se požáry nejčastěji vyskytují na místech, která jsou vystavena zvýšenému mechanickému namáhání, jsou poškozena, přetěžována či jsou od počátku neodborně nainstalována. Požáry od elektrických instalací dokáží velice nemile překvapit rychlostí rozvoje. Přirozenou snahou je proto elektrické instalace pravidelně kontrolovat s cílem požárům předcházet. Zde nachází přední uplatnění termografie.

V současné době je termografie již prověřenou technikou kontroly elektrických instalací. Jedná se od roku 1965 o první a v současné době nejrozšířenější komerční oblast využití termografie. Velkou výhodou této metody je, že se kontrola provádí vždy u instalací již uvedených do provozu a to při plném či částečném provozním zatížení. Pro provádění této kontroly tedy není nutná odstávka technologie, ale naopak je nezbytně vyžadován její

provoz a to dokonce nejlépe při plném provozním zatížení.

Termografická kontrola elektrických instalací se používá zejména ve třech oblastech průmyslu:

- výroba elektrické energie,
- přenos elektrické energie a
- průmyslové využití elektrické energie

Termografickou kontrolou elektrických instalací se tak zabývají společnosti, které se starají o výrobu a přenos elektrické energie. Velmi časté je ale také provádění kontroly u společností, které elektrickou energii průmyslově využívají. Velké výrobní a obchodní společnosti pak mají často i několik specializovaných pracovníků, jejichž celodenní pracovní náplní je provádění termografické kontroly elektrických strojů, zařízení a instalací dle systému managementu jakosti a prediktivní údržby, který je v dané společnosti zaveden.

Princip termografické kontroly elektrických instalací

Termografie je technický obor, který se zabývá problematikou bezdotykového stanovení rozložení teplotního pole na povrchu měřeného tělesa. K tomuto účelu jsou určeny speciální měřicí přístroje, tzv. termokamery. Termokamerou naměřené hodnoty jsou pak využívány v rámci diagnostiky technického stavu daného zařízení.

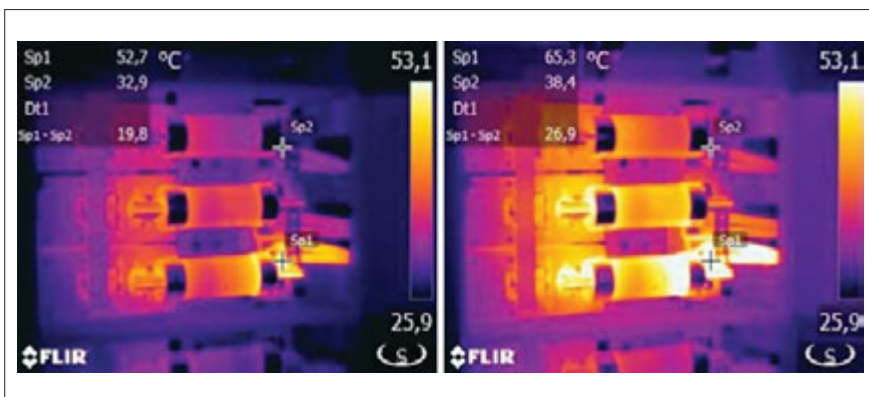
Termokamera jako měřicí přístroj zaznamenává intenzitu tepelného záření z měřeného povrchu. Údaje zaznamenané z měřeného povrchu jsou

součtem 1) tepelného záření z povrchu vyzářeného, 2) tepelného záření od povrchu odraženého a 3) tepelného záření atmosféry, navíc se ještě uplatňuje 4) útlum atmosféry. Termokamerou tedy není změřena (skutečná) absolutní teplota povrchu, ale tzv. zdánlivá teplota. Absolutní teplota může být termokamerou (a to více či méně přesně) výpočtem stanovena až po zadání tzv. parametrů měření, tj. emisivity, zdánlivé odražené teploty, vzdálenosti, atmosférické vlhkosti a atmosférické teploty. Přičemž pro měření blízkých předmětů (ve vzdálenosti několika málo metrů) se vliv atmosféry uplatňuje poměrně málo a podstatné je především správné nastavení emisivity a zdánlivé odražené teploty. Jiná je situace při měření např. prvků přenosové soustavy vysokého napětí, které mohou být od měřicího přístroje poměrně značně vzdáleny a vliv atmosféry je zde podstatnější.

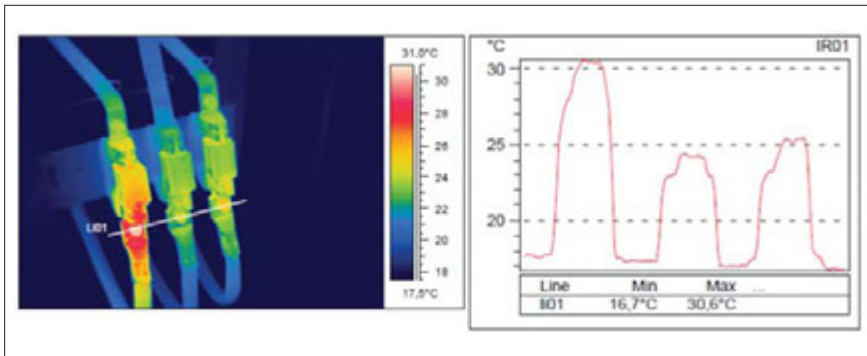
Chyb měření se lze dopustit nejen nesprávným nastavením výše zmíněných parametrů, ale také nevhodným postupem měření, volbou nevhodné měřicí techniky pro danou aplikaci apod. Podrobnější informace o funkci termokamer, základní terminologii, principech měření a vlivu jednotlivých parametrů měření jsou uvedeny v článku Termokamera – princip měření, vlastnosti a využití v technické diagnostice, který je otištěn na str. 111 tohoto vydání All For Power.

Zdaleka nejčastější příčinou vzniku požáru nebo odstávek, jsou v případě elektrických instalací velké přechodové odpory na šroubových a jiných elektrických spojkách. Ztrátový výkon na těchto spojkách je dán vztahem: $P = I^2R$. Z tohoto vztahu mimo jiné vyplývá, že pokud zdvojnásobíme proud, ztrátový výkon naroste čtyřikrát. Množství tepla, které se na elektrickém spoji uvolní, je tak úměrné velikosti protékajícího proudu. Bez dostatečného zatížení tedy není možné případné problémy identifikovat. Zvýšení elektrického odporu způsobuje lokální nárůst povrchové teploty. Z tohoto místa je pak teplo vedeno dále do okolí za vytvoření teplotního gradientu.

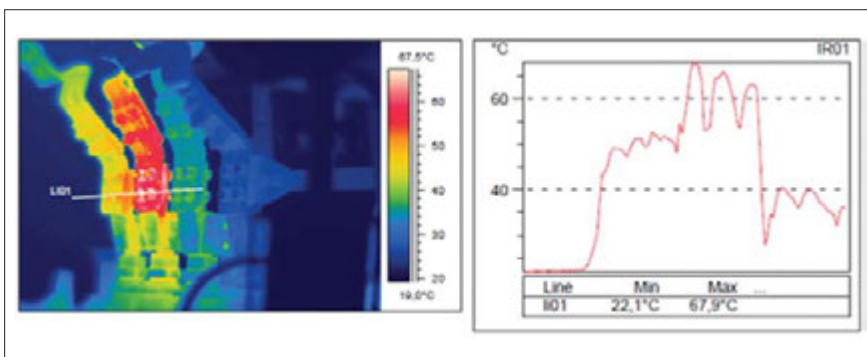
V ideálním případě by tedy mělo měření probíhat za normálního zatížení. To často není možné, alespoň ne u všech technologií. Přesto by měla být snaha přiblížit se během měření co nejbližší provoznímu zatížení (nejlépe alespoň 70 %) a hodnota zatížení by měla být alespoň odhadnuta. Bez hodnoty zatížení nelze stanovit stupeň závažnosti a v řadě případů ani dostatečně spolehlivě její přítomnost.



Obr. 1 – Dva stejné termogramy s rozdílně nastavenou hodnotou emisivity. Na termogramu vlevo byla hodnota emisivity stanovena jako 0.95, na termogramu vpravo pak jako 0.65. V levém horním rohu obou termogramů jsou tři hodnoty ve stupních Celsia: hodnota (zdánlivé) teploty v bodě Sp1, v bodě Sp2 a rozdíl hodnot Sp1-Sp2. Vlivem odlišně nastavené emisivity pozorujeme nejen rozdíly v naměřených teplotách v bodech Sp1 a Sp2, ale také v hodnotě rozdílu teplot Sp1-Sp2. Vzhledem k tomu, že většina klasifikačních metod pro stanovení závažnosti poruchy vychází z velikosti rozdílu teploty mezi fází s normální teplotou a teploty oteplené fáze, je nezbytně tuto skutečnost vzít v potaz. Zdánlivá odražená teplota byla v obou případech nastavena jako 20°C



Obr. 2 – Na fázi vlevo na šroubovém spoji je naměřeno oteplení přibližně 5°C. I když jde v tuto chvíli o poměrně malé oteplení, může se situace rychle zhoršit. Problém je tedy vhodné řešit vyčištěním šroubového spoje v nejbližší možné době



Obr. 3 – V důsledku nevhodně zvoleného úhlu se zdá, že první fáze (tj. ta, která je na snímku nejvíce vlevo) je teplejší, než ve skutečnosti je. To co pozorujeme, ale není nárůst povrchové teploty této fáze, nýbrž tepelné záření pocházející z prostřední fáze, které se od jejího povrchu odráží. Naproti tomu prostřední fáze má skutečně výrazně vyšší povrchovou teplotu způsobenou vysokým přechodovým odporem konektoru (a je nezbytně sjednat nápravu). Úhel měření byl zvolen nevhodně. Pro tuto situaci by bylo vhodnější měření jen z malého odklonu od normály tak, aby se v měřeném povrchu neodrážela osoba, která měření provádí. Stanovená hodnota oteplení na prostřední fázi je více než 25°C. To je vysoká hodnota a problém by měl být neprodleně řešen

Stupeň	Oteplení	Doporučení
I.	< 5 °C	Počátek přehřívání, součást je nutné dále monitorovat.
II.	5 až 30 °C	Rozvinuté přehřívání, spoj či součást je nutné opravit co nejdříve. Výměna nejpozději při příští revizi.
III.	> 30 °C	Intenzivní přehřívání, součást je třeba neprodleně vyměnit, případně opravit šroubový spoj apod.

Fyzikální princip detekce a lokalizace poruchy pomocí termografie je založen na stanovení povrchové teploty (kvantitativní metoda) měřeného objektu a srovnání této teploty s normální provozní teplotou (případně s historickými daty a přítomností trendu v těchto datech). V řadě případů si lze vystačit jen s hodnotami zdánlivé teploty (kvalitativní metoda), tj. bez toho aniž aby byly stanoveny absolutní hodnoty teplot. Pak je však možné ve většině případů pouze stanovit přítomnost závady, nikoli její stupeň.

Postup termografické kontroly

Obecně se kvantitativní termografická kontrola elektrických instalací, zařízení a strojů skládá z následujících částí:

- stanovení povrchové teploty,
- stanovení velikosti oteplení,
- klasifikace závad a
- tvorba zprávy (protokolu o měření).

Stanovení povrchové teploty a velikosti oteplení

Nejčastěji se pro kvantitativní termografickou kontrolu elektrických instalací používá metoda, založená na porovnávání aktuální povrchové teploty dané části elektrické instalace a tzv. referenční teploty. V případě třífázových rozvodů (které jsou v průmyslu nejčastější) je tedy vhodným postupem systematické sledování všech tří fází souběžně s cílem vyhodnotit, zda se naměřené povrchové teploty na sledované součásti odlišují od jiných částí, kde očekáváme bezporuchový stav. Tato metoda vychází ze skutečnosti, že všechny tři fáze jsou stejně zatíženy a mají tedy stejnou či alespoň přibližnou teplotu. Je třeba ale počítat s tím, že i při stejném zatížení se mohou povrchové teploty jednotlivých fází lišit a to především v závislosti na jejich aktuálním provozním zatížení. Z praktických důvodů je provozní teplota součásti vzata jako teplota alespoň u dvou ze tří fází, za předpokladu, že pracují normálně.

Existují i metody, které ke klasifikaci využívají rozdíl teploty prvku a okolní teploty. Jde například o vojenský standard používaný armádou USA s označením MIL-STD-2194.

V každém případě je třeba při stanovování povrchových teplot a velikosti oteplení vzít do úvahy všechny jevy, které mohou ovlivnit termokamerou stanovené hodnoty teplot. Pro ilustraci viz např. Obr. 1, kde je možné pozorovat změnu stanoveného oteplení v závislosti na nastavené hodnotě emisivity a Obr. 2, kde je vidět zdánlivý nárůst povrchové teploty levé fáze v důsledku odrazu tepelného záření pocházejícího od prostřední fáze, kde je oteplení skutečné.

Problematika stanovení povrchové teploty při termografickém měření je (včetně nastavení parametrů měření) diskutována v článku Termokamera – princip měření, vlastnosti a využití v technické diagnostice, který je otištěn na str. 111 tohoto vydání All For Power.

Klasifikace závad

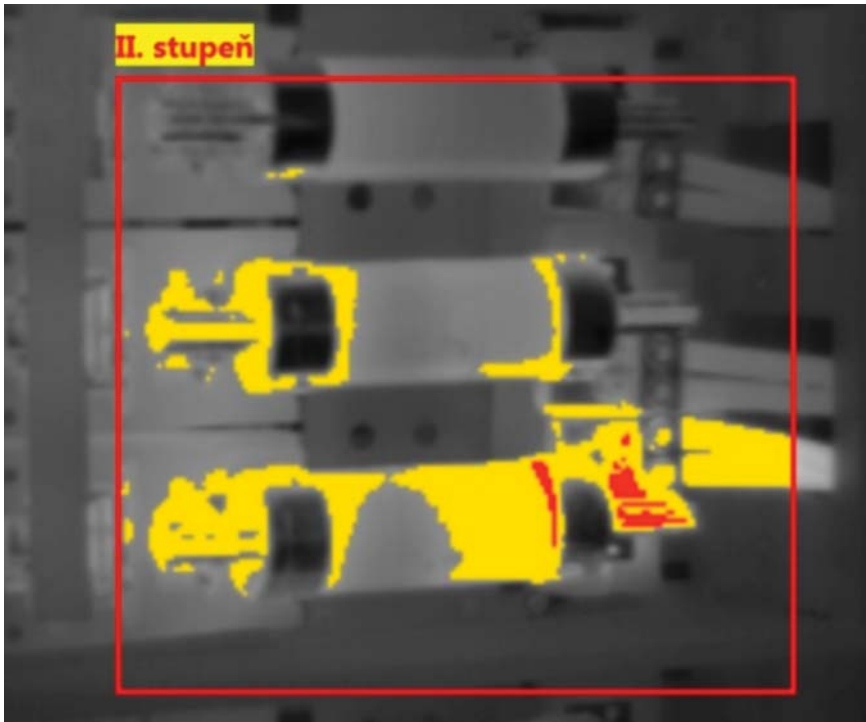
Klasifikací závady se rozumí přiřazení doporučení podle klasifikačního schématu v závislosti na stanoveném oteplení. Klasifikačním schématem je v podstatě tabulka, která stanovuje doporučení v závislosti na velikosti oteplení. Doporučení může být následující „Pokud je velikost oteplení větší než 30 °C, jde o intenzivní přehřívání a součástí je třeba neprodleně vyměnit, případně opravit šroubový spoj apod.“. Jedno z možných klasifikačních schémat je uvedeno v tabulce.

Pro usnadnění klasifikace závad lze použít software Workswell ThermoElectric. Software pomáhá se zařazením spojů do jednotlivých kategorií, které jsou uživatelem definovatelné na základě rozdílu teploty oproti bezchybnému stavu. Software tak může být přizpůsoben již zavedené firemní metodice. Výstupem jsou snímky ve formátu JPG s jasně vyznačenou klasifikací jednotlivých elektrických spojů. Ty lze zařadit jako součást protokolu o měření. Software umožňuje korekci síly větru pro venkovní instalace.

Tvorba zprávy (protokolu o měření)

Aby byla provedena kontrola kompletní, je třeba vytvořit protokol či zprávu o měření. Ta musí obsahovat jednak základní informace o tom, kde bylo měření provedeno, které všechny součásti a součástky byly kontrolovány další informace. V souladu s českým překladem mezinárodní normy ČSN ISO 18434-1 by každá zpráva měla obsahovat tyto obecné informace:

- jméno každého termodiagnostika a jeho kvalifikaci,
- jméno a adresu zákazníka,
- jméno každého pracovníka, který doprovázel termodiagnostiku,
- model, výrobce a datum kalibrace použité IČT kamery,
- seznam všech zařízení, které měly být kontrolovány spolu se seznamem všech zařízení, které kontrolovány nebyly,
- datum a čas kontroly,



Obr. 4 – Klasifikace na konektorech pojistek provedená v software Workswell ThermoElectric. V oblasti vyznačené červeným obdélníkem byla stanovena teplota II. stupně a spoj je třeba opravit co nejdříve

- přehled použitých kritérií hodnocení (klasifikační schéma),
- datum kdy byla zpráva vytvořena spolu se jménem termodiagnostika, který zprávu vytvořil.

Vedle toho by také každá zpráva měla obsahovat termogramy a informace, které se jednotlivě týkají každého měřeného zařízení (tj. každého pořízeného termogramu):

- pořízené termogramy spolu s pořízenými fotografiemi,
- podrobnosti o všech zjištěných teplotních anomáliích,
- přesné určení místa pro každou odchylku,

- podrobnosti o tom, při jakých provozních a okolních podmínkách bylo v době kontroly každé provozované zařízení,
- popis každé odchylky,
- podrobnosti o útlumu v prostředí (tj. útlum atmosféry),
- okolní povětrnostní podmínky (např. teplotu vzduchu, rychlost a směr větru, stav počasí apod.),
- podrobnosti o všech oknech, filtrech a útlumových prvcích použitých při měření,
- hodnocení odhadu nebo sdělení o důležitosti odchylky,
- maximální předepsané zatížení položky a změřené zatížení v době kontroly,

- vzdálenost od IČT kamery k místu odchylky od normálního stavu (platí především pro měření vzdálenějších objektů),
- pokud je použito kritérium rozdílu teplot, teplotu povrchu položky, teplotu referenčního místa a rozdíl jejich relativní teploty,
- hodnotu emisivity, zdánlivé odražené teploty, a parametrů atmosféry použitých pro výpočet teplot,
- další informace nebo speciální podmínky, které mohou ovlivnit výsledky měření či jeho opakovatelnost,
- hodnocení každého měřeného zařízení, teplotu povrchu zařízení, teplotu referenčního místa, rozdíl teplot, klasifikační stupeň a případně i doporučené nápravné opatření.

Případné odchylky v obsahu protokolu či zjednodušení mohou být dány typem kontrolovaného zařízení, požadovanou detailností kontroly či metodikou zavedenou v podniku či požadavky zákazníka.

Závěr

Termografie je užitečným nástrojem kontroly technického stavu elektrických instalací, který může pomoci předejít závažným požárům. Princip je založen na stanovení povrchové teploty kontrolované součásti s následným stanovením oteplení. Z velikosti oteplení je pak s pomocí klasifikačního schématu stanoveno nápravné doporučení. Při práci s termokamerou je však třeba pamatovat na jisté zásady měření, jejichž porušením může dojít k naměření více či méně chybných hodnot s následnou chybnou klasifikací stupně závady. Vedle toho může být termografie použita k diagnostice řady dalších technických zařízení, tj. např. motorů a ložisek, čerpadel, transformátorů, stavu tepelné izolace apod.

Ing. Jan Sova,
Workswell s.r.o.,
jan.sova@workswell.cz,
+420 736 408 005

Inspection of electrical installations under full operating conditions using a thermocamera

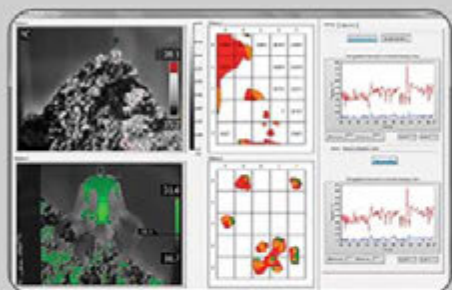
Fires on electrical installations are rather a frequent and unfortunately an underestimated phenomenon in the industrial sector. These fires can result both in a short-time outage without any serious financial impact and damage to health, and more extensive fires and casualties. Most problems, however, can be prevented by regular inspection of electrical installations and possible repair. Thermography has been utilized for the purposes of the inspection of electrical installations for several tens of years and is regarded as a well-proven method today. Its principle, which is described in detail in the article, is based on the determination of the thermal radiation intensity from the surface of the measured object using a thermocamera with a subsequent calculation of surface temperatures (quantitative method). Seriousness of the failure is analysed based on the determined heating. Within the framework of the regular maintenance system a higher number of items of equipment is inspected and the measurement is recapitulated in a final report, the particulars of which are discussed in the article.

Контроль электроинсталляций во время производственного процесса при помощи термокамер

Пожары электроинсталляций на промышленных предприятиях являются довольно частым явлением, и тем не менее, это явление недооценивают. Такие явления могут привести как к краткой остановке производственного процесса без серьезного финансового ущерба и без травм, но также могут привести к обширным пожарам с человеческими жертвами. При этом многие проблемы, связанные с возникновением пожаров, можно избежать при помощи регулярного контроля электрического оборудования и, в случае необходимости, его своевременного ремонта. Термография для целей контроля электрооборудования во время производственного процесса используется уже несколько десятков лет, сегодня этот метод считается надежным. Этот принцип, который подробно описан в статье, основан на интенсивности теплового излучения с поверхности измеряемого объекта при помощи термокамер с последующим вычислением поверхностных температур (количественный метод). На сколько серьезной является проблема можно определить с помощью повышения температуры контролируемой площади. В рамках системы регулярного сервисного обслуживания контролируется большинство оборудования и о общем измерении составляется окончательный отчет. В статье приведены основные принципы измерений.



INTEGRÁTOR TERMORIZNÍCH SYSTÉMŮ



- termovizní monitoring spaloven
- termovizní monitoring skládek odpadu
- termovizní protipožární systém

WWW.WORKSWELL.CZ